

地殻環境・エネルギー技術の新展開

Toward Advanced Environmental Geomechanics and Energy Technology



准教授 坂口 清敏
Associate Professor
Kiyotoshi Sakaguchi

2019年に当研究室で行った主な研究は以下の通りである。なお、詳細説明は2つの研究に絞る。

- 1) 高温環境下における岩石き裂の間隙水圧誘起すべり特性
- 2) Super Critical / Superhot 環境下における水圧破碎のメカニズム (Fig.1 ~ Fig.4)
- 3) 超臨界地熱環境下における水圧破碎き裂生成に及ぼす岩石の異方性の影響 (Figs.5, 6)
- 4) 軟弱岩盤における鉛直ボアホールを利用した地圧測定法の開発

In 2019, our research activities were as follows:

- 1) Injection-induced slip characteristics of a rock fracture under high temperatures. (Fig.1)
- 2) The hydraulic-fracturing mechanism under supercritical/superhot conditions. (Figs.2-5)
- 3) Effect of rock anisotropy on hydro-fracturing crack formation under supercritical geothermal environment.
- 4) Development of the rock stress measurement method using the vertical borehole in soft rock mass.

Supercritical / Superhot 環境下における水圧破碎のメカニズム

超臨界地熱開発のための人工地熱貯留層の造成を目的に、400°C以上の温度条件の真三軸応力下において水圧破碎実験を行った。水圧破碎実験で形成されたき裂の形状や分布、透水性、X線CT観察、弾性波速度の測定、薄片観察を行い、水圧破碎のメカニズムの解明に取り組んだ。主に以下の成果が得られた。

- 1) 破碎水圧に温度、応力場の型は影響しない。
- 2) 形成されるき裂は3次元的に広がる複雑かつ等方的なネットワーク型き裂であり、その透水性は地熱貯留層として十分な 10^{-5} m^2 程度になり得る。
- 3) Supercritical / Superhot 環境における水圧破碎現象は、既存き裂に低粘度の流体が浸透することで生じるき裂の進展が主メカニズムである。
- 4) 破碎水圧はグリフィスの破壊基準から推定できる。
- 5) 水圧破碎は超臨界地熱開発のための人工地熱貯留層の造成に有用な手法である。

The hydraulic-fracturing mechanism under /supercritical/superhot conditions.

Hydraulic fracturing experiments under true triaxial stress at a temperature of 400°C or higher were carried out to create an artificial geothermal reservoir for supercritical geothermal development. To clarify the hydraulic-fracturing mechanism, the shape and distribution of cracks formed in the hydraulic fracturing experiment, water permeability, X-ray CT observation, elastic wave velocity measurement, and thin section observation were performed. The following results were obtained.

- 1) Temperature and stress type do not affect the breakdown pressure of the hydraulic fracturing.
- 2) Complex, isotropic network-type cracks that distributed three-dimensionally are formed, and their permeability can equal approximately 10^{-5} m^2 , which is sufficient for a geothermal reservoir.
- 3) Hydraulic fracturing in the /supercritical/superhot environment is mainly caused by crack propagation that results from the penetration of low-viscosity fluid into existing cracks.
- 4) The breakdown pressure can be estimated using Griffith's fracture criterion.
- 5) Hydraulic fracturing is a useful technique for creating artificial geothermal reservoirs for supercritical geothermal development.



Fig.1 Optical microphotographs of a thin section using UV light. (Before fracturing)

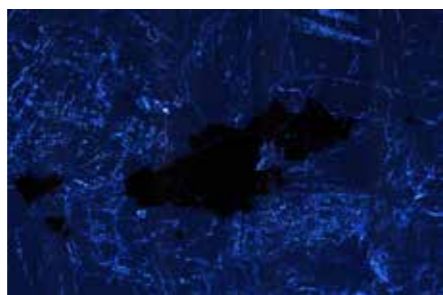


Fig.2 Enlarged image of part of Fig.1



Fig.3 Optical microphotographs of a thin section using UV light. (After fracturing)

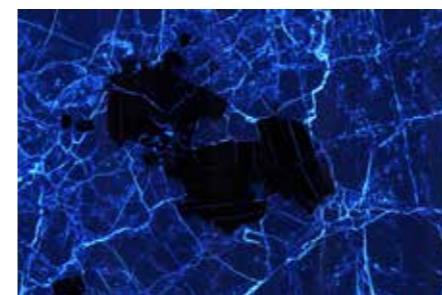


Fig.4 Enlarged image of part of Fig.3

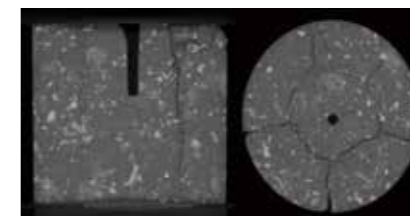


Fig.5 X-ray CT images of after fracturing in case of parallel to the rift plane.

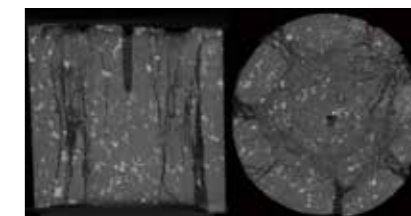


Fig.6 X-ray CT images of after fracturing in case of perpendicular to the rift plane.

超臨界地熱環境下における水圧破碎生成に及ぼす岩石の異方性の影響

超臨界地熱環境下での水圧破碎き裂の形成に対する岩石異方性の影響を明らかにするための最も適切な岩石サンプルとして大島花崗岩(細粒)を選定し、表題に関する実験を行った。以下に主な結果をまとめる。

- 1) リフト面に平行な方向から採取した岩石試料に水圧破碎を生じさせるために必要なボアホール水圧は、リフト面に対して垂直方向に採取した岩石試料よりも低い。
- 2) リフト面に垂直な方向から採取した岩石試料に対して形成された水圧破碎き裂は、リフト面に平行な方向から採取したものに比べて、より広範囲に分布する。
- 3) 水圧破碎き裂の生成は、異方性を支配する因子の一つである先在き裂の配向に影響される。
- 4) 水圧破碎用のボアホールをリフト面に垂直な方向に掘削して流体を注入することにより、熱交換面と成り得るより多くの流路(き裂ネットワーク)を生成できる可能性がある。

受賞

- 1) 坂口清敏：岩の力学連合会論文賞
- 2) 後藤遼太 (M2)：資源・素材学会東北支部春季大会最優秀発表賞

研究費

- 1) JSPS 科研費 17H03504 (基盤研究 (B)・分担)
- 2) JSPS 科研費 K18K190390 (挑戦的研究 (萌芽)・分担)
- 3) JSPS 国際共同研究事業 (ドイツとの国際共同研究・分担)
- 4) NEDO 受託研究 (超臨界地熱発電技術研究開発・分担)

Effects of rock anisotropy on hydro-fracturing crack formation under a supercritical geothermal environment.

Ohshima (fine) granite was chosen as the most suitable rock sample for observing rock anisotropy's effect on hydro-fracturing crack formation under supercritical conditions. The following results were obtained.

- 1) Borehole pressure required for breakdown to occur in rock sample taken from rift plane direction, which possess higher anisotropy, is lower than rock sample drilled out from the perpendicular direction to rift plane.
- 2) The fracture formation in rock sample taken from the perpendicular direction to rift plane, which possess lower anisotropy, was far more distributed and spread out, compared to the sample taken out from the rift plane direction.
- 3) Hydraulic fracture initiation is influenced by the orientation of pre-existing cracks, one of the factors governing anisotropy.
- 4) By drilling the borehole perpendicular to the rift plane and injecting fluid, additional fluid channels (crack network) may be created.

Awards

- 1) Kiyotoshi Sakaguchi received the Best Paper Award from the Japanese Society for Rock Mechanics.
- 2) Ryota Goto (M2) received the Outstanding Presentation Awards at the Spring Meeting of the MMIJ Tohoku branch.

Grants

- 1) JSPS KAKENHI 17H03504 (Scientific Research B//Co-Investigator)
- 2) JSPS KAKENHI K18K190390 (Challenging Research/Co-Investigator)
- 3) JSPS-LEAD with DFG//Co-investigator
- 4) NEDO Research and Development of Supercritical Geothermal Power-Generation Technology//Co-Investigator

Ryota Goto (M2) received the Outstanding Presentation Awards.