

CO₂圧入にともなう石炭の挙動に対する温度および拘束条件の影響

Effects of Temperature and Constraint Conditions for the Behavior of the Coal Injected CO₂

木山 保^{1*}, 藤岡 昌司², 薛 自求³, 宮澤 大輔¹, 齊藤 龍太¹, 石島 洋二¹

Tamotsu Kiyama^{1*}, Masaji Fujioka², Zique Xue³, Daisuke Miyazawa¹, Ryuta Saito¹, Yoji Ishijima¹

¹幌延地圏環境研究所, ²石炭エネルギーセンター, ³京都大学大学院工学研究科

¹Horonobe RISE, ²Japan Coal Energy Center, ³Kyoto University

CO₂-ECBMを本邦において実証するため、夕張シューパロ鉱山で地下1000mの炭層を対象にCO₂圧入試験が実施され、CO₂圧入量は当初予想された圧入量より1オーダー低いこと、岩盤の温度が低く液体CO₂の圧入となったこと、CO₂圧入量を改善するためのN₂圧入は比較的短時間にかぎり効果を示すことなどが確認された。CO₂圧入量が低い原因として、石炭がCO₂を吸着して膨潤しCO₂の流路となる炭理を閉鎖して浸透率が低下することなどが考えられている。ところで、石炭のCO₂吸着量は温度に負の相関を示すので、高温になれば吸着していたCO₂が脱着して膨潤が軽減される可能性がある。ひずみ拘束の要素が高く浸透率が低い圧入井近傍の石炭層の温度を上昇させ、膨潤を抑制できればCO₂圧入量の維持あるいは増加が期待でき、二酸化炭素炭層固定の実用化への貢献は大きい。

夕張の試験では、石炭、水、CO₂およびN₂が、温度、間隙圧力および拘束条件に支配されて、複雑な挙動を示したものと考えられる。本研究では、応力拘束条件およびひずみ拘束条件において間隙流体がCO₂およびN₂の石炭の温度を25、40および50°Cの3段階で変化させ、ひずみ、封圧およびV_pの変化を計測した。

N₂飽和状態で間隙圧10MPa、封圧12MPaで応力拘束条件とし、40→50→40→25→40°Cのパターンで温度を変更した。つぎに超臨界CO₂を圧入し、変形などの安定を待って同じパターンで温度を変更した。たとえば15°Cの温度上昇に対して、N₂飽和状態では平均約480×10⁻⁶の膨張ひずみが、CO₂飽和状態では平均約140×10⁻⁶の膨張ひずみが計測された。間隙流体がN₂において温度とひずみに正の相関が認められるが、間隙流体がCO₂において相関は低い。間隙流体がN₂における熱膨張率は31.6×10⁻⁶/°C、間隙流体が超臨界CO₂における熱膨張率は6.7×10⁻⁶/°Cと見積もられる。後者では、温度上昇にともなう熱膨張とCO₂の吸着量低下による収縮が相殺されている可能性がある。また、間隙流体がN₂において温度変化と浸透試験のポンプ流量に負の相関が認められたが、間隙流体がCO₂において相関は認められなかった。封圧の増加にともない、ポンプ流量が低下するが、封圧16MPaでポンプ流量はほぼゼロとなった。

N₂飽和状態で間隙圧10MPa、封圧12MPaでひずみ拘束条件とし、40→50→40→25→40°Cのパターンで温度を変更した。つぎに超臨界CO₂を圧入し、変形などの安定を待って同じパターンで温度を変更した。たとえば15°Cの温度上昇に対して、N₂飽和状態では約1.7MPaの封圧増加が、CO₂飽和状態では約8.3MPaの封圧増加が計測された。また15°Cの温度上昇に対して、N₂飽和状態では約0.16km/sのV_p増加が認められたが、CO₂飽和状態ではV_pの変化は認められなかった。間隙をCO₂およびN₂で飽和された石炭は温度上昇に伴い熱膨張しようとするが、ひずみ拘束条件では膨張を抑制するために拘束圧力すなわち封圧が増加する。間隙流体がCO₂における温度と封圧の相関がN₂における相関より高い理由として、前者の方が体積弾性率、熱膨張率が高いことなどが考えられる。間隙流体がCO₂においてV_pの変化が小さい原因に関して、CO₂は25°C約10MPa

で液相を、40および50℃では超臨界相とを示し諸物性が大きく変化する可能性がありCO₂単体のV_pが温度変化に伴い大きく増減すると仮定すると、CO₂を間隙流体とする石炭供試体において、封圧が増加するにもかかわらず全体のV_pが変化しないことが考えられる。さらに石炭のCO₂吸着量は温度と負の相関にあるので、温度が上昇すると石炭マトリクスからCO₂が脱着して収縮傾向を示し、熱膨張と相殺される可能性が考えられる。

応力拘束条件およびひずみ拘束条件において、間隙流体をCO₂またはN₂として温度変化を与え、ひずみ、封圧、浸透率およびV_pの変化を計測した。間隙流体がCO₂の場合、温度とCO₂吸着量の負の相関と、温度変化に伴うCO₂相変化や物性変化が、ひずみ、封圧およびV_pの特徴的な挙動を支配していると考えられる。

キーワード:二酸化炭素炭層固定化技術,温度,拘束条件,弾性波速度,膨潤,吸着

Keywords: CO₂-ECBM, temperature, constraint condition, V_p, swelling, adsorption