



准教授 坂口 清敏
Associate Professor
Kiyotoshi Sakaguchi

地殻環境・エネルギー技術の新展開

Toward Advanced Environmental Geomechanics and Energy Technology

2023年に当研究室で行った主な研究は以下のとおりである。

- 1) 不均質・異方性岩盤を対象とした高精度地圧測定を可能にする周載荷感度試験法の開発
- 2) 軟岩体の水没鉛直井に適用可能な高精度地圧計測法の開発 — 原位置適用試験 —
- 3) 安山岩のマクロ破壊靱性とマイクロ破壊靱性
- 4) 鉱物の粒内と粒界の破壊靱性の実測に基づくき裂進展シミュレーション
- 5) 超臨界 CO₂ の圧入による岩石き裂のすべり挙動

In 2023, our research activities were as follow:

- 1) Development of sensitivity calibration test under a confining pressure that enables high-precision crust stress measurement for heterogeneous and anisotropic rocks
- 2) Development of high-precision rock stress measurement technique applicable to submerged vertical borehole in soft rock mass - In-situ application test -
- 3) Macro fracture toughness and Micro fracture toughness of andesite
- 4) Simulation of crack propagation based on measurement of intragranular and intergranular fracture toughness of minerals
- 5) Slip behavior of a rock crack due to injection of supercritical CO₂

不均質・異方性岩盤を対象とした高精度地殻応力測定を可能にする周載荷感度試験法の開発

不均質性や異方性を有する岩盤に適用可能な高精度地圧計測を実現できる周載荷感度試験法を開発した。本試験法は、オーバーコアリング法である円錐孔壁ひずみ法（開発中）を対象としたが、その他のオーバーコアリング法にも適用が可能である。本試験法の目的は、ひずみ測定点の位置と方向ごとに弾性定数を校正することにある。そのために、オーバーコアリング後のストレインセル付きの回収コアに対して繰返しの周載荷試験を行う。この試験で得られた見掛け弾性係数および数値シミュレーションで得られる見掛け単位弾性係数（形状等の境界条件を補正する係数）からヤング率補正係数を求める。本方法を堆積軟岩のブロックで実施した室内三軸圧縮試験、二軸荷下での室内オーバーコアリング試験の結果に適用したところ、適用前と比較して格段に応力測定精度が向上することを確認した (Fig. 1, Fig. 2)。

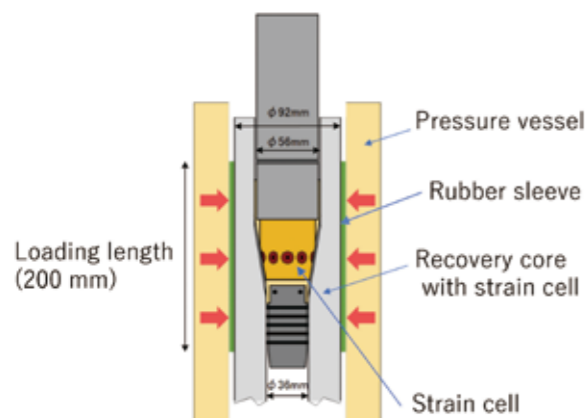


Fig. 1 Schematic cross-section diagram of sensitivity calibration test under confining pressure

Development of sensitivity calibration test under a confining pressure that enables high-precision crust stress measurement for heterogeneous and anisotropic rocks

A sensitivity calibration test under a confining pressure has been developed that can realize high-precision crust stress measurement applicable to rock masses with heterogeneity and anisotropy. This test method targets the conical borehole-wall strain method (currently under development), which is an overcoring method, but it can also be applied to other overcoring methods. The purpose of this test method is to calibrate the elastic constants for each position and direction of strain measurement points. To this end, repeated confining pressure loading tests are performed on recovered cores with strain cells after overcoring. The Young's modulus correction coefficient is determined from the apparent elastic modulus obtained in this test and the apparent unit elastic modulus (coefficient for correcting boundary conditions such as shape) obtained by numerical simulation. When this method was applied to the results of a laboratory triaxial compression test conducted on a block of sedimentary

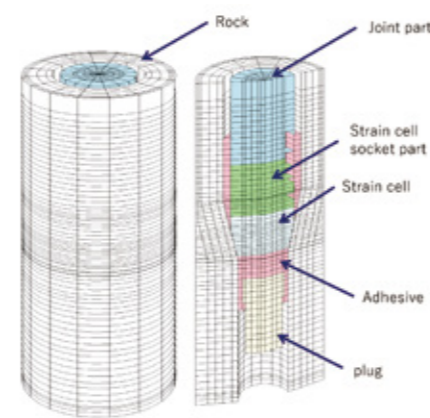


Fig. 2 3D-FEM model of sensitivity calibration test under confining pressure

軟岩体の水没鉛直井に適用可能な地圧計測法の開発 — 原位置適用試験 —

開発中の円錐孔壁ひずみ法による原位置試験を行った。測定地点は堆積軟岩体であり、測定は地表下 100 m 程度に掘削された坑道の床面から鉛直下向きに削孔された深度約 35 m のボアホールで行った (Fig. 3, Fig. 4)。なお、本原位置試験においては前述の周載荷感度試験も実施した。円錐孔壁ひずみ法の実用性を確認するとともに、実用上の幾つかの課題を抽出した。次年度は、開発当初の想定適用ボアホール深度 100 m の地点での測定を実施する。

超臨界 CO₂ 圧入による地熱貯留層岩石き裂のすべり挙動

超臨界 CO₂ 地熱発電の実現のために、超臨界 CO₂ による岩石の間隙流体圧誘起すべり実験を行い、すべり挙動の特徴の検討、圧入媒体による挙動の比較を行った。今年度は当該地熱発電の対象岩と想定される安山岩を対象とした。比較対象として実施した水圧入の場合と比較して、超臨界 CO₂ の圧入によって誘発されるき裂すべりでは、せん断変位およびすべり速度が小さくなることが明らかとなった。これは、多孔質岩である安山岩では、き裂近傍に流体が拡散されることによるゆっくりすべりが発生することが原因と考えた。

鉱物の粒内と粒界の破壊靱性の実測に基づくき裂進展シミュレーション

岩石の破壊メカニズムの解明を目的として、岩石の構成鉱物（石英、カリ長石、斜長石、黒雲母）の個々の破壊靱性試験および2つの鉱物の粒界の破壊靱性試験を行い、得られたマイクロパラメータを用いてき裂進展の数値シミュレーションを実施した。本年度は安山岩を対象とした。



Fig. 3 In-situ test

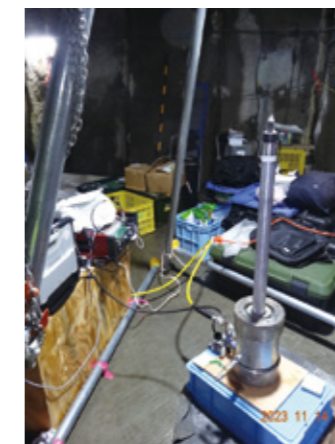


Fig. 4 Sensitivity calibration test under confining pressure at in-situ

soft rock and a laboratory overcoring test under biaxial loading, it was confirmed that the stress measurement accuracy significantly improved compared to prior to the application (Figs. 1 and 2).

Development of crust stress measurement technique applicable to submerged vertical borehole in soft rock mass - In-situ application test -

In-situ tests were conducted using the conical borehole-wall strain method, which is currently under development. The measurement point was a sedimentary soft rock body, and the measurements were performed in a borehole approximately 35 m deep, which was drilled vertically downward from the floor of a tunnel that was excavated approximately 100 m below the surface (Figs. 3 and 4). In addition, in this in-situ test, the sensitivity calibration test under the confining pressure mentioned above was also conducted. The practicality of the conical borehole-wall strain method was confirmed.

Slip behavior of a rock crack due to injection of supercritical CO₂

We targeted andesite, which is assumed to be the target rock for geothermal power generation. It was revealed that the shear displacement and slip rate were smaller in the crack slip induced by injecting supercritical CO₂ than water. The reason for this was thought to be that in andesite, which is a porous rock, slow sliding occurs due to the diffusion of fluid near the cracks.

Simulation of crack propagation based on actual measurement of intragranular and intergranular fracture toughness of minerals

Individual fracture toughness tests on the minerals that composed andesite grain boundary fracture toughness tests of two minerals were conducted for the purpose of elucidating the fracture mechanism of rocks. A numerical simulation of crack propagation was realized using the obtained microparameters.

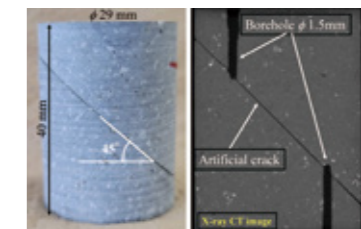


Fig. 5 Specimen

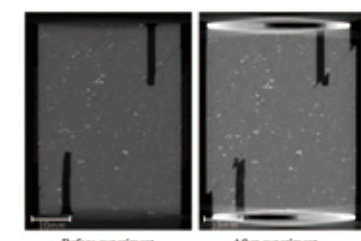


Fig. 6 X-ray CT image of specimen of before and after experiment