

空隙率の異なる岩石の CO₂ 透過・貯留特性に関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○野口 拓也 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 大浦 志郎

1. はじめに

近年、CO₂ を中心とする温室効果ガス排出量の増加が主な原因として指摘される地球温暖化対策の一つとして、CO₂ 地中貯留が注目されている。考えられている主要な方法は、大規模排出源より分離・回収した CO₂ を、ドーム構造の不透水層を上部に持つ帯水層に注入し、地中へ遮蔽・固定する方法である。しかし、このような地層構造は偏在性が高く日本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案として検討されている。しかし、難透過性堆積岩に対し CO₂ の透過・貯留特性を研究した例は少なく、岩石内における CO₂ の透過・貯留特性の把握に至っていないのが現状である。

本研究では、貯留層原位置における地下深部の圧力・温度の状況を再現し、空隙率の異なる 2 種類の岩石に対し CO₂ 透過・貯留実験を行い、岩種の違いによる CO₂ 透過・貯留特性について検討を行う。

2. 実験方法

今回の実験では、岩石の透過性を決定する大きな要因である空隙特性が、CO₂ 透過・貯留特性に及ぼす影響を検討するため、空隙率の異なる相浦砂岩、ベレア砂岩の 2 種類の円柱供試体を用いる。また、透水試験により得られた透水係数を含む各岩石の主な物性を **Table 1** に示す。

CO₂ 地中貯留の対象となる貯留層は深度 800～1200 m であり、圧入された CO₂ は間隙圧と地温により臨界点(圧力 ; 7.38 MPa, 温度 ; 31.1 °C)に達し超臨界状態となる。そのため、本実験でも注入する CO₂ の相状態は超臨界状態とする。シリンジポンプを拘束圧用に一台、CO₂ 圧入用に 2 台の計 3 台用い、配管を含む実験装置¹⁾それぞれに温度制御を行い、CO₂ を超臨界状態に維持し、三軸容器内に設置した水飽和状態の試験体に対し、定水位法により透水試験を行った後、同一試験体に対し同一条件で超臨界 CO₂ 透過・貯留実験を行う。実験条件は **Table 2** に示す。

3. 実験結果

相浦砂岩の CO₂ 透過・貯留実験における単位時間あたりの注入、排出流量(以下、注入流量、排出流量とする)の時間変化を **Fig.1** に、ベレア砂岩の同様の図を **Fig.2** に示す。また、相浦砂岩については経過 40 時間までの結果、ベレア砂岩については経過 10 時間までの結果をそれぞれ、**Fig.3, Fig.4** に示す。相浦砂岩とベレア砂岩の注入、排出流量の変化を比較すると、ベレア砂岩には相浦砂岩に比べ低い差圧を与えているが、流量及びその変動も相浦砂岩より大きい。両実験とも実験開始直後に注入及び排出流量が急激に増加している。その後、ベレア砂岩は実験開始から約 1.6 時間後に注入、排出流量が急激に減少している。一方、相浦砂岩は、実験開始から約 26 時間後を境に排出流量の減少が顕著になっている。ベレア砂岩は実験開始後 1.6 時間、相浦砂岩については実験開始後 26 時間の時点で注入した CO₂ の総量はそれぞれ 3.7 ml, 6.6 ml であった。これらは、試験体までの配管内容量(約 4.13 ml)とほぼ同程度、あるいはそれ以上となっており、これらの経過時間近傍で CO₂ の試験体への流入、透過が始まったものと考えられる。その後は、相浦砂岩については流量がほぼ一定に落ち着いているが、ベレア砂岩については、注入、排出流量ともに振れ幅が大きく安定しない。これは、ベレア砂岩の空隙率が大きく透過性も大きいため、岩石内部に CO₂ が貯留されることなく注入した CO₂ の大部分が透過していくものと考えられる。

4. CO₂ 透過・貯留特性の評価

各岩石の結果に対し定水位法の厳密解を、多相流

Table 1 Property of Specimen.

試験体	単位体積重量(g/cm ³)	空隙率(%)	透水係数(cm/s)
相浦砂岩	2.35	15.5	2.91 E-08
ベレア砂岩	2.08	24.8	2.53 E-05

Table 2 Experimental condition.

試験体	拘束圧(MPa)	間隙圧(MPa)	温度(°C)	差圧(cmH ₂ O)	試験体寸法(cm)
相浦砂岩	20	10	35	2000	φ 5×10
ベレア砂岩				300	

のダルシー式により二相流に拡張した以下の(1)式を用いて、CO₂の透過・貯留特性を評価する。

$$Q(L, t) = \left(\frac{k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k_{rCO_2}}{\mu_{CO_2}} \right) \frac{kA \cdot \Delta H}{L} \cdot \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left(- \frac{\left(\frac{k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k_{rCO_2}}{\mu_{CO_2}} \right) k}{S_s} \cdot \frac{n^2 \pi^2}{L^2} t \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 $Q(L, t)$ ；注入流量， L ；試験体長， A ；試験体断面積， K ；透水係数， S_s ；比貯留率， k ；試験体の固有浸透率である。また、添字 w , CO_2 はそれぞれ水， CO_2 であり， k_{rw} , k_{rCO_2} は，それぞれの相対浸透率を表す。(1)式を実験で得られた流量の時間変化に対し適用する。その際，比貯留率 S_s ，および相対浸透率 k_{rw} , k_{rCO_2} の値を変数とし，流量に一致させるようにフィッティングを行い，相対浸透率を決定し，対応する比貯留率を算出することにより比貯留率の時間変化を求める。

解析により得られた比貯留率の時間変化を Fig.5 に示す。これより，ベレア砂岩では，比貯留率が 0.0015 [1/cm] で一定となったが，その後再び 0.005 まで増加している。これは，実験において流量が安定せず大きく変動していることに起因するものと考えられる。一方，相浦砂岩については比貯留率が 0.03 [1/cm] まで増加し，その後一定となっている。このように比貯留率からも，ベレア砂岩に比べ空隙率が小さい相浦砂岩のほうが CO₂ の貯留性は高いと考えられる。

5. 結論

本研究により比貯留率の関係から空隙率が小さく，難透過性である相浦砂岩が空隙率の大きいベレア砂岩に比べ CO₂ の貯留性が高く，また，内部での CO₂ の移動も遅いため長期的な CO₂ の隔離に有効であることが示された。

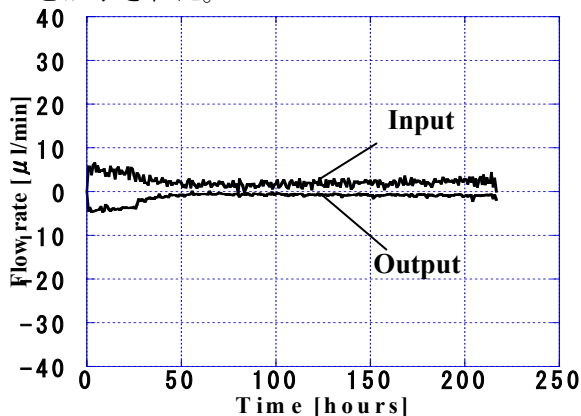


Fig. 1 Change of flow rate (Ainoura).

参考文献

- 1) 大浦志郎他；難透過性岩石を対象としたCO₂透過・貯留特性評価のための実験システムの開発，平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.511-512，2010.

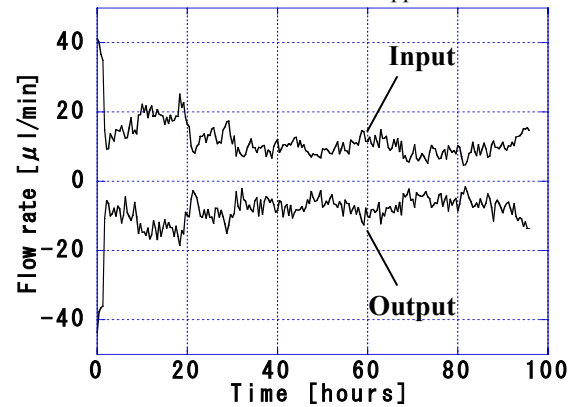


Fig. 2 Change of flow rate (Berea).

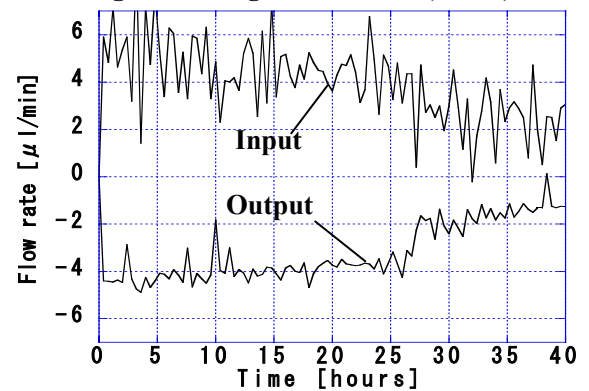


Fig. 3 Change of flow rate until 40hours (Ainoura).

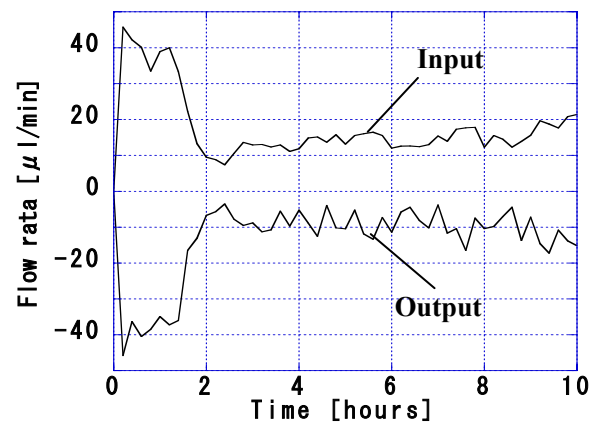


Fig. 4 Change of flow rate until 10 hours (Berea).

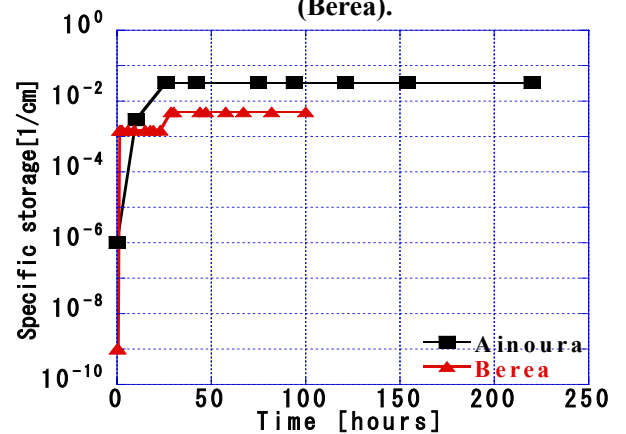


Fig. 5 Change of Specific storage.