

21315 歪ゲージを用いた実験モード解析および実稼動モード解析

Experimental modal analysis and operational modal analysis which use strain gauge

○ 桑原 広樹 (法政大) 伊藤 貴彦 (法政大)
 田邊 雄一 (キヤノン) 正 岩原 光男 (法政大)
 正 長松 昭男 (法政大) 正 高橋 政行 (オリエンタルモーター)

Hiroki KUWABARA, Hosei University, Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo

Takahiko ITO, Hosei University

Yuichi TANABE, Canon Inc.

Mitsuo IWAHARA, Hosei University

Akio NAGAMATSU, Hosei University

Masayuki TAKAHASHI, Oriental Motor Co.

The method of conventional experimental modal analysis in our laboratory is difficult to measure the vibrational characteristic of rotary structure which was under operation. So, the final purpose is to investigate the vibrational characteristic which was under operation. For that, we analyzed the experimental mode by using strain gauge, because the acceleration pickup that had been used so far wasn't able to be used which was under operation. And, we investigated the vibrational characteristic by using the acceleration pickup and the calculation by computer before operating experiment. Then, we compared each other and examined the correspondence of the result used strain gauge. And we calculated strain modal shape under operating.

Key Words: Vibration of Rotating Body, Modal Analysis, Stress-strain Measurement, Finite Element Method (FEM)

1. 緒論

従来のモード解析では、インパルスハンマーなどで加振し、加速度センサーなどで応答データをとるという方法が主に利用されてきた。また、実験時は実験対象物を停止している状態で実験を行ってきた。しかし、実際に対象物の稼働中において発生している変形状を求めめるためには、従来の方法を利用することは困難であった。実際に存在する振動問題は対象とした構造物の稼働中において生じるものであり、回転構造体では、その稼働中における振動解析が求められている。

本研究では多翼送風機の遠心ファン(シロッコファン)を研究対象とした。遠心ファンは構造上ケーシングと組み合わせ利用するため、稼働中は圧力変動が生じ、その結果、振動が発生してしまう。多翼送風機が利用されるものは振動が嫌われており、遠心ファンの低振動化、共振現象の回避をさせることが求められている。本研究では遠心ファンの稼働中における振動現象の解析に歪ゲージを利用して行い、機械構造物の運転時における実稼動解析法を確立し、対象物の稼働中におけるモード特性、及びモード形状を求めることを最終目標とした。また、遠心ファンは薄肉化や多翼化など構造が複雑なため、FEM解析を行うことが難しい。そこで、まず加振試験を行い適切な境界条件を確立し、FEMモデルの精度を高め、FEM解析による回転状態のモード解析を行った。

2. 理論モード解析

理論モード解析とは対象物を物理モデル化により自由度を決め、力の釣り合いやエネルギー原理により数学的に計算し、求められた式を解き固有値および固有モードを求め

ることを言う。Fig.1に研究対象であるシロッコファンの有限要素モデルを示す。FEMモデルの接点数は497,693であり、要素数は247,565となった。

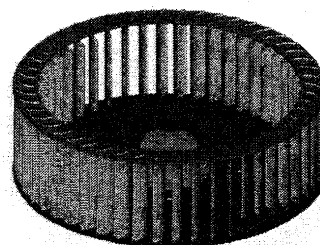


Fig.1 FEM Model

3. 実験モード解析

3.1 歪ゲージを利用したモード解析

変位や加速度のモードは一般的にマクスウェルの相反定理が成り立つ。伝達関数を G 、変位モードを ϕ とすると、伝達関数は式(1)と表せる。式(1)を見ると、加振点と応答点を逆にしたときでも結果が同じ事となることが分かる。

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{m1} & G_{m2} & \cdots & G_{mn} \end{bmatrix} = \sum_{r=1}^n y_r \begin{bmatrix} \phi_{r1}\phi_{r1} & \phi_{r1}\phi_{r2} & \cdots & \phi_{r1}\phi_{rn} \\ \phi_{r2}\phi_{r1} & \phi_{r2}\phi_{r2} & \cdots & \phi_{r2}\phi_{rn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{rn}\phi_{r1} & \phi_{rn}\phi_{r2} & \cdots & \phi_{rn}\phi_{rn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

m : 応答点数 (出力)

n : 加振点数 (入力)

次に、歪ゲージを用いる場合の伝達関数を示す。歪の伝達関数は参考文献[3]にて紹介されている式を引用する。伝

達関数を H^e , 歪モードを ψ^e とすると式(2)となる.

$$\begin{bmatrix} H_{11}^e & H_{12}^e & \dots & H_{1n}^e \\ H_{21}^e & H_{22}^e & \dots & H_{2n}^e \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{m1}^e & H_{m2}^e & \dots & H_{mn}^e \end{bmatrix} = \sum_{r=1}^m y_r \begin{bmatrix} \psi_{r1}^e \phi_{r1} & \psi_{r1}^e \phi_{r2} & \dots & \psi_{r1}^e \phi_{rn} \\ \psi_{r2}^e \phi_{r1} & \psi_{r2}^e \phi_{r2} & \dots & \psi_{r2}^e \phi_{rn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{rm}^e \phi_{r1} & \psi_{rm}^e \phi_{r2} & \dots & \psi_{rm}^e \phi_{rn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、式(2)を見ると、加振点と応答点を逆にしたときに結果が異なることが分かる。つまり、マクスウェルの相反定理は成立せず、応答点を移動させ実験を行えば歪モードを得ることができ、加振点を移動させ実験を行えば変位モードを求めることができる。

本研究ではこの考え方をうい実験を行った。

3.2 実験結果

得られたモード形状を Fig.2 に示す。

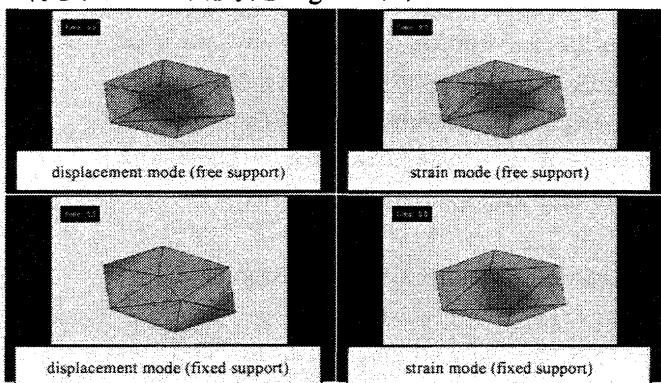


Fig.2 1st Experimental Modal Shapes (Hammer Excitation)

4. 実験動実験

4.1 実験方法

実験動実験は歪ゲージを2枚使用し、1枚は応答点として使用し、もう1枚は位相の基準を設けるための参照点として使用した。振幅として応答点のパワースペクトルの振幅を使用し、位相は応答点と参照点のクロススペクトルの位相を利用した。また、今回の解析ではカーブフィットを行わずに実験データにおけるピークの周波数を固有振動数とし、実験動歪モード形状を求めた。今回の実験動試験では、1000rpm 及び 2000rpm で定常回転している状態での振動データを計測した。また、300rpm から 2400rpm まで、300rpm 刻みでそれぞれ計測し、回転数の変化による固有振動数の影響を調べた。

4.2 実験結果

2000rpm 定常回転時に得られた実験動歪モードを示す。

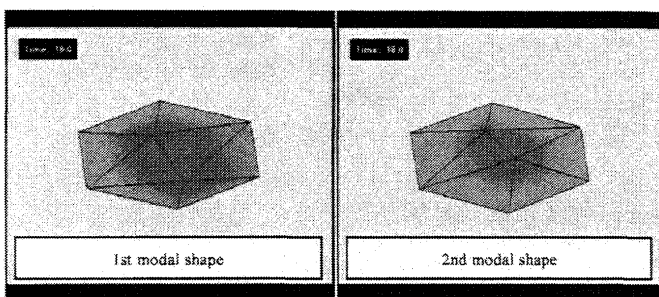


Fig.3 Operating Strain Mode Shapes (2000rpm)

実験動解析で得られた歪モード形状はハンマー加振によって得られた歪モード形状と同じ形状であった。次に、Fig.4 に実験動試験により得られた歪のパワースペクトルを、縦軸をモーターの回転数とし、等高線図として示す。

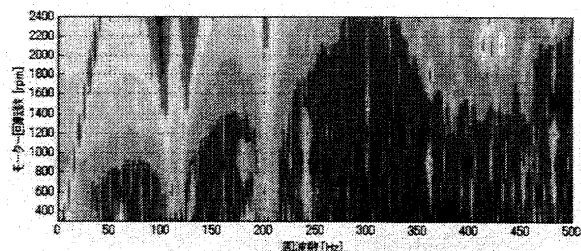


Fig.4 Power Spectral Density Function

Fig.4 において 50Hz 以下に見られるパワースペクトルの励起はモーターの回転数によるものであり、回転数に比例しているため、シロッコファンの固有振動数ではないと考えられる。したがって、それら以外の赤く出ているパワースペクトルの励起がシロッコファンの固有振動数であり、左から 1 次モード、その対象モード、2 次モードだと考えられる。また、回転数が高くなるにつれて対象モードの固有振動数の差が広がっていくのは、回転時の振動データを得るために、歪ゲージや配線、その他部品などをシロッコファンに取り付けたことで、回転軸に対して重心のずれが起こり、遠心力が片寄ってしまったことが原因だと考えられる。

6 結論

1. 実験動試験から実験動時歪モード形状を求めることができ、ハンマー加振の場合に得られた結果と同様の結果を得ることが出来た。
2. 一次モードとその対象モードの周波数はモーターの回転数を上げることにより、値が離れていくという現象が現れた。
3. 歪ゲージを利用した場合の実験では加振点を移動した場合と応答点を移動した場合で変位モードと歪モードが得られることが分かった。

7 今後の展望

1. 歪ゲージ利用での実験モード解析において、高い周波数でのモード特性も得られるようにする。
2. モーター回転数の次数成分を除きカーブフィット計算およびモード特性同定計算を行うプログラムを作成する。
3. 実際にシロッコファンが破壊するまで稼働試験を行い、破壊現象と共振現象の関連性を見る。

参考文献

- [1]長松昭男, "モード解析入門", コロナ社, 1993 年.
- [2]大館淳,保坂学,岩原光男,御法川学,長松昭男, "モード解析によるシロッコファンの振動特性", 法政大学計算科学研究センター研究報告第 17 号, 2004 年.
- [3]L.H.Yam, T.P.Leung, D.B.Li, K.Z.Xue, "THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF MODAL STRAIN ANALYSIS", Journal of Sound and Vibration (1996) 191(2), 251-260