

流体の方向転換に伴う諸問題

——第6報 翼列通路内の流れについて——

緒方正幸*・上松順二**

Fluid dynamic with regard to the change of course

6th reports A consideration of the flow pattern in cascade

by Masayuki OGATA and Junji UEMATSU

1. 序

流れが方向を変えられれば、流体には粘性があるためはく離が生じる。このはく離は理論的な説明が出来ないため未知の分野が多く実験を行なえば新事実の発見につながる。筆者らは昭和54年以来この問題に関する実験研究を進めて来ている。すなわち「JIS Screw Elbowの実験」⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾においては設備的に旋回を発生する要因は考えられないにもかかわらず、第1エルボと第2エルボの間で文献にない旋回が生じている事を発見している。「翼列の実験」⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾では二次流に伴って翼背側の壁面沿いに渦流を生じ、この渦流域においては渦にエネルギーを取られるために圧力に回収出来るエネルギーが小さくなると言われている。この改善方法として翼前縁の壁面部にテーパのついた突起を設けた翼を考案し、渦流域にエネルギーの豊富な中央部の主流からエネルギーを分岐補充し性能改善を行なった。「ディフューザの実験」⁽⁸⁾では高レイノルズ数が得られるディフューザ装置を設計し、これにより壁面の静圧分布並びに可視化法により最適ディフューザの開度とはく離発生開度を求めた。ここでレイノルズ数が大きくなればはく離発生開度は一般的に乱れ度が増大し大きくなる傾向があると言われるけれども、実際は必ずしもレイノルズ数増加とはく離発生開度が傾向的に一致するものではないということを発見した。「渦の特性について」⁽⁹⁾では円筒形容器内で渦を発生させた時の渦の特性すなわち渦度、運動エネルギー、渦糸径の変化を調査した所、渦度は壁面の摩擦抵抗並びに計器支持棒の抵抗の影響を受けて低下率が大きい、運動エネルギーは余り失なわれないため渦糸径は小さくなることを発見して来た。

今年度は上記発見並びに改善の実態調査、改善効果の確認のため次の通りの内容に取り組んでいる。

- (1) JIS Screw Elbow の圧力損失発生機構の調査中に旋回を発生することを発見したが、旋回発生は文献にない現象でありその実態を調査する。

* 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

- (2) 減速翼列の失速発生機構の調査として考案した改善翼の効果の確認。
 (3) (2)の改善案を単段軸流送風機に適用し効果を上げたが、その効果を具体的に把握する。

本報告では上記内容の中の(2)の実験の一部として得られた翼列通路内の油膜法による流れ模様の解析結果をまとめた。

2. 実験設備

使用した翼列風洞実験設備を図1に示す。翼は図2の様に取付ける、ソリディティ $S=1$ 、取付角 $\xi=30^\circ$ である。

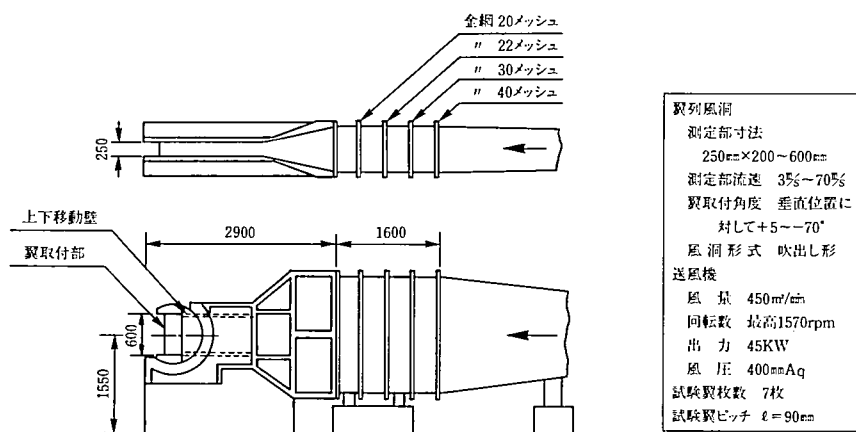


図1 実験設備

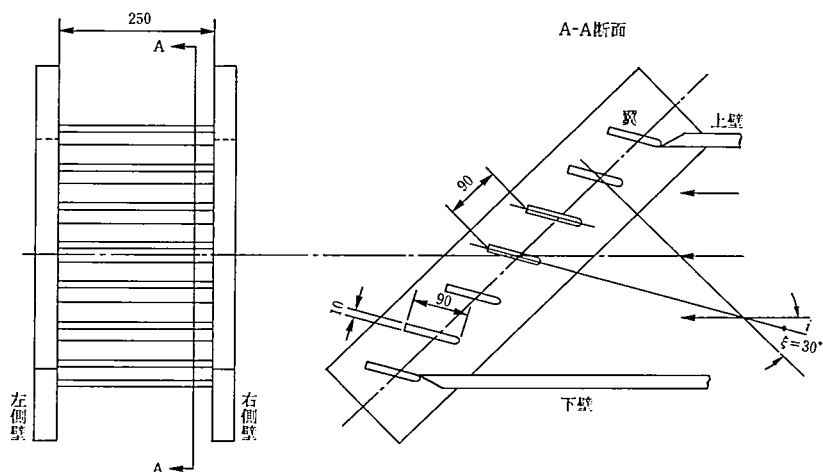


図2 翼の取付け、各部寸法

風洞特性として、風洞出口断面で翼列を置かない時で風洞に組を込まれている金網を清掃した直後の流速分布並びに乱れ度分布を図3に示す。境界層の厚みが左右で多少異なり、その速度90%までの厚みは風洞幅に対して風洞出口から上流に向って左側で2.4%、同じく右側で3.4%である。

- ここで
- u：計測点における流速 [m/s]
 - Ucenter：風洞中心点における流速 [m/s]
 - v：熱線流速計により計測された計測点における変動流速 [m/s]
 - V：熱線流速計により計測された計測点における平均流速 [m/s]

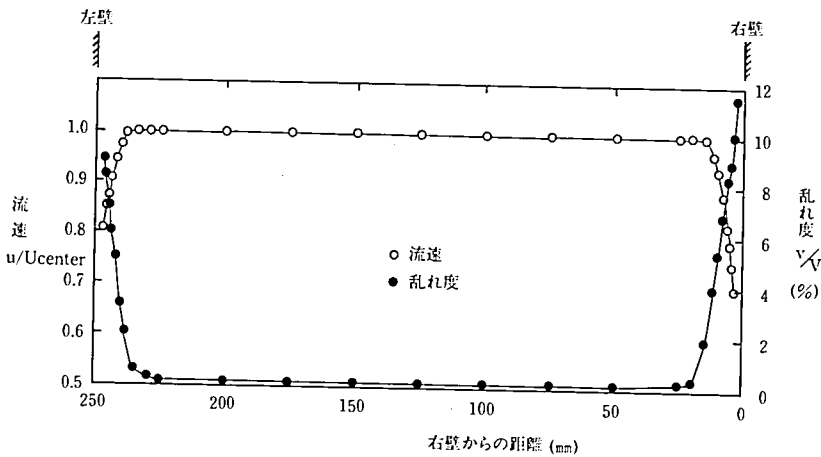


図3 風洞特性
風洞出口部の水平方向の流速分布並びに乱れ度分布（中心位置）
（風洞出口から上流に向って示す）

3. 実験方法

図2の様に平板翼を取付けて、表1に示した組成の油膜液を翼面並びに壁面にむらのない様に刷毛塗る。翼面並びに壁面はあらかじめ、黒色のペイントで着色し鮮明に可視出来る様にした。

出口流速 57.5m/s で運転し、約 6 分間流れにさらして流跡の写真撮影を行なう。

油	流動パラフィン	100g
顔料	酸化チタン	67g
添加剤	オレイン酸	13g

表1 油膜の組成

4. 実験記録の解析

図4の翼列特性より見て、最高圧力係数を得る迎え角 $i=14^\circ$ において、流速 $u=57.5\text{m/s}$ 、レイノルズ数 $Re=3.23\times 10^5$ の条件で得られた油膜の流跡写真と流跡図を図5～図9に示す。

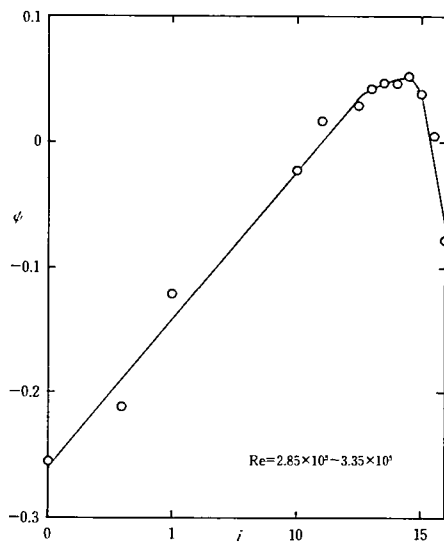


図4 翼列性能特性



$i=14^\circ$ $u=57.5\text{m/s}$ $Re=3.23\times 10^5$

図5-1 右壁面流跡写真

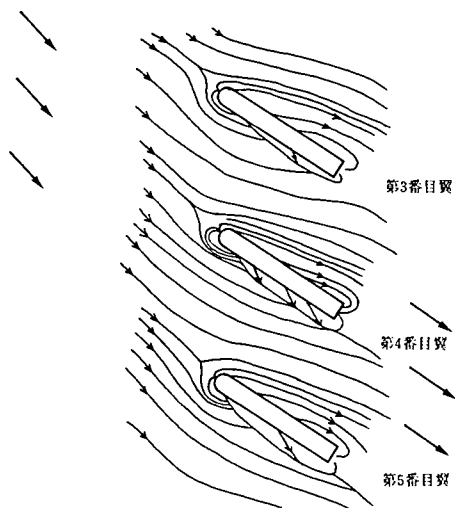


図5-2 右壁面の流跡



$i=14^\circ$ $u=57.5\text{m/s}$ $Re=3.23\times 10^5$

図 6-1 左壁面流跡写真

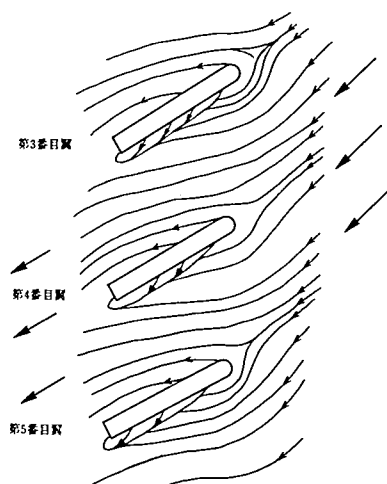
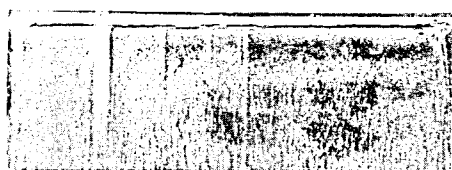
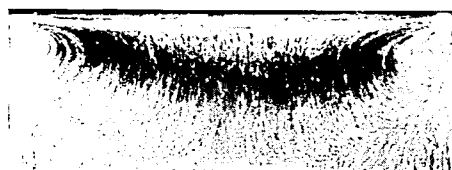
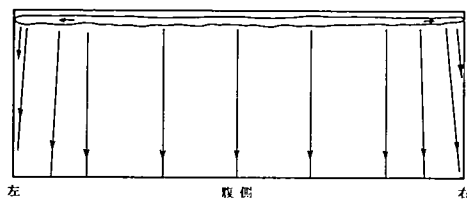


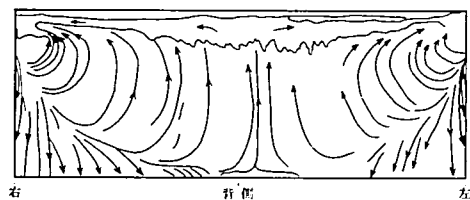
図 6-2 左壁面の流跡



腹側



背側



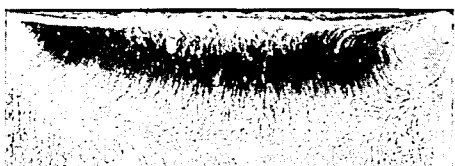
$i=14^\circ$ $u=57.5\text{m/s}$ $Re=3.23\times 10^5$

図 7-1 第 3 番目翼の流跡写真

図 7-2 第 3 番目翼の流跡



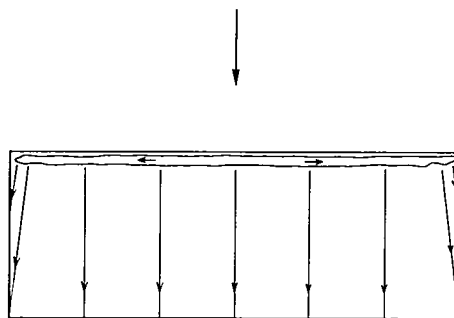
腹側



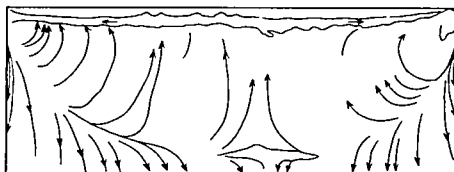
背側

$i=14^\circ$ $u=57.5\text{m/s}$ $Re=3.23\times 10^5$

図 8-1 第 4 番目翼の流跡写真



腹側

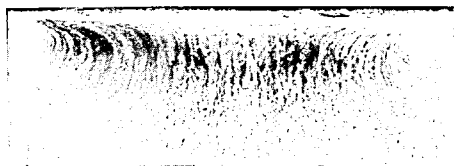


背側

図 8-2 第 4 番目翼の流跡



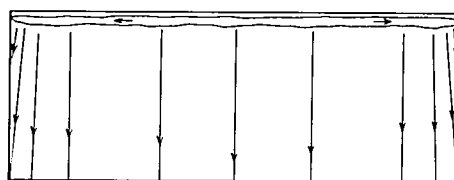
腹側



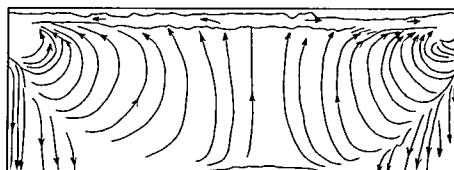
背側

$i=14^\circ$ $u=57.5\text{m/s}$ $Re=3.23\times 10^5$

図 9-1 第 5 番目翼の流跡写真



腹側



背側

図 9-2 第 5 番目翼の流跡

4.1 壁面上の翼列前縁近傍の流れ

図5並びに図10において、前縁上流に半円弧状の線が見られる。これは翼列前縁での流速分布が図3で明らかな様に中心部分に比べ壁面近辺には速度低下が見られるので、速度ヘッドが高い中心部より壁面に向かって流れることになる。すなわち、翼前縁によどんだ流れが図10のab断面の様に翼前縁中央部より壁面に向かって流れ、引き続き壁面に沿って逆流し、上流との流れと合流し壁面に沿って下流へと流れ去る。

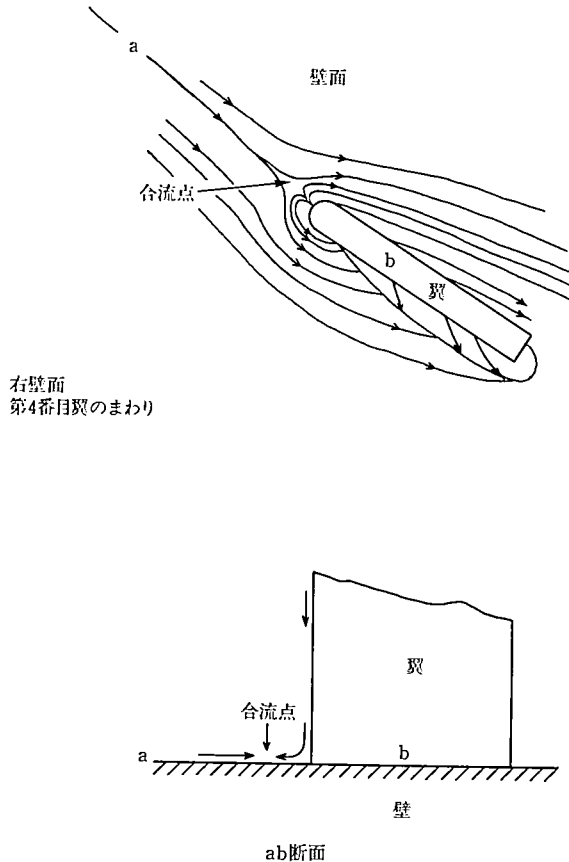


図10 翼前縁近傍の流れ

4.2 壁面と翼背側の角の流れ

図5の壁面と図8の翼背側を組合せると図11のイラストになる。

図より壁面上においては前縁よりはく離線が後縁まで見られる。その内側の流れについては他の赤色油膜を塗付して見た所、約 0.02cm/sec のゆっくりした流速ではなく離線に向っている。また翼面上には前縁の壁面付近によどみ領域より付着線が翼後縁方向に現われている。この角すなわち、はく離線と付着線に囲まれた領域(下流に行く程広くなっている)には図11に示す様な二次流が認められる。

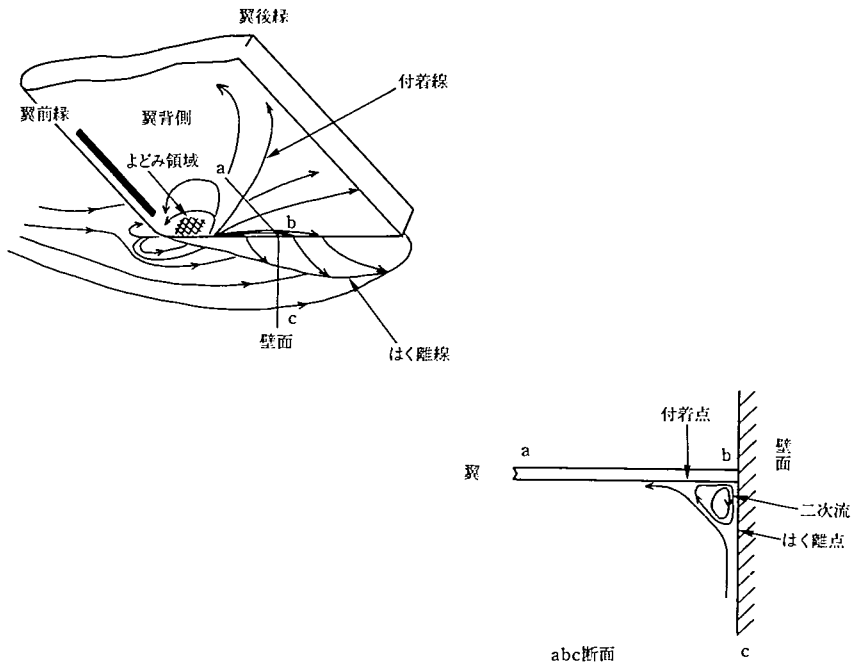


図 11 壁面と翼背側の角の流れ

4.3 壁面と翼腹側の角の流れ

図 5 の壁面と図 8 の翼腹側の両者を組合せると図 12 のイラストになる。

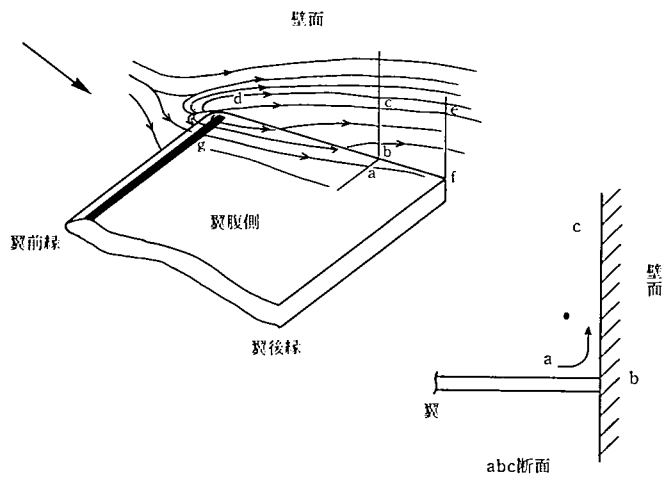


図 12 壁面と翼腹側の角の流れ

これによると翼面上の流れは壁に近い所でわずかな角度で壁面方向に流れている。これは翼中央に行くに従って小さくなる。これが壁面上を下流に広がりながら流れることになり、これを定量的に考えて見ると次の様になる。

一例として図 8 の第 4 番目翼を対象としてみる。

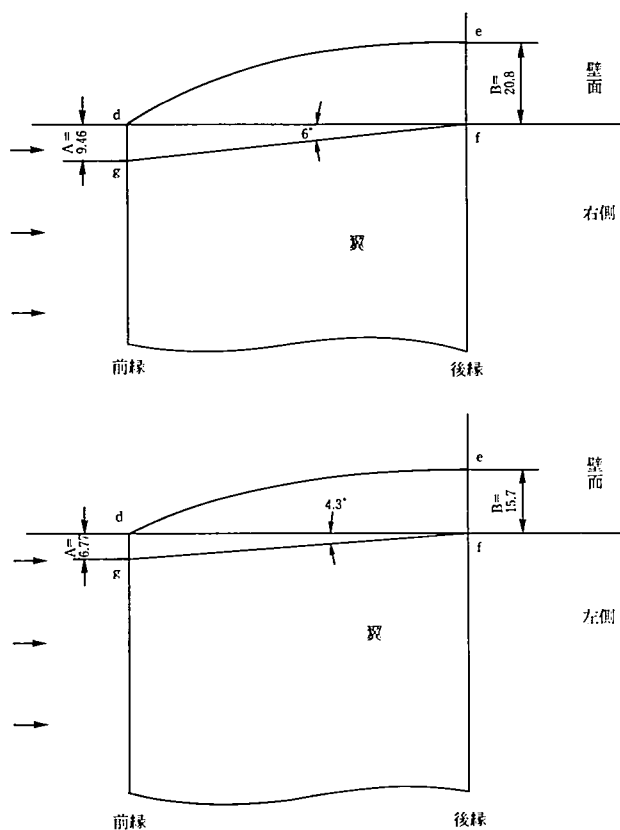


図 13 第 4 番目翼流跡寸法

図 13 に寸法を示す。この翼の前面から壁面に向う流れの角度は左右でそれぞれ 4.3° と 6.0° である。また壁面上の前縁より出た流れの軌跡の後縁での翼面からの距離は左右壁面でそれぞれ 15.7mm と 20.8mm である。

前縁の A 部の流量比を計算する。この部分の平均流速は図 3 で示した翼列特性より求める。この壁面近くの流速分布は得られたデータを用いて両対数グラフに表わすと図 14 と図 15 の様になりベキ乗の法則を適用して表わしてみると左側、右側でそれぞれ (1), (2) 式の様になる。

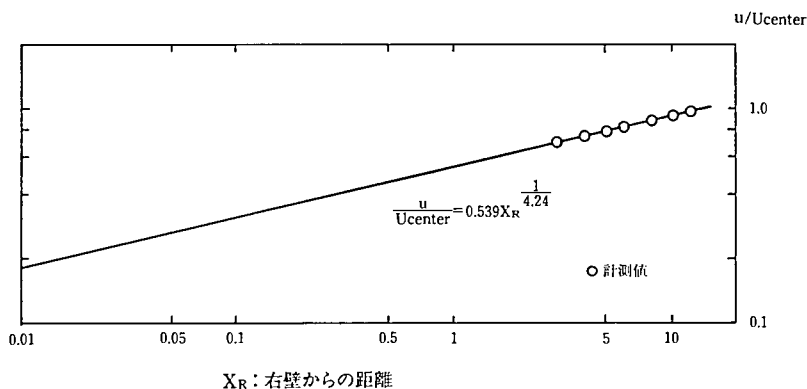


図 14 風洞特性 (右壁近傍の流速分布)

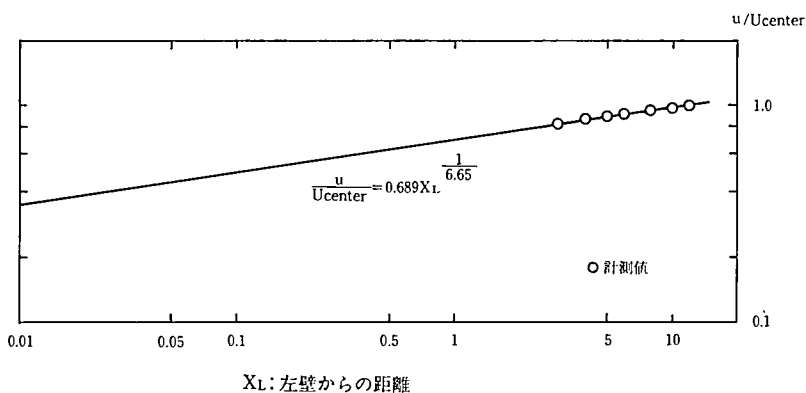


図 15 風洞特性 (左壁近傍の流速分布)

$$\frac{u}{U_{center}} = 0.689 x_L^{\frac{1}{6.65}} \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{U}{U_{center}} = 0.539 x_R^{\frac{1}{4.24}} \quad \dots\dots(2)$$

ここで x_L , x_R はそれぞれ左壁面, 右壁面からの距離である。

(1), (2)式を用いて A 部における流速の平均値を求めると,

$$\text{左側で} \quad \left(\frac{U}{U_{center}} \right)_{\text{mean}} = \frac{\int_0^{6.77} 0.689 x^{\frac{1}{6.65}} dx}{6.77} = 0.798$$

$$\text{右側で} \quad \left(\frac{U}{U_{center}} \right)_{\text{mean}} = \frac{\int_0^{9.46} 0.539 x^{\frac{1}{4.24}} dx}{9.46} = 0.747$$

を得る。

よって翼面の A 部より入る流量比は

$$\text{左側で} \quad q_{in} = 0.798 \times 6.77 = 5.406$$

$$\text{右側で} \quad q_{in} = 0.747 \times 9.46 = 7.008$$

である。

この流量比が壁面上の B 部から流出すると考えて壁面上の流速を求めると次の通りである。流量比と B 部の長さが既知であるので B 部の流速は

$$\text{左側で} \quad \left(\frac{U}{U_{\text{center}}} \right) = 0.344$$

$$\text{右側で} \quad \left(\frac{U}{U_{\text{center}}} \right) = 0.337$$

と求まる。

これを(1), (2)式に代入すると

$$x_L = 0.010$$

$$x_R = 0.136$$

となり左右それぞれの油膜の厚さが決められた。左右の厚さを平均すると 0.073mm である。

これによりこの角の流れが翼面から壁面に向う速度成分があることが分り図 12 の abc 断面上に示す。

尚油膜の厚さは約 0.07mm と考えられ、実機に油膜を塗っても性能に影響を及ぼさない厚さであり。

4.4 翼中央部の流れ

図 7～図 9 より明らかな様に翼中央部の腹側においては、図 16 の様に翼前縁近傍にはく離、付着点領域をもち翼面に沿って流れる。前縁近傍によどんでいる④の部分の流れはゆっくりであるが中央部より壁面の方向に流れている。

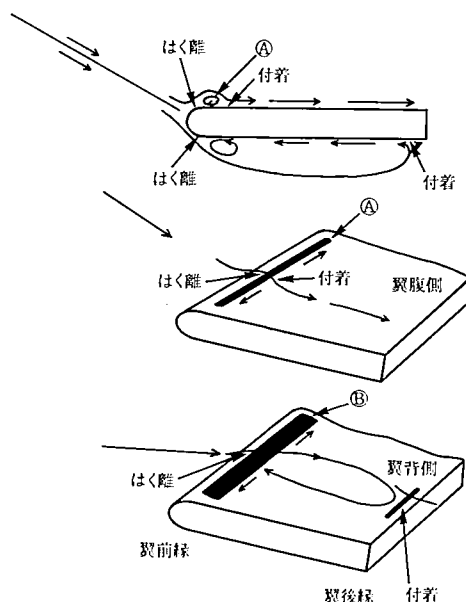


図 16 翼中央部流跡

一方背側の流れは前縁ではなく離を起して後縁付近(図で示すと油膜のよどんでいる所)で付着する。付着後、流れは二方向に分れ一方は逆流して翼面に沿って前縁の方に向い、他方は下流に流れ去っていく。ここでも前縁部に㊸のよどみ部がありこれも中央部より壁面に向かって流れている。

5. ま と め

一般に減速翼列においては、図 17 に示すように流れが方向転換することによって生じる遠心力と、それに均衡を保つように圧力勾配を生じるが、壁面に近い部分においては境界層が存在するので、流速が減じ、そのため壁面付近では遠心力が弱くなり、翼腹側の高圧部から翼背側の低圧部に向って①の様な流れを生ずる。本実験においては図 12 の abc 断面における翼面から壁面へ向う流れである。それに伴って中心部に近い部分には②の様に流れが補給される。また①の流れは壁面に沿って翼背側に向って流れるが、この翼背側はよどみ点となり圧力が上昇する。従ってこの壁面に沿って流れる①は壁面が存在し、それに圧力上昇を伴うので途中で壁面からはく離を生じ、③の様にはく離点において壁面から離れて中心部に向う。本実験においては図 12 の abc 断面における翼面から壁面に向う流れである。そして①②③を結ぶと渦 A が出来る。一方はく離域内は④の様に渦 A に誘導されて渦 B が出来るとされている。本実験においては図 11 の abc 断面の壁面と翼面の角の部分に生じている二次流である。本報で可視化によって翼面と壁面の角に生じる流れ模様を見ると同じパターンを示し、はく離線、付着線もはっきり確認出来た。

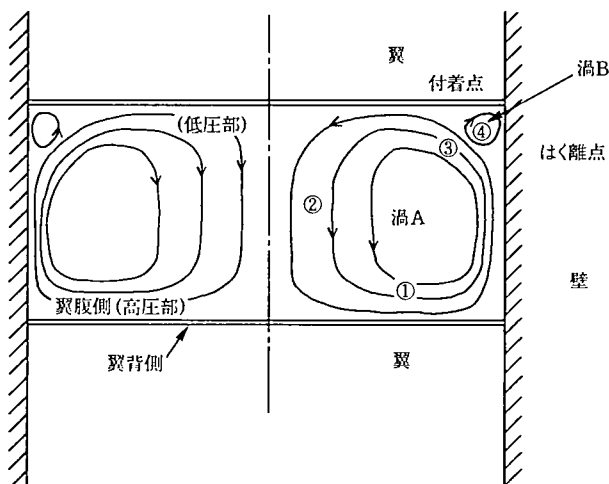


図 17 減速翼列の二次流れ

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 P61~66
1980.3

- (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) 日本機械学会講演論文集 No. 810-8 [110] P33～35 1981.8
- (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 P59～70 1982.3
- (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 P105～114 1983.3
- (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 P77～91 1981.3
- (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対策」(第1報 改良翼I形の性能調査) 日本機械学会講演論文集 [論文講演] No. 810-6[1313] P126～132 1981.4
- (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) 日本機械学会講演論文集 [論文講演] No. 827-2 [406] P186～193 1982.10
- (8) 緒方・上松 「流体の方向転換を伴う諸問題」(第4報 ディフューザの流体力学的特性) 明星大学研究紀要 第21号 P61～70 1985.3
- (9) 緒方・上松 「流体の方向転換に伴う諸問題」(第5報 渦の特性について) 明星大学研究紀要 第22号 P61～70 1986.3