難透過性堆積岩の超臨界 CO2 透過実験における飽和度の実験的評価

九州大学工学部 学生会員 〇高木進之介 九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩 九州大学大学院 正会員 池見 洋明 九州大学大学院 学生会員 本田 博之

1. はじめに

近年, CO_2 をはじめとする温室効果ガスの排出量増加 による地球温暖化問題が懸念されており,解決策の一 つとして CO_2 回収・地中貯留技術が世界的に注目・実 施されている。この技術は,上部に不透水層を持つ帯水 層への貯留が想定されている。しかし,このような地質 構造は世界的にも分布は限られており,国内では実現 性に乏しいため,地下深部の難透過性堆積岩への貯留 が一つの案として検討されている。これを実現するた めには,岩盤内での CO_2 挙動の予測が重要であり,岩 石内の CO_2 の透過特性に関するパラメータが必要にな る。しかし,これらのパラメータを精度よく取得する実 験手法は確立されていないのが現状である¹⁾。

本研究では、実験システム内に密度差によって水と CO₂を分離させる装置であるセパレータを新たに導入 し、岩石に対し超臨界 CO₂の透過実験を行い、 CO₂飽 和度の実験的評価を行う。

2. 超臨界 CO2 透過·貯留実験

試験体は直径 5 cm, 高さ 10 cm の円柱形に整形した 相浦砂岩(長崎県佐世保市相浦産)を用いる。相浦砂岩の 間隙率は 11.9 %,単位体積質量は 2.37 g/cm である。実 験に際して CO₂ 漏洩防止のため試験体側面にサラン樹 脂,セメダイン,シリコンを順に添付する。

CO₂地中貯留の対象となる貯留層は,地下深度約 800 ~1,200 m である。ここでの地圧及び温度は, CO₂の臨 界点(圧力:7.38 MPa, 温度:31.1 ℃)を超えるため,圧 入する CO₂ は超臨界状態となる。そのため,本研究で は実験システム(Fig. 1)に温度制御を施し, CO₂ を超臨 界状態に維持した状態で実験を行う²⁾。

シリンジポンプは拘束圧用に1台,CO2注入用に2台, CO2補充用として2台の計5台用いる。また,試験体下 流側にセパレータを設置することにより,岩石試料か ら押し出された流体をセパレータに集め,密度差によ って水とCO2を分離し,CO2を下流側シリンジポンプ に集める。セパレータ容量は50mlであり,セパレータ の下部に最小表示 0.01gの電子天秤を設置し,重量測 定を行う。セパレータに接続する配管をコイル状にし, 電子天秤にバルブと配管の重量が直接伝わらないよう に工夫した。また,試験体上下流に圧力計を設置し,実 験時の差圧変化を計測する。

実験では、まず水飽和させた試験体を三軸容器内に 設置し、実験システムを 37 ℃、拘束圧を 20 MPa に制 御する。その後、実験システム内の配管、セパレータを 水で満たし、初期間隙圧を 10 MPa で制御する。岩石の 透水特性を把握するために水飽和状態の試験体に対し フローポンプ法により流量 10 µL/min で透水試験を行 う。その際下流側ポンプを 10 MPa の定圧で制御する。 これは上流から一定流量の流体を注入した時に生じる 間隙圧の上昇を抑え、下流側に設置したセパレータ内 の圧力を一定に保つことにより、長時間の実験を行う ためである。透水試験終了後、水飽和状態の試験体に間 隙圧 10 MPa を残した状態で、実験システム内の配管、 セパレータを乾燥させ、超臨界 CO₂ で満たす。上流側 ポンプを定流量 10 µL/min、下流側ポンプを 10 MPa の 定圧で制御し、超臨界 CO₂を注入する。

3. 実験結果および考察

透水試験において、ダルシー則を用いて算出した透 水係数は1.49×10⁻⁸ cm/sec であった。CO₂透過実験の試 験体上下端の差圧の時間変化を Fig.2 に示す。実験開始 から10時間では算出された透水係数は1.24×10⁻⁸ cm/sec であり、透水試験の結果とほぼ同じ値を示すことから、 注入が開始された CO₂ が配管内の水を押し出し、試験 体内を透過している状態であると考えられる。10~34 時間では CO₂ が試験体に達するが、差圧が上昇を続け ていることから CO₂ は下流側に達しておらず、試験体



Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

内で CO₂の流路が形成されると考えられる。34 時間以降は,差圧が減少に転じることから,CO₂が試験体下流 側に達したと考えられる。90 時間以降も差圧は定常状態となっていないことから,試験体内の CO₂の流路が 拡大を続けていると考えられる。

次にセパレータの重量変化の結果から水と CO2 の密 度差により求めたセパレータ内の水の容量の時間変化 を Fig. 3 に示す。なお、本実験では水と CO2 相互の溶 解を考慮せずに算出している。実験開始から10時間は 容量が減少している。これは実験を開始する際に, 三軸 容器内の温度が 37 ℃に上昇しきれていないことが原 因と考えられる。10~34 時間では容量が約 10 ml 増加 し, 34~42 時間では CO2 が試験体内の水を押し出し, 下流側配管に貯まっていた水がセパレータ内に貯まる と考え、容量は増加する。42~73時間では容量の増加 は緩やかになり、73時間以降の容量の減少は上流側ポ ンプの CO₂ 補充作業による影響と考えられる。また上 流側ポンプの送液量、下流側ポンプが引いた容量の時 間変化を Fig. 4 に示す。実験開始から 10 時間では、上 下流ポンプ送引量の差は 3.7 ml であり、上流側配管内 に当初から存在していた水(3.74 ml)とほぼ等しく,試験 体内へ CO2 は透過していないと考えられる。

以上の実験結果から、試験体内の CO₂ 貯留量から推 定した岩石の CO₂飽和度の時間変化を Fig. 5 に示す。 10~34 時間では上下流ポンプ送引量の差を岩石内の CO₂貯留量とし、CO₂飽和度が 0.23 まで増加する。34~ 42 時間では CO₂が試験体内の水を押し出し、下流側配 管に貯まっていた水がセパレータ内に貯まると考え、 セパレータ内の水の容量から CO₂飽和度を求めた。42 ~73 時間では試験体内で CO₂の流路が拡大すると仮定 すると、CO₂飽和度は増加するので、セパレータ内の水 の容量の増加量を岩石内の CO₂の増加量として求めた CO₂飽和度が 0.32 となる。73 時間以降は先に述べた CO₂ 補充作業において温度、圧力変化が生じ CO₂飽和度は 減少したと考えられる。

4. まとめ

本研究では超臨界 CO₂の透過特性を実験的に把握す るために, 貯留対象となる貯留層の状態を再現し, セパ レータを設置することにより, CO₂貯留量の測定を試み た。その結果, 試験体から押し出された水の容量の測定 から CO₂ 貯留量を計算することが可能となり, 難透過 性堆積岩に注入された CO₂ 挙動に応じた, CO₂ 飽和度 の変化が明らかとなった。



参考文献

- 小暮哲也他;多孔質砂岩中の定常流動状態における水-超臨界 CO₂系の相対浸透率, Journal of Geography, pp.944-959, 2011.
- 三谷泰浩他;フローポンプ法を用いた岩石のCO2透過・貯留特 性の実験的研究,第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演 集, pp.314-319, 2014.