

# 瑞浪超深地層研究所における花崗岩の調査研究

地層処分研究開発部門  
東濃地科学研究ユニット  
ユニット長 坂巻 昌工

## 1. はじめに

独立行政法人 日本原子力研究開発機構（原子力機構）では、岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において結晶質岩を対象として、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（原子力委員会、2000）や「原子力政策大綱」（原子力委員会、2005）に示された深地層の研究施設計画（超深地層研究所計画）を進めている。本年3月に、地表からの調査予測研究段階（第1段階）の報告書を取りまとめた（三枝他、2007）。本報告書は、原子力発電環境整備機構（原環機構）が行なう概要調査および精密調査における地上からの調査ならびにこれらに対する安全規制に対して技術基盤の強化を図るものである。以下、その概要を述べる。

## 2. 超深地層研究所計画における調査研究の目標

超深地層研究所計画は、以下の2つを全体目標として、「第1段階：地表からの調査予測研究段階」、「第2段階：研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階：研究坑道を利用した研究段階」の3つの段階に区分して調査研究を進める計画である（サイクル機構、2002）。

- 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」

以下に2つの目標の概要を示す。

### 1) 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

地質環境の特性として重要な地下水の動きや性質、岩盤の熱・力学特性、岩盤中での物質の挙動、坑道掘削が周辺の岩盤に与える影響などを明らかにしていくものであり、超深地層研究所計画を通じて、深部地質環境への理解を深めながら、これを体系的に調査・解析・評価するための技術基盤を整備していく。

具体的には、超深地層研究所計画における調査研究を段階的に進めながら、これまでに整備してきた地質環境の調査技術や評価手法などを実際の地質環境に適用していくことを通じて、その信頼性や適用性などを確認していく。その過程で、地質環境への理解や取得する地質環境情報の精度の向上を図りつつ、地質環境モデルの検証や調査・評価技術の改良を進め、段階ごとに、実際の地質環境に適用可能な技術として体系化していく。

### 2) 深地層における工学技術の基盤の整備

研究坑道を設計・施工・維持していくことを通じて、地層処分に特有の「情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設」を設置するための工学技術の基盤を整備していくものである。すなわち、研究坑道の建設自体が目的ではなく、地質環境を理解するための調査手段として、また深部の地質環境に到達し試験を行う場を確保するために、地下に施設を展開し維持していく技術である。このような研究坑道の設計、施工及び維持管理を通じて培われた技術や経験は、実際の処分事業において、最終処分施設建設地の選定に向けた精密調査の後段に実施される地下施設を利用した調査の技術基盤として活用されることになる。

## 3. 第1段階報告書の位置づけ

超深地層研究所計画の2つの全体目標である、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および「深地層における工学技術の基盤の整備」に対して、第1段階では以下の2つを段階目標として調査研究を進めた

- ①「地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境状態の把握」

## ②「研究坑道の詳細設計および施工計画の策定」

この取りまとめは、超深地層研究所計画の全体目標を踏まえて設定した第1段階における段階目標に対して、その達成度と今後の課題を明らかにするとともに、第2段階以降における調査研究の方向性を具体化するうえで重要な意味を持っている。また、ここで取りまとめる成果は、地層処分技術の知識基盤として、特に原環機構が実施する概要調査や精密調査、並びに国が進める安全規制の両面を支える技術基盤の強化を図っていくうえで、有効に活用されるものであることが重要となる。

以上のような状況を踏まえ、本報告書では、「第1段階目標に対して調査研究の成果を適切に取りまとめるとともに、課題を抽出・整理し、第2段階以降の調査研究における具体的課題を抽出すること」を目標として設定し、第1段階におけるすべての調査研究の成果を整理した。また、取りまとめを進めていくにあたっては、取得したデータや結果のみならず、一連の調査・解析・評価の方法論や深地層における工学的な技術、さらには実際の調査研究を通じて得られた知見（ノウハウや失敗例）を整備することに留意した。

## 4. 第1段階の研究成果報告書の構成

本報告書は、全体で5章から構成される。

第1章「超深地層研究所計画の位置付けと役割」では、わが国の深地層の研究施設計画の位置付けと役割を概観し、超深地層研究所における研究計画の概要および第1段階成果の取りまとめの目標などについてまとめた。第2章「超深地層研究所計画・第1段階調査研究の概要」では、第1段階における調査研究の目標や進め方について概括した。第3章「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」では、第1段階の目標である「地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境状態の把握」に関する成果を取りまとめた。具体的には、第2章で設定した調査研究の個別目標と課題に関する調査研究の成果に基づき、結晶質岩を対象とした第1段階の調査・解析・評価技術に関する技術的知見を整理するとともに、第2段階の調査研究に向けた深部地質環境とその変化の予測結果について取りまとめた。第4章「深地層における工学技術の基盤の整備」は、第1段階の目標である「研究坑道の詳細設計および施工計画の策定」の成果を取りまとめた。具体的には、硬岩を対象とした研究坑道の設計・施工対策技術および安全確保技術などについて取りまとめた。最後の第5章「おわりに」では、第1段階における成果を総括するとともに、今後の展開について記述した。

## 5. 第1段階調査研究の実施内容

超深地層研究所計画では、瑞浪市と市有地賃貸借契約を締結した研究所用地において研究坑道の設置を伴う調査研究を実施することとし、「安全評価」、「地下施設の設計・施工」及び「環境影響評価」の観点から調査・評価すべき地質環境の特性やプロセスとして、具体化を図るとともに整理を行い、それらを把握することを調査研究の個別目標と課題として設定した。

また、安全評価及び地下施設の設計・施工への研究成果の反映を念頭に置いて、不均質性を有する地質環境を、限られた調査量で効率的に理解していくために空間スケールの設定を行い、超深地層研究所計画で対象とする空間スケール（サイトスケール）を定義した。サイトスケールより広いスケール（リージョナルスケール、ローカルスケール）は、「広域地下水流動研究」として別途実施した。

さらに、第1段階の調査研究では、既得情報整理／地表地質調査から孔間トモグラフィ探査／孔間水理試験までの6つの調査項目を設け、それらを5つの調査ステップにグループ化して、この調査ステップごとに繰り返しアプローチを用いた調査研究を展開した。それぞれのステップにおいて、調査研究で得られた情報に基づき地質環境モデルを構築し、次の段階における調査研究の対象を抽出・特定した。このような考え方に基づき調査・解析・評価を行うことによって、調査の種類や量と、個別目標と課題に対する理解度や不確実性との関連性を事例的に明らかにした。

## 6. 成果とその反映

### 1) 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

瑞浪超深地層研究所における調査研究を開始する前に文献等により取得された既得情報を整理（ステップ 0）し、個別目標として設定したサイトスケール領域における地質構造の三次元分布や地下水の流動特性、地下水の地球化学特性などの項目の概略を把握した。次に、地表地質調査や反射法弾性波探査（ステップ 1）によって岩相境界や不連続構造の位置を面的に推定し、各岩相や不連続構造の特性をボーリング調査（ステップ 2, 3）によって評価した。なお、ボーリング調査においては、時間的な制約を考慮して既存の深層ボーリング調査と新規浅層ボーリング調査（ステップ 2）を同時期に実施したため、これらを一つの調査ステップとしてまとめることとした。さらに、孔間トモグラフィ探査や孔間水理試験（ステップ 4）によって、ボーリング孔間における不連続構造の位置及び幾何学的形状の同定、水理特性やその連続性を評価した。このような流れで調査研究を進める際に、調査研究の進展に伴う情報の種類・量と地質環境の理解度や調査研究の達成度との関係を順次評価するとともに、この評価結果に基づき次の調査研究における重要要素を抽出・特定して調査計画に反映した。その結果、地層処分にとって重要な地質環境特性を効率的に理解することができた。

また、取得するデータの種類、データの解釈及び異なる分野で得られた情報の統合などの観点から調査ステップごとに、調査から評価までの合理的な道すじ（系統的なデータの流れ）を統合化データフローとして事例的に整理した。

調査研究を行う際には、調査対象項目を明確にするとともに、時間や予算などの制約条件を考慮した調査項目や調査手法の最適化及び合理化を図った調査研究計画を策定することが重要である。また、品質が保証されたデータを取得するためには、個別の調査研究における品質管理体系と実施体制作りが重要である。これらのことが、実際の地質環境を対象とした調査研究をとおして再確認された。

さらに、調査研究をとおして得られた技術的知見、失敗事例やノウハウなどについては、処分事業や安全規制に対して有益な情報となることから、処分事業や安全規制の基盤技術として知識化を図るため各ステップ毎に「処分事業や安全規制のための技術基盤」を項目として設け記述したほか、「地質環境の調査・評価技術の整備」の章においても記述した。研究開発の個別目標と課題の設定、空間スケールの設定による段階的な進め方及び統合化データフローによる調査から評価までの道すじの明示、さらには、それらに基づいた報告書における記述構成などは、知識化の一端をなすものである。

このように、東濃地域を事例とした調査研究をとおして、実際の地質環境に適用可能な一連の地表からの調査・解析・評価技術（技術基盤）の整備を図るとともに、深部地質環境の様々な不均質性を理解し、地質環境特性（特に結晶質岩）に関するデータの蓄積を図り、繰り返しアプローチに基づく段階的な調査研究の実施をとおして、設定したそれぞれの個別目標と課題をほぼ達成し、その過程で多くの技術的知見を得た。一方で、第 1 段階において達成された課題を整理し、第 2 段階以降の調査研究における具体的課題を抽出した。

なお、実際の地質環境（結晶質岩）を対象とした調査研究をとおして整備した調査・評価技術や技術的知見などの多くの部分は、これまでの国外における同様の調査研究事例から、場所や地質環境条件などが異なっているにもかかわらず、与えられた場の地質環境特性の差異や与条件などを考慮し、適切に変更を加えることにより広く活用することができるものと考えられる。

### 2) 深地層における工学技術の基盤の整備

実際に取得された地質環境情報に基づいて研究坑道を設計・施工していくことを通じて、「情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設」を設置・維持するための工学技術の基盤を確立していくことが重要である。

瑞浪超深地層研究所においては、調査研究に必要な地下深部までの研究坑道を設計した。具体的には、地下施設の深さ、坑道レイアウトの複雑さ、および入坑者の多様性に留意するとともに、第 1 段階での調査研究結果、現状の土木工学や資源工学での施工技術、安全

上の制約、時間的な制約、対象とする岩盤の力学特性（硬岩）に基づき、研究坑道の仕様や詳細レイアウトを決定した。さらに、空洞安定性評価や支保設計、耐震設計などの地下施設的设计・施工計画に係る検討をとおして、地下坑道的设计・施工対策技術の高度化・体系化を図るとともに、計測結果的设计・施工計画へのフィードバック技術（情報化施工）を検討した。あわせて、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するとともに、突発湧水などの突発事象に対する対策や、リスクマネジメント手法を活用した安全を確保する技術の整備を行った。

また、地下施設建設前の環境状態を把握するための調査を実施した。

## 7. 現状と今後の予定

瑞浪の超深地層研究所計画は、平成 15 年度より第 1 段階の調査研究と並行して立坑掘削工事を開始し、平成 19 年 8 月末現在で、主立坑及び換気立坑を深度約 200m まで掘削するとともに、深度 200m の水平坑道を掘削中である。今後は、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」については、坑道掘削時に得られる情報に基づき、地上からの調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデル、及び岩盤力学モデル）を確認しながら、地表での調査技術やモデル化手法の妥当性を検討していく。第 1 段階で残された重要な課題として、実際の地質環境に適用可能な体系的な技術の提示を行う上での信頼性の向上が挙げられた。このため、繰り返しアプローチに基づく段階的な調査研究を継続することにより、地層処分にとって重要な地質環境特性に係る理解度を深めるための調査・解析・評価技術の体系化を図る予定である。また、第 2 段階以降で、新たに得られる知見などを踏まえ、統合化データフローの下位を構成する調査フローなどを整備し、より具体化するとともに、階層的な技術体系としての整理を試みる予定である。あわせて、その過程で得られた経験（失敗例を含む）やノウハウをできるだけ知識化して提示していくことが重要となる。さらに、他研究機関で進められている調査研究の成果や議論を踏まえつつ、処分事業や安全規制を支える技術基盤として厚みを加えていく考えである。

工学技術においては、第 2 段階の調査研究として、研究坑道的设计結果の検証を掘削中に得られる計測データなどに基づいて実施していくとともに、実際の岩盤や湧水の状況に応じた施工対策技術、安全性を確保する技術の有効性などの確認を本格的に進めていく。具体的には、今後もデータの取得を継続し、設計時に行った検討内容の妥当性の評価及び設定の見直しなどにより、以深の研究坑道掘削にフィードバックしていくことを繰り返すことにより、設計・施工技術の高度化を図るとともに、掘削工事に伴う周辺環境への影響を観測していく計画である。

これらの調査研究によって得られる成果については、処分事業や安全規制を支える技術基盤として、当面は、原環機構による地上からの精密調査への反映を目指して取りまとめていく予定である。

## 参考文献

原子力委員会（2000）：原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成 12 年度）。

原子力委員会（2005）：原子力政策大綱。

三枝博光 他（2007）：超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第 1 段階）研究成果報告書，JAEA-Research 2007-043。

核燃料サイクル開発機構（2002）：超深地層研究所 地層科学研究基本計画，JNC TN7410 2001-018。