

CCS プロジェクトの安全性向上を目指した研究

研究代表者 古井 健二
(創造理工学部 環境資源工学科 教授)

1. 研究課題

2050 年のカーボンニュートラル実現へ向けて、民間主導の CCS (Carbon Capture and Storage) 事業化の検討が進んでいる。CCS 事業では、様々な面から事業リスクの検討を行う必要があり、中でも CO_2 地中貯留における漏洩や微小振動への対応・安全対策が技術課題となっている。

本研究では、断層安定性解析のための広域ジオメカニクスシミュレータを開発し、流体地下圧入・貯留にともなう微小振動リスクの定量的評価手法を確立することで、国内 CCS プロジェクトの安全性向上と、操業地域の住民の理解増進に貢献することを目的とする。

2. 主な研究成果

2.1 広域ジオメカニクスシミュレータの高度化

今年度の研究では、ジオメカニクスシミュレータへ地盤モデルの初期化機能を実装し、地層の応力・孔隙圧勾配から、初期状態における岩盤のひずみを計算し、断層の臨界応力状態を設定できるモジュールを開発した。また、六面体だけでなく四面体要素を扱えるようにコードを改良し、複数断層を効率良くモデル化可能とした。さらに、油層シミュレーションの孔隙圧時間変化データや段階的な荷重条件の読み込み機能を追加した。図 1 に CO_2 圧入にともなう断層面のせん断方向の変位とクーロン応力変化の計算例を示す。

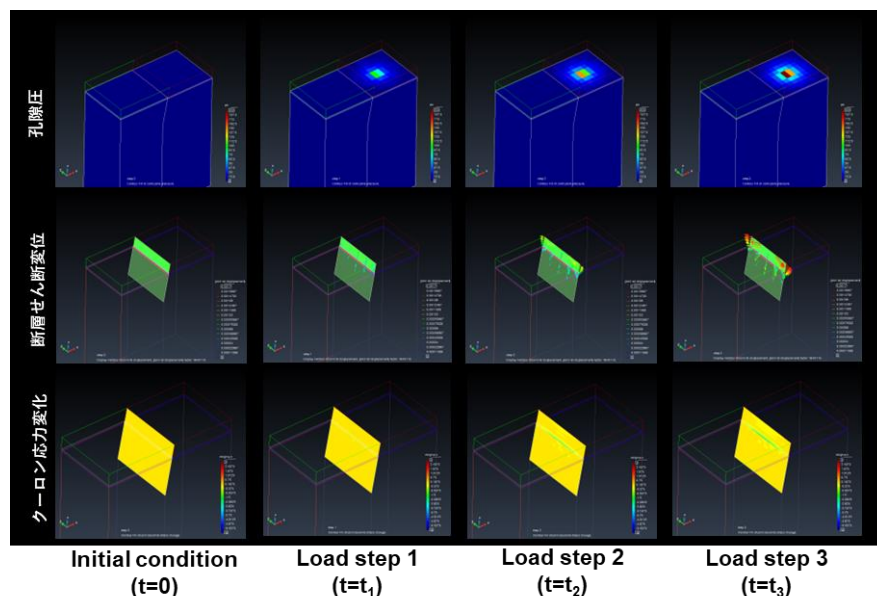


図 1 CO_2 圧入にともなう断層せん断方向変位とクーロン応力変化の計算例

前述の種々の機能をジオメカニクスシミュレータへ実装することにより、応力・孔隙圧勾配や岩盤強度の不均質性を考慮することが可能となり、一部の流体地下圧入プロジェクトで報告されているような、流体の圧入層よりも深い地層で規模の大きな地震モーメントが発生する傾向を、シミュレーションで再現することができた（図2）。

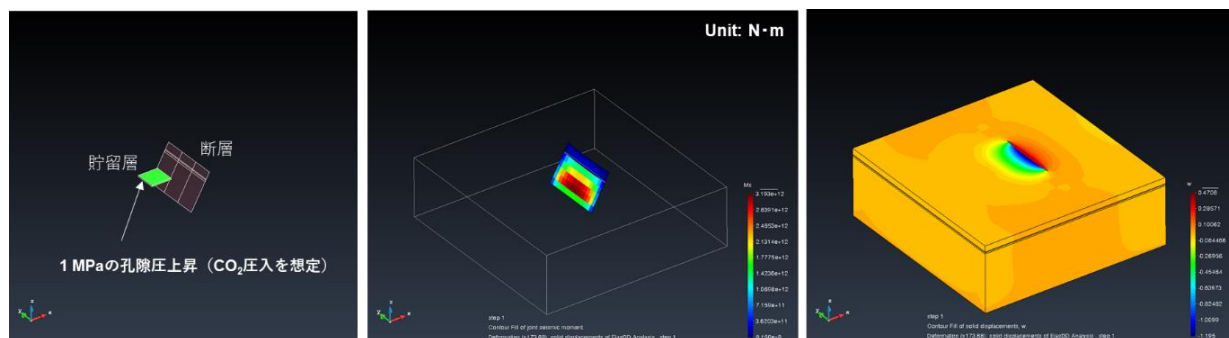


図2 貯留層と断層の位置関係（左）と断層滑り後の地震モーメント分布（中央）および地表での鉛直方向変位（右）

2.2 未確認断層の微小振動リスク評価

流体の地下圧入・貯留に伴う振動は、未確認の断層で発生する例も報告されており、断層把握の不確実性が、モニタリング計画や地震リスク評価における課題となっている。今年度の研究では、ジョイント要素を導入した3次元有限要素法断層滑り解析モデルを用いて、未確認断層に対する微小振動リスク評価を行った。

未確認断層の幾何学的情報は不明であることから、対象領域の岩盤の安定性を評価するために地層頑健性指標というパラメータを考案した。地表頑健性指標は、岩盤の主応力からモールの応力円を作成し、クーロン破壊基準線との距離から算出した。また、断層が滑りを生じた際に発生する地震モーメントの値は、周辺岩盤のひずみと関係があると仮定し、未確認断層において発生する地震の規模を表す指標として弾性ひずみエネルギー密度を用いた。図3に地層頑健性指標と弾性ひずみエネルギー密度の計算例を示す。

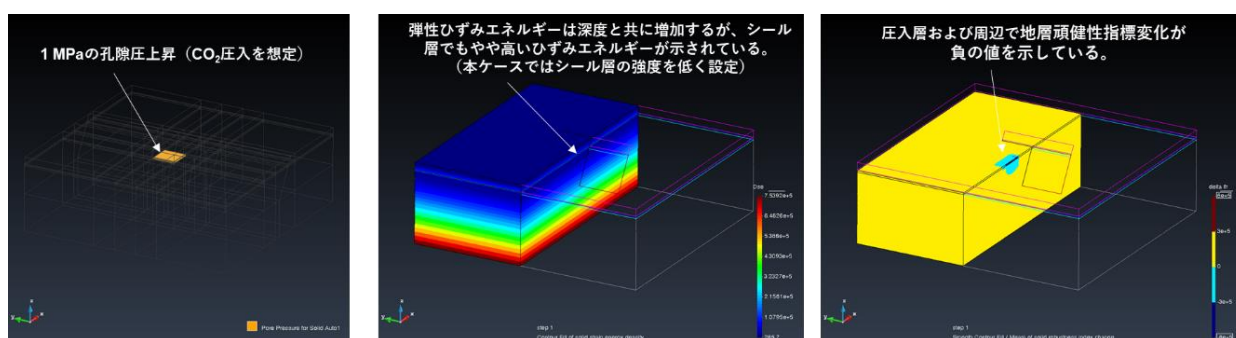


図3 未確認断層微小振動リスク解析の例。左図はCO₂圧入層位置、中央図は弾性ひずみエネルギー分布、右図は地層頑健性指標変化を示す。

未確認断層の微小振動リスク評価プロセスの妥当性を示すために、In Salah CO₂貯留プロジェクト

トの Krechba フィールドを題材としたケーススタディを実施した。解析の結果、ヤング率が小さく、ひずみの大きな地層や深部の地層で弾性ひずみエネルギー密度が大きくなる傾向が見られた。また、地層頑健性指標は二酸化炭素圧入による孔隙圧変化を生じる領域の境界付近で負の方向へ変化し、未確認断層が不安定化する傾向を示した。地層頑健性指標と弾性ひずみエネルギー密度の計算結果より、未確認断層が存在した場合に、比較的規模の大きな振動を起こすリスクがある領域を特定することができた。

3. 共同研究者

Vo Thanh Hung（早稲田大学理工学術院総合研究所・研究院講師）

4. 研究業績

4.1 講演

- Subsidence Analysis Using Regional-Scale Geomechanics Model Calibrated by InSAR-observed Surface Deformation, 2024 International Geomechanics Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.
- 汎用プリポストプロセッサと統合した広域ジオメカニクスモデルによる CCS における断層安定性解析, 石油技術協会春季講演会, 東京, 2024.
- CCS のための CO₂-高濃度塩分溶液 PVT データをもとにしたブラックオイル型 CO₂ 流動シミュレータの開発, 石油技術協会春季講演会, 東京, 2024

4.2 学会および社会的活動

- 2024 International Geomechanics Conference, Program Committee
- （独）エネルギー・金属鉱物資源機構, 水素事業アドバイザー委員会 委員
- 環境省, 特定二酸化炭素の海底下廃棄許可に係る現行規制の在り方に関する検討会 分科会委員
- 経済産業省, 産業保安基本制度小委員会／カーボンマネジメント小委員会 委員

5. 研究活動の課題と展望

2024 年度の研究では、シミュレータの高度化と未確認断層のリスク評価手法の構築を行った。ジオメカニクスシミュレータは、様々なケーススタディに対応可能なモデルとなっているが、孔隙流体の密度変化や熱応力の影響を考慮する必要がある。未確認断層の微小振動リスク評価では、地層頑健性指標と弾性ひずみエネルギー密度を用いたリスク評価手法を提案したが、一方で、他の計算手法の有無についても、文献調査を継続し、最適な未確認断層のリスク評価手法の構築を目指す。

2025 年度は本寄附研究の最終年度となるが、ジオメカニクスシミュレータを用いた CO₂ 地下貯留を想定したケーススタディの実施と、微小振動リスク低減に向けたモニタリングや掘削計画への提言、および微小振動対策にかかる事業者と住民側の双方型のリスクコミュニケーション手法の検討を進め、ジオメカニクスモデルを活用した安全性の見える化手法の提案を目指す。