

弾性波計測に基づく超臨界地熱環境における水圧破碎現象の特性評価

Characterization of hydraulic fracturing phenomena in supercritical geothermal environments revealed by elastic wave measurements

*三浦 崇宏¹、渡邊 則昭¹、坂口 清敏¹、後藤 遼太、山根 宏太、駒井 武¹、陳 友晴²、石橋 琢也³、土屋 範芳¹

*Miura Takahiro¹, Noriaki Watanabe¹, Kiyotoshi Sakaguchi¹, Ryota Goto, Kota Yamane, Takeshi Komai¹, Youqing CHEN², Takuya ISHIBASHI³, Noriyoshi Tsuchiya¹

1. 東北大学環境科学研究科、2. 京都大学エネルギー科学研究科、3. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所

1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. Graduate School of Energy Science, Kyoto University, 3. AIST, FREA

水の臨界温度（374°C）以上の超臨界地熱資源は、新しい地熱資源として期待されている[Watanabe et al., 2017, Nat. Geosci.]. 超臨界地熱資源が存在する温度・深度条件下の花崗岩質岩石は、圧縮に対しては延性的であると考えられるものの、引張に対しては脆性的でありうるため、水圧破碎により貯留層が形成されることが示唆されている。実際著者らは、450°C・封圧三軸応力（最大主応力 σ_1 : 90MPa, 中間主応力 σ_2 / 最小主応力 σ_3 : 40 MPa）下におかれた σ_1 方向にボアホールを有する円柱状花崗岩に対する水圧破碎実験を実施し、低温の水圧破碎よりも小さい水圧（ σ_2 および σ_3 付近）で三次元等方的な網状き裂が形成され、浸透率が1000倍程度増加することを見出している[Watanabe et al., 2017, Geophys. Res. Lett.]. この先行研究を受けて著者らは現在、新たに開発した高温・真三軸応力下水圧破碎実験システムを用いて、超臨界地熱環境下での水圧破碎現象の解明に取り組んでいる。

著者らはこれまでに、鉛直下向きにボアホールを有する立方体状の花崗岩に対して400°Cまたは450°C・真三軸応力（ σ_1 : 40MPa, σ_2 : 15 MPa, σ_3 : 5 MPa）下で水圧破碎実験を実施し、実験中あるいは実験前後にAE（Acoustic Emission）やP波速度の計測を行ってきた。その結果、温度や応力場によらず実験後の岩石のP波速度は等方的に減少しており、先行研究において見出された網状き裂の形成は主に、岩石内部で等方的に分布する既存微視き裂が低粘度の水により加圧されることに起因することが示された。さらに実験中のAE計測の結果、AE発生時のピークは、ボアホール水圧が最大値（ブレイクダウン水圧）に達した時点だけでなく、ブレイクダウン後にも存在していた。実験中の岩石の変形挙動や実験後の薄片観察結果を考慮すると、1つ目のピークは水圧破碎の発生によるものであるが、2つ目のピークは水圧破碎により強度が低下した岩石の応力場に応じた小規模なせん断変形や破壊の発生によることが示唆され、このブレイクダウン後の岩石挙動も最終的なき裂パターンや透水性の変化に影響を及ぼす可能性が新たに見出された。

・ Watanabe, N. et al. Potentially exploitable supercritical geothermal resources in the ductile crust. Nat. Geosci. 10(2), 140–144 (2017).

・ Watanabe, N., Egawa, M., Sakaguchi, K., Ishibashi, T. & Tsuchiya, N. Hydrofracturing and permeability enhancement in granite from subcritical/brittle to supercritical/ductile conditions. Geophys. Res. Lett. 44, 5468–5475 (2017).

キーワード：地熱、超臨界、真三軸

Keywords: geothermal, supercritical, true-triaxial