

多孔質砂岩の透気特性と弾性波による CO₂ フロントのモニタリング

Characterization of Gas Permeability in Two Sandstones and Effects of CO₂ Flooding on P-wave Velocity

薛 自求[1], 大隅 多加志[2], 小出 仁[2]

ziqu xue[1], Takashi Ohsumi[1], Hitoshi Koide[1]

[1] RITE・貯留研, [2] RITE

[1] RITE

<http://www.rite.or.jp>

1. はじめに

帯水層への CO₂ 地中貯留は原油増進回収 (CO₂ EOR) を背景に、地球温暖化ガス削減の即効性技術として期待されている。堆積盆地の地下に分布する水溶性天然ガス田は、帯水層が CO₂ 地中貯留の有力なサイトとなりうることを示している。帯水層は天然ガスや石油のリザーバのような地質構造とは限らないが、水に溶解した CO₂ が帯水層から殆ど移動しないか、移動したとしても流れが 1-10 cm/year と極めて遅いため、長期間にわたって CO₂ を地下に封入することが可能と考えられている。現状では CO₂-EOR 技術が実用化されているものの、地下における CO₂ の挙動を明らかにするまでには至っていない。ボーリング孔を利用する弾性波トモグラフィ測定は、圧入された CO₂ 挙動の把握をはじめ、帯水層の貯留容積の有効利用や圧入後の安全管理にとって、有効なツールとして注目されている。

2. 実験概要

本研究では孔隙率 (porosity) が異なる白浜砂岩 (12%) と多胡砂岩 (24%) の CO₂ 透気弾性波試験を行った。円柱形の岩石試料 (直径: 50mm; 長さ: 100mm) の側面に 90° 間隔で 4 列に、それぞれ上から下まで等間隔で 4 個の共振周波数 1 MHz の圧電素子 (P 波) を計 16 個貼り付けた。また、4 列の圧電素子の間には、クロスタイプひずみゲージ (ゲージ長: 10mm) を計 4 枚貼り付けた。実験では、まず乾燥状態の砂岩試料の透気係数を測定し、透気係数の静水圧依存性と空隙構造 (pore structure) との関連性を調べた。その後、同一測定試料に水を注入し試料を浸潤させてから、再び CO₂ を注入した。注入された CO₂ によって置換される間隙水の流出量を測定するとともに、間隙水と CO₂ の置換による弾性波速度の変化を測定し、弾性波トモグラフィによる CO₂ フロント移動のモニタリングについて検討した。

3. まとめ

空隙率が異なる 2 種類の砂岩を用いた透気試験では、透気特性が空隙構造に大きく影響されることが明らかになった。白浜砂岩では偏平な空隙がクラックのような役割を果たし、静水圧の増加に伴って透気係数が大きく減少するが、それらのクラックが閉鎖されると、透気係数の減少が緩やかになる。これに対し、多胡砂岩には球形に近い孔隙が多く、静水圧の増加に伴って孔隙は変形するものの閉鎖されにくいいため、透気係数の減少が小さかった。また、CO₂ 注入に伴って、両砂岩とも乾燥状態及び湿潤状態のいずれにおいても体積の膨張が確認された。これは、地下深部帯水層へ CO₂ を圧入する際、キャップロック及び貯留層岩盤に変形が生じる可能性があることを示唆している。

帯水層に CO₂ を圧入すると、CO₂ は孔隙内の水を押し退けながら移動する。湿潤状態の砂岩試料への CO₂ 注入実験では、弾性波速度の変化による CO₂ フロント移動のモニタリングの可能性について検討した。その結果、孔隙内の水が注入された CO₂ によって置換されると、弾性波速度が小さくなることが分った。これは帯水層に CO₂ を圧入する際、孔間弾性波トモグラフィ測定による CO₂ フロントの移動をモニタリングできる可能性を示唆している。また、孔隙内の水がすべて CO₂ に置換されることは考えられなくて、CO₂ 溶解水が残留する可能性がある。今後は弾性波速度の変化と残留 CO₂ 溶解水や CO₂ 集積濃度との関連性について検討を加える予定である。