

# 難透過性砂岩に対する CO<sub>2</sub> 注入実験

佐藤 雄斗

九州大学 工学部 技術部 計測・分析室 環境解析班

## 1. はじめに

地球温暖化の緩和策として、CO<sub>2</sub> 地中貯留 (Carbon dioxide Capture and Storage : CCS ) が注目されている。CO<sub>2</sub> 地中貯留とは発電所などの CO<sub>2</sub> 大規模発生源より排出されるガス中の CO<sub>2</sub> を分離・回収し、それを地下深部や海洋へと圧入し、大気中から長期的に隔離する技術である。CCS は、地球温暖化を緩和しつつ、徐々に低炭素社会への移行を目指すうえで有効な技術であると言える。CO<sub>2</sub> 地中貯留の主な貯留層は、上部にドーム状の不透水層 (キャップロック) を有する帯水層である。しかし、日本において、このような地質構造はごく限られた地域にしか存在しない。そのため、キャップロックを必要としない帯水層への貯留が検討されており、地下深部の難透過性砂岩への貯留が考案されている。難透過性砂岩は固結度が高く、流体の移流速度が遅いため、岩石内を CO<sub>2</sub> が侵入する過程で地下水への溶解や鉱物化による、CO<sub>2</sub> の貯留・固定に期待できる<sup>[1]</sup>。そこで本研究では、難透過性砂岩への超臨界 CO<sub>2</sub> 注入実験において、岩石の 2 次元断面全体の弾性波速度をモニタリングし、CO<sub>2</sub> 注入に伴う弾性波速度の経時変化を明らかにする。さらに、CO<sub>2</sub> 注入実験後に水注入実験を行い貯留形態の評価を行う。

## 2. 実験内容

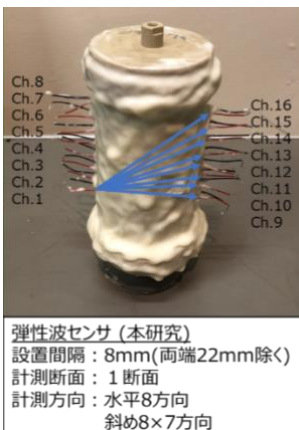


図 1 試験体

試験体は、直径 50 mm、高さ 100 mm の円柱に成形した純水飽和状態の相浦砂岩 (空隙率 13.6%、単位体積重 2.37g/cm<sup>3</sup>、透水係数 2.05×10<sup>-8</sup>cm/s) を用いる (図 1)。本実験では、CO<sub>2</sub> 地中貯留における貯留層の圧力および温度条件 (拘束圧 20 MPa、初期間隙圧 10

MPa、温度 40 °C) を再現する。この条件で CO<sub>2</sub> は

超臨界状態となる。超臨界状態にすることで CO<sub>2</sub> 注入の効率、安定性を高くすることができる。実験システムを図 2 に示す。CO<sub>2</sub> を充填した注入用ポンプを一定流量 0.01 mL/min、拘束圧制御用ポンプを定圧 10 MPa に設定し、試験体下端より CO<sub>2</sub> を注入する。注入時は弾性波システムを作動させ、岩石内部の波の伝播速度を計測する。CO<sub>2</sub> 注入終了後、注入用ポンプ内の CO<sub>2</sub> を水に入れ替え、水注入を行う。最後に、実験前後の注入側の試験体断面に対して、走査型電子顕微鏡 (SEM) で X 線回折法 (EDX) による元素分析を実施し、鉱物の生成について確認を行う。

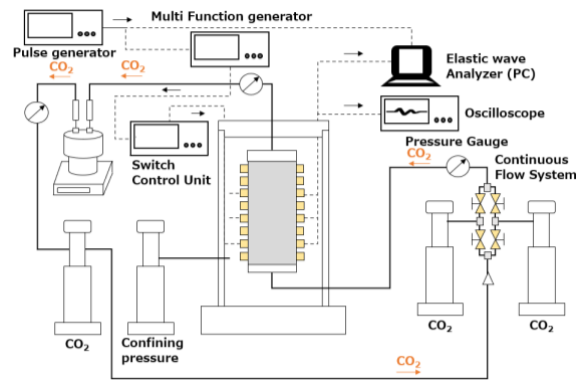


図 2 実験システム概略図

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 超臨界 CO<sub>2</sub> 注入実験の結果および考察

注入方向に対して垂直なセンサにおける  $V_p$  変化率、 $V_p$  分布の時間変化を図 3, 図 4 に示す。注入方向に対して垂直なセンサにおける  $V_p$  変化率は、約 150 時間で -0.01 となった後、 $V_p$  が急下降し、210 時間で Ch.1~3 は -0.05、Ch.4~8 は -0.06 となった。その後、 $V_p$  は徐々に減少し、420 時間で  $V_p$  が安定して Ch. 1, 8 は -0.06、Ch.2~4 は -0.07、Ch.5, 6 は -0.08、Ch.7 は -0.09 となった。このことから、実験開始から 150 時間から 210 時間の間に比較的多量の CO<sub>2</sub> が岩石内に侵入したことが明らかになった。

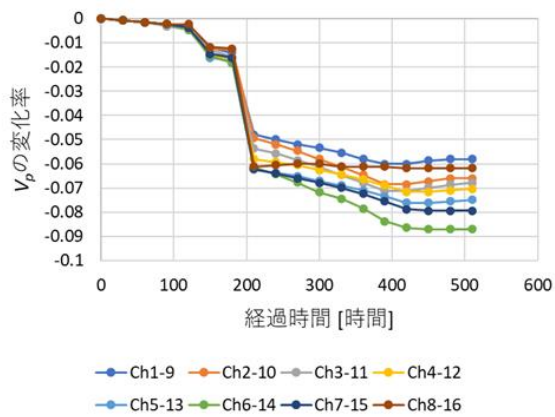


図 3  $V_p$  変化率の時間変化\_  $\text{CO}_2$  注入

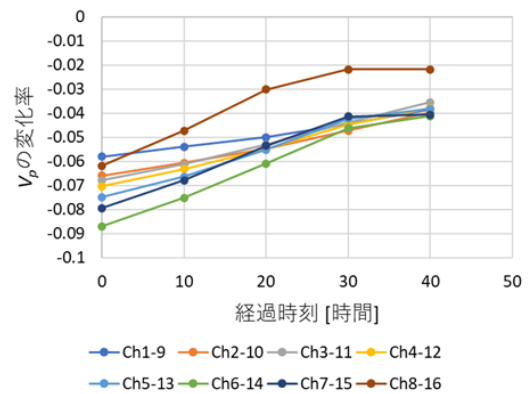


図 5  $V_p$  変化率の時間変化\_水注入

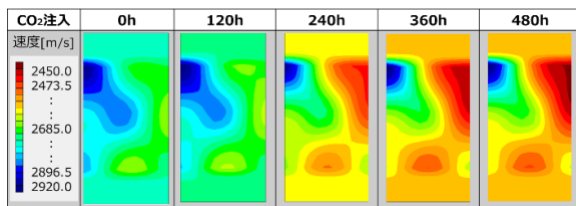


図 4  $V_p$  分布の時間変化\_  $\text{CO}_2$  注入

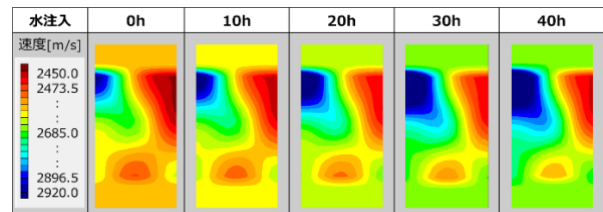


図 6  $V_p$  分布の時間変化\_水注入

### 3.2 水注入実験の結果および考察

地中に貯留された  $\text{CO}_2$  は経過時間によって、「構造トラップ」、「残留ガストラップ」、「溶解トラップ」、「鉱物化」の順に貯留形態が変化する。本実験ではこの4形態のうち「残留ガストラップ」に注目した。「残留ガストラップ」とは  $\text{CO}_2$  が貯留層内を侵入していく過程で、周囲を地下水で囲まれて動かなくなる状態を指す。水注入実験後に岩石内に残留した  $\text{CO}_2$  があれば「残留ガストラップ」の発現を意味する<sup>[2]</sup>。

注入方向に対して垂直なセンサにおける  $V_p$  変化率、 $V_p$  分布の時間変化を図 5, 図 6 に示す。水平方向の  $V_p$  変化率は、実験開始時 Ch.1, 8 は -0.06, Ch.2~5 は -0.07, Ch.7 は -0.08, Ch.6 は -0.09 であった。実験開始後に  $V_p$  は徐々に回復して、40 時間で Ch.8 は -0.02, Ch.1~7 は -0.04 となった。 $\text{CO}_2$  注入時と水注入時の  $V_p$  分布を比べると、 $\text{CO}_2$  注入時に著しい変化を確認した箇所（試験体右上部分など）は、水注入時は反対に大きな変化は確認されなかった。この箇所は「残留ガストラップ」の発現が示唆される。

### 4. 現在の研究について

章現在は試験体を玄武岩に変更し、また  $\text{CO}_2$  の注入時間を大幅に延長しての実験を行っている。玄武岩をはじめとする火成岩は日本にも多く分布しており貯留のメカニズムの解明は重要である。他の研究成果では  $\text{CO}_2$  の貯留形態のうち「溶解トラップ」、「鉱物化」の発現を確認することが目標である。実験終了後は XRD (X 線回析法) などを用いて岩石内の化合物の同定も行う予定である。

#### 参考文献

- [1] Olsen, H. W. : Darcy's Law in Saturated Kaolinite, *Water Resources Research*, Vol.2, No.6, pp.287-295, 1966.
- [2] 公益財団法人地球環境産業技術研究機構:  $\text{CO}_2$  地中貯留の技術課題に対する RITE の取り組み