

稲田花崗岩の破碎実験による空隙率・浸透率変化 高温岩体発電の予備実験として  
Porosity and permeability changes during fracture experiments of Inada granite as a pilot study of Hot Dry Rock geotherm

片山 郁夫<sup>1\*</sup>, 山口歌織<sup>1</sup>  
KATAYAMA, Ikuo<sup>1\*</sup>, Kaori Yamaguchi<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

地球内部に蓄えられている熱エネルギーを利用する地熱発電は、半永久的に資源が枯渇しない点や二酸化炭素の排出量が少ない点など、今後のエネルギー資源としてのポテンシャルが非常に高い。しかしながら、従来の地熱発電では、天然に局在する地熱貯留層（地下流体）を利用するため、開発可能な地域が限定されるという問題がある。それに対し、高温岩体発電は人工的に水を地下深部に注入し、水圧破碎により貯留層を造成するものであり、利用可能地域は格段に広がることを期待される。高温岩体発電では、水圧破碎による基盤岩の空隙率と流体の移動速度が重要な要素となるため、本研究では花崗岩を用いた破碎実験による空隙率・浸透率の変化を検証した。

実験試料は代表的な基盤岩である稲田花崗岩を用い、一軸圧縮試験により破壊実験を行った。水理特性については広島大学設置の圧力容器内変形透水試験機を用い、破壊前後の試料の空隙率・浸透率を測定した。本実験システムでは、圧力容器内の油を加圧することにより、最大 500MPa までの圧力発生が可能である。高温岩体発電では通常 1000m 以深に注入井を掘ることから、空隙率・浸透率への圧力効果も検証した。なお、圧力媒体として油を用いるため、実験は室温で行った（今後はガス圧試験機を用いた高温高压下での実験を予定している）。空隙率の測定では気相置換法により岩石中の空隙体積を求め、浸透率の測定では定差圧流量法により破壊前後の岩石試料の浸透率を求めた。どちらの測定でも窒素を間隙流体として用い、浸透率についてはクリンケンベルグ効果により固有浸透率に補正した。

破壊前の花崗岩試料は非常に緻密であり、封圧 10MPa における空隙率は 0.8-0.9 %、浸透率は  $1.0 \times 10^{-18} \text{m}^2$  と見積もられた。この値は、先行研究で報告されている稲田花崗岩の水理特性とほぼ同程度のものである（竹田ほか 2000）。空隙率・浸透率は圧力の増加に従い減少し、封圧 100MPa では空隙率 0.5 %、浸透率  $5.0 \times 10^{-20} \text{m}^2$  に達した。これは、封圧の増加により岩石試料中の微小クラックが閉じたことと粒界の幅が減少したためと考えられる。一軸圧縮試験により破壊された試料では、空隙率・浸透率は系統的に上昇し、封圧 10MPa では空隙率 7.0 %、浸透率  $2.0 \times 10^{-15} \text{m}^2$  への増加がみられた。また、高封圧下でも空隙率ならびに浸透率の増加は維持され、封圧 100MPa で空隙率 4.0 %、浸透率  $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$  を示した。

これら破壊後の稲田花崗岩の水理特性を用いて、地下 1000m 条件での流体速度を計算した。雄勝地域での高温岩体テストサイトでは、流体の注入圧が 16MPa であることから、流体の移動速度は  $3.3 \times 10^{-5} \text{m/s}$  と見積もられる。雄勝地域での注入井と生産井の距離はほぼ 80m であるため、今回の実験結果からは流体の滞留時間が約 670 時間と予想される。しかしながら、雄勝サイトではトレーサーテストにより流体滞留時間が約 70 時間と報告されており（電中研報告書 2003）、我々の実験結果とは約 1 桁の違いがみられる。その原因としては、室内での岩石破壊実験が水圧破壊ではなく一軸圧縮破壊であるため、破碎形状が異なることなどが挙げられる。今後は、より現実的な環境を実験室で再現し、高温岩体発電の発展に寄与することができれば幸いである。

キーワード: 空隙率, 浸透率, 花崗岩, 破碎実験, 高温岩体発電

Keywords: porosity, permeability, granite, fracture experiments, Hot Dry Rock geothermal system