

三軸圧縮試験における庵治花崗岩のひずみ挙動及び変形特性

Strain Behavior and Deformation Property of Aji Granite under Triaxial Compression Tests

*澤山 和貴¹、片山 郁夫²*Kazuki Sawayama¹, Ikuo Katayama²

1.九州大学大学院工学府地球資源システム工学専攻、2.広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻

1.Department of Earth Resources Engineering, Kyushu Univ., 2.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima Univ.

岩石の変形により破壊に至るプロセスは、地震の発生メカニズムや地殻の強度と関連することから、これまでも多くの研究が行われてきた。近年では、これらの研究成果は地下資源の生産率を向上させる水圧破砕法にも応用されている。このうち、地下の岩盤を水圧破砕させることで人工的に地熱資源を造成し、これを発電に用いる高温岩体発電は、日本の消費電力の約半分をまかなえるポテンシャル（天然資源を含む）を持つと推定される。しかし、この発電方法には、フラクチャの造成や誘発地震などの点で課題があり、基礎研究は未だ不十分である。本研究は、三軸圧縮試験によって、花崗岩のひずみ挙動及び変形特性に対して封圧と間隙水圧が及ぼす効果を調べ、高温岩体発電を実現するうえでの基礎データを構築することを目的とした。三軸圧縮試験は、容器内変形透水試験機を用い、封圧10–40MPa、間隙水圧10–30MPa、ひずみ速度 $1.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ の条件下で変形中のひずみ測定を行った。なお、間隙水圧はシリンジポンプによって試験中も一定に保っており、その体積変化から試料中の空隙体積変化も測定した。試料は細粒な庵治花崗岩（直径20mm、長さ40mm）を用い、これに2軸のひずみゲージ（10mm×2枚）を接着し、データロガーによって変形中のひずみを測定した。得られた応力とひずみの関係から応力-ひずみ曲線を作成し、その解析によって、最大応力、ダイラタンシー開始応力（マイクロクラックが生成することにより体積膨張が始まる応力）、ヤング率、ポアソン比、非弾性体積ひずみを求めた。その結果、最大応力ならびにダイラタンシー開始応力は、封圧が高いほど増加し、間隙水圧が高いほど減少する傾向が確認された。弾性定数であるヤング率は、封圧の上昇にともなって増加し、間隙水圧の上昇にともなって減少する傾向がみられたが、ポアソン比は封圧や間隙水圧によってほとんど変化しなかった。体積膨張（ダイラタンシー）の程度を示す非弾性体積ひずみは、乾燥状態の試験では封圧が低いほど促進されるのに対し、間隙水圧下の試験では有効圧が低い（間隙水圧が高い）ほど抑制される傾向がみられた。前者は、封圧によって周方向の膨張が抑制されていると解釈できるが、後者は正味の側圧（有効圧）が高いほど周方向の膨張が促進されており、前者と矛盾する。この傾向は、有効圧では説明できないプロセスが存在することを意味しており、間隙水が試料内部の応力集中を緩和させている可能性を示唆している。間隙水による応力集中の緩和によりダイラタンシーが抑制され、間隙水圧が高いほどその効果が大きいと考えられる。また、いずれの間隙水圧下の試験でも、最大応力の96–97%の応力を超えるとシリンジポンプによって試料内に注入している水の体積が急増する傾向が確認された。これは、このしきい値を境に試料内のマイクロクラックが連結しマクロな流路となるようなネットワークが形成されたことを意味している。また、注入水体積の増加は最大応力付近で止まり、その後、巨視的な破壊を迎えてもほとんど注入水体積が変化しないことが確認された。これは、最大応力時にはすでに巨視的な破壊後と同様の体積の空隙が形成されており、空隙の体積はマイクロクラックの局在化や断層の形成によらず、最大応力後ほとんど変化しない可能性があることを示している。これらの結果をもとに原位置での水圧破砕試験を考えると、間隙水圧が高いほどダイラタンシーが抑制されることから、間隙水圧が高くないように遅い注入速度で水圧破砕を行った方がより効率的に地下にフラクチャを造成できることが予想される。また、最大応力の96–97%の応力において試料内の注入水体積が急増することから、空隙体積の急増した後、すなわち、注入速度一定ではそれによって間隙水圧の低下した後破壊が起こる可能性が考えられる。

キーワード：応力-ひずみ曲線、ダイラタンシー、間隙水圧、三軸圧縮試験、花崗岩、高温岩体発電

Keywords: Stress-strain relationship, Dilatancy, Pore pressure, Triaxial compression test, Granite, Hot Dry Rock power generation

