

# 後縁半徑を有する翼型に就きて

正員 立川飛行機株式会社技師 長谷川 龍雄  
東京帝國大學講師工學士

---

日本航空學會誌

第9卷第83號論文抜刷

昭和17年3月

# 後縁半徑を有する翼型に就きて

(昭和 17 年 1 月 6 日受理)

正 員 立川飛行機株式会社技師 長谷川 龍 雄  
東京帝國大學講師工學士

## 1. 緒 言

最近所謂層流翼型に關して色々議論されその特長である前縁半徑，最大翼厚位置等に就きては良く検討されて居る。併しながら後縁附近の狀況に關しては比較的等閑に附されて居る。筆者は後縁半徑なるものを導入して後縁附近の様子を少しく検討して見た。之には二つの點に於て興味を持たれるからである。即ち第 1 に後縁半徑を用ひて翼型を表示する事に依り翼型の解析が非常に簡單となること，従つて普通の表示式に依る解析の場合でも本論文の表示法に依り先づ目的に合致したものを求めるための當りをつけて置く事が出来る事，第 2 に後縁半徑を有する翼型それ自身に就きて種々の興味を持たれる事である。即ち後述の如く後縁半徑を有して居ると云ふ事は揚力傾斜の大なる事，従つて間接的には最大揚力係數の大なる事を意味する。又後縁半徑を有する如き翼型は比較的後縁附近の肉の厚い翼型にして之は最近の層流翼型と“良き關聯”が得られるのでは有るまいか。従つて壓力抵抗は成程増加するかも知れないが表面摩擦抵抗は當然減小する事が豫想され結局として之等二つの和である形状抵抗は果して如何なるものであらふか。

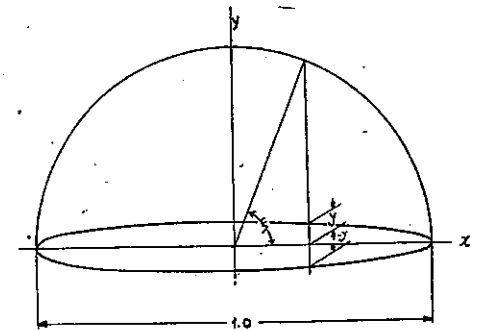
上述の如き見地より本論文に於ては上に對する解答として第 1 部に於て解析方法を述べ第 2 部に於て風洞實驗結果に就きて述べる。問題を簡單にする爲に對稱翼型のみに限つたので有るが風洞實驗を見ると最初の豫想的の中して居る事が知られる。即ち充分の揚力傾斜と最大揚力係數の増加が得られ，又或る迎角以上では形状抵抗も從來の如く後縁の尖つた翼型よりも寧ろ小さい事が分つた。且又最小形状抵抗自身に就きて見ても或るレイノルズ數以上では從來のものよりも小さくなると云ふ注目すべき結果が得られた。

以上に依り後縁半徑を有する肉付きに矢高を附する際は揚抗比の大なる。従つて長距離機，旅客機の如き機體に適當した翼型を設計する事が出来るのではないかと云ふ希望を持たれる。又下げ翼の後縁に就きては検討の要ありと考へられる。

## 2. 解 析

翼型の表示式としては第 1 圖の如く前縁後縁の最速點を結ぶ長さを弦長にして之を 1 として  $x$  軸にとり弦長の中點を原點として之に垂線を立て  $y$  軸とす。翼型としては守屋教授の方法<sup>(1)</sup>に似た形にて對稱翼の場合次の如き形にて表はす。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cos \xi, \\ y &= \sum_{n=1}^4 b_n \sin n\xi, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



第 1 圖

(1) 守屋富次郎：“任意の翼型の特性を求める一つの方法”，日本航空學會誌，昭和 13 年 1 月。

茲に  $\xi$  は第 1 圖に示す如きパラメーターなり。一般に行なはれて居る方法と異なる點は普通は翼型の形を代数式か何かで表示しそれを守屋教授の方法に依り (1) 式の如き無限項より成る Fourier の級數に展開し近似としてその有限項をとつて解析を行ふのに對し本論文に於ては (1) 式を出發點として解析を行ひ目的に合致したものを求め最後にその翼型の形狀を (1) 式より逆算するのであつて計算の手間が一段階省けると同時に Fourier の級數を有限項に限るための近似が入つて來ない。なほ記號として次の如く定む。

- $e$ : 最大翼厚,
- $\xi_m$ : 最大翼厚位置に於ける  $\xi$ ,
- $r_1$ : 前縁半径,
- $r_2$ : 後縁半径,

但し  $e, r_1, r_2$  は弦長 1 に對する値なり。(1) 式より

$$\frac{dy}{dx} = -2 \cdot \frac{\sum_{n=1}^4 nb_n \cos n\xi}{\sin \xi} \quad (2)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -4 \cdot \frac{\sin \xi \cdot \sum_{n=1}^4 n^2 b_n \sin n\xi + \cos \xi \cdot \sum_{n=1}^4 nb_n \cos n\xi}{\sin^3 \xi} \quad (3)$$

故に

$$r_1 = \lim_{\xi \rightarrow \pi} \frac{(dy/dx)^2}{d^2y/dx^2} = 2(b_1 - 2b_2 + 3b_3 - 4b_4)^2 \quad (4)$$

$$r_2 = \lim_{\xi \rightarrow 0} \frac{(dy/dx)^2}{d^2y/dx^2} = 2(b_1 + 2b_2 + 3b_3 + 4b_4)^2 \quad (5)$$

而して明らかに  $\xi = 0 \sim \pi$  の範圍内に於ては

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{\xi=\pi-} > 0, \quad \left(\frac{dy}{dx}\right)_{\xi=0+} < 0$$

なるを要す。故に (2) 式を参照して (4), (5) 式を開くと

$$b_1 + 2b_2 + 3b_3 + 4b_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot r_2^{1/2},$$

$$b_1 - 2b_2 + 3b_3 - 4b_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot r_1^{1/2}.$$

さて未知の 4 個の係數  $b_n$  は次の條件式に依りて求められる。

(i)  $\xi = \xi_m$  に於て  $dy/dx = 0$  なることより

$$b_1 \cos \xi_m + 2b_2 \cos 2\xi_m + 3b_3 \cos 3\xi_m + 4b_4 \cos 4\xi_m = 0. \quad (6)$$

(ii)  $\xi = \xi_m$  に於て  $y = e/2$  なることより

$$b_1 \sin \xi_m + b_2 \sin 2\xi_m + b_3 \sin 3\xi_m + b_4 \sin 4\xi_m = e/2. \quad (7)$$

(iii)  $\xi = \pi$  に於て  $r = r_1$  なることより

$$b_1 - 2b_2 + 3b_3 - 4b_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot r_1^{1/2}. \quad (8)$$

(iv)  $\xi = 0$  に於て  $r = r_2$  なることより

$$b_1 + 2b_2 + 3b_3 + 4b_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot r_2^{1/2}. \quad (9)$$

與へられた  $\xi_m$  に對して上記條件式を解く時は一般に次の如き形に表はされる。

$$b_n = c_{en} \cdot e + c_{in} \cdot r_1^{1/2} + c_{en} \cdot r_2^{1/2}. \quad (n=1 \sim 4) \quad (10)$$

(10) 式の係數  $c_{en}, c_{in}, c_{en}$  は  $\xi_m$  のみの函數にして  $\xi_m$  さへ與へられれば他の如何なる翼型の性質にも無關係な常數である。なほポテンシャル理論より明らかなる如く翼型の前後方向を交換する時は前縁半径と後縁半径とは全く同じ意味を持つ故この計算も實際は勞力は半分で済ます事が出来る。

以下守屋教授の方法に従つて計算を進めて行けば良いのである。揚力係數は次式に依りて與へられる。

$$c_z = 4\pi \left( \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^4 nb_n \right) \cdot \sin \alpha = 2\pi(1 + \sqrt{2} \cdot r_1^{1/2}) \cdot \sin \alpha. \quad (11)$$

従つて無揚力角附近の揚力傾斜は

$$\left(\frac{dc_z}{d\alpha}\right)_{\alpha=0} = 2\pi(1 + \sqrt{2} \cdot r_1^{1/2}) \quad (12)$$

となり後縁半径の大きさと揚力傾斜との關係が得られた。之より見ると後縁半径を持たせる事に依り揚力傾斜の大なる従つて最大揚力係數の大なる翼型が得られはしないかと云ふ希望が持たれる。

原點の周りのモーメント係數は

$$c_{m0} = \pi \left( -\frac{1}{4} + \sum_{n=1}^4 nb_n^2 \right) \sin 2\alpha. \quad (13)$$

$x$  軸上に於て原點から  $x$  なる距離の點の周りのモーメント係數は

$$c_{mx} = \pi \left\{ -\left(\frac{1}{4} + x\right) + \sum_{n=1}^4 nb_n^2 - 2x \sum_{n=1}^4 nb_n \right\} \sin 2\alpha. \quad (14)$$

ポテンシャル流に依る翼表面上の速度分布式は次式に依りて與へられる。

$$\frac{v}{V} = \frac{\left[ \cos \alpha \cdot \left\{ \frac{1}{2} \sin \xi + \sum_{n=1}^4 nb_n \sin n\xi \right\} + \sin \alpha \left\{ \frac{1}{2} (1 - \cos \xi) - \sum_{n=1}^4 nb_n \cos n\xi + \sum_{n=1}^4 nb_n \right\} \right]}{\sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + \left( \sum_{n=1}^4 nb_n \cos n\xi \right)^2}} \quad (15)$$

茲に  $v, V$  は夫々一般流速及び局部流速とす。特に迎角  $0^\circ$  の場合には

$$\frac{v}{V} = \frac{\left| \frac{1}{2} \sin \xi + \sum_{n=1}^4 nb_n \sin n\xi \right|}{\sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + \left( \sum_{n=1}^4 nb_n \cos n\xi \right)^2}} = \frac{\left| \frac{1}{2} \sin \xi + e \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{en} \sin n\xi + r_1^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{in} \sin n\xi + r_2^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{en} \sin n\xi \right|}{\sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + \left\{ e \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{en} \cos n\xi + r_1^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{in} \cos n\xi + r_2^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 nc_{en} \cos n\xi \right\}^2}} \quad (16)$$

之を簡單にして

$$\frac{v}{V} = \frac{\left| \frac{1}{2} \sin \xi + K_{es} \cdot e + K_{is} \cdot r_1^{1/2} + K_{es} \cdot r_2^{1/2} \right|}{\sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + \{K_{ee} \cdot e + K_{ie} \cdot r_1^{1/2} + K_{ie} \cdot r_2^{1/2}\}^2}} \quad (17)$$

にて表はすと  $K_{cs}, K_{is}, K_{ts}, K_{ec}, K_{ic}, K_{tc}$  なる6個の係数は  $\xi_m, \xi$  のみの函數なる故種々の  $\xi_m$  に對して  $\xi$  に對して求めて置けば翼型設計の際に常に通用出来る. 之を第1~6表に掲げる. (17)式に依り速度分布に及ぼす  $\xi_m, e, r_1, r_2$  の影響を急速に求める事が出来る.

翼型設計に際して或る形状のものに就きて計算しその結果が望ましくない時この形状を少しく變更し度い場合が應々にしてあるが  $e, r_1, r_2$  の變更  $\Delta e, \Delta r_1^{1/2}, \Delta r_2^{1/2}$  に對して次式が與へられる.

$$\frac{\Delta(v/V)}{v/V} = \left( -\frac{A \cdot K_{ec}}{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + A^2} + \frac{K_{cs}}{\frac{1}{2} \sin \xi + B} \right) \cdot \Delta e$$

第1表  $K_{cs} = \sum n c_{en} \sin n\xi$

Table with columns for angle ξ and ξm values (45, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135) and rows for ξ values from 0 to 180.

第2表  $K_{ec} = \sum n c_{en} \cos n\xi$

Table with columns for angle ξ and ξm values (45, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135) and rows for ξ values from 0 to 180.

$$\begin{aligned} &+ \left( -\frac{A \cdot K_{ic}}{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + A^2} + \frac{K_{ts}}{\frac{1}{2} \sin \xi + B} \right) \cdot \Delta r_1^{1/2} \\ &+ \left( -\frac{A \cdot K_{ic}}{\frac{1}{4} \sin^2 \xi + A^2} + \frac{K_{ts}}{\frac{1}{2} \sin \xi + B} \right) \cdot \Delta r_2^{1/2} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= K_{ec} \cdot e + K_{ic} \cdot r_1^{1/2} + K_{tc} \cdot r_2^{1/2} \\ B &= K_{cs} \cdot e + K_{ts} \cdot r_1^{1/2} + K_{is} \cdot r_2^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

にして A, B は最初の計算に於て已に算出されて居る値なる故 (18)式の計算は非常に簡単である. (18)式に於て先づ括弧内の値を計算する時その値が正なる如き位置に於ては例へば第1項の括弧内が正なる如き位置に於ては e を増す事に依りてその場所に於ける流速は増す事を

第3表  $K_{ts} = \sum n c_{tn} \sin n\xi$

Table with columns for angle ξ and ξm values (45, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135) and rows for ξ values from 0 to 180.

第4表  $K_{tc} = \sum n c_{tn} \cos n\xi$

Table with columns for angle ξ and ξm values (45, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135) and rows for ξ values from 0 to 180.

第 5 表  $K_{\xi} = \sum n c_{ln} \sin n\xi$

| $\xi$ | $\xi_m$ | 45°     | 60°     | 70°     | 80°     | 90°     | 100°    | 110°    | 120°    | 135° |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 0°    | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0    |
| 10°   | 0.3842  | 0.8951  | 0.3684  | 0.3428  | 0.3222  | 0.3056  | 0.2928  | 0.2829  | 0.2723  |      |
| 20°   | 0.3820  | 0.5901  | 0.5898  | 0.5695  | 0.5477  | 0.5280  | 0.5117  | 0.4985  | 0.4841  |      |
| 30°   | -0.1573 | 0.4830  | 0.5797  | 0.6097  | 0.6156  | 0.6126  | 0.6070  | 0.6009  | 0.5929  |      |
| 40°   | -1.0351 | 0.1210  | 0.3562  | 0.4657  | 0.5211  | 0.5507  | 0.5677  | 0.5776  | 0.5855  |      |
| 50°   | -1.7747 | -0.3192 | -0.0257 | 0.2083  | 0.3139  | 0.3795  | 0.4228  | 0.4522  | 0.4800  |      |
| 60°   | -1.8480 | -0.6125 | -0.2626 | -0.0551 | 0.0766  | 0.1652  | 0.2277  | 0.2724  | 0.3169  |      |
| 70°   | -0.9509 | -0.5915 | -0.3858 | -0.2264 | -0.1099 | -0.0232 | 0.0427  | 0.0925  | 0.1443  |      |
| 80°   | 0.8097  | -0.2273 | -0.2912 | -0.2548 | -0.1958 | -0.1375 | -0.0864 | -0.0444 | 0.0027  |      |
| 90°   | 2.9146  | 0.3536  | 0.0335  | -0.1533 | -0.1768 | -0.1652 | -0.1424 | -0.1179 | -0.0857 |      |
| 100°  | 4.6267  | 0.9237  | 0.2712  | 0.0130  | -0.0894 | -0.1262 | -0.1350 | -0.1318 | -0.1193 |      |
| 110°  | 5.3025  | 1.2561  | 0.4910  | 0.1612  | 0.0109  | -0.0592 | -0.0923 | -0.1067 | -0.1123 |      |
| 120°  | 4.6780  | 1.2249  | 0.5398  | 0.2285  | 0.0766  | -0.0020 | -0.0447 | -0.0632 | -0.0849 |      |
| 130°  | 2.9971  | 0.8610  | 0.4131  | 0.1985  | 0.0867  | 0.0243  | -0.0130 | -0.0358 | -0.0552 |      |
| 140°  | 0.9175  | 0.3336  | 0.1848  | 0.1019  | 0.0519  | 0.0195  | -0.0025 | -0.0176 | -0.0329 |      |
| 150°  | -0.7701 | -0.1294 | -0.0327 | -0.0028 | 0.0032  | -0.0003 | -0.0054 | -0.0113 | -0.0197 |      |
| 160°  | -1.4826 | -0.3483 | -0.1447 | -0.0621 | -0.0279 | -0.0144 | -0.0101 | -0.0095 | -0.0121 |      |
| 170°  | -1.0976 | -0.2723 | -0.1192 | -0.0546 | -0.0262 | -0.0135 | -0.0082 | -0.0061 | -0.0001 |      |
| 180°  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |      |

第 6 表  $K_{\xi} = \sum n c_{ln} \cos n\xi$

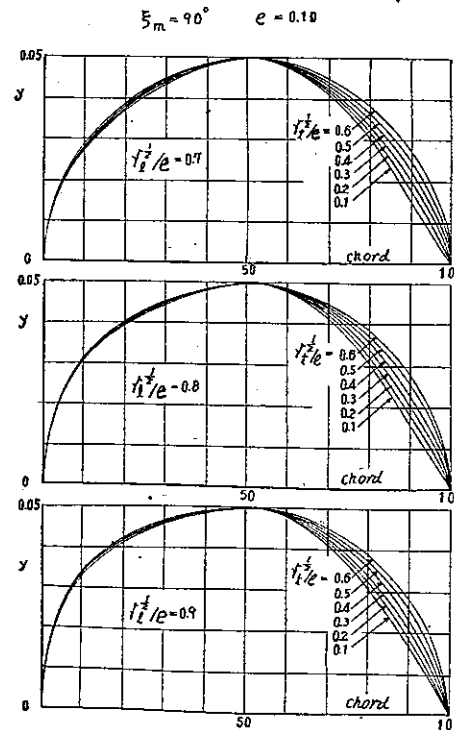
| $\xi$ | $\xi_m$ | 45°     | 60°     | 70°     | 80°     | 90°     | 100°    | 110°    | 120°    | 135°   |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 0°    | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071  | 0.7071 |
| 10°   | 0.4746  | 0.5576  | 0.5865  | 0.6054  | 0.6183  | 0.6273  | 0.6339  | 0.6388  | 0.6438  |        |
| 20°   | -0.0547 | 0.1842  | 0.2761  | 0.3384  | 0.3818  | 0.4129  | 0.4359  | 0.4530  | 0.4705  |        |
| 30°   | -0.4689 | -0.2242 | -0.0930 | 0.0048  | 0.0766  | 0.1298  | 0.1701  | 0.2004  | 0.2320  |        |
| 40°   | -0.3409 | -0.4551 | -0.3675 | -0.2766 | -0.2003 | -0.1393 | -0.0910 | -0.0535 | -0.0135 |        |
| 50°   | 0.5193  | -0.3759 | -0.4390 | -0.4148 | -0.3697 | -0.3240 | -0.2835 | -0.2499 | -0.2120 |        |
| 60°   | 1.9208  | 0       | -0.2903 | -0.3801 | -0.3978 | -0.3891 | -0.3720 | -0.3535 | -0.3294 |        |
| 70°   | 3.3334  | 0.5146  | 0       | -0.2131 | -0.3042 | -0.3425 | -0.3571 | -0.3610 | -0.3581 |        |
| 80°   | 4.1069  | 0.9854  | 0.2954  | 0       | -0.1479 | -0.2262 | -0.2705 | -0.2957 | -0.3150 |        |
| 90°   | 3.7678  | 1.0608  | 0.4632  | 0.1638  | 0       | -0.0964 | -0.1572 | -0.1966 | -0.2320 |        |
| 100°  | 2.2587  | 0.8126  | 0.4334  | 0.2184  | 0.0865  | 0       | -0.0591 | -0.1009 | -0.1420 |        |
| 110°  | -0.0024 | 0.2728  | 0.2258  | 0.1575  | 0.0948  | 0.0423  | 0       | -0.0332 | -0.0693 |        |
| 120°  | -2.2746 | -0.3536 | -0.0633 | 0.0267  | 0.0442  | 0.0355  | 0.0184  | 0       | -0.0242 |        |
| 130°  | -3.7995 | -0.8305 | -0.3096 | -0.1044 | -0.0239 | 0.0042  | 0.0101  | 0.0069  | -0.0033 |        |
| 140°  | -4.1249 | -0.9969 | -0.4161 | -0.1766 | -0.0705 | -0.0242 | -0.0048 | -0.0017 | -0.0009 |        |
| 150°  | -3.2989 | -0.8366 | -0.3702 | -0.1686 | -0.0766 | -0.0334 | -0.0129 | -0.0038 | 0       |        |
| 160°  | -1.8447 | -0.4804 | -0.2133 | -0.1032 | -0.0496 | -0.0235 | -0.0105 | -0.0044 | -0.0007 |        |
| 170°  | -0.5254 | -0.1388 | -0.0639 | -0.0308 | -0.0153 | -0.0075 | -0.0035 | -0.0018 | -0.0004 |        |
| 180°  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |        |

第 7 表  $b_n = c_{ln} \cdot e + c_{2n} \cdot r_c^{1/2} + c_{3n} \cdot r_c^{1/2}$

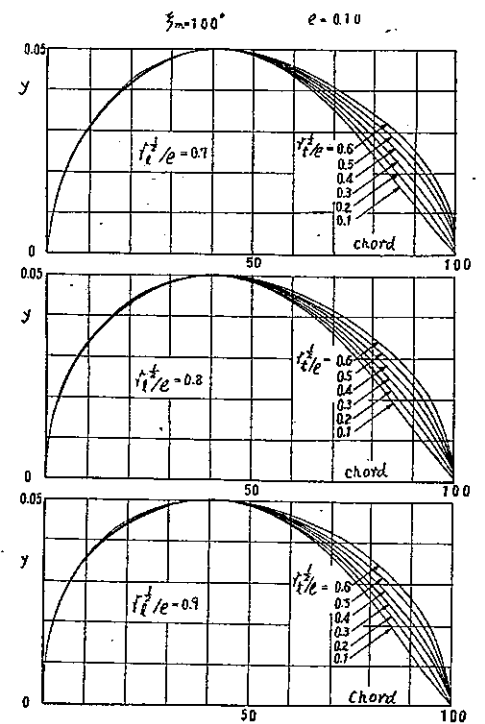
| $\xi_m$  | 60°     | 70°     | 80°     | 90°     | 100°    | 110°    | 120°    |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $c_{21}$ | 0       | 0.2723  | 0.3560  | 0.3750  | 0.3560  | 0.2723  | 0       |
| $c_{11}$ | 0.1179  | 0.1056  | 0.0942  | 0.0884  | 0.1001  | 0.1600  | 0.3536  |
| $c_{01}$ | 0.3530  | 0.1600  | 0.1001  | 0.0884  | 0.0942  | 0.1056  | 0.1179  |
| $c_{22}$ | 0.3849  | 0.1751  | 0.0709  | 0       | -0.0709 | -0.1751 | -0.3849 |
| $c_{12}$ | -0.1375 | -0.1277 | -0.1125 | -0.0884 | -0.0474 | 0.0274  | 0.1768  |
| $c_{02}$ | -0.1768 | -0.0274 | 0.0474  | 0.0884  | 0.1125  | 0.1277  | 0.1375  |
| $c_{23}$ | 0       | -0.0908 | -0.1187 | -0.1250 | -0.1187 | -0.0908 | 0       |
| $c_{13}$ | 0.0786  | 0.0826  | 0.0864  | 0.0884  | 0.0845  | 0.0645  | 0       |
| $c_{03}$ | 0       | 0.0645  | 0.0845  | 0.0884  | 0.0864  | 0.0826  | 0.0786  |
| $c_{24}$ | -0.1925 | -0.0875 | -0.0355 | 0       | 0.0355  | 0.0875  | 0.1925  |
| $c_{14}$ | -0.0196 | -0.0245 | -0.0321 | -0.0442 | -0.0647 | -0.1021 | -0.1768 |
| $c_{04}$ | 0.1768  | 0.1021  | 0.0647  | 0.0442  | 0.0321  | 0.0245  | 0.0196  |

第 8 表  $\sum c_{ln} \sin n\xi$

| $\xi$ | $\xi_m$ | 60°     | 70°    | 80°    | 90°    | 100°    | 110°    | 120° |
|-------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|------|
| 0°    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0    |
| 10°   | 0.0097  | 0.0056  | 0.0039 | 0.0026 | 0.0011 | -0.0018 | -0.0097 |      |
| 20°   | 0.0579  | 0.0409  | 0.0296 | 0.0200 | 0.0084 | -0.0119 | -0.0579 |      |
| 30°   | 0.1667  | 0.1211  | 0.0900 | 0.0625 | 0.0286 | -0.0305 | -0.1667 |      |
| 40°   | 0.3132  | 0.2389  | 0.1837 | 0.1382 | 0.0683 | -0.0461 | -0.3132 |      |
| 50°   | 0.4448  | 0.3655  | 0.2953 | 0.2247 | 0.1315 | -0.0391 | -0.4448 |      |
| 60°   | 0.5000  | 0.4632  | 0.4004 | 0.3248 | 0.2162 | 0.0124  | -0.5000 |      |
| 70°   | 0.4369  | 0.5000  | 0.4744 | 0.4149 | 0.3132 | 0.1025  | -0.4369 |      |
| 80°   | 0.2553  | 0.4692  | 0.5000 | 0.4775 | 0.4064 | 0.2307  | -0.2553 |      |
| 90°   | 0       | 0.3631  | 0.4747 | 0.5000 | 0.4747 | 0.3631  | 0       |      |
| 100°  | -0.2553 | 0.2307  | 0.4064 | 0.4775 | 0.5000 | 0.4692  | 0.2553  |      |
| 110°  | -0.4369 | 0.1025  | 0.3132 | 0.4149 | 0.4744 | 0.5000  | 0.4369  |      |
| 120°  | -0.5000 | 0.0124  | 0.2162 | 0.3248 | 0.4004 | 0.4632  | 0.5000  |      |
| 130°  | -0.4448 | -0.0391 | 0.1315 | 0.2247 | 0.2953 | 0.3655  | 0.4448  |      |
| 140°  | -0.3132 | -0.0461 | 0.0683 | 0.1382 | 0.1837 | 0.2389  | 0.3132  |      |
| 150°  | -0.1667 | -0.0305 | 0.0286 | 0.0625 | 0.0900 | 0.1211  | 0.1667  |      |
| 160°  | -0.0579 | -0.0119 | 0.0084 | 0.0200 | 0.0286 | 0.0409  | 0.0579  |      |
| 170°  | -0.0097 | -0.0018 | 0.0011 | 0.0026 | 0.0039 | 0.0056  | 0.0097  |      |
| 180°  | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       |      |



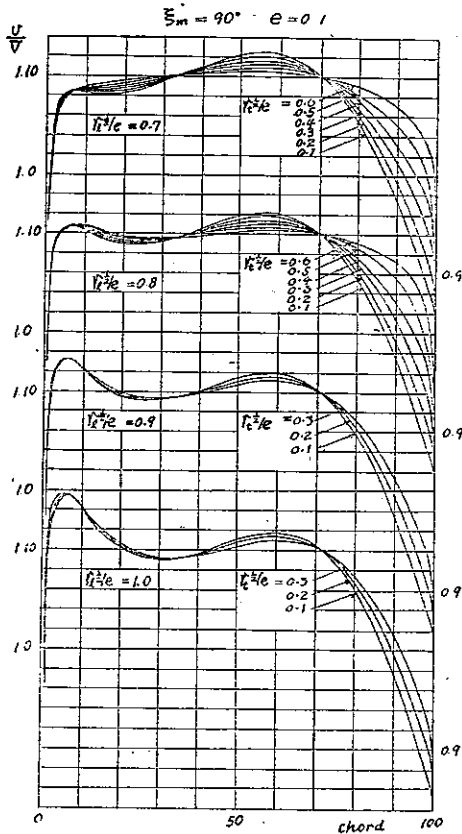
第 2 圖



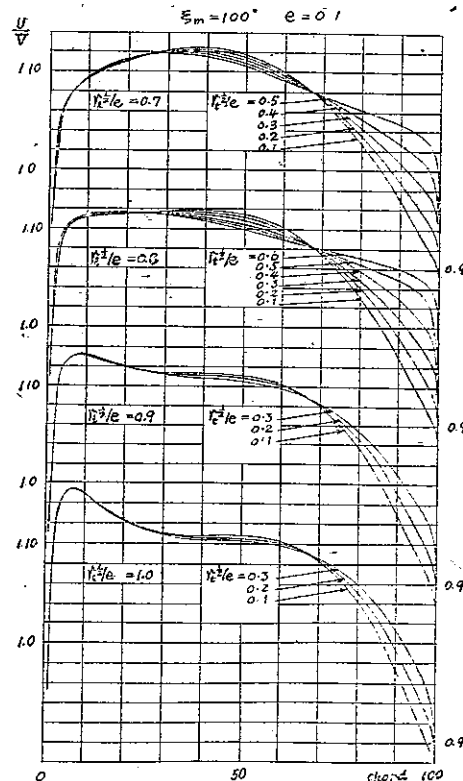
第 3 圖

第9表  $\sum c_n \sin n\xi$

| $\xi_m$ | 60°    | 70°    | 80°    | 90°    | 100°   | 110°   | 120°   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0°      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 10°     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0009 | 0.0018 | 0.0038 | 0.0085 |
| 20°     | 0.0007 | 0.0014 | 0.0032 | 0.0065 | 0.0132 | 0.0277 | 0.0579 |
| 30°     | 0.0014 | 0.0035 | 0.0083 | 0.0177 | 0.0375 | 0.0798 | 0.1768 |
| 40°     | 0.0018 | 0.0057 | 0.0137 | 0.0312 | 0.0687 | 0.1508 | 0.3357 |
| 50°     | 0.0009 | 0.0048 | 0.0156 | 0.0399 | 0.0943 | 0.1267 | 0.5057 |
| 60°     | 0      | 0.0022 | 0.0120 | 0.0383 | 0.1017 | 0.2507 | 0.6124 |
| 70°     | 0.0024 | 0      | 0.0046 | 0.0256 | 0.0851 | 0.2362 | 0.6175 |
| 80°     | 0.0136 | 0.0045 | 0      | 0.0087 | 0.0508 | 0.1767 | 0.5225 |
| 90°     | 0.0393 | 0.0230 | 0.0078 | 0      | 0.0156 | 0.0955 | 0.3536 |
| 100°    | 0.0824 | 0.0603 | 0.0358 | 0.0123 | 0      | 0.0267 | 0.1739 |
| 110°    | 0.1406 | 0.1153 | 0.0860 | 0.0522 | 0.0187 | 0      | 0.0471 |
| 120°    | 0.2042 | 0.1808 | 0.1512 | 0.1149 | 0.0717 | 0.0265 | 0      |
| 130°    | 0.2583 | 0.2396 | 0.2152 | 0.1839 | 0.1435 | 0.0932 | 0.0361 |
| 140°    | 0.2860 | 0.2737 | 0.2573 | 0.2356 | 0.2063 | 0.1666 | 0.1039 |
| 150°    | 0.2736 | 0.2673 | 0.2587 | 0.2475 | 0.2315 | 0.2092 | 0.1768 |
| 160°    | 0.2161 | 0.2140 | 0.2110 | 0.2071 | 0.2016 | 0.1935 | 0.1839 |
| 170°    | 0.1193 | 0.1191 | 0.1186 | 0.1181 | 0.1174 | 0.1162 | 0.1143 |
| 180°    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |



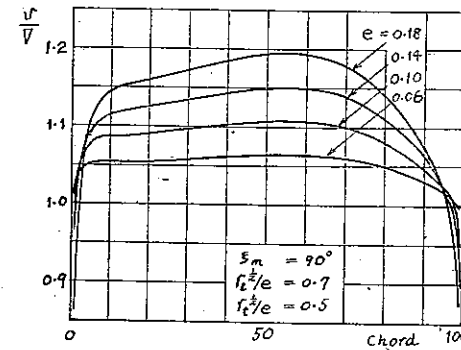
第4圖  $r_1, r_2$  に依る速度分布の變化 ( $\xi_m = 90^\circ, e = 0.10$ )



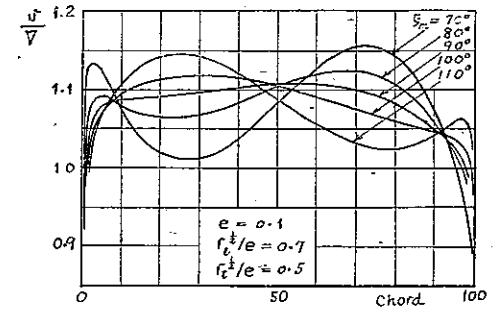
第5圖  $r_1, r_2$  に依る速度分布の變化 ( $\xi_m = 100^\circ, e = 0.10$ )

第10表  $\sum C_n \sin n\xi$

| $\xi_m$ | 60°    | 70°    | 80°    | 90°    | 100°   | 110°   | 120°   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0°      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 10°     | 0.1143 | 0.1162 | 0.1174 | 0.1181 | 0.1186 | 0.1191 | 0.1193 |
| 20°     | 0.1839 | 0.1935 | 0.2016 | 0.2071 | 0.2110 | 0.2140 | 0.2161 |
| 30°     | 0.1768 | 0.2092 | 0.2315 | 0.2475 | 0.2587 | 0.2673 | 0.2736 |
| 40°     | 0.1089 | 0.1666 | 0.2063 | 0.2356 | 0.2573 | 0.2737 | 0.2860 |
| 50°     | 0.0361 | 0.0932 | 0.1435 | 0.1839 | 0.2152 | 0.2396 | 0.2583 |
| 60°     | 0      | 0.0265 | 0.0717 | 0.1149 | 0.1512 | 0.1808 | 0.2042 |
| 70°     | 0.0471 | 0      | 0.0187 | 0.0522 | 0.0860 | 0.1153 | 0.1406 |
| 80°     | 0.1739 | 0.0267 | 0      | 0.0123 | 0.0358 | 0.0603 | 0.0824 |
| 90°     | 0.3536 | 0.0955 | 0.0156 | 0      | 0.0078 | 0.0230 | 0.0393 |
| 100°    | 0.5225 | 0.1767 | 0.0508 | 0.0087 | 0      | 0.0045 | 0.0136 |
| 110°    | 0.6175 | 0.2362 | 0.0851 | 0.0256 | 0.0046 | 0      | 0.0024 |
| 120°    | 0.6124 | 0.2507 | 0.1017 | 0.0333 | 0.0120 | 0.0022 | 0      |
| 130°    | 0.5057 | 0.2187 | 0.0943 | 0.0399 | 0.0156 | 0.0043 | 0.0009 |
| 140°    | 0.3357 | 0.1508 | 0.0687 | 0.0312 | 0.0137 | 0.0057 | 0.0018 |
| 150°    | 0.1768 | 0.0798 | 0.0375 | 0.0177 | 0.0083 | 0.0035 | 0.0014 |
| 160°    | 0.0579 | 0.0277 | 0.0132 | 0.0065 | 0.0032 | 0.0014 | 0.0007 |
| 170°    | 0.0085 | 0.0038 | 0.0018 | 0.0009 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0001 |
| 180°    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |



第6圖 翼厚に依る速度分布の變化



第7圖  $\xi_m$  に依る速度分布の變化

意味する。従つて括弧内の符號に依りて翼型改良の方針が決定される。(18)式は通常の場合近似度は非常に高い。

上記の方法を用ひて行つた實用計算例を第4~7圖に示す。最後に  $\xi_m, e, r_1, r_2$  を與へて  $b^u$  を求める(10)式の係数を第7表に掲ぐ。

第4,5圖を見て氣の付く事は  $r_1, r_2$  を變化して行つても  $v/V$  が殆んど一點に集まる如き點が3點存在する事である。換言すれば如何に  $r_1, r_2$  を變へてもかゝる3點に於ける  $v/V$  の値は殆んど不變である。従つて之等の値が望ましくない場合には幾ら  $r_1, r_2$  を變へても無駄であつて  $\xi_m$  を變へてやらなければ効果はないと云ふ事が云へる。而して上記3點と云ふのは(18)式の第2, 第3の括弧内を零ならしむる  $\xi$  の値として近似的に與へられる。

なほ(10)式を(1)式に代入すると

$$y = \sum_{n=1}^4 b_n \sin n\xi$$

$$= e \cdot \sum_{n=1}^4 c_n \cdot \sin n\xi + r_1^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 c_n \sin n\xi + r_2^{1/2} \cdot \sum_{n=1}^4 c_n \sin n\xi \quad (20)$$

となる。(20)式の  $e, r_1^{1/2}, r_2^{1/2}$  の係数は  $\xi, \xi_m$  のみに依る常數なる故之を一度計算して置けば

翼型の形状を求める際に便利である。之を第 8, 9, 10 表に示す。従つて性能の計算された翼型の形状を逆に求めたい場合には上の表を用ひて計算すれば簡単に求まる。前縁半径、後縁半径を變へて行つた場合の形状の變化の一例を第 2, 3 圖に示す。

3. 風洞實驗

上の解析に依り求められた翼型の中にて代表的なものに就きて風洞にて三分力試験及び壓力分布測定を行つた。即ち

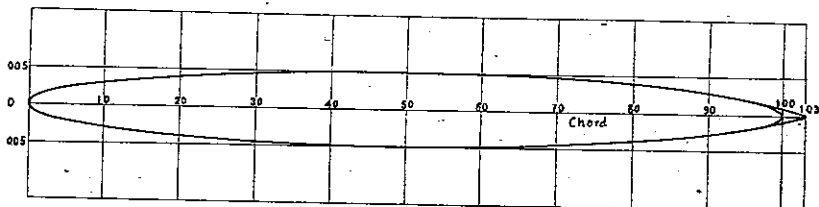
$$\xi_m = 90^\circ, e = 0.10, r_1^{1/2}/e = 0.7 (r_1 = 0.0049), r_2^{1/2}/e = 0.6 (r_2 = 0.0036)$$

なる如きものにして之を T.H. 0-7906 にて表はす。この翼型の  $b_n$  の値は下の如し。

$$b_1 = 0.04899, b_2 = -0.00088, b_3 = -0.00101, b_4 = -0.00044.$$

故に

$$\sum nb_n = 0.04244.$$



第 8 圖 T.H. 0-7906 及び T.H. 0-7903'

第 11 表 T.H. 0-7906 及び T.H. 0-7906' の座標

| x %    | x mm  | T.H. 0-7906       |         | T.H. 0-7906'      |         |
|--------|-------|-------------------|---------|-------------------|---------|
|        |       | y %               | y mm    | y %               | y mm    |
| 0      | 0     | 0                 | 0       | 0                 | 0       |
| 0.50   | 2.0   | 0.70              | 2.80    | 0.70              | 2.80    |
| 1.25   | 5.0   | 1.09 <sub>s</sub> | 4.38    | 1.09 <sub>s</sub> | 4.38    |
| 2.50   | 10.0  | 1.54              | 6.16    | 1.54              | 6.16    |
| 5.00   | 20.0  | 2.16              | 8.64    | 2.16              | 8.64    |
| 7.50   | 30.0  | 2.59 <sub>s</sub> | 10.38   | 2.59 <sub>s</sub> | 10.38   |
| 10.00  | 40.0  | 2.95              | 11.80   | 2.95              | 11.80   |
| 15.00  | 60.0  | 3.52              | 14.08   | 3.52              | 14.08   |
| 20.00  | 80.0  | 3.94              | 15.76   | 3.94              | 15.76   |
| 25.00  | 100.0 | 4.28              | 17.12   | 4.28              | 17.12   |
| 30.00  | 120.0 | 4.53 <sub>s</sub> | 18.14   | 4.53 <sub>s</sub> | 18.14   |
| 40.00  | 160.0 | 4.88 <sub>s</sub> | 19.54   | 4.88 <sub>s</sub> | 19.54   |
| 50.00  | 200.0 | 5.00              | 20.00   | 5.00              | 20.00   |
| 60.00  | 240.0 | 4.87              | 19.48   | 4.87              | 19.48   |
| 70.00  | 280.0 | 4.49 <sub>s</sub> | 17.98   | 4.49 <sub>s</sub> | 17.98   |
| 80.00  | 320.0 | 3.82 <sub>s</sub> | 15.30   | 3.82 <sub>s</sub> | 15.30   |
| 90.00  | 360.0 | 2.74              | 10.96   | 2.74              | 10.96   |
| 95.00  | 380.0 | 1.93              | 7.72    | 1.93              | 7.72    |
| 97.50  | 390.0 | 1.36              | 5.44    | 1.50              | 6.00    |
| 98.75  | 395.0 | 0.95              | 3.80    | 1.22              | 4.88    |
| 100.00 | 400.0 | 0                 | 0       | 0.94              | 3.76    |
| 101.50 | 406.0 |                   |         | 0.52              | 2.08    |
| 103.00 | 412.0 |                   |         | 0                 | 0       |
|        |       | 前縁半径              | 1.96 mm | 前縁半径              | 1.96 mm |
|        |       | 後縁半径              | 1.44 mm |                   |         |

$$\frac{dC_z}{d\alpha} = 2\pi(1 + 2\sum_{n=1}^4 nb_n) \cdot \cos \alpha$$

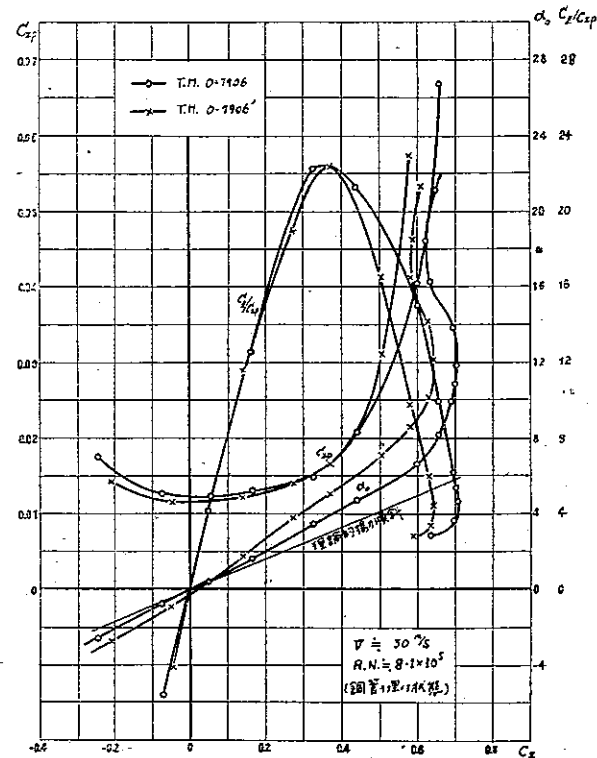
$$= 2\pi \times 1.0849 \times \cos \alpha$$

となる。之に對して比較試験の爲後縁を 3% 延長してその附近のみを變形し且後縁を尖らしたものを作つた。之に今 T.H. 0-7906' なる名稱を附す。之等二つの翼型の形状及び座標を夫第 8 圖、第 11 表に示す。因みに上の T.H. 0-7906 の後縁半径の大きさは N. A. C. A. にて用ひて居る普通の翼型の前縁半径の約三分の一の程度のものにして、形状を見れば明らかなる如く實際の飛行機に於ける工作上の後縁の丸みとは根本的に形状を異にして居るものである。

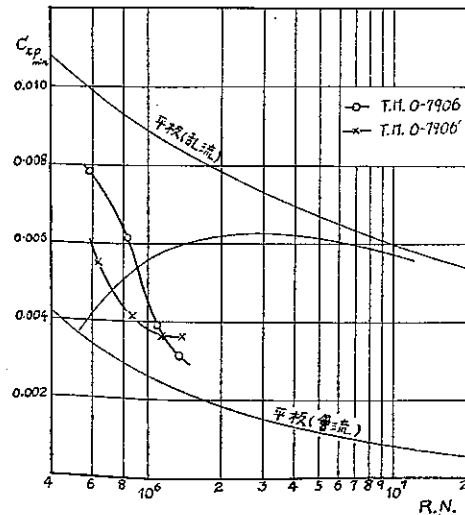
さて用ひたる模型の寸法下記の如し。

T.H. 0-7906; 翼幅: 1,500 mm, 翼弦: 400 mm, 最大翼厚: 40 mm, 縦横比: 3.75

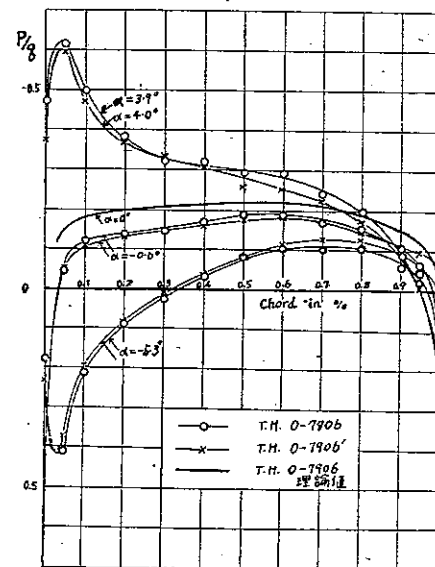
T.H. 0-7906'; 翼幅: 1,500 mm, 翼弦: 412 mm, 最大翼厚: 40 mm, 縦横比: 3.68



第 9 圖 T.H. 0-7906 及び T.H. 0-7906' の二次元的性質



第 10 圖 T.H. 0-7906 及び T.H. 0-7906' のレイノルズ數に依る變化



第 11 圖 T.H. 0-7906 及び T.H. 0-7906' の壓力分布試験結果

之等の三分力試験結果を第 9 圖に、又壓力分布試験結果を第 11 圖に示す。

先づ三分力試験を見るに零揚力角に於ける揚力傾斜を  $2\pi\sigma$  にて表はすとこの  $\sigma$  は T.H. 0-7906' の  $\sigma=4.10$  であるに對して T.H. 0-7906 では  $\sigma=5.50$  となり、又最大揚力係数は前者が  $C_{zmax}=0.645$  なるに對して後者は  $C_{zmax}=0.705$  となり著しい差異が見られる。次に形狀抵抗係数は前者の  $C_{zpmn}=0.0115$  に對して後者の  $C_{zpmn}=0.0122$  となり幾分かは増して居るが  $C_z$  が増すと共にこの關係は段々と破れ  $C_z=0.30$  以上では反對に後者の方が形狀抵抗係数は小さくなり  $C_z$  が大きくなると共に増々著しくなる。但し上の結果は壓力分布測定の爲の銅管を埋めたる状態なる故餘り正確なものではなく風速は約 30 m/s に於ける値であるが、銅管を取外して表面を滑らかにした状態にてレイノルズ數と共に最小形狀抵抗係數の變化して行く様子を第 10 圖に示す。之に依るとレイノルズ數  $10^6$  を越へると T.H. 0-7906 の方が  $C_{zpmn}$  が小さくなるばかりでなくその値も非常に小さいと云ふ注目すべき結果が得られた。この事は一見奇異の如くに考へられるが元來上の如き翼型に於ては遷移點は大約弦長の 90% にあり従つて後縁附近の僅かの部分が全體の摩擦抵抗に及ぼす影響は少くないものと考へられる。故にこの部分を後縁を尖らせんが爲にわざと面積を増す事は壓力抵抗を小ならしめる益よりも摩擦抵抗を大ならしめる害の方が大きいと解釋される。

以上の結果は今後矢高を有する翼型を設計する際に非常な希望を持たしむるものであつて巡航性能の優秀なる翼型、換言すれば比較的高揚力係數にて飛ぶ長距離機、旅客機に適當した翼型を設計する可能性がある。下げ翼の後縁に就きて興味ある問題を與へるであらふ。なほ上記試験結果より T.H. 0-7906、及び T.H. 0-7906' の揚力曲線を見ると揚力傾斜に差はあつても失速角には差の見られない事が分る。之より揚力傾斜は後縁半徑に依りて左右されるが失速角は前縁半徑に依りて左右される事が分る。従つて最大揚力係數の大なる翼型を求めたい時には前縁半徑、後縁半徑を共に考慮する必要がある。

次に壓力の分布測定結果を第 11 圖に示す。後縁附近に於ける二つの翼型の差違を求めると目的だつたのであるが餘り明瞭な結果は得られなかつた。都合に依り止むを得ず銅管を埋めて行つたものであるが、更に他の方法にて正確に測定する必要があると思はれる。

#### 4. 結 語

對稱翼型に就きて後縁半徑を導入する事に依り系統的に解析する一方法を提供する事が出來た。又後縁半徑を有する翼型の風洞實驗に依ると揚力傾斜及び最大揚力係數に向上が得られる。又抵抗係數は小迎角に於ては劣るけれども大迎角になるに従つて寧ろ有利になつて來る。しかも大レイノルズ數に於ては後縁半徑を有せしめた方が最小形狀抵抗係數さへも小さくなる。従つて巡航時の揚抗比は大レイノルズ數に於て著しく良くなる可能性が有る。更に矢高を持つた翼型にかゝる肉付きを適用する時は更に良い結果が期待される。

今後更に明らかにすべき點は次の如き諸點である。

- (i) 大きなレイノルズ數に於て最適なる後縁半徑の程度を決定すること。
- (ii) 矢高を有する實用の翼型に適用してその性能を確めること。
- (iii) 形狀抵抗がレイノルズ數と共に如何に變化して行くかをより一層明確に求めること。
- (iv) 最大揚力係數に關して前縁半徑と後縁半徑との最も良き關係を求めること。

終りに當り有益なる助言を頂いた谷助教授、及び本計算に當られた設計課鈴木市郎、田中幸吉兩君に謝意を表す。

(終)