

ラムダ地上試験用推力計

大井光四郎・吉山 巖・小倉 公達・時末 征

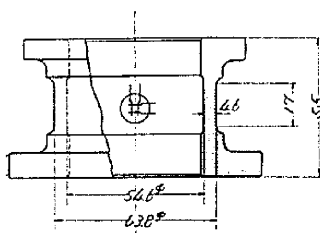
1. はしがき

ラムダ 735 型のエンジンの地上試験用の推力計の最初の試作品は測定値の再現性などに難点があったので、この点に改良を加えた結果、一応目的を達することができたので、その経過を報告する。

推力計に対し与えられた条件としては容量 50t、精度 1%、振動を避けるために、ばね定数を高くすることなどのほかに、不測の事故に備えてロケットエンジンのフォードギヤップをしっかりと把握していることが要求された。これらの条件は単独ではたいして困難な問題ではないが、全部を同時に満足させようとする少し厄介な問題が発生する。すなわち実際の実験に際しては荷重が多少偏心することもあろうし、またフォードギヤップと推力計との当たりも必ずしも平らであるとは限らない。一般に圧縮力を測定するときにはたびたびこの種のこと測定精度を悪くする原因になる。もしもロケットエンジンを長手方向のみ動きうるように束縛し、推力計との間に自由な関節を設けることが許されるならばこの点は解決されるが、それではロケットエンジンを把握しているという条件が満たされなくなる。これを解決するには種々の方法が考えられるが、実験の日程上、十分な時間をかけて検討することは許されなかったので、なるべく小範囲の改良にとどめ、しかも測定が確実にできることに主眼を置いた。最初に模型を作って実験を行なうことにした。

2. 模型試験

第1図は最初の試作推力計の受圧円筒部の 1/3 の模型のある。これを模型 I と呼ぶことにする。円筒の内外面

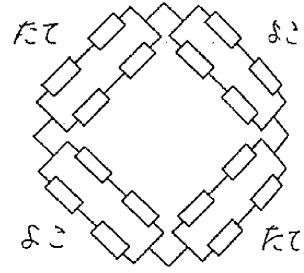


第1図 推力計の模型 I

に 90° おきに十文字型の抵抗線歪計を接着する。円筒の軸に平行な歪計のエレメントを縦のひずみ計、それに直角なエレメントを横のひずみ計と呼び、それぞれのエレメントによる歪の値を ϵ_z , ϵ_t とする。模型に 5t までの荷重を加え、各エレメントごとに ϵ_z および ϵ_t を測定する。

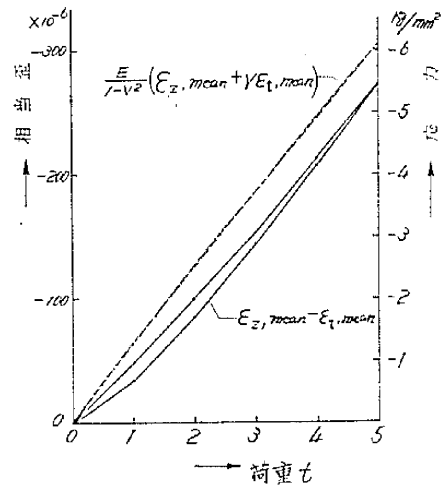
いまもしこれらのエレメントが第2図のように結線されていたとしたときの出力を歪に換算すると、第3図の

実線のようになって、線図は著しく曲がり、かつ大きなヒステリシスを画く、この原因は円筒の両端面における摩擦である。第3図の実線をながめると、1%の精度を確保するためには前途がほど遠い感を受けるであろう。事実この場合には端面の状態を少し変え、線図も著しく変わり、再現性に乏しい。



第2図 ゲージの結線法

しかしながらわれわれ



第3図 模型 I の検定結果

れが必要とするのは荷重の大きさである。または荷重を円筒の断面積で割った平均圧縮応力 σ_z と言っても良い。試みに第3図の実線を得たのと同じデータを元にして

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_z + \nu \epsilon_t)$$

により平均圧縮応力を計算すれば、同図の破線のとおりになり、結果は著しく改善される。この場合には端面の条件を変えても結果に著しい変化はなく、±3% 程度変動するにとどまる。しかしこれでは要求された精度には達しない。

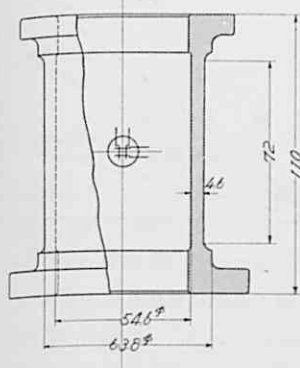
一般に薄肉円筒の軸対称の問題において、端末の影響は

$$\exp\left\{-\frac{\sqrt{1-\nu^2}z}{\sqrt{Rt}}\right\}$$

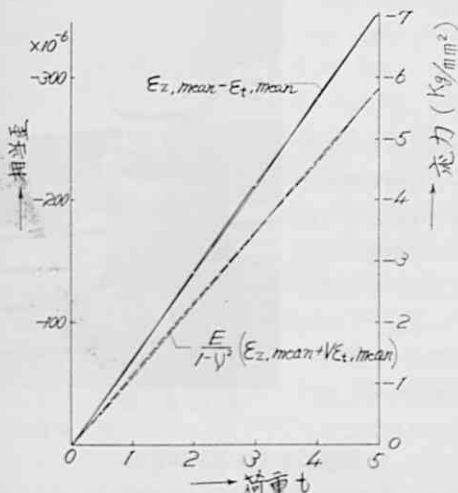
の速さで減衰する。ただし z は円筒の端面からの距離、 R は円筒の平均半径、 t は厚さである。それゆえ z を

\sqrt{Rt} の数倍程度にすれば、そこでは端の影響を無視できることになる。そこで第1図と

ほぼ同様の寸法を持ち、ただ肉厚一様の円筒部の長さだけを変えた模型II (第4図) を製作し、上と同様の実験と計算を行なった結果を第5図に示す。このときには端の影響はほとんど認められず実



第4図 推力計の模型II



第5図 模型IIの検定結果

線および破線の示す結果はいずれも精度に関する要求を満たすことになった。

3. 50 t 推力計

模型試験の結果によれば、この型の推力計の適当な形状は第1図と第4図の中間の所にあるように思われる。

しかしわれわれに課せられた第1の課題は、正確かつ確実に推力を計測することであるので、やや過大と思われたが、第4図の模型をおよそ3倍に拡大して新しい推力計を製作することにした。ただし肉厚は3倍にせず使用応力を 15 kg/mm^2 となるようにした。その写真を第6図に示す。円筒の内外面の高さの中央部に1/4直角おきに、標点距離8mmの十文字型ゲージを接着して、第2図のように結線したものを3チャンネル、縦の歪の平均値および横の歪の平均値を独立に計測しようとしたものを各1チャンネル設けた。計測は動ひずみ測定用増幅器を用い、出力は電磁オシログラフに取った。力の検定にはあらたに計量検定所で検定を受け直した容量50 t



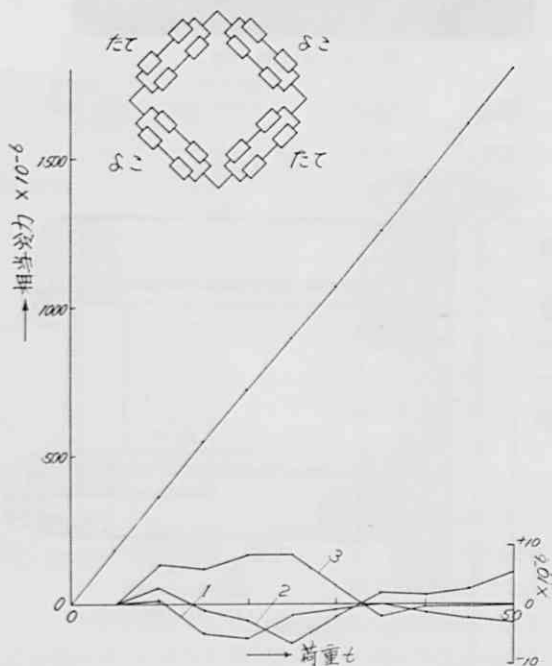
第6図 50 t 推力計

のループ型検力器を用いた (実際には新しい結果は、以前受けた検定結果と0.2%以内の誤差で一致していたので新しく検定を受ける必要はなかった)。ループ型検力器を用いる理由はそれを実験の現地に携行して、実際に使用するのに近い状態で感度の検定を行なうためである。

推力計の検定結果によれば第2図のように結線したもので十分であって、縦と横の歪を別々に求める必要はなかった。前者の三つのチャンネルの出力を $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ とする。第7図にこれらの値の平均値 $\epsilon_{\text{mean}} = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3$ と、 $\epsilon_1 - \epsilon_{\text{mean}}, \epsilon_2 - \epsilon_{\text{mean}}, \epsilon_3 - \epsilon_{\text{mean}}$ の値を示す。

4. 推力校正について

第8図に示す油圧式推力計校正装置 (能力100 ton) が完成したので、校正はストレンチューブ単体で行なわず完結した状態で、しかも実験前に実験時とまったく同じ状態の計測函 (リード線を含む) で実施した。校正は10 ton おきにおのおののチャンネルについて電磁オシロ



第7図 50 t 推力計の静的検定結果



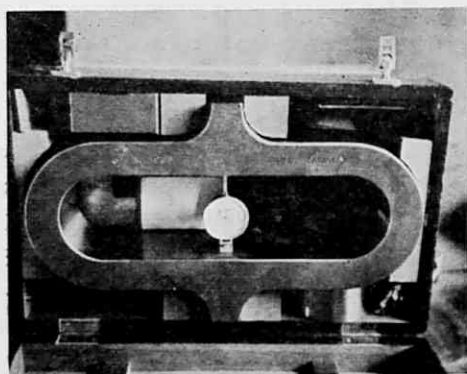
第8図 推力計校正装置

グラフを用いて記録し、推力—電磁オッシロのガルバ—の振れの校正線図を作成することとした。校正には推力ピックアップと直列に50tonループ型検力器(第9図)を用いるとともに動歪計の利得も実験時と同じにし極力精度を上げるようにした。

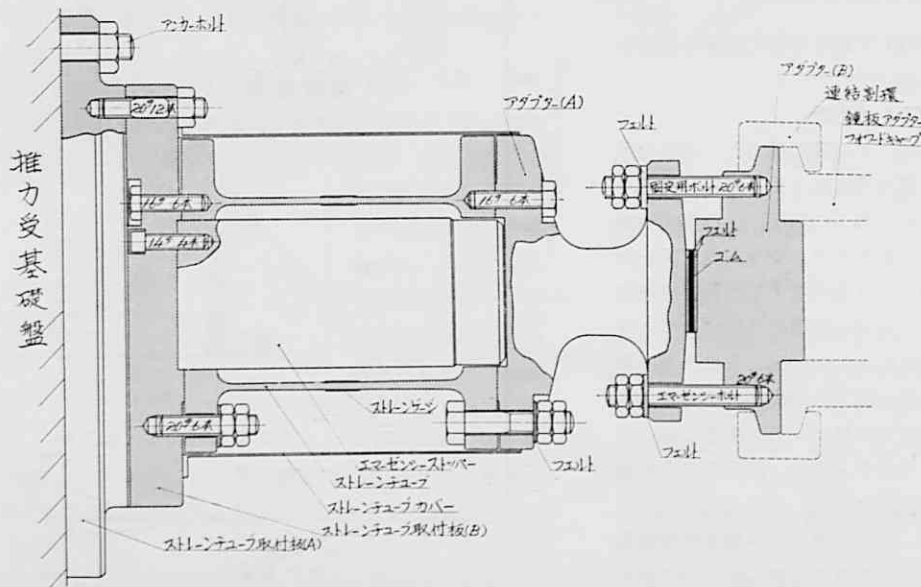
第10図は荷重と出力歪の校正線図を示す。

5. 推力測定とその結果

推力計とロケットエンジンの推力伝達部との結合はゴム板を介して推力が推力計に伝達され6本のエマーゼン

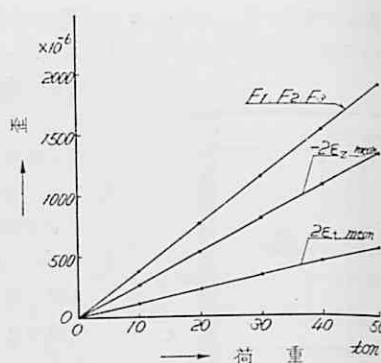


第9図 50t 検力器



第11図 推力計の固定方法

シーボルトと固定用ボルト6本にて左右の振れを防止して第11図のように固定されている。第12図に実験当日における推力計とエンジン部の結合状態を示す。



第10図 現地における検定結果

燃焼実験は小雨のふる中で行なわれ、燃焼は正常でなんらの支障もなく測定することができた。電磁オッシログラフよりの校正線図は実験前の校正線図と比較しても1.5%以下であった。



第12図 推力計とエンジン部との結合

またストレンチューブの内側、外側の各チャンネルとも測定値にばらつきがほとんどなく、しかも荷重方向の歪 ($\epsilon_z, mean$) と横方向の歪 ($\epsilon_t, mean$) との測定値が解析の結果 1:0.3 の割合を示した。このことは推力ピックアップが正しく挙動したことを示すもので、 ϵ_z と ϵ_t の測定値より歪→応力→推力を求める必要がないことが明らかとなり、荷重とオッシログラフの振れによる校正線図より推力を求めた。

6. むすび

推力計の試作の経過は以上のとおりであるが、とくに推力ピックアップの製作には大倉機械 KK が極めて短期間であったにもかかわらず、深夜作業により、燃焼試験の期日に間に合うように努力されたことに対し厚く感謝の意を表す。

(1963年4月3日受理)