

CO₂ 地中貯留条件下での泥岩における水理特性の有効圧依存性に関する研究 Effective confining stress-dependence of hydraulic properties of mudstones under conditions of geological storage of CO₂

藤井 孝志^{1*}; 上原 真一²; 徂徠 正夫¹
FUJII, Takashi^{1*}; UEHARA, Shin-ichi²; SORAI, Masao¹

¹ 独立行政法人 産業技術総合研究所, ² 東邦大学 理学部 生命圏環境科学研究科

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²Department of Environmental Science, Faculty of Science, Toho University

CO₂ 地中貯留過程において、深部塩水層への CO₂ 注入による岩盤の地圧変化に伴い、キャップロックを含む周辺岩盤が変形することが予想される。また、その変形と同時に、水理特性の一つであるスレッシュホールド圧も変化する可能性がある。そこで、本研究では、そのような有効圧変化がキャップロックの水理特性（スレッシュホールド圧、浸透率）に及ぼす影響を評価する。具体的には、想定される深部塩水層の温度・有効圧条件（温度 40 °C、有効圧 1 – 20 MPa）において、キャップロックの一種である泥岩を対象に、スレッシュホールド圧、および浸透率の有効圧依存性について調べた。また、それらの結果は、ポア形状等の幾何学的性質や载荷に伴う力学的変形挙動に依存することから、用いた泥岩について、走査型電子顕微鏡（SEM）による表面観察、および水銀ポロシメータによる細孔径分布の測定、ならびに岩石の空隙率の有効圧依存性を調べた。使用した岩石試料は、房総半島の上総層群の大田代層（OTD）、大原層（OHR）、ならびに浪花層（NMH）の泥岩を用いた。以下に得られた知見について述べる。

- NMH 泥岩および OHR 泥岩における SEM による表面観察の結果、泥岩を構成する碎屑物粒子は、各々の泥岩ごとでその大きさに違いが見られ、それらの粒内および粒間には、数ミクロンオーダーの扁平状の孔隙やき裂、ならびに丸みを帯びた孔隙が分布していることが明らかとなった。さらに、各種泥岩中には、豊富な微化石が観察され、化石の構造自体も孔隙の一種となっている可能性が示された。

- 有効圧に対する透水係数の変化を調べた結果、NMH 泥岩の透水係数は、有効圧の増加に伴い単調に減少し、1 MPa の低有効圧条件下での値に比べ、およそ 1 桁の減少量が観察された。一方、OHR 泥岩は、NMH 泥岩の場合と大きく異なり、およそ 5 MPa 近傍において屈曲点が見られ、有効圧が 5 MPa から 10 MPa の間で透水係数が急激に減少する傾向が見られた。その際に観察された透水係数の減少量は、最大でおよそ 3 桁であった。

- 空隙率のその場測定に基づく各種泥岩の圧縮曲線から臨界応力値を推定した結果、OHR 泥岩および NMH 泥岩は、それぞれ約 5 MPa と約 7 MPa に臨界応力の存在が明らかとなった。

- 本測定で得られた NMH 泥岩および OHR 泥岩の結果は、スレッシュホールド圧と透水係数の両対数の間の相関性に合致する場合と、低有効圧条件のみが相関性から外れ、その他の応力条件では相関性に合致する、主として 2 パターンに分類されることが明らかとなった。

同じ泥岩種である NMH 泥岩および OHR 泥岩は、ともに類似した細孔径分布をもつにもかかわらず、圧縮に伴う透水性およびスレッシュホールド圧の変化挙動に対して大きな違いが見られた。その主な原因は、各々の泥岩中の扁平な孔隙や微小なき裂の存在に起因することが示された。以上のことから、有効圧の低下によるキャップロックの変形挙動が遮蔽性能や水理性能に及ぼす影響は、各種泥岩の性状の違いにより異なることが明らかとなった。とくに、たとえ泥岩中のき裂が数ミクロン程度の微小な大きさであったとしても、そのような微小なき裂の存在は、キャップロックの遮蔽性能や水理性能を特徴づける重要な要素の一つとなる可能性が示された。

キーワード: スレッシュホールド圧, 浸透率, 泥岩, 有効圧, CO₂ 地中貯留

Keywords: threshold pressure, permeability, mudstone, effective pressure, CO₂ geological storage