

## 三軸破壊による花崗岩の空隙率・浸透率リアルタイム測定

## In-situ measurement of porosity-permeability of granite during triaxial deformation experiments

濱崎 翔平<sup>1\*</sup>, 片山 郁夫<sup>1</sup>, 岡崎 啓史<sup>1</sup>Shohei Hamasaki<sup>1\*</sup>, Ikuo Katayama<sup>1</sup>, Keishi Okazaki<sup>1</sup><sup>1</sup> 広島大学地球惑星システム学<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

高温岩体発電は従来の地熱発電と比べて、人工的に地熱貯留層を造成するという点で異なる。このシステムは天然の熱水や蒸気を使用しないため、従来の地熱発電の課題であった温泉の枯渇という問題が存在しない。また地熱貯留層の造成は水圧破碎とよばれ、地下深部の基盤岩に対する高圧水の注入に伴う破壊によって行われる。この破壊による基盤岩の空隙率と流体の通りやすさの変化は地熱貯留層の定量的な評価につながる重要な要素となる。本研究では花崗岩の三軸圧縮破壊による空隙率・浸透率変化をリアルタイムで測定し、花崗岩の破壊に至るまでの空隙率・浸透率変化に対する、差応力や破壊強度の検証を行った。

実験試料は大陸を構成する花崗岩から緻密で細粒な庵治花崗岩を選定し、三軸圧縮試験により破壊実験を行った。破壊前後の試料の空隙率・浸透率及び三軸圧縮破壊は広島大学設置の容器内変形透水試験機を用いた。封圧は10 MPa から60 MPa まで10 MPa おきに設定し、圧縮を行った。破壊した試料は東北大学設置のX線CT装置により内部構造の解析を行った。三軸圧縮実験で得られた力学データから応力-歪み曲線とモール円を作成し、破壊条件の解析を行った。

破壊前の花崗岩試料は非常に緻密であるため、封圧10 MPa における空隙率は0.6-0.8%、浸透率は $3.0 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ と見積もられた。また空隙率・浸透率は封圧の増加に従い減少し、封圧60 MPa では空隙率0.5-0.7%、浸透率 $1.0 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ に減少した。三軸圧縮試験により破壊された試料は、空隙率・浸透率ともに破壊前の試料と比較して系統的に上昇しており、封圧10 MPa における空隙率は4.0%、浸透率は $2.0 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ への増加がみられた。三軸圧縮過程でのリアルタイム測定では、空隙率・浸透率変化は4つの段階、(1)空隙率・浸透率がわずかに減少する段階、(2)空隙率・浸透率変化が定常になる段階、(3)空隙率・浸透率が徐々に増加する段階、(4)破壊により空隙率・浸透率が破壊後に急激に上昇するに分けられた。(1)の段階では試料の圧縮により花崗岩試料中に存在していたマイクロクラックが閉じたため減少し、(2)の段階では試料は弾性変形の間、一定値になりやすいと考えられる。(3)の段階では試料が弾性変形から脆性破壊に進行し、新たなマイクロクラックの生成、ならびにクラックの伝播が生じるため、空隙率・浸透率が増加したと考えられ、(4)の段階では破壊発生時に空隙率と浸透率が急激に増加したと考えられる。これに円盤状クラックモデルを適用すると空隙率・浸透率変化はクラックの開口幅に加え、クラック半径やクラック間距離といったパラメータの影響がみられた。モール円およびX線CT像の解析から、封圧20 MPa の低封圧では主応力軸に対して破壊角が24度の方向になるのに対し、封圧50 MPa の高封圧では40度の方向にみられた。これは低封圧ではグリフィスの破壊条件が卓越するのに対し、高封圧ではクーロンの破壊条件が卓越することで説明が可能である。

破壊後の庵治花崗岩の空隙率と浸透率を雄勝高温岩体発電場に適用して地熱貯留層の流体の滞留時間を計算した結果、3200時間と見積もられた。この値は実際のトレーサーテストで得られた滞留時間と比較して1桁以上長く見積もられた。その原因としては、本研究の圧縮破壊実験が室温かつ乾燥した条件で行なっているため、実際の高温岩体を再現できていない可能性がある。今後は水圧破碎の再現や高温下での破壊実験と空隙率・浸透率測定を行う予定である。

キーワード: 空隙率, 浸透率, 花崗岩, 三軸破壊

Keywords: porosity, permeability, granite, triaxial compression