

# 自動車構造を対象とした効率的振動分析技術に関する研究

中島, 樹

<https://hdl.handle.net/2324/6787605>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 中 島 樹

論 文 名 : 自動車構造を対象とした効率的振動分析技術に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

自動車構造の NVH (振動, 騒音, ハーシュネス) は車体の安全性を脅かすだけでなく車内音を誘発し, 乗員の乗り心地にも大きく影響するため開発段階で考慮されるべきものである. 近年では, エンジンの静粛化に伴う構成要素単体の振動騒音の顕在化や, 電動化等に伴う構成要素の急速な変化に対応できる効率的な振動騒音分析技術が求められている. 自動車をはじめ機械製品の振動騒音問題の予測や予防, 対処には有限要素法やモード解析などの数値解析が広く用いられ, 現在では大規模自由度を有する緻密なモデルを用いた高精度なシミュレーションが可能となった. 一方でローカルな振動現象も再現され, 検討すべきモード数が膨大となり, 各固有モードでどの構成要素が振動しているかを把握するのに解析者が一つ一つ精査するのは多大な労力と時間を要する. このような問題に対し, 特徴あるモードのグループ化や取捨選択によって検討対象となるモード数を合理的に減らして振動対策の効率化を図る研究がなされているものの, 解析対象や条件等を解析者が逐一判断する必要があるなど, 所望の結果を得るには解析者の知識や経験が求められる.

一般に自動車ボディをはじめ機械構造物の多くは主たる骨格を形成する主系と, 主系を補助する従系の二つの構成要素からなる. こうした構造物には構造全体にわたる主系単体の振動あるいは主系-従系の連成振動と, 従系のみ局所的な振動が発生する. 前者の構造全体の振動は車体の強度や安全性に大きく影響するため設計初期段階での対策を要する一方で, 従系の局所的な振動は部分的な変更で対応可能なため設計後期段階でも対処できる. また, 主系と従系の連成により主系が関与する共振点が増加し, 大きな振動が発生する周波数範囲が拡大する. こうした連成振動では安易な補強を行うとかえって振動が増大するケースがあり, 対策には特に注意を要する. このように, 振動形状によって対策の優先度やアプローチが異なるため, 振動対策では多くの固有モードの中から主系振動および従系振動を特定し, 連成度合を定量的に知ることが重要である.

そこで, 本研究では解析者が各固有モードの振動形状や各構成要素を個々に精査することなく, できるだけ解析者の練度に依らず簡便にこれらの情報を一定の精度で求め, 評価できる振動分析技術の開発を目指した. 本論文ではこうした振動形状に着目した振動分析が対策効率化に有効であることを示した上で, 三次元有限要素モデルの固有モードを対象に, 三次元離散ウェーブレット変換と直交変換によって構成要素単体のモードを自動的に抽出する構成要素モード分解を提案した. さらに, 構成要素モード分解の結果から, 各固有モードに各構成要素の振動がどの程度含まれるのかを簡便に評価できることを示した. これにより, 解析者の知見を必要としない, 機械的な手順によるシームレスな振動分析が可能となる.

本論文は 6 章から構成される. 以下, 各章の内容について簡単に述べる.

第 1 章では, 有限要素法やモード解析を用いたシミュレーション技術に関する研究や, 自動車を対象とした振動分析手法の変遷について紹介し, それらの課題について説明した. その後, 本研究

の目的と位置づけを述べ、提案手法に用いる信号処理技術や計算手法について概説した。

第2章では、本論文で用いる解析モデルについて説明した。本モデルはリジッドなフレーム構造とフレキシブルなパネルで構成される。こうした構造物の固有モードにはフレーム構造に起因する構造全体振動と、パネルの局部振動が混在する。本章では両振動に対する振動対策の例を示し、特に両振動が連成するモードでは振動低減に効果的な対策が限定的で注意を要することを示した。

第3章では、振動形状に着目し、モデルの固有モードから構造全体振動と局部振動を高精度に分離できる局部振動分離手法について説明した。また、この結果を用いて分離した構造全体振動の形状相関に基づく固有モードの分類を行った。

第4章では、離散信号を空間領域と周波数領域に展開する離散ウェーブレット変換について説明し、離散ウェーブレット変換を用いた振動分離手法の説明を行った。本手法では三次元有限要素モデルの固有モードをボリュームデータに変換することで三次元離散信号として扱い、三次元離散ウェーブレット変換を適用した。これにより、各固有モードから構造全体振動を空間周波数の低い成分、局部振動を空間周波数の高い成分としてモデルの物性を考慮する必要なく自動的に分離できることを示した。

第5章では、三次元離散ウェーブレット変換によって分離した構造全体振動と局部振動に対し、形状相関に基づいて直交変換を繰り返し適用することで構成要素単体のモードを分離、抽出する方法を説明した。また、局部振動からパネル単体のモードを分離する際に、局部振動が生じる領域を自動的に特定する方法もあわせて説明した。さらに、振動分離に用いた直交変換の履歴に着目することで、各固有モードに各構成要素の振動がどの程度含まれるのかを簡便に評価できることを述べた。以上から、モデル全系の固有モードから構成要素単体のモードを分離した上で、各固有モードにおける各構成要素モード同士の連成度合いまで自動的にかつシームレスに分析できることを示した。

第6章では、本論文をまとめ、今後の課題を示した。