

波浪のような繰返し力を受ける構造物・地盤系の 力学挙動と破壊阻止に関する研究

学位論文内容の要旨

ウォーターフロント開発にともない、沿岸域の環境整備が盛んに進められている。このような環境下に設置される海洋構造物は、人命や沿岸域の施設を守る面から、波浪などの外力に対して高い安全性が求められている。しかしながら、防波構造物が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報告されている。また、海岸保全のために基礎地盤上に構築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、設計波高より小さい波浪によって沈下・埋没した事例も数多く見られる。それゆえ、従来までの静的な耐波設計のみの安定性評価だけではなく、波浪—海底地盤—構造物系の総合的な安定性の評価がこのような構造物の設計に考慮されるべきである。特に繰返し荷重の影響を考慮した設計法は、我が国では導入されておらず、早急に取り入れられる必要がある。また、北海道釧路沖地震(1993)、北海道南西沖地震(1993)、北海道東方沖地震(1994)及び兵庫県南部地震(1995)などによる港湾施設の被害事例からも明らかなように、港湾構造物の動的安定性についても詳細な検討がせまられている状況にある。

地盤の支持力問題は、実務に関わる重要な問題として多くの研究者によって調べられており、現在では静的及び繰返し荷重場にある砂地盤や粘土地盤はもとより多層地盤の変形・強度特性やその支持力特性が明らかにされてきている。この問題を解明するための多くの研究では、1g 場および遠心力載荷場による模型実験が行われ、より精度の高いデータが蓄積されている。特に、遠心力載荷装置を用いた模型実験は、実物の初期応力状態を一致させることが可能であるなどの利点を有することから多用されている。一方、1g 場の模型実験は試験方法及び実現象の把握のし易さ等、実験の本質を考える上で極めて重要な示唆を与える実験手法として認められている。このような模型実験の工学的意義は大きいですが、装置の持つ生得的な誤差や信頼性などにおいていくつかの問題点があることも指摘されている。

このような背景から、本論文では海岸工学の情報を取り入れた地盤力学的視点を基本として構造物支持地盤の支持力—変形挙動について詳細に調べた。すなわち、構造物を介して伝えられた波浪のような繰返し力を受ける地盤内の任意要素点に着目し、その要素内の動的力学挙動を把握できるような解析及び実験を行っている。1g 場の模型試験では、まず構造物を介して基礎地盤に伝わる波浪力による地盤内応力を求め、その要素に働く応力状態を模型土槽内で再現する方法を提案している。ついで、

試験供試体を要素とみなして行われる繰返し三軸試験のような室内要素試験の動的力学挙動と模型土槽内の任意要素におけるその対応関係が明らかにされている。このように、本方法では大規模な造波装置を用いることなく簡便な載荷装置により構造物・地盤系の破壊のメカニズムを把握することを試みており、従来の模型実験とは異なるアプローチによって基礎地盤の動的力学挙動が解明されている。

一方、繰返し荷重場にある地盤破壊の防止策に関しては、陸上地盤では多くの工法が検討されているが、波浪場のような環境下にある地盤の破壊・流動防止策に関する研究は限られている。特に、破壊モードによってその防止策の効果が変化することから、対策法の提案は非常に難しい。本研究では、模型実験から得られた構造物・地盤系の破壊は側方流動的に進行するとの知見に基づいて、側壁工と矢板工による破壊阻止効果の検討を行った。特に地盤破壊の防止策やその効果に与える諸要因の影響が調べられており、波浪のような繰返し力を受ける地盤の破壊防止策の合理的な方法を提案している。

本論文は、以下に示す7章から構成されている。

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。特に波浪に対する地盤の力学応答、波浪・構造物・地盤系の相互作用問題及び被災事例の調査・解析に分類し、それらの研究をまとめている。

第2章では、波浪のような外力を受ける構造物支持地盤の応力条件を弾性解から調べ、その応力特性を明らかにした。また得られた結果より、波浪場にある任意要素点の応力状態を再現させるための模型試験法の具体的な提案を行った。

第3章では、地盤の塑性破壊解析に基づいて作製された試験装置と模型地盤の作製方法及び試験概要について述べている。特に、模型試験を実施する上で重要な試験装置の特性や均一な地盤作製法を明らかにしている。

第4章では、波浪力のような繰返し荷重を受ける構造物・地盤系の基本的な支持力・変形特性を解明するために行った繰返し鉛直、水平載荷試験および一定水圧場、変動水圧場での繰返し載荷試験結果を示している。一連の試験結果及び考察から、繰返し荷重を受ける構造物・地盤系の破壊は側方流動的な進行性破壊を示すこと、外力の作用条件の違いが地盤の変形挙動に与える影響が大きいこと、さらに圧力場の変化によって地盤の動的力学挙動が変化することなどの重要な事実を見い出している。

第5章では、第4章で得られた結果を基に、実波浪場に近い条件にある地盤内の任意要素点の応力状態を再現した実験を行い、地盤破壊のメカニズムを詳細に調べた。これにより、波浪場にある地盤破壊の特徴として、液状化現象ばかりではなく進行性の側方流動破壊を呈することが見い出されている。

第6章ではこのような繰返し荷重を受ける地盤を想定し、構造物底部に側壁を付設する工法及び地盤内に矢板を設置する方法について、破壊防止に関するそれらの付設・設置効果を調べた。また地盤破壊阻止効果に与える側壁や矢板の形状、透水性の影響を併せて検討し、具体的な破壊防止策の提案を行っている。提案した方法は、地盤破壊阻止に十分有効であることを一連の模型試験により確認している。

第7章では、各章の結論を総括するとともに、今後の課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 三 田 地 利 之
副 査 教 授 三 上 隆

学 位 論 文 題 名

波浪のような繰返し力を受ける構造物・地盤系の 力学挙動と破壊阻止に関する研究

沿岸域の地盤上に構築される海洋構造物は、波浪などの外力に対して高い安全性が求められている。しかしながら、近年、防波構造物が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おり、また海岸保全のために基礎地盤上に構築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・埋没した事例も数多く見られる。この種の問題を解決するには、海洋構造物の設計が、従来の静的な耐波設計による検討だけではなく、波浪—海底地盤—構造物系に関する総合的な安定性の評価により行われる必要がある。特に、波浪力のような繰返し载荷の影響を考慮した設計法や対策法は未だ導入されておらず、解明の急がれている研究課題である。

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理論解析に基づいて、波浪場を再現できる模型実験装置を開発した。次いで一連の実験と解析を進め、海洋構造物支持地盤の力学挙動、特に波浪力の载荷形態の違いによる変形挙動の変化を定量的に明らかにした。さらに、波浪のような繰返し荷重場にある砂地盤の破壊防止策として、側壁工と矢板工による破壊阻止効果を詳細に検討している。特に、阻止効果に及ぼす地盤の密度や設置位置などの影響が定量的に把握され、合理的な砂地盤の側方流動防止法を提案している。

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章では波浪のような外力を受ける構造物支持地盤の応力特性を明らかにし、波浪場の応力状態を再現させるための模型試験法の提案を行った。第3章では地盤の塑性破壊解析に基づいて開発した試験装置と模型地盤の作製方法を紹介している。第4章では基本的な支持力・変形特性を解明するために実施した繰返し鉛直、水平载荷試験および一定水圧場、変動水圧場での繰返し载荷試験の結果と考察が示されるとともに、構造物・地盤系の破壊が側方流動的な進行性破壊を呈することを明確にしている。第5章では実波浪場の応力状態を想定した試験から、波浪場にある地盤破壊の特徴を見出している。第6章ではこのような繰返し荷重を受ける地盤の破壊防止法を検討してい

る。第7章は結論であり、得られた知見を総括するとともに、今後の研究課題を述べている。本研究の成果を要約すると以下のようなものである。

- (1) 波浪－構造物－地盤系の相互作用問題について、本研究では、波浪力が構造物に伝える外力をモーメント、鉛直力、水平力、変動水圧に分離できるとみなし、それによって生じる地盤内任意要素の応力特性を弾性理論により導き出している。解析結果から、外力の作用条件によらず、構造物直下のせん断応力は両振り条件で生じる、構造物底部のせん断応力の評価がこの種の問題では極めて重要である、などの事実が示されている。
- (2) 上述の解析と考察から、大規模な造波装置を用いずに、波浪場にある砂地盤の応力状態を再現させる 1g 場の模型試験法の具体的な手法を提案している。さらにこれらの結果と塑性理論解析に基づいて、二次元平面ひずみ模型土槽及び繰返し载荷装置を作製するとともに、試験装置の特性を詳細に検討し、開発した装置がこの種の地盤挙動を調べるために必要とされる条件を具備していることを実証している。
- (3) 一連の繰返し载荷試験や実波浪場を想定した実験から、①波浪力の作用条件の違いは地盤の変形挙動、特にダイレイタンス挙動に強い影響を及ぼすこと、②波浪の大きさによって地盤の破壊モードは変化するものの、地盤破壊の特徴として液状化現象ばかりではなく進行性の側方流動破壊を無視できない、などの知見を得ている。
- (4) 以上の研究結果を踏まえて、波浪力が繰返し载荷されるような条件下の地盤破壊防止策を提案している。具体的には、構造物底部に側壁を付設する方法及び地盤内に矢板を設置する方法について、砂地盤の流動破壊の阻止効果に及ぼす側壁や矢板の形状・位置、透水性の影響等を定量的に明らかにし、提案した方法の有用性を確認している。

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、地盤の支持力特性の予測および流動破壊の防止法について多くの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。