

熱力学的考察に基づく二相流動・地盤変形連成理論とシミュレータの開発

東大・院・工・都市工学 愛知正温

地中の流体流動と地層の変形の連成プロセスの結果として表れる表面変位や流体圧の変化は、逆に地下の流体挙動を把握するための情報の一つとして利用できる可能性があると考えられる。しかし、地中には、地下水のほかに空気・ガスや石油などの流体が含まれていることも多く、複数の相の流体の流動と地質材料の変形が同時に発生する物理プロセスも重要であると考えられる。しかし、流体相が一相の場合とは異なり、二相流・変形の連成プロセスの構成モデルは多孔質弾性体に限っても未だ確立しているとは言い難い。これまで、地層中における二相流・変形連成過程のモデル化に用いられてきた構成関係では、Bishop の有効応力係数が湿潤流体の飽和率に等しいという仮定がよく用いられてきた (Lewis and Schrefler, 1998)。しかし、この仮定は、室内実験の結果から一般的には成立しないことが知られている (Bishop and Blight, 1963)。一方、Coussy (2007)は熱力学的な考察に基づき、Bishop の有効応力係数が湿潤流体の飽和率に等しくない場合を含めた一般性の高い構成関係式を提案した。しかし、その中には、直接実験的に評価することが困難な物性パラメータが含まれており、実際の材料を対象としたモデリングへの適用は進んでいなかった。

そこで、本研究では、まず思考実験を通じて、Coussy (2007)の多孔質弾性体の構成関係式に含まれている物性パラメータが、すべて既往の実験手法によって評価可能な物性パラメータによって記述されうることを示し、飽和多孔質弾性パラメータと Bishop の有効応力係数を材料パラメータとする新たな構成関係式の導出を行った。また、ガス・水系の二相流と地質材料の変形の連成過程を念頭に、上記の構成関係式、ダルシー則、流体の圧縮性、ガスの水相への溶解、ガス相中の水蒸気量を定式化し、これらを力の釣り合い式および各流体成分の質量保存式に代入し、支配方程式系を得た。導出した支配方程式系を数値的に解くための有限要素シミュレータを開発し、砂充填カラムの排水試験や、水・ガスの地下からのくみ上げや地下への圧入にともなって発生する変位や流体圧変化などについて予察的に解析した例を示し、モデリングの現状と課題、展望についてまとめる。

参考文献

- Bishop AW, Blight GE., "Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils", *Geotechnique*, 13, (1), (1963) pp.177-197.
- Coussy O., "Revisiting the constitutive equations of unsaturated porous solids using a Lagrangian saturation concept", *Int J Numer Anal Meth Geomech*, 31(2007) pp. 1675-94.
- Lewis R. W., Schrefler B. A. "The finite element method in static and dynamic deformation and consolidation of porous media", Wiley, Chichester, 1998.