



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Experimental study for modeling unloading behavior of marine clays [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	樊, ソウ
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16538号
Issue Date	2025-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95707
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Zheng_Fan_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 樊 ソウ

審査担当者 主 査 教 授 渡部 要一
 副 査 教 授 石川 達也
 副 査 准教授 磯部 公一
 副 査 教 授 宮森 保紀

学位論文題名

Experimental study for modeling unloading behavior of marine clays
(海成粘土における除荷挙動の実験研究とモデル化)

東アジアや東南アジアなどの地域では、経済成長と人口増加に伴い沿岸都市における土地造成の需要が高まっている。軟弱な海成粘土地盤が多いこれらの地域では、古くから短期・長期の圧密挙動に関する研究が行われてきた。しかしながら、地盤改良過程におけるプレロード除荷後の膨張挙動に焦点を当てた研究は少ないのが実情である。載荷過程についてはひずみ速度依存性に着目した研究が進んでいるが、除荷挙動については、近年になりようやくひずみ速度依存性に着目した研究が始まったばかりである。本研究の目的は、海成粘土の除荷挙動に関する実験データを蓄積してこれを解釈し、ひずみ速度依存性に着目した構成モデルを新たに開発・提案し、海成粘土の除荷挙動の予測精度向上に貢献することである。具体的には、プレロードによる埋立地盤の造成を想定して、載荷過程から除荷過程までの一連のプロセスを想定した定ひずみ速度載荷圧密試験 (CRS 圧密試験) と長期除荷過程を想定した段階載荷圧密試験を実施した。特に、プレロード撤去時すなわち除荷時のひずみ速度を支配するプレロード期間と除荷荷重の大きさをパラメータとすることで、応力履歴の影響のみならずひずみ速度の影響をも考慮した構成モデルを開発・提案することに成功した。載荷過程におけるひずみ速度の影響は、圧密応力を直接使ったパラメータで記述されるが、除荷過程においては応力の座標軸を逆向きに見る必要があることから、過圧密比に対応したパラメータを導入することによって除荷過程における新しい粘塑性モデルを開発・提案している。この新しい提案モデルは、従来の構成モデルに比べてパラメータの数が少なく、かつ、実務的に決定しやすい。また、載荷過程において応力-ひずみ-ひずみ速度の関係が唯一に決まるとして知られるアイソタック則を応用し、限定的ではあるものの除荷過程にもアイソタック則を適用できるように発展させたかたちになっている。提案モデルを使ったシミュレーション結果は、実験結果ともよく一致することを確認している。

本論文は 8 つの章から構成される。第 1 章では、研究の背景と目的について説明している。第 2 章では、既往の研究文献をレビューしたうえで、本研究で着目する除荷挙動の構成モデルについて、解決すべき課題を取りまとめている。第 3 章では、本研究で扱う 3 種類の海成粘土の物性値に見られる特徴について取りまとめている。第 4 章では、本研究で実施した、定ひずみ速度除荷圧密試験と多段階定ひずみ速度除荷圧密試験の 2 種類の CRS 圧密試験の方法について詳述している。得られた実験結果から、載荷過程と除荷過程における圧密挙動に見られるひずみ速度依存性について比較し、その特徴を取りまとめている。第 5 章では、除荷過程の圧密挙動をより詳細に実験的に調べるた

めに、除荷過程について、次に挙げる 2 種類の段階載荷圧密試験を実施した。一つ目は、1 つの供試体に対して 4 段階で除荷していく段階載荷による除荷過程の圧密試験、二つ目は、4 つの供試体にそれぞれ異なる除荷レベルを設定 (過圧密比で設定) して実施する除荷過程における長期圧密試験である。これらの試験を通じて、過圧密比と除荷開始前の圧密載荷期間 (除荷前のひずみ速度を制御) が除荷過程における圧密挙動に及ぼす影響を詳細に調べ、除荷過程におけるひずみ速度依存性を定量的に評価している。第 6 章では、上述の実験結果を取りまとめて除荷過程の圧密挙動を記述する構成モデルを開発してこれを提案するとともに、実験データに対するシミュレーション結果を示している。既往の研究で個別に提案されている塑性膨潤線概念と基準過圧密比概念とを新たなモデルとして組み込み、さらに上述の実験結果に見られた圧密挙動を表現できるかたちに修正を加えることで、除荷過程を対象とした新たなひずみ速度依存性を表現できる構成モデルを開発している。提案モデルを適用して上述の長期除荷圧密試験の結果をシミュレートした結果を通じて提案モデルの有用性を評価するとともに、パラメータの設定しやすさという観点からも実用的な構成モデルであることを示している。第 7 章では、除荷過程における圧密挙動について、載荷過程におけるアイソタックモデルとの比較を含め、新しい粘塑性モデルにおけるひずみ速度依存性について考察し、除荷過程におけるアイソタック性について詳述している。第 8 章では、本研究の検討結果を総合的にとりまとめ、今後の研究における方向性を提言している。

著者は、地盤改良の重要なプロセスであるプレロード撤去による除荷過程の圧密挙動 (膨張挙動) について、載荷過程から除荷過程までの一連のプロセスをひずみ速度の影響に着目した実用的な構成モデルを提案し、その有用性を示しており、地盤工学に貢献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。