

UDC 531.781.088:
629.76-66

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-203

固体ロケット多分力テストスタンドの精度について

石井進一 山田 晃 鎮西信夫
引地豊三 工藤賢司

1970年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 報 告

- | | | | |
|---------|--|-----------|--|
| TR-181 | 振動翼における表面非定常圧力の測定
—失速フラッタの研究(III)—
Unsteady Surface Pressure on an Oscillating Aerofoil at High Mean Angles of Attack with Special Reference to Stall Flutter | 1969年8月 | 中村泰治, 磯貝紘二
江尻 宏 |
| TR-182 | 点束縛のある板の振動について
On the Natural Vibration of Plates Restrained at Several Points | 1969年9月 | 塙武敏, 多田保夫
泉日出夫, 越出慎一 |
| TR-183 | 軸流圧縮機動翼取付部の強度についての実験的研究
—隙間のあるピン接合部—
Experimental Investigation of Strength of Axial Flow Compressor Blade Root
—Pin Joint Lug having Clearance between Pin and Pin Hole— | 1969年9月 | 池田為治, 山岸 崇 |
| TR-184T | An Improved Method of Designing and Calculating the Minimal Wave Drag Configuration by Supersonic and Moment of Area Rules | Oct. 1969 | Kenneth K. Yoshikawa |
| TR-185 | FRP ロケットノーズコーンの赤外線輻射による加熱実験
Thermal Characteristics of FRP Rocket Nosecone | 1969年11月 | 小川 敏一, 遠藤修司 |
| TR-186 | ロケット搭載用伝送線路型アンテナの解析
The Analysis on Transmission-line Rocket Antennas | 1969年12月 | 田畑浄治, 桜井善雄
三浦雅男, 松崎良継
塚本 憲男 |
| TR-187 | ホール効果を用いた地磁気式姿勢計の研究
A Magnetic Attitude Measuring Instrument Applying the Hall-Effect | 1969年12月 | 木村 茂, 田畑浄治
松崎良継 |
| TR-188 | 浮動型1自由度積分ジャイロの不等弾性誤差
Analysis of the Anisoelastic Errors of a Floated Single Degree of Freedom integrating Gyro | 1970年1月 | 大月正男, 新宮博公
大田畑浄治, 鈴木孝雄
円居繁治 |
| TR-189 | 誘導制御を含んだロケットの運動のハイブリッドシミュレーション
The Hybrid Simulation of Guided and Controlled Flight of Rocket | 1970年1月 | 奥石 肇, 中 正夫
森 英彦, 大石 晃造
冠 昭夫, 本間 幸造 |
| TR-190 | 超音速における鈍い物体の干渉
Interaction of Blunt Bodies in Supersonic Flow | 1970年2月 | 谷 喬, 河本 巖
榊原盛三, 野田順一 |
| TR-191 | Nearly-Free-Molecule-Flow の物体の抵抗
Drag Measurement in Nearly-Free-Molecule Flow Regime | 1970年2月 | 恩地 瑛, 山本稀義 |
| TR-192T | Transient Couette Flow of Rarefied Binary Gas Mixtures | Mar. 1970 | Kathuhisa Koura |
| TR-193 | サーボ弁の非線形流量特性を考慮した油圧サーボ系のシミュレーション研究
Simulation Study of Hydraulic Servo System with Consideration of non-linear flow characteristic of Servo Valve | 1970年3月 | 奥石 肇, 鈴木崇弘
中村光義 |
| TR-194 | 直接式誘導法を用いた誘導システムの誤差—観測および制御システムの誤差の影響—
Guidance Errors
—The Effects of the Navigation and Control Systems on the Guided Trajectories— | 1970年5月 | 松島弘一, 新田慶治
大坪孔治, 志甫 徹 |

固体ロケット多分力テストスタンドの精度について*

石井進一** 山田 晃** 鎮西信夫**
引地豊三** 工藤賢司**

On the Accuracy of the Multi-Component Test Stand

BY SHINICHI ISHII, AKIRA YAMADA, NOBUO CHINZEI,
KENJI KUDO and TOYOZO HIKICHI

A solid rocket multi-component test stand for research of secondary injection thrust vector control mechanism was installed at the Kakuda Branch of the National Aerospace Laboratory in March of 1969.

The construction, the calibration accuracy, and the error analysis of the test stand are reported in this paper.

The main features of the system components are as follows :

- (1) Both hysteresis and friction are eliminated through the use of flexure pivot attachments on each end of the load cells.
- (2) Load cell coefficients that include the flexure stiffnesses can be obtained through in-place calibration.
- (3) The error terms associated with deflection under load and normal and inverted pendulum effects can be virtually cancelled within structure by reacting the thrust with four load cells, two of which are in tension and two of which are in compression.

The static vector deviation of the test stand was within an angle deviation of 2 minutes of arc and within a vecton location deviation of 0.05 m. m., and the bulk of interaction of the test stand was found to be caused by the bending of flexures which are in compression.

1. ま え が き

ロケットの燃焼試験を行なって、推力ミスアラインメントやステアリング特性を求める場合、おのおの力の成分を良い精度で測定することが必要であり、そのためには前もって、測定精度やテストスタンドの特性を知っておくことが必要である。

多分力の測定において、測定分力を増すと、各計測系間の干渉、ロケットの取付け誤差による各測定分力への影響、などの複雑さが倍加する。

各測定系間の干渉は主として、ロケットを支持するフレキシヤの特性、ロードセルの特性、ロケットの支持機構、などにより影響され、またロケットの取付け精度は、テストスタンドのレベル、ロケット取付け部の精度、ロケットの取付けやすさ、および作業員の取付け作業に対する習熟の度合いにより影響される。

そこで、これらの検討として昭和44年7月に、テス

トスタンドを据付けし直して較正試験を行ない。その特性および測定誤差の要因を明らかにすることなできた。

2. 構造および諸元

2.1 構造

このテストスタンドの構造の概略は、図1に示すように、次の機能を具備するものである。

- (1) ロケットモータは、テストスタンドの揺動台に

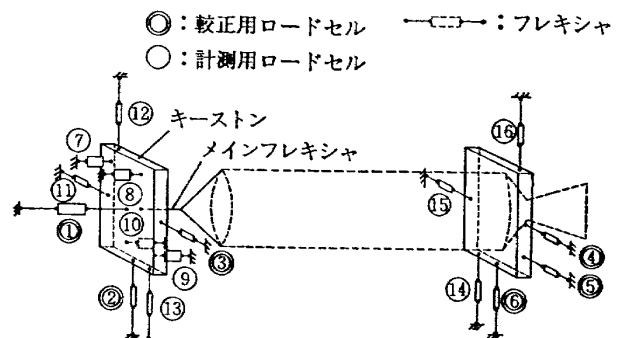


図1 ロードセル取付け位置

* 昭和45年3月30日受付

** 角田支所

取付けるようになっており、この揺動台は計測用ロードセルNo. 7～16およびフレキシャーによりテストスタンドのフレームに支持され、タンパックスを兼ねた各ロードセルの調整により、テストスタンドの軸心に設定される。

(2) 主推力は、主フレキシャーおよびキーストンを介して、ロードセルNo. 7～10で (No. 7, 8は圧縮, No. 9, 10は引張りとして) 計測する。

(3) 横分力とヨーイングモーメントはロードセルNo. 11, 15で計測する。

(4) 縦分力とローリングモーメントは、ロードセルNo. 12, 13, 14, 16で計測する。

(5) 計測用ロードセルの較正は、燃焼試験のときと同じ状態で行なり、いわゆるインプレース方式によるもので、各計測用ロードセルはジャッキにより較正用ロードセル (No. 1～6) を介して、荷重をそれぞれかけられるようになっている。

なお、各ロードセルの前後には、フレキシャーが位置しているので、ロードセルにはその軸方向の力以外は作用しないようになっている。

2.2 諸元

- (1) 型式 : 横型, 6分力測定用
- (2) 最大推力 : 20 ton
- (3) 最大縦横分力 : 1 ton
- (4) 試験することができるロケットモータ
 外径 : 420m. m. (標準)
 長さ : 2,000 または 4,500m. m.

3. テストスタンドの据付け

このテストスタンドは前後の二つの部分からなり、この接合にあたっての芯出しは、トランシットを用いて、テストスタンドの軸線方向にある3か所の基準ピンを一直線にそろえるのであるが、その精度は0.254m. m. (1/100 インチ) 以内であった。

また、テストスタンドを水平に据付けるためには、

主推力と横分力の測定用ロードセル (No. 1, 3, 4, 11, 15) 取り付け座の中心にある基準ピンに水準器を付したスケールを立て、これをトランシットで読みとることによって行なった。据付け後の水平度を表1に示す。

4. 試験の方法および結果

4.1 較正用ロードセルの較正

較正用ロードセルの較正は、標準荷重をかけたときのデジタルミリボルトメータの読みから求めるのであるが、角田支所にはこの標準荷重装置がないので、メーカ (オーモンド社) における値をそのまま採用した。メーカにおける較正結果は、非直線性による最大偏差がロードセルの全容量の 0.06% であった。

4.2 計測用ロードセルの較正

計測用ロードセルの較正は、これと対向してテストスタンドに取付けてある較正用ロードセルを介してジャッキにより荷重をかけ、較正用ロードセルの出力電圧に対応する計測用ロードセルの出力電圧を前記のミリボルトメータから読みとることによって求める。

較正の結果は、非直線性による最大偏差がロードセルの全容量の 0.08% であったが、これはロードセル単体とフレキシャーとを組合せた非直線性によるものであり、さらに次の誤差をも含むものである。

すなわちジャッキ機構により計測用ロードセルに較正荷重をかけたとき、較正荷重の指示値が時間とともに変化し、荷重をかけたときとこれの計測値を読みとったときとの間で最大偏差が 0.06% であった。

4.3 計測系間の干渉

多分力テストスタンドでは、ある計測系に荷重をかけると、フレキシャーの剛性計測系の変位、テストスタンドの据付け誤差、などにより他の系に干渉をおよぼす。

これらの干渉は計測用ロードセルの較正と同じ要領で、干渉の種類に応じて、ある計測系に荷重をかけ、他の系に現われる出力電圧を測定して求めたが、その

表1 テストスタンドの水平度

(ロードセル No. 1 を基準にした関係高さ)

単位 mm

ロードセルNo.	1	3	4	11	15
関係高さ	0	-0.089	+0.800	-0.089	+0.165

表 2 計測系間の干渉

計正荷重 kg	干渉量 kg	干渉係数	kg
$F_1 = -19988.01$	$I_{11} = +9.70$ $I_{F_{12.13}} = -52.26$	$C_{(1-11)} = +0.000485$	$C_{(1-F_{12.13})} = -0.00261$
$F_1 = -20025.94$	$I_{15} = -0.29$ $I_{F_{14.16}} = -0.12$	$C_{(1-15)} = -0.00001$	$C_{(1-F_{14.16})} = -0.00001$
$F_2 = +911.51$	$I_{11} = +2.51$	$C_{C(F_{12.13-11})} = -0.00275$	
$F_2 = -920.63$	$I_{11} = -2.00$	$C_T(F_{12.13-11}) = -0.00217$	
$F_2 = -937.34$	$I_{15} = 0$ $I_{F_{14.16}} = -0.14$	$C_T(F_{12.13-15}) = 0$	$C_T(F_{12.13-F_{14.16}}) = -0.00015$
$F_2 = +934.16$	$I_{16} = 0$ $I_{F_{14.16}} = 0$	$C_C(F_{12.13-15}) = 0$	$C_C(F_{12.13-F_{14.16}}) = 0$
$F_3 = +909.94$	$I_{F_{12.13}} = +0.34$	$C_C(11-F_{12.13}) = -0.00037$	
$F_3 = -923.74$	$I_{F_{12.13}} = 0$	$C_T(11-F_{12.13}) = 0$	
$F_3 = -916.66$	$I_{15} = -0.23$ $I_{F_{14.16}} = 0$	$C_T(11-15) = -0.00025$	$C_T(11-F_{14.16}) = 0$
$F_3 = +929.84$	$I_{15} = +0.17$ $I_{F_{14.16}} = -0.14$	$C_C(11-15) = -0.00018$	$C_C(11-F_{14.16}) = +0.00015$
$F_4 = -926.27$	$I_{11} = -1.43$ $I_{F_{12.13}} = +0.06$	$C_T(15-11) = -0.00154$	$C_T(15-F_{12.13}) = +0.00006$
$F_4 = +935.62$	$I_{11} = +0.86$ $I_{F_{12.13}} = 0$	$C_C(15-11) = -0.00091$	$C_C(15-F_{12.13}) = 0$
$F_4 = +907.34$	$I_{F_{14.16}} = +0.40$	$C_C(15-F_{14.16}) = -0.00044$	
$F_4 = -907.11$	$I_{F_{14.16}} = -0.10$	$C_T(15-F_{14.16}) = -0.00011$	
$F_6 = -929.18$	$I_{11} = +0.11$ $I_{F_{12.13}} = +1.37$	$C_T(F_{14.16-11}) = +0.00012$	$C_T(F_{14.16-F_{12.13}}) = +0.00147$
$F_6 = +920.99$	$I_{11} = 0$ $I_{F_{12.13}} = -3.35$	$C_C(F_{14.16-11}) = 0$	$C_C(F_{14.16-F_{12.13}}) = +0.00364$
$F_6 = +913.10$	$I_{15} = -3.39$	$C_C(F_{14.16-15}) = +0.00371$	
$F_6 = -919.52$	$I_{15} = -0.57$	$C_T(F_{14.16-15}) = -0.00062$	

干渉係数は次式による
 $C_{(i-j)} = -(I_j / F_i)$

ここに
 $F_i = i$ 番目のロードセルの検出量、
 $I_j = F_i$ に対応する干渉量
 添字 : C=圧縮 T=引張り

表 3 主推力に他の荷重が加わる場合の干渉

較 正 荷 重	計 測 荷 重	干 渉 量	kg
$F_1 = -19977.01$	$F_2 = -917.86$	$F_{11} = +8.73$	$I_{11} = +8.73$
$F_1 = -19981.20$	$F_2 = +907.57$	$F_{11} = +15.52$	$I_{11} = +15.52$
$F_1 = -20062.90$	$F_3 = +907.51$	$F_{11} = +913.70$	$I_{11} = +6.19$
$F_1 = -19991.68$	$F_3 = -904.83$	$F_{11} = -884.66$	$I_{11} = +20.17$
$F_1 = -20025.94$	$F_2 = -907.69$	$F_{15} = -0.29$	$I_{15} = -0.29$
$F_1 = -20025.94$	$F_2 = +907.69$	$F_{15} = -0.29$	$I_{15} = -0.29$
$F_1 = -20025.94$	$F_3 = -907.19$	$F_{15} = -0.52$	$I_{15} = -0.52$
$F_1 = -20025.94$	$F_3 = +908.19$	$F_{15} = -0.17$	$I_{15} = -0.17$
$F_1 = -20018.49$	$F_2 = +947.04$	$F_{11} = +921.43$	$I_{11} = +6.94$
$F_1 = -19973.87$	$F_2 = +907.42$	$F_{11} = -894.07$	$I_{11} = +17.20$
$F_1 = -19975.27$	$F_2 = -908.93$	$F_{11} = -901.43$	$I_{11} = +20.35$
$F_1 = -19989.64$	$F_2 = -906.79$	$F_{11} = +939.53$	$I_{11} = +0.58$
$F_1 = -20020.54$	$F_2 = +928.86$	$F_{15} = -0.01$	$I_{15} = -0.01$
$F_1 = -19969.86$	$F_2 = -932.13$	$F_{15} = -0.17$	$I_{15} = -0.17$
$F_1 = -20076.52$	$F_2 = -918.65$	$F_{15} = -0.46$	$I_{15} = -0.46$
$F_1 = -20002.82$	$F_2 = +882.92$	$F_{15} = -0.46$	$I_{15} = -0.46$

結果は表2に示すとおりであり、また主推力に他の荷重が加わったときの計測用ロードセルの検出量と干渉量は表3のとおりである。

4.4 テストスタンドの誤差

このテストスタンドは表2で見られるように、主推力をかけたとき前部の縦・横の計測系に最も大きい干渉が現われ、他の干渉は非常に小さい。

したがって実際の燃焼試験データを解析するにあたって、主推力による干渉量は干渉係数を用いて補正し、他の干渉量は無視することができるのであるが、ここで無視した干渉量はロケット推力線のスタンド軸線からのずれ、またはロケットの見かけ上のミスアライメントして現われテストスタンド固有の誤差として精度に影響する。

主推力と前部の縦・横にそれぞれ -20 ton, -1 ton, -1 ton をかけた場合の誤差が最も大きく、これを推力線のずれとして現わすと次のとおりであった。

$$\begin{aligned} \Delta S &= 0.054 \text{ m. m.} \\ \Delta N &= -0.001 \text{ m. m.} \\ \Delta &= 0.054 \text{ m. m.} \\ \Delta\theta_s &= -1'45'' \\ \Delta\theta_N &= -47'' \\ \Delta\theta &= 1'55'' \end{aligned}$$

なお上記の解析は次式による。(図1, 2参照)

主推力 $F_0 = F_7 + F_8 + F_9 + F_{10}$

横分力 $F_S = F_{11} + C_{(1-11)} \cdot F_0 + F_{15}$

縦分力 $F_N = F_{12} + F_{13} + C_{(1-12-13)} \cdot F_0 + F_{14} + F_{16}$

ピッチングモーメント $M_P = (F_{14} + F_{16}) \cdot L_P$

ヨーイングモーメント $M_Y = F_{15} \cdot L_Y$

横方向の変位 $\Delta S = M_Y / F_0$

縦方向の変位 $\Delta N = M_P / F_0$

横分力の誤差 $\Delta F_S = F_S - F_3$

縦分力の誤差 $\Delta F_N = F_N - F_2$

横方向ふれ角 $\Delta\theta_S = \Delta F_S / F_0$

縦方向ふれ角 $\Delta\theta_N = \Delta F_N / F_0$

ここで $L_P = L_Y = 2350.8 \text{ m. m.}$ 前後のロードセル取付け面間の距離

5. 誤差要因の分析

一般にテストスタンドの誤差要因として考えられることは、(1) ヒステリシス (2) ロードセルの誤差 (3) 計測系の変位 (4) テストスタンドの据付け誤差、のよなものあげられ、このテストスタンドについてこれらを検討する。

5.1 ヒステリシス

ロードセルの較正におけるゼロもどりが良好なことから、ロードセルおよびテストスタンドのヒステリシスはほとんど無視できるほどのものであり、テストスタンドのヒステリシスは、その支持機構にフレキシヤを用いることにより解決されたものと思われる。

5.2 ロードセルの誤差

較正用ならびに計測用ロードセルの非直線性による最大偏差それぞれ 0.06%, 0.08% は、この種の計器としては従来にない高精度のものであった。

5.3 計測系の変位

ロードセルの較正で荷重をかけるとき、実際のロケット燃焼実験でも同様であるが、計測系が伸縮すると同時にロケットを取付ける揺動台も変位する。

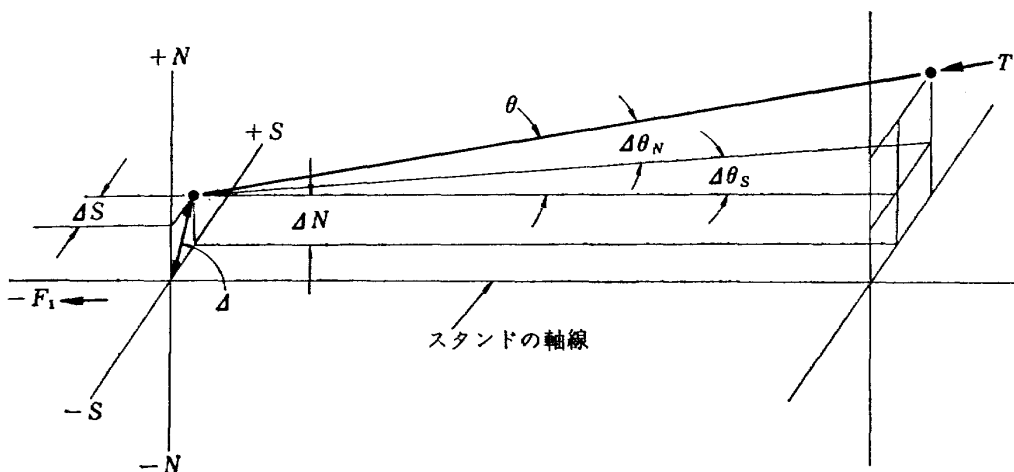


図2 データ解析の方法

この変位はテストスタンドの振動特性と直接に関連するものであるが、このテストスタンドでは主推力に 20 ton 縦または横に 1 ton の荷重をかけた場合はそれぞれ 1.27m. m., 0.127m. m., 0.254m. m. であったが、これらの変位が各較正荷重に対して抗力を発生し、あるいは計測系間の干渉の原因になる。

5.3.1 主推力に対する影響

(1) フレキシャーの剛性による抗力

主推力に較正荷重をかけると、揺動台の変位によりおのおのフレキシャーがたわむので、これの剛性により次式に示す抗力を発生する。

$$F_{RT} = \Sigma F_{Rn}$$

$$F_{Rn} = (2K_n \cdot \theta_n) / L_n$$

ここで

F_{RT} = フレキシャーの剛性による全抗力

F_{Rn} = n 番目の計測系の剛性による抗力

K_n = n 番目の計測系で用いたフレキシャーの剛性
(このスタンドで用いたフレキシャーの剛性を表 4 に示す)

L_n = n 番目の計測系の長さ (ロードセルの両端にフレキシャーを組込んだ全長)

θ_n = n 番目の計測系のふれ角 = $\Delta / (r + l)^{1/2}$

Δ = 計測系の変位

r = フレキシャーの長さ

l = フレキシャーの中間にある剛体 (ロードセル) の長さ

主推力に 20 ton をかけるときの全抗力を求めると、ロードセル No. 2~6 および No. 11~16 のフレキシャーの剛性により、次のようになる。

$$F_{RT} = 11.1 \text{ kg}$$

すなわち主推力の較正荷重に対して、計測用ロードセルにかかる実荷重はこの抗力のみ小さくかかるのであるが、このテストスタンドではこの抗力を含んだ状態で較正を行なう (in-place) のでそれ自体は考慮の必要がないのであるが、フレキシャーのふれ角に対する抗力の直線性が悪い場合は計測の精度に影響する。

このテストスタンドでは、その全容量 20ton に対する上記の全抗力の割りあい自体が非常に小さい (0.06 % に該当) ので、直線性の良否による誤差はさらに小さく、無視できるほどのものである。

(2) フレキシャーの剛性変化

テストスタンドの前部や後部の縦横に、引張りまたは圧縮の荷重をかけると、関係するフレキシャーが伸縮するので、その剛性が変化し、前項の抗力に増減をきたすが、この抗力の変化は次式により求められる。

表 4 使用したフレキシャーの容量とその特性

フレキシャーの位置	容量 kg	剛性 $\frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{deg}}$
キーストン	28,600	248
ロードセル No. 1	22,700	595
" 2	1,135	5.76
" 3	"	"
" 4	"	"
" 5	"	"
" 6	"	"
" 7	6,810	156
" 8	"	"
" 9	"	"
" 10	"	"
" 11	3,405	36.9
" 12	"	"
" 13	"	"
" 14	"	"
" 15	"	"
" 16	"	"

$$\Delta F_{RT} = \Sigma [2 K_n (\gamma_n - 1) \theta_n] / L_n$$

ここで

ΔF_{RT} = 全抗力の変化

γ_n = n 番目のフレキシャーの剛性率 (このスタンドで用いたフレキシャーの荷重による剛性率の変化を図 3 に示す)

縦または横に 1 ton の荷重をかけた場合について、この主推力に対する抗力の変化を求めると次のようになる。

(a) 前部または後部の横方向に荷重をかける場合
ロードセル No. 3, 11 または No. 4, 15 のフレキシャーの剛性変化により

(i) 圧縮の場合 $\Delta F_{RT} = 0.95 \text{ kg}$

(ii) 引張りの場合 $\Delta F_{RT} = -1.33 \text{ kg}$

(b) 前部または後部の縦方向に荷重をかける場合
ロードセル No. 2, 12, 13 または No. 6, 14, 16 のフレキシャーの剛性変化により

(i) 圧縮の場合 $\Delta F_{RT} = -0.20 \text{ kg}$

(ii) 引張りの場合 $\Delta F_{RT} = -0.51 \text{ kg}$

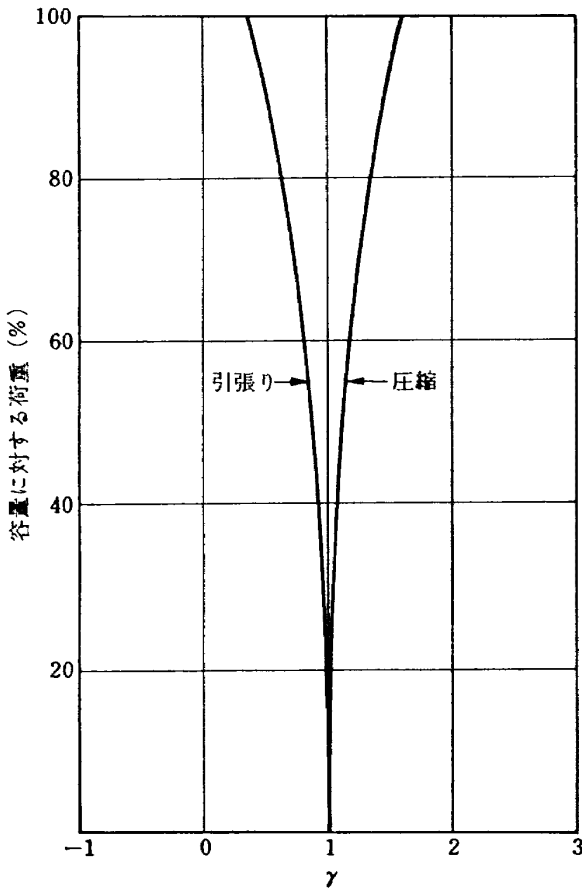


図 3 荷重による剛性率の変化

$K_P = \gamma \cdot K_1$: K_1 = 無荷重における剛性
 K_P = 荷重下における剛性
 γ = 剛性率

(3) 計測系の反力

主推力に較正荷重をかけた状態で縦または横に較正

荷重をかけると、計測系の反力により図 4 に示す抗力、 $F \cdot \sin \theta$ を生じ主推力に影響をおよぼすが、主推力を 20 ton、縦または横の荷重を 1 ton としてこれによる抗力を求めると次のようになる。

- (a) 前部または後部の横方向に荷重をかける場合
ロードセル No. 3, 11 または No. 4, 15 の計測系の反力により
 $F_R = \pm 16.8 \text{ kg}$
但し、引張りのとき正、圧縮のとき負、
- (b) 前部または後部の縦方向に荷重をかける場合
ロードセル No. 12, 13 または No. 14, 16 の計測系の反力はいずれも打ち消す方向にあるので、No. 2 または No. 6 の計測系だけが関係し
 $F_R = \pm 8.4 \text{ kg}$
ただし、引張りのとき正、圧縮のとき負
- (4) ロケットモータの重量変化

ロケットが燃焼すると、その発生する推力により、ロケットおよび揺動台が推力の方向に変位し、これらをささえる各計測系が傾くのであるが、このうち垂直方向にある系は、そのささえる重量（ロケットおよび揺動台）により主推力に対して、抗力、 $\frac{W}{4} \cdot \tan \theta$ を発生する。

この抗力はロケットの燃焼に伴う重量の変化に従って低下するのであるが、このテストスタンドでは垂直方向の力を引張りと圧縮とでささえてあるので、図 5 のように主推力に対する影響を打ち消し、ロケットの重量変化は主推力に影響をおよぼさない。

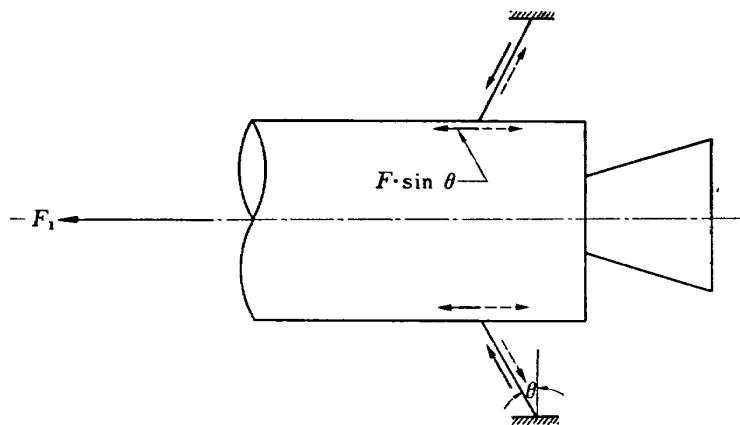


図 4 計測系の反力により生ずる主推力に対する抗力

← 圧縮の場合 ←.....引張りの場合

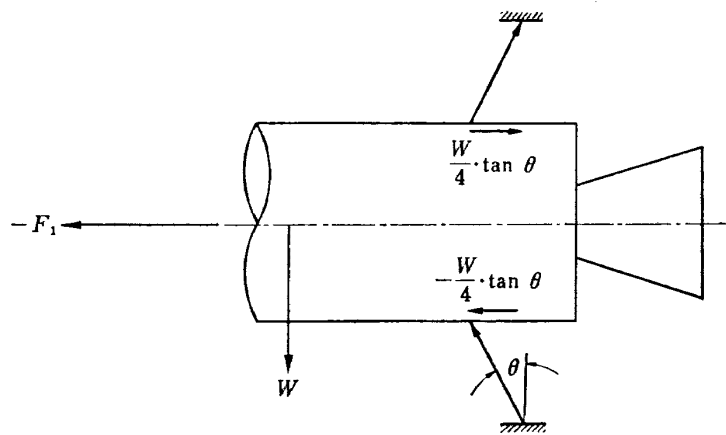


図 5 ロケットの重量が主推力におよぼす影響
(圧縮と引張りとで支持するので互いに打ち消す)

(5) 主推力の較正精度

二次噴射またはロケットのミスアライメントによる縦横分力は、その大半が後部の計測系に現われるので、主推力と後部の縦横にそれぞれ全容量の荷重を同時にかける極端な場合について、主推力の較正值に入りこむ誤差を求めると、これまでの検討から $\pm 25 \text{ kg}$ (全容量の 0.12% に該当) となる。

ただし実際の燃焼実験では、較正用ロードセルが関与しないので、 $\pm 11 \text{ kg}$ (全容量の 0.06% に該当) の誤差が見込まれる。

5.3.2 前部の縦横分力に対する影響

(1) フレキシャーの剛性による抗力

前部の縦横方向に較正荷重をかけるときも、主推力の場合と同様に、フレキシャーの剛性により、較正荷重に対する抗力を生ずるが、縦または横に 1 ton の較正荷重をかける場合についてこれを求めると次のようになる。

(a) 縦方向の較正荷重に対する抗力

ロードセル No. 1, 3, 7~11 およびキーストンのフレキシャーの剛性により、全抗力は次のようになる

$$F_{RT} = 2.08 \text{ kg}$$

(b) 横方向の較正荷重に対する抗力

ロードセル No. 1, 2, 7~10, 12, 13 およびキーストンのフレキシャーの剛性により、全抗力は次のようになる。

$$F_{RT} = 4.45 \text{ kg}$$

この場合も主推力の場合と同様に、縦横分力の全容

量 1 ton に対する抗力の割合が非常に小さい (それぞれ全容量の 0.2%, 0.4% に該当) のでフレキシャーの剛性の直線性の良否による誤差は更に小さく、無視できるほどのものである。

(2) フレキシャーの剛性変化

主推力に荷重をかけ、あるいは主推力と縦または横に同時に荷重をかけると、第 5, 3, 1 (2) 項で述べたと同様に、上記の全抗力が変化し次のようになる。

(a) 主推力に 20 ton をかけるとき

ロードセル No. 1 のフレキシャーが伸びて剛性が低下するので、この状態で縦または横に 1 ton の較正荷重をかける場合の、この較正荷重に対する抗力の変化は次のようになる

(i) 縦の較正荷重に対して、 $\Delta F_{RT} = -0.14 \text{ kg}$

(ii) 横の較正荷重に対して、 $\Delta F_{RT} = -0.27 \text{ kg}$

(b) 縦方向に $\pm 1 \text{ ton}$ をかけるとき

ロードセル No. 2 のフレキシャーの剛性が変化するので、この状態で横方向に 1 ton の較正荷重をかける場合の、この較正荷重に対する抗力の変化は次のようになる。

(i) 縦に +1 ton をかけるとき

$$\Delta F_{RT} = -0.04 \text{ kg}$$

(ii) 縦に -1 ton をかけるとき

$$\Delta F_{RT} = -0.10 \text{ kg}$$

(c) 横方向に $\pm 1 \text{ ton}$ をかけるとき

ロードセル No. 3, 11 のフレキシャーの剛性が変化するので、この状態で縦方向に 1 ton の較正荷重をかける場合の、この較正荷重に対する

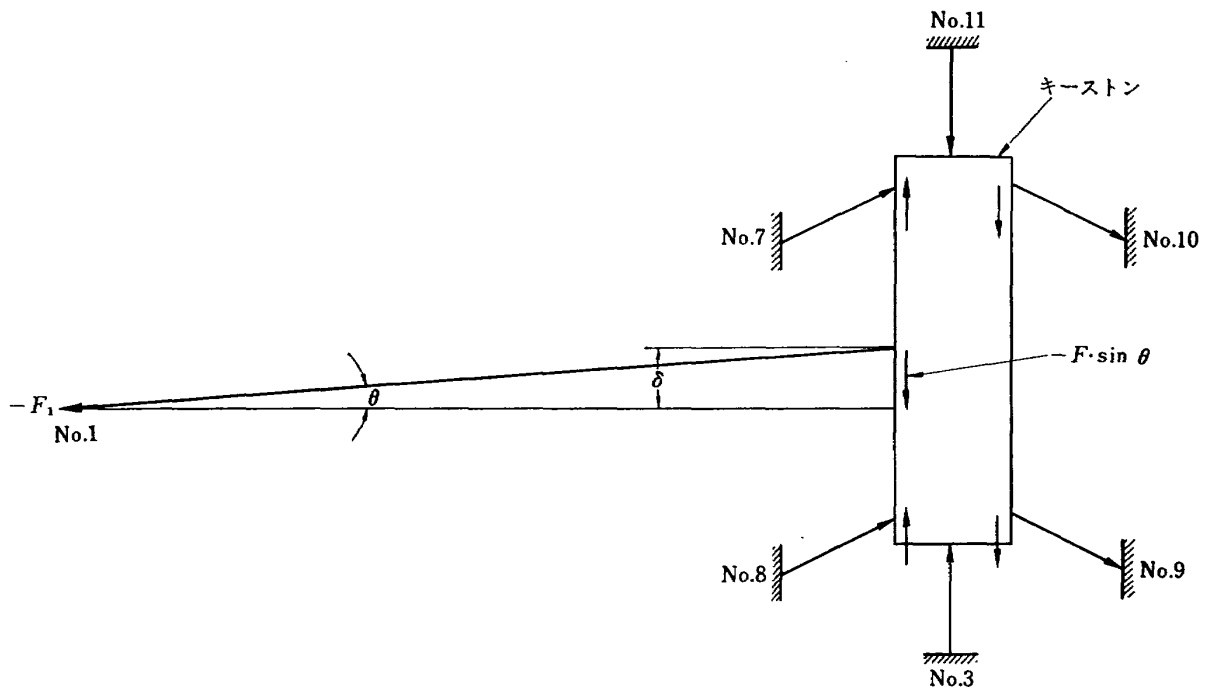


図 6 主推力による縦・横の較正荷重に対する抗力
(一例として横方向・圧縮荷重の場合を示す)

注一 δ, θ は縦または横の荷重によるそれぞれ偏位, 偏角を示す

注二 計測系 No. 7, 8 および No. 9, 10 はそれぞれ圧縮および引張りとして主推力を受けるので, その効果を互いに打ち消す。

抗力の変化は次のようになる。

(i) 横に +1 ton をかけるとき

$$\Delta F_{RT} = 0.09 \text{ kg}$$

(ii) 横に -1 ton をかけるとき

$$\Delta F_{RT} = -0.13 \text{ kg}$$

(3) 計測系の反力

(a) 主推力による反力

縦または横に荷重をかけた状態で主推力をかけると, 計測系には図 6 に示す抗力 $F \cdot \sin \theta$ を生じ, 縦または横の較正值に影響をおよぼすが, 縦または横の較正荷重を 1 ton 主推力を 20 ton として, この較正荷重に対する抗力を求めると次のようになる。

(i) 縦の較正荷重に対して $F_R = 4.16 \text{ kg}$

(ii) 横の較正荷重に対して $F_R = 8.32 \text{ kg}$

(b) 縦または横・分力による反力

縦または横に荷重をかけた状態で, それぞれ横または縦に較正荷重をかけると, 主推力による同様に抗力を生ずるが, 縦または横の荷重を $\pm 1 \text{ ton}$ とし, それぞれ横または縦に 1 ton の較正荷重をかける場合の抗力は次のようになる。

$$F_R = \mp 1.66 \text{ kg}$$

(4) 前部の縦および横・分力の較正精度

前部の縦および横・分力の較正におけるこれまでの検討をまとめると, 縦横および主推力に全容量の荷重がかかった場合の縦および横・分力の誤差はそれぞれ $\pm 5.6 \text{ kg}$, $\pm 9.6 \text{ kg}$ (それぞれ全容量の $\pm 0.56\%$, $\pm 0.96\%$ に該当) となる。

ただし実際の燃焼実験では較正用ロードセルは関与しないので, 縦および横・分力の誤差はそれぞれ $\pm 0.76 \text{ kg}$, $\pm 0.07 \text{ kg}$ となり, これらは無視し得るほど小さい値である。

5.3.3 後部の縦・横分力に対する影響

(1) フレキシチャーの剛性による抗力

後部の縦・横方向に較正荷重をかけるときも前部の場合と同様に抗力を生ずる。

(a) 縦方向の較正荷重に対する抗力

$$F_{RT} = 0.23 \text{ kg}$$

(b) 横方向の較正荷重に対する抗力

$$F_{RT} = 0.71 \text{ kg}$$

この場合も前部の場合と同様に, フレキシチャー剛性の直線性の良否による誤差は無視することができる。

(2) フレキシャーの剛性変化

前部の場合と同様に、フレキシャーの剛性変化による較正荷重に対する抗力の変化は次のようになる

(a) 縦方向に ±1 ton をかけた状態で横方向に 1 ton の較正荷重をかける場合

(i) +1 ton $\Delta F_{RT} = -0.04 \text{ kg}$

(ii) -1 ton $\Delta F_{RT} = -0.1 \text{ kg}$

(b) 横方向に ±1 ton をかけた状態で縦方向に 1 ton の較正荷重をかける場合

(i) +1 ton のとき $\Delta F_{RT} = 0.09 \text{ kg}$

(ii) -1 ton のとき $\Delta F_{RT} = -0.12 \text{ kg}$

(3) 計測系の反力

縦または横に荷重をかけた状態で、それぞれ横または縦に較正荷重をかけるときの反力による抗力は、前部の場合と全く同様である。

すなわち、縦または横の荷重を ±1 ton とし、それぞれ横または縦の較正荷重を 1 ton とした場合の抗力は、 $F_R = \mp 1.66 \text{ kg}$ である。

(4) 後部の縦および横・分力の較正精度

後部の縦および横・分力の較正におけるこれまでの検討をまとめると、縦・横および主推力に全容量の荷重がかかった場合の縦および横・分力の誤差はそれぞれ ±1.6 kg, ±1.7 kg (それぞれ全容量の ±0.16%, ±0.17% に該当) となる。

ただし実際の燃焼実験では、較正用ロードセルが関与しないので、縦および横・分力の誤差はそれぞれ ±0.76 kg, ±0.07 kg となり、これらは無視し得るほ

ど小さい値である。

5.4 テストスタンドの据え付け誤差による影響

テストスタンドの据付けにあたり、各計測系が正しい関係位置にあることが必要であり、その誤差はテストスタンドの精度に直接関係することは論を待たない。

今回の試験において、各計測系の関係位置のうち高さについては測定することができたが、他の縦横関係については適切に測定する手段をもたなかった。

したがってここでは高さ関係の据付け誤差が較正值におよぼす影響を検討した。

(1) 主推力の較正荷重

主推力の較正荷重は、据付け誤差のため、図7に示すように斜め下方から引張る結果となり、実荷重 F_0 は $F_0 = F_1 \cdot \cos \theta_1$ となるのであるが θ_1 が非常に小さいので、較正荷重をそのまま実荷重とすることができる。

(2) 主推力の較正荷重により生ずる縦分力

主推力の計測用ロードセル No. 7, 8 および No. 9, 10 は、それぞれ圧縮および引張りとして荷重を受けるようになっており、かつ各計測系の取付けは図7の状態にあるので、主推力の荷重により各計測系はそれぞれ縦分力を発生し、全体としては次のようになる。すなわち、これを F_Y とすれば

$$F_Y = -F_1 \cdot \sin \theta_1 + (F_7 \cdot \sin \theta_7 + F_8 \cdot \sin \theta_8) - (F_9 \cdot \sin \theta_9 + F_{10} \cdot \sin \theta_{10})$$

主推力に 20 ton の較正荷重をかけた場合について

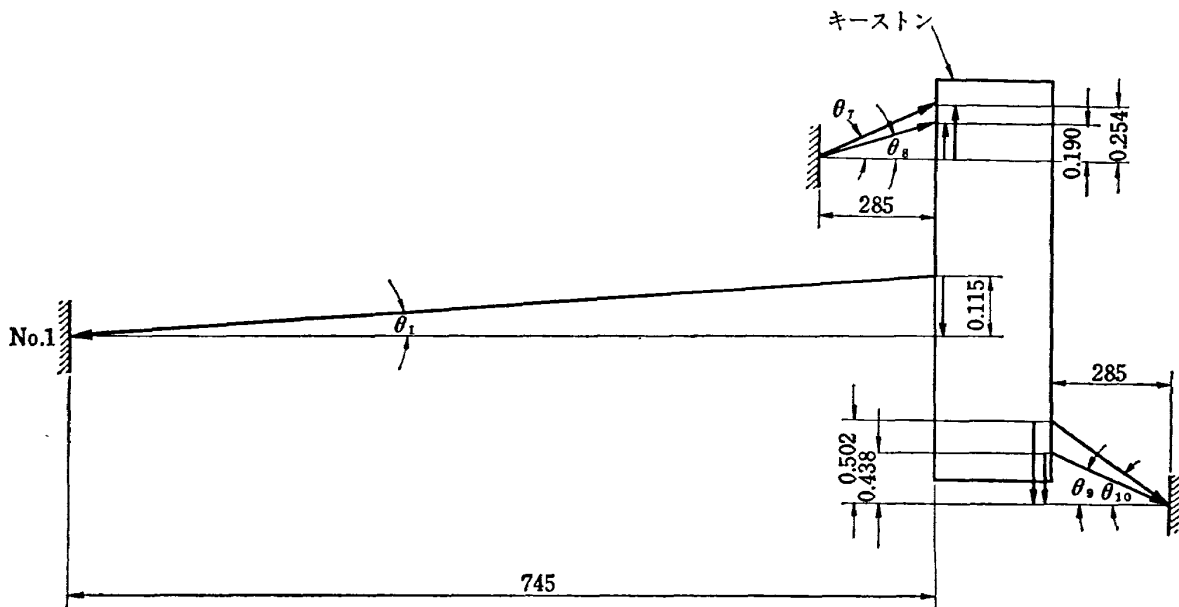


図7 テストスタンドのすえ付け誤差により、主推力をかけたときに生ずる縦分力

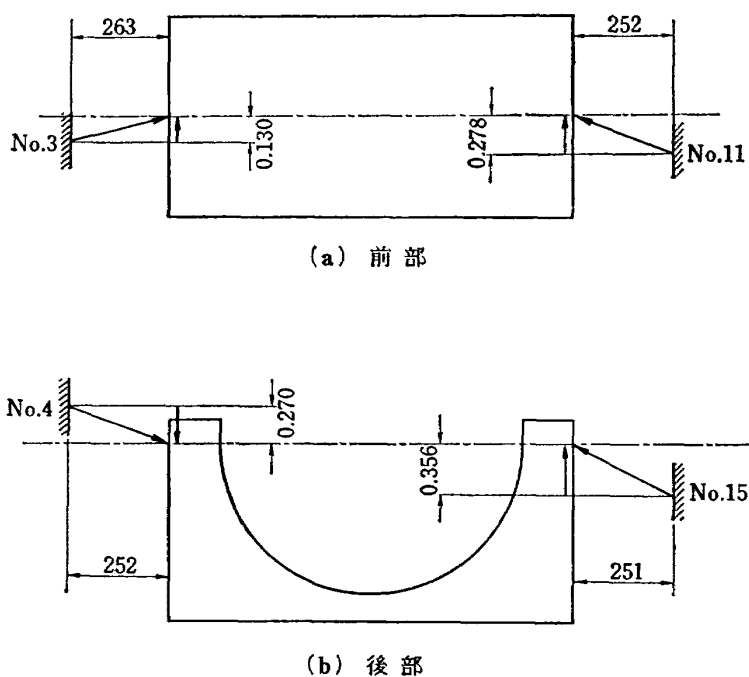


図 8 テストスタンドの据付け精度と横荷重により発生する縦分力
圧縮荷重の場合を示す。(引張りの場合は逆向きになる)

表 5 較正荷重による干渉

単位 : kg

較 正 荷 重	前部横方向 (I ₁₁)		前部縦方向 (I _{Σ12,13})	
	計測値	計算値	計測値	計算値
-F ₁	+ 9.70	(+ 9.7)	- 52.26	-11.8 (-40.5)
-F ₁ -F ₂	+ 8.73	————	- 49.29	-48.3
-F ₁ +F ₂	+ 15.52	————	- 56.16	-56.3
-F ₁ +F ₃	+ 6.19	+ 1.7	- 52.74	-50.8
-F ₁ -F ₃	+ 20.17	+17.8	- 52.07	-53.8
-F ₁ +F ₂ +F ₃	+ 6.94	+ 3.4	- 55.35	-53.3
-F ₁ +F ₂ -F ₃	+ 17.20	+16.1	- 57.47	-59.4
-F ₁ -F ₂ -F ₃	+ 20.35	+19.3	- 47.66	-48.3
-F ₁ -F ₂ +F ₃	+ 0.58	+ 0.1	- 49.83	-48.4

F₁ = 20ton. F₂ = F₃ = 1 ton

これを求めると次のようになる。

$$F_Y = -11.8 \text{ kg}$$

(3) 前部の横方向・較正荷重により生ずる縦分力

前部の横方向に較正荷重をかけると、計測系の関係位置が図 8 (a) のようになっているので、次の縦分力を発生する。

$$F_Y = \pm F_3 (\sin \theta_8 + \sin \theta_{11})$$

ただし、圧縮のとき正、引張りのとき負

横方向に ± 1 ton の較正荷重をかける場合についてこれを求めると次のようになる。

$$F_Y = \pm 1.5 \text{ kg}$$

(4) 後部の横方向・較正荷重により生ずる縦分力

後部の各計測系の関係位置 (図 8 (b) 参照) から前部の場合と同様にして発生する縦分力が求められる。すなわち、横方向に ± 1 ton の較正荷重をかける場合についてこれを求めると次のようになる。

$$F_Y = \pm 0.3 \text{ kg}$$

以上の検討により、このテストスタンドの干渉の大部分を明らかにすることができたが、主推力に較正荷重 20 ton をかける場合の前部の計測系に現はれる干渉量は、実測によれば縦分力として -52.26 kg 、横分力として $+9.7 \text{ kg}$ あったのに対して、計算では縦分力として -11.8 kg であった。(注：横分力としての干渉量は、テストスタンドの縦・横方向の据付け誤差を測定してないので、この場合、求めることができない)

主推力を圧縮で受ける計測系 No. 7, 8 は、主推力がかかると、わずかながらたわむことがわかったので、上記・縦分力としての干渉量 -52.26 kg のうち約 -40 kg はこのたわみによるものと見なし、また横分力としての干渉量 $+9.7 \text{ kg}$ は据付け誤差や計測系のたわみによるものと見なしてこれらを補正值とすれば、多成分の荷重による干渉量は表 5 のように、計算

と実測とを比較してその傾向と概略の大きさがよく一致した。

6. ま と め

(1) このテストスタンドを用いる燃焼実験で推定される主推力の最大誤差は $\pm 11 \text{ kg}$ であり、推力線の最大誤差はふれ角 $1'55''$ 、変位 0.05 mm とかなり良い精度のものであった。

(2) 主推力と縦分力の計測系は、圧縮と引張りとの力を受けるので、ロケットの変位による抗力と、フレキシャーの剛性変化による誤差は打ち消すことができたが、主推力を圧縮で受ける計測系 No. 7, 8 にはたわみがみられ、これによると考えられる干渉量は、縦分力としてあらはれる干渉量の中で大きな割合を占めた。

(3) テストスタンドの据付けにあたっては、水平度ばかりでなく、縦横方向の関係位置をも測定できるような方法を考える必要がある。

なお、このテストスタンドは、はじめ宇宙開発事業団・黒田総括開発官 (当時のロケット部長) 宇宙研究グループ 大塚総合研究官ならびに五代、山中主任研究官により計画されたものであり、製作は米国オーモンド社があたったものである。

終りにあたり、試験の全般にわたってご指導いただいた大塚総合研究官、数々のご助言をいただいた五代、山中主任研究官、ならびに有益な資料をいただいたオーモンド社長、日産自動車株式会社・和地課長、岩田技師の方々に厚く御礼申しあげます。

文 献

- 1) D. P. Ankeney and C. E. Wood; Design Criteria for Accurate Solid-Propellant Static Thrust Stands, NAVWEPS Report 8353.

- | | | | |
|---------|---|-----------|---|
| TR-195 | 箱型主翼構造のひずみ分布とたわみに関する
計算と実験
Results of Strain and Deflection Measurements Carried out on Model Wings and their Comparison with Calculated Results | 1970年5月 | 久能和夫 |
| TR-196 | 回転式動安定測定装置による遷音速試験
Dynamic Stability Test in Transonic Wind Tunnel Rotary System | 1970年5月 | 小橋安次郎, 河野長正
西武徳, 宮沢政文 |
| TR-197T | Wind Tunnel Investigations of the STOL Airplane, with Attention to the Relations between the Aerodynamic Characteristics and their Wake Structure | May. 1970 | Norio Inumaru
Kiyomi Kitamura
Nagakatsu Kawahata
Hitoshi Takahashi
Tomoaki Suzuki |
| TR-198 | 低マッハ数における翼型の翼型抗力の計算
A Calculation of the Profile Drag of Airfoils at Low Mach Numbers | 1970年5月 | 河崎俊夫, 石田洋治 |
| TR-199 | 鈍い頭部を有する円筒物体まわりの超音速流れ
Supersonic Flow Fields around Cylindrical Bodies With Blunt Nose | 1970年6月 | 河本 巖 |
| TR-200 | フライングテストベッドの高度制御システムの検討(II) シミュレーションによる二, 三の問題点の検討
Analytical and Simulation Studies on the Height Control System of Flying Test Bed (II) on Some Problems | 1970年6月 | 堀川勇壮, 甲斐忠夫 |
| TR-201 | FA-200改機の風洞試験(III) 地面効果
Low Speed Wind Tunnel Tests of the FA-200-XS Airplane Model Influenced with Ground Effects | 1970年7月 | 広末健一, 高橋 宏
小野孝次, 桑野尚明 |
| TR-202 | 過酸化水素分解ロケットモータの実験
Experimental Investigation of Monopropellant Hydrogen Peroxide Reactor | 1970年7月 | 清水昭紀, 種村利春 |

航空宇宙技術研究所報告 203 号

昭和 45 年 7 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 一誠社総合印刷株式会社
東京都武蔵野市御殿山1-6-10
