

学 位 論 文 題 名

自然堆積粘土の構造とセメンテーション効果の
同定法に関する研究

学位論文内容の要旨

地盤変形問題の解決のための普遍的な方法論は、室内・原位置試験による地盤物性値の評価、地盤の力学諸特性のモデル化そして数値解析による実地盤挙動の予測を根拠としている。現状において、数値解析法の急速な進展と比較して、自然地盤の力学挙動の体系化が後追い状態にあることが広く指摘されている。このことが、信頼性の高い実地盤の変形挙動の予測法を確立する上での大きな障害となっている。関西国際空港の地盤沈下予測問題は、その典型例である。

一般に、自然に堆積した粘土地盤は、原位置での長期二次圧縮、粒子間のセメンテーションの形成、等の年代効果により、程度の差こそあれ「構造」が発達した状態にあり、その力学特性は「構造」が未発達な室内再構成粘土の挙動とは随分と異なることが漠然と知られている。また、汎用性の高い弾塑性構成モデルは、粘土の鉱物組成、粒度分布等の一次的性質に支配される力学挙動は適切に表現できるものの、自然堆積粘土に特有な構造特性を適切に表現することはできない現実がある。このような自然粘土の力学の体系化の立ち遅れは、自然粘土の変形メカニズムの実験的解明の遅れに起因している。

そこで本研究では、室内再構成粘土の力学特性をものさしとして自然粘土の「構造」の評価が可能となるとの一貫した考え方に基づき、数千年～数十万年の広範囲な堆積年代に亘る自然堆積粘土の「構造」の定量的評価を試みている。また、自然粘土の「構造」の二大要因として、原地盤における二次圧縮効果とセメンテーション効果を考慮し、室内試験によりセメント混合粘土の変形・強度特性を理解することにより、自然粘土の力学特性に及ぼすセメンテーション効果の分離評価を試みている。具体的には、ひずみレベル 0.001%における弾性係数から 10%程度の破壊に至るまでの広範囲なひずみ領域での変形特性を連続的に測定する実験システムを開発するとともに、弾性係数の応力依存性に着目することにより、世界各国の自然粘土の「構造」をメタ安定度指数を用いて定量化している。また、力学試験結果に基づく自然粘土の土粒子間セメンテーション効果の同定法を新たに提案している。

本論文は、8つの章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べた上で、本論文の構成を説明している。

第2章では、本論文の研究テーマに関連する既往の研究をまとめている。まず、自然粘土の「年代効果による構造」の概念およびその定量的評価法に関する既往の研究を紹介し、粘土の構造指標として提案されたメタ安定度指数の定義と実際の求め方について紹介している。つぎに、自然堆積粘土の力学諸特性に及ぼすセメンテーション効果に関する研究を紹介している。

第3章では、実験の概要を述べている。本研究で使用した多機能三軸試験装置、定ひずみ速度圧密(CRS)試験装置およびベンダー要素(Bender Element)を用いたせん断弾性波速度測定システムそれぞれの概要と試験方法を説明している。つぎに、室内再構成粘土試料の作成方法、自動制御・データの自動収録システム、実験手順、新たに開発した局所軸変形測定システム、等についてそれぞれ簡単に説明している。さらに、本研究で扱った粘土試料の特性と実験条件をまとめている。

第4章では、本研究で使用した自然堆積粘土試料およびこれらの採取地盤の概要を述べている。対象とした地盤は日本国内の沖積海成粘土地盤(関空、尼崎、有明)、洪積粘土地盤(関空、京都盆地)および海外6カ国の海成粘土地盤、韓国釜山(Yangsan, Eulsookto), タイ(Bangkok), シンガポール(Singapore), ノルウエー(Drammen), 英国(Bothkennar), カナダ(Louisville)である。各地盤ごとに、サンプリング調査地点および基本的な諸物性値の深さ方向の分布を述べている。

第5章では、一次的性質の異なる7種類の室内再構成粘土の力学挙動を議論している。一連の圧縮・膨脹試験および非排水せん断試験を実施し、一次元圧縮および膨脹特性、非排水せん断時の応力・ひずみ関係の非線形性、非排水せん断強度特性およびせん断弾性係数 G の応力および応力履歴依存性についてそれぞれ議論している。

第6章では、乱さない自然粘土の力学挙動について論じている。さらに、自然粘土と再構成試料との力学挙動を第5章と同様な切り口で比較検討することにより、自然堆積粘土の変形・強度特性に及ぼす年代効果について議論している。とりわけ、大阪湾粘土の変形特性に及ぼす「構造」の影響に焦点を絞って詳しく論じている。

第7章では、第6章で得た知見を基に、自然堆積粘土の「構造」の定量的評価法を提案している。また、人工的にセメンテーションを付加したセメント混合粘土の変形・強度特性の解明を試み、粘性土の力学挙動に及ぼすセメンテーション効果について実験的および理論的に考察している。この工学的適用として、力学試験による自然粘土のセメンテーション効果の同定法を新たに提案している。そして自然粘土の力学特性は、原地盤における年代効果の主要因(二次圧縮あるいはセメンテーション効果)に応じて異なることを指摘している。

第8章は7章までの成果を要約し、本論文の結論としたものである。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	三田地 利 之
副 査	教 授	石 島 洋 二
副 査	教 授	三 浦 清 一
副 査	助教授	澁 谷 啓

学 位 論 文 題 名

自然堆積粘土の構造とセメンテーション効果の 同定法に関する研究

地盤の変形挙動を予測するための普遍的な方法論は、室内・原位置試験による地盤物性値の評価、地盤の力学特性のモデル化そして実地盤に即した初期・境界条件の下での数値解析の実施であり、地盤のモデルは室内再構成粘土の挙動を基礎にしたものである。

一般に、自然に堆積した粘土地盤は、原位置での長期にわたる二次圧縮、土粒子間のセメンテーションの形成、等の年代効果により、程度の差こそあれ「構造」が発達した状態にあり、その力学特性は「構造」が未発達な室内再構成粘土の挙動とは大きく異なることが知られている。また、数値解析法の急速な進展と比較して、自然地盤の力学挙動の体系化が後追い状態にあることが広く指摘されている。すなわち、汎用性の高い弾塑性構成モデルは、粘土の鉱物組成、粒度分布等の一次的性質に支配される力学挙動は適切に表現できるものの、自然堆積粘土に特有な構造特性を適切に表現することはできない現実がある。このような自然粘土の力学の体系化の立ち遅れは、自然粘土の変形メカニズムの実験的解明の遅れに起因している。このことが、実地盤の変形挙動についての信頼性の高い予測法を確立する上での大きな障害となっている。

以上のような背景のもと、著者は、「年代効果のない室内再構成粘土の力学特性が自然粘土の「構造」評価のものさしとなる」との一貫した考え方にに基づき、数千年～数十万年の広範囲な堆積年代に亘る自然堆積粘土の「構造」の定量的評価を試みている。具体的には、ひずみレベル 0.001%から 10%程度に至るまでの広範囲なひずみ領域での変形特性を連続的に測定する実験システムを開発するとともに、弾性係数の応力依存性に着目することにより、世界各国の自然粘土の「構造」をメタ安定度指数を用いて定量化している。さらに、人工的にセメンテーションを付加したセメント混合粘土の実験結果を基礎に、粘性土の力学挙動に及ぼすセメンテーション効果について考察を加え、力学試験結果に基づく自然粘土の土粒子間セメンテーション効果の同定法を新たに提案したもの

で、8章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べ、本論文の構成を説明している。

第2章では、本研究に関連する既往の研究をまとめている。まず、自然粘土の「年代効果による構造」の概念およびその定量的評価法に関する研究を紹介し、粘土の構造指標として提案されたメタ安定度指数の定義と実際の求め方について紹介している。つぎに、自然堆積粘土の力学諸特性に及ぼすセメンテーション効果に関する研究を紹介している。

第3章では、本研究で使用した多機能三軸試験装置、定ひずみ速度圧密(CRS)試験装置およびベンダー要素(Bender Element)を用いたせん断弾性波速度測定システムの概要と、本研究で新たに開発した局所軸変形測定システムを説明したのち、これらを用いた実験手順等について簡単に説明している。さらに、本研究で扱った粘土試料の特性と実験条件をまとめている。

第4章では、本研究で使用した自然堆積粘土試料およびこれらの採取地盤の概要を述べている。対象とした地盤は日本国内の沖積海成粘土地盤(関空、尼崎、有明)、洪積粘土地盤(関空、京都盆地)および海外6カ国の海成粘土地盤、韓国釜山(Yangsan, Eulsookto)、タイ(Bangkok)、シンガポール(Singapore)、ノルウエー(Drammen)、英国(Bothkennar)、カナダ(Louiseville)である。各地盤ごとに、サンプリング調査地点および基本的な諸物性値の深さ方向の分布を述べている。

第5章では、一次的性質の異なる7種類の室内再構成粘土の力学挙動を議論している。一連の圧縮・膨脹試験および非排水せん断試験を実施し、一次元圧縮および膨張特性、非排水せん断時の応力一ひずみ関係の非線形性、非排水せん断強度特性およびせん断弾性係数 G の応力および応力履歴依存性についてそれぞれ議論している。

第6章では、乱さない自然粘土の力学挙動について論じている。さらに、自然粘土と再構成試料との力学挙動を第5章と同様な切り口で比較検討することにより、自然堆積粘土の変形・強度特性に及ぼす年代効果について議論している。とりわけ、大阪湾粘土の変形特性に及ぼす「構造」の影響に焦点を絞って詳しく論じている。

第7章では、第6章で得た知見を基に、自然堆積粘土の「構造」の定量的評価法を提案している。また、人工的にセメンテーションを付加したセメント混合粘土の変形・強度特性の解明を試み、粘性土の力学挙動に及ぼすセメンテーション効果についての考察に基づいて、力学試験による自然粘土のセメンテーション効果の同定法を新たに提案している。そして自然粘土の力学特性は、原地盤における年代効果の主要因(二次圧縮あるいはセメンテーション効果)に応じて異なることを指摘している。

第8章は結論で、7章までの成果を要約し、本研究で得られた知見を総括している。

これを要するに著者は、広範囲なひずみ領域での変形特性を連続的に測定する実験システムを開発するとともに、世界各国の自然粘土の「構造」をメタ安定度指数を用いて定量化し、さらに、力学試験結果に基づく自然粘土の土粒子間セメンテーション効果の同定法を新たに提案しており、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。