29 火花追跡法によるターボ機械 羽根車内流れの可視化

東海大学工学部 大井健寿* 中山泰喜, 青木克己
海上自衛隊幹部候補生学校 高木康之

Visualization of the Flow in an Impeller of Turbo-Machinery
by Spark Tracing Method

Yasuki NAKAYAMA*, Katsumi AOKI*, Takehisa OHI*, Yasuyuki TAKAGI**

The purpose of this study is to understand the flow pattern in a rotating centrifugal blower impeller by flow visualization. The flow pattern in an impeller was visualized by spark tracing method. The stationary image of the flow pattern in a rotating impeller was observed using the rotating image stopping processor, in which a triangular prism rotates at a half of the outlet of an impeller was observed in detail using the spark tracing method, in which needle type, and, line and needle type electrodes were used.

1. 緒 論

遠心羽根車をもつターボ機械は、加給機や冷凍機、空調設備など多くの用途で使用されている。そこで、ターボ機械の性能向上、サージングや旋回失速などの不安定現象の改善などが大きな問題となっている。このため、実際の運転状態での羽根車内の流れの状態を把握することが不可欠となり、各種計測法や、数値解析法などによる研究が数多く試みられている。

本研究では、可視化手法として、流れに影響が少なく微小時間内での流れ場の情報が得られ、現象の把握が容易である火花追跡法を用いた。回転する羽根車内の相対流れの観察には、回転像静止装置を用いた。羽根車出口の速度ベクトルの測定は、送風機ケーシングより羽根車出口付近に三孔ビトー管を挿入した。この速度ベクトルよりすべり係数⁽¹⁾を求め Stodola⁽²⁾、Wiesner⁽³⁾や Wislicenus⁽⁴⁾らの式から求めた値と比較検討した。

2. すべり係数

Fig.1 に示すような羽根車出口での速度ベクトルより羽根数無限、羽根数有限の場合の Euler の理論揚程は、それぞれ次式で表される。

$$H_{th\infty} = \frac{1}{g} u_2 v_{u2} \dots \dots \dots (1)$$

$$H_{th} = \frac{1}{g} u_2 v_{u2} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、すべり係数 μ は

$$\mu = \frac{H_{th}}{H_{th\infty}} = 1 - \frac{\Delta v_{u2}}{v_{u2}} \dots \dots \dots (3)$$

Fig.1 Velocity diagram

で定義されている。

* Faculty of Engineering, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka Kanagawa, 259-12 Japan

** Japan Maritime Self-Defense Force Officer Candidate School Edajima, Aki, Hiroshima, 737-21 Japan

3. 実験装置及び方法

3.1 装置全般

実験装置の概略図をFig.2に示す。送風機本体は、ミツヤ送風機PFc# 2 1/2 を可視化実験用に改造したもので、羽根車とケーシングの一部を火花追跡法の際の絶縁のため透明アクリル樹脂製とした。羽根車回転数はインバータにより500~5000rpmまで任意に変化させることができる。電動機軸には軸動力を測定するためにトルクメータを取り付けた。測定管路はJIS B 8330に準拠したもので、管内径130mm、管路長さ約2mで、静圧測定及び流量測定がマンメータを用いて出来るようになっている。流量は出口に設けられた絞り装置により任意に変えることができる。

羽根車はFig.3に示すようなシェラウドをもつクローズド形羽根車で、外径375mm、出口角50°、羽根枚数12枚であり、羽根曲線は1円弧法によるものである。

Fig.2 Experimental apparatus

3.2 回転像静止装置

静止系より、回転している対象物を静止させて微小時間に過渡的に変化する現象を観察するために、本研究では回転像静止装置（ストロボローテータ）を使用した。また、羽根車の回転数をロータリーエンコーダにより検出して羽根車とプリズムの同期を取っている。

3.3 高圧高周波パルス発生装置

本研究では、菅原研究所の高圧高周波パルス発生装置を用い、設定されたパルス群を供給しその際生ずる火花放電により、羽根間流れのタイムラインを可視化した。高圧高周波パルス発生装置の仕様を次に示す。

出力電圧	20~250kV
出力周波数	1~100kHz
最大出力パルス数	200
出力パルス幅	0.5~1μs

3.4 三孔ピトー管

送風機のケーシング内で羽根車の絶対流れの方向及び速度を測定するために、羽根車の外周より約4mmの所にFig.4に示されるように三孔ピトー管を設置した。

3.5 電極形状

電極形状は、針状電極、及び針-線状電極を使用した。Fig.5に電極位置を示す。C1、C2の部分に支柱をたて、線状電極を取り付けた。

3.6 実験条件

羽根車回転数は2500rpmで行った。実験点は、流量比 $\phi/\phi_n = 1.36$ 、 $\phi/\phi_n = 1.00$ 、 $\phi/\phi_n = 0.71$ 、 $\phi/\phi_n = 0.43$ 、 $\phi/\phi_n = 0.21$ とし各流量で可視化と測定を行った。ここで、 ϕ/ϕ_n は最高効率点流量に対する流量割合である。なお、流量係数 ϕ は、

$$\phi = \frac{Q}{A_2 \cdot u_2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 Q : 吐出し流量 m^3/s 、 A_2 : 羽根車出口における有効断面積 m^2 、 u_2 : 羽根車出口周速度 m/s 。

Fig.3 Dimension of impeller

Fig.4 Pitot tube

Fig.5 Electrodes between blades

Fig.6 Blower characteristics

4. 実験結果及び考察

Fig.6に送風機の特性格線を、Fig.7~9に羽根車内流れの可視化結果と羽根車出口の速度ベクトル及び羽根圧力面側出口から流出する様子の一例を示してある。また、Fig.10に速度ベクトルより求めた相対速度、流出角を、Fig.11に各流量におけるすべり係数を示した。すべり係数は、WiesnerやWislicenusの値に対して流量比が大きい部分では近い値を示しているが流量比が少なくなるに従い違いが大きくなる。

4.1 流量比 $\phi/\phi_n = 1.36$ の場合

Fig.7(a)を見ると、羽根中央付近で負圧面側の流速が速くなっているが、羽根出口付近になると羽根間中央部から圧力面側にかけて流速が速くなり、逆に負圧面にかけては流速が遅くなっている。これは、羽根車の回転による相対うずと羽根後縁での圧力面と負圧面との圧力差によって生ずる流れの影響であると考えられる。次に、

Fig.7(b)、(c)を見ると、羽根間から流出する流れは圧力面側壁面付近が一番流速が速いことが判る。また、Fig.10を見ると、相対速度は高さMがH、Lより比較的遅く、流出角度はHにゆくにつれ多少大きくなっている。

4.2 流量比 $\phi/\phi_n = 1.00$ (最高効率点) の場合

Fig.8(a)を見ると負圧面から圧力面にかけて流速の変化が比較的少ない。Fig.11のすべり係数も、もっとも大きな値を示している。負圧面側の出口に近い部分の境界層が流量比1.36に比べると大きくなっていることが判る。Fig.8(b)では圧力面に沿っていた流れが羽根車を出ると急に角度を変えている様子が判る。羽根出口での相対速度と流出角度は流量比1.36と同様、高さMで遅く、Hにゆくほど大きくなっているが、全体的に大きな変化はないように思われる。

Fig.7 Results of flow visualization ($\phi/\phi_n=1.36$)

4.3 流量比 $\phi / \phi_n = 0.43$ の場合

Fig.9(a)では負圧面側に逆流が生じ羽根の入口付近まで及んでいる。この流量では効率は流量比0.71に比べ大きく低下しており、圧力曲線が右上がりの勾配を示しはじめるところでもあり、羽根間の流れは不安定になっていると考えられる。Fig.11に示すすべり係数も大きく低下している点でもある。

Fig.8 Results of flow visualization ($\phi/\phi_n=1.00$)

Fig.9 Results of flow visualization ($\phi/\phi_n=0.43$)

Fig.10 Relation outlet velocity and outlet angle

Fig.11 Slip factor

5. 結 論

遠心送風機の羽根車内の流れを可視化し、羽根出口の速度ベクトルよりすべり係数を求め性能特性を踏まえて考察し、以下のことを明らかにした。

- (1) 流量の違いによる羽根車内流れの変化の様子を明らかにした。
- (2) 羽根出口付近だけでなく羽根間全体の流れの様子と共に送風機の性能特性とすべり係数を関係づけた。
- (3) 羽根車内で逆流や剥離が発生すると、効率の低下が激しくなり、すべり係数の値も小さくなり Wiesner や Wislicenus の経験式による値に対しての差異が大きくなる。

文 献

- (1) 原田、妹尾、機論、52-482 (昭61)、3525.
- (2) Stodola, A., Steam and Gas Turbines, (1927), 1259, McGraw-Hill.
- (3) Wiesner, F.J., Trans. ASME, Ser. A, 89-4 (1967), 588.
- (4) Wislicenus, G. F., Fluid Mechanics of Turbomachinery, (1947), McGraw-Hill.