

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-464

三次元座標測定器およびその一連の付属
測定装置による測定実例

染谷昭夫

1982年6月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. 三次元座標測定器の概要	1
3. 風洞実験用二次元翼模型の翼断面形状測定	4
3.1 測定実例, その1 (小寸法模型の場合)	4
3.2 測定実例, その2 (大寸法模型の場合)	11
4. 二次元座標の測定	14
4.1 風洞実験用二次元翼模型の圧力孔座標の測定	14
4.2 風洞実験用三次元翼模型の圧力孔座標の測定	17
4.3 プロフィルゲージの輪郭座標の測定	21
4.4 特殊な二次元座標測定実例	24
5. 風洞実験用三次元模型の形状測定	26
5.1 全機模型の三次元測定	27
5.2 三次元半翼模型の翼振り下げ角測定	55
6. 特殊測定	63
6.1 フレーキングを生じたボールベアリング, レース内面のフレーキング 形状測定	63
6.2 スパー・リブ結合模型の波状ウェブの板厚測定	64
6.3 連続板振動実験用試験片の板厚測定	66
6.4 ガンタンネル・ノズルの内面形状測定	67
6.5 その他の特殊測定	69
6.5.1 角度の測定	70
6.5.2 平板模型先端部尖鋭度の測定	70
6.5.3 表面あらさの測定	71
7. 特殊加工作業	73
7.1 プロフィルゲージおよび倣い加工用テンプレートの製作	73
7.2 風洞実験用二次元翼模型の圧力孔・孔あけ作業	78
7.3 傾斜テーブルを用いた一般の傾斜孔あけ作業	81
8. むすび	83

三次元座標測定器およびその一連の付属測定装置による測定実例*

染谷 昭夫**

1. まえがき

当所工作課検査係において先般、特殊目的の三次元座標測定器¹⁾が開発され、使用に供されてから7年にもなる。この間、各研究部依頼の特殊測定を多数手掛けて来た。そこでこの機会に、この一連の測定装置で特殊測定がどのような方法で行われるか、どのような測定が可能か、そしてまた、どのような測定要求に応じられるか等について、測定実例を以って示し将来のための測定技術資料として供するた

め、こゝにその詳細を、主に測定技術の立場から述べてみる次第である。そしてこゝでは、その測定結果がどのような実験に、どのように有効に利用されたかと言うことには触れないことにする。

なお、巻末に付表として、測定器利用者の便宜のため、本三次元座標測定器を含め、模型検査室保有の寸度測定機器の一覧表を示しておく。

2. 三次元座標測定器の概要

一連の本測定機構は風洞実験用航空機模型、およ

表1 三次元座標測定器本体の主要諸元

測定範囲	X方向 : 600 mm Y方向 : 500 mm Z方向 : 200 mm ただし、Z方向は測定載物台上30mm~500mmの範囲内での任意の200mmが測定可能
座標読取方式	ソニーマグネスケールK,K製, マグネスケール測定ユニット
最小読取単位	0.001 mm
機構の精度	測定載物台平面の平面度 6 μ 測定載物台運動の直角度 10 μ/500mm 測定載物台運動の蛇行度 ... XZ面内: 3 #/600mm ... XY面内: 10 #/600mm 測定載物台平面に対するZ滑台運動の直角度 ... XZ面内: 5 μ/200mm ... YZ面内: 3 μ/200mm Z滑台運動の蛇行度 XZ面内: 1 #/200mm YZ面内: 5 #/200mm

* 昭和57年1月25日 受付

** 計測部

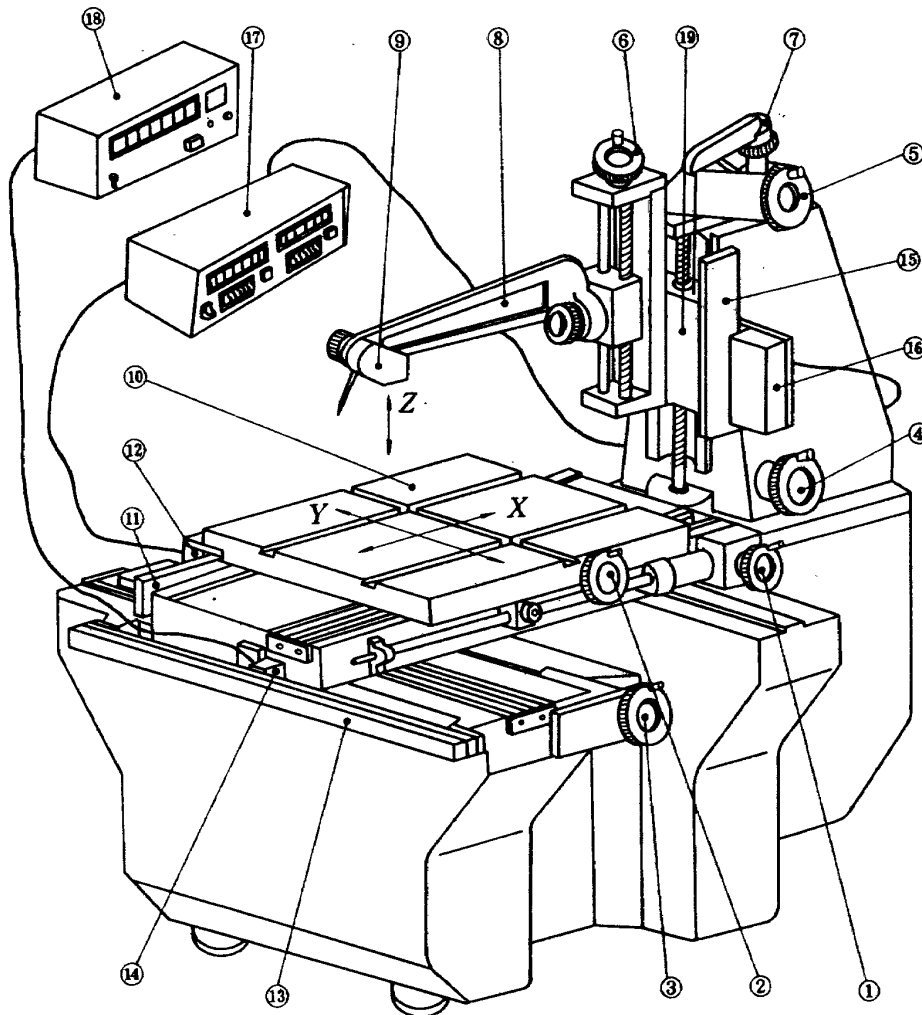
びこれら模型製作用プロフィールゲージの断面輪郭座標をミクロンオーダの測定精度を以って600mm(X), 500mm(Y), 200mm(Z)の範囲にわたっての三次元測定ができることを主な目的として設計されたものであって、その本体の見取図を図1に示す。こゝに図1に示すようにXおよびY方向は水平に互に直角にとり、Z方向は鉛直にとるものとする。

使用目的は、断面形状寸法測定、内面形状寸法測定プロフィールゲージ座標測定、孔(翼模型の圧力孔等)位置座標測定、ポンチングおよびケガキ作業、

角度測定、プロフィールゲージおよび微い加工用ランプレートの製作等である。

また本測定器本体の主要諸元を表1に示す。ただし表中に記した蛇行度とは、運動物台(測定載物台またはZ滑台等)上にオートコリメータミラーを置き20mmとびに運動物体を、その全ストロークまで送り、その時の運動物体の微小回転(蛇行)角をオートコリメータで連続測定した時の読みの最大差と定義した。

なお、各軸運動の案内機構としては、測定載物台



- (1) X方向微動ハンドル(0.1mm/1回転)。(2) X方向早送りハンドル(94mm/1回転)
- (3) Y方向粗動ハンドル(2mm/1回転)クランプをゆるめることにより手送り。(4) Z方向微動送りハンドル(0.1mm/1回転)。(5) Z方向粗動送りハンドル(2mm/1回転)。
- (6) 測定アーム上下動ハンドル。(7) カウンタウエイト支柱。(8) 測定アーム。(9) 検出器。
- (10) 測定載物台。(11) Xスケール(マグネスケール)。(12) X座標読取ヘッド。(13) Yスケール(マグネスケール)。(14) Y座標読取ヘッド。(15) Zスケール(マグネスケール)。(16) Z座標読取ヘッド。(17) XおよびZ座標表示カウンタ。(18) Y座標表示カウンタ。(19) Z滑台。

図1 三次元座標測定器本体見取図

のXおよびY方向運動にはVミゾ案内面にボールベアリングをクロスに用いた。この案内方式ではテーブル運動は最も軽くスムーズであるが、ベアリング外輪の偏心がテーブル運動の直角度と真直度に悪影響をおよぼすことが予想されるので超精密級を特別に選別して用いてある。Z方向運動にはダブルテーブル方式の案内を用いている。また、測定アーム先端に種々のアタッチメントを取付けることにより、二次元座標の測定を始めとして、機械工作に必要なポンチング、ケガキ作業を迅速且つ高精度に行うことができ、プロフィールゲージおよび倣い加工用プレート等もその加工精度を測定しながら加工することができるような機構になっているので極めて高精度のものが製作できる。

なお、本体の測定載物台上では測定できないような大重量の大形測定物の場合には図2の見取図に示したように本体の測定載物台端に取付固定したZ方向座標測定機構（三次元座標測定器Z系と名付けて

いる。）と副測定載物台が用いられる。

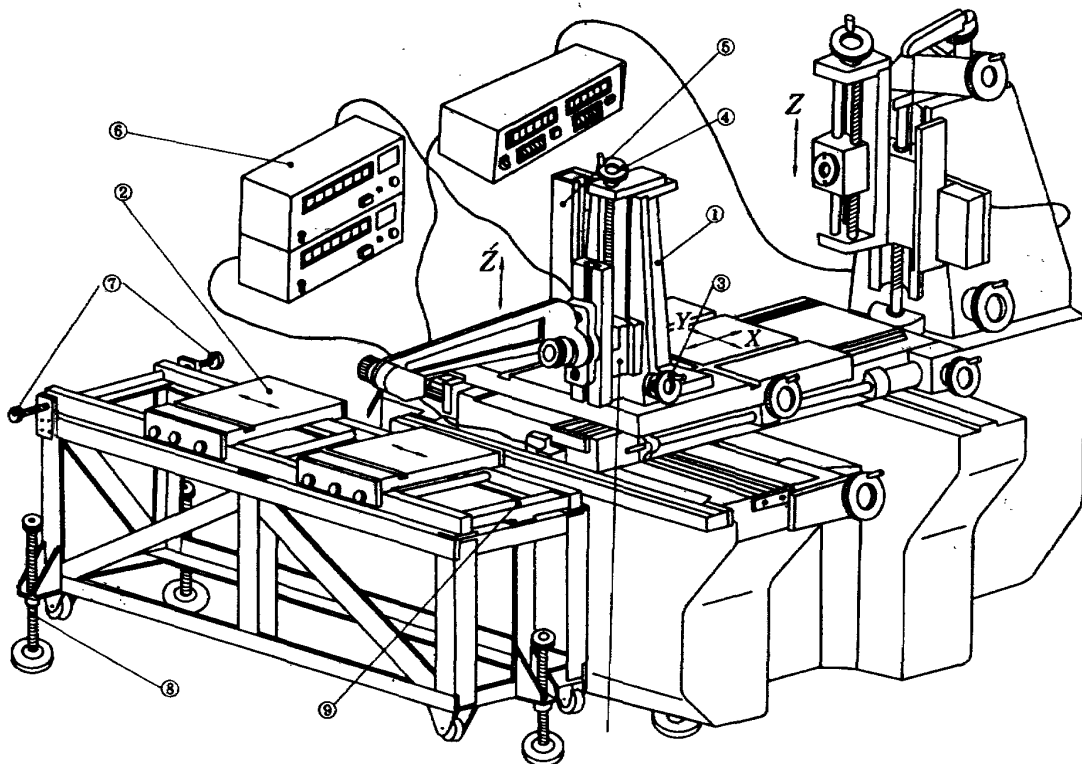
この測定機構の主要諸元を表2に示す。

副測定載物台にはキャスタ、ホイールが付いているので軽く移動ができ、希望の位置近くまではこのキャスタホイールで移動させ、測定の際には、このキャスタホイールを浮かせて三点支持とする。

副測定載物台は鉛直面内で $\pm 6^\circ$ 、水平面内で $\pm 1.5^\circ$ の微調回転ができるような構造になっているので測定物の正確な位置決めにはこれを用いる。

測定検出器には測定子接触測定方式が用いられており、検出器の測定触針先端が測定物に接触してから或る一定量の微小変位をした時を測定検出点として読取る。この一定量の微小変位の測定には角変位型の非接着ストレインゲージが用いられている。

この検出器による、翼断面等の輪郭のz座標測定精度を表3¹⁾に示す。たゞして、に表示した測定精度は断面測定の際に主に用いられる、測定触針が斜め 45° 下向きの場合での値である。



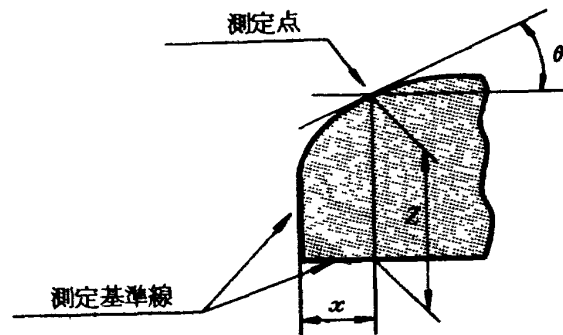
- (1) 三次元座標測定器Z'系。(2) 副測定載物台。(3) Z'方向微動ハンドル(0.1mm/1回転)。(4) Z'方向粗動送りハンドル。(5) Z'スール(マグネスケール)。(6) Z'座標表示カウンター。(7) 水平面内微調回転ノブ。(8) 鉛直面内微調回転ボルト。(9) 水平面内回転ヒンジピン (10) Z'滑台。

図2 三次元座標測定器Z'系および副測定載物台見取図

表2 三次元座標測定器Z系の主要諸元

測定範囲	Z方向 : 200 mm ただし, 測定載物台面を基準として-50mm~450 mmの範囲内での任意の200 mmが測定可能
座標読取方式	ソニーマグネスケールK.K製, マグネスケール測定ユニット
最小読取単位	0.001 mm
機構の精度	Z系支柱底面に対するZ滑台運動の直角度 XZ面内 : 4 μ /200 mm YZ面内 : 3 μ /200 mm Z滑台運動の蛇行度 : XZ面内 : 2 #/200 mm YZ面内 : 6 #/200 mm

表3 三次元座標測定器による断面座標測定精度



測定断面輪郭線の傾斜角 (θ°)	-10 ~ 40	50 ~ 60	70	80
z 座標の測定精度 (μ)	± 3	± 4	± 5	± 10

3. 風洞実験用二次元翼模型の翼断面形状測定

本測定装置は主に風洞実験用模型の翼断面形状を如何に精度よく測定できるかという要求から開発されたものであるため, この種の測定実例が最も多く現在までに100実例を越えている。

本報告では, その中の最近行った2実例について述べる。

3.1 測定実例, その1 (小寸法模型の場合)

当所において実験に供せられる二次元翼模型は大きさは種々あるが, その一般形は図3に示すような

ものが殆んどである。

本実例では図3に示すように圧力孔より約1mm離れた各A, B, C 3断面の形状寸法測定が要求されている。ところで一般に翼断面形状寸法は図4に示すように翼弦方向の座標, x の位置においてそれぞれ翼弦に対して上下に Z_U , Z_L と言う形で与えられているのであるが, この翼弦は一般には模型の両側に突出している耳の平面(図3の面d)に大体平行であること以外には全く位置が不明で測定前にこの位置を確定することはできない。よって実際の測定においては測定座標系に関する実測データから最小二乗法によってこの翼弦を決定するという方法をとって

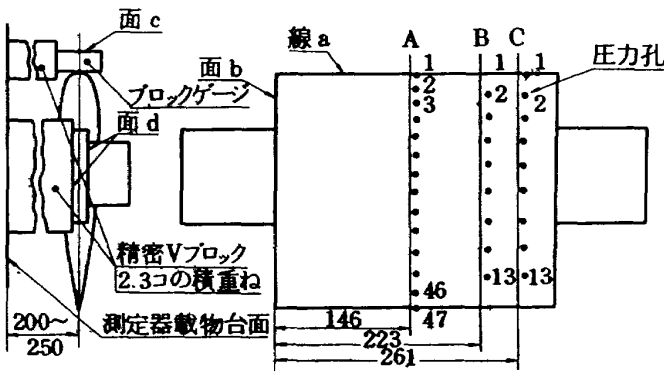


図3 二次元翼模型

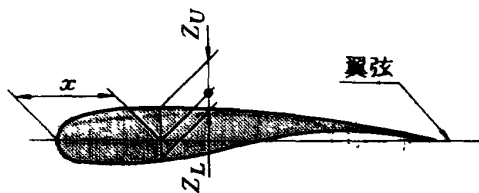


図4 翼断面形寸法指示図

いる。

さて次に翼断面測定の手順の詳細を示す。

〔測定手順〕

(1) 模型の定置

測定載物台上に精密Vブロックを左右同じ高さに数コ積み重ね(その積み重ね高さは模型の下面測定の際、測定触針が自由に挿入できるように200~250mmとする)その上に模型の両耳を定置し、さらに両耳の上面をVブロックで抑える。測定圧は約3grであるのでこのような軽い固定方法でも測定中、模型が微動することはない。

また、精密Vブロックの平面間の平行度は5μ以内であるので、このセッティングで各断面翼弦は測定載物台平面に対し、ほぼ平行に置かれることになる。

なお、稀には図5(a)に示すように翼弦が模型取付面に対して或る角度α(αは設計図面で与えられている)だけ傾斜している模型もある。このような場合には図5(b)に示すように模型製作に用いたプロフィールゲージを模型に密着定置し、その両端基準面が測定載物台平面に対して平行になるように豆ジャッキ等を用いてセットする。この操作は、測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付け、測定載物台をX方向へ移動させながら、ダイヤルゲージの測定子を軽く両端基準面に当てたとき、その読みが両方

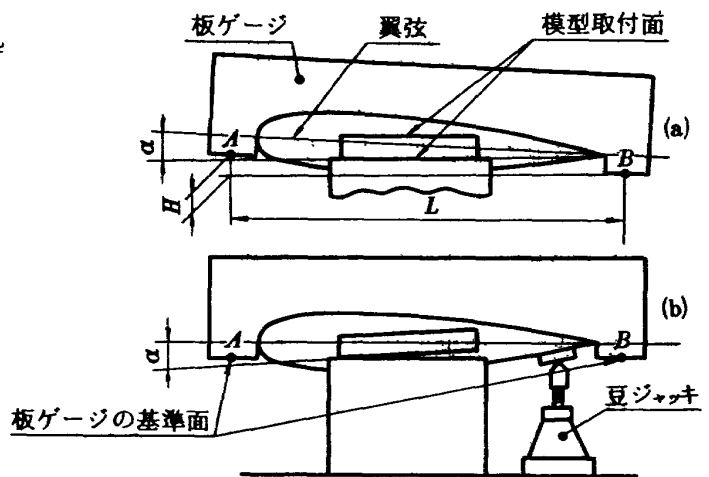


図5 傾斜角αの付いた模型

で同一になるように豆ジャッキ高さを微調整すると言いう方法で行われる。

プロフィールゲージの両端基準面で定まる平面は翼弦に正確に平行にできているので、この操作によって模型の断面翼弦は測定載物台平面に正しく平行となるので測定が開始できる。

なお、この場合、翼弦傾斜角αの測定は次のようにして行われる。すなわち図5(a)において、テコ式ダイヤルゲージの測定子を先ず点Aに当てその時の読みを零にセットする。次に測定載物台をX方向にLだけ送り再び測定子を点Bに当てた時、その読みが点Aの時と同じように零になるように測定アームを下方へ送る。この間の測定アームのZ方向変位量、すなわち点Aと点Bの高さの差はz座標表示カウンターに表示されるのでその値をHとすれば傾斜角αは、これら測定値から式(1)によって算出することができる。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{H}{L} \tag{1}$$

この測定方法による傾斜角の測定精度は式(1)の両辺の微分をとることによって得られる式(2)から推定され、測定誤差dHおよびdLを2μとした場合、測定精度は測定長LおよびHにも関係するが、最大でも±30"程度である。

$$d\alpha = \frac{1}{L^2 + H^2} (L dH - H dL) \tag{2}$$

(2) 模型前縁のY方向セッティング

模型の前縁(図3の線aで示す)を測定器Y軸に

平行にセットする。この操作は測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付けその測定子を模型前縁に当てた状態（測定子を前縁付近に当てた状態でZ方向に上下させた場合ダイヤルゲージの指針の振れの最大位置を前縁とする）で測定載物台をY方向へ移動させた場合、ダイヤルゲージの指針の振れがなくなるまで模型支持Vブロックの下端を木ハンマにて軽く叩くと言う微調方法で行われる。

(3) 測定触針のセットおよびy座標の決定

テコ式ダイヤルゲージの代わりに検出器を、その測定触針が下向き45°になるように測定アーム先端に取付け触針先端を面b（図3参照）の前縁近傍の任意の一点に合致させ（目測）この位置でy座標表示カウンタの読みを零にセットしてから指定された寸法、例えば図3に示すB断面ならば223mmだけ測定載物台をY方向へ送り測定断面位置を決定する。この測定断面位置決定精度は±0.1mm程度であるが、二次元翼模型の場合はこの程度の精度で充分である。

なお、ここで上記、触針先端を任意の一点に合致させる操作について述べたが、このような合致操作は本報告中で述べる測定段階においてしばしば必要となる。一般に測定器の或る基準点（触針先端とか測定顕微鏡のレリキュール交点およびポンチ先端等）を被測定物の或る基準点等に合致させる精度は、被測定物上の基準点等の明確さ、および個人差等にも関係し、極めて複雑であり、一概に断定することはできない。しかし著者の経験から、この種の合致精度は目測の場合で±0.1mm、20倍測定顕微鏡使用の場合で±0.01mmおよび60倍測定顕微鏡使用の場合で±0.003mm程度であると言える。

(4) x座標の決定

測定しようとする断面の前縁先端のx座標を求めるには、図6①に示すようにブロックゲージの鉛直な面を模型前縁に当て、その対面のx座標を測定し、この位置でのx座標表示カウンタの読みを零にセットする。ブロックゲージを取り除き、この位置から測定載物台をX方向へブロックゲージの呼称寸法Aだけ送り、この位置でのx座標表示カウンタの読みを再度零にセットする。この操作によって前縁のx座標は正確に零にセットされる。なお図7に示すように翼断面の設計図面上でのx座標の最小値が-a

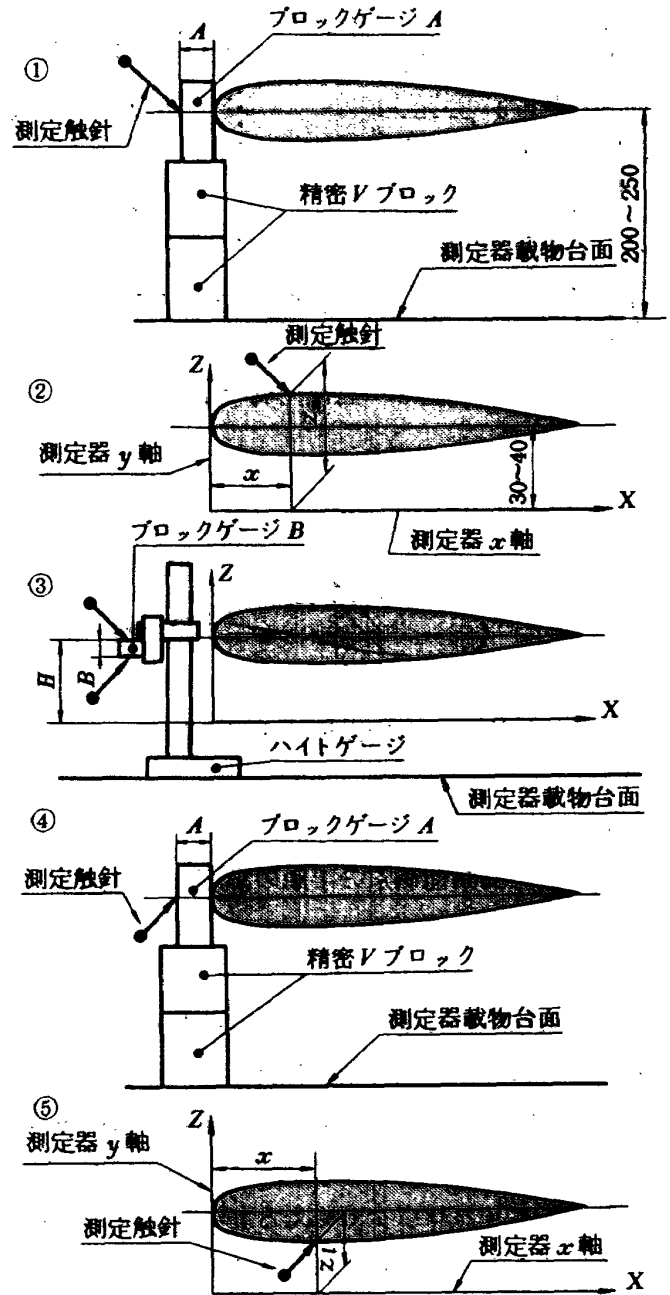


図6 翼断面測定手順図

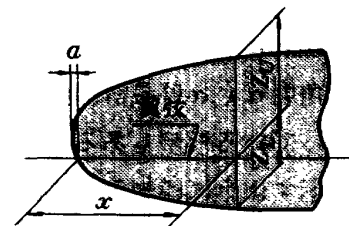


図7 特殊前縁断面図

であるような場合には $A+a$ だけ送り、その位置での x 座標表示カウンタの読みを零にセットすればよい。

なお、この x 座標決定精度は $\pm 1 \mu$ である。

(5) z 座標の決定

測定器 z 座標の零点を翼弦の下方約 30~40mm の任意の点にセットする。

(6) 模型上面測定

図 6②に示すように模型の上面の測定を行う。すなわち指定された x 座標の位置における翼上面の z 座標の値を順次に測定して行く。

(7) 測定触針の姿勢変更

上面測定終了後、下面を測定するための測定触針の姿勢変更操作を行う。即ち、図 6③に示すようにハイトゲージのスクライバーの代わりに呼称寸法 B のブロックゲージをジョウに取付けたものを模型前面に立てブロックゲージ上面の z 座標を測定し z 座標表示カウンタの読み H を記録しておく。

次に測定触針を斜め 45° 上向きに姿勢変更し、ブロックゲージ下面の z 座標を測定し、この位置での z 座標表示カウンタの読みを $(H-B)$ の値にセットする。この操作によって姿勢変更後も測定器 Z 軸方向の読取座標値の連続性が保たれる。

なお、ハイトゲージのベース底面とジョウのスクライバ取付け面との平行度は数ミクロンなので、そのための誤差は無視してもよい。

(8) x 座標および y 座標の再度決定

(7)の操作で測定触針先端の x および y 座標が多少変化するので再度(3), (4)の操作をくりかえして x 座標および y 座標を再決定する(図 6④参照)。

ここで y 座標の決定は上面測定の際の y 座標決定に用いた時と同じ面 b の同一の位置で行う。これは前縁と面 b との直角度が一般に正確でないためである。

(9) 模型下面測定

以上の操作で測定座標系は模型上面測定時と精密に同一な測定座標系にセットされたので、この測定座標系に関して模型下面の測定を行う。すなわち指定された x 座標の位置における翼下面の z 座標の値を順次測定して行く。

[データ処理]

(1) 翼弦の決定

測定手順(6)および(9)(図 6②および⑤参照)で得られた測定値から翼弦の位置を決定する。

一般に模型の翼断面座標は表 4 に示した例のように与えられている。

ここで x は翼弦方向の座標であり、 Z_U, Z_L はそれぞれ厚さ方向の上面および下面の座標である。一般に(B)非対称翼 I の型が多いのでこの場合について先づ述べる。

表 4 翼断面座標例

(A) 対称翼 ($Z_U=Z_L=Z$) 単位: mm

x	0.050	0.100	0.150	
Z	0.626	0.883	1.080	

(B) 非対称翼 I

x	0.032	0.067	0.102	
Z_U	0.633	0.748	0.840	
Z_L	0.125	0.221	0.297	

(C) 非対称翼 II

上 面				
x	0.030	0.193	0.429	
Z_U	0.406	1.104	1.694	
下 面				
x	0.020	0.200	0.534	
Z_L	0.346	0.962	1.477	

(1-1) 非対称翼 I の場合

各断面翼弦位置は数十組の測定値の中から任意の 20 組 $(x_i, z_{u_i}, z_{l_i}), (x_2, z_{u_2}, z_{l_2}), \dots (x_{20}, z_{u_{20}}, z_{l_{20}})$ を用いて最小二乗法によって求める。

すなわち図 8 において、座標 x_i における測定値 $z_{u_i}, z_{l_i} (i=1, 2, \dots, 20)$, およびそれに対応する設計値 Z_{U_i}, Z_{L_i} から式(3)によって断面の厚さの測定値 $(z_{u_i} - z_{l_i})$ を設計値 Z_{U_i}, Z_{L_i} の比に内分する点 (x_i, z_i) を求め、これらの点を近似的に通る直線を最小二乗法で決定し式(4)の型で表わし、これを測定座標系 x, z に関する断面翼弦の式とする。

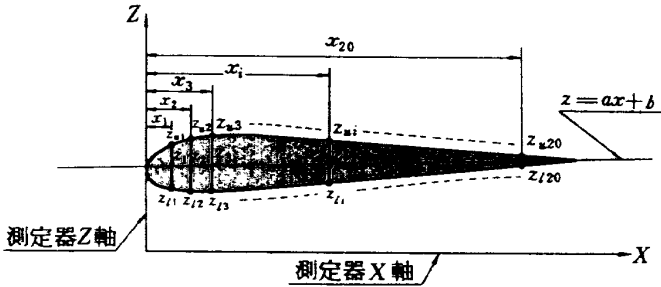


図8 翼弦決定説明図

$$z_i = z_{l_i} + (z_{u_i} - z_{l_i}) \frac{Z_{L_i}}{Z_{U_i} + Z_{L_i}} \quad (3)$$

$$z = ax + b \quad (4)$$

式(4)の係数 a, b の求め方は下記による。

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \sum_{i=1}^{20} x_i / 20, \quad \bar{z} = \sum_{i=1}^{20} z_i / 20 \\ S_x &= \sum_{i=1}^{20} x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^{20} x_i, \quad S_{xz} = \sum_{i=1}^{20} x_i z_i - \bar{z} \sum_{i=1}^{20} x_i \\ a &= S_{xz} / S_x, \quad b = \bar{z} - a\bar{x} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

翼弦の測定器 X 軸に対する傾き角を δ とすればその値は $\delta = \tan^{-1} a$ として与えられる。

今、この δ の値が測定値 Z_M におよぼす影響について解析的に示した説明図を図9に示す。

すなわち $\delta = 0$ の場合に測定点 P および測定値 Z であるべきものが傾斜角 δ のため測定点が P' に移動し、測定値 Z_M となる。 Z と Z_M との間に成立つ近似式は式(6-1)で与えられる。

$$\frac{Z - (x-r) \tan \frac{\delta}{2}}{\cos \theta} = \frac{Z_M - \frac{(x-r) \tan \frac{\delta}{2}}{\cos \delta}}{\cos(\theta + \delta)} \quad (6-1)$$

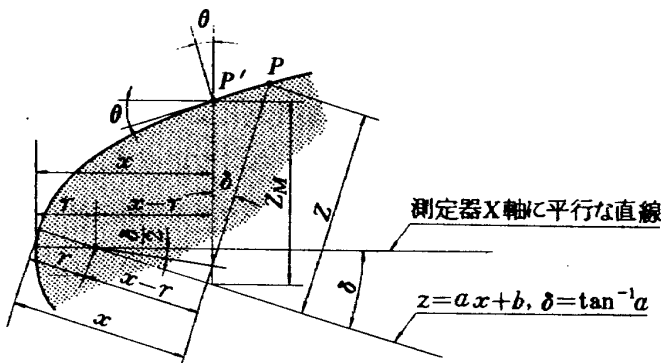


図9 δ と Z_M との関係

こゝに θ は測定点 P' において曲面に立てた法線と測定器 Z 軸とのなす角であり、 r は前縁半径である。また、点 P, P' 間の距離は微少なので、この間の断面輪郭線は直線と仮定した。

式(6-1)を変形して式(6-2)のように表わす。

$$\frac{Z}{\cos \theta} - \frac{Z_M}{\cos(\theta + \delta)} = (x-r) \tan \frac{\delta}{2} \left(\frac{1}{\cos \theta} - \frac{1}{\cos(\theta + \delta) \cos \delta} \right) \equiv \Delta E \quad (6-2)$$

今、式(6-2)の右辺の値の変化を調べるために、具体例として二次元風洞供試模型(GK75-63-12)および、同じく(73-512-12.8)をとり、 $\delta = 10'$ の場合についてグラフ化したものを図10-(1)に示す。

図から式(6-2)の右辺は x の全域にわたって極めて微少であり、このことは他の翼断面形でも大差はない。よって $\delta < 10'$ ならば式(7)に示す近似式を用いることができる。

$$\Delta Z = Z_M - Z = Z \left\{ \frac{\cos(\theta + \delta)}{\cos \theta} - 1 \right\} \quad (7)$$

(但し $\delta < 10'$)

式(7)からわかるように、 δ のための測定誤差 ΔZ は翼断面形状を定める値、すなわち Z と θ の関数であるので、その値の変化を見るためには、個々の翼断面形について調べなければならない。よって、こゝでは具体例として上で引用した2種類の翼断面形の場合について、 δ のために ΔZ がどの程度の値になるかを、特に問題になる前縁付近 ($x=0 \sim 30$) について計算した。

その結果を図10-(2)および図10-(3)に示す。図から $\delta \leq 3'$ ならば、 δ のための誤差は、その他の原因のための誤差範囲(表3参照)と同程度か、またはそれ以下である。

(1-2) 対称翼の場合

対称翼の場合には式(3)は簡単になって z_i は式(8)で与えられる。

$$z_i = (z_{u_i} + z_{l_i}) / Z \quad (8)$$

そのほかは(1-1)の場合と全く同様に行われる。

(1-3) 非対称翼IIの場合

表4(C)に示した例のような非対称翼の場合には、図11に示すように上面、下面よりそれぞれ10組の測定値を任意に選んで

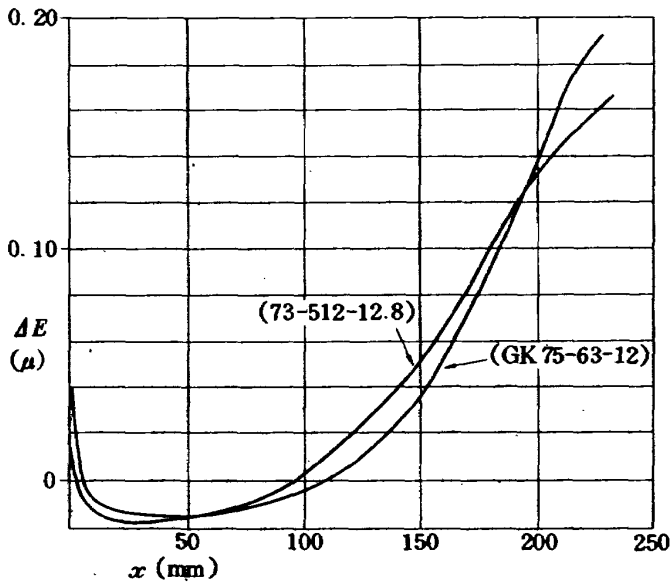


図 10-(1) 式 (6-2) の右辺の値

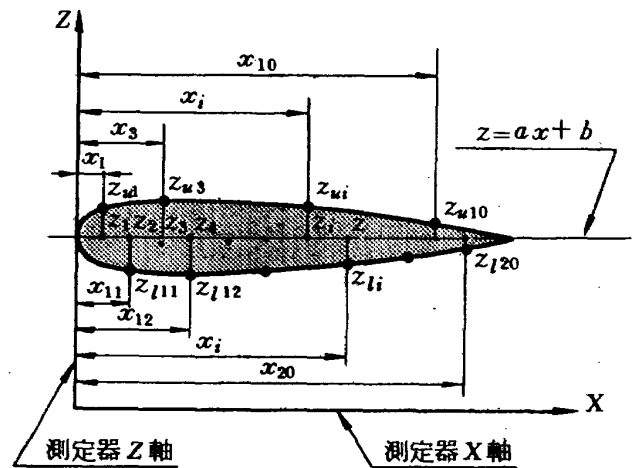


図 11 翼弦決定説明図

$$z_i = z_{u_i} - Z_{U_i} \quad (i=1, 2, \dots, 10) \quad (9)$$

$$z_i = z_{l_i} + Z_{L_i} \quad (i=11, 12, \dots, 20)$$

によって求めた z_i を用いる以外は (1-1) の場合と全く同様にして行われる。

(2) 測定値 Z_u, Z_l の算出

設計値 (x, Z_U, Z_L) に対応する測定値 (x, Z_u, Z_l) を式(10)によって算出する。

$$Z_u = z_u - (ax + b), \quad Z_l = (ax + b) - z_l \quad (10)$$

こゝに a, b は式(5)により算出された値である。この間の関係を図12に示す。

参考のため、本実例における実測データの1部、すなわちB断面測定の際の実測値解析データを表5に示しておく。

なお、測定の際のミス、および解析計算の際のミスを防ぎ、測定精度を高め、測定値の信頼度を増すために測定は通常2回行い、その平均値を採っている。

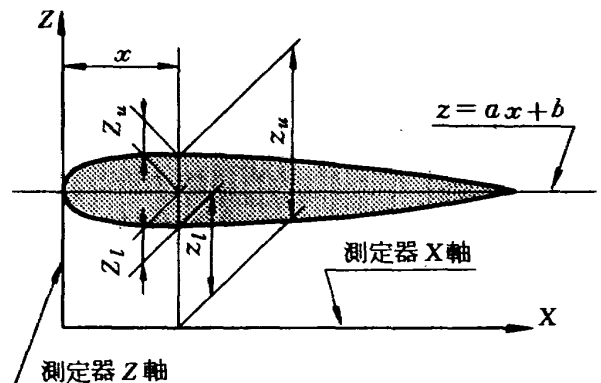


図 12 測定値 (Z_u, Z_l) 算出説明図

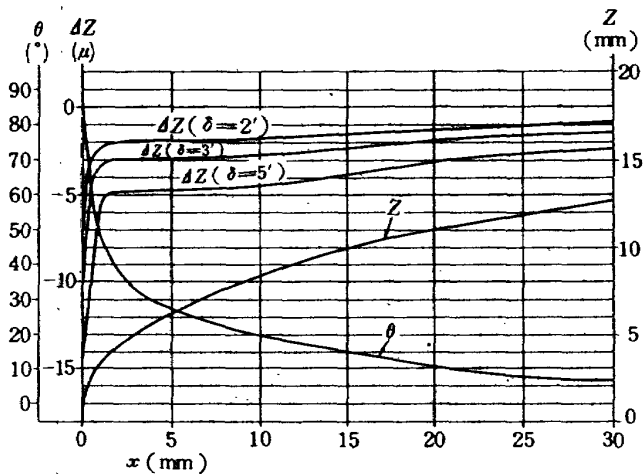


図 10-(2) δ のための誤差 ΔZ
(模型 GK 75-63-12 の場合)

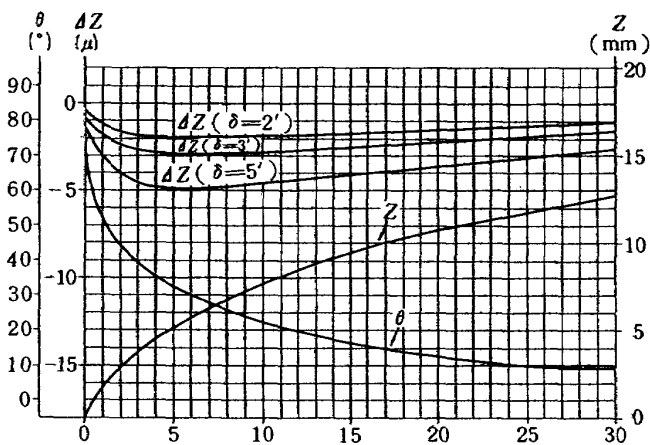


図 10-(3) δ のための誤差 ΔZ
(模型 73-512-12.8 の場合)

表 5 翼断面形状座標実測値解析実例 (其の1)

B 断面 (W. STA 223)

単位: mm

i	x	z _u		z _l		z		Z _u			Z _u	Z _u -Z _U	Z _l			Z _l	Z _l -Z _L
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	平均値	設計値	誤差(μ)	(1)	(2)	平均値	設計値	誤差(μ)
	0.025	41.179	41.157	40.182	40.180	40.656	40.652	0.523	0.505	0.514	0.443	+71	0.474	0.472	0.473	0.443	+30
	0.050	41.366	41.355	39.994	39.999	#	#	0.710	0.703	0.707	0.626	+81	0.662	0.653	0.658	0.626	+32
	0.100	41.629	41.613	39.732	39.733	#	#	0.973	0.961	0.967	0.883	+84	0.924	0.919	0.922	0.883	+39
	0.150	41.827	41.810	39.530	39.526	#	#	1.171	1.158	1.165	1.080	+85	1.126	1.126	1.126	1.080	+46
	0.200	41.983	41.972	39.349	39.357	#	#	1.327	1.320	1.324	1.244	+80	1.307	1.295	1.301	1.244	+57
	0.300	42.242	42.231	39.072	39.077	#	#	1.586	1.579	1.583	1.520	+63	1.584	1.575	1.580	1.520	+60
	0.400	42.461	42.446	38.844	38.845	#	#	1.805	1.794	1.800	1.751	+49	1.812	1.807	1.810	1.751	+59
	0.600	42.835	42.825	38.465	38.467	#	#	2.179	2.173	2.176	2.136	+40	2.191	2.185	2.188	2.136	+52
	0.800	43.153	43.143	38.152	38.153	#	#	2.497	2.491	2.494	2.458	+36	2.504	2.499	2.502	2.458	+44
1	1.000	43.434	43.423	37.870	37.872	#	#	2.778	2.771	2.775	2.740	+35	2.786	2.780	2.783	2.740	+43
2	1.500	44.026	44.016	37.284	37.285	#	#	3.370	3.364	3.367	3.334	+33	3.372	3.367	3.370	3.334	+36
3	2.000	44.518	44.509	36.791	36.793	#	#	3.862	3.857	3.860	3.829	+31	3.865	3.859	3.862	3.829	+33
4	2.500	44.948	44.939	36.364	36.365	#	#	4.292	4.287	4.290	4.259	+31	4.292	4.287	4.290	4.259	+31
5	5.000	45.582	45.573	34.732	34.733	40.657	40.653	5.925	5.922	5.924	5.899	+25	5.925	5.920	5.923	5.899	+24
6	10.000	48.750	48.744	32.564	32.562	#	#	8.093	8.091	8.092	8.069	+23	8.093	8.091	8.092	8.069	+23
	15.000	50.276	50.270	31.043	31.042	40.658	40.654	9.618	9.616	9.619	9.594	+23	9.615	9.612	9.614	9.594	+20
7	20.000	51.451	51.447	29.868	29.867	#	#	10.793	10.793	10.793	10.768	+25	10.790	10.787	10.789	10.768	+21
	25.000	52.391	52.387	28.929	28.929	40.659	40.655	11.732	11.732	11.732	11.707	+25	11.730	11.726	11.728	11.707	+21
8	30.000	53.158	53.152	28.168	28.165	#	40.656	12.499	12.496	12.498	12.470	+28	12.491	12.491	12.491	12.470	+21
	35.000	53.786	53.779	27.536	27.535	40.660	#	13.126	13.123	13.125	13.095	+30	13.124	13.121	13.123	13.095	+28
9	40.000	54.297	54.290	27.025	27.023	#	40.657	13.637	13.634	13.636	13.605	+31	13.635	13.634	13.635	13.605	+30
	45.000	54.709	54.705	26.612	26.612	40.661	40.658	14.048	14.047	14.048	14.017	+31	14.049	14.046	14.048	14.017	+31
10	50.000	55.038	55.033	26.288	26.285	#	#	14.377	14.375	14.376	14.344	+32	14.373	14.373	14.373	14.344	+29
	55.000	55.292	55.285	26.036	26.036	40.662	40.659	14.630	14.626	14.628	14.597	+31	14.626	14.623	14.625	14.597	+28
11	60.000	55.477	55.472	25.850	25.851	#	#	14.815	14.813	14.814	14.783	+31	14.812	14.808	14.810	14.783	+27
	65.000	55.603	55.599	25.726	25.727	40.663	40.660	14.940	14.939	14.940	14.909	+31	14.937	14.933	14.935	14.909	+26
12	70.000	55.675	55.667	25.653	25.654	#	40.661	15.012	15.006	15.009	14.981	+28	15.010	15.007	15.009	14.981	+28
	75.000	55.696	55.691	25.630	25.630	40.664	#	15.032	15.030	15.031	15.004	+27	15.034	15.031	15.033	15.004	+29
13	80.000	55.674	55.668	25.656	25.654	#	40.662	15.010	15.006	15.008	14.982	+26	15.008	15.008	15.008	14.982	+26
	85.000	55.609	55.605	25.721	25.719	40.665	#	14.944	14.943	14.944	14.918	+26	14.944	14.943	14.944	14.918	+26
14	90.000	55.506	55.502	25.828	25.826	#	40.663	14.841	14.839	14.840	14.816	+24	14.837	14.837	14.837	14.816	+21
	95.000	55.366	55.361	25.967	25.964	40.666	40.664	14.700	14.697	14.699	14.678	+21	14.699	14.700	14.700	14.678	+22
15	100.000	55.194	55.189	26.139	26.137	#	#	14.528	14.525	14.527	14.508	+19	14.527	14.527	14.527	14.508	+19
	105.000	54.991	54.988	26.341	26.341	40.667	40.665	14.324	14.323	14.324	14.306	+18	14.326	14.324	14.325	14.306	+19
	110.000	54.765	54.761	26.573	26.576	#	40.666	14.098	14.095	14.097	14.077	+20	14.094	14.090	14.092	14.077	+15
	115.000	54.510	54.506	26.829	26.828	40.668	#	13.842	13.840	13.841	13.821	+20	13.839	13.838	13.839	13.821	+18
16	120.000	54.226	54.222	27.108	27.108	#	40.667	13.558	13.555	13.557	13.539	+18	13.560	13.559	13.560	13.539	+21
	125.000	53.923	53.920	27.411	27.412	40.669	#	13.254	13.253	13.254	13.235	+19	13.258	13.255	13.257	13.235	+22
	130.000	53.597	53.594	27.742	27.740	#	40.668	12.928	12.926	12.927	12.909	+18	12.927	12.928	12.928	12.909	+19
	135.000	53.250	53.246	28.092	28.090	40.670	40.669	12.580	12.577	12.579	12.562	+17	12.578	12.579	12.579	12.562	+17
17	140.000	52.881	52.877	28.460	28.460	#	#	12.211	12.208	12.210	12.196	+14	12.210	12.209	12.210	12.196	+14
	145.000	52.494	52.491	28.846	28.845	40.671	40.670	11.823	11.821	11.822	11.811	+11	11.825	11.825	11.825	11.811	+14
	150.000	52.092	52.087	29.249	29.247	#	#	11.421	11.417	11.419	11.408	+11	11.422	11.423	11.423	11.408	+15
	155.000	51.672	51.669	29.670	29.669	40.672	40.671	11.000	10.998	10.999	10.989	+10	11.002	11.002	11.002	10.989	+13
18	160.000	51.236	51.234	30.107	30.107	#	40.672	10.564	10.562	10.563	10.555	+8	10.565	10.565	10.565	10.555	+10
	165.000	50.784	50.782	30.556	30.558	40.673	#	10.111	10.110	10.111	10.104	+7	10.117	10.114	10.116	10.104	+12
	170.000	50.322	50.318	31.017	31.020	40.674	40.673	9.648	9.645	9.647	9.639	+8	9.657	9.653	9.655	9.639	+16
	175.000	49.846	49.843	31.499	31.505	#	40.674	9.172	9.169	9.171	9.160	+11	9.175	9.169	9.172	9.160	+12
19	180.000	49.350	49.348	31.995	32.000	40.675	#	8.675	8.674	8.675	8.666	+9	8.680	8.674	8.677	8.666	+11
	185.000	48.842	48.840	32.503	32.508	#	40.675	8.167	8.165	8.166	8.159	+7	8.172	8.167	8.170	8.159	+11
	190.000	48.319	48.316	33.019	33.026	40.676	#	7.643	7.641	7.642	7.639	+3	7.657	7.649	7.653	7.639	+14
	195.000	47.789	47.786	33.556	33.561	#	40.676	7.113	7.110	7.112	7.105	+7	7.120	7.115	7.118	7.105	+13
20	200.000	47.244	47.241	34.110	34.114	40.677	40.677	6.567	6.564	6.566	6.558	+8	6.567	6.563	6.565	6.558	+7
	205.000	46.681	46.679	34.671	34.674	#	#	6.004	6.002	6.003	5.997	+6	6.006	6.003	6.005	5.997	+8
	210.000	46.106	46.104	35.244	35.249	40.678	40.678	5.428	5.426	5.428	5.423	+5	5.434	5.429	5.432	5.423	+9
	215.000	45.517	45.517	35.835	35.839	#	#	4.839	4.839	4.839	4.836	+3	4.843	4.839	4.842	4.836	+6
	220.000	44.910	44.911	36.437	36.442	40.679	40.679	4.231	4.232	4.232	4.235	-3	4.242	4.237	4.240	4.235	+5
	225.000	44.294	44.295	37.051	37.056	#	40.680	3.615	3.615	3.615	3.619	-4	3.628	3.624	3.626	3.619	+7
	230.000	43.666	43.666	37.683	37.686	40.680	#	2.986	2.986	2.986	2.989	-3	2.997	2.994	2.996	2.989	+7
	235.000	43.022	43.024	38.329	38.332	#	40.681	2.342	2.342	2.343	2.345	-2	2.351	2.349	2.350	2.345	+5
	240.000	42.371	42.374	38.982	38.985	40.681	40.682	1.690	1.691	1.691	1.684	+7	1.699	1.697	1.698	1.684	+14
	245.000	41.710	41.712	39.650	39.654	#	#	1.029	1.030	1.030	1.008	+22	1.031	1.028	1.030	1.008	+22
	250.000	41.024	41.027	40.333	40.340	40.682	40.683	0.342	0.344	0.343	0.315	+28	0.349	0.343	0.346	0.315	+31

(1)	$\bar{x} = 68.100$, $\bar{z} = 40.6633$ $S_x = 77786.3$, $S_{zz} = 7.9954$ $a = 7.9954 / 77786.3 = 0.000103$ $b = 40.656$ $z = 40.656 + 0.000103 x$	(2)	$\bar{x} = 68.100$, $\bar{z} = 40.6605$ $S_x = 77786.3$, $S_{zz} = 9.5660$ $a = 9.5660 / 77786.3 = 0.000123$ $b = 40.652$ $z = 40.652 + 0.000123 x$
-----	---	-----	---

表5のデータ中には各回の測定値をそれぞれ(1)、(2)で示してある。

3.2 測定実例, その2 (大寸法模型の場合)

本実例は遷音速風洞用の大形模型であり、重量も100kg 近くあり三次元座標測定器本体の測定載物台上では測定できない。このような場合には図2で示した副測定載物台が用いられる。

この場合、 x および y 座標の測定は本体の測定機構が用いられるが、 z 座標の測定は本体の測定載物台上に取付固定した Z' 系が用いられる。

本実例では図13に示すように模型端面から200mmのA断面と400mmのB断面の形状寸法測定が要求されている。

〔測定手順〕

(1) 副測定載物台の水平セッティング

副測定載物台の載物面(面b)を本体の測定載物台平面に対し正しく平行にセットする。本体の測定載物台平面は精密に水平に調整されているので、この操作は平型水準器(感度0.02mm/1m)を用い、図2の⑧に示した3点支持微調回転ボルトを微調整することにより容易に行うことができる。

(2) 模型の定置

副測定載物台の載物面(図13の面bに示す)上に精密Vブロックを左右同じ高さに数コ積み重ね(その積み重ね高さは模型の下面測定の際、測定触針が自由に挿入できる高さとする)その上に模型を置き、さらに図13に示したように豆ジャッキにて後縁付近を支持させて安定を保つ。

(3) 模型前縁のY軸方向セッティング

模型の前縁を測定器Y軸に対し平行にセットする。

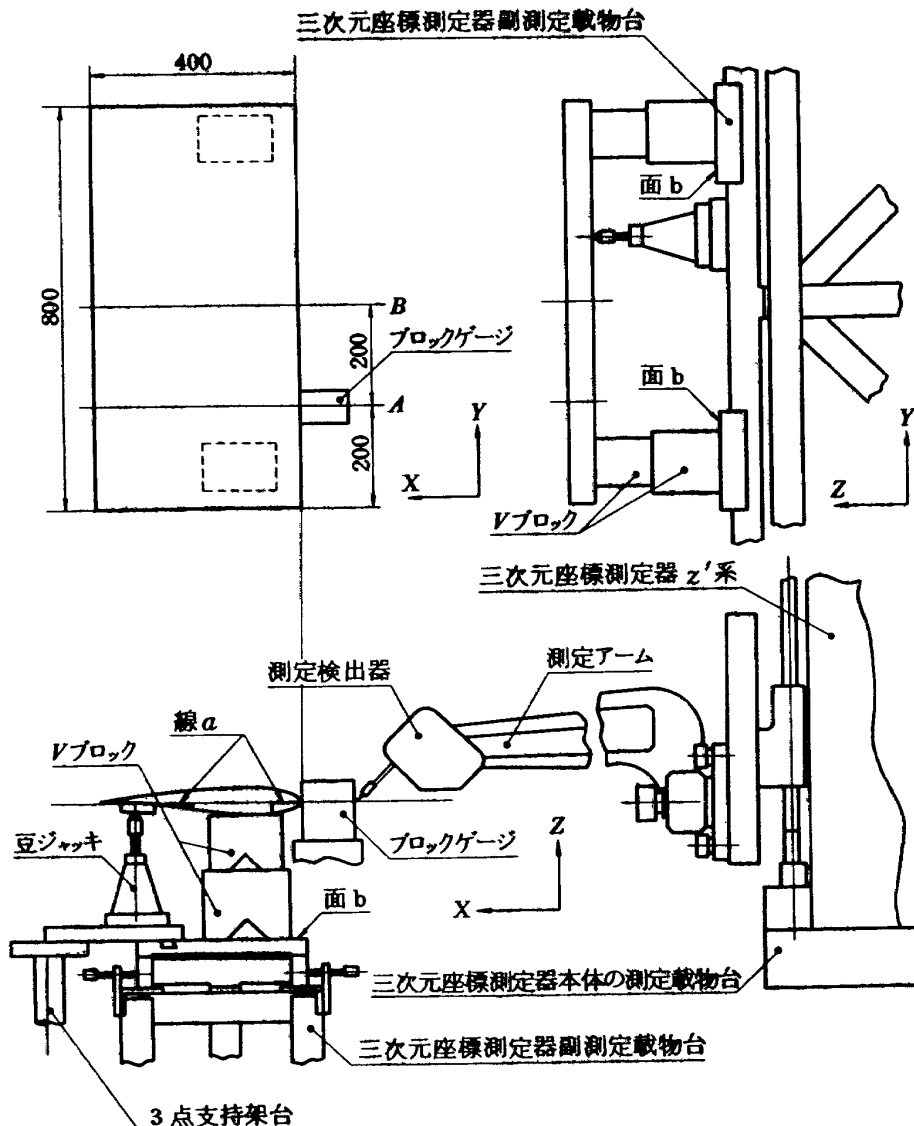


図13 大型二次元模型翼断面測定方法説明図

この操作は 3.1 節の測定手順(2)で述べた方法と同じ要領で行われるのであるが、図 2 の⑦に示した水平面内微調回転ノブを用いることにより容易に行うことができる。

(4) 翼弦の水平セッティング

この模型は前述の模型のように両端に翼弦に平行な平面を持つ取付け耳を持っていないが模型端面に翼弦を示す線(図 13 の線 a)を持っている。よってこの線 a を面 b に対し平行にセットする。この操作

は面 b 上にハイトゲージを置き、そのスクライバー先端の平面と線 a との高さが前後で同一になるように豆ジャッキの微調整を用いて行う。

(5) 測定操作

3.1 節で示した測定手順(3)~(9)の要領で測定操作を実行する。

この模型は表 4(C)非対称翼 II に相当するのでデータ処理(1-3)の方法で測定値 Z_u , Z_l を算出する。

参考のため、本実例の際の実測値解析結果を表 6

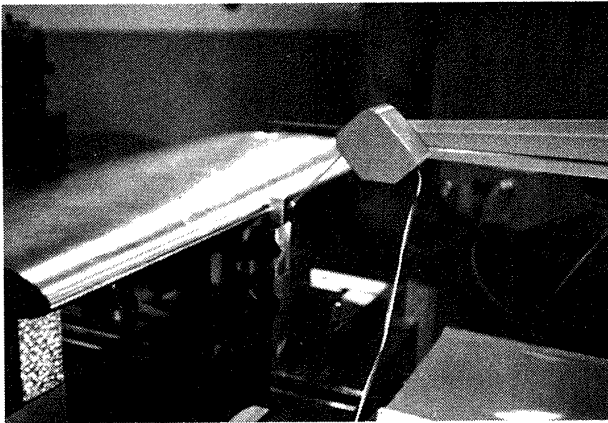


図 14(1) x 座標の決定

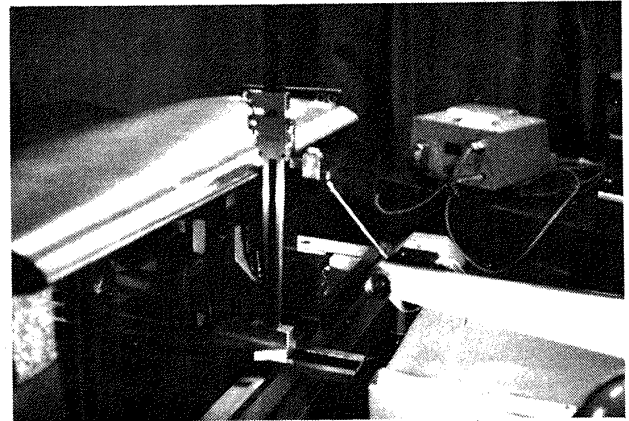


図 14(4) 測定触針の姿勢変更(その 2)

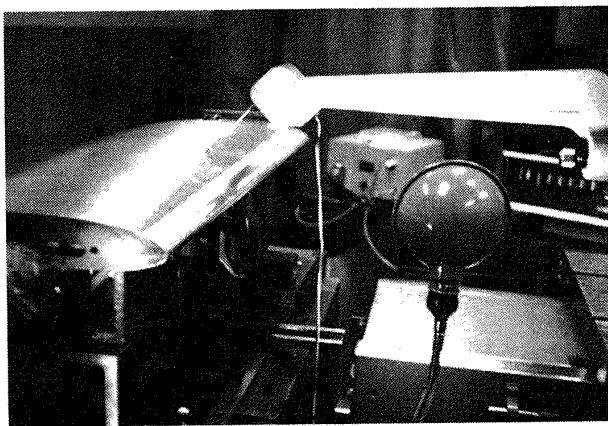


図 14(2) 上面測定

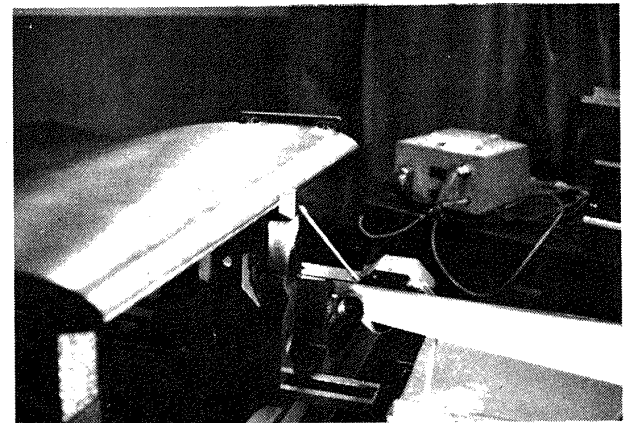


図 14(5) x 座標の再度決定

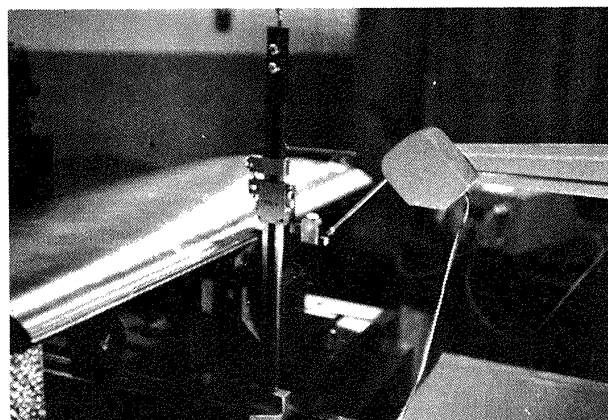


図 14(3) 測定触針の姿勢変更操作(その 1)

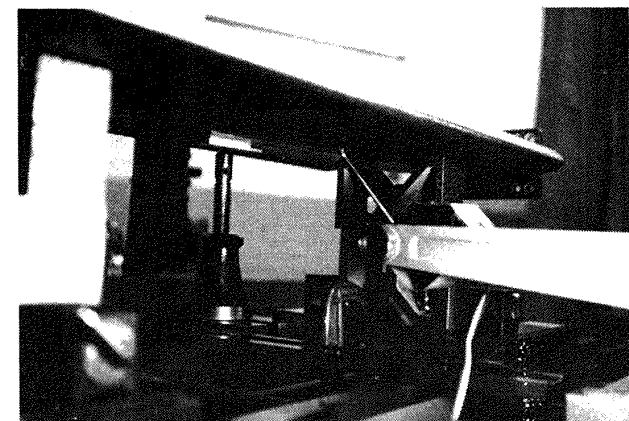


図 14(6) 下面測定

表6 二次元翼断面形状座標実測値解析実例(其の2)

A 断面(STA 200) 単位: mm

↓ 上 面	i	x	z ₀		z		Z ₀		Z _U	Z ₀ -Z _U	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	平均値	設計値	誤差(μ)
		0.079	48.990	47.354	48.117	46.461	0.873	0.893	0.883	0.900	-17
		0.237	49.785	48.140	#	#	1.668	1.679	1.674	1.528	+146
		0.509	50.604	48.962	48.117	46.461	2.487	2.501	2.494	2.338	-156
		1.147	51.999	50.356	48.116	46.460	3.883	3.896	3.890	3.714	+176
	2	1.909	53.296	51.653	48.115	46.459	5.181	5.194	5.188	4.980	+208
		2.791	54.534	52.896	48.114	46.458	6.420	6.438	6.429	6.208	+221
		3.800	55.751	54.109	48.113	46.457	7.638	7.652	7.645	7.423	+222
		4.945	56.966	55.312	48.112	46.456	8.854	8.856	8.855	8.639	+216
		6.237	58.201	56.553	48.111	46.455	10.090	10.098	10.094	9.866	+228
		7.691	59.484	57.831	48.110	46.454	11.374	11.377	11.376	11.110	+266
		9.322	60.770	59.115	48.108	46.452	12.662	12.663	12.663	12.374	+289
		11.146	62.037	60.396	48.106	46.450	13.931	13.946	13.939	13.658	+281
		13.173	63.310	61.672	48.104	46.448	15.206	15.224	15.215	14.958	+257
		15.406	64.593	62.943	48.102	46.446	16.491	16.497	16.494	16.264	+230
		17.833	65.867	64.215	48.100	46.444	17.767	17.771	17.769	17.561	+208
		20.420	67.104	65.460	48.097	46.442	19.007	19.018	19.013	18.824	+189
		23.103	68.285	66.631	48.095	46.439	20.190	20.192	20.191	20.022	+169
		25.789	69.351	67.702	48.092	46.437	21.259	21.265	21.262	21.121	+141
		28.356	70.281	68.624	48.090	46.434	22.191	22.190	22.191	22.066	+105
		30.676	71.040	69.396	48.088	46.432	22.952	22.964	22.958	22.887	+71
		32.642	71.633	69.989	48.086	46.430	23.547	23.559	23.553	23.515	+38
		34.207	72.084	70.427	48.084	46.429	24.000	23.998	23.999	23.977	+22
		35.445	72.414	70.772	48.083	46.427	24.331	24.345	24.338	24.315	+24
		36.717	72.753	71.103	48.082	46.426	24.671	24.677	24.674	24.635	+39
		39.858	73.497	71.845	48.079	46.423	25.418	25.422	25.420	25.339	+81
		46.024	74.749	73.103	48.073	46.417	26.676	26.686	26.681	26.539	+142
		57.683	76.671	75.017	48.062	46.406	28.609	28.611	28.610	28.427	+183
		69.438	78.207	76.561	48.051	46.395	30.156	30.166	30.161	29.967	+194
		80.745	79.386	77.730	48.040	46.384	31.346	31.346	31.346	31.175	+171
		92.550	80.396	78.731	48.028	46.373	32.358	32.358	32.358	32.194	+164
		105.262	81.232	79.592	48.016	46.361	33.216	33.231	33.224	33.048	+176
		119.209	81.906	80.259	48.003	46.348	33.903	33.911	33.907	33.727	+180
		103.404	82.382	80.724	47.988	46.333	34.394	34.391	34.393	34.194	+199
		150.643	82.596	80.945	47.973	46.318	34.623	34.627	34.625	34.402	+223
		167.431	82.474	80.819	47.957	46.302	34.517	34.517	34.517	34.322	+195
		184.222	82.095	80.441	47.941	46.286	35.154	34.155	34.155	33.954	+201
		200.649	81.436	79.789	47.925	46.270	33.511	33.519	33.515	33.319	+196
		216.548	80.541	78.891	47.910	46.255	32.631	32.636	32.634	32.446	+188
		231.855	79.434	77.788	47.895	46.241	31.539	31.547	31.543	31.364	+179
		246.522	78.149	76.502	47.881	46.227	30.268	30.275	30.272	30.099	+173
		260.494	76.724	75.075	47.868	46.214	28.856	28.861	28.859	28.682	+177
		273.720	75.155	73.499	47.855	46.201	27.300	27.298	27.299	27.141	+158
		286.157	73.485	71.824	47.843	46.189	25.642	25.635	25.639	25.509	+130
		297.788	71.769	70.105	47.832	46.178	23.937	23.927	23.932	23.814	+118
		308.613	69.936	68.290	47.822	46.168	22.114	22.122	22.118	22.061	+37
		318.652	68.154	66.501	47.812	46.158	20.342	20.343	20.343	20.333	+10
		327.933	66.404	64.745	47.803	46.150	18.601	18.595	18.598	18.590	+8
		336.495	64.675	63.011	47.795	46.141	16.880	16.870	16.875	16.867	+8
		344.378	62.969	61.299	47.787	46.134	15.182	15.165	15.174	15.178	-4
		351.624	61.316	59.663	47.780	46.127	13.536	13.536	13.536	13.533	+3
		358.276	59.769	58.110	47.774	46.121	11.995	11.989	11.992	11.942	+50
		364.374	58.286	56.623	47.768	46.115	10.518	10.508	10.513	10.412	+101
		369.956	56.836	55.186	47.763	46.110	9.073	9.076	9.075	8.952	+123
		375.058	55.441	53.791	47.758	46.105	7.683	7.686	7.685	7.564	+121
		379.711	54.100	52.430	47.753	46.100	6.347	6.330	6.339	6.255	+84
		387.774	51.693	50.027	47.746	46.093	5.047	5.034	5.041	4.948	+93
		391.222	50.675	49.011	47.742	46.089	3.833	3.822	3.828	3.743	+85
		394.295	49.777	48.115	47.740	46.087	2.637	2.628	2.633	2.558	+75
		400.000	48.052	46.397	47.734	46.081	0.318	0.316	0.317	0.290	+27
↓ 下 面	i	x	z _L		z		Z _L		Z _L	Z _L -Z _L	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	平均値	設計値	誤差(μ)
		0.050	47.294	45.144	48.117	47.461	0.823	0.817	0.820	0.663	+157
		0.181	46.593	44.919	#	#	1.524	1.533	1.533	1.285	+248
		0.403	45.973	44.303	48.117	46.461	2.144	2.158	2.151	1.884	+267
		0.958	44.947	43.276	48.116	46.460	3.170	3.184	3.177	2.893	+284
	14	1.664	43.968	42.298	48.115	46.459	4.147	4.161	4.154	3.840	+314
		2.532	43.002	41.333	48.115	46.459	5.113	5.126	5.120	4.780	+340
		3.584	42.052	40.383	48.114	46.458	6.062	6.075	6.069	5.736	+333
		4.859	41.065	39.398	48.112	46.456	7.047	7.058	7.053	6.725	+328
		6.420	40.020	38.351	48.111	46.455	8.091	8.104	8.098	7.766	+332
		8.376	38.907	37.238	48.109	46.453	9.202	9.215	9.209	8.888	+321
		10.943	37.679	36.007	48.107	46.451	10.428	10.444	10.436	10.140	+296
		14.636	36.144	34.480	48.103	46.447	11.959	11.967	11.963	11.634	+329
		21.941	34.010	32.341	48.097	46.441	14.087	14.100	14.094	13.740	+354
		26.900	32.664	30.999	48.091	46.435	15.427	15.436	15.432	15.102	+329
		31.924	31.680	30.013	48.086	46.431	16.406	16.418	16.412	16.131	+281
		35.965	30.967	29.299	48.083	46.427	17.116	17.128	17.122	16.851	+271
		42.794	29.839	28.169	48.076	46.420	18.237	18.251	18.245	17.901	+343
		60.938	27.763	26.097	48.059	46.403	20.296	20.306	20.301	19.956	+345
		86.054	26.080	24.416	48.035	46.379	21.955	21.963	21.959	21.633	+326
		101.589	25.538	23.874	48.020	46.365	22.482	22.491	22.487	22.195	+292
		113.759	25.369	23.700	48.008	46.353	22.639	22.653	22.646	22.424	+222
		133.626	26.101	24.439	47.989	46.334	21.888	21.895	21.892	21.610	+282
		150.187	27.165	25.501	47.973	46.318	20.808	20.817	20.813	20.570	+243
		164.700	28.499	26.839	47.959	46.305	19.460	19.466	19.463	19.237	+226
		195.294	32.206	30.541	47.930	46.276	15.724	15.735	15.730	15.575	+155
		220.610	35.888	34.224	47.906	46.252	12.018	12.028	12.023	11.895	+128
		242.415	39.112	37.458	47.885	46.231	8.773	8.773	8.773	8.650	+123
		261.652	41.708	40.034	47.866	46.213	6.158	6.179	6.169	6.055	+114
		278.898	43.749	42.089	47.850	46.196	4.101	4.107	4.104	3.995	+109
		294.576	45.466	43.794	47.835	46.181	2.369	2.387	2.378	2.340	+38
		308.971	46.760	45.092	47.821	46.168	1.061	1.076	1.069	1.055	+14
		322.327	47.689	46.026	47.808	46.155	0.119	0.129	0.124	0.120	+4
		334.857	48.368	46.709	47.796	46.143	-0.572	-0.566	-0.569	-0.535	-34
		346.765	48.819	47.156	47.785	46.132	-1.034	-1.024	-1.029	-0.975	-54
		358.290	49.082	47.421	47.774	46.121	-1.308	-1.300	-1.304	-1.215	-89
		369.786	49.107	47.444	47.763	46.110	-1.344	-1.334	-1.339	-1.250	-89
		385.261	48.761	47.098	47.748	46.095	-1.013	-1.003	-1.008	-0.880	-128
		400.009	47.806	46.145	47.734	46.081	-0.072	-0.064	-0.068	0.000	-68

(1) $\bar{x} = 56.3093$, $(z-47) = 1.063$
 $S_x = 108904.2747$, $S_{x(z-47)} = -104.2607$
 $a = -104.2607 / 108904.2747 = -0.0009574$
 $b = 48.117$, $z = -0.0009574x + 48.117$

(2) $\bar{x} = 56.3093$, $(z-$

に示しておく。また実際に測定しているところを図 14 に示す。

4. 二次元座標の測定

こゝに言う二次元座標の測定とは断面形状測定を除く測定であって測定に際して、測定器の二軸のみを用い、他の一軸は測定値には全く関与しないような測定を言う。

以下、この種の測定について数実例を示す。

4.1 風洞実験用二次元翼模型の圧力孔座標の測定

この種の測定には当検査室にも専用器である東京光学K.K製の座標投影器(CP22型)があるが、載物ガラス面上に置いて測定することができない。特に大形の測定物、または複雑な測定条件の場合には、次に示す二次元座標測定装置を用いると便利であるので以下に述べる。

この測定装置は図15に示すように三次元座標測定器本体の測定アーム先端に顕微鏡取付アームを介して20倍測定顕微鏡および照明ランプを取付けたものである。測定顕微鏡の光軸は正確に測定載物台平面に垂直である必要はないので、副測定アームを用いれば自由自在の位置に測定顕微鏡をセットすることができる。

こゝに、副測定アームは図16に示すように(A)、(B)

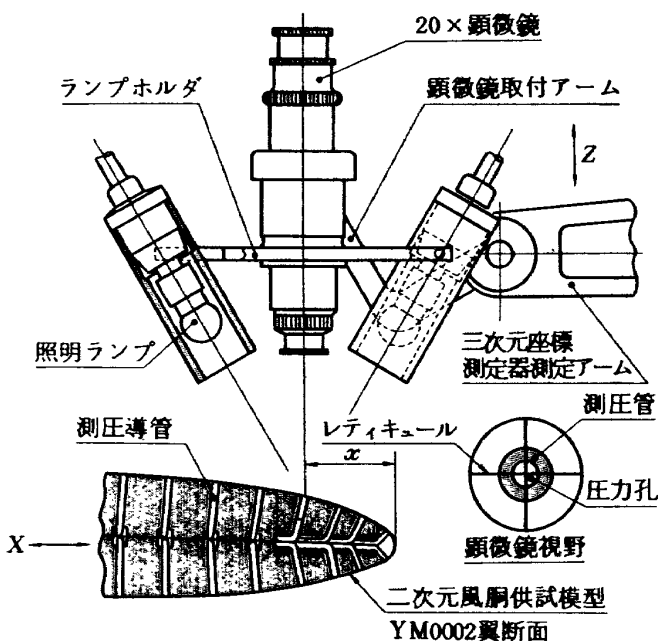
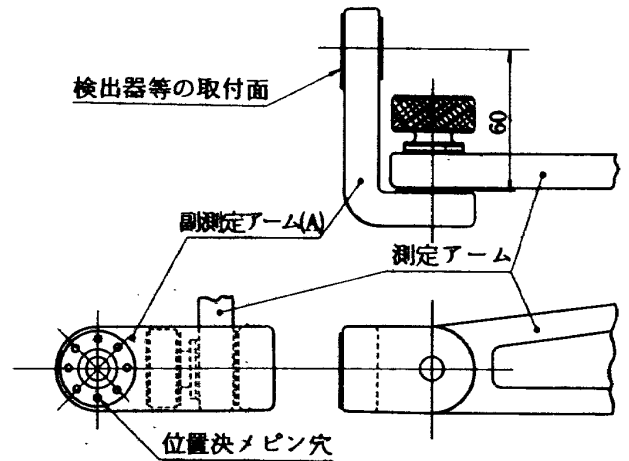
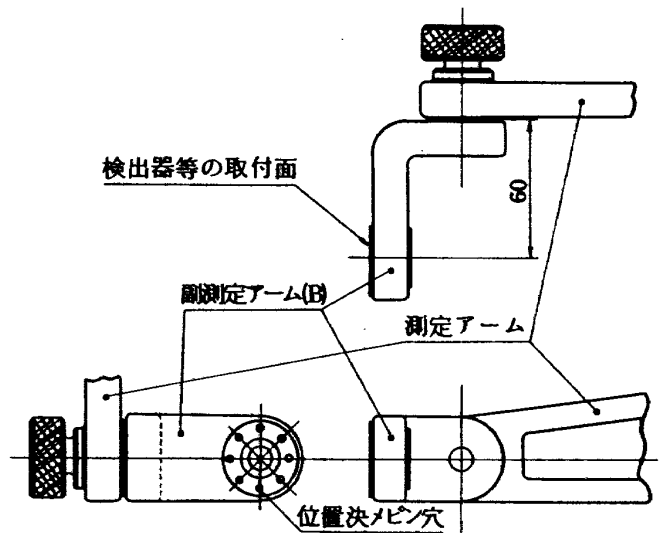


図 15 二次元座標測定装置



(a) 副測定アーム A



(b) 副測定アーム B

図 16 副測定アーム

の2種類あり、共に測定アーム先端に取付けて用いられるもので、検出器その他の測定具の取付面が(A)、(B)2種類を用いることにより左右に90°変えられ、また取付角度も、その位置決めピン穴を用いて45°とびに360°まで正確に変えられるようになっている。また副測定アーム(A)および(B)を双方接続して測定アーム先端に取付けることもできるので広範囲の利用が可能である。

さて次に、その測定手順の詳細を示す。

〔測定手順〕

(1) 模型の定置および前縁のY軸方向セッティング

模型の定置および前縁のY軸方向セッティングは3.1節の測定手順(1)、(2)と同じ要領で行う。

(2) x 座標の決定

表7 三次元座標測定器付属二次元座標測定装置による測定精度検定結果

検定方法の種類 単位：mm

記号	測定の種類	使用したマスタゲージ	仮定した真値(T)	測定方向
A	外側測定	50mm ブロックゲージ(A級)	50.000	X, Y
B	"	100mm "	100.000	"
C	"	150mm "	150.000	"

検定結果 (使用測定顕微鏡倍率：20倍) 単位：μ

検定の種類	A		B		C	
E	- 10	0	0	0	- 5	+ 5
	+ 3	+ 2	+ 10	- 2	0	+ 10
	0	+ 6	+ 2	- 3	- 3	+ 11
	0	+ 6	+ 2	0	+ 2	+ 2
	- 8	+ 4	0	- 2	+ 5	+ 7
	- 5	- 5	+ 3	0	- 1	0
	- 7	+ 2	0	0	- 3	+ 2
	+ 7	- 7	+ 2	0	- 2	+ 1
	- 3	+ 2	- 2	- 2	+ 3	0
	+ 5	0	- 7	- 5	0	0
\bar{E}	- 0.4		- 0.2		+ 1.7	
σ	5.1		3.4		4.2	

ただし E：誤差 (E=測定値-T)

$$\bar{E}：誤差の平均値 (\bar{E} = \sum_{i=1}^{20} E_i / 20)$$

$$\sigma：誤差の標準偏差 (\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{20} (E_i - \bar{E})^2 / 19})$$

A級ブロックゲージの寸法精度 (JIS B 7506)

単位：μ

呼び寸法 (mm)	寸法誤差 (±)	寸法偏差
25 以下	0.10	0.08
25 をこえ 50 "	0.20	0.10
50 " 75 "	0.30	0.10
75 " 100 "	0.40	0.15
100 " 125 "	0.50	0.15
125 " 150 "	0.60	0.15
150 " 175 "	0.70	0.20

測定載物台を X 方向に移動し、測定顕微鏡を視準し、その視野のレティキュールの交点と前縁とが合致した位置で x 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

(3) 圧力孔 x 座標の測定

測定手順(2)で決定した前縁の位置から模型を X 方向に送り顕微鏡のレティキュールの交点と測定しようとする圧力孔中心とを目測により合致させ、その時の x 座標表示カウンタの読みをその圧力孔 x 座標の測定値とする。こゝで直交テーブル上で二次元座標を上述のように測定顕微鏡による合致方式で測定する場合の測定精度について述べる。

一般に直交テーブル上での二次元座標測定には原理的にさげられない欠点がある。それは Abbe の条件（測定点は読取スケール線上になければならない

と言う条件）を満足させられないことである。よって測定精度に影響を及ぼす因子としては読取スケール、ユニットの精度のほか直交テーブルの運動精度（2章、機構の精度の項参照）が重要な因子となる。また測定顕微鏡の倍率、および合致操作の個人差等複雑に影響し合っているため、これら個々の精度からその測定器の測定精度を定量的に決めることは困難である。

よって一般にこのような場合にはマスタゲージ等を用いた検定を数十回行い、その誤差のバラツキから測定精度を推定するという方法がとられる。

こゝに用いられた二次元座標測定器に対し、この方法で行った測定精度検定結果を表 7 に示す。ただし、この検査結果は測定顕微鏡倍率 20 倍の場合である。表 7 から、この測定器による圧力孔座標の測定

表 8 圧力孔 x 座標測定結果

単位：mm

STA. A

圧力孔 No	x			圧力孔 No	x			圧力孔 No	x		
	設計値	実測値	誤差		設計値	実測値	誤差		設計値	実測値	誤差
1	0.00	0.00	0	24	106.25	106.39	+0.14	47	250.00	250.17	+0.17
2	0.80	0.99	+0.19	25	112.50	112.59	+0.09	48	2.70	2.85	+0.15
3	2.70	2.82	+0.12	26	118.75	118.80	+0.05	49	7.50	7.56	+0.06
4	5.00	5.06	+0.06	27	125.00	125.13	+0.13	50	12.50	12.44	-0.06
5	7.50	7.61	+0.11	28	131.25	131.30	+0.05	51	17.50	17.49	-0.01
6	10.00	10.03	+0.03	29	137.50	137.58	+0.08	52	25.00	24.92	-0.08
7	12.50	12.56	+0.06	30	143.75	143.77	+0.02	53	37.50	37.55	+0.05
8	15.00	15.05	+0.05	31	150.00	150.12	+0.12	54	50.00	50.00	0
9	17.50	17.44	-0.06	32	156.25	156.27	+0.02	55	62.50	62.52	+0.02
10	21.00	21.03	+0.03	33	162.50	162.52	+0.02	56	75.00	74.93	-0.07
11	25.00	25.07	+0.07	34	168.75	168.75	0	57	87.50	87.58	+0.08
12	31.25	31.25	0	35	175.00	174.99	-0.01	58	100.00	99.95	-0.05
13	37.50	37.53	+0.03	36	181.25	181.22	-0.03	59	112.50	112.45	-0.05
14	43.75	43.82	+0.07	37	187.50	187.55	+0.05	60	125.00	124.93	-0.07
15	50.00	50.18	+0.18	38	193.75	193.74	-0.01	61	137.50	137.51	+0.01
16	56.25	56.22	-0.03	39	200.00	200.04	+0.04	62	150.00	150.10	+0.10
17	62.50	62.47	-0.03	40	206.25	206.21	-0.04	63	162.50	162.49	-0.01
18	68.75	68.84	+0.09	41	212.50	212.46	-0.04	64	175.00	175.04	+0.04
19	75.00	75.09	+0.09	42	218.75	218.83	+0.08	65	187.50	187.58	+0.08
20	81.25	81.28	+0.03	43	225.00	224.99	-0.01	66	200.00	199.96	-0.04
21	87.50	87.58	+0.08	44	231.25	231.21	-0.04	67	212.50	212.43	-0.07
22	93.75	93.81	+0.06	45	237.50	237.46	-0.04	68	225.00	225.06	+0.06
23	100.00	100.01	+0.01	46	243.75	243.69	-0.06	69	237.50	237.57	+0.07

等の二次元座標の測定精度は±0.01 mm 程度であると言える。

なお、表7の中でのブロックゲージの寸法誤差とは実寸法から呼び寸法を差し引いた値であり、寸法偏差とは、実寸法の最大値と最小値との差を言う。

参考のため、3.1節の測定実例に用いた模型、図3 STA・Aにおける圧力孔 α 座標の測定データを表8に示す。こゝに圧力孔番号48から69までは翼下面に穿孔されているものである。

4.2 風洞実験用三次元翼模型の圧力孔座標の測定

本報告では説明のため、遷音速風洞標準全機模型について行った測定実例について述べる。

図17に主要設計寸法を記入した模型の3面図を示す。

胴体は3つの部分からなり、結合部はインロー結合にて滑らかに結合されている。主翼が結合されている中部胴体は直径124.20 mmに精密に仕上げられた円筒である。主翼、水平尾翼および垂直尾翼はすべて同一の対称翼であり、その翼型の座標を表9に

示す。

三次元模型は二次元模型と異なり、スパン方向に対して断面の形状や寸法が変化しており、また主翼等は振り下げがついているのが一般であるので先づ、設計図面を詳細に検討し、測定前に測定基準面、測定基準線および測定基準点等の決定方法を明確にしておかなければならない。

図18に圧力孔測定部の詳細を示した3面図を示す。

こゝで説明のための座標系は便宜上、測定器のそれと同じ記号を用いることとし、胴体中心線を水平にした状態で、これに平行にX軸、これに直角に水平にY軸、鉛直にZ軸をとるものとする。

図18において、主翼基準面(翼断面形を規定する場合に基準となる平面)は胴体中心線からZの負の方向に31.05 mmの距離にあるX軸に平行な直線のまわりに上反角 3° を持ち、更に同直線上、前部胴体結合面よりX方向に105.077 mmの距離にある点Pを通りY軸に平行な直線のまわりに 4° の取付角を持っている。また、圧力孔のあるSTA-S₁、S₂およびS₃の位置は、上記の上反角および取付角がないとした場

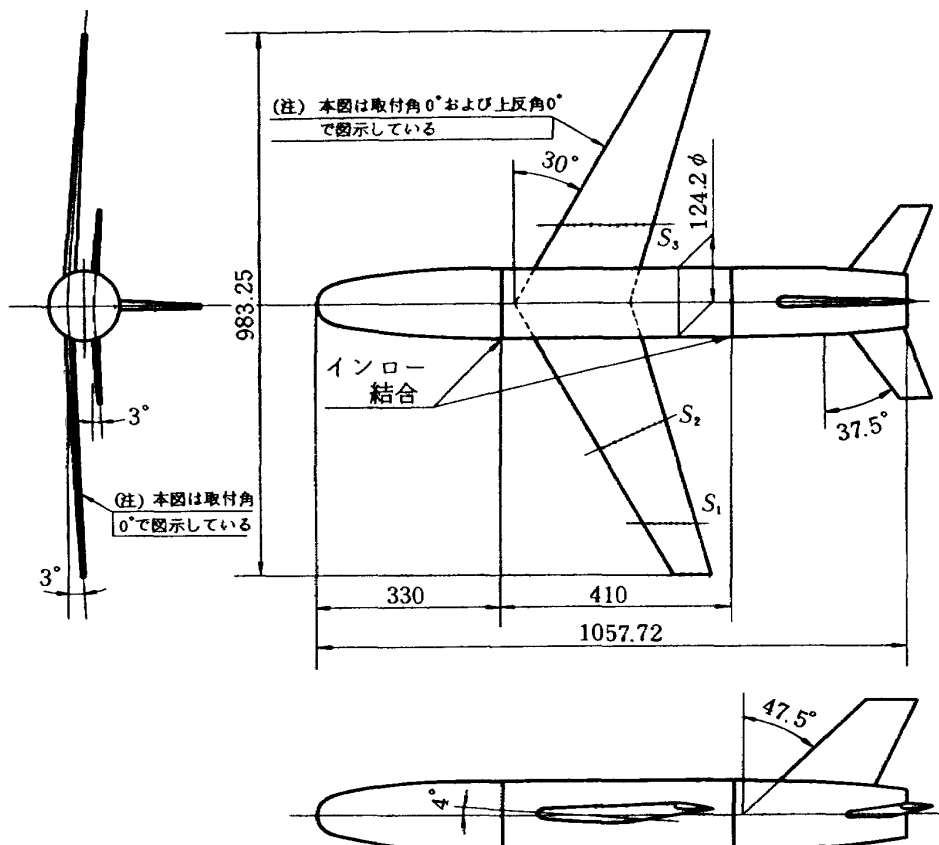


図17 遷音速風洞用標準模型3面図

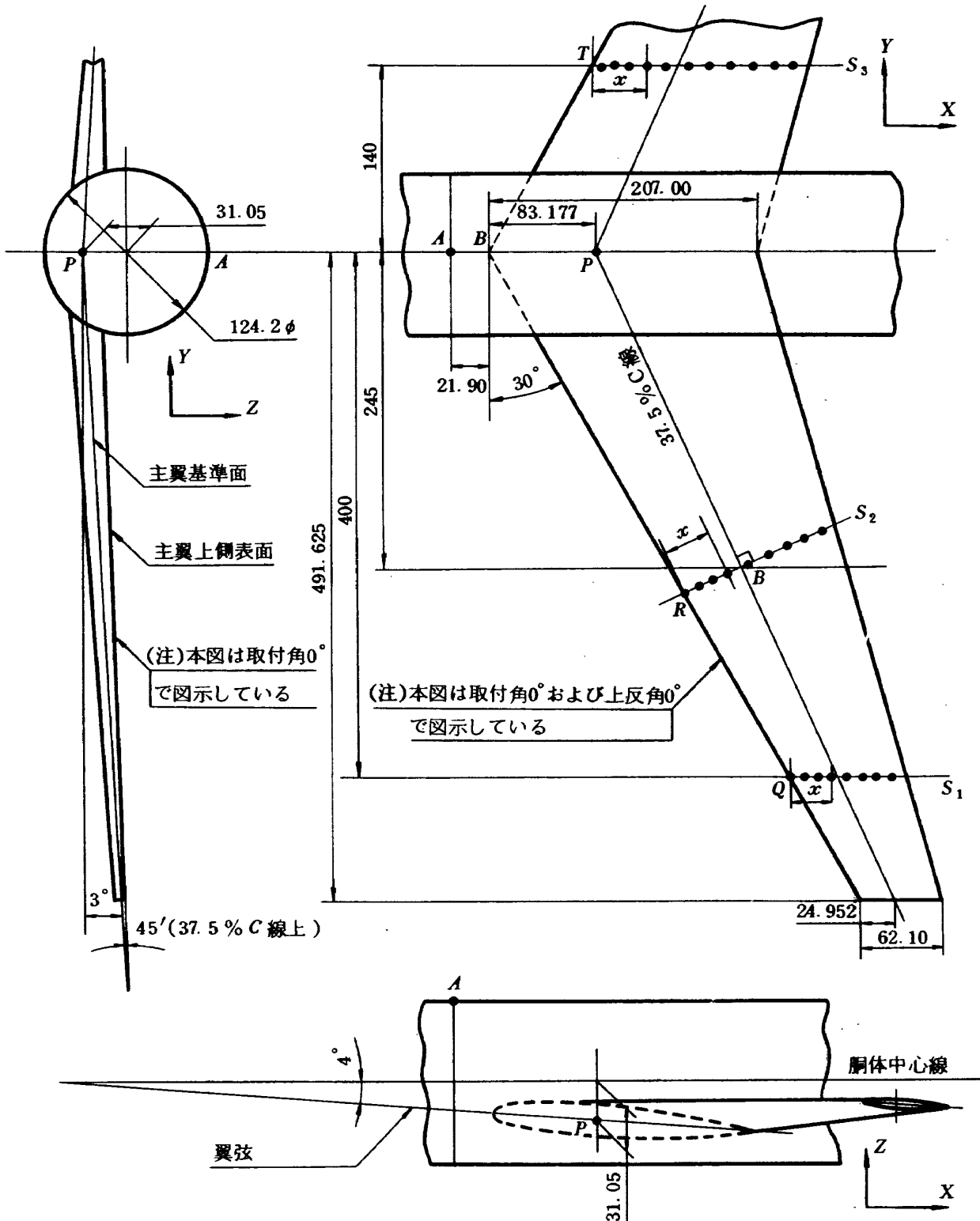


図 18 圧力孔測定部詳細図

合の、点Pを含みXZ平面に平行な平面を基準面とし、そこからの距離で表わされている。すなわちSTA-S₁上の圧力孔のx座標は、上記基準平面から400mmの距離にある前縁上の点Qを基準点として、そこからのX方向の距離で表わされている。

STA-S₂上の圧力孔のx座標は、上記基準平面か

ら245mmの距離にある37.5%C線上の点Bにおいて37.5%C線に直交する平面と前縁との交点Rを基準点としてそこから直線RBの方向にとられている。

右主翼、STA-S₃上の圧力孔のx座標は、上記基準平面から140mmの距離にある前縁上の点Tを基準点として、そこからX方向の距離で表わされている。

表9 遷音速風洞用標準模型翼型の座標

$x/C\%$	$Z/C\%$	$x/C\%$	$Z/C\%$	$x/C\%$	$Z/C\%$
0.0125	0.189	12.00	4.096	40.5	5.220
0.025	0.270	12.75	4.171	41.5	5.206
0.075	0.4969	13.5	4.243	42.5	5.186
0.15	0.7216	14.5	4.334	43.5	5.165
0.30	1.032	15.5	4.419	44.5	5.138
0.50	1.331	16.5	4.498	45.5	5.107
0.70	1.564	17.5	4.574	46.5	5.070
0.90	1.757	18.5	4.644	47.5	5.030
1.25	2.029	19.5	4.709	48.5	4.986
1.75	2.318	20.5	4.770	49.5	4.938
2.00	2.428	21.5	4.827	50.5	4.886
2.25	2.522	22.5	4.879	52.0	4.805
2.75	2.679	23.5	4.928	53.5	4.718
3.25	2.807	24.5	4.972	55.0	4.625
3.75	2.921	25.5	5.013	56.5	4.526
4.25	3.023	26.5	5.051	58.0	4.424
4.75	3.117	27.5	5.086	59.5	4.315
5.25	3.206	28.5	5.116	61.0	4.203
5.75	3.289	29.5	5.144	62.5	4.087
6.25	3.369	30.5	5.167	64.0	3.968
6.75	3.446	31.5	5.188	65.5	3.845
7.25	3.519	32.5	5.205	67.0	3.718
7.75	3.590	33.5	5.218	69.0	3.545
8.25	3.658	34.5	5.229	75.0	2.976
8.75	3.724	35.5	5.236	80.0	2.450
9.25	3.787	36.5	5.240	85.0	1.880
9.75	3.844	37.5	5.241	90.0	1.280
10.50	3.934	38.5	5.237	95.0	0.675
11.25	4.017	39.5	5.231	100.0	0.070

以上のことを考慮しながら、図18の寸法データから測定に必要な諸寸法および角度を算出し、測定方法、手順等を詳細に検討し、決定してから測定開始となる。

なお、以後図面上および本文中で寸法を指示する場合、設計値および設計値を基に算出した値はそのまま記入し、実測値にはアンダラインを、また実測値を基に計算によって推定した値には※印を付して区別するものとする。以下、本実例の場合に行った測定手順の詳細を示す。

〔測定手順〕

(1) 主翼基準面と測定載物台平面との平行セッティング

先づ、胴体中心線が測定器X軸にほぼ平行になるように、測定載物台上に置いた2つのVブロック上に乗せる。次に胴体中心線を測定載物台平面に対して、4°傾ける(図19(c)参照)。この操作は専用の微調傾斜装置がないので、多少手間取るが、サイズの異った2つの支持Vブロックを用い、その支持点を種々変えることによって行った。傾斜角の4°は、クリノメータのVミズを中部胴体の上部稜線に沿わせて定置することによって容易に測定される。次に主翼上面の37.5% C線と測定載物台平面とのなす角が45'になるようにセットする。この操作は、予め主翼表面に37.5% C線を線引きしておき、その線に沿って乗せたクリノメータの読みと、主翼先端を支持している豆ジャッキの微調操作とを以って行う。37.5% C線の位置は翼断面のふくらみの最高点になっているので(表9参照)、傾斜角測定操作も比較的容易に正確に行うことができる。

以上の操作によって主翼基準面は測定載物台平面に対し平行となる。なお、ここで用いた主翼基準面と主翼上面の37.5% C線とのなす角45'は37.5% C線上における各断面の Z_U (設計値)の値から求めたものである。

(2) 胴体中心線のXZ平面に対する平行セッティング

中部胴体側面に沿っての任意の位置aおよびb(この2つの位置はできる限り離してとる)に直角定規を当て、その先端エッジの任意の一点Kを測定アームに取付けた二次元座標測定装置(4.1節参照)の測定顕微鏡(倍率20倍)にて視準した場合、エッジKがa, b 2位置で同一のy座標になるように支持Vブロックを微動させる。

この操作で胴体中心線は測定器XZ平面に対し平行にセットされる。なお、この操作で測定手順(1)で行った平行セッティングが僅か崩れるので再度チェックする。

(3) y座標測定基準面の決定

測定顕微鏡視野のレティキュール交点と直角定規エッジK(図19(b)参照)とを合致させ、この位置か

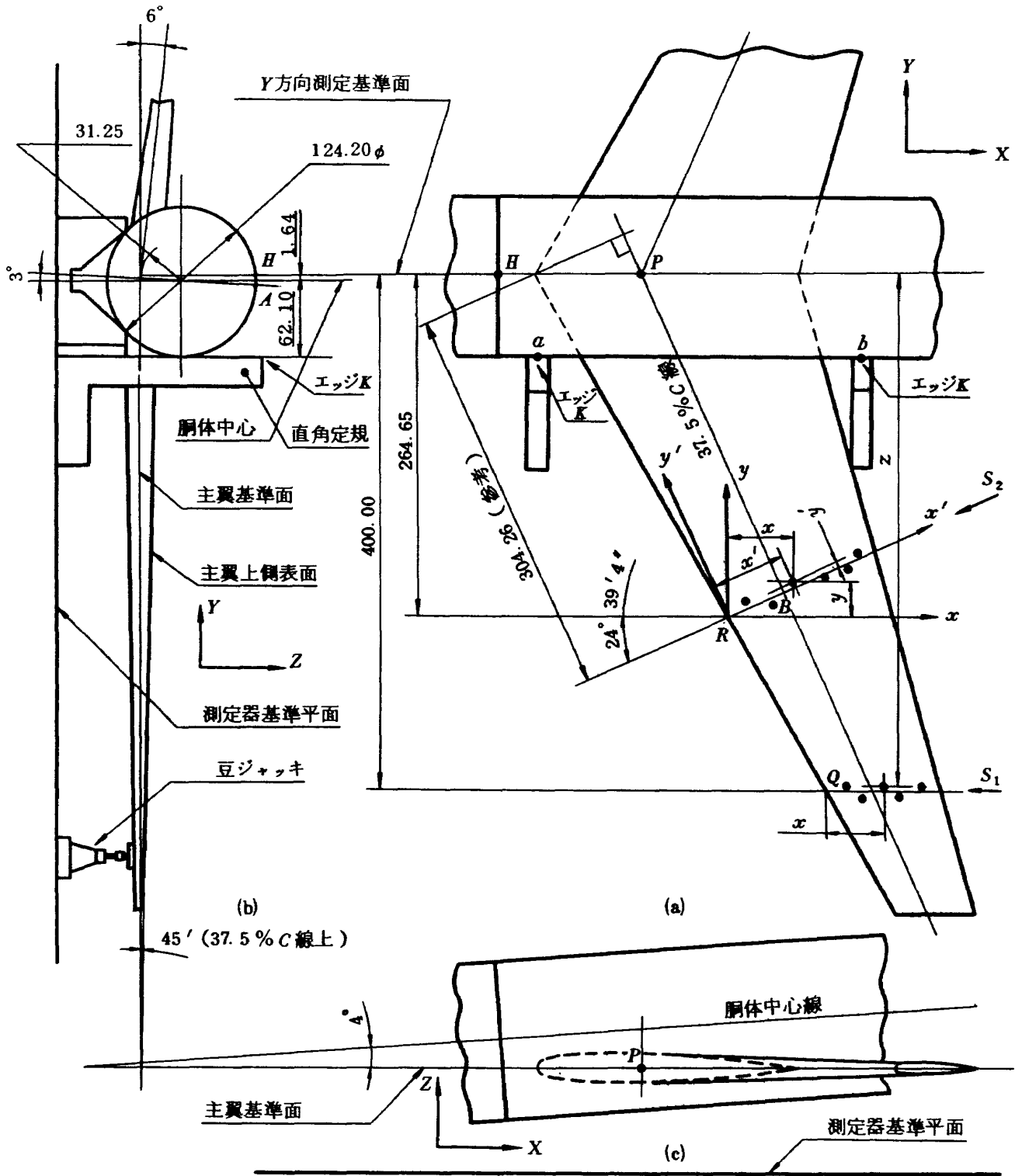


図 19 圧力孔座標測定手順説明図

ら $62.10 (= \text{胴体半径}) + 1.64 (= 31.25 \sin 3^\circ) = 63.74 \text{ mm}$ だけ測定載物台を Y 方向に送り、この位置において測定器 XZ 平面に平行な平面を y 座標測定基準面と決定し、この時の y 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

こゝに 31.25 mm は図 18 で示した点 P と胴体中心線との距離 (設計値 = 31.05) の実測値であり、その測

定方法は後に 5.1.2 節 [1] で詳述する。また 62.10 mm はマイクロメータによる円筒部胴体直径を任意の 5ヶ所を選んで実測した値の平均値 124.20 mm の $1/2$ である。

(4) STA-S₁ 圧力孔の x および y 座標測定
測定載物台を Y 方向に送り、y 座標表示カウンタの読みが 400 になる位置で Y 方向の動きをクランプ

する。次にX方向に送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と主翼前縁とか合致した点（図18の点Qに相当）を求め、この点を x 座標測定基準点とし、この位置での x 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

この位置から測定載物台をX方向に送り、同時にY方向にも微動送りさせ、測定顕微鏡のレティキュール交点と測定しようとする圧力孔中心とが合致した時の x および y 座標表示カウンタの読みを、その圧力孔の x および y 座標測定値とする。

(5) STA-S₂圧力孔の x および y 座標測定

測定載物台をY方向に移動させ、 y 座標表示カウンタの読みが264.65になる位置でY方向の動きをクランプする。次にX方向に移動させ、測定顕微鏡のレティキュール交点と主翼前縁とが合致した点（図19のRに相当）を求め、この点を原点とする直交座標系 xy に関する圧力孔の座標の測定値を得るために、この点において、 x および y 座標表示カウンタの読みを零にセットする。この位置から測定載物台を、XおよびY方向に同時に送り、顕微鏡視野のレティキュール交点と測定しようとする圧力孔中心とが合致した時の x および y 座標表示カウンタの読みを、その圧力孔の x および y 系に関する測定値とする。この測定値 x および y を下記の変換式によって原点Rを共有し、これと $24^{\circ}39'4''$ の傾きをなす直交座標系 $x'y'$ に変換した値を圧力孔 x および y 座標の測定値とする。

$$\left. \begin{aligned} \text{変換式} \quad x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

こゝに $\theta = 24^{\circ}39'4''$

なお、 $24^{\circ}39'4''$ は上反角および取付角が共がないとした場合の37.5% C線の後退角の設計値である。

(6) STA-S₃圧力孔の x 、 y 座標測定

模型を測定載物台上で水平面内で 180° 反転して上記測定手順(1)~(4)と同一の要領で図18で示した点Tを求め、この点を x 座標測定基準として、圧力孔の x 、 y 座標を測定する。

(7) 主翼下面の圧力孔 x 、 y 座標測定

模型を鉛直面内で 180° 反転して、上面圧力孔測定のとくと同じ要領で下面の圧力孔 x 、 y 座標を測定する。

以上で測定は終了する。

三次元模型の圧力孔位置測定精度は、 y 座標測定基準面の決定においてすでに誤差を含んでおり、さらに測定線の決定、および x 座標測定基準点の決定においても誤差を含み甚だ複雑であり、測定精度を定量的に表示することは困難である。しかし上記の y 座標測定基準面の決定と測定線の決定に誤差がないと仮定した場合は4.1節の測定手順(3)での測定精度と同程である。

表10に上述の方法で行った実測値を示す。

表中でSTA-S₁の圧力孔No.28~39、STA-S₂の圧力孔No.30~41およびSTA-S₃の圧力孔No.28~39は翼下面の圧力孔を示す。なお、図20は実際にSTA-S₂圧力孔位置を測定している時の写真である。

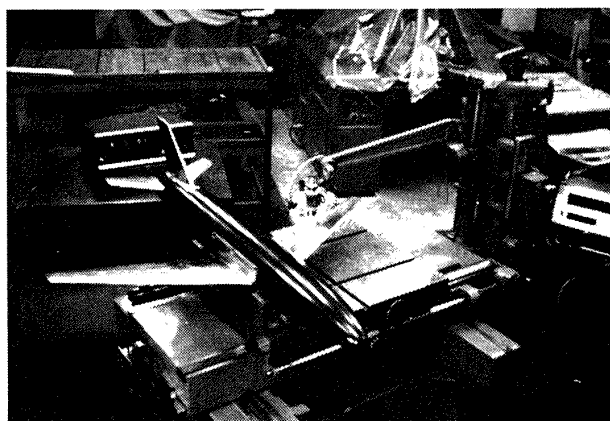


図20 STA-S₂圧力孔位置測定

4.3 プロフィールゲージの輪郭座標測定

各種模型製作用プロフィールゲージ等の輪郭座標の精密測定には、従来は、SIP測長器(MUL-1000型)付属の小型座標測定器を使用していたが、測定範囲が小さく、高々 x 座標200mm、 y 座標30mmで、これ以上の大形ゲージの精密測定は不可能であった。

こゝで述べるプロフィールゲージの輪郭座標測定に用いられる測定装置は被検体を鉛直に保持した状態で測定する。言わば立型座標測定器とでも言えるもので、その測定範囲は x 座標600mm、 z 座標200mmで、最小読取単位は1ミクロンである。

測定装置は図21に示すような構造のもので三次元座標測定器に取り付けて使用される。すなわち三次元座標測定器本体の測定載物台（図1参照）上に設け

表 10 圧力孔座標測定結果

単位: mm

圧力孔 No	STA-S ₁				STA-S ₂				STA-S ₃			
	x			y-400	x'			y'	x			y-140
	設計値	実測値	誤差		設計値	実測値	誤差		設計値	実測値	誤差	
1	0.00	-0.07	-0.07	-0.17	0.00	0.03	+0.03	+0.20	0.33	0.53	+0.20	+0.16
2	1.11	0.97	-0.14	+0.09	1.13	1.17	+0.04	-0.05	2.07	2.34	+0.27	+0.09
3	2.67	2.58	-0.09	+0.03	2.51	2.56	+0.05	-0.03	4.97	5.11	+0.14	+0.09
4	4.46	4.33	-0.13	-0.02	4.40	4.36	-0.04	-0.04	8.29	8.44	+0.15	+0.13
5	6.24	6.25	+0.01	-0.12	6.28	6.38	+0.10	+0.03	12.43	12.58	+0.15	+0.16
6	8.91	8.86	-0.05	-0.09	8.79	8.77	-0.02	-0.01	16.57	16.62	+0.05	+0.23
7	12.47	12.39	-0.08	-0.07	11.31	11.41	+0.10	-0.02	23.20	23.34	+0.14	+0.09
8	16.04	16.05	+0.01	-0.04	15.08	15.06	-0.02	0 0	29.83	29.98	+0.15	+0.13
9	19.60	19.47	-0.13	-0.06	18.85	18.83	-0.02	+0.01	36.46	36.62	+0.16	+0.12
10	23.17	23.15	-0.02	-0.06	23.87	23.89	+0.02	+0.06	43.09	43.29	+0.20	+0.11
11	26.73	26.70	-0.03	-0.02	27.64	27.63	-0.01	0	49.71	49.79	+0.08	+0.09
12	30.29	30.21	-0.08	-0.02	32.67	32.61	-0.06	+0.07	56.34	56.45	+0.11	+0.13
13	33.85	33.72	-0.13	+0.01	37.69	37.70	+0.01	+0.07	62.97	63.10	+0.13	+0.03
14	37.42	37.30	-0.12	+0.01	42.72	42.64	-0.08	+0.07	69.60	69.66	+0.06	+0.02
15	40.98	40.91	-0.07	+0.01	47.74	47.78	+0.04	+0.07	76.23	76.28	+0.05	+0.02
16	44.55	44.43	-0.12	-0.08	52.77	52.78	+0.01	+0.12	82.86	82.91	+0.05	+0.05
17	48.12	47.98	-0.14	-0.10	57.79	57.77	-0.02	+0.05	89.49	89.56	+0.07	+0.05
18	51.67	51.53	-0.14	-0.07	62.82	62.78	-0.04	+0.09	96.12	96.28	+0.16	-0.10
19	55.24	55.17	-0.07	-0.11	67.84	67.75	-0.09	+0.03	102.75	102.79	+0.04	-0.05
20	58.80	58.68	-0.12	-0.07	72.87	72.91	+0.04	+0.06	109.38	109.48	+0.10	0
21	62.37	62.32	-0.05	-0.08	77.89	77.85	-0.04	+0.05	116.01	116.05	+0.04	-0.01
22	65.94	65.84	-0.10	-0.07	82.91	82.85	-0.06	0	122.64	122.70	+0.06	0
23	69.50	69.40	-0.10	-0.05	87.94	87.93	-0.01	+0.02	129.27	129.45	+0.18	+0.03
24	73.06	72.98	-0.08	-0.09	92.97	92.89	-0.08	+0.01	135.90	136.03	+0.13	+0.02
25	76.63	76.57	-0.06	-0.09	98.00	97.95	-0.05	+0.05	142.53	142.68	+0.15	+0.02
26	80.19	80.19	0	-0.12	103.02	102.46	-0.06	-0.04	149.15	149.32	+0.17	0
27	84.65	84.67	+0.02	-0.11	108.05	108.10	+0.05	+0.04	157.44	157.58	+0.14	0
28	1.78	1.64	-0.14	0	113.07	113.06	-0.01	+0.06	2.49	2.48	-0.01	+0.10
29	3.56	3.51	-0.05	-0.07	119.35	119.50	+0.15	+0.05	6.63	6.61	-0.02	-0.02
30	5.79	5.76	-0.03	-0.12	0.75	0.69	-0.06	+0.05	10.77	10.77	0	+0.03
31	8.91	8.92	+0.01	-0.01	2.51	2.48	-0.03	+0.11	16.57	16.68	+0.11	+0.04
32	13.36	13.31	-0.05	-0.15	7.54	7.52	-0.02	+0.19	24.86	24.88	+0.02	+0.04
33	22.27	22.17	-0.10	-0.15	12.56	12.56	0	+0.02	41.40	41.35	-0.05	+0.04
34	31.19	31.09	-0.10	-0.18	18.85	18.71	-0.14	0	58.00	58.11	+0.11	+0.02
35	40.09	40.03	-0.06	-0.11	31.41	31.33	-0.08	+0.07	74.54	74.61	+0.07	-0.03
36	49.01	48.91	-0.10	-0.14	43.97	43.94	-0.03	+0.09	91.15	91.25	+0.11	-0.10
37	57.91	57.88	-0.03	-0.18	56.54	56.49	-0.05	+0.12	107.72	107.66	-0.06	-0.06
38	66.82	66.71	-0.11	-0.16	69.10	69.12	+0.02	+0.12	124.29	124.41	+0.12	-0.07
39	75.73	75.72	-0.01	-0.16	81.66	81.67	+0.01	+0.05	140.87	140.87	0	-0.10
40					94.23	94.23	0	+0.11				
41					106.79	106.76	-0.03	+0.14				

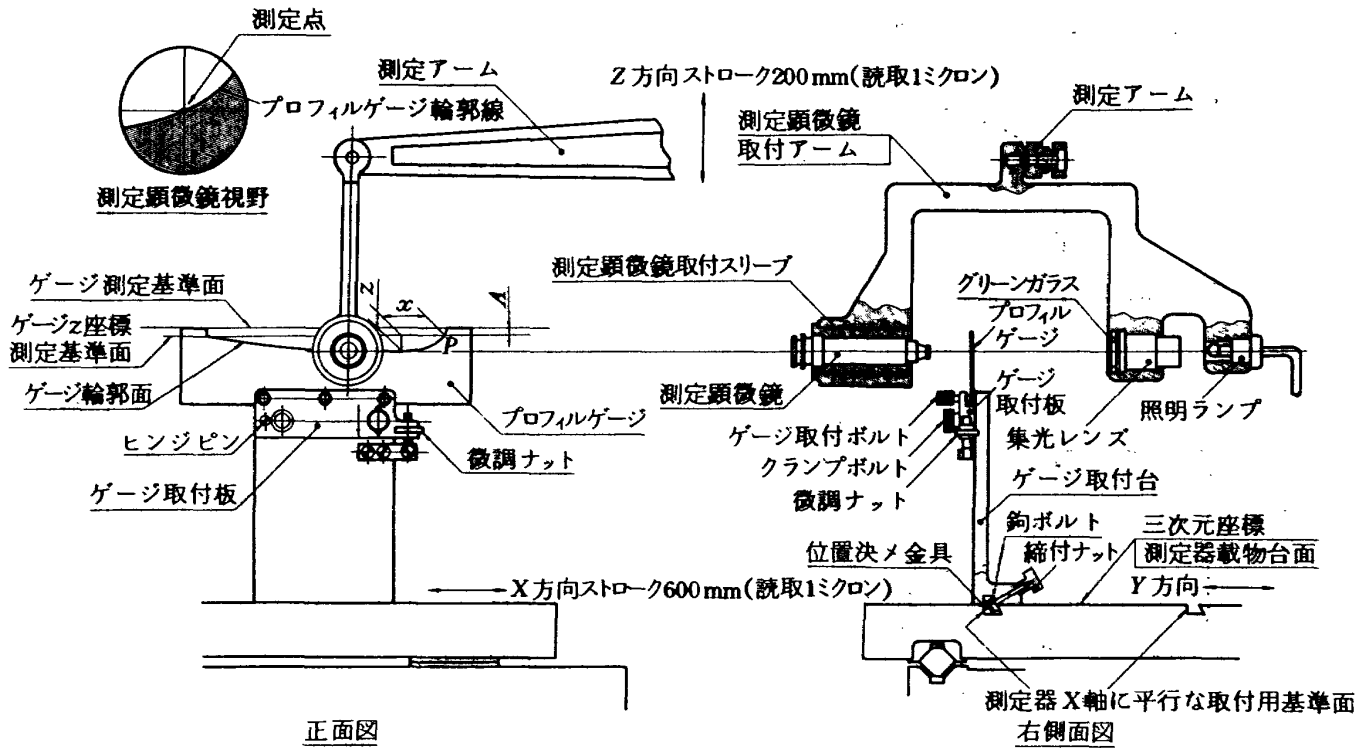


図 21 立型座標測定器

である測定器 X 軸に平行な取付用溝の基準面 (図 21 参照) を利用してプロフィールゲージ取付台を鉤ボルトで取付け、ゲージ取付板上にプロフィールゲージをセットすればゲージ面は測定器 XZ 平面に正確に平行にセットされる。次に門型をした測定顕微鏡取付アームを三次元座標測定器本体の測定アーム先端に取付固定する。

測定顕微鏡は測定顕微鏡取付スリーブを交換することにより、倍率 20 倍と 60 倍の 2 種類を取付けることができるようになっている。倍率 60 倍の測定顕微鏡を用いれば、極めて高精度に、プロフィールゲージの輪郭座標を測定することができる。

ゲージの z 座標測定基準面 (図 21 参照) を測定器 X 軸に平行にセットするためには微調ナットを用いる。微調ナットは、これを操作することにより、ゲージ取付板が、左のヒンジピンを中心として $\pm 5^\circ$ 上下に微動するようになっている。

実際の測定に際しては、先づ測定基準面を明確にする。ケガキ線等は不鮮明なので、プロフィールゲージ測定のような精密測定においては決して測定基準にしてはならない。

一般には、図 21 に示すように、ゲージの両端面で決する平面を測定基準面として、そこから A (A は

一般に 2, 5 または 10 mm にとられる) だけ離れた平面を z 座標測定基準面と決定し、この平面と、ゲージ輪郭線 (ここにゲージ輪郭線とは、ゲージ輪郭面と測定顕微鏡の方を向いているゲージ平面との交線である。) との交点 P を x 座標測定基準点とする方法がとられる。

時には、図 7 に示したような翼断面の模型が製作されるが、このような場合のゲージは図 22 に示すように作られる。すなわち、その上面ゲージにおいては、z 座標測定基準面とゲージ輪郭線との交点から右へ a だけ離れた点が前述の点 P に相当し、この点を x 座標測定基準点とする。

実際の測定点においては先づ、ゲージ両端面で決まる平面と測定顕微鏡の方を向いているゲージ平面との交線を測定器 X 軸に平行にセットする。この操作はゲージ両端で上記交線が同一 z 座標になるように微調ナット (図 21 参照) を操作するという方法で行われる。

次にこの位置から測定アームを A だけ Z 方向に送り、この位置で z 座標表示カウンタの読みを零にセットしてから測定載物台を X 方向に送り、測定顕微鏡のレティキュール交点とゲージ輪郭線とが合致した点 (図 21 の点 P) において、x 座標表示カウンタ

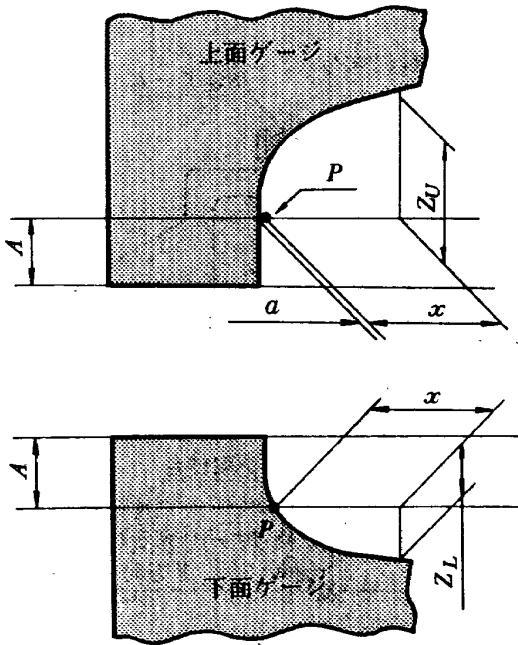


図 22 x 座標測定基準点詳細図

の読みを零にセットしてから測定を開始する。すなわち指定された x 座標の位置において、測定顕微鏡のレティキュール交点とゲージ輪郭線とが合致した時の z 座標表示カウンタの読みを、その x 座標におけるゲージ z 座標の測定値とする。

表 11 にこのようにして行ったプロフィールゲージの実測データの 1 例を示す。

なお、この三次元座標測定器付属の立型座標測定器による測定精度は、倍率 60 倍の測定顕微鏡を使用した場合、表 3 に示した本体の触針式測定検出器の測定精度と同程度である。

4.4 特殊な二次元座標測定実例

こゝでは、図 15 に示した三次元座標測定器付属の二次元座標測定装置に、回転マグネスケール式円テーブルを組合せて行った、翼列実験用タービン模型翼の二次元座標測定について述べる。こゝでこの円テーブルについて説明する。こゝでこの円テーブルについて説明する。

従来の円テーブルの一般的な機構は回転軸を丸穴にはめこみ、丸穴の円筒面を基準にして回転させるものである。この場合には、回転中の軸心の振れを少なくするためには、軸および穴の直径の同じ呼称寸法に対してそれぞれの公差を小さくし、両者をはめ合わせたときのすきまをできるだけ小さくするとともに両者の真円度も厳しく抑えることが大切である。

従ってこの機構では寸法精度と形状精度とを軸と穴の両方について厳密に守らなければならない。これに対して軸と穴とのはめ合いではなく、どちらか 1 つの形状精度を規定するだけで回転装置を構成することができれば、その製作は容易になり回転精度も出し易くなる。

本円テーブルは、このような考えから図 23 に示すように 2 つのローラの軸を台に固定し、他の 1 つのローラは円テーブルを常に 2 つのローラに接触させる役目を持たせれば、円テーブルの外周面が回転運動の基準となるから、この外周面をできるだけ真円に仕上げるとともに回転精度のよいローラ(玉軸受)を使用すれば、高精度が得られると言う想定のもとに設計、製作した。

図 24 にその構造図を示す。図において円テーブル①の外周面⑥は 2 つの固定ローラ③と 1 コの補助ローラ④で支えられている。ローラは 3 コ共超精密級玉軸受を使用している。円テーブル①の軸方向荷重は 8 コのストロークベアリング⑦によって固定台⑧に支えられている。

さらに、円テーブルに取付けられた軸②にはスラストベアリング⑤が取付けられ、この軸受はスラスト荷重を軽く受ける程度に固定台側に載せられた状

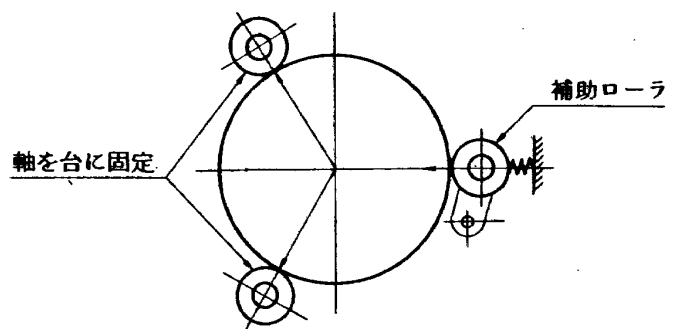


図 23 ころがり接触による円テーブルの回転機構

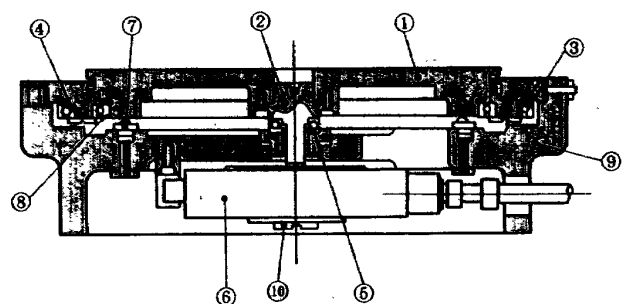
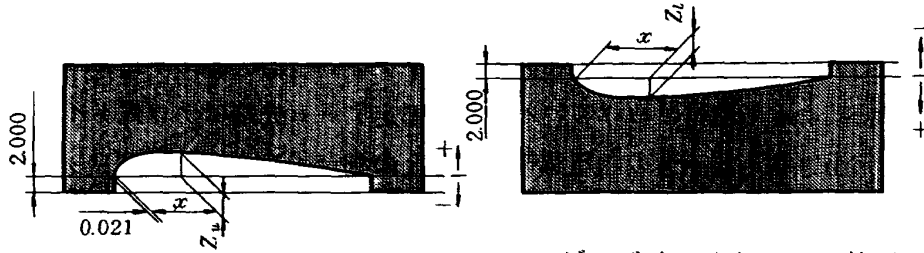


図 24 回転マグネスケール式円テーブル

表 11 プロフィールゲージ輪郭座標測定結果

単位：mm



ゲージはワイヤカット放電加工機で加工

x	Z _U	Z _u	Z _u -Z _U	Z _L	Z _l	Z _l -Z _L
	設計値	実測値	誤差(μ)	設計値	実測値	誤差(μ)
-0.021	0.224	0.191	- 33	-0.224	-0.190	- 34
-0.004	0.463	0.439	- 24	-0.019	-0.006	+ 13
0.014	0.559	0.550	- 9	0.063	0.058	- 5
0.032	0.633	0.624	- 9	0.125	0.104	- 21
0.049	0.694	0.675	- 19	0.176	0.150	- 26
0.067	0.748	0.724	- 24	0.221	0.198	- 23
0.084	0.796	0.786	- 10	0.261	0.234	- 27
0.102	0.840	0.830	- 10	0.297	0.278	- 19
0.119	0.881	0.874	- 7	0.331	0.312	- 19
0.137	0.919	0.915	- 4	0.362	0.345	- 17
0.154	0.956	0.951	- 5	0.391	0.372	- 19
0.172	0.990	0.987	- 3	0.419	0.405	- 14
0.189	1.022	1.019	- 3	0.445	0.430	- 15
0.207	1.054	1.049	- 5	0.470	0.449	- 21
0.224	1.084	1.078	- 6	0.494	0.471	- 23
0.242	1.112	1.110	- 2	0.517	0.499	- 18
0.277	1.167	1.167	0	0.560	0.545	- 15
0.312	1.219	1.222	+ 3	0.600	0.589	- 11
0.364	1.291	1.294	+ 3	0.656	0.639	- 17
0.417	1.358	1.362	+ 4	0.708	0.689	- 19
0.469	1.422	1.426	+ 4	0.755	0.740	- 15
0.522	1.481	1.486	+ 5	0.800	0.787	- 13
0.609	1.575	1.581	+ 6	0.868	0.859	- 9
0.714	1.679	1.684	+ 5	0.943	0.933	- 10
1.012	1.940	1.944	+ 4	1.121	1.116	- 5
2.499	2.925	2.927	+ 2	1.689	1.690	+ 1
5.229	4.199	4.180	- 19	2.269	2.271	+ 2
10.479	5.980	5.973	- 7	2.917	2.923	+ 6
20.979	8.500	8.493	- 7	3.666	3.669	+ 3
31.479	10.289	10.284	- 5	4.100	4.101	+ 1
40.229	11.402	11.398	- 4	4.314	4.315	+ 1
50.729	12.372	12.367	- 5	4.434	4.433	- 1
59.479	12.907	12.901	- 6	4.424	4.428	+ 4
69.979	13.217	13.215	- 2	4.268	4.269	+ 1
80.479	13.118	13.118	0	3.892	3.899	+ 7
90.979	12.665	12.665	0	3.348	3.353	+ 5
99.729	12.058	12.055	- 3	2.816	2.823	+ 7
110.229	11.085	11.089	+ 4	2.125	2.132	+ 7
120.729	9.863	9.863	0	1.430	1.439	+ 9
129.479	8.663	8.663	0	0.890	0.901	+ 11
139.979	6.992	6.994	+ 2	0.395	0.408	+ 13
150.479	4.995	5.000	+ 5	0.205	0.217	+ 12
160.979	2.893	2.896	+ 3	0.107	0.120	+ 13
169.729	1.109	1.112	+ 3	0.065	0.072	+ 7
173.229	0.397	0.398	+ 1	0.046	0.046	0

態で取付けられている。軸②の先端はテーパになっており、ソニーマグネスケール K.K 製の回転マグネスケール⑥がフローティングの状態でのテーパ軸にはめこまれ、ネジ⑩によって取付けられている。本円テーブルは三次元座標測定器本体の測定載物台上に取付けて使用するようになっており、その X, Y, Z 可動機構、および座標読取機構とを併用して、測定アーム先端に種々の専用アタッチメントを取付けることにより角度測定を含めた広範囲な測定ができる。なお、角度の最小読取単位は 3" であり、回転マグネスケールおよび同カウンタの総合表示精度は ±10" である。

さて、本測定事例は図 25 に示すように模型端面における断面の後縁の点 P を通り、Q において接するような直線 PQ に対し 44.5° をなす直交座標系 xy に関する端面輪郭線の座標を x の 5mm とびに $x=75$ mm まで測定することと、突起中央位置 (図 25 の 1, 2, … 8 で示される) のこの座標系に関する座標の測定である。

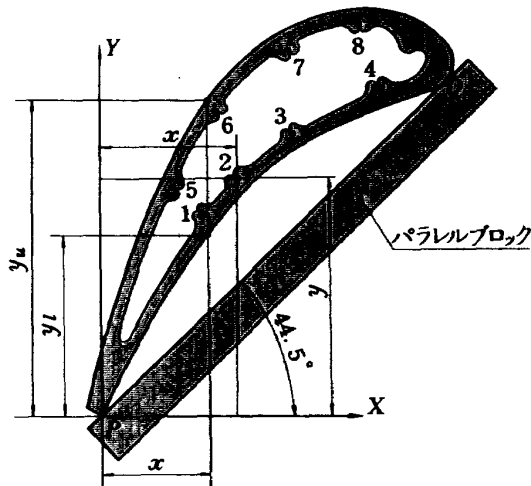


図 25 翼列実験用タービン模型翼端面測定説明図

測定は先づ、三次元座標測定器の測定載物台上に円テーブルを取付け固定し、その上に平行ブロックを測定器 X 軸に平行にセットする。この操作は測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付け、その測定子を平行ブロック端面に当てた状態で測定載物台を X 方向に移動させた場合、ダイヤルゲージの指針が振れなくなるまで、円テーブルを微動回転させることによって行われる。

上記平行セッティング後、これに模型の P, Q 点を密着させて定置する。次に円テーブルを 44.5° 反時計方向に回転させた後、点 P と測定顕微鏡視野のレティキュール交点とを合致させ、この位置で x および y 座標表示カウンタの読みを零にセットしてから測定開始となる。

なお、測定方法は前節の場合と全く同様にして行われるのでこゝでは省略する。

この種の測定を、円テーブルを使用しないで行うには、平行ブロックを正確に 44.5° 傾けるのに $\tan 44.5^\circ$ の値を用いて行わなければならない極めて困難な操作になるが、円テーブルを用いれば手際よく行える。

表 12 にこの場合の実測データを示す。

なお、この種の測定の測定精度は合致操作が 2 回の単純測定なので回転角に誤差がないとした場合、4.1 節の方法による測定精度と同程度である。

5. 風洞実験用三次元模型の形状測定

三次元模型の翼断面は、そのスパン方向に変化しており、測定断面位置の決定は、測定値に影響を与えるので、慎重に行わなければならない。

一般に、翼断面位置は、機体軸系の XZ 平面上の

表 12 翼列実験用タービン模型翼断面座標測定結果

翼輪郭座標

単位: mm

x	0	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00
y_u	0	31.57	44.74	55.35	64.20	71.36	76.88	81.18	84.36	86.58	88.00	88.64	88.60	87.60	85.52	81.11
y_l	0	10.00	19.12	27.14	34.20	40.45	46.08	50.84	55.09	58.82	61.99	64.67	66.98	68.99	70.75	73.93

突起中央位置座標

N_0	1	2	3	4	5	6	7	8
x	22.15	29.26	41.15	59.26	15.43	24.86	39.41	55.08
y	42.90	50.42	60.72	71.07	49.04	65.36	79.60	84.54

指定されたある基準点から計測される。

また、断面形も胴体中心線に平行な断面において規定されているもの、およびある基準線に直角な断面において規定されているもの等、種々あるが要は、測定に際して、測定基準を明確にすることである。

以下、2実例について述べる。

5.1 全機模型の三次元測定

こゝでも4.2節で引用した、遷音速風洞用標準全機模型に対して行った測定実例について述べる。

図26、図27および図28にそれぞれ主翼、水平尾翼、および垂直尾翼の形状に関する設計図面および翼断面測定位置を示す。こゝでも説明のための座標系は4.2節と同様に測定器のそれと同じ記号を用いることとし、胴体中心線に平行にX軸、これに直角に水平にY軸、鉛直にZ軸をとるものとする。

図26(a)の平面図は、前部胴体結合線の最上点Aとx座標を同じくする胴体中心線上の点からX方向に105.077mm、Zの負の方向に31.05mmにとった点Pを通りY軸に平行な直線のまわりに主翼を、その取付角4°だけ反時計方向に回転して取付角0°の状態となし、さらに点Pを通り胴体中心線に平行な直線のまわりに上反角3°だけ回転させ、上反角0°の状態として主翼基準面を水平にした状態での寸法である。また図26(b)の正面図は取付角だけを0°にした状態を図示してある。

主翼の翼断面測定位置は、図26(a)において胴体中心線を含むXZ平面に平行な平面と主翼前縁の延長線との交点をBとし、この交点Bを含み、37.5% C線と直交する平面を基準平面とし、この基準平面からの距離がそれぞれ184.692、284.692および434.692mmであるような主翼基準面内の直線 $G_2(L)$ 、 $G_2(R)$ 、 G_4 および G_7 で示されている。

水平尾翼においては、図27(a)の平面図に示される寸法は後部胴体結合線の最上点CとX座標を同じくする胴体中心線上の点からX方向に218.284mm、鉛直上方に15.56mmにとった点Eを通り、胴体中心線に平行な直線のまわりに、その上反角3°だけ回転させ、水平尾翼基準面をXY平面と平行にした状態での寸法であり、その翼断面測定位置は、胴体中心線を含みXZ方面に平行な平面と水平尾翼前縁の延長線との交点をDとし、この交点Dを含み、37.5% C

線と直交する平面を基準平面とし、この基準平面からの距離が146.911mmであるような水平尾翼基準面内の直線 $G_3(L)$ および $G_3(R)$ で示されている。

また垂直尾翼においては、その翼断面測定位置は、胴体中心線と垂直尾翼前縁の延長線との交点Fを含み、37.5% C線と直交する平面を基準平面とし、この基準平面からの距離が230.169mmであるような垂直尾翼基準面内の直線 G_5 で示されている。

ところで、これら点B、DおよびF等は測定基準点ではあるが、胴体内部に存在し、測定の対象にはならない。よって、こゝでは翼平面図形の測定値を基に比例計算によってこれら各点の位置を推定するという方法がとられた。

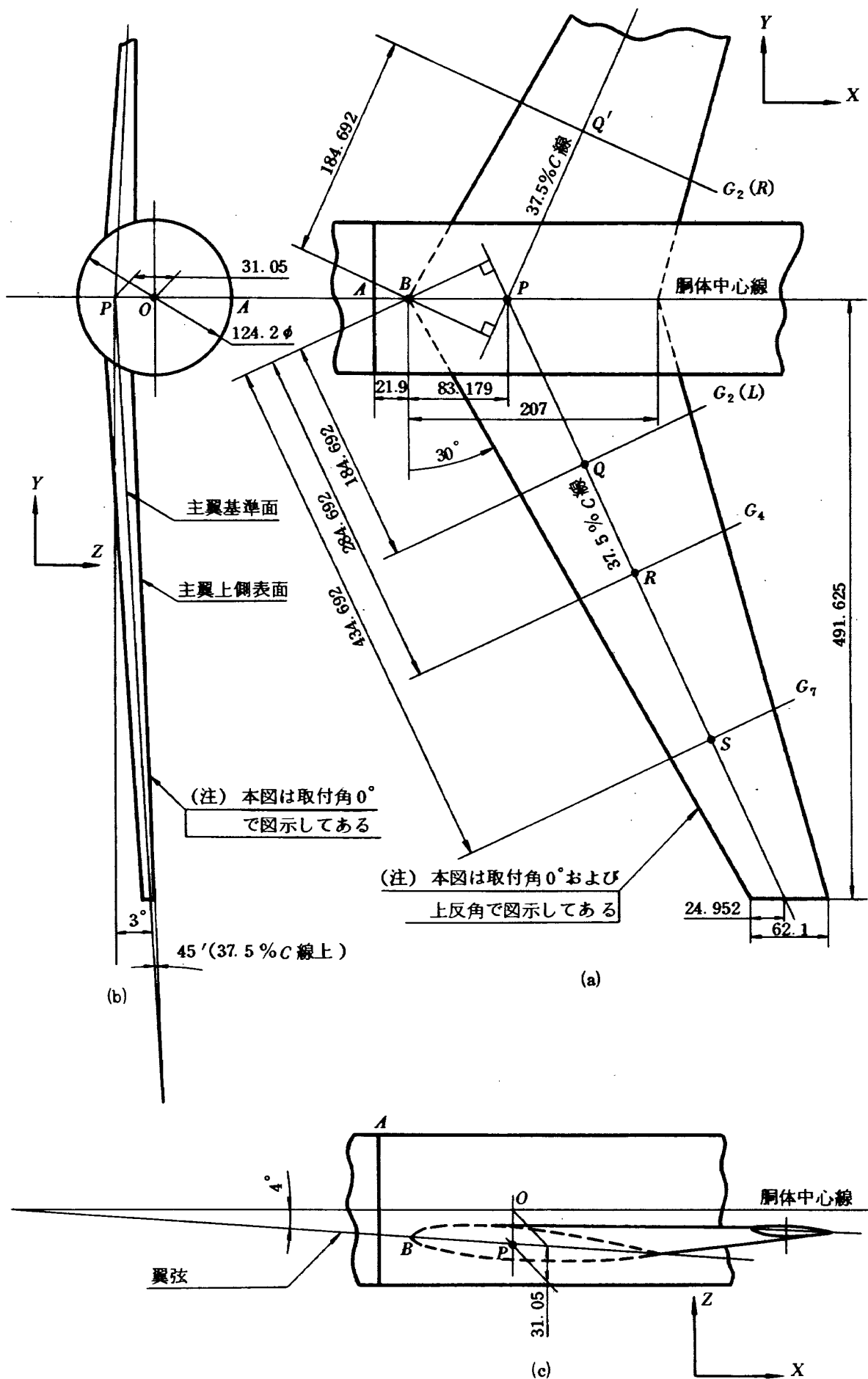
また、翼断面測定位置の決定には次に述べるような方法がとられた。すなわち、測定断面と37.5% C線との交点Q、Q'、R、S、TおよびUの（それぞれ点A、CおよびC'を原点とし、2軸の方向がそれぞれXおよびY軸方向に一致するような直交座標系に関する）座標値を与えられた図面寸法と上記点B、DおよびFの実測値から算出し、この点を予め翼面上に精密ポンチングする（精密ポンチングに関しては5.1.1節で詳述する）。そして実際の断面測定に際しては、先づ37.5% C線を測定器Y軸に平行にセットし、しかる後測定触針先端を正確に各ポンチング点に合致させて測定断面を決定してから測定開始する。

こゝで測定断面の決定に必要な精密ポンチングを行うための、三次元座標測定器付属のポンチング機構について先づ説明する。

5.1.1 精密ポンチング機構

図29にポンチング機構の構造図を示す。本機構は三次元座標測定器本体の測定アーム先端に取付けて用いられるもので、そのX、YおよびZ可動機構、座標読取装置を用いてX方向600mm、Y方向500mm、Z方向200mmにわたってのポンチング作業を迅速かつ高精度に行うことができる。

使用に際しては先づ指定された座標点において、ポンチ先端をポンチングしようとする面に圧差させる。この圧着力はポンチ圧着バネ（図29参照）によって生ずる。次にストッパーピンによってハンマーをハンマ受上面まで持上げて保持し、ポンチングはこのストッパーピンをハンマ受の溝部から脱落させる



・図 26 主翼寸法図面

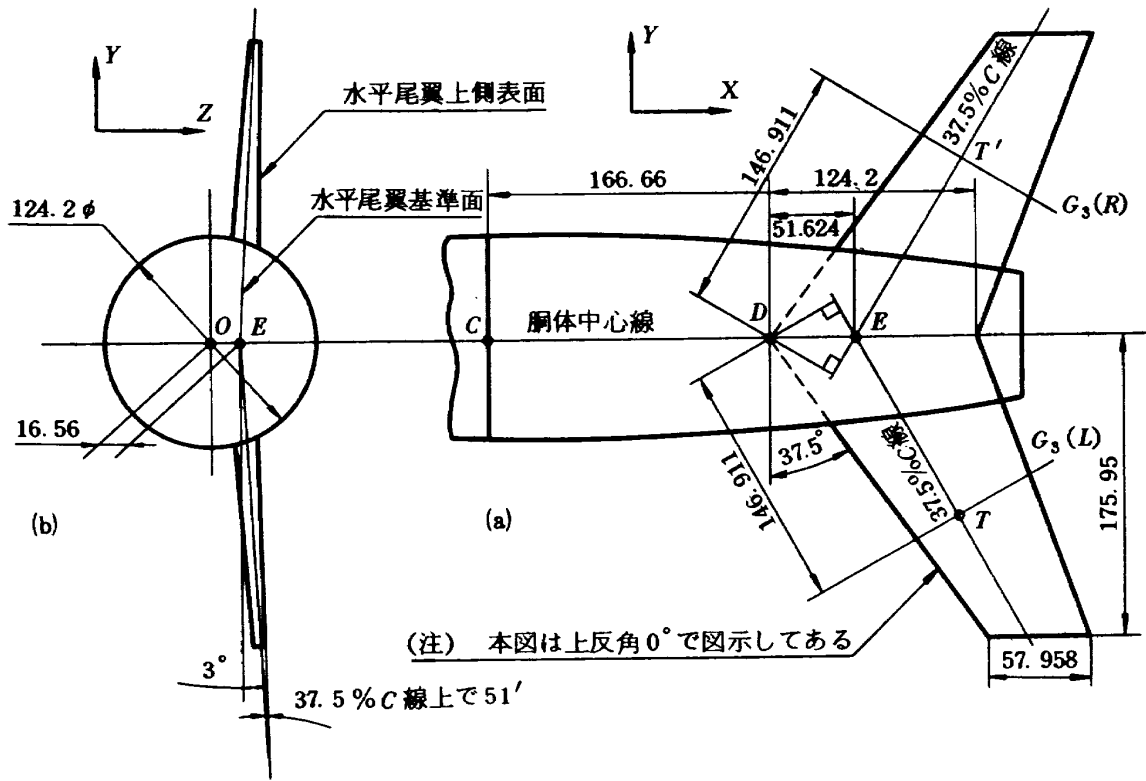


図 27 水平尾翼寸法図面

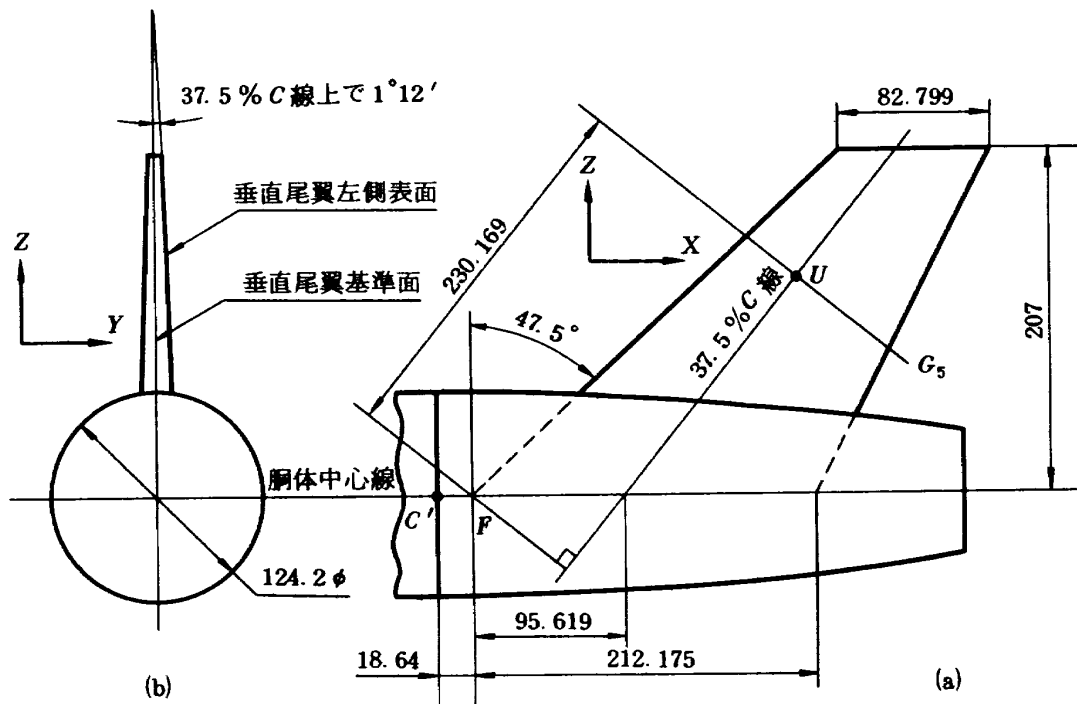


図 28 垂直尾翼寸法図面

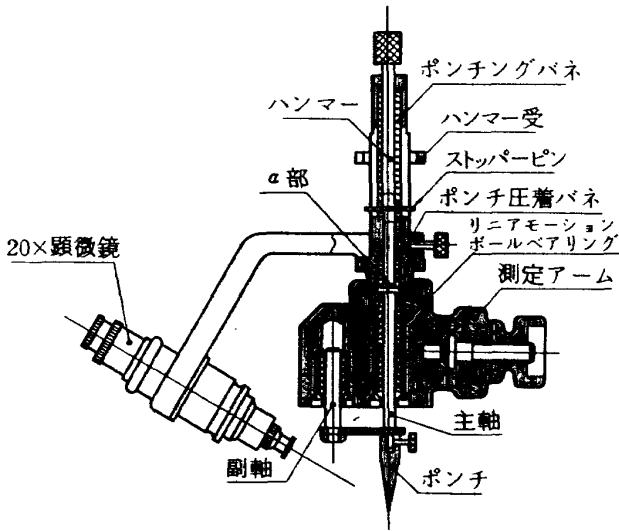


図 29 ポンチング機構

ことよって行う。このときハンマーはポンチングバネの作用によって主軸頭(図29のa部)を強く打ってポンチングしようとする面に鮮明にポンチングされる。ポンチング力はハンマー受の高さを変えるこ

とよって自由に調節することができる。以上のようにポンチングは2段階で行われ、最初、ポンチを圧着バネによってポンチングしようとする面に圧着させる操作はポンチングを安定にし、且つ高精度をもたらしている。

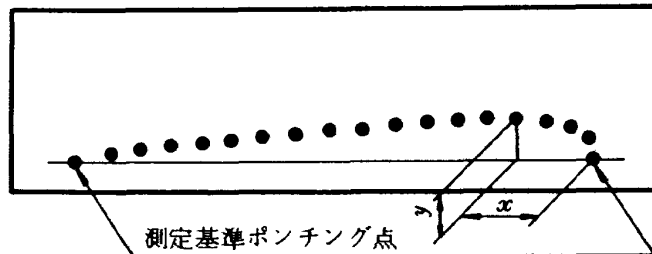
ポンチング精度については実際に座標値を与えてポンチングさせ、その設定値と実測値との差を示した表13から高々±0.01 mm程度である。

なお、ポンチの代わりにケガキ針を取付け、ケガキ作業もできるようになっている。副軸(図29参照)はそのための回り止めの役をしている。

また図29に示すように精密級リニアモーションボールベアリングを主軸に2コ、副軸に1コ用いており、そのラジアルすきまはマイナスすきまに調整してあるので軸のガタは全くない。

さて本論に戻って、主翼の翼断面形状測定について、その個々の場合の詳細を述べる。

表 13 ポンチング精度測定結果



単位：mm

x			y			x			y		
設定値	実測値	誤差	設定値	実測値	誤差	設定値	実測値	誤差	設定値	実測値	誤差
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	45.00	45.01	+0.01	8.00	8.01	+0.01
0.20	0.18	-0.02	1.12	1.11	-0.01	50.00	50.01	+0.01	7.98	7.98	0
0.50	0.49	-0.01	1.73	1.72	-0.01	55.00	55.01	+0.01	7.90	7.91	+0.01
1.25	1.24	-0.01	2.57	2.56	-0.01	60.00	60.01	+0.01	7.78	7.78	0
2.50	2.49	-0.01	3.42	3.41	-0.01	65.00	65.01	+0.01	7.60	7.61	+0.01
5.00	4.99	-0.01	4.51	4.50	-0.01	70.00	70.01	+0.01	7.35	7.35	0
7.50	7.49	-0.01	5.24	5.24	0	75.00	75.01	+0.01	7.01	7.02	+0.01
10.00	10.00	0	5.80	5.79	-0.01	80.00	80.01	+0.01	6.56	6.57	+0.01
15.00	15.00	0	6.59	6.60	+0.01	85.00	85.00	0	5.93	5.93	0
20.00	20.02	+0.02	7.12	7.12	0	90.00	90.01	+0.01	5.05	5.05	0
25.00	25.00	0	7.49	7.49	0	95.00	95.01	+0.01	3.82	3.83	+0.01
30.00	30.00	0	7.73	7.74	+0.01	97.50	97.51	+0.01	3.04	3.05	+0.01
35.00	35.01	+0.01	7.89	7.90	+0.01	100.00	100.02	+0.02	2.11	2.10	-0.01
40.00	40.01	+0.01	7.97	7.98	+0.01						

5.1.2 主翼の翼断面形状測定

測定を始める前に先づ、図26に与えられた図面寸法データから実際の測定に必要な諸寸法および角度を算出しなければならない。

その詳細な計算結果を図30に示す。こゝに図は上反角0°および取付角0°の状態での寸法を示している。

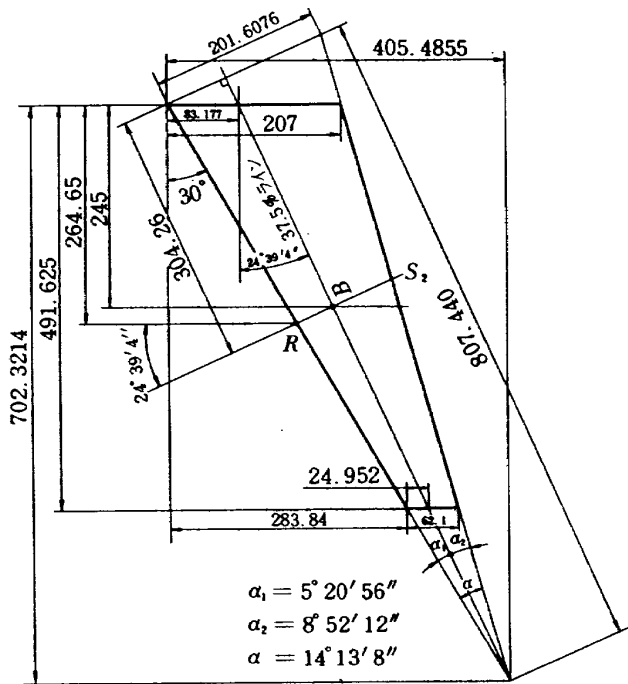


図30 主翼平面図形詳細図

(1) 主翼の平面形寸法測定

主翼平面形寸法の測定は4章で述べた図15に示すような二次元座標測定装置が用いられる。

〔測定手順〕(図19参照)

- (1) 主翼基準面と測定載物台平面との平行セッティング
- (2) 胴体中心線のXZ面に対する平行セッティング
- (3) y座標測定基準面の決定

上記測定手順(1), (2)および(3)はそれぞれ4.2節で述べた測定手順(1), (2)および(3)と全く同様な方法で行われるので、こゝでは省略する。

(4) x座標測定基準面の決定

y座標測定基準面決定後、この位置でY方向の動きをクランプし、次でX方向に測定載物台を送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と前部胴体結合線とが合致した点(図19の点Hに相当)を求め、この

点を含み測定器YZ平面に平行な平面をx座標測定基準面と決定し、この位置でx座標表示カウンタの読みを零にセットする。

(5) 主翼平面形測定

測定手順(3)および(4)で決定した測定座標系に関する各測定点(1), (2) … (6)等(図31参照)のx, y座標を順次測定して行く。すなわち、測定点(1)の場合には先づ測定載物台をY方向に送り、y座標表示カウンタの読みが213.73になる位置でY方向の動きをクランプする。次にX方向に送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と主翼前縁とが合致した点(測定点(1))を求め、この時のx座標表示カウンタの読みを測定点(1)のx座標測定値とする。以下同様にして右主翼も測定される。

なお、この場合の測定精度は、その測定器および測定方法が4.2節で述べた三次元翼模型の圧力孔座標測定の場合と同じであるので測定精度もそれに準ずる。

上記測定手順に従って行った測定結果を図31(a)に示す図中主翼々根部寸法等※印寸法は平面形寸法実測値を基に比例計算によって推定した値である。

また、図31(b)に示したB, P間の距離83.16は翼根翼弦長の推定値206.95から点B, P間の距離の設計値83.177および翼根翼弦長の設計値207.00を用い、比例によって $206.95 \times \frac{83.177}{207} = 83.16$ として求めた。

右翼もまた同様である。なお図31(a)は取付角0°および上反角0°における寸法である。

(2) 主翼取付基準点Pの胴体中心線からの距離(OP)測定

図26に示されるOP(設計値=31.05)の実測値は、測定断面位置を決定するのに必要不可欠なので、先づこの測定から始めなければならない。図32はOP寸法測定方法の説明図である。なお、図32の中で示した37.5%C線と前縁とのなす角 $\phi_M = 5°19'47''$ は、実際に上反角3°および取付角4°をとった時の平面図における値であり図31で示した上反角0°および取付角0°の状態での値5°20'56''とは異なり式(12)より計算される。

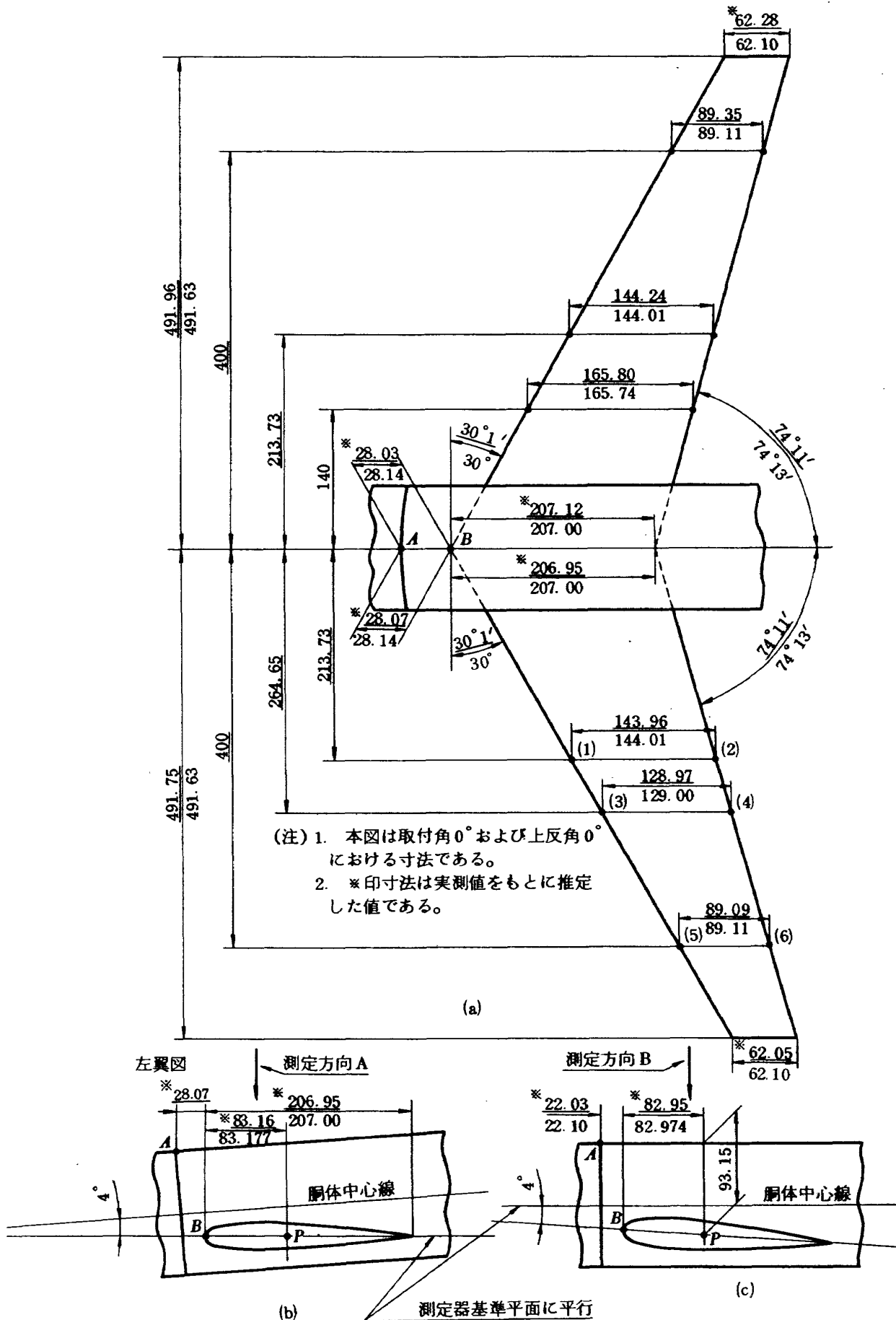


図 31 主翼平面形寸法測定結果

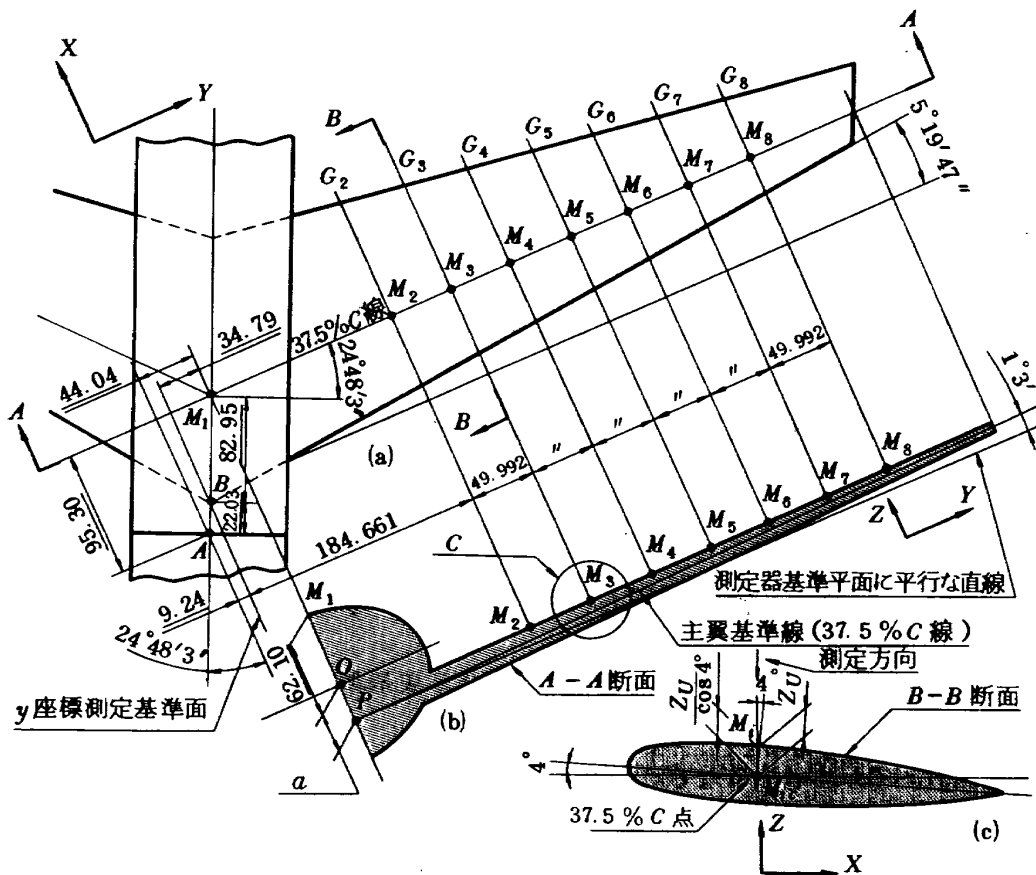


図 32 OP寸法測定方法説明図

$$(\lambda_L)_M = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{1 - \cos^2(\Lambda_L)_M \cos^2 \Gamma}}{\cos \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{\sin \Gamma}{\tan(\Lambda_L)_M} \right) - \alpha \right\}} \right]$$

$$(\lambda_{37.5\%C})_M = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{1 - \cos(\Lambda_{37.5\%C})_M \cos^2 \Gamma}}{\cos \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{\sin \Gamma}{\tan(\Lambda_{37.5\%C})_M} \right) - \alpha \right\}} \right]$$

$$\varphi_M = (\lambda_L)_M - (\lambda_{37.5\%C})_M \quad (12)$$

ただし $(\Lambda_L)_M$: 上反角および取付角 0° の状態での主翼前縁の後退角

$(\lambda_L)_M$: 上反角 Γ および取付角 α の状態での主翼前縁の後退角

$(\Lambda_{37.5\%C})_M$: 上反角および取付角 0° の状態での主翼 37.5% C 線の後退角

$(\lambda_{37.5\%C})_M$: 上反角 Γ および取付角 α の状態

での主翼 37.5% C 線の後退角

また、図 32 の中で示した、37.5% C 線と XY 平面とのなす角 $\theta_M = 1^\circ 3'$ は式 (11) から計算される。

$$\theta_M = \sin^{-1} \left[\sqrt{1 - \cos^2(\Lambda_{37.5\%C})_M \cos^2 \Gamma} \cdot \sin \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{\sin \Gamma}{\tan(\Lambda_{37.5\%C})_M} \right) - \alpha \right\} \right] \quad (13)$$

さらに図 32 の中で示した 37.5% C の後退角 $24^\circ 48' 3''$ も図 30 で示した上反角および取付角が共に 0° の状態での値 $24^\circ 39' 4''$ とは多少異なり、実際に上反角 3° および取付角 4° をとった時の平面図における値であり式 (12) の第 2 式より計算されたものである。

図 33 に式 (12) および (13) を導く際の説明図を示す。

また、図 32 において点 A, B 間および点 B, P 間の水平距離 22.03 および 82.95 は、主翼平面形寸法測定結果図 31 から求めた値である。すなわち図 31 で示された測定値は同図 (b) に示すように、主翼基準面を測定載物台平面に平行にセットした状態で測定した結果であり、これを図 32 で示される測定状態、すなわち胴体中心線が測定載物台平面に平行な状態で

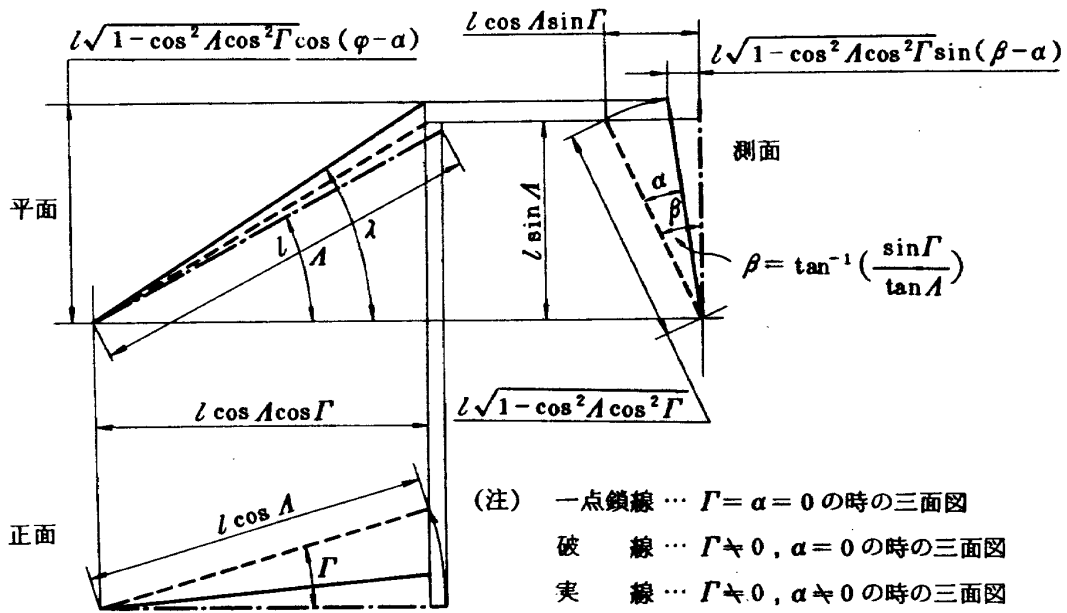


図 33 上反角 Γ および取付角 α をとることによる翼基準面上の線分の角度変化

の寸法に換算すると図31(c)で示す寸法になる。さて次に、OP 寸法の測定手順を以下に述べる。

〔測定手順〕

(1) 胴体中心線の測定載物台平面に対する平行セッティング

先づ、胴体中心線を測定載物台平面に対し平行に置く。この操作は、二つの同サイズの精密Vブロックで模型中部胴体円筒部を支持して定置することによって自動的に容易に行われる。この平行セッティングのチェックはクリノメータを中部胴体円筒最上部稜線に沿って乗せることによって行われる。

(2) 主翼の左右対称セッティング

主翼上側面上の37.5% C線を測定載物台平面に対しは $\simeq 18'$ の傾斜角になるようにセットする。こゝに $18'$ は式(13)から計算した主翼基準面内37.5% C線とXY平面とのなす角 $\theta_M = 1^\circ 3'$ から、主翼基準面に対する主翼上側表面上の37.5% C線の傾斜角 $45'$ を減じた値である。この操作は4.2節の測定手順(1)と同様に、翼端付近を支持している豆ジャッキの微調操作と37.5% C線に沿って定置したクリノメータの読みを以って行う。次にクリノメータを反対側の主翼上面の同じ位置に定置した場合、読みが同一になるかチェックする。読みが左右で異なる場合は同一になるまで豆ジャッキの微調操作を続ける。

(3) 37.5% C線のY方向セッティング

模型をこの状態にて、水平面内で回転させ、測定器Y軸と主翼前縁とのなす角が図32に示す $5^\circ 19' 47''$ になるようにセットする。この操作は $\tan 5^\circ 19' 47'' = 0.09329$ の値を用い、テコ式ダイヤルゲージを測定アーム先端に取付けて行う。すなわち、テコ式ダイヤルゲージの測定子を翼根付近の前縁に当て(前縁の決定方法は、3.1節の測定手順(2)で述べた方法に準ずる)、その時のテコ式ダイヤルゲージおよびx座標表示カウンタの読みを零にセットする。次に、この点より、測定載物台をY方向に100mm送り、その位置で再びテコ式ダイヤルゲージの測定子を前縁に当て、その時の読みが零になるようにX方向微動送りをしたときのx座標表示カウンタの読みが9.329mmになるように支持Vブロックの微動操作を行う。この操作によって、測定器Y軸と37.5% C線とは平行にセットされる。

なお、この操作は1回でセットするのは困難であり、通常は数回、繰返し行わなければならない。

(4) 37.5% C線およびy座標測定基準面の決定

測定アーム先端に測定検出器を、その測定触針が鉛直下向きになるように取付け、触針先端を点A(図32参照)に合致させる。点Aは胴体結合線とケガキ線の交点として示されており、合致操作には測定アーム先端に検出器と共に取付けられた20倍測定顕微鏡が用いられる。

次に点AからX方向へ測定載物台を95.30 (=104.98 cos 24°48'3")だけ送り、この位置において、測定器YZ平面に平行な平面を37.5%C線を含む平面として決定し、この位置でX方向の動きをクランプする。続いてY方向に9.24 (=22.03 sin 24°48'3")だけ送り、この位置において測定器XZ平面に平行な平面をy座標測定基準面と決定し、この時のy座標表示カウンタの読みを零にセットする。なお、こゝに用いた数値104.98および22.03はそれぞれ点A, P間および点A, B間の水平距離の実測値である。(図31(c)参照)

(5) 点M₁, M₂, …M₈のz座標測定

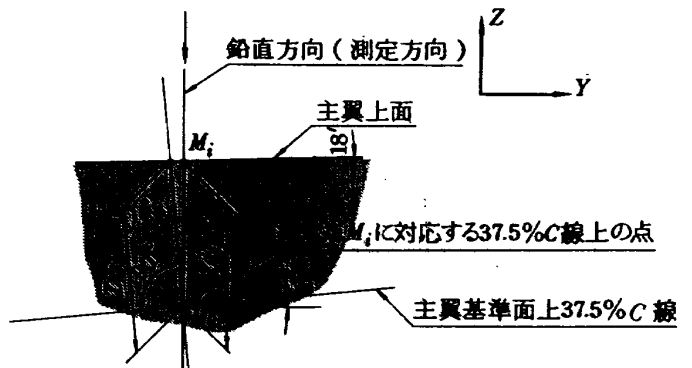
測定載物台をY方向へ34.79 (=82.95 sin 24°48'3")だけ送り、この位置での胴体上面の点(図32の点M₁)のz座標を測定し、その時のz座標表示カウンタの読みを零にセットする。こゝに数値82.95は点B, P間の水平距離の実測値である。(図31(c)参照)

次に図32に示す各測定点M_i(i=2, 3, …8)の測定基点Mに対するz座標を測定する。

(6) 主翼取付基準点Pの胴体中心線からの距離の算出

上記各測定点M_i(i=2, 3, …8)の測定基点M₁に対するz座標の測定値に、点M_i, M_{1c}間の鉛直距離(図32(c)参照)を加え、各測定点M_iとx, y座標を同じくする主翼基準面内37.5%C線上の点M_{1c}の測定基点M₁に対するz座標を算出し、これらの値から外挿によって主翼取付基準点Pの胴体中心線からの距離(a)(図32(b)参照)を求める。

こゝで、37.5%C点はZ_Uの値の最大点であり(表9参照)、この近傍の断面輪郭線は翼弦にはほぼ平行と見なして差支えないので、点M_i, M_{1c}間の鉛直距離としてZ_U/cos 4°の値を用いた。表9の値から推定して測定点M_i近傍の断面輪郭線は翼弦に対して傾斜角1'以内であり、例えば1'としてもそのための誤差は2×10⁻⁵Z_U程度である。また厳密には、主翼基準面上37.5%C線が測定器XY平面に対し1°3'の傾斜角を持つことから、点M_i, M_{1c}間の鉛直距離の算出には、Z_Uではなく図34に示すようにZ_U'の値を用いるべきであるが、両者の差は図34から7×10⁻⁵Z_U程度なので、この補正は行わなかった。



(注) 上図は37.5%C線を含み主翼基準面に直角な平面で切った断面である。

図34 図32のC部詳細

なお、図32(a)に示した184.661, 49.992等は設計図面で与えられているG₂, G₃, …G₈の座標にcos(1°3')を乗じてθ_M=1°3'のための補正を行った値である。

以上述べた手順に従って実測した結果の詳細を図35に示す。また、この手順に従って実際に測定している写真を図36に示す。

(3) 測定断面位置Q, R, S, Q'の精密ポンチング

図30に示した、設計図面寸法解析結果から点H(図37参照)を原点とし、2軸の方向がそれぞれ測定器XおよびY軸方向に一致するような直交座標系に関する点Q, RおよびSの座標値を算出する。その結果を図37に示す。

以下ポンチング手順の詳細を示す。

[ポンチング手順]

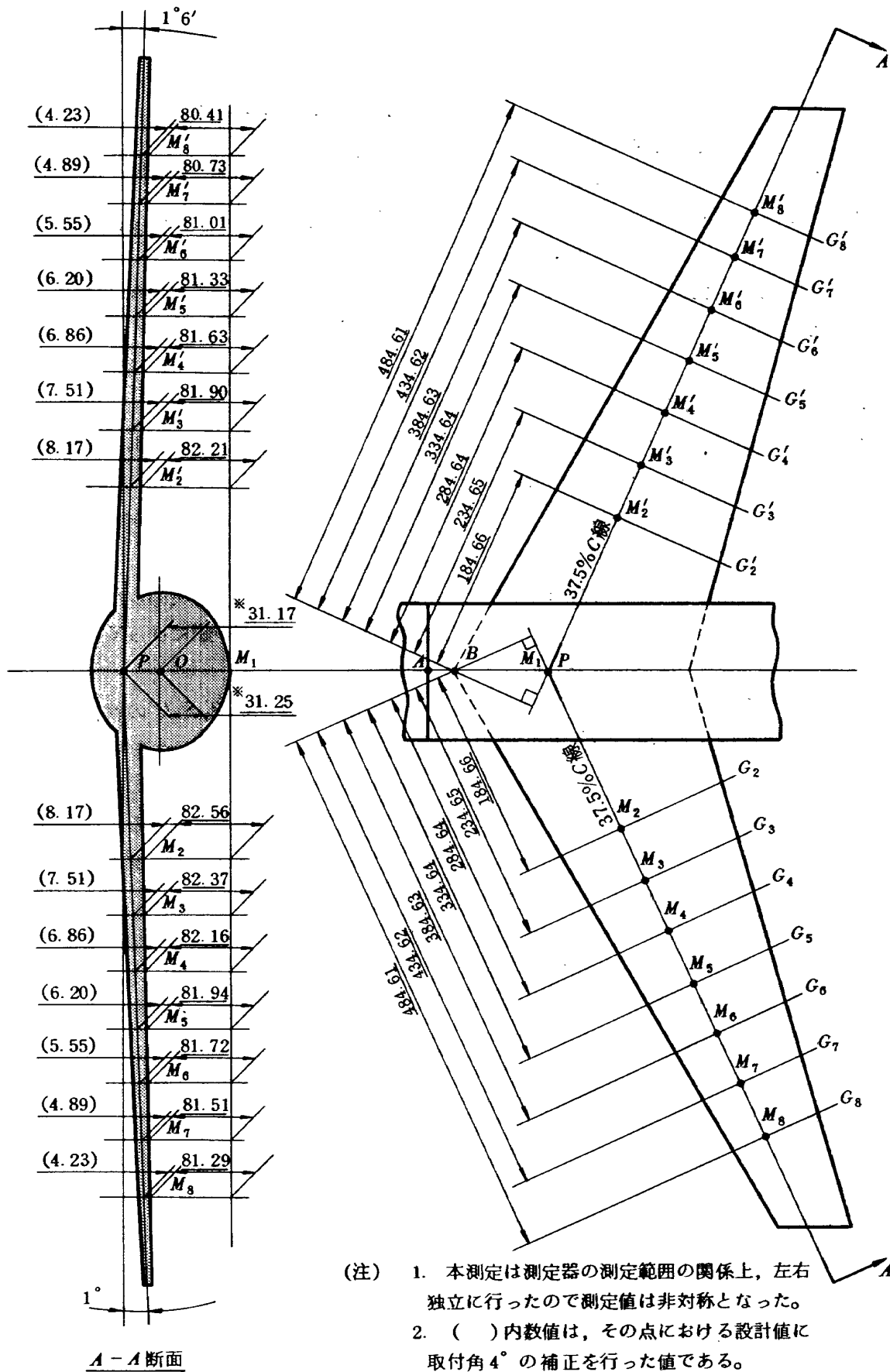
(1) 主翼基準面と測定載物台平面との平行セッティング。

(2) 胴体中心線のXZ面に対する平行セッティング。

以上、手順(1)および(2)は、前述の4.2節測定手順(1)および(2)と全く同様に行われるのでこゝでは省略する。

(3) 座標原点Hの決定

測定アーム先端にポンチング機構(図29参照)を取付け、直角定規エッジK(図37(b)参照)の任意の一点にポンチ先端を正確に合致(20倍測定顕微鏡使用)させ、この位置からY方向に62.10 (=胴体半径)+1.64 (=31.25 sin 3°)=63.74mmだけ送り、この位置でY方向の動きをクランプし、次にX方向



- (注) 1. 本測定は測定器の測定範囲の関係上、左右独立に行ったので測定値は非対称となった。
 2. ()内数値は、その点における設計値に取付角4°の補正を行った値である。
 3. *印寸法は実測値をもとに推定した値である。

図 35 OP寸法測定結果

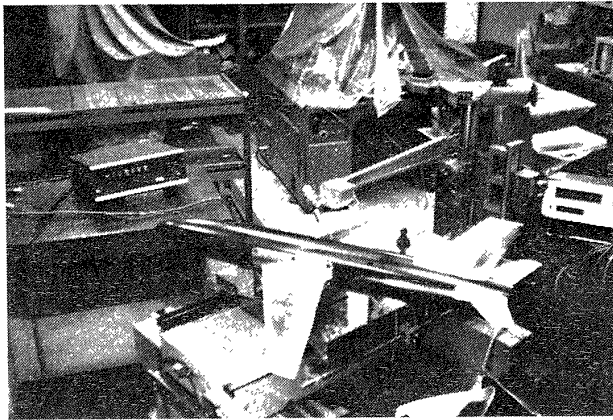


図 36 主翼取付位置測定

に送り、前部胴体結合線とポンチ先端とが合致した点を座標原点 H と決定し、この位置で x および y 座標表示カウンタを零にセットする。

(4) ポンチング

図 37 に示された座標に従って逐次点 Q , R および S をポンチングする。同様な方法で右翼の点 Q' のポンチングを行う。

(4) 主翼断面形状の測定

本模型は大型であり、4.2 節で述べた圧力孔位置測定のような二次元座標の測定の場合には測定載物台上で測定可能であるが、断面形状測定のような三

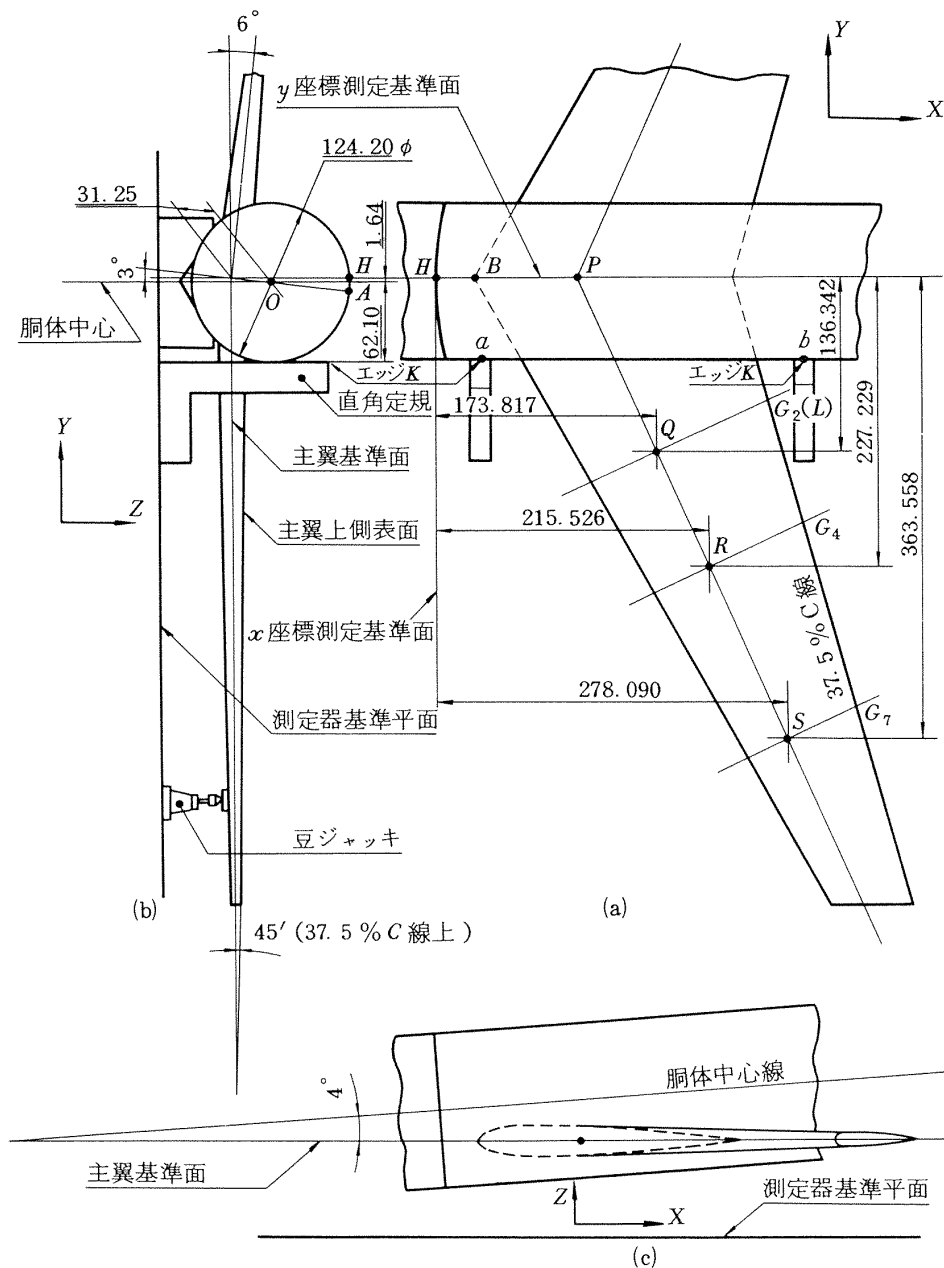


図 37 主翼ポンチング方法説明図

次元的測定では 3.1 節の測定手順(7)で述べた測定触針の姿勢変更操作のための測定スペースを必要とするため載物台面積が小さい。よって本実例では図 2 に示した副測定載物台および Z' 系が用いられた。

以下、その測定手順を示す。図 38 はその説明図である。

〔測定手順〕

(1) 主翼基準面と測定器 XY 平面との平行セッティング

先づ、主翼の 37.5% C 線が測定器 Y 軸に、ほぼ平行(目測)になるように V ブロックを用いて副測定載物台上に置く。

次に胴体中心線を水平面である測定器 XY 平面に対して 4° 傾ける。この操作は、副測定載物台の鉛直面内 ±6° 微調回転機構によって容易に行うことができる。傾斜角は中部胴体上部稜線に沿ってクリノメータを置くことによって測定される。

次に、主翼上面の 37.5% C 線と測定器 XY 平面とのなす角が 45' になるようにセットする。この操作は三点支持架台上で主翼先端を支持している豆ジャッキの微調操作と 37.5% C 線に沿って乗せたクリノメータの読みを以って行う。以上の操作で主翼基準面は測定器 XY 平面に対して平行にセットされる。

(2) 37.5% C 線の Y 方向セッティング

模型をこの状態にて、副測定載物台の水平面内微調回転機構を用いて回転させ、測定器 Y 軸と主翼前縁とのなす角が 5°20'56" になるようにセットする。

この操作は $\tan 5^{\circ}20'56'' = 0.09363$ の値を用い 5.1.2 節(2)の測定手順(2)と同様な方法で行われる。この操作で測定器 Y 軸と 37.5% C 線とは平行にセットされる。すなわち各測定断面は測定器 XZ 平面に平行にセットされる。なおこの操作で主翼先端を支持している豆ジャッキの支点が僅かずれて、測定手順(1)で行った平行セッティングが僅かくづれるので再度チェックする。

(3) 測定断面位置の決定

測定手順(2)で用いたテコ式ダイヤルゲージの代わりに測定検出器を、その測定触針が下向き 45° になるように測定アーム先端に取付け、測定触針先端を G_2 (L) 測定断面上のポジティング点 Q に合致させ(20 倍顕微鏡使用)ることによって測定断面位置を決定す

る。

(4) x 座標の決定

測定しようとする断面の前縁先端の x 座標を決定するには、図 38 に示すようにブロックゲージの鉛直な面を模型前縁に当て、その対面の x 座標を測定し、この位置での x 座標表示カウンタの読みを零にセットする。次にブロックゲージを取り除き、この位置から測定触針を $B (= A \sec(\alpha_1))$ だけ X 方向に送って、この位置での x 座標表示カウンタの読みを再度零にセットする。この操作によって前縁の x 座標は正確に零にセットされる。ここに A は使用したブロックゲージの呼称寸法、および $\alpha_1 = 5^{\circ}20'56''$ である。

なお、ブロックゲージを置く台の面は正確に測定器基準平面に対し平行に調整されていなければならない。そのために、この台も 3 点支持の微調機構を持っているものが用いられる。

(5) z 座標の決定

(6) 主翼上面測定

測定手順(5)および(6)は 3.1 節で述べた測定手順(5)および(6)と同じ要領で行われる。翼上面測定終了後図 38(a)に示すように、針をほぼ測定断面に平行にビニールテープ等で翼上面に固定し、この針の先端と測定断面との水平距離 α_1 を測定する。これは検出器を反転して翼下面測定状態にセットした場合、測定触針先端の位置を正確に測定断面に合致させるために行う。

(7) 測定触針の姿勢変更

この操作は 3.1 節の測定手順(7)で詳述したので省略する。

(8) 測定断面および x 座標の再度決定

測定触針の姿勢変更後、触針先端を先にセットした針先端に合致させ、この位置より上記の距離 α_1 だけ Y 方向に測定載物台を送って測定断面位置を再度決定し、前述の測定手順(4)と全く同様にして再度 x 座標を決定する。

(9) 主翼下面測定

この操作は 3.1 節の測定手順(9)と同じ要領で行われる。

以下 G_4 、 G_7 および $G_2(R)$ 断面測定も全く同様な手順に従って行われる。

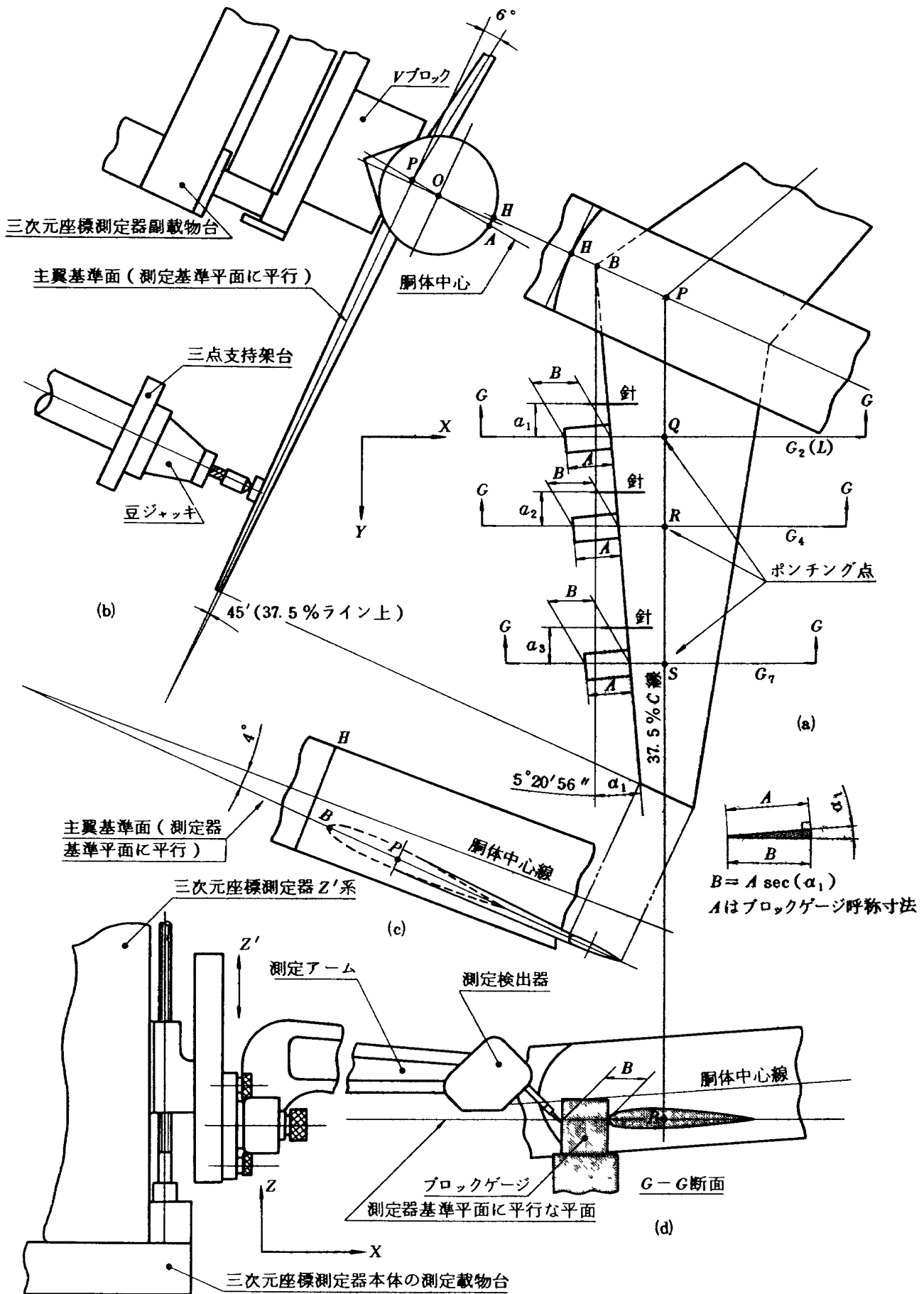


図 38 主翼断面形状測定説明図

以上述べた(1)から(9)までの測定手順に従って実際に行った測定結果を表14～表17に示す。表中で用いた記号は、3.1節のデータ処理(1)および(2)に説明してある。この実例の場合は対称翼断面なので、データ処理(1-2)で説明した計算方法が用いられた。

また表中の測定値(1)と(2)との間で z_u , z_l が数mm異っているが、これは適当な任意点をz座標零にセットしたためであり、このことは Z_u および Z_l の計算値には全く影響を与えない。

測定データの解析結果から胴体中心線に対する各測定断面の翼弦の傾き角(これは取付角で設計値は 4° である)は $G_2(L)$ 断面で $4^\circ-47''$, G_4 断面で $4^\circ-1'11''$, G_7 断面で $4^\circ-1'9''$, および $G_2(R)$ 断面で $4^\circ-3''$ であり設計値 4° との差は極めて小さく高精度である。また、翼断面輪郭座標精度は左主翼で大体 $\pm 0.02\text{mm}$ と言うところであるが、右主翼 $G_2(R)$ 部では多少悪く $\pm 0.05\text{mm}$ 程度であると言える。図39は $G_2(R)$ 断面形状上面座標(Z_u)測定中の写真である。

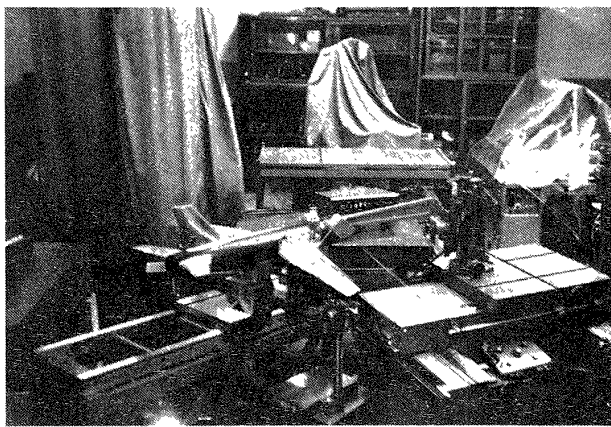


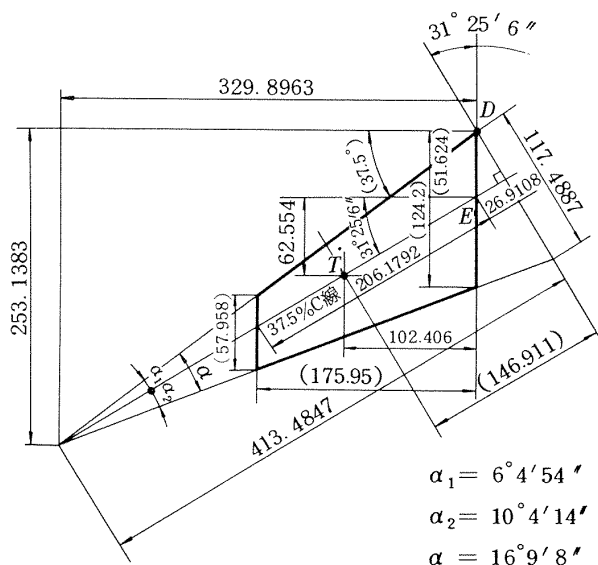
図39 主翼 $G_2(R)$ 断面上面座標(Z_u)測定

5.1.3 水平尾翼の翼断面形状測定

測定の前に先づ、図27に与えられた設計図面寸法データから測定の際に必要な諸寸法および角度を算出しておかなければならない。その結果を図40に示す。こゝに図示の寸法は上反角 0° の状態での寸法を示している。

実際の測定には図40に示す寸法のはかに OE (設計値 $=16.56$)、 CD 間の水平距離(設計値 $=166.66$)および DE 間の水平距離(設計値 $=51.624$)の実測値が必要なので先づこの測定から始める。

(1) 水平尾翼の平面形寸法測定



(注)カッコ内寸度は設計図面内で指示された寸度である。

図40 水平尾翼平面形解析図

水平尾翼の平面形寸法測定も主翼の場合と同様、模型を測定載物台上に定置し、図15に示した二次元座標測定装置で測定される。なお、測定方法説明図は後述の図45・ポンチング手順説明図を兼用する。

(測定手順)

(1) 水平尾翼基準面と測定載物台平面との平行セッティング

先づ、胴体中心線が測定器X軸には \sphericalangle 平行になるように、測定載物台上に置いた2つの同サイズ精密Vブロック上に乗せる。次に水平尾翼上面の37.5% C線と測定載物台平面とのなす角が $51'$ になるようにセッティングする。この操作は主翼の場合と同じ方法、すなわち4.2節の測定手順(1)で述べた方法で行われるのでこゝでは省略する。この操作によって水平尾翼基準面は測定載物台平面に対し平行となる。

なお、こゝで用いた、角 $51'$ は水平尾翼基準面と翼上面の37.5% C線とのなす角であり、37.5% C線上における各断面の Z_U (設計値)の値から求めたものである。

(2) 胴体中心線のXZ面に対する平行セッティング

この操作は4.2節の測定手順(2)で述べたのと全く同じ方法で行われるので、こゝでは省略する。

(3) y座標測定基準面の決定

測定顕微鏡視野のレティキュール交点と直角定規

表 14 主翼々断面輪郭座標実測値解析結果(1)

単位: mm

翼弦長

実測値	設計値	誤差
155.440	155.493	-0.053

$G_2(L)$ 断面

i	x	z_u		z_l		z		Z_u		設計値	$Z_u - Z_U$	Z_l		平均値	$Z_l - Z_L$
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)			誤差(μ)	誤差(μ)		
1	0.233	28.185	27.117	25.952	24.851	27.084	25.992	1.101	1.125	1.113	1.122	1.132	1.141	1.137	+15
2	1.944	30.231	29.144	23.951	22.854	"	"	3.147	3.152	3.150	3.155	3.133	3.138	3.136	-19
3	5.053	31.461	30.370	22.732	21.636	27.085	25.993	4.376	4.377	4.377	4.365	4.353	4.357	4.355	-10
4	8.941	32.215	31.123	21.964	20.879	27.086	25.994	5.129	5.129	5.129	5.114	5.122	4.115	5.119	+5
5	12.828	32.790	31.699	21.406	20.319	27.087	25.995	5.703	5.704	5.704	5.688	5.681	5.676	5.679	-9
6	17.493	33.339	32.244	20.841	19.749	27.088	25.996	6.251	6.248	6.250	6.246	6.247	6.247	6.247	+1
7	24.101	33.960	32.865	20.213	19.120	27.089	25.998	6.871	6.867	6.869	6.871	6.876	6.878	6.877	+6
8	31.876	34.510	33.416	19.662	18.574	27.090	26.000	7.420	7.416	7.418	7.417	7.428	7.426	7.427	+10
9	39.651	34.900	33.808	19.270	18.187	27.092	26.002	7.808	7.806	7.807	7.795	7.822	7.815	7.819	+24
10	47.425	35.149	34.058	19.039	17.948	27.094	26.004	8.055	8.054	8.055	8.034	8.055	8.056	8.056	+22
11	56.755	35.261	34.166	18.936	17.836	27.096	26.006	8.165	8.160	8.163	8.148	8.160	8.170	8.165	+17
12	62.975	35.212	34.124	18.967	17.887	27.097	26.007	8.115	8.117	8.116	8.117	8.130	8.120	8.125	+8
13	70.749	35.030	33.930	19.149	18.062	27.098	26.009	7.932	7.921	7.927	7.941	7.949	7.947	7.948	+7
14	78.524	34.705	33.612	19.477	18.392	27.100	26.011	7.605	7.601	7.603	7.597	7.623	7.619	7.621	+24
15	90.186	33.991	32.898	20.199	19.116	27.102	26.014	6.889	6.884	6.887	6.879	6.903	6.898	6.901	+22
16	101.848	33.097	32.008	21.111	20.028	27.105	26.017	5.992	5.911	5.992	5.979	5.994	5.989	5.992	+13
17	107.290	32.623	31.528	21.577	20.504	27.106	26.018	5.517	5.510	5.514	5.512	5.529	5.514	5.522	+10
18	116.619	31.727	30.632	22.479	21.398	27.108	26.021	4.619	4.611	4.615	4.627	4.629	4.623	4.626	-1
19	124.394	30.903	29.812	23.321	22.224	27.109	26.022	3.794	3.790	3.792	3.810	3.788	3.798	3.793	-17
20	139.943	29.117	28.019	25.126	24.036	27.112	26.026	2.005	1.993	1.999	1.990	1.986	1.990	1.988	-2
21	147.718	28.186	27.096	26.059	25.008	27.114	26.028	1.072	1.068	1.070	1.050	1.055	1.020	1.038	-12

(1)	$\bar{x} = 61.2641, \bar{z} = 27.0960, S_x = 46033.6612$ $S_{xz} = 9.3516, a = 9.3516/46033.6612 = 0.000203$ $b = 27.084$ $z = 0.000203x + 27.084, \delta = 42''$
(2)	$\bar{x} = 61.2641, \bar{z} = 26.0067, S_x = 46033.6612$ $S_{xz} = 11.2731, a = 11.2731/46033.6612 = 0.000245$ $b = 25.992$ $z = 0.000245x + 25.992, \delta = 51''$

表 15 主翼々断面輪郭座標実測値解析結果 (2)

单位: mm

i	x	Z _u		z		Z _l		Z _u -Z _l		Z _l		Z _l -Z _L			
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	平均值	誤差(μ)		
		Z _u		Z _l		Z _u		Z _l		Z _u -Z _l		Z _l		Z _l -Z _L	
1	0.196	26.024	25.805	24.087	23.862	25.075	24.848	0.949	0.957	0.942	0.953	0.988	0.986	0.987	+ 45
2	1.632	27.682	27.461	22.409	22.181	25.076	24.849	2.606	2.612	2.648	2.609	2.667	2.668	2.668	+ 20
3	4.242	28.751	28.518	21.413	21.181	25.077	24.849	3.674	3.669	3.664	3.672	3.664	3.668	3.666	+ 2
4	7.505	29.378	29.163	20.795	20.562	25.078	24.850	4.300	4.313	4.293	4.307	4.283	4.288	4.286	- 7
5	10.768	29.861	29.633	20.318	20.086	25.079	24.852	4.782	4.781	4.775	4.782	4.761	4.766	4.764	- 11
6	14.684	30.318	30.090	19.866	19.632	25.080	24.853	5.238	5.237	5.243	5.238	5.214	5.221	5.218	- 25
7	20.231	30.846	30.617	19.341	19.105	25.082	24.855	5.764	5.762	5.768	5.763	5.741	5.750	5.746	- 22
8	26.757	31.303	31.082	18.882	18.684	25.085	24.857	6.218	6.225	6.226	6.222	6.203	6.173	6.188	- 38
9	33.283	31.633	31.400	18.554	18.317	25.087	24.859	6.546	6.541	6.543	6.544	6.533	6.542	6.538	- 5
10	39.809	31.834	31.606	18.357	18.120	25.089	24.861	6.745	6.745	6.744	6.745	6.732	6.741	6.737	- 7
11	47.641	31.918	31.690	18.263	18.027	25.092	24.864	6.826	6.826	6.839	6.826	6.829	6.837	6.833	- 6
12	52.862	31.887	31.668	18.297	18.062	25.094	24.865	6.793	6.803	6.813	6.798	6.797	6.803	6.800	- 13
13	59.388	31.741	31.507	18.448	18.209	25.097	24.867	6.644	6.640	6.666	6.442	6.649	6.658	6.654	- 12
14	65.914	31.463	31.235	18.720	18.487	25.099	24.869	6.364	6.366	6.377	6.365	6.379	6.382	6.381	+ 4
15	75.703	30.862	30.636	19.323	19.086	25.103	24.873	5.759	5.763	5.774	5.761	5.780	5.787	5.784	+ 10
16	85.492	30.104	29.881	20.086	19.850	25.106	24.876	4.998	5.005	5.019	5.002	5.020	5.026	5.023	+ 4
17	90.061	29.710	29.484	20.484	20.246	25.108	24.877	4.602	4.607	4.627	4.605	4.624	4.631	4.628	+ 1
18	97.892	28.967	28.750	21.272	21.035	25.111	24.880	3.856	3.870	3.884	3.863	3.839	3.845	3.842	- 42
19	104.418	28.273	28.052	21.967	21.727	25.113	24.882	3.160	3.170	3.198	3.165	3.146	3.155	3.151	- 47
20	117.471	26.766	26.538	23.483	23.242	25.118	24.886	1.648	1.652	1.671	1.650	1.635	1.644	1.640	- 31
21	123.997	25.972	25.752	24.260	24.024	25.120	24.888	0.852	0.864	0.881	0.858	0.860	0.864	0.862	- 19

G₄ 断面

翼弦長

実測値	設計値	誤差
130.546	130.523	+0.023

(1)	$\bar{x} = 51.4260$, $\bar{z} = 25.0936$, $S_x = 32436.1430$ $S_{xz} = 11.8121$, $a = 11.8121/32436.143 = 0.000364$ $b = 25.075$ $z = 0.000364x + 25.075$, $\delta = 1'15''$
(2)	$\bar{x} = 51.4260$, $\bar{z} = 24.8643$, $S_x = 32436.143$ $S_{xz} = 10.5657$, $a = 10.5657/32436.143 = 0.000326$ $b = 24.848$ $z = 0.000326x + 24.848$, $\delta = 1'7''$

表 16 主翼々断面輪郭座標実測値解析結果(3)

i	x	Z _u		z		z _l		Z _u		Z _U	Z _u -Z _U	Z _l		Z _l -Z _L		
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	平均値	(1)	(2)	平均値	誤差(μ)	誤差(μ)			
		單位: mm														
		93.130	93.068											+0.062		
1	0.140	18.813	16.194	17.532	15.588	18.219	15.588	0.594	0.606	0.600	0.672	-72	0.687	0.700	0.694	+22
2	1.163	20.118	17.493	16.334	15.588	18.219	15.588	1.899	1.905	1.902	1.888	+14	1.885	1.892	1.889	+1
3	3.025	20.868	18.234	15.605	15.589	18.220	15.589	2.648	2.645	2.647	2.612	+35	2.615	2.618	2.617	+5
4	5.351	21.312	18.688	15.148	15.590	18.221	15.590	3.091	3.098	3.095	3.061	+34	3.073	3.072	3.073	+12
5	7.678	21.655	19.017	14.806	15.591	18.221	15.591	3.434	3.426	3.430	3.404	+26	3.415	3.419	3.417	+13
6	10.470	21.978	19.343	14.466	15.592	18.222	15.592	3.756	3.751	3.754	3.739	+15	3.756	3.747	3.752	+13
7	14.426	22.343	19.706	14.098	15.593	18.224	15.593	4.119	4.113	4.116	4.113	+3	4.126	4.127	4.127	+14
8	19.079	22.670	20.033	13.774	15.595	18.225	15.595	4.445	4.438	4.442	4.439	+3	4.451	4.446	4.449	+10
9	23.732	22.906	20.282	13.555	15.596	18.227	15.596	4.679	4.686	4.683	4.666	+17	4.672	4.668	4.670	+4
10	28.386	23.062	20.424	13.417	15.598	18.228	15.598	4.834	4.826	4.830	4.809	+21	4.811	4.821	4.816	+7
11	33.970	23.117	20.492	13.341	15.600	18.230	15.600	4.887	4.892	4.890	4.877	+13	4.889	4.896	4.893	+16
12	37.693	23.093	20.468	13.358	15.601	18.231	15.601	4.862	4.867	4.865	4.858	+7	4.873	4.870	4.872	+14
13	42.346	22.990	20.366	13.469	15.603	18.233	15.603	4.757	4.763	4.760	4.753	+7	4.764	4.759	4.762	+9
14	46.999	22.800	20.179	13.674	15.604	18.234	15.604	4.566	4.575	4.571	4.547	+24	4.560	4.557	4.559	+12
15	53.980	22.378	19.747	14.097	15.607	18.236	15.607	4.142	4.140	4.141	4.117	+24	4.139	4.146	4.143	+26
16	60.960	21.837	19.211	14.642	15.609	18.239	15.609	3.598	3.602	3.600	3.578	+22	3.597	3.605	3.601	+23
17	64.217	21.556	18.923	14.934	15.610	18.240	15.610	3.316	3.313	3.315	3.299	+16	3.306	3.321	3.314	+15
18	69.801	21.026	18.399	15.470	15.612	18.242	15.612	2.784	2.787	2.786	2.770	+16	2.772	2.770	2.771	+1
19	74.454	20.531	17.907	15.961	15.614	18.243	15.614	2.288	2.293	2.291	2.280	+11	2.282	2.285	2.284	+4
20	83.761	19.450	16.821	17.026	15.617	18.246	15.617	1.204	1.204	1.204	1.191	+13	1.220	1.235	1.228	+37
21	88.415	18.889	16.272	17.589	15.618	18.248	15.618	0.641	0.654	0.648	0.628	+20	0.659	0.661	0.660	+32

G₇ 断面

(1)	$\bar{x} = 36.6689, \bar{z} = 18.2309, S_x = 16491.3732$ $S_{xz} = 5.3284, a = 5.3284/16491.3732 = 0.000323$ $b = 18.219$ $z = 0.000323x + 18.219, \delta = 1' 7''$
(2)	$\bar{x} = 36.6689, \bar{z} = 15.6002, S_x = 16491.3732$ $S_{xz} = 5.6734, a = 5.6734/16491.3732 = 0.000344$ $b = 15.588$ $z = 0.000344x + 15.588, \delta = 1' 11''$

表 17 主翼々断面輪郭座標実測値解析結果(4)

単位: mm

i	x	z _u		z _l		z		z _u		ZU	Z _u -ZU	Z _l		Z _l -Z _l		
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	設計値	誤差(μ)	(1)	(2)	平均値	誤差(μ)	
		平均値	設計値	誤差(μ)	平均値	設計値	誤差(μ)	平均値	設計値	誤差(μ)	平均値	設計値	誤差(μ)	平均値	設計値	誤差(μ)
1	0.233	30.361	21.377	28.063	19.083	29.221	20.225	1.140	1.152	1.146	1.122	+24	1.158	1.142	1.150	+28
2	1.944	32.316	23.316	26.116	17.129	"	"	3.095	3.091	3.093	3.155	-62	3.105	3.096	3.100	-55
3	5.053	33.525	24.529	24.912	15.920	"	"	4.304	4.304	4.304	4.365	-61	4.309	4.305	4.307	-58
4	8.941	34.302	25.300	24.161	15.158	"	"	5.081	5.075	5.078	5.114	-36	5.060	5.067	5.064	-50
5	12.828	34.863	25.867	23.599	14.597	"	"	5.642	5.642	5.642	5.688	-46	5.622	5.628	5.625	-63
6	17.493	35.418	26.418	23.032	14.037	"	"	6.197	6.193	6.195	6.246	-51	6.189	6.188	6.189	-57
7	24.101	36.034	27.040	22.407	13.411	29.222	"	6.812	6.815	6.814	6.871	-57	6.815	6.814	6.815	-56
8	31.876	36.594	27.594	21.870	12.863	"	"	7.372	7.369	7.371	7.417	-46	7.352	7.362	7.357	-60
9	39.651	36.971	27.976	21.475	12.466	"	"	7.749	7.751	7.750	7.795	-45	7.747	7.759	7.753	-42
10	27.425	37.214	28.215	21.221	12.231	"	"	7.992	7.990	7.991	8.034	-43	8.001	7.994	7.998	-36
11	56.755	37.321	28.326	21.118	12.126	"	20.226	8.099	8.100	8.100	8.148	-48	8.104	8.100	8.102	-46
12	62.975	37.288	28.289	21.142	12.146	"	"	8.066	8.063	8.065	8.117	-52	8.080	8.080	8.080	-37
13	70.749	37.110	28.115	21.327	12.333	29.223	"	7.887	7.889	7.888	7.941	-53	7.896	7.893	7.895	-46
14	78.524	36.777	27.783	21.668	12.662	"	"	7.554	7.557	7.556	7.597	-41	7.555	7.564	7.560	-37
15	90.186	36.042	27.050	22.371	13.366	"	"	6.819	6.824	6.822	6.879	-57	6.852	6.860	6.856	-23
16	101.848	35.154	26.168	23.285	14.278	"	"	5.931	5.942	5.937	5.979	-42	5.938	5.948	5.943	-36
17	107.290	34.690	25.688	23.746	14.748	"	"	5.467	5.462	5.465	5.512	-47	5.477	5.478	5.478	-34
18	116.619	33.800	24.809	24.643	15.645	29.224	"	4.576	4.583	4.580	4.627	-47	4.581	4.581	4.581	-46
19	124.394	32.979	23.983	25.476	16.466	"	"	3.755	3.757	3.756	3.810	-54	3.748	3.760	3.754	-56
20	139.943	31.185	22.192	27.279	18.275	"	"	1.961	1.966	1.964	1.990	-26	1.945	1.951	1.948	-42
21	147.718	30.247	21.262	28.214	19.222	"	"	1.023	1.036	1.030	1.050	-20	1.010	1.004	1.007	-43

G₂(R) 断面

翼弦長

実測値	設計値	誤差
155.602	155.493	+0.109

(1)	$\bar{x} = 61.2641, \bar{z} = 29.2221, S_x = 46033.6612$ $S_{xz} = 1.0461, a = 1.0461/46033.6612 = 0.000023$ $b = 29.221$ $z = 0.000023x + 29.221, \delta = 5''$	(2)	$\bar{x} = 61.2641, \bar{z} = 20.2254, S_x = 46033.6612$ $S_{xz} = 0.4665, a = 0.4665/46033.6612 = 0.000010$ $b = 20.2254 - 0.00001 \times 61.2641 = 20.225$ $z = 0.000010x + 20.225, \delta = 0$
-----	---	-----	--

エッジKの任意点とを合致させ、この位置から62.10 (=胴体半径) - 0.87 (=16.56 sin 3°) = 61.23 mmだけ測定載物台をY方向に送り、この位置において測定器XZ平面に平行な平面をy座標測定基準面と決定し、この時のy座標表示カウンタの読みを零にセットする。

こゝに、16.56 mmはOE寸法(図27参照)の設計値である。

(4) x座標測定基準面の決定

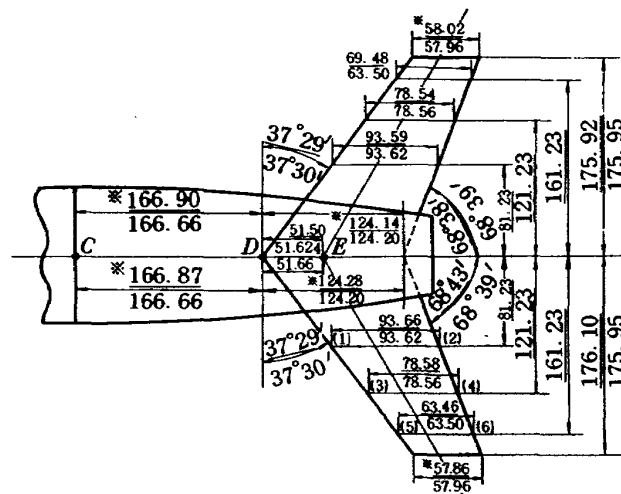
y座標測定基準面の決定後、この位置でY方向の動きをクランプし、次でX方向に測定載物台を送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と後部胴体結合線とが合致した点(図45の点Gに相当)を求め、この点を含み、測定器YZ平面に平行な平面をx座標測定基準面と決定し、この位置でx座標表示カウンタの読みを零にセットする。

(5) 水平尾翼平面形測定

測定手順(3)および(4)で決定した測定座標系に関する各測定点(1),(2)⋯(6)(図41参照)のx, y座標を順次測定して行く。以下は5.1.2節(1)の測定手順(5)と同じ要領となるので省略する。

上記測定手順に従って行った測定結果を図41に示す。図中、*印寸法は平面形寸法実測値から外挿によって求めた値である。

また図41に示したD, E間の距離51.66は左翼の翼根翼弦長の推定値124.28からD, E間の距離の設



(注) 1. 本図は上反角0°における寸法である。
2. *印寸法は実測値をもとに推定した値である。

図41 水平尾翼平面形寸法測定結果

計値51.624および翼根翼弦長の設計値124.20を用い、比例によって $124.28 \times \frac{51.624}{124.2} = 51.66$ として求めた。

右翼についても同様である。

(2) 水平尾翼取付基準点Eの胴体中心線からの距離(OE)測定

図42はOE寸法測定方法を示す説明図である。なお、図42の中で示した37.5% C線と前縁とのなす角、 $\varphi_s = 6^\circ 5' 5''$ は上反角3°をとった時の平面図における値であり、図40に示した上反角0°の状態での値 $6^\circ 4' 54''$ とは異なり、式(12)において $\alpha = 0$ とおいて得られる次式(14)から計算される。

$$\left. \begin{aligned} (\lambda_L)_s &= \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\Lambda_L)_s}{\cos \Gamma} \right) \\ (\lambda_{37.5\%C})_s &= \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\Lambda_{37.5\%C})_s}{\cos \Gamma} \right) \\ \varphi_s &= (\lambda_L)_s - (\lambda_{37.5\%C})_s \end{aligned} \right\} (14)$$

ただし $(\Lambda_L)_s$: 上反角0°の状態での水平尾翼前縁の後退角

$(\lambda_L)_s$: 上反角 Γ の状態での水平尾翼前縁の後退角

$(\Lambda_{37.5\%C})_s$: 上反角0°の状態での水平尾翼37.5% C線の後退角

$(\lambda_{37.5\%C})_s$: 上反角 Γ の状態での水平尾翼37.5% C線の後退角

また、図42の中で示した、37.5% C線とXY平面とのなす角 $\theta_s = 2^\circ 33' 35''$ は式(13)において $\alpha = 0$ とおいて得られる次式から計算される。

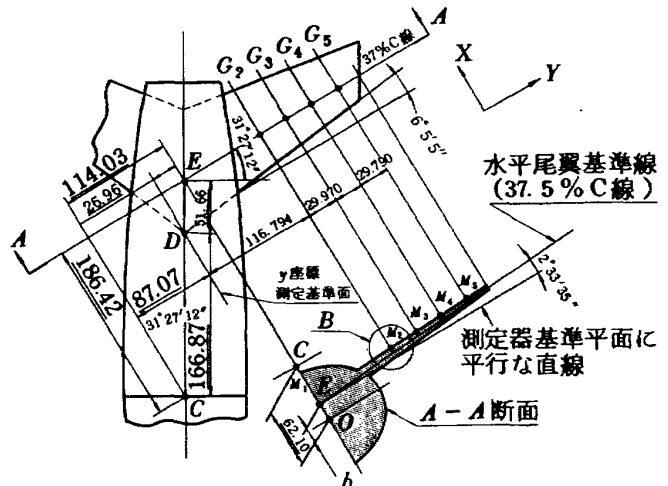


図42 水平尾翼取付位置測定方法説明図

$$\theta_s = \sin^{-1}(\sin \Gamma \cos(A_{37.5\%C})) \quad (15)$$

さらに、37.5% C 線の後退角 $31^\circ 27' 12''$ は、図40で示した上反角 0° の状態での値 $31^\circ 25' 6''$ とは異なり上反角 3° をとった場合の平面図における値であり、式(14)の第2式より計算したものである。

また、図42で示した点 C、D間および点 D、E間の水平距離 166.87 および 51.66 は、水平尾翼平面形寸法測定結果、図41の左水平尾翼の測定結果からとった値である。

次に OE 寸法測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) 胴体中心線の測定載物台平面に対する平行セッティング

この操作は、5.1.2節(2)で述べた測定手順(1)と全く同様に行われる。

(2) 水平尾翼の左右対称セッティング

水平尾翼上側表面上の 37.5% C 線を測定載物台平面に対し $1^\circ 42' 35''$ の傾斜角になるようにセットする。こゝに $1^\circ 42' 35''$ は水平尾翼基準面上の 37.5% C 線と XY 平面とのなす角 $2^\circ 33' 35''$ (式(15)より算出) から水平尾翼基準面に対する翼表面上の 37.5% C 線の傾斜角 $51'$ を減じた値である。この操作も 5.1.2節(2)の測定手順(2)で詳述してあるので省略する。

(3) 37.5% C 線の Y 方向セッティング

模型をこの状態にて、水平面内で回転させ、測定器 Y 軸と水平尾翼前縁とのなす角が $6^\circ 5' 5''$ (図42参照) になるようにセットする。この操作は $\tan 6^\circ 5' 5'' = 0.10660$ の値を用いて、5.1.2節(2)の測定手順(3)で詳述した要領で行われる。

(4) 37.5% C 線および y 座標測定基準面の決定

測定アーム先端に検出器を、その測定触針が鉛直下向きになるように取付け、触針先端を点 C (図42参照) に合致させる。点 C は後部胴体結合線と、これに直交するケガキ線の交点として示されており、合致操作は、測定アーム先端に検出器と共に取付けられた 20倍測定顕微鏡が用いられ、巾約 0.1mm のケガキ線および結合線の中央に合致させる精度は ± 0.01 mm 程度である。

次に点 C から測定載物台を X 方向え 186.42 (= 218.53 $\cos 31^\circ 27' 12''$) だけ送り、この位置において測定器 YZ 平面に平行な平面を 37.5% C 線を含む

平面として決定し、この位置で X 方向の動きを固定する。続いて Y 方向に 87.07 (= 166.87 $\sin 31^\circ 27' 12''$) だけ送り、この位置において測定器 XZ 平面に平行な平面を y 座標測定基準面と決定し、この時の y 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

なお、こゝに用いた数値 218.53 および 166.87 はそれぞれ左翼における点 C、E間および点 C、D間の水平距離 (x 座標の差) の実測値 (図41参照) であり、また $31^\circ 27' 12''$ は式(14)の第2式から計算した上反角 3° の状態での水平尾翼 37.5% C 線の後退角である。

(5) 点 $M_1, M_2 \dots M_5$ の z 座標測定

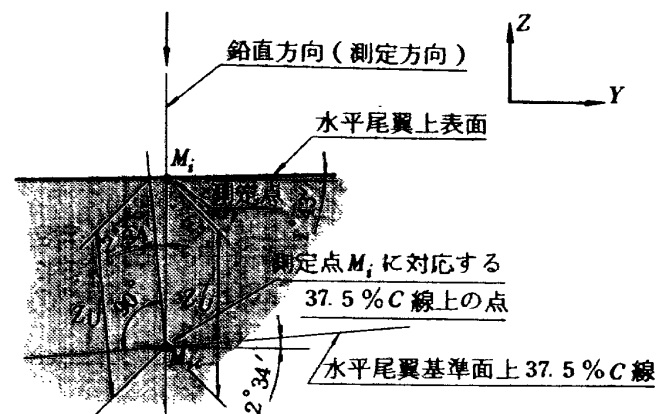
測定載物台を Y 方向え 26.96 (= 51.66 $\sin 31^\circ 27' 12''$) だけ送り、この位置での胴体上面の点 (図42の点 M_1) の z 座標を測定し、その時の z 座標表示カウンタの読みを零にセットする。こゝに 51.66 は左翼における点 D、E間の水平距離の実測値である。

次に各測定点 $M_2, M_3, \dots M_5$ の測定基点 M_1 に対する z 座標を測定する。

(6) 水平尾翼取付基準点 E の胴体中心線からの距離 (OE) の算出

上記各測定点 M_i ($i=2, 3, 4, 5$) の測定基点 M_1 に対する z 座標の測定値に Z_U (設計値) を加え、各測定点 M_i と x, y 座標を同じくする水平尾翼基準面内 37.5% C 線上の点の測定基点 M_1 に対する z 座標を算出し、これらの値から外挿によって水平尾翼取付基準点 E の胴体中心線からの距離 (b) (図42参照) を求める。

なお、主翼の場合と同様に厳密には、上記の Z_U と



(注) 上図は 37.5% C 線を含み水平尾翼基準面に直角な平面で切った断面である。

図 43 図 42 の B 部詳細

しては37.5% C点における設計値ではなく、図43に示すように Z'_U の値を用いるべきであるが、両者の差は最大でも1ミクロン程度なのでこのための補正は行わなかった。

また、こゝに116.794, 29.790等は設計図面と与えられている G_2, G_3, \dots, G_5 のy座標に $\cos 2^\circ 33' 35''$ を乗じて $\theta_s = 2^\circ 33' 35''$ のための補正を行った値である。

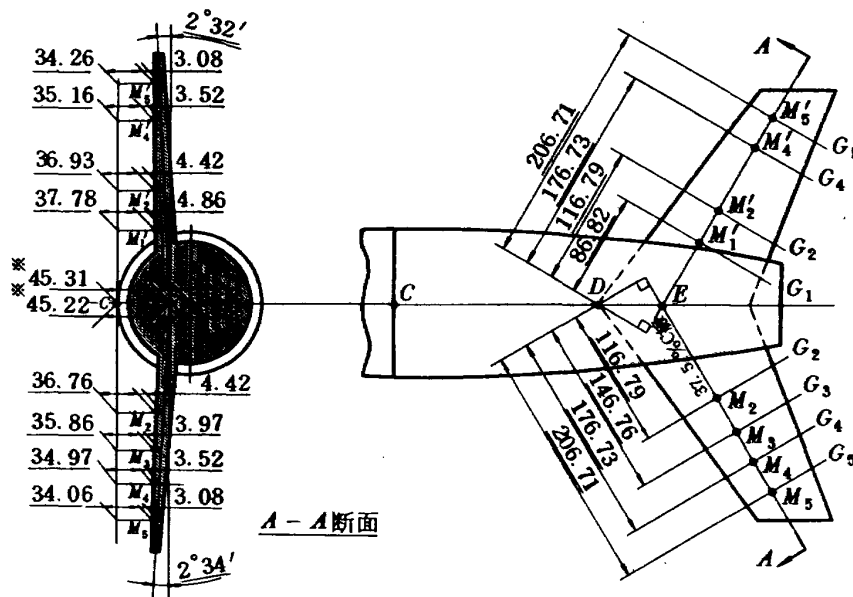
右水平尾翼の取付位置の測定も全く同様な手順で行われる。以上述べた手順に従

以上述べた手順に従って実測した結果の詳細を図44に示す。

(3) 測定断面位置TおよびT'の精密ポンチング

図40に示した設計図面寸法解析結果、図41に示した平面形寸法測定結果、および図44に示した水平尾翼取付位置の実測結果から点G(図45参照)を原点とし、2軸の方向がそれぞれ測定器XおよびY軸方向に一致するような直交座標系に関する点Tの座標値を算出する。その結果を図45に示す。

以下ポンチング手順の詳細を示す。



- (注) 1. 本測定は左右独立に行ったので測定値は非対称となった。
 2. *印寸法は実測値をもとに推定した値である。

図44 水平尾翼取付位置測定結果

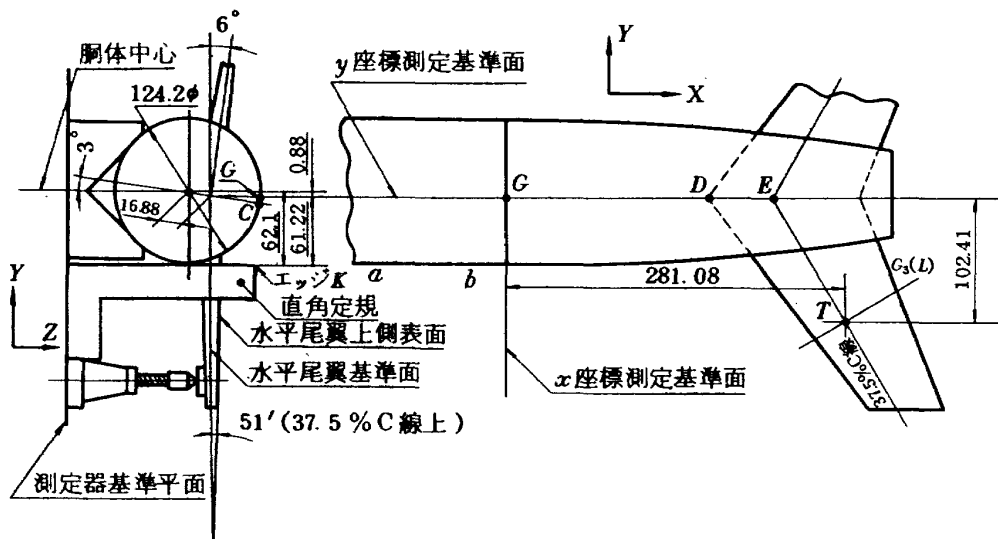


図45 ポンチング手順説明図

〔ポンチング手順〕

(1) 水平尾翼基準面と測定載物台平面との平行セッティング

(2) 胴体中心線の XZ 平面に対する平行セッティング

以上ポンチング手順(1)および(2)は 5.1.3 節(1)の測定手順(1)および(2)と全く同様に行われるので、こゝでは省略する。

(3) 座標原点 G の決定

測定アーム先端にポンチング機構(図 29 参照)を取付け、直角定規エッジ K 上の任意点(図 45 参照)にポンチ先端を正確に合致(20倍測定顕微鏡使用)させ、この位置から Y 方向に $62.1 (= 胴体半径) - 0.88 (= 16.88 \sin 3^\circ) = 61.22 \text{ mm}$ だけ測定載物台を送り、この位置で Y 方向の動きをクランプし、次に X 方向に送り、後部胴体結合線とポンチ先端とが合致した点を座標原点 G (図 45 参照)と決定し、この位置で x および y 座標表示カウンタの読みを零にセットする。こゝに 16.88 は OE (設計値 16.56) の実測値である。

(4) ポンチング

図 45 に示された座標に従って点 T をポンチングする。こゝに点 T の x 座標は図 40 および図 41 から $166.87 (\text{実測値}) + 51.66 (\text{実測値}) + 62.55 (\text{設計値}) = 281.08 \text{ mm}$ として算出された。

同様な方法で右水平尾翼の点 T' のポンチングも行う。

(4) 水平尾翼断面形状の測定

この測定も、三次元座標測定器本体の測定載物台上では測定できないので、副測定載物台および Z' 系が用いられた。さらにこの場合は、測定に際して主翼が邪魔になり、正面からは測定できないので測定検出器を逆向きに取り付け、模型の後部から測定アームを挿入して測定しなければならない。図 46 はその説明図である。以下その測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) 水平尾翼基準面と測定器 XY 平面との平行セッティング

先づ、水平尾翼の 37.5% C 線が測定器 Y 軸に、ほぼ平行(目測)になるように V ブロックを用いて副測定載物台上に模型後部を測定器に向けた状態にして置く。次に胴体中心線が測定器 XY 平面(水平面)

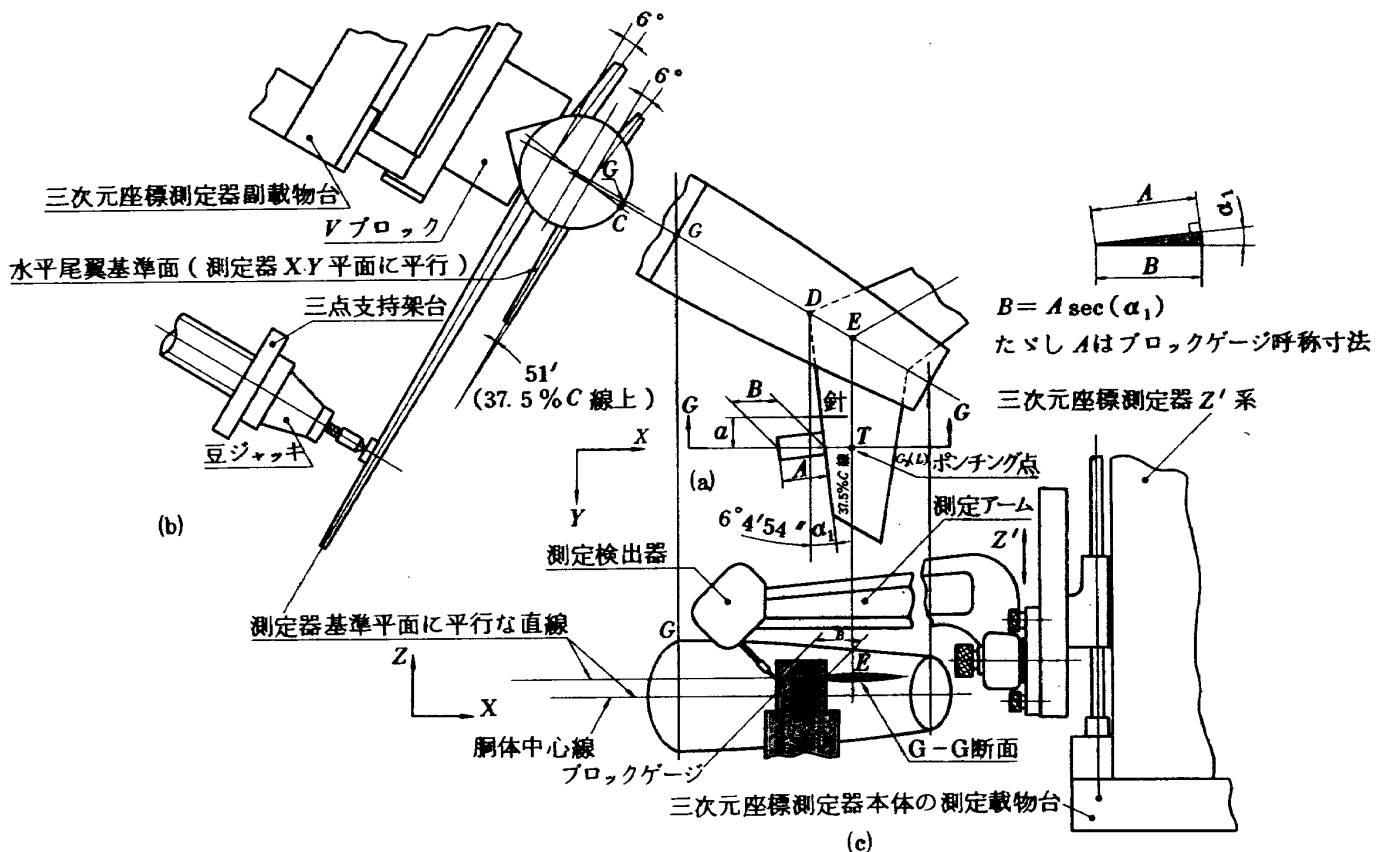


図 46 水平尾翼断面形状測定方法説明図

に平行になるようにセットする。この操作は中部胴体上部稜線に沿って置いたクリノメータの読みと副測定載物台の鉛直面内微調回転機構を用いて行う。さらに水平尾翼上面の37.5% C線と測定器XY平面とのなす角が51'になるようにセットする。この操作は4.2節の測定手順(1)と同様な方法で行われる。この操作によって水平尾翼基準面は測定器XY平面に平行にセットされる。

(2) 37.5% C線のY方向セッティング

模型はこの状態にて、副測定載物台の水平面内微調回転機構を用いて回転させ、測定器Y軸と水平尾翼前縁とのなす角が6°4'54"になるようにセットする。この操作は $\tan 6^\circ 4' 54'' = 0.10655$ の値を用い、5.1.2節(4)の測定手順(2)と同様な方法で行われる。

この操作で測定器Y軸と37.5% C線は平行にセットされる。すなわち測定断面は測定器XZ平面に平行にセットされる。

(3) 測定断面位置の決定

測定手順(2)で用いたテコ式ダイヤルゲージの代わりに測定検出器を、その測定触針が後ろ向きで45°下向き(図46(c)参照)になるように測定アーム先端に取付け、測定触針先端をG₃(L)測定断面上のポンチング点Tに合致させ(20倍顕微鏡使用)ることによって測定断面位置を決定する。

(4) x座標の決定

(5) z座標の決定

(6) 水平尾翼上面測定

(7) 測定触針の姿勢変更

(8) 測定断面およびx座標の再度決定

(9) 水平尾翼下面測定

以上測定手順(4),(5),(6),(7),(8)および(9)の操作は、5.1.2節(4)の測定手順(4),(5),(6),(7),(8)および(9)と全く同様にして行われる。ただし、 $\alpha_1 = 6^\circ 4' 54''$ として行う。

右水平尾翼のG₃(R)断面測定も全く同様の手順に従って行われる。

以上述べた(1)から(9)までの測定手順に従って実際に行った測定結果を表18および表19に示す。

また、図47はG₃(L)断面形状上面座標(Z_u)測定中の写真である。

5.1.4 垂直尾翼の翼断面形状測定

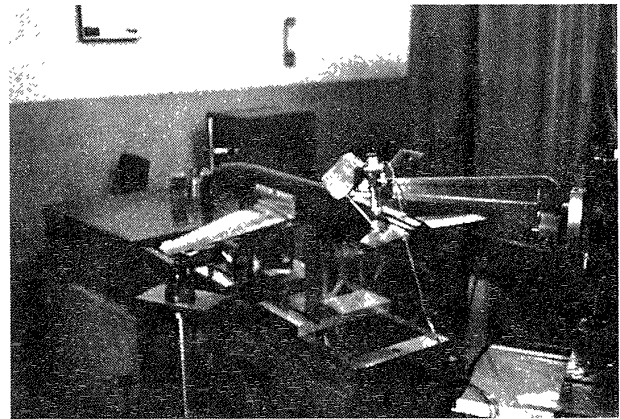


図47 水平尾翼G₃(L)断面上面座標(Z_u)測定

測定の前に先づ図28に与えられた設計図面寸法データから測定の際に必要な諸寸法および角度を算出しておかなければならない。その結果を図48に示す。実際の測定には図48に示す寸法のほかC'F(設計値=18.64)の実測値が必要であるが、これは垂直尾翼の平面形寸法測定結果から求められるので先づこの測定から始める。

(1) 垂直尾翼の平面形寸法測定

[測定手順]

(1) 胴体中心線のXZ面に対する平行セッティング

模型の中部胴体部を測定載物台上に定置した同サイズの精密Vブロックで支持し、前述の4.2節測定手順(2)に従って胴体中心線を測定器XZ面に平行にセットする。

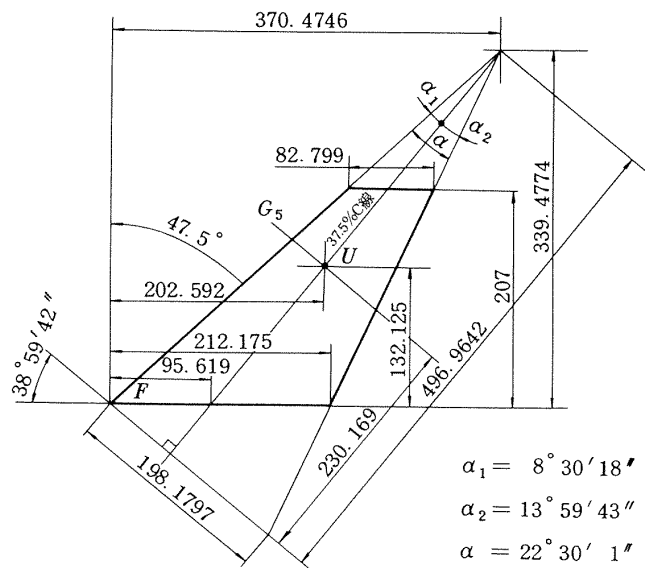


図48 垂直尾翼設計図面寸法解析結果

表 18 水平尾翼断面輪郭座標实测值解析結果(1)

单位: mm

i	x	z _u		z _l		z		Z _u		Z _u	Z _u -Z _u	Z _l		Z _l -Z _l		
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	設計值	誤差(μ)	(1)	(2)	平均值	誤差(μ)			
		翼弦長														
		75.702	75.747													-0.045
1	0.114	23.494	30.425	22.374	29.332	22.955	29.916	0.539	0.509	0.524	0.547	-23	0.581	0.584	0.583	+36
2	0.947	24.477	31.441	21.462	28.420	22.955	29.916	1.522	1.525	1.524	1.537	-13	1.493	1.496	1.495	-42
3	2.462	25.060	32.019	20.868	27.835	22.954	29.915	2.106	2.104	2.105	2.126	-21	2.086	2.080	2.083	-43
4	4.355	25.437	32.401	20.473	27.440	22.953	29.914	2.484	2.487	2.486	2.491	-5	2.480	2.474	2.477	-14
5	6.249	25.716	32.677	20.196	27.164	22.952	29.913	2.764	2.764	2.764	2.771	-7	2.756	2.749	2.753	-18
6	8.522	25.976	32.934	19.930	26.894	22.951	29.913	3.025	3.021	3.023	3.043	-20	3.021	3.019	3.020	-23
7	11.741	26.277	33.233	19.624	26.586	22.950	29.911	3.327	3.322	3.325	3.347	-22	3.326	3.325	3.326	-21
8	15.528	26.541	33.505	19.350	26.318	22.948	29.910	3.593	3.595	3.594	3.613	-19	3.598	3.592	3.595	-18
9	19.315	26.735	33.697	19.159	26.127	22.946	29.908	3.789	3.789	3.789	3.797	-8	3.787	3.781	3.784	-13
10	23.103	26.847	33.810	19.041	26.007	22.945	29.907	3.902	3.903	3.903	3.914	-11	3.904	3.900	3.902	-12
11	27.648	26.901	33.859	18.979	25.945	22.943	29.905	3.958	3.954	3.956	3.969	-13	3.964	3.960	3.962	-7
12	30.677	26.870	33.829	18.999	25.963	22.941	29.903	3.929	3.926	3.928	3.954	-26	3.942	3.940	3.941	-13
13	34.465	26.777	33.735	19.082	26.046	22.940	29.902	3.837	3.833	3.835	3.868	-33	3.858	3.856	3.857	-11
14	38.252	26.626	33.585	19.244	26.210	22.938	29.900	3.688	3.685	3.687	3.701	-14	3.694	3.690	3.692	-9
15	43.933	26.291	33.242	19.587	26.551	22.935	29.898	3.356	3.344	3.350	3.351	-1	3.348	3.347	3.348	-3
16	49.614	25.842	32.807	20.032	26.997	22.933	29.896	2.909	2.911	2.910	2.912	-2	2.901	2.899	2.900	-12
17	52.265	25.611	32.572	20.256	27.221	22.932	29.895	2.679	2.677	2.678	2.685	-7	2.676	2.674	2.675	-10
18	56.810	25.169	32.130	20.684	27.649	22.930	29.893	2.239	2.237	2.238	2.254	-16	2.246	2.244	2.245	-9
19	60.598	24.770	31.730	21.078	28.042	22.928	29.891	1.842	1.839	1.841	1.856	-15	1.850	1.849	1.850	-6
20	68.172	23.910	30.864	21.956	28.924	22.925	29.888	0.985	0.976	0.981	0.970	+11	0.969	0.964	0.967	-3
21	71.960	23.446	30.409	22.402	29.364	22.923	29.886	0.523	0.523	0.523	0.511	+12	0.521	0.522	0.522	+11

(1)	$\bar{x} = 29.8443$, $\bar{z} = 22.9418$, $S_x = 10924.0679$ $S_{xz} = -4.8493$, $a = -4.8493/10924.0679 = -0.000444$ $b = 22.955$ $z = -0.000444 x + 22.955$, $\delta = 1' 32''$
(2)	$\bar{x} = 29.8443$, $\bar{z} = 29.9036$, $S_x = 10924.0679$ $S_{xz} = -4.4812$, $a = -4.4812/10924.0679 = -0.000410$ $b = 29.916$ $z = -0.000410 x + 29.916$, $\delta = 1' 25''$

表19 水平尾翼断面輪郭座標実測値解析結果(2)

単位: mm

i	G ₃ (R) 断面												翼弦長		Z _l -Z _l
	z _u		z _l		z		Z _u		Z _U	Z _u -Z _U	Z _l		平均值		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	設計値	誤差(μ)	(1)	(2)	誤差(μ)		
1	0.114	20.009	17.221	19.001	16.190	19.466	16.662	0.544	0.559	0.552	0.547	0.464	0.472	0.468	-79
2	0.947	20.979	18.172	17.977	15.155	19.465	16.661	1.515	1.511	1.513	1.537	1.487	1.506	1.497	-40
3	2.462	21.552	18.745	17.384	14.580	19.464	16.661	2.088	2.084	2.086	2.126	2.080	2.081	2.081	-45
4	4.355	21.925	19.117	16.996	14.199	19.423	16.660	2.463	2.457	2.460	2.491	2.466	2.461	2.464	-27
5	6.249	22.208	19.400	16.711	13.913	19.462	16.658	2.747	2.742	2.745	2.771	2.750	2.745	2.748	-23
6	8.522	22.478	19.671	16.430	13.636	19.461	16.657	3.018	3.014	3.016	3.043	3.030	3.021	3.026	-17
7	11.741	22.772	19.968	16.125	13.329	19.459	16.655	3.314	3.313	3.314	3.347	3.333	3.326	3.330	-17
8	15.528	23.032	20.226	15.852	13.059	19.456	16.653	3.576	3.573	3.575	3.613	3.604	3.594	3.599	-14
9	19.315	23.222	20.410	15.663	12.860	19.454	16.651	3.768	3.759	3.764	3.797	3.791	3.791	3.791	-6
10	23.103	23.345	20.538	15.538	12.739	19.452	16.649	3.894	3.889	3.892	3.914	3.913	3.910	3.912	-2
11	27.648	23.397	20.587	15.492	12.695	19.449	16.646	3.948	3.941	3.945	3.969	3.957	3.951	3.954	-15
12	30.677	23.377	20.570	15.507	12.719	19.447	16.645	3.930	3.925	3.928	3.954	3.940	3.933	3.937	-17
13	34.465	23.286	20.478	15.595	12.802	19.445	16.642	3.841	1.836	3.839	3.868	3.850	3.840	3.845	-23
14	38.252	23.120	20.311	15.742	12.949	19.443	16.640	3.678	3.671	3.675	3.701	3.700	3.691	3.696	-5
15	43.933	22.786	19.975	16.096	13.298	19.439	16.637	3.347	3.338	3.343	3.351	3.343	3.339	3.341	-10
16	49.614	22.337	19.532	16.522	13.726	19.436	16.634	2.901	2.898	2.900	2.912	2.914	2.908	2.911	-1
17	52.265	22.107	19.299	16.749	13.952	19.434	16.632	2.673	2.667	2.670	2.685	2.685	2.680	2.683	-2
18	56.810	21.679	18.872	17.186	14.393	19.431	16.630	2.247	2.242	2.245	2.254	2.246	2.237	2.242	-12
19	60.598	21.280	18.471	17.580	14.786	19.429	16.628	1.851	1.843	1.847	1.856	1.849	1.842	1.846	-10
20	68.172	20.407	17.547	18.457	15.662	19.424	16.623	0.982	0.974	0.978	0.970	0.968	0.961	0.965	-5
21	71.960	19.962	17.158	18.917	16.122	19.422	16.621	0.539	0.537	0.538	0.511	0.506	0.499	0.503	-8

(1)	$\bar{x} = 29.8443$, $\bar{z} = 19.4474$, $S_x = 10924.0679$ $S_{xz} = -6.6870$, $a = -6.6870/10924.0679 = -0.000612$ $b = 19.466$ $z = -0.000612x + 19.466$, $\delta = 2' 6''$
(2)	$\bar{x} = 29.8443$, $\bar{z} = 16.6450$, $S_x = 10924.0679$ $S_{xz} = -6.1898$, $a = -6.1898/10924.0679 = -0.000567$ $b = 16.662$ $z = -0.000567x + 16.662$, $\delta = 1' 57''$

(2) 垂直尾翼基準面の X Z 平面内平行セッティング

左右主翼が左右同一上反角になるようにクリノメータを用いてセットする。

以上測定手順(1)および(2)によって垂直尾翼基準面は、測定器 X Z 平面に平行にセットされる。

(3) z 座標測定基準面の決定

ハイトゲージのスクライバ先端水平面(図50参照)の高さと模型中部胴体平行部最高稜線の高さとが同一になるようにセットする。この操作は測定アーム先端に取付けたテコ式ダイヤルゲージとハイトゲージの上下微動操作とによって容易に行うことができる。すなわち測定アーム先端に取付けたテコ式ダイヤルゲージの測定子を模型中部胴体平行部最高稜線に当て(測定子を最高稜線付近に当てた状態で測定載物台を Y 方向に前後微動させた場合、ダイヤルゲージの指針の振れの最大位置を最高稜線とする)、その時の指針の読みを零にセットし、続いてダイヤルゲージの測定子をハイトゲージのスクライバ先端の水平面に当て、その時のダイヤルゲージの指針の読みが零になるようにハイトゲージの上下動微調を行う。以上でスクライバ先端水平面の高さと模型中部胴体平行部最高稜線の高さとが正確に同一となる。次にテコ式ダイヤルゲージの代りに図15に示した二次元座標測定装置を測定アーム先端に副測定アーム(図16参照)を介して取付け、20倍測定顕微鏡の光軸を図15に示したような鉛直方向から測定器 Y Z 平面内で 90° 回転し、測定器 Y 軸にほぼ平行に保持した状態で、レティキュール交点を先づハイトゲージのスクライバ先端水平面に合致させ、この位置から鉛直下方に 62.10 mm (胴体半径) 送り、この位置において測定器 X Y 方面に平行な平面を z 座標測定基準面と決定し、この時の z 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

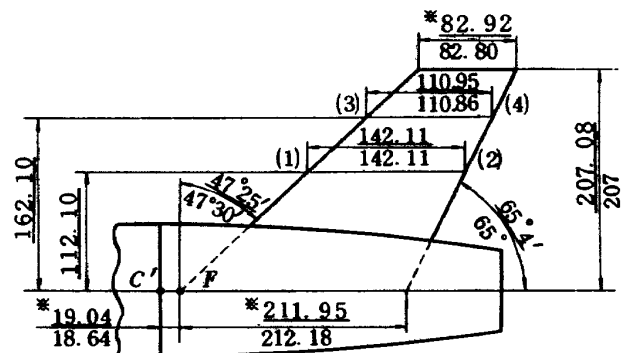
(4) x 座標測定基準面の決定

z 座標測定基準面の決定後、この位置で Z 方向の動きをクランプし、次で X 方向に測定載物台を送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と後部胴体結合線とが合致した点(図50の C' に相当)を求め、この点を含み、測定器 Y Z 平面に平行な平面を x 座標測定基準面と決定し、この位置で x 座標表示カウンタの

読みを零にセットする。

(5) 垂直尾翼平面形測定

測定手順(3)および(4)で決定した測定座標系に関する各測定点(1),(2),(3),(4)(図49参照)の x, z 座標を順次測定して行く。以下は 5.1.2 節(1)の測定手順(5)と同じ要領となるので省略する。上記測定手順に従って行った測定結果を図49に示す。図中、*印寸法は平面形寸法実測値から比例計算によって求めた値である。



(注) *印寸法は実測値をもとに推定した値である。

図 49 垂直尾翼平面形寸法測定結果

(2) 測定断面位置 U の精密ポンチング

図48に示した設計図面寸法解析結果および図49に示した平面形寸法測定結果から、測定断面位置 U のポンチング手順は次のようになる。図50はその説明図である。

[ポンチング手順]

(1) 胴体中心線の X Y 平面に対する平行セッティング

この操作は 5.1.2 節(2)の測定手順(1)と全く同様な方法で行われる。

(2) 胴体中心線の X Z 平面に対する平行セッティング

この操作も 4.2 節の測定手順(2)と全く同様にして行われる。

(3) 垂直尾翼基準面の X Z 平面に対する平行セッティング

この操作は 5.1.2 節(2)の測定手順(3)の主翼の左右対称セッティングと全く同様にして行われる。

(4) 座標原点 C' の決定

ハイトゲージのスクライバ先端水平面(図50参

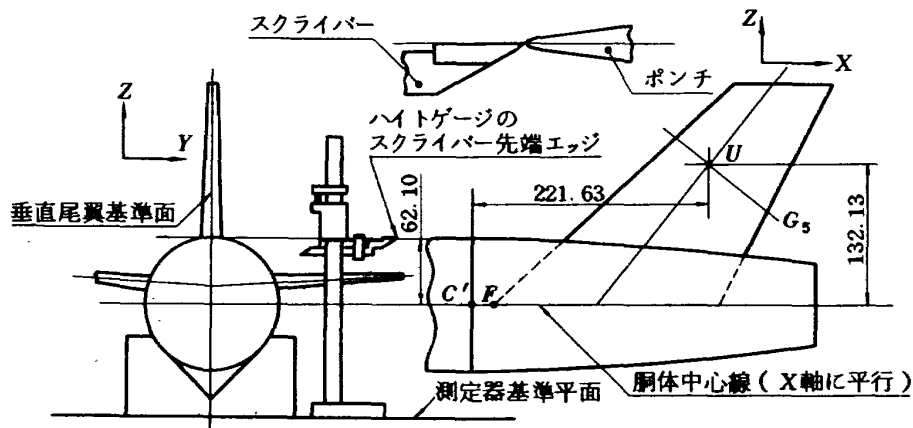


図 50 垂直尾翼測定断面位置Uの精密ポンチング説明図

照)の高さと模型中部胴体平行部最高稜線の高さとが同一になるようにセットする。

この操作は本節(5.1.4)(1)の測定手順(3)で詳述したのでこゝでは省略する。

この操作でスクライバ先端水平面の高さが模型中部胴体平行部最高稜線の高さと正確に同一になったならば、次にテコ式ダイヤルゲージの代りにポンチング機構を、その軸が測定器Y軸に平行になるような状態で測定アーム先端に取付ける。(本節(1)の測定手順(3)参照)

次にポンチ先端と先きにセットしたハイトゲージ、スクライバ先端水平面とを正確に合致させ同一高さとし(20倍測定顕微鏡使用)、この時のz座標表示カウンタの読みを零にセットし、この位置よりZ方向に胴体半径62.10mmだけポンチング機構を下方へ送り、この位置でZ方向の動きをクランプしてからX方向に測定載物台を送り、後部胴体結合線とポンチ先端とが合致した点を座標原点C'と決定し、この位置でxおよびz座標表示カウンタの読みを再度零にセットする。以上の操作での合致精度は±0.01mm程度である。

(5) ポンチング

図50に示された座標に従って点Uをポンチングする。こゝに点Uのx座標は図48および図49から19.04(実測値)+202.59(設計値)=221.63mmとして算出された。

(3) 垂直尾翼断面形状の測定

この測定は主翼を鉛直に保持した状態で測定しなければならないので、この場合も副測定載物台およ

びZ'系が用いられる。図51にその測定方法の説明図を示す。以下、その測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) 垂直尾翼基準面と測定器XY平面との平行セッティング

先づ模型を、主翼がほぼ鉛直な状態になるように、しかもその垂直尾翼の37.5% C線が測定器Y軸に、ほぼ平行(目測)になるように、Vブロックを用いて副測定載物台上に置く。次に胴体中心線が測定器XY平面に平行になるようにセットする。この操作は、中部胴体上部稜線に沿って置いたクリノメータの読みと副測定載物台の鉛直面内微調回転機構を用いて行う。

さらに垂直尾翼上面の37.5% C線と測定器XY平面とのなす角が1°12'になるようにセットする。この操作は4.2節の測定手順(1)と同様な方法で行われる。この操作によって垂直尾翼基準面は測定器XY平面に平行にセットされる。なおこゝに用いた値1°12'は垂直尾翼基準面と垂直尾翼上面の37.5% C線とのなす角であり、37.5% C線上における各断面のZU(設計値)の値から求めたものである。

(2) 37.5% C線のY方向セッティング

模型をこの状態にて、副測定載物台の水平面内微調回転機構を用いて微回転させ、測定器Y軸と垂直尾翼前縁とのなす角が8°30'18''になるようにセットする。

この操作は $\tan 8^{\circ}30'18'' = 0.14954$ の値を用い、5.1.2節(2)の測定手順(2)と全く同様な方法で行われる。

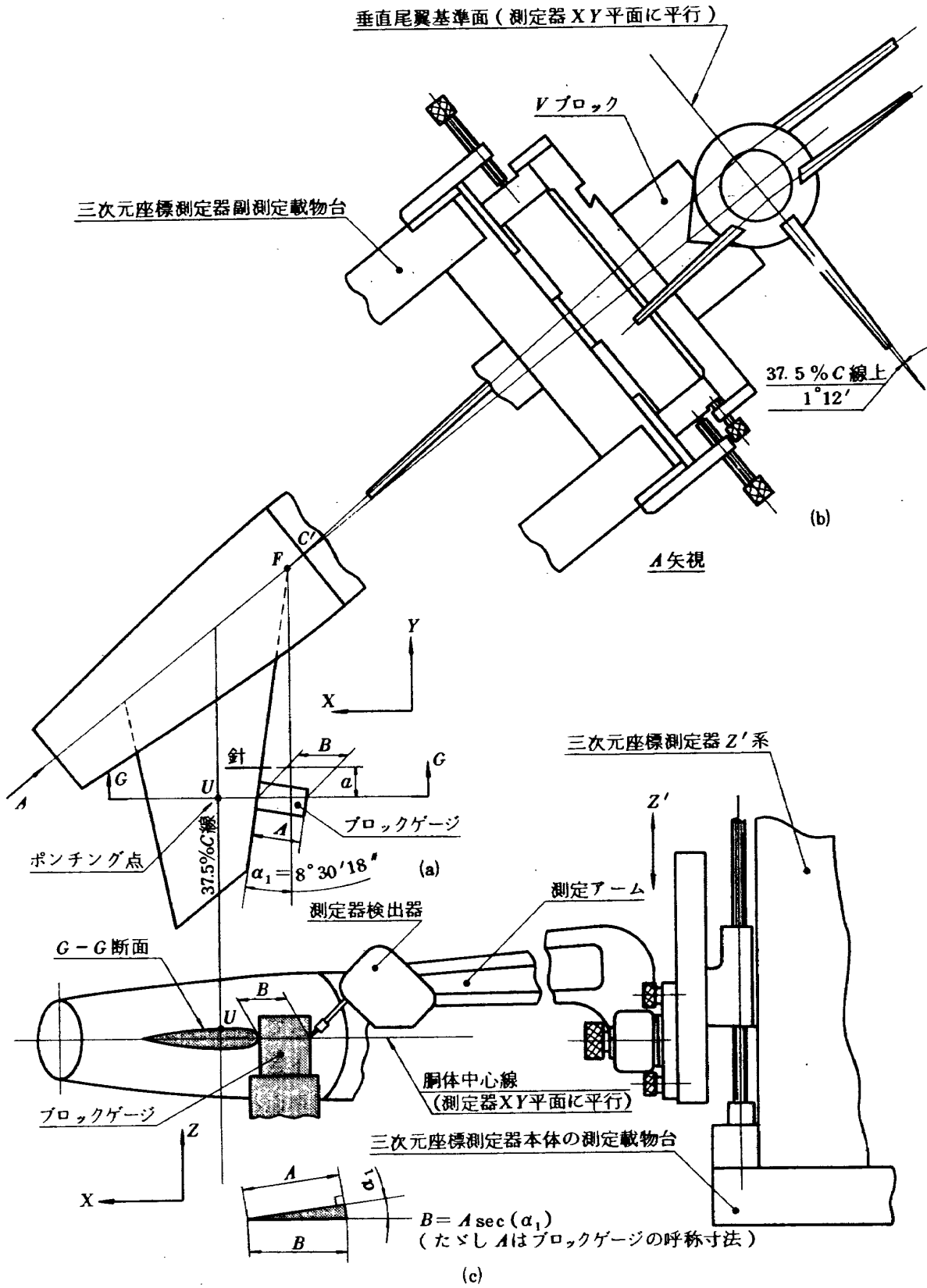


図 51 垂直尾翼断面形状測定方法説明図

この操作で測定器Y軸と37.5% C線は平行にセットされる。すなわち測定断面は測定器XZ平面に平行にセットされる。

(3) 測定断面位置の決定

測定手順(2)で用いたテコ式ダイヤルゲージの代りに測定検出器を、その測定触針が下向き45°になるように測定アーム先端に取付け、測定触針先端をG₅測定断面上のポンチング点Uに合致させ(20倍測定顕微鏡使用)ることによって測定断面位置を決定する。

(4) x座標の決定

(5) z座標の決定

(6) 垂直尾翼左面測定

(7) 測定触針の姿勢変更

(8) 測定断面およびx座標の再度決定

(9) 垂直尾翼右面測定

以上測定手順(4), (5), (6), (7), (8)および(9)の操作は、5.1.2節(4)の測定手順(4) (5) (6) (7) (8)および(9)と全く同様に行われる。ただし $\alpha_1=8^\circ 30' 18''$ として行う。

以上述べた測定手順(1)から(9)までに従って実際に行った測定結果を参考のため表20に示す。

また図52は垂直尾翼G₅断面形状左面座標測定中の写真である。

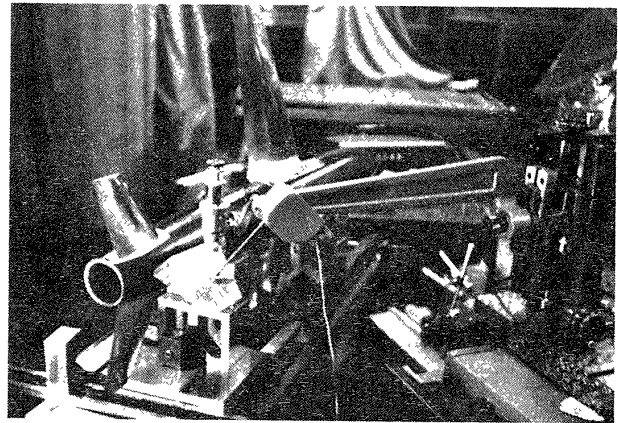


図52 垂直尾翼G₅断面左側面座標(Z_L)測定

5.2 三次元半翼模型の翼振り下げ角測定

図53に三次元半翼模型の形状に関する設計図面を示す。表21はその翼根、キंकおよび翼端における翼断面寸度表である。なお、中間断面の断面形は、翼根とキंकおよびキंकと翼端の同% C点を直線でつなぐことによって定められている。

前述の遷音速風洞標準全機模型の主翼取付角は各断面ですべて一定値4°で振り下げがついていなかったが、この模型の場合は振り下げがついており、各断面の迎角は表21に示されているように翼根において3°、キंकの位置において2.2°、および翼端の位置において-0.05°と変化している。なお表21に示さ

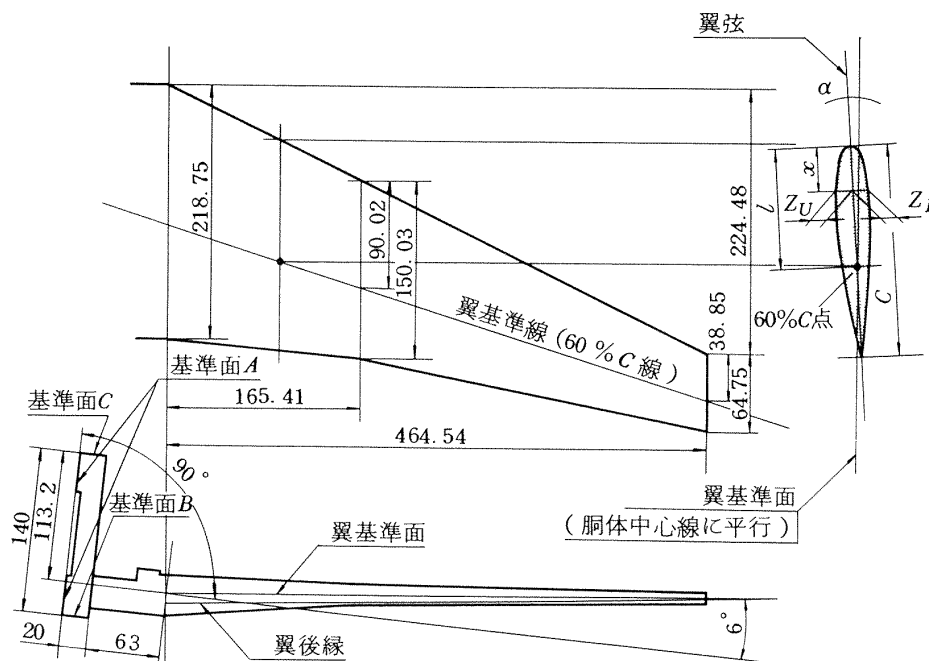


図53 半翼模型形状寸度設計図面

表 20 垂直尾翼断面輪郭座標測定値解析結果

單位：mm

i	x	z _u		z _l		z		Z _u		Z _u	Z _u -Z _U	Z _l		Z _l -Z _L	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	設計值	誤差(μ)	(1)	(2)	平均值	誤差(μ)
		平均值	誤差(μ)	平均值	誤差(μ)	設計值	誤差(μ)	平均值	誤差(μ)	設計值	誤差(μ)	平均值	誤差(μ)	設計值	誤差(μ)
1	0.160	19.521	18.974	18.007	17.468	18.760	18.213	0.761	0.761	0.768	-7	0.753	0.745	0.749	-19
2	1.330	20.905	20.365	16.607	16.059	18.759	18.212	2.146	2.153	2.159	-9	2.152	2.153	2.153	-6
3	3.458	21.732	21.178	15.774	15.219	18.757	18.209	2.976	2.969	2.986	-13	2.982	2.990	2.986	0
4	6.117	22.266	21.714	15.236	14.687	18.754	18.206	3.513	3.508	3.499	+12	3.517	3.519	3.518	+19
5	8.777	22.656	22.102	14.846	14.299	18.751	18.203	3.905	3.899	3.892	+10	3.905	3.904	3.905	+13
6	11.969	23.027	22.474	14.460	13.914	18.748	18.200	4.279	4.274	4.274	+3	4.288	4.286	4.287	+13
7	16.490	23.450	22.903	14.028	13.478	18.744	18.195	4.706	4.708	4.701	+6	4.716	4.717	4.716	+15
8	21.810	23.822	23.273	13.652	13.103	18.739	18.189	5.083	5.084	5.075	+9	5.087	5.086	5.087	+12
9	27.129	24.086	23.539	13.391	12.838	18.733	18.183	5.352	5.356	5.333	+21	5.343	5.345	5.344	+11
10	32.449	24.245	23.691	13.215	12.659	18.728	18.177	5.517	5.514	5.497	+19	5.513	5.518	5.516	+19
11	38.832	24.313	23.764	13.128	12.576	18.722	18.170	5.591	5.594	5.575	+18	5.594	5.594	5.594	+19
12	43.088	24.291	23.746	13.158	12.606	18.718	18.166	5.573	5.580	5.554	+23	5.560	5.560	5.560	+6
13	48.408	24.164	23.615	13.282	12.729	18.713	18.160	5.451	5.455	5.433	+20	5.431	5.431	5.431	-2
14	53.727	23.922	23.370	13.491	12.936	18.707	18.154	5.214	5.216	5.198	+17	5.217	5.218	5.218	+20
15	61.706	23.430	22.879	13.964	13.406	18.700	18.145	4.730	4.734	4.707	+25	4.736	4.739	4.738	+31
16	69.686	22.815	22.268	14.582	14.023	18.692	18.137	4.123	4.132	4.091	+37	4.110	4.113	4.112	+21
17	73.409	22.493	21.939	14.894	14.335	18.688	18.132	3.805	3.807	3.772	+34	3.794	3.797	3.796	+24
18	79.793	21.875	21.323	15.486	14.927	18.682	18.125	3.193	3.198	3.166	+30	3.196	3.198	3.197	+31
19	85.112	21.308	20.760	16.038	15.477	18.677	18.120	2.631	2.641	2.607	+28	2.639	2.642	2.641	+34
20	95.751	20.050	19.492	17.267	16.694	18.666	18.108	1.383	1.384	1.362	+22	1.400	1.414	1.407	+45
21	101.071	19.412	18.856	17.904	17.343	18.661	18.102	0.750	0.754	0.718	+34	0.758	0.759	0.759	+41

G₅ 断面

翼弦長

實測值	設計值	誤差
106.450	106.390	+0.060

(1)	$\bar{x} = 41.9177$, $\bar{z} = 18.7191$, $S_x = 21550.6554$ $S_{xz} = -21.0746$, $a = -21.0746/21550.6554 = -0.000978$ $b = 18.760$ $z = -0.000978x + 18.760$
(2)	$\bar{x} = 41.9177$, $\bar{z} = 18.1669$, $S_x = 21550.6554$ $S_{xz} = -23.6414$, $a = -23.6414/21550.6554 = -0.001097$ $b = 18.213$ $z = -0.001097x + 18.213$

表21 翼断面寸度表

単位：mm

W.STA $x/c\%$	0			165.41			464.54		
	x	Z_U	Z_L	x	Z_U	Z_L	x	Z_U	Z_L
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.219	1.281	1.292	0.150	0.812	0.816	0.065	0.350	0.352
0.25	0.547	2.021	2.043	0.375	1.282	1.289	0.162	0.553	0.556
0.5	1.094	2.847	2.884	0.750	1.807	1.818	0.324	0.780	0.784
0.75	1.641	3.462	3.518	1.125	2.200	2.215	0.486	0.950	0.956
1.0	2.187	3.965	4.042	1.500	2.523	2.543	0.648	1.089	1.098
1.25	2.734	4.389	4.491	1.875	2.797	2.824	0.809	1.207	1.219
1.75	3.828	5.073	5.238	2.626	3.242	3.290	1.133	1.399	1.420
2.5	5.469	5.801	6.094	3.751	3.724	3.822	1.619	1.607	1.649
5.0	10.937	7.333	8.055	7.502	4.741	5.032	3.238	2.046	2.172
7.5	16.406	8.493	9.409	11.252	5.503	5.860	4.856	2.375	2.529
10.0	21.875	9.440	10.396	15.003	6.139	6.455	6.475	2.649	2.786
15.0	32.812	10.821	11.778	22.505	7.080	7.275	9.712	3.056	3.140
20.0	43.750	11.817	12.760	30.006	7.741	7.854	12.950	3.341	3.390
25.0	54.687	12.604	13.478	37.507	8.253	8.276	16.187	3.562	3.572
30.0	65.625	13.214	13.983	45.009	8.655	8.573	19.425	3.735	3.700
35.0	76.562	13.646	14.289	52.510	8.945	8.751	22.662	3.860	3.777
40.0	87.500	13.922	14.392	60.012	9.123	8.806	25.900	3.937	3.800
45.0	98.437	14.046	14.254	67.514	9.201	8.711	29.138	3.971	3.760
50.0	109.375	13.998	13.809	75.015	9.170	8.423	32.375	3.958	3.635
55.0	120.312	13.761	13.038	82.516	9.016	7.929	35.613	3.891	3.422
60.0	131.250	13.304	11.975	90.018	8.714	7.252	38.850	3.761	3.130
65.0	142.187	12.553	10.710	97.520	8.216	6.451	42.088	3.546	2.784
70.0	153.125	11.425	9.309	105.021	7.462	5.570	45.325	3.221	2.404
75.0	164.062	9.919	7.816	112.523	6.454	4.638	48.562	2.785	2.002
80.0	175.000	8.102	6.273	120.024	5.237	3.682	51.800	2.260	1.589
85.0	185.937	6.088	4.720	127.525	3.891	2.730	55.037	1.679	1.178
90.0	196.875	4.029	3.202	135.027	2.523	1.812	58.275	1.089	0.782
95.0	207.812	2.092	1.761	142.529	1.257	0.962	61.512	0.542	0.415
100.0	218.750	0.000	0.000	150.030	0.000	0.000	64.750	0.000	0.000
l	118.31			90.02			38.85		
α (迎角)	3.00°			2.20°			-0.05°		
前縁半径	3.778			2.208			0.948		

W. STA 0, 165.41間およびW. STA 165.41, 464.54間は同%コードを直線で結ぶこと。

れた3断面の迎角 α は、翼基準面にある各60%C点のまわりにとられている。

こゝに述べる測定実例においては、翼の振り下げ分布を知るために適当な位置の6断面を選んで、その翼断面形状の測定結果から、迎角 α を算出した。なお、模型の基準面Aの平面度、および基準面Bと基準面Cとの平行度は正確に仕上げられている。

5.2.1 模型設計図面寸度の解析

測定を始める前に先づ、図53に示した模型設計図面寸法データから測定に必要な諸寸法および角度を算出する。その結果を図54に示す。

各断面翼弦の迎角 α は、翼根とキックおよびキックと翼端の前縁と後縁を結ぶ直線によって中間断面の前縁と後縁が確定することから式(10)によって求められる。

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{C_R \sin \alpha_R + \frac{C_K \sin \alpha_K - C_R \sin \alpha_R}{y_K} y}{C_R \cos \alpha_R + \frac{C_K \cos \alpha_K - C_R \cos \alpha_R}{y_K} y} \right)$$

$$0 \leq y \leq y_K$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{C_K \sin \alpha_K + \frac{C_T \sin \alpha_T - C_K \sin \alpha_K}{y_T - y_K} (y - y_K)}{C_K \cos \alpha_K + \frac{C_T \cos \alpha_T - C_K \cos \alpha_K}{y_T - y_K} (y - y_K)} \right\}$$

$$y_K \leq y \leq y_T \tag{10}$$

ただし、 C_R 、 C_K および C_T はそれぞれ翼根、キックおよび翼端位置での翼弦長、 α_R 、 α_K および α_T はそれぞれ翼根、キックおよび翼端位置での翼弦の迎角であり、また y_K および y_T はキックおよび翼端のy座標である。

式(10)によって計算した、必要なW. STAにおける迎角 α の値を表22に示す。またそのグラフを図55に示す。

また、図54に示した翼基準面とキック、翼端の間の翼上面60%C線とのなす角 $54'20''$ は60%C線上におけるキックより外側の各断面の Z_U (設計値)の値から求めたものである。さらに翼基準面上60%C

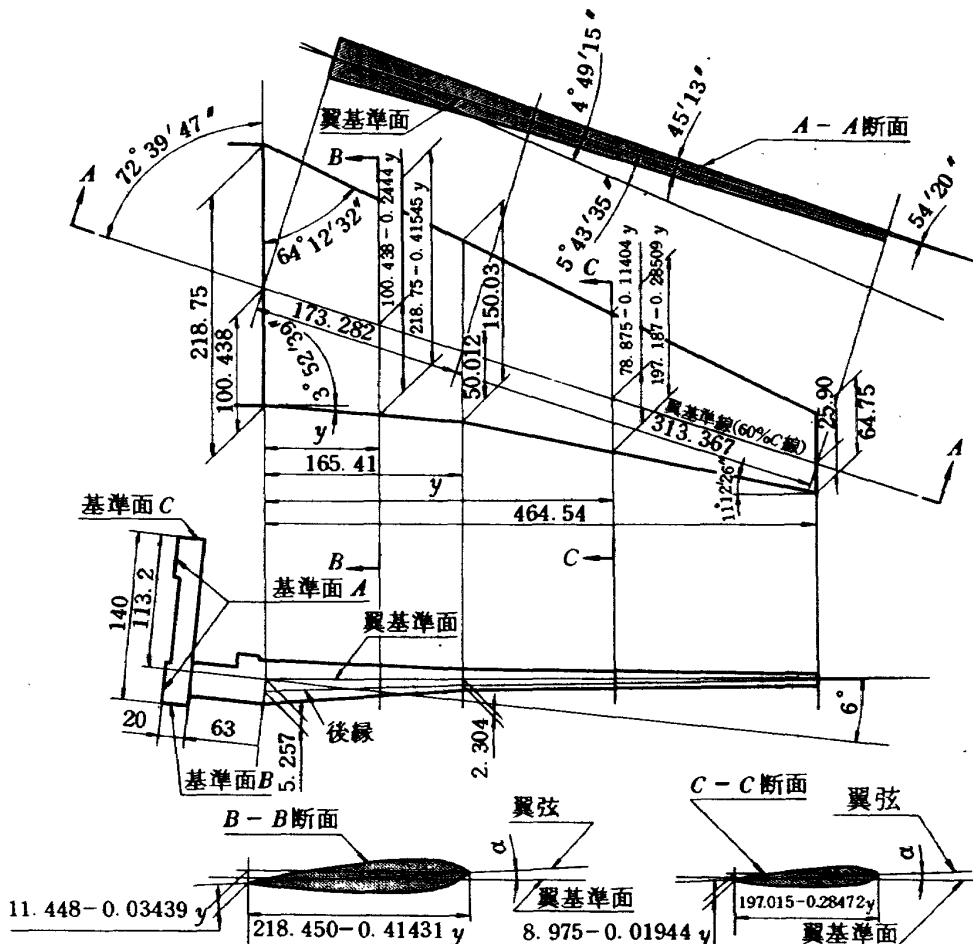


図54 半翼模型図面解析結果

表 22 迎角(α)の計算値

W. STA	20	30	50	82	120
α	2°55'52" (2.931°)	2°53'40" (2.895°)	2°49' 1" (2.817°)	2°40'41" (2.678°)	2°29' 5" (2.485°)
W. STA	140	150	185.41	200	265
α	2°22' 4" (2.368°)	2°18'16" (2.305°)	2° 7'57" (2.133°)	2° 4'48" (2.080°)	1°48' 5" (1.801°)
W. STA	320	365	420		
α	1°29' 23" (1.490°)	1° 9' 23" (1.156°)	0°35' 57" (0.599°)		

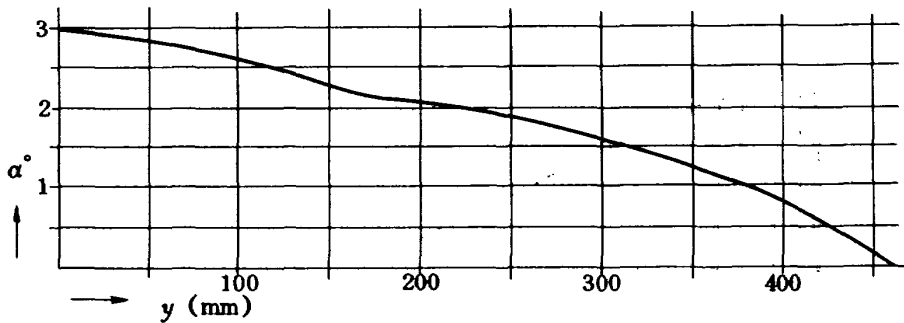


図 55 迎角 α の変化

線とXY平面とのなす角 $\theta = 5^\circ 43' 35''$ は式(17)から計算したものである。

$$\theta = \sin^{-1}(\sin \Gamma \cos(A_{60\%C})) \quad (17)$$

こゝに Γ : 上反角 (設計値 = 6°)

$A_{60\%C}$: 上反角 0° の状態での翼 $60\%C$ 線の後退角 (設計値 = $17^\circ 21' 14''$)

5.2.2 上反角の測定

設計図面に指示された上反角 (設計値 = 6°) を直接測定することはできないので、測定可能な角度、すなわち、キंकより外側の翼上側表面 $60\%C$ 線の模型基準面 B に平行な平面に対する角度 (設計値 = $4^\circ 49' 15''$) の測定値から間接的に求めることにする。
〔測定手順〕 (図 56 参照)

(1) 模型基準面 A の Y 方向セッティング

先づ模型を測定載物台上に定置した 2 つの同サイズ精密 V ブロック上に乗せ、その基準面 A を測定器 Y 軸に平行にセットする。この操作は測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付け、その測定子を基準面 A に当てた状態で測定載物台を Y 方向に送った場合、その指針の振れがなくなるまで V ブロックの微動を以って行う。

(2) 模型基準面 A の Z 方向セッティング

模型をこの状態で、次に基準面 A を測定器 Z 軸に

平行にセットする。この操作は測定アーム先端に取り付けたテコ式ダイヤルゲージ測定子を Z 方向に送りながら基準面 A の上下 2 面に当てた場合、その読みが同一になるように翼先端を支えた豆ジャッキの微動を以って行う。以上測定手順(1)および(2)の操作で基準面 A は測定器 YZ 平面に平行にセットされる。

(3) 上反角 Γ の測定

先づ、キंकより外側の翼上側表面 $60\%C$ 線の測定器 XY 平面に対する傾斜角を測定する。この操作は、予め翼表面に $60\%C$ 線を線引きしておき、その線に沿ってキंकより外側の部分に乗せたクリノメータの読みを以って行う。次にその測定値に $54' 20''$ を加え、 $60\%C$ 線と XY 平面とのなす角 θ の測定値 θ_M を算出し式(18)によって上反角 Γ の測定値 Γ_M を間接的に求める。

$$\Gamma_M = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_M}{\cos(A_{60\%C})} \right) \quad (18)$$

測定結果を図 56 に示す。

5.2.3 翼平面形状寸度の測定

〔測定手順〕 (図 57 参照)

(1) 模型基準面 A の Y 方向セッティング

この操作は前節(5.2.2)の測定手順(1)と同じ方法で行われる。

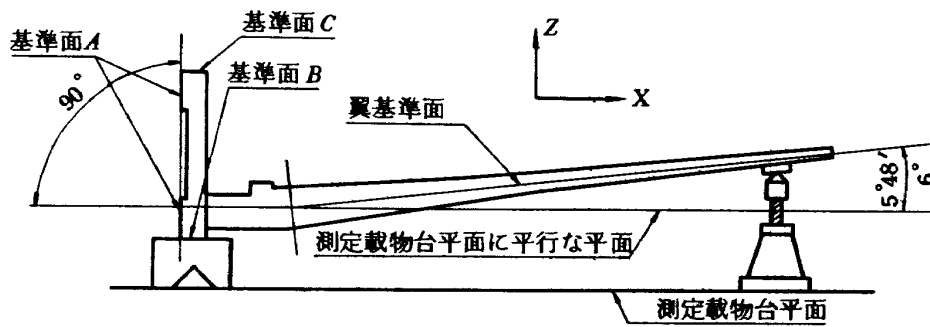


図 56 上反角測定説明図および測定結果

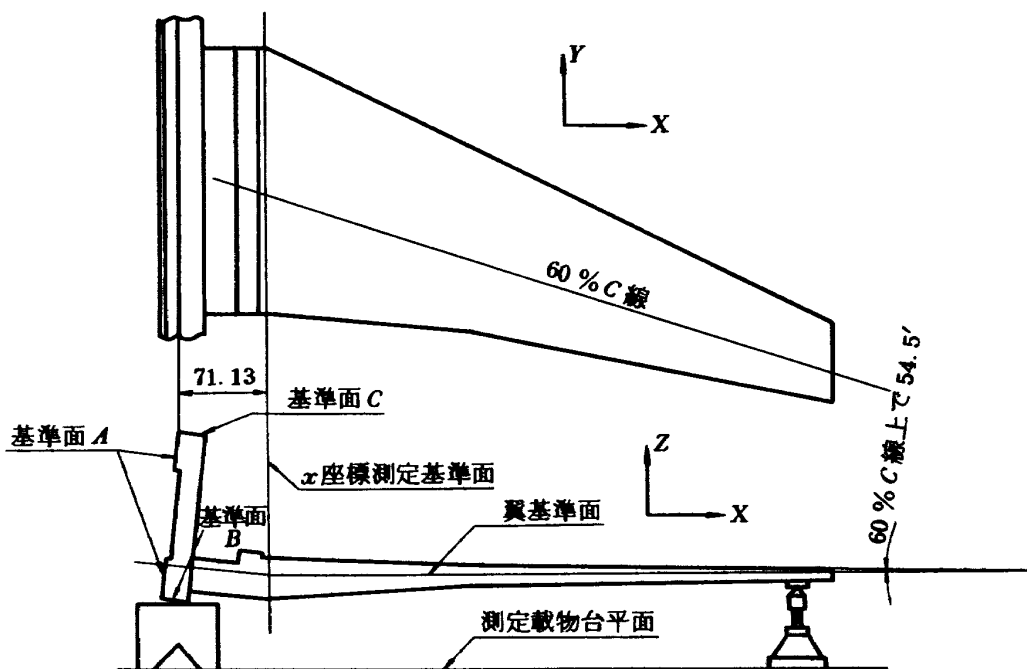


図 57 翼平面形測定説明図

(2) 翼基準面の測定載物台平面に対する平行セッティング

模型のキंकより外側の翼上側表面60%*C*線と測定載物台平面とのなす角を54'20"にセットする。

この操作はキंकより外側の翼上側表面60%*C*線に沿って乗せたクリノメータの読みと翼端を支えた豆ジャッキの微調を以って行う。この操作で翼基準面は測定載物台平面に平行にセットされる。

なお、こゝに用いた角度54'20"は翼基準面とキंकより外側の部分の翼上面60%*C*線とのなす角であり、60%*C*線上における各断面の Z_U (設計値)の値から求めたものである。(図54参照)

(3) *x*座標測定基準面の決定

測定アーム先端に、図15で示した二次元座標測定

装置を取付け、模型の基準面*A*と基準面*C*との交線の*x*座標を測定し、この位置での*x*座標表示カウンタの読みを零にセットする。さらにこの位置から*X*方向に71.13mmだけ送り、この位置において測定器*YZ*平面に平行な平面を*x*座標測定基準面として決定し、この位置で再度、読みを零にセットする。

なお、こゝに用いた数値71.13mmは上反角の測定値5°48'、および図53より $83 \times \cos(5^\circ 48') - 113.2 \times \sin(5^\circ 48') = 71.13$ として求めた。

4 翼平面形状測定

測定載物台を*X*方向に39.71mm(図58参照)送り、この位置で*X*方向の動きをクランプし、次で*Y*方向に送り、測定顕微鏡のレティキュール交点と前縁とが合致した点(図58の点(1))において*y*座標表示力

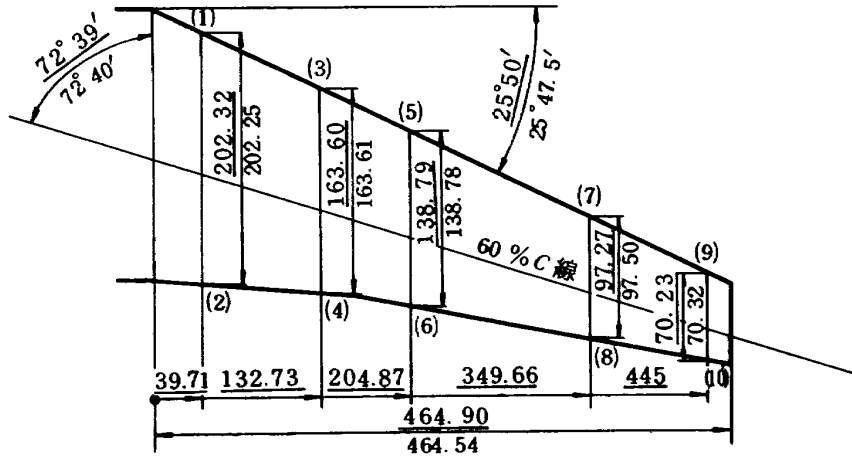


図 58 翼平面形状寸度測定結果

ウンタの読みを零にセットし、順次測定点(2), (3)…(10)の x, y 座標を測定して行く。

図 58 に、その測定結果およびその個所の設計値を併せて示す。

5.2.4 翼振り下げ角の測定

最初に述べたように、翼の振り下げ分布を見るために、W. STA 50, 82, 150, 185.41, 265 および 365 の 6 断面を任意に選んで、その断面形状の測定結果から模型基準面 B に対する各断面の迎角 α を算出した。なお測定に際しては、測定スペースの関係から模型を上下逆転した状態で測定しなければならなかった。

またこの模型も大形で三次元座標測定器本体の測定載物台上では測定できないので、副測定載物台および Z' 系が用いられた。以下その測定手順を示す。なお図 59 はその説明図である。

〔測定手順〕

(1) 模型基準面 A の X 方向セッティング

この操作は、平行セッティングの方向 Y が X になっただけで操作は 5.2.2 節の測定手順(1)と同じ方法で行われる。

(2) 60% C 線の測定器 XY 平面に対する平行セッティング

翼下側表面(測定状態では上向き)上 60% C 線を測定器 XY 平面に対して $45' 13''$ にセットする。この操作は、前節(5.2.3)の測定手順(2)と同じ要領で行われる。

この操作で 60% C 線は測定器 XY 平面に平行にセ

ットされる。こゝに用いた角度 $45' 13''$ は翼基準面とキックより外側の部分の翼下面 60% C 線とのなす角であり、60% C 線上における各断面の Z_L (設計値) の値から求めたものである。(図 54 参照)

(3) y 座標測定基準面の決定、および各測定断面位置の精密ポンプ

測定アーム先端にポンチング機構を取付け、そのポンチ先端を模型の基準面 A と基準面 B との交線に合致させ、この位置からポンチを Y 方向に 85.28 mm 送った位置において測定器 XZ 平面に平行な平面を y 座標測定基準面と決定し(図 59(b)参照)、この位置から逐次、y 座標が 50, 82, 150, 185.41, 265 および 365 で x 座標が 60% C 線付近の点を翼表面上にポンチングしておく。なお、こゝに用いた数値 85.28 mm は上反角の測定値 $5^\circ 48'$ および模型胴体部設計図面寸法より $83 \cos(5^\circ 48') + (140 - 113.2) \sin(5^\circ 48') = 85.28$ として求めた。

(4) 測定断面翼弦の X 方向セッティング

模型の基準面 A と基準面 C との交線を測定器 X 軸に対して測定断面翼弦の振り下げ角の設計値 (α_D) (表 20 参照) だけ傾ける。この操作は V ブロック上面にクリノメータを置き、副測定載物台の垂直面内微調回転機構を用いて行う。

この操作によって測定断面翼弦は、ほゞ測定器 X 軸に平行にセットされる(図 59(c)参照)。なお、この操作で測定手順(1)および(2)で行ったセッティングが僅か崩れるので再度チェックする。

(5) 測定断面位置の決定

測定手順(3)で用いたポンチング機構の代りに測定検出器を、その測定触針が下向き 45° になるように測定アーム先端に取付け、測定触針先端を測定断面 A (図 59(a)参照) の位置を印したポンチング点に合致 (20 倍測定顕微鏡使用) させることによって測定断面位置を決定する。

- (6) x 座標の決定
- (7) z 座標の決定
- (8) 翼上面測定
- (9) 測定触針の姿勢変更
- (10) 測定断面および x 座標の再度決定
- (11) 翼下面測定

以上測定手順(6), (7), (8), (9), (10) および(11)の操作は 5.1.2 節(4)の測定手順(4), (5), (6), (7), (8) および(9)と全く同じ要領で行われる。ただし $\alpha_1 = 25^\circ 50'$ として行う。

こゝに $25^\circ 50'$ は翼平面形状測定結果 (図 58 参照) からとった前縁後退角の実測値である。

以上のような操作を測定断面 F までの 6 回行い、その各測定値から各測定断面の翼弦を最小二乗法によって測定座標系に関する一次式の型 (図 8 参照) で求め、その x の係数 a を用いて測定断面翼弦の模型基準面 C に対する振り下げ角の測定値 α_M を式(19)によって算出する。

$$\alpha_M = \alpha_D + \tan^{-1} a \tag{19}$$

こゝに α_D は測定手順(4)で述べた振り下げ角の設計値である。実測結果を表 23 に示す。

また、図 60 にその実測値と設計値との比較を示す。実測結果から模型基準面 C に対する設定迎角は設計値に対し 1° 前後の誤差があるが、振り下げ角はほゞ

表 23 断面翼郭振り下げ角測定結果

SECTION	STATION	$\alpha_D(^{\circ})$	$\alpha_M(^{\circ})$	ERROR
A	50	2.817	2.125	-0.692
B	82	2.678	1.639	-1.039
C	150	2.305	1.241	-1.064
D	185.41	2.133	1.037	-1.096
E	265	1.801	0.660	-1.141
F	365	1.156	-0.373	-1.529

設計値に近いことがわかる。

なお、測定の結果から $\delta = \tan^{-1} a$ の値が 1° 前後なので、測定の目的が翼断面形の測定の場合には $-\delta$ だけ傾けて再度測定を行わなければならないのであるが、本実例は翼弦の振り下げ角の測定が目的なので再度測定は行わなかった。

第 6 章 特殊測定

こゝに言う特殊測定とは、一般に市販されている測定器、たとえば内、外側マイクロメータ、キャリパゲージ、ハイトマイクロ、各種投影器等では測定できないような特殊な部位の測定であって、この種の測定に対して三次元座標測定器の特殊性を巧みに利用して行った数多くの測定例の内の数実例について述べる。

6.1 フレーキングを生じたボールベアリング・レース内面のフレーキング形状測定

ある荷重を受けて回転するボールベアリング・レース内面やボールは絶えず繰返し応力が加っているので疲れ破損を生じ、表面の一部がウロコ状にはが

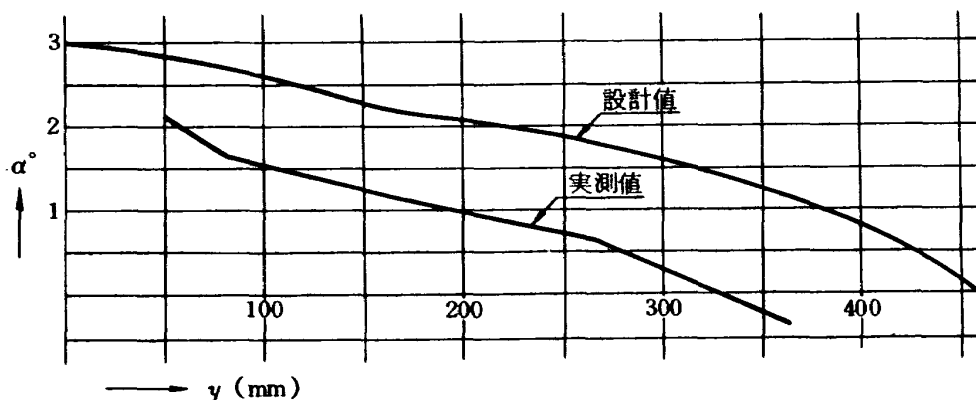


図 60 翼振り下げ角 α の実測値と設計値との比較

れる。これをフレーキングと呼んでいるのであるが、そのフレーキング形状測定のための要求があったので、これに対し実際に行った測定方法を述べ、その測定結果の一部を示す。

インナレース内面およびボール表面のフレーキング形状測定には、今まで述べてきたストレート測定触針を鉛直下向きに保持して測定できるが、アウトレース内面の測定の場合には、このようにすると測定物と測定検出器とが干渉して測定できない。このような場合には、図61に示すような曲り測定触針を用いる。

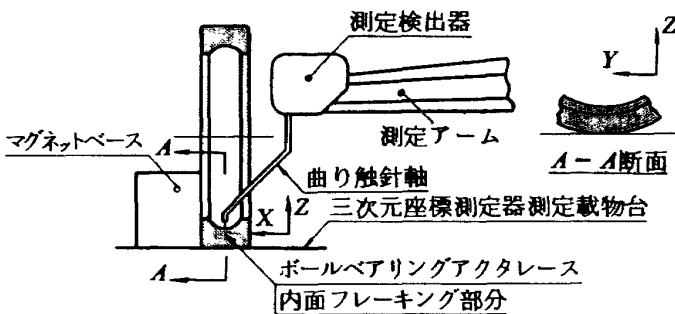


図 61 ボールベアリング・アウトレース内面
フレーキング形状測定

この曲り測定触針の形状は種々のものを作ることができ、測定精度には影響を与えないので応用範囲は極めて広いものと思われる。

測定はフレーキング深さの最も大きいと思われる部分について X Z 断面および Y Z 断面の形状を 0.1 mm 間隔で X または Y 方向に送りながら z 座標を測定するという方法で行われた。

その測定結果の一部を図62、図63および図64に示す。測定間隔を0.1mmとしたので断面形状は折線で表わされているが、実際はもっと凹凸が激しいものと思われる。図では紙面スペースの関係上、Z方向を100倍、XおよびY方向を50倍として表示している。

なお、図中の二点鎖線で示した想像線は、フレーキングのない部分の測定値から求めた断面曲線を重ね合わせたものである。図65に測定中の写真を示す。

6.2 スパー・リブ結合模型の波状ウェブの板厚測定

図66に示すような、材質CFRPで作られたスパー

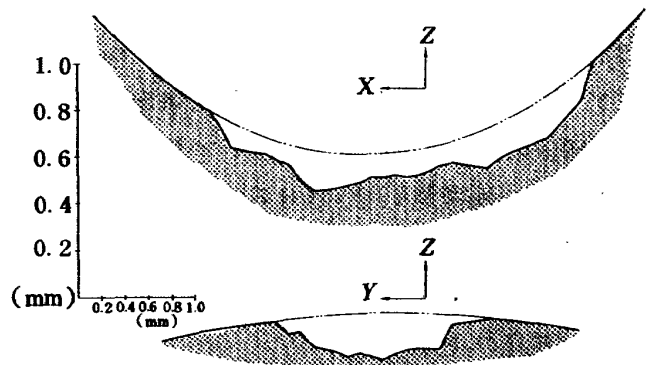


図 62 ボールベアリング・インナレース・
フレーキング形状測定結果

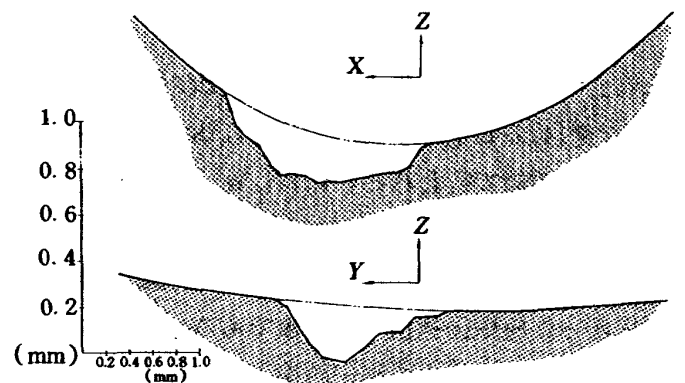


図 63 ボールベアリング・アウトレース・
フレーキング形状測定結果

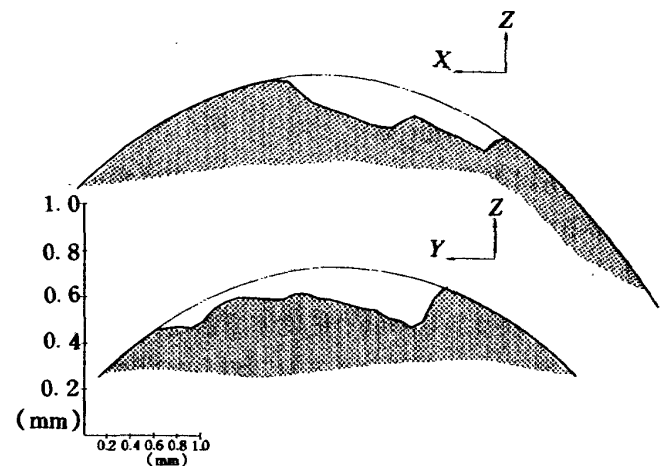


図 64 ボールベアリング・ボール・
フレーキング形状測定結果

・リブ結合部模型の強度試験を行うのに、先 模型の各主要部の寸法を測定しておく必要がある。材質がCFRPであるので寸法精度はやかましく要求されていないので、ノギス等で充分なのであるが、強度に影響を及ぼす波状ウェブ部の厚さが指示された寸法かどうかのチェックはノギスでは出来ず、キャリパ

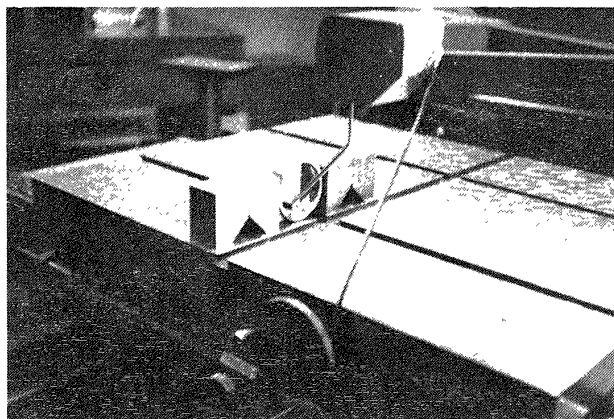


図 65 ボールベアリング・アウトレース・フレーキング形状測定

で、ノギス、マイクロメータ、またはキャリパゲージ等で測定するように簡単には行かないが、この種の測定でも手際よく高精度に行うことができる。

測定要求は、図66に示す8部位のおおののに対し上、中、下、3個所、合計24個所の厚さ $t_{i,1}$, $t_{i,2}$ および $t_{i,3}$ ($i=1, 2, \dots, 8$) の測定である。測定はミクロンまで表示されるが、4捨5入で少数点以下2桁まで求めた。

以下その測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) ケガキ作業

先づ、測定の前に端面 a, b および c に、その端面の Y 方向中心を示すケガキ線を入れる(図66(b)参照)。

(2) 面 d の XZ 平面に対する、および面 a の YZ 平面に対する平行セッティング

大形精密Vブロック2コでリブを両方から狭んで固定し(図66(a)参照)、端面 c を XY 平面に平行に保持した状態でその面 d (図66(c)参照)を測定器 X 軸に平行にセットする。

ゲージでもそのふところのスペースに限度があるので、この場合には全く測定不可能である。

単なる厚さ測定ではあるが、通常の簡単な方法では測定できないので、三次元座標測定器を用いて測定したのが、こゝに示す測定実例である。

三次元座標測定器は厚さ測定の専用器ではないの

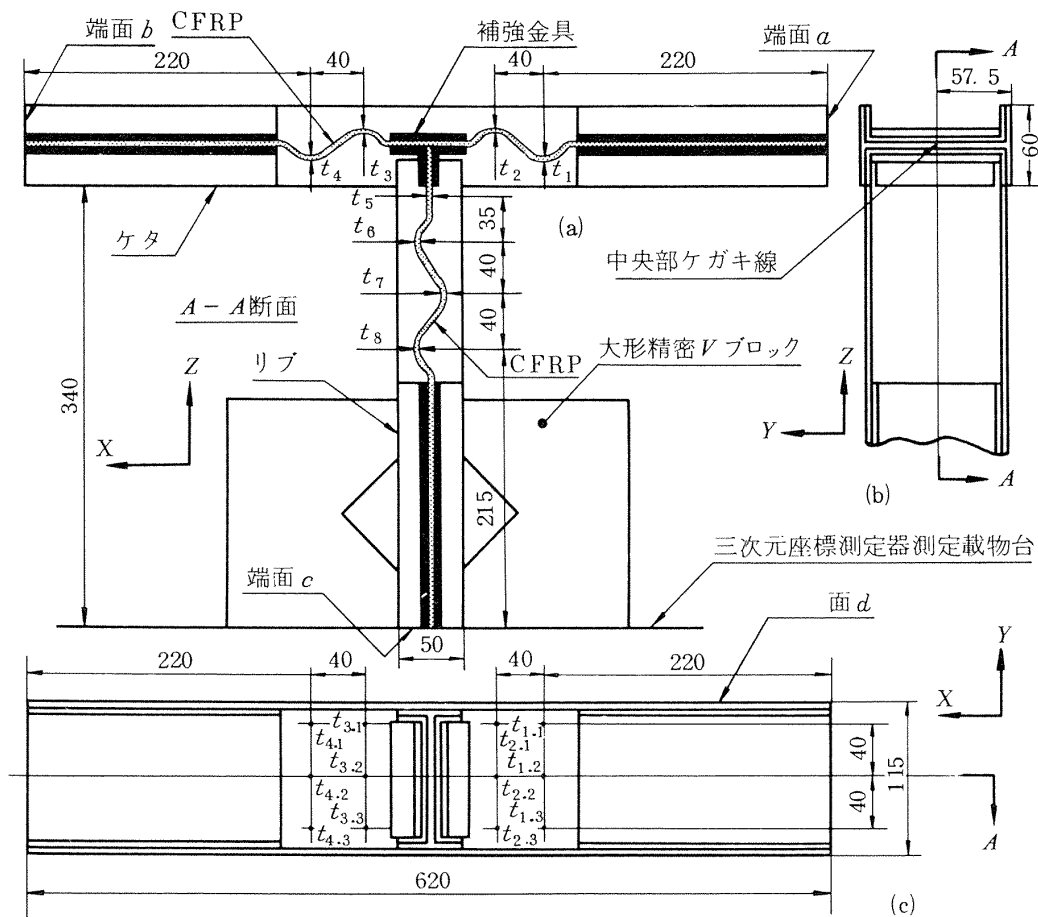


図 66 スパー・リブ結合模型の波状ウェブ板厚測定説明図

この操作は測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付け、その測定子を面 d に当てた状態で測定載物台を X 方向へ送った場合、指針の振れが小さくなるまで V ブロックの微動を以って行う。この操作で面 d は XZ 平面には Δ 平行にセットされると同時に面 a も YZ 平面には Δ 平行にセットされる。

(3) x 座標および y 座標の決定

測定アーム先端に測定検出器を、その測定触針が 45° 下向きの状態で取付け、触針先端を端面 a の中心を示すケガキ線に合致させ、その位置で y 座標表示カウンタの読みを零にセットし、次に端面 a の x 座標を測定し、この位置で x 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

(4) 厚さ t_1 および t_2 測定のための、その上面 z 座標測定

測定載物台を X 方向に 220mm 、 Y 方向に 40mm 送り、この位置での波状ウェブ上面の z 座標を測定する。

説明のためこの時の測定値を記号 ($u_{1,1}$) で表わすことにする。次に X 方向は固定のまま、 Y 方向の座標 0 および -40mm の位置での波状ウェブ上面の z 座標を測定する。上にならってこの時の測定値を $u_{1,2}$ および $u_{1,3}$ で表わす。

次に t_2 を測定するため、 x 座標を 260 で固定し、この位置で y 座標を順次 40 、 0 および -40 にセットし、この位置での波状ウェブ上面の z 座標を測定する。この時の測定値を $u_{2,1}$ 、 $u_{2,2}$ および $u_{2,3}$ で表わす。

(5) 測定触針の姿勢変更および x 座標、 y 座標の再度決定

測定手順(4)での測定点と x 、 y 座標を同じくする波状ウェブ下面の z 座標測定のため、3.1 節測定手順(7)で述べた測定触針の姿勢変更操作を行った後、上述の測定手順(3)に従って再度 x 座標および y 座標の決定を行う。

(6) 厚さ t_1 および t_2 測定のための、その下面 z 座標測定

上述の測定手順(4)に従って、上面測定の時と同じ x および y 座標にセットして順次下面 6 点の z 座標を測定する。その測定値を順次 $l_{1,1}$ 、 $l_{1,2}$ 、 \dots 、 $l_{2,3}$ すれば、求める指定位置での波状ウェブの厚さ $t_{1,1}$ 、

表 24 スパー・リブ結合模型の波状ウェブの板厚測定結果

単位: mm

厚さ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
1	2.09	2.11	2.12	2.09	0.83	1.53	1.53	1.53
2	2.10	2.05	2.09	2.11	0.87	1.50	1.54	1.51
3	2.05	2.04	2.07	2.06	0.82	1.46	1.47	1.48
2	2.19	2.13	2.18	2.15	0.89	1.65	1.63	1.68
2	2.14	2.17	2.22	2.14	0.94	1.62	1.61	1.70
3	2.11	2.09	2.17	2.12	0.89	1.61	1.64	1.61
3	2.41	2.48	2.42	2.39	0.88	1.62	1.63	1.68
2	2.37	2.43	2.43	2.41	0.93	1.65	1.70	1.59
3	2.37	2.50	2.43	2.38	0.94	1.68	1.69	1.66
4	2.42	2.41	2.40	2.37	0.93	1.53	1.53	1.57
2	2.37	2.38	2.33	2.33	0.90	1.65	1.70	1.65
3	2.40	2.44	2.28	2.31	0.88	1.66	1.82	1.71
設計値	2.4	2.4	2.4	2.4	0.95	1.75	1.75	1.75

$t_{1,2} \dots t_{2,2}$ 、 $t_{2,3}$ は両測定値の差として求まる。すなわち、

$$t_{i,j} = u_{i,j} - l_{i,j} \quad (20)$$

$$(i=1, 2 \quad j=1, 2, 3)$$

t_3 、 $t_4 \dots t_8$ の測定も全く同様な手順に従って行う。参考のため、測定結果の一部を表 24 に示す。

6.3 連続板振動実験用試験片の板厚測定

多くの場合、測定時の測定触針軸の姿勢は斜め 45° 下向きおよび斜め 45° 上向きが一般的である。そしてこの姿勢は x 座標を精密に測定しなければならない場合あるいは、傾斜が急な曲面の測定のような場合には極めて都合のよい姿勢である。しかし測定物によっては x 座標および y 座標の測定精度は 0.1mm 程度でよい場合がある。たとえば水平におかれた平板の板厚の測定などでは上下で測定点が 0.1mm 程度ずれても測定値には殆んど影響ない。または触針軸が斜め 45° の姿勢の時、測定物と触針軸とが接触してしまい、測定できない場合等には、触針軸を鉛直に保持して測定する方法が採られる。

これから述べる測定実例はこの種の測定の 1 例である。測定物は図 67 に示すような連続板振動実験用試験片でその厚さ t を A および B 部分について、それぞれ指示された 54ヶ所、合計 108ヶ所において測定することを目的とする。

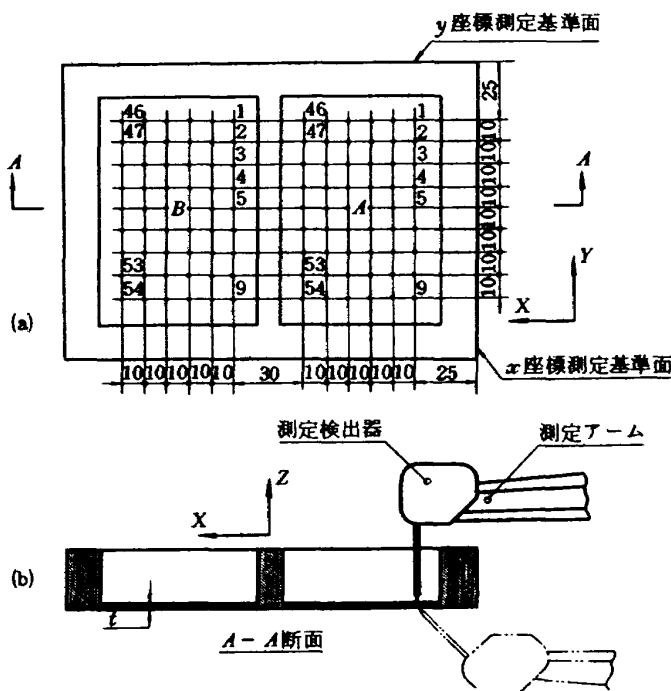


図 67 連続板振動試験片板厚測定説明図

厚さ t は 1 mm および 0.5 mm のもの 2 種類で、測定方法は、図 67(b) に示すように上、下面の z 座標を測定してその差として厚さ t を求めると言う方法（6.2 節で述べた方法と同じ方法）が採られた。以下その測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) 試験片測定面の XY 平面に対する、および x 座標測定基準面の YZ 平面に対する平行セッティング

試験片を測定載物台上、下面測定の際に測定検出器が自由に挿入できるだけのスペースをとって、2 コの同サイズ大形精密 V ブロック上に定置することによって試験片測定面を XY 平面に平行に保持し、次に x 座標測定基準面を YZ 平面には \sphericalangle 平行にセットする。この操作は前節 6.2 の測定手順(2)と同様に行われる。

(2) x 座標および y 座標の決定

測定検出器を、その触針軸が鉛直下向きになるような姿勢で測定アーム先端に取付け、その触針先端を x 座標測定基準面に合致させ、その位置で x 座標表示カウンタの読みを零にセットし、次に y 座標測定基準面に合致させ、その位置で y 座標表示カウンタの読みを零にセットする。

なお、最初に述べたように測定点の x 、 y 座標は

それ程正確である必要がなく、上記の合致精度は土 0.1 mm 程度で充分なので、合致操作には 20 倍測定顕微鏡は用いず目測で行う。

(3) 上面 z 座標測定

x および y 座標決定後、順次指定された座標を追って各測定点上面の z 座標を測定する。こゝで各測定値を u_{Ai} 、 u_{Bi} ($i=1, 2, \dots, 54$) で表わすことにする。

(4) 測定触針の姿勢変更

下面測定のため、3.1 節の測定手順(7)で述べた測定触針の姿勢変更操作を行う。こゝで、下面測定の場合、上面測定の場合と同じように触針を鉛直上向きに保持したのでは触針先端を測定物の両測定基準面に合致させることが困難なので、下面測定の場合には従来通り触針は斜め 45° 上向きに保持する。

(5) x 座標および y 座標の再度決定

測定手順(2)に従って x 座標および y 座標を再度決定する。

(6) 下面 z 座標測定

x および y 座標決定後、順次指定された座標を追って各測定点下面の z 座標を測定して行く。

こゝで下面での各測定値をそれぞれ l_{Ai} 、 l_{Bi} ($i=1, 2, \dots, 54$) とすれば

$$\left. \begin{aligned} t_{Ai} &= u_{Ai} - l_{Ai} \\ t_{Bi} &= u_{Bi} - l_{Bi} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

以上のような測定は市販のキャリパゲージでも部分的には行えるが、そのふところスペースの限度までである。それ以上の大形測定物、または特殊形状の測定物になると三次元座標測定器での、この種の測定方法が有用になってくる。表 25 に本測定実例での測定結果の 1 部を示す。

6.4 ガンタンネル・ノズルの内面形状測定

ノズル等の内面形状測定の場合には、ストレート触針では測定物と測定検出器とが接触して深部まで測定することができない。このような場合には 6.1 節でも述べた曲り触針が用いられる。こゝに示す測定実例では、ノズル内面の形状がその端面からの最大距離 120 mm まで、および最小内径 10 mm まで測定できるような曲り触針が用いられた。測定対象物によっては曲り触針の形状を適当に設計することにより、さらに深部の狭いところの内面形状を測定する

表 25 連続板振動実験用試験片の板厚測定結果

単位：mm

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_{iA}-1.00$	+0.01	+0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02
i	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$t_{iA}-1.00$	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	0	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01
i	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
$t_{iA}-1.00$	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
i	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
$t_{iA}-1.00$	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.02		
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_{iB}-1.00$	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07
i	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$t_{iB}-1.00$	-0.07	-0.07	-0.06	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.04
i	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
$t_{iB}-1.00$	-0.04	-0.02	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05
i	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
$t_{iB}-1.00$	0.06	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07		

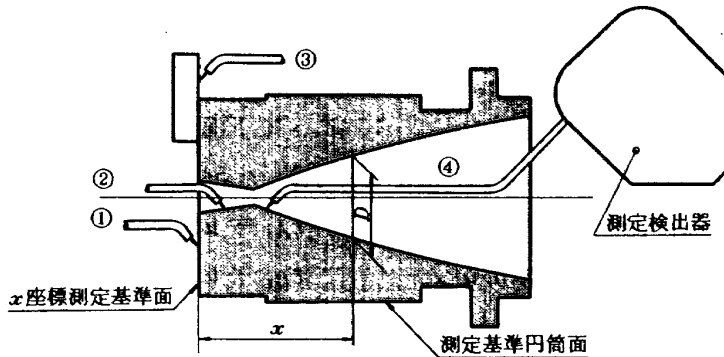


図 68 ガンタンネル・ノズルの内面形状測定方法説明図

ことができる曲り触針を作ることも可能である。

測定要求は、図68に示すように x 座標測定基準面から指定された x 座標の位置におけるノズル内径 D の測定である。測定は図68に示す測定基準円筒の中心軸とノズル中心軸とは合致しているものとして行った。

〔測定手順〕

- (1) ノズル中心軸の X 軸に対する平行セッティング
ノズルブロックを測定載物台上に置いた精密 V ブロックの V 面に定置することによって、先づノズル中心軸を XY 平面に平行にセットする。
次に測定基準円筒の稜線を X 方向に平行にセット

する。この操作は測定アーム先端にテコ式ダイヤルゲージを取付け、その測定子を測定基準円筒の側面稜線に当てた状態で測定載物台を X 方向に送った場合、その指針の振れがなくなるまで V ブロックを微動させると言う方法で行われる。以上の操作でノズル中心軸は X 軸に平行にセットされる。

- (2) ノズル中心軸を含む XZ 平面に平行な測定断面の決定

測定基準円筒側面に直角定規を当て、その先端エッジ K と測定アームに取付けた測定検出器の触針先端とを合致させ (20倍測定顕微鏡使用)、この位置よりマイクロメータによる測定基準円筒直径実測値

の $\frac{1}{2}$ だけY方向に送った位置において測定器XZ平面に平行な平面をノズル中心軸を含む測定断面として決定し、この位置でY方向の動きをクランプする。

(3) x座標の決定

ノズルブロックのx座標測定基準面のx座標を測定し、この位置でx座標表示カウンタの読みを零にセットする。(図68①参照)

(4) ノズル左側部の下面測定

図68②に示された状態で指定されたx座標位置における下面のz座標を順次測定して行く。測定実例では端面から距離12mmの位置まで測定可能であった。

(5) 測定触針の姿勢変更

下面測定終了後、上面測定のため3.1節の測定手順(7)で述べた測定触針の姿勢変更操作を行う。

(6) ノズル中心軸を含むXZ平面に平行な測定断面およびx座標の再度決定

姿勢変更によって測定触針先端の位置が僅か変化するのので、上記測定手順(2)および(3)に従ってノズル中心軸を通る測定断面およびx座標の再度決定を行

う。

(7) ノズル左側部の上面測定

測定手順(4)と同様に指定されたx座標位置におけるノズル上面のz座標を順次測定して行く。

(8) ノズル右側部の測定

図68におけるノズル右側部を測定するためノズルブロックを水平面内で180°反転して再び上記測定手順(1)および(2)の操作を経て、図68③に示す方法にて測定基準端面のx座標を決定後測定手順(4),(5),(6)および(7)に従ってノズル右側部の内面形状の測定を続ける。

求めるノズル内径は上面z座標測定値 $Z_U(x)$ と下面z座標測定値 $Z_L(x)$ との差として算出する。すなわち

$$D(x) = Z_U(x) - Z_L(x) \tag{2}$$

以上の測定手順に従って行った測定結果を参考のため表26に示す。

6.5 その他の特殊測定

三次元座標測定器を用いた数多くの特殊測定例の中からさらに二、三の実例について述べてみる。

表 26 カンタンネル・ノズル内面形状測定結果

単位：mm

x	D			x	D			x	D		
	設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)
2.000	13.433	13.408	- 25	60.500	34.370	34.323	- 47	102.000		56.247	
4.000	12.866	12.850	- 16	63.000	35.920	35.919	- 1	105.000		57.664	
6.000	12.300	12.290	- 10	65.500	37.430	37.400	- 30	108.000		59.023	
8.000	11.733	11.733	0	68.000	38.880	38.891	+ 11	110.000	59.780	59.819	+ 39
10.000	11.166	11.165	- 1	70.500	40.270	40.268	- 2	111.000		60.368	
12.000	10.599	10.593	- 6	72.000		41.066		114.000		61.670	
33.000		11.822		75.000		42.587		117.000		62.951	
36.010	14.932	14.814	-118	78.000		44.120		120.000	64.120	64.204	+ 84
38.000	16.780	16.680	-100	80.000	45.020	45.065	+ 45	123.000		65.430	
40.500	19.090	19.002	- 88	81.000		45.684		126.000		66.671	
43.000	21.360	21.227	-133	84.000		47.246		129.000		67.904	
45.500	23.460	23.352	-108	87.000		48.814		132.000		69.130	
48.000	25.460	25.373	- 87	90.000	50.270	50.278	+ 8	135.000		70.340	
50.500	27.370	27.322	- 48	93.000		51.958		138.000		71.545	
53.000	29.240	29.194	- 46	96.000		53.427		141.000		72.725	
55.500	31.050	30.993	- 57	99.000		54.836		144.000		73.894	
58.000	32.770	32.695	- 75	100.000	55.170	55.204	+ 34	147.000		75.075	
								150.000	76.260	76.279	+ 19

6.5.1 角度の測定

三次元物体のある面の傾斜角度等の精密測定には、一般にクリノメータが用いられる。しかし、クリノメータで測定する場合には、測定しようとする平面がある程度大きく、クリノメータが安定して置けるだけの面積が必要である。測定しようとする傾斜面の長さが 20mm 以下では測定不可能であろう。このような場合にも三次元座標測定器は有効に用いられる。

こゝに示す測定実例は、図69に示すようなTF500 C 2段模型と名の付く平板模型で、その後縁部分の下方へ折れた角度 θ を 3 断面 A, B および C について測定したものである。測定傾斜面の長さが約 5 mm なのでクリノメータでは測定できず、三次元座標測定器で測定することにした。以下その測定手順を示す。

〔測定手順〕

(1) 面 b の XY 平面に対する、および面 a の XZ 平面に対する平行セッティング

測定載物台上に精密Vブロックを置き、その上に模型を定置する。模型の面 b と面 c (図69参照) は精密に平行に仕上げられているので、この状態で面 b は測定器 X 軸に平行にセットすることによって面 a は XZ 平面に平行にセットされる。

(2) y 座標の決定

測定アーム先端に測定検出器をその測定触針が斜め 45° 下向きの状態で取付け、触針先端を面 a に合致させ、この位置で y 座標表示カウンタの読みを零

にセットする。この場合の合致精度はあまり必要はないので、目測で行う。

(3) 後縁傾斜面測定部 X 方向 2 点の z 座標測定
測定載物台を Y 方向に 10mm 送り、この位置で Y 方向の動きをクランプし、触針先端を後縁に合致 (目測) させ、この位置より X 方向に 3.5mm 送った位置での傾斜面上面の点 P₁ の z 座標を測定し (測定値を z₁(A) とする)、次にこの位置より X 方向後縁側に 3mm 送り、この位置での傾斜面上の点 P₂ の z 座標を測定する (測定値を z₂(A) とする)。同様な操作を B および C 断面に対しても行い、測定値 z₁(B), z₂(B), z₁(C) および z₂(C) を求める。

傾斜角はこれらの測定値から式(23)によって算出する。

$$\theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{z_1(A) - z_2(A)}{3} \right),$$

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{z_1(B) - z_2(B)}{3} \right),$$

$$\theta_C = \tan^{-1} \left(\frac{z_1(C) - z_2(C)}{3} \right) \quad (23)$$

この測定方法は 3.1 節の測定手順(1)で述べた傾斜角の測定方法と同じであるので、測定精度もそれに準ずる。表27に、この場合の実測結果を示す。

表 27 傾斜角測定結果

単位：度

規模の傾斜角種類	5°		10°		15°		20°	
	A	B	A	B	A	B	A	B
θ_A	5.02	4.98	10.05	9.90	14.90	14.83	19.89	19.91
θ_B	5.06	4.91	9.92	9.96	14.84	14.86	19.94	19.89
θ_C	4.96	5.02	9.85	10.01	14.73	14.86	19.87	19.88

6.5.2 平板模型先端部尖鋭度の測定

機械の直線部分の真直度、または機械の平面部分の平面度、平面部分相互の平行度および直角度、さらに機械の円形部分の真円度、同心度または円筒度等に関しては、一般にその表示法、測定方法も明確に決められており、測定器も完備されているが、尖鋭度に関しては、その必要性および測定の難しさなどから、その表示法、測定方法は定まっておらず、

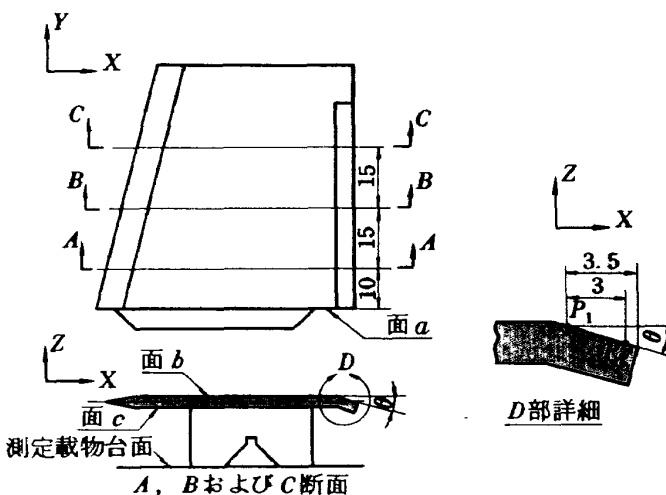


図 69 後縁角度測定方法説明図

また実際に測定も極めて厄介なものである。

こゝに示す測定実例は研究部の依頼により行ったもので、図70に示すような平板模型先端の尖鋭度をその3断面について測定したものである。

測定は3.1節で述べた翼断面の前縁近傍を測定す

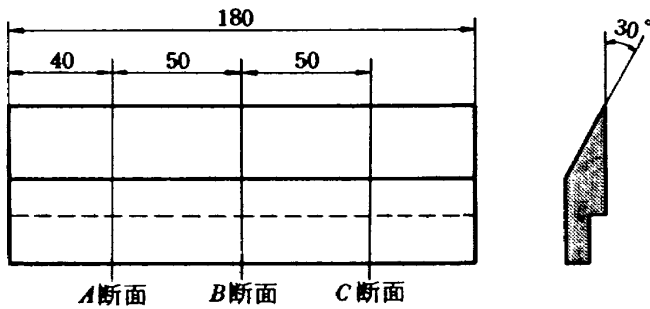


図70 平板模型

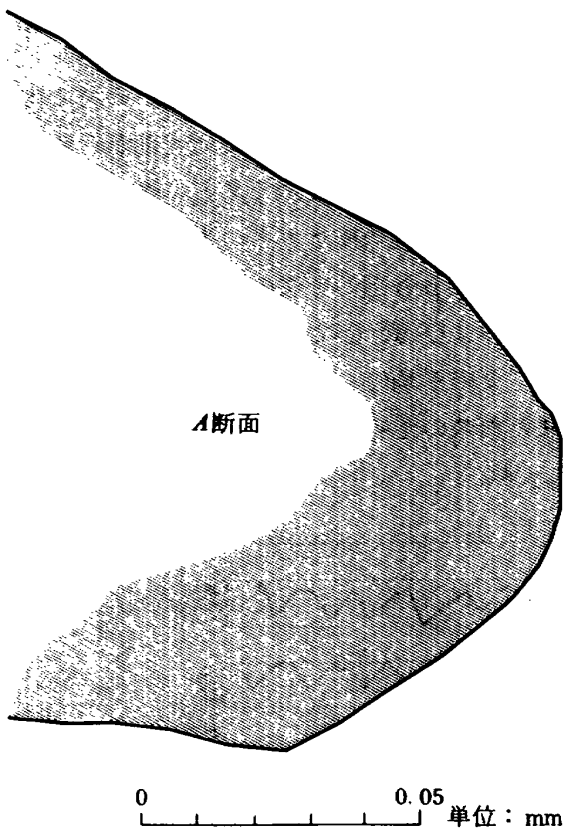


図71 平板模型先端形状測定結果

る方法と全く同じ方法で行った。測定間隔は先端付近で 2μ ，その他は $5\sim 10\mu$ 間隔で行った。その実測結果の一部を参考のため図71に示す。図は倍率1,000倍での断面形状であり、先端付近は測定精度も悪く、実断面が果してこのような形状をしているものなのかどうかは確めるすべもない。尖鋭度を先端半径 R で表示するものとすれば、図71から尖鋭度 $R=30\sim 35\mu$ と言うところである。

6.5.3 表面あらしの測定

表面のあらしはでこぼこの最大の高さで表わすことができる。JIS B 0601で採用しているのはこの簡単な表示法である。この最大の高さ(通常これを H_{max} で表わす)は測定しようとする表面に直角な平面による断面の輪郭曲線(これをあらし曲線と言う)から図72に示すようにして求める。この図に示されるように測定長さの中で、1回程度以上より多くは現われない並はずれた大きい山または谷は除外することになっている。またJISでは表面あらしを表28に示すように三角記号とS記号とを併用して表示することを規定している。さて表面あらしの測定器としては一般に触針式測定器が最も多く使用されており、これは測定しようとする表面を先のとがった針で連続的になで、その触針の運動を電氣的に拡大して記録表示させる。この種の測定器の特徴は明りょうな輪郭曲線(あらし曲線)が得られ、また大きな長さ

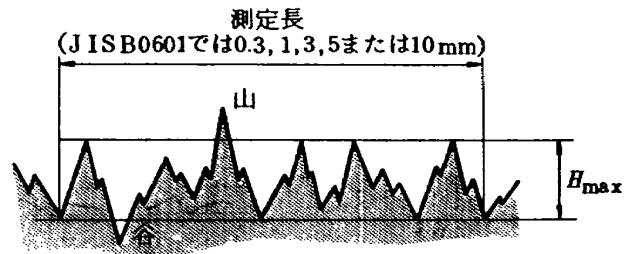


図72 あらし曲線からあらし H_{max} を求める方法

表28 表面あらしの表示 (JIS B 0601)

表面あらしの表示	0.1S	0.2S	0.4S	0.8S	1.5S	3S	6S	12S	18S	25S	35S	50S	70S	100S	140S	200S	280S	400S	560S
表面あらし H_{max} の範囲(μ)	0.1以下	0.2以下	0.4以下	0.8以下	1.5以下	3以下	6以下	12以下	18以下	25以下	35以下	50以下	70以下	100以下	140以下	200以下	280以下	400以下	560以下
三角記号	▽▽▽▽				▽▽▽			▽▽		▽									
測定長さ(mm)	0.3				1			3		5			10						

にわたって測定が可能であるが、触針の先端半径がやゝ大きくなると触針先端がでこぼこの凹部に入り得なくなり、また非常に小さくなると測定圧をかなり低くしない限り、凸部を載断したり、触針先端が摩耗して、いずれの場合にも精密な測定ができなくなる欠点を持つ。触針先端半径と測定圧とは大体表 29 に示される値を基準とする必要があるとされている。さて、三次元座標測定器の触針先端半径は約 5μ であり、表面あらさの範囲全範囲にわたって測定可能であるが、測定器の座標表示カウンタの表示最小単位が 1μ なので、実際には三角記号 4 コで表示される表面あらさの測定はできない。測定検出器の定点検出精度は $\pm 0.3\mu^{(1)}$ なので、測定座標表示ユニットをより高精度のものにするならば超精密仕上面の表面あらさの測定も不可能ではない。

図 73 は表面あらさ標準片を用い、その S 記号表示値、1.5S、3S、6S および 12S の標準片に対する測定結果である。なお、こゝに使用した表面あらさ

表 29 触針先端半径と測定圧 (JIS B 0601)

表面あらさの範囲	0.1S~0.8S	1.5S~25S	35S~560S
触針先端半径(μ)	5	10	30
測定圧 (g)	0.5	0	10

表 30 表面あらさ標準片許容精度

三角記号	▽▽			▽	
	S 記号	1.5	3	6	12
許容値	最小値(μ)	1.2	2.4	4.8	9
	最大値(μ)	1.7	3.3	6.6	13

標準片の許容精度を表 30 に示す。

次に、表面あらさの問題に関連した測定実例を示す。翼模型の風洞実験などで境界層のはく離を減少させるため、翼表面に砂などを吹き着け、表面あらさをある程度増した状態で実験を行う場合がある。しかし、この方法では表面あらさを定量的に知ることとはできない。よって砂の代りに、翼表面にケガキ針にて規則的に傷をつけ、その巾、深さ、ピッチなどを測定することができるならば、この種の実験に好都合ではないかと言うことで研究部から測定依頼があったのがこの測定実例である。測定は、図 74 に示すように互に直角にケガキの入った試験片の w , d , h および p 各部の寸法の測定である。実際の測定では A および B 断面で各 10 箇所を間隔 0.05mm で測定し、その平均値をとった。測定結果を表 31 に示す。また参考のため、実際の断面形状図の 1 部を図 75 に示す。

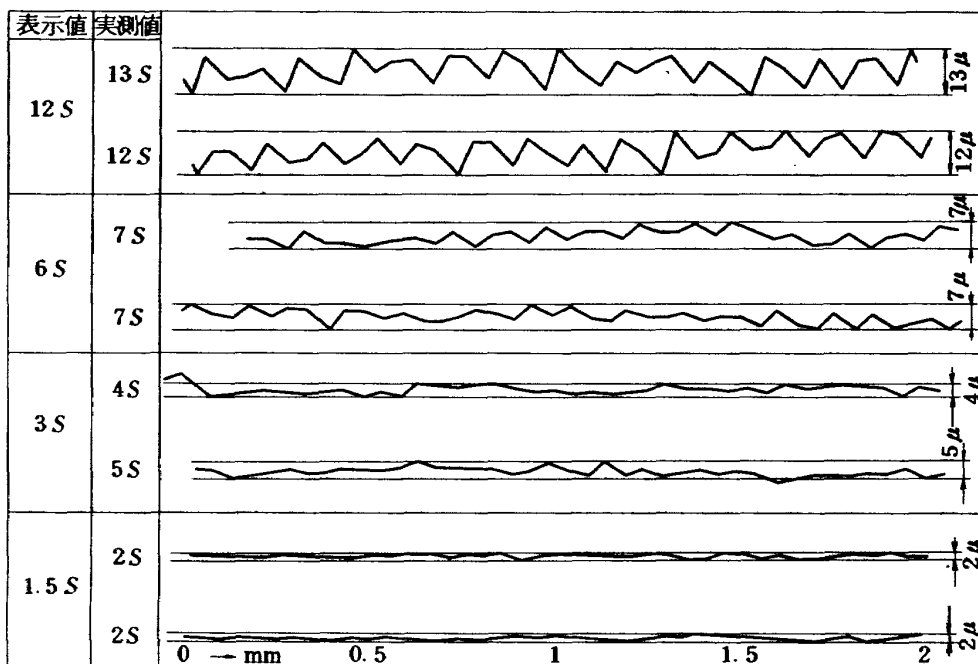


図 73 表面あらさ標準片測定結果

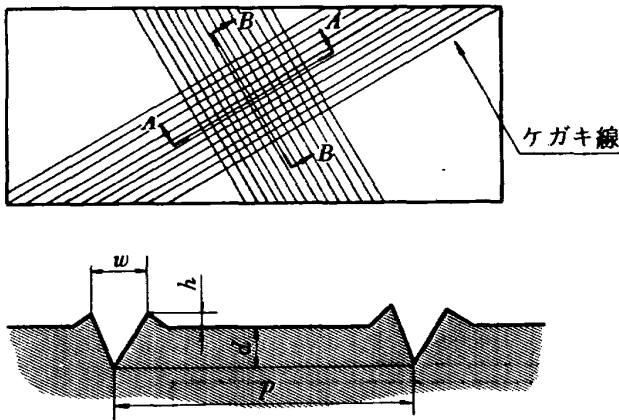


図 74 表面あらさ試験片

表 31 表面あらさ試験片断面測定結果

単位：mm

		w	d	h	p
A断面	最大値	0.35	0.14	0.09	1.1
	最小値	0.2	0.03	0	0.95
	平均値	0.27	0.09	0.04	1.02
B断面	最大値	0.3	0.08	0.06	1.05
	最小値	0.1	0.01	0	0.95
	平均値	0.21	0.05	0.02	1.0
平均値		0.24	0.07	0.03	1.0

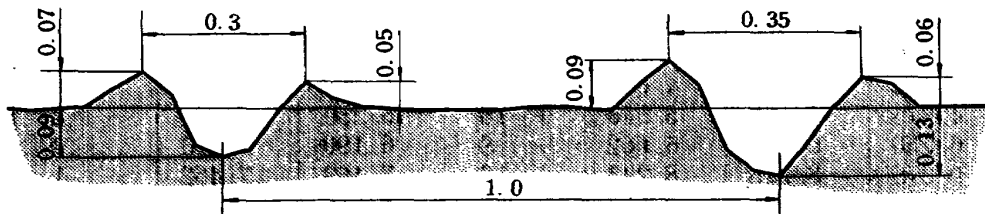


図 75 ケガキ線部分断面形状測定結果 (倍率縦横共 100)

第 7 章 特殊加工作業

こゝでは三次元座標測定器およびその二、三の付属装置を用いてできる特殊加工作業を、その内の 3 例について述べる。

7.1 プロフィルゲージおよび倣い加工用テンプレートの製作

翼模型などの製作に必要なプロフィルゲージまたは倣い加工用テンプレートを製作する場合には、先づ素材板にケガキを行う。そして実際の加工作業では、このケガキ線を目標にして加工する。中就、プロフィルゲージを製作するための精密ケガキは、一般にブロックゲージによるケガキ法を用いており、非常に手間と時間のかゝるものであり、間違いも起り易く、また座標点は縦横ケガキ線の交点として示されるので不鮮明であり高精度は期待できない。こゝに示す方法は三次元座標測定器付属のポンチング機構を用いる方法である。

すなわち、5.1.1 節で述べた方法で先づプロフィルゲージの輪郭座標点を素材板にポンチングした後、仕上げを約 0.5mm 残して荒取りする。輪郭座標の精密仕上げは 4.3 節の図 21 に示した立型座標測定器が

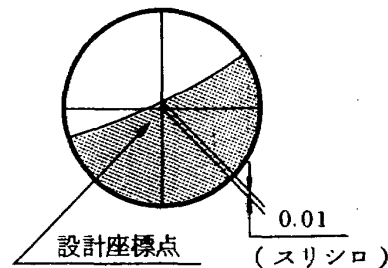
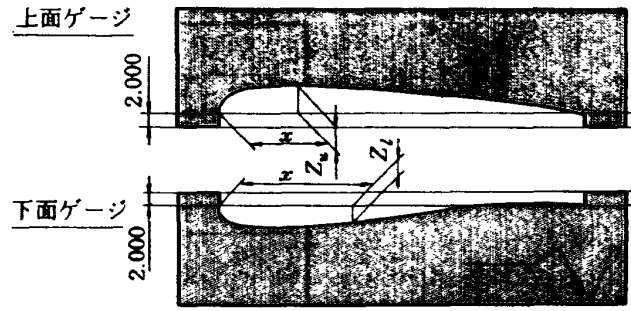


図 76 60 倍測定顕微鏡視野 (実物大)

用いられる。その門型をした測定顕微鏡取付アームは、加工されるプロフィルゲージと集光レンズとの間に十分なスペースをとってあるので、反対側に取付けた倍率 60 倍の測定顕微鏡で加工面を測定しながらヤスリ加工で設計座標点まで仕上げることが出来る。図 76 は倍率 60 倍測定顕微鏡の実際の視野の例を示す。なおこの方法で精密仕上げを行う場合には設計座標点間隔を細かくとる必要があり、比較的フラットな輪郭面でも 5mm 以下の間隔で与えなければ滑らかな曲面に仕上げることが困難であり、また翼断面のプロフィルゲージ等では、その前縁付近の仕上げは余程熟練していないとスリ過ぎで修正に手間取ってしまうと言う難点がある。

使用するヤスリとしては精密用組ヤスリの 10 本組

表 32 二次元風洞供試模型 (777-626-13) 用ゲージ加工精度測定結果



x	Z _u			Z _l		
	設計値	実測値	誤差(μ)	設計値	実測値	誤差(μ)
0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0
0.250	1.290	1.292	+ 2	1.275	1.278	+ 3
0.625	2.050	2.057	+ 7	2.013	2.024	+ 11
1.250	2.910	2.907	- 3	2.835	2.839	+ 4
1.875	3.578	3.586	+ 8	3.463	3.459	- 4
2.500	4.148	4.150	+ 2	3.988	3.986	- 2
3.125	4.650	4.648	- 2	4.448	4.448	0
4.375	5.530	5.546	+ 16	5.230	5.222	- 8
6.250	6.653	6.662	+ 9	6.190	6.190	0
9.375	8.215	8.233	+ 18	7.463	7.462	- 1
12.500	9.535	9.537	+ 2	8.485	8.483	- 2
18.750	11.703	11.704	+ 1	10.045	10.040	- 5
25.000	13.383	13.380	- 3	11.148	11.146	- 2
31.250	14.653	14.653	0	11.960	11.960	0
37.500	15.575	15.579	+ 4	12.580	12.581	+ 1
43.750	16.245	16.248	+ 3	13.065	13.063	- 2
50.000	16.768	16.775	+ 7	13.435	13.434	- 1
56.250	17.203	17.197	- 6	13.710	13.707	- 3
62.500	17.578	17.577	- 1	13.895	13.901	+ 6
68.750	17.890	17.888	- 2	14.003	14.003	0
75.000	18.140	18.139	- 1	14.030	14.026	- 4
81.250	18.325	18.317	- 8	13.985	13.989	+ 4
87.500	18.458	18.449	- 9	13.863	13.861	- 2
93.750	18.535	18.536	+ 1	13.655	13.660	+ 5
100.000	18.563	18.555	- 8	13.348	13.349	+ 1
106.250	18.538	18.530	- 8	12.925	12.930	+ 5
112.500	18.458	18.451	- 7	12.390	12.386	- 4
118.750	18.318	18.312	- 6	11.753	11.756	+ 3
125.000	18.115	18.107	- 8	11.035	11.034	- 1
131.250	17.843	17.837	- 6	10.263	10.260	- 3
137.750	17.505	17.496	- 9	9.443	9.440	- 3
143.750	17.105	17.098	- 7	8.590	8.588	- 2
150.000	16.658	16.653	- 5	7.713	7.709	- 4
156.250	16.175	16.174	- 1	6.820	6.819	- 1
162.500	15.665	15.664	- 1	5.923	5.919	- 4
168.750	15.118	15.115	- 3	5.028	5.030	+ 2
175.000	14.523	14.521	- 2	4.145	4.148	+ 3
181.250	13.850	13.849	- 1	3.288	3.284	- 4
187.500	13.080	13.074	- 6	2.465	2.463	- 2
193.750	12.188	12.185	- 3	1.688	1.685	- 3
200.000	11.170	11.169	- 1	0.975	0.973	- 2
206.250	10.035	10.032	- 3	0.343	0.340	- 3
212.500	8.800	8.800	0	-0.185	0.186	- 1
218.750	7.488	7.484	- 4	-0.560	0.554	+ 6
225.000	6.120	6.117	- 3	-0.715	0.718	- 3
231.250	4.725	4.723	- 2	-0.620	0.619	+ 1
237.500	3.320	3.322	+ 2	-0.313	0.306	+ 7
243.750	1.890	1.887	- 3	0.080	0.075	- 5
246.875	1.128	1.131	+ 3	0.210	0.211	+ 1
250.000	0.350	0.352	+ 2	0.288	0.292	+ 4

級の平型および丸型が用いられ、最終仕上の場合にはゲージ輪郭面とゲージ側面との直角度を出すために、ヤスリを図77に示すような保持具に取り付けて加工する。

現在までに、この方法でプロフィールゲージその他を数十枚製作した実績を持つが、その中の数例を以下に示す。

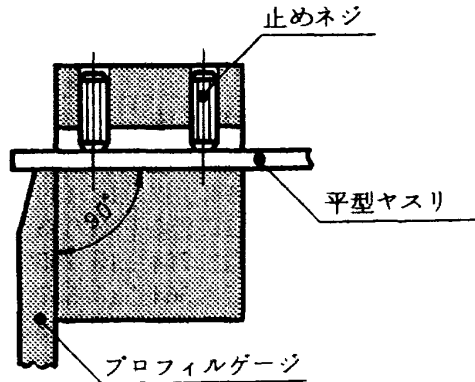


図 77 平型ヤスリ保持具

〔A〕二次元風胴供試模型(777-626-13)翼断面ゲージ

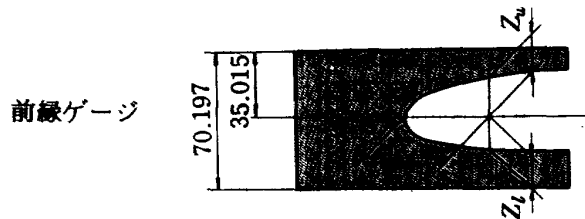
ゲージは上面、下面ゲージおよび前縁ゲージの3枚を製作した。その加工精度測定結果を表32および表33に示す。

〔B〕二次元風胴供試模型(73-512-12.8)加工用テンプレート

倣い加工は使用するテンプレートの形状が忠実に加工面に写し出されるので、倣い面は滑らかでうねりがなくしかも高精度が要求される。製作したテンプレートは翼上面加工用および翼下面加工用の2枚であり、設計座標点間隔は2.4mmにとった。翼上面加工用テンプレートの加工精度測定結果を表34に示す。また翼下面加工用テンプレートの加工精度測定結果を表35に示す。

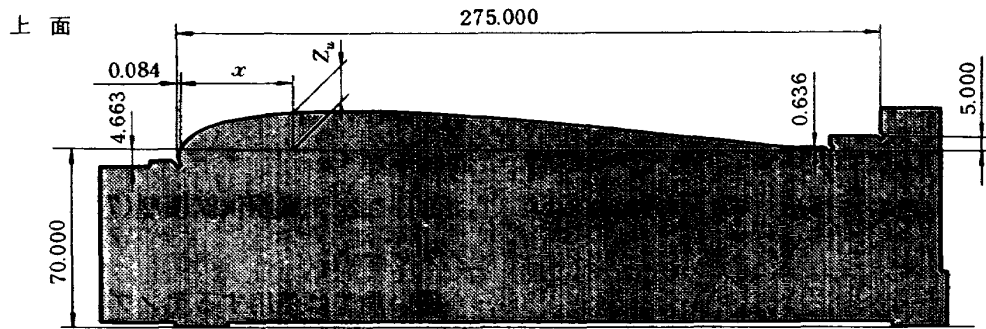
なお、参考のためこのテンプレートを使用して製作した二次元翼模型(73-512-12.8)の倣い加工精度

表 33 二次元風胴供試模型(777-626-13)用前縁ゲージ加工精度測定結果



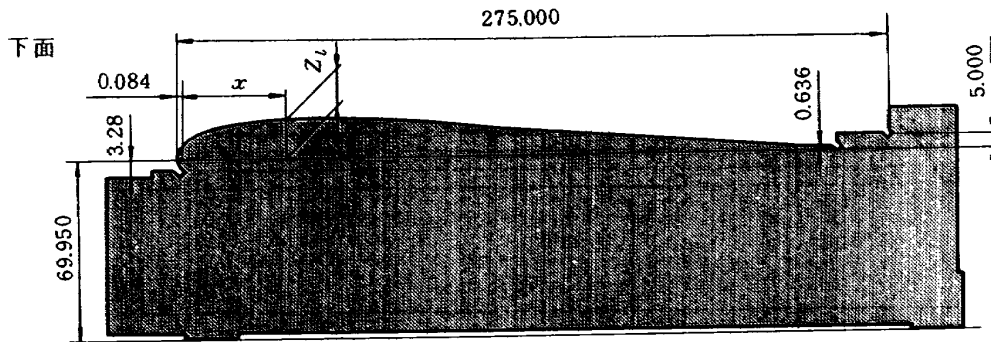
x	Z _u			Z _l		
	設計値	実測値	誤差(μ)	設計値	実測値	誤差(μ)
0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0
0.250	1.290	1.292	+ 2	1.275	1.278	+ 3
0.625	2.050	2.052	+ 2	2.013	2.026	+ 13
1.250	2.910	2.909	- 1	2.835	2.838	+ 3
1.875	3.578	3.583	+ 5	3.463	3.458	- 5
2.500	4.148	4.153	+ 5	3.988	3.986	- 2
3.125	4.650	4.657	+ 7	4.448	4.450	+ 2
4.375	5.530	5.538	+ 8	5.230	5.226	- 4
6.250	6.653	6.649	- 4	6.190	6.181	- 9
9.375	8.215	8.210	- 5	7.463	7.453	- 10
12.500	9.535	9.530	- 5	8.485	8.482	- 3
18.750	11.703	11.707	+ 4	10.045	10.039	- 6
25.000	13.383	13.389	+ 6	11.148	11.141	- 7
31.250	14.653	14.658	+ 5	11.960	11.952	- 8
37.500	15.575	15.580	+ 5	12.580	12.573	- 7
43.750	16.245	16.252	+ 7	13.065	13.058	- 7
50.000	16.768	16.774	+ 6	13.435	13.426	- 9
56.250	17.203	17.205	+ 2	13.710	13.701	- 9
62.500	17.578	17.594	+ 16	13.895	13.896	+ 1

表 34 二次元風洞供試模型 (73-512-12.8) 翼上面加工用テンプレート精度測定結果



x	Z _u			x	Z _u			x	Z _u		
	設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)
-0.072	-0.491	-0.479	+ 12	38.400	13.660	13.660	0	141.600	14.311	14.314	+ 3
0.000	0.000	0.000	0	40.800	13.896	13.895	- 1	144.000	14.137	14.139	+ 2
0.101	0.320	0.311	- 9	43.200	14.115	14.117	+ 2	146.400	13.955	13.955	0
0.154	0.453	0.446	- 7	45.600	14.318	14.316	- 2	148.800	13.764	13.765	+ 1
0.198	0.555	0.547	- 8	48.000	14.504	14.504	0	151.200	13.564	13.567	+ 3
0.238	0.641	0.637	- 4	50.400	14.679	14.680	+ 1	135.600	13.355	13.358	+ 3
0.275	0.716	0.712	- 4	52.800	14.841	14.840	- 1	156.000	13.136	13.139	+ 3
0.310	0.785	0.780	- 5	55.200	14.991	14.992	+ 1	158.400	12.908	12.911	+ 3
0.344	0.847	0.847	0	57.600	15.131	15.132	+ 1	160.800	12.670	12.674	+ 4
0.376	0.906	0.905	- 1	60.000	15.261	15.261	0	163.200	12.422	12.423	+ 1
0.408	0.961	0.961	0	62.400	15.381	15.384	+ 3	165.600	12.164	12.165	+ 1
0.438	1.013	1.010	- 3	64.800	15.491	15.492	+ 1	168.000	11.897	11.899	+ 2
0.713	1.433	1.435	+ 2	67.200	15.594	15.594	0	170.400	11.621	11.620	- 1
0.957	1.754	1.761	+ 7	69.600	15.687	15.680	- 7	172.800	11.334	11.336	+ 2
1.176	2.026	2.032	+ 6	72.000	15.771	15.771	0	175.200	11.038	11.039	+ 1
1.388	2.265	2.272	+ 6	74.400	15.846	15.837	- 9	177.600	10.733	10.733	0
1.591	2.481	2.485	+ 4	76.800	15.913	15.913	0	180.000	10.418	10.420	+ 2
1.787	2.680	2.686	+ 6	79.200	15.970	15.965	- 5	182.400	10.094	10.095	+ 1
1.977	2.865	2.873	+ 8	81.600	16.018	16.015	- 3	184.800	9.762	9.761	- 1
2.162	3.039	3.047	+ 8	84.000	16.057	16.058	+ 1	187.200	9.422	9.423	+ 1
2.400	3.262	3.269	+ 7	86.400	16.087	16.087	0	189.600	9.073	9.075	+ 2
2.640	3.478	3.478	0	88.800	16.107	16.102	- 5	192.000	8.717	8.714	- 3
2.880	3.684	3.682	- 2	91.200	16.118	16.117	- 1	194.400	8.355	8.355	0
3.120	3.882	3.882	0	93.600	16.119	16.122	+ 3	196.800	7.987	7.991	+ 4
3.360	4.072	4.072	0	96.000	16.110	16.113	+ 3	199.200	7.614	7.613	- 1
3.600	4.255	4.256	+ 1	98.400	16.092	16.092	0	201.600	7.234	7.235	+ 1
3.840	4.430	4.433	+ 3	100.800	16.064	16.065	+ 1	204.000	6.849	6.851	+ 2
4.080	4.600	4.600	0	103.200	16.026	16.027	+ 1	206.400	6.460	6.456	- 4
4.560	4.931	4.931	0	105.600	15.980	15.983	+ 3	208.800	6.066	6.068	+ 2
4.800	5.090	5.093	+ 3	108.000	15.924	15.914	- 10	211.200	5.669	5.671	+ 2
7.200	6.463	6.460	- 3	110.400	15.860	15.856	- 4	213.600	5.269	5.269	0
9.600	7.571	7.564	- 7	112.800	15.788	15.789	+ 1	216.000	4.868	4.871	+ 3
12.000	8.504	8.493	- 11	115.200	15.707	15.701	- 6	218.400	4.465	4.469	+ 4
14.400	9.305	9.297	- 8	117.600	15.618	15.621	+ 3	220.800	4.060	4.060	0
16.800	10.007	9.998	- 9	120.000	15.522	15.526	+ 4	223.200	3.653	3.652	- 1
19.200	10.622	10.622	0	122.400	15.418	15.420	+ 2	225.600	3.245	3.246	+ 1
21.600	11.166	11.170	+ 4	124.800	15.306	15.310	+ 4	228.000	2.836	2.833	- 3
24.000	11.647	11.647	0	127.200	15.187	15.186	- 1	230.400	2.426	2.424	- 2
26.400	12.077	12.072	- 5	129.600	15.061	15.057	- 4	232.800	2.009	2.009	0
28.800	12.461	12.466	+ 5	132.000	14.927	14.928	+ 1	235.200	1.582	1.585	+ 3
31.200	12.807	12.809	+ 2	134.400	14.785	14.789	+ 4	237.600	1.132	1.120	- 12
33.600	13.118	13.118	0	136.800	14.635	14.641	+ 6	240.000	0.636	0.634	- 2
36.000	13.401	13.402	+ 1	139.200	14.477	14.481	+ 4				

表 35 二次元風胴供試模型 (73-512-12.8) 翼下面加工用テンプレート精度測定結果



x	Z ₁			x	Z ₁			x	Z ₁		
	設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)		設計値	実測値	誤差(μ)
-0.076	0.850	0.833	- 17	48.000	14.269	14.273	+ 4	148.800	10.373	10.365	- 8
-0.062	0.981	0.992	+ 11	50.400	14.390	14.394	+ 4	151.200	10.133	10.127	- 6
-0.044	1.097	1.094	- 3	52.800	14.495	14.498	+ 3	153.600	9.887	9.887	0
-0.023	1.202	1.206	+ 4	55.200	14.585	14.588	+ 3	156.000	9.636	9.638	+ 2
0.000	1.298	1.286	- 12	75.600	14.661	14.659	- 2	158.400	9.380	9.380	0
0.024	1.388	1.372	- 16	60.000	14.723	14.726	+ 3	160.800	9.117	9.117	0
0.049	1.472	1.455	- 17	62.400	14.772	14.773	+ 1	163.200	8.849	8.849	0
0.076	1.552	1.530	- 22	64.800	14.808	14.811	+ 3	165.600	8.576	8.579	+ 3
0.369	2.195	2.197	+ 2	67.200	14.831	14.836	+ 5	168.000	8.297	8.299	+ 2
0.686	2.688	2.692	+ 4	69.600	14.842	14.844	+ 2	170.400	8.013	8.013	0
0.960	3.068	3.074	+ 6	72.000	14.840	14.842	+ 2	172.800	7.724	7.726	+ 2
1.200	3.377	3.376	- 1	74.400	14.827	14.830	+ 3	175.200	7.430	7.432	+ 2
1.440	3.647	3.642	- 5	76.800	14.801	14.803	+ 2	177.600	7.131	7.131	0
1.680	3.885	3.883	- 2	79.200	14.765	14.769	+ 4	180.000	6.829	6.829	0
2.400	4.476	4.481	+ 5	81.600	14.718	14.719	+ 1	182.400	6.523	6.523	0
2.640	4.679	4.674	- 5	84.000	14.661	14.661	0	184.800	6.214	6.214	0
2.880	4.872	4.867	- 5	86.400	14.595	14.598	+ 3	187.200	5.903	5.906	+ 3
3.120	7.057	5.052	- 5	88.800	14.519	14.520	+ 1	189.600	5.591	5.589	- 2
3.360	5.233	5.227	- 6	91.200	14.434	14.434	0	192.000	5.277	5.274	- 3
3.600	5.402	5.400	- 2	93.600	14.341	14.341	0	194.400	4.964	4.964	0
3.840	5.564	5.572	+ 6	96.000	14.239	14.239	0	196.800	4.652	4.654	+ 2
4.080	5.719	5.720	+ 1	98.400	14.129	14.131	+ 2	199.200	4.341	4.341	0
4.320	5.869	5.873	+ 4	100.800	14.012	14.012	0	201.600	4.033	4.033	0
4.560	6.018	6.016	- 2	103.200	13.888	13.888	0	204.000	3.728	3.727	- 1
4.800	6.164	6.168	+ 4	105.600	13.757	13.757	0	206.400	3.429	3.427	- 2
7.200	7.393	7.397	+ 4	108.000	13.620	13.621	+ 1	208.800	3.135	3.131	- 4
9.600	8.354	8.359	+ 5	110.400	13.476	13.477	+ 1	211.200	2.849	2.850	+ 1
12.000	9.144	9.151	+ 7	112.800	13.325	13.326	+ 1	213.600	2.572	2.575	+ 3
14.400	9.816	9.819	+ 3	115.200	13.167	13.167	0	216.000	2.306	2.303	- 3
16.800	10.415	10.422	+ 7	117.600	13.004	13.004	0	218.400	2.054	2.051	- 3
19.200	10.943	10.944	+ 1	120.000	12.834	12.834	0	220.800	1.820	1.822	+ 2
21.600	11.416	11.418	+ 2	122.400	12.658	12.658	0	223.200	1.605	1.605	0
24.000	11.838	11.838	0	124.800	12.477	12.477	0	225.600	1.413	1.415	+ 2
26.400	12.219	12.224	+ 5	127.200	12.290	12.293	+ 3	228.000	1.245	1.242	- 3
28.800	12.560	12.566	+ 6	129.600	12.098	12.098	0	230.400	1.102	1.103	+ 1
31.200	12.866	12.867	+ 1	132.000	11.901	11.901	0	232.800	0.981	0.981	0
33.600	13.140	13.138	- 2	134.400	11.698	11.699	+ 1	235.200	0.876	0.876	0
36.000	13.385	13.389	+ 4	136.800	11.491	11.493	+ 2	237.600	0.771	0.751	- 20
38.400	13.604	13.610	+ 6	139.200	11.278	11.278	0	240.000	0.636	0.638	+ 2
40.800	13.800	13.802	+ 2	141.600	11.060	11.058	- 2	245.000	0.636	0.636	0
43.200	13.975	13.979	+ 4	144.000	10.836	10.831	- 5				
45.600	14.131	14.131	0	146.400	10.607	10.601	- 6				

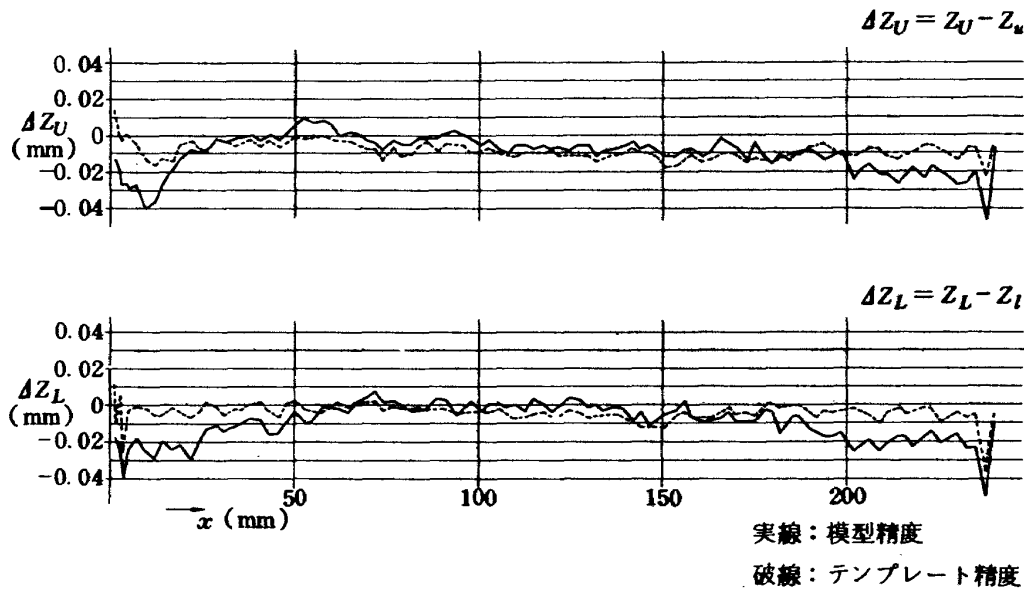


図 78 翼断面形 (73-512-12.8) 倣い加工精度

とテンプレート精度の比較を図78に示す。倣い加工はこの実例で2回目であり、あまり実績がなく倣い加工作業方法等も未だ確立されておらず、試行錯誤的に行ったため、テンプレートの倣い面をトレーサが十数回往復し、そのための摩耗が最大10 μ にもなってしまった。

図78に示したテンプレート精度はこの摩耗した後の測定結果である。

上面下面共前縁および後縁付近で模型がテンプレートよりマイナスになっている。これは倣い加工の特性なのか、または使用したバイトの形状のためなのか原因不明であるが、この部分を除外すれば精度はほぼ ± 0.01 mmであると言える。そして使用するテンプレートの寸法精度さえよければ、従来の方法すなわち、翼断面ゲージを使用する手仕上げの方法よりは数段勝った方法であると言える。

7.2 風洞実験用二次元翼模型の圧力孔・孔あけ作業

風洞実験用二次元翼模型の圧力孔は、その位置が前縁からの水平距離で与えられ、またその孔の向きは翼面に対してその法線方向であることが要求されている。従ってその孔あけは先づ翼面上にその与えられた位置にケガキを行い、このケガキを目標に、しかも翼面に対して垂直にあげなければならないので、設計位置に正確にあけることは手作業による従来の方法では至難のわざである。

こゝに述べる孔あけ方法は、不正確なケガキを頼らずすべて数値を追って穿孔するのでより正確であり、さらに翼面が最終的に仕上げられてなく荒削りの段階でも行うことができると言う利点を持つ。こゝに用いられる孔あけ加工機械はX方向500mm、Y方向400mmのストロークを持つ十字動テーブルのZ方向にフライス・ヘッドを取付けた構造のもので、座標読取最小単位はX方向2 μ 、Y方向0.01 mmであり、フライス・ヘッドはXZ面内で自由に回転でき、ドリルのはかに各種サイドカッタ、メタルソー等も取付けることができる。

また圧力孔の孔あけには傾斜テーブルが用いられるが、これは三次元座標測定器の付属装置として製作されたものであるが、上記の孔あけ加工機のテーブルにもその位置決めT溝を利用して取付けることができ、加工物の平行セッティング等が容易にできるように設計されており、回転は $-60^{\circ} \sim +95^{\circ}$ の広範囲にわたって行うことができ、その回転角はクリノメータにて最小読み0.5分まで読みとれる。

さて、図79において、先づ傾斜テーブル上の位置決め溝を利用して取付固定した載物台上に模型の両取付耳を乗せ、締付ボルトまたはシャコ万力等にてしっかりと固定する。そして例えば前縁よりxの距離に圧力孔Qをあける場合を考える。この場合、先づ傾斜テーブルを水平にした状態でドリル先端を前縁先端に合致させる。この操作は直角定規を前縁先

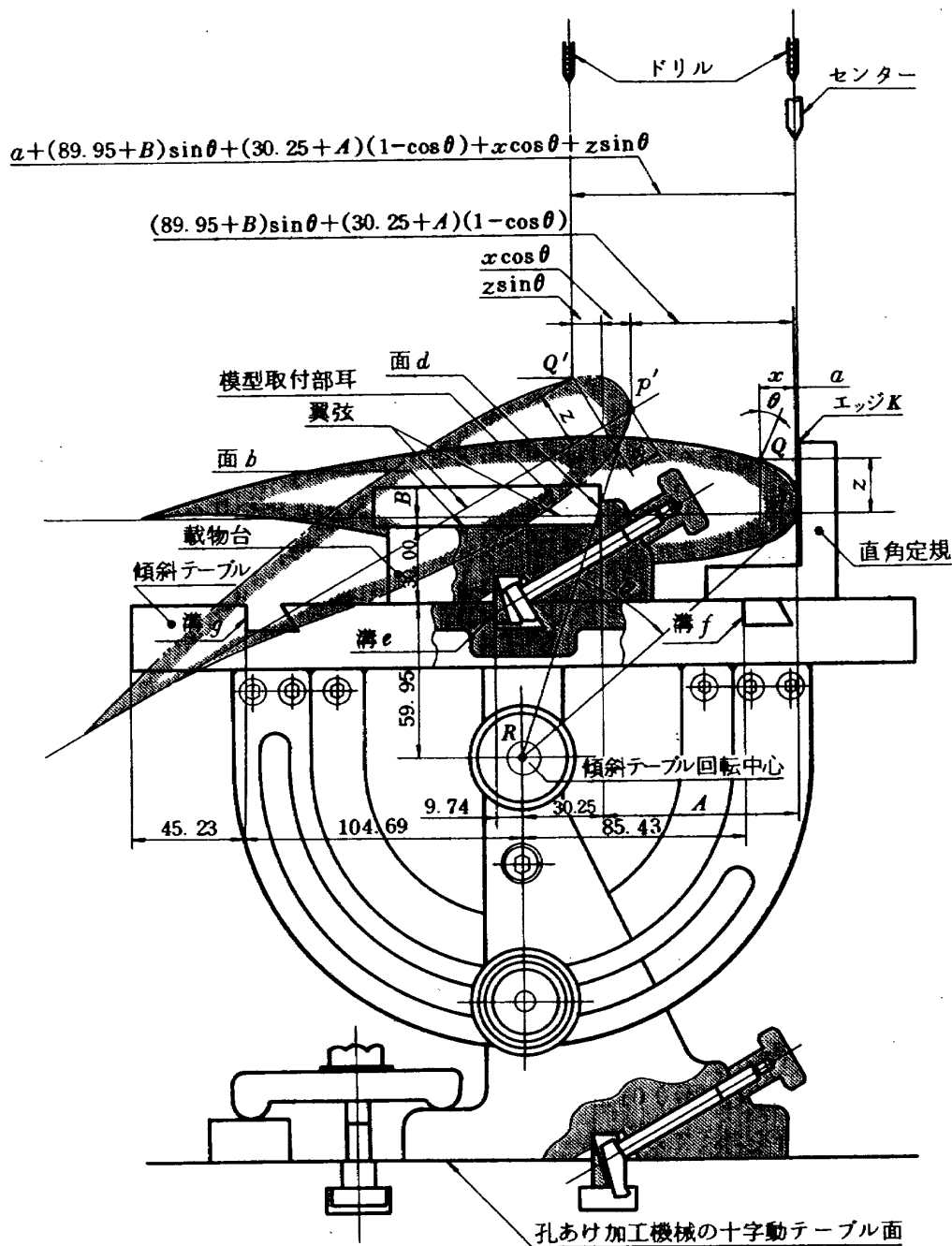


図 79 二次元翼模型の圧力孔・孔あけ方法説明図

端に密着させて定置し、ドリルチャックにセンタ（図79参照）をチャッキングし、センタ先端を直角定規エッジKに合致（20倍顕微鏡使用）させると言う方法で行われる。次に傾斜テーブルを θ° だけ回転させる。こゝに θ° はあけようとする圧力孔位置Qにおいて曲面に立てた法線とZ軸とのなす角である。

θ° 回転後点Qは点Q'に移動する。ドリル先端を点Q'上に正確に持つて来るためには傾斜テーブルを式(24)によって計算した値XだけX方向へ送ればよい。

$$X = a + x + (C + A - x)(1 - \cos \theta) + (89.95 + B + z) \sin \theta \quad (24)$$

たゞし $C = 30.25$ (溝eを用いる場合),
 または $C = 125.42$ (溝fを用いる場合)

こゝにAは模型のx座標測定基点Pの載物台位置決め面dからの距離であり、Bは模型翼弦の載物台位置決め面bからの距離であり、両者共模型設計時に明確にしておく必要がある。また89.95は載物台位置決め面bの傾斜テーブル回転中心Rからの距離である。なお、上記Cの値は載物台位置決め面dの

傾斜テーブル回転中心 R からの距離であり、傾斜テーブル上に載物台を取付け固定するのに溝 e を使用するか、溝 f を使用するかによって異った値となる。

こゝに数値 89.95 および C は傾斜テーブル固有の値であり、精密に実測された結果である。

なお、式(24)中の a は 3.1 節、測定手順(4) (図 7 参照) で述べた値である。

また、圧力孔の孔あけは翼面荒仕上の状態のときに行われるので、式(24)の x , z の値としては設計値が用いられる。

今、式(24)において傾斜テーブルに固有の数値 89.95 および C には誤差がないものと仮定して、模型の寸法 A , B および回転角 θ の誤差 dA , dB および $d\theta$ のために生ずる移動量 X の誤差 dX がどの程度かを調べるために式(24)の両辺の微分をとる。

$$dX = (1 - \cos \theta) dA + \sin B dB + \{ (89.95 + B + z) \cos \theta + (C + A - x) \sin \theta \} d\theta \quad (25)$$

こゝで移動量の誤差 dX の具体的な値を知るため、この方法で圧力孔の孔あけ作業を行った二次元風洞供試模型 (73-512-12.8) の場合について考えてみる。この場合、設計図面から $A=0$, $B=6.5$ および模型の位置決め溝 f (図 79 参照) が用いられたので、式(24)に $C=125.42$, $A=0$, $B=6.5$ を代入する。

また、例えば模型の寸法誤差 $dA=dB=0.01$ mm, および回転角の誤差 $d\theta=1'$ の場合を考えてみると、

各圧力孔の座標 x , z および θ の設計値を与えられているので、式(25)から、そのための移動量の誤差 dX を知ることができる。表 36 にその結果を示す。また図 80 は表 36 のグラフ化である。

この結果から、実際の場合に生ずるかも知れない寸法誤差 $dA=dB=0.01$ mm および傾斜角度誤差 $d\theta=1'$ のために生ずる移動量誤差 dX は全領域を通じて 0.03~0.05 mm である。孔あけ位置に及ぼす誤差原因としては、以上のほかに、ドリル先端の基準点合致誤差、ドリルの心振れによる孔あけ誤差、テーブル送り誤差等いろいろあり、実際は誤差はさらに大きくなるものと思われる。参考のため、この方法を用いて圧力孔の孔あけ作業を行った二次元風洞供試模型 (73-512-12.8) の場合の圧力孔 x 座標実測結果を表 37 に示す。この結果から、この方法による孔あけ位置精度は ± 0.1 mm 程度であり実用上はこれ

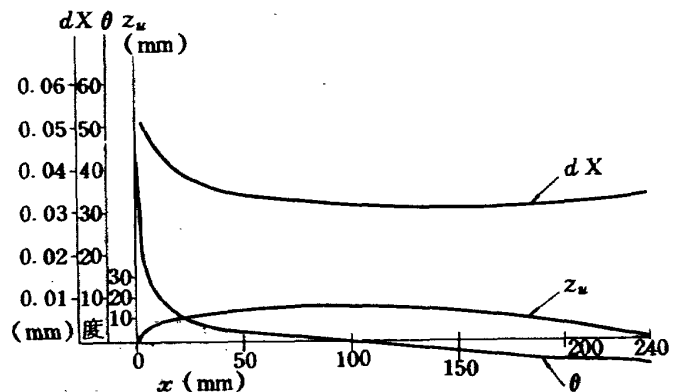


図 80 移動量誤差 dX の圧力孔座標 x による変化

表 36 $dA=dB=0.01$ および $d\theta=1'$ のための移動量誤差 dX

単位: mm

x	z_u	θ°	dX	x	z_u	θ°	dX
2.400	3.262	42.592	0.051	110.400	15.860	-1.633	0.032
7.200	6.463	27.135	0.046	139.200	14.477	-3.859	0.032
12.000	8.504	19.736	0.043	158.400	12.908	-5.549	0.031
16.800	10.007	15.256	0.040	177.600	10.733	-7.358	0.031
21.600	11.166	12.005	0.038	201.600	7.234	-9.053	0.032
28.800	12.461	8.635	0.037	230.400	2.426	-9.742	0.032
38.400	13.660	5.880	0.035	240.000	0.636	-12.300	0.033
48.000	14.504	4.283	0.034				
57.600	15.131	3.223	0.034				
67.200	15.594	2.325	0.033				
76.800	15.913	1.477	0.033				
86.400	16.087	0.599	0.033				

表 37 二次元風胴供試模型・圧力孔 x 座標測定結果

単位：mm

静圧孔 No	上 面			下 面			静圧孔 No	上 面			下 面		
	設計値 (D)	実 測 値		設計値 (D)	実 測 値			設計値 (D)	実 測 値		設計値 (D)	実 測 値	
		x	$x-D$		x	$x-D$			x	$x-D$		x	$x-D$
1	0.00	0.21	+0.21	4.80	4.66	-0.14	29	110.40	110.64	+0.24	139.20	139.21	+0.01
2	2.40	2.52	+0.12	9.60	9.48	-0.12	30	115.20	115.32	+0.12	144.00	144.05	+0.05
3	4.80	4.82	+0.02	14.40	14.30	-0.10	31	120.00	120.00	0	148.80	148.78	-0.02
4	7.20	7.21	+0.01	19.20	19.11	-0.09	32	124.80	124.84	+0.04	153.60	153.53	-0.07
5	9.60	9.68	+0.08	24.00	23.90	-0.10	33	129.60	129.56	-0.04	158.40	158.45	+0.05
6	12.00	11.99	-0.01	28.80	28.70	-0.10	34	134.40	134.41	+0.01	163.20	163.19	-0.01
7	14.40	14.34	-0.06	33.60	33.50	-0.10	35	139.20	139.26	+0.06	168.00	168.00	0
8	16.80	16.80	0	38.40	38.31	-0.09	36	144.00	143.91	-0.09	172.80	172.84	+0.04
9	19.20	19.27	+0.07	43.20	43.19	-0.01	37	148.80	148.75	-0.05	177.60	177.60	0
10	21.60	21.56	-0.04	48.00	47.90	-0.10	38	153.60	153.55	-0.05	182.40	182.41	+0.01
11	24.00	23.88	-0.12	52.80	52.75	-0.05	39	158.40	158.31	-0.09	187.20	187.30	+0.10
12	28.80	28.68	-0.12	57.60	57.56	-0.04	40	163.20	163.12	-0.08	192.00	192.05	+0.05
13	33.60	33.63	+0.03	62.40	62.30	-0.10	41	168.00	167.94	-0.06	196.80	196.82	+0.02
14	38.40	38.53	+0.13	67.20	67.15	-0.05	42	172.80	172.74	-0.06	201.60	201.59	-0.01
15	43.20	43.30	+0.10	72.00	71.94	-0.06	43	177.60	177.40	-0.20	206.40	206.40	0
16	48.00	48.15	+0.15	76.80	76.71	-0.09	44	182.40	182.23	-0.17	211.20	211.19	-0.01
17	52.80	52.93	+0.13	81.60	81.55	-0.05	45	187.20	187.06	-0.14	216.00	216.04	+0.04
18	57.60	57.79	+0.19	86.40	86.43	+0.03	46	192.00	191.86	-0.14	220.80	220.77	-0.03
19	62.40	62.56	+0.16	91.20	91.15	-0.05	47	196.80	196.60	-0.20	225.60	225.52	-0.08
20	67.20	67.27	+0.07	96.00	95.99	-0.01	48	201.60	201.45	-0.15	230.40	230.37	-0.03
21	72.00	72.11	+0.11	100.80	100.82	+0.02	49	206.40	206.27	-0.13	235.20	235.13	-0.07
22	76.80	76.87	+0.07	105.60	105.67	+0.07	50	211.20	211.14	-0.06			
23	81.60	81.58	-0.02	110.40	110.41	+0.01	51	216.00	215.94	-0.06			
24	86.40	86.47	+0.07	115.20	115.16	-0.04	52	220.80	220.50	-0.30			
25	91.20	91.26	+0.06	120.00	119.98	-0.02	53	225.60	225.46	-0.14			
26	96.00	96.04	+0.04	124.80	124.83	+0.03	54	230.40	230.27	-0.13			
27	100.80	100.85	+0.05	129.60	129.60	0	55	235.20	235.22	+0.02			
28	105.60	105.64	+0.04	134.40	134.44	+0.04							

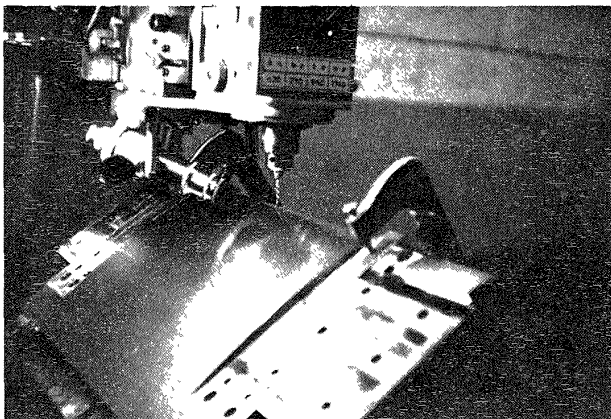


図 81 二次元風胴供試模型 (73-512-12.8) 圧力孔・孔あけ作業

で充分である。さらにこの方法の特長は圧力孔 x 座標のケガキ作業およびドリル先端をケガキ線に合致させる手間を省くと共に、圧力孔が正確に曲面の法線方向にあいているということである。

図 81はこの方法によって圧力孔の孔あけ作業を行っている写真である。

7.3 傾斜テーブルを用いた傾斜孔あけ作業

殆んどの場合、機械部品等に対して行われる孔あけは、あけようとする面の法線方向に行われる。

7.2節で述べた孔あけもこの種類の孔あけ作業に属する。しかし、稀には、あけようとする面の法線方

向に対し、ある角度で孔あけをしなければならないような場合もある。このような場合の精密孔あけには、一般にはジグ・ポラーの付属装置として市販されている傾斜型円テーブルなどが用いられる。しかしこの方法は中心のある加工物、例えば旋盤等で加工した機械部品等には便利な方法であるが、不規則形状の加工物の場合に用いることはできない。

こゝに示す方法は、7.2節で示した三次元座標測定器付属の傾斜テーブルおよび、その取付溝に取付けて加工物の平行セッティング等が容易に行えるような精密バイスを用いる方法である。

図82はその説明図である。すなわちこの方法は、先づ加工物が精密バイスに確実に固定でき、その状態においてバイスの面aをyz平面とし、面bをxy平面とするような座標系に対する加工孔位置を示す点Pの座標値および、加工孔のz軸に対する傾斜角θ（孔はxz平面に平行）が与えられれば適用可能である。

今、図82において点Pにz軸と角θ（θは反時計方向を正とする）をなす孔をあける場合を考える。この場合先づ傾斜テーブルを水平にした状態でドリル先端を面aに合致させ、この位置でx座標表示カウンタの読みを零にセットする。次にドリル先端を加工物のy方向基準面に合致させ、この位置でy座標表示カウンタの読みを零にセットする。この操作は7.2節で述べた方法でドリルチャックにセンタをチャッキングして行う。次に傾斜テーブルをθ°だけ時計方向に回転させる。θ°回転後点Pは点P'に移動する。

ドリル先端を点P'上に正確に持って来るためには傾斜テーブルを式(8)によって計算した値XだけX方向へ送ると共にY方向にも点Pのy座標値だけ送ればよい。

$$X = x + (99.97 + z) \sin \theta + (70.16 - x)(1 - \cos \theta) \tag{8}$$

こゝに数値70.16および99.97は傾斜テーブルに精

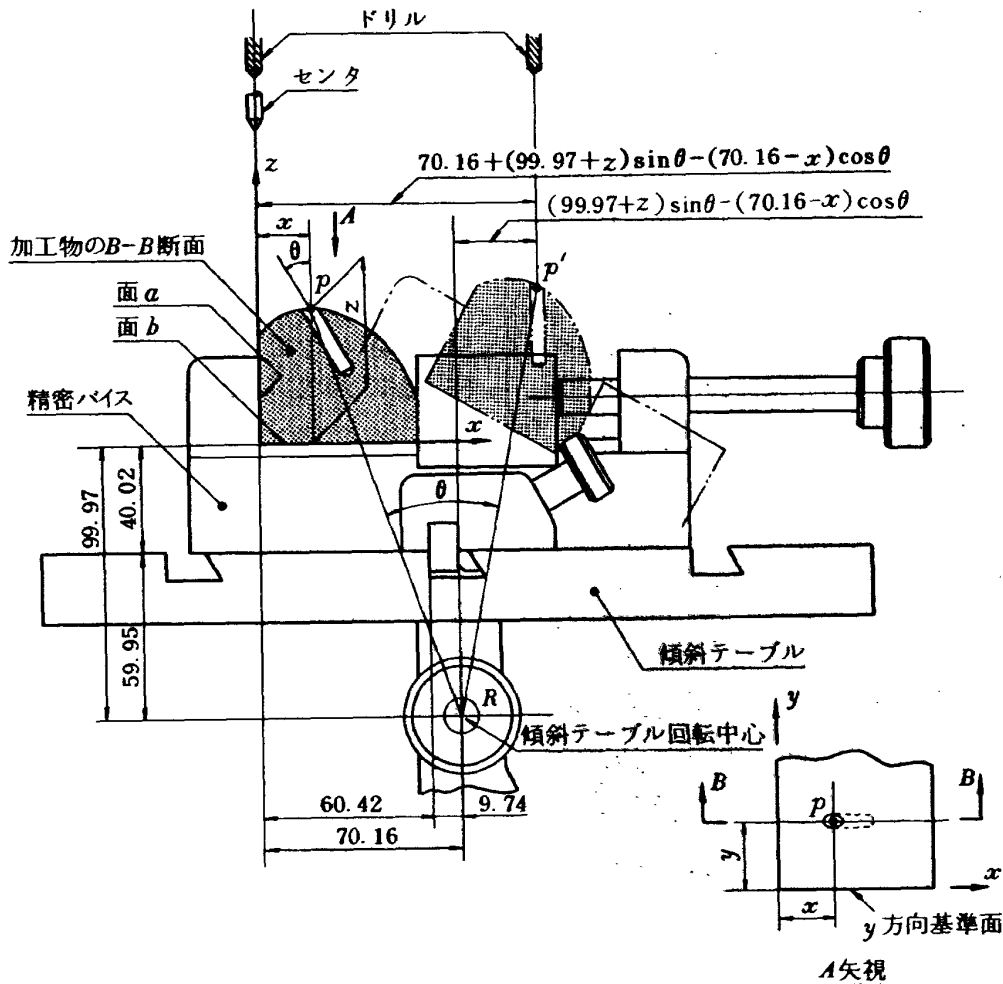


図 82 傾斜孔あけ方法説明図

密バイスを取付け固定するのに溝 e を使用した場合の値であり、それぞれ、傾斜テーブル回転中心 R から精密バイスの面 a および面 b までの距離であり、精密に実測された結果である。なお精密バイスの取付けに溝 f または溝 g を使用した場合は、当然この数値も異ってくることは言うまでもない。

次にこの方法を用いて行った孔あけ加工の実例を示す。図83および図84にその加工図面を示す。この模型は 1ϕ および 0.5ϕ の孔位置が重要であり、孔の傾斜角 θ は、たゞ相互に貫通していればよいと言うことで図面には指示してないので最適の θ の値を算出してから行った。

参考のため、本実例の孔あけに使用した数値の1部を表38に示す。

また傾斜テーブルおよび精密バイスに固有の数値 70.16 および 99.97 には誤差がないものと仮定して、

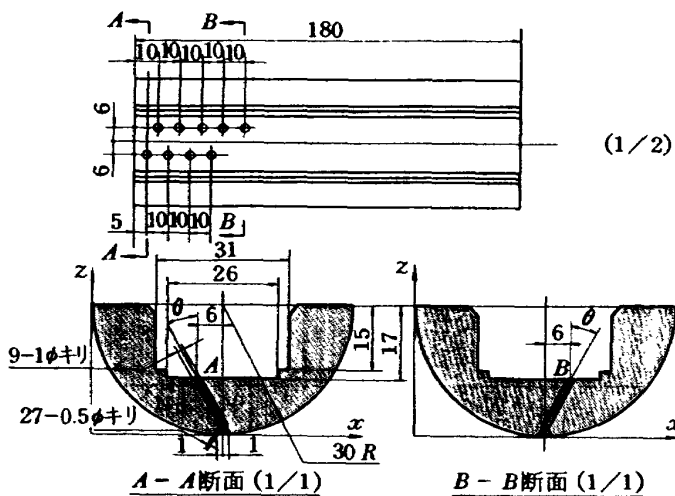


図83 60φ半円柱圧力模型

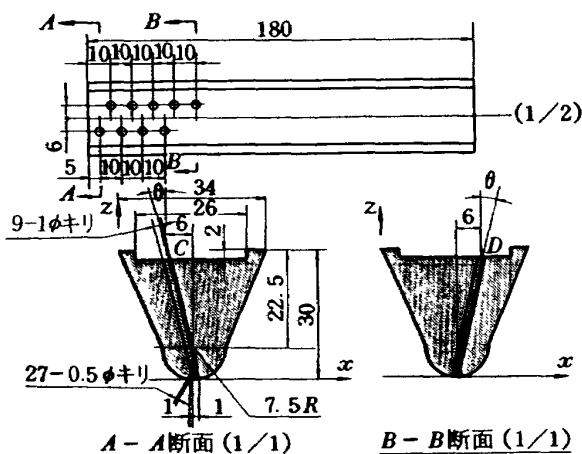


図84 15φ半円柱圧力模型

表38 孔あけ用数値計算結果

単位：mm

孔	x	z	θ	X	dX
A	24	13	$28^\circ 37'$	83.733	0.035
B	36	13	$-28^\circ 37'$	-13.925	0.024
C	11	28	13°	41.303	0.040
D	23	28	-13°	-4.578	0.033

記号は図82～84参照

回転角 θ の誤差 $d\theta$ のために生ずる移動量 X の誤差 dX は式(27)の両辺の微分をとることによって式(28)で与えられる。

$$dX = \{(70.16 - x) \sin \theta + (99.97 + z) \cos \theta\} d\theta \quad (28)$$

回転角の微小誤差 $d\theta = 1'$ のための移動量の誤差 dX を本実例について計算した結果を表36に併記しておく。

なお、孔あけ位置精度は7.2節で述べた方法と同程度である。

第8章 むすび

以上、三次元座標測定器およびその一連の付属測定装置を用いた数多くの測定実例のうち、その一部について詳細に述べて来た。

本測定器設計の当初においては、如何にして各種形状の三次元物体の断面形状の測定を簡単な方法でしかも精度よく行うかと言うことを主な目的として設計されたため、測定器の形状も前例のない測定検出部突出型となり、精密測定器設計の常識からはいさゝか外れた設計にならざるを得なかったが、このことが今まで述べて来た数多くの特殊測定或は特殊加工作業を可能にしたことは否めない。

そして幸にして今までに各研究依頼の数多くの特殊測定等の要求を満足することができ、各研究者の方々に有効に利用して戴いたことは著者として誠に幸甚である。今後共更に多くの特殊測定を手掛け、必要に応じて測定装置等も設計して行く所存である。

文 献

- (1) 染谷昭夫； 三次元座標測定器の試作，航空宇宙技術研究所資料，TM-283，1975年8月。

付表 模型検査室保有寸度測定機器一覧表 (その1)

測定器名称	製造会社	測定型式	測定範囲	最小目盛	測定精度		備考	
					公称	検定		
万能測長器 MUL-1000	SIP	フラットフィーラによる外側測定	0~1016mm	0.5 μ	$(0.6 + \frac{0.9}{1000}L)$ μ	±0.5 μ (検定長50 mm)	基準尺及び測微顕微鏡	
		内側フィーラによる内側測定	10~916mm	0.5 μ	$(0.6 + \frac{0.9}{1000}L)$ μ	±0.5 μ (検定長40 mm)	"	
		テーパ・プラグゲージのテーパ測定		軸方向 ブロックゲージ 直径方向 0.5 μ				"
		垂直測定顕微鏡による垂直距離測定	0~20mm	0.5 μ		±2 μ (検定長 5~15mm)	"	
		測定顕微鏡による輪郭座標測定	X方向 0~230mm Y方向 0~50mm	X方向 0.5 μ Y方向 2 μ		X方向 ±2 μ Y方向 ±3 μ (平行平面間)	X方向は基準尺と測定顕微鏡 Y方向はマイクロメータヘッド	
		フィーラ顕微鏡による内径測定	フィラ No. I 2mm 5mm II 2.2mm 15mm III 6mm 35mm IV 8mm 60mm V 10mm 80mm	0.5 μ		±2 μ (検定長 40mm)	基準尺及び測微顕微鏡	
座標投影器 CP-22型	東京光学	外側測定	X方向 0~500mm Y方向 0~500mm	0.01mm		±0.01mm (検定長 5~100mm)	投影面積 220 φ 投影倍率 10及び 20	
		内側測定						
		輪郭測定						
		返射照明測定						
座標投影器 VT-12A型	神港精機	外側測定	X方向 0~300mm Y方向 0~175mm	0.01mm		±0.01mm	投影面積 300 φ 投影倍率 10, 20 及び50	
		内側測定						
		輪郭測定						
		返射照明測定						
床上投影検査器 FC-30	JONES & LAMSON	外側測定	X方向 0~200mm Z方向 0~125mm				投影面積 760 φ 投影倍率 10及び 20	
		内側測定						
		輪郭測定						
		返射照明測定						
		角度測定		1'				
二次元座標測定器 2 DM	藤田製作所	測定望遠鏡によるXZ面内座標測定	X方向 0~1000mm Z方向 0~500mm	0.01mm		±0.02mm		
		テコ式ダイヤルゲージまたは電気マイクロによる各種高さ測定	0~300mm ライザブロック使用にて 300~600mm	1 μ	±3 μ	±3 μ		

付表 模型検査室保有寸度測定機器一覧表 (その2)

測定器名称	製造会社	測定型式	測定範囲	読取方式	最小読取単位 (最小目盛)	測定精度		備考	
						公称	検定		
ハイトマイクロ	HOMMEL	テコ式ダイヤルゲージまたは電気マイクロによる各種高さ測定	0 ~ 300mm ライザブロック 使用にて 300 ~ 600mm	マイクロメータ ヘッド	5 μ		±0.01 mm		
オートコリメータ CM-1型	藤田製作所	平面度,真直度 直角度及び微小 回転角の測定	0~1mm/200mm (約16'40")		1μ/200mm (約1")			ペンタゴンプリズム 器差 12面鏡 器差	
オートコリメータ 5型No.557	日本光学	平面度,真直度 直角度及び微小 回転角の測定	0 ~ 30'		1"			表わす	器差()
								角 度	
								30	+0.7
								60	-0.3
								90	+1.2
								120	+2.3
								150	+2.7
								180	+0.2
								210	+0.9
240	-0.3								
270	+1.4								
300	+1.5								
330	+1.7								
クリノメータ	CARL ZEISS JENA	絶対傾斜角 及び相対回転 角の測定	±120°		30"		±0.5'		
角型水準器	加藤精密				0.01mm/1m (2")				
平型水準器	加藤精密				0.01mm/1m (2")				
平型水準器	藤田製作所				0.02mm/1m (4")				
調整式水準器	HUET				0.01mm/1m (2")				
マイクロプロ トラクター MP-101	丸井計器	角度測定	0 ~ 180°		1'				
セオドライト TM10	測機舎	水平・垂直 回転角測定	0 ~ 360°		10"				
直角度測定器	藤田製作所	直角度の測定	0 ~ 300mm				2.5 μ/300 mm		
傾斜型円テーブル	三井精機	角度測定	0 ~ 360°	バーニヤ	1"		テーブル面 に直角な回 転軸まわりの 回転精度 ±10"		
			0 ~ 90°		1'	テーブル面 に平行な回 転軸まわりの 回転精度 ±2'			
直角定盤	藤田製作所	直角度の測定	500×300×300 mm				5 μ		
円筒スコヤ	製田製作所	直角度の測定	150 ^φ ×400mm				2 μ		
平行直角定規 (JIS 1級)	加藤精密	直角度の測定	150×300mm				18 μ/300mm	備 品 番 号	T1203-7
	丸菱計器		150×300mm				5 μ/300mm		T1212-1
			300×500mm				25 μ/500mm		T1212-2

付表 模型検査室保有寸度測定機器一覧表 (その3)

測定器名称	製造会社	測定型式	測定範囲		読取方式	最小目盛	測定精度		備考
							公称	検定	
小孔均径測定器	CARL ZEISS JENA	小孔内径測定	内径	測定深	ダイヤルゲージ	2 μ	± 2.5 μ		
			2 ~ 2.3	9					
			2.3 ~ 3.1	12					
			3.1 ~ 4	15					
			4 ~ 5.5	20					
			5.5 ~ 7.7	30					
7.7 ~ 11	40								
三点マイクロメータ	三 豊	内径測定	内径	測定深		1 μ			
			6 ~ 12	150					
			11 ~ 40	225					
シリンダゲージ	尾崎製作所	内径測定	18 φ ~ 60 φ 測定深さ 150	ダイヤルゲージ	1 μ		± 5 μ		
シリンダゲージ	KKテックロック	内径測定	10 φ ~ 18 φ 測定深さ100	ダイヤルゲージ	1 μ				
			50 φ ~ 100 φ 測定深さ150						
			100 φ ~ 160 φ 測定深さ250						
ボアゲージ	KKテックロック	小孔内径測定	6 φ ~ 10 φ 測定深さ 50	ダイヤルゲージ	1 μ	± 3 μ			
キャリパ型 内側マイクロ メータ	三 豊	内径測定	5 ~ 25mm		0.01				
つきたし式 棒形内側 マイクロメータ	三 豊	内径測定 内側測定	50 ~ 500mm		0.01				
内側キャリ パゲージ	尾崎製作所	内径測定 内側測定	測定範囲	測定深	ダイヤルゲージ	0.01			
			10 ~ 30	100					
			20 ~ 40	150					
30 ~ 50	80								
外側マイクロメータ	三 豊	外径測定 外側測定	0 ~ 400mm		0.01				
カウント 外側マイクロメータ	三 豊	外径測定 外側測定	0 ~ 100mm		2 μ				
ミクロン 外側マイクロメータ	三 豊	外径測定 外側測定	0 ~ 50mm		1 μ				
外側 キャリパゲージ	尾崎製作所	外径測定 外側測定	0 ~ 60mm		0.01				
デプス マイクロメータ	三 豊	深さ測定	0 ~ 50mm		0.01				
替アンビル式 デプスゲージ	尾崎製作所	深さ測定	0 ~ 160mm		0.01				
ノギス			0 ~ 1000mm		0.02				
ブロックゲージ	津 上		103コ組, 8コ組				JIS A級		
			103コ組, 8コ組				JIS C級		
アングルゲージ	Johansson		85コ組						
ハイトゲージ	三 豊	高さ測定	0 ~ 600mm		0.02				

付表 模型検査室保有寸度測定機器一覧表（その4）

測定器名称	製造会社	測定型式	測定範囲	読取方式	最小読取単位 (最小目盛)	測定精度		備考
						公称	検定	
三次元座標測定器	藤田製作所	外面形状輪郭座標測定	X方向 0～600 mm	マグネ スケール	0.001mm		± 3 μ	
		断面形状輪郭座標測定	Y方向 0～500 mm					
		内面形状輪郭座標測定	Z方向 0～200 mm					
		小孔位置座標測定	たゞしZ方向は テーブル150～ 500での任意の 200可能					
		プロフィール ゲージの輪郭 座標測定	X方向 0～600mm Z方向 0～200 mm	0.001 mm	± 5 μ			
		角度測定		回転マグネ スケール	3"	± 10"		
ポンチング および ケガキ作業	作業範囲 Y方向 0～600 mm Y方向 0～500 mm Z方向 0～200mm	マグネ スケール	Xおよび Z方向 0.001mm Y方向 0.01 mm	ポンチング 精度 ± 0.01 ケガキ精度 ± 0.01				

航空宇宙技術研究所資料464号

昭和57年6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 共 進
東京都杉並区久我山5-6-17
