

学位論文題名

載荷条件の相違による砂地盤の支持力挙動の変化と その評価法に関する研究

学位論文内容の要旨

最近の基礎構造物の工学問題では、生活空間の拡大によって、より厳しい環境条件下での設計が要求されている。このような動向は必然的に、外力-構造物-地盤系に関する力学に高精度の変形予測を求めている。特に地盤の動的支持力-変形特性は、基礎の寸法効果、破壊の進行性、堆積構造の異方性などに強く依存することから、それらの影響を正確に評価することが極めて重要になってくる。繰返し载荷を受ける構造物-地盤系の代表的な例として波浪場や地震動での相互作用問題が考えられよう。たとえば波浪場にある土木構造物が、暴風時の波浪力によって、沈下、転倒、滑動などの甚大な被害を受けてきたことが多数報告されている。

このような海洋構造物の被害は、構造物を支持する海底地盤の側方流動変形、洗掘、波浪による液状化などによってもたらされる支持力低下が原因であると考えられており、その詳細なメカニズムの解明が望まれる。海洋構造物-地盤系の破壊形態は、外力の作用方向及び構造物の設置条件、寸法等の幾何学的要因によって種々変化することが予想されるが、このような荷重場の構造物-地盤系の破壊基準が不明なためその安定性の合理的な判断は極めて難しい状況にある。特に、波浪力-構造物-支持地盤の動的相互作用によって生じる破壊のメカニズムを明確にした研究はない。

一般に、構造物-地盤系の力学挙動は外力の作用条件に強く依存するが、地盤のダイレイタンス挙動を反映して、最終的には側方流動変形が進行し破壊に至るとされている。それゆえ、構造物と地盤系の安定性を評価するためには、地盤内の変形特性、特に水平変位やせん断ひずみを正確に把握することが必須である。今までの研究では、構造物-地盤系の安定問題を外力の条件から評価しようとする試みがいくつかなされているが、側方変位量の大きさまたは側方変位速度によって構造物の安定・不安定性を評価しようとする研究は重要である。

このような背景から本論文では、原位置で想定されるような種々の静的、繰返し荷重条件下にある構造物-砂地盤系の動的力学挙動の解明とその安定性の定量的評価法に関する研究を進めた。すなわち、種々の組み合わせの荷重を受ける砂地盤上にある構造物の極限支持力に至る変形挙動を明らかにするとともに、構造物-地盤系の安定性評価を外力または変位の視点から検討することを目指した。特に、砂地盤の繰返し支持力-変形特性においては、寸法効果の影響と側方流動変形との対応関係を詳細に調べ、構造物底面の寸法効果によらない地盤内変形挙動の評価法を新たに提案することを試みた。

また、静的あるいは繰返し荷重のような載荷条件の全く異なる荷重場の砂地盤の強度特

性を種々の組合せ荷重条件のもとで明らかにし、その統一的な破壊基準を検討した。ここでは、構造物に作用するモーメントや水平力、鉛直力によって、載荷条件によらない破壊曲線を呈示している。

ついで、安定性評価法の1つとして、構造物天端の2点での計測値から、構造物—地盤系の変位量を推定する方法を提案した。提案式は、一連の模型実験で得られた変形特性に基づいて誘導されていることから、地盤のダイレイタンス特性を考慮した形式となっている。海底地盤を対象とするような場合、このような手間のかからない計測値から地盤内の変形量を推定できることは工学的に有用と思われる。本論文では、この推定式を砂地盤上にある種々の構造物の変形解析に適用した例を示している。

本研究は全7章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第1章では、関連する既往の研究をレビューし、本研究の位置付けを行った。特に地盤の支持力に関する研究、地盤・構造物系の安定性評価に関する研究に分類し、それらの研究をまとめている。

第2章では、構造物・地盤系の支持力と変形機構の実態を明らかにするために、塑性破壊解析に基づいて作製された2次元平面ひずみ模型土槽装置について述べた。適切な模型土槽の大きさ、均一な砂地盤の作製法及び模型構造物に作用させる外力の制御法について詳細に説明している。また、構造物の変位と地盤内の変形量の定義を示している。

第3章では、載荷条件の違いが地盤の変形にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするために、まず静的載荷場での地盤の基本的な支持力—変形特性を一連の模型試験より明らかにした。得られた結果から、寸法効果の影響と側方流動変形との関係を明確にしている。また、支持力—沈下量—土量比関係は、いずれも正の対応関係にあることから、側方流動土量を検知することによって、支持地盤の破壊の程度、すなわち極限支持力がどの程度動員されているかを推定可能であるとしている。このことは、地盤内の支持力—変形挙動が構造物の変位情報から直接評価できることを示唆している。

第4章では、中心載荷条件と偏心載荷条件下での繰返し載荷試験を行い、波浪や地震動のような繰返し荷重場の砂地盤の支持力挙動の把握を試みている。得られた結果は、第3章での静的載荷試験における結果と詳細に比較検討されている。その結果、砂地盤の沈下性状や側方流動挙動は、繰返し荷重場にあっても基本的に偏心載荷条件の静的試験から正確に見積もることができることを定量的に示した。このことは、任意の繰返し条件下にある砂地盤のダイレイタンス特性を土量比のみから求めることを可能にした。

第5章では、前章までの一連の静的および繰返し載荷条件での模型試験から、任意の荷重場にある砂地盤の破壊基準式を検討している。具体的には、静的および繰返し荷重のような載荷条件の異なる荷重場を構造物に作用する鉛直荷重・水平荷重・モーメントの種々の組合せのもとで再現し、その統一的な破壊基準の存在を調べた。さらに、載荷条件の違いによる変形挙動の差に着目し、構造物の沈下量と傾斜角及び地盤内の変形量との関係を考慮した破壊前の構造物の安定度評価法を示している。特に、構造物に過度な沈下・傾斜が進行したときの地盤の安定性を、提示した破壊基準式により議論している。

第6章では、構造物の変形条件から、地盤内に誘発される水位変位や鉛直変位を砂地盤のダイレイタンス特性を考慮して推定することを試みている。誘導された推定式は、構造物天端の任意の2点で得られる鉛直変位の観測値より、地盤内の側方流動量を予測することを可能にするものである。提案した構造物—地盤系の変位量推定式は、模型試験や実構造物での計測データをよく説明することから、本推定式の妥当性が明確にされたとして

いる。

第7章は結論で、各章で得られた知見を総括し、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 石 島 洋 二
副 査 教 授 三 田 地 利 之

学 位 論 文 題 名

載荷条件の相違による砂地盤の支持力挙動の変化と その評価法に関する研究

基礎の支持力は地盤力学の中心課題の一つとして精力的な研究が行われ、具体的な問題に対して現実的な解が与えられるようになってきている。しかし最近の基礎構造物ではより厳しい環境条件下での設計が要求されるようになり、そのために外力—構造物—地盤系に関する力学挙動の高精度な予測方法が必要とされている。特に、繰返し荷重場にある地盤の支持力—変形特性は基礎の寸法効果や破壊の進行性、堆積構造の異方性などに強く依存することから、それらの影響を適切に評価することが緊急の課題になっている。

構造物—地盤系の力学挙動は外力の作用条件によって変化するが、最終的には、地盤のダイレイタンシー挙動を反映して、側方流動変形が卓越し破壊に至るとされている。従って、構造物と地盤系の安定性を合理的に評価するためには、地盤の変形特性、特に破壊に至るまでに誘発される水平変位やせん断ひずみを正確に把握することが極めて重要となる。

このような背景から本論文では、原位置で想定されるような種々の静的、繰返し荷重条件下にある構造物—砂地盤系の動的力学挙動の解明とその安定性の定量的評価法について研究を進めた。すなわち、種々の組み合わせの荷重を受ける砂地盤上にある構造物の極限支持力に至る変形挙動を詳細に検討するとともに、構造物—地盤系の安定性評価を外力または変位の視点から明らかにすることを目指した。特に、砂地盤の繰返し荷重下の支持力—変形特性においては、寸法効果の影響と側方流動変形との対応関係を定量的に示し、構造物底面の寸法効果によらない基礎地盤の変形挙動の評価法を新たに提案することを試みた。具体的には、静的あるいは繰返し荷重のような載荷条件の全く異なる荷重場にある砂地盤の強度特性を精度良く評価できるような統一的な破壊基準を検討している。さらに、構造物の変位計測値のみから地盤の水平変位や鉛直変位を推定する簡易法を提案するとともに、実海域にある海洋構造物の被災事例の解析例を示している。

本論文は7章から構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のものである。

第1章では研究の背景を示し、本研究の目的と論文の概要が述べられている。

第2章では、構造物・地盤系の支持力と変形機構の実態を明らかにするために、塑性破壊解析に基づいて作製された平面ひずみ模型土槽装置について紹介している。模型土槽の大き

さ、均一な模型地盤の作製方法及び模型構造物に作用させる外力の制御法が詳しく論じられている。

第3章では、載荷条件の違いが地盤の変形にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするために、まず静的載荷場での地盤の基本的な支持力—変形特性を一連の模型試験より検討した。得られた結果から、寸法効果の影響と側方流動変形との明確な対応関係を導いている。さらに支持力—沈下量—側方流動量関係の考察から、支持地盤の破壊の程度及び変形挙動を評価するための土量比パラメータの提案に至っていることは注目される。

第4章では、中心載荷条件と偏心載荷条件下の繰返し載荷試験を行い、波浪や地震動のような繰返し荷重場の支持力挙動の把握を試みている。その結果、砂地盤の沈下性状や側方流動挙動は、繰返し荷重場にあっても基本的に偏心載荷条件の静的試験から正確に見積もることができることを定量的に示している。このことは、任意の繰返し条件下にある砂地盤の沈下性状や側方流動挙動を、提案した土量比のみから求めることを可能にするものであり、工学的に有用な価値を見出すことができる。

第5章では、任意の荷重場にある砂地盤の破壊基準式を検討している。具体的には、静的及び繰返し荷重のような載荷条件の異なる荷重場を構造物に作用する鉛直荷重、水平荷重、モーメントの種々の組合せのもとで再現し、その統一的な破壊基準の存在を明らかにしている。特に構造物に沈下・傾斜が進行した時の構造物—地盤系の安定性を、提示した破壊基準式により算定できることを示している点は評価に値する。さらに、載荷条件の違いによる変形挙動の差に着目し、構造物の沈下量と傾斜角及び地盤内の変形量との関係を考慮した破壊前の構造物の安定度評価法を提示するとともに、その信頼性を確認している。

第6章では、誘発される水平変位や鉛直変位について地盤のダイレイタンスーとの関連に着目した定式化を行い、それらの推定式を誘導している。提示された推定式は、構造物天端の任意の2点で得られる鉛直変位の観測値より、基礎地盤の側方流動量を予測することを可能にしている。また、模型試験や実海域で得た構造物—地盤系の変位計測データとの比較検討を詳細に行うことにより、本推定式の実用性を検証している。

第7章は結論で、各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

これを要するに著者は、これまで未解明であった載荷条件の相違による地盤の支持力挙動の変化を一連の実験と解析によって明らかにするとともに、基礎地盤の変形予測および構造物—地盤系の安定性評価法について多くの貴重な知見を得ており、地盤工学の発展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。