

## 二酸化炭素の地中貯留に伴う岩盤の安定性に関する研究

宇都宮大学工学部 学生会員 ○堀池 雅人  
宇都宮大学工学部 正会員 清木 隆文

### 1. 背景と目的

現在、地球温暖化対策は、今世紀の世界における最も危急な課題のひとつとして位置付けられており、CO<sub>2</sub>などの大規模排出源から分離・回収したCO<sub>2</sub>を地下の油田ガス田、帯水層などに圧入・貯留するCO<sub>2</sub>地中貯留(CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage)は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を低減する経済的かつ有効な将来技術として期待されており、近年特に精力的な検討が行われている。国内においても、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)、RITE(地球環境産業技術研究機構)が中心となって各種のCO<sub>2</sub>隔離技術の検討が進められている。地中帯水層貯蔵については2003年から2004年にかけて新潟県長岡市において実証試験が実施され、現在も継続してモニタリングが行われており、将来の実用化に向けた取り組みが鋭意進められている<sup>1)</sup>。

本研究では、CO<sub>2</sub>の地中貯留に伴う岩盤の安定性を検討するために、応力・浸透・熱の連成場についての解析プログラムの改良を行い、実際に、Jonny Rutqvistら<sup>2)</sup>が行ったコンピューターモデルに関する解析、また地中貯留に関するあるプロジェクトを再現する解析、これら2つの結果を参考にし、岩盤のモデル化を行い、数値解析し、比較または考察することを目的とした。

### 2. CO<sub>2</sub>貯留技術の概要

CO<sub>2</sub>貯留技術とは、工場等のCO<sub>2</sub>発生源からCO<sub>2</sub>を分離・回収し、帯水層へ閉じ込める技術である<sup>3)</sup>。CO<sub>2</sub>は帯水層の上部にキャップロック(帽岩)と呼ばれる透水係数の極めて小さい地層が存在することにより、帯水層に圧入されたCO<sub>2</sub>を長時間にわたり封じ込めることができる。またCO<sub>2</sub>は、気体と液体の中間状態である超臨界状態にするため地下1000m程度の深さに封じ込める必要があり、この超臨界状態は圧力・温度幅が比較的大きく貯留効率の点で適している。

### 3. 応力・浸透・熱場連成解析

地下水面以下の岩盤中に各種の物質を貯蔵する場合、その物質は岩盤のき裂における浸透流れに乗って移動、拡散し、あるいは母岩中に吸着されると考えられる。このために、岩盤中の浸透流れの状況を予測する必要がある。本研究で用いたプログラムは、飽和多孔質地盤に対して混合体理論を適用して応力・浸透・熱の連成場について自然対流を考慮した支配方程式を導き、その有限要素法を求めたものであり<sup>4)</sup>、これを利用し、地中帯水層のCO<sub>2</sub>貯留における間隙圧の伝播、液相の流れ等について考察する。CO<sub>2</sub>圧入中は圧入圧力が変化することより、圧力を時間によって変化させられるようにし、応力、温度、圧力分布や流速ベクトルなどの計算結果を可視化した。

### 4. 解析概要

#### 4.1 解析モデルの再現性の検討

Jonny Rutqvistら<sup>2)</sup>の解析モデルを参考に地層のモデル化を行い、解析を行った。これを解析①とする。地層は、図-1のように地表から下に1200m~1300mの位置に100mのキャップロック層があり、1300m~1500mの位置にCO<sub>2</sub>貯留層があるとし、4種類の違う層があると仮定した。解析総時間は10年間とし、CO<sub>2</sub>注入圧は、初期状態で15.5MPaで、10年後には37MPaまで上昇するとする。CO<sub>2</sub>のモデル化として、Jonny Rutqvistら<sup>2)</sup>は、貯留層の間隙にCO<sub>2</sub>と地下水が互いに別々に存在しているという二相流による解析を行っているが、本研究では、貯留層の間隙圧を上昇させることで、間隙に存在している地下水にCO<sub>2</sub>が溶け込んでいると仮定させ、地下水のみの単相流による解析を行った。この単相流と二相流による結果を比較し、単相流であってもCO<sub>2</sub>貯留の安全性検討を行うことができるかを検討した。

キーワード 二酸化炭素, 地中貯留, caprock, 安定性の検討, 数値解析

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-2-1 宇都宮大学工学部地域施設学研究室 TEL/FAX 028-689-6218

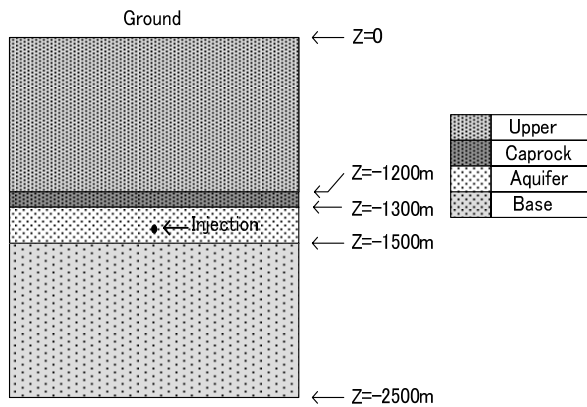
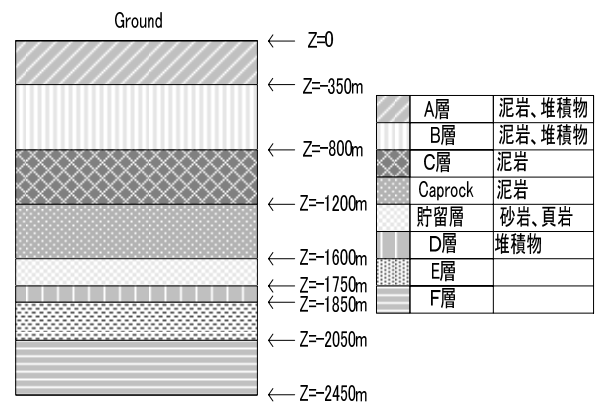
図-1 解析①の地層モデル<sup>2)</sup>

図-2 解析②の地層モデル

#### 4. 2 CO<sub>2</sub>貯留プロジェクトの地盤安定性の検討

あるCO<sub>2</sub>貯留プロジェクトの地盤構造を元にモデル化を行った。これを解析②とする。地層は、図-2 のように、8 種類の違う層が存在しているとし、地表から下に 2450mの深さまでをモデル化した。キャップロックは地層から下に 1200m～1600mの位置に存在し、CO<sub>2</sub>貯留層は 1660m～1690mの位置にあり、層厚 30mとする。このプロジェクトについては、単相流における解析をしており、総時間は 70 年間と設定し、40 年間で天然ガスの生産期間とし、40～70 年間でCO<sub>2</sub>の圧入期間としている。天然ガスが生産されることにより間隙圧が減少され、CO<sub>2</sub>が圧入されることで間隙圧が増加するとする。

本解析では、メッシュを細分化するために、鉛直方向、水平方向の地層構造を再現するための解析を行った。

#### 5. 解析結果とまとめ

解析①の結果として、CO<sub>2</sub>圧入開始 1 年後の水頭の分布の様子を図-3 (節点数:371、要素数:78) に示した。この図は、CO<sub>2</sub>の圧入より間隙圧の上昇後、キャップロックが存在することにより鉛直方向の圧力伝播が抑えられていることを示す。間隙圧についてJonny Rutqvist<sup>2)</sup>の解析結果と本解析モデルの結果を比較をしたところ同様な結果が得られた。これよりCO<sub>2</sub>貯留に関して単相流で解析を行っても、概略の岩盤挙動を把握する意味では本解析モデルが有効であると示された。

この結果を受けて、CO<sub>2</sub>貯留プロジェクトに関する地盤の解析(解析②)を進め、実地盤構造の安定性を評価する。

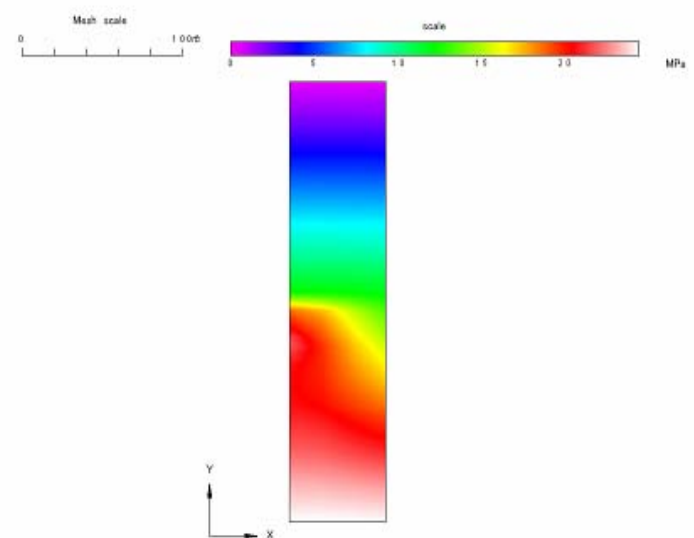


図-3 解析①の水頭分布

#### 参考文献

- 1) 米沢一幸：CO<sub>2</sub>地中貯蔵の開発動向 土木学会 岩盤力学委員会 ホームページ：  
<http://www.jsce.or.jp/committee/rm/whatsnew2.html>
- 2) Jonny Rutqvist, Chin-Fu Tsang : A study of caprock hydromechanical changes associated with CO<sub>2</sub>-injection into a brine formation, Environmental Geology (2002) 42:pp296-305
- 3) 財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE) ホームページ：<http://www.rite.or.jp/>
- 4) 清木隆文、市川康明：対流を考慮した熱・応力・浸透練成挙動の混合体理論とその多孔質地盤への適用 土木学会論文集 No. 517 / III-31, 1-11, 1995. 6