



二酸化炭素地中貯留サイトの 弾塑性地震応答解析 ～ CO₂の安全・安心な地中貯留を目指して～

研究・開発機関 : [サンコーコンサルタント株式会社](#)、[産業技術総合研究所](#)、[京都大学](#)
利用施設 : 自社内設備 (Dell-T5820)
計算規模 : 計算時間 1 ケース 72 時間、合計 12 ケース
利用ソフトウェア : FiND (京都大学, サンコーコンサルタント共同開発)

Before

- 地球温暖化対策の一つとして、温室効果ガスの発生源となっている火力発電所や製鉄所などから排出されるCO₂を分離・回収して地中(深部塩水帯水層)へ貯留する技術(以下 CCS : Carbon dioxide Capture and Storage、図1)の取り組みが進められています。
- しかし、巨大地震発生時の遮蔽層岩盤のせん断による貯留CO₂が漏洩する等の問題に関しては十分な解析は行われていませんでした。

After

- マニフォールド法と呼ばれる手法を用いて地層の変形や間隙水圧などを求めるプログラム(流体-変形連成解析)を開発しました。
- 強振動時のCO₂貯留サイトの安定性評価を可能とし、地下1000m前後に封じ込めたCO₂貯留層の地震時安定性評価では有効応力解析が必要であることが分かり、また、貯留層の周辺要素が塑性化すると流体の透水性が低下し、間隙水圧の上昇が継続することが分かりました。

背景と目的

CO₂貯留サイトは図1のように陸域や沿岸海底に存在する泥岩と砂岩の互層状の地盤で、二酸化炭素は地表から約1000m程度の泥岩層(キャップロック)直下の砂岩層に超臨界状態(ほぼ液体状)で圧入されます。圧入された二酸化炭素は少なくとも約1000年程度漏洩なくその場所に安定して存在することが必要条件となります。

日本列島は4枚の地球の表面を覆う岩盤(プレート)の収斂域に位置し(図2)、世界でも有数の地震国です。そのためCO₂を貯留した後に予期しない巨大地震が発生した場合の貯留層や遮蔽層へ与える影響予測が重要となります。

そこで、例えば東北地方太平洋沖地震のような長周期の強い運動が生じた際、貯留層や遮蔽層を含む深部流体飽和層に対して与える地盤変形とそれに伴う間隙水圧の影響について解明することが必要となります。

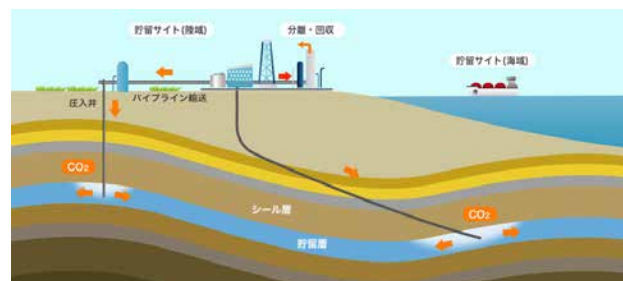


図1 CO₂地中貯留のイメージ
(出典: 二酸化炭素地中貯留技術研究組合ホームページ)

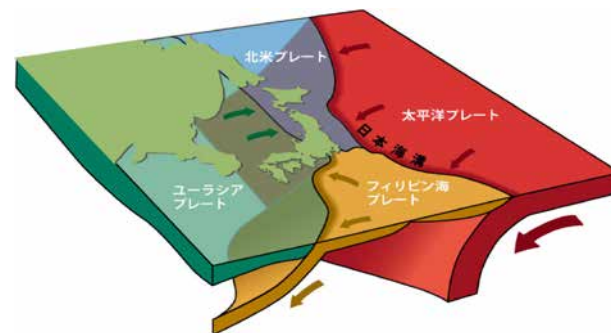


図2 日本列島周辺のプレート境界
(出典: 東北大学総合学術博物館ホームページ)

■ 利用成果

マニフォールド法(以下NMM)と呼ばれる手法を用いて変形-水圧連成を考慮した強振動時のCO₂貯留サイトの安定性評価法を開発しました。このNMMは不連続性も考慮可能な連続体の解析手法で、基盤ブロックの局所的な変形の大きな動きや剛体の回転も扱え、褶曲(しゅうきょく)構造にも対応可能な手法です。

また、地盤の強度・変形特性解析にはDrucker-Pragerの降伏基準に基づく弾塑性構成則を導入しました。

解析条件としては水平構造モデルと褶曲構造モデル(図3)の二種類を対象とし、入力加速度としては、新潟県中越地震の原種波形を用いました。

図4に水平構造モデルにおける間隙水圧応答を、図5に褶曲構造モデルにおける間隙水圧応答を示しています。水平構造モデルでは初期水圧から最大3%上昇するのに比べて、褶曲構造モデルでは最大5%になることや、弾性解析と弾塑性解析による変動の差など、定量的に影響の度合いが異なることが判明しました。

本稿では、地球温暖化対策技術の一つとして考えられている二酸化炭素地中貯留に関する地震時の地盤安定性検討を実施しました。この結果、地下1000m前後に封じ込めたCO₂貯留層の地震時安定性評価では間隙水圧の影響も考慮した有効応力解析が必要であることを示しました。また、貯留層の周辺要素が塑性化すると流体の透水性が低下し、間隙水圧の上昇が継続する結果が得られました。

当研究プロジェクトでは、現在、深部地盤の大きな拘束圧力による変形と透水特性の把握などを実施中です。また、地盤中には断層などの不連続面が存在することが多く、これらの安定性への影響検討も重要であると考えられます。

今後、これらの影響を精査して、実際のサイトに適用して行く予定です。

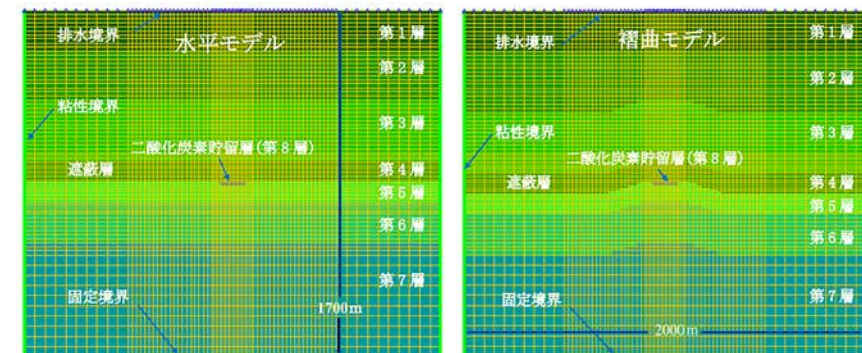


図3 水平構造モデルと褶曲構造モデル

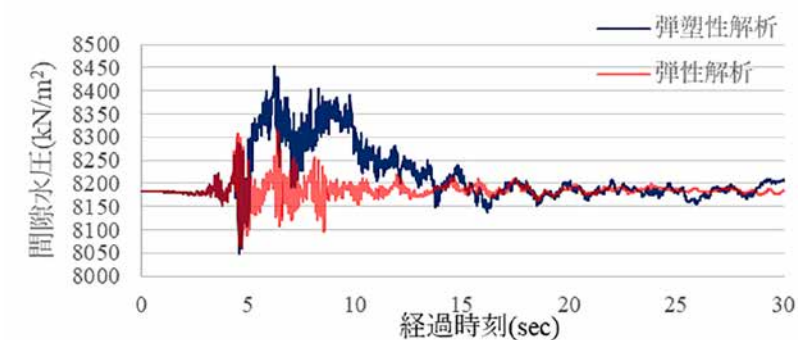


図4 水平構造モデルでの間隙水圧応答(遮蔽層)

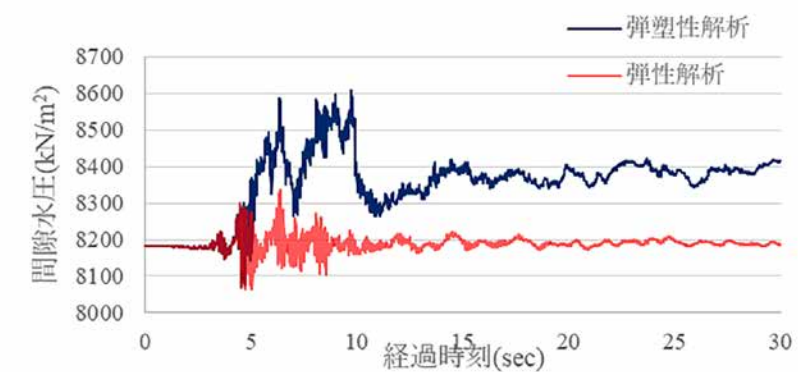


図5 褶曲構造モデルでの間隙水圧応答(遮蔽層)