

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14826

研究課題名（和文）岩盤内亀裂の生成～長期透水性変化までを一気通貫に紐解く連成数値シミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of coupled numerical simulator for describing processes within rocks from fracture generation to long-term change of fracture permeability

研究代表者

緒方 奨 (Ogata, Sho)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50868388

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：従来不可能であった、岩盤内の亀裂生成～その後の化学現象による透水性変化までを解くシミュレータの開発を試みた。まず、亀裂内の化学現象の計算において重要なパラメータである亀裂内接触部割合を予測可能な数理モデルを構築し、力学試験との比較から妥当性を検証した。次に、亀裂生成過程の解析モデル、構築した数理モデル、化学現象を含む連成現象の解析モデルを統合した連成数値シミュレータを開発した。シミュレータを用いて高レベル放射性廃棄物地層処分を想定した長期予測解析を実施した結果、処分空洞掘削時に多数の亀裂が生成した後、圧力溶解という化学現象が生じた亀裂においては長期に渡り透水性が減少する挙動が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した連成数値シミュレータによって、岩盤内に新たに生成された亀裂が迎える一連の素過程（生成～経年変化）を計算機上ではじめて一気通貫に表現できるようになる。その結果、地層処分や地熱発電といった、初期施工時に新たな亀裂の生成を伴う種々の地下開発事業における岩盤の透水特性を従来より格段に精度よく予測可能となる。これにより、高レベル放射性廃棄物地層処分施設の物質閉じ込め性能や地熱貯留層における地熱流体回収性能等を時系列で定量評価可能となり、地層処分技術の安全性や地熱発電の生産性の更なる向上に貢献し得ると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We attempted to develop a coupled simulator that can solve the entire process from the rock fracture generation to the subsequent reaction-driven permeability change. First, a constitutive model that can predict the ratio of fracture contact area, which is an important parameter in the calculation of geochemical reaction in a fracture, was constructed, and its validity was verified through comparison with results of mechanical tests. Then, a new coupled simulator was developed by integrating above-mentioned constitutive model with a fracturing analysis model and a coupled model including geochemical reactions. Finally, a proposed simulator was applied to long-term prediction assuming the geological disposal of high-level radioactive waste. Predicted results showed that after numerous fractures were generated during excavation, the pressure dissolution occurred within the generated fractures, resulting in a long-term reduction in permeability.

研究分野：岩盤工学、地盤工学、資源工学

キーワード：岩盤内亀裂 透水特性 化学現象 連成数値シミュレータ 高レベル放射性廃棄物地層処分 亀裂の内  
部構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高レベル放射性廃棄物を深地層下の岩盤内に隔離し、岩盤の放射性核種に対する長期閉じ込め性能を保証するためには、岩盤中の透水特性を左右する亀裂の透水性を長期にわたり正確に把握することが必要である。そのためには、地層処分時に想定される以下の熱・水・応力・損傷・化学に関するプロセス (I~II) を一貫して評価可能な数値シミュレータの開発が不可欠である。

- I. 廃棄体の処分空洞を岩盤に掘削する際に岩盤中に新たに亀裂が生成 (岩盤の損傷) する。
- II. 廃棄体を空洞に設置した後、地圧と廃棄体からの熱放出により温度・応力に依存する化学現象 (岩石鉱物の水への溶解と沈殿) が、亀裂の内部・接触部で発生し亀裂の構造・透水性が長期にわたり経時変化する。

特に化学現象については、地層処分環境を模擬した条件下で実施された室内透水試験より、鉱物の溶解・沈殿が亀裂の透水性を僅か数百時間程度でも 1 オーダー以上低下させた事例<sup>1)</sup>が報告されており、長期時間スケールで顕著な影響が予想される。

しかしこれまでに、亀裂の生成過程については実現象に近い精度で予測可能な解析モデルが構築されているが、生成後の亀裂における鉱物溶解・沈殿現象の発生挙動を予測可能な解析モデルは存在せず、I~II のプロセスに対する一貫した統合評価は実現していない。亀裂における鉱物の溶解・沈殿現象は、温度・応力に加え亀裂の内部構造 (亀裂内の接触部の割合など) にも依存することがわかっており、それらをパラメータとした現象論モデルやそのモデルを搭載した連成解析モデル<sup>2)</sup>が提案されてきた。しかし、肝心のパラメータである亀裂の内部構造は実岩盤において、亀裂生成過程における応力・変形特性や破壊モードといった様々な力学的要因に応じて異なり、その予測について有効な数理モデル等は未だ構築されていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、岩盤内の亀裂の生成過程からその後の化学現象 (鉱物溶解・沈殿) による長期透水性変化までを一気通貫に紐解く連成数値シミュレータを開発し、地層処分時における信頼性の高い岩盤の透水特性変化シナリオを提示することである。これを達成すべく本研究では、生成する亀裂の内部構造を予測可能な数理モデルを構築し、亀裂生成解析モデル、化学現象を搭載した熱・水・応力・化学連成解析モデルと統合することで亀裂の生成からその後の化学現象による長期透水性変化までを一気通貫に解く連成数値シミュレータを開発する。これをもって、地層処分時の岩盤の透水特性の長期予測評価を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の 3 つの課題を順に遂行した。

#### (1) 亀裂の生成とその内部構造を予測可能な解析モデルの提案

生成した亀裂の内部構造を予測可能な数理モデルを研究代表者がこれまで培ってきた理論的知見と新たに実施する室内実験 (圧裂試験による亀裂生成とマイクロフォーカス X 線 CT を用いた亀裂内部構造の定量評価) の結果に基づき構築・検証する。次に、構築した数理モデルと亀裂生成過程の高精度解析モデル FDEM (FEM と DEM のハイブリッド解析手法) を統合することで亀裂生成とその内部構造を予測可能な解析モデルを確立する。

#### (2) 亀裂の生成から化学現象に伴う長期透水性変化までを予測可能なシミュレータの構築

(1) で構築した解析モデルを独自に開発済みの熱・水・応力・化学連成解析モデル<sup>2)</sup>に実装した新たな熱・水・応力・損傷・化学連成数値シミュレータを構築する。これにより亀裂生成過程から亀裂内部構造を算出し、それをパラメータとして鉱物溶解・沈殿計算を行うことが可能となる。更には亀裂性岩盤の熱輸送、地下水流動、応力変形、亀裂生成、物質移行、鉱物溶解・沈殿を統合的に記述可能であり、実問題で想定される種々の連成現象に対応可能となる。

#### (3) 開発したシミュレータによる地層処分環境を想定した長期予測解析

地層処分環境を想定した温度・拘束圧・pH 条件下で実施された透水試験に対する再現解析を実施し、岩石亀裂の透水性変化過程に関するシミュレータの妥当性を検証する。最後に、地層処分時に想定される環境条件下で対象岩盤の長期透水性の予測解析を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 亀裂の生成とその内部構造を予測可能な解析モデルの提案

##### 亀裂内部構造を予測するための数理モデルの検討

研究代表者がこれまでの研究で培ってきた理論的な知見をふまえると、一般的に岩石の破壊により生じた亀裂開口幅が大きいほど亀裂内の接触部割合 (着目している亀裂内の接触領域面積と亀裂全断面積の割合) は小さくなると予想される。そこで、本研究では、亀裂開口幅と亀裂接触部割合との関係性を定式化することとした。破壊時の岩石亀裂の開口挙動については、近年、

不連続体解析モデル等により、直接的かつ比較的高精度に予測できるようになってきている(たとえば、Fukuda et al., 2019<sup>3)</sup>)。したがって、本研究で亀裂開口幅と亀裂接触部割合との関係性を定式化できれば、前述した不連続体解析モデル等と組み合わせることで、破壊時の亀裂の開口幅に加え接触部割合も予測計算可能となると考えられる。これらの内容をベースに、亀裂の開口幅と接触部割合の関係性を記述する構成式を提案した。なお、深部岩盤での亀裂の発生モードは引張が支配的であることを考慮し、提案モデルの対象は引張により発生した亀裂のみとした。

#### 提案した数理モデルの検証データの取得

円柱形の花崗岩供試体を複数本作製し、圧裂引張試験を実施した。次に、実験後の供試体の中でも、特に分岐が少なく明瞭に単一亀裂が生成されている供試体をピックアップし(供試体番号 B2a と B3b の二本)、X 線 CT による亀裂の撮影及び画像解析を実施した。具体的には、亀裂をかみ合わせた状態の供試体を京都大学の  $\mu$  フォーカス X 線 CT 装置 (KYOTO-GEO $\mu$ XCT) を用いて撮影した CT 画像のデータ (CT 値) に対し、二値化処理 (CT 値から亀裂部と他の岩石固相部を区別する処理) を施した後、亀裂開口幅・接触領域の三次元分布を計算可能なプログラムコードに入力し、対象亀裂の開口幅 (平均) と接触部割合を評価した。

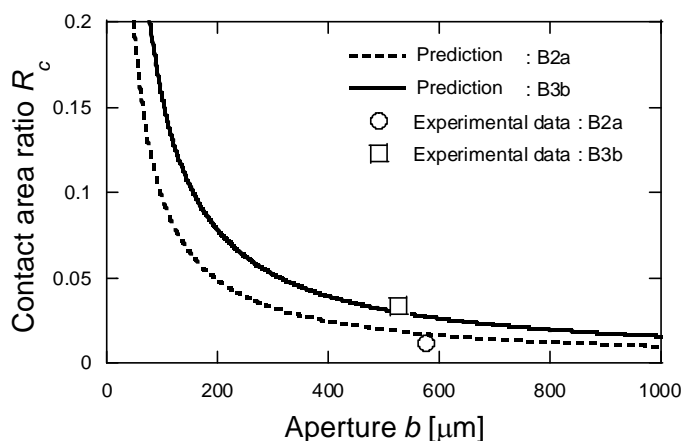


図 1 モデルにより推定した開口幅 - 接触率関係と実験結果との比較 (実線と破線が推定結果、○と □ が実験値、プロットが曲線上に位置する場合、推定値と実験値)

#### 提案した数理モデルの検証

の実験から取得した亀裂内部構造のデータとの比較より提案数理モデルの妥当性を検証した。供試体 B2a と B3b における亀裂の接触部割合 - 開口幅関係について、提案モデルを用いた推定結果と実験結果を併記した図を図 1 に示す。図中では、実線と破線が提案モデルによる推定結果、○と □ が実験値を示しており、プロットが曲線上に位置している場合、推定値と実験値は整合していることとなる。図より、実験結果はいずれも、提案モデルによる推定結果と比較的よく一致している。実際に推定された接触部割合 1.69% (B2a) と 2.97% (B3b) に対し、実験値は 1.16% (B2a) と 3.36% (B3b) であり、どちらの供試体についても推定結果と実験値の差は 1% 以下である。以上より、提案した数理モデルの妥当性を確認することができた。今後は、より多くのデータに対し検証を行い、その一般性を詳細に精査する必要がある。

#### 提案した数理モデルと亀裂生成解析モデルの統合

岩石亀裂生成時の亀裂開口量を破壊力学に基づき直接計算可能な FDEM と提案した数理モデルを連結することで、生成された亀裂の開口幅と接触部割合を算出可能とした。さらに、FDEM の計算精度の更なる向上を目指し、FDEM の構成要素である Cohesive Zone Model に関する改良を行った。具体的には、FDEM で一般的に用いられている Intrinsic Cohesive Zone Model (ICZM) よりも高い精度で破壊前の応力・変形計算を可能とする Extrinsic Cohesive Zone Model (ECZM) を実装した。なお、従来の ECZM-FDEM では、計算領域内に亀裂要素を挿入する過程において煩雑なリメッシュ処理が必要であるため、この煩雑なリメッシュ処理を完全に回避するアルゴリズムを実装した高効率かつ逐次性の低い ECZM-FDEM を開発した。

#### (2) 亀裂の生成から化学現象に伴う長期透水性変化までを予測可能なシミュレータの構築

亀裂生成過程の解析モデル FDEM、亀裂内部構造に関する数理モデル、研究代表が開発済みの岩盤の化学現象を含む連成解析モデル<sup>2)</sup>を統合した新たな連成数値シミュレータを構築した。構築したシミュレータは、岩盤内での亀裂生成・進展 (損傷)、地下水流動、熱や物質の移動、岩石鉱物の空隙水中への溶解・沈殿等の熱・水・応力・損傷・化学に関する諸現象が相互に影響し合う連成場を統合的に記述可能である。本シミュレータで考慮する相互作用を図 2 に示す。図に

示す様に、研究代表者らが以前構築した連成数値シミュレータ<sup>2)</sup>(図2中の白色矢印)では考慮できなかった損傷(亀裂生成・進展)とそれに伴う岩盤の熱・水理・化学特性の変化(黒色矢印)を考慮可能なシミュレータとなっている。特に、亀裂内で生じる経時的な化学現象(鉱物溶解・沈殿)の計算に必要なパラメータ(亀裂内部構造)を亀裂の生成・進展過程から予測するための数理モデルを構築したことにより、図2中のDamage-Chemicalの関係性を考慮可能とした点が特徴である。これにより、岩盤中の亀裂生成・進展からその後長期に渡る化学現象による亀裂の構造・透水変化を一貫して計算可能となる。

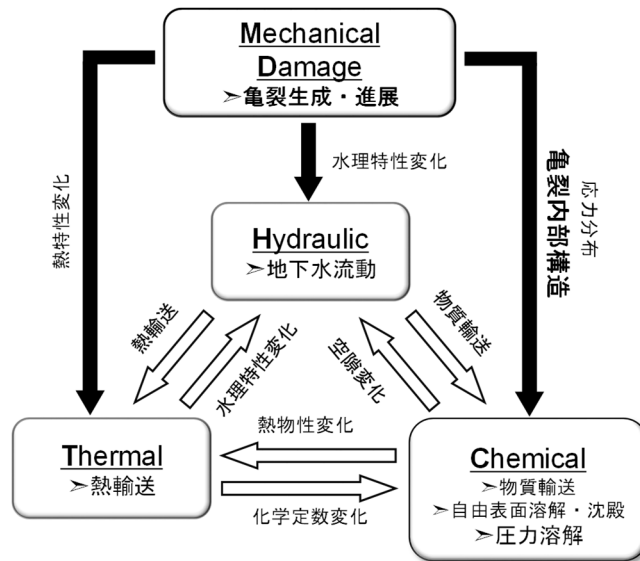


図2 構築したシミュレータで考慮した連成相互作用

ここで考慮する化学現象は、亀裂同士の接触部での鉱物溶解(圧力溶解現象)と、亀裂と岩石実質部(亀裂以外の領域)内の空隙中の自由表面での鉱物溶解・沈殿(自由表面溶解・沈殿現象)である。圧力溶解と自由表面での沈殿は岩盤の透水性を低下させ、反対に自由表面での溶解は透水性を増加させる機構を持つ。

### (3) 開発したシミュレータによる地層処分環境を想定した長期予測解析

高レベル放射性廃棄物の地層処分環境を想定した温度・拘束圧・pH条件下(温度:25-90°C程度、拘束圧:5.0 MPa、透過水 pH:6-11)で実施された、既往の花崗岩亀裂透水試験<sup>4)</sup>の結果について再現解析を行い、岩石亀裂の透水性経時変化過程に関するシミュレータの妥当性を検証した。その結果、シミュレータは、温度・拘束圧・pH条件に依存した圧力溶解等の化学反応に伴う岩石亀裂の透水性経時変化特性を的確に予測できることが確認された。なお、上記の再現解析の成果は、海外ジャーナル *Soils and Foundation* に掲載済みである。

続いて、構築したシミュレータを用いて高レベル放射性廃棄物の地層処分を想定した長期予測解析を実施した。本解析では、まず初めに、廃棄体処分空洞の掘削解析を実施した。掘削解析より得られた空洞周辺の亀裂の分布(損傷度を示す変数  $D$  の分布)を図3に示す。本解析では、 $D > 0$  の領域は亀裂とみなすことができ、 $D$  が1の領域は巨視的な亀裂を表す。図より、掘削時に空洞の天端と底部周辺にかけて多数の亀裂が生成・進展していく様子が確認できる。

次に、掘削解析の結果を引き継ぎ、掘削後廃棄体を処分してから先の $10^2$ 年間を対象とした超長期連成解析を実施した。本解析では、化学現象である圧力溶解の影響を評価するため、圧力溶解を考慮した場合(PS condition)と考慮していない場合(no-PS condition)の2ケースで計算を実施し比較した。廃棄体処分後の各時点(0、1、10、100年)における亀裂の透過率を空洞掘削完了時の透過率で除した正規化透過率(対数表示)の分布を、圧力溶解を考慮した場合と考慮していない場合で比較した(図4)。この正規化透過率は掘削完了時からの亀裂の透過率変化割合を表している(正の値だと透過率増加、負の値だと透過率低下)。圧力溶解を考慮していない場合(図4(a))は、透過率が変化している亀裂はほとんど見られない。一方、圧力溶解を考慮した場合(図4(b))では、局所的にいくつかの亀裂で顕著な透過率低下が確認できる(最大で初期状態の $10^{-4}$ 倍程度)。この透過率低下は、亀裂内で圧力溶解現象が継続的に発生したことにより亀裂が経時的に閉塞していったためである。

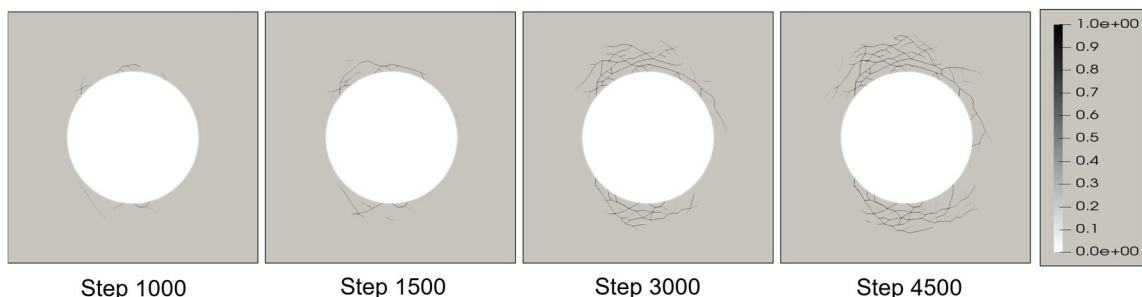


図3 処分空洞掘削時の空洞周辺における亀裂生成・進展過程(損傷変数  $D$  の分布の進展)

#### (4) まとめ

本研究で実施した長期予測解析より得られた、岩盤中における亀裂生成からその先長期に渡る一連の亀裂の構造・透水性変化挙動は、亀裂生成とその後の化学現象による透水性変化過程を個別に切り分け、両者の依存関係を考慮不可能であった既存のシミュレータでは全くとらえることのできない画期的な成果・知見である。本研究で開発したシミュレータによって、従来よりも実際の岩盤の放射性核種閉じ込め性能評価が可能となり、我が国及び世界各国の地層処分技術の安全性・信頼性の更なる向上に寄与するものと考えられる。また、地層処分事業以外にも、地熱発電といった初期施工時に新たな亀裂の生成を伴う種々の地下開発事業にも広く応用可能であると考えられる。

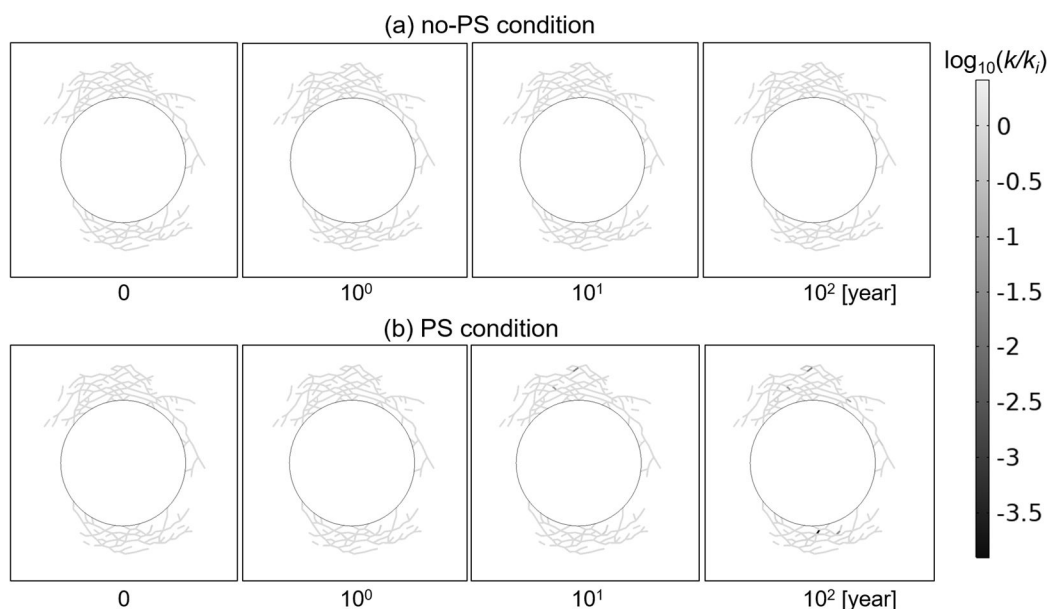


図4 廃棄体設置後 10<sup>2</sup>年間の透過率分布 (a) 圧力溶解考慮無し (b) 圧力溶解考慮有り

#### 参考文献

- 1) Yasuhara, H., Kinoshita, N., Ohfuji, H., Lee, D.S., Nakashima, S. and Kishida, K., 2011, Temporal alteration of fracture permeability in granite under hydrothermal conditions and its interpretation by coupled chemo-mechanical model. *Applied Geochemistry*, **26**, 2074-2088.
- 2) Ogata, S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Cheon, D. S. and Kishida, K., 2018, Modeling of coupled thermal-hydraulic-mechanical-chemical processes for predicting the evolution in permeability and reactive transport behavior within single rock fractures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **107**, 271-281.
- 3) Fukuda, D., Mohammadnejad, M., Liu, H., Dehkhoda, S., Chan, A., Cho, S.H., Min, G.J., Han, H., Kodama, J. and Fujii, Y., 2019, Development of a GPGPU-parallelized hybrid finite-discrete element method for modeling rock fracture. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **43**, 1797-1824.
- 4) 木下尚樹, 安原英明, 2012, 熱・拘束圧環境下における不連続面を有する花崗岩の透水性評価, *Journal of MMIJ*, **128**, 72-78.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ogata Sho, Nishira Eita, Yasuhara Hideaki, Kinoshita Naoki, Inui Toru, Kishida Kiyoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Multi-physics numerical analyses for predicting the alterations in permeability and reactive transport behavior within single rock fractures depending on temperature, stress, and fluid pH conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101207 ~ 101207
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sandf.2022.101207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ogata Sho, Yasuhara Hideaki, Kinoshita Naoki, Inui Toru, Nishira Eita, Kishida Kiyoshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Numerical analyses of coupled thermal-hydraulic-mechanical-chemical processes for estimating permeability change in fractured rock induced by alkaline solution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geomechanics for Energy and the Environment	6. 最初と最後の頁 100372 ~ 100372
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gete.2022.100372	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhang Jintong, Kikumoto Mamoru, Yasuhara Hideaki, Ogata Sho, Kishida Kiyoshi	4. 巻 153
2. 論文標題 Modeling the shearing behavior of discontinuous rock mass incorporating dilation of joint aperture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	6. 最初と最後の頁 105101 ~ 105101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijrmm.2022.105101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 前田 悠太郎, 緒方 奨, 福田 大祐, 乾 徹, 安原 英明, 岸田 潔	4. 巻 71
2. 論文標題 Extrinsic Cohesive Zone Modelに基づくハイブリッドFEM-DEMを用いた岩石の準静的載荷条件下での破壊解析に関する基礎的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 206 ~ 213
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2472/jsms.71.206	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ogata S, Maeda Y, Fukuda D, Yasuhara H, Inui T, Kishida K	4. 巻 861
2. 論文標題 A novel framework for coupled THMC analysis employing explicit rock fracture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 032053 ~ 032053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/861/3/032053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ogata Sho, Yasuhara Hideaki, Kinoshita Naoki, Kumagai Takeru, Inui Toru, Mishima Seiki, Kishida Kiyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Multi-physics simulation for predicting the permeability change of single rock fracture due to geochemical effect depending on pH condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Society Special Publication	6. 最初と最後の頁 71 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgssp.v09.cpeg045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Jintong, Ogata Sho, Kishida Kiyoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Roughness Evaluation for Distinguishing Fresh and Sheared Rock Joint Surfaces with Different Sampling Intervals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics	6. 最初と最後の頁 1-1 ~ 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 西羅瑛太, 緒方斐, 安原英明, 木下尚樹, 乾徹, 岸田潔
2. 発表標題 亀裂表面形状を考慮した透水-反応輸送解析による模擬海中での岩石亀裂の透水性変化予測
3. 学会等名 第49回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾崎友星 , 緒方奨 , 安原英明 , 木下尚樹 , 佐古大地 , 乾徹
2. 発表標題 垂直拘束圧条件下における岩石亀裂面挙動評価手法の検討
3. 学会等名 第49回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 家永凌冨 , 緒方奨 , 前田悠太郎 , 福田大祐 , 乾徹
2. 発表標題 陽解法と陰解法を導入した亀裂性岩石の熱 - 水 - 力学連成解析法の開発と岩石水圧破碎への適用
3. 学会等名 第49回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松岡勇樹 , 菊本統 , 緒方奨 , 岸田潔
2. 発表標題 開口幅と固着の影響を考慮した岩石不連続面せん断モデルー定式化と適用性
3. 学会等名 第49回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田悠太郎 , 緒方奨 , 福田大祐 , 乾徹
2. 発表標題 Extrinsic Cohesive Zone ModelをベースとしたハイブリッドFEM-DEM解析の並列化
3. 学会等名 第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 緒方奨 , 前田悠太郎 , 福田大祐 , 陳友晴
2. 発表標題 陽解法 - 陰解法連成解析法を用いた水圧破碎解析
3. 学会等名 日本地熱学会令和4年学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Ogata , Y. Maeda , D. Fukuda , H. Yasuhara , T. Inui , K. Kishida
2. 発表標題 Coupled THMC Simulation Based on Explicit Fracture Representation Using Extrinsic Cohesive Zone Model
3. 学会等名 56TH US ROCK MECHANICS / GEOMECHANICS SYMPOSIUM (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Ogata
2. 発表標題 Development of coupled thermal-hydraulic-mechanical-chemical (THMC) models for predicting rock permeability change
3. 学会等名 ISRM YOUNG MEMBER'S SEMINAR SERIES (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前原崇志 , 緒方奨 , 乾徹 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 熱 - 流体 - 力学連成数値モデルによる地熱流体流動解析
3. 学会等名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西羅瑛太 , 緒方奨 , 安原英明 , 木下尚樹 , 乾徹 , 岸田潔
2. 発表標題 塩水の影響を考慮した岩石亀裂の透水性変化予測解析
3. 学会等名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田悠太郎 , 緒方奨 , 福田大祐 , 乾徹 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 Extrinsic Cohesive Zone Modelに基づいたハイブリッドFEM-DEMを用いたTHMC連成シミュレータの開発
3. 学会等名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三好航平 , 緒方奨 , 中島伸一郎 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 層理面を有する泥岩の内部構造と圧裂引張試験の破壊形態に関する考察
3. 学会等名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐古大地 , 緒方奨 , 大西史記 , 木下尚樹 , 安原英明
2. 発表標題 高温・高圧環境における塩水を用いた花崗岩不連続面の透水実験
3. 学会等名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 緒方奨
2. 発表標題 亀裂性岩盤の熱 - 水 - 力学 - 化学連成数値シミュレータの開発
3. 学会等名 COMSOL Simulations Week 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sho Ogata
2. 発表標題 Multi-physics simulation for predicting permeability change of rocks through fracturing and temporal sealing based on explicit fracture representation
3. 学会等名 The 15th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation (ICADD15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田悠太郎, 緒方奨, 福田大祐, 安原英明, 乾徹, 岸田潔
2. 発表標題 Extrinsic Cohesive Zone Modelを導入したハイブリッドFEM-DEMによる岩盤空洞掘削解析
3. 学会等名 2021年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 資源・素材2021 (札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三好航平, 緒方奨, 安原英明, 岸田潔
2. 発表標題 泥岩の内部構造と圧裂引張試験の破壊形態の比較
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西羅瑛太 , 緒方奨 , 乾徹 , 安原英明 , 木下尚樹 , 岸田潔
2. 発表標題 温度・応力・化学条件に依存した花崗岩亀裂の透水・物質輸送挙動の予測解析
3. 学会等名 日本材料学会 第70期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田悠太郎 , 緒方奨 , 福田大祐 , 乾徹 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 岩盤不連続面を陽に導入した数値モデルを用いたTHMC連成解析
3. 学会等名 日本材料学会 第70期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前原崇志 , 緒方奨 , 乾徹 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 Dual porosity理論を用いた亀裂性岩盤内の流体流動予測
3. 学会等名 日本材料学会 第70期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田悠太郎 , 緒方奨 , 乾徹 , 福田大祐 , 安原英明 , 岸田潔
2. 発表標題 FDEMを用いた熱・水・応力・化学連成数値シミュレータの構築
3. 学会等名 2021年度土木関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前原崇志 , 緒方奨 , 乾徹
2. 発表標題 貯留槽造成EGSを想定した地熱流体流動解析
3. 学会等名 2021年度土木関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西羅瑛太 , 緒方奨 , 乾徹 , 安原英明
2. 発表標題 温度・応力・化学条件を考慮した花崗岩単一亀裂の透水性変化予測解析
3. 学会等名 2021年度土木関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三好航平 , 安原英明 , 中島伸一郎 , 緒方奨 , 岸田潔
2. 発表標題 泥岩の内部構造が一軸圧縮試験の破壊形態に与える影響
3. 学会等名 2021年度土木関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊澤正悟 , 緒方奨 , 安原英明 , 木下尚樹 , 岸田潔
2. 発表標題 鉱物分布・組成の不均質性を考慮した花崗岩の水圧破碎解析
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三嶋星輝, 緒方奨, 乾徹, 安原英明, 岸田潔, 青柳和平
2. 発表標題 損傷モデルによる珪質泥岩を対象とした坑道掘削解析
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Ogata, H. Yasuhara, N. Kinoshita, T. Inui, S. Mishima and K. Kishida
2. 発表標題 Prediction of permeability evolution in granite under the coupled THMC interactions with pH alteration
3. 学会等名 International Conference on Coupled Processes in Fractured Geological Media (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Muhammad Qarinur, Sho Ogata, Tri Rahayu, Naoki Kinoshita and Hideaki Yasuhara
2. 発表標題 Performance evolution of the Lahendong geothermal field by coupled numerical model
3. 学会等名 International Conference on Coupled Processes in Fractured Geological Media (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三嶋星輝, 乾徹, 緒方奨
2. 発表標題 幌延泥岩を対象とした坑道掘削時の天然バリアにおける力学的挙動の検討
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池本龍平, 伊澤正悟, 緒方奨, 安原英明, 岸田潔
2. 発表標題 岩石のき裂進展シミュレーションによるき裂形状の抽出
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三嶋星輝, 緒方奨, 乾徹
2. 発表標題 幌延泥岩を用いた力学試験における亀裂発生・進展挙動の再現解析
3. 学会等名 2020年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池本龍平, 伊澤正悟, 緒方奨, 安原英明, 岸田潔
2. 発表標題 異なる鉱物分布条件による岩石のき裂進展シミュレーション
3. 学会等名 2020年度土木関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 社会基盤工学講座 地盤工学領域HP  <a href="http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/soil/">http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/soil/</a>          大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 社会基盤工学講座 地盤工学領域HP  <a href="http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/soil/research.html?id=theme">http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/soil/research.html?id=theme</a></p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------