3. ターボ機械の内部流れの可視化

東海大工 山 本 徹^o, 青 木 克 己
太 田 紘 昭, 中 山 泰 喜

Visualization of internal flow in turbomachine

Tooru YAMAMOTO^o Katsumi AOKI^o
Hiroaki OHTA^o Yasuki NAKAYAMA^{*}

It is a very important problem to make clear the flow between rotor blades of the rotating impellers about blowers or compressors, for improving the performance of these turbomachines. Then, the flow visualization method is the most effective technique for this problem. But it is very difficult to visualize the relative flow in a rotating impeller.

In this paper, this flow was visualized by a spark tracing method, and observed the image by Stroboscopes using the principle of a rotating triangle prism.

1. まえがき

送風機や圧縮機などのターボ機械内遠心羽根車の翼間流れの解明は、これら流体機械の性能向上の上から非常に興味ある問題である。そしてこのためには流れの解析や計測が必要であるが、それに対して可視化は実証論的立場から不可欠な技術であることが指摘されてきた。しかし実際に高速回転で運転されている羽根車内の相対流れを可視化することは大変困難な事であり、今日まで Lenneman らや Fister が用いた回転台形プリズムを通しての静止系からの観察が最も有効な手法であると考えられる。

本研究では回転している遠心式送風機の翼間流れを、火花追跡法によって可視化し、それを三角形プリズムを使用した回転像静止装置により観察した。そして流量によってその流れがどのように変化するかを明らかにし、それにこの流れに影響を及ぼす諸因について若干の検討を加えた。

^{*}Faculty of Engineering, Tokai University; 1117 Kitakaname,
Hiratsuka, Kanagawa, 259-12 Japan

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

本研究に用いた実験装置の概略を Fig.1 に示す。フィルター部より流入した空気は、バルブによって所定の流量に絞られた後、吸込空気そうに入り整流管を経て、電動機によって駆動される遠心式送風機から吐出される。その際、空気量はフィルター部の出口付近に設置した吸込ノズルで、送風機全圧は整流管内でピトー管を用い測定する。尚、送風機の回転数は電動機に付随する無段変速機によって調整する。本実験で使用した羽根車は、Fig.2 に示すように後向き直線羽根をもつ開放形羽根車で、外径 400mm、出口角度 75° 、羽根枚数 18 枚である。そして本体との隙間は 1mm とし、これらはすべて可視化および絶縁のためアクリル製とした。この羽根車の一翼間には Fig.3 に示すような線状電極を設置し、これよりスリップリングを介して高電圧高周波パルス発生装置（菅原研究所製 MM-305AA 型）に接続した。また一定の位置で火花を放電させるように装置本体に光電式ピックアップを取り付けこの信号を火花発生装置のデイレイ回路に入力する。次に回転像静止装置として菅原研究所製のストロボローターを用いた。この原理は Fig.4 に示す通りで対象物の $1/2$ の速度で三角形のプリズムを回転させその像を観察するとこの対象物はあたかも静止しているかのように見えるものであり、本実験ではロータリ・エンコーダを使用し軸の回転信号を検出して同期させた。

2.2 実験方法

実験方法は送風機の回転数を 1000rpm で一定とし、予め求めた流量特性 Fig.5 に従い高流量時 ($\phi=0.36$)・中流量時 ($\phi=0.26$)・サージング時 ($\phi=0.16$) の 3 点において、火花発生装置のパルス間隔・パルス数を適当に定めて可視化を行った。尚、実験条件および撮影条件の詳細は Table.1 に示す通りである。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Impeller

Fig.3 Electrode

Fig.4 Principle of Strobosrotator

Fig. 5 ϕ - ψ curve

Table.1 Experimental condition

Flow coefficient ϕ	0.36	0.26	0.16
Rotating speed	1000 rpm		
Pulse interval	250 - 400 μ sec		
Pulse train	20 - 50		
Voltage	7 - 9 kv		
Camera	Pentax		
Lens	100 mm F4		
Aperture	4, 5.6		
Shutter speed	B		
Film	Tri-X ASA400		

3. 実験結果および考察

Fig. 6, 7, 8 に流量係数 ϕ がそれぞれ 0.36, 0.26, 0.16 の場合の実験結果を示す。

Fig. 6 $\phi = 0.36$ Fig. 7 $\phi = 0.26$ Fig. 8 $\phi = 0.16$

Fig. 6(a), (b), (c) は $\phi = 0.36$ の流れを示すもので Fig. 6(a) より羽根負圧面近くの流れは遅く、流れは羽根圧力面に沿っている事がわかり、これは負圧側の羽根入口

部より流れが若干はがれているためである。またこのように高流量時においてもそのフローパターンはあまり安定しておらず, 特に Fig.6(c) では三次元的な現象が顕著にあらわれている。これらは羽根車内に二次流れが存在するためであり, 特に本装置のようにシュラウドを持たない開放形羽根車の場合, 本体と羽根車は相対的に逆方向に回転しているために, また羽根の前面と後面の間に大きな圧力差があるために, 羽根車と本体の隙間に回転と反対方向に噴流のような形で強い流れが発生していると考えられる。

Fig.7(a), (b), (c) は $\phi = 0.26$ の流れを示すもので Fig.7(a), (b) は羽根負圧面側で大きくはく離を生じており, このように流量を絞ると流れが不規則に部分的にはがれ, インデューサ方向に逆流を起こしている。そしてそのはく離は発生・消滅を周期的に繰り返していると考えられ, ときには Fig.7(c) のように羽根圧力面側に発生することもある。

Fig.8(a), (b), (c) は $\phi = 0.16$ の流れを示すものでその際送風機は明らかにサージングを起こし息つきが認められ大変不安定な状態であり, 羽根車内のフローパターンもばらついていて, Fig.8(a) は翼間で途中から流速が極端に落ちたものであり, Fig.8(b), (c) はインデューサ方向に大きく逆流を生じている。送風機がサージングを起こしているときには流量・圧力が周期的に変化することが一般に知られているが, このように羽根車内の流れからもその事が納得できる。

最後に本実験で行った遠心式送風機の羽根車内の流れは明らかに非定常流となっている。しかし撮影した多数の可視化写真を整理すると数種のパターンに分類でき, 非定常な中にも周期性が認められた事も事実である。

4. あとがき

遠心式送風機の羽根車内の複雑な流れを究明する目的で, 三角形プリズムを用いた回転像静止装置を使用し火花追跡法でこの流れの可視化を行った。

高流量時・中流量時・サージング時と3段階に分け流量の違いによる羽根車内の流れの差異を明らかにした。

回転像静止装置(ストロボローター)は, 回転する対象物に対し常に相対的な位置より観察できるという点から大変有効な機器であり, 可視化だけでなく将来各種計測法などにも応用が考えられる。

本研究の遂行にあたり多大なる御援助・御協力を頂いた石川島播磨重工業株式会社・技術研究所の方々に対し衷心より感謝いたします。

文 献

- 1) E.Lenneman & J.H.G.Howard, Unsteady Flow Phenomena in Rotating Centrifugal Impeller Passages, Trans. Amer. Soc. Mech. Engr., J. Engng. for Power, 92-1 (1970), 65.
- 2) W.Fister, Sichtbarmachung der Strömungen in Radialverdichterstufen, besonders der Relativströmung in rotierenden Laufrädern durch Funkenblitze, Brennst Waerme Kraft, 18-9(1966), 425.
- 3) 妹尾泰利, 遠心羽根車の内部流れ(1)~(3), ターボ機械, 第2巻, 第1~3号