

論文の内容の要旨

論文題目 Quasi-elastic stiffness in the behaviour of soft clay
「軟弱粘土の挙動における擬似弾性剛性」

氏名 澁谷 啓

我が国を含めたアジア地域における地盤工学の最重要課題の一つは、「軟弱粘土地盤の力学諸特性の評価に基づいた変形挙動の予測」である。従来から、軟弱粘土のせん断における変形係数のひずみ及び応力レベル依存性は広く知られていた。一方、歴史的に観て軟弱粘土地盤に関しては圧密現象が主たる工学的関心事であったため、土工事に伴うせん断変形は、「中・大ひずみ（1%～10%）レベルにおける“静的”変形問題」との共通認識が実務技術者の間に無批判のうちに浸透していた。このような背景から、地盤の静的変形挙動の解釈及び予測において、地盤振動問題の実務において多用されている小ひずみ（1%以下）レベルでの“動的”変形特性、とりわけ0.001%以下での「擬似弾性剛性」が活用されることは稀であった。近年、都市機能の拡張に伴い、「軟弱粘土地盤の小ひずみでの“静的”変形」が重要課題の一つとなってきた。一方、室内再構成試料の力学挙動を体系的に記述した既往の構成モデルは、自然堆積粘土特有の長期二次圧縮、粒子間のセメンテーション、等の年代効果を適切に評価できないことが分ってきた。要するに、「室内再構成粘土の中・大ひずみ変形挙動の観測→モデル化→変形解析」の従来の枠組みによる実地盤挙動の予測手法には本質的な限界があることが次第に認識されてきた。

本論文では、「軟弱粘土」と「擬似弾性剛性」を一貫したキーワードとして、「軟弱粘土の擬似弾性剛性の測定と結果の工学的適用」をメインテーマとしている。世界数ヶ国の沖積粘土地盤から採取した高品質な試料を用いた室内土質試験と原位置試験を

実施し、「自然堆積粘土と室内再構成粘土」、「室内試験(要素)と原位置試験(マス)」及び「擬似弾性係数(微小ひずみ挙動)と非排水せん断強度(大ひずみ挙動)」との関連についてそれぞれ考察していくつかの新しい知見を提示している。

第2章では、軟弱粘土の擬似弾性剛性の測定法、一般理論及び挙動の実際を紹介している。第3章では、各種の室内及び現場試験(ベンダー要素試験、三軸試験、サイスマックコーン試験、孔内水平載荷試験)のそれぞれにおいて、室内供試体及び原地盤の擬似弾性係数を高精度に測定するための試験装置の開発を試みるとともに、試験装置・方法に関する現状の問題点を特定しその対策を提案している。

第4章では、間隙比～有効応力～擬似弾性係数を用いて定義された「三次元状態限界曲面」の概念を新たに導入することにより、年代効果のない室内再構成粘土の擬似弾性剛性の挙動を体系的に記述している。

第5章では、まず一連の室内試験結果から、「クリープひずみの発生を伴い一時的に硬くなること、即ち三次元状態限界曲面外への逸脱現象」が「メタ安定化」であり、土の構造化(structuration)の本質であると主張している。つぎに、年代効果のない室内再構成試料の力学的性質は、年代効果を受けた自然堆積粘土の力学的性質を評価する上での基本となるとの考えから、「同一の擬似弾性せん断係数 G における自然粘土とその再構成試料と間隙比の差」に着目したメタ安定度指数 $MI(G)$ を新たに提案している。その上で、 $MI(G)$ を用いると年代効果による構造の高位化および有効応力の増加による構造の低位化をシステムティックに表現できることを実証している。さらに、新たに導入したメタ安定化定数 C_p を用いて、年代効果による土の構造の高位化現象の予測を試みている。加えて、異なる種類の粘土地盤の「構造化」の程度を比較する尺度として、原地盤のありのままの状態を深さ方向に連続的に測定した物性値(=原地盤のせん断弾性波速度測定によるせん断弾性剛性率(G_r)と原地盤の本質的な工学的性質の違いを相対化する液性指数 I_L を組み合わせたメタ安定度指数 $MI(G)^L$ を提案している。

本論文の後半部分において、擬似弾性剛性の工学的適用について議論している。第6章では、自然堆積粘土地盤におけるメタ安定度指数と非排水せん断強度増加率の関係に着目し、原地盤の非排水せん断強度の新たな推定法として、MILK (Metastability Index coupled with Laboratory K_0 test)法を提案している。さらに、我が国の有明粘土地盤とタイのバンコック粘土地盤において実施した事例研究により、MILK法の工学的適用性を吟味している。第7章では、弾塑性FEMを用いた軟弱粘土地盤の変形解析に関する事例研究の成果を報告している。バンコックにおける盛土基礎地盤の変形及び掘削に伴う連続地中壁背後の地盤変形に関する事後及び事前解析をそれぞれ実施し、地盤調査から得られた各種の“弾性変形係数”の実用的な選定方法を提案している。

第8章では、本論文で得られた結論をまとめている。