

モード解析によるシロッコファンの振動特性

大館 淳

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

保坂 学 岩原 光男 御法川 学 長松 昭男

法政大学工学部機械工学科

実験周波数応答関数から統計的に最も確からしいモード特性を同定できる非線形最適化法を使用し、モード特性を求める。ユーザによる使い易さを MATLAB によりプログラミングされた実験モード解析システムを使用する。本研究では、シロッコファンに適用し、同定されたモード特性と有限要素法による結果を比較・考察する。

1. 緒論

振動は私たちの身近な至る所で発生しており、私たちと深いかわりを持っている。喉と鼓膜と空気の振動を利用することによって会話が成立し、音は空気の振動によって伝わる。振動や音は人間に対して様々な影響を与える。人間が身近に使う機械やものは振動が小さいことや心地よく振動することが大きい商品価値になってきた。また、機械の不具合や故障の過半数は、振動が原因で発生すると言われている。現在数多くの製品が、エンジニアの経験と勘により設計され、試作と実験の繰り返しによって開発されている。今後さらに厳しくなる設計条件を満たし、振動問題を設計開発の段階で予知し、対策するためには従来の手法より精度を上げ、新たな手法を生み出すべきである。

近年、振動現象の予測と現象解析にモード解析が使用され始め、専用の解析機器も市販されている。モード解析は実験モード解析と理論モード解析とに分けられる。前者の実験モード解析は、振動試験によって周波数応答関数を実験的に求め、その中に含まれる系の動的な性質をモード特性の形で抽出する一連の方法である。著しいコンピューターの進歩によって設計段階におけるシミュレーション解析が身近になり、振動解析の基礎技術となっている。

実験モード解析手法として非線形最適化法が提案されている。非線形最適化法は周波数領域法である偏分反復法を正確に多点応答に拡張したものである。この手法を使い実験対象のモード特性を求める。本研究である実験モード解析の流れを図 1 に示す。また、図 2 に理論モード解析の流れを示す。

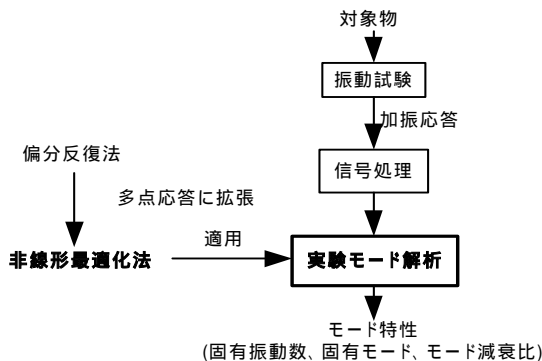


Fig.1 Experiment Modal Analysis of this study

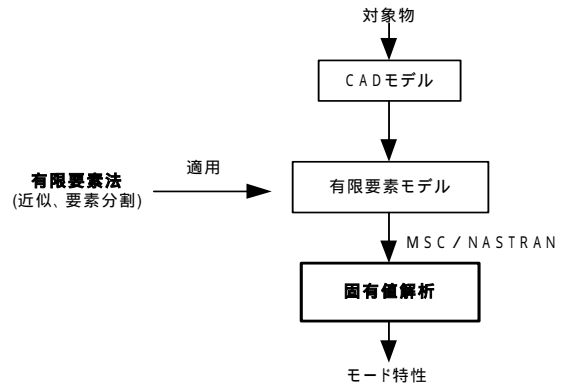


Fig.2 Theoretical Modal Analysis of this study

理論モード解析は対象物を有限要素法でモデル化し、計算によってモード特性を求める。これを実験結果と比較・検討するのが本研究の主題である。

実験対象はシロッコファンを用いた。また、非線形最適化法を使いやすくするために MATLAB 言語を使用して構築した実験モード解析システムを使用した。

2. 実験装置と実験方法

実験はインパルス・ハンマを用いた打撃試験で、実験対象はシロッコファンである。

シロッコファンを細い糸で吊るして自由支持状態を作り、一方支持台を作成しそこに固定したモーターにシロッコファンを取り付けて固定支持とし、実験を行った。固定支持の状態を図 3 に示す。本研究の実験は加速度ピックアップを 1 点に固定しインパルス・ハンマで 1 点ずつ移動して叩き、FFT アナライザを用いて自由支持は計 40 点、固定支持は計 24 点の応答得るという多点加振・単点応答という形で行った。打撃試験は 5 回平均で行い、3 軸の加速度ピックアップによって 3 方向の応答を測定した。



Fig.3 Condition of Fixed support

3. 実験モード解析

3.1 自由支持での実験モード解析

図 4 に実験対象であるシロッコファンの加振点と計測点を示す．糸で吊るしたシロッコファンをインパルス・ハンマによりそれぞれ面に向かって垂直に合計 40 点加振した．

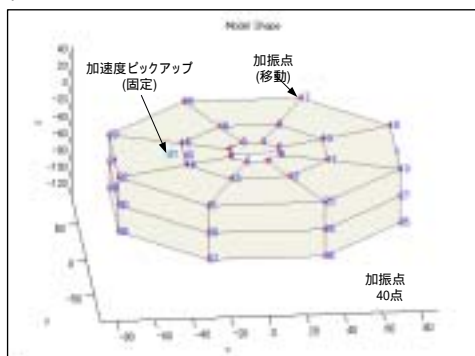


Fig.4 Measuring Point and Excitation Points

実験モード解析システムによりモードアニメーションを見ることができる．以下の図 5 から図 8 に同定により得られた第 1 次から第 4 次の固有モード形状を示す．同様に有限要素モデルから計算で得られた第 1 次から第 8 次の固有モード形状を図 9 から図 1 6 に示す．

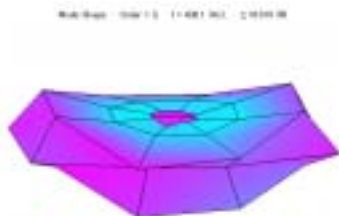


Fig. 5 Experiment Mode Shape No.1

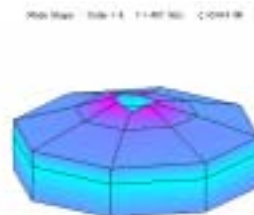


Fig.6 Experiment Mode Shape No.2

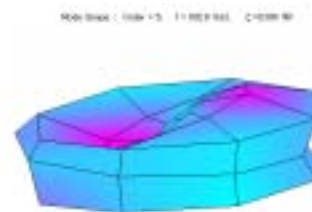


Fig.7 Experiment Mode Shape No.3

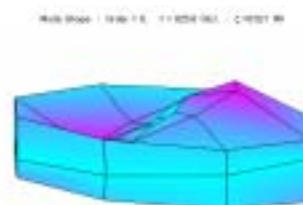


Fig.8 Experiment Mode Shape No.4

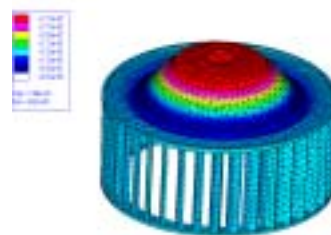


Fig.9 FEM Mode Shape No.1

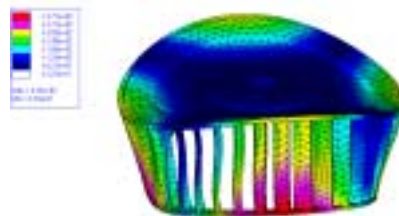


Fig.10 FEM Mode Shape No.2

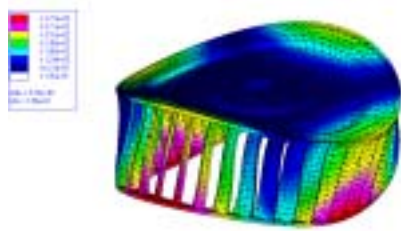


Fig.11 FEM Mode Shape No.3

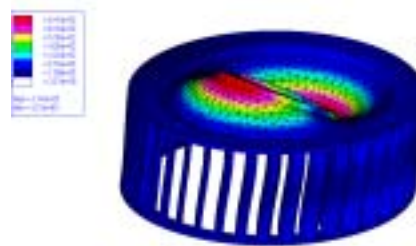


Fig.16 FEM Mode Shape No.8

また、表 1 に実験と計算の固有振動数を示す。

Table.1 Natural Frequency by Free Support

No.	固有振動数	
	実験値	計算値
1	400.1	-
2	457.0	579.8
3	-	662.2
4	-	662.8
5	602.8	797.3
6	-	800.8
7	-	1036
8	-	1037
9	825.8	1186

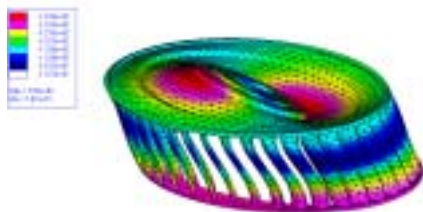


Fig.12 FEM Mode Shape No.4

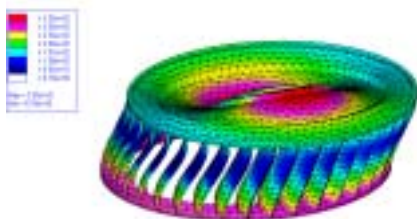


Fig.13 FEM Mode Shape No.5

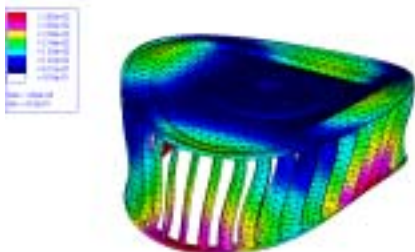


Fig.14 FEM Mode Shape No.6

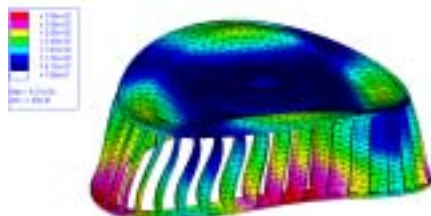


Fig.15 FEM Mode Shape No.7

今回は実験の値と計算の値では大きく差がある。これは計算で使った有限要素モデルに問題があると思われる。今回のシロッコファンはモデルを作るのが難しく、実際のものよりも頑丈なモデルとなってしまった。そのため大きく差が表れたのだと思われる。そのモデルの欠点は 4.1 で述べる。

3.2 固定支持での実験モード解析

図 17 に実験対象であるシロッコファンの加振点と計測点を示す。台に固定したシロッコファンをインパルス・ハンマにより面に向かって垂直に合計 24 点加振した。

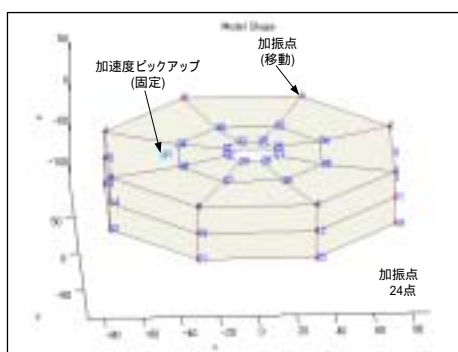


Fig.17 Measuring Point and Excitation Points

実験モード解析システムによりモードアニメーションを見ることができる。以下の図 18 から 22 に同定により得られた第 1 次から第 5 次の固有モード形状を示す。同様に有限要素モデルから計算で得られた第 1 次から第 8 次の固有モード形状を図 23 から図 30 に示す。

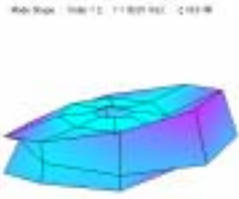


Fig.18 Experiment Mode Shape No.1

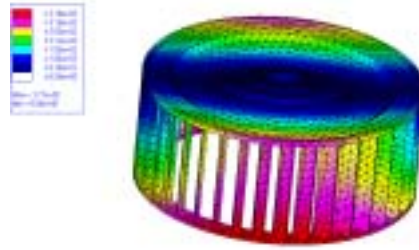


Fig.23 FEM Mode Shape No.1

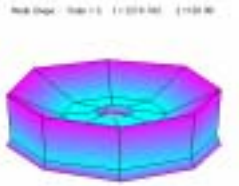


Fig.19 Experiment Mode Shape No.2

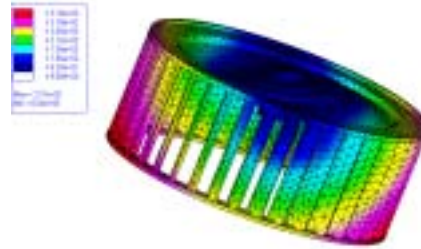


Fig.24 FEM Mode Shape No.2

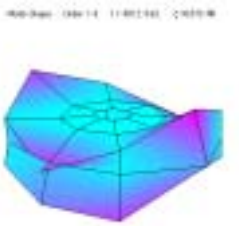


Fig.20 Experiment Mode Shape No.3

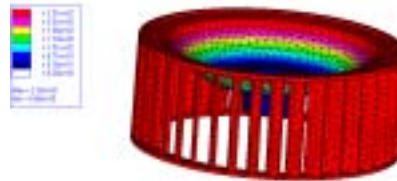


Fig.25 FEM Mode Shape No.3

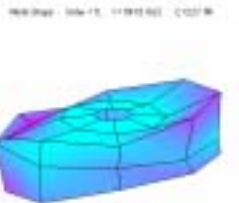


Fig.21 Experiment Mode Shape No.4

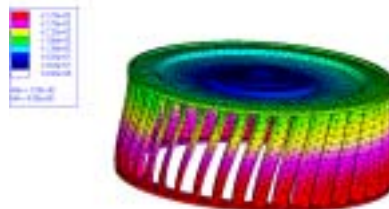


Fig.26 FEM Mode Shape No.4

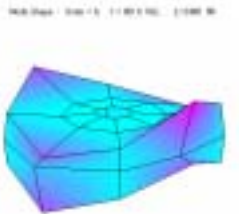


Fig.22 Experiment Mode Shape No.5

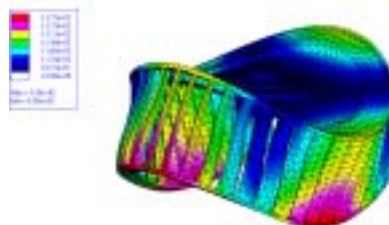


Fig.27 FEM Mode Shape No.5

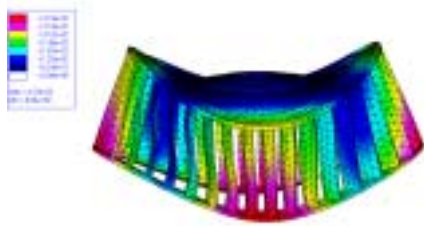


Fig.28 FEM Mode Shape No.6

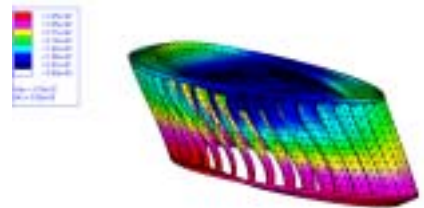


Fig.29 FEM Mode Shape No.7

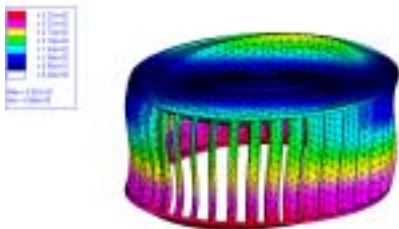


Fig.30 FEM Mode Shape No.8

また、表 2 に実験と計算の固有振動数を示す。

Table.2 Natural Frequency by the Fixed Support

Mode No.	固有振動数	
	実験値	計算値
1	90.31	136.9
2	-	137.2
3	227.9	275.9
4	-	509.1
5	401.2	662.2
6	-	662.7
7	541.5	697.3
8	801.6	700.7

固定支持でも自由支持と同様に実験値と計算値に差があった。これも有限要素モデルが完全ではなかったからであると思われる。

4. 有限要素法による計算と実験の比較

4.1 有限要素モデル

図 31 に実験対象のシロッコファンの有限要素モデルを示す。モデル作成には Solid works と Altair Hyper Mesh を使用し、計算には MSC/NASTRAN を使用した。



Fig.31 FEM Model

今回のモデルの欠点部分を図 32 に示す。実際のシロッコファンはフィンの付け根に切り欠けがあるのだが、その部分を作成するのが難しく、完全にくっついてしまっている。

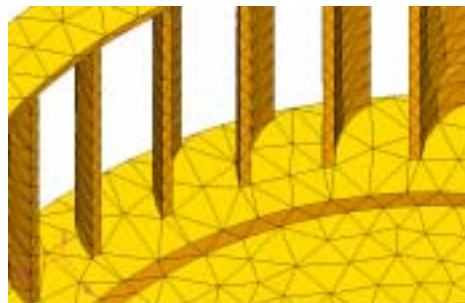


Fig.32 Enlargement of FEM Model

4.2 固有振動数の比較

図 33, 34 に表 1, 2 で示した自由支持および固定支持での固有振動数比較を示す。

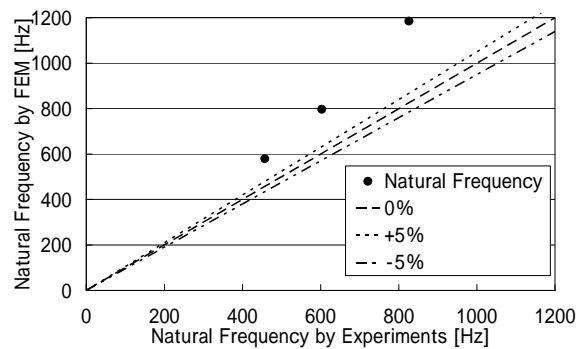


Fig.33 Comparison of Natural Frequency by Free Support

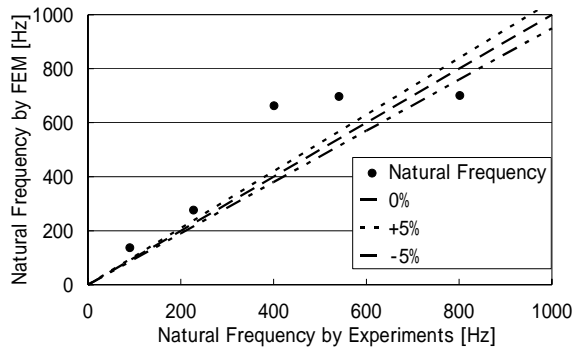


Fig.34 Comparison of Natural Frequency by Fixed Support

図 33, 34 より今回は計算と実験の値が誤差範囲に納まらなかった．実験の値は正しいはずなので計算が間違っているのではないかと考えられる．原因として考えられることは有限要素モデルが完全ではなかったことが挙げられる．

5. まとめ

モード特性を実験同定できる非線形最適化法を実験モード解析システムに組み込むことができ、シロッコファンに適用したところ 1000Hz までに自由支持では 4 個、固定支持では 5 個固有モードが確認できた．しかし、計算の値は実験とは一致しなかった．

今後の課題としては有限要素モデルを直し実験と計算の値が一致するかの確認を行い、さらに実際に稼動した際にどのようなモードが現れるかを調べていく予定である．

参考文献

- [1]長松昭男、"モード解析入門"、コロナ社、1993 年.
- [2]石渡輝行、岩原光男、長松昭男、"モード解析による打楽器シンバルの振動特性に関する研究 実験モード解析と理論モード解析の検証と比較及び構造最適化"、法政大学計算科学研究センター研究報告第 16 巻、2003 年.
- [3]石井孝志、岩原光男、御法川学、"非線形最適化法による実験モード解析"、法政大学計算科学研究センター研究報告第 16 巻、2003 年.

キーワード.

振動, モード解析, 有限要素法, 非線形最適化法

.....

Summary.

The vibration characteristic of sirocco fan by modal analysis

Jun Odate

Graduate School of Engineering, Hosei University

Manabu Hosaka Mitsuo Iwahara Gaku Minorikawa Akio Nagamatsu

Department of Mechanical Engineering, Hosei University

Many products are designed by experience and intuition of engineers and are also developed by the repetition of a trial product and an experiment. However, the design conditions which become future still severer are fulfilled, and in order to increase efficiency of development. Raising accuracy etc. from the conventional technique is wanted to produce a new technique. In recent years, modal analysis is beginning to be effectively used for anticipation and elucidation of a vibration phenomenon. Experimental modal analysis with frequency response functions by vibration testing is a series of methods of extracting the dynamic characteristic of the system in the form of the modal parameters. It is widely used as base technology of vibration analysis. Moreover, use of the simulation analysis of the vibration in a design step is becoming familiar by rapid progress of computer and software. The purpose of this study is identification of modal parameters with the nonlinear optimum method as the experimental modal analysis technique. This technique is correctly extended to a multi-point response in differential iteration method. User interfaces are constructed with MATLAB in personal computer. This system is applied for sirocco fan and compared with FEM results.

Keywords.

Vibration, Modal Analysis, FEM, Nonlinear Optimum Method

