

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 理 学 )	氏名	末吉 和公
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論文題目			
<p>Experimental investigation on macroscopic fracturing and fault reactivation of granite under pore fluid pressure</p> <p>(間隙水圧下における花崗岩の巨視的破壊および断層再活性に関する実験的研究)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	片山 郁夫	
審査委員	教 授	安東 淳一	
審査委員	教 授	井上 徹	
審査委員	教 授	柴田 知之	
審査委員	教 授	須田 直樹	
審査委員	教 授	藪田 ひかる	
審査委員	研究員	北村 真奈美	(産業技術総合研究所)
〔論文審査の要旨〕			
<p>地熱発電をはじめとする地下資源開発において、岩体における流体移動を理解することは重要である。特に地熱開発の分野では、近年のエネルギー需要の増加に伴い、涵養型地熱発電システムの実用が期待されており、運用に向けた注水試験が行われている。しかし、岩石への注水によって誘発地震の発生が懸念されており、そのリスク評価が極めて重要と認識されている。そこで本論文では、間隙水圧下にある岩石の破壊実験および断層を含む岩石への注水実験を行った結果を解析し、巨視的破壊の予兆現象や注水によって起こりうる誘発地震の特徴を調べることで資源開発におけるリスク評価に寄与する要因を議論した。</p> <p>岩石の変形過程は亀裂の生成・伸展に伴い発生する微小破壊音 (AE) の発生から推測されており、室内実験によって岩石の破壊前には低周波数高振幅の AE が発生することが示唆されている。このような破壊前の予兆現象も微小亀裂に影響される可能性がある。そこで本論文では、未加熱の稲田花崗岩と熱処理によって既存亀裂を生成させた稲田花崗岩について三軸圧縮変形試験を行い、圧縮変形中に測定された AE の周波数特性を解析し、微小亀裂の存在による破壊の予兆現象への影響を調べた。载荷中に発生した AE は異なる周波数帯をもつ圧電素子を用いて解析した結果、いずれの花崗岩試料においても変形の進行に伴って低い周波数が卓越した AE が増加することが明らかとなった。このことから、資源開発の対象となるエリアで低周波成分の微動が発生すると大規模な地震現象の切迫度が高まるなど、岩体の安全性評価への活用が期待される。</p> <p>地熱フィールドにおける原位置での注水試験から、注水速度の変化によって地震が誘発される可能性が示唆されている。しかし、資源開発の現場において安全の指標となるような「注水速度と誘発地震の大きさ」の関係については未だ不明瞭なままである。そこで本論文では、断層を模したプレカット試料及びプレカット試料について試料底面からプレカット面へ到達するボアホールを導入した試料を用いて注水試験を行い、注水によって発生するすべりの</p>			

メカニズム及び大きさと注水速度との関係について調べた。弾性波速度トモグラフィーやモール・クーロン則に基づく断層沿いの水圧の解析結果から、断層内の間隙水圧上昇速度がある閾値を超える場合はスティックスリップが発生することが明らかとなった。また、断層への水の供給速度は断層近傍岩石の水理拡散係数によって支配されるため、近傍岩石に間隙水圧が存在する場合、すべり発生後であっても繰り返しスティックスリップが発生する可能性があることが分かった。このことは、資源開発の現場において注水を停止したとしても、残留する間隙水圧やその拡散速度によっては誘発地震が発生することを示しており、誘発地震の発生は注水体積に依存するという従来の安全基準を再考する必要性を指摘している。

これらの研究成果は、室内実験をベースとした基礎研究であるが、地熱発電などでの資源開発の現場に有益な情報や示唆を多数含み、再生可能エネルギーの発展に少なからず寄与する成果と言える。以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

Sueyoshi, K., Yokoyama, T. & Katayama, I. (2020) Experimental Measurement of the Transport Flow Path Aperture in Thermally Cracked Granite and the Relationship between Pore Structure and Permeability. *Geofluids*, 2020. doi.org/10.1155/2020/8818293

参考論文

Sueyoshi, K., Kitamura, M., Lei, X. & Katayama, I. (2021) Identification of Fracturing Behavior in Thermally Cracked Granite Using the Frequency Characteristics of Acoustic Emission. *Earth, Planets and Space*, doi.org/10.21203/rs.3.rs-1126551/v1 (under review)