

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 廣田 翔伍

高レベル放射性廃棄物の地層処分や二酸化炭素回収貯留において、泥質岩等の難透水性堆積岩は、物質移行を妨げる天然バリアとして、または、二酸化炭素の上方への移動を妨げる遮蔽層としての役割を果たすことが期待されている。一方で、帯水層に比べ難透水性堆積岩中の間隙水流動は極めて遅く、間隙水流動、物質移行、岩石の変形は連成現象の影響を強く受けうるとされている。本論文は、泥質岩の半透膜的挙動と、それに伴う岩石の変形について室内実験と数値解析による検討を行い、特に、泥質岩が示す半透膜性の非線形な濃度依存性を考慮することの重要性を明らかにするものであり、全 7 章で構成されている。

第 1 章では、地圏利用の高度化に伴う泥質岩中の間隙水流動、物質移行、岩石の変形の理解の重要性と、泥質岩の半透膜的挙動と化学的浸透現象、多孔質弾性体的挙動に関する既往研究の整理を行っている。特に、泥質岩が示す半透膜性の非線形な濃度依存性を明らかにするためには、反射係数の濃度依存性を考慮することが重要になることを指摘している。そのうえで、本研究の目的と論文の構成について述べられている。

第 2 章では、泥質岩中の間隙水圧、濃度、歪挙動に関して、既往研究で得られている知見を整理しつつ圧力、濃度、歪関係の定式化を行っている。定式化では、いくつかの仮定を前提におくことで現象を単純化しているものの、泥質岩中の主要な現象を表現できるものとして取りまとめられている。また、反射係数が示す非線形な濃度依存性については、モデルの有用性が報告されている **Bresler** モデルを用いて表現することとしている。

第 3 章では、室内実験に用いた実験系と、実験で用いた泥質岩試料について記載している。実験装置は、水槽、架台、コア試料と歪・温度の計測系で構成されており、コア試料の変形を定量的かつ多点で計測できるものとなっている。実験は、試料外側の高濃度溶液の濃度を違えた 3 つの条件で実施されている。また、本研究の特色の一つである、光ファイバー歪センサーを用いた歪・温度の多点計測について、その原理と適用性について述べている。

第 4 章では、室内実験で得られたデータの解析結果について述べられている。

初めに、実験で得られた歪の計測値に含まれる温度変動の影響と、歪の計測手法に起因する誤差について検討を行っている。3つの実験結果は間隙水と外側の溶液の濃度差が大きいほど発生する収縮量が大きくなる傾向を示し、2章で行った定式化から予測される挙動と整合的であることを指摘している。また、3つの実験結果は共通して、実験初期に試料の収縮が下面側から上面側に向かって伝播し、実験後期には収縮の緩和が下面側から上面側に向かって伝播するという挙動を示すことを明らかにしている。

第5章では、数値解析における計算条件と、反射係数の数値解析における取り扱い方について述べている。また、次章で実施する無次元解析に向けて、3つの新しいパラメータを導入し、支配方程式の無次元化を行っている。

第6章では、数値解析の結果と実験結果を用いた議論を展開している。反射係数が濃度依存性を持たない定数としたモデルの計算結果から、周歪挙動のうち、初期の収縮挙動は圧力拡散で、後期の収縮の緩和は分子拡散で律速されていることを明らかにしている。また、実験結果の無次元解析の結果から、反射係数が濃度依存性を持たない定数とするモデル、非線形な濃度依存性を持つモデルのどちらも、実験初期の周歪挙動を説明するものの、実験後期の周歪挙動は非線形な濃度依存性を持つモデルのみによって説明が可能となることを示すとともに、3つの実験結果の解析から、泥質岩の浸透率、有効拡散係数、体積弾性率を推定することも行っている。

第7章では、研究内容を総括するとともに、本研究の課題と今後の検討事項について議論している。

なお、本論文の第3章から第6章までの研究の一部は、徳永朋祥との共著論文として公表しているが、論文提出者が主体となって調査・分析・解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本論文は実験的、数値解析的アプローチによって、半透膜性を持つ泥質岩が示す連成現象を定量的に説明するモデルを提示するとともに、泥質岩が示す半透膜性の濃度依存性の重要性を明らかにしたものとなっている。本研究成果は、地下水科学や地圏工学の観点において新規性を持ち、また、難透水性の泥質岩を含む地圏システム挙動の解釈や、地圏環境の高度利用において有意義な情報を提供するものであり、環境システム学の進展に貢献するものと評価できる。したがって、本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1,927 字