

大規模非線形系に対する高性能振動解析手法の開発

住川, 大樹

<https://hdl.handle.net/2324/4784612>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 住川 大樹

論 文 名 : 大規模非線形系に対する高性能振動解析手法の開発

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年では、コンピュータの発達とともに CAE ソフトウェアが充実してきたこともあり、モード解析や部分構造合成法などを用いることで精密な大規模自由度の有限要素モデルに対する詳細な振動解析が可能となってきた。しかしながら、その適用範囲は線形系に対するものがほとんどであり、非線形性を考慮した振動解析による十分な事前検討が行われているとは言い難い。従来の設計開発における振動解析では比較的大きな安全率を設定することで、非線形性の影響を無視するという対策を取ってきた。ところが、最近では機械に対して省資源化・省エネルギー化・高効率化・高性能化などが求められるようになってきており、振動問題に対する要請の厳しさが増大する一方で、機械の剛性の低下による非線形振動発生の可能性が増大することが予想される。したがって、系内に含まれるガタや摩擦などの強い非線形性を考慮し、機械システムを精密な大規模自由度系としてモデル化した上で、高精度な非線形振動解析を実施する必要がある。しかしながら、大規模非線形系に対して設計に供することのできる結果を得られるような実用的で高性能な振動解析技術は、その解析の困難さから存在していないといっても過言ではない。このような背景から、本研究では大規模非線形系に対する高性能な振動解析手法の開発を目的としている。

本論文では、局所的に強い非線形性を有する大規模自由度系を対象として新型複素モード解析を基盤とした合理的な低次元化法の提案を行い、その有効性を数値計算に基づいて検証した。さらに、低次元化の際に用いるモード座標の選択が解析精度に及ぼす影響について調査し、合理的かつ効率的なモードの設定方法について検討した。

本論文は以下の 6 つの章から構成される。

第 1 章では、多自由度非線形系の定常周期振動および安定判別の解析方法に関して従来の研究についてまとめ、本研究の目的を示した。

第 2 章では、多自由度線形系を対象として非対称行列系および非比例減衰系に対しても有効な新型複素モード解析の概要を説明した。自由振動および強制振動について従来の複素モード解析を拡張する形で新型複素モード解析の座標変換則を導出し、モード方程式を 2 階の実微分方程式として導出する方法を示した。

第 3 章では、局所的に強い非線形性を有する大規模自由度系を対象とした低次元化法を提案した。この手法では、最初に非線形性に関与しない変数を第 2 章で説明した新型複素モード解析によってモード座標に変換する。モード座標は解析周波数より遥かに高い固有振動数をもつ高次モードとそれ以外の低次モードに整理し、さらに解析精度に及ぼす影響の大小によって低次モードを支配的モードと副次的モードに整理する。高次モードと副次的モードについては影響を補正項として近似的に残しつつ消去することで、高精度な低次元モデルが構成される。このとき、高次モード座標については固有ペア（固有振動数および固有モード）を求めることなく補正項を作成するため、実際に

すべての固有ペアを求めることが困難な大規模自由度系にも問題なく適用できる。

第4章では、第3章で提案した低次元化法と従来の実モード解析を用いた低次元化法との間で数値計算結果の比較を行い、提案手法の有効性について検証した。解析例として非線形要素で支持された非比例減衰を有する梁構造物の面内曲げ振動を取り扱い、安定判別まで含めた定常周期振動の周波数応答解析および非周期的振動の長時間にわたる時刻歴応答解析を行った。その結果、提案手法では少数のモード座標で構成した低次元モデルがフルモデルの特性を高精度に保持していること、実モード解析を用いた場合ではモード座標を増加させても高精度な解が得られないことが明らかとなり、新型複素モード解析を用いた低次元化法の優位性が示された。

第5章では、低次モード数の設定方法および支配的モード座標の選択方法について検討を行った。支配的モード座標の選択が解析精度に及ぼす影響を調査した結果、解析精度は低次元モデルの固有振動数の精度に強く依存すること、モード座標の影響は次数の小さな順に大きいわけではなく外力の振動数に依存して変化することが判明した。この知見を基に、高調波共振の解析に必要な低次モード数の設定方法およびモード振幅を利用した支配的モード座標の選択方法を提案し、それらを組み合わせた周波数応答の解析手順を述べた。この手順により、低次モード数を逐次更新しつつ、支配的モードとして選択されるモード座標およびその本数を外力の振動数ごとに変動させながら効率的に周波数応答解析を行うことが可能となる。さらに、提案した手法および手順を実際に解析モデルの周波数応答解析に適用して有効性を示した。

第6章では、第5章までの内容を踏まえ、本論文を総括した。