



Title	Effects of Clay Viscosity on the Bearing Characteristics of Single Pile Foundations
Author(s)	Al Kodsi, Salma
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76578">https://hdl.handle.net/11094/76578</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (SALMA AL KODSI)

Title

Effects of Clay Viscosity on the Bearing Characteristics of Single Pile Foundations  
(単杭基礎の支持特性に粘土層の粘性挙動が及ぼす影響)

### Abstract of Thesis

Skin friction is the shear stress mobilized along the pile's shaft, resulting from the relative movement between the pile and the adjacent soil. On the one hand, applying a load on the pile head results in a downward pile movement. This downward movement is resisted by positive skin friction along the pile's shaft and contributes to bearing capacity of the pile as a result. On the other hand, when a pile is installed into a thick clay layer, adding a surcharge load on the ground around a pile may cause a significant consolidation settlement in the clay layers next to the pile as a result of excess pore water pressure dissipation, and a relative movement between the pile and the adjacent soil takes place, and negative shear stress along the pile shaft, which is generally known as the negative skin friction (NSF), is mobilized. This relative movement may proceed after the end of primary consolidation as a result of secondary consolidation due to the structural viscosity of the clay. The aim of this research is, first, to form a numerical model in order to simulate the behaviors and bearing characteristics of a single pile embedded in clay layers. Secondly, to perform a numerical analysis using the elastic-viscoplastic (EVP) soil model in order to study the influence of secondary consolidation on the negative skin friction (NSF) distribution. Furthermore, a parametric study is conducted to examine the influence of the pile load, surcharge load, and viscous parameters on the axial load and the NSF distribution mobilized in a pile, and to understand the bearing mechanics under various loading conditions.

After describing the background and objectives of the thesis in Chapter 1, Chapter 2 presents a literature review on the numerical modeling simulating the behavior of pile foundations in clayey soils as well as the EVP behaviors of the clayey soils to strengthen the importance and novelty of the research.

In Chapter 3, the results of a full-scale vertical loading test, such as the axial load distribution and the pile settlements, which is conducted for a cast-in-place RC (reinforced concrete) bored pile embedded in the clayey layers, are presented.

In Chapter 4, the analytical model used in this study is formulated and explained in detail. The elastic-viscoplastic (EVP) soil constitutive model for clay is clearly described. Also, the methods to determine the parameters for this model based on the laboratory and field observations are explained comprehensively. Moreover, by comparing the field test measurements shown in Chapter 3 with the numerical results, it is verified that the numerical models and parameter settings employed can simulate the axial load distributions of a single pile reasonably.

In Chapter 5, a parametric study for different surcharge and pile loading conditions is conducted by analyzing the calculation results of the pile axial load distribution, the soil and pile settlements during primary and secondary consolidation, and the distribution of negative skin friction. Furthermore, comparing the analytical results for the axial load and the skin friction distribution between elasto-plastic and EVP models, the effects of soil viscosity on the bearing characteristics are more clearly discussed. Raising the applied pile load maximizes the difference between pile and soil settlements during primary consolidation and minimizes this difference during secondary consolidation. As a result, the location of the neutral plane (LNP) is shifted upward at the stage of secondary consolidation. Furthermore, applying a small magnitude of surcharge load causes a difference in the LNP between the end of primary consolidation and during secondary consolidation, where the effect of NSF is obviously taking place during secondary consolidation. On the contrary, doubling and tripling the surcharge load magnitudes reduces this difference in the LNP, where the most part of settlements has occurred during primary consolidation.

In Chapter 6, a simplified model is introduced in order to study the impact of the viscous parameters on the NSF distribution. Reducing the coefficient of secondary consolidation minimizes the NSF distribution. While increasing the value of the reference volumetric strain rate raises the NSF, the axial load distribution, and the soil settlements during secondary consolidation.

In Chapter 7, the conclusions of the thesis and recommendations for future work are provided.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( SALMA AL KODSI )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主査	教 授	乾 徹
	副査	教 授	鎌田 敏郎
	副査	准教授	廣畠 幹人
	副査	教 授	小田 和広(大阪産業大学工学部)

## 論文審査の結果の要旨

層厚の大きい粘土層を貫通して支持杭を打設する場合、地表面の上載荷重による粘土層の圧密沈下量が杭の沈下量より相対的に大きくなると、地盤と杭周面の間には Negative skin friction (NSF) と呼ばれる下向きの摩擦力が作用する。この NSF は杭に作用する軸力を増大させ、杭に過剰な沈下や破壊が生じる可能性が懸念される。

一方、粘土層の圧密沈下には、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下と、過剰間隙水圧の消散後にも継続する主として粘土骨格の粘性変形に基づく沈下が寄与する。前者が卓越する領域を一次圧密、後者が卓越する領域を二次圧密という。ただし基礎設計の実務においては、層厚の大きい地盤では長期間に渡る一次圧密過程に粘性変形に基づく沈下が含まれることや、長期間に渡る沈下挙動の評価が必要であることから、粘性変形に起因する二次圧密挙動を考慮することはない。しかしながら、杭基礎の支持特性を適切に評価するためには、粘性変形に基づく長期的な沈下挙動を考慮した上で、杭に生じる周面摩擦力の分布やその時間変化を予測することが重要と考えられる。

このような背景の下、本論文では、粘土地盤の粘性変形挙動を評価しうる弾粘塑性構成モデルを用いて、長期間の載荷を受けた杭と地盤の変形、および杭に作用する周面摩擦力分布の時間変化を評価する有限要素解析を用いた数値計算法を提示している。さらに計算結果に基づいて、粘性変形を考慮することによる杭の軸力等に及ぼす影響や、影響が大きくなる地盤条件や荷重条件を明らかにしている。

第 1 章では、研究の背景と研究内容の概要について述べている。

第 2 章では、杭基礎に生じる NSF の評価事例、および地盤の粘性変形のモデル化手法を中心に過去の研究のレビューを示している。さらに、粘土地盤の粘性変形に基づく長期的な沈下挙動の評価に基づいて、杭に作用する周面摩擦力の分布を評価することの意義を明らかにした上で、本研究の構成を詳細に示している。

第 3 章では、提示する数値計算法の検証に用いた、実スケールで実施された杭の載荷試験について、試験サイトの地盤条件や載荷試験方法、得られた計測結果を示している。

第 4 章では、弾粘塑性構成モデル、解析対象となる地盤におけるモデル化に必要となる物性値やパラメータの決定方法、ジョイント要素を用いた杭と周辺地盤の相互作用のモデル化手法をはじめ、数値計算法の詳細を説明している。さらに、第 3 章で示した現場載荷試験の再現解析を行い、杭に生じる軸力の分布、変位が精度良く計算されることを根拠として、決定した地盤の物性値、および杭と周辺地盤の相互作用のモデル化が妥当であることを示している。

第 5 章では、第 4 章の再現解析条件下において実施した、杭頭に作用する鉛直荷重および杭周辺地盤に作用する上載荷重を変化させたパラメトリックスタディの結果を示している。粘性挙動を考慮することにより、長期的な二次圧密の進行に伴って杭に生じる軸力や先端荷重がより大きくなることを、粘性挙動を考慮しない弾塑性構成モデルを用いた解析結果と比較することを通して明らかにし、杭の設計において粘性挙動を評価する意義を定量的に示している。さらに、周辺地盤の上載荷重が同じ条件では杭頭荷重が大きいほど、二次圧密過程における杭一地盤間の相対変位と NSF の増加量が小さくなるとしている。一方、杭頭荷重が同じ条件下においては、上載荷重が大きい場合には粘性変

形の大半が一次圧密過程において発生し、二次圧密過程における影響が比較的小さくなることを示し、荷重条件が杭に生じる軸力や周面摩擦力の経時変化に及ぼす影響を明らかにしている。

第6章では、単純な地盤モデルを用いて基準粘性体積ひずみ速度や二次圧密指数といった粘性変形挙動を記述するパラメータの計算値への影響の検討結果、ならびに実際の粘土地盤の物性値を用いた計算結果を比較し、粘性挙動による影響が大きくなる地盤条件を明らかにしている。

以上のように、本論文では、地盤の粘性挙動を評価しうる弾粘塑性構成モデルを導入して、長期的な地盤の圧密挙動を考慮した杭の軸力や周面摩擦の変化を計算する数値計算法を確立するとともに、粘性挙動を評価することの実用的な意義とその影響が大きくなる地盤条件や荷重条件を明らかにしており、軟弱地盤に打設された杭基礎の長期的な支持特性を考える上で、学術的、実務的に有用な知見を得ている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。