横流送風機の寸法効果に関する研究*

(第2報, 内部流動に及ぼす羽根車寸法の影響および特性表示法の検討)

田 中 周 治^{*1}, 村 田 暹^{*1}

Scale Effects in Cross Flow Fans (2nd Report, Effects of Fan Dimensions on Flow Fields and the Universal Representation of Characteristics)

Shuji TANAKA and Susumu MURATA

Laser Doppler Velocimeter (LDV) measurements of velocity fields and determination of static pressure distributions in the rotors of cross flow fans with good geometrical similarity but different dimensions have been made, and the clear scale effects appearing in the flow details have been shown. As the fan dimensions become larger, the internal flow fields tend to be more active, i. e., nondimensional velocity, vorticity, velocity fluctuations and pressure drops in the eccentric vortex increase. The mechanisms of generation and dissipation of the eccentric vortex in the rotor have been discussed, and it is suggested that the scale effects are attributed to differences in the rate of diffusion of the circulation vortices in the recirculatory region. A new procedure to represent the characteristics of cross flow fans in a universal form has been proposed by analyzing the influences of Reynolds number and fan dimensions on performance curves.

Key Words: Turbomachinery, Flow Measurement, Cascade, Internal Flow, LDV, Affinity Law, Pressure Distribution, Reynolds Number, Scale Effect

1. 緒 言

横流送風機の相似則に関する基礎的研究として, 第1報⁽¹⁾では, 大きさの異なる, 幾何学的に相似な3種類の送風機を用いて特性試験を行い, 特性曲線(流量-圧力曲線)に現れる羽根車寸法の影響(寸法効果)の詳細を明らかにした。そして, 横流送風機では従来からの送風機特性に関する一般的な相似則が成立せず, 特性曲線には羽根車寸法の影響が非常に強く現れるため, その評価に際しては羽根車レイノルズ数だけでなく, 羽根車の寸法自身を何らかの形で考慮する必要があることを指摘した。しかし, 横流送風機の寸法効果をより詳しく解明するには, 送風機特性を流量-圧力曲線上で議論するだけでなく, 特性の差異を生じる原因となっている送風機内部の流動や羽根車翼列の作動状態に現れる寸法効果についても検討する必要がある。従来から, 横流送風機の内部流動に関しては, 理論解析⁽²⁾⁽³⁾とともに, 羽根車内流れの可視化実験⁽⁴⁾やピトー管による内部流動状態の計測⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾, あるいは熱線流速計を用いた翼間内相対流れの測定⁽⁸⁾などがな

れており, その詳細が次第に明らかにされつつある。しかし, 横流送風機の作動状態は, 他の形式の送風機に比べ外乱の影響を受けやすく, 羽根車内部に挿入されるプローブなどによっても大きな影響を受ける場合があることが経験的に知られており, 内部流動状態に現れる羽根車の寸法効果を調べるに当たっては, 十分な配慮が必要である。さらに, 第1報でも明らかにしたように, 特性曲線上から見た羽根車寸法の影響は非常に複雑な形で現れるため, 寸法効果の影響を簡単な式で表すことは容易ではないが, 実用的見地からすると, 大きさの異なる多くの羽根車を用いて得られた送風機特性相互の定量的な比較・換算を可能にするためにも, 横流送風機に関する, より一般的な特性表示法を見いだすことが不可欠である。

本報では, 第1報⁽¹⁾で用いた相似な送風機を対象にし, 流れに与える外乱の影響を極力小さくするため, レーザドップラー流速計を用いて羽根車内流れを計測するとともに, 羽根車側壁上の壁面静圧分布の測定を行い, 内部流動状態に現れる羽根車の寸法効果の詳細を明らかにする。さらに, 第1報で示した送風機特性試験の結果を分析することにより, 羽根車レイノルズ数や羽根車寸法の影響を定量的に表し, 横流送風機特性をより普遍的に表すことのできる特性表示法の提示

* 原稿受付 平成4年7月30日。

^{*1} 正員, 豊田工業大学工学部 (〒468 名古屋市天白区久方2-12)。

を試みる。

2. 実験装置および測定方法

2.1 供試送風機および測定機器 実験装置の概略図を図1に示す。送風機本体はレーザドップラー流速計 (以下, LDV と称す) と共通の計測定盤①上に設置されており, 送風機ベース②, 供試羽根車③, 送風機側板⑤, ケーシング, 舌部などは, すべて第1報⁽¹⁾で使用したものと同一である。羽根車内流れの測定に使用した LDV は Ar イオンレーザ (最大出力 2 W) を光源とした次元後方散乱形システムであり, レーザ管⑥, 光学系⑦, フロントレンズ (焦点距離 310 mm) ⑩およびフォトマルアセンブリ⑪より構成され, 全体

図1 実験装置概略

が共通のベース上に配置されている。この LDV システムは計測定盤上の X-Y テーブル⑩上に置かれており, 計測点の水平方向移動は, X-Y テーブルをパルスモータ⑬を用いて動かすことにより行い, 位置決めにはリニアエンコーダ⑭を用いている。一方, 計測点の鉛直方向移動は, 一對のミラーユニット⑧⑨の一方のミラー⑨をフロントレンズとともに直線移動ユニット⑫, パルスモータ⑬を用いて鉛直方向に動かして行い, リニアエンコーダ⑭によって位置決めをする。なお, 測定点の各軸方向への移動と位置決めは, すべてマイクロコンピュータを用いた自動運転によって行うことができる。さらに, 第1報⁽¹⁾で用いた送風機側板には若干の改造を加え, レーザ側の羽根車端面部 (羽根車側壁) ④には LDV 計測用にフロートガラス製の測定窓を設けている。一方, 羽根車内静圧の測定時には羽根車内の任意の周方向位置における計測を容易にするため, 測定窓の代わりに半径方向に数個の圧力タップを有し, 周方向に自由に回転できる構造の側壁に取り替えている。

2.2 測定方法 図2に計測システム全体のブロック線図を示す。カウンタプロセッサからの速度情報は, デジタル量のままインタフェースユニットを介してマイクロコンピュータに取り込まれ, 実時間で時間平均や二乗平均などの一次処理⁽⁹⁾が施された後, メモリ上に蓄えられる。本実験では, 羽根車内部流れを二次元流れとして計測するため, 光学系をその光軸まわりに, あらかじめ求めておいた, おおよその流れ方向から $\pm 45^\circ$ 程度の範囲で回転させながら (4~5) 点の回転角位置において計測を行い, これより時間平均速度ベクトル, 乱れ成分などの算出を行った。ここで, LDV 用のシーディングとしては, 超音波振動子で噴霧状にした蒸留水を使用している。一方, 羽根車内側壁上の静圧は, 圧力変換器によって電圧に変換された後, A-D 変換インタフェースを介してマイクロコンピュータに取り込まれ, 時間平均される。さらに, これ

図2 計測ブロック線図

らのデータは、専用回線を用いてミニコンピュータに転送され、高次処理が施される。

3. 実験結果および考察

ほぼ同一の羽根車レイノルズ数 Re_c の状態において、LVD を用いて内部流動状態の計測を行った作動点を図3に示す。LDV による計測は、いずれの実験でも、羽根車幅方向の中央断面にて測定を行っている。

また、特に断らない限り、流れを表す諸量は、羽根車外径 D_2 、羽根車周速 u_{t2} および空気密度 ρ を用いて無次元化して示すものとする。なお、本研究で用いた羽根車 R1, R2 および R3 の外径は、それぞれ 75, 135 mm および 200 mm である。

3・1 内部流動と送風機特性の関係 まず、内部流動状態と送風機特性の関連性について検討を加える。図3に示す作動点①②は、ほぼ全流量域で右下がり安定特性を示すケーシングを用いた場合（図3中に Stable と示す）の羽根車 R2 および R3 の特性曲線上で、ほぼ同一の流量係数 ϕ と圧力係数 ψ を有する点として選定されたものであり、LDV による計測結果を図4に示す。図4では速度ベクトルと速度分布を用いて計算される流れ関数 ψ_{s1} から求められる流線および変動速度成分 $\overline{u \cdot v}$ の分布を示しているが、両者はよく一致しており、内部流動状態には良好な相似性が成立していることがわかる。ここで、 u, v はそれぞれ流線方向およびそれに垂直方向の変動速度成分であり、 $\overline{u \cdot u}, \overline{v \cdot v}$ に関しても両者の一致は良好であることが確認できる。一方、右上がり不安定特性を示すケーシングを用いた場合（図3中に Unstable と示す）の特性曲線上の作動点③④における内部流動状態を図5

図3 LDV計測の作動点

に示す。この場合にも、 ϕ, ψ の値で表すと、ほぼ同一の作動点となっているにもかかわらず、流動状態は相似性を保っておらず、明らかに羽根車寸法によって異なった流動状態となっていることがわかる。すなわち、同一の羽根車レイノルズ数の場合、内部流動状態に良好な相似性が保たれておれば、従来からの一般的な送風機特性の表示に用いられる ϕ, ψ の値は等しくなるが、 ϕ, ψ の値が同一であっても、内部流動状態は必ずしも相似になっているとは限らない。これは、特性

(a) 羽根車 R2 (作動点①)

(b) 羽根車 R3 (作動点②)

図4 内部流動状態の相似性

(a) 羽根車 R2 (作動点③)

(b) 羽根車 R3 (作動点④)

図5 内部流動状態の相似性

値 ϕ , ψ が、羽根車翼列の作動状態の相似性を前提に定義されていることに加え、送風機特性が羽根車翼列の作動状態の全周にわたる積み重ねとして決定されるものであると考えれば、当然の結果であると言える。

3・2 内部流動状態に現れる寸法効果 次に、ほぼ同一の羽根車レイノルズ数にて、各羽根車が対応する特徴のある点で作動する場合の流動状態に現れる寸法効果について検討を加えよう。図6は、図3の特性曲線上⑤～⑦で示す全圧極大点における測定結果を比較して示したものである。図6(a)～(c)の各図は、左から速度ベクトルと流線 ψ_{s1} 、うず度 ω 、流線方向の変動速度成分 $\overline{u \cdot u}$ および壁面静圧 C_p (いずれも無次元量)の分布を表している。まず、速度ベクトルと流線を比較すると、羽根車径によって流線形状は大きく異なっており、速度ベクトルの大きさは、最も外径の小さい羽根車 R1 で最小となり、羽根車径とともに速度も大きくなっている。また、羽根車内の速度ベクトル V から $\text{rot } V$ として計算されるうず度は、流れが吸

込側から吐出し側へと羽根車を貫いて流れている領域(貫流領域)では全体的に小さく、これは、村田・西原⁽⁸⁾が指摘した全圧がほぼ一定の領域に対応している。これに対し、吐出し側で循環流が生じていると考えられる領域(循環領域)では、いずれの羽根車でも、うず度が急増しており、定常的な偏心うずが形成されている。しかし、偏心うず内部のうず度の大きさ(絶対値)は、外径が最大である羽根車 R3 が最も大で、R2, R1 へと羽根車径の減少に伴って、ほぼ 1/2 倍の比率で小さくなる。すなわち、横流羽根車の内部に生じる偏心うずの強さには明りょうな寸法効果が現れており、全圧極大点という特性曲線上で共通した特徴を持った作動点であっても、羽根車径が小さくなるにつれて偏心うずの強さは急速に減少することが確認できる。また、内部流れ状態をより詳細に比較するため、変動速度成分 $\overline{u \cdot u}$ の分布を見ると、その等高線は流線にほぼ直交しており、翼から流出した粘性後流が羽根車内部で減衰する過程を表している。そして、このような変動速度成分にも明らかに寸法効果が現れてお

図6 全圧極大点における内部流動状態

り、羽根車径の増大に伴って内部流れの変動速度成分は次第に増加する。一方、壁面静圧圧力係数 C_p の分布は、上述のうず度分布に非常に良く似た分布をしており、偏心うず内に生じる圧力低下は羽根車径の減少とともに急速に小さくなる。以上の結果をまとめると、横流羽根車の内部流動状態は、羽根車径の増大とともに明らかに活発化する傾向を有しており、無次元化して表した速度、うず度、変動速度成分あるいは静圧降下などの大きさは、羽根車径とともに増大することができる。作動点⑧～⑩についても上と同様の比較を行った結果、細部については若干の差異があるものの、これとほぼ同様の寸法効果が現れることを確認することができた。

3・3 羽根車翼列の作動状態に現れる寸法効果

次に、前述の内部流動状態の測定結果から、内・外挿計算により羽根車内周上の流動状態を求め、羽根車全周における翼列の作動状態について検討を加えよう。

図7は作動点⑤～⑦における羽根車内周上の無次元相対速度 W_1 および半径方向を基準にした相対流れ角 β_{w1} の周方向分布を示す。ここで、周方向位置 θ は羽根車の回転方向と一致するようにしており、図7中の θ_c および θ_z はそれぞれケーシングおよび舌部の先端位置を示す。また、 θ_d は半径方向速度 V_r が負（流入）から正（流出）に転じる点を、 θ_v は偏心うず中心の周方向位置を示しており、この点を境に V_r は再び正から負に変化する。そして、うず中心位置 θ_v はいずれの羽根車でもあまり大きな変化はないが、 θ_d は羽根車径の増大に伴って回転方向に大きく移動する。

図7 羽根車内径上の流動状態

次に、羽根車の回転に伴う翼列の作動状態の変化について考えよう。 $\theta = \theta_z$ を過ぎて吸込側に入った翼列を通った流れの β_{w1} （この場合には相対流出角を表すが、供試羽根車では、内周羽根角 $\beta_1 = 90^\circ$ であるので、これは偏差角にも一致する）は $15 \sim 30^\circ$ 程度であり、 W_1 も比較的大きい値を維持している。羽根車外径 D_2 上で羽根車翼列を直線翼列に引き直した場合、食違い角は約 30° で、ソリディティは 1.0 と十分大きな値となっている。しかし、翼の反り角が 70° と一般の直線翼列に比べて非常に大きいため、山藤⁽⁴⁾の可視化実験の結果からも指摘されているように、翼の一部にははく離が生じていると考えられ、翼列出口流れも翼面に沿う方向まで達していない。また、翼が $\theta = \theta_d$ に近づくと、 β_{w1} の急増と W_1 の減少が生じ、翼は急速に深い失速状態に入っていくものと考えられる。この θ_d 付近において翼列に失速が起きる現象は、村田・西原⁽⁸⁾による熱線流速計を用いた翼間相対流れの測定結果からも確認することができる。以後、吐出し側に入った翼列へ流入する流れの β_{w1} （この場合には、相対流入角あるいは入射角となる）は、羽根車径が大きいほど速やかに減少し、比較的広い範囲において $10 \sim 30^\circ$ 以下の値を保っており、翼列は他の領域に比べ良好な作動状態に回復していると考えられる。さらに、翼が偏心うず中心に近づくと、その誘起速度に起因する W_1 の増大が見られるが、前述のとおり、羽根車径が大きいほど強い偏心うずが形成されているため、その増加量もより顕著になる。横流羽根車では、羽根車から流体に与えられる有効な仕事の多くがこの吐出し側でなされる⁽⁶⁾ことを考え合せると、この部分における翼列の良好な作動状態によって、径の大きな羽根車ほど送風機吐出し全圧の増大が顕著になるということができる。吐出し側における羽根車翼列を羽根車内径 D_1 上で直線翼列に引き直すと、食違い角が約 35° となり、減速翼列としては通常使用されない翼列配置に相当している。そして、翼の反り角も非常に大きいことを考慮すると、入射角が $10 \sim 30^\circ$ までに減少しているとは言え、十分小さな翼列損失で作動する状態にまで回復するには至っていないと考えるのが自然であろう。さらに翼がうず中心に近づくと、再び β_{w1} の急増と W_1 の急減が生じて翼列は再度、深い失速状態に入り、翼がうず中心を過ぎた後は β_{w1} の急激な減少と W_1 の増加を経て、吸込側へと戻っていく。また、図7中に r, r と示すのは、図6の流線形状から求められる循環領域の範囲を示しているが、その広さは羽根車径の増大とともに急速に狭くなっており、これは羽根車径の増大に伴う全圧極大点流量の増大に寄与してい

る。さらに、図6に示した流線形状とうず度分布からも明かなように、この循環領域はうず度の集中した偏心うずの占める領域にほぼ一致していることから、横流羽根車特有の偏心うずは、羽根車特性に流量、吐出し圧力の両面にわたって非常に大きな影響を及ぼしていると言っていることができる。

3・4 偏心うずの生成と寸法効果の発生機構に関する考察 上述の結果より、羽根車内部の流動状態に現れる寸法効果は、内部流れに支配的な影響を及ぼしている偏心うずの形態の差異によって代表されると考えてもよい。この偏心うずは、山藤⁽⁴⁾、Lajos⁽¹⁰⁾らによっても指摘されているように、羽根車翼列の非定常な作動のため翼から放出される循環うずによって生成、維持されていると考えるのが自然であろう。供試羽根車の場合、 $\theta=180^\circ$ 付近の比較的良好な作動状態にあった翼は循環領域に入った後、偏心うず中心に達する過程で急速に深い失速状態に入るから、個々の翼からは羽根車外部に向かって、羽根車回転方向と同じ向きの循環うずが放出される。このうずは、翼がうず中心から循環領域を出るまでの間に再び羽根車に吸い込まれるが、この領域の翼列は深い失速状態からの回復期にあり、翼まわりには羽根車の回転とは逆向きの循環を増大させつつ運動しているため、翼からは再び羽根車回転方向の循環うずが羽根車内部に向かって放出される。したがって、定常的な偏心うずが維持され続けるためには、これらの放出量に釣合うだけの循環の消散がなければならない。この消散機構としては、まず第1に、粘性作用による循環量の自然減衰が考えられるが、図6からも明かなように、羽根車内部における流線方向のうず度の減衰は小さく、Lajos⁽¹⁰⁾によっても羽根車内のうず度は流線方向によく保存されることが確認されていることから考えても、これは消散機構の主たる因子にはなり得ない。むしろ、可能な循環の消散機構としては、循環うずの拡散と貫流流れによるうず度の搬出作用を考えるのが現実的であろう。すなわち、偏心うず中心付近を通過する翼列から流出した循環うずは偏心うず内を環流しつつ拡散するが、拡散によって循環領域の外側にまで達したうず度は、貫流流れによって送風機出口側に排出されてしまい、その結果として循環の減少が生じると考えられる。また、偏心うずの位置と強さをエネルギーの面から見ると、循環領域において羽根車から流れに与えられる仕事とその粘性散逸が平衡し⁽¹¹⁾、かつ、羽根車内の循環量の面から見ると循環領域内における循環量の放出と消散が釣合った状態に決まると考えてよい。したがって、幾何学的に相似な送風機であっても、循環の消散過程

に何らかの相違が生じた場合、形成される偏心うずの形態には次第に変化が生じ、その結果、翼列の作動状態や送風機特性にも大きな影響が現れることになる。循環うず度の拡散過程に違いを生じる原因を、本研究結果だけから特定することは難しいが、一般に横流羽根車の作動状態は、絶えず不規則な揺らぎを伴っていることに加え、その流れには強い乱れが発生していることなどを考え合えると、粘性作用に加えて内部流れの変動や乱れ状態の相違などによって循環うずの拡散速度が影響されると考えることができよう。

4. 送風機特性の普遍的表示

次に、第1報で示した特性試験の結果を整理し、羽根車レイノルズ数や羽根車径の影響を補正したうえで、送風機特性をより普遍的に表すことのできる特性表示法について検討を加えよう。

4・1 羽根車レイノルズ数の影響 同一の横流送風機を種々の回転数で運転した場合の特性曲線(Φ - Ψ 曲線)を模式的に表すと図8のようになる。すなわち、横流羽根車では羽根車レイノルズ数 Re_c の影響が強く現れるため、特性曲線は回転数ごとに少しずつ差異を生じ、同じダンパ開度における作動点も放物線に沿うように広がりを持つ。したがって、 Re_c の影響を補正してこれらの曲線群を1本に引き直す場合、同一ダンパ開度における作動点が一点に集まるようにするのが妥当であろう。そこで、羽根車レイノルズ数が $(Re_c)_j$ の場合の流量係数、圧力係数をそれぞれ Φ_j 、 Ψ_j とするとき

$$\Phi_r = \frac{\Phi_j}{(Re_c)_j^{n_1}} = \frac{\Phi_{j+1}}{(Re_c)_{j+1}^{n_1}} \quad (j=1, 2, 3, \dots)$$

$$\Psi_r = \frac{\Psi_j}{(Re_c)_j^{n_2}} = \frac{\Psi_{j+1}}{(Re_c)_{j+1}^{n_2}}$$

なる形に表すことのできる係数 n_1 、 n_2 が見いだせたとすると、送風機特性は引き直した流量係数 Φ_r と圧力係数 Ψ_r および係数 n_1 、 n_2 で表すことができる。

図8 回転数による特性曲線の変化

そこで、同一ダンパ開度で、回転数のみを変えて測定された作動点を選び出し、

$$n_1 = \frac{\ln(\Phi_j / \Phi_{j+1})}{\ln\{(Re_c)_j / (Re_c)_{j+1}\}} \quad (j=1, 2, 3, \dots)$$

$$n_2 = \frac{\ln(\Psi_j / \Psi_{j+1})}{\ln\{(Re_c)_j / (Re_c)_{j+1}\}}$$

として n_1, n_2 の値を算出した。その結果、これらの値はかなりのばらつきを示し、必ずしも一定値にならないが、ここでは、各羽根車ごとに得られた値を平均したものを代表値として用いることにする。以上のようにして求められた係数 n_1, n_2 を用い、羽根車レイノルズ数の影響を補正した結果を図9に示す。図9は、最も広範な羽根車レイノルズ数の下で実験を行った羽根車 R2 について示しており、大流量時や Re_c が非常に小さい場合の補正に関しては十分でない点も残されているものの、 Re_c の影響は全体的によく補正されていると断言できよう。さらに、他の供試羽根車についても、同様の補正を施したが、これとほぼ同程度の結果が得られることが確認できた。

4.2 羽根車径の影響 供試羽根車ごとに求められた n_1, n_2 と羽根車径 D_2 の関係を示すと図10のようになる。図10より n_1 は羽根車径 D_2 にほぼ比例するように増加し、 n_2 は D_2 によってはあまり変化しないと断言できよう。そこで、最小二乗法により両者の関係を求めると、次のようになる。

$$n_1 = 1.02 \times 10^{-3} \times D_2$$

$$n_2 = 0.173$$

ただし、上式の D_2 の単位は mm である。以上の実験式を用いて、供試羽根車ごとに係数 n_1, n_2 を決定し、すべての特性を Φ_r, Ψ_r に引き直して検討を加えた。

図9 羽根車レイノルズ数による影響の補正

図10 n_1, n_2 と羽根車径の関係

図11 横流送風機の普遍的特性表示

図 11 は羽根車 R1~R3 について、それぞれ最大・最小の羽根車レイノルズ数にて運転した場合の Φ - Ψ 曲線と、 Φ_r - Ψ_r に引き直した特性とを比較して示している。図 11 より、一部には Re_c や D_2 の影響を十分に補正しきれていない部分もあり、特に、不安定形ケーシングの場合にはばらつきが大きく、必ずしも満足できる結果とは言えないが、従来から用いられてきた Φ - Ψ を用いた場合に比べると、普遍的特性表示により近づいたと評価できよう。また、本方法の一般性を検討するため、供試羽根車に近い形状を有する横流羽根車を用いて得られた村田・西原⁽¹²⁾ による実験結果を上述の手続きに従って引き直し、図 11 中に破線で示している。その結果、大流量域において差異が大きくなる傾向が現れているが、羽根車の内外径比や羽根車幅比、羽根枚数などで、供試羽根車とは若干の相違があることなどを考慮すれば、本実験結果との間に本質的な相違はないと言えよう。なお、羽根車レイノルズ数が、第 1 報⁽¹⁾ で示した臨界値である $(1\sim 1.5)\times 10^4$ を大きく超える場合には、 Re_c の影響は非常に小さなものとなるが、羽根車径の影響は強く現れ、これを無視することはできない。このような場合には、羽根車レイノルズ数として実働状態の Re_c の代わりに、 $Re_c = 1.5 \times 10^4$ 程度の値を用いればよい。

上述の実験係数 n_1, n_2 は横流羽根車に現れる羽根車径や回転数の影響を補正するため便宜的に導入したものであるが、軸流・遠心ファンなどの他の形式のターボ機械のように、寸法効果の影響が比較的小さく、その特性が通常の Φ - Ψ によってよく表すことのできる場合には、 n_1, n_2 の値がともに零の場合に相当すると考え、 Φ_r, Ψ_r は Φ, Ψ に一致することになる。したがって、本研究で提案した特性値 Φ_r, Ψ_r は従来からの特性表示とも特に矛盾をきたさない、送風機の一般的特性表示パラメータであると考えることができよう。

5. 結 論

LDV を用いた内部流れの計測と羽根車内側壁上の静圧分布の測定を行い、横流送風機の内部流動状態に現れる寸法効果の詳細を明らかにした。そして、これらの結果を基に、羽根車翼列の作動状態について検討し、横流羽根車の寸法効果の発生する機構について考察を加えた。さらに、特性試験の結果を整理することにより、送風機特性をより普遍的に表すことのできる表示法を提案し、その有効性を示した。得られた結果を要約すると、以下のとおりである。

(1) 内部流動状態に相似性がよく保たれている場合には、異なった大きさの羽根車でも Φ, Ψ の値は互いによく一致する。一方、 Φ, Ψ が同じであっても、内部流動状態は相似になっているとは限らない。

(2) 全圧極大点で作動する大きさの異なる羽根車の内部流動状態には、明りょうな寸法効果が現れる。すなわち、羽根車径が大きくなるにつれて、内部流動は活発化する傾向を有し、無次元化された速度、うず度、変動速度あるいは偏心うず内の静圧降下などは、羽根車径とともに増大する。

(3) 流れに与える仕事の多くを担う吐出し側における羽根車翼列は、羽根車径が大きくなるほど広い周方向範囲にわたって入射角の小さい、比較的良好な作動状態を維持し、吐出し全圧の増大が顕著になる。一方、吐出し側に生じる循環領域の広さは、羽根車径が大きくなるにつれて急速に減少し、全圧極大点の流量増大に寄与している。

(4) 偏心うず内の循環の消散は、粘性作用や乱れによる流出循環うずの拡散と、貫流流れによる拡散うず度の搬出作用によるものであると考えられる。循環の消散過程に、羽根車径の違いによる何らかの差異が生じた場合、形成される偏心うずの形態が次第に変化し、その結果、翼列の作動状態や送風機特性にも明らかな寸法効果となって現れる。

(5) 横流送風機の特性に及ぼす羽根車レイノルズ数の影響を二つの実験係数 n_1, n_2 で表し、これらの係数を羽根車径との関係で与えることにより、横流送風機特性曲線を普遍的に表す特性表示法を提案し、その有効性を明らかにした。

なお、本研究の遂行にあたっては、小松製作所(株) 南 浩之君、住友金属(株) 森 章徳君、関東自動車(株)磯野勝朝君(いずれも当時学生)には多大なご協力をいただいた。ここに、厚く感謝の意を表する。

文 献

- (1) 田中・村田, 機論, 58-550, B(1992), 1788.
- (2) Coester, R., *Mitt. Inst. Aerodynamik*, Zürich, 28(1959), 1.
- (3) 村田・井家上, 機械の研究, 18-2(1966), 245.
- (4) 山藤, 機論, 41-341(1975), 189.
- (5) 村田・ほか4名, 機論, 43-377(1977), 3009.
- (6) 中村・奥谷, ターボ機械, 11-4(1983), 196.
- (7) 中村・ほか3名, ターボ機械, 14-2(1986), 67.
- (8) 村田・西原, 機論, 41-347(1975), 2076.
- (9) 田中, ターボ機械, 15-7(1987), 411.
- (10) Lajos, T., *Proc. 5th Conf. Fluid Mach.*, Budapest, (1975), 567.
- (11) 山藤, 機論, 41-344(1975), 1184.
- (12) 村田・西原, 機論, 41-347(1975), 2062.