

層理を有するベレア砂岩を用いた低流量条件下での CO₂ 透過特性に関する実験的研究

九州大学工学部 学生会員 ○松尾 憲弥 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 正会員 谷口 寿俊
 九州大学 非会員 北村 圭吾 九州大学大学院 学生会員 本田 博之
 九州大学大学院 学生会員 今里 光紀

1. はじめに

CO₂回収・貯留技術(CCS)は、CO₂排出量を削減する有効な技術の1つとして注目されている。CCSにおいて、地下深部貯留層に圧入したCO₂の挙動把握は重要である。先行研究¹⁾では、層理面と平行にコアリングしたベレア砂岩の供試体に対し、CO₂注入流量を変化させながら、CO₂飽和度と間隙圧および弾性波速度(V_p)の測定を行った結果、ベレア砂岩内のCO₂の挙動はベレア砂岩の有する層理の影響を受けていることが確認された。

そこで本研究では、ベレア砂岩の有する層理がCO₂透過特性にどのような影響を及ぼすか明らかにすることを目的とし、層理面と平行にコアリングしたベレア砂岩に対し、CO₂注入試験を実施する。

2. 試験体と実験システム

試験体は直径3.5 cm、高さ7.0 cmの円柱形に成形したベレア砂岩(空隙率:18.1%, 単位体積重量: 2.60×10^{-1} kN/m³)を用いる。図-1はベレア砂岩の試験体中央断面のX線CT画像である。白い領域は空隙率が低く、黒い領域は空隙率が高いことを表しており、明瞭な層理が確認できる。層理によるCO₂の透過挙動の違いを把握するために図-2に示すように試験体には V_p 測定用の端子を層理面に平行な方向(Ch.1→Ch.3)とそれに直交する方向(Ch.2→Ch.4)に取り付ける。

図-3に実験システムの概要図を示す。実験では地下深部の貯留層と同等の温度・圧力条件(拘束圧:15 MPa, 温度:40 °C)を再現する。この条件下でCO₂は超臨界状態となる。また、試験体は1.0 wt%-KCl溶液で飽和した状態を初期条件とする。CO₂の透過メカニズムはCO₂注入流量に影響を受けるため²⁾、CO₂注入流量を3段階(0.05, 0.1, 0.5 mL/min)に変化させ、試験体中央断面の V_p を測定する。注入流量を上げる際は、注入を停止し、試験体内を1.0 wt%-KCl溶液で上下両方向から数回洗浄し、試験体内に残存するCO₂を完全に除去する。CO₂注入開始前の塩水飽和状態時の V_p と試験体内を塩水で洗浄した後の V_p が一致した時点でCO₂が完全に除去で

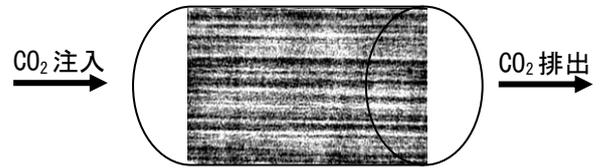


図-1 ベレア砂岩のX線CT画像

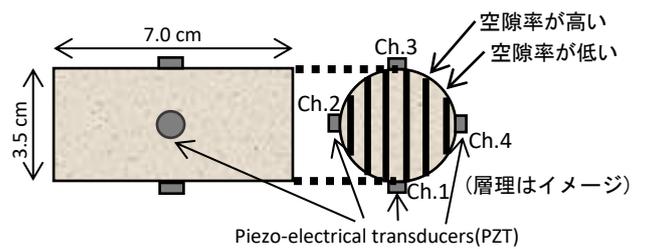


図-2 試験体のセットアップ

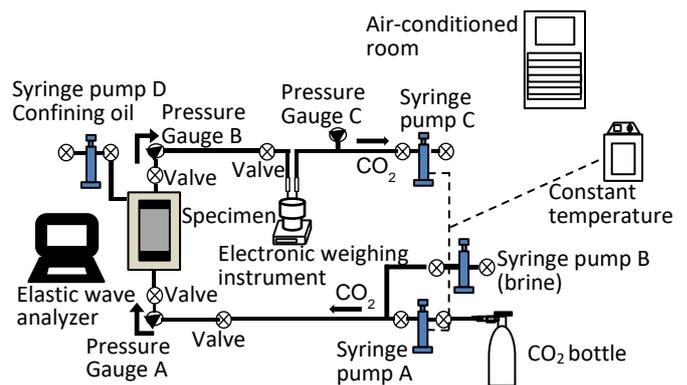


図-3 実験システム

きたと判断する。

3. 実験結果および考察

CO₂注入試験時、差圧が定常となった際の各CO₂注入流量における差圧の値を図-4に示す。なお、定常状態は差圧の変化から判断し、注入流量0.05 mL/min, 0.1 mL/min, 0.5 mL/minでそれぞれ、開始から1時間, 14.2時間, 1.4時間以降を定常状態とした。図-4に示すように、CO₂注入流量の増加に伴い、差圧の定常値は比例して上昇する。先行研究³⁾において今回の実験よりも大きな流量でCO₂を透過させた場合、このような比例関係は成立しておらず、CO₂の透過挙動はDarcy則に従った定常流れとなっていることがわかる。

次に、2方向(Ch.1→Ch.3およびCh.2→Ch.4)の V_p の時間変化をCO₂注入流量別に図-5, 図-6, 図-7に示す。2方向の V_p の初期値の違いは、 V_p の測定範囲内の密度の

違いが要因である。X線CT画像より求めた V_p 測定範囲に占める空隙の割合を表-1に示す。Ch.1→Ch.3方向よりもCh.2→Ch.4方向の方が空隙率の低い領域の占める割合が大きく、密度も大きいため、 V_p の初期値はCh.2→Ch.4方向が大きくなり、層理の空隙分布に依存していることがわかる。次に、2方向の V_p の初期値の差と定常と判断した際の平均値の差を表-2に示す。注入流量の増加に伴い V_p の差は大きくなる。これは、流量0.05 mL/minでは空隙の一部を透過し、さらに流量を増加させることで空隙内のほとんどがCO₂で満たされ、低流量条件下では、CO₂の挙動が、CO₂注入開始前と同様に層理の空隙分布に依存していることを示している。

次に、 V_p の減少率(初期値と定常時の平均値により求める)を表-3に示す。注入流量が増加するにつれて減少率は大きくなっている。また、チャンネル別に見ると空隙率の高い領域の占める割合が大きいCh.1→Ch.3方向の減少率の低下がCh.2→Ch.4方向よりも大きい。このことから低流量条件下では、CO₂はベレア砂岩内部を一様に透過するのではなく、空隙率の高い領域を選択的に透過し、注入流量を増加させると、空隙率の高い領域内で流路を拡大させると考えられる。

4. おわりに

本研究では、 V_p を計測し、注入流量の違いによってCO₂が層理に対してどのような挙動を示すか検討を行った。その結果、低流量条件下では、CO₂は層理に対して空隙率の高い領域のみを透過することがわかった。今後はさらに注入流量を増加させ、CO₂が層理に対してどのような挙動を示すか検討する予定である。

表-1 V_p 測定範囲に占める空隙の割合

	白(空隙率小)	黒(空隙率大)
Ch.1→Ch.3	35%	65%
Ch.2→Ch.4	75%	25%

表-2 2方向(Ch.1→Ch.3およびCh.2→Ch.4)の V_p の差

	注入流量 0.05 mL/min	注入流量 0.1 mL/min	注入流量 0.5 mL/min
初期値の差	0.125	0.094	0.128
定常時の差	0.083	0.104	0.144

参考文献

- 1) 今里光紀: 超臨界 CO₂ 透過実験における透過特性の異なる岩石の CO₂ 透過メカニズムに関する実験的研究, 岩の力学シンポジウム, 2016.
- 2) Matsuoka Toshifumi: Lessons from the Japanese Pilot Project on Saline Aquifer CO₂ Storage, *Journal of Geography*, 2008.
- 3) 今里光紀: CO₂注入流量の違いによるCO₂飽和度の変化に関する実験的研究, 土木学会西部支部, 2016.

表-3 V_p の減少率

	Ch.1→Ch.3	Ch.2→Ch.4
注入流量 0.05mL/min	0.43%	1.56%
注入流量 0.1mL/min	3.35%	2.99%
注入流量 0.5mL/min	3.76%	3.19%

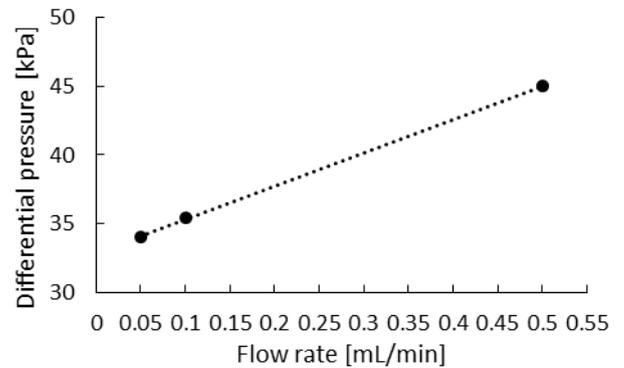


図-4 注入流量と差圧の関係

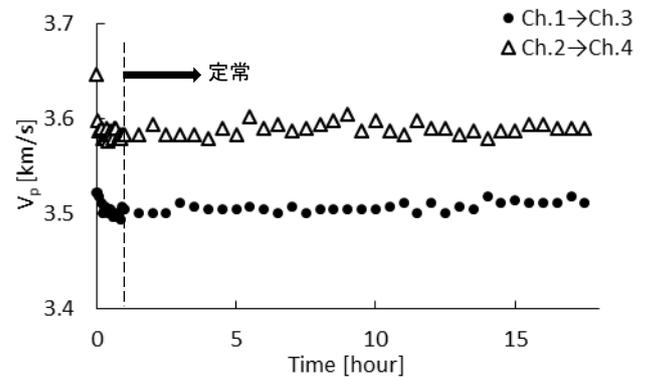


図-5 注入流量 0.05mL/minでの V_p の変化

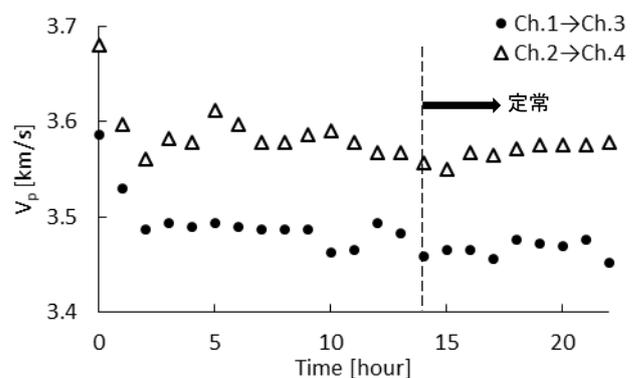


図-6 注入流量 0.1mL/minでの V_p の変化

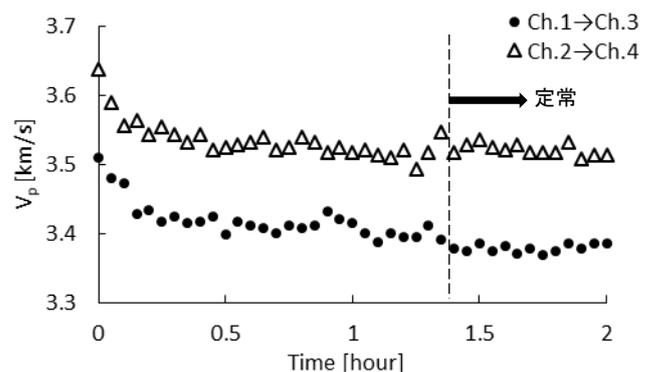


図-7 注入流量 0.5mL/minでの V_p の変化