

UDC 533.69.048.2

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-377

十字翼の圧力分布測定

森田甫之・江尻 宏・菊池孝男

1979 年 1 月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

十字翼の圧力分布測定

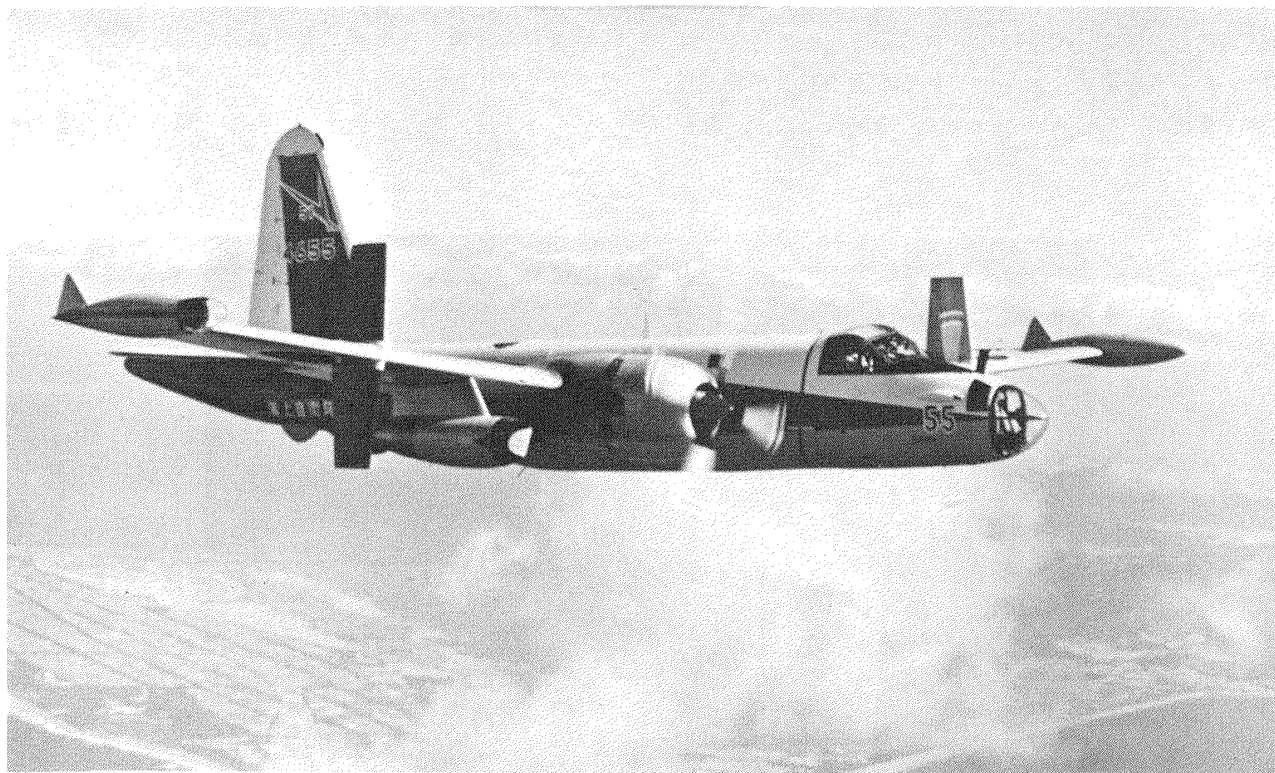
Measurements of Pressure Distribution on Cruciform Wing

森田 甫之* 江 尻 宏* 菊池 孝男*

1. はじめに

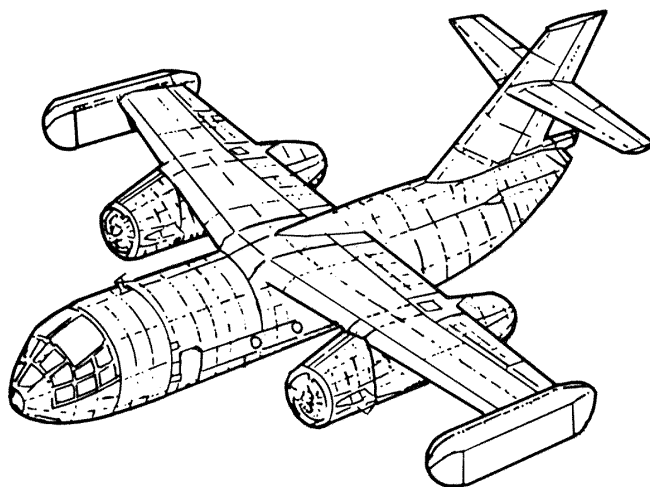
航空機の尾部その他において、2枚の翼が十字形に交差した形状がしばしば見られる（写真A・スケッチ1）この様な形状の交差部付近は、2枚の翼の干渉によって空気力学的に問題のある部分があって、同様の問題はT

型尾翼や主翼とエンジン・パイロンの結合部にもある。最近の計算法の進歩によって、この様な形状に対する空気力学的圧力分布を計算することも可能になって来たが、実験によってこれを測定した資料は極めて少ない。著者らは、2枚の全く同一の翼を直交させた簡単な形状の十字翼について、交差部付近の圧力分布をチューブ・スキャ



写真A VSA（可変特性研究機）

* 機体第一部 昭和53年10月24日受付



スケッチ 1 Do 31 E 1

ニバルブ方式で測定した。また、交差部に後方に張り出した砲弾型のフェアリング物体（以下ブレットと呼ぶ）を取付けた場合の測定も行なってその影響を調べた。

2. 模 型

圧力分布測定に用いられた翼模型は、航空宇宙技術研究所・工作課にて製作されたもので、写真B、図1に示されている様に、2枚の翼が直交するいわゆる十字翼、及び写真C、図2、図3に示されている如く、その十字翼にブレットを取付けたものである。水平翼及び垂直翼は共に翼型が、NACA 0020-35で、全翼幅 1.2m、翼張

長 0.2 m である。翼の厚さの影響が顕著に現れる様に、このような厚い翼型を選んだ。両翼直交部分は、直交中心から水平翼の 0.288 m 及び垂直翼の 0.088 m がアルミニウム合金を、他の部分にはマホガニを用いて製作された。マホガニ部分の断面中心には、垂直翼に 1 本、水平翼に 2 本の 8 mm 径丸鋼材が補強材として貫通し、中央部アルミニウム合金にねじ込まれている。これらの補強材の両端は翼の両先端において、翼模型の風洞内固定の為に垂直翼両先端に各 1 ケ、水平翼両先端に各 2 ケのフックを取り付けた。

ブレットは、翼厚が最大になる50%翼弦点から後方に



写 真 B

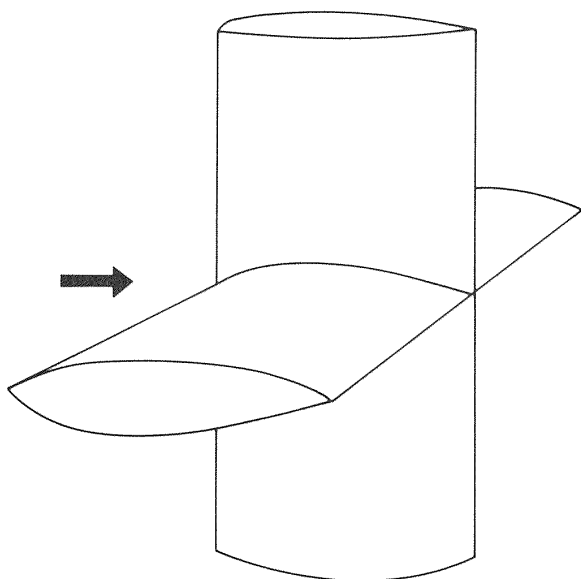


図1 十字翼スケッチ
(w/o Bullet)

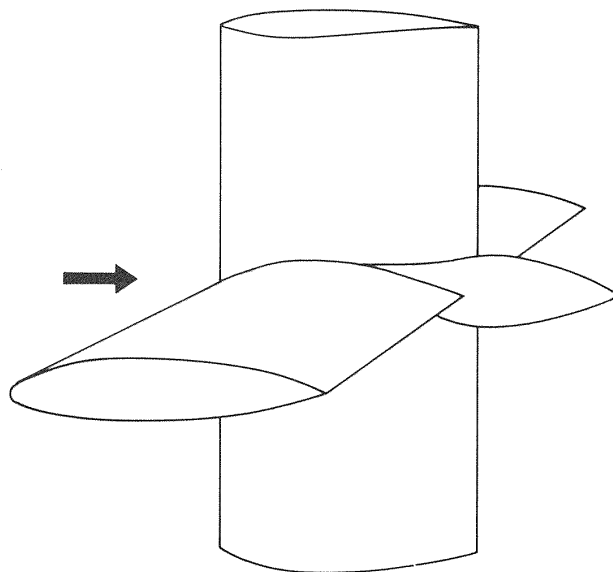


図2 十字翼スケッチ
(with Bullet)

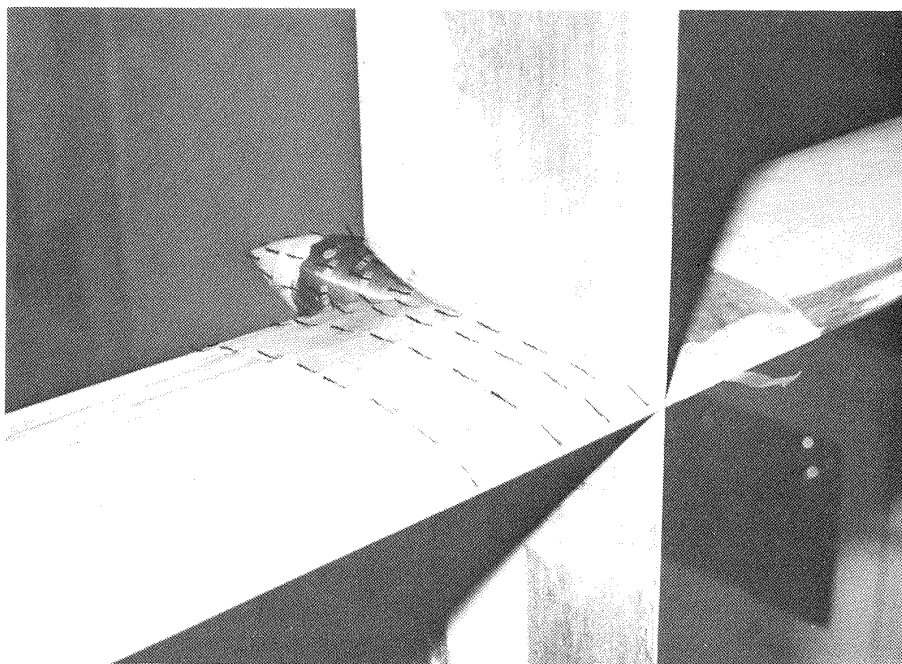


写真 C

付けられ、後縁からは50%弦長だけ張出している。翼上の部分は円柱形で、2枚の翼の翼面の交線が50%翼弦点でこの円柱にちょうど内接する様になっている。即ち、最大翼厚を t_{max} とすると円柱の半径は $t_{max}/\sqrt{2}$ である。張出し部分は円柱に滑らかに接続し、後端のつながった回転体でその半径 r は $r = -0.1\sqrt{2}c\{4(x/c)^2 - 8(x/c) + 3\}$ で表される。ここで c は翼弦長、 x は翼前縁から後方に向かう座標、 $t_{max} = 0.2c$ である。

最初、ブレット付実験を行なった後これを取りはずし

て、ブレット無しの実験を行なう事が出来る様になっている。

静圧孔は、内径が 0.5 mm で、左水平翼面に垂直翼及びブレット内柱との交線から 4 mm 離れた線上に上下各10点、及び両翼直交中心から25%、40%翼弦長距離の断面上に上下各10点、又ブレット上は水平翼面に対し $\pm 45^\circ$ 線上に各5点づつ面に垂直に図4の如くあけられている。静圧孔からの圧力は、スチールパイプ、ビニールパイプ及び銅パイプを通し垂直翼下端から取出されている。

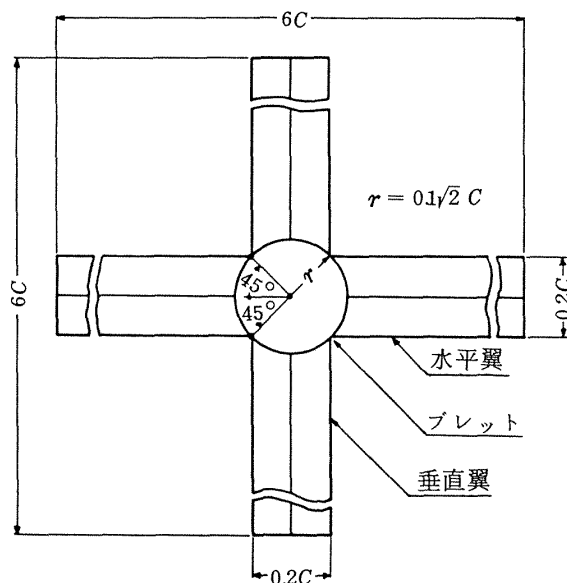


図3 十字翼後方より (with Bullet)

尚, 40% 翼弦長距離の断面上的の静圧分布測定は行なわなかった。

3. 実験設備及び実験

本実験は、航空宇宙技術研究所・調布分室の突風風洞¹⁾を用いて行なわれた。この風洞は、断面が2 mの正方形、長さが4 mの測定部を有し、常用風速は3～50 m/sの回

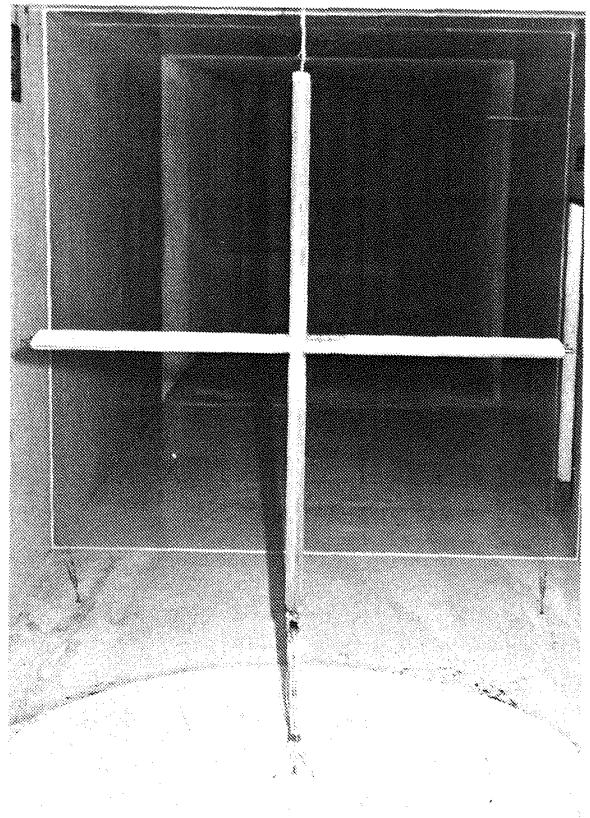
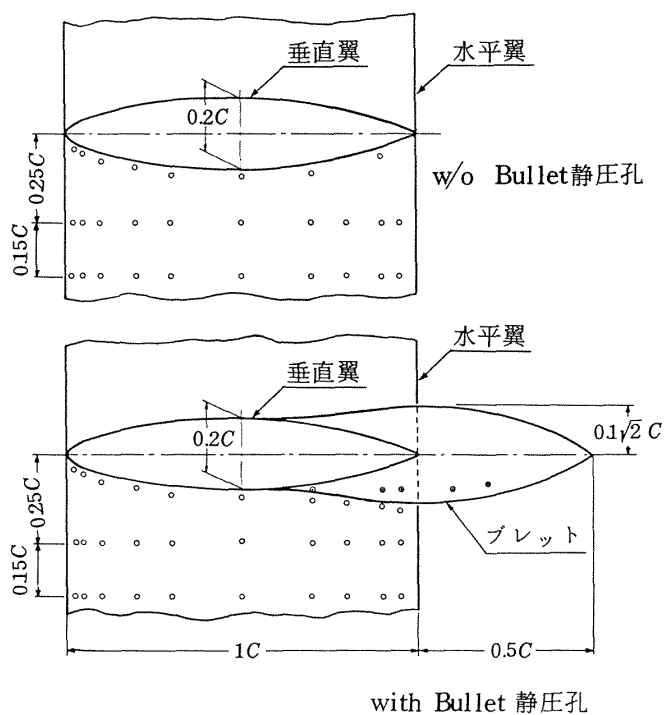


写真 D



- 水平翼上 } 静圧孔 0.5 mm φ
- Bullet上

図4 翼模型の静圧孔位置

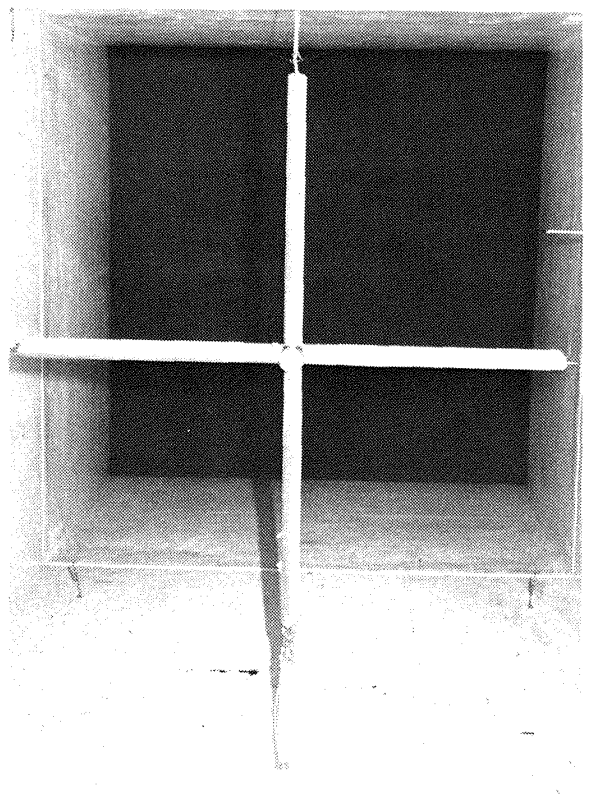


写真 E

流型である。この風洞を固定壁状態で用い、十字翼模型を写真D・Eの如く、測定部中心に1mm ϕ ピアノ線、4mm ϕ 燃線及びターソンバックルを用いて吊下げ固定した。

圧力分布測定。風速が40 m/s 又は50 m/s、迎角が0°～3.8°迄若干の迎角について、測定部動圧が一定になった後、垂直翼下端に導かれた翼面及びプレート面上各圧力を、再度ビニールパイプを用いてスキュー。バルブに導き、バルブを切換える事によりその内部に納められた

0.25 psid の圧力トランスデューサーに伝達する。各圧力孔からのこれら圧力は、直流電圧に変換された後シグナルコンディショナーを経てデジタル電圧計に指示され、バルブの切換え毎にその指示値を直接読み取る事によって電圧の形で測定した。風洞動圧は、圧力測定中常時監視されていて手動により制御された。

トランスデューサー。この圧力ピックアップは、ブリッジ構成の半導体ストレインゲージ型で、入出カインビー

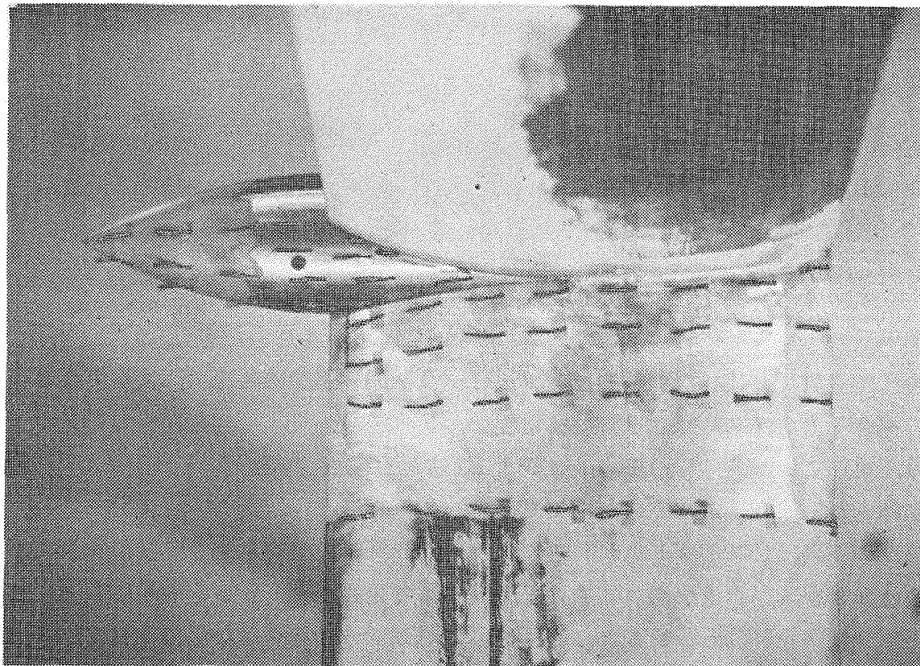


写真 E₁ $v = 20 \text{ m/s}$

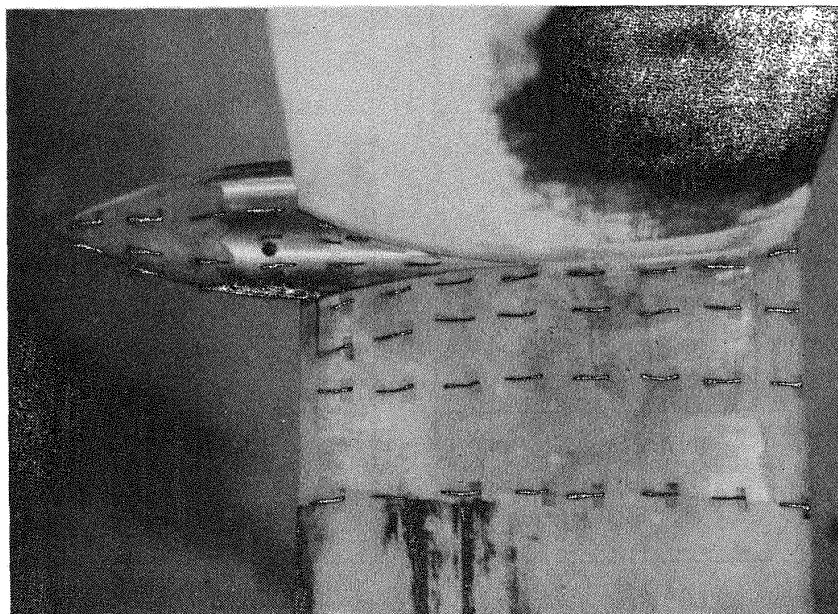
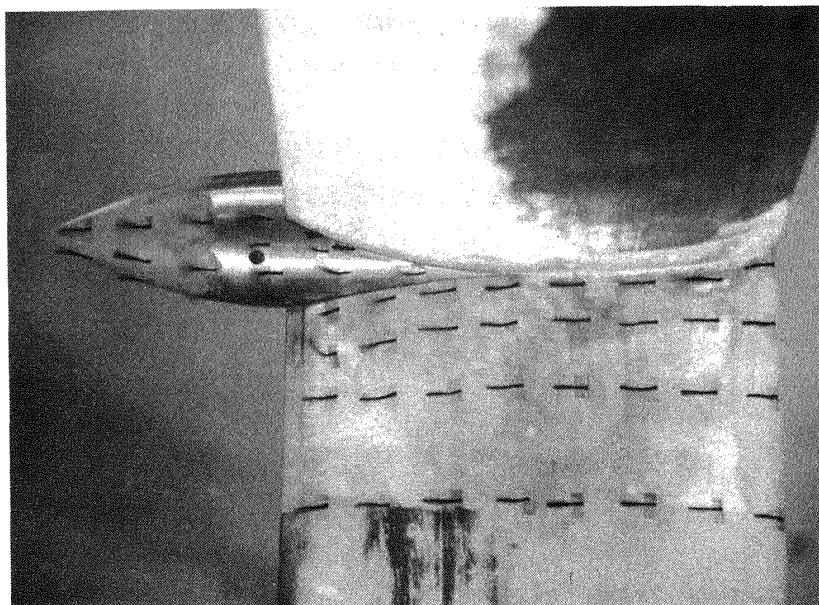


写真 E₂ $v = 30 \text{ m/s}$

写真 F₃ $v = 40 \text{ m/s}$

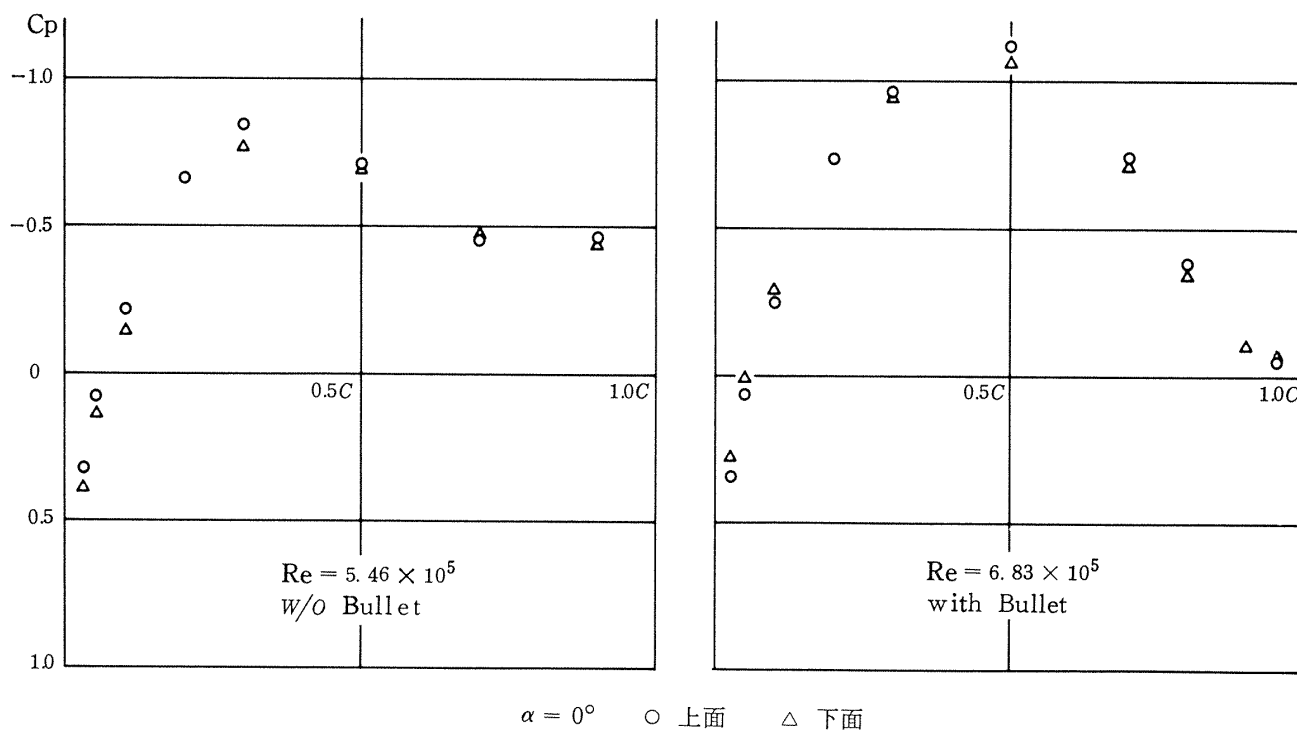
ダンス1000 Ω 供給電圧は直流12V仕様が標準的な使用方法であるが、計測器の都合上入力350 Ω 端子、供給電圧10Vを用いた。従って事前に上記条件での圧力トランスデューサーの較正試験を行い、測定に支障のない事を確認した。供給電源電圧の下限は10V前後と思われる。

気流糸。気流の様態を目視・写真撮影の為に右水平翼面上及びブレット上に気流糸を貼付し、風速20, 30, 40

及び50 m/s での気流糸に依る流れの観察を行った。写真F。

4. 結 果

計測結果を表1～3及び図5～13に示す。十字翼の干渉効果及びブレットを取付ける事によるその緩和、後縁附近でのゆるやかな圧力上昇が見られる。

図5 水平・垂直翼の Intersection 近傍に於ける圧力係数 C_p の比較

| Intersection 近傍に於ける C_p | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| x/c | $\alpha = 0^\circ$ | | $\alpha = 3.16^\circ$ | | $\alpha = 3.77^\circ$ | |
| | 翼上面 | 翼下面 | 翼上面 | 翼下面 | 翼上面 | 翼下面 |
| 0.025 | -0.332 | 0.399 | 0.079 | 0.614 | -0.023 | 0.672 |
| 0.05 | 0.080 | 0.142 | -0.176 | 0.342 | -0.254 | 0.394 |
| 0.1 | -0.212 | -0.142 | -0.413 | - | -0.504 | -0.062 |
| 0.2 | -0.654 | - | -0.814 | - | -0.875 | - |
| 0.3 | -0.836 | -0.763 | -0.916 | -0.699 | -0.943 | -0.693 |
| 0.5 | -0.709 | -0.695 | -0.499 | -0.897 | -0.606 | -0.949 |
| 0.7 | -0.454 | -0.478 | -0.377 | -0.514 | -0.368 | -0.536 |
| 0.9 | -0.461 | -0.439 | -0.390 | -0.512 | -0.373 | -0.498 |
| 水平・垂直翼交差中心線より0.25C離れた翼弦線上の C_p | | | | | | |
| 0.025 | 0.028 | 0.013 | -0.345 | 0.420 | -0.495 | 0.511 |
| 0.05 | -0.125 | 0.002 | -0.460 | 0.235 | -0.516 | 0.300 |
| 0.1 | -0.380 | -0.217 | -0.474 | 0.009 | -0.562 | 0.038 |
| 0.2 | - | -0.500 | - | -0.342 | - | -0.303 |
| 0.3 | - | -0.649 | - | -0.595 | - | -0.550 |
| 0.5 | -0.729 | -0.687 | -0.667 | -0.754 | -0.674 | -0.774 |
| 0.7 | -0.572 | -0.570 | -0.378 | -0.681 | -0.592 | -0.707 |
| 0.8 | -0.737 | -0.406 | -0.426 | -0.617 | -0.363 | -0.639 |
| 0.9 | -0.466 | -0.416 | -0.418 | -0.438 | -0.426 | -0.434 |
| 0.95 | -0.424 | -0.416 | -0.410 | -0.410 | -0.422 | -0.370 |

 $Re = 5.46 \times 10^5$ 表 1. w/o Bullet の場合の圧力係数 C_p

| x/c | $\alpha = 0^\circ$ | | | | $\alpha = 2.45^\circ$ | | | | $\alpha = 3.81^\circ$ | | | |
|-------|--------------------|---------|--------|---------|-----------------------|---------|--------|---------|-----------------------|---------|--------|---------|
| | 翼上面 | Bullet上 | 翼下面 | Bullet下 | 翼上面 | Bullet上 | 翼下面 | Bullet下 | 翼上面 | Bullet上 | 翼下面 | Bullet下 |
| 0.025 | 0.346 | / | 0.280 | / | 0.060 | / | 0.522 | / | -0.050 | / | - | / |
| 0.05 | 0.064 | / | 0.012 | / | -0.215 | / | 0.247 | / | -0.306 | / | 0.366 | / |
| 0.1 | -0.244 | / | -0.288 | / | -0.503 | / | -0.074 | / | -0.576 | / | 0.044 | / |
| 0.2 | -0.732 | / | - | / | -0.958 | / | - | / | -1.009 | / | - | / |
| 0.3 | -0.965 | / | -0.946 | / | -1.150 | / | -0.802 | / | -1.197 | / | -0.708 | / |
| 0.5 | -1.108 | / | -1.061 | / | -1.221 | / | -0.999 | / | -1.212 | / | -0.939 | / |
| 0.7 | -0.739 | -0.717 | -0.702 | -0.680 | -0.775 | -0.759 | -0.731 | -0.698 | -0.726 | -0.709 | -0.724 | -0.682 |
| 0.8 | -0.373 | / | -0.336 | / | -0.376 | / | -0.403 | / | -0.341 | / | -0.419 | / |
| 0.9 | - | -0.119 | -0.106 | -0.104 | - | -0.157 | -0.114 | -0.125 | - | -0.145 | -0.147 | -0.125 |
| 0.95 | -0.051 | -0.054 | -0.061 | -0.044 | -0.053 | -0.092 | -0.061 | -0.060 | 0.006 | -0.089 | -0.050 | -0.054 |
| 1.1 | / | -0.003 | / | 0.037 | / | -0.032 | / | -0.008 | / | -0.030 | / | -0.015 |
| 1.2 | / | 0.027 | / | 0.061 | / | 0.013 | / | 0.031 | / | 0.045 | / | 0.016 |

 $Re = 6.83 \times 10^5$ 表 2. 水平・垂直翼 Intersection 近傍に於ける圧力係数 C_p

| x/c | $\alpha = 0^\circ$ | | $\alpha = 2.45^\circ$ | | $\alpha = 3.81^\circ$ | |
|-------|--------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | 翼上面 | 翼下面 | 翼上面 | 翼下面 | 翼上面 | 翼下面 |
| 0.025 | 0.078 | 0.015 | -0.331 | 0.341 | -0.505 | 0.485 |
| 0.05 | -0.109 | -0.119 | -0.430 | 0.147 | -0.557 | 0.283 |
| 0.1 | -0.289 | -0.304 | -0.542 | -0.095 | -0.621 | 0.020 |
| 0.2 | - | -0.528 | - | -0.419 | - | -0.323 |
| 0.3 | - | -0.774 | - | -0.654 | - | -0.564 |
| 0.5 | -0.928 | -0.897 | -1.027 | -0.847 | -1.018 | -0.782 |
| 0.7 | -0.768 | -0.737 | -0.817 | -0.754 | -0.755 | -0.730 |
| 0.8 | -0.440 | -0.434 | -0.432 | -0.522 | -0.375 | -0.582 |
| 0.9 | -0.120 | -0.135 | -0.040 | -0.222 | -0.027 | -0.245 |
| 0.95 | 0.040 | 0.012 | -0.014 | -0.081 | 0.009 | -0.107 |

$$Re = 6.83 \times 10^5$$

表 3. 水平・垂直翼交差中心線より0.25翼弦長離れた翼弦線上の
圧力係数 C_p

図5は、ほとんど揚力を持たない迎角 $\alpha \approx 0^\circ$ 附近での
ブレット無し及び付について水平・垂直翼交線及び水平・
ブレット交線から4mm離れた水平翼面上における圧力分
布を比較したものである。ブレット無しの場合、両翼結
合線上の0.3C迄傍ですでに最低圧力点に達している。
又0.3C迄滑めらかな圧力降下その後のゆるやかな圧力
上昇を示した気流は、0.7C附近から肥大した境界層の
剥離が顕著である為乱れている事を示している。ブレッ
ト付の場合、最低圧力点は0.5C附近に移動し、この点

迄ゆるやかな圧力降下、その後後縁に向ってゆるやかな
圧力上昇となり剥離がほとんど見られず、ブレットを取
付ける事に依り気流は後縁に向って滑めらかに流れ去り、
急激な圧力上昇を押えて剥離を緩和し、ブレットに依る
効果を確認した。

図6は、両翼直交中心から0.25C離れた水平翼面上に
おける圧力分布状況を示している。この0.25C翼弦線上
においても干渉効果及びブレット効果が現われている。
ブレット無しの場合の最低圧力点が0.5C位置に移動し

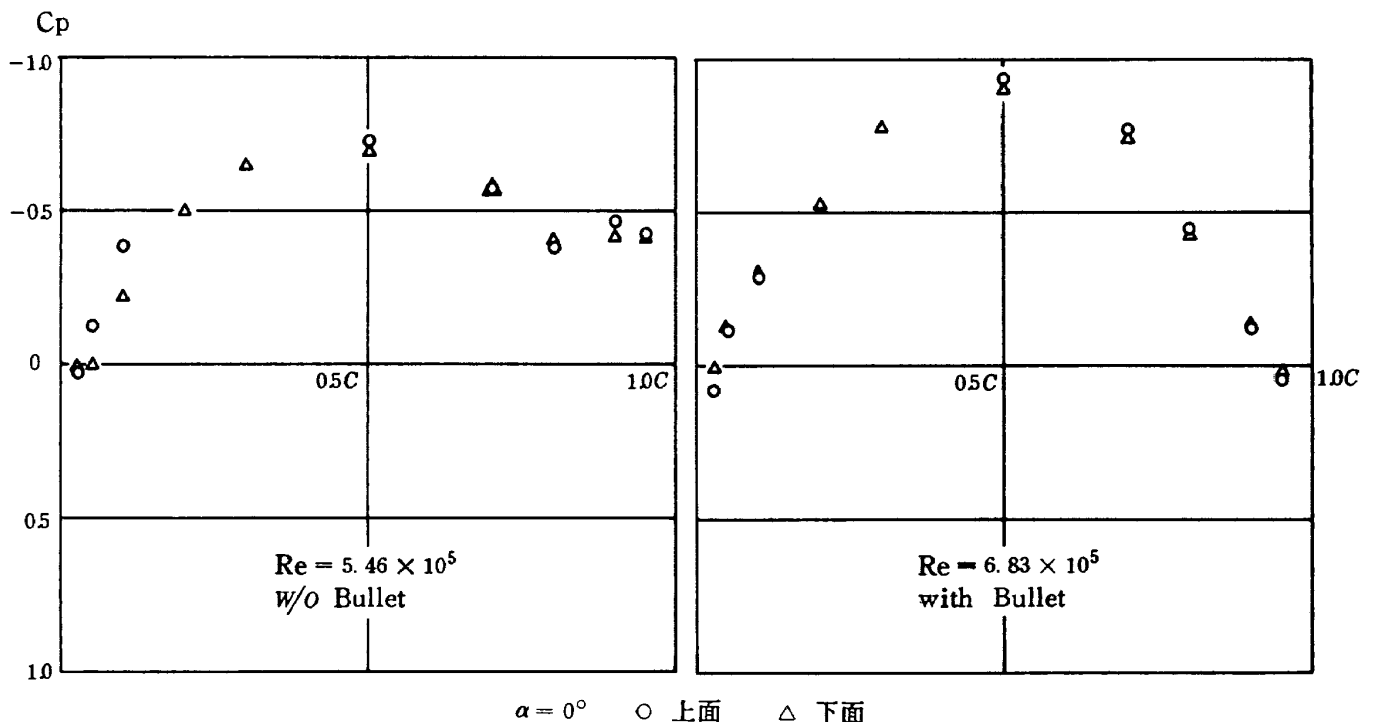


図 6. 水平・垂直翼交差中心線より0.25翼弦長離れた翼弦線上の
圧力係数 C_p の比較

剥離位置が $0.1C$ 程度後退していることから垂直翼の影響が若干減じている事、又ブレット付の場合の最低圧力点 $0.5C$ 迄の圧力係数が20%程度上昇している外は、図5に示した水平・垂直翼交線附近及び水平翼・ブレット交線附近の場合の気流の様子とほぼ同様の事が云える。

図7は、ブレットの放物面上の圧力分布を黒丸・黒三角形で示した。後縁を過ぎた気流が滑らかでブレット最後端に向けゆるやかな圧力上昇をしているものと考えられる。

図8～10は、揚力を持つ場合ブレット無し $\alpha = 3.77^\circ$ とブレット付が $\alpha = 3.18^\circ$ とブレット無しの迎角 α にほぼ等しい場合の圧力分布を比較したものである。このブレットを取付ける事によってこの程度の迎角では剥離を防止している様子が明らかである。一部の実験結果については、有限要素法を用いた解析結果と比較して示した。^{2,3)}

図11は、ブレット無しで $\alpha = 3.16^\circ$ の場合である。この場合は、 $\alpha = 3.77^\circ$ の結果とほぼ同様の傾向を示している。

図12, 13は、ブレット付で $\alpha = 1.78^\circ$ の場合で $\alpha = 3.81^\circ$ の結果とほぼ同様な傾向を示している。

写真 F_2 , F_3 の如く、ブレット近傍翼面上の $0.9C$ 付近から後縁に向かって、弱い剥離を生じている事を気流糸に依り観測した。

5. む す び

比較的厚い翼型 NACA0020-35 を十字翼模型の水平・垂直翼に用いて、最低圧力点を一致させる様な組合せに

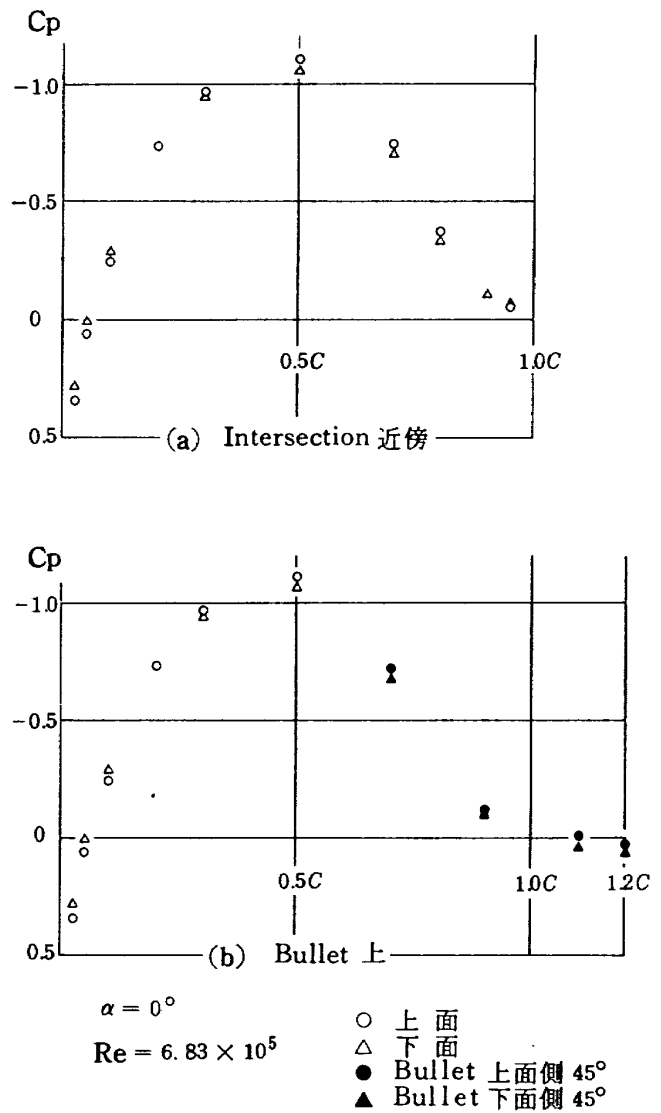


図7 翼面上及びBullet上の圧力係数 C_p

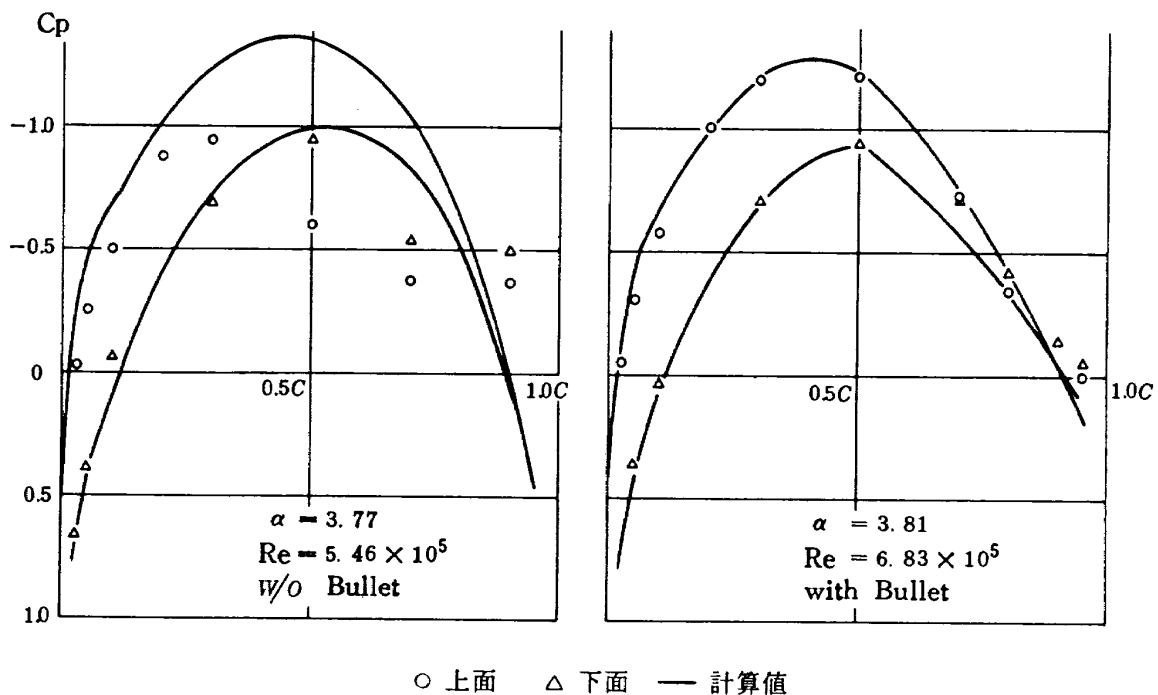
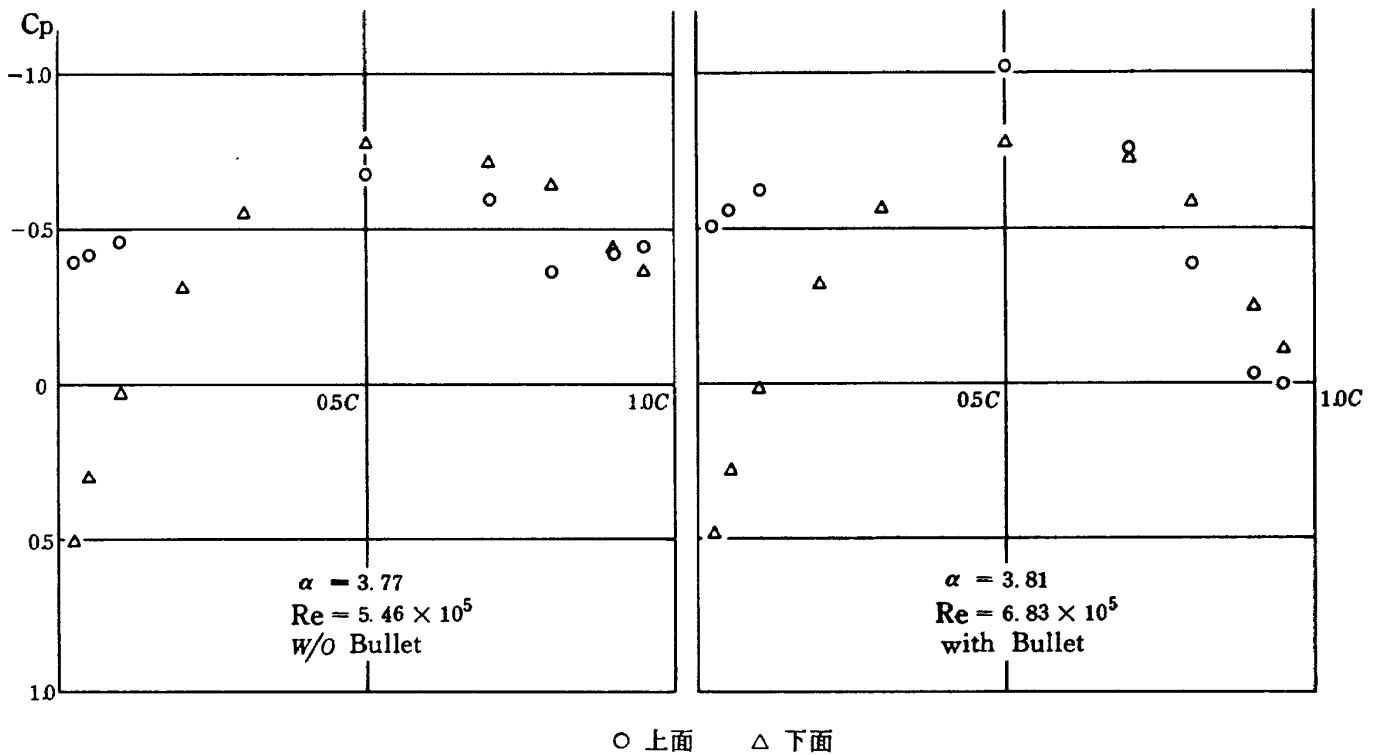
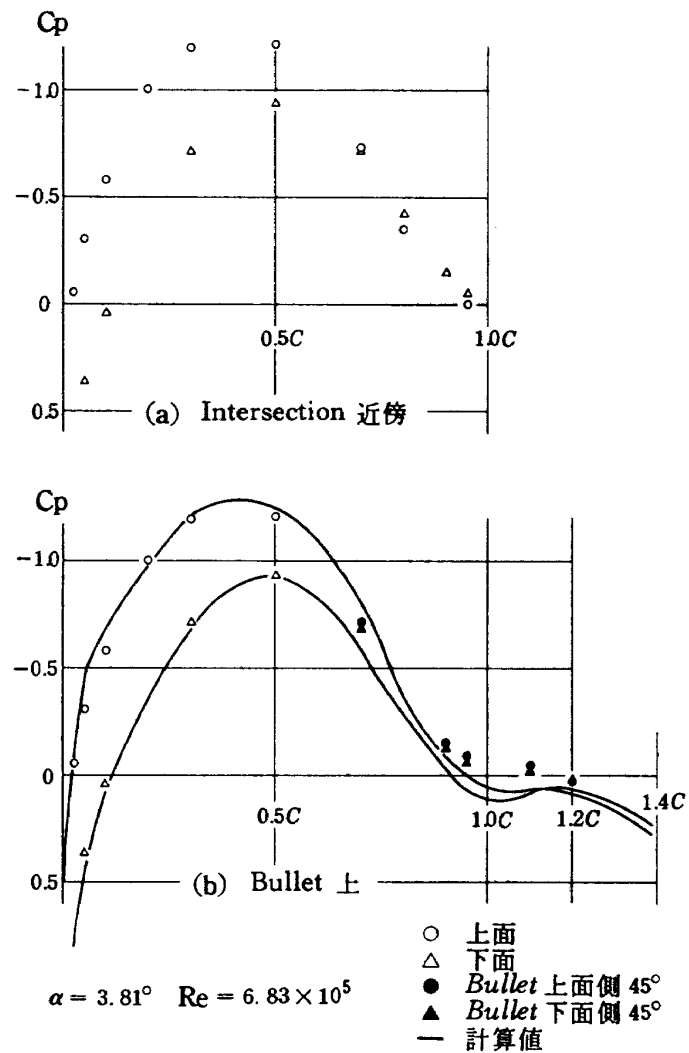


図8 水平・垂直翼 Intersection 近傍に於ける圧力係数 C_p の比較

図9 水平・垂直翼交差中心線より 0.25 翼弦長離れた翼弦線上の圧力係数 C_p の比較図10 翼面上及びBulletの圧力係数 C_p

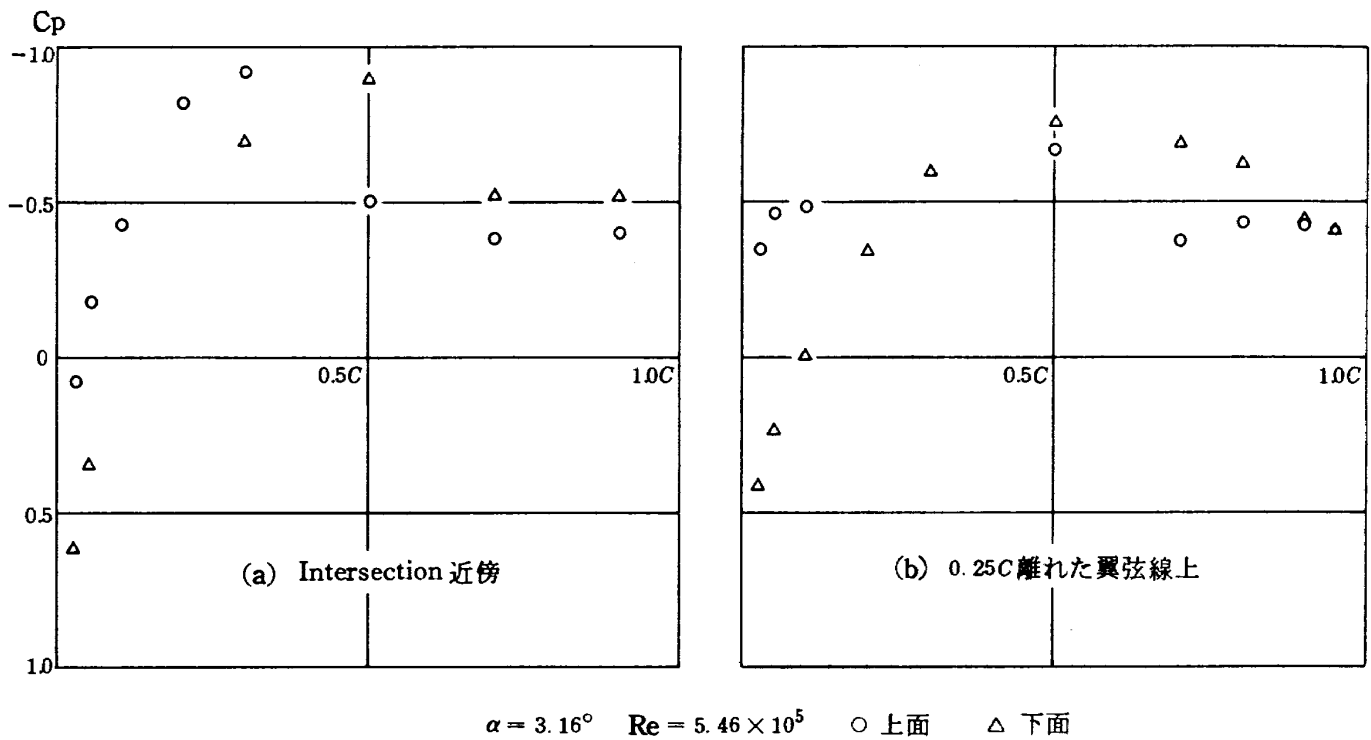


図11 w/o Bullet の場合の圧力係数 C_p

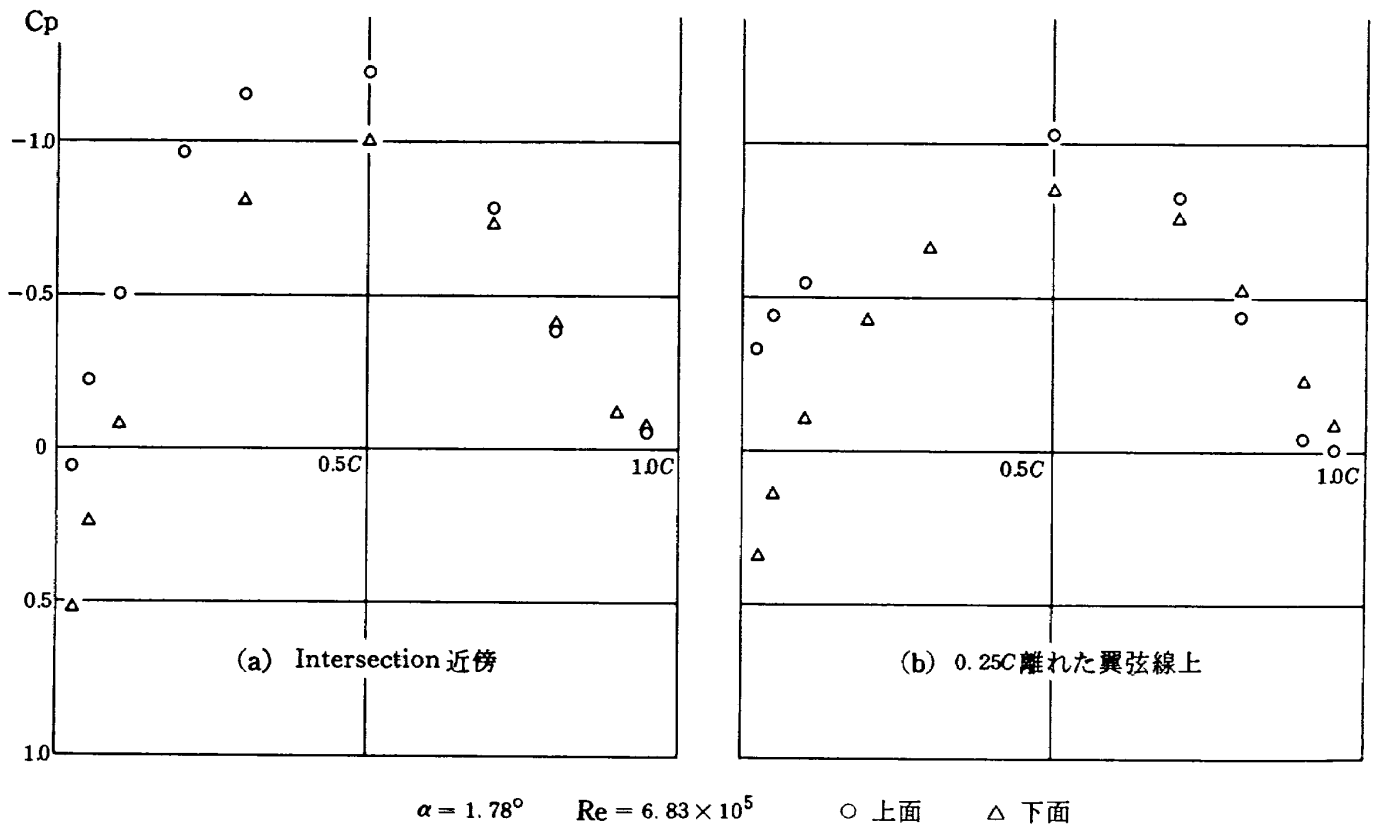


図12 With Bullet の場合の圧力係数 C_p

した場合の干渉、及び二面の翼が交わる部分の最大厚位置より後縁の後方50%弦長迄プレットを取付けた場合の干渉効果緩和状況を、風洞実験により調べて圧力分布係数の形で資料を提供した。

おわりに、東大・鷺津久一郎教授、東大大学院生・鈴木真二氏には、一部実験との比較の為の解析例を心よく提供いただきました。新型航空機グループの広末健一グループリーダー外の方々には、模型の取付け風洞実験についてご指導、ご協力いただき、又空気力学第二部の海老沼幸成技官には、模型支持の吊線に関しご指導いただき、管理部工作課水野洗課長外の方々には、模型製作に際し、面倒な注文をお聞きいただきました。

ここに謝意を表する次第です。

6. 参考文献

1) 広末・北村・村上・進藤

航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験航技研報告 NAL TR-335, 1973年9月

2) 鷺津・中村・鈴木

有限要素法を用いた十字翼の fillet 効果の解析
昭和52年度飛行機シンポジウム講演集 P.52 ~ P.54

3) 鷺津・中村・鈴木

有限要素法を用いた十字翼の fillet 効果の解析第2報
航空宇宙学会第9期年会講演集 P.12 ~ P.13

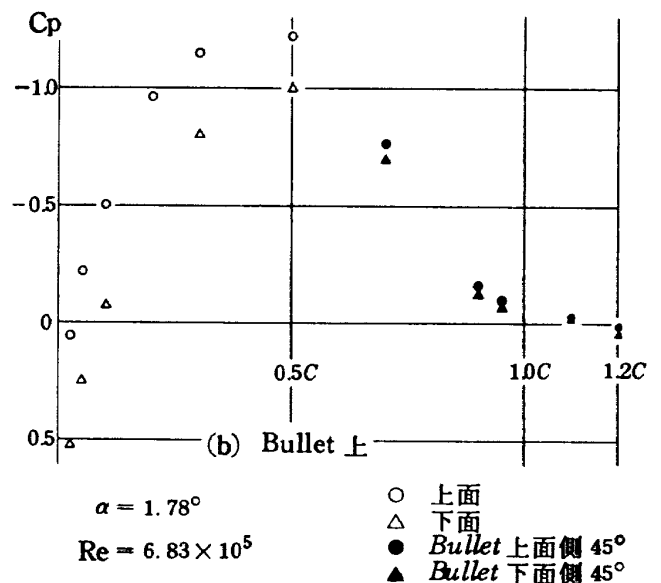
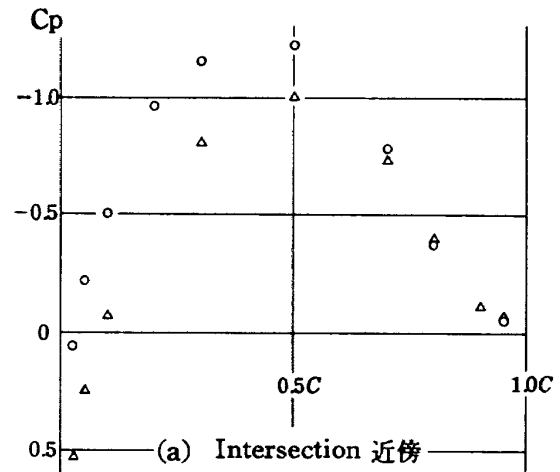


図13 翼面上及びBullet上の圧力係数 C_p

航空宇宙技術研究所資料377号

昭和54年1月発行

| | |
|-----|--|
| 発行所 | 航空宇宙技術研究所 東京都調布市深大寺町1880 電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)☎182 |
| 印刷所 | 株式会社三興印刷 東京都新宿区信濃町12 |
