208 曲がりディフューザ内の流れの可視化と数値計算 (対数らせん角の変化による影響)

近畿大 山本 全男, 松岡 祥浩, 近畿大 院 有川 克巳[○]
近畿大 青山 邑里, 小池 昇

Flow Visualization and Numerical Calculation in a Curved Diffuser
(Effects of Variation in Logarithmic Spiral Angle)

Masao YAMAMOTO *, Yoshihiro MATSUOKA *, Katsumi ARIKAWA **,
Yuri AOYAMA * and Noboru KOIKE *

In this study, the effects of the variation in the logarithmic spiral angle of the curved diffuser on the flow pattern are clarified by the flow visualization, and their results are compared with the numerical solutions obtained by the finite element method. And the difference of flow patterns between the open channel and the closed channel is clarified.

As the results, it was found that the flow patterns using closed channel by the flow visualization agreed comparatively with numerical results, and the performance of the curved diffuser was affected considerably by the logarithmic spiral angle, especially, the flow pattern indicated the desirable value, when the spiral angle β was in the region of about from 20° to 25° .

1. 緒言

対数らせん形状をもつ曲がりディフューザの性能特性に及ぼす影響として、案内羽根のその入の有無⁽¹⁾や入口形状⁽²⁾など種々の要因が考えられるが、対数らせん角の違いについては、既に前報⁽³⁾において開水路での報告を行っている。

そこで今回は、圧力勾配を有する閉水路の場合について、らせん角の異なる種々の曲がりディフューザを用いて、入口直管部の速度分布を一樣な流れとし、色素流脈法による可視化を行うことで曲がりディフューザ内の流れの状態やそれに伴う諸現象を明らかにするとともに、閉水路と開水路による流れの違いも同時に明らかにしている。

また、曲がりディフューザ内の流れを数値計算によりシミュレートし、色素流脈法により得られる流脈と数値計算により得られる流線との比較検討を行うとともに、性能の良好な曲がりディフューザの形状を予測することを目的としている。

2. 実験装置及び方法

可視化の実験は、前報で用いた回流水槽を開水路型から閉水路型循環式水槽に変更したものを用い、その概略を図1に示す。本実験に用いた供試用曲がりディフューザの形状は、図2に示すように、対数らせん形状をもつ凹、凸壁面と2枚の平行平板からなる閉水路型とし、そのらせん角は $\beta = 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ 及び 30° の4種類である。また、出口幅 $B_2 (= 80\text{mm})$ は入口幅 $B_1 (= 40\text{mm})$ の2倍の一定としている。表1には、可視化実験に用いたディフューザの各部寸法を示している。

* Dept. of Mech. Eng., Faculty of Science and Technology, Kinki Univ.,
3-4-1 Kowakae, Higashiosaka City, Osaka, 577

** Kinki Univ., Graduate Student

Fig.1 Layout of the experimental apparatus

流速及び流量の測定は体積流量法により求め、レイノルズ数 Re を算出している。なお、今回実験を行ったレイノルズ数は $Re = 100, 300, 500$ の 3 種類である。

可視化は色素流脈法により行い、注入する色素にはダイヤモンドフクシン(赤色)とメチレンブルー(青色)の水溶液を図 2 に示す 1-1 断面より流路内に注入している。

Fig.2 Geometry of the experimental curved diffuser

Table 1 Dimensions of curved diffuser

Logarithmic spiral angle β	15°	20°	25°	30°
L_o (mm)	259.03	194.92	156.54	130.96
r_i (mm)	46.79	46.22	45.43	44.41
r_o (mm)	88.21	88.78	89.57	90.59
θ (°)	147.49	108.14	83.94	67.29

3. 数値計算

数値計算においては、二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ている。また、計算を行ったレイノルズ数は可視化実験で得られたものと同じ Re 数、すなわち、 $Re = 100, 300, 500$ である。

4. 結果及び考察

4.1 Re 数の変化による影響

図 3 (a), (b) は、らせ線角 $\beta = 25^\circ$ における可視化による結果を示したもので、図(a)は $Re = 100$ 、図(b)は $Re = 500$ の場合である。図(a)の $Re = 100$ において、凸壁面に近い流脈はディフューザ出口まで比較的凸壁面に沿った流れとなっているのに対し、図(b)の $Re = 500$ の流脈は、凸壁面から離れてはく離領域が大きくなっている。

また、図 4 (a), (b) の数値計算による流れ関数は、図 3 と同様、らせ線角 $\beta = 25^\circ$ のものである。 Re 数に関係なく入口直管部では壁面に平行であるが、凸壁面側において、流れ関数 $\psi = 1.0$ の線と凸壁面とで囲まれたはく離領域は、 Re 数が 100, 500 と高くなるにつれて、はく離領域の開始点が上流側に移行し、はく離領域も大きくなっている。これらは、図 3 (a), (b) の可視化による流脈とその傾向がよく一致している。

Fig.3(a) $\beta = 25^\circ$, $Re = 100$

Fig.3(b) $\beta = 25^\circ$, $Re = 500$

Fig.4(a) $\beta = 25^\circ$, $Re = 100$

Fig.4(b) $\beta = 25^\circ$, $Re = 500$

また、図4(a)の $Re=100$ のものは、ディフューザ出口付近にわずかにはく離領域が見られるが、これも、可視化により得られる流脈と比較的よく一致しているといえる。

4.2 ら線角の違いによる影響

図5(a)～図5(c)はらせ線角がそれぞれ $\beta = 15^\circ$ 、 20° 及び 30° の可視化による結果を示したもので、 $Re = 500$ の一定としている。いずれのらせ線角においても、ディフューザ入口前方ですでに曲がりの影響により凸壁面側に偏った流れとなっている。これは風洞実験ですでに確認している⁽⁶⁾。その後、凸壁面に近い流脈は、入口直後の $r/L = 0.1$ 付近から凸壁面より離れ始め、らせ線角 β の小さいものほど凹壁面側に偏っている。特に、らせ線角の小さい $\beta = 15^\circ$ の場合は、はく離の領域も大きいことがわかる。一方、凹壁面に近い流脈は、らせ線角が大きいものほど凹壁面側への

Fig.5(a) $\beta = 15^\circ$, $Re = 500$

偏りが小さく, $\beta = 30^\circ$ の場合は境界層が厚くなっていることがわかる. これらは, 前報で示した数値計算ともよく一致しており, 今回実験を行った閉水路による可視化の結果から判断して, 線角 $\beta = 25^\circ$ の曲がりディフューザが良好であることがわかる.

4.3 閉水路と開水路の違いの影響

図6は, $\beta = 30^\circ$ のディフューザにおいて, 開水路の場合の可視化による結果⁽³⁾を示したものである. 図5(c)の流脈と比較すると, 図6の開水路の場合は, 凸壁面側のはく離領域が小さくなっていることがわかる. また, 凹壁面側の流脈は, 閉水路の可視化で見られた境界層の発達が見られない. これは, 開水路では, 圧力は入口から出口まで一定であるため, 粘性のみのはく離が現れるのに対して, 閉水路の場合は下流への圧力勾配の上昇も関係するためであり, 数値計算ともよく一致することがわかる.

5. 結言

(1) 同じ線角では Re 数の大きいものほど, また, 同じ Re 数では線角の小さいものほど凸壁面側のはく離領域が大きくなり, 可視化による流脈と数値計算により得られる流線とは, Re 数の低い場合を除いて比較的よく一致する結果を得ている.

(2) 閉水路の場合は, 開水路と比べて凸壁面側のはく離領域が大きく, 凹壁面側の境界層の発達も見られ, 数値計算ともよく一致している.

(3) 本研究で行った流れの可視化及び数値計算から, 良好なディフューザ性能を示す対数線角 β は 20° から 25° の範囲であると予測することができる.

参考文献

- 1) 山本・松岡他4名, 流れの可視化講演論文集Vol. 10 Suppl. No. 2
- 2) 山本・松岡他3名, 第19回可視化シンポジウム講演論文集Vol. 11 Suppl. No. 1
- 3) 山本・松岡他2名, 第20回可視化シンポジウム講演論文集Vol. 12 Suppl. No. 1
- 4) 山本・松岡他3名, 日本機械学会関西支部第252回講演論文集No. 934-4
- 5) 山本・松岡他3名, 日本機械学会論文集, B58巻555号

Fig.5(b) $\beta = 20^\circ$, $Re = 500$

Fig.5(c) $\beta = 30^\circ$, $Re = 500$

Fig.6 $\beta = 30^\circ$, $Re = 500$ (open channel)