

流体の方向転換を伴う諸問題

——第4報 ディフューザーの流体力学的特性——

緒方正幸*・上松順二**

1. 序

実在する流体には粘性があるため流れの方向転換を行えば複雑な現象が生じまた文献にない現象が多く存在する。この現象の追跡を目的として今までに (i) 「JIS Screw Elbow の流体力学的特性」^{(1),(2),(3),(4)}, (ii) 「翼列及び壁面より形成される流路の流体力学特性」^{(5),(6),(7)}, (iii) 「ディフューザーの流体力学的特性」の課題で実験を行ってきた。今年度は昨年度に引き続き (ii) と (iii) の課題を行い (ii) の課題を卒業研究生 小川淳, 岡部功, 谷和彦, 金子裕光, 細井永二, (iii) の課題を海道裕之, 佐々木毅行, 田原透諸君の手で実施した。

本報告ではレイノルズ数とディフューザーの広がり角度について文献には見られない現象が明らかにされたので (iii) の「ディフューザーの流体力学的特性」について以下に記す。

ディフューザーにおいてはできるだけ様な速度分布の状態での入口側における流体の有する運動エネルギーを減少させ圧力エネルギーに変換させることである。

ところで広がり角度を大きくすればディフューザーの寸法を短かくすることが可能だがあまり過大にすると減速流に伴って流路壁面上に境界層が形成される, 主流が十分な運動エネルギーをもって流れていても主流よりもゆっくりと流れている境界層内の粒子はさらに減速され不規則となって乱れを生じ, ついには停止したり逆流を起したりしてはく離の発生原因となり効率を低下させる。

このはく離を防止するためにいろいろと工夫されている, 例えば, 入口上流壁に境界層トリップを設ける方法で, 入口壁面における乱れの増加を計る⁽⁸⁾, 環状ディフューザーにおいて入口に格子を入れ流れを乱す作用それに入口外壁にスポイラを設けることにより乱れの度合の増加を計る⁽⁹⁾それに部分金網をディフューザー内に入れる方法で壁面付近の主流速度を増加して速度分布の均一化を計ったりして⁽¹⁰⁾効率を改善している。

又, レイノルズ数を高めることもはく離を防止する効果をもつことが言われていることから, 他の文献 (8), (9), (10) でレイノルズ数がそれぞれ 2.2×10^5 , 2.0×10^5 , 2.4×10^5 という値であるのに対して, 当実験では 5.48×10^5 という高い値まで種々にとれる装置, すなわち, 他の文献では見られない様な広がり角度が $2\theta=0^\circ$ から $2\theta=50^\circ$ まで種々変えられる装置を設計し, 昭和56年度～昭和58年度の経常費補助金により製作し研究を行った。

* 理工学部機械工学科助手 流体工学

** 理工学部機械工学科教授 流体工学

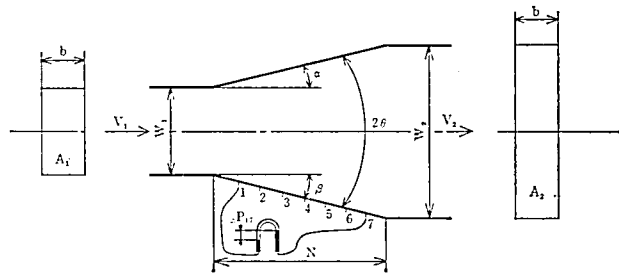


図 1 二次元ディフューザー

2. 記 号

W : ディフューザー高さ

b : ディフューザー幅

A : 流路断面積

AR : 面積比 A_2/A_1 , $AR=1+2\left(\frac{N}{W_1}\right)\tan\theta$

N : ディフューザー軸方向長さ

2θ : ディフューザー広がり角度

2θ : 等価広がり角度

α : 上壁の広がり角度

β : 下壁の広がり角度

Δp : オリフィス圧力差

ΔP_{1-7} : 静圧孔 1, 7 間の圧力差

V : 流速

Q : 流量

Re : レイノルズ数 $Re=\frac{V \cdot b}{\nu}$

ν : 動粘性係数

添 字

1. 入口部

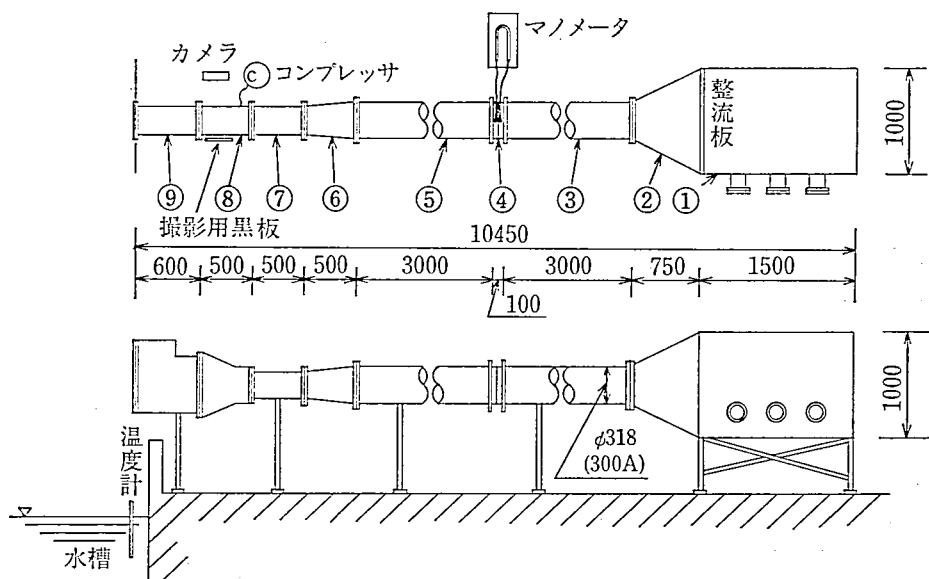
2. 出口部

3. 実験装置並びに実験方法

3.1. 実験装置

実験装置は図 2 に示す。流体はサージタンク、整流板より長さ 750 mm 絞り率 0.07 の縮流管へと流れ、オリフィスをはさんだ上流、下流共に 3000 mm (直管直径の 10 倍) の直管に続き、増速作用、境界層厚さ減少作用のため長さ 500 mm 絞り率 0.55 の縮流管を通りテスト管へ流れる。このテスト管においても同様の作用のため長さ 100 mm 絞り率 0.62 の縮流部を入口にもうけている。

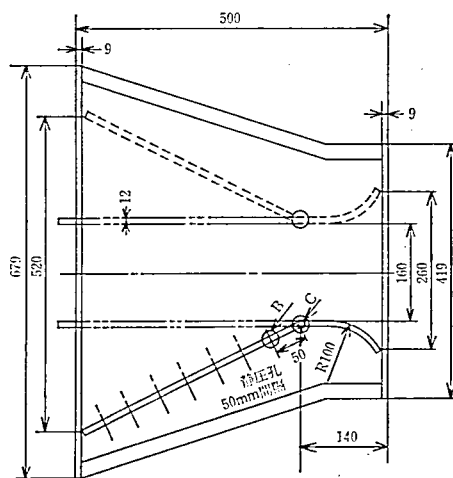
テスト管は図 3a に静圧孔の拡大は図 3b にそれぞれ示す。テスト管の両側面は流れ模様が可視出来る様にアクリル板を使用している。広がり角度は上・下壁が単独に $0^\circ \sim 25^\circ$ まで 1° ごとに任意に調節可能である。上下壁と入口部の接続を図 3c に示す。角度が変化



	長さ (mm)	入口面積 (a_1)	出口面積 (a_2)	絞り率 (a_2/a_1)
2. 縮流管 I	750	1000×1000	$\pi \times 300^2/4$	0.071
6. 縮流管 II	500	$\pi \times 300^2/4$	260×150	0.552
8. テスト管縮流部	100	260×150	160×150	0.615

1 サージタンク 2 縮流管 I 3 直管 4 オリフィス 5 直管 6 縮流管 II
7 整流管 8 テスト管 9 出口管

図 2 実験装置



材質はアクリル板

図 3a テスト管

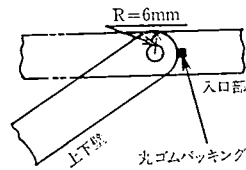


図 3c ディフューザー入口部

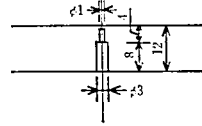


図 3b 静圧孔拡大

してもスムーズな壁面である様に工夫した。上下壁を同角度にした時の広がり角度 (2θ) と面積比 (AR), 等価広がり角度 (2θ) を図 4 に示す。静圧孔は上下壁の中心線上にディフューザー入口より 50 mm ごとに孔径 1 mm でそれぞれ 7 ケ所設けている。

3.2. 実験方法

実験はオリフィス圧力差 $\Delta p = 110 \text{ mmAq}$ (流速 $V \approx 2.1 \text{ m/s}$, レイノルズ数 $R = 3.51 \times 10^5$) から $\Delta p = 270 \text{ mmAq}$ (流速 $V \approx 3.3 \text{ m/s}$, レイノルズ数 $R = 5.48 \times 10^5$) までの間で行なった。

流れに気泡のない状態になったことを確認してからディフューザー広がり角度を決め、ディフューザーの壁面静圧分布を上下壁面を設けられている静圧孔を用いて測定する。又は、はく離の状態を詳しく観察するために静圧孔より空気を流入し気泡の流れ模様を可視した。流入空気はすべての静圧孔より注入したが通路内で流れがはく離するか否かを判断するた

広がり角度		面積比	等価広がり角度	
θ	2θ	AR	θ	2θ
0	0	1.00	0	0
5	10	1.39	2.1	4.2
10	20	1.79	3.6	7.1
15	30	2.21	4.6	9.2
20	40	2.64	5.4	10.7
25	50	3.10	5.9	11.9

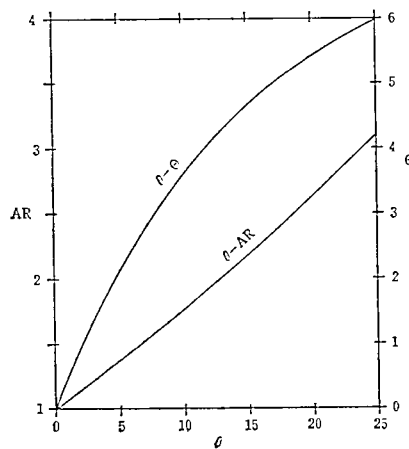


図 4 ディフューザー広がり角度と面積比, 等価広がり角度

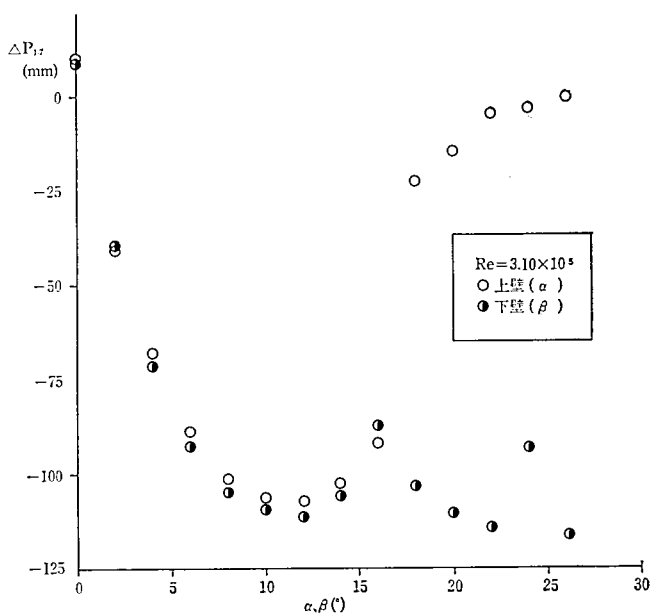


図5 ディフューザー上下壁広がり角度 (α, β) と静圧差 (ΔP_{1-7})

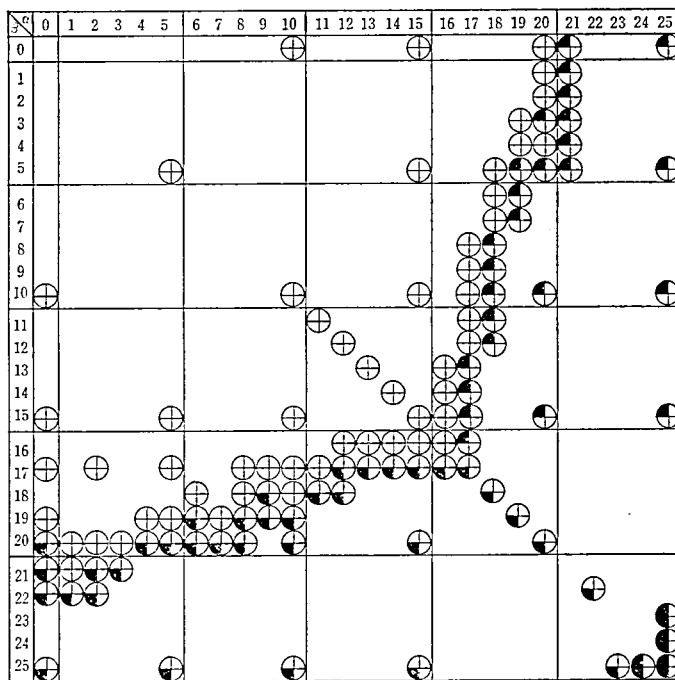
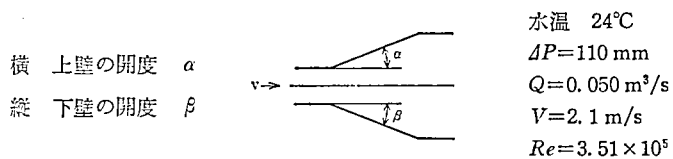


図6 はく離面度計測結果 (その1)

めであり混み入った流線を見るよりもはく離の発生を考えて最上流孔のみとした。

4. 計測記録の解析

各流量ごとに上下壁を変化させ静圧孔 1.7 間の圧力差を Δp_{1-7} とし図 5 に広がり角度

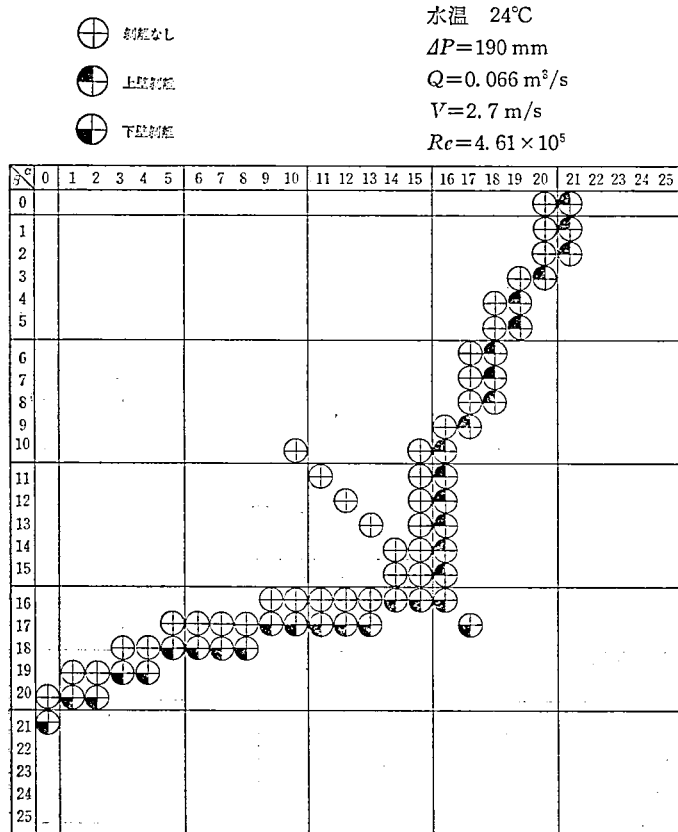


図 7 はく離角度計測結果 (その 2)

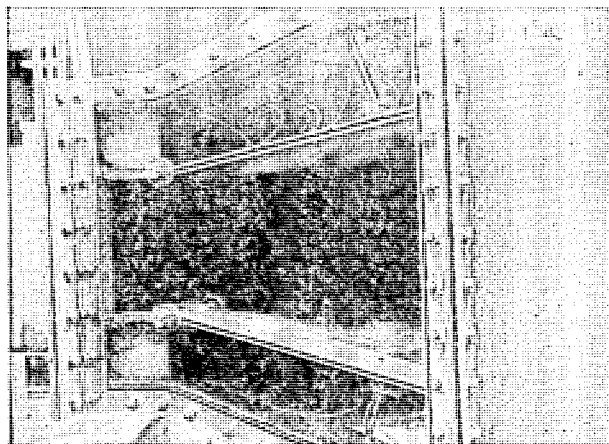
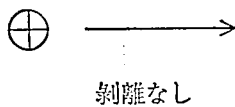
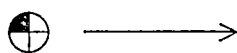


写真 1 a



剥離発生
(上壁側)

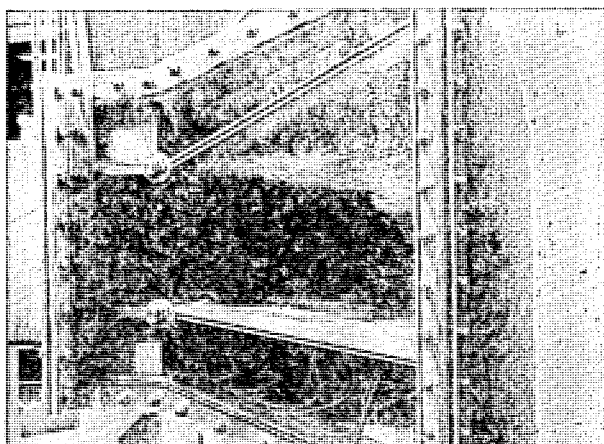


写真 1b



剥離発生
(下壁側)

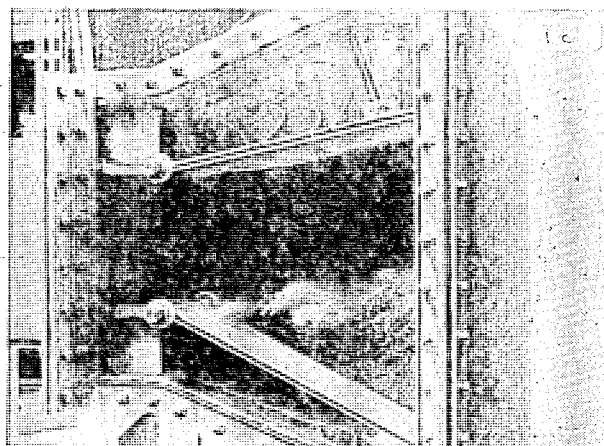


写真 1c



両側壁剥離

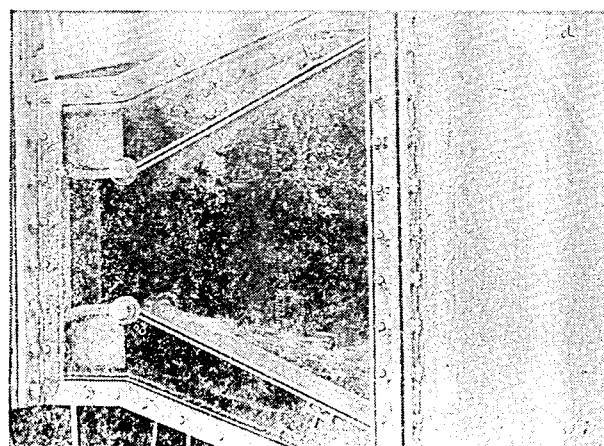


写真 1d

写真 1 流れ模様

水温 24°C $\Delta P=270$ mm $Q=0.078$ m³/s
 $V=3.3$ m/s $Re=5.48 \times 10^5$

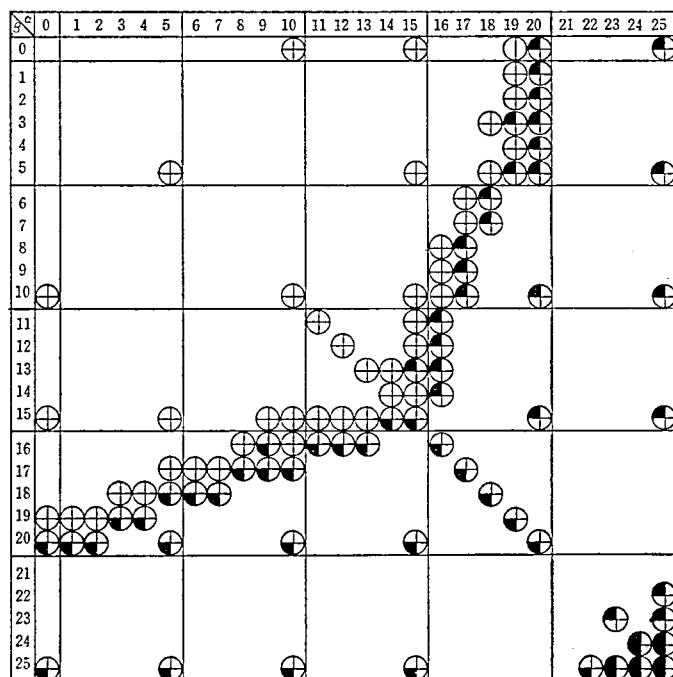


図 8 はく離角度計測結果 (その 3)

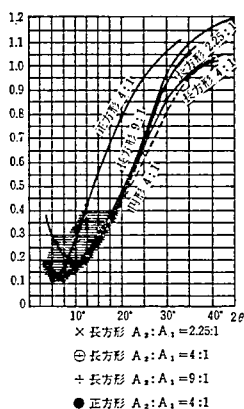


図 9 ξ の値 (長方形広がり管) 機械工学便覧より (第 4 版)

α, β との関係を一例として示す。その結果, 上下壁とも広がり角度が大きくなるに従い差圧も大きくなり, 12° で共に極小値を示し, 以降大きくなるが 16° から 18° に増加すると上壁では差圧 -92 mm から -23 mm に急増加し, 下壁では差圧 -87.5 mm から -103 mm に減少するという現象が表われる。この付近の流れのはく離が存在していると考え, この流れのはく離の存在を明確にするため空気を流入して可視化し調査した結果を図 6, 7, 8 に示す。尚, 図中の記号は写真 1 の状態を示す。

図 6, 7, 8 より得られたはく離の発生最大のディフューザー広がり角度は $Re=3.51 \times 10^5$ で $2\theta=34^\circ$ ($2\theta=9.8^\circ$), $Re=4.61 \times 10^5$ で $2\theta=32^\circ$ ($2\theta=9.5^\circ$), $Re=5.48 \times 10^5$ で $2\theta=30^\circ$ ($2\theta=9.2^\circ$) となった。この値は図 9 に示す機械工学便覧の長方形断面の場合 $2\theta=11^\circ$ 又、円形断面の場合 $2\theta=5.5^\circ$ と示されている値よりも上まっており効率の良さを示している。

しかし、良い効率を示しているがこの実施したレイノルズ数領域内においてはレイノルズ数が増加すると共にディフューザー広がり角度が減少するという現象である。これは「レイノルズ数増加と共に広がり角度増加」という事と逆の現象である。これについては今後の境界層の特性研究、ディフューザー出入口の速度、圧力分布の調査を行ない追跡する必要がある。

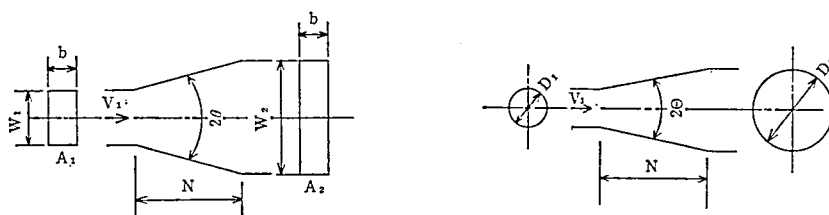


図 10 等価広がり角度

等価広がり角度 (2θ) は次の様に算出した。

図 10 に示した入口、出口の長方形断面を円形断面に等価換算した直径 D_1 , D_2 を (1) (2) 式より計算する。

$$D_1 = \frac{4A_1}{S_1} \quad \dots\dots(1)$$

$$D_2 = \frac{4A_2}{S_2} \quad \dots\dots(2)$$

ここで D : 等価直径

A : 断面積

S : 周長さ

等価広がり角度は (3) 式により求まる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(D_2 - D_1)/2}{N} \quad \dots\dots(3)$$

5. む す び

計測結果並びに今後の課題についてまとめる。

- (i) $Re=5.48 \times 10^5$ という高いレイノルズ数が得られた。それによりはく離の生ずるディフューザ広がり角度も日本機械工学便覧による $2\theta=11^\circ$ と比較して大きな $2\theta=30^\circ$ という値を得た。
- (ii) 実施した高いレイノルズ数領域内 ($Re=3.51 \times 10^5 \sim 5.48 \times 10^5$) においてはレイノルズ数増加と共にはく離の生ずるディフューザー広がり角度は $2\theta=34^\circ$ から $2\theta=30^\circ$ と減少している。これはレイノルズ数増加と共に広がり角度が増加すると言われているが逆の現象を起こしている新事実を見つけた。

今後の課題については

- (i) 境界層内の流体の混合を促進しはく離を遅らせるうえで効果があるディフューザの流路壁面の粗度について検討し、通路内で流れがはく離するか否か、それと同時にはく離が生ずるればどの位置で起るかを壁面の粗度、レイノルズ数、ディフューザ広がり角度との関係を調査する。
- (ii) ディフューザー内の境界層の計測装置、並びにディフューザー出入口の速度、圧力分布の計測装置の導入により境界層、ディフューザー効率、レイノルズ数との関係を調査する。

最後に協力頂いた坪内洋之介、西川孝諸氏に謝意を表わす。

参考文献

- (1) 緒方・上松「JIS Screw Elbow の流体力学的特性」明星大学研究紀要, 第16号昭和55年3月.
- (2) 緒方・上松「管継手の特性」(第1報ねじ込みエルボの圧力損失発生機構の一考察—その1) 日本機械学会 No. 810-8 昭和56年8月.
- (3) 緒方・上松「流体の方向転換を伴う諸問題 (第2報)」明星大学研究紀要第18号昭和57年3月.
- (4) 緒方・上松「流体の方向転換を伴う諸問題 (第3報)」明星大学研究紀要第19号 昭和58年3月.
- (5) 緒方・上松「流体の方向転換を伴う諸問題」明星大学研究紀要第17号 昭和56年3月.
- (6) 緒方・上松「翼列及び壁面により形成される流路の性能改善」(第1報 改良翼I形の性能調査) 日本機械学会 No. 810-6 昭和56年4月.
- (7) 緒方・上松「軸流圧縮機翼列の性能改善」(第1報 二種の改良翼翼列の失速点の改善) 日本機械学会 No. 827-2 昭和57年10月.
- (8) J. Ashjaee, J.P. Johnston, Straight-Walled, Two-Dimensional Diffusers-Transitory Stall and Peak Pressure Recovery. Trans. of the ASME Journal of Fluids Engineering Sept. 1980 Vol. 102 p 275.
- (9) S.T. Stevens, G.J. Williams, The Influence of Inlet Condition on the Performance of Annular Diffusers. Trans. of the ASME Journal of Fluids Engineering Sept. 1980 Vol. 102 p 357.
- (10) N.L. Kachhara, J.L. Livesey, P.L. Wilcox, An Initial Approach of the Design of Very Wide Angle Axisymmetric Diffusers with Gauzes to Achieve Uniform Outlet Velocity Profile. Trans. of the ASME Journal of Fluids Engineering 1977 Vol. 99 p 357.