

論文審査の結果の要旨

氏名 後藤 宏樹

化石燃料資源開発、地熱資源開発、地下水利用、二酸化炭素地中貯留、放射性廃棄物地層処分などの地圏の開発・利用は、人類の持続可能な発展の観点から今後もその重要性を増していくと予想される。地圏の開発・利用においては、事業の実施に伴い地下岩盤が変形する。岩盤変形は地表面変動や地下流体の漏洩などを引き起こす可能性があるため、それらを制御・予防するために岩盤変形の予測・把握が必要となる。その検討にあたっては、二相流動・変形連成過程に基づく検討が有効となる場合がある。ところが、自然界で発生する岩盤変形は岩盤の不均質性等に起因して複雑なものとなるため、その理解は必ずしも容易ではない。このような場合、室内実験を用いて対象となる現象の特徴を見出し、それに基づき岩盤変形の解釈を試みるのが有効なアプローチの一つになると考えられる。

本論文は、二酸化炭素地中貯留や放射性廃棄物地層処分において発生すると想定される、水で飽和した岩盤に圧縮性流体が浸入するプロセスにおける岩盤変形の理解を目指し、室内実験による岩石変形・間隙流体流動の観察および二相流動・変形連成シミュレーションによる実験結果の説明と今後の検討事項の抽出および検討方法の提案を行ったものであり、7章からなる。

第1章では、研究の背景、目的、論文の構成を述べている。ここでは、地圏の開発・利用において発生する岩盤変形の理解にあたっては二相流動・変形連成過程に基づく検討が有効となる場合があること、自然界で発生する岩盤変形の検討においては室内実験を用いた検討が有効なアプローチとなること、さまざまな二相流動・変形連成現象のうち水で飽和した岩盤に圧縮性流体が浸入するプロセスにおける岩盤変形の理解が二酸化炭素地中貯留や放射性廃棄物地層処分において重要となることを述べている。

第2章では、既往の二相流動・変形連成理論について述べている。ここでは、二相流体存在下における多孔質弾性体の構成関係式を示した上で、構成関係式中に現れるパラメータを整理している。また、構成関係式中に現れるパラメータの一つである Bishop の有効応力係数の濡れ相流体飽和度依存性の定式化に関する議論をまとめている。

第3章では、本研究で実施した室内実験について、岩石試料に関する情報、実験装置、実験条件および手順を述べている。本研究では、二酸化炭素地中貯

留において帽岩に二酸化炭素が浸入した場合の変形に関して検討するために、静水圧応力条件下において水で飽和した円柱形 Berea 砂岩試料に対して下端から圧縮空気を浸入させる実験を実施している。実験においては試料中央部分における軸ひずみと周ひずみおよび試料上端からの排水量を計測し、その結果を用いて評価を行うことを述べている。

第 4 章では、岩石試料の物性値計測と室内実験の結果を述べている。ここでは、実験結果に基づき岩石変形と間隙流体流動の特徴を抽出している。

第 5 章では、実験結果を再現することを目的とした数値シミュレーションについて述べている。ここでは、まず数値シミュレータの概要と解析条件を述べた後、パラメータフィッティングにより実験結果を再現するパラメータ値の取得を試みている。さらに、実験結果を再現する数値シミュレーションから得られた計算結果に基づき、実験で見出された岩石変形と間隙流体流動の特徴を説明している。

第 6 章では、今後室内実験を用いた検討が必要となる事項の抽出とその検討方法の提案について述べている。ここでは、今後の検討事項として Bishop の有効応力係数の水飽和度依存性が岩盤変形に与える影響と二相流体存在下における泥岩の変形挙動の検討を挙げ、それらを検討するための実験方法としてそれぞれ圧縮空気の浸入開始後定常状態に至るまでの実験と泥岩試料を用いた実験を考案し、数値シミュレーションによりそれらの実験の実施必要性を示唆している。さらに、定常状態に至るまでの実験を実施するための実験方法を新たに考案し、そのために必要となる装置の開発までを行っている。

第 7 章では、本論文の内容を総括している。

なお、本論文第 3 章、第 4 章、第 5 章は、愛知正温、徳永朋祥、山本肇、小川豊和、青木智幸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実験・解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上要するに、本論文は、室内実験に基づき二相流体存在下における岩石変形と間隙流体流動の特徴を見出すとともに、その特徴を定量的に説明している。また、現象のさらなる理解のために今後検討が必要となる事項を抽出している。これらの結果は、今後推進されていくであろう二酸化炭素地中貯留や放射性廃棄物地層処分において発生する岩盤変形の予測・把握・制御に貢献するものであると評価され、地圏環境の高度利用や保全という観点から、環境学的意義が大きいものと認められる。よって、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。