遠心圧縮機のディフューザ内流れに及ぼす
案内羽根高さの影響*

星野正和**, 大木 博**, 吉永洋一**

The Effect of Guide Vane Height on the Diffuser Flow
in Centrifugal Compressors

by Masakazu HOSHINO, Hiroshi OHKI, and Yoichi YOSHINAGA

Partial height guide vanes are adopted to improve non-uniformity of the diffuser flow in high specific speed centrifugal compressors. In order to get the optimum guide vane height, pressure and velocity fields were measured for five kinds of guide vanes using laser-two-focus velocimeter. The diffuser with guide vanes whose height is 40 % of the diffuser width shows the best pressure recovery : its increment is 10 % compared with the diffuser without guide vanes. The measurement of the velocity fluctuation in the diffuser reveals that the fluctuation decreases rapidly between the impeller outlet (D_2) and $1.1 \times D_2$, decreasing slowly thereafter.

Key Words: Fluid Machine, Flow Measurement, Centrifugal Compressor, Guide Vane, Laser Velocimeter, Vaneless Diffuser, Vaned Diffuser

1. 緒 言

遠心圧縮機羽根車出口の流れは、周方向および軸方向にひずんだ複雑な三次元流れである。このようなひずんだ流れがディフューザ内に流入すると、はく離や衝突による損失が増加しディフューザ性能を低下させるという大きな問題があった。この解決策として、吉永ら⁽¹⁾は、ベンレスディフューザのシュラウド側壁面上にディフューザ通路幅よりも狭い対数らせん状の案内羽根を複数枚設けることにより、通路幅方向にひずんだ流れが一様化され、ディフューザ性能の向上に大きな効果のあることを示した。前報⁽²⁾ではこの作用を明らかにするために、レーザ2焦点流速計⁽³⁾⁽⁴⁾を用いてディフューザ内流れを詳細に計測し案内羽根がある場合とない場合の流れを比較検討した結果、案内羽根はシュラウド側の流体の流れ角を強制的に大きくする効果があり、そのためハブ側の流体の一部がシュラウド側に流入するようになり流れが一様化することが明らかになった。しかしながら、案内羽根の通路幅方向高さについては1種類の実験であり、案内羽根の高さと

ディフューザ内流れとの関係については詳細な検討がなされていなかった。ここでは、案内羽根の通路幅方向高さがディフューザ内流れに及ぼす影響について調べた。

2. 記 号

b : ディフューザ通路幅
 B_f : 速度ひずみ係数 $= \bar{c}_{m2} / \bar{c}_{m1}$
 c : 絶対速度
 $\bar{c}$: c の周方向流量平均値
 Δc : c の変動量 (Peak to Peak 値)
 c_m : 絶対速度の半径方向成分
 $\bar{c}_m$: c_m の周方向流量平均値
 $\bar{c}_{m1}$: $\bar{c}_m$ の通路幅方向面積平均値
 $\bar{c}_{m2}$: $\bar{c}_m$ の通路幅方向流量平均値
 g : 重力の加速度
 h : 案内羽根の高さ
 H : ヘッド
 l : 案内羽根の間隔
 n : 案内羽根からの距離
 n_s : 比速度
 N : 回転数
 Q : 流量

* 昭和60年8月28日 第933回講演会において講演。原稿受付 昭和60年3月8日。

** 正員、(株)日立製作所機械研究所(〒300 土浦市神立町502)。

- r_2 : 羽根車半径
 r_m : 計測位置の半径
 U_2 : 羽根車の周速
 y : シュラウド壁面からの距離
 $\bar{\alpha}$: 周方向から測った平均流れ角
 ϕ : 流量係数 $= Q/\pi \cdot r_2^2 \cdot U_2$
 ψ : 圧力係数 $= H/(U_2^2/g)$
 ψ_s : 壁面静圧による圧力係数
 $\bar{\psi}_s$: ψ_s の周方向平均値
 $\bar{\psi}_{s,ref}$: 羽根なしディフューザ出口の ψ

3. 実験装置および実験方法

図1に、実験に用いた遠心羽根車およびディフューザの形状を示す。羽根車は、比速度 $n_s=390(\text{m}, \text{m}^3/\text{min}, \text{rpm})$ 、外径 500 mm、出口幅 47 mm、羽根出口角 $\beta_2=50^\circ$ 、羽根枚数 18 の三次元形状の高比速度形羽根車である。羽根なしディフューザは通路幅 $b=47 \text{ mm}$ 、入口径 506 mm、出口径 805 mm である。シュラウド側に案内羽根を設けたディフューザ（以後羽根付ディフューザと呼ぶ）は、羽根なしディフューザのシュラウド側壁面上に高さ $h=9.4, 18.8, 28.2 \text{ mm}$ および 44.7 mm の案内羽根を入口径 520 mm、出口径 776 mm の位置に 18 枚取付けられた形状である。それぞれの案内羽根は、厚さ 4 mm の平板を入口角、出口角ともに羽根車の設計流量点における流れ角 28° に等しくなるように対数螺旋状（一円弧近似）に曲げた形状

図1 遠心羽根車およびディフューザの形状

図2 計測部の概観

である。

流れの計測には、流れをかく乱することなく流速の測定が可能なマルチウィンド方式のレーザ2焦点流速計 (L2F) を用いた。図2に計測部の概観を示す。実験はオプティカルヘッドからのレーザ光をディフューザ内に入射させ、羽根車の吸込口より水滴（粒子径 $5\sim 10 \mu\text{m}$ ）によるシーディングを施して行った。

計測位置の変更は、オプティカルヘッドをトラバース台を用いて三次元的に動かすことにより行った。

実験は羽根車を 1500 rpm で運転し、図3に示すような ϕ, ψ 特性上の三つの流量点についてディフューザ内の流れの計測を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 ディフューザ壁面の静圧分布 図4に、設計流量点 ($\phi/\phi_d=1.0$) におけるディフューザのシュラウド壁面の静圧分布を示す。図4より、ディフューザ入口の案内羽根先端近傍の静圧に案内羽根高さ (h/b) による大きな変化のないことがわかる。これは、設計流量点 ($\phi/\phi_d=1.0$) では、ディフューザ入口における流れ方向がほぼ案内羽根の入口角 (28°) に等しくなっているために入口衝突損失が変化しないためと考えられる。図5に、設計流量点 ($\phi/\phi_d=1.0$) におけるディフューザのシュラウド壁面の静圧回復の傾向を示

図3 遠心羽根車の特性

(a) $h/b=0.2$ (b) $h/b=0.4$ (c) $h/b=0.6$ (d) $h/b=0.95$

図4 シュラウド壁面の静圧分布 ($\phi/\phi_d=1.0$)

す。図5より、羽根付ディフューザ ($h/b=0.2\sim0.95$) では、同じような静圧回復の傾向を示しているが、その回復量には相違のあることがわかる。これは図7に示すように、ディフューザ内における主流の速度分布がほぼ同じことから、摩擦による損失が案内羽根の高さにより相違したためと考えられる。

図6に、羽根付ディフューザの案内羽根 (h/b) 高さの変化に伴うディフューザ出口 ($r_m/r_2=1.58$) の静圧値の変化を示す。図6では、静圧値を羽根なしディフューザ出口の静圧値 ($\bar{\psi}_{s,ref}$) で無次元化して示している。図6より、設計流量点 ($\phi/\phi_d=1.0$) では、案内羽根高さ h/b が0.4までは、 h/b の増加とともに静圧値 ($\bar{\psi}_s$) が増加し、それを超えると減少していくことが分かる。大流量点 ($\phi/\phi_d=1.4$) では、設計流量点と同様に h/b が0.4までは増加するが、それを超えると急激に減少していくことが分かる。小流量点 ($\phi/\phi_d=0.6$) では h/b の増加とともに $\bar{\psi}_s$ がわずかであるが徐々に増加していくことが分かる。設計流量点および大流量点で h/b が0.4を超えると静圧値が低下してくるの

図5 シュラウド壁面の静圧回復傾向 ($\phi/\phi_d=1.0$)

図6 ディフューザ出口の静圧値

は、主として案内羽根表面の摩擦による圧力損失が、しだいに増加し、案内羽根がディフューザ内流れを一様化することによる圧力損失の低減を上まわってくるためと考えられる。以上のことより、ディフューザ出口における静圧値で比較すると、案内羽根高さの最適値は h/b が0.4付近にあると言える。その場合の静圧回復量は、案内羽根なしの場合に比べて約10%増加する。この結果は、比速度 n_s が500の羽根車について行った吉永ら⁽¹⁾による実験とほぼ一致する。

4.2 ディフューザ内の速度分布 図7に、設計流量点 ($\phi/\phi_d=1.0$) における通路幅方向の速度分布の案内羽根高さ h/b による相違について示す。図7より、羽根付と羽根なしディフューザ ($h/b=0$) では、明らかにディフューザ内の減速過程が異なるが、案内羽根

図7 ディフューザ内の流れ分布 ($\phi/\phi_d=1.0$)

図8 通路幅方向 (y/b) の流れのひずみ

図9 羽根車からの周期的な速度変動の減衰

の高さ h/b による相違はほとんどないことが分かる。しかし図6で示したようにディフューザ出口の静圧値と比較すると案内羽根高さ h/b による相違がある。この原因として、ここで示したディフューザ通路幅方向の速度分布は、案内羽根と案内羽根のほぼ周方向中間位置 ($n/l=0.46$) の通路幅方向位置 y/b の計測値であることが考えられる。つまり、ディフューザ内の減速過程における圧力損失は、主に案内羽根表面およびディフューザ壁面と流体との摩擦による損失であると考えられ、この摩擦損失量の大小は、案内羽根およびディフューザ壁近傍の流れ状態に大きく依存すると考えられるからである。

通路幅方向の流れのひずみを表すために半径方向速度成分の流量平均値 $\bar{c}_{m2}$ と面積平均値 $\bar{c}_{m1}$ の比を速度ひずみ係数 B_r と定義すると、 B_r が1.0の場合は一様流れを表し、 B_r が大きくなるほど流れの非一様性が強くなることを表す。

図8に、案内羽根高さ (h/b) による速度ひずみ係数 B_r の半径方向位置 r_m/r_2 に対する変化の様子を示す。図8より、羽根なしディフューザ ($h/b=0$) では、 r_m/r_2

が1.1から1.2にかけて B_r の値が急激に増加することが分かる。これは、この区間で前報⁽²⁾に示したようにシュラウド側に逆流領域が表れてきたためである。羽根付ディフューザでは、案内羽根高さ h/b に無関係に B_r の値は、半径方向位置 r_m/r_2 とともに滑らかに増加するが羽根なしディフューザのような急激な増加は見られない。このことより、案内羽根のディフューザ内流れの一様化に及ぼす効果の大きいことが分かる。

4.3 ディフューザ内の速度変動 羽根車からの周期的な速度変動の大きさを絶対速度 c の変動の peak to peak 値 Δc と絶対速度 $\bar{c}$ の比 $\Delta c/\bar{c}$ で定義する。図9に、速度変動 $\Delta c/\bar{c}$ の半径方向位置 r_m/r_2 に対する減衰の様子を示す。図9より、速度変動 $\Delta c/\bar{c}$ は、羽根車の出口から半径方向位置 r_m/r_2 が1.1までは急激に減衰するが、それを超えるとほとんど減衰しないことが分かる。また、実験範囲内では、案内羽根の高さ (h/b) や実験流量点 (ϕ) などが変化しても、半径方向位置 r_m/r_2 の増加に伴う速度変動 $\Delta c/\bar{c}$ の減衰量に顕著な相違がない。これらのことより、羽根車からの周期的な速度変動の減衰に対する案内羽根の効果のないことが分かる。

5. 結 言

レーザ2焦点流速計を用いて、案内羽根の高さとディフューザ内流れとの関係について詳細に調べ以下のことを明らかにした。

(1) 案内羽根高さがディフューザ通路幅の40%の場合に最大の静圧回復量が得られ、案内羽根なしの場合と比べると、その静圧回復量は約10%増加する。

(2) 案内羽根は、ディフューザの通路幅方向にひずんだ流れの一様化に大きな効果がある。しかし、羽根車からの周期的な速度変動の減衰に対しては、顕著な効果がない。

(3) 羽根車からの周期的な速度変動は、羽根車の出口から急激に減衰するが、羽根車外径の1.1倍程度の位置から以降はほとんど減衰しない。

文 献

- (1) 吉永・ほか2名, 機論, 50-460, B (昭59), 2943.
- (2) 星野・ほか2名, 機論, 50-458, B (昭59), 2635.
- (3) Schodl R., Trans. ASME, J. Fluid Eng., 102-4 (1980), 412.
- (4) Krain H., Trans. ASME, J. Eng. Power, 103-4 (1981), 688.