低浸透率砂岩の超臨界 CO2 透過挙動に関する実験的研究

九州大学工学部	学生会員	〇大久保	松一	九州大学大学	如 「 」	会員	三谷	泰浩
九州大学	非会員	北村	圭吾	九州大学大学	院 正	会員	谷口	寿俊
九州大学大学院	学生会員	舟津	薫輝	九州大学大学	《院 学生	会員	松尾	憲弥
			九	∥大学工学部	学生会員	Nata	anael S	wandi

1. はじめに

近年,地球温暖化の緩和策の一つとして,CO2回収・ 地中貯留技術が注目・実施されている。地中貯留の方式 は,上部にドーム状の不透水層であるキャップロック をもつ構造性帯水層への貯留が海外では主流である。 一方,日本ではこのような地質構造が少なく,貯留可能 な地域が限定されるため,この貯留方式の代替案とし て CO2の透過が非常に遅い低浸透率砂岩から構成され る非構造性帯水層への貯留が検討されている。このよ うな貯留方式の実現には,低浸透率砂岩が貯留層とし ての安全性を保有しているか,などの評価を行う必要 がある。その評価には岩石内での CO2 挙動の把握が重 要であり,岩石の CO2 透過・貯留特性に関する CO2 飽和 度などの基礎的データを把握する必要がある。しかし, 低浸透率砂岩に対する CO2 の透過・貯留に関する基礎 的データは,現状では十分ではない。

本研究では、低浸透率砂岩である相浦砂岩に対し CO₂ 透過実験を行い、CO₂の岩石中の透過挙動を実験から明 らかにする。

2. 超臨界 CO₂ 透過実験

本研究では、岩石下部から一定流量の水、超臨界 CO₂ を注入し上部へ排出させ、供試体上下の差圧を計測す るフローポンプ法により、透水試験と CO₂ 透過実験を 行う。本研究で用いる供試体の主な物性値と、実験条件 を表-1 に示す。供試体として直径 5 cm、高さ 10 cm の 円柱状に成型した相浦砂岩(長崎県佐世保市相浦産)を 用いる。CO₂地中貯留の対象となる貯留層は、深度 800 m~1,200 m である。この深度での地圧を想定し、拘束 圧は 20 MPa とする。また、この深度では CO₂は臨界点 (圧力:7.38 MPa,温度:31.1℃)を超え、超臨界状態 となる。この状態を再現するために、初期間隙圧を 10 MPa,温度を 40 ℃に設定する。注入流量は、透水性が 低い相浦砂岩でも、圧力の変化が確認できるよう 10 µl/min に設定する。下流側圧力は、間隙圧が拘束圧を超 え、供試体が破壊しないように 10 MPa に設定する。

3. 実験システム

本研究では、注入流量が非常に小さく、実験が長時間 に及ぶため、これに対応可能な実験システム¹⁾を用いる (図-1)。図中の2つの上流側シリンジポンプA,Bの うち片方のポンプから供試体に CO₂を注入する。岩石 から排出された水と CO₂は供試体下流側に設置したセ パレータを経由し、CO₂のみが下流側シリンジポンプC に入る。実験開始から時間が経過し、上流側シリンジポ ンプの容量が少なくなると、もう片方の上流側シリン ジポンプに切り替わり、下流側シリンジポンプ C から CO₂が補充されることで、長時間の実験が可能となる。 また、実験システム全体の温度を温調器によって制御 し、これに加えて供試体の温度変動を最小限に抑える ための工夫を行っている。

表-1 供試体物性値および実験条件

供試体	相浦砂岩			
間隙率 [%]	10.6			
単位体積重量 [g/cm3]	2.51			
拘束圧 [MPa]	20			
温度 [℃]	40			
初期間隙圧 [MPa]	10			
下流側圧力 [MPa]	10			
注入流量 [µl/min]	10			



図-1 実験システムの概念図

4. 実験結果および考察

CO2透過実験で得られた差圧の変化を図-2, セパレー タの重量変化を図-3 に示す。この結果から、CO2 透過 挙動としてI~IV段階の変化が確認できた。I段階目は, 注入開始から約16時間にかけて,差圧が上昇し一旦定 常状態となった。また,注入開始直後からセパレータ重 量が約2g減少した。これは、水飽和で使用した水に溶 存していた空気がセパレータに流入したことが原因と 考えられる。その後のセパレータ重量の増加は、空気よ り密度の高いCO2が流入したことが原因と考えられる。 Ⅱ段階目は,経過時間約16時間から約21時間にかけて, 差圧が再び上昇し、ピーク値を示したのち減少に転じ た。さらに、差圧がピーク値を示すと同時に、セパレー タ重量が増加し始めた。Ⅲ段階目においては,経過時間 約21時間から約38時間にかけて、差圧が急激に減少 し、セパレータ重量が増加を続けた。最後に、IV段階目 として、経過時間約38時間以降は、差圧は緩やかに減 少し, セパレータの重量は一時的に増加しながら緩や かに減少した。

以上の実験結果から、低浸透率砂岩の CO2 透過挙動 を考察する。I段階目の一旦定常になった差圧の値から 算出した透水係数と,透水試験から得た透水係数が同 程度の値を示したことから, I段階目では, バルブAか ら供試体下端までに存在する水が供試体内に押し出さ れたと考えられる (図-4 (a))。Ⅱ段階目では, 供試体下 端から流路が形成され,差圧がピーク値を示すと同時 に CO₂ が供試体を透過したと考えられる (図-4 (b))。 III段階目は, CO2が供試体を透過し続け,供試体上端か らセパレータまでの配管内の水がセパレータに流入し ている段階と考えられる(図-4(c))。IV段階目のセパ レータ重量の一時的な増加は、供試体から排出された 水がセパレータに流入したためと考えられる。また, セ パレータ重量が緩やかに減少しているのは、セパレー タ内の圧力の減少に伴い、CO2の密度も小さくなったこ とが原因と考えられる。これらのセパレータ重量の変 化と差圧の減少から, IV段階目では, 形成された流路が 拡幅しながらCO2が透過したと考えられる(図-4(d))。 また、I~IV段階のセパレータ重量の変化から算出した CO₂飽和度は, 0.15 となった。このことから, CO₂は供 試体内を一様に透過したわけではなく、CO2が水の一部 のみを置換しながら透過したと考えられる。

5. 結論

本研究では、CO₂地中貯留の貯留層における圧力・温 度条件を再現し、低浸透率砂岩への CO₂ 透過実験を行 い、その透過挙動について検討した。その結果、CO₂が 供試体内の水を置換しながら流路を形成し、透過した 後も注入を継続すると、流路を拡げながら透過すると いう透過挙動の経時的な変化を把握できた。



弥,地下深部条件を再現する超臨界 CO2 透過実験システムの 発,平成 30 年度土木学会西部支部研究発表講演概要集, pp.509-510,2019.