

堆積岩中の割れ目と割れ目充填鉱物の性状 九州東部に分布する四万十帯古第三系  
整然相を対象とした事例研究  
Characteristics of fracture and fracture fillings in sedimentary rocks-Example of Shimanto  
belt, Eastern part of Kyusyu-

大嶋 章浩<sup>1\*</sup>, 吉田 英一<sup>2</sup>, 西園 幸久<sup>1</sup>  
OSHIMA, Akihiro<sup>1\*</sup>, YOSHIDA, Hidekazu<sup>2</sup>, Yukihisa Nishizono<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 西日本技術開発株式会社, <sup>2</sup> 名古屋大学博物館  
<sup>1</sup> West Japan Engineering Consultants, Inc., <sup>2</sup> Nagoya University Museum

放射性廃棄物の地層処分や CO<sub>2</sub> の地下貯留, 液化天然ガス (LPG) 地下備蓄サイトの建設では, 地下環境の長期的な挙動を考慮することが重要である. この地質環境の長期評価のため, 岩盤割れ目と割れ目充填鉱物, 岩盤中の酸化還元フロントに着目した研究が進められている (例えば吉田, 2004). しかしながら, これらの研究は花崗岩体等の火成岩体を対象としており, 堆積岩類を対象とした研究は非常に少ない.

本研究では, 堆積岩中の岩盤割れ目と割れ目充填鉱物, 酸化還元フロントの性状を把握するため, 九州東部に分布する四万十帯古第三紀の付加体堆積岩類を掘削したボーリングコアの観察を行った. 観察対象としたボーリングコアの掘削長は 120m であり, 主として砂岩, 頁岩から構成される付加体整然相である. 本研究で取り扱う「割れ目」とは, コア中に認められる不連続面を指す. 岩体および地層中では, 酸化性的な地下水が浸透することによって鉱物が酸化され, 酸化還元フロントが形成されることが知られている (Berner, 1981; Hoffman, 1999). コアの観察においては, 岩石の褐色化部分を酸化帯, それ以外を母岩, これら二つの境界を酸化還元フロントとした. コア中に認められるいずれの割れ目も, その表面が褐色化しているか, あるいは鉱物が沈着する等の特徴がある. 割れ目充填鉱物の産状, コアの形状に基づく, コア中に認められる割れ目は以下のように分類される.

タイプ A) 割れ目沿いに充填鉱物を伴い, 割れ目に沿って容易にコアが分離する

タイプ B) 割れ目沿いに充填鉱物を伴うが, コアは密着して容易に分離しない

タイプ A の割れ目は深度に限らず普遍的に認められ, 深度約 60.00m 以浅では, 割れ目表面の褐色化が顕著である. これ以深では褐色化より, 割れ目表面にパッチ状あるいは自形の炭酸塩鉱物等を伴う場合が多い. タイプ B の割れ目は深度約 60.00m よりも深い深度において高頻度で確認できる.

酸化帯は, 深度 0.00m ~ 35.00m 付近では岩盤割れ目周辺に沿って分布する産状が確認できる. この範囲では, 割れ目の表面とその周辺が褐色化しており, 母岩は部分的にしか認められない. 深度 35.00m ~ 50.00m 付近では, コアの褐色化は割れ目表面に認められ, コア全体の赤褐色化は少ない. 深度 60.00m 以深では, 割れ目表面の一部分でのみ褐色化している. この赤褐色化は, 酸化帯及び酸化還元フロントの形成に伴う水酸化鉄によるものと考えられる.

これまでの観察で確認できた割れ目充填鉱物は水酸化鉄, 方解石, 石英, アンケライトである. 方解石や石英は, 主に酸化帯の領域よりも深い深度で認められる. アンケライトは, 頁岩層とその周辺に集中して産出する.

発表時には, 化学分析や顕微鏡観察を行い, 元素の移動や鉱物の微細構造について議論する. さらに岩盤の透水性, 割れ目及び割れ目充填鉱物との関係についても考察する.

キーワード: 割れ目, 割れ目充填鉱物, 酸化還元フロント, 堆積岩  
Keywords: fracture, fracture fillings, redox front, sedimentary rock

## 深部結晶質岩における透水性割れ目の特徴-土岐花崗岩を事例として- Characterization of flow-path structure at the deep geological environment-A case study of Toki granite-

石橋 正祐<sup>1\*</sup>, 鶴田 忠彦<sup>1</sup>, 湯口 貴史<sup>1</sup>, 西本 昌司<sup>2</sup>, 笹尾 英嗣<sup>1</sup>, 吉田 英一<sup>3</sup>

ISHIBASHI, Masayuki<sup>1\*</sup>, Tadahiko Tsuruta<sup>1</sup>, Yuguchi Takashi<sup>1</sup>, NISHIMOTO, Shoji<sup>2</sup>, SASAO, Eiji<sup>1</sup>, YOSHIDA, Hidekazu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構 東濃地科学研究ユニット, <sup>2</sup> 名古屋市科学館, <sup>3</sup> 名古屋大学博物館

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency Tono Geoscientific Research Unit, <sup>2</sup> Nagoya City Science Museum, <sup>3</sup> Nagoya University Museum

日本原子力研究開発機構が進める超深地層研究所計画は、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を目標の1つとして定めている。本計画におけるブロックスケール(数十mから数百m四方)を対象とした調査研究では、地下水や物質の移動経路となる透水性割れ目に関する調査手法を整備する必要がある。これらの調査手法を整備する上では、透水性割れ目の地質学的特徴を整理し、その結果をもとに地下水流動や物質移動に関する解析と評価を行い、調査時に着目すべき特徴を整理する必要があると考えられる。そのため、本報告では、岐阜県瑞浪市に位置する瑞浪超深地層研究所の深度300mの水平坑道に分布する土岐花崗岩を例として、基礎情報となる透水性割れ目の地質学的特徴について整理した結果について示す。

深度300mの水平坑道(総延長:約100m)において坑道壁面地質観察を実施した。本研究では、地質観察結果における、割れ目の分布、割れ目充填鉱物の充填の程度と種類、割れ目周辺の花崗岩の変質の程度および割れ目からの湧水量に着目した。また、割れ目充填鉱物種や割れ目周辺の花崗岩の変質を把握するために、深度300mで水平坑道建設前に実施した先行ボーリング調査で得られたコアを用いて薄片観察を実施した。

なお、先行ボーリング調査では、当初、孔口測定で約4500L/minの湧水が認められた。しかし、グラウトを実施した後は、湧水がほとんど確認されない程度まで低減した。その後、坑道掘削を行い、約100mの水平坑道全体で、現在のところ約100L/min以下に湧水を抑制できている状態にある。グラウト剤が注入されている割れ目は坑道壁面では連続性が良いこと、グラウト剤の注入によって大幅な湧水量の減少が確認されたことから、グラウトで充填された割れ目は多量の湧水を伴う割れ目であると考えられる。そこで、本研究ではグラウトで充填された割れ目を「主たる透水性割れ目」(以下、Major Flow-path Fracture; Major FF)として、またグラウト剤が注入されずに現在も湧水を伴った割れ目を「付属的な透水性割れ目」(Minor Flow-path Fracture; Minor FF)として、透水性割れ目を区分して記載を行った。

地質観察の結果、深度300mの水平坑道では坑道壁面での長さが10cm以上の割れ目の総数は1670本であった。これらの割れ目のうち、透水性割れ目の総数は、191本(全体の約11%)であり、そのうち、Major FFは118本(全体の約7%)、Minor FFは73本(全体の約4%)である。

Major FFのうち、約10%では割れ目周辺の花崗岩が緑色または橙色の変質を被っていた。一方、Minor FFのうちの約40%で割れ目周辺の花崗岩が緑色または橙色の変質を被っており、Minor FFはMajor FFに比較して割れ目周辺の花崗岩が変質を被っている割合が高い。また、Major FFとMinor FFの割れ目中には、方解石や緑泥石および固結していない粘土鉱物が認められた。しかし、緑泥石のみが観察される割れ目は、Major FFでは認められなかった。

薄片観察の結果、緑色の変質を被る花崗岩では、黒雲母の緑泥石化や長石類の変質が認められた。また、橙色の変質を被る花崗岩では、長石類は変質を被るが、黒雲母については明瞭な変質を被っていないことが確認された。割れ目充填鉱物についてみると、Major FFとMinor FFで方解石の鉱物形状に違いが認められる。Minor FFでは細粒または板状の結晶を示すが、Major FFではMinor FFで認められる方解石に比較して粗粒な柱状の結晶の存在が認められる。

土岐花崗岩は過去に熱水変質を受けていたことが示されている(西本ほか, 2008; 応用地質 49.94-104)。したがって、周辺の花崗岩が変質を被る割れ目は、過去には透水性割れ目であったと考えられる。Minor FFの40%は、割れ目周辺の花崗岩が変質を被っており、割れ目表面には熱水変質で形成される緑泥石が認められる。すなわち、Minor FFの一部は、熱水変質を被り割れ目表面に二次鉱物が形成されることで透水性が低下し、その低透水性が現在も維持されている割れ目であると考えられる。また、緑泥石を含む割れ目でも、比較的粗粒な方解石と共に認められる場合は、Major FFとして機能している。このような割れ目では、方解石が緑泥石を被覆し、層状構造をなしている。これは、過去に緑泥石などで充填されて透水性に乏しくなった割れ目(Minor FF)が再度開口し、Major FFとなったことを示唆する。その結果、割れ目表面に粗粒な方解石が沈殿したと考えられる。

以上のことから、透水性割れ目と変質には関連性が認められることが明らかとなった。今後は、変質の特徴や充填鉱物種についても調査研究を進め、調査時に着目すべき透水性割れ目の特徴について、更に整理する予定である。

キーワード: 透水性割れ目, 土岐花崗岩

Keywords: flow-path fractures, Toki granite

## 断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討：現地調査による実証と高度化 Development of hydrologic characterization technology of fault zones: field validation of methodology

後藤 淳一<sup>1\*</sup>, 守屋俊文<sup>1</sup>, 吉村公孝<sup>1</sup>, 村野清一郎<sup>1</sup>, 土宏之<sup>1</sup>, 唐崎建二<sup>2</sup>, 木方建造<sup>3</sup>

GOTO, Junichi<sup>1\*</sup>, Toshifumi Moriya<sup>1</sup>, Kimitaka Yoshimura<sup>1</sup>, Seiichiro Murano<sup>1</sup>, Hiroyuki Tsuchi<sup>1</sup>, Kenzi Karasaki<sup>2</sup>, Kenzo Kihō<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 原子力発電環境整備機構, <sup>2</sup> ローレンスバークレー国立研究所, <sup>3</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup>NUMO, <sup>2</sup>LBNL, <sup>3</sup>CRIEPI

### 1. 目的

原子力発電環境整備機構 (NUMO) では、概要調査において断層の水理特性を合理的・効率的に把握・推定するための体系的な調査・評価手法を開発することを目的として、2007年度よりローレンスバークレー国立研究所 (LBNL) との共同研究を実施している。本検討では、文献調査により断層の地質特性と水理特性との関連性を考慮した調査・評価手法を構築し、現地調査によりその有効性を実証し高度化を図る。本検討の成果は、調査の対象・仕様・数量の絞り込み、より適切なモデルのパラメータの設定など、調査計画立案や設計・性能評価の効率化・合理化に反映されることが期待される。

### 2. 検討の概況

これまでに、国内外の文献情報に基づき、地質特性と水理特性の関連性について検討し、それを考慮に入れた調査・評価フローを作成した。現地調査の対象としたバークレーの Wildcat 断層は、日本に類似する新第三紀付加体中の横ずれ断層であり、北部では直線状、南部の LBNL 周辺では分岐し複雑な形状を示す。現地調査は、まず、既存情報の多い断層南部を対象に、地表踏査、物理探査 (電気探査、反射法弾性波探査)、トレンチ調査からなる地表調査を実施した。その結果に基づき、Wildcat 断層の分布の概略を把握し、初期的な水理地質構造の概念モデルを構築した。続いて、LBNL 敷地内において5孔のボーリング調査を実施した。地表調査で推定した断層に直交する方向に配置した3孔の鉛直孔 (WF-1~3) では、複雑な地質分布や様々な規模の断層を確認し、水理試験およびモニタリングにより WF-1 と WF-2 の間に水理学的バリアとなる構造の存在を推定した。近傍で実施した電気探査の結果も踏まえて、推定された断層に向けて2孔の傾斜孔 (WF-4, 5) を掘削し、大規模な断層破砕帯を捕捉した。これらのボーリング孔のコア観察、孔壁観察、室内試験 (顕微鏡観察、CT 画像解析、X 線回折、年代測定など) により、地質・地質構造の詳細な検討を行った。また、水理試験、モニタリング (水圧、温度)、地下水分析 (水質、同位体) を実施した。以上の結果に基づき、3次元の地質構造モデルおよび水理地質構造モデルの構築、地下水流動解析、地下水化学モデルの構築を進めている。また、以上の調査実績に基づく個々の調査手法の有効性や調査手順の評価、調査・評価フローの更新、体系的な断層の水理特性の調査・評価手法としての取りまとめも、並行して進めている。

### 3. まとめと今後の計画

現在、5年間の検討成果の最終的な取りまとめを進めている段階であるが、本検討を通じて、概要調査における少ない情報から断層の概略的な分布や水理学的な影響を把握し、明らかに排除すべき断層かどうかを判断するための見通しが得られたと考えている。今後は、手法の信頼性向上のために、ボーリング孔の水理モニタリングを継続し、構築したモデルや解析結果の検証を行う。これと並行して、精密調査前半の地上からの調査における、より詳細なスケールでの断層の水理・物質移行特性の調査・評価について、新たな技術開発の必要性を含めた検討を進める。

キーワード: 断層, 水理, 地下水, 地層処分, サイト調査, サイト選定

Keywords: fault, hydrology, groundwater, geological disposal, site characterization, repository siting



## Sorption analysis of Cesium and Iodide ions on un-weathered Pumic Tuff Sorption analysis of Cesium and Iodide ions on un-weathered Pumic Tuff

Mohammad Rajib<sup>1\*</sup>, Takayuki Sasaki<sup>2</sup>  
RAJIB, Mohammad<sup>1\*</sup>, Takayuki Sasaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, <sup>2</sup>Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, <sup>2</sup>Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

Understanding and modeling of the sorption behavior onto the host rock under various groundwater conditions are indispensable in the reliable safety assessment of radioactive waste disposal. Pumice tuff has been considered as a potential host rock for geological disposal of radioactive waste. As such, sorption mechanism of two very important nuclides, Cesium (Cs) and Iodine (I), on the pumice tuff under various subsurface geochemical environment e.g. the influence of pH, ionic strength, and the initial concentrations on the sorption of Cs and I on tuff and pumice isolated from the original, unweathered pumice tuff rock was investigated by batch method at an aging period of about 10 weeks. It was observed that for both rocks, the proton concentration has little effect on the distribution coefficient,  $K_d$  values for Cs in the pH range 3-10. As the ionic strength of the solution increases in the presence of sodium perchlorate as a matrix ion, the  $K_d$  value of cesium apparently decreases, reflecting the competition of the electrolyte  $\text{Na}^+$  with the specific sorption of  $\text{Cs}^+$  on the negatively charged sites. In contrast, no significant dependence of ionic strength on the  $K_d$  of anionic iodine was found. A simple surface complexation model without considering electrostatic works was applied to simulate the sorption of ions on rocks, and the model parameters were determined. The  $K_d$  values at the given chemical conditions were estimated using the parameters and compared with the ones in the literature.

キーワード: Cesium, Iodide, Sorption, Surface complexation model, Tuff, Pumice

Keywords: Cesium, Iodide, Sorption, Surface complexation model, Tuff, Pumice

## 沿岸域の地質環境調査の体系化へ向けた事例整理 A case for systematization of coastal geological environments

松崎 達二<sup>1\*</sup>, 岩月輝希<sup>1</sup>, 新里忠史<sup>1</sup>, 常盤哲也<sup>1</sup>, 大山卓也<sup>1</sup>, 藪内聡<sup>1</sup>

MATSUZAKI, Tatsuji<sup>1\*</sup>, IWATSUKI, Teruki<sup>1</sup>, NIIZATO, Tadafumi<sup>1</sup>, TOKIWA, Tetsuya<sup>1</sup>, OHYAMA, Takuya<sup>1</sup>, YABUUCHI, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan atomic energy agency

地層処分事業では、文献調査、概要調査、精密調査の事業段階ごとに、地質環境調査に関わる一連の作業（調査、解析、モデル更新）を行うとしている（例えば、原子力発電環境整備機構,2010）。特に概要調査段階は、文献調査で構築した地質環境モデルを具体的な地質環境調査結果によって確認・更新し、確度・精度を向上する重要な段階と位置付けられる。したがって概要調査段階において地質環境調査を実施するには、地質環境モデルの確度・精度の向上に必要な調査項目やその仕様を、的確に決定することが必要である。また、長期にわたる調査となるため調査段階毎に得た知見に基づき、当初計画の基本を踏襲しつつ柔軟な計画変更や調査実施を行える仕組みを構築しておくことが必要である。そのためには、実際に地質環境調査を実施した事例をもとに、技術的ノウハウ・理想的な作業手順・判断ポイントなどの知見を体系的な方法論に基づいてまとめておく必要がある。この観点から、筆者らは北海道幌延地域での沿岸域プロジェクト（沿岸域の地質環境特性の調査評価技術に関するプロジェクト）において地質環境調査を実施しつつ、沿岸域特有の調査・評価の具体的方法に関わる知見の蓄積、体系化を目指した整理を行っている。本報告では、沿岸域プロジェクトを通じて行っている沿岸域の地質環境調査の体系化の現状について紹介する。

沿岸域プロジェクトは、資源エネルギー庁による各要素技術開発事業（例えば、産業技術総合研究所,2011、電力中央研究所,2011）を活用して各機関が協働して実施している。単年度事業の協働作業であることや、土地利用条件などの制約条件のため、必ずしも理想的な地質環境調査項目のすべてを網羅しているわけではない。このため、沿岸域プロジェクトで実施できない項目については、他の事業などから反映可能な知見（幌延地域や瑞浪地域で実施している地下研究所での地質環境調査技術開発を通じて蓄積・整理した知見など）についても妥当性を検証・確認し、適用している。

具体的な事例整理作業として、大澤ほか（2008）の「沿岸域を対象とした統合化データフローダイアグラム」で整理された地層処分事業として行うべき調査・解析項目をもとに以下の分類を行った。

- a) 沿岸域プロジェクトで実施済（または予定）の項目
- b) 幌延地域の地下研究施設の成果を参照可能な項目
- c) 上記以外の既存の研究事例を参照可能な項目
- d) 既存研究事例の参照が困難な項目

次に、沿岸域プロジェクトで実施した個別調査・解析項目（上記 a）について、個別項目の知見・手順を記録するとともに時系列に基づく分類を行った。整理された実作業工程に基づき、文献調査～概要調査における地質環境調査に反映可能な知見として現実的な作業工程を提案した。このように手順整理することで、机上の論理だけではなく、様々な制約条件などの実情に応じた、論点や課題の抽出整理が可能となる。

例えば今回の作業では、主要判断ポイントの抽出や階層化（事業全体見直し、個別調査変更、実作業上などの判断ポイントなど）、調査課題の抽出方法やその優先順位設定の考え方を明確化した。文献調査～概要調査段階でのモデル更新イメージを例示し作業手順を明確化した。また、体系化を目指し、文献調査～概要調査までの沿岸域での一連の調査・評価の作業フローを作成し、個別の調査・解析項目と対比することで、系統的な位置づけを明確化した。

なお、以上の成果については、筆者らが開発中のウェブ上で利用可能な知識管理システム（次世代型サイト特性調査情報統合システム：ISIS）に整理し、閲覧可能とした。今後も、沿岸域プロジェクトの事例、その他の研究からの知見を同システムに反映し、知識の高度化を引き続き行っていく。

本研究は経済産業省委託事業「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果の一部である。

### 引用文献

原子力発電環境整備機構：安全確保構想 2009～安全な地層処分の実現のために～, NUMO-TR-09-05, (2010)。

(独) 産業技術総合研究所：沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発（平成 21 年度版）成果報告書, ISSN 1881-8838, (2011)。

(財) 電力中央研究所：平成 21 年度 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発 - 地下水年代測定技術調査 - 報告書, (2011)。

(独) 日本原子力研究開発機構：平成 21 年度 地質環境総合評価技術高度化開発 報告書, (2011)。

大澤英昭, 太田久仁雄, 濱克宏, 澤田淳, 竹内真司, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 宮本哲雄, 豊田岳司, 岩月輝希, 前川恵輔, 國丸貴紀, 新里忠史, 浅森浩一, 平賀正人, 山中義彰, 重廣道子, 島田顕臣, 阿部寛信, 梅木博之：地質環境総合評価技術高度化開発 - 次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発 - ”, JAEA-Research 2008-085 (2008)。

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG61-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 14:00-15:00

キーワード: 地層処分, 概要調査, 計画立案, 地質環境モデル, 沿岸域

Keywords: geological disposal, preliminary investigation, planning method, site descriptive model, coastal zone

## 沿岸域における堆積軟岩を対象とした大深度オールコア掘削の現状と課題 Present state and future challenges of deep all-core drilling in coastal zones

越谷 賢<sup>1\*</sup>, 吉岡 正光<sup>2</sup>, 丸井 敦尚<sup>1</sup>

KOSHIGAI, Masaru<sup>1\*</sup>, YOSHIOKA, Masamitsu<sup>2</sup>, MARUI, Atsunao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> サンコーコンサルタント株式会社

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup> Suncoh Consultants Co., Ltd.

地質環境に関わる情報は、都市基盤の整備、産業立地、防災計画などにとって必要不可欠であり、近年では地下空間の利用や未利用資源の開発に関連して深度数 100m を超える地下深部にも関心が高まっている。詳細な地下の地質情報を把握するには、調査掘削を行ってコアを採取し、各種試験、分析、解析を行う必要がある。ただし、社会ニーズの大きい沿岸域の地下には軟質な地層（堆積軟岩）が厚く分布し、それらを対象とした調査掘削に関わる技術にはいまだ課題が多い。本報では、これまでに沿岸域で実施された大深度オールコア掘削に関わる調査事例をレビューし、技術的な現状と将来課題について取りまとめる。

謝辞：本研究は、経済産業省よりの委託研究「沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度開発」の研究成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

キーワード: 大深度オールコア掘削, 沿岸域, 堆積軟岩

Keywords: Deep all-core drilling, Coastal area, Sedimentary soft rocks

## 堆積岩を対象とした原位置孔間トレーサー試験による物質移行特性の把握 Characterization of mass transport based on in-situ crosshole tracer tests in a sedimentary rock

横田 秀晴<sup>1\*</sup>, 山本 陽一<sup>1</sup>, 田中 真悟<sup>1</sup>  
YOKOTA, Hideharu<sup>1\*</sup>, YAMAMOTO, Youichi<sup>1</sup>, TANAKA, Shingo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの性能評価においては、天然バリアとなる母岩の物質移行特性を適切に把握することが重要となる。そのためには、トレーサー物質等を利用した原位置における物質移行試験を実施し、試験対象母岩中での移流・分散や拡散現象に寄与する各種パラメータを取得する必要がある。

日本原子力研究開発機構が北海道北部の幌延地域で実施している幌延深地層研究計画においては、地下施設（以下、幌延 URL）の建設が進められており、2012年1月現在で換気立坑が345m、東立坑が310m、西立坑が47m程度の深度まで掘削され、それらを繋ぐ水平坑道が深度140mと250mに展開されている。本研究では、堆積岩を対象とした原位置孔間トレーサー試験における試験装置の適用性確認と試験手法の確立を目的に、深度250mの地下坑道において、原位置での孔間トレーサー試験を実施した。

試験実施場所は250m換気側第1ボーリング横坑である。坑道壁面観察等の地質情報に基づく事前の検討により、坑道スケールにおいては、比較的大きな連続性をもつせん断性割れ目から派生するスプレークラック等の引張割れ目が主要な物質移行経路や水みちとなっていると考えられることから、それらを貫くように横坑の底盤からN45°E方向かつ水平から60°下向きに、本試験に用いるボーリング孔（孔径106mm、孔長30m程度、計3孔を正三角柱状に配置、孔間距離1m）を掘削した。掘削の後、コア観察、物理検層、流体検層、単孔式および孔間水理試験を実施し、トレーサー試験の対象とする割れ目の選定を行った。調査の結果、透水量係数で $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ の割れ目を抽出し、原位置孔間トレーサー試験を実施した。

トレーサー試験では、非吸着性トレーサーとしてウラン・重水素、吸着性トレーサーとして塩素・ヨウ素・臭素等の陰イオン、ナトリウム・セシウム・ストロンチウム等の陽イオン、ユーロビウム等の希土類元素を用いた。なお、全て安定同位体を用いた。試験装置はロッドとパッカーで構成され、試験区間長は15cmである。また、注水・揚水それぞれの試験区間（原位置）にフローセルを備え、孔外部から光ファイバを介した蛍光分析を行うことで、ウランの原位置オンライン分析を可能としている。トレーサー試験は孔間ダイポール試験として実施し、ウランのオンライン分析と並行してフラクションコレクターによる採水を行い、ウランは蛍光分析装置、重水素は吸光度計、その他のトレーサーはICP-MSもしくはイオンクロマトグラフ装置による分析を行った。

ダイポール比1:1（注入流量60mL/min.、揚水流量60mL/min.）でのトレーサー試験を繰り返し実施した結果、ウランにおいては回収率20~25%程度（最大52%程度）、ピーク出現時間はオンライン分析でトレーサー注入開始から800~900秒後、揚水分析で1400~1500秒後、トレーサー濃度の立ち上がり開始時間はオンライン分析で約550秒後、揚水分析で約1000秒後となった。ダイポール比を変えたrunを実施しても回収率の大きな改善が認められなかったことから、注入区間と揚水区間の位置関係がバックグラウンドの流れに対して直交~斜交していたと推測される。また、重水素の分析結果においては、ウランと重水素のピーク出現時間がほぼ一致し、本試験条件においてはウランが非吸着性トレーサーとして機能していることが明らかとなった。一方で、ウランの注入濃度10ppmに対して、揚水側で検出されたピーク濃度はオンライン分析では0.01~0.02ppm程度、揚水分析で0.2~0.4ppm程度となり、10倍程度の乖離が認められた。オンライン分析によるピーク濃度値を揚水分析値に合わせて補正した際の破過曲線の形状はほぼ一致することから、地下水中の懸濁物質やメタンガスを溶存する地下水から発生したマイクロバブル等に起因する散乱によりフローセルからの光を100%検出できていない可能性が考えられるが、揚水分析用の試料中にも懸濁物質が含まれることから、フローセル内を通過する地下水中のマイクロバブルに起因する現象と推察される。

本研究における原位置孔間トレーサー試験では、非吸着性トレーサーであるウランと重水素の分析結果から、試験装置の適用性と試験の成立性が確認された。また、遊離ガス対策を含めた試験装置設置方法が有効であることが確認され、原位置トレーサー試験実施手法の確立に寄与できた。現在、吸着性トレーサーの分析を実施中であり、その結果を合わせて解析を行うことで物質移行特性の評価を行う予定である。本研究により得られた成果は幌延 URL で掘削予定の深度350m水平坑道で実施する原位置トレーサー試験に反映する。



## 地層処分事業における地形発達シミュレーションの適用と課題 Application of landscape evolution models in the geological disposal and its problems.

井上 信<sup>1\*</sup>, 堀尾 淳<sup>1</sup>, 吉村 実義<sup>1</sup>, 幡谷 竜太<sup>2</sup>

INOUE, Shin<sup>1\*</sup>, HORIO, Atsushi<sup>1</sup>, YOSHIMURA, Miyoshi<sup>1</sup>, HATAYA, Ryuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 株式会社 ダイアコンサルタント, <sup>2</sup> 原子力発電環境整備機構

<sup>1</sup>Dia Consultants Co.,Ltd, <sup>2</sup>Nuclear Waste Management Organization of Japan

放射性廃棄物の地層処分では、処分施設閉鎖後の安全を確保するため、処分施設周辺の長期間にわたる地形の変化を検討する。将来の地形変化を予測する方法には、発達史地形学的な手法と、地形発達シミュレーションを用いた手法の2種類がある。本研究では、後者について、地層処分事業への適用性を検討した。具体的には、(1) 地形発達シミュレーションモデルを構築し、(2) 海岸地域の地形へ適用することによって課題を抽出し、解決方法について検討した。また、(3) 安全評価における地形発達シミュレーションの利点についても整理した。

まず、田中(2011)に示されたグリッド型シミュレーションモデル(GGM)をベースとして、隆起・沈降、河川侵食、斜面の土砂移動、海食による海底の削剥及び汀線の後退を表現する地形発達シミュレーションモデルを構築した。次に、構築した地形発達シミュレーションモデルを、実際に存在する地形に適用し、地域全体の隆起・沈降、河川の下刻・堆積・斜面の緩慢な土砂移動、海食による地形変化を表現した。ここで、次のような課題が抽出された。

1. 河川の幅が固定されているため、谷幅が上流部では過大、下流部では過小となり、逆に下刻量が上流部で過小評価、下流部では過大評価となる。

2. 侵食抵抗性の違いを考慮していないため、尾根が丸みを帯びる。

3. 海域での堆積過程が考慮されていないため、観測から得られる海底の侵食速度を、そのままパラメータとして与えると過剰な海食が表現される。

さらに、地形発達シミュレーションモデルを、安全評価に適用するための課題として、次の2点が抽出された。

1. 対象領域が広く、予測期間も長いと、パラメータとして与えるべき値が、空間的及び経時的に変化する可能性があり、1つの値に絞り込むことが難しい。

2. 対象領域には侵食域と堆積域が混在しているため、地形変化量が大きくなるようにパラメータを設定することが、必ずしも保守的な評価につながるとは限らず、保守的な評価を行うことが難しい。

これらの課題解決策として、各パラメータが取り得る値の範囲を把握し、アンサンブル予測のように、その範囲内で設定した複数のパラメータセットから得られる予測結果を重ね合わせて評価することが考えられる。

地形発達モデルを用いた地形変化予測では、各セルを単位時間あたりに通過する土砂フラックスや河川流量が算出され、安全評価に有用なデータとなり得る。これは、発達史地形学的な予測では実現できないことから、地形発達シミュレーションの長所であり、高度な評価につながる重要な手段の1つと言える。

なお、本研究は原子力発電環境整備機構からの受託研究の一部として実施したものである。

田中 靖(2011)グリッド型地形データによる地形発達シミュレーションモデル(GGM)の構築:日本地理学会発表要旨集, 79: 319.

キーワード: 地層処分, 地形発達, 地形発達シミュレーションモデル

Keywords: geological disposal, landform development, Landscape Evolution Models