

数種の泥岩における超臨界 CO₂ のスレッシュリョルド圧力測定法に関する検討 Study of measuring method for supercritical CO₂ threshold pressure on several mudstone

木山 保^{1*}, 薛 自求¹
KIYAMA, Tamotsu^{1*}, Ziqui Xue¹

¹ 公益財団法人地球環境産業技術研究機構

¹ Research Institute of Innovative Technology for the Earth

地球温暖化防止策の一つの CO₂ 地中貯留において、超臨界 CO₂ は地層水より密度が低いので、CO₂ が安定的に貯留されるには、貯留層の上部にシール性能を有する遮蔽層が必要である。低浸透率の泥岩層などで構成される遮蔽層は固有のスレッシュリョルド圧力を示し、CO₂ 圧入圧がこれを超えない限り遮蔽層に CO₂ が浸入することはないので、スレッシュリョルド圧力の適正な評価が CO₂ 地中貯留の安全性や経済性に重要である。スレッシュリョルド圧力測定法のうち、段階昇圧法は信頼性が高いが試験時間が長期化しやすい。残差圧力法は局所的なスレッシュリョルド圧力を反映し過小評価の可能性がある。動的流動法は流量変化から間接的にスレッシュリョルド圧力を推定している。本報告では泥岩を対象に試験を実施し、試験時間が短く、差圧変化からスレッシュリョルド圧力を評価する定流量排水法を提案する。

試験に用いた泥岩は国内数か所の露頭で採取し、円柱状に整形した。すべての試験において間隙流体圧は 10MPa、温度は 40℃ とし、CO₂ は超臨界相となる。各試験の準備段階において、定水位法による浸透率測定を実施した。供試体は上下をエンドピースで挟み、側面をシリコン樹脂などで被覆して封圧媒体の浸入を防止した。供試体とエンドピースの間に SUS316 網を挟んだ。一部の試験では供試体の側面にひずみゲージを貼付した。供試体を圧力容器に収納し、容器に巻き付けたヒータで温度を設定し、シリンジポンプで封圧を設定した。CO₂ の注入、水の注入および供試体から排出された流体の制御にそれぞれ個別のシリンジポンプを配置した。これらを 40℃ の恒温室に収め、制御および計測は LabVIEW により室外から行った。

泥岩 A 試験 I は、封圧 20MPa で段階昇圧法で実施した。水の注入から CO₂ の注入に変更して数時間後に排出流量がゼロとなったが、これはデッドボリュームの水がすべて供試体に浸入し CO₂ が供試体端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現したことを示唆する。その後、6 時間ごとに注入側圧力を 0.1MPa ずつ増加し、CO₂ 注入開始から 70 時間近く経過し、差圧が 1.24MPa に達したところで排出が開始した。ここでスレッシュリョルド圧力は 1.24MPa と評価される。

泥岩 A 試験 II は、封圧 12MPa で定流量排水法で実施した。浸透率測定において、0.12MPa の差圧で 0.004ml/min の流量が確認されたので、排出流量を 0.004ml/min に制御して定流量排水法を開始した。開始直後は 0.12MPa の差圧が観測され、デッドボリュームの水が供試体に浸入していることを示唆する。4 時間後に排出側圧力が急激に減少し、10 時間後に差圧は 0.71MPa を示した。CO₂ が供試体の端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現し、差圧がスレッシュリョルド圧力を超えて CO₂ が浸入するまで排出側の圧力が低下したと考えられる。差圧 0.12MPa から 0.71MPa までの 0.59MPa の差圧変化がスレッシュリョルド圧力に相当すると考えられる。

泥岩 A 試験 III は、封圧 20MPa で定流量排水法で実施し、注入側と排出側の 2 測点でひずみ変化を観測した。試験と同様に排出側の圧力が急激に減少し、スレッシュリョルド圧力は 0.85MPa と評価された。排出側圧力が減少すると同時に、位置の異なる 2 箇所で同様に圧縮ひずみを示した。これは CO₂ が端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現し、間隙圧が一様に減少したことを示唆する。また排出流量減少から 3 時間後に注入側の測点で膨張ひずみが、11 時間後に排出側の測点で膨張ひずみが観測された。供試体に浸入した CO₂ が測点の位置に到達し、間隙圧が上昇して膨張ひずみが観測されたと考えられる。

試験 I、試験 II および試験 III の浸透率は、それぞれ 3.1、9.3 および 6.5 μダルシーであった。そこで Thomas らのようにスレッシュリョルド圧力を浸透率の逆数で整理したところ、両対数上で明瞭な正の相関が認められた。超臨界 CO₂ のスレッシュリョルド圧力は Thomas による N₂ のスレッシュリョルド圧力より高い値を示し、西本らの報告に調和的である。

試験 I の段階昇圧法で CO₂ 注入から 70 時間後にスレッシュリョルド圧力が評価できたのに対し、試験 II の定流量排水法では 10 時間で評価され、試験時間短縮の可能性が確認された。ひずみの観測は CO₂ の挙動の解釈に有効であり、原位置の CO₂ 地中貯留においても光ファイバーなどを用いた計測技術の展開が期待される。

謝辞：本研究は、経済産業省委託事業「二酸化炭素回収貯蔵安全性評価技術開発事業」の一環として行われた。

1) L. K. Thomas, et al.: Soc. Petrol. Eng. J., Vol.8 (1968), 174-184.

2) 西本壮志他：物理探査, Vol.62 No.4(2009), 421-436.

キーワード: スレッシュリョルド圧力, 超臨界 CO₂, キャップロック, 泥岩

Keywords: Threshold Pressure, supercritical CO₂, cap rock, mudstone