

# 制振材料設計のためのゴム/金属系の周波数解析

塚脇 聡

## Frequency Analysis of Gum/metal System for Anti-vibration Material Design

TSUKAWAKI Satoshi

制振材料を設計するためにゴム/金属系の周波数解析の実測データと有限要素法の計算の比較を行った。実測データは床面の上にゴム材料を置き、その上におもりを載せた試験器の振動をインパクトハンマーと加速度センサーを用いて周波数応答関数を測定した。この試験器をモデル化し、オープンソースソフトウェアの Salome-Meca を用いて有限要素解析を行った。固有値計算と周波数解析により実測値とどの程度一致するかの検証を行った。固有振動の可視化を行い、加速度センサーに入力する固有振動を決定した。周波数解析では周波数応答関数で固有振動の 20Hz 付近に実測値と周波数解析の両方で一致する位置にピークが現れた。

キーワード：ゴム，制振材料，固有振動，周波数解析，Salome-Meca

### 1. 緒 言

機械や構造物にとって振動を低減することは、安全、性能、信頼性、快適性、商品性、公害防止などの面で重要な問題である。可動部が付属している機械はすべてにおいて何らかの制振性能を求められている。モノづくりを行う上で制振は重要な技術であるが、多くの中小企業では実物でのトライアル&エラーで対応している。制振材料には大きさ、種類、配置など様々なパラメータがあり、実際に設置して行うには多くの労力、費用、ノウハウが必要となる。

20 世紀初頭より学術的に物体の振動を表現する場合、固有振動の理論解を使ってきた。1970 年代よりコンピュータシミュレーションで有限要素法を用いて固有振動の計算が可能となり、複雑な形状でも固有振動を容易に求めることができるようになった。また、振動伝播の解析法である、周波数解析も行えるようになった<sup>1)</sup>。

有限要素法を用いた周波数解析用ソフトウェアは多くのメーカーから販売されているが、サポートが充実していることもあり高価で中小企業が簡単に導入できる状況にはない。

近年、オープンソースの有限要素法のソフトウェアが公表されている。このようなソフトウェアはサポートがなく独学で習得が必要であり、広報される情報も少ないため、ある程度有限要素計算を経験している人の間でしか広まっていない。我々はオープンソースの有限要素法ソフトウェアの有効性の検証を行うことで、中小企業の制振技術の向上を図るための契機にしたいと考えている。

本研究ではフランス電力会社(EDF)が作成した有限要素法計算ソフト Salome-Meca を利用して周波数解析を行い、実測データと比較した事例について報告する。本ソフト

ウェアはフランス製でありマニュアル、コマンド、エラーメッセージなどがすべてフランス語であるが、例題が豊富に用意されており、技術習得には優良な環境にある。また、日本語の導入用解説書<sup>2),3)</sup>があり、一括してインストールするためのソフトウェアも付属していることから最初から躓くことが少ない。Linux 上で作動しソフトウェアがすべて無償である点も優れている。

### 2. 試験方法

#### 2.1 制振ゴムの物性値測定

有限要素計算を行う上で必要最小限のパラメータは弾性率と比重である。制振ゴムの圧縮弾性率は動的粘弾性装置 レオバイブロン DDV-25FP(榊オリエント社製)を用いて測定した。制振ゴムの弾性率は荷重や温度で大きく変化するため、精密な測定が必要である。今回は実測条件である 20°C の環境で 1.25MPa の荷重がかかっている状態での弾性率の測定を行った。今回利用した制振ゴムの圧縮弾性率は 4.06MPa であった。制振ゴムの比重はアルキメデス法で測定し 1.31 であった。

#### 2.2 試験器の構成と振動測定方法

床面の上に写真 1 のように制振ゴスを 120° で 3 方向に置き、その上に 150kg の金属のおもりを載せたものを試験器とした。試験器の外観は写真 2 のようになる。写真 3 に試験器上面よりの形状を示す。加速度センサー (Type4393 B&K 社製)は上面中央に設置し上下方向を測定した。加振はインパクトハンマー(B&K 社製)を用いて、半径の中央の位置で行った。加速度センサーとチャージアンプ (Type2635 B&K 社製)を接続した。得られた信号を周波数分析器(PULSE 15.1 B&K 社製)を用いて FFT 分析を行った。周波数分析器は減衰時間 2 秒間、150Hz 以下、分解能 0.5Hz、15 回平均で測定した。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 固有振動

有限要素法の固有振動計算により 150Hz 以下での固有振動は 5.43, 5.51, 8.93, 20.70, 20.77, 20.80Hz となった。図 1-4 に固有振動の変位モデルを示す。円筒上部の色濃い部分が大きく変位している部分、制振材料下部の色濃い部分が変位が少ない部分となる。図 1 に 5.43, 5.51Hz の固有振動の変位のモデルを示す。円柱先端が大きく変位をしていることから固有振動は先端が横揺れを行っているモードである。図 2 に 8.93Hz の固有振動の変位モデルを示す。円柱の周囲が大きく変位していることから回転方向の固有振動である。図 3 に 20.70, 20.80Hz の固有振動の変位モデルを示す。この固有振動は円柱根本が大きく変位していることから円柱根本の横揺れの固有振動を示している。図 4 に 20.77Hz の固有振動の変位モデルを示す。円柱全体が変位しており上下方向の固有振動を示している。

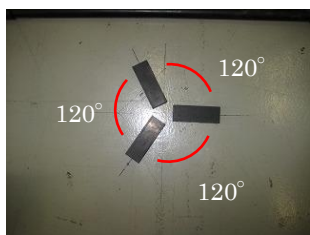


写真 1 制振ゴムの設置状況



写真 2 試験器の外観

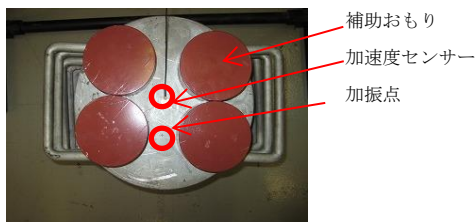


写真 3 試験器の上面

#### 2.3 有限要素計算

Salome-Meca を用いてモデリング、メッシング、有限要素計算を行った。モデリングではおもりは取手の部分や補助おもりなどの重量を円柱の高さを増すことで簡略化した。また、制振ゴムには荷重がかかって変形しているが考慮せず荷重 0 での形状とし、制振ゴム下面は固定し境界条件とした。制振ゴム上面とおもり下面は接着条件でズレはなく、同一要素点で共有した。メッシングは 4 面体で行った。周波数解析では、加振 10mm の円状に、周波数は 10Hz から 10Hz 刻みで 150Hz まで解析を行った。受信点である加速度センサーは中央の要素点の加速度の値とした。また、計算を確実に収束させるためのレイリー減衰は 10Hz 幅程度なら十分に活用できるが今回のように広い周波数範囲での計算に向かないことから減衰なしで計算を行った。

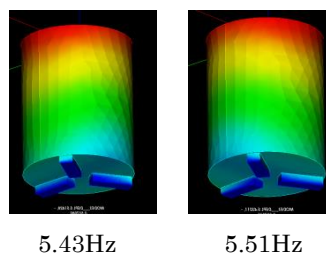


図 1 円柱先端の固有振動モデル

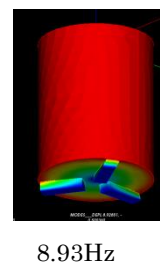


図 2 円柱回転の固有振動モデル

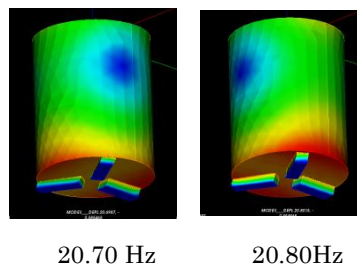
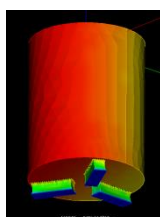


図 3 円柱下端の固有振動モデル

## 文 献

- 1) 制振工学ハンドブック編集委員会編：制振工学ハンドブック，コロナ社，2008，p. 7.
- 2) 柴田良一：オープン CAE「SALOME-MECA」ではじめる構造解析，工学社，2015.
- 3) 柴田良一：オープン CAE「SALOME-MECA」構造解析「固有値」「熱伝導」解析編，工学社.



20.77Hz

図 4 円柱上下振動の固有振動モデル

### 3.2 周波数解析

周波数応答関数とは出力波形を入力波形で割ったものである。実測値と計算によって得られた周波数応答関数の比較を図 5 に示す。図 4 の固有振動(20.77Hz)のみが加速度センサーで感知される上下方向であり，周波数解析応答関数では固有振動計算で示したように両者とも 20Hz 付近にピークが現れた。今回の計算では振動減衰を考慮していない。ピークの高さは周波数のステップを小さくすれば無限大になるため，ピーク位置が一致していることが重要である。

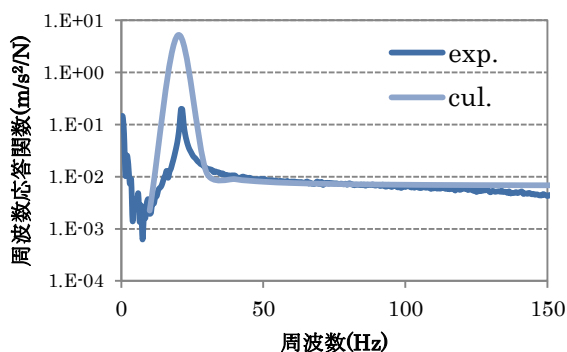


図 5 周波数解析の実験値と計算値の比較

## 4. 結 言

本研究では簡単なモデルと汎用的な計算手法を用いて周波数特性を算出し，実験値との整合性を確認した。今後はより複雑な系において，どの程度の整合性が保証されるのかを検証していく予定である。

## 謝 辞

本研究は早川ゴム株式会社との共同研究成果の一部です。早川ゴム株式会社で振動の実測データの取得を行いました。感謝いたします。