

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 長江 信頭 印

題 目 回転機械の軸振動解析モデルの高精度化

学位論文の概要及び要旨

ロータの振動形態は、曲げ振動（横振動）、回転軸方向の振動（縦振動）、ねじり振動、及びそれらが連成した振動に分類される。対象とする振動形態に的を絞った1次元梁モデルの解析環境では、解析モデルによって扱うことができる振動形態に制約が多いが、計算負荷が小さい。一方、3次元モデルの解析環境では、扱うことができる振動形態の制約が少ないが、現在でも計算負荷が小さいとは言えない。回転機械の設計に必須の、危険速度マップやロータ形状の最適化などの複素固有値解析を繰り返し行う必要のある計算では、計算負荷が時間コストに直結する。そこで、振動問題を起こし難い回転機械の開発、設計を効率的に行うためには、計算負荷が小さく高精度な軸振動（曲げ振動とねじり振動）解析手法を開発することが課題である。

また、製作誤差、材料特性の誤差、モデル化誤差などによって、解析モデルによる軸振動の予測精度が低下する場合があるため、回転機械の開発段階では、実機のロータについて実験モード解析を行って振動特性として固有振動数、固有モード、モード減衰比を高精度に推定し、解析モデルの精度を確認する作業が行われている。しかし、実験モード解析は解析結果と比較のみに使用される場合が多く、ロータの振動解析モデルの高精度化に十分に活用されているとは言えない。そこで、実験モード解析結果に基づいてロータの振動解析モデルを高精度化する方法を開発することが、もう一つの課題である。

本研究では、これらの課題を解決するために、1次元梁の有限要素法が適用されたロータの軸振動解析モデルにおいて、曲げ振動解析モデルの高精度化に寄与する、軸直径変化部の弾性変形を考慮したモデル化方法、嵌め合い部のモデル化方法、及び振動試験結果に基づいて振動解析モデルを高精度化する方法を確立することと、ねじり振動解析モデルの高精度化に寄与する、軸直径変化部の弾性変形を考慮したモデル化方法を確立することを目的としている。

曲げ振動解析モデルの高精度化では、軸直径変化部の小径軸側に設けた適切な長さの要素の曲げ剛性を適切に弱めることによって、軸直径変化部断面の弾性変形による曲げ剛性低下を表現する方法を開発し、3次元解析モデルと実験によって高精度化の効果を確認した。また、嵌め合い部の等価な曲げ剛性を与える軸の外径が、嵌め合わせるスリーブの外径とほぼ一致することを、嵌め合い部の摩擦を考慮した非線形静解析接触と実験によって示した。さらに、振動試験結果に基づいて振動解析モデ

ルを高精度化する方法として、質量、重心位置、慣性モーメント、固有振動数、及び固有モードに関する情報から、誤差を含んだ全ての材料特性値を同時に高精度化して、振動方程式における全ての特性行列（質量行列、減衰行列、剛性行列、及びジャイロ行列）を同定する方法を開発し、入力データに誤差が無い場合には、誤差が無視できるほど高精度に特性行列を同定できることを確認した。

ねじり振動解析モデルの高精度化では、軸直径変化部の小径軸側に設けた適切な長さの要素のねじり剛性を適切に弱めることによって、軸直径変化部断面の弾性変形によるねじり剛性低下を表現する方法を開発し、3次元解析モデルによって高精度化の効果を確認した。

曲げ振動解析モデルとねじり振動解析モデルのそれぞれにおいて、軸直径変化部断面の弾性変形を考慮する方法は、広く普及している1次元梁の軸振動解析環境に、計算負荷を犠牲にすることなく容易に適用でき、回転機械の設計や振動問題の対策検討で重要な固有振動数の予測精度を高めることができる。また、具体的な例として取り上げた、実機相当のタービン発電機ロータの振動解析モデルでは、軸直径変化部断面の弾性変形を考慮することによって、低次の曲げモードの固有振動数が最大で約5%低下し、低次のねじりモードの固有振動数最大で約2%低下することが確認された。

軸直径変化部断面の弾性変形を考慮する方法と嵌め合い部の曲げ剛性をスリーブ外径とする方法を、1次元梁の軸振動解析環境に適用することによって、課題として提示した、計算負荷が小さく高精度な曲げ振動解析とねじり振動解析を実現できる。また、質量、重心位置、慣性モーメント、固有振動数、及び固有モードに関する情報から振動方程式における全ての特性行列を同定する方法は、もう一つの課題として提示した、実験モード解析結果に基づいたロータの振動解析モデルの高精度化を実現するための基礎理論として活用できる。