

# 共同研究成果報告書

## 岩盤の力学状態と水理学特性に関する研究

原子力規制委員会 原子力規制庁

国立大学法人埼玉大学

国立研究開発法人産業技術総合研究所

令和5年7月

## 1. 研究目的

放射性廃棄物を埋設する岩盤は、造構運動等の自然事象及び処分場の坑道掘削等の人為事象により様々な作用を受けている。これらの作用により岩盤が損傷又は破壊（以下「岩盤損傷等」という。）し、その結果、場合によっては地下水流動や放射性核種移行（以下「地下水流動等」という。）の卓越経路となることが指摘されている。特に、放射性廃棄物を処分するための坑道の掘削に伴い掘削表層の応力が解放されることによって、地下水流動等の経路となり得る掘削影響領域（以下「EDZ」という。）が形成されることが考えられる。また、社会基盤施設での実績を鑑みても、応力の解放により一旦損傷が発生した岩盤は、たとえ止水剤の注入を行っても、水理学特性が損傷前の状態に完全に回復しないことが明らかにされている。放射性廃棄物の処分においては、岩盤損傷等が生じた場合の水理学特性をどのように考えるべきかを明らかとした上で地下水流動等の評価が求められているが、既往の研究では明らかとなっていないのが現状である。

このようなEDZを有する岩盤における地下水流動等を評価するためには、坑道の掘削による岩盤損傷等の力学状態とそれに伴う水理学特性の関係を総合的に評価することが重要である。

そこで、本共同研究では、原位置から採取した岩盤サンプル及び人工的に製作した人工供試体（以下「岩盤等サンプル」という。）を用い、岩盤損傷等の力学状態とそれに伴う水理学特性の関係を明らかにするため室内試験を行い、地下水流動等が適切に評価されていることの確認に必要な科学的・技術的知見を取得する。

## 2. 研究内容

本共同研究においては、坑道の掘削による岩盤損傷等の力学状態とそれに伴う水理学特性の関係を明らかにすることを目的とし、室内試験装置を設計及び製作するとともに、三軸力学試験及び水理試験を実施しこれらの関係について検討を行った。

## 3. 実施方法

### 3.1 岩盤の力学状態及び水理学特性に関する知見の収集

坑道の掘削に伴う力学状態の変化によってどのような岩盤損傷等が生じ、地下水流動等に影響するかについての科学的・技術的知見の取得が重要と考え、本共同研究では、国内外における岩盤の力学状態及び水理学特性に関する既往の知見を収集するとともに、新設する試験装置の設計に関する知見を整理した。

### 3.2 試験装置の設計及び製作

坑道の掘削による岩盤損傷等の力学状態とそれに伴う水理学特性の関係を見出すため、変位制御による高剛性の三軸力学試験及び水理試験を同時に実施できることを基本とした力学水理連成試験装置（以下「新設試験装置」という。）を製作した。

具体的には、岩盤の損傷を圧縮場、引張場及びせん断場の内部応力状態とその組合せにより表現できることを考慮し、EDZ における力学状態を模擬するとともに水理試験に必要な注排水が行える試験装置とした。

### 3.3 力学・水理学試験の実施

岩盤サンプルへの力学状態を変化させた上で、水理学特性を測定するための試験を実施することにより、三軸の応力状態が坑道掘削時の岩盤の変形、EDZ の形成及び水理学特性に与える影響やその将来的な変化に対する応答を明らかにした。試験の実施においては、岩盤サンプルを製作した。また、岩盤サンプルについての基礎特性を得るための化学的・物理的分析を行った。

なお、本共同研究に関するデータ取得として産業技術総合研究所の既存試験装置を用いた試験を行い、寸法効果についても検証を行った。

### 3.4 力学・水理学モデルの構築

前記 3.1 で得られた知見及び 3.3 で実施した力学・水理学試験の結果を踏まえ、岩盤の力学・水理学モデルを検討するとともに、数値解析モジュールも合わせて構築することを検討した。

なお、この構築に当たっては、天然バリアの地下水流動解析等を実施することを考慮し、力学・損傷テンソルの表現を用いた構成モデルの適応性を検討した。

## 4. 研究実施分担

項目	原子力規制庁	埼玉大学	産業技術 総合研究所
3.1 岩盤の力学状態及び水理学特性に関する知見の収集	◎	○	○
3.2 試験装置の設計及び製作	◎	○	○
3.3 力学・水理学試験の実施	—	—	—
・新設試験装置による試験	◎	○	○
・既存（中型）試験装置による試験	◎	○	○
・既存（小型）試験装置による試験	○	○	◎
3.4 力学・水理学モデルの構築	◎	○	○

## 5. 共同研究参加者

区分	氏名	所属部局・職名	本研究における役割
原子力 規制庁	入江正明	原子力規制庁長官官房・技術基盤 グループ 放射線・廃棄物研究部門 技術研究調査官	・研究の統括
	東原知広	〃	・研究の統括補佐
	市来高彦	〃	・新設試験装置による力 学・水理学試験の実施 ・力学・水理学モデルの 構築
	廣田明成	原子力規制庁長官官房・技術基盤 グループ 放射線・廃棄物研究部門 主任技術研究調査官	・岩盤等サンプルの製作 ・新設試験装置による力 学・水理学試験の実施
	河原木千恵	原子力規制庁長官官房・技術基盤 グループ 放射線・廃棄物研究部門 技術研究調査官	・新設試験装置の設計及 び製作 ・新設試験装置による力 学・水理学試験の実施
埼玉 大学	長田昌彦	埼玉大学大学院 理工学研究科 環 境科学・社会基盤部門 教授	・研究の統括
	富樫陽太	同部門 助教	・新設試験装置の設計及 び製作の評価 ・力学・水理学試験結果 の評価 ・力学・水理学モデルの 評価
産業技 術総合 研究所	伊藤一誠	産業技術総合研究所 活断層・火山 研究部門 水文地質研究グループ長	・研究の統括
	塚本斉	同部門 地質変動研究グループ長	・研究の統括補佐
	竹田幹郎	同部門 水文地質研究グループ主任 研究員	・既存試験装置による力 学・水理学試験の実施
	朝比奈大輔	同部門 地質変動研究グループ主任 研究員	・岩盤等サンプルの製作 ・既存試験装置による力 学・水理学試験の実施



力学試験を実施した上で、岩盤の水理学特性を測定するための試験を実施した。これにより、ピーク強度以降の軟化領域においても安定な応力-ひずみ曲線を得ることができ、応力履歴を作用させる前後において透水試験が実施できることを確認した。引き続き、坑道周辺の水理学特性を評価することを目的として、二軸圧縮一軸解放の応力状態を考慮しピーク強度以降も含めた異なる応力履歴による三軸力学試験及び水理試験を実施することで、力学状態と水理学特性の関係を整理することが可能となる。

既往の知見を基に、岩盤の力学・水理学モデルの考え方について検討を行った。引き続き、新規試験装置を用いた試験を実施し、これらの試験結果に基づいて力学・損傷テンソルの表現を用いたモデル構築を行っていく。



(a) 全景



(b) 供試体周辺

写真1 新規試験装置（力学水理連成試験装置）

## 8. 公表成果一覧

- 1 東原知広、市耒高彦、入江正明、長田昌彦、「廃棄物埋設における掘削に伴う岩盤の力学状態と水理特性を踏まえた地下水流動評価の考え方」、第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、土木学会、pp.247-252、令和5年
- 2 市耒高彦、東原知広、入江正明、長田昌彦、「廃棄物埋設における岩盤の力学水理連成試験機の製作と動作確認試験」、第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、土木学会、pp.253-258、令和5年