

氏名	山 上 拓 男 やま がみ たく を
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1327号
学位授与の日付	昭 和 55 年 9 月 24 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	浸透および圧密問題の数値解析に関する研究

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、土質力学で現れる浸透と圧密の問題に対して、有限要素法による数値解析の定式化ならびにその実際への適用を論じたものであって、序論と結論を含めて5章からなる。

第1章は序論であって、他の工学材料に比べて複雑な構成と力学特性をもつ土を対象とする土質力学問題を解くのに、数値解析がきわめて重要な役割を果たすことを述べ、浸透と圧密とを包含した広義の浸透問題を多孔体の変形特性に応じて分類して、本論文で扱う問題の内容と研究目的を記している。

第2章においては、単に浸透問題のみならず、一般的な土-水相互作用場を対象として、変形しうる多孔体中の流れを支配する基礎式を吟味し、それに対して考察を加えている。すなわち、まず既往の圧密論には、土粒子実質部分の質量保存則と固体・流体相間の相対速度にもとづくダルシーの法則を満たしているか否かに応じて2種類の理論構成があるが、著名な Terzaghi や Biot の理論はいずれも基礎式の誘導の過程でこの両者を欠いているが故に不完全であることを指摘した。そして、改めてこれらの基本原理を取り入れた厳密な基礎式を誘導して従来のものと比較し、飽和・不飽和領域を一体とした変形しうる多孔体中の流れの支配式を導くさいに、両者の相違の意義が重要となることを示した。

ついで、土中を間隙水が流動するとき土粒子骨格に及ぼす力として浸透力を定義し、運動状態または静止状態のいずれにあるかを問わず、飽和浸透場にある土粒子骨格は間隙水から動水勾配に比例した物体力と浮力を受けることを証明している。加えて、飽和粘土が非排水状態で平衡状態にあるときも同様なことを示し、後に第4章で述べる圧密解析において、初期条件を定める手法の理論的根拠を与えている。

第3章においては、数値解析の立場から、間隙水の流動形態と多孔体の変形性状に応じて浸透問題を10個のカテゴリーに分類し、そのおのおのへの有限要素法導入の過程を概観するとともに、変形を考慮しない狭義の浸透問題を論述している。すなわち、非ダルシー定常流において現れる非線形運動方程式を、漸増法と反復法を用いて線形計算の繰返しで簡便に解析する手法や、ダルシー流れとしての非定常自由水面問題において、浸出点を決定するさいに遭遇する解析上の難点、すなわち、浸出点に会合する要素が単一の要素からなり、しかもその要素の1辺が完全に浸出面上に位置するとき、境界条件や経過時間に無関係

に浸出点での動水勾配が一定値をとるという特異な現象を、浸出点に複数個の要素を用い、動水勾配はそれらの平均値を採用することにより解消する新しい方法を提案した。

さらに、より一般的な浸透場である非定常非ダルシー自由水面問題を、割線透水係数にもとづく線形計算の反復で解析する簡易計算法を提案し、砕石を用いたロックフィルダムの模型実験の結果と比較して、著者の方法が精度ならびに演算時間の点で十分実用的であることを示した。

第4章においては、間隙水の流動に伴う多孔体の変形挙動が流れ自身にも支配的役割をもつような、いわゆる土-水相互作用の問題を対象として、簡便で扱いやすい数値解析法を提案している。すなわち、この種の代表的地位を占める粘性土の圧密問題を有限要素法によって数値的に解析する既往の理論の中で、Sandhu-Wilson や Christian-Boehmer らが扱った Biot 理論にもとづく方法は、間隙水の連続の条件と土粒子骨格のつりあい式を連立させる点で厳密ではあるが、拡大化された連立方程式を解かねばならないので実用上の制約が大きいことを述べ、この難点を回避する多次元圧密の非連成解法を提示した。これは、飽和粘土の非排水変形挙動を全応力解析して初期条件を簡便化したのち、圧密を構成する2つの要素である間隙水圧の消散過程と粘土骨格の変形過程とを分離してそれぞれ独立に解析し、その間を第2章で定義した浸透力が結びつけるという新しい計算法である。その結果、この非連成解法に随伴して生じる全応力第一不変量の経時変化を考慮するさいに生ずる計算上の問題を解決し、具体的な解析例について高い精度が得られることを明らかにした。

さらに、飽和砂地盤が浸透流の作用で変形しつつ破壊に至るクイックサンド現象の数値解析法について検討している。すなわち、まず槽内に設けられた模型砂地盤の浸透破壊実験により、外水位上昇に伴って地盤が逐次進行破壊の様相を呈することを認め、このような現象の解析には地盤材料の非線形構成則を導入すべきことを論じたのち、この問題に非線形弾性解析と弾塑性解析を適用し、後者が実験結果を比較的よく説明しうることを述べた。

第5章は本論文の結論である。

## 論文審査の結果の要旨

土構造物または地盤の変形や安定を取り扱うのに、土中水の挙動を的確に把握し、これを表現する支配式を樹立して種々の境界値問題を解くことは重要な課題であり、従来多くの研究がなされてきている。特に解析にあたって、有限要素法をはじめとする数値解析が広く用いられ、この分野における研究の進展も著しいものがある。

土質力学の体系の中で、土中を流動する水とかかわりのある項目は、浸透現象と圧密現象に大別されるが、この両者を区別する基準は、単に土中を間隙水が流動するさいに多孔体としての土粒子骨格が顕著な圧縮性を示すか否かということに過ぎない。本論文は、このような観点から、浸透と圧密を合わせた広義の浸透問題に対して、有限要素法による数値解析の定式化ならびにその実際への適用を論じたものであって、得られた成果のおもなものは次のようである。

1) 粒子が形成する構造骨格と間隙水とが相互に作用を及ぼし合う力の場の中で多孔体の流れを支配する基礎式を吟味し、固体実質部分の質量保存則と固体・流体相関の相対速度にもとづくダルシーの法則を

満たす厳密な式は、構造骨格の変位速度を考慮することによって得られることを明らかにした。

2) 土中を間隙水が流動するとき土粒子骨格に及ぼす力として浸透力を定義し、飽和浸透場にある土粒子骨格は間隙水から動水勾配に比例した物体力と浮力を受けることを示し、これを基本的概念として、飽和粘土の非排水変形挙動を全応力にもとづいて解析する場合における浸透力の役割を具体化することを可能にした。

3) 広義の浸透問題を間隙水の流動形態と多孔体の変形性状に応じて分類し、それぞれについて有限要素法を適用するさいの問題点を指摘して、著者の提案する数値解析手法を明らかにした。特に、非ダルシー定常流やダルシー流れとしての非定常自由水面問題などの数値解析にともなう難点を克服する新しい方法を提案し、後者に関しては、ロックフィルダムの模倣実験結果と照合してその有用性を示した。

4) Biot 理論に基礎を置く多次元圧密問題の有限要素解析において、間隙水圧の消散過程と粘土骨格の変形過程とを分離して独立に解析し、その間を浸透力が結びつけるという考えのもとに、土粒子骨格と間隙水との連成効果を巧みに回避する簡便法を提案し、従来の煩瑣な厳密解の結果と比較して、これが十分な精度をもった実用解であることを示した。

5) 飽和砂地盤が浸透流によって変形しつつ破壊に至るクイックサンド現象の解析において、地盤材料の非線形構成則を導入する必要性を強調し、弾塑性解析によって砂模型実験の結果をよく説明しうることを示した。

これを要するに、この論文は、土質力学における広義の浸透問題の広範な数値解析を可能にするため、一般的な土-水相互作用場で成立する支配式を誘導し、有限要素法における定式化ならびにその実際への適用を論じたものであり、ここに得られた成果は、単に土質基礎工学のみにとどまらず、浸透事象が関連する工学の分野において学術上、実際上寄与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。