

# 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、様々な面から経済性、安全性、事業リスクの検討を行う必要があり、中でもCO<sub>2</sub>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開発

今年度の研究では、商用ソフトウェアで構築された3次元地質構造・岩盤物性モデルから層区分データや浸透率、孔隙率、粘土鉱物含有量などの岩石物性値分布を抽出し、有限要素法モデルのメッシュ生成と各要素の岩石力学パラメータの推定を行うモジュールを開発した。また、広範囲の解析領域(80km×50km×10km)を扱えるようにジオメカニクスモデルへ並列直接法疎行列ソルバーPARDISOを実装し、60万要素規模のシミュレーションが可能な数値計算環境を構築した(図1)。

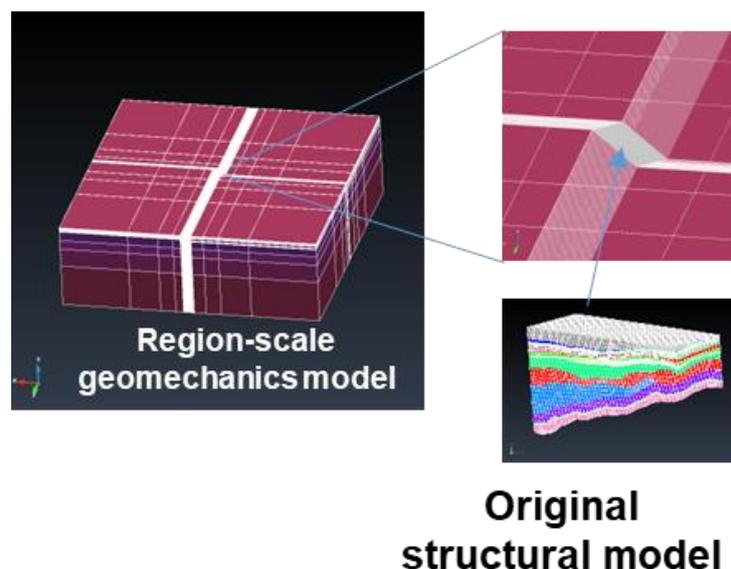


図1 広域ジオメカニクスモデルの例

更に、InSAR（干渉合成開口レーダ）データを用いた地盤沈下の測定結果や水準測量のデータと本研究で開発したジオメカニクスモデルの地盤沈下解析結果（図 2）を比較することで、モデルの補正手法の検討を行った。ジオメカニクスモデルの解析精度を向上させることで、モデルの信頼性を向上させ、CO<sub>2</sub> 圧入後の岩盤の応力応答や変形挙動の予測精度も向上できると考えられる。

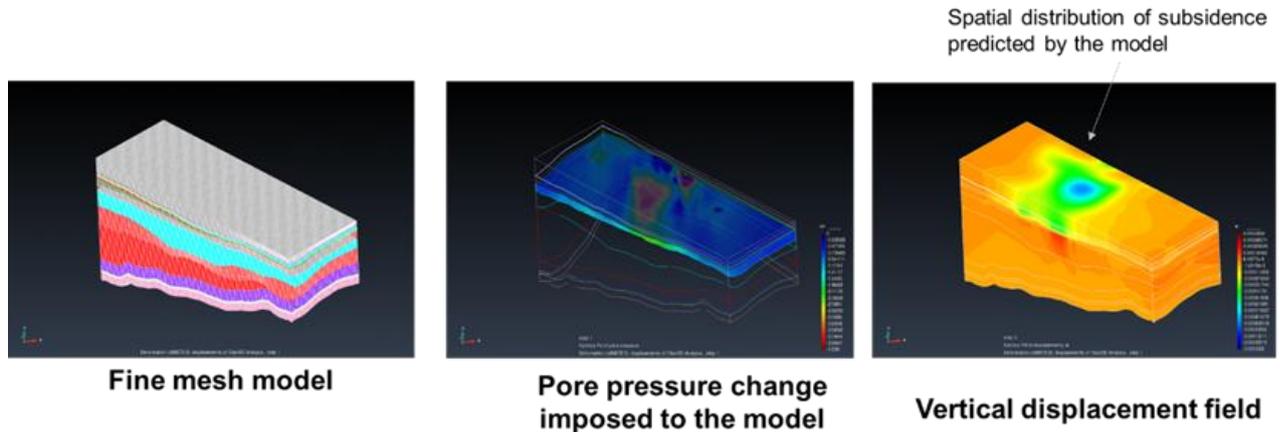


図 2 国内フィールド広域ジオメカニクスモデルを用いた地盤沈下解析の例

### 2.2 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

CCS の技術課題として、CO<sub>2</sub> 地中貯留による断層不安定化が挙げられる。今年度の研究では、断層安定性の定量的リスク評価手法の確立を目的とし、ジョイント要素を用いた広域ジオメカニクスモデルの開発と汎用プリポストプロセッサとの統合により、実フィールドを模擬した断層安定性解析を実施した（図 3）。

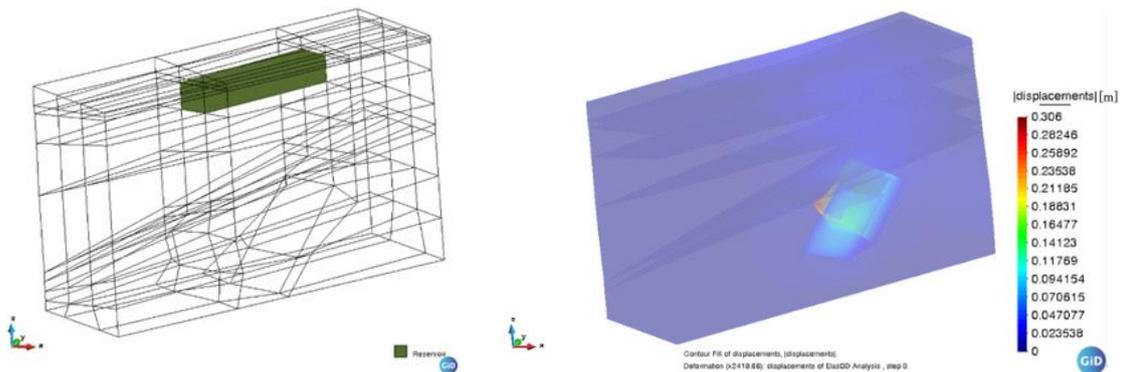


図 3 ジオメカニクスモデルを用いた断層すべり解析の例

3次元有限要素法モデルに2物体の接触/剥離/破壊を考慮できるジョイント要素を導入し、流体圧入にともなう断層安定性解析モデルを開発した。3次元有限要素法モデルでは、圧入層の孔隙圧変化から周辺岩盤の応力変化を計算した。ジョイント要素（断層）の破壊（降伏）判定は、クーロン破壊基準を使用し、ジョイント要素の剛性から破壊後の滑り量を算出した。断層安定性は、クーロン応力変化と地震モーメントを指標として評価した。また、断層安定性解析モデルを CIMNE 社が

提供する汎用プリポストプロセッサ GiD に統合し、複雑な任意形状の地質構造を対象とした解析を可能とした。

ケーススタディでは、国内の油・ガスフィールドの地質データをもとに、岩盤物性値、1D-MEM（一次元 Mechanical Earth Model）から応力・孔隙圧勾配データを取得し、ジオメカニクスモデルを構築した。断層の摩擦係数や基盤岩の孔隙圧を感度パラメータとしたスタディを行った。また、CO<sub>2</sub> 圧入による孔隙圧上昇や CO<sub>2</sub> プリュームの時間推移を予測する流動シミュレータと断層安定性解析モデルを連成し、時間依存の断層安定性評価を行った。

仮定の断層を基盤岩上部に設定し、一般的な断層の摩擦係数である 0.6 を仮定した場合、当該フィールドの応力・孔隙圧条件では断層の不安定化を生じないことが分かった。一方、断層が位置する基盤岩の孔隙圧が局所的に高い条件を想定すると、断層の摩擦係数が 0.6 程度でも、貯留層への流体圧入により断層滑りを誘発する可能性があることが分かった。このことから、断層が深部の異常高圧層に存在すると断層を不安定化するリスクが高くなる傾向が示された。

### 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 招待講演

“Perspectives of Oil and Natural Gas Development and Geomechanics-Related Issues in Geological CO<sub>2</sub> Storage”, 2023 ARMA East Asia Geomechanics Workshop, Hong Kong, China, August 2023.

“CO<sub>2</sub> 地中貯留におけるジオメカニクスに関する諸問題と課題解決への取り組み”, CCS ジオメカセミナー, JOGMEC, Chiba, Japan, September 2023.

#### 4.2 学会および社会的活動

2023 ARMA East Asia East Asia Geomechanics Workshop, Co-Chair

（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，令和 5 年度海底下 CCS 閉鎖制度検討会 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

今年度のケーススタディで扱った解析地域の応力・孔隙圧分布、岩石力学パラメータでは、ジオメカニクスモデルにより予測された地震モーメントの値は十分小さく、周辺環境への懸念は少ないことが分かったが、断層安定性評価において、断層の幾何学的情報や力学特性だけでなく、深部の応力・孔隙圧状態が重要な役割を持つことが示された。

2024 年度の研究では、断層安定性解析のための汎用ジオメカニクスシミュレータの開発を継続するとともに、前述の断層安定性解析の主要パラメータの不確実性を考慮した CCS ケーススタディの実施や、微小振動リスク指標の整理、未確認断層を対象としたリスク指標手法の検討を行い、ジオメカニクスモデルを用いた地盤安定性リスク評価プロセスの構築を目指す。