

地殻環境・エネルギー技術の新展開

Toward advanced environmental geomechanics and energy technology

教授 松木 浩二
Professor
Koji Matsuki



准教授
坂口 清敏
Associate Professor
Kiyotoshi Sakaguchi



助教
木崎 彰久
Assistant Professor
Akihisa Kizaki



Fig. 1 Members of our laboratory.



Fig. 9 Extension course for pupil.

Our laboratory aims to develop technologies utilizing the earth crust for the conservation of the global environment in fields of geological disposal of both high-level radioactive waste and carbon dioxide and development of clean energy such as geothermal energy, natural gas and methane hydrate. Major activities in our laboratory in this year are: 1) Estimation of fracture permeability in the general state of stress and scale effect on the shear behavior of a fracture in the direct shear test, 2) Estimation of the elastic properties and simulation of uniaxial tensile fracturing of monomineral polycrystalline rock based on intergranular cracks, 3) Estimation of the poroelastic constants of rock for underground geological storage of carbon dioxide, 4) Development of branch drilling technique using waterjet to excavate methane hydrate under the bottom of sea, 5) Development of low speed self-spin nozzle to remove hard scales precipitated on the wall of casing pipe, 6) Numerical simulation of waterjet excavation of rock materials using SPH method, and 7) Design and development of a shoe-type wearable generator.

研究成果

1) 真三軸圧縮応力下におけるき裂システムの透水性評価(基盤A 代表: 松木、担当: 坂口)

せん断変位が巨視的水の流れ方向と斜交する場合のき裂の透水性を平均間隙、初期間隙の標準偏差、せん断変位ならびにせん断変位と巨視的水のなす角度を用いて評価する式を提案し、一般的な応力条件にあるき裂の透水性を評価する手法を開発した。本方法を用いてある応力条件にある様々な方向のき裂の透水性を評価した結果、透水性が極大になるき裂方向があることならびにせん断変位を受けたき裂の透水性が著しい異方性を示すため、最大の透水性を示すき裂の方向は巨視的水の流れ方向がせん断変位と直交する場合であることを明らかにした。(Fig. 2)

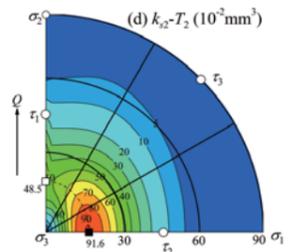


Fig. 2 Contour map of hydraulic transmissivity in an equal-area stereonet of the normal direction of fracture in the principal axes ($\sigma_1 = 29$ MPa, $\sigma_2 = 25$ MPa and $\sigma_3 = 13.5$ MPa).

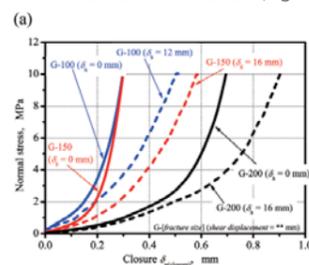


Fig. 3 (a) Effect of fracture size on closure and (b) schematic of the effect of the non-linearity of the closure curve on shear dilation.

2) 三次元粒界構造に基づく単一鉱物多結晶岩石の力学的挙動に関する研究(研究代表: 松木)

単一鉱物多結晶岩石の粒界構造をモデル化する手法を開発し、弾性的性質を評価するとともに、拡張クーロン基準、引張-せん断軟化則および塑性理論における関連流れ則に基づく一軸引張破壊過程のシミュレーションコードを開発した。その結果、粒界のせん断剛性と垂直剛性が異なるほど単一鉱物多結晶岩石の応力分布が均一な場合から離れること、境界条件を変位で与えた場合には境界に貫通する粒界の応力が著しく小さくなること、さらには、粒界破壊に基づく一軸引張破壊過程では、ピーク以後の応力-ひずみ曲線の変曲点付近で破壊面が完成し、破壊面が完成する過程で法線方向が荷重軸から大きく傾いた粒界き裂が引張破壊モードからせん断破壊モードに転換することなどを明らかにした。(Fig. 4)

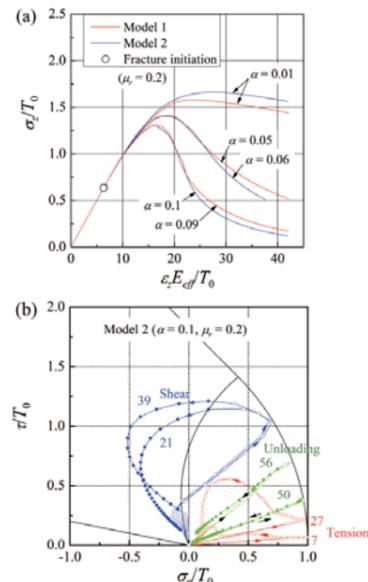


Fig. 4 (a) Stress-strain curves of monomineral polycrystalline rock and (b) stress paths in some intergranular cracks both in uniaxial tension.

3) CO₂地下貯留の高精度モニタリング法のための岩石の多孔質弾性定数に関する実験的研究(基盤B 代表: 松木、担当: 木崎)

地下深部に貯留されたCO₂の流動を高精度傾斜計により高精度でモニタリングする方法を開発することを目的として、多孔質弾性理論における各種弾性定数を実験的に明らかにするために、深度2000m相当の容量を有する間隙水圧と封圧を精度良く制御できる三軸圧縮試験装置を設計・製作した。今後は、開発された装置を用いて、泥岩、砂岩、凝灰岩および花崗岩などについて、排水および非排水の三軸圧縮試験を実施し、多孔質弾性体の弾性定数を実験的に求め、これらの弾性定数の応力依存性を明らかにする予定である。(Fig. 5)

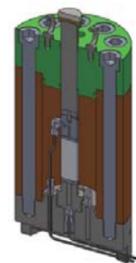


Fig. 5 Triaxial pressure vessel for measuring poroelastic constants of rock.

4) 海底メタンハイドレート層を対象としたウォータージェットによる枝掘り技術の開発(若手B 木崎)

地下岩盤に対するウォータージェットボーリング技術を開発することを目的として、ペーンポンプ型の減速機構を有する自転型ノズルシステムを開発し、その回転特性の評価実験を実施した。ペーンポンプを組み込むことにより、回転速度の抑制機構のない従来型ノズルシステムに比べて回転トルクに対する回転速度の増加率を1/15程度に抑制できることを明らかにした。また、ペーンポンプに取り付けた絞り弁の開度と回転速度の関係も明らかにした。(Fig. 6)

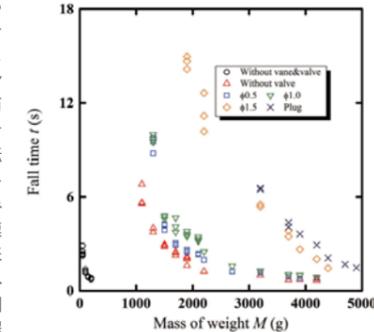


Fig. 6 Relation between rotational torque and rotational speed of nozzle system.

5) 低速自転ノズルによる地熱スケール除去に関する実験的研究(共同研究 代表: 松木、担当: 木崎)

地熱発電所の還元井に用いられているケーシングパイプに付着したスケールをウォータージェットにより除去する技術の開発研究を行った。これまでの研究の結果、高いスケール除去性能が得られた低速型ノズルシステムを高圧水中下において適用可能とするため、本年度は同ノズルシステムの改良を実施した。従来型ノズルシステムでは環境圧力が2 MPa以上では回転できなかったが、ノズルシステムの回転軸部の形状およびシール材に改良を施すことにより水深1,000 mの水圧に相当する環境圧力が10 MPaまでノズルシステムの回転が可能となった。(Fig. 7)

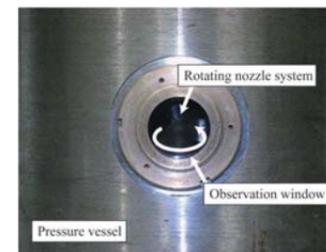


Fig. 7 Measurement of rotational speed of an improved nozzle system.

6) SPH法によるウォータージェット岩石掘削のシミュレーション(研究代表: 坂口)

ウォータージェット岩石掘削の現実的なシミュレーション法の開発を目的とした研究を行った。SPH法のソースコードであるSPHysicsをベースとして、岩石のモデル化、水と岩石の相互作用のモデル化、岩石破壊のモデル化を行い、ウォータージェット掘削に及ぼす岩石の破壊基準の影響を検討した結果、隣接する粒子とのひずみに基づく破壊基準がより現実的な掘削をシミュレーションできることを示した。(Fig. 8)

7) サステナブル社会実現のためのウェアラブル・ジェネレータの開発(挑戦的萌芽 代表: 坂口)

まず、ウェアラブル・ジェネレータ(身に付ける発電機)として可能性のある既存の「発電デバイスと人の動きの組み合わせ」について、文献調査および被験者実験によるデータ収集を行った。その結果、最も実用性のあるウェアラブル・ジェネレータは、歩行運動と水力発電の組み合わせであるとの結論を得た。この結果を受け、靴底に設けた2つのタンク間で、歩行に伴う流体の移動によりペーンポンプを駆動させて発電を行う靴型発電システムを提案し、試作機的设计・製作を行った。

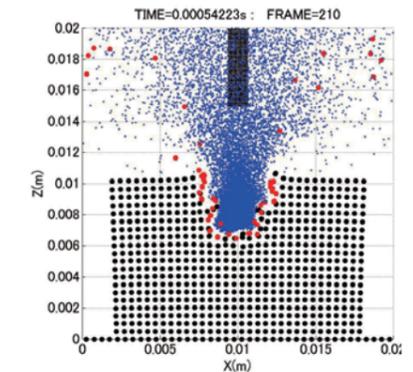


Fig. 8 Result of numerical simulation of waterjet excavation of rock material based on the critical strain criterion.

外部資金の獲得

- 科研費・助成金: 基盤研究B (H19-H21年度、松木)、基盤研究B (H22-H24年度、松木)、挑戦的萌芽研究 (H21-H22年度、坂口)、若手研究B (H21-H22年度、木崎)、基盤研究A (H22-H25年度、坂口分担)、日本鉱業振興会 (H22-、坂口)
- 共同研究等: JAEA、関東天然瓦斯開発(株)、応用地質(株)、ジオテクノス(株)、(株)明間ボーリング

参加国際学会・会議

- EUROCK 2010, Lausanne, Switzerland, (6/15-18), 博3 Ausama発表。
- The 44th US ROCK Symp., Salt Lake City, USA, (6/27-30), 坂口発表。
- G-COE Symp. 2010, 仙台市戦災復興記念館, 仙台, (7/13-16), 博3 Ausama発表。
- 5th Int. Symp. on In-situ Rock Stress, Beijing, China, (8/25-28), 坂口発表。
- 20th Int. Conf. on Water Jetting, Graz, Austria, (10/20-22), 木崎発表。

国内学会における学生の発表

- 資源・素材学会全国大会(修士2件)、資源・素材学会支部大会(修士7件)。

社会貢献

- 木崎が東北大学一産総研連携公開講演会で展示発表を行った。(7/28)
- 坂口が東北大学イノベーションフェアで展示発表を行った。(10/18)

小中学校との連携

- 坂口・木崎が仙台市立上杉山通小学校で5年生(約150名)を対象に前授業を行った。(7/9)
- 坂口がオープンキャンパスで小学生対象の公開講座を行った。(7/28-29)
- 坂口が栗原市立鷹沢小学校の4年生に対して公開授業を行った。(12/14), (Fig. 9)