



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

2021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) 堆積軟岩体の水没鉛直井における高精度地圧計測法の開発 (Fig.1、2)
- 2) 花崗岩のマクロ破壊靱性とマイクロ破壊靱性 (Fig.3、4)
- 3) 大きな地殻変動に伴う鉛直地圧の時空間変動
- 4) 封圧下高温延性岩石の水圧破砕き裂の生成過程に関する研究 (Fig.5、6)
- 5) 線形弾性論に基づく応力測定法の測定精度に及ぼす非線形性の影響
- 6) 水没鉛直井の深度数百mの孔底における高感度多点ひずみ測定に関する研究

In 2021, our research activities are as follows:

- 1) Development of high-precision rock stress measurement method for submerged vertical borehole in soft rock mass
- 2) Macro- and microfracture toughness of granite
- 3) Spatiotemporal fluctuation of vertical rock stress due to large crustal movement
- 4) Formation process of hydraulic fracturing of high-temperature ductile rock under confining pressure
- 5) Effect of nonlinearity on the accuracy of the rock stress measurement method based on linear elastic theory
- 6) Study on high-sensitivity multipoint strain measurement at the bottom of a submerged vertical borehole at a depth of several hundred meters

堆積軟岩体の水没鉛直井における 高精度地圧計測法の開発

堆積軟岩体に対して、地表から削孔された鉛直井で地圧測定が可能新たな高精度地圧測定法の開発を行った。本研究では、信頼性が高く、実績の多い応力解放法を採用することとし、円錐孔壁ひずみ法を提案した。まず、想定される測定環境から、原位置測定に際して考慮すべき種々の課題を抽出した。さらに、数値解析により、提案する測定方法の理論測定精度を検証し、従来の円錐孔底ひずみ法 (CCBO法) よりも高い理論測定精度を有することを明らかにした。また、測定に使用する 24 素子ひずみセンサ (Fig.1) を接着剤で円錐孔壁面に貼付する方法を採用し、接着剤を選定した上で、水没した円錐孔壁面に接着できる新たな接着方法を提案した。提案した接着方法で貼付したひずみセンサのひずみ測定感度への影響を評価するため

Development of high-precision rock stress measurement method for submerged vertical borehole in soft rock mass

We have developed a high-precision rock stress measurement method that can measure rock stress in vertical borehole drilled from the ground surface for sedimentary soft rock masses. We decided to adopt the stress relief method, which is highly reliable and has a proven record; and proposed a conical borehole wall strain method. Various issues to be considered for in-situ measurement were extracted from the assumed measurement environment. We verified the theoretical measurement accuracy of the proposed measurement method through numeric analysis, confirming that our method had greater theoretical measurement accuracy than the conventional CCBO method. We adopted a method of attaching a 24-element strain sensor (Fig.1) to the wall surface of a conical borehole with an adhesive. After selecting an adhesive, we proposed a new bonding

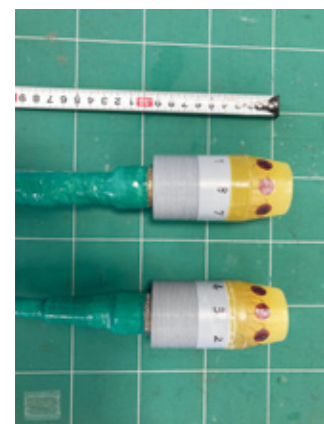


Fig.1 24-elements strain sensor

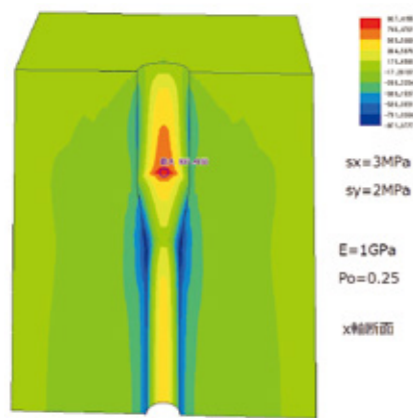


Fig.2 3D-FEM simulation of laboratory experiment

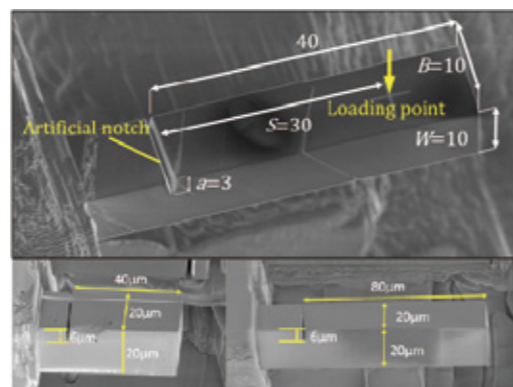


Fig.3 Three scale specimens

に、所定の孔壁形状を作成した一辺 300mm の硬岩ブロックにひずみセンサを接着し載荷実験を行った (Fig.2)。その結果、十分なひずみ測定感度であることを確認した。

花崗岩のマクロ破壊靱性とマイクロ破壊靱性

微細な鉱物粒子を持つ不均質体である岩石の破壊現象を、その微視的な観点を含めて評価・解明することを目的として、稲田花崗岩を構成する鉱物 (石英、カリ長石、斜長石、黒雲母) を対象にしたマイクロ破壊靱性 (MFT) 試験を実施した。MFT の寸法依存性についても検討するため、カンチレバー型の供試体を用いて、3 種類の寸法の供試体 (10 μm × 10 μm × 50 μm、20 μm × 20 μm × 50 μm、20 μm × 20 μm × 100 μm) で試験を行った (Fig.3、4)。各鉱物の MFT は、その値の大きいほうから石英、斜長石、カリ長石、黒雲母の順であった。それらは SCB 試験で評価した岩石のマクロな破壊靱性よりも小さく、石英 (72%)、斜長石 (53%)、カリ長石 (50%)、黒雲母 (9.2%) であった。MFT 自身には顕著な寸法依存性は示されなかった。マクロな破壊靱性との差は、鉱物の粒界による影響や、花崗岩では組成割合が大きく MFT も大きい石英が全体の破壊靱性を支配している可能性などが示唆された。

封圧下高温延性岩石の水圧破砕き裂の 生成過程に関する研究

水圧破砕き裂がボアホール水圧上昇過程のどの段階で発生、進展するのかを実験的に明らかにした。封圧下の高温延性岩石の場合、水圧破砕き裂の発生は、ブレークダウンと呼ばれる現象直後に発生し進展するのではなく、水圧上昇過程において順次進展し、き裂ネットワークを形成していくことが確認された (Fig.5、6)。

受賞

- 1) 坂口清敏：環境科学研究科長教育賞

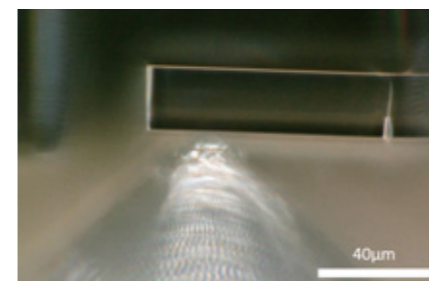


Fig.4 Specimen immediately after the experiment

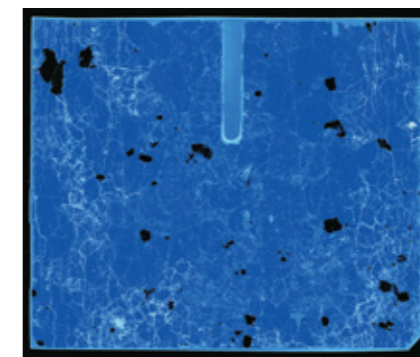


Fig.5 Fracture formation after breakdown pressure

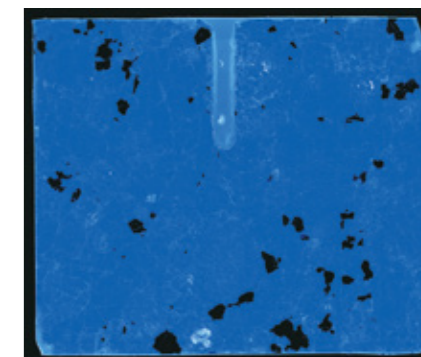


Fig.6 Fracture formation at about half the breakdown pressure

method that can adhere to the wall surface of a submerged conical borehole. In a laboratory experiment (Fig.2), we confirmed sufficient strain measurement sensitivity.

Macro and microfracture toughness of granite

We conducted microfracture toughness (MFT) tests on the minerals that compose Inada granite (quartz, K-feldspar, plagioclase, and biotite) to evaluate and elucidating the fracture phenomenon of rock, which is an inhomogeneous body with fine mineral particles. To evaluate the scale dependence of the MFT, we conducted MFT tests with three cantilevered specimens (10 μm × 10 μm × 50 μm, 20 μm × 20 μm × 50 μm, 20 μm × 20 μm × 100 μm) (Fig.3,4). The MFT of mineral was in the order of quartz, plagioclase, K-feldspar, and biotite from the largest value. Those MFT were lesser than the macroscopic fracture toughness of the rocks evaluated in the SCB test: quartz (72%), plagioclase (53%), K-feldspar (50%), and biotite (9.2%). We found no significant scale dependence for the MFT itself. The difference from the macrofracture toughness was suggested by the influence of mineral grain boundaries and the possibility that quartz, which has a large composition ratio and a large MFT in granite, controls the overall fracture toughness.

Formation process of hydraulic fracturing of high-temperature ductile rock under confining pressure

We experimentally clarified at what stage hydraulic fracture occurs and progresses as the hydraulic pressure of a borehole increases. In high-temperature ductile rock under confining pressure, we confirmed that hydraulic fracture does not occur immediately after breakdown, but gradually progresses during the process of increasing hydraulic pressure to form a crack network (Fig.5, 6).

Awards

- 1) Kiyotoshi Sakaguchi received Graduate School of Environmental Studies Education Award