

CCS を模擬した鉱物トラップによるベレア砂岩の力学・透水特性評価

愛媛大学大学院 学生会員 ○ 柏木亮太 愛媛大学大学院 正会員 安原英明
愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹

1. はじめに

近年、大気中の CO_2 濃度が上昇しつつあり、 CO_2 などの温室効果ガス濃度の上昇が地球温暖化の原因の一つとして問題となっている。この打開策として、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) が有望視されており、実施に当たっては、貯留層の特性を把握する技術だけでなく、 CO_2 を貯留したことによる貯留層の物理特性変化や層内での CO_2 の挙動を正確に予想できる技術が必要になると考えられる¹⁾。圧入された CO_2 は貯留層内の岩石と反応し、カルサイト (炭酸カルシウム) などの二次鉱物となって地下固定される²⁾。その結果、圧入される貯留層の強度・変形特性、透水特性に変化をもたらすことが予想されるため、 CO_2 圧入が貯留層に及ぼす影響を精査することが必要不可欠である。そこで、本研究では CCS における炭酸カルシウム析出 (鉱物トラップ) を実験的に再現し、物理特性変化を測定することで、貯留層に及ぼす影響を評価する。

2. 実験概要

本研究では、貯留層を模擬したベレア砂岩円柱供試体 ($\phi 30 \times 60 \text{ mm}$) 内に炭酸カルシウムを析出させることにより、 CO_2 地中貯留における鉱物固定を実験的に再現する。
図 1 に示すように、圧力セルにセットした供試体に溶液 (0.9 mol/L に濃度調整した塩化カルシウム・尿素混合溶液) を圧入し、炭酸カルシウムを析出させる。さらに、炭酸カルシウム析出前後で弾性波試験 (P 波速度の測定)、透水試験 (透過率の測定)、一軸圧縮試験 (一軸圧縮強さ、静弾性係数の測定) を実施することで変形・強度特性および透水性的変化を定量的に評価した。

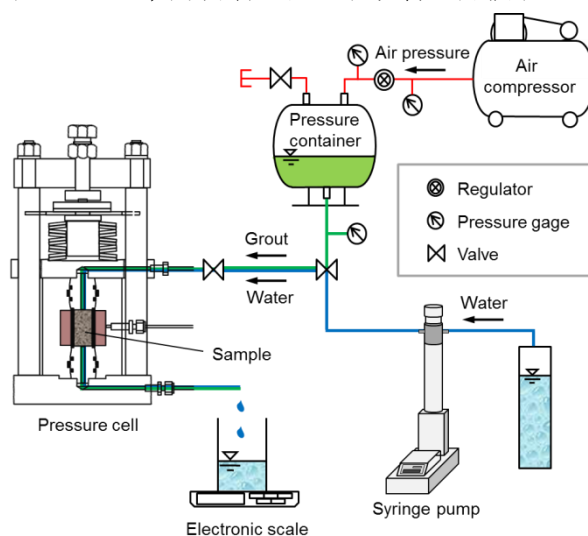


図 1 グラウト材圧入・透水試験の模式図

3. 弾性波試験結果

変形特性を評価するために弾性波試験を行った。本研究では、炭酸カルシウムの析出を定量的に評価する指標として、式(1)に示す空隙占有比を用いる。また、P 波速度の変化を定量的に評価するために、炭酸カルシウム析出後の P 波速度を析出前の P 波速度で除し、正規化する (以下、正規化 P 波速度と記述)。

$$R_p = \frac{V_c}{V_v} \cdot 100 \quad (1)$$

ここで、 R_p : 空隙占有比 [%], V_c : 析出した炭酸カルシウムの体積 [cm^3], V_v : 空隙の体積 [cm^3] を示す。

結果を図 2 に示す。結果より、空隙占有比に比例して P 波速度は増加していることが確認できる。特に、空隙の約 5 % を炭酸カルシウムが占有すると、P 波速度は約 1.3~1.5 倍増加することが確認された。

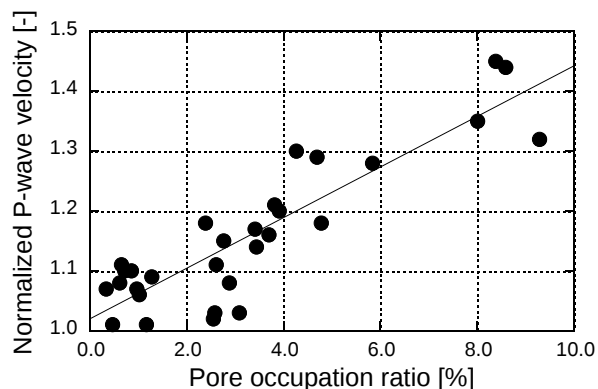


図 2 正規化 P 波速度と空隙占有比の関係 (黒の直線: 実験結果の回帰直線)

4. 透水試験結果

透水性を評価するために透水試験を行った。本研究では、透水性を定量的に評価する指標として、式(2)に示す透過率を用いる。また、透過率の変化を定量的に評価するために、炭酸カルシウム析出後の透過率を析出前の透過率で除し、正規化する（以下、正規化透過率と記述）。

$$K = \frac{\mu QH}{A \Delta P} \quad (2)$$

ここで、 μ ：透過流体の粘性係数 [Pa s]、 Q ：流量 [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]、 A ：供試体断面積 [m^2]、 ΔP ：透水差圧 [Pa] を示す。

結果を図3に示す。結果より、空隙の約9%を炭酸カルシウムが占有すると、透過率は1オーダー近く減少していることが確認できる。ただし、変化が明瞭に確認できるのは空隙占有比5%を超えたあたりからである。以上より、空隙を占有する炭酸カルシウムが岩石自体の透過率減少に影響を及ぼすことが確認された。

5. 一軸圧縮試験結果

変形・強度特性を評価するために一軸圧縮試験を行った。炭酸カルシウム析出後の供試体を破壊し、その比較対象として溶液を圧入していない供試体を破壊する。

結果を図4、図5に示す。空隙の約9%を炭酸カルシウムが占有すると、一軸圧縮強さは約1.3倍増加し、割線弾性係数 E_{s50} は約2.3倍増加している。空隙占有比に対する一軸圧縮強さの変化率に明瞭な関係は確認できなかったが、炭酸カルシウム析出により一軸圧縮強さが増加する傾向は得られたため、空隙を占有する炭酸カルシウムが岩石自体の強度の増加に影響を及ぼすことは確認された。

6. 終わりに

炭酸カルシウム析出に起因する変形・強度特性（P波速度、弾性係数、一軸圧縮強さ）、透水特性（透過率）の変化を定量的に評価することができた。本研究の結果から、 CO_2 地中貯留における鉱物トラップは、貯留層の耐震性を向上させ、 CO_2 トラッピング効果を促進させると結論付けられる。今後は、炭酸カルシウムの空隙占有率を高めた実験を実施し、その効果を検証する必要がある。

参考文献

- 1) 小川豊和, 横山正利：超臨界二酸化炭素浸透実験装置の開発, 大成建設技術センター報 第42号, p.55, 2009.
- 2) 奥山康子, 佐々木宗建, 村岡洋文, 金子信行, 徂徠正夫： CO_2 帯水層貯留での「地層水」の役割とわが国での CO_2 地化学トラッピングへの適用性, Journal of Geography, Vol.117, No.4, pp.768-781, 2008.

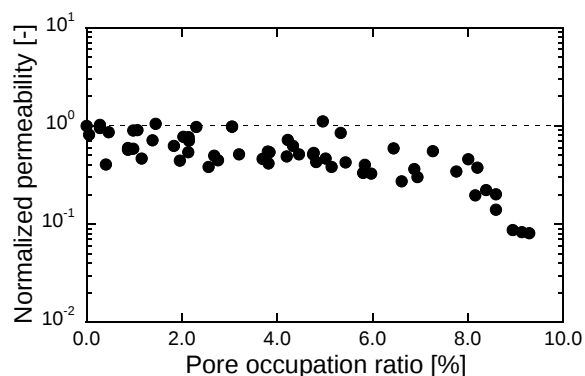


図3 正規化透過率と空隙占有比の関係

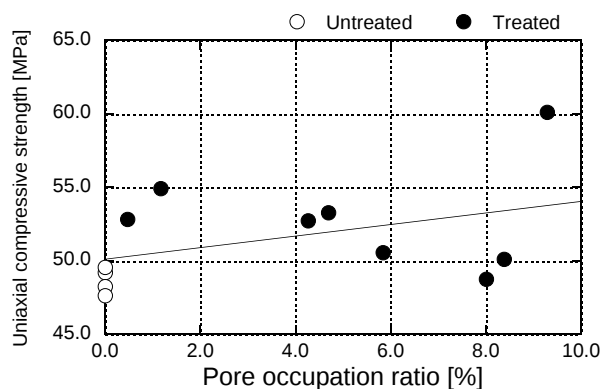


図4 一軸圧縮強さと空隙占有比の関係
(黒の直線：実験結果の回帰直線)

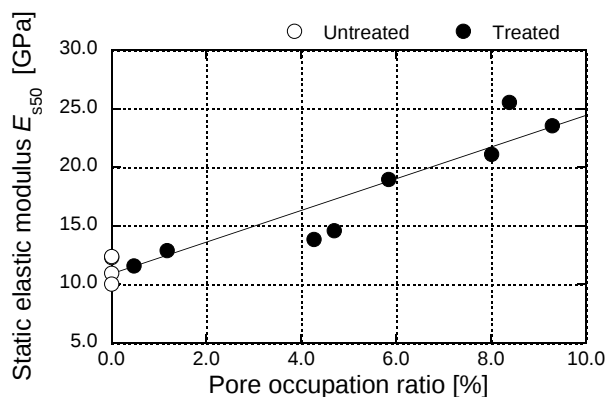


図5 割線弾性係数 E_{s50} と空隙占有比の関係
(黒の直線：実験結果の回帰直線)