

タービン群翼の軸方向静止時固有振動数と翼つづり枚数の関係

Relation between the Axial Stationary State Frequencies of a Banded Group of Turbine Blades and the Number of Blades in Group

志賀元弘* 小堀与一*
Motohiro Shiga Yoichi Kobori

要 旨

タービン群翼の軸方向静止時固有振動数について、振動モードおよび翼つづり枚数と振動数の相互関係を簡単な線図として表わすことができた。これより、あるつづり枚数とモードにおける軸方向固有振動数が与えられるとき、他のつづり枚数とモードの軸方向固有振動数を推定できるようになった。

1. 緒 言

蒸気タービンが大容量化するにつれて、長翼の設計が重要な項目となってきた。長翼の設計においては流体力学、振動強度、製作法などが大きな問題点である。

タービン翼の振動に関する研究は古くから行なわれ、種々の文献に取り扱われており⁽¹⁾⁽²⁾、現在でも機械振動における主要な問題の一つとなっている。最近、タービン翼の固有振動数の計算には電子計算機が利用されるようになってきた⁽³⁾⁽⁴⁾。

日立製作所においては、長翼を開発するため、低圧タービン試験装置を製作し、回転中の固有振動数、共振応力の測定を行なってきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その結果、回転中の固有振動数は静止時の固有振動数がわかれば Campbell 線図により予測できるようになった。

軸方向固有振動数について、振動モードおよび翼つづり枚数と振動数の相互関係がわかれば、設計段階において固有振動数を検討し、運転中に共振することが予測された場合の対策が容易となる。そこで、静止時固有振動数の測定結果を整理し、振動モードおよび翼つづり枚数と振動数の相互関係を実験式にまとめた。

2. 実験方法

長翼は数本の翼をバインド線により結合し、群翼として使用している。翼つづり枚数と固有振動数の関係を実測するために、一つづりの群翼に相当する10本の660mm長翼を実機の場合と同じ製作法でディスクに取り付ける。この群翼について固有振動数測定後、バインド線を切断し、翼を1本だけ群翼から切離し、9本群翼とした。同様にして、バインド線を切断して、翼つづり枚数を減少させ、2~8本群翼とした。

図1は固有振動数を測定するための測定装置系統図である。ここに用いた測定器類は次の働きをする。

- (1) 発振器による一定周波数の電気信号を増幅器により増幅し、これを電磁石のコイルの電源とする。
- (2) 翼に当てた振動計のピックアップ（振動ピックアップ）により振動を検出し、振動振幅を振動計により読み取る。
- (3) シンクロスコープは振動波形の観察および発振器周波数の何倍の振動数で振動しているか測定するために使用する。
- (4) デジタルカウンタは発振器周波数を正確に読み取るため使用する。

軸方向固有振動数および振動モードは次のようにして測定する。

- (1) 翼の近くに電磁石を取り付け、これに交流電流を流して翼を加振する。

* 日立製作所日立研究所

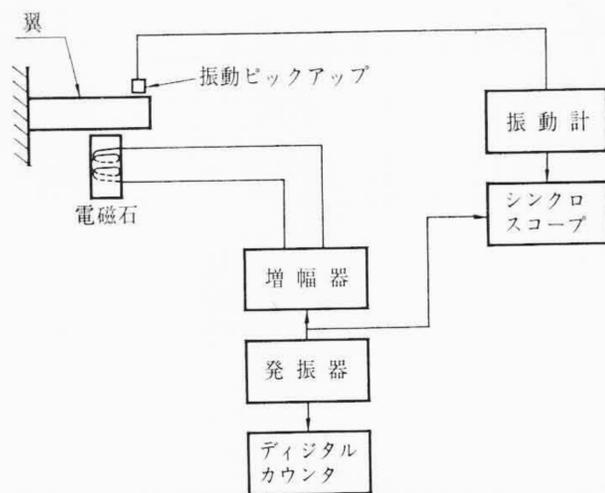


図1 測定装置系統図

| 名称 | 振動モード (7枚つづりの例) |
|---------------------|-----------------|
| 1次振動 A ₁ | |
| 2次振動 A ₂ | |
| 3次振動 A ₃ | |
| 4次振動 A ₄ | |

車軸の方向

図2 軸方向振動モードの種類

- (2) 翼に振動計のピックアップを当てて、この部分の振動を検出し、振動数と振幅の関係を求める。この結果より、特に振幅の大となる振動数を求め、これを固有振動数とする。
- (3) 固有振動数で加振し、群翼の振幅分布を測定し、この結果から振動モード（相対的振幅分布を定性的に表わしたもの）を求める。

図2は振動モードを示したものである。今回測定した振動モード

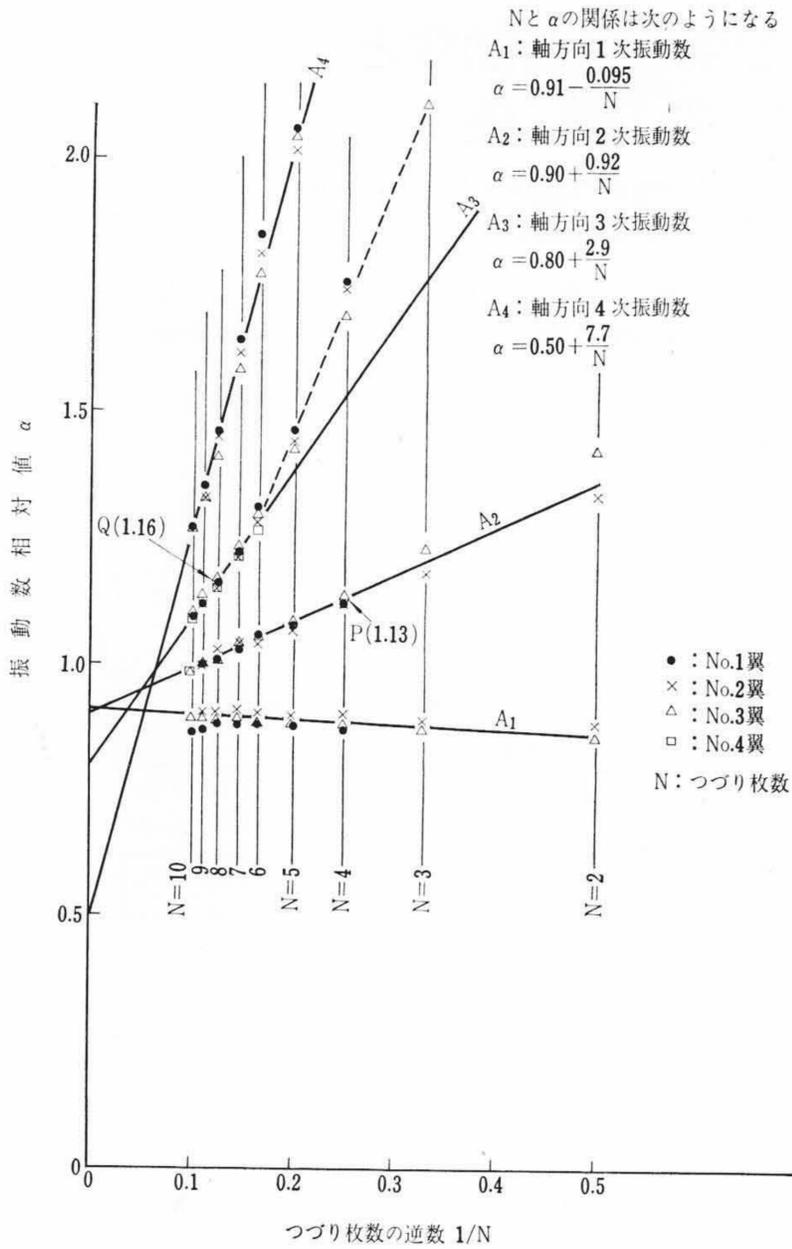


図3 つづり枚数の逆数と振動数相対値の関係

の種類は軸方向1次振動(記号A₁)～軸方向4次振動(記号A₄)である。

3. 軸方向固有振動数とつづり枚数の関係

翼長が同じで、プロファイルの若干異なる4種の翼について、翼つづり枚数と振動数の関係を測定した。その結果、固有振動数はプロファイルの相違により最大で約5%変化した。これらの測定結果から翼つづり枚数と振動数の関係を求めるために、振動数は相対値により表わし、以下検討した。

図3はつづり枚数の逆数と振動数相対値の関係を示したものである。振動数相対値とはプロファイルの違いによる固有振動数の変化の影響を除くため、軸方向2次振動モード、9枚つづり時の振動数に対する各モード、各つづり枚数時の振動数の比により表わし、こ

れを振動数相対値 α とした。つづり枚数 N と振動数相対値 α の関係を次式により近似した。

$$\alpha = a + \frac{b}{N}$$

測定結果をつづり枚数の逆数 $1/N$ と振動数相対値 α の関係として整理した。このように表わすと近似式は直線となり、係数 a, b の決定が容易になる。

図3より実験式を定めると軸方向1次振動数は $\alpha = 0.91 - 0.095/N$ 、2次振動数は $\alpha = 0.90 + 0.92/N$ 、3次振動数は $\alpha = 0.80 + 2.9/N$ 、4次振動数は $\alpha = 0.50 + 7.7/N$ となる。軸方向3次振動数を除いて、前記実験式による計算値は測定結果に一致しており、3次振動数は $\alpha = 1.3$ 以上になると実験式による計算値は測定値と異なってくる。これは、実用上翼つづり枚数として、5～10枚の範囲が使用されるため、実験式として、この範囲において、計算値と実測値が一致するように実験式を定めたためである。

図3における実験式は実験範囲内においてのみ成立する関係で、たとえば翼つづり枚数がさらに増加した場合の振動数相対値はこの実験式の延長上の値に必ずしも一致しない。また、図3における実験式の係数は翼長により異なった値となる。

この線図より、ある群翼のつづり枚数とモードにおける軸方向固有振動数が与えられれば他のつづり枚数とモードの軸方向固有振動数を推定できる。たとえば、4枚つづり2次振動数が240 c/sであると仮定すると、8枚つづりのときの3次振動数は図3のP、Qの関係より246 c/s ($= 240 \times 1.16 / 1.13$)となる。また、5枚つづりから7枚つづりに設計変更すれば、軸方向2次振動数が約5%減少($1.08 \rightarrow 1.03$ となる)することが簡単に見出せる。

4. 結 言

660 mm長翼の軸方向静止時固有振動数について、振動モードおよび翼つづり枚数と振動数の相互関係を簡単な線図として表わすことができた。

前記線図より翼つづり枚数 N と振動数相対値 α (軸方向2次振動モード、9枚つづり時の振動数に対する各モード、各つづり枚数時の振動数の比)の関係を表わす実験式を求めた結果、軸方向1次振動数では $\alpha = 0.91 - 0.095/N$ 、2次振動数では $\alpha = 0.90 + 0.92/N$ 、3次振動数では $\alpha = 0.80 + 2.9/N$ 、4次振動数では $\alpha = 0.50 + 7.7/N$ となった。

参 考 文 献

- (1) 妹沢克惟：振動学 上, 288 (昭24 岩波書店)
- (2) 小野鑑正：材料力学, 395 (昭36 岩波書店)
- (3) M. A. Prohl: Trans. ASME, 80, 169 (Jan. 1958)
- (4) Deák, Baird: ASME Paper No. 62-WA-210
- (5) 岩崎, 前田, 小堀, 糸野: 日立評論 45, 2048 (昭38-12)
- (6) 糸野, 植西: 日立評論 48, 749 (昭41-6)