

長岡 CO₂ 地中貯留プロジェクトにおける CO₂ トラッピング過程のシミュレーション

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○山本 肇
 (公財) 地球環境産業技術研究機構 正会員 中島 崇裕
 (公財) 地球環境産業技術研究機構 正会員 薛 自求

1. はじめに

CO₂ 地中貯留技術の実用化に向けて、地中に圧入した CO₂ の長期的な安定性とそのメカニズムを実証することは重要な課題である。我が国最初の CO₂ 圧入試験である長岡 CO₂ 地中貯留プロジェクトでは、2003 年～2005 年にかけて約 1 万トンの CO₂ を地下 1km の貯留層に圧入し、その後 10 年間に渡り長期の CO₂ 挙動モニタリングを実施してきた。本研究では、同サイトの調査データを統合した 3 次元貯留層モデルを用い、モニタリングデータとシミュレーションのヒストリーマッチングを実施した。本稿では、特に観測井において観測された貯留層内の CO₂ の不均一な分布とその経時的変化について、数値シミュレーション結果と比較した結果を報告する。

2. 解析モデル

CO₂ 圧入対象の貯留層は、深度約 1,100m に分布する前期更新世灰爪層の砂岩卓越部(層厚約 60m)であり、傾斜 15 度で東北東に傾斜する単斜構造を有する。貯留層は岩相から 5 つのゾーン (Zone-1～Zone-5) に区分でき、そのうち浸透性が最も良好な Zone-2 (層厚約 12m) を圧入対象区間としている。CO₂ の地中挙動シミュレーションでは、貯留層内に圧入した CO₂ と地層水の二相流体挙動に加え、CO₂ の地層水中への溶解や岩石との地球化学反応などを考慮する必要がある。本貯留層の温度・圧力条件下では CO₂ は超臨界状態となり 0.6～0.7 程度の比重となる。解析格子モデルを図 1 に示す。モデル化の範囲は CO₂ の圧入井 IW-1 と 3 本の観測井を中心とした約 1.5km 範囲である。圧入井の周囲は 5m×5m の格子で詳細に離散化し、その外側は段階的に粗くしている。貯留層の上下面形状は弾性波探査から決定し、孔隙率や浸透率の空間分布はシーケンス層序区分を踏まえた地質統計学手法に基づいて設定した。二相流体解析に必要な相対浸透率と毛管圧力は室内実験より得ている。本研究では、Zone-2 をさらに上部から Zone-2a～2c の 3 つに区分する。坑井内のコア分析や物理検層結果から、高浸透性の Zone-2a と 2b は厚さ数 10cm 以下の細かな砂泥互層からなり、深度方向に不均一な孔隙率や浸透率分布を有することが分かっている。そこで、Zone-2a と 2b は鉛直方向の格子間隔を 50cm に詳細化し、不均一な浸透率分布を反映した。コア分析等から存在が示されている Zone-2a と 2b の境界ならびに Zone-2b 下部の薄い泥層もモデルに組み込んだ。

数値解析には、地化学反応を組み込んだ非等温・多成分・多相系流体解析コード TOUGHREACT V2.0¹⁾ の改良版を用いた。改良では、大規模並列計算のための MPI 並列化を施す²⁾ とともに、相対浸透率と毛管圧力のヒステリシス効果も考慮できるようにした。解析は Linux

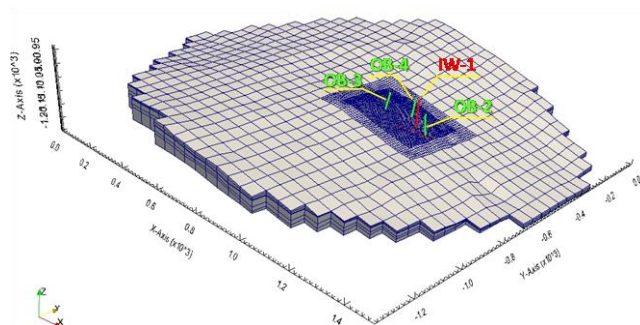


図-1 3次元貯留層モデル

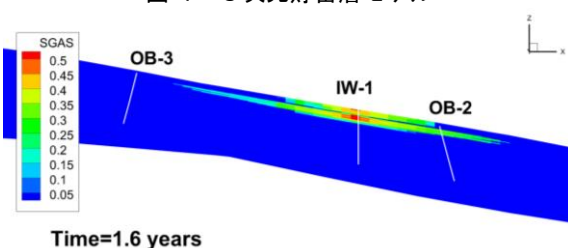


図-2 CO₂ の地中挙動 (圧入井を通る鉛直断面)

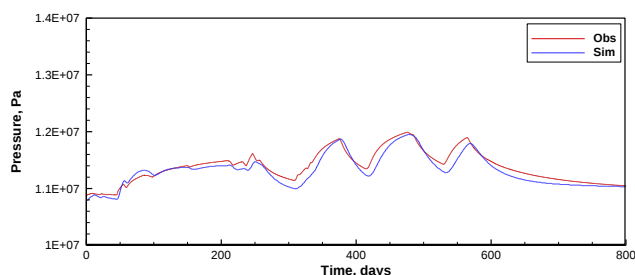


図-3 観測井 OB-4 内の圧力変動

キーワード 二酸化炭素地中貯留, CCS, 長岡, 多相流, ヒストリーマッチング

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7237

Cluster (Intel Xeon, 2.7GHz) の 128 並列にて行った。以下、紙面の制約から、多相流体と地球化学の連成解析結果のうち多相流体挙動の結果を述べる。

3. 解析結果

圧入井(IW-1)、観測井(0B-2, 0B-4)における Zone2 の圧力と CO_2 飽和率の経時変化を対象に、圧入開始から約 2.5 年間のヒストリーマッチングを実施した。圧入完了時点で貯留層内の CO_2 飽和率の鉛直断面分布を図-2 に示す。 CO_2 は主に貯留層上部の Zone-2a と 2b に沿って移行していることが分かる。圧力変動に関して、観測井 0B-4 の水圧変化を図-2 に示す。観測された圧力変動をシミュレーションにより良く再現していることが分かる。

試験では、圧入中～圧入完了後の約 10 年間、各種の物理検層が実施されている。観測井 0B-2 の複数回の比抵抗検層結果を総合したマップを図-4 に示す³⁾。Zone2 中央区間(図中 B～D)の比抵抗値の上昇は超臨界 CO_2 の到達を示しており、その上下での比抵抗値の低下は地層水中への CO_2 溶解によるものと解釈される。図-5 に、中性子検層から求めた CO_2 飽和率(区間平均)の経時変化をシミュレーション結果と合わせて示した。シミュレーション結果は、 CO_2 到達時間やその後の CO_2 飽和率の低下など、観測結果を定量的に再現している。鉛直方向の CO_2 飽和率ならびに地層水中への CO_2 溶解量の経時変化の解析結果を図-6 に示す。図-4 に示した比抵抗データとの比較から、 CO_2 挙動に関して次のような解釈が可能である。区間 B～D に到達した超臨界 CO_2 の上昇は薄い泥層のトラッピング効果により抑制されている。区間 D において約 1000 日以降で下部の CO_2 飽和率が減少しているが、これは地層水よりも比重が軽い超臨界 CO_2 が浮力上昇しているためである。区間 B～D の上下に広がる高比抵抗ゾーンは、圧入中に CO_2 を溶解した地層水が上下に押し出されて形成されたと解釈される。

4. おわりに

各種の地質データを総合して構築された貯留層モデルを用い、 CO_2 の地中挙動シミュレーションを実施した。観測井で観測された超臨界 CO_2 ならびに溶解 CO_2 の挙動は、浸透率の不均一な分布を考慮したモデルにより説明できることが分かった。特に薄い泥層が超臨界 CO_2 の上昇を防ぐトラッピングに大きく寄与している可能性が示された。

謝辞

本研究は、経済産業省からの委託事業「二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業」の一部として実施したものである。

参考文献

1) Xu et al., TOUGHREACT User's Guide, Lawrence Berkeley Nat'l Lab., 2012. 2) Yamamoto et al., Energy Procedia, 63, pp. 3795-3804, 2014. 3) Sato et al., Int J Greenhouse Gas Ctrl, 50, pp.125-137, 2011.

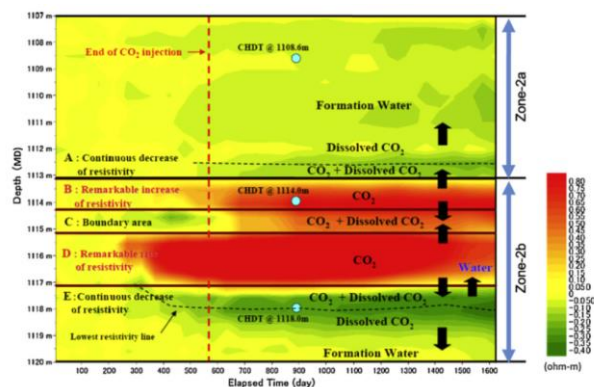


図-4 観測井 0B-2 における比抵抗の経時変化³⁾

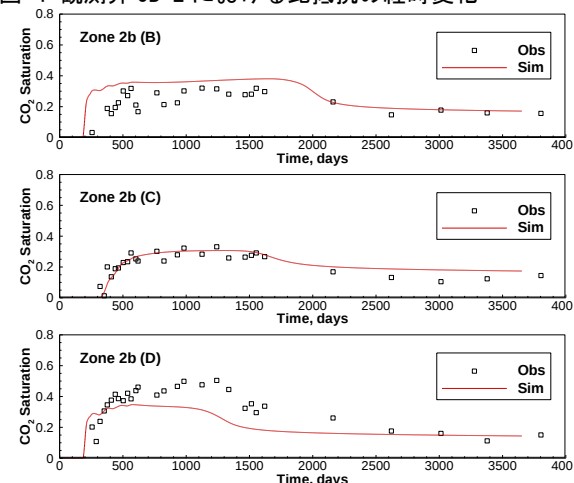


図-5 観測井 0B-2 における CO_2 飽和率の経時変化

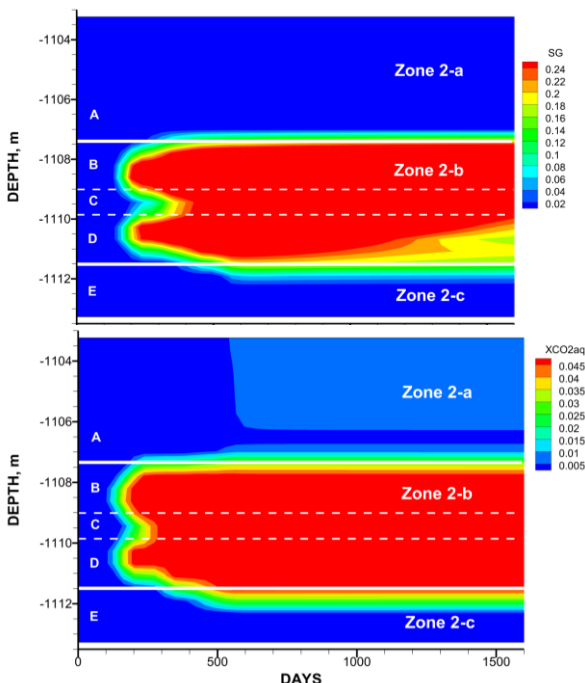


図-6 CO_2 飽和率ならびに地層水中の CO_2 溶解量(質量分率)の解析結果(観測井 0B-2)