



電子計算機による二次元流れの流線追跡について(第2報)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 奥田, 教海 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3430

電子計算機による二次元流れの流線追跡 について 第2報

奥田 教海

The Computational Methods for Tracing the Stream Lines of Two-Dimensional Flows around Submerged Bodies. Part 2

Kyôkai Okuda

Abstract

This report presents a computational method for tracing the stream lines of the flows on which the flow-directions are tested in a wind tunnel at every lattice point in the mesh. The calculations have been executed with the Electronic Digital Computer, FACOM 231.

Order of the calculation is as follows:

- a) Decide the flow-direction at any point P on one side of the cell in the flow regime according to the flow-directions at each side-end of the cell, obtained by wind tunnel tests.
- b) Describe a circle through the point P, at which flow-direction lines is tangent to the circle, and intersect it at point R on the other side of the cell.
- c) Decide the flow-direction at R in the same way as in the step of a).
- d) Shift R with computing of small steps until the flow-direction at R would coincide with direction of the tangent on arc PR at the point.
- e) Describe a circle again into the next cell through R, thinking of R as P in the step of b).
- f) Continue the describing with the computing, cell after cell, in the manner mentioned above, then the experimental stream lines will be obtained.

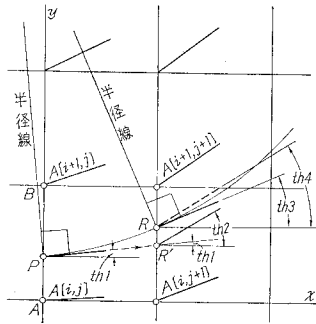
Some applications of this method to the flows around airfoil profiles are illustrated in 11 figures in the paper.

I. ま え が き

同題名の第1報¹⁾の問題に関連し、實在流体について流れの場の各点における流れの方向を実測し、それらを基として電子計算機により流線を追跡することを試みた。今回は Joukowsky 翼の周りの流れを例にとり、その方法を述べ、またそれを応用した2, 3の例を報告する。その目的などについては第1報を参照されたい。

II. 実測流線追跡方法の概要

二次元流れの場において希望する範囲内で流れの方向を細かに測定し、それらより実際の流線を必要な精度において求めようとする。このような流線を「実測流線」と名付けることに



第1図

する。流れの場を次のような微小格子部分に分割する。想定される流線が第1図のようなほぼ左から右に向うものとし、流れの場の格子点における流れの方向を知って、縦線 (y 軸に平行な線) 上の任意の点 P を通る流線が次の縦線上で交わる点 R を求めることを考える。

格子が充分細かければ、次のような仮定をおいても大きな誤はないと思われ。すなわち流線上の微小部分を、最も簡単な曲線の一つである円弧によつて近似し、曲線の部分によって円の半径と中心の位置が変化するものであるとする。

上に述べた、点 P を求めることは「 P, R を通る円弧を描き、各点における円弧の接線が、各点を通る流れの方向を示す線と一致するようにすればよい」ということに帰着する。

ここで「流れ角」と「接線角」なるものを定義する。

流れ角： 縦線上の点における流れの方向と横線 (x 軸に平行な線) とのなす角、第1図の $th1$ または $th2$ 、後述する方法でその点に近接する格子点における流れ角の、ある平均値として求める。

接線角： 縦線上の点において、その点を通る円弧の接線と横線とのなす角、第1図の $th3$ とする。

点 R を求めることは次の手順で行なう。

(1) 点 P の流れ角を $th1$ とし、その流れの方向を示す線をそのまま延長し、次の縦線と R' で交らせ、点 R' における流れ角 $th2$ を求める。

(2) $th1$ と $th2$ とを比較し、

(a) $th2 > th1$ ならば、流れは $\overrightarrow{PR'}$ より上向きの流れで、すなわち R は R' より上に、

(b) $th2 = th1$ ならば、流れは $\overrightarrow{PR'}$ の方向で、 R と R' は一致し、

(c) $th2 < th1$ ならば、流れは $\overrightarrow{PR'}$ より下向きの流れで、すなわち R は R' より下に来るはずである。

(3) 以上の判定に従って点 R' を流線上の点 R の方向に、ある刻みで移動させ、その都度、点 R' と点 P を通る円弧の、点 R' における接線角 $th3$ と、その点における流れ角 $th4$ とを計算し、原則的には $th3 = th4$ となるまで計算を続ける。その最終の点 R' は流線上の点 R になるはずである。ここで $th3$ について考えると、点 P における接線角が定まっておき、点 R' の位置が与えられているので、 $th3$ の値は流れ角とは無関係に確定する。それゆえ上のような計算を続行して点 R を求めることができる。すなわち、この方法は円弧に関する平面幾何学的な関係と、流線の定義とを結び合わせた方法ということができる。

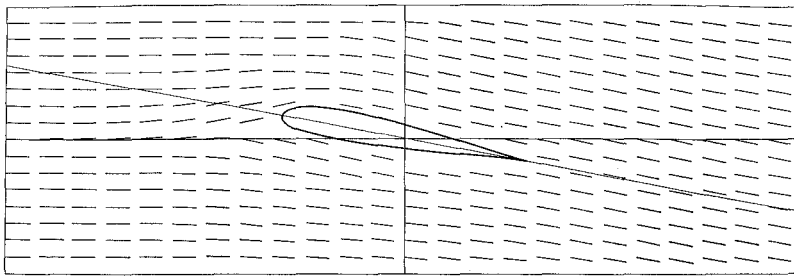
(4) R が確定したならば、その点を前の (1) の点 P と考え、順次流れの方向に縦線を移して考え、上の手順を行なえば、連続した実測流線が得られる。

III. 計算方法の詳細

Joukowski 翼を例にとって述べる。この方法は上述のことからも解るように物体の形状に直接的に依存するものではないので、翼型の種類を問わず、またそれら以外の物体の場合にも勿論適用できる方法である。

1. 実測した流れの場合

先に報告した「気泡およびふさ糸による物体周辺の流れの可視化について」²⁾の中より Joukowski 翼型、迎え角 10° の場合を選び、更にこの方法を適用するために測定点を多くした風向線図を用いる。それを第2図に示す。



第2図 Joukowski 翼の周りの風向線図

2. 計算方法とプログラミング

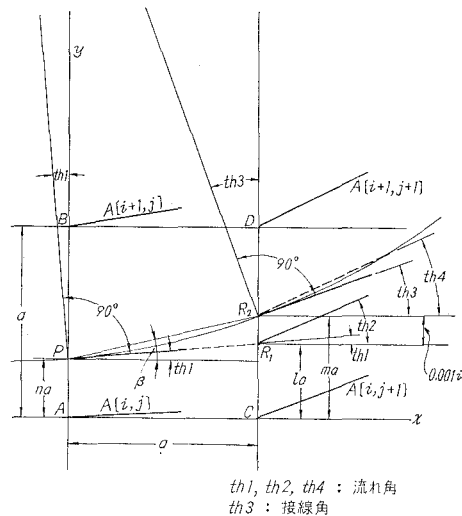
上向き流れの場合の一格子を第3図に示す。

格子の辺の長さを a とし、格子点 A と P との距離を na ($n \leq 1$) とするとき、P における流れ角 $th1$ は、次のような近接する格子点 A, B の流れ角 $A[i, j]$, $A[i+1, j]$ に重みをもたせた平均値であるとする。

$$th1 = \frac{\{(1-n)A[i, j] + nA[i+1, j]\}}{\{(1-n) + n\}}$$

$$= (1-n)A[i, j] + nA[i+1, j] \quad \dots (1)$$

すなわち、格子が充分細かい場合には格子間の流れ角は A から B に直線的に変化すると見做すのである。



$th1, th2, th4$: 流れ角
 $th3$: 接線角

第3図

第3図では第1図の点 R' を点 R_1 にし、ある刻みで進行中の点 R' を点 R_2 とする。刻みはこの場合一辺の長さ $a=5\text{ mm}$ に対し $0.001i\text{ mm}$ とした。ただし $i=1, 2, 3, \dots$ である。

R_1 の位置の格子の辺に対する比を第3図にあるように

$$la : (1-l)a = l : (1-l)$$

とすれば

$$l = n + \tan(\text{th } 1) \quad \dots\dots (2)$$

R_1 における流れ角 $\text{th } 2$ は同様にして

$$\text{th } 2 = (1-l)A[i, j+1] + lA[i+1, j+1] \quad \dots\dots (3)$$

となる。次に β を PR_2 と横線とのなす角とすれば、 PR_2 が円の弦であることから、

$$(\text{th } 1 + 90^\circ) - \beta = 180^\circ - \text{th } 3 - (90^\circ - \beta),$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{th } 3 &= 2\beta - \text{th } 1 = 2 \tan^{-1} \left\{ \left(a \tan(\text{th } 1) + 0.001i \right) / a \right\} - \text{th } 1 \\ &= 2 \tan^{-1} \left(\tan(\text{th } 1) + 0.001i/a \right) - \text{th } 1 \quad \dots\dots (4) \end{aligned}$$

すなわち、 R_2 における接線角 $\text{th } 3$ は、 $\text{th } 1, i, a$ が与えられれば確定する。(1), (3) 式と同様にして R_2 の位置の辺に対する比を $m : (1-m)$ とすれば

$$m = l + 0.001i/a \quad \dots\dots (5)$$

であり、 R_2 における流れ角 $\text{th } 4$ は、

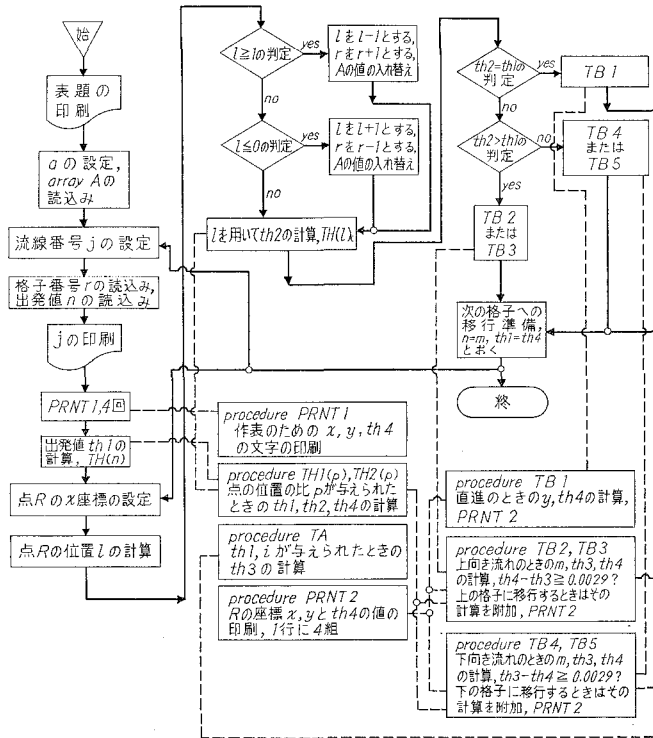
$$\text{th } 4 = (1-m)A[i, j+1] + mA[i+1, j+1] \quad \dots\dots (6)$$

で与えられる。 $\text{th } 3$ と $\text{th } 4$ の差が0になるまで計算を続行するのが原則であるが、今回は計算時間が長びくことと、風向線の精度とを考慮し、 $\text{th } 4$ と $\text{th } 3$ との差が、 $10'$ (0.0029 rad.) 以下になったとき、その格子の計算を打ち切り、次の格子に移るようにした。

以上は $\overrightarrow{PR_1}$ に対して流れが上向き流れである場合について計算式を誘導したが、流れが直進の場合は $i=0$ 、下向き流れの場合は $i < 0$ とおけば、共通の式を用いて計算を進めることができる。また $\text{th } 1, \text{th } 2, \text{th } 3, \text{th } 4$ はいずれも横線に対して反時計方向に測る場合を正、その反対を負、横線方向を0とする。

R_1, R_2 を求めるとき、時にはそれらの点が同じ横列に並んだ格子上に必ずしも来ないで、上または下の格子に移る場合がある。その時には l, m に $-1, +1$ を加え、別に格子の縦方向の番地に対するカウンタを置き、それに $+1, -1$ を加えれば、容易に流線の行方を追うことができる。

以上述べた方法の電子計算機プログラムに対するフロー・チャートを第4図に示す。使用した電子計算機は FACOM 231 で、言語は ALGOL である。

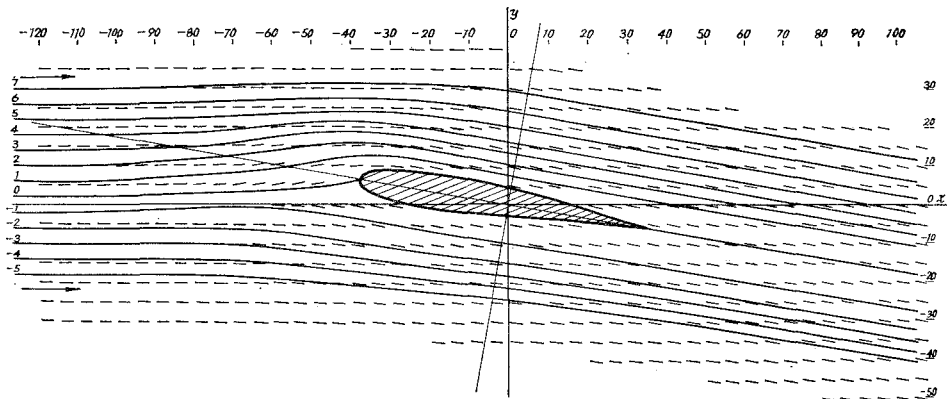


第4図 実測流線追跡のフロー・チャート

IV. 計算結果とその検討

以上の方法を第2図の風向線図に適用して、実測流線図を求めたものを第5図に示す。格子の辺の長さは前述の通り $a=5\text{ mm}$ とし、出発の位置 $x=-120\text{ mm}$ における流線の間隔は 4 mm とした。風向線と流線とは全体としてよく適合しているものと考えられる。

ただ、背面流れと腹面流れの境界に当る流線部分に精度の低いところが見られた。それで



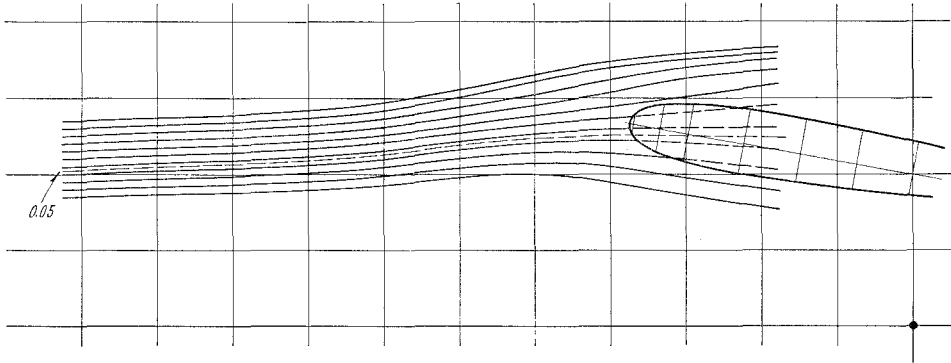
第5図 Joukowski 翼, 迎え角 10° , $Re=8 \times 10^4$

第6図に示すように、上述の方法をその部分に細かに適用して、それらの流線の中より1本の境界流線を求め、それを基準として他の流線の出発値を定める方法をとった。そのようにして求めたものを第7図に示す。この場合は $a=10\text{ mm}$ ，出発位置における流線間隔は 16 mm とした。

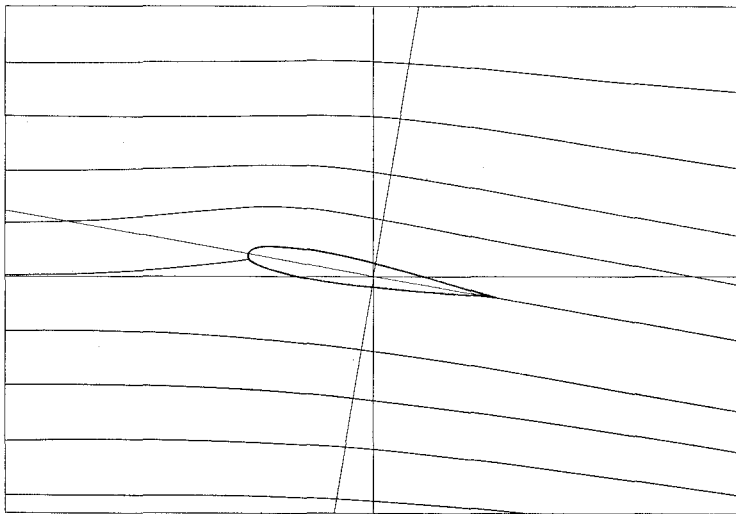
第1報Iで触れた理論流線と実測流線との比較を第8図に示す。このように広い範囲に両流線を描くと、類似する点、または相違する点を明瞭に見分けることができる。

この方法を他の翼型の場合にも適用してみたところ、種々有効に利用しうることが解つたので、2, 3の例を附記する。

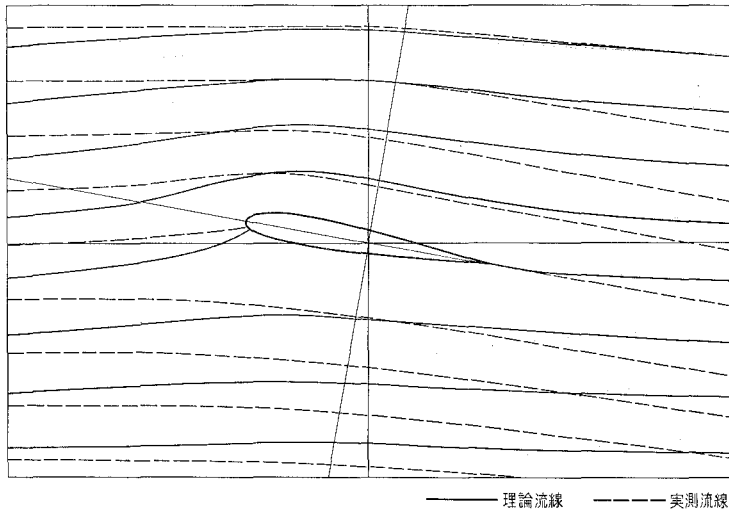
第9, 10図はそれぞれ NACA 23012 翼の迎え角 9.5° , 12.5° ，流れのレイノルズ数いずれも 4×10^4 の場合の実測流線図である。第11図のように重ね合わせると 12.5° の場合、失速状態に



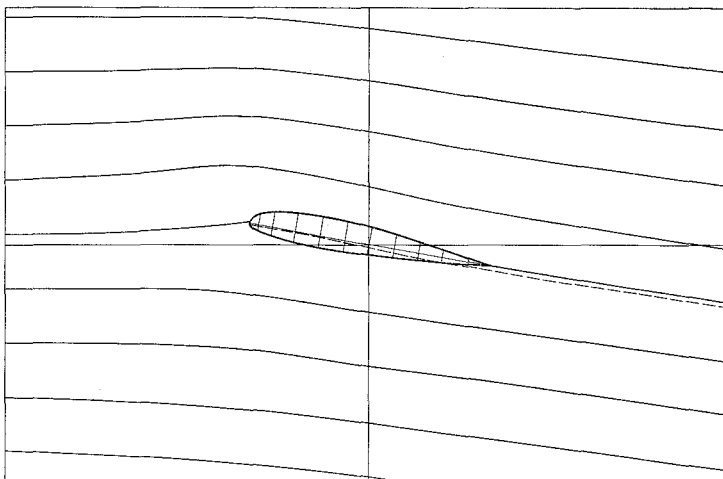
第6図 背面流れと腹面流れの境界流線 Joukowski 翼，迎え角 10° ， $R_e=8 \times 10^4$



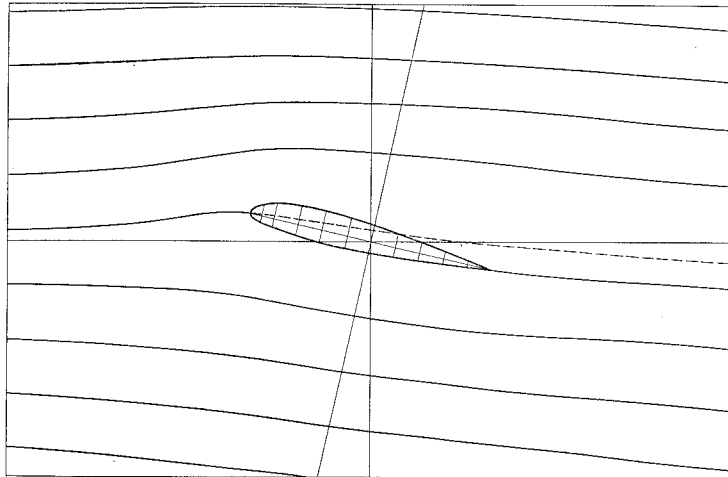
第7図 Joukowski 翼，迎え角 10° ， $R_e=8 \times 10^4$



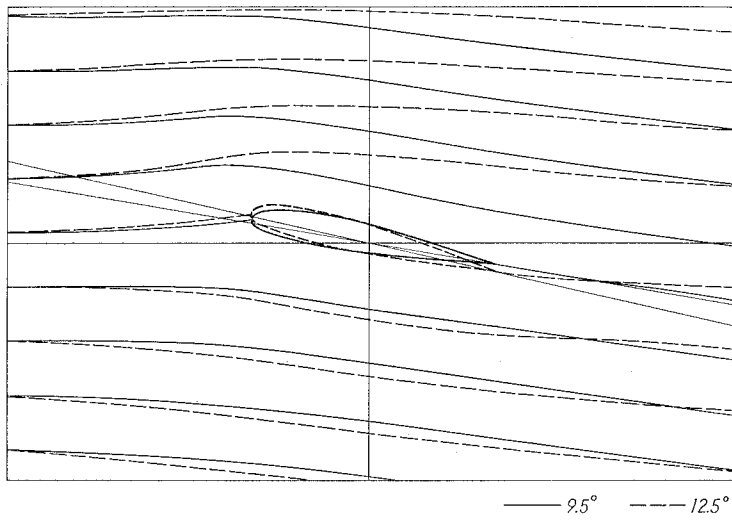
第8図 Joukowski 翼, 迎え角 10° , 実測 $R_e=8 \times 10^4$



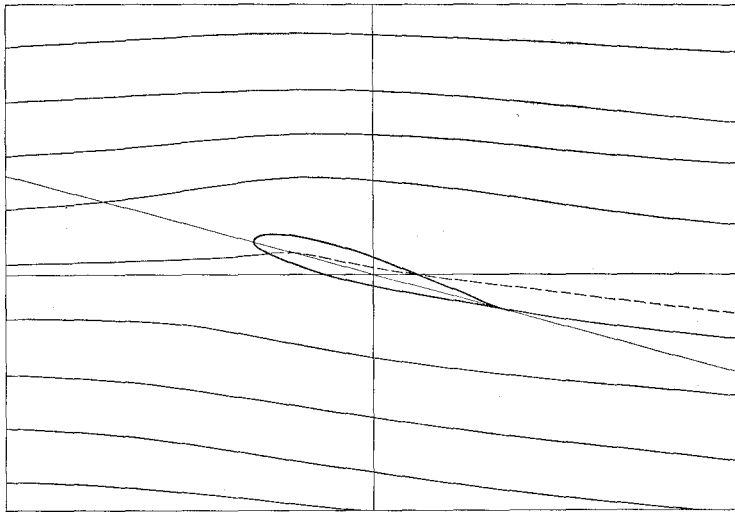
第9図 NACA 23012 翼, 迎え角 9.5° , $R_e=4 \times 10^4$



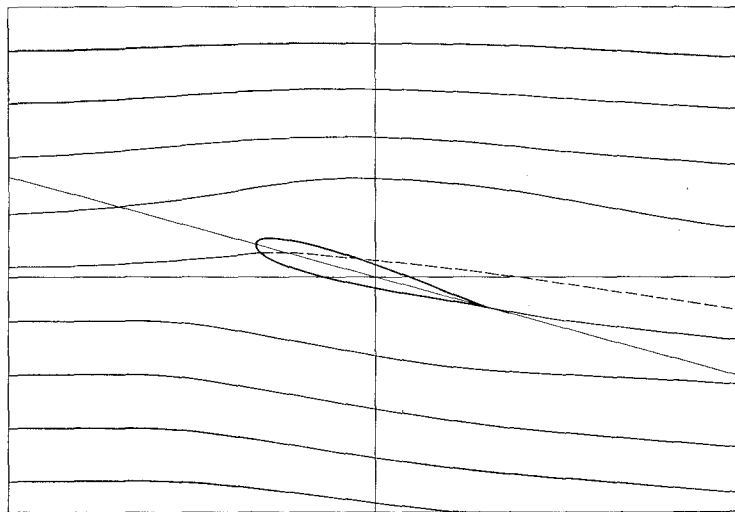
第10图 NACA 23012 翼, 迎角 12.5°, $R_e = 4 \times 10^4$



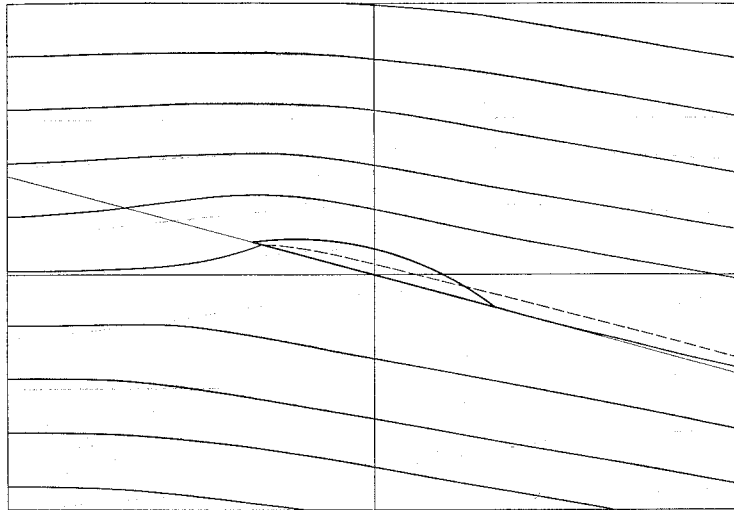
第11图 NACA 23012 翼, 迎角 9.5°, 12.5°, $R_e = 4 \times 10^4$



第12図 Joukowski 翼, 迎え角 15° , $R_e = 8 \times 10^4$



第13図 NACA 23012 翼, 迎え角 15° , $R_e = 8 \times 10^4$



第14図 欠円翼，迎え角 15° ， $R_e=8 \times 10^4$

陥っていることが明らかである。

第12,13,14図は迎え角 15° ，レイノルズ数 8×10^4 のときの Joukowski 翼，NACA 23012 翼，欠円翼の実測流線図である。それぞれの翼型の特性の一端を知ることができる。

V. む す び

簡単な平面幾何学的な関係と流線の定義とを基として，流れの場の格子点で実測された流れの方向より実測流線を追跡する方法とその応用例について述べた。流体工学の基礎的資料として参考になれば幸である。

この計算は室蘭工業大学電子計算機室において行なった。同室の各位に深甚なる謝意を表す。

風向線図の作成に当たった当時学生の遠藤剛，千秋隆雄，寺西照雄，亀川康男，本田祐一の諸君にはその労を多とするものである。

(昭和43年4月30日受理)

文 献

- 1) 奥田教海：室蘭工大研報，6, 2 (1968).
- 2) 奥田教海：室蘭工大研報，5, 2 769頁 (1966).