

学 位 論 文 題 名

A Study on Vibration Characteristics of Rigid Body on Sand Ground

(砂地盤上にある剛体の振動特性に関する研究)

学位論文内容の要旨

最近の地盤工学分野では、地震、風、波浪、機械振動などの動的作用による基礎構造物の振動応答に関する研究が盛んになってきた。特に地震多発国では、地震動によってもたらされる橋、建物、擁壁等の大規模な被害を最小化あるいは防止するため、基礎構造物の広範囲なひずみレベルにおける振動特性とその定量化に関する研究が進んできている。

一般に地盤に載荷された動的荷重が基礎構造物へ伝える振動は、基本的にはその動的荷重の強さや慣性力に依存するものであるが、地盤や基礎構造物の振動特性およびそれらの相互作用も被害の程度を決定する重要な影響因子である。共振現象はその具体的な例で、同じ地震動を受けた構造物でもその構造物の振動特性、固有振動数によっては、もたらされる被害に大きな差が生じる。

このような地震時における地盤と構造物の相互作用を評価するには、有限要素法などによって地盤－構造物系全体を適切にモデル化する方法が有効であるとされている。しかし、この種の手法ではモデルの複雑さと計算量の増大は避けられない。また、基礎構造物と地盤の境界面における力学挙動のモデル化の仕方が解析結果を左右する重要な要素となるため、その評価法が明確でない現状では、これらの手法を合理的なものとは見なすことはできない。このことを解消するためには、地盤材料が示す力学的性質の非線形性（剛性のひずみ依存性）や拘束圧依存性を適切に評価した解析手法を確立する必要がある。

このような背景から本論文では、まず地盤上の構造物の振動特性とその評価法を明らかにし、次いで種々のタイプの振動解析に有用な地盤－構造物境界面の力学モデルの提案を目的として研究を進めた。接触面におけるこのような特性の定式化は地盤工学や構造工学の共通の課題であることから、主として弾性力学に基づいた境界面の力学挙動の定式化が進められ、バネモデルの提案などが行われている。しかし、このようなモデル化において必須となるべき地盤の力学特性を考慮した境界面モデルの確立には至っていない現状にあることから、本研究では、第一の目的に対して砂地盤上に置かれた種々の剛体の構造特性と振動特性の関係を振動台試験装置による室内模型実験によって調べた。すなわち、質量や慣性モーメントを容易に調整できる剛体模型の振動挙動を詳細に観察した。計測結果を振動モード解析に基づいて分析し、固有振動数や減衰特性、バネ定数等を定量的に評価し

ている。さらに、それらに及ぼす振動振幅や底面圧力、底盤寸法の影響を明らかにするとともに、剛体模型の振動特性を把握するために必要となる砂地盤材料の動的変形特性を調べた。ここでは、一連の繰返し三軸試験を行い、模型地盤に用いた砂のせん断係数と減衰比のひずみレベル依存性及び密度と拘束圧の影響を明らかにし、その定量化法を示した。これらの結果は、第二の研究目的である種々の構造特性を有する剛体の振動特性のモデル化に適用された。

本研究は5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、構造物の振動挙動における地盤と構造物の相互作用に関する理論的及び実験的研究についてのこれまでの成果をまとめている。

第2章では、模型振動実験に用いた地盤材料に対して非排水条件での繰返し三軸試験を実施し、その動的特性、特に等価せん断係数と履歴減衰比に検討を加えている。ここでは、それらのせん断ひずみ、地盤密度および拘束圧依存性を明確にするとともに、等価せん断係数比と履歴減衰比との対応関係を詳細に考察している。一連の実験結果は次のような事実を導いている。

- ・せん断ひずみの増加によって、せん断係数が減少及び履歴減衰比が増大する、
- ・地盤密度の増加にともなってせん断係数が増大する、
- ・地盤密度によらないせん断係数比と履歴減衰比が存在する、
- ・拘束圧の増加にともないせん断係数が増大及び履歴減衰比が減少する、
- ・せん断係数比の増加によって履歴減衰比が減少する。

第3章では、種々の形状と寸法を有する底盤に錘の枚数とレベルを変化させてその接触圧と慣性モーメントを調節した模型基礎について行った自由振動試験および強制振動試験の結果を述べている。ここでは、それぞれの基本的な力学挙動を把握するとともに、加振方法の相違による振動特性の変化をその角振幅特性により検討した。また、振動特性におよぼす地盤密度の影響も調べられている。これらの結果は以下のようにまとめられる。

- ・角振幅の増加にともなって周期と減衰比が増大する、
- ・周期は基礎の質量と慣性モーメント並びに底面圧力に強く依存する、
- ・加振方法の違いによる振動特性の変化は角振幅特性を考慮することにより合理的に説明できる、
- ・地盤密度は周期の減少に貢献するが、減衰比の変化には影響を与えない。

第4章では、二方向のバネダッシュポットモデルを用いて、前章までに得た砂地盤上の剛体の振動挙動に関する物理的解釈を試みた。具体的には振動モード解析を行い、模型振動試験で観測された剛体の力学挙動と一致する1次モードの挙動について検討を行った。その結果、バネ定数と減衰比の角振幅依存性、底面圧力依存性並びに底盤寸法依存性が明確に示された。またモデルで得られた力学特性から強制振動挙動を推定し、観測した強制振動の挙動と比較を行った結果、計算値と観測値が良く一致することが確認されたことから、提案したバネダッシュポットモデルの適用性が高いとしている。

第5章は結論であり、本研究で得られた知見を各章ごとに総括した。

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

A Study on Vibration Characteristics of Rigid Body on Sand Ground

(砂地盤上にある剛体の振動特性に関する研究)

基礎と地盤の動的相互作用の問題は、設計精度に関する近年の高度な要求や構造物の大型化によって、いくつかの簡略化を図って行われてきた今までの解析法の見直しを求めている。特に、基礎と地盤間の相互作用力は上載荷重の大きさによって変化するため、地震や風、波浪、機械振動などの動的作用による基礎構造物の振動応答と地盤特性との対応関係を事前に予測することが難しいことから、基礎構造物の広範囲なひずみレベルにおける振動特性を考慮した地盤と基礎の相互作用モデルを確立することが望まれている。

一般に地盤に載荷された動的荷重が基礎構造物へ伝える振動は、基本的にはその荷重強度や慣性力に依存するものであるが、地盤や基礎構造物の振動特性およびそれらの相互作用が被害の程度を決定する重要な影響因子になっている。このような動的載荷時における地盤と基礎構造物の相互作用は、有限要素法などの数値解析手法によってある程度の評価がなされてきている。しかし、基礎構造物と地盤の境界面における力学挙動のモデル化の仕方が解析結果を左右する決定的な要素となるため、その評価法が明確でない現状では、これらの手法を合理的なものとは見なすことはできない。このことを解消するためには、地盤材料が示す力学的性質の非線形性（動的変形定数のひずみ依存性）や拘束圧依存性を適切に評価した解析手法を確立する必要がある。

このような背景から本論文では、まず地盤上の構造物の振動特性とその評価法を明らかにし、次いで種々のタイプの振動解析に有用な地盤－構造物境界面の力学モデルを提案することを目的として研究を進めた。本研究では、第一の目的に対して砂地盤上に置かれた種々の剛体基礎の構造特性と振動特性の関係を振動台試験装置による模型実験によって調べた。振動モード解析に基づいて一連の計測結果を考察し、固有振動数や減衰特性、バネ定数等を定量的に評価している。さらに、それらに及ぼす振動振幅や底面圧力、底盤寸法の影響を明らかにするとともに、基礎構造物の振動特性を把握するために必要となる砂地盤材料の動的変形特性を調べた。ここでは、一連の繰返し三軸試験を行い、模型地盤に用いた砂のせん断弾

性係数と減衰比のひずみレベル依存性及び密度と拘束圧の影響を明らかにするとともに、その定量化法を提示している。これらの結果は、第二の研究目的である種々の構造特性を有する基礎構造物の振動特性のモデル化に適用されている。

研究の成果を本論文の章毎に要約すると、以下のようになる。

第1章では、関連する既往の研究をレビューするとともに、本研究の位置付けを行い、その目的を明確にしている。

第2章では、模型振動実験に用いた地盤材料に対して非排水条件での繰返し三軸試験を実施し、その動的特性、特に等価せん断弾性係数と履歴減衰比に検討を加えている。ここでは、両者のせん断ひずみ、地盤密度および拘束圧依存性を定量的に把握するとともに、等価せん断弾性係数比と履歴減衰比との対応関係を明示している。

第3章では、種々の形状と寸法を有する底盤に錘の枚数とレベルを変化させてその接触圧と慣性モーメントを調節した模型基礎について行った自由振動試験および強制振動試験の結果を論じている。ここでは、それぞれの基本的な動力学挙動を示すと同時に、加振方法の相違による振動特性の変化をその角振幅特性並びに地盤密度の違いに着目することにより考察を進めている。その結果、①角振幅の増加に伴う周期と減衰比の増大の機構、②周期が基礎構造物の質量と慣性モーメント並びに底面圧力に強く依存する理由、および③周期および減衰比に関する地盤密度の貢献度について重要な知見を提供している。

第4章では、要素試験と模型振動試験から得た地盤材料の動的変形特性と剛体模型の振動特性を考慮した上で、二方向のバネ-ダッシュポットモデルによる砂地盤上に置かれた剛体の振動挙動に関する物理的解釈を試みている。具体的には振動モード解析を行い、模型振動試験で観測された剛体の力学挙動と一致する1次モードの挙動について検討を行った。その結果、バネ定数と減衰比の角振幅依存性、底面圧力依存性並びに底盤寸法依存性が合理的に説明されている。またこのモデルより得られた動力学特性より推定される強制振動挙動は、実測の挙動と良く一致することを示すと同時に、提案したモデルの予測能力を論じている。

第5章は結論であり、本論文の成果を総括するとともに、今後の研究課題を述べている。

これを要するに、著者は、砂地盤上にある構造物の振動特性と地盤材料の動的特性との相互関係を明らかにした上で、実用的な構造物の振動挙動モデルの構築を行うとともに、地盤の密度や上載圧力の違いによる構造物の非線形振動特性の変化機構について有益な新知見を得ており、地盤工学並びに地盤動力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。