

論文の内容の要旨

論文題目「軟弱地盤の慣用的沈下解析法の高精度化に関する研究」

学位申請者 飯沼 孝一

キーワード：軟弱地盤，慣用設計法，一次元圧密解析，二次圧密，塑性ポテンシャル

日本は、1950年代初頭からの高度経済成長期ならびにその後の“列島改造”の旗印のもと安定した経済成長を遂げ、国内のインフラ・交通網・通信網を発達させてきた。これらが整備されることで都市部やその周辺により多くの人々が居を構えるようになり、都市は更に拡大した。山がちな本国においては、ほぼ全ての都市部が沖積低地である軟弱地盤の上に形成されている。軟弱地盤は、圧縮性が大きく強度が小さい粘性土や泥炭質土などから構成され、建築物や土木構造物の荷重によって大きな圧密沈下を生じ、これが長期にわたって継続する。軟弱地盤上に建設する構造物の設計では、この“圧密沈下”を精度良く予測することが竣工後の維持管理の方針や補修計画を策定するために重要である。

これまでの圧密沈下に関する慣用設計法では、古典理論である Terzaghi あるいは三笠の一次元圧密理論やバーチカルドレーン工法に適用する Barron 解を利用して沈下量と沈下時間が予測される。そして、その設計値をもとに動態観測を行って比較しながら、設計・施工にフィードバックしていく観測的設計施工法が行われてきた。なお、最新の道路土工指針では、1990年代以降に脚光を浴びるようになった性能設計化の考え方が取り入れられ、基本となりつつある。

慣用設計法による沈下量の予測精度は、他の構造物の変形量の予測精度と比べると1オーダー以上低い。これは、自然地盤であること、その堆積環境によって性質の異なる土質が複雑に層を成すなどの理由によるが、古典理論では考慮されない二次圧密沈下の発生量（長期沈下）が少なくないことも大きな要因である。二次圧密の存在は、Terzaghi 理論（1923年）が公表された直後から指摘され、二次圧密に関する多くの研究が行われてきた。同時に、この数十年間の目覚ましいコンピューター技術の発達によって、二次圧密が評価可能な精緻な弾粘塑性モデルを組み入れた FE 解析がパソコンでも行えるようになった。更に、観測的設計施工法によって長期にわたり収集された多くの沈下現場データから、圧密沈下のみならず二次圧密の性状も明らかにされつつある。にもかかわらず、実務設計における沈下解析は、技術的、経済的理由から依然として慣用設計法が主流であり、古典理論が踏襲されている。

このような背景から本研究では、実務者として性能設計に対応すべく軟弱地盤の沈下解析にこれまで得られた知見を組み入れ、慣用設計法の精度向上を目指しながらもなるべく簡易で安価な設計法の構築を目的に、特に長期沈下（二次圧密沈下）の評価について実験と数値解析により検討した。

本論文は、全7章から構成されている。

1章では、本研究の背景、目的ならび研究の位置付けと構成を示した。

2章では、実務者が、慣用設計法では対応できない場合に弾塑性プログラムを利用する機会が多くなった。その場合の弾塑性モデルを用いた一次元圧密 FE 解析ソフト利用の留意点を明示した。軟弱地盤対策工指針に紹介されている慣用設計法では、計算沈下量は実測値の±50%の精度で、沈下速度は実用的精度に合致しないと言われている。そこで、①沈下速度の予測に使用する圧密度 U - 時間係数 T_v 関係に与える有効応力法とひずみ法による圧密度の相違、②軟弱地盤対策工指針に示され実用されている層厚換算法の問題点、を指摘し実務で利用できる新たな非線形モデルを提案した。パソコンが普及した今日では、層厚換算法ではなく、差分法や有限要素法で実施すべきことを実例で示した。

3章では、ひずみの圧密方程式を利用して、二次圧密を考慮した一次元圧密解析（二次圧密モデル）を提案し、一次圧密中に発生する二次圧密挙動を明確に規定すべきことを明らかにした。提案する二次圧密を含む一次元圧密解析法には、仮定せざるを得ない土質定数が含まれている。しかし、従来から提案され利用されている二次圧密モデル（ $\log t$ ）にも仮定すべき土質定数に誤解や混乱があり、二次圧密挙動の評価方法によっては過大な沈下量予測となる可能性を明らかにした。

4章は、古典的弾塑性モデルでは一次元圧密におけるひずみと応力の関係が不整合である点を指摘して、 K_0 圧縮条件下での一次元圧密中のひずみ条件と有効応力経路を正確に再現できるモデルを提案した。このモデルでは、粘塑性流動則を取り入れて異方応力状態を考慮できる塑性ポテンシャルを利用する。この時、ひずみ成分によって塑性ポテンシャルを使い分けすることが提案モデルの新規性であり、これによって K_0 圧密中の有効応力経路を正確に再現できるようにした。

5章では、圧密沈下促進工法の代表的なバーチカルドレーン工法の改良効果に着目して Barron 解と有限要素法ならびに差分法による数値解析における変形条件を室内模型実験の再現計算により検証した。また、砂部への応力集中の問題を有限要素法で検証した。その結果、等ひずみを仮定する Barron 解では室内試験との差が大きいのに対して、数値解析の容易な自由ひずみ条件による数値解析の精度がよいこと、砂のヤング係数を粘土よりも大きく設定することで、緩詰め砂柱への応力集中効果が計算できることを明確にして有限要素法ならびに差分法による数値解析の有用性を示した。

6章では、国内の2地区においてほぼ同じ層序をなす泥炭質地盤上に施工された道路盛土（局所載荷）と宅地造成盛土（一次元載荷）のそれぞれ観測された長期沈下データをもとに、二次圧密に起因すると考えられる現場の長期沈下と室内一次元圧密試験の二次圧密係数との関係を比較した。室内圧密試験で観察される二次圧密沈下は実際地盤の長期沈下と対応すること、提案する二次圧密モデルが粘性土地盤のみならず超軟弱な泥炭質地盤にまで幅広く利用できることを新たに示した。

第7章は結論である。本研究によって得られた結論を総括し、今後に残されている地盤の沈下予測に関する課題について述べた。

以上