

学位論文題名

粘性土地盤の微小ひずみにおける変形特性と
非排水強度の評価方法に関する研究

学位論文内容の要旨

粘性土地盤における土要素の変形挙動は、応力とひずみの履歴・載荷時の応力条件および時間効果などによって強く影響される。また、土要素の変形挙動は強いひずみおよび応力レベルの依存性を持っている。従って、単調および繰り返し載荷時の変形挙動の関係も極めて複雑であり、全過程の変形挙動を正確に把握するためには、広範囲なひずみ領域(約 10^{-6} ~ 10^{-1} まで)での単調および繰り返し載荷時の変形特性を詳細に調べる必要がある。近年特に、微小ひずみレベル(10^{-5} 以下)での変形特性の重要性が認識されつつある。これは、①実地盤の変形問題においては 0.1%以下のひずみレベルでの挙動が重要になること、②原位置せん断剛性率 G_f と室内試験によるせん断剛性率 G_{max} の測定値とが一致しない場合が多いことなどに起因する。②の場合、いわゆる乱さない試料を用いた室内試験のせん断剛性率 G_{max} は、実験精度、供試体の乱れおよび調査地点と周辺地盤との地盤特性の差などの影響を受ける。室内三軸試験の際の実験精度上の問題は、主に、ベディングエラーおよび装置のコンプライアンスに関わっている。

原位置せん断剛性率 G_f (ひずみレベル 10^{-6} 程度)は原位置弾性波速度 V_s から求める場合が多い。これは他の原位置試験方法に比べ、①比較的操作が簡単であり、また、②原理上、測定された地盤の平均的変形係数とみなすことが出来る。しかし、弾性波探査結果から得られるせん断剛性率が原位置の応力やひずみ条件を反映したものであるか否かを確認するためには、原位置の様々な応力とひずみの履歴・載荷条件に対応させた室内試験によって、個々の要因の影響を個別に把握する必要がある。

一方、地盤の破壊メカニズムを究明するにあたって最も重要なことの 하나가、原位置のせん断強度をいかに正確に把握できるかということである。しかし、地盤から試料を採取するとき、すべての試料は、機械的乱れおよび応力解放などの影響を受ける。この影響を取り除いた原位置の強度を求める方法として、①SHANSEP 法、②再圧縮法などが用いられるが、特に①は乱れの影響を除去できる利点を有するにもかかわらず試料を圧密降伏圧力 p_c を超す圧力で圧密するため、二次圧密やセメンテーション作用によって形成された自然粘土が持っている固有の構造を破壊し、強度を過小評価するという批判がある。

以上のようなことから、本研究では、新しく開発した粘性土用の全自動三軸装置と、広範囲のひずみ領域に対応出来る微小ひずみ測定システム、および標準圧密試験装置と三軸装置に装着したベンダーエレメントシステムによる弾性波速度からせん断剛性率を評価する手法について論じる。

さらに、本研究で開発された一連の試験装置を用いた実験結果から微小ひずみ領域での変形係数の評価の重要性を明らかにするとともに、原位置せん断剛性率 G_r と乱さない試料による室内試験のせん断剛性率 G_{max} との比較を行っている。

次に、国内外の5ヶ所の異なる地盤から採取した乱さない粘性土を用いて一連の圧密非排水三軸試験を行い、SHANSEP 法のような原位置非排水強度決定法の適用限界と問題点を明らかにしている。

本論文は、序論を含み、7章から構成される。各章を要約すると以下のようである。

第1章では、序論として研究の背景および目的を明確にするとともに本論文の概要を述べている。

第2章では、本論文と関連の深い既往の研究として、①微小ひずみ測定のための試験装置の開発、②微小ひずみ領域での変形挙動特性③原位置せん断強度決定法について概要を説明している。特に①に関しては、従来の微小ひずみ測定方法の特徴および問題点を詳しく取上げ、本研究で開発した測定装置および方法の背景を明らかにしている。②については微小ひずみ領域における、動的および静的試験結果から提案された構成式および局所変位計 (LDT) によって測定された変形係数に関する研究について述べている。③では SHANSEP 法、修正 Bjerrum 法、半沢-Bjerrum 法および土田法をとりあげ、各々の特徴を簡単に紹介している。

第3章では、本研究で開発したベンダーエレメント付き圧密試験装置、高精度・多機能三軸試験装置とこの装置に附属する微小ひずみ測定装置 (LSMS) ならびにベンダーエレメント測定システムについて詳細な説明を行っている。

第4章では、試験方法および試験装置の性能確認のための実験結果を示している。室内再構成粘土を用いた様々な試験の結果から、本研究の目的を達するに十分な精度の試験結果が得られることを確認している。

第5章は、本研究に用いた多数の粘性土試料に関する説明を行っている。本論文の研究課題の一つである原位置非排水強度決定法の適用上の問題点を明らかにするためには、対象とする粘土試料の原地盤における堆積過程および応力履歴に関する情報が何より重要である。したがって、調査地点の位置、物理的性質とともに採取された試料について知り得る情報について記している。

第6章は、①ベンダーエレメントが装着された圧密試験装置と②新しく開発された三軸試験装置による試験結果とその考察である。まず、①では、本研究および既往の論文から引用した室内再構成および乱さない試料のデータを用いて、せん断剛性率を間隙比と圧密応力の関数とする式を新しく提案し、その式が室内試験結果および原位置試験結果とよく一致することを示した。②では、5つの实地盤から採取された試料に対して、一連の試験結果から微小ひずみ領域での原地盤の変形特性の把握および開発された微小ひずみ測定装置の適用性、さらに室内試験から求めたせん断剛性率と原位置試験せん断剛性率の比較からの試料の乱れの程度の判断、過圧密比および土被り圧を基準にした圧密履歴による粘性土地盤の変形メカニズムなどに関して述べている。

つぎに、第3章、第4章および第6章に記した内容に対する考察として①開発された試験装置の信頼性、本研究から提案された式が原位置の変形特性をよく説明できること、また、現在用いられている非排水強度決定法では、強度はある程度説明可能であっても、原位置の粘土の固有の構造が失われる結果、原位置での応力-ひずみ挙動を正確に把握することは困難であることを説明している。

第7章は、本研究で得られた主要な結論を明らかにするとともに、本研究の残された課題および今後の展望について概説した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三田地 利 之

副 査 教 授 土 岐 祥 介

副 査 教 授 石 島 洋 二

学 位 論 文 題 名

粘性土地盤の微小ひずみにおける変形特性と 非排水強度の評価方法に関する研究

粘性土地盤における土要素の変形挙動は、応力とひずみの履歴、載荷時の応力条件および載荷時間などの強い影響を受けることが知られている。また、土要素の変形挙動は強いひずみおよび応力レベルの依存性を持っている。したがって、載荷時の全過程にわたる地盤の変形挙動を正確に把握するためには、広範囲なひずみ領域($10^0 \sim 10^1$ 程度まで)での変形特性を詳細に調べる必要がある。都市部での大深度の地盤掘削の場合など、地盤の変形を高精度で推定することの必要性が増大していることから、近年特に、微小ひずみレベル (10^5 以下) での変形特性の重要性が認識されつつある。

一方、地盤の安定の検討にあたっては、原地盤のせん断強さをいかに正確に把握できるかが重要である。室内せん断試験に供される試料は、地盤から採取される際に不可避免的に生じる応力解放やひずみの影響を受ける。したがって、堆積時の環境とその後の時間経過の間に形成された自然粘土の持つ固有の構造を極力保持した状態での地盤の強度特性を評価する手法の確立が望まれている。

以上のような背景の下に、本研究では、新しく開発した粘性土用の全自動三軸試験装置と、広範囲の試験条件に対応出来る微小ひずみ測定システム、および圧密試験装置と三軸試験装置に装着したベンダーエレメントシステムによる弾性波速度からせん断剛性率を評価する手法について論じている。さらに、本研究で開発した一連の試験装置を用いた実験結果から、微小ひずみ領域での変形係数の評価の重要性を明らかにするとともに、簡単な土質試験データから原位置せん断剛性率を推定する方法を提案している。つぎに、国内外の5ヶ所の異なる地盤から採取した乱さない粘性土を用いて一連の圧密非排水三軸試験を行い、従来の原位置変形・強度評価法の適用限界を明らかにしている。

本論文は7章から構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のようなものである。

第1章では研究の背景を示し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、従来の微小ひずみ測定方法の特徴および問題点を指摘し、本研究で開発した測定システムの背景を明らかにするとともに、微小ひずみ領域における粘性土の変形挙動に関する従来の研究成果を要約している。さらに、粘性土地盤の原位置変形・強度評価法として従来提案されている SHANSEP 法、再圧縮法についての概要を説明している。

第3章では、本研究で開発したベンダーエレメント装着の圧密試験装置、高精度・多機能三軸試験装置とこの装置に附属する微小ひずみ測定システムならびにベンダーエレメントシステムについて詳細な説明を行っている。

第4章では、試験方法および試験装置の性能確認のための実験結果を示している。室内再構成粘土を用いた様々な試験の結果から、本研究の目的を達するに十分な精度の試験結果が得られることを確認している。

第5章では、本研究に用いた多数の粘性土試料に関する説明を行っている。研究課題の一つである原位置変形・強度評価法の検討にあたっては、対象とする粘土試料の原地盤における堆積過程および応力履歴に関する情報が重要であることから、試料採取地の概要、物理的性質とともに採取された試料についての情報を記している。

第6章は、本研究で開発された試験装置による試験結果とその考察である。まず、本研究および既往の論文から引用した試験データを用いて、比体積と圧密応力の関数としてせん断剛性率を推定する式を新しく提案し、原位置試験結果とよく一致することを示している。つぎに、国内外の5ヶ所の地盤から採取された試料に対して、微小ひずみ領域での変形特性を調べるとともに、開発された微小ひずみ測定システムの適用性を検討している。さらに室内試験と原位置試験のせん断剛性率の比較による試料の乱れの程度の判断、過圧密比を基準にした圧密履歴による粘性土の変形挙動の特性などに関して述べ、従来の手法では、強度はある程度推定可能であっても、粘土の固有の構造が失われる結果、原位置での応力-ひずみ挙動を正確に把握することは困難であることを説明している。

第7章は、本研究の結論であり、得られた知見を総括するとともに、今後の研究課題を述べている。

これを要するに、著者は、微小ひずみ領域における粘性土地盤の変形・強度特性を把握するための新しい試験装置を開発し、これを用いて得られた成果をもとに、原地盤のせん断剛性率を簡単な室内試験から推定する方法を提案するとともに、過圧密履歴や年代効果を受けた地盤の変形・強度特性について多くの新知見を得ており、地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。