

# CCS/CCUS における大学の研究動向に関する事例調査

武川順一\*

## 1. 研究の目的

近年の地球環境問題への関心の高まりから、二酸化炭素を地中に貯留する技術である carbon capture and storage (CCS) に対する関心が高まっている。その際に重要となるのが、圧入された流体と貯留岩との岩石力学的・流体力学的な相互作用である。地下に流体を圧入することで、地下の応力状態が変化し、それが誘発地震を引き起こす可能性がある。また、水圧破碎を用いて貯留岩の透水特性改善を図る場合、どのように亀裂が進展するかを予測することが重要となる。

本研究では、個別要素法を用いた数値シミュレーションにより、岩石内の水圧破碎亀裂伝播挙動を確認する。その際、温度や拘束圧・流体粘性が亀裂進展挙動にどのように影響するかを調べた。

## 2. 研究の方法

本研究では、数値解析手法として個別要素法 (Cundall and Strack, 1979; Potyondy and Cundall, 2004) を採用した。粒子間はバネで繋がれており、bond を考慮することで引張力も生じるモデルとなっている。そこに流体流動の影響 (Shimizu et al., 2011; Nagaso et al., 2019) と温度変化による影響 (Zhou et al., 2022) を取り入れることで、深部地熱貯留層造成に関するシミュレーションを実施した。

Bond は一定のせん断応力、引張応力が作用するとそれ以上の荷重を負担しないような設定となっており、これにより岩盤内に生じる破壊を表現している。また、破壊が生じた bond 間は荷重を受け持たないだけでなく、開口幅も大きくなる。そのため、圧入された流体は破壊の生じた bond 間を選択的に流動するようになる。これにより、水圧破碎亀裂が岩盤内を進展していく様子をシミュレーションすることが可能となる。

## 3. 得られた成果

数値実験モデルサイズは  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  とし、モデル中央に流体を圧入する坑井を設けた。坑井の直径は  $1 \text{ cm}$  とした。上下・左右方向の壁に力を加えることでモデルに拘束圧を作用させる。

坑井から圧入する流体の粘性を  $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  としたときの結果を基準とし、そこから  $0.75 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,  $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,  $2 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,  $10 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  と変化させた。周辺岩盤の温度は  $100^\circ\text{C}$ 、拘束圧は上下方向・左右方向ともに  $10 \text{ MPa}$  で固定した。

図 1 に、亀裂が坑井から  $2 \text{ cm}$  進展したときの亀裂開口幅分布を示す。坑井に近い領域においては、各流体粘性における亀裂開口幅は基準モデルと比較して大きく増加していることがわかる。増加の割合は流体粘性の増加に比例している。一方、亀裂先端部では基準モデルの結果と大きな違いは見られないことがわかった。

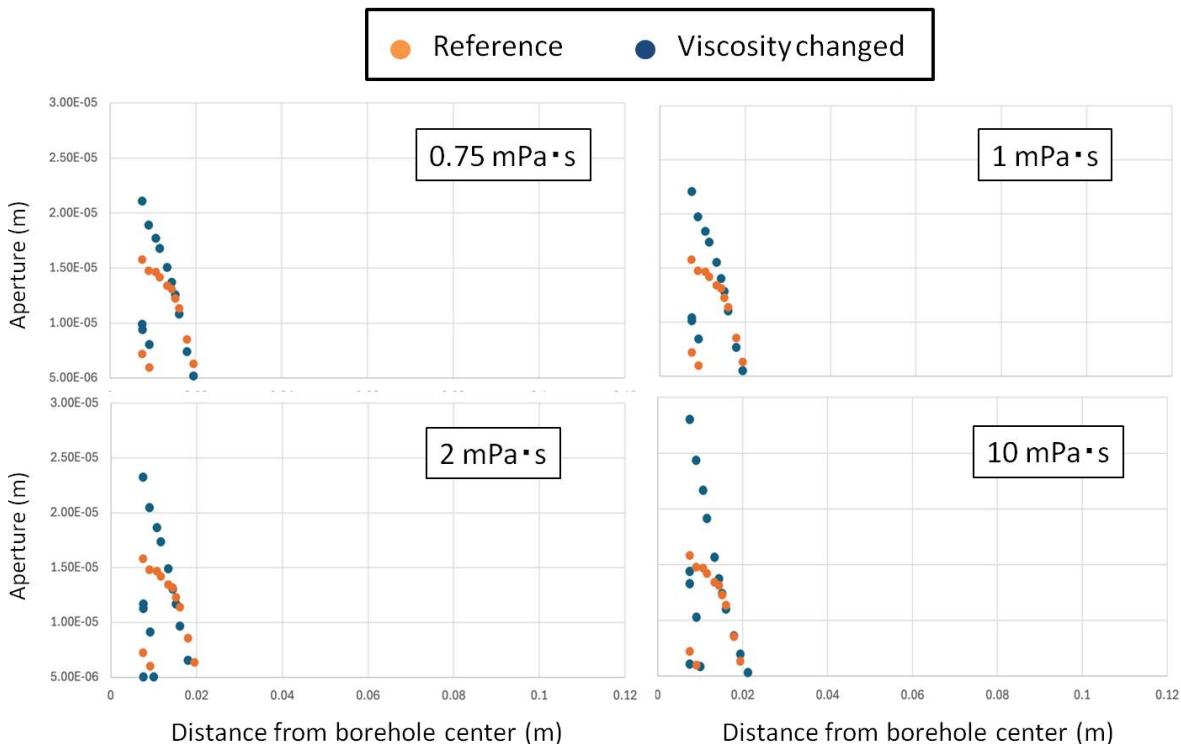


図 3.2 亀裂が坑井から 2 cm 進展したときの亀裂開口幅分布。橙色のプロット (●) が基準モデルに対する結果を、藍色のプロット (●) が粘性を変化させたときの結果を示す。左上 : 0.75 mPa·s, 右上 : 1 mPa·s, 左下 : 2 mPa·s, 右下 : 10 mPa·s の結果。縦軸が亀裂開口幅を、横軸が坑井からの距離を表す。

#### 4. 謝 辞

本研究を実施するにあたり、株式会社地球科学総合研究所より多大なご支援をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 発 表 論 文

Konta, R., Takekawa, J., Effect of Fluid Viscosity Change on Fracture Growth in Hydraulic Fracturing, 2024 International Geomechanics Conference – The Role of Geomechanics for Sustainability and Energy Efficiency-, 2024.

#### 参 考 文 献

- 1) Cundall, P.A., Strack, O.D.L., (1979): Discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique*, **29**, 1, 47-65.
- 2) Nagaso, M., Mikada, H., Takekawa, J., (2019): The role of rock strength heterogeneities in complex hydraulic fracture formation - Numerical simulation approach for the comparison to the effects of brittleness -, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **172**, 572-587.
- 3) Potyondy, D.O., Cundall, P.A., (2004): A bonded-particle model for rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **41**, 8, 1329-1364.
- 4) Shimizu, H., Murata, S., Ishida, T., (2011): The distinct element analysis for hydraulic fracturing in hard rock considering fluid viscosity and particle size distribution, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **48**, 5, 712-727.
- 5) Zhou, Z. Mikada, H., Takekawa, J., Xu, S., (2022): Numerical simulation of hydraulic fracturing in enhanced geothermal systems considering thermal stress cracks, *Pure and Applied Geophysics*, **179**, 1775-1804.