

UDC 531.781 : 621.317
533.6.071.3

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-179

風洞天秤の試作

金 成 正 好・北 出 大 三

1970 年 5 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-141	超音速二次元翼列予備実験風洞について	1968年7月	近藤博, 坂口一 八山優, 高森晋
TM-142	二次元スラットおよびスロッチドフラップの実験的研究(Ⅲ)	1968年7月	犬丸矩夫, 高橋 侖
TM-143	端面一体巻きフィラメント・ワインディング容器の静圧強度および疲れ強度	1968年8月	竹中幸彦, 朝田洋雄 野口義男
TM-144	真ひずみ計の試作	1968年8月	竹中幸彦, 朝田洋雄 野口義男
TM-145	スピンを伴うロケットの運動を計算するプログラム	1968年8月	戸川隼人, 石黒登美子 山本浩通
TM-146	双発STOL機の飛行試験 —実用運用包囲線および離着陸特性—	1968年8月	幸尾治朗, 岡 遠一 塚野雄吉, 鎌田幸男 小野孝次
TM-147	浮動振子型加速度計の試作	1968年9月	大月正男, 鈴木孝雄 円居繁治
TM-148	吹出しフラップ翼の高揚力特性	1968年9月	小橋安次郎, 宮沢政文 西 武徳
TM-149	NAL-16-TR ロケットの研究試作	1968年10月	ロケット性能研究室
TM-150	リフトジェット VTOL 機の着陸における水平方向の減速について	1968年11月	西村博史
TM-151	フラッタ解析法の再検討 —フラッタ解析法の研究 そのⅠ—	1968年12月	市川輝雄
TM-152	ノズル内の突起物によるロケットエンジンの側分力	1969年1月	檜崎哲二, 中野富雄
TM-153	FA-200 改機の風洞試験 (Ⅰ) プロペラ付き	1969年2月	広末健一, 坂井紀穂 高橋 宏, 綿貫忠晴
TM-154	FA-200 改機の風洞試験 (Ⅱ) 高揚力装置付き	1969年2月	広末健一, 木村友昭 高橋 宏, 綿貫忠晴
TM-155	極超音速風洞 M7 ノズル較正試験	1969年2月	橋本登, 吉沢 昭 穂積弘一
TM-156	自動制御系の動特性を計数型電子計算機により模擬するための汎用プログラム	1969年3月	戸川隼人, 丸山治雄
TM-157	機上用超小形エンコーダの研究	1969年3月	中 正夫, 山本芳樹 大石 晃
TM-159	可動アイアンバードによる姿勢制御の実験	1969年5月	西村南史, 藤枝郭俊
TM-160	極超音速風洞計測装置について	1969年7月	長洲秀夫, 吉沢 昭 松崎貴至
TM-161	燃料蒸発管に関する研究(Ⅲ) —加熱蒸発管の燃料未蒸発分捕集—	1969年8月	鈴木邦男, 田丸 卓 乙幡安雄
TM-162	境界層内圧力変動および板の振動変位の測定	1969年9月	藤森義典, 山崎 浩
TM-163	ある双発プロペラSTOL機の動安定風洞試験	1969年9月	別府護郎, 鈴木友昭
TM-164	ブレードのフラッピング運動をバネで拘束したロータのピッチダンピングについて	1966年10月	別府護郎, 岡 遠一
TM-165	フェノール系複合材の環境試験結果	1969年11月	古田敏康, 野口義男
TM-166	ガスタービン用缶形燃焼器における燃焼領域のガス組成と燃焼状態	1969年11月	大塚貞吉, 斎藤隆吉 堀内正司, 本間幸吉 宮坂 彰
TM-167	YS-11A-300型輸送機の胴体疲労試験 —中部胴体前方大型貨物口部および後方乗降口部付近—	1970年1月	竹内和之, 川島矩郎 熊倉郁夫, 松岡陽一

風 洞 天 秤 の 試 作*

金 成 正 好**・北 出 大 三***

概 要

航技研の遷音速風洞，吹出式超音速風洞，大型低速風洞用として，ひずみゲージ使用の内挿式天秤の試作を行なったので，それらについて述べる。

ひずみゲージはく離の問題を解決する手段としては，いろいろな接着面をもつ試験片をつくり，接着性能試験を行なった結果，ゲージ接着面としてサンドブラスト加工による面を採用することにした。

受感素子としては門型フレームを選定し，試験片により検討の結果実用化した。受感素子の結合方式として切欠きを採用し，試験片によりその干渉の程度等について検討を加えた。

これらの結果を総合して天秤を試作し，校正結果を求め，一部のものについては実際に風洞試験に使用し，全体的にみて良好な結果を得ることができた。

1. ま え が き

現在，当所の遷音速風洞および吹出式超音速風洞において使用されている天秤は，ストレンゲージを使用したいわゆる内挿式天秤が主として使われている。

風洞模型は航空機，ロケット等種々の形状のものがあり，形状によって揚力の大きいもの，小さいもの，抗力の大きいもの，小さいもの等いろいろな場合があるから，空気力を精度よく測定する際には，理想的には，ある模型にその試験に則した最もふさわしい容量の天秤を用意して風洞試験を行なうべきであるが，通常は1個の比較的大容量の天秤ですべての試験に共通して使用している。これはおもに天秤の高価さと，天秤交換に伴う付随作業の増加によるためである。

そこで比較的構造が簡単で価格の低い天秤を作ることを目的として，さらに現有の天秤が大容量型であるので，小容量型の三～六分力天秤を試作し試験した。

以下にひずみゲージ接着面，受感素子，試作した天秤の3項目に分けて報告する。

2. ひずみゲージ接着面

2.1 天秤の故障について

現用の6分力天秤に発生した故障の原因のうちで，ひずみゲージに関するものを大別すると次のようにな

る。

- (1) ひずみゲージの断線
- (2) ひずみゲージの劣化に伴う機能低下
- (3) ひずみゲージの接着面からのはく離

これらのうち(1)，(2)は，その接着後における防湿処理の不完全，あるいは接着剤の保存管理の不備等が原因となるのであるが，これらを十分注意した上で修理した天秤においても，3～5年後には修理を必要とするのが実状である。しかし，(3)は突発的に発生し，その原因も上述の他に接着力の問題が加わるものである。

2.2 ひずみゲージ接着面について

さて，その接着力について考えてみる。接着力が強ければはく離しにくいことは当然であり，理想的な状態としては，大きな負荷をかけた場合にひずみゲージが断線してもひずみゲージが接着面からはく離しなければ接着状態は完全であるといえる。

接着力は接着の際に使用する接着剤，接着される材料の面の状態，接着圧力および接着剤の乾燥方法等でほぼ決定される。接着剤はひずみゲージと同様種々のものがあるが，一応ここでは容易に入手できる市販品とし，接着される面の状態つまり風洞天秤の受感素子のゲージ接着面に問題を限定することにする。

面の仕上程度は JIS B 0601 表面あらさで規定されていて，その程度を指定すれば接着面の状態は使用材料と工作方法で決まるものであるが，そのようにして作られた仕上面のうち最もひずみゲージ接着面として

* 昭和45年1月20日受付

** 空気力学第二部

*** 元，空気力学第二部

ふさわしい面があると考える。

2.3 接着面に関する試験

風胴天秤の試作のはじめとして、ひずみゲージ接着面について判定するための資料を得ることを目的として次のような試験を行なった。

(1) 試験片

製作した試験片について表 2.1 に示す。

No. 1 から No. 22 までは JIS G 3101 規格 SS41 を、No 25 から No. 33 までは JIS G 4305 規格 SUS 27 を、その圧延方向を長手方向として切り取った、概略寸法 120mm×20mm×4.5mm の矩形板の片面に、所要の加工を施こして接着面を作ったものである。

(2) ひずみゲージの接着

接着したひずみゲージは、共和電業製紙ゲージ K-3-A1 (表 2.1 の記号 P)、ベークライトゲージ KB-3-A1 (表 2.1 の記号 B) を、接着剤はシアノアクリレート系接着剤 (共和 CC-15A) を使用して、全試験片に対し次のような条件で接着した。

試験片の表面を軽油に浸漬してはけ洗いし乾燥布で拭きとり、四塩化炭素に浸漬してはけ洗いし自然乾燥させ、さらにアルコールに浸漬させたのち、自然乾燥させる。次にひずみゲージ台紙面に接着剤を塗り接着面に置き、セロファンおよび厚さ 2mm 程度のゴムを順次重ね、約 1kg/cm² の面圧がかかる重さのおもりをのせたまま約 5 分間放置する。

なお、ひずみゲージは 1 枚のみ接着しほぼそれと同じ抵抗値の固定抵抗と組み合わせてホイートストンブリッジを構成するようにした。

(3) 試験方法

試験装置を図 2.1 に示す。

方法としては、ひずみゲージを接着した試験片に対する荷重は環状力量計 (最大秤量 200kg, 精度 0.5%) を用いて負荷し、試験片のたわみ量 0.1mm ごとにデジタルボルトメータでひずみゲージブリッジの出力電圧をもとめた。この際にひずみゲージがはく離または断線するところまで計測した。

ここで図 2.2 のように抵抗値 $R_1=R_2=R_3=R_4$ で

試験片番号	材質	接着ゲージ		接着面状況	面のあらし		接着面工作方法
		種別	抵抗(Ω)		ゲージ率	→S	
1	SS41	P	120.0	2.13			黒皮のまま
2	〃	〃	〃	〃	0.4	6	手仕上 6°油目ヤスリ
3	〃	〃	120.5	2.12	6	0.4	〃
4	〃	〃	〃	〃	6	3	〃
5	〃	〃	120.7	1.82	12		フライス加工.100 ^μ 12枚刃カッタ 65r.p.m. 送り70mm/min, 切込 0.5mm
6	〃	〃	〃	〃	1.5	12	〃
7	〃	〃	〃	〃	3	6	サンドブラスト加工.砂のあらし0.25mm角ふるい目通過, 吹付空気圧3~5kg/cm ²
8	〃	〃	〃	〃	12	12	〃 〃 0.25~0.50mm 〃
9	〃	〃	〃	〃	18	18	〃 〃 0.50~1.00mm 〃
10	〃	〃	〃	〃	35	25	〃 〃 1.00~2.00mm 〃
11	〃	〃	〃	〃	35	35	〃 〃 2.00~2.80mm 〃
12	〃	〃	120.8	1.82	18	18	縦フライス加工. 6 ^μ 2枚刃エンドミル, 600r.p.m. 送り60mm/min. 切込 0.1mm
13	〃	〃	〃	〃	0.4	0.2	手仕上 AA-320サンドペーパー
14	〃	〃	〃	〃		3	研磨機械加工. 砥石WAI46, 200 ^μ 2850r.p.m. 送り10mm/min, 切込 2/1000mm
15	〃	〃	〃	〃	3		〃
16	〃	〃	〃	〃	0.2	1.5	〃 . 砥石WAK80, 〃
17	〃	〃	〃	〃	1.5		〃
18	〃	〃	〃	〃		3	〃 . 砥石WAK100, 〃
19	〃	〃	〃	〃	3		〃
20	〃	B	119.3	2.00			手仕上 6°油目ヤスリ
21	〃	〃	〃	〃			〃
22	〃	〃	〃	〃			サンドブラスト加工, 砂のあらし0.50~1.00mm角ふるい目通過, 吹付空気圧3~5kg/cm ²
25	SUS27	P	120.2	1.93	1.5		手仕上 6°油目ヤスリ
26	〃	〃	〃	〃	6	3	〃
27	〃	〃	〃	〃			サンドブラスト加工. 砂のあらし0.25~0.50mm角ふるい目通過, 吹付空気圧3~5kg/cm ²
28	〃	〃	120.8	1.82			〃 〃 0.50~1.00mm 〃
29	〃	〃	120.2	1.93			〃 〃 1.00~2.00mm 〃
30	〃	〃	〃	〃	1.5		研磨機械加工. 砥石WAI46, 200 ^μ 2850r.p.m. 送り10mm/min. 切込 2/1000mm
31	〃	〃	〃	〃	3		〃
32	〃	〃	〃	〃		3	〃 砥石WAK80 〃
33	〃	B	120.8	1.95			サンドブラスト加工, 砂のあらし0.50~1.00mm角ふるい目通過, 吹付空気圧3~5kg/cm ²

表 2.1 試験片一覧

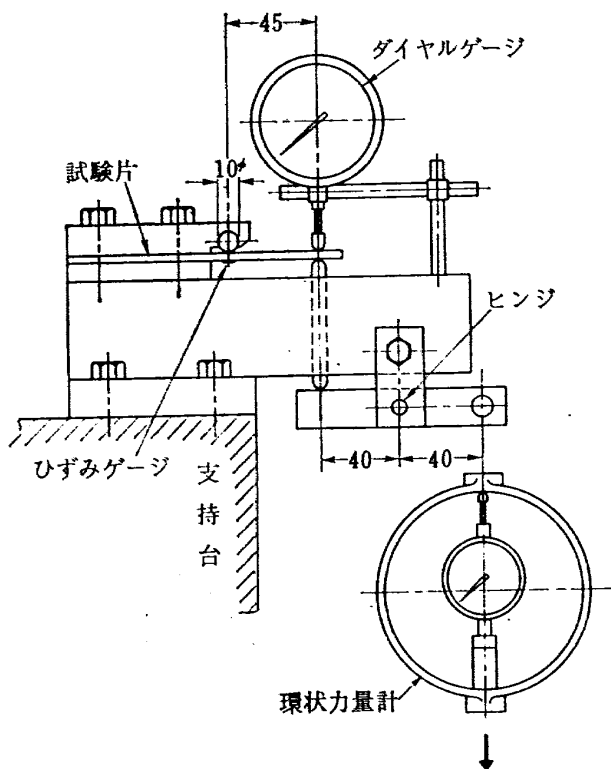


図 2.1 試験装置

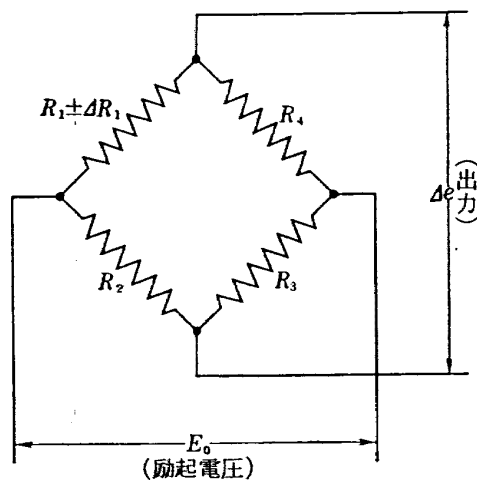


図 2.2 ひずみゲージによる電橋回路

構成した電橋回路において、試験片に接着したひずみゲージの抵抗値 R_1 がひずみをうけて ΔR_1 だけ変化した場合についてみると、

$$\Delta e = \frac{\alpha E_0}{2 + (R_4/R_3) + (R_3/R_2)} = \frac{\alpha E_0}{4} \quad (2.1)$$

$$\Delta R_1/R_1 = 4 \Delta e/E_0 \quad (2.2)$$

ただし Δe : ブリッジの出力電圧

E_0 : ブリッジの励起電圧

α : $\Delta R_1/R_1$

R_1, R_2, R_3, R_4 : 各抵抗の抵抗値

ΔR_1 : 抵抗 R_1 のひずみによる変化量

一方、試験片が荷重によって曲げられたとき弾性限界内では

$$\sigma_B = M_B/Z = Wl/Z \quad (2.3)$$

さらにひずみゲージのゲージ率等を考えて

$$\Delta R_1/R_1 = K\sigma_B/E \quad (2.4)$$

式 (2.2), (2.4) より

$$\sigma_B/E = 4 \Delta e/KE_0 \quad (2.6)$$

ただし σ_B : ひずみゲージ接着部に生ずる曲げ応力

M_B : ひずみゲージ接着部にはたらく曲げモーメント

W : 荷重

l : 荷重点とひずみゲージ接着部との距離

Z : 試験片の断面係数

K : ひずみゲージのゲージファクタ

E : 試験片の縦弾性係数

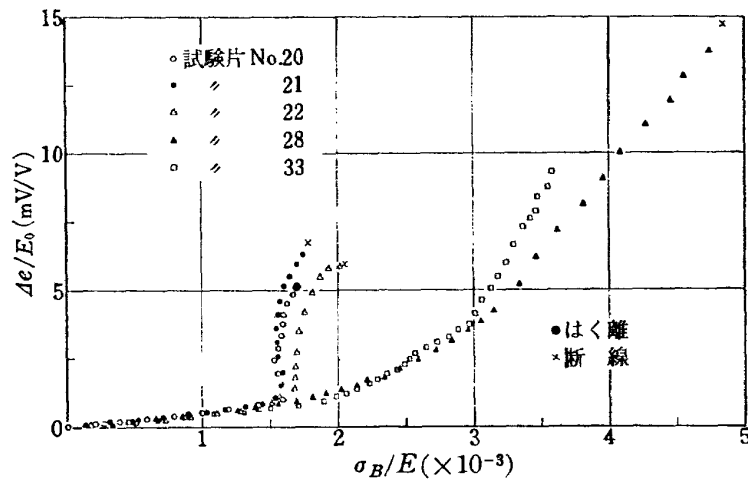
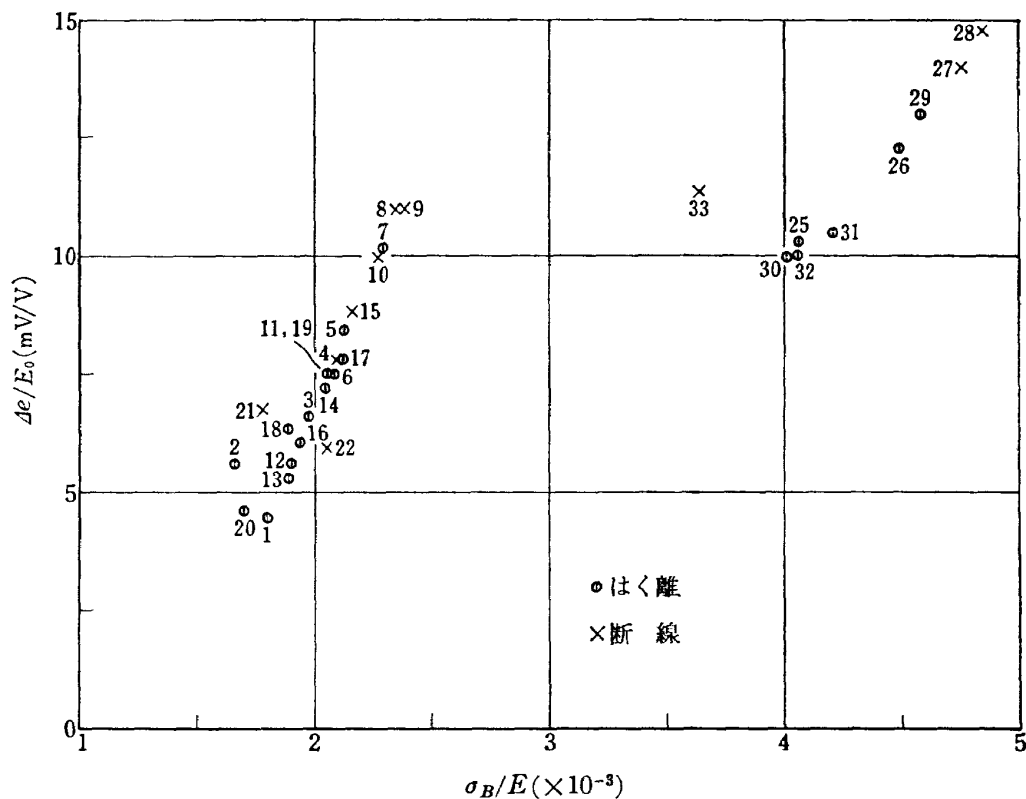
式 (2.6) の左辺は加えた荷重と試験片から計算され、右辺はひずみゲージブリッジの出力からもとめられる量である。ひずみゲージに記載されていたゲージファクタを用いて整理した。

2.4 試験結果

全試験片についての試験結果から代表的なものを示したのが図 2.3 である。これによると、応力が小さく $\sigma_B/E \approx 1.1 \times 10^{-3}$ ($\sigma_B = 22 \text{ kg/mm}^2$) 以下では式 (2.6) が満足され、その関係は直線的で弾性限界内にあることを示している。この範囲ではひずみゲージ接着上の問題はあまりないようである。

さらに荷重を増していくと SS 41 で作られた No. 20, 21, 22 の試験片では $\sigma_B/E = 1.5 \times 10^{-3}$ 付近から応力の増加がとまり塑性変形をおこすことがわかる (JIS 規格では本材料の降伏点 23 kg/mm^2 以上)。また、SUS 27 (JIS 規格では引張強さ 52 kg/mm^2 以上、降伏点は明示されていない) で作られた No. 28, 33 では $\sigma_B/E = 2.4 \sim 3.0 \times 10^{-3}$ から塑性変形がおこっている。さらに荷重を増すと応力はあまり増加しないが、ひずみは急速に増加する。このことは材料かひずみゲージの一方に、またはその両方に塑性変形が生じているものと思われる。そしてついにひずみゲージの断線または接着面からはく離がおこる。図では⊙印ははく離を、×印は断線をあらわす。

接着状況としてはゲージの断線をおこす程度に十分よく接着している場合がよいと考えられる。全試験片についてのはく離、断線の状況を図 2.4 に示す。なお記入した数字は試験片の番号である。

図 2.3 $\sigma_B/E - \Delta e/E_0$ 曲線図 2.4 $\sigma_B/E - \Delta e/E_0$ 曲線終端状況

ひずみゲージが断線した試験片のうちで No. 8, 9, 10, 27, 28, 33 は出力も高かったが、これはサンドブラスト加工によるものである。サンドブラスト加工による面はいわゆる梨地状で、表面あらさをしらべてみるとどちらの方向にもほぼ同じあらさを示している。また接着剤のつき具合も面全体に均一になっているように思われる。

また、よくない場合の大体の傾向として機械加工のしていない黒皮のままの面、研磨機により表面あらさが 3S 程度になっているもの (No. 16, 18, 30, 31, 32)、同じく手仕上げで表面あらさが 3S 程度になっ

ているもの (No. 2, 3, 13, 20, 25) 等があげられる。サンドブラスト加工でも砂のあらしが細かい場合には、それほどよい結果は得られていない (No. 11, 29)。

ただ、長時間にわたる繰返し荷重試験はできなかったため、この結果だけで接着力や天秤の寿命まで結論づけるには資料不足かもしれないが、以上の結果はひずみゲージ接着面の選定の際十分参考となり、天秤用受感素子の故障の原因のひとつであるひずみゲージのはく離という現象は、ほとんど避けられるものと思う。表面あらさを測定した結果の一例を図 2.5 に示

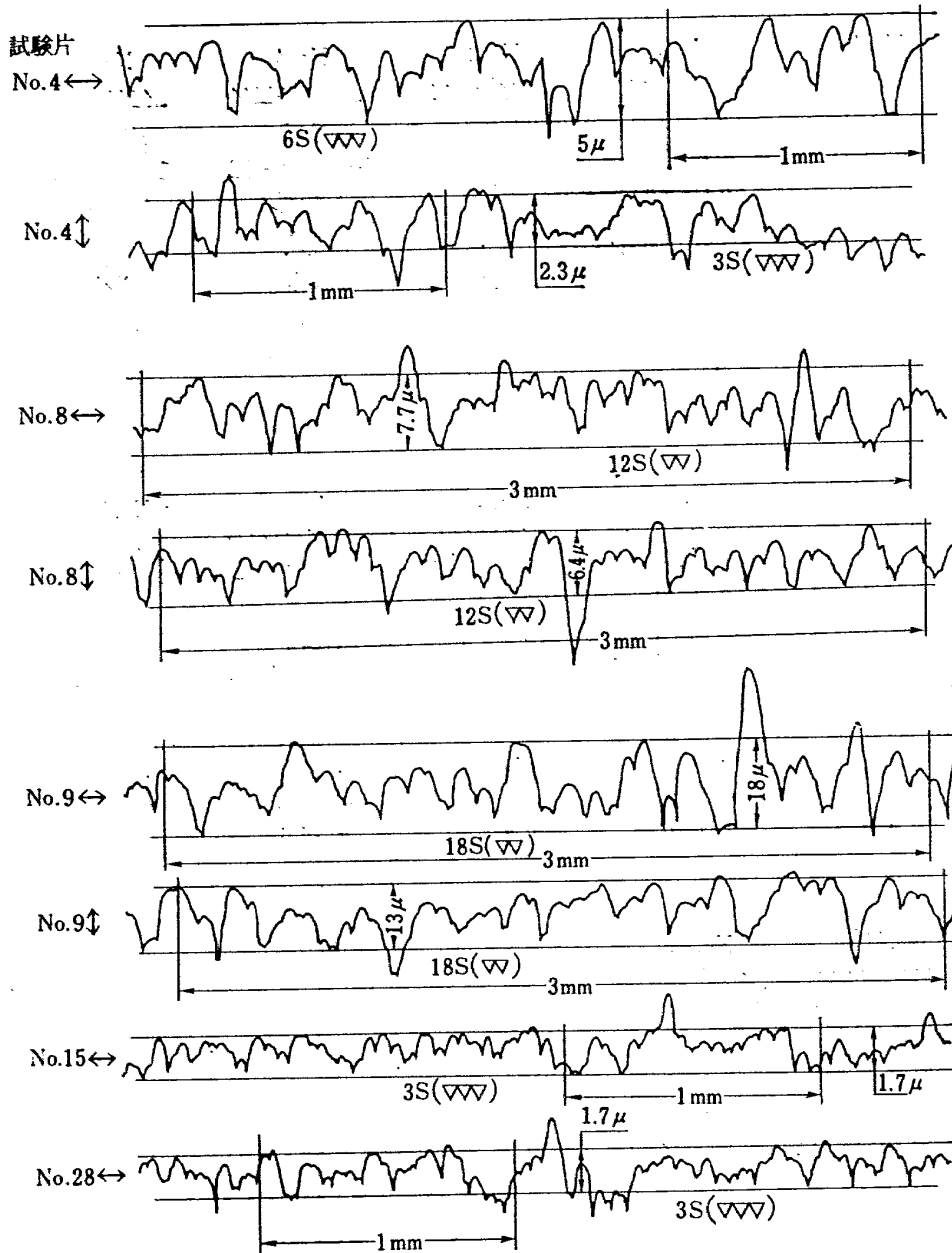


図 2.5 接着面の表面アラサ

す。

2.5 ひずみゲージ接着面についての考察

(1) 鋼材を使用するものとして、材料に生ずる応力が 20 kg/mm^2 以下の範囲であればひずみゲージの接着面としては特に配慮する必要はないようであるが、表面あらさは 6~18S ぐらいがよい。

(2) 接着面をつくる点から考えると、サンドブラスト加工は均一な面をつくるのに容易で、さらにどちらの方向にもほぼ同じ表面あらさが得られるという利点がある。

3. 受感素子

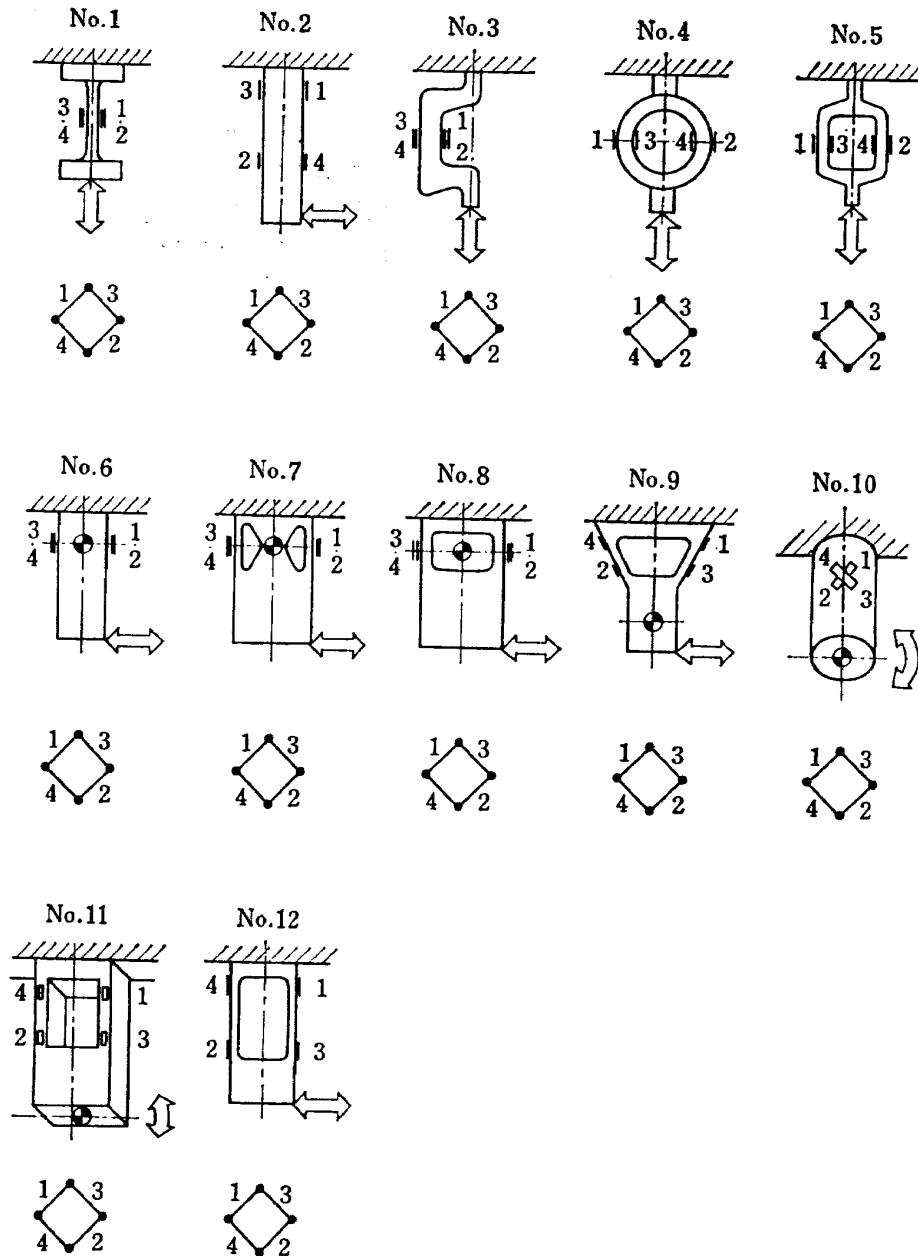
3.1 受感素子の形状の選定

受感素子は 3 軸方向にはたらく力のうち、ある 1 軸

方向の力のみを検出し得るような構造のもので、その力をそのまま検出する場合や、モーメントに変えて検出する場合等によって、その形状は大体決まるが、天秤の最も大切な部分である。通常は電氣的に測定するためひずみゲージが利用されるが、ひずみゲージ接着位置も受感素子の形状によってほぼ決まっている。

受感素子として用いられる形状には図 3.1 に示すようなものがあり⁶⁾、所内で使用している天秤には No. 5 の形状の受感素子が使用されている。しかし外径 1.5' の天秤に組みこむために大きさが制限されることや、他の受感素子の干渉を減少させるためにフレクチュアを設ける必要がある等のことで、機械加工やひずみゲージの接着には技術を要する。

そこで試作天秤に用いる受感素子として、機械加工

図 3.1 受感素子の種類⁶⁾

およびひずみゲージの接着が容易であることを考え、No. 12 の形状（以下「門型フレーム」と称する）の受感素子を選定し、実用化を検討することにした。

3.2 実用化の検討方法

図 3.2 に示すように門型フレームが荷重を受けて変形した場合の形状は、破線で示すようにラーメンの変形と同様で、応力は門型フレーム横荷重が作用するときの材端モーメントから求めることができるとされているが、試作する天秤が外径 1.5" である関係上受感素子としての大きさにかかなりの制限をうけるため、上述のように取り扱うことが適当であるかどうかという問題がある。

そこで、試験片を製作して荷重試験を行ない、荷重

位置によってひずみゲージの出力値にどのような変化が生ずるか、受感部の寸法と出力の関係はどうか等の設計資料を求めることにした。

ここで注意すべきことは図 3.1 No. 12 におけるひずみゲージブリッジの構成法である。これは、おおよそその変形が図 3.2 に示されるような剪断力によるものとし、ひずみゲージ 1, 2 は (+) のひずみ、3, 4 は (-) のひずみで、1, 2 をブリッジの対辺にもってきである。

もしこれを通常の 1 本のビームの上下に 4 枚のひずみゲージを接着した場合の組み方、すなわちひずみゲージ 1, 3 をブリッジの対辺にもってくると、これはビームのモーメントによる変形を基本にしたひずみを

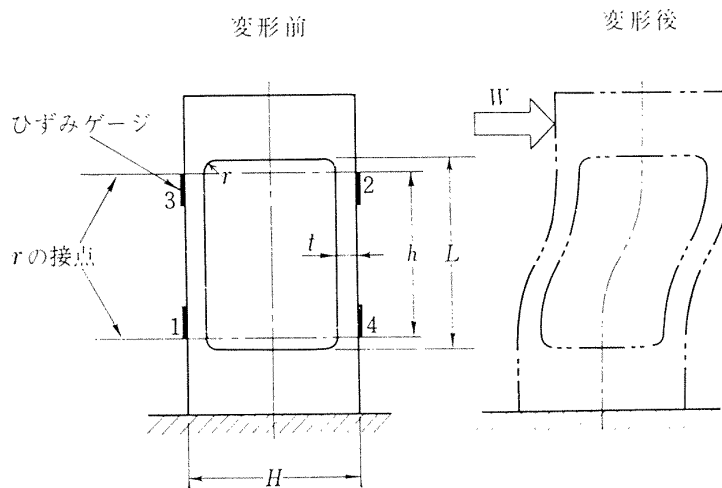


図 3.2 受感素子説明図

測定することになる。つまり荷重 W のかかる位置によってひずみゲージブリッジの出力値が異なることが予想されるが、いまの場合は力を測定するようなひずみゲージブリッジの構成としてあるので、出力は荷重位置に無関係であると予想される。

3.3 門型フレームの荷重試験

試験片の代表的なものを図 3.3 (a) に示す。製作数は図 3.3 (b) に示すごとく全部で 15 種類で、材質は JIS G 4051 規格 S 25 C とし、ひずみゲージは共和電業製の紙ゲージ K-3-A 1, 接着剤は同じく CC-15 A を使用した。

試験片 15 種類の内訳は図にも示すようにひずみゲージ接着部の厚さ t が異なるもの 4 種と、そのおのこの部分の長さ L の異なるもの 3 種で計

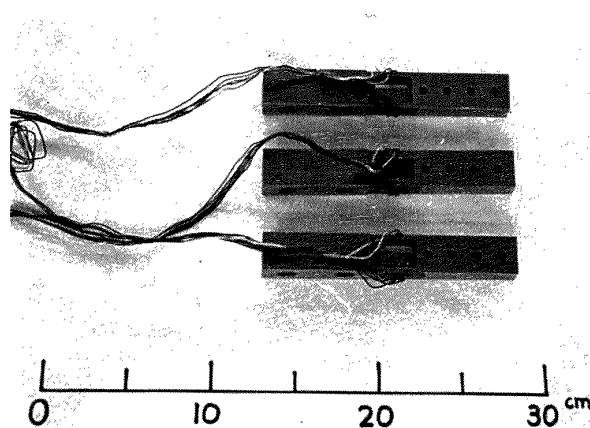
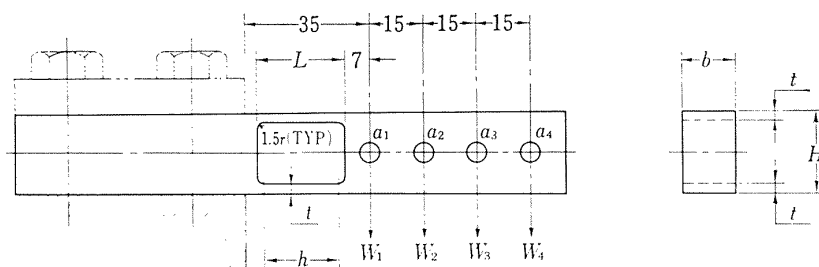


図 3.3 (a) 門型フレーム試験片



試験片 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
H (mm)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	15	19	27
b (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
t (mm)	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4
L (mm)	28	23	18	28	23	18	28	23	18	28	23	18	23	23	23
h (mm)	25	20	15	25	20	15	25	20	15	25	20	15	20	20	20
I/h (mm ³)	0.400	0.500	0.667	1.350	1.688	2.250	3.200	4.000	5.333	6.250	7.813	10.417	4.000	4.000	4.000

(記事) 表中の I/h の I は門型フレームの柱 1 本についての値をとったものである。

図 3.3 (b) 受感素子用試験片

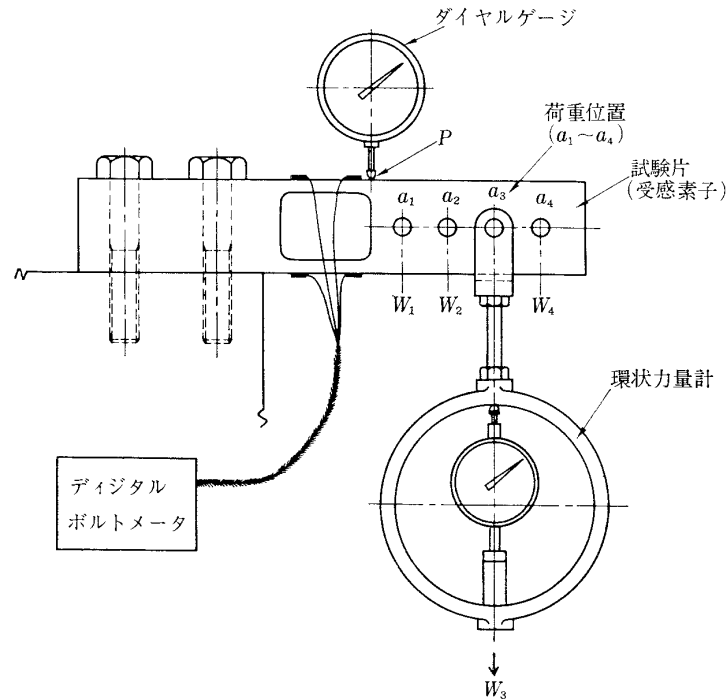


図 3.4 試験装置

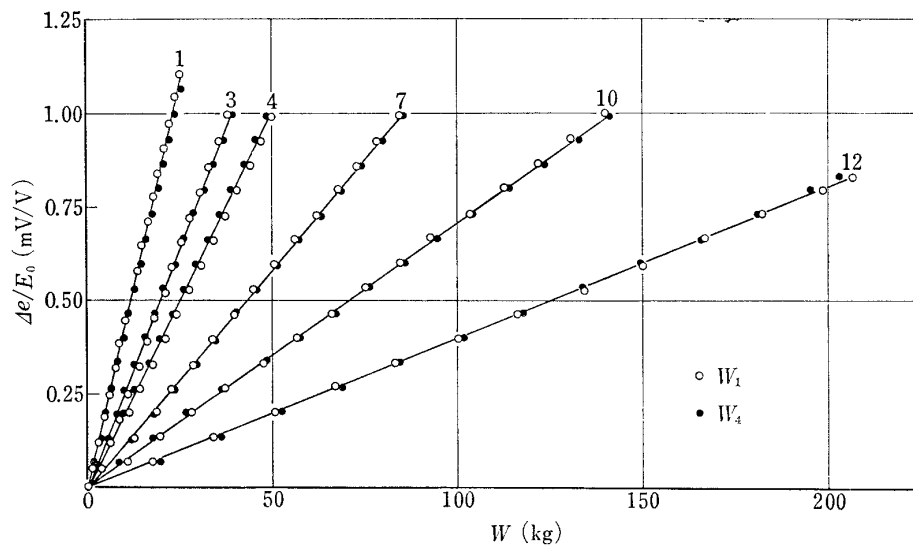


図 3.5 「荷重—出力」線図

12 種 (No. 1~12), ほかに高さ H の異なるもの 3 種 (No. 13~15) である。

荷重試験は図 3.4 に示す方法によって行ない。荷重位置を $a_1 \sim a_4$ と変えられるようにした。荷重は環状力量計によって負荷し、荷重位置を変えた時のひずみゲージの出力を、デジタルボルトメータで増幅器を使わずに直読し、図に示した P 点 (門型フレームの柱の付け根) におけるたわみ量をダイヤルゲージで測定した。なおひずみゲージブリッジの励起電圧はほぼ直流 3V である。

3.4 門型フレームの荷重試験結果

(1) 荷重位置と出力について

全試験片に対し荷重位置 a_1, a_4 のおのにおに荷重をかけた時のひずみゲージブリッジの出力を測定したうちから、いくつかを選んだものを図 3.5 に示す。なお、記入した数字は試験片番号である。

ただし E_0 : ひずみゲージブリッジの励起電圧

Δe : ひずみゲージブリッジの出力電圧

W_1, W_4 : 荷重位置 a_1, a_4 における荷重

図 3.5 に示されたように荷重とひずみゲージブリッジの出力値は完全に比例関係にあり、その比例定数つまり感度は図 3.5 の勾配で表わされ試験片によっ

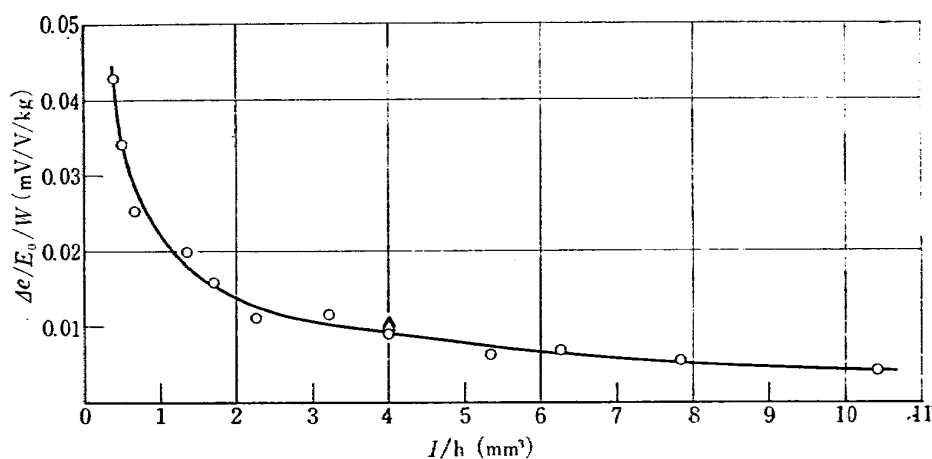


図 3.6 「剛度—感度」線図

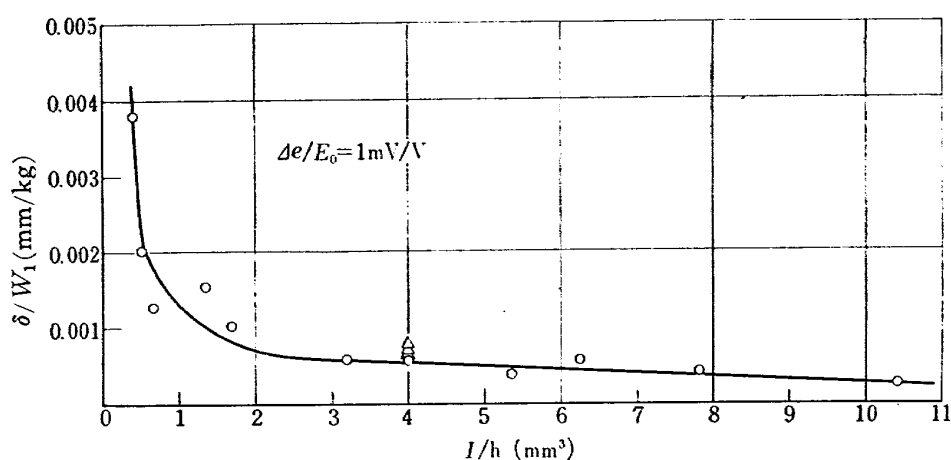


図 3.7 「剛度—たわみ」線図

て異なっている。また、荷重位置が多少移動しても出力値には大きな変化が表われなかった。このことはすでに 3.2 で予想されたことが正しかったことを示す。他の試験片についても同様な結果が得られた。

次に門型フレームの柱 1 本についての I/h を剛度、図 3.5 より $\Delta e/E_0/W$ を感度としてその関係を示すと、図 3.6 のようになる。

ただし I : 門型フレーム柱 1 本の断面二次モーメント

h : 門型フレーム柱の有効長さ(図 3.3(b) 参照)

この関係は図に示すような 1 本の曲線として示され受感素子を決める際には、感度を決めれば所要寸法に対する一つの条件を具体的に決めることができる。なお図上の各点のうち Δ , \blacktriangle は高さ H (図 3.3(b) 参照) の異なるもの (No. 13~15) である。

(2) 門型フレームのたわみについて

荷重試験において荷重位置 a_1 に荷重をかけ、ひずみゲージブリッジの出力値が $\Delta e/E_0=1\text{mV/V}$ の時

のたわみ量 δ と荷重および門型フレームの柱 1 本についての I/h を剛度として、その関係を示すと図 3.7 のようになった。

この図のようにそれらの関係が 1 本の曲線として示されたのであるが、変形形状を調べてみるとラーメン構造の場合のような変形のもの、1 本の片持梁の場合の変形とラーメン構造の場合の変形とを合成したような変形のもの等があり、これらは門型フレームが理想的な棒からなるラーメン構造ではないためと思われる。

以上の結果は門型フレームが純粋のラーメン構造と考えることに若干の無理があることを示しているが、図 3.1 に示す No. 12 の受感素子とひずみゲージブリッジの組み方により、種々の荷重点における荷重をその荷重位置に無関係に測定することができ、その感度と剛度との関係は図 3.6 で表わされることがわかった。

3.5 受感素子の結合方式と干渉

(1) 切欠き方式の選定

受感素子を天秤に組み込む場合には、天秤の測定分

力（三分力，六分力等）に応じて数個の受感素子を結合，組合わせることになる。そして各受感素子は測定すべき分力を他の分力による干渉を受けることなく正確に検出し，さらに秤量の再現性が得られることが必要である。この目的から，結合方式として滑節構造を採用することがよいと考えられる。

受感素子相互間を蝶番のような方式で結合した場合を考えてみると蝶番軸のはめ合いにおいてのすきまや摩擦あるいはスペースの問題等があり，天秤の構造としては高度な技術が要求される。そこで，十分な滑節構造とはいえないが，工作が容易であり秤量の再現性

が確実と思われるので，結合方式として切欠きを採用し，干渉の程度等について調べた。

(2) 切欠き部の強度について

干渉を少なくするには切欠き部の厚さをできるだけ薄くすればよいのであるが，強度的な制約があり薄くするにも限度がある。

一般に材料の一部に穴，溝，段付部などがあると応力集中を生ずるが切欠き部においても応力集中が生ずる。そして，応力集中によってその断面に生じた公称応力（平均応力）と最大応力との比は，形状係数または応力集中係数と呼ばれる。

形状係数は平面の切欠きの場合の方が，その輪郭曲線を対称軸のまわりに回転してできる三次元的切欠きの場合よりも大となり，さらに同一の切欠きにおいても引張りよりは曲げ，曲げよりはねじりの方が小さくなるというように，荷重の種類によっても異なる。そして，形状係数に最も大きな影響を与えるのは切欠きの形，その大きさ等であるが，帯板または丸棒に浅いミゾがある場合の引張りおよび曲げに対する形状係数に対しては近似的に求める式があり，その値はほぼ 1～3 の間にある。本試験片の切欠きは非常に深いミゾと考えられるので，この近似式を用いることには無理があるかもしれないが，計算すると 6.5 となる。すなわち，切欠き部の最大応力は平均応力の 6.5 倍ということになる。

(3) 切欠き部による干渉試験

切欠き部の厚さが受感素子間の干渉に大きな影響をおよぼすと考えられるから，試験片によって資料を求めてみた。試験装置および切欠き部の記号について図

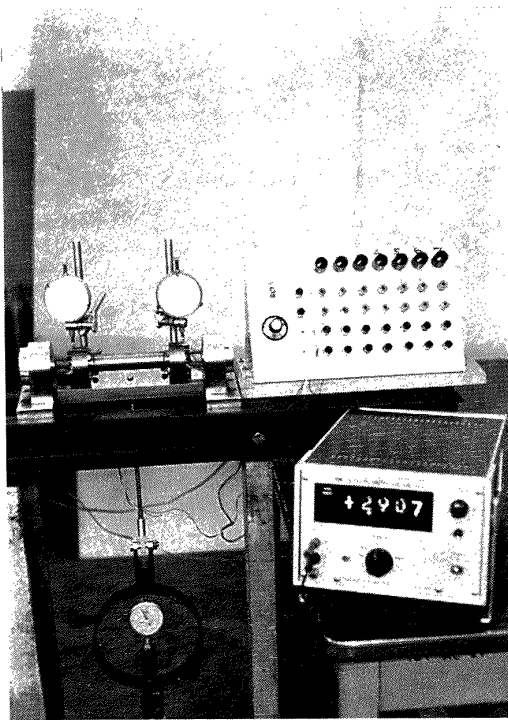


図 3-8 (a)

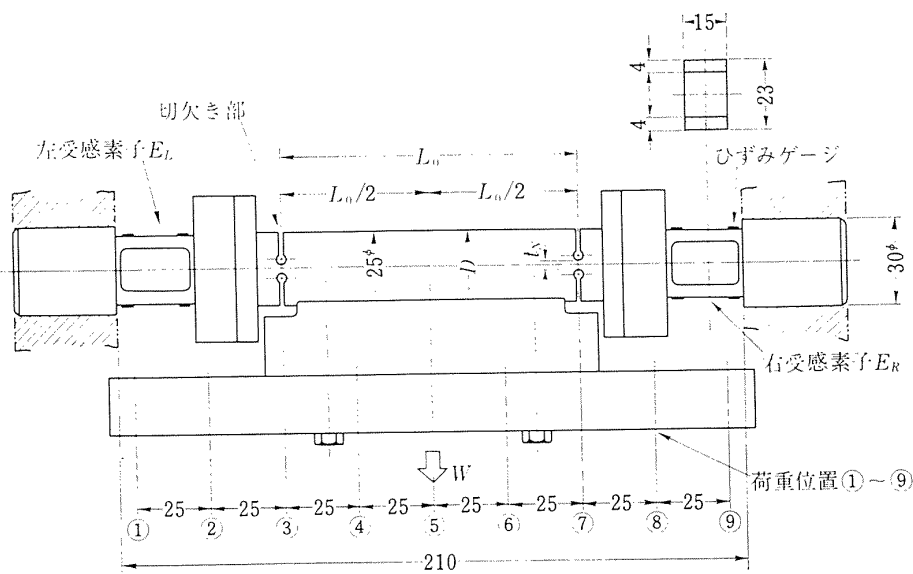


図 3-8 (b) 切欠き部寸法および記号

3.8 (a), (b) に示す。

切欠き試験片は一定間隔 L_0 に厚さ t_N の切欠き部を設けたもので、両端にはそれぞれ4枚のひずみゲージを接着した同じ型で同じ大きさの受感素子 E_L, E_R を接続しておき、全体を両端固定の状態にする。次に荷重 W を図 3.8(b) に示す ①～⑨ のおのおのの荷重点へかけた時の E_L, E_R のひずみゲージブリッジの出力を測定した。

なお、ここでは $L_0=100\text{ mm}$ とし $t_N=2\text{ mm}, 4\text{ mm}, 6\text{ mm}$ の3種類について行なった。

(4) 干渉試験の結果

受感素子 E_L と E_R との寸法差等により左右受感素子のひずみゲージブリッジの出力値を正確に一致させることは困難であるが、その差がわずかであったので左右対称となるよう補正を行ない、その結果を図 3.9 に示す。

図は切欠き部の厚さ $t_N=2\text{ mm}$ の場合で、左側受感素子 E_L の出力を上側に、右側受感素子 E_R の出

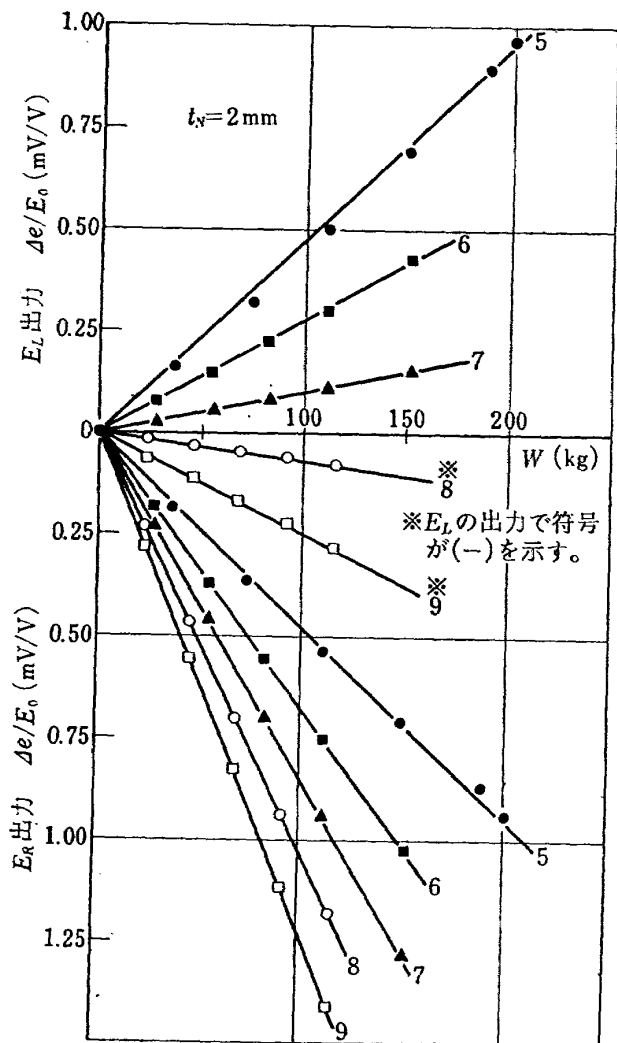


図 3.9 各荷重位置における左右受感素子の出力

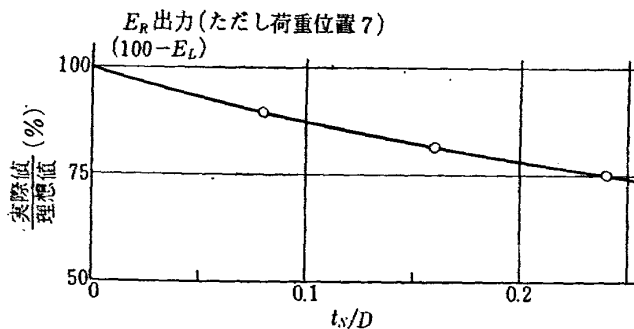


図 3.10 切欠きの程度と出力の割合

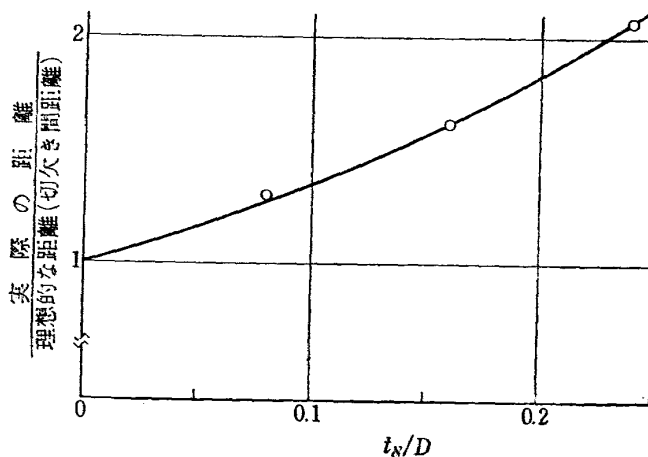


図 3.11 切欠きの程度と受感中心距離

力を下側に荷重位置を示す番号 (図 3.8(b) 参照) を付して示したものである。出力は荷重に対して完全に比例関係にあるが、理想的には荷重位置⑦に荷重をかけた場合、 E_L と E_R の出力の割合が $E_L=0\%$, $E_R=100\%$ でなければならない。そして、その理想値からのずれが干渉を生じる。本試験の結果では干渉値は荷重に対しては明らかに直線の変化をしている。

次に同じく荷重位置⑦に荷重をかけた場合の E_R の出力について、切欠きの程度と、理想値と実際に測定した値との比の関係を求めてみると図 3.10 のようになる。

この図からもわかるように、切欠き部の厚さの増加とともに干渉も大となっている。

この干渉の出現は力を測定する際の素子の受感中心ともいうべき位置に影響を与えることになる。理想的な場合は切欠きのある位置が受感中心であるが、実際の受感中心はたとえば図 3.9 で E_L の出力についてみるとその出力値がすべての荷重に対してゼロになるべき荷重位置で、この場合は⑦と⑧の間にあると考えられるが、このことは E_R についても同様のことがいえ、結局天秤としての受感中心間の距離は、理想的には切欠き位置間の距離であるが実際はそれより少し

長くなる。この長くなる度合を切欠きの程度について求めると図 3.11 のようになる。図 3.10, 3.11 から明らかなように切欠き部の厚さはできるだけ薄くし、かつ天秤にかかる最大荷重に耐え得るだけの強度をもてばよいわけであるが、その際には先にのべた応力集中や疲れ限度についても考慮しなければならないが、この問題は非常に複雑となるので、ここでは省略する。

4. 天秤の試作

4.1 天秤の設計と製作

これまでの結果にもとづき天秤を試作したのであるが、基本方針としては現用の 1.5" 天秤に装着される模型が取り付けられ、また天秤自体は現用のスティングに取り付けられて風胴に固定できることとし、先にのべた低容量の三分力天秤を試作、また設計の際構成

部品の数をできるだけ減らし一体化を図るようにした。

構成部材は強度、耐蝕性という点から現用天秤と同じく Armco の特殊ステンレス鋼 17-4PH (同等品として日本冶金工業の NAS 46 がある) を使用するのが好ましいが、価格が高いうえに少量入手が困難であることから、主要材料として JIS G 4303 SUS 53 B を使用した。ただし非常に容量の小さい場合には高力アルミニウム合金を用いる。

さらに組立、分解を容易にするため各部品の結合は主としてテーパーピンによって行なったが、これは TASK 社の天秤がストレートピンによって結合されており、分解修理の際にピンが損傷を受けることがあり、このようなことを防止するためである。

ひずみゲージ接着面はサンドブラスト処理を行ない、またひずみゲージブリッジの最大出力は 1mV/V

表 4.1 No. 1~No. 7 天秤の容量と感度一覧表

天秤名称	N1	N2	X	備 考
	容量 (kg) 感度(mV/V/kg)	容量 (kg) 感度(mV/V/kg)	容量 (kg) 感度(mV/V/kg)	
No. 1 (K-1)	20 0.05450	20 0.05200	15 0.07500	遷音速風胴用
No. 2 (K-2)	50 0.01980	50 0.02060	10 0.10800	遷音速風胴用
No. 3 (K-3)	75 0.01200	75 0.01560	25 0.04133	遷音速風胴用
No. 4 (K-4)	75 0.01833	75 0.00827	20 0.05460	超音速風胴用, ストップバ作動 N1(+)=100 kg, N1(-)=75 kg, N2(+)=80 kg, N2(-)=85 kg X=30 kg
No. 5 (K-5)	200 0.00547	200 0.00575	60 0.01600	超音速風胴用, ストップバ作動 N1(+)=170 kg, N1(-)=210 kg, N2(+)=260 kg, N2(-)=300 kg,
No. 6 (K-6)	130 0.00770	130 0.00760	25 0.04400	超音速風胴用, ストップバ作動 N1(+)=160 kg, N1(-)=130 kg, N2(+)=130 kg, N2(-)=130 kg,

天秤名称	N1 _R	N1 _L	N2 _R	N2 _L
	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)
No. 7	110 0.00370	110 0.00435	110 0.00410	110 0.00430

天秤名称	Y1	Y2	X	R _m
	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg-m)
No. 7	80 0.01425	80 0.01400	100 0.00980	10

(ひずみゲージのゲージ率2をとして、受感素子に生ずる応力 10 kg/mm^2 程度) を基準として設計されている。

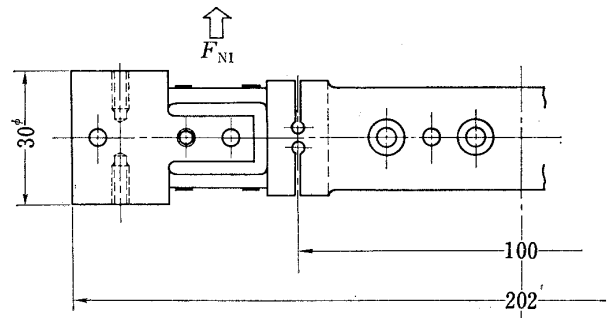
4.2 試作天秤の概要

遷音速風洞用，吹出式超音速風洞用，大型低速風洞用がおもなもので，その他に特殊な天秤も試作した。

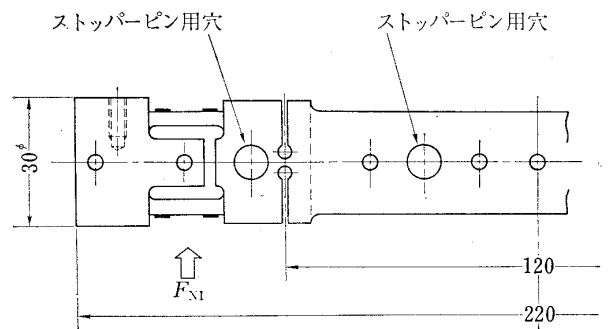
表 4.1 に試作した天秤の設計容量，測定感度を示す。

なお，試作した三分力天秤用の垂直力受感素子と軸力受感素子を図 4.1~4.2 に示す。遷音速風洞用としてA型，吹出式超音速風洞用としてB型の受感素子をそれぞれ使用する。図においては大きさ，構造が違うが，どちらも門型フレームを応用したもので，作用は同じである。説明を簡略にするため以下のような記号を用いることにする。

- $N(N1, N2, \dots)$: 天秤軸に対する垂直力受感素子
- $Y(Y1, Y2, \dots)$: 天秤軸に対する横力受感素子
- $X(X1, X2, \dots)$: 天秤軸に対する軸力受感素子
- R_m : 天秤軸に対する横揺モーメント受感素子

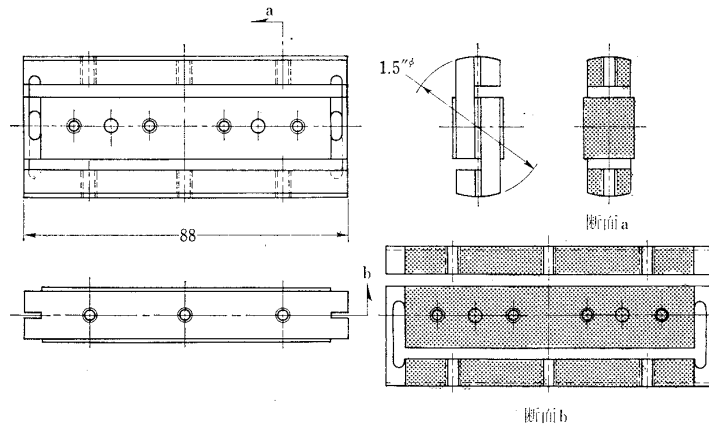


(1) A 型垂直力受感素子

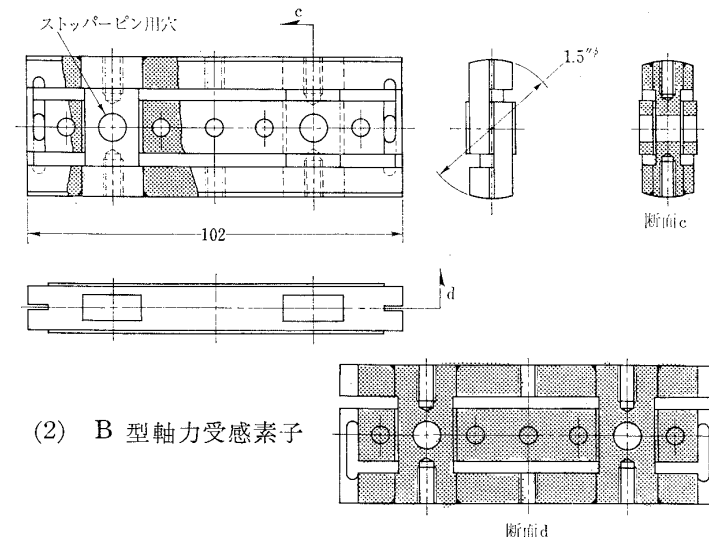


(2) B 型垂直力受感素子

図 4.1 垂直力受感素子



(1) A 型軸力受感素子



(2) B 型軸力受感素子

図 4.2 軸力受感素子

$F_N (F_{N1}, F_{N2}, \dots)$: 天秤軸に対する垂直力

$F_Y (F_{Y1}, F_{Y2}, \dots)$: 天秤軸に対する横力

F_A : 天秤軸に対する軸力

M_X : 天秤軸回りの横揺モーメント

M_Y : 天秤軸回りの縦揺モーメント

M_Z : 天秤軸回りの偏揺モーメント

(1) No. 1~No. 3 天秤

遷音速風洞用の三分力天秤で図 4.3(a) にその主要部品を、上から軸力受感素子、垂直力受感素子、天秤本体を示す。その構造は図 4.3(b) に示すようなもので容量の異なったもの 3 基を試作した。模型は軸力受感素子 X にネジにより固定する。

F_N は $N1$ の出力と $N2$ の出力との和、 M_Y は $N1$

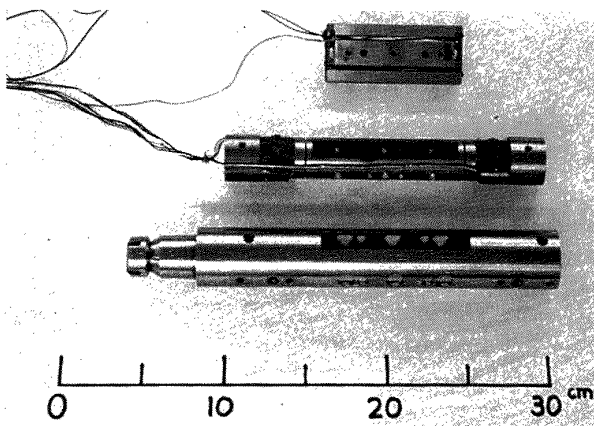


図 4.3 (a) No. 1~No. 3 天秤主要部品

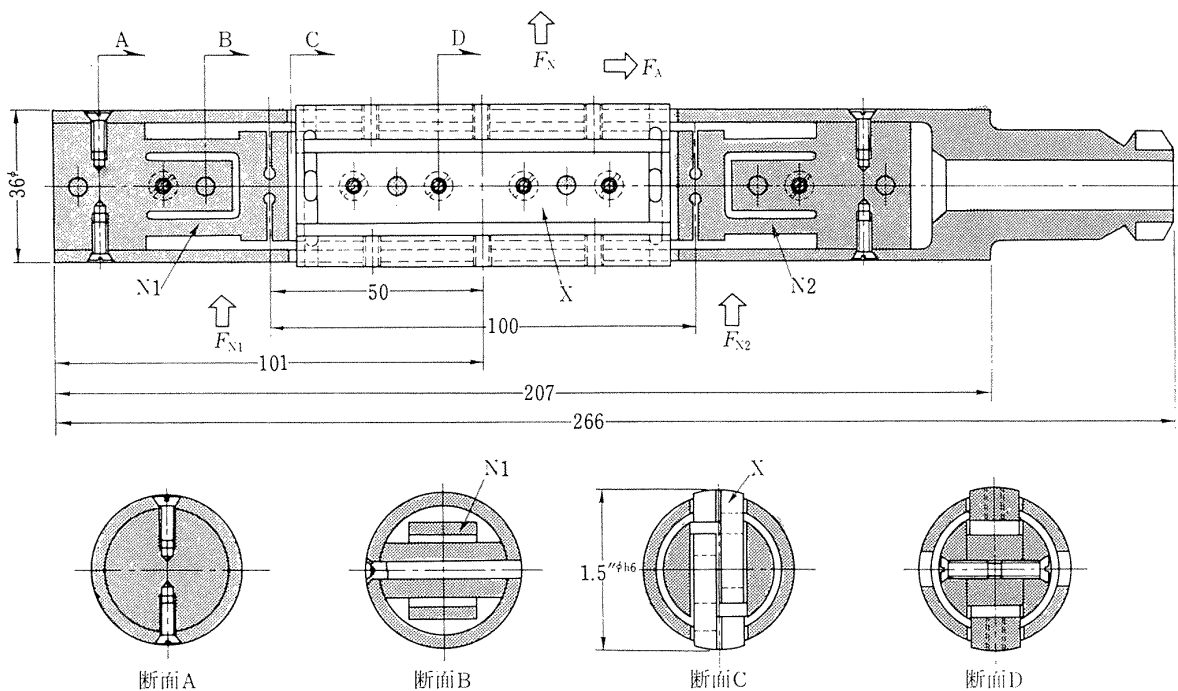


図 4.3 (b) No. 1~No. 3 天秤

の出力と $N2$ の出力の差と受感中心間の距離との積によって求められる。これらの天秤の較正結果を図 4.4~4.12 に示す。

較正は天秤軸および切欠き部中心位置にそれぞれ負荷し、その時の荷重とひずみゲージブリッジの出力との関係を示してあるが、図中で直線で接続してない部分は干渉の程度を出力値を 5 倍に拡大して示したものである。干渉は少し大きい、直線的变化をしているから干渉値の補正は容易である。

(2) No. 4~No. 6 天秤

吹出式超音速風洞用の三分力天秤で No. 1~No. 3 天秤とくらべたところを図 4.13(a) に示す。図で下側が No. 4~No. 6 天秤で、その構造を図 4.13(b) に示すが、ストッパーピン以外の構成部品は No. 1~No. 3 天秤とほとんど同じである。No. 1~No. 3 天秤の場合と同様容量の異なったもの 3 基を試作した。

吹出式超音速風洞では風洞の起動、停止時に定常状態の数倍におよぶ空力荷重が模型に加わるため、使用する天秤もこれを見込んだ容量のものを使用する必要がある。ところが測定に必要な容量ははるかに小さいから、測定精度を悪くさせるという結果をまねく。

この問題を解決するため図 4.13(b) に示すように段付のストッパーピンを受感素子に固着しておき、受感素子が必要以上に変形した場合にストッパーピンが外筒に接触して、受感素子がそれ以上に変形するのを防止するようにしたものである。

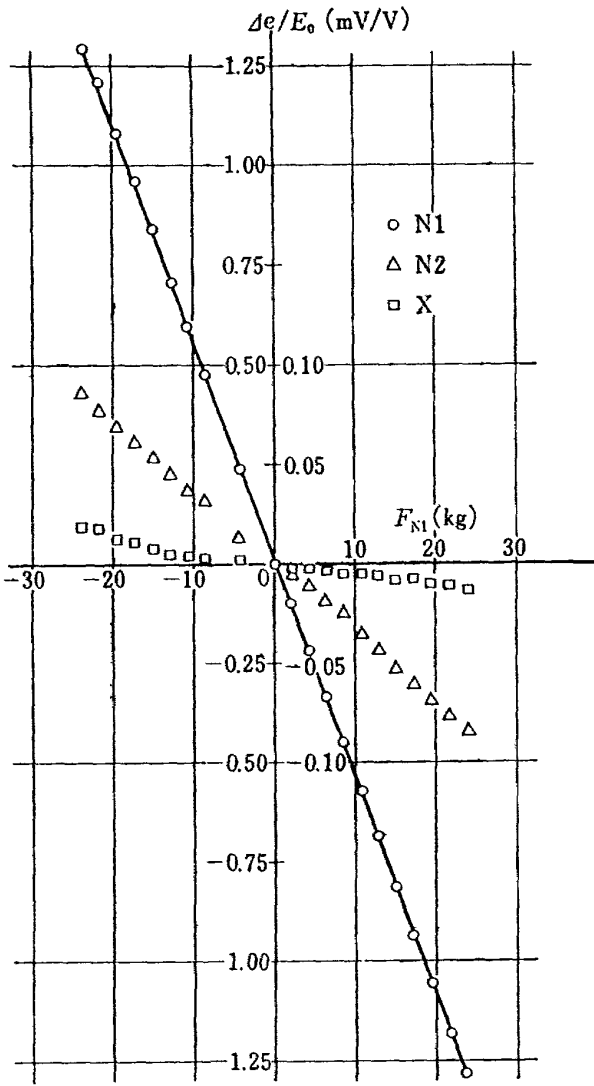


図 4.4 No. 1 天秤 N1 出力

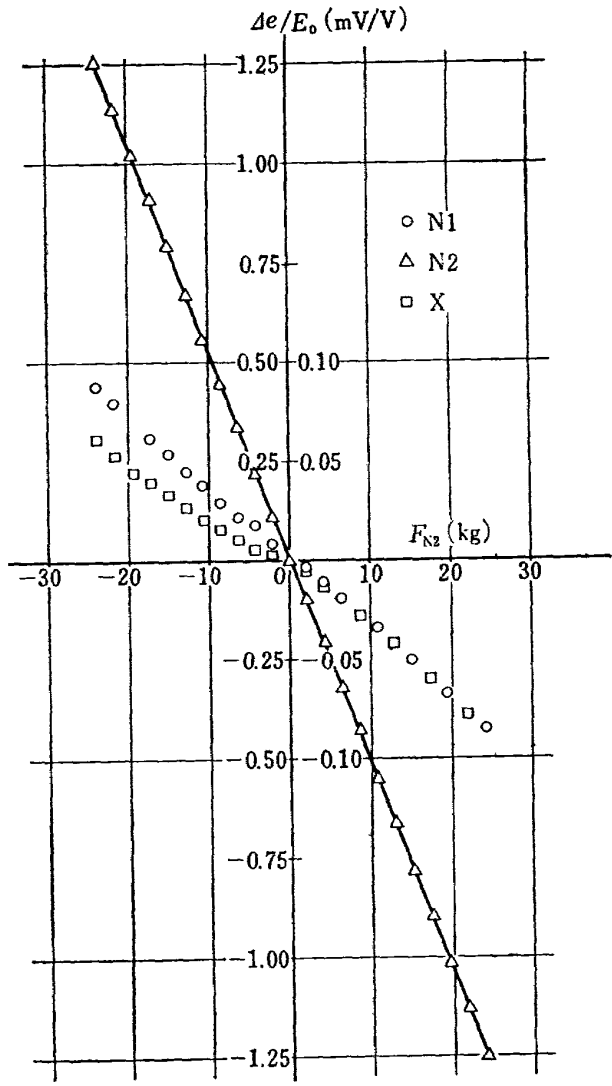


図 4.5 No. 1 天秤 N2 出力

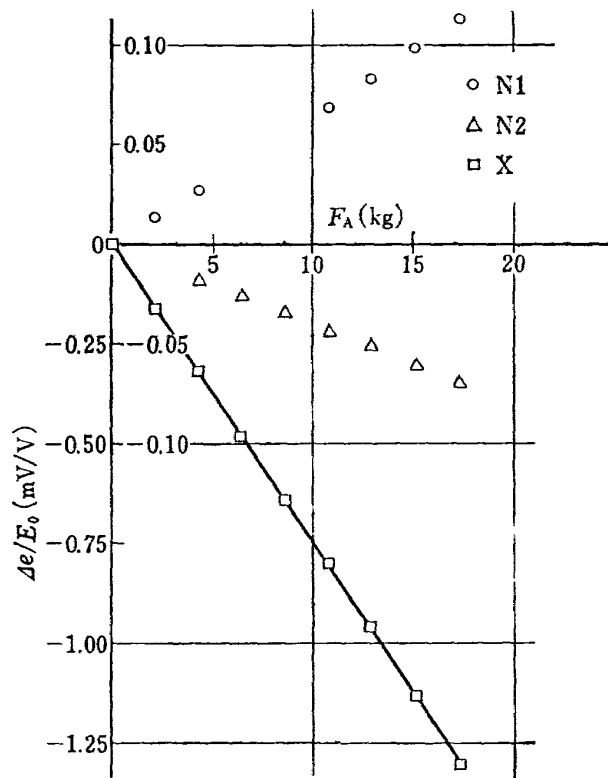


図 4.6 No. 1 天秤 X 出力

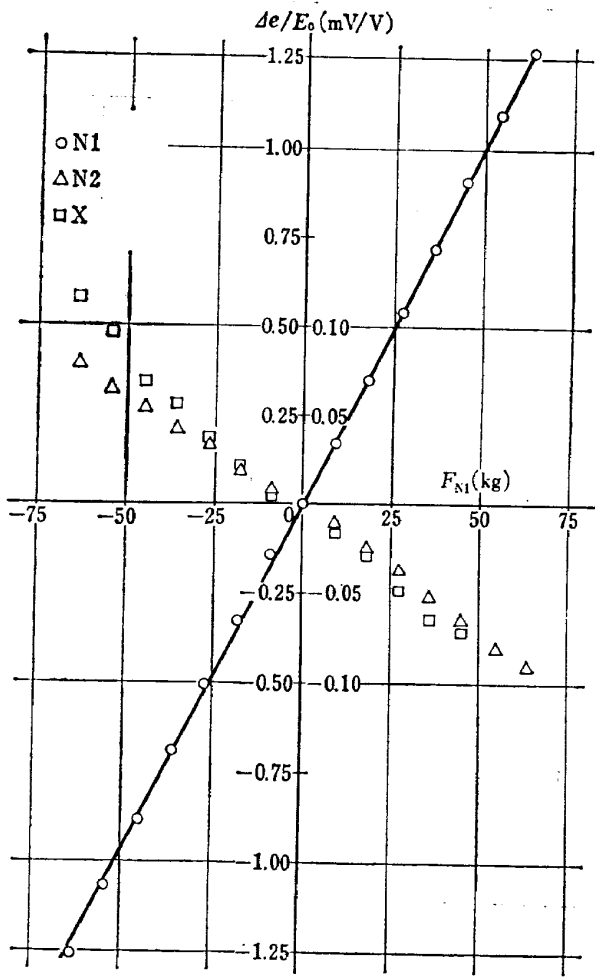


图 4-7 No. 2 天秤 N1 出力

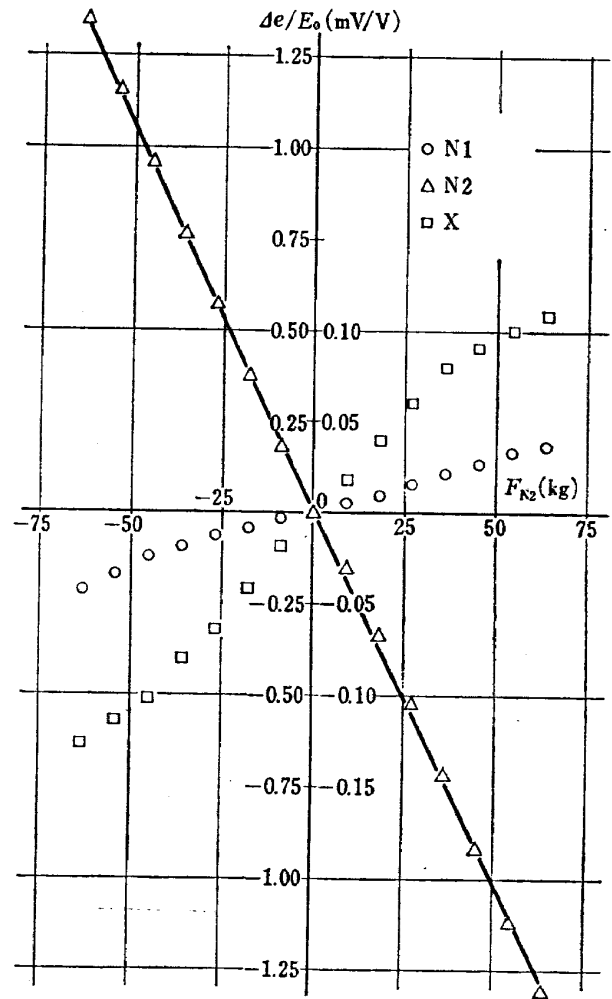


图 4-8 No. 2 天秤 N2 出力

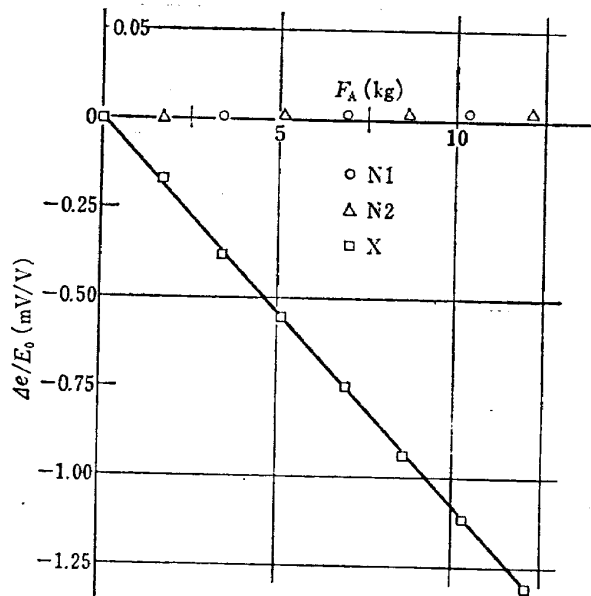


图 4-9 No. 2 天秤 X 出力

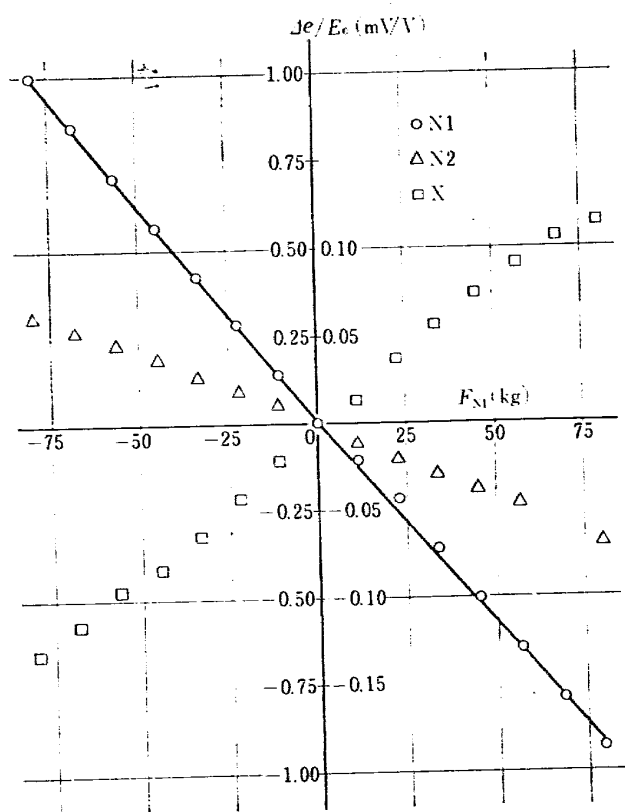


図 4.10 No. 3 天秤 N1 出力

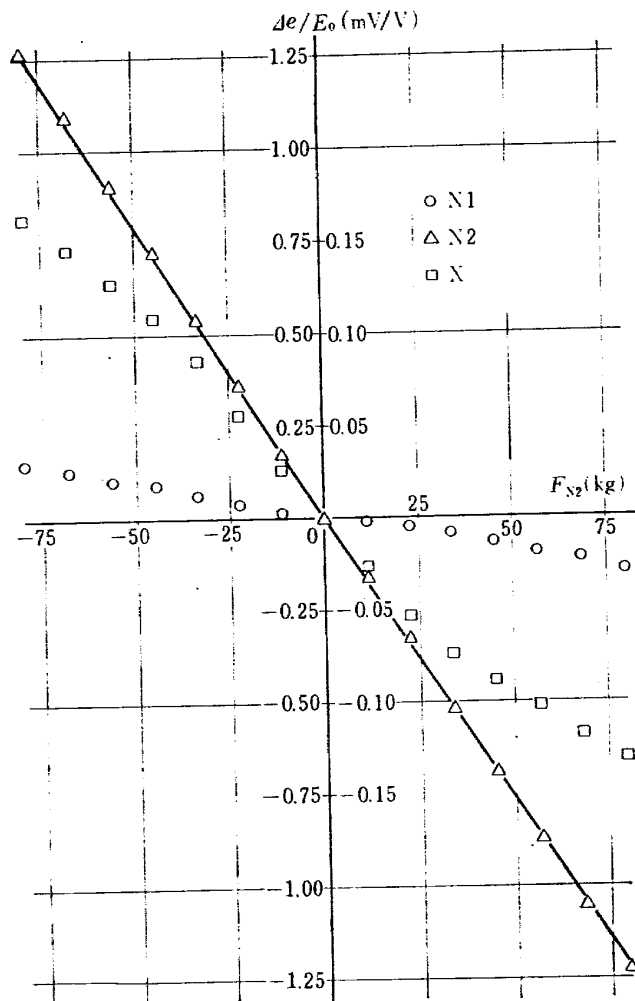


図 4.11 No. 3 天秤 N2 出力

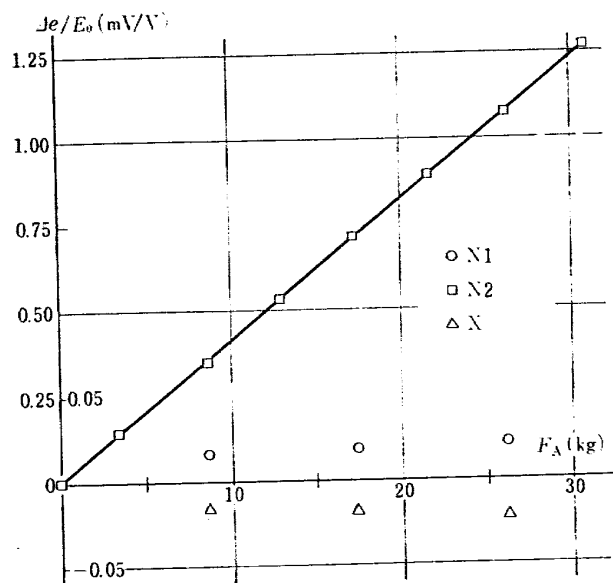


図 4.12 No. 3 天秤 X 出力

No. 1~No. 3 天秤と同様に、較正結果を図 4.14~4.22 に示す。図で直線が屈曲しているのはストッパーピンが作用したためであるが、ストッパーピンが作用した後も出力値がわずかに上昇しているのは、外筒のたわみやストッパーピンのたわみによるためであり、また、負荷が正の場合と負の場合とでストッパーピンの作用に差があるが、これは外筒にあけた穴と受感素子とにあけたストッパーピン用の穴が、わずかに偏心していたためではないかと考えられる。

図 4.23 に No. 6 天秤を用いて AGARD-A の風洞試験を行なった結果の一部を示すが、すでに TM-38 で報告されている資料と比較しても良好な結果が得られていることがわかる。

(3) No. 7 天秤

大型低速風洞用の六分天秤で外観を図 4.24(a) に構造図を図 4.24(b) に示す。本天秤は容量の異なるもの 3 基の他に交換用受感素子をいくつか用意した。

本天秤の場合にはこれまでの天秤と違って受感素子に互換性をもたせ、用意された受感素子の容量の範囲であれば天秤容量が適当に選定できるようにした。

スティング挿入支持形式で、模型は天秤上面にある 2 本のピンで位置決めされた上でボルトで固定される。

模型の大きさの関係から天秤も比較的大きくできるため、各受感素子はフレクチュア f で吊った形となり各分力はフレクチュアをとおして各受感素子に伝達さ

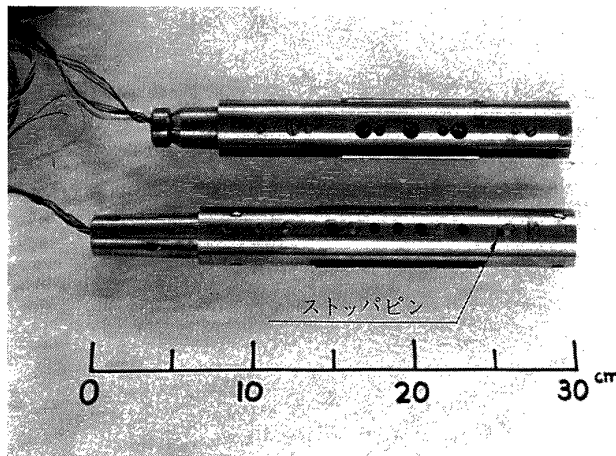


図 4.13 (a) 天秤外観

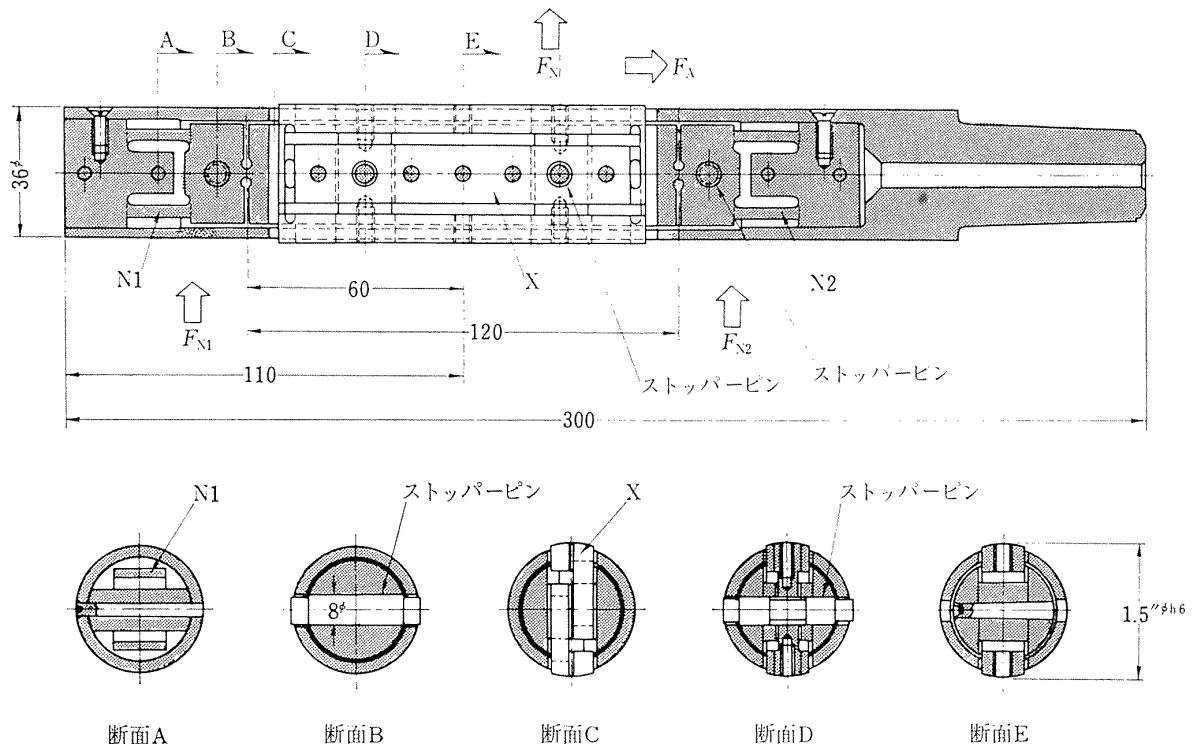


図 4.13 (b) No. 4~No. 6 天秤

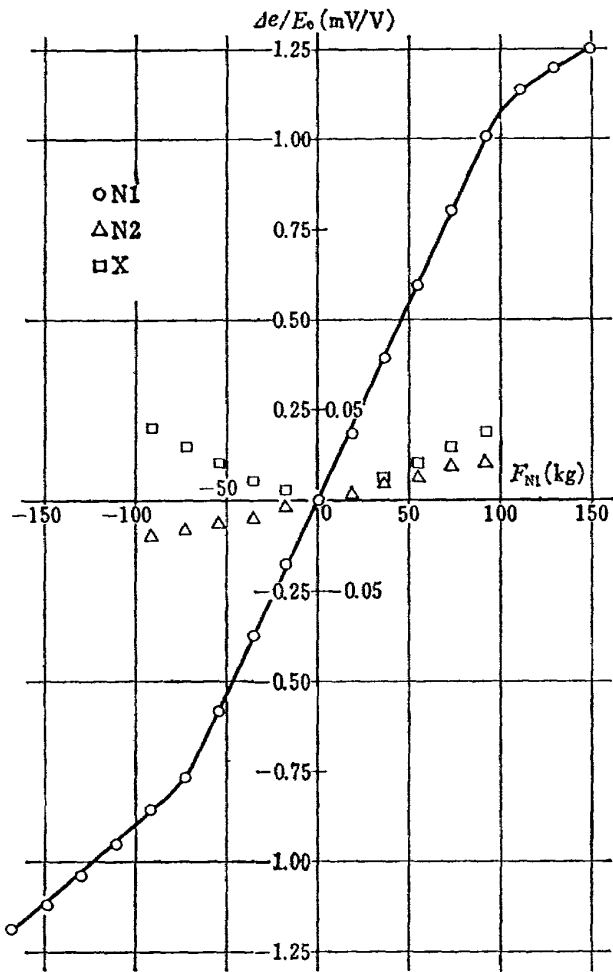


図 4-14 No. 4 天秤 N1 出力

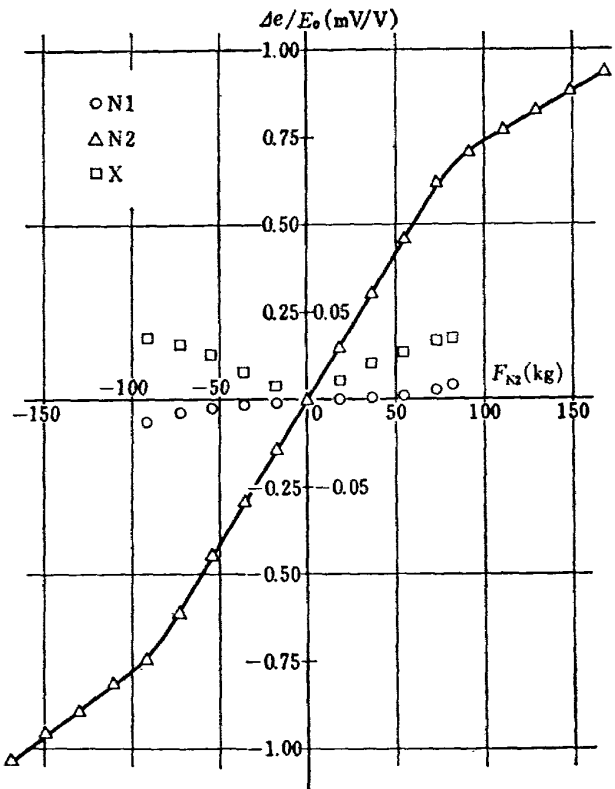


図 4-15 No. 4 天秤 N2 出力

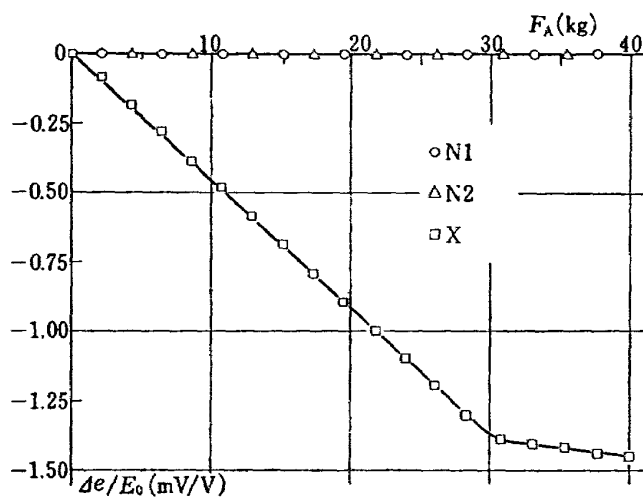


図 4-16 No. 4 天秤 X 出力

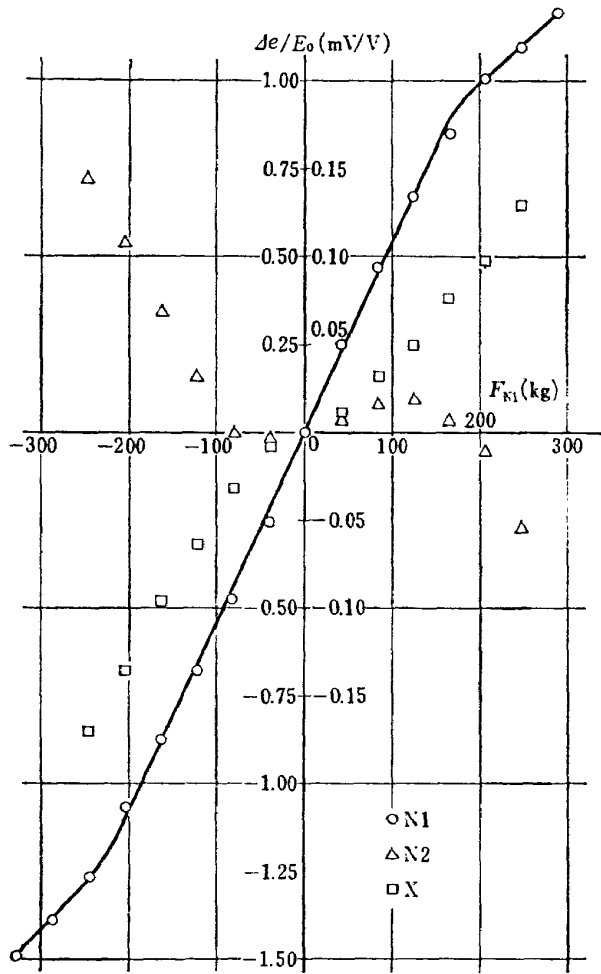


図 4-17 No. 5 天秤 N1 出力

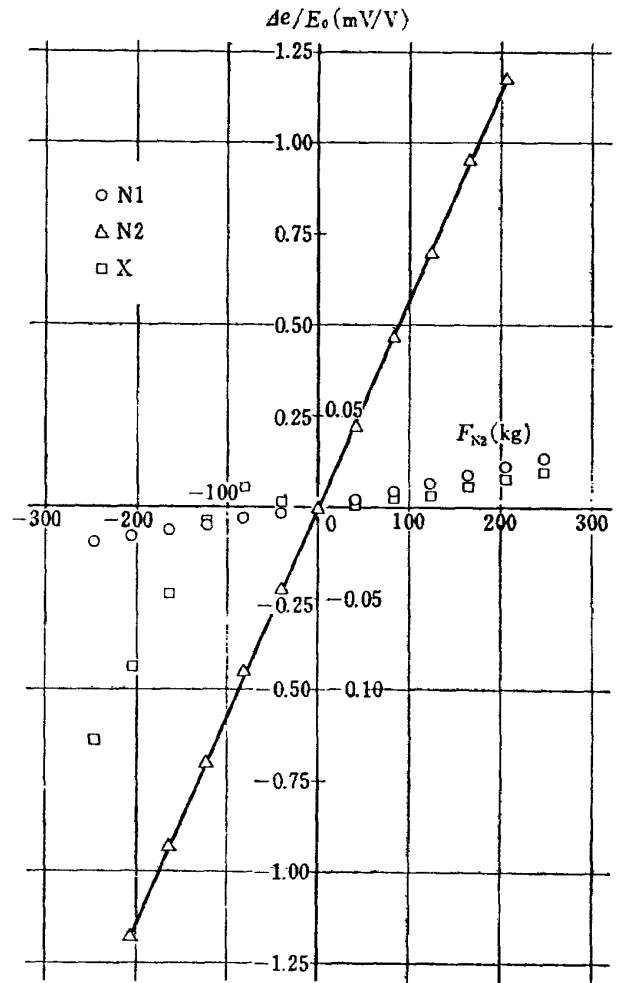


図 4-18 No. 5 天秤 N2 出力

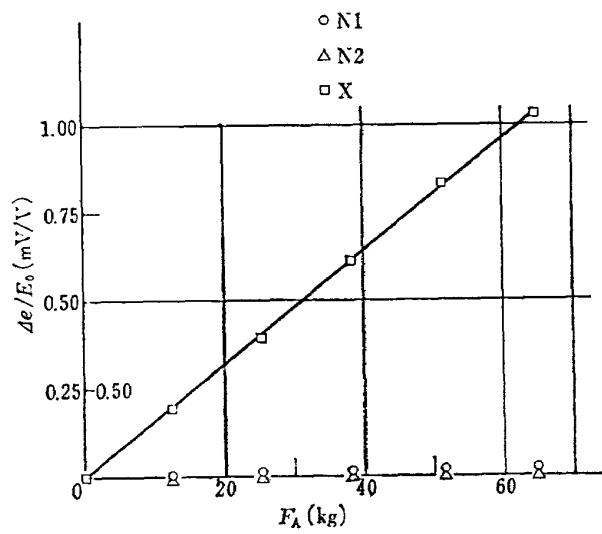


図 4-19 No. 5 天秤 X 出力

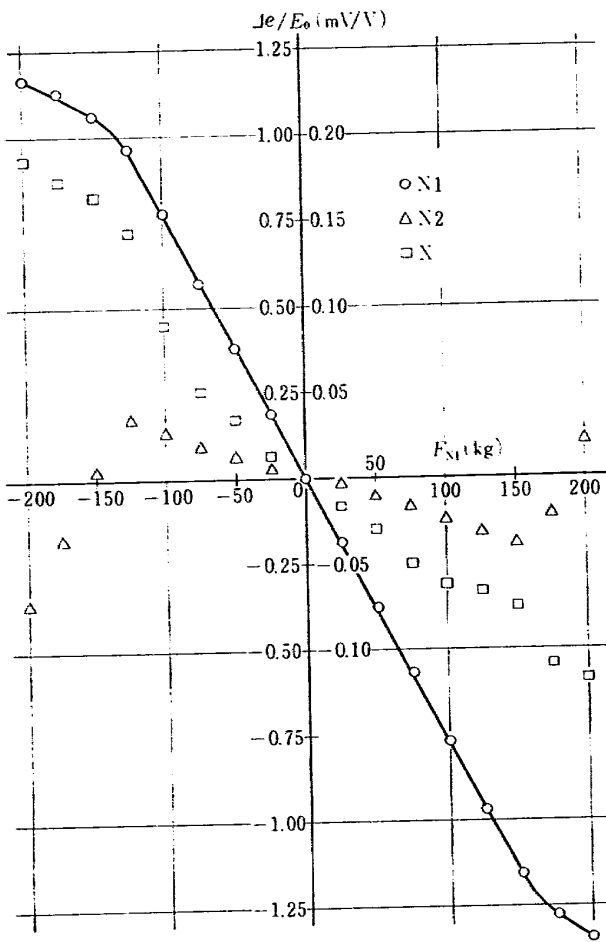


図 4.20 No. 6 天秤 N1 出力

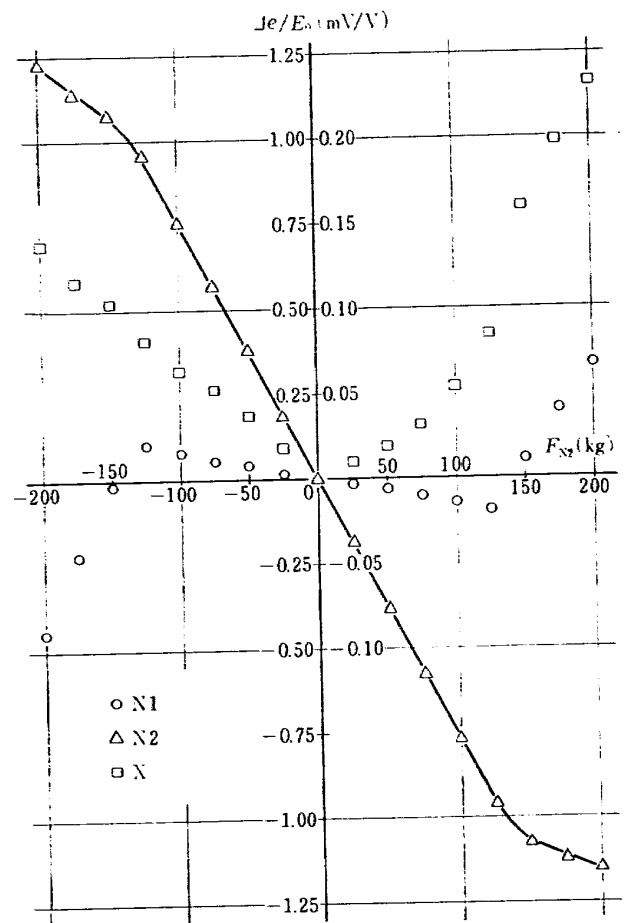


図 4.21 No. 6 天秤 N2 出力

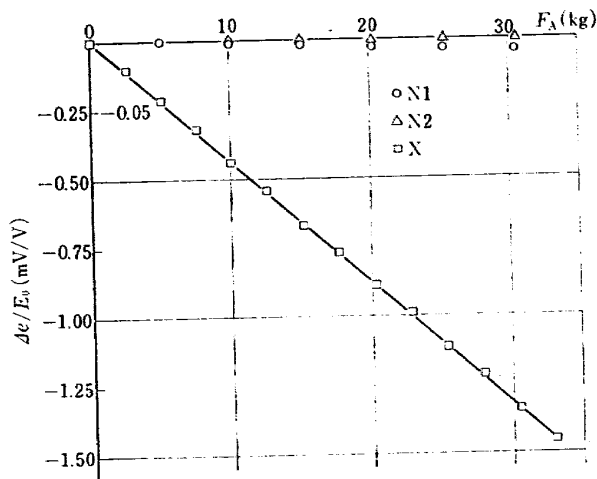


図 4.22 No. 6 天秤 X 出力

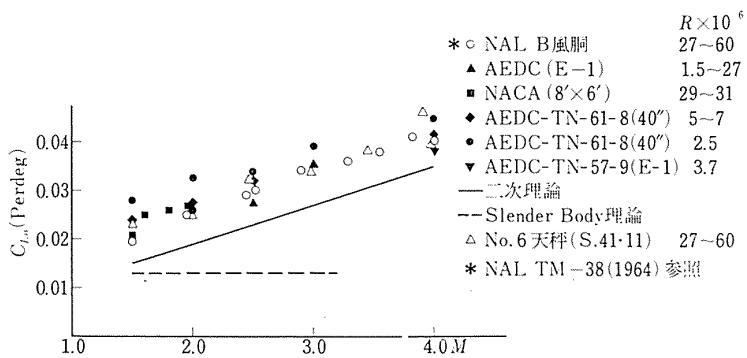


图 4-23 No. 6 天秤風洞試驗結果 ($C_{L\alpha} \sim M$)

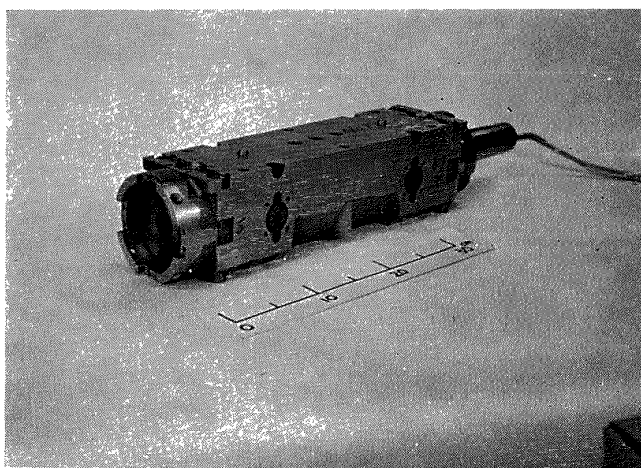


图 4-24 (a)

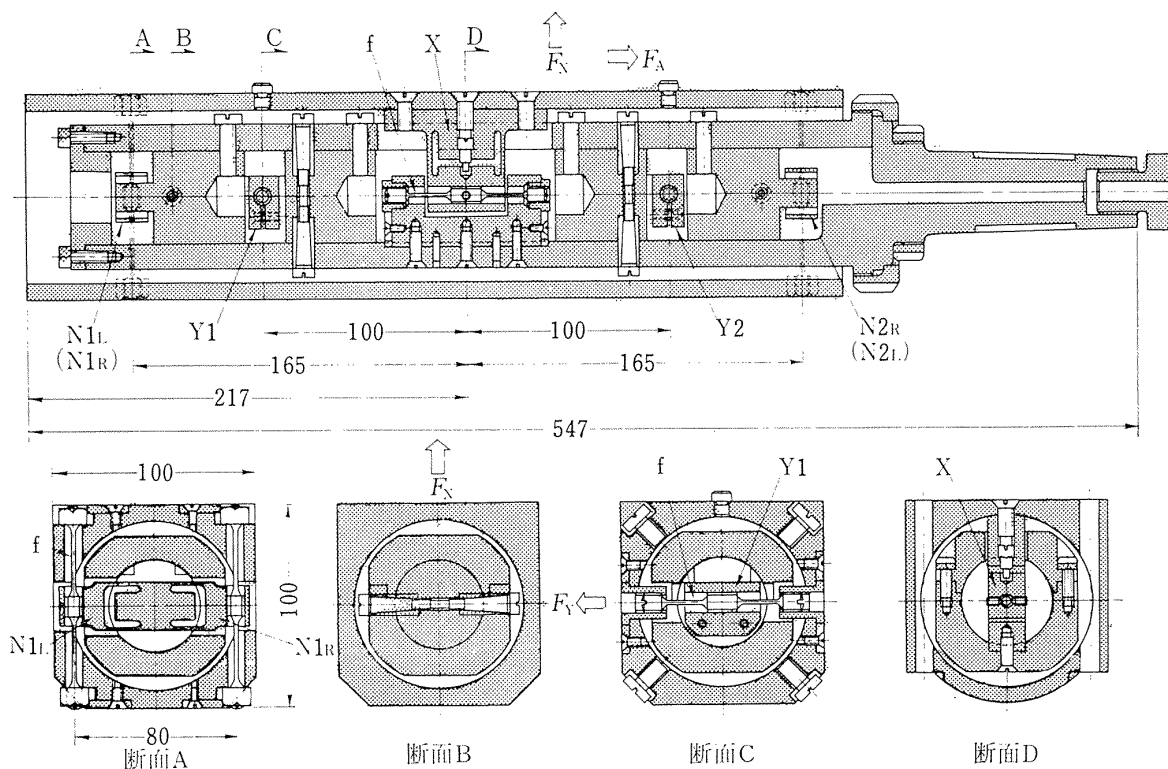


图 4-24 (b) No. 7 天秤

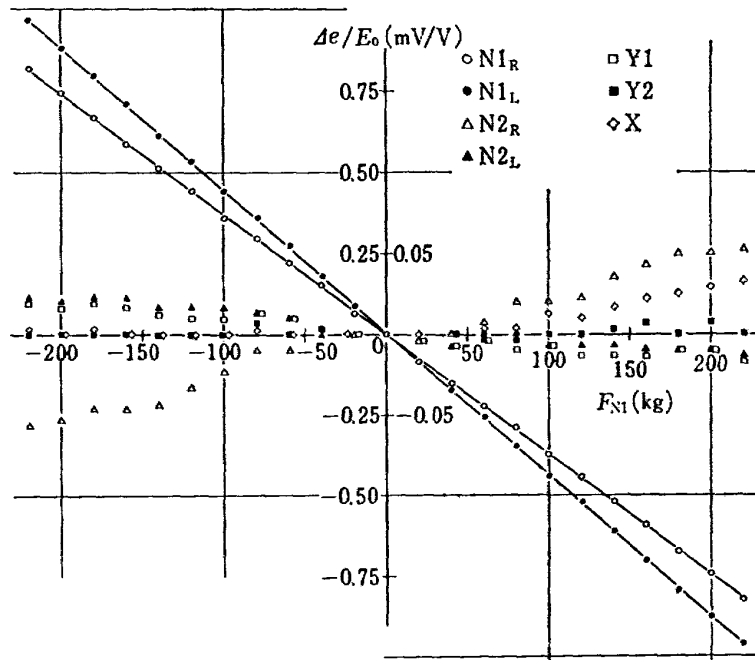


図 4.25 No. 7 天秤 N1 出力

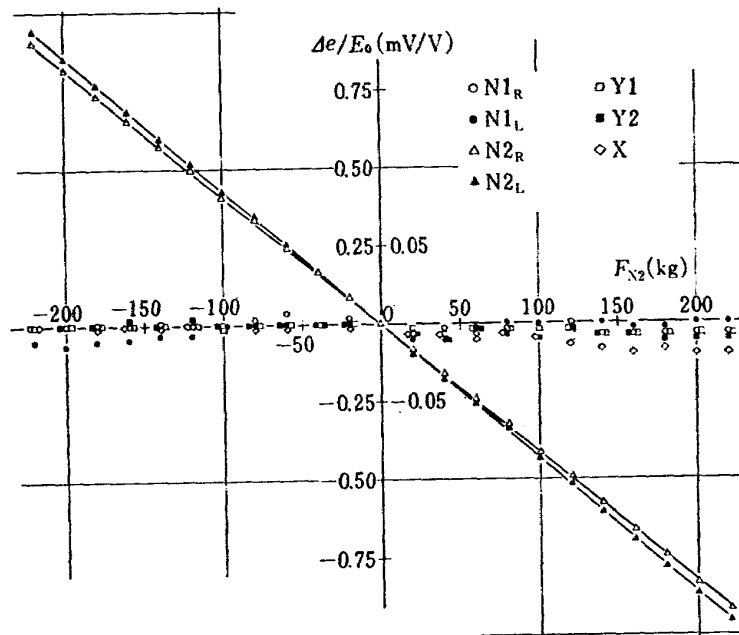


図 4.26 No. 7 天秤 N2 出力

れ、また、各モーメントはフレクチュアの中心距離をモーメント腕の長さとして測定できる。本天秤においては M_X の測定のために $N1$ を $N1_R$ と $N1_L$ とに、 $N2$ を $N2_R$ と $N2_L$ とに分割した。

受感素子の容量を $N1=N2=220\text{ kg}$ 、 $Y1=Y2=80\text{ kg}$ 、 $X=100\text{ kg}$ として構成した場合の校正結果を、荷重とひずみゲージブリッジの出力との関係で示すと図 4.25~4.30 のようになる。図で直線で接続してない部分は干渉出力を 5 倍に拡大して示したものである。図

によると部分的に干渉が大きいところもあるが、全体的にいわばほぼ直線的であるから補正は容易である。

なお本天秤は実際に大型低速風洞で STOL 機模型の試験に使用し良好な結果を得ている (NAL TM-88, TM-107 参照)。

(4) 試 1 号天秤

三分力測定用として製作した。図 4.31 にその構造を示す。図にも示すように 2 本の柱が平行な門型フレームと、傾斜した門型フレームとを一体構造として、

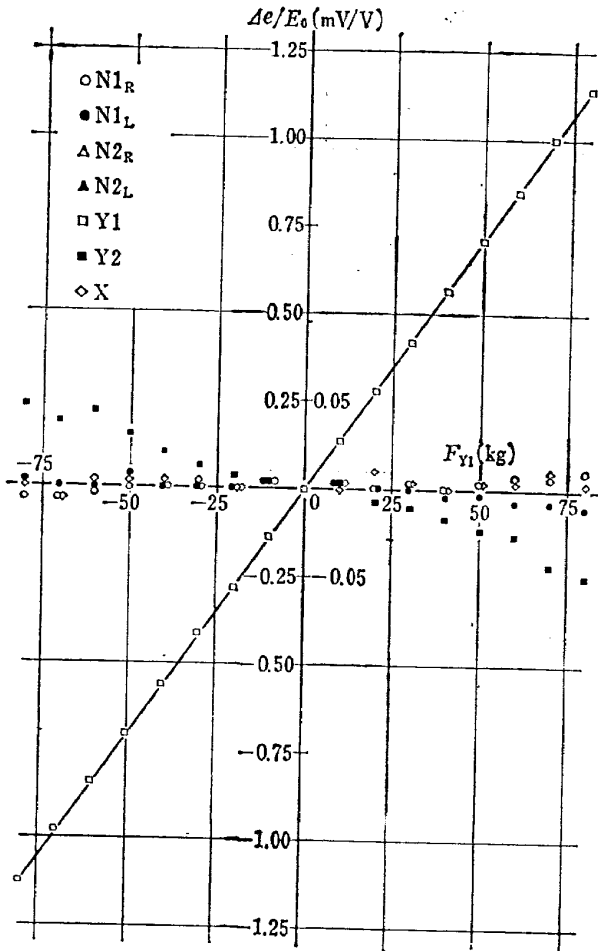


図 4.27 天秤 Y1 出力

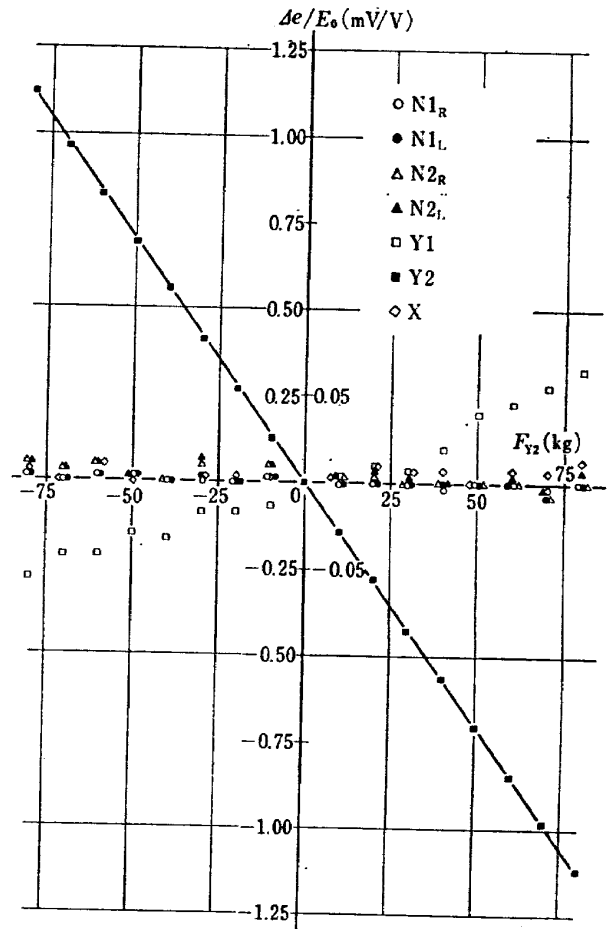


図 4.28 No. 7 天秤 Y2 出力

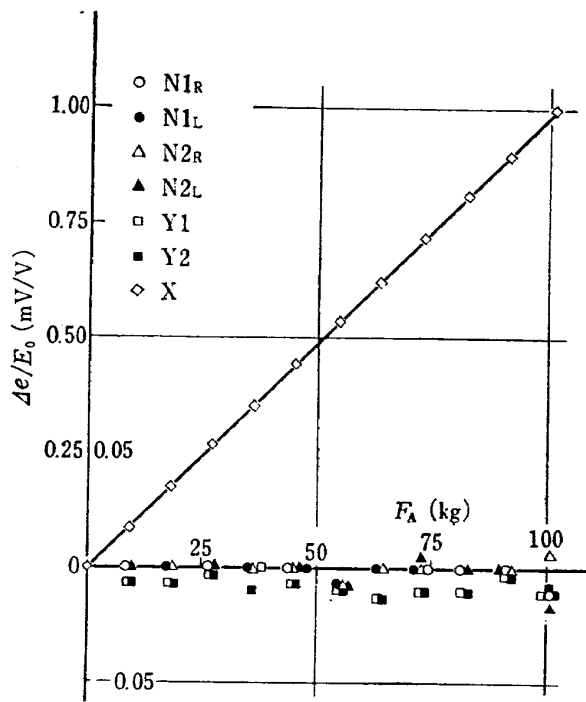


図 4.29 No. 7 天秤 X 出力

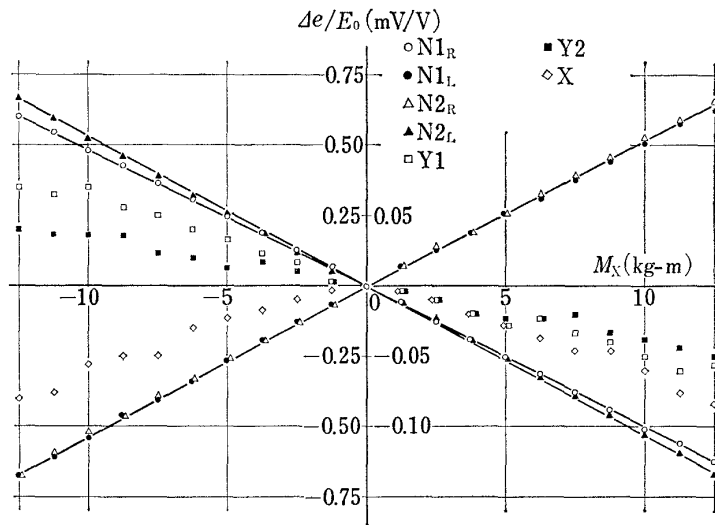


図 4-30 No. 7 天秤 N1, N2 出力

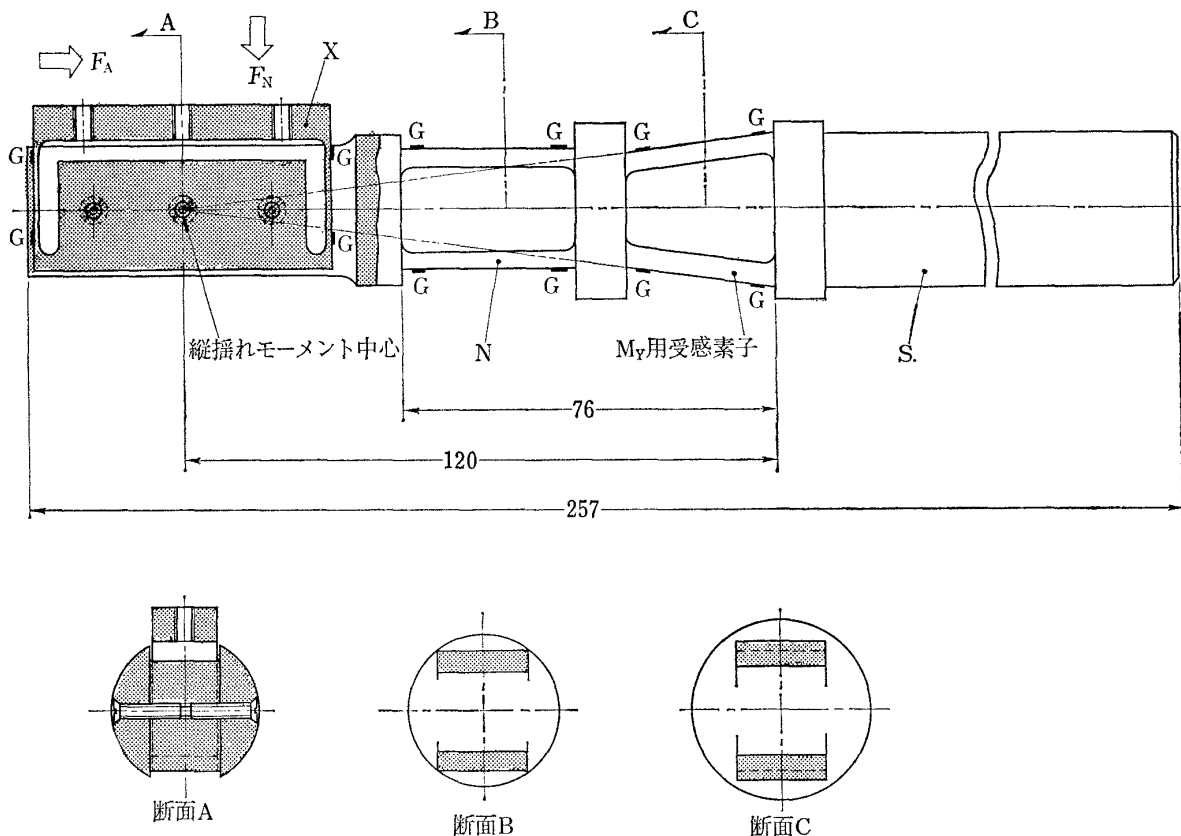


図 4-31 試1号天秤

傾斜した門型フレームの傾斜角の頂点に X 受感素子を固定し、その点を天秤中心とすれば、平行な門型フレームは N 受感素子として、傾斜した門型フレームは MY 用受感素子として利用できる。

材質は高力アルミニウム合金 (A3B6-T6) で、図の S 部をスティングに取り付け、模型を X 受感素子に取りつけて使用する。

較正結果を図 4.32~4.34 に示すが、この中で MY 用受感素子については傾向が不安定である。これは、MY 用受感素子としての門型フレームの傾斜部が対称ではなかったこと、モーメント中心が正確に出し得なかった等が原因であると考えられる。

精度に十分注意してつくれば、小型天秤として実用化できるであろう。

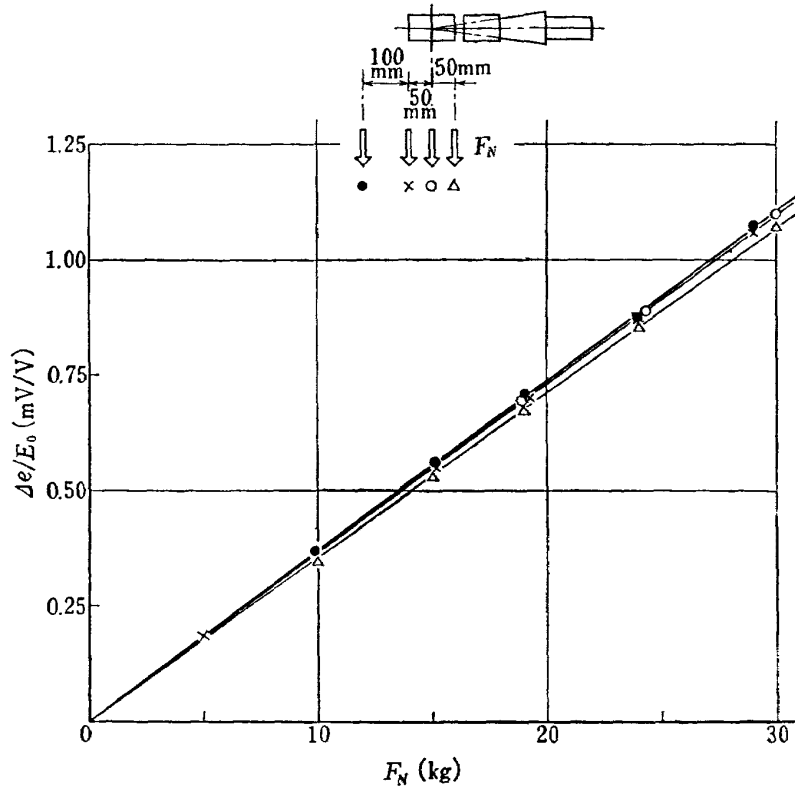


图 4-32 試 1 号天秤 N 出力

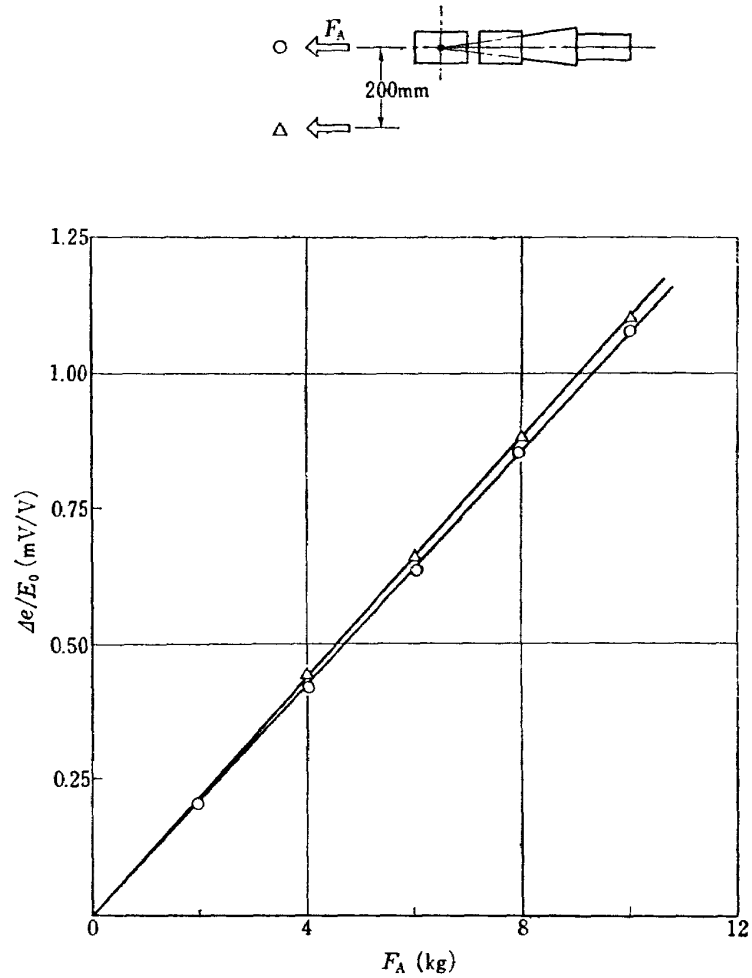


图 4-33 試 1 号天秤 X 出力

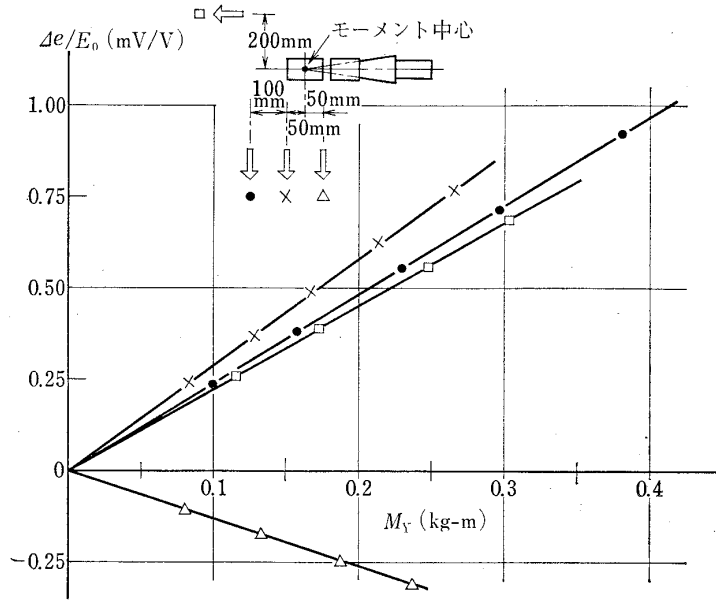


図 4.34 試1号天秤 M_Y 出力

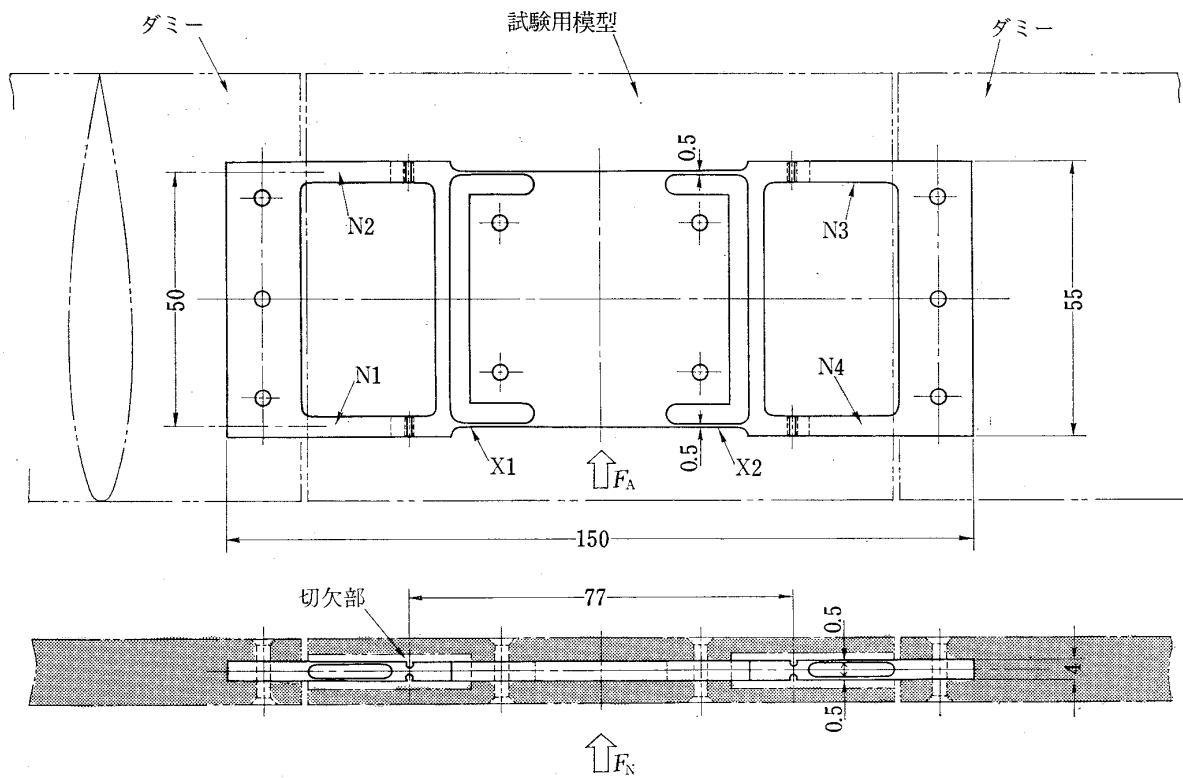


図 4.35 (a) 試2号天秤

(5) 試2号天秤

二次元翼三分力測定用として製作したもので、図 4.35(a) に示すごとく、一枚の高力アルミニウム合金板 (A 3P6-T 6) から削り出した一体構造のものである。

三分割された模型の中央部が試験用、両端がダミー

部で、ダミー部は風洞壁等に固定され、本天秤は模型に内蔵され両端部でダミー部と接合する。実際に模型に取り付けた状態を図 4.35(b) に示す。なお図では模型の試験用の部分をとりはずした状態を示してある。また模型は材質として発泡プラスチックを使用してある。

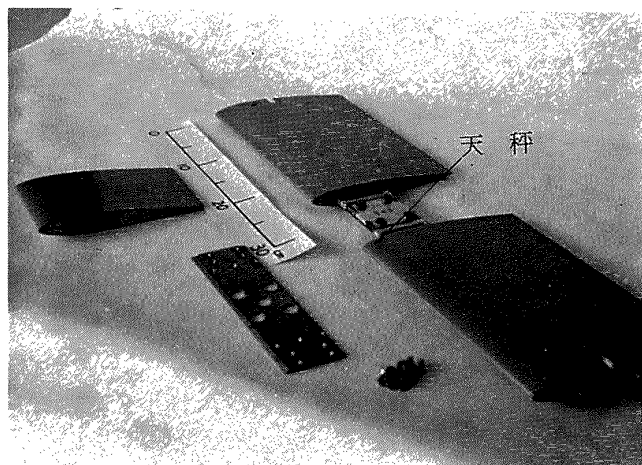


図 4-35 (b)

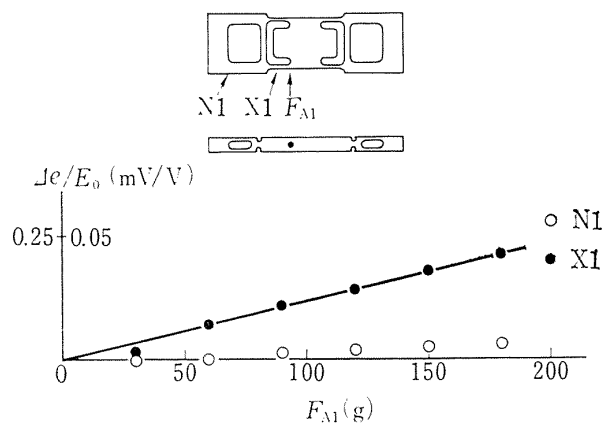


図 4-37 試 2 号天秤 X1 出力

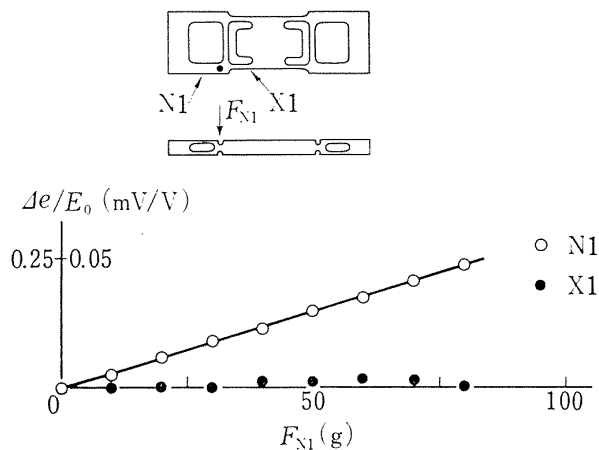


図 4-36 試 2 号天秤 N1 出力

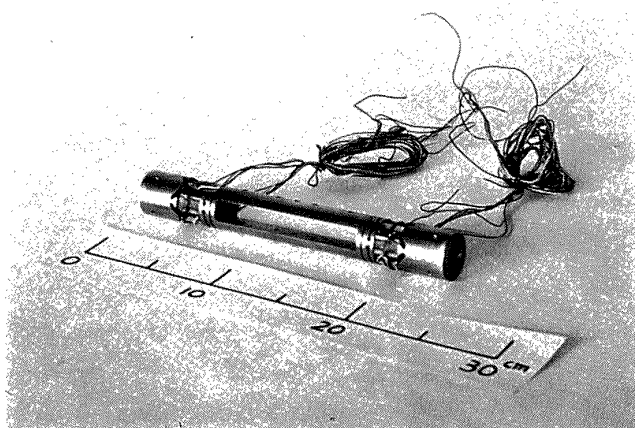


図 4-38 (a)

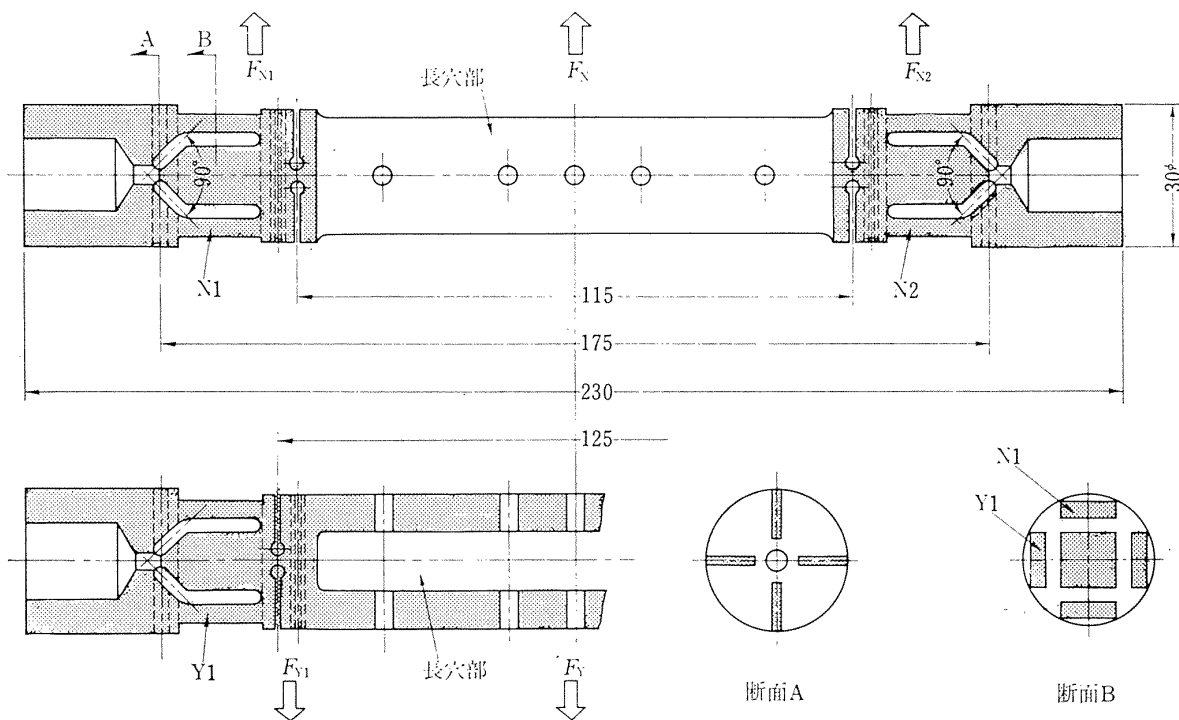


図 4-38 (b) 試 3 号天秤

荷重をかけて試験した一例を図 4.36~4.37 に示す。

ここで F_N は $N1 \sim N4$ の総和, F_X は $X1$ と $X2$ の和, M_Y は $[N1+N4)-(N2+N3)] \times 50$ として測定できる。

本天秤は実際に風洞試験を行ない満足できる結果を得た。

(6) 試3号天秤

これまで述べてきたような受感素子を単体で作し, それを組合わせて六分力天秤とすると天秤全長がいままでの天秤と比べてずっと長くなるので, N と Y をひとつのブロックにまとめたのが本天秤である。

図 4.38(a) に外観を, 4.38(b) に断面を示すように, 1本の丸棒から容易に削り出すことができる。材

料としては SUS 53 を用いた。

本天秤中央の長穴部に X を, 両端に R_m を組み込めば六分力天秤となるものである。

また, 本天秤には $N1, N2, Y1, Y2$ の各受感素子があり, これらの受感素子とそれぞれの受感中心間の距離により F_N, F_Y, M_Y, M_Z の測定が可能となる。

較正結果を図 4.39~4.42 に示す。いままでの天秤の場合と同様に荷重とひずみゲージブリッジの出力との関係を, 干涉値のみ5倍に拡大して示してある。

なお本天秤は実際に円筒抗力模型の風洞試験に使用され良好な結果を得ている。また, これらの結果を総合すると, 六分力天秤用の受感素子として使用できる

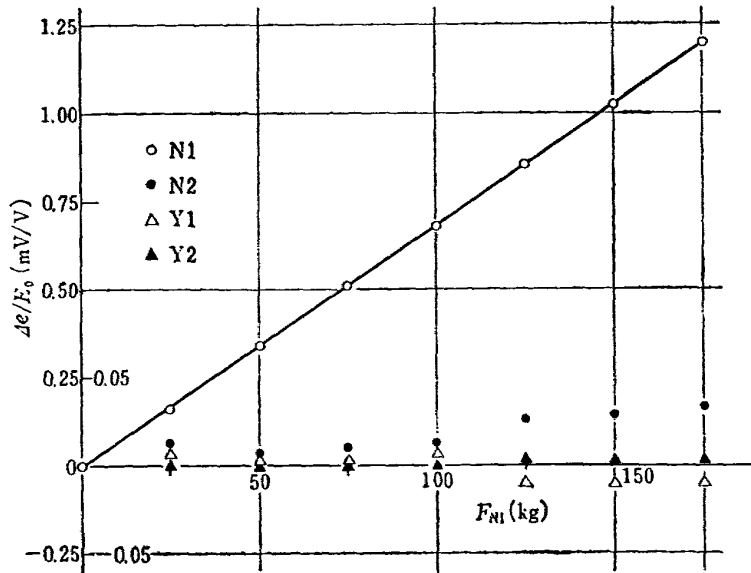


図 4.39 試3号天秤 N1 出力

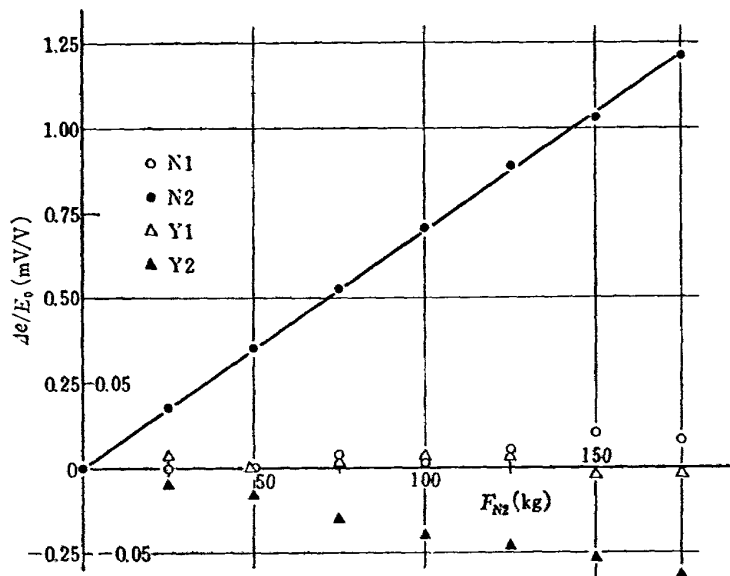


図 4.40 試3号天秤 N2 出力

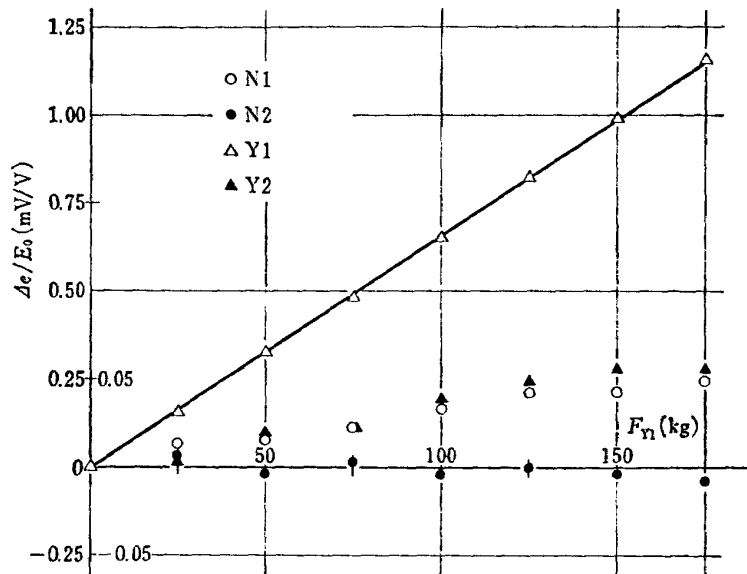


図 4-41 試 3 号天秤 Y1 出力

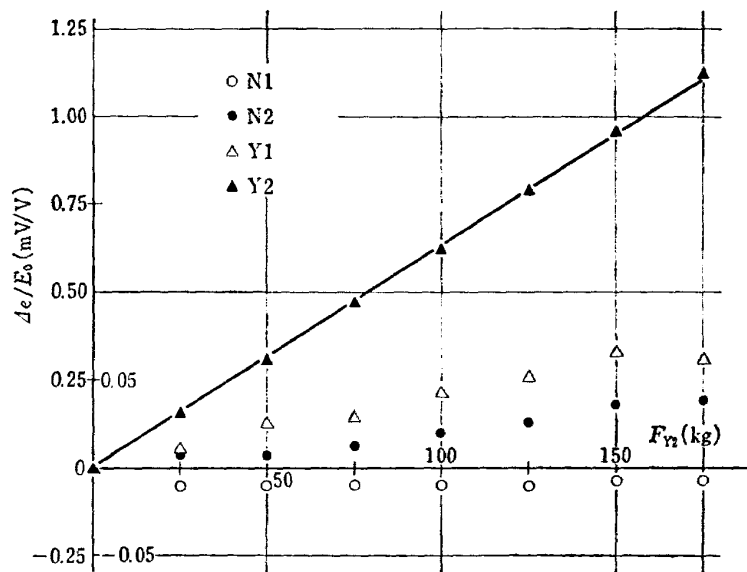


図 4-42 試 3 号天秤 Y2 出力

と考えられる。

(7) 試 4 号天秤

試 3 号天秤の両端に R_m を、中央の長穴部に X を取り付けた形式で、遷音速風洞用として試作した六分力天秤で、その構造を図 4.43 に示す。外観は No. 1 ~ No. 3 天秤と同様であるが、全長が少し長くなっている。

受感素子の形状および配置の関係から全長が長くなってしまったのであるが、部品数も少く分解、組立が

簡単にできる。

本天秤の較正結果を図 4.44~4.49 に、荷重とひずみゲージブリッジの出力との関係で示してある。なお前述の各天秤においては干渉値の方を 5 倍に拡大して示したが、本天秤の場合には干渉値も同じ倍率で示してある。これによると各力に対する $N1$, $N2$, $Y1$, $Y2$, R_{m1} , R_{m2} の各受感素子の干渉出力は大小いずれの場合も、ほぼ直線的であるので簡単に補正はできるが、 X 受感素子はその干渉出力が直線的ではない。

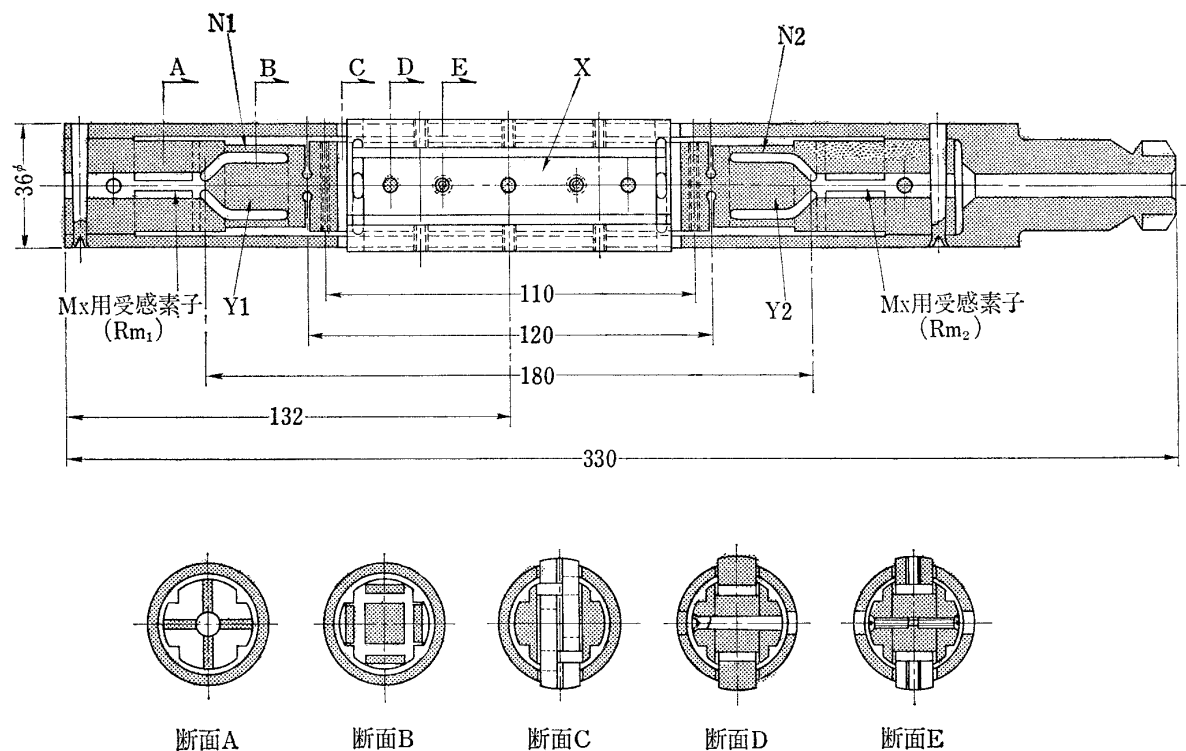


図 4.43 試 4 号天秤

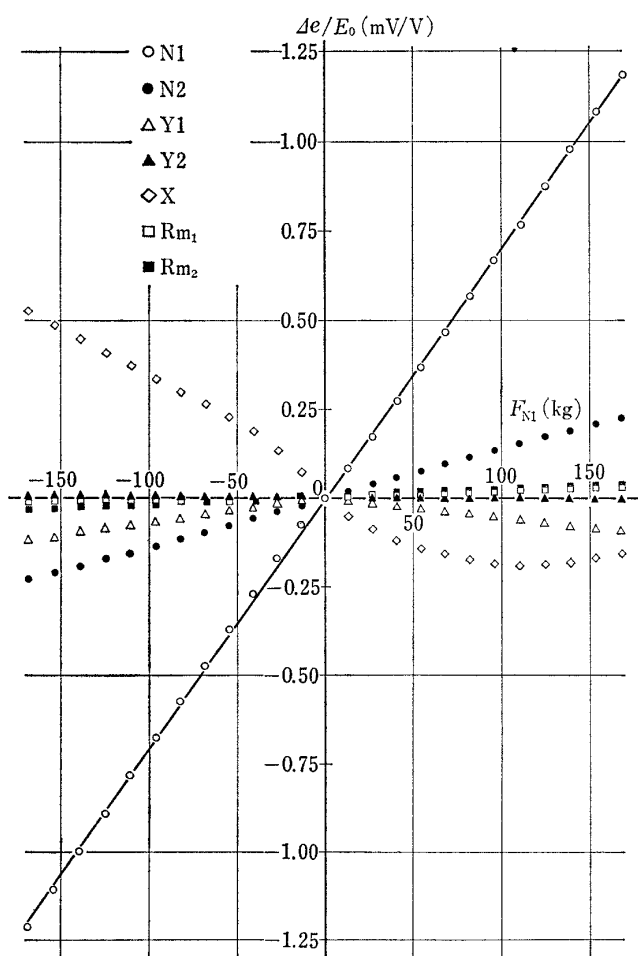


図 4.44 試 4 号天秤 N1 出力

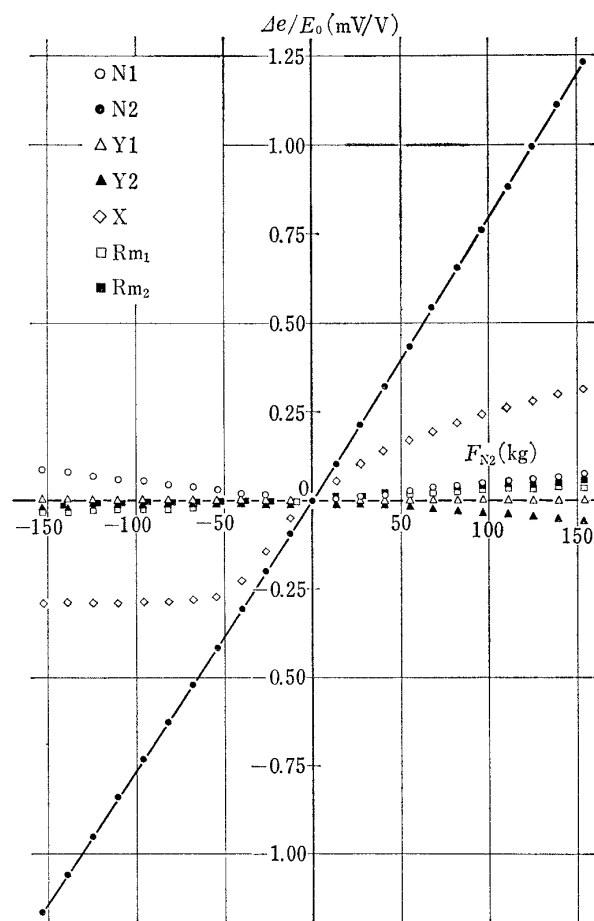


図 4.45 試 4 号天秤 N2 出力

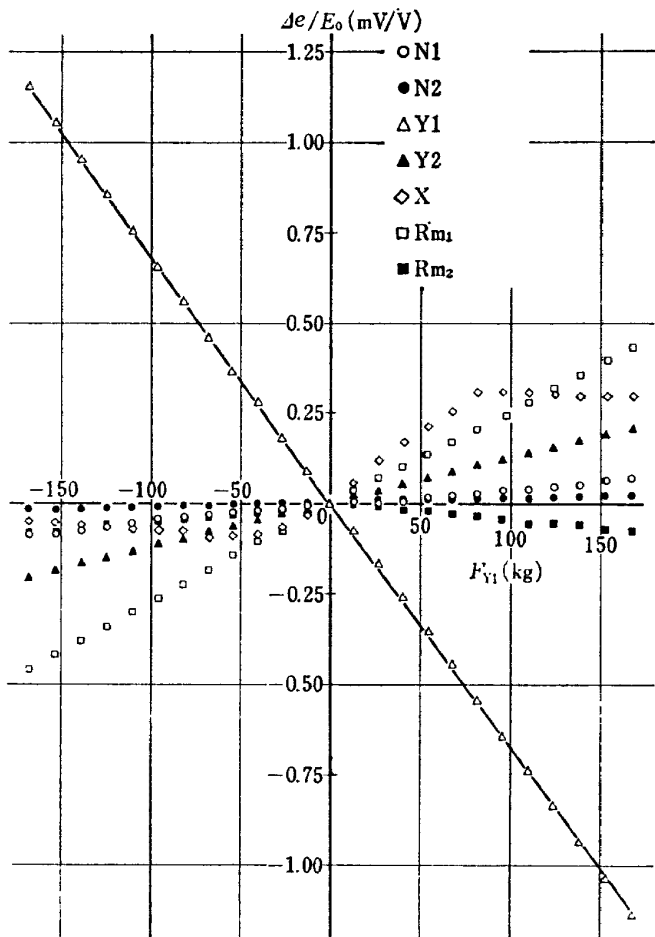


図 4.46 試 4 号天秤 Y1 出力

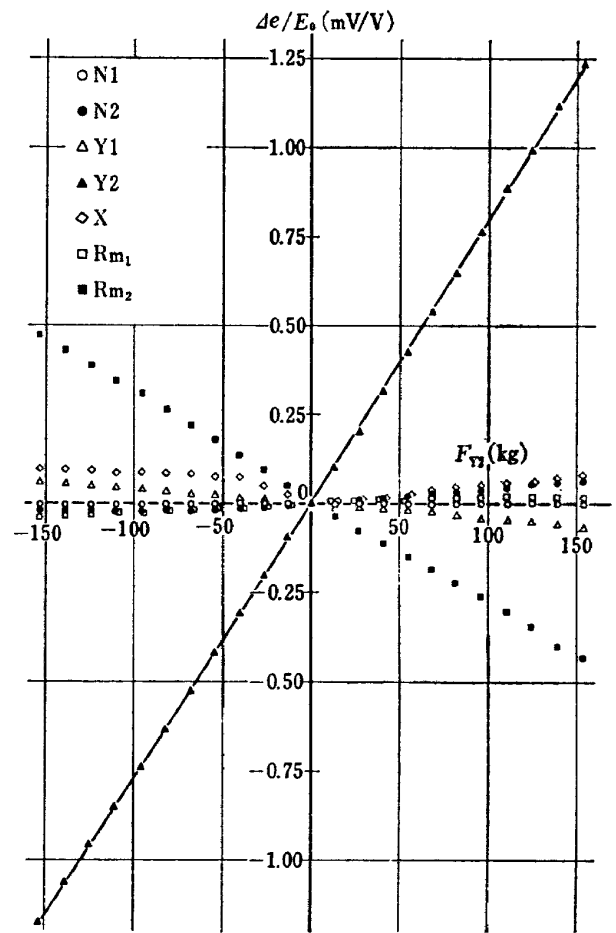


図 4.47 試 4 号天秤 Y2 出力

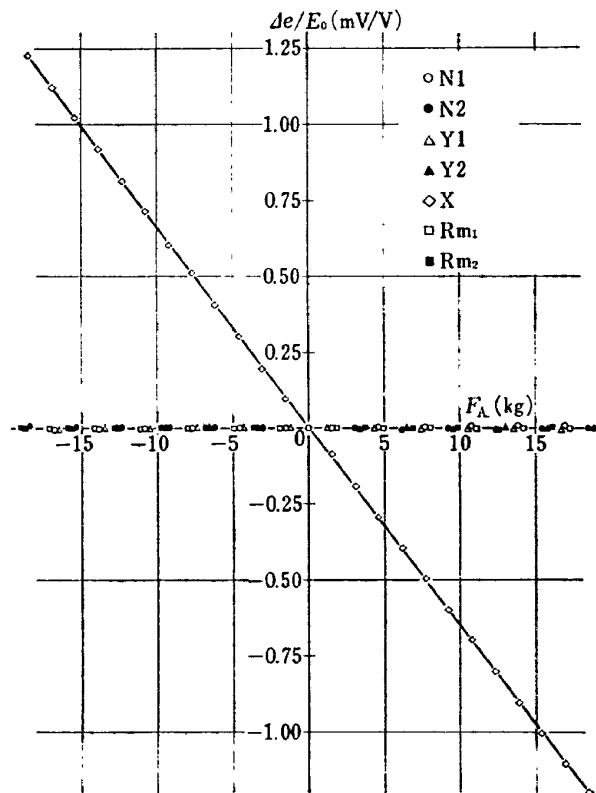


図 4.48 試 4 号天秤 X 出力

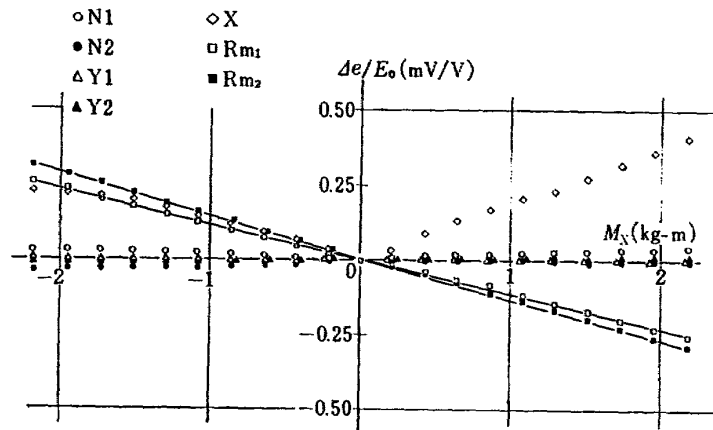


図 4.49 試 4 号天秤 R_{m1}, R_{m2} 出力

4.3 現用天秤との比較

現用天秤についての容量と感度をまとめたものを表 4.2 に示す。また、現用の 1.5'' 六分力天秤の較正結果の一部を抜すいして図 4.50~4.52 に示す。ただし、図中で直線で接続してない部分は干渉出力を 5 倍に拡大して示したものである。

これと試作した No. 1~No. 6 天秤とを比較してみると、試作天秤の方が全体的に干渉が多い。しかし、干渉の出方は現用天秤も試作天秤もほぼ直線的であるので、補正はできる。

5. むすび

遷音速風洞、吹出式超音速風洞および大型低速風洞用として内挿式天秤の試作を行なった。ひずみゲージ接着面、受感素子、試作した天秤の三つの項目について結果をまとめると

(1) 鋼材の場合、材料に生ずる応力が 20 kg/mm² 以下の範囲であればひずみゲージ接着面として特に考慮する必要はないが、表面あらさは 6~18 S 位が適当である。また、この場合にどちらの方向にもほぼ均一

表 4.2 現用天秤の容量と感度一覧表

天秤名称	N1	N2	Y1	Y2	X	R _m	備考
	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg)	容量 (kg) 感度 (mV/V/kg-m)	
TASK 1.5'' MK II H	227 0.00544	227 0.00545	113 0.01011	113 0.01113	45 0.02354	8.6 0.16190	遷音速風洞用 TASK 製
SONOIKE 1.5'' No. 1	100 0.01488	100 0.01300	50 0.03253	50 0.03520	25 0.03990	4 0.42000	遷音速風洞用 園池製
SONOIKE 1.5'' No. 2	100 0.01621	100 0.01588	50 0.03455	50 0.03490	25 0.04350	4 0.41900	"
SONOIKE 1.5'' No. 3	200 0.00736	200 0.00761	100 0.01465	100 0.01540	40 0.02600	6 0.23680	"
SONOIKE 1.5'' No. 4	200 0.00769	200 0.00823	50 0.03500	50 0.03290	30 0.03330	3 0.37500	遷音速風洞用 園池製
TASK 1.5'' MK X V	454 0.00243	454 0.00228	454 0.00221	454 0.00230	68 0.01250	13.8 0.08800	超音速風洞用 TASK 製
TASK 1.5'' MK VI B	454 0.00239	454 0.00237	227 0.00460	227 0.00487	68 0.01280	13.8 0.08900	超音速風洞用 TASK 製
SONOIKE 1.5''	300 0.00537	300 0.00574	200 0.00744	200 0.00780	50 0.02250	15 0.11000	超音速風洞用 園池製

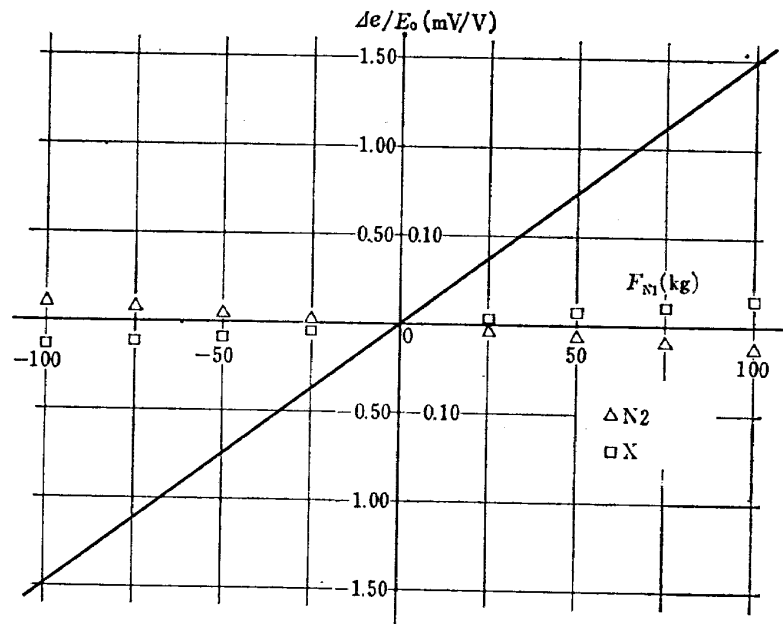


图 4.50 N1 出力

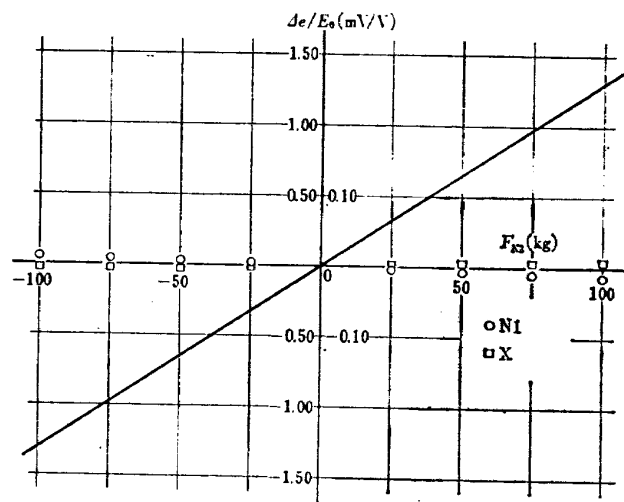


图 4.51 N2 出力

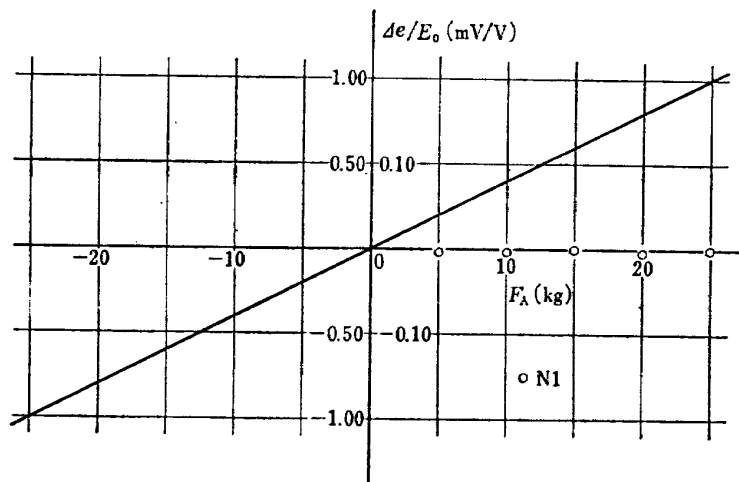


图 4.52 X 出力

な表面あらさに加工できるという点では、ひずみゲージ接着面をつくる際にはサンドブラスト加工による面がよい。

(2) 門型フレームを受感素子として実用化した。

(3) 門型フレームを受感素子とした風胴天秤数種を試作し、較正試験を行なったがその結果は満足できるものであり、No. 6, No. 7²⁾, 試2号, 試3号の各天秤は実際に風胴試験に使用し良好な結果を得ている。

このように試作天秤でも十分実用になるが、さらに改良を加えることにより、干渉を少なくする等の性能を向上させることができると思われる。なおこれらの試作天秤に関し、特許1件が認められた。なお、特許出願中のもの1件、実用新案出願中のもの2件がある。終わりに、本資料をつくるにあたりご指導、ご協力いただきました皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) 高木広治, 斎藤秀夫, 石原久蔵: AGARD-A 標準模型の超音速三分力試験, 航技研資料 TM-38 (昭和 39)
- 2) 犬丸矩夫, 岡部祐二郎, 北村清美, 川幡長勝, 木村友昭; プロペラ後流偏向型 STOL 機の風胴試験 (I), 航技研資料 TM-88 (昭和 41)
- 3) 川田雄一; 金属の疲労と設計, オーム社
- 4) 抵抗線歪計とその応用計器 (連載基礎講座) 共和技報, No. 17~No. 33
- 5) Raymond M. Hansen; Mechanical Design and Fabrication of Strain-Gage Balances, Nato Report 9 (1956).
- 6) 六分力測定用天秤 特許第 504725 号
クランプ装置付三分力天秤 特願 40-023152
計器用受感素子 実新登録願 42-086534
ストッパー付風胴天秤 実新登録願 42-086535

TM-168	ダンピングメータの試作	1970年2月	柳沢三憲
TM-169	ジェットエンジン燃焼器出口ガス流の乱れの測定 (I)	1970年2月	相波哲朗
TM-170	JRエンジンの燃焼器におきた振動燃焼	1970年2月	鈴木邦男, 石井浅五郎 山中国雅
TM-171	缶形燃焼器 (低圧, 低温系) 試験設備による航空計器の氷結 (着氷) 試験	1970年3月	鈴木邦男, 相波哲朗 本間幸吉, 服部宣夫
TM-172	自動追尾型風向風速測定器	1970年3月	川幡長勝, 中谷輝臣
TM-173	FA-200 改機の動安定微係数	1970年4月	遠藤浩, 林良生 海老沼幸成, 中谷輝臣
TM-174	遷音速風洞動安定測定装置の構造と作動	1970年4月	小橋安次郎, 河野長正文 西武徳, 宮沢政文
TM-175	NAL-16・31D型ロケットの研究試作	1970年5月	五代富文, 近藤洋史 中井暎一, 田畑浄治
TM-176	非対称自由流線の計算法	1970年5月	高橋 侔
TM-177	小型固体ロケットモータの振動燃焼実験—パルス法による中周波振動燃焼の研究—	1970年5月	五代富文, 伊藤克弥 西村久男, 湯沢克宜 柴藤羊二
TM-178	大型低速風洞動安定微係数測定装置	1970年5月	広岡貫一, 遠藤浩 戸田亘洋, 岡部祐二郎

注: 欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料179号

昭和45年5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)44-9171(代表) 182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2~27~12
