

氏 名	田 村 武 た むら たけし
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1237号
学位授与の日付	昭 和 55 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	THEORY OF MULTI-DIMENSIONAL CONSOLIDATION AND NUMERICAL ANALYSIS OF NONLINEAR SOIL PROBLEM (多次元圧密理論と非線形土質問題の数値解析)

論文調査委員 (主 査) 教 授 赤 井 浩 一 教 授 柴 田 徹 教 授 小 林 昭 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、部分載荷された粘土層の圧密沈下を計算する場合などに必要な多次元圧密理論を組み立て、さらに土質力学で現れる種々の非線形変形問題の数値解析に関して一連の理論的研究を行なった結果を記述したもので、緒論・結論を含め6章からなる。

第1章は緒論であって、この論文の課題に関連する既往の研究に触れたのち、本研究において著者が土質力学問題を扱うのに有効応力の原理を根底におく立場をとる旨を述べ、したがって土や地盤が荷重を受けたとき内部に発生する間隙水圧の挙動を明らかにする必要性を論じている。

第2章においては、Biotの線形圧密論にもとづいて、多次元圧密の支配式を間隙水圧のみで記述される単一の式で表現し、各種の境界条件に対してその理論解を示している。すなわち、弾性的な構造骨格をもつ飽和土では、圧密が完了した状態を基準にして圧密中の状態をみたとき、間隙水圧と体積ひずみの分布の間に線形関係が存在することに注目し、Biotの圧密方程式から変位を消去して発展方程式型の基礎式を得ることができた。この式は、特に等方無限領域では、Terzaghiの提案した通常の熱伝導型の式となるが、これを応用して各種の等方一般領域に対する圧密解を求めうることを示した。なお、この手法による数値計算例として、球および中空円筒の圧密、ならびに有限要素モデルをとり上げ、さらに慣用の Terzaghi の圧密方程式のもつ物理的意味をも検討した。

第3章においては、変分原理による圧密現象の解釈について詳細な理論的研究を行なっている。すなわち、Biotの圧密方程式の中のつりあい条件に変分原理を用いて、圧密現象を各時刻ごとに切り離した状態で眺め、これと連続の式とを組み合わせることにより圧密機構を考察するという新しい方法を試みたものである。その結果、前章で得られた圧密時の間隙水圧とひずみの分布の間の線形関係にもとづいて、間隙水圧が体積ひずみの拘束条件にかかる Lagrange 乗数にほかならないことを示し、圧密過程中的各時刻におけるつりあい条件が、そのときの体積ひずみ分布により定まるひずみの集合の中で、ひずみ分布が恒等的にゼロである原点に最も近い点において満たされることを明らかにした。

第4章においては、多次元圧密における固有値問題とその応用について論じている。まず、部分載荷などによる多次元の圧密現象においても、間隙水圧について一次元圧密の場合と全く同様の固有値と固有関数が存在することを明らかにした。そして、この固有関数は固有値の指数関数として時間とともに減少するため、圧密過程の初期の部分を除いた大半の段階では、最小固有値をもつ固有関数が卓越しており、圧密の遅速は第1固有値の大きさで決まること、および固有値の大きさは固有関数に等しい間隙水圧が単位時間に消散していくひずみエネルギーに比例することから、多次元圧密における圧密進行の指標として、ひずみエネルギーで表わした圧密度を用いるのが望ましいと結論した。さらに、この理論の実際の応用として、球および円の圧密において全領域の平均をとれば、平均全応力一定の仮定のもとでの圧密方程式が成立すること、ならびに有限要素解析によってサンドドレーンを打設した複合地盤の固有値も容易に数値計算が可能となることなどを示した。

第5章においては、弾塑性構成式による多次元圧密の数値解析を行なった結果を述べている。すなわち、飽和粘性土よりなる地盤上に盛土などの載荷重が作用した場合に地盤が示す変形挙動を明らかにするために、ダイレイタンスなど土質材料に固有な特性が地盤の変形に及ぼす影響を重視して、圧密の支配式と弾塑性構成式とを組み合わせた有限要素解析を行なったものである。この計算手法は一次元弾性モデルとの比較によって計算精度が確かめられ、また増分形として用いた応力-ひずみ関係についても、数値解と理論解の両者による有効応力経路の比較から、満足すべき精度が得られることを示した。軟弱地盤上の盛土に対する数値解析の結果、正規圧密状態にある飽和土では、ダイレイタンスと圧縮の双方に含まれている塑性変形成分が複雑に影響し合うことや、いわゆる Mandel-Cryer 効果としての圧密遅延現象が顕著であることなどが知られ、また高圧湧水下のトンネルの安定計算により、掘削による荷重変化や間隙水圧に関する境界条件の変化などが応力経路や変位に及ぼす影響が明らかにされた。

第6章は本論文の結論である。

論文審査の結果の要旨

地盤上に構造物などの外荷重が作用したり、地盤内に坑道を掘削して荷重状態が変化したとき、地盤にいかなる変形が生じ、また構造物や坑道が安定であるかどうかを知るためには、非定常透水現象としての地盤の圧密と土の構成関係とを矛盾なく両立させて変形解析や応力解析を行わねばならない。この問題は、今日まで土質力学の研究者が数多く取り組みながら、永らく未踏のまま残されている難解な領域である。本論文は、弾塑性論と有限要素法を用いて、多次元圧密を中心とする非線形変形問題の数値解析に関する理論的研究を行なった結果をまとめたものであって、得られた成果のおもなものは次のとおりである。

(1) 飽和土が弾性的な構造骨格をもつとしたとき、圧密が完了した状態を基準にとれば、圧密時の間隙水圧と体積ひずみの分布の間に線形関係が存在することを見出し、従来つりあい式と連続の式との連立方程式の形でしか表わすことができなかった Biot の圧密方程式から変位を消去して、多次元圧密の支配式として過剰間隙水圧のみで表現した微積分発展方程式を誘導した。

(2) 新しく得られた圧密の支配式を各種の等方一般領域に適用して、現実に出現する境界条件のもとにそれらの解を求め、慣用の Terzaghi の圧密方程式のもつ物理的意味をも明らかにした。

(3) 変分原理にもとづいて圧密現象をみた場合、過剰間隙水圧が体積ひずみの拘束条件にかかる Lagrange 乗数にほかならないことを示し、これにより圧密における間隙水圧の役割を明快に説明した。

(4) 多次元圧密においても、間隙水圧について一次元圧密と同様の固有値と固有関数が存在することを明らかにし、圧密過程の初期の部分を除いた大半の段階では、最小固有値をもつ固有関数が卓越しており、圧密の遅速が第1固有値の大きさで決まることを示した。さらに、固有値の大きさは固有関数に等しい間隙水圧が単位時間に消散していくひずみエネルギーに比例することから、多次元圧密における圧密の進行程度を示す指標として、ひずみエネルギーで表現した圧密度を用いる新しい方法を提案した。

(5) ダイレイタンスーなど土質材料に固有な特性が地盤の変形に及ぼす影響を重視して、圧密の支配式と弾塑性構成式とを組み合わせた有限要素解析を行い、粘性土の過圧密比や載荷重などが異なる種々の場合について、圧縮とせん断が共存するような変形時の有効応力径路を明らかにして、この種の地盤の安定解析に理論的な根拠を与えた。

これを要するに、この論文は、粘性土の圧密と変形の機構を有効応力的な視点から統一的に考察し、多次元圧密の支配式とその理論解を誘導するとともに、非線形変形問題の数値解析手法を進展させ、多くの重要な知見を得たものであって、土質力学および基礎工学の分野において学術上、実際上貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。