

波浪場にある構造物基礎地盤の力学挙動の異方性と その極限解析法に関する研究

学位論文内容の要旨

周囲を海に囲まれ、臨海部の開発を重視してきた我が国において、沿岸域に構築された海洋構造物の重要度は高い。近年の大型台風や巨大地震による海洋構造物の沈下・滑動・転倒被害が多数報告されている現状を考えると、今後は、さらに支持地盤の力学挙動の詳細な把握が必要になると指摘される。一方、現在の我が国の設計法は、その設計基準を国際規格に対応させるため、従来の仕様規定型から性能規定型へ移行している状況にある。このような性能設計法においては、工費削減を図りつつ海洋構造物としての機能を満足させる多様な設計が可能となり、より高精度で合理的な支持力評価の重要性はさらに高まると言えよう。

最近では、波の不規則性や多方向性、および変形特性などを推測するための数値解析モデルが開発されており、実波浪場における来襲波浪の高精度な予測が可能となってきた。一方、模型試験や有限要素法 (FEM) などの数値解析を用いて海底地盤の力学挙動を推測する研究が進められているが、その成果が実務にあまり反映されていない。そのため、海洋構造物-地盤間の相互作用を考慮した適切な設計法の確立が望まれている。

現在、防波堤などの構造物の安定性については、主に作用波力による滑動・転倒の破壊モードを考慮することにより評価され、設計・照査が行われている。しかし、このような構造物を支持する地盤の支持力問題では、地盤を等方性体として取り扱っている。つまり、地盤の支持力に大きな影響を及ぼす堆積構造異方性や構造物の沈下・傾斜による誘導異方性の影響が考慮されていない。実務における地盤の支持力評価においては、より合理的で高度な設計法の構築が求められていると考えられる。

このような背景から、本研究では、種々の载荷条件下にある構造物-地盤系の支持力・変形特性に及ぼす堆積構造異方性の影響に着目している。はじめに、地盤の構造異方性の違いによる構造物の沈下挙動、支持力-側方変形挙動の変化を模型試験によって調べている。特に、任意の荷重条件下および堆積条件下にある構造物-地盤系の安定性を評価するための支配要因の把握を試みている。また、波浪のような繰返し力を受けて構造物がロッキングしながら沈下するような場合において、地盤の構造異方性が支持力-側方変形特性に及ぼす影響を検討し、その破壊メカニズムを調べている。

次いで、一連の模型試験結果に基づいて、極限解析法の一つである上界法を用いた支持力解法を考察するとともに、構造異方性の影響を考慮した地盤の支持力を矛盾なく推定する方法を提案しその有用性を示している。さらに、現行設計法による支持力と本解析結果を比較検討し、本提案法の実務的な活用法を述べている。

本研究は、全 6 章で構成され、各章の概要は以下に示す通りである。

第1章では、関連する既往の研究についてレビューし、本研究の位置付けを行った。特に、波浪力-構造物-地盤系の変形問題に着目した研究、種々の载荷条件下にある地盤の堆積構造異方性の影響を評価した研究および現行設計法に関する研究について紹介している。

第2章では、構造物-地盤系の支持力と変形特性を把握するために、本研究で用いた二次元平面ひずみ模型土槽装置の概要を説明している。模型土槽の寸法、種々の载荷条件を満足するための模型構造物への荷重の制御法、構造異方性の度合いを変化させた均一な模型地盤の作製方法、単調载荷・繰返し载荷法などの試験手順について詳述している。また、構造物の変位と地盤内の変形の定義も併せて示している。

第3章では、模型試験結果について考察している。ここでは、単調中心载荷試験、単調偏心载荷試験、繰返し载荷試験(波浪荷重試験を含む)の砂地盤の支持力および変形挙動に及ぼす堆積構造異方性の影響を明らかにしている。単調载荷試験では、支持地盤の変形挙動、沈下・傾斜の支配要因、地盤の塑性流動域の発達状況を詳細に示している。次に、繰返し载荷試験では、外力の作用方向と異方性の違いによって支持地盤の繰返し強度や変形特性に変化が現れることが記されている。さらに、地盤の支持力動員度の変化を具体的に説明できるパラメータの導入法について検討が加えられている。

第4章では、構造異方性を有する海底地盤の支持力・変形特性を上界極限解析法によって求める新たな簡易支持力式が誘導されている。具体的には、模型試験において地盤内に発生した塑性流動領域および塑性くさびの形状を表現する可容速度場を設定し、仮想仕事の原理を適用することで、異方性の影響を考慮できる支持力式を導いている。

第5章では、提案式による解析結果と第3章で得られた一連の模型試験結果との対応を比較・検討している。これらから、本提案式は単調および繰返しの载荷方法の違いに関わらず、種々の構造異方性の影響を受ける地盤の支持力をより合理的に評価可能であることが示されている。次いで、現行設計法の支持力と本研究の解析結果を評価している。現行設計法では、地盤を等方性材料として扱っているため、堆積条件によっては支持力が過大に評価されていることを指摘している。

第6章は、結論である。併せて各章で得られた知見を統括するとともに、今後の展望と課題を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 清 一

副 査 教 授 蟹 江 俊 仁

副 査 准教授 石 川 達 也

学 位 論 文 題 名

波浪場にある構造物基礎地盤の力学挙動の異方性と その極限解析法に関する研究

沿岸域の地盤上にある海洋構造物は、波浪などの外力に対して高い安全性が求められているにもかかわらず、暴風時に限らず平穏時の波浪によっても無視できない被害を受けていることが多数報告されている。また海岸保全のために基礎地盤上に設置されたテトラポットや人工リーフなどの構造物においても、設計波高より小さな波浪力によって沈下・埋没している事例も数多く見られる。この種の破壊に対する適切な対策工を実施するために、従来の仕様規定型から性能規定型の設計法へと移行している状況にある。このような性能規定型の設計法が海洋構造物の多様な機能を満足させることを可能ならしめるためには、波浪—海底地盤—構造物系に関する安定性の評価を総合的に行う必要がある。ここでは、特に実地盤の高精度で合理的な支持力評価が重要であり、検討の急がれている研究課題である。

現在、防波堤などの構造物の安定性については、主に作用波力による滑動・転倒の破壊モードを考慮することにより評価され、設計・照査が行われている。しかし、このような構造物を支持する地盤の支持力問題では、地盤を等方性体として取り扱っている。つまり、地盤の支持力に大きな影響を及ぼす堆積構造異方性や構造物の沈下・傾斜による誘導異方性の影響等が全く考慮されていない。これらの要因は、実務における地盤の支持力評価において無視できないものとなっている。

このような背景から、本論文では、まず海岸工学の情報を取り入れた地盤力学的視点を基本とする解析において必須の検討項目となる、種々の載荷条件下にある構造物-地盤系の支持力・変形特性に及ぼす堆積構造異方性の影響に着目し、地盤の構造異方性の違いによる構造物の沈下挙動と支持力-側方変形挙動の変化を模型試験によって詳細に明らかにすることを目指した。特に、波浪のような繰返し力を受けて構造物がロッキングしながら塑性沈下するような場合について、地盤の構造異方性が支持力-側方変形特性に及ぼす影響を明らかにし、その破壊メカニズムを詳細に考察した。次いで、極限解析法の一つである上界法を用いた支持力解法の適用性を一連の模型試験結果に基づいて検討するとともに、構造異方性の影響下にある地盤支持力の推定法を提案しその妥当性を示している。さらに、本法による解析を種々の堆積条件下の地盤について実施し、本提案法の実務における有用性を明確にしている。

第1章では、研究の背景および目的と論文の概要を述べている。第2章では、本研究で用いた二次

元平面ひずみ模型土槽装置の概要を説明するとともに、構造物へ与える荷重の制御法、構造異方性の程度を大幅に変化させた均一な地盤の作製方法などの試験手順について詳述している。第3章では、単調中心載荷試験、単調偏心載荷試験、繰返し載荷試験（波浪荷重試験を含む）で得た地盤の支持力および変形挙動に及ぼす種々の堆積構造異方性の影響とその特徴を示している。さら支持力動員度が堆積構造異方性にどのように依存するのかを表現しうるパラメータの導入法を説明している。第4章では、任意の構造異方性を有する海底地盤の支持力・変形特性を上界極限解析法によって求める簡易支持力式を誘導している。具体的には、地盤内に発生した塑性流動領域および塑性くさびの形状を表す可容速度場を設定し、仮想仕事の原理を適用することで、堆積構造異方性の影響を評価する支持力式を導くことに成功している。第5章では、提案式による解析結果と第3章で得られた一連の模型試験結果との対応を種々の条件下で比較した結果を示している。提案した手法による一連の解析は、波浪のような繰返し載荷を受ける構造物-地盤系の力学特性を妥当に推定していることが説明されている。第6章は結論であり、各章で得られた知見を総括するとともに、今後の展望と課題を述べている。

これらから、本研究による提案式が構造異方性を有する地盤の支持力特性を、単調および繰返しの載荷条件によらず、評価可能であること示している点は注目される。また、地盤を等方性堆積構造にあるとの前提に立っている現行設計法による地盤の支持力算定結果は、堆積条件によっては支持力を極めて過大に評価していることを指摘している。

これを要するに、著者は、これまで未解明であった波浪場のような複雑な荷重条件下にある構造物・地盤系の破壊機構を一連の解析と実験によって明らかにするとともに、構造物基礎地盤の異方的な支持力特性の適切な予測法の構築に関して貴重な知見を得ており、地盤工学および沿岸海洋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。