



# 感度解析を用いた振動系の同定法に関する研究

鞍谷, 文保

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1991-03-18

(Date of Publication)

2008-04-02

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1521

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3085888>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001521>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



|         |                        |       |
|---------|------------------------|-------|
| 氏名・（本籍） | くら たに ふみ やす<br>鞍 谷 文 保 | （兵庫県） |
| 学位の種類   | 工学博士                   |       |
| 学位記番号   | 工博ろ第49号                |       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第2項該当           |       |
| 学位授与の日付 | 平成3年3月18日              |       |
| 学位論文題目  | 感度解析を用いた振動系の同定法に関する研究  |       |

|      |       |         |            |
|------|-------|---------|------------|
| 審査委員 | 主査 教授 | 岩 壺 卓 三 |            |
|      | 教授    | 肥 爪 彰 夫 | 教授 森 脇 俊 道 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

近年、機械・装置に対する高速化、軽量化の要求は厳しくなっている。しかし、高速化、軽量化はいずれも振動や騒音の増大につながり、機械・装置の信頼性、性能向上あるいは公害防止などの観点から、ますます動的な特性を考慮した設計が必要となっている。そこで、設計の効率化を図るために動的応答解析法、構造変更シミュレーション手法が開発され、設計における有効な道具となっている。ところで、解析精度、シミュレーションの信頼性は、解析のモデル化の程度に依存する。そこで、機械構造物の動特性を的確に表現する物理モデルの構築、すなわち系を同定する技術の確立が大きな課題となっている。

本研究では、系に感度解析を用いて、実験データから物理モデルの多数のパラメータを同定する方法について検討した。特に、感度解析を用いた同定法の実用化で問題となる反復計算の収束性を向上させる方法、およびこれまで検討がなされていなかった防振支持設計において重要となる機械の慣性主軸、重心位置などの剛体的特性を同定する方法を明らかにした。

まず、第2章では、本研究で取り上げる同定法に関する基礎的研究を行った。すなわち、振動系の基本と考えられるばねと集中質量だけからなる非減衰振動系を取り上げ、既知とした固有振動数、固有モードと同じ振動特性を有する質量、ばね定数の値を同定する方法を明らかにした。また、多数のモデルパラメータを同時に同定するために、目標とする固有振動数、固有モードの設定条件と同定対象とするモデルパラメータの選定条件について検討した。その結果、精度よい同定を行うためには、次のことを考慮すべきことが明らかになった。(1)同定しようとするモデルパラメータの数は系の振動特性を支配する因子の数  $n(n+1)/2$  ( $n$  は系の自由度を表す) より少なくしなければならな

い。(2)同定しようとするモデルパラメータの数が $n(n+)/2$ 個の場合には、目標値の中にすべてのモード次数の固定振動数およびそれぞれの質量に関する固有モードの成分を少なくとも一つは含まなければならない。(3)振動実験データから設計変数である質量、ばね定数の値を推定しようとする場合には、実験で得られた情報を目標値になるべく多く採用して同定したほうがよい。

第3章では、反復計算の収束性を向上させる同定法を提案した。同定法の数学的手法は第2章と同様であるが、振動工学の立場から収束性を向上させる方法について検討したものである。その中で、第2章の同定法では、同定の評価に固有モードの個々の成分を用いることが、収束性を悪くする要因の1つであることを示した。また、収束性を向上させるためには、目標とする固有モードベクトルと力学モデルの固有値解析で得られる固有モードベクトルの相違を、各モード次数ごとに両固有モードベクトルを同じ座標系で表したときのベクトルの方向の違いで評価することが有効であることを示した。そして、ベクトルの方向の違い、すなわち両ベクトルのなす角により一義的に定まる量を評価関数に用いて同定する方法を提案した。また、数値実験を行い、提案した同定法を用いれば、第2章の同定法に比べて収束速度、収束安定性が大幅に向上することを確認した。

第4章では、同定法を機械の防振支持設計に適用することを想定した。そして、剛体の慣性モーメント、重心位置などの剛体的特性を実験データから同定する方法を提示した。その中で、剛体の重心位置を同定するために、重心位置の座標を空間に固定した座標系からの偏差のパラメータを用いて表し、重心位置を定めるパラメータを陽な形で表した運動方程式を提示した。また、実験では回転角変位を直接測定することが困難であるため、通常の変位センサを用いて得られる並進変位データを同定計算に用いるための方法を明らかにした。そして、数値実験を行い、同定法の妥当性を検証した。また、実測データによる同定において、目標とする固有振動数、固有モードと同定されたモデルパラメータの関係を考察した。その結果、精度よい同定を行うためには、目標値として一次モードから六次モードまでのすべての固有振動数、固有モードを採用するか、少なくとも一次モードから六次モードまでの固有振動数は採用すべきである。採用しない場合には、同定されたモデルパラメータに誤差の大きなものが生じる可能性が高いことが明らかになった。さらに、本章で扱ったモデルにおいても、第3章で提案した同定法を用いれば、第2章の同定法に比べて収束性が大幅に向上し、収束性が同定しようとするモデルパラメータの初期値の影響を受けにくいことを確認した。

第5章では、第4章では同定できなかった剛体の慣性主軸方法および主慣性モーメントの値を実験データから同定する方法を提示した。その中で、剛体の慣性主軸方向を同定するために、空間に固定した座標系の各座標軸方向と慣性主軸方向との角度のずれを表すパラメータを用いて慣性主軸方向を表し、慣性主軸方向を定めるパラメータを陽な形で表した運動方程式を提示した。なお、角度のずれを表すパラメータとしてオイラー角を用いた。そして、実測データによる同定を行い、同定法の妥当性を検証した。また、本章で対象とした慣性主軸方向、主慣性モーメントの値を同定する場合の初期値の設定について検討した結果、次のことが明らかになった。(1)慣性主軸方向を表すオイラー角の初期値が精度よく設定できても、初期値として設定した3個の主慣性モーメントの大きさの順序が実構造物の主慣性モーメントの大きさの順序と異なっている場合には、収束性が悪くなる場合がある。(2)

収束性を向上させるためには、あらかじめ実構造物を解析し、慣性主軸方向とそれに対応する主慣性モーメントの相対的な大きさの順序を求め、初期値に反映させる必要がある。

また、同定法を防振支持設計の特性改善に適用し、設計の効率化に有効であることを確認した。

第6章では、防振ゴムなどの減衰特性を同定するために、減衰振動系を取り上げ、その同定法を提示した。そして、防振ゴムで支持された剛体系モデルに対して、実験データから防振ゴムの減衰係数、ばね定数が同定できることを確認した。また、同定の目標とする減衰固有振動数、モード減衰比、複素固有コードの組み合わせを変えた同定計算結果をもとに、減衰係数などのパラメータが同定可能となる目標値の設定条件について検討した。その結果、少なくともすべてのモード次数の減衰固有振動数、モード減衰比を目標値の中に含まなければならないことが明らかになった。

第7章では、第4章から第6章までの剛体が弾性支持されたモデルに対する同定法を拡張し、剛体に柔軟構造物が付属した構造物において、柔軟構造物を剛体とみなした系全体の慣性モーメント、重心位置などの値を柔軟構造物が振動する状況で計測したデータから効率よく同定する方法を提示した。すなわち、柔軟構造物の弾性変形を考慮し、弾性変形を柔軟構造物単体の振動解析で得られたモード座標を用いて表すことにより低次元化した後、系全体の運動方程式を導出する。そして、同定においてもモード座標の感度を用いることにより、低次元のモデルで効率よく同定できるものである。また、数値実験および実測データによる同定を行い、同定法の妥当性を検証した。さらに、同定計算の収束性について、数値実験をもとに検討した結果、次のことが明らかになった。(1)第2章の同定法では、柔軟構造物上の測定点が少ない場合には、柔軟構造物を含んだ系全体の固有振動数が柔軟構造物単体の高次モードに近くなると収束性が悪くなる。しかし、系全体の固有振動数を柔軟構造物単体の低次モードの近くに設定できない場合も、柔軟構造物上の測定点数を多くすることあるいは測定位置を考慮することにより、収束性を向上させることができる。(2)第3章で提案した同定法を用いれば、第2章の同定法で収束性が悪くなったデータからも少ない反復計算回数で同定できる。

以上述べたように、本研究では、ばね・質量系モデル・弾性体で支持された剛体系モデル、剛体に柔軟構造物が付属した構造物が弾性支持されたモデルを取り上げ、多数のモデルパラメータを同定するための具体的方法を示した。そして、精度よい同定を行うために考慮すべき点を明らかにした。また、実用上問題となる反復計算の収束性を向上させる同定法を提案し、本研究で取り上げたモデルについてはこの同定法が非常に有効であることを確認した。

## 論文審査の結果の要旨

コンピュータを活用した動的応答解析や構造変更シミュレーションの信頼性を向上させるために、機械構造物の動特性を的確に表現する物理モデルの構築、すなわち系を同定する技術の確立が望まれている。本研究は、系に感度解析を用いて、実験データから物理モデルの多数のパラメータを同定する方法について検討したものである。特に、感度解析を用いた同定法の実用化で問題となる反復計算の収束性を向上させる方法および防振支持設計に重要となる機械の慣性主軸、重心位置などの剛体的

特性を同定する方法を明らかにしている。

まず、第2章では、本研究で取り上げた同定法に関する基礎的研究を行っている。そして同定可能となるモデルパラメータの数とその場合の目標とする固有振動数、固有モードの設定条件を明らかにしている。

第3章では、反復計算の収束性を向上させる同定法を提案している。すなわち、目標とする固有モードベクトルと力学モデルの固有モードベクトルの相違を、各モード次数ごとに両固有モードベクトルを同じ座標系で表したときのベクトルの方向の違いで評価する。そして、ベクトルの方向の違い、すなわち両ベクトルのなす角により一義的に定まる量を評価関数に用いて同定する方法を提案している。また、提案した同定法が収束性の向上に与える効果を理論的に明らかにしている。さらに、数値実験を行い、提案した同定法の有効性を検証している。

第4章では、機械の慣性モーメント、重心位置を実験データから同定する方法を提示している。その中で、重心位置を同定するために、重心位置の座標を空間に固定した座標系からの偏差のパラメータを用いて表し、重心位置を定めるパラメータを陽な形で表した運動方程式を提示している。また、実験では回転角変位を直接測定することが困難であるため、通常の変位センサで得られる並進変位データを同定計算に用いるための方法を明らかにしている。そして、実測データによる同定を行い、同定法の妥当性を検証している。また剛体的特性を精度よく同定するための目標とする固有振動数、固有モードの設定条件を明らかにしている。さらに、本章で扱うモデルに対しても、第3章の同定法が有効であることを示している。

第5章では、剛体の慣性主軸方向および主慣性モーメントの値を実験データから同定する方法を提示している。その中で、剛体の慣性主軸方向を同定するために、空間に固定した座標系の各座標軸方向と慣性主軸方向との角度のずれを表すパラメータを用いて慣性主軸方向を表し、慣性主軸方向を定めるパラメータを陽な形で表した運動方程式を提示している。そして、実測データによる同定を行い、同定法の妥当性を検証している。また、同定法を防振支持設計の特性改善に適用することを試み、設計の効率化に有効であることを示している。

第6章では、減衰振動系を取り上げ、その同定法を提示している。そして、防振ゴムで支持された剛体系モデルに対して、実験データから防振ゴムの減衰係数、ばね定数が同定できることを検証している。また、減衰係数などのパラメータが同定可能となるときに目標とする減衰固有振動数、モード減衰比、複素固有モードの設定条件を明らかにしている。

第7章では、第4章から第6章までの同定法を拡張し、剛体に柔軟構造物が付属した構造物の系全体の慣性モーメント、重心位置を実験データから効率よく同定する方法を提示している。そして、実測データによる同定を行い、同定法の妥当性を検証している。さらに、本章で扱うモデルに対しても第3章の同定法が有効であることを示している。

以上の研究は、感度解析を用いた振動系の同定法の実用化に際し、その収束性を向上させる方法および機械の剛体的特性を同定する方法を確立したもので、工学上寄与するところ大である。

よって、学位申請者 鞍谷文保は工学博士の学位を得る資格があると認める。