

比抵抗及び自然電位によるCO₂移行挙動のモニタリング - 岩石コア試料へのCO₂注入実験 -

Monitoring of CO₂ migration by resistivity and SP survey -Experiment of CO₂ injection into rock samples-

窪田 健二 [1]; 鈴木 浩一 [1]; 薛 自求 [2]

Kenji Kubota[1]; Koichi Suzuki[1]; ziqiu xue[2]

[1] 電中研; [2] 京大

[1] CRIEPI; [2] Kyoto University

CO₂の大気中への放出量を緩和する手法の一つとして、大規模なCO₂放出源である火力発電所などの燃焼排ガスからCO₂を分離・回収し、地下深部の帯水層に貯留する方法が、有望な手法のひとつと考えられている。地中貯留の実施にあたっては、圧入されたCO₂の移行方向及び移行範囲を把握、管理するためのモニタリングを行うことが必須になると考えられており、手法の開発が求められている。その中で、電気比抵抗及び自然電位(SP)によるモニタリングが有効な手法の一つとして注目されているが、実フィールド規模での適用のためには、CO₂圧入に伴う変化特性を定量的に評価しておくことが重要である。一般的に、貯留が想定されている800m以深の帯水層では、CO₂は超臨界状態となる。従って、超臨界CO₂の比抵抗変化特性や移行挙動特性の解明が望まれている。これには、コア試料への超臨界CO₂注入実験を行い、CO₂注入に伴う比抵抗の変化特性を把握しておくことが重要となる。また、気体CO₂、液体CO₂という密度・粘性等が異なる相の注入実験の結果との比較を行うことで、超臨界CO₂注入に伴う比抵抗の変化特性だけでなく、移行挙動特性も明らかになることが期待される。そこで、地下深部の温度・圧力状態を模擬した条件下において、多孔質砂岩のコア試料に気体、液体、超臨界CO₂をそれぞれ注入し、その際の比抵抗及び自然電位変化を測定することで、同手法のCO₂地中挙動モニタリングへの有効性について検討を行った。

本研究では、岩石試料として米国産のデボン紀の砂岩であるBerea sandstoneを用い、長軸方向が体積層理面と垂直になるように円柱状にコアリングしたものをを用いた。測定試料の長さは100mm、直径は50mmであり、間隙率は17.6%である。試料の上端と下端に試料と同じ大きさに整形した真鍮メッシュ製の電極を配置し、試料の側面には真鍮メッシュ製の電極を20mm間隔で巻きつけた。

実験は、まず試料を高圧容器にセットし、測定試料に封圧を段階的に付加していき、また同時に高圧容器に巻きつけたシリコンラバーヒータを加熱することによって、地下深部の温度・圧力状態を模擬した。次に、封圧を一定に保ったまま、試料下端よりNaCl、KClなどを用いて2.4 mに調整した溶液(以下、模擬地層水)を、比抵抗の測定により試料が模擬地層水でほぼ飽和されたと思わせるまで注入した。その後、試料下端からCO₂を注入し、CO₂注入中における比抵抗及び自然電位を1~5分間隔で測定した。本実験では、含水飽和状態の測定試料にそれぞれ気体CO₂、液体CO₂、超臨界CO₂を注入した。また、実験中は3台のシリンジポンプを用いて、CO₂注入圧、間隙水圧及び封圧を制御した。

実験の結果、3相全てのケースにおいて、CO₂の注入に伴い比抵抗が増大が見られた。特に、液体、超臨界CO₂注入の場合には、CO₂の注入側である試料下端側から上端側に向けて比抵抗増大域が徐々に移行していく現象が見られた。試料の上端と下端の区間における最終的な比抵抗変化率は、超臨界CO₂の場合は147%、液体CO₂の場合は131%、気体CO₂の場合は15.7%であった。また、自然電位の測定結果では、区間によっては比抵抗が増大し始めるのと同時に自然電位も増大し始めるという傾向が見られた。その変化量は、0.03Vから0.16V程度であった。

CO₂は電気の不良導体であることから、間隙中の地層水がCO₂に置換されることに伴い、比抵抗は増大することが予想される。各相のCO₂注入実験において、比抵抗が増大が見られたとともに、CO₂の移行に伴って比抵抗増大域の移行も確認できたことから、比抵抗の繰り返し測定によってCO₂の移行範囲を捉えられることが示された。また、各相において比抵抗増大域が移行していく傾向が異なっていたが、これはCO₂の密度や粘性は各相で異なっているために、CO₂の移行挙動特性が異なっていることを捉えられたものと思われる。これは、比抵抗の繰り返し測定によりCO₂の移行挙動をモニタリングできることを示すものと思われる。

自然電位は様々な原因で変化することが知られているが、その一つとして、界面導電現象に伴い発生する流体流動電位がある。流体流動電位は、試料に加えられた圧力差に比例して生じることが知られている。今回の実験結果では、比抵抗が増大し始めるのとほぼ同時に自然電位も増大していたことから、CO₂注入に伴い地層水が流動したために生じた自然電位を捉えていた可能性がある。このように、CO₂挙動のモニタリング手法として、自然電位を用いたモニタリングも可能であることが示唆された。