

氏 名	ゾー ルウィン ツン Zow Lwin Tun
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1044 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Mechanistic Approach to Multiphase Porous Media Modeling with Application of New Stress Principle (新しい応力原理を用いた多相多孔質体モデルによる力学解析) (主査)
論文調査委員	教 授 青 山 咸 康    教 授 河 地 利 彦    教 授 三 野    徹

### 論 文 内 容 の 要 旨

弾性／塑性的な性質を示す固体骨格が空隙を構成し、その空隙が流体（液体又は気体）で満たされていると想定したものを多孔質体という。現実の地盤をこのような多孔質体とみなすことにより地盤を力学的によく解釈できることが知られている。従来の研究において、空隙を満たす流体は水を想定し非圧縮性を仮定したものが多くがこの研究では多相多孔質体を扱い、すべての構成物質は混合変化しないものと仮定し、それらの時間依存の力学的条件や、流体と固体の変形性を考慮した解析を行った。

第1章は本研究の立場と目的を述べた概説である。最も単純な飽和多孔質体およびその対極にある空隙が空状態の多孔質体の概念から出発し、その中間状態が本研究で扱う多相多孔質体状態で、これは空隙に存在する流体が1種類以上の場合を言う。本研究では新多孔質体理論（3相の体積占有率の和が一定という拘束下での混合連続体理論）を用いるが、その他に現象論的手法と平均化手法があることを紹介している。本研究では多孔質体の概念を地盤工学に応用することが目的であると述べている。

第2章は過去の研究歴の評価であり、過去の研究歴を1章で述べた現象論的手法、新多孔質体理論および平均化手法を軸に分類している。そして第二に属する手法が量も基本的で理論的なものであるとし、3相系を表現するには他の二法には困難があると述べている。

第3章では、本研究で採用する3相の体積占有率の和が一定という拘束の下での新混合連続体理論（これを新多孔質体理論と称している）の詳細を論じている。この理論は各相の体積占有率和が不変の条件およびそれらの力学的釣合、基本エネルギーの釣合そしてエントロピー不等式を考慮している。ラグランジェ未定係数によりエントロピー不等式を修正し構成式群を樹立した。これらの構成式群において3相系の新応力原理を導いている。そしてここに得られた新応力原理の有効性を強調している。

第4章では、前章に導いた原理により支配方程式を誘導し、問題の有限要素定式化を行う手法を論じている。定式化は、個体、液体、気体の質量の連続方程式、一般化Darcy法則と多孔質体全体の釣合を考慮することにより場の方程式を樹立し、初期値境界値問題を設定することにより実現している。次にこの数理論定式化を定量評価するための数値モデル化に論を進め、ガラーキン法による場の有限要素定式化とWilson  $\theta$  法の応用による時間軸積分処理の定式化の方法、さらにこれらの関係式を満たす解をいかに得るかについて論じている。

第5章では、前章の方法を具体的工学問題に適用している。具体化例題実行に際し液体部分の構成法則記述における、BC法（ブルックス・コーレー法）とVGP法（ファン・ゲヌヘン・パーカー法）の二法を取り扱っている。両者の本質的相違は飽和度と毛管圧の関係において、完全飽和状態の近傍における挙動にある。第一の例題は、3相系を扱えるモデルであるから、より簡易な2相系（水で飽和された多孔質体）をも正確に表現できることの検証を目的とするものである。そのた

め一次元圧密問題を提案手法により簡単な有限要素モデルで解析し、沈下と間隙水圧消長過程を調べた結果、十分な精度の得られるものであることを示した。第二の例題は、最初の例題において、流体相を水と空気の2相としたものである。空気と水の相互作用を表現するため水と空気の動粘性等を規定した。解析は初期飽和度が場で一定の場合と、深さ方向に直線変化する場合について実行した。第一のケースにおける結果をガヴィン等の結果と比較し、全く同一の結果を得た。ガヴィン等の手法との相違は著者の手法が新応力原理を用いている点である。第三の例題は3相系多孔質体で近似した2次元平面ひずみ地盤にタワミ性基礎から荷重が作用する場合の地盤挙動の解明である。この問題は最初ローレ等により2相系の場合、2段階解析法によって解が得られたが、次にシャフラー等により連成系の直接解が得られている。ここでは新応力原理を用い、VGPモデルパラメータを用いた相対透水係数の関数である毛管圧が提示された。この結果から間隙水圧分布、飽和度分布、透水係数分布等が議論された。

第6章では、前章までに示したモデルの特性と得られた結果を要約・整理し、今後の研究課題として、3相の相互作用をより広範に扱うものとして熱移動の取り扱いを展望している。

## 論文審査の結果の要旨

多孔質体の概念を拡張し、空隙内の流体相を2種類以上とすることにより、単に不飽和多孔質体という以上に、任意の2種類以上の流体相互および個体間の相互作用を定量化できるモデルを開発した。ここに用いた基本の定式化手法を過去の研究の流れで区分するならば、提案手法は3相の体積占有率の和が一定という拘束下での混合連続体理論に属する。飽和度と毛管圧の関係の表現法においては既存のBCモデルおよびVGPモデルの両者を等しく採用できるようにした。評価できる主要な点は以下のとおりである。

(1) 骨格、水、空気の3相からなる多孔質体の完全なモデル化を行うに際し、3相の体積占有率の和が一定という拘束条件の下での混合連続体理論を採用したこと。これまでこのことは一般に困難とされていたが、著者はこの方法が他の手法に比べ最も理論に忠実であるとの判断により、敢えてこの方法を採用し完全な定式化に成功した。

(2) 一般の地盤工学問題で現れる状態、すなわち弾性骨格が非圧縮で、空隙の中の流体は非圧縮、気体は圧縮性と仮定した場合の多孔質体を支配する新（有効）応力原理を導いたこと。この原理の定義に用いる圧力項はすべて物理的に計測可能な現実の間隙圧であるので、工学的な数値解析に役立つ。

(3) 上記で展開した構成式を工学的な定量解析に用いるために、初期値境界値問題を定式化したこと。この定式化が更にガラキン有限要素法による場の離散化と時間軸におけるWilson  $\theta$  法による離散化により当初の連成状態が分解され、数値的求解を容易ならしめたこと。

(4) 提案モデルによる2相系および3相系の1次元圧密問題で、2相系においては忠実に理論解を表現し、3相系では、初期間隙圧が一様分布の場合、提案手法による解と平均化手法による解とが一致することを確認したこと。

(5) 2次元平面ひずみ状態の地盤表面にタワミ性基礎から鉛直荷重が伝播する問題を解析すると、地盤内の毛管水圧力や骨格変位の時間変化が明らかになり、吸水膨潤が起こる場所を特定することが可能なことを立証したこと。

以上のように、本論文は3相系の多孔質体による地盤表現によって毛管水の移動等を配慮した力学解析を実行する上で必要な定式化理論および離散化手順を明らかにした。その上で提案モデルを用いた地盤問題の基礎的な検討を行い、多くの新知見を明らかにしたものであり、地盤工学、特に多孔質体モデルの応用面に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成11年2月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。