B201 曲がりディフューザ内の流れの可視化と数値計算

近畿大学理工学部 山本全男[○]、松岡祥浩

青山邑里、小池昇

近畿大学大学院 松井広行、亀田耕吉

FLOW VISUALIZATION AND NUMERICAL CALCULATION IN THE CURVED DIFFUSER

Masao YAMAMOTO*, Yoshihiro MATSUOKA*, Yuri AOYAMA*, Noboru KOIKE*

Hiroyuki MATSUI** and Koukichi KAMEDA**

The purpose of this study is to clarify the flow pattern in the curved diffuser and to improve its performance.

In this study, the effects of the variation in interposed position of the guide vane in the curved diffuser and the existence of the straight duct connected at the rear of the curved diffuser on the flow pattern of the logarithmic spiral curved diffuser were clarified by the flow visualization using dye flow method, and their results were compared with the numerical solutions obtained by the finite element method.

As the results, it was found that the flow patterns obtained by the flow visualization almost agreed with numerical results, and especially, the performance of the curved diffuser was affected considerably by the interposed position of the guide vane.

1. 緒言

遠心型流体機械用曲がりディフューザの性能特性に影響を及ぼすものとして、ディフューザ内に案内羽根のそう入の有無、そう入位置の変化及びディフューザ出口に後方直管を接続するかしらないかなどが考えられ、これらの場合の流れや特性についてはすでに風洞実験によって明らかにした^{1)・2)}。

そこで、本研究においては、風洞実験によって得られた結果の確証を得るために、ディフューザ内の流れを色素流脈法によって可視化を行い、案内羽根のそう入の有無、そう入位置の変化及び後方直管の有無による流れのはく離状態を観察するとともに、さらに、性能の良好なディフューザ形状を数値計算によって予測することができるか否かの指針を得るために数値計算（有限要素法）による結果との比較も行っている。

* Dept. of Mech. Eng., Faculty of Science and Technology, Kinki Univ.,

3-4-1 Kowakae, Higashiosaka City, Osaka, 577

** Kinki Univ., Graduate Student

2. 実験装置及び方法

可視化の実験には図1に示す回流水槽(1100mm×1100mm×200mm)を用い, その水槽内に曲がりディフューザを取り付け, その直後の一点鎖線で示した後方直管は取り外しが可能となっている。

供試曲がりディフューザの形状は, 側面が対数らせん状の凹, 凸壁面と底部が平板とから成る開水路で, そのらせん角は $\beta = 20^\circ$ である。中心線に沿うディフューザ長さ L_0 は400mmであり, 凹, 凸壁面に接続する後方直管は, ディフューザ出口における中心線に接する方向とし, その長さはディフューザ入口幅と同一寸法としている。ディフューザ内にそう入される案内羽根の前縁は, ディフューザ入口から下流方向に40mmの位置と定め, 後縁はディフューザ出口と一致させている。

図2には測定用曲がりディフューザの凹, 凸両壁面と4種類の案内羽根のそう入位置を実線で示し, 表1にはディフューザ各部の寸法を示す。

表2は案内羽根のそう入位置を示したもので, ディフューザ凸壁面から測ってそれぞれの案内羽根そう入位置までの距離 b を入口幅 B_1 で割って無次元化した値 b/B_1 で示している。可視化実験及び数値計算は, とともに, これら案内羽根のそう入位置を変えたものと後方直管の有無の場合とを組み合わせたものについて行っている。

流速及び流量は, 電磁流量計からマイクロコンピュータにより求めるものと, 入口助

Fig. 1 Layout of the experimental apparatus

Fig. 2 Geometry of the experimental curved diffuser

Table 1 Dimensions of every part of the experimental curved diffuser

Diffuser Notation	No.20400
L_0	400.00
B_2	160.40
B_1	79.58
r_0	178.19
r_{75}	156.46
r_{50}	135.00
r_{25}	113.94
$r_{18.75}$	108.76
r_i	93.50

unit : mm

Table 2 Interposed position of the guide vane

Diffuser No.	Position of guide vane b/B_1
20400	0
	0.1875
	0.25
	0.50
	0.75

走区間での色素による流跡の移動距離を時計で測定したものの両方から求め、それらの値を基準としてレイノルズ数 Re を算出し、 $Re = 300, 500, 1000$ の 3 種類としている。

色素の注入はディフューザ入口の上流 150mm の位置に点滴用の器具を用いて、 $\phi 0.8$ mm のステンレス針を等間隔に 5 点配置し、ダイヤモンドフクシン（赤色）とメチレンブルー（青色）の水溶液を流路内に流入させ、色素流脈法により可視化を行っている。

3. 数 値 計 算

数値計算においては、下記の 2 次元非圧縮性流れの Navier-Stokes の運動方程式及び連続の式を基礎方程式として有限要素法により流れ関数を求める。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

また、有限要素法による曲がりディフューザの計算モデル、境界条件及び流れ図を図 3 に示す。なお、C D E F は後方直管部である。有限要素メッシュ（要素数、節点数）は、案内羽根のそう入位置により多少異なる。計算を行ったレイノルズ数は可視化実験と同じ $Re = 300, 500, 1000$ の 3 種類としている。

4. 結 果 及 び 考 察

図 4 (a), (b) ~ 図 8 (a), (b) は可視化及び数値計算による結果を示したもので、流れの可視化による結果を示した図 (a) における凹、凸両壁面の数字は、ディフューザ入口を基準としてディフューザ凹、凸壁面に沿って測った任意の距離 l をそれぞれのディフューザ出口までの距離 L で割って無次元化した値 l/L を示す。また、図 (b) は数値計算で得られた流れ関数 ψ を示し、入口直

Fig. 3 Finite element mesh and Flow chart

管部と曲がりディフューザと接続部は実線で示している。

4. 1 Re 数の変化による流脈及び流線について

図4～図6は案内羽根がなく, Re 数を変えたときの流脈及び流線を示したものである。凸壁面に近い流脈を見ると, Re 数が低い 300 の場合は, ディフューザ出口まで比較的凸壁面に近い流れを示すのに対して, $Re = 1000$ の場合の流脈は凸壁面を離れはく離領域が大きくなっている。また, はく離点はほぼ $l/L = 0.15$ 付近で Re 数の変化による差異はほとんど見られない。

Fig. 4 $b/B_1 = 0$ $Re = 300$

Fig. 5 $b/B_1 = 0$ $Re = 500$

Fig. 6 $b/B_1 = 0$ $Re = 1000$

つぎに、図4～図6の(b)の数値計算によって得られた流れ関数 $\psi=1.0$ の線と凸壁面とで囲まれた領域及び $\psi=0.0$ と凹壁面とで囲まれた領域は流れがはく離を起こしている領域であり、 Re 数の増加にともなってこの領域は増大していることがわかる。

これは図(a)の流れの可視化による流脈と比較して傾向がよく一致していることがわかる。

4.2 案内羽根のそう入及び後方直管の有無の影響について

案内羽根のない図5(a)と案内羽根を $b/B_1 = 0.25$ の位置にそう入した図7(a)とを比較すると、凸壁面近くに案内羽根をそう入したときの流脈は出口まで凸壁面に沿った流れとなり、はく離領域が小さく、はく離点は $L/L = 0.3 \sim 0.35$ 付近となり、この場合も Re 数の変化による差異はほとんど見られない。

数値計算による図5(b)と図7(b)とからも同様の結果を示していることがわかる。

図9は風洞実験によって得られた案内羽根のそう入位置の変化に対するディフューザ効率 η を示したものであるが、案内羽根を $b/B_1 = 0.2$ 付近にそう入した場合の効率が良好となっており、可視化実験及び数値計算からもこのことが実証できる。

Fig. 7 $b/B_1 = 0.25$ $Re = 500$

Fig. 8 $b/B_1 = 0$ (with rear duct) $Re = 500$

つぎに、図8(a)は案内羽根がなく、ディフューザ出口に後方直管を取り付けたときの流脈を可視化したもので、ディフューザ出口付近の流脈は凹壁面側に偏り、後方直管のない場合と比べて凸壁面側のはく離領域が大きくなっている。これは、図2からもわかるように、凸壁面側出口に接続した直管部の方向がディフューザ出口における中心線に接する方向と平行であるために凸壁面側の流脈が凹壁面側に偏ったものと考えられる。

この傾向は数値計算による流線にも同様の結果が現れている。

風洞実験においては、後方直管を接続する方が圧力回復が良好で高いディフューザ効率を得られた²⁾

が、可視化実験においては逆にのはく離領域が大きくなったのは次の理由によるものと思われる。

すなわち、風洞実験においてはディフューザ入口と出口の圧力及び凹、凸壁面に作用する圧力も異なり、したがって入口から出口に向かって圧力勾配が変化するので対して、本実験においては、開水路すなわち、自由表面をもつ場合の曲がりディフューザ内の流れを可視化したもので、圧力は入口から出口まで全て一定となっていることがその原因であると考えられる。

5. 結 言

曲がりディフューザ内の流れの状態を色素流脈法を用いて流れを可視化し、数値計算により求めた流線とを比較をして、次の結果を得た。

(1) ディフューザ入口の流れが一様流れの場合の流れの可視化による流脈と数値計算による流線は比較的良好一致し、今回求めた Re 数の範囲では、 Re 数が大きいものほど凸壁面での流れのはく離点が上流側に移り、はく離領域も増大する。

(2) 対数らせん壁をもつ曲がりディフューザにおいては、案内羽根を凸壁面に近い位置、 $b/B_1 = 0.2$ 付近にそう入することで凸壁面側に生じるはく離を抑える効果が得られ、風洞実験で得られたディフューザ効率の上昇を明確にすることができた。

(3) ディフューザ出口に後方直管を設けることによる効果は本実験においては現われず、今後は、入口から出口に向かって圧力の変化をとともなう閉じた水路についての可視化を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) 山本・松岡他2名, 日本機械学会論文集, B47巻416号, 602-609
- 2) 山本・松岡他2名, 日中水力機械論文集, (昭59), 469-477

Fig. 9 Diffuser efficiency versus interposed position of the guide vane