

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. 0 Members of our laboratory.

Major activities in our laboratory in this year are: 1) Experimental study on poroelastic constants for precisely monitoring geological storage of carbon dioxide, 2) Effects of hydraulic fracturing with super critical carbon dioxide, 3) New fracture theory of rock based on intergranular cracking, 4) Evaluation of fracture permeability under pressure gradient of arbitrary direction in the general state of in-situ stresses, 5) Experimental study on cleaning of inner wall of PVC casing with self-rotating waterjet nozzle system, 6) Degradation of organic compounds with cavitating waterjets, 7) Numerical simulation of waterjet excavation of soft rock using SPH, and 8) Development of the intelligent compact conical-ended borehole overcoring technique and the 3D JAPAN STRESS MAP.

【研究成果】

1) CO₂地下貯留の高精度モニタリング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ための基礎研究として、深度2,000m相当の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開発した。開発した装置を用いて排水および非排水の三軸圧縮試験を実施し、多孔質弾性理論における各種弾性定数(通常のヤング率、通常のポアソン比、非排水ポアソン比、非排水体積弾性率、スケンプトン係数など)を実験的に評価するとともに、これら弾性定数の応力依存性に関する研究を進めている(Fig. 1)。



Fig. 1 Triaxial pressure vessel and experimental system developed for measuring poroelastic constants.

2) 超臨界CO₂による水圧破砕き裂作成に関する研究(担当:木崎)

花崗岩などの低浸透性の岩体に対し、低粘性の超臨界CO₂を用いた水圧破砕によりき裂システムを作成することを目的として、三軸荷重状態にある供試体に対して超臨界CO₂および水を用いて水圧破砕実験を行った。超臨界CO₂を破砕流体として用いた場合、水を用いた場合に比べて水圧破砕き裂の進展方向が複雑になり、かつ多くの分岐き裂が生じやすいこと、ならびに岩石中にリフト面などの構造的な弱面が存在する場合、低粘性の超臨界CO₂では選択的にその弱面に沿ってき裂が進展する傾向があることなどを明らかにした(Fig. 2)。

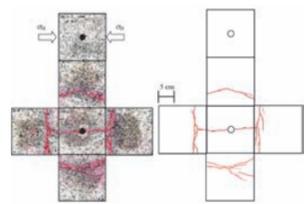


Fig. 2 Development view of the surfaces of a specimen fractured with super critical CO₂.

3) 在先き裂の相互干渉に基づく岩石の新しい破壊理論(挑戦的萌芽 代表:松木)

本研究では多結晶岩石の組織・構造を忠実に模擬したモデルを用いて種々の条件における岩石破壊のメカニズムを研究している。本年度は、地質学的な時間経過とともに境界の粘弾性挙動によりより一般的な応力状態になった岩石が応力解放時の弾性挙動によって損傷するとの仮定に基づき、応力解放時の岩石損傷を評価した。その結果、損傷は法線方向が最大主応力方向に近い粒界でのみ生じDSCAの基礎仮定は成立しないこと、しかしそれにもかかわらず、ある応力領域内では主クラック密度の方向と大きさの比が主応力の方向と大きさの比を与え、深いほどこの応力領域が大きくなることなどを明らかにした(Fig. 3)。

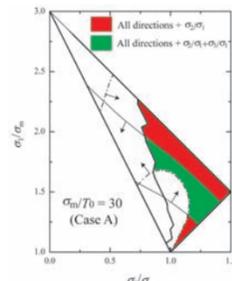


Fig. 3 Stress regions where the directions and ratios of the principal stresses can be estimated from the principal crack densities for the ratio of the mean normal stress to the uniaxial tensile strength of the grain boundaries (σ_m / T_0) of 30.

4) 一般的地圧条件で任意方向の圧力勾配を受けるき裂の透水性評価(担当:松木)

一般的な応力条件で任意方向の圧力勾配を受ける単一き裂の透水性を明らかにするため、深度が500 m、1000 m、2000 mの場合の世界の平均的な応力場にあるき裂が任意方向の圧力勾配を受ける場合の透水性(水理学的間隙の大きさ)を評価した。その結果、いずれの場合でも、平均間隙は主としてき裂のシェアダイレクションに支配され、平均間隙の極大値を示すき裂の法線方向近傍で透水性も大きくなること、さらに最大の透水性を示すき裂の法線方向は τ / σ_n' (τ :せん断応力、 σ_n' :有効垂直応力)が最大のき裂の法線方向から最小主応力方向に6~13°傾いた方向であることなどを明らかにした(Fig. 4)。

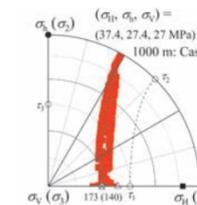


Fig. 4 The normal directions of the fractures having the maximum permeability for an arbitrary direction of the pressure gradient at a depth of 1000 m. The open circle with a cross and triangle indicates the normal directions of the fracture with the maximum permeability and the maximum ratio of the shear stress to the effective normal stress (τ / σ_n'), respectively.

5) 自転型ノズルシステムによる塩ビケーシング内洗浄技術に関する実験的研究(共同研究 代表:松木, 担当:木崎)

水溶性天然ガス井に用いられている塩ビ製ケーシングパイプ内を自転型ノズルシステムを用いて洗浄する技術を開発するための実験的研究を行った。吐出圧力、環境圧力、ノズル軸送り速度、噴射時間およびノズルシステム径等を変化させて、効率の良い洗浄作業が可能な条件を明らかにするとともに、様々な条件の下で最適なスタンドオフディスタンスを得るために必要なセントラライザの設計指針を示した(Fig. 5)。



Fig. 5 Photo of experiment on cleaning of PVC casing using self-rotating waterjet nozzle system.

6) キャビテーションジェットによる有機物の分解に関する研究(担当:木崎)

水中ウォータージェットにより生ずるキャビテーションを用いた有機汚染物質の無害化技術の開発を目的として、熱分解性およびOHラジカルとの反応性が異なるカルボン酸類(ギ酸、シュウ酸、酢酸)を用い、ウォータージェットおよび超音波振動子による分解実験を行った。その結果、両方法における分解速度および分解効率を明らかにするとともに、ウォータージェットによる分解方法は、超音波振動子と同程度のエネルギー効率の下で大容量の分解を実現できることを明らかにした。

7) 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(担当:坂口)

ウォータージェットによる岩石掘削のシミュレーションコードの開発を目的とした研究の内、湿潤状態にある軟岩の掘削を対象とした研究を行った。湿潤状態にある軟岩をモデル化

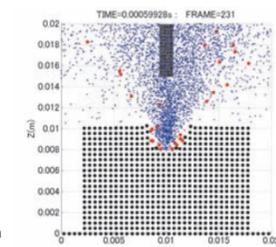


Fig. 6 An example of numerical simulation of waterjet excavation of soft rock.

するために、岩石の運動に対する運動方程式に間隙水圧の項を導入した。結果の詳細な検討が必要であるが、湿潤軟岩の掘削をシミュレートできている感触を得た。なお、課題であった破壊後の粒子の挙動は、掘削表面からのジェットの浸透に対応した間隙水圧を導入することで改善できることも明らかにした(Fig.6)。

8) インテリジェント円錐孔底ひずみ法の開発と3D JAPAN STRESS MAP(基盤研究B 代表:坂口)

深部地圧計測法である下向き円錐孔底ひずみ法の実用化を目的として、従来の下向き円錐孔底ひずみ法の測定方法・測定機器の改良を行った。具体的には、孔内用のデータロガーのコンパクト化と高性能化を実現した。さらに、窒素ガスを用いない孔底洗浄方法を提案し、実用性・有効性の検証を進めている。また、3D JAPAN STRESS MAPに関連して、東日本大震災前後における地圧の変化を明らかにするため、測定実績の豊富な釜石鉱山における原位置測定を計画している。

【外部資金の獲得】

- 科研費・助成金: 基盤研究B (H22-H24年度、松木)、挑戦的萌芽研究 (H23年度、松木)、基盤研究B (H23-H25年度、坂口)、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: 関東天然瓦斯開発(株)、応用地質(株)、(株)明間ポーリング

【参加国際学会・会議】

- 8th Int. Workshop on WATER DYNAMICS, Sendai, (3/9-10), 修2 田中発表。
- The 45th US ROCK Symp., San Francisco, USA, (6/26-29), Ausama発表。
- FMGM 2011, Berlin, Germany, (9/12-16), 坂口発表。
- ISRM 2011, Beijing, China, (10/16-21), 松木、坂口、木崎、Ausama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1件、4年1件)
- 資源・素材学会支部大会 (修士5件)

【社会貢献等】

- 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。(7/27-28)
- 坂口・木崎が気仙沼高校生に対し模擬授業・実験を行った。(気仙沼地域教育支援プロジェクト) (11/26) (Fig.7)



Fig. 7 Trial lecture and experiment for students of Kesennuma high school.