

台車式六分力測定試験装置について

長 友 信 人・寺 田 守 男
八 坂 哲 雄・齋 藤 久*

概 要

能代ロケット試験場における施設の充実と合わせて、省力化の一環として計画されたこの装置は、多分力試験装置の一種で、多目的の試験に使用が可能であり、特に従来の装置に比して測定精度の高いことが特徴である。本文はこの試験装置のあらましについて紹介する。

1. 序 論

科学衛星および観測ロケットの観測内容の多様化によって、ロケットの大型化が進んできており、その飛しょう径路は、正確であり、また精度の良いことが要求されてきている。そこでこれらの問題を解決するために、地上において行なわれる各種の試験結果から得られる資料は精度が高く、正しいものでなければならない。そのためには測定精度の向上を目的とした試験装置およびデータ処理装置を充実する必要がある。

能代ロケット実験場では、計測の自動化とともに試験装置の開発が行なわれ台車式六分力測定試験装置が設計製作された。この装置は実機ロケットエンジンの地上燃焼試験において微少な分力を測定することができ、これによってスラストミスアライメントおよびロールトルクの発生などを調べることができる。また装置自身による測定誤差をできるだけ少なくするよう、ロードセルの較正は従来のようにロードセル単体で行なうことなく、燃焼試験時と同じ状態、すなわちエンジンをセットしたあとにできるようになっている。なお装置には各所に新しい方式が採用されている。ここでこの装置の利点について述べると、

- 1) 従来の装置に比して精度が良く、微少な分力をも測定できる。
- 2) 小型エンジン (300φ) から大型エンジン (860φ) までの試験がすべてできる。
- 3) 台車は移動式である。
- 4) 多目的の試験に利用することができる。
- 5) エンジンのセットは可動式によって容易にでき、作業日程の短縮が可能である。
- 6) 燃焼中のチャンバのひずみによる軸方向の伸びはスプリング式エンジン取付板でいげることができる。
- 7) ロードセルの較正はエンジンをセットした状態でできる。また荷重は遠隔操作で加えることができる。

などを上げることができる。これらの利点は従来使用していたつり下げ方式による多分力試

* ユシヤ製作所

験装置の、較正方式、エンジンセット、装置の振動の影響、などを十分補うことができるものである。以下に装置を主要構成部、較正装置、機能試験、などにわけて述べる。

2. 装置概要

この装置の構造は第1図に示すごとく、台車上に軟鋼製の門型が固定されているものである。この門型は可動式であり、ノズル側は左右に移動でき、またフォワード側も前後に移動できる。なお主推力検出部および横推力検出部も同時に移動する。エンジンをセットするときはエンジンの寸法に応じて容易に移動させることができ、エンジンとの固定も短時間でできる。その他台車には較正装置およびその操作盤、各種ストップなどが設置されている。ここではこの装置の構成部の機能について簡単に述べ、主要構成部のロードセルおよびフレキシシャについてはわけて述べる。

- 1) 構成部の機能について
- 2) ロードセル (計測用)
- 3) フレキシシャ

2.1 構成部の機能について

- a) スタンドビーム (移動台車) (第1図①に示す)

このスタンドビームは、全長 6,600 mm、幅 1,120 mm、高さ 520 mm の軟鋼溶接構造でできており、レール上を移動できるように車輪が取付けてある。なお、このビーム上には各種の装置が一体となって設置されている。

- b) ストップ (第1図②に示す)

これは主推力計を取付ける位置にあり、エンジンの大きさによって前後に移動が可能で、任意の位置でボルトによって固定される。なおこれはフォワード側門型と一体となっているもので、移動可能範囲はノズル側 3,100 mm から 5,500 mm までである。

- c) フォワード側門型 (第1図③に示す)

この門型は、推力のピッチおよびヨー方向の分力の測定を行なうためのロードセルおよびフレキシシャが取付けられている。

- d) ノズル側門型 (第1図④に示す)

この門型はフォワード側門型と同様横推力のピッチ、ヨー、ロール方向の分力測定用のロードセルおよびフレキシシャが取付けられるものである。またこの位置にはノズルを保護するためのフレーム板が取付けてある。

- e) ビームストップ (第1図⑤に示す)

このストップはおもに燃焼時における軸方向 (F_x) の力に対して、装置 (台車) 全体の移動を防ぐものである。

- f) ビームジャッキ (第1図⑦に示す)

スタンドビーム (台車) 全体を水平にするためのもので、ボルトによって調整するようになっている。

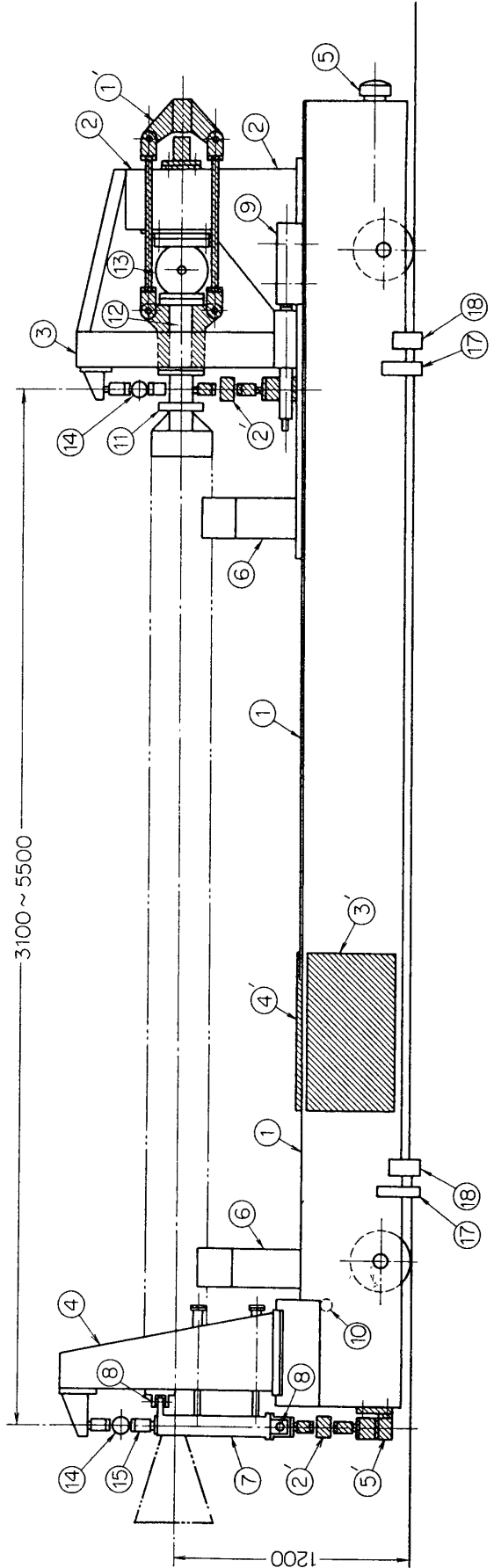
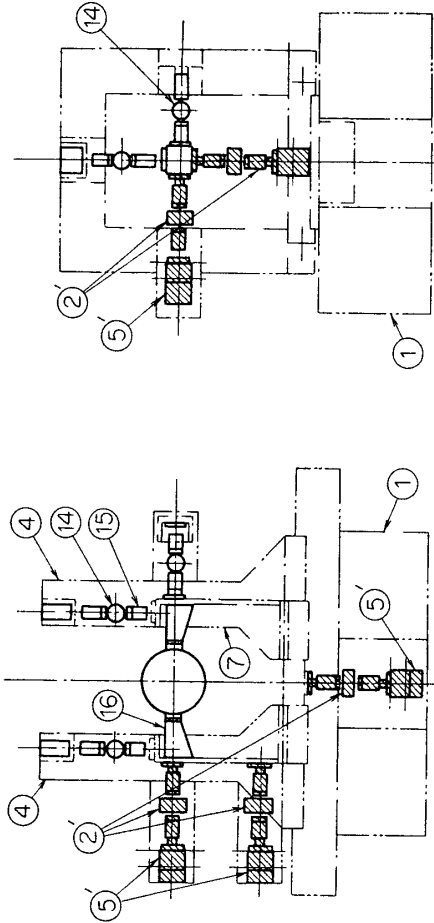
- g) ビーム固定ネジ (第1図⑩に示す)

この固定ネジはエンジン燃焼中の装置全体のはね上りを防ぐためのもので、真空槽のレー

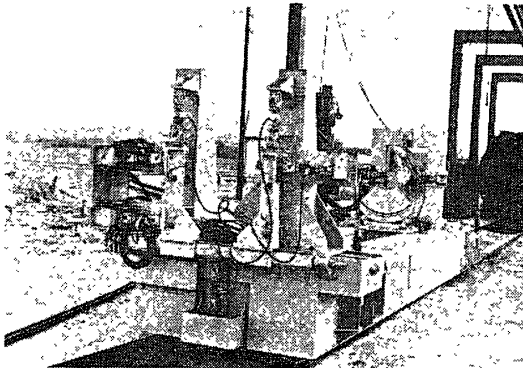
- ①: スタンドビーム
- ②: ストロンバ
- ③: フォワード側門型
- ④: ノズル側門型
- ⑤: ビームストノバ
- ⑥: 受台
- ⑦: フレーム
- ⑧: フレームストノバピン
- ⑨: ストロンバ調整ネジ
- ⑩: ノズル側門型移動用ネジ
- ⑪: サイドホースアダプタ
- ⑫: 20Ton フレキシヤ
- ⑬: 20Ton ロードセル
- ⑭: サイドホースロードセル
- ⑮: サイドホースフレキシヤ
- ⑯: スプリング板式モータ取付板
- ⑰: ヒームジャノキ
- ⑱: ヒーム固定ネジ

- ①: 主推力校正装置 (一式)
- ②: サイドホース校正装置 (5組)
- ③: ポンプユニット (一式)
- ④: 操作盤 (一式)
- ⑤: ジャッキ

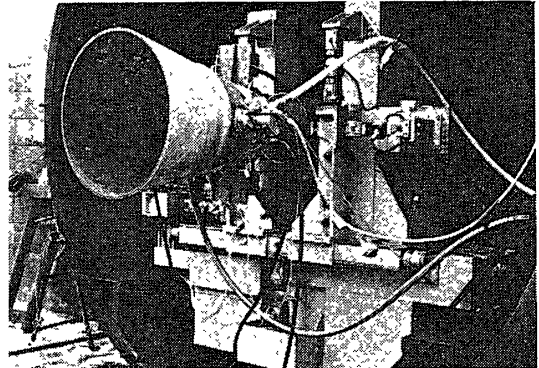
斜線の部分は校正装置



第 1 図 台車式六分力測定試験装置および校正装置



第2図 台車式六分力測定試験装置

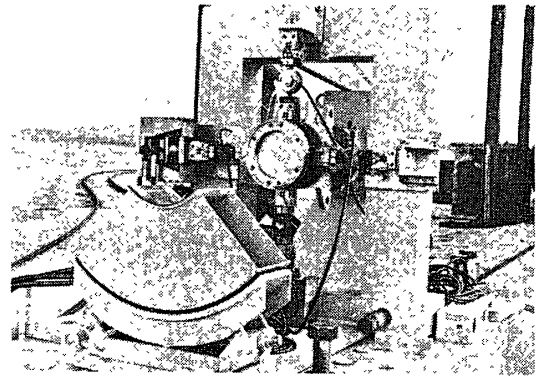


第3図 台車式六分力測定試験装置ノズル側

ル面にかみ合わせて、固定するもので、直径50 mmφのボルト4本を使用している。

h) エンジン受台 (第1図⑥に示す)

ロケットエンジン横推力検出部のおのおのにセットする場合に、あらかじめエンジンのしん出しを行なう。そのための補助として上下左右に動くこの受台を使用する。またセット後は燃焼試験日までの数日間ロードセル、フレキシャおよびエンジン自身の保護のためにも使用する。この受台はエンジンの大きさによって数種類の受台を交換することができる。なお受台の表面(エンジンとの接触面)はエンジン保護のためゴム板がはりつけてある。

第4図 台車式六分力測定試験装置
フォワード側

i) ストップ移動用ネジおよび調整ネジ (第1図⑨に示す)

主推力計およびフォワード側の横推力検出部など同時に移動させるもので、エンジンの長さによって前後に動くものである。またエンジンと主推力計の結合の際に起こりうる衝撃をなくすため微調整できる調整ネジが取付けてある。なお、この調整ネジの移動範囲は200 mmである。

j) ノズル側門型移動用ネジ (第1図⑩に示す)

これは各種エンジンの大きさによって左右に移動させるもので、横推力検出部も同時に動くものである。

k) スプリング式モータ取付板 (第1図⑬に示す)

これはエンジンの燃焼中にチャンバの伸びをこの板によって受け、ロードセルに影響を与えないようにするものである。

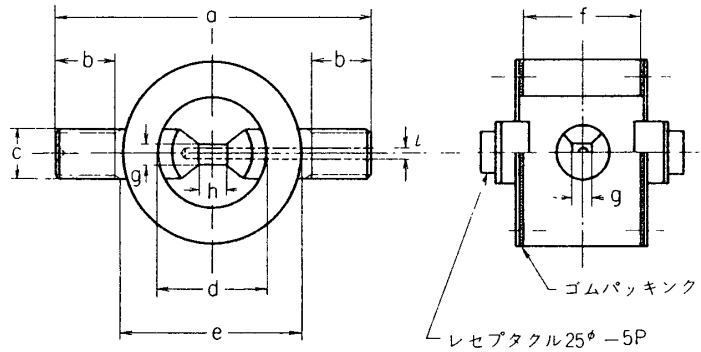
2.2 ロードセル (計測用荷重計)

従来使用されてきたロードセルにはリング型および棒型のものがあつた。しかしこれはいずれも次のような欠点があり精度の良い測定はできなかった。

リング型……圧縮荷重の測定は可能であるが、引張荷重に対しては直線性がなく測定ができない。

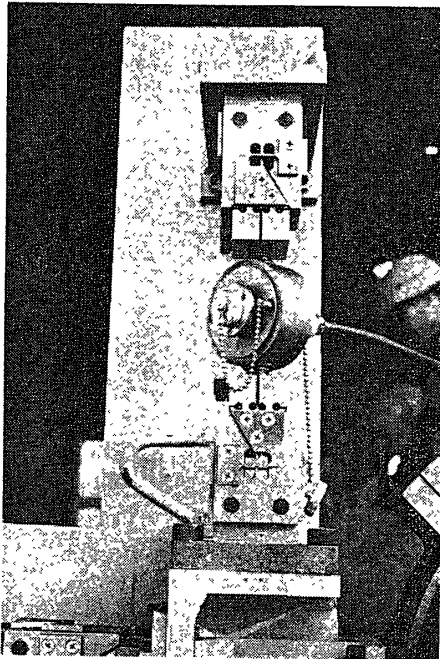
棒型………圧縮荷重および引張荷重の直性線は良いが、荷重軸が弱いため、瞬時に加わる大きな荷重の測定には誤差を生じやすい。

そこでこれらの欠点をなくし、測定精度を上げ、正しい測定を行なうために第5図に示す

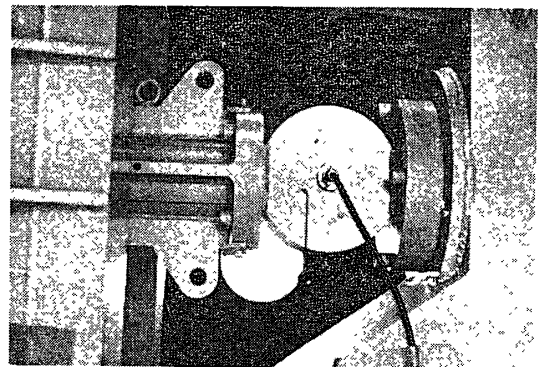


ton	a	b	c	d	e	f	g	h	i	取付
YM-1.0	140	27	3/4" 右左	52	80	35	8	12	6.3	ネジ
YM-2.0	"	"	"	48	84	"	"	"	4.2	ネジ
YM-20.0	296	無し	無し	155	245	130	19	38	無し	フランジ

第5図 ロードセル (計測用荷重計)



第6図 横分力ロードセルナフレキシャの取付状態

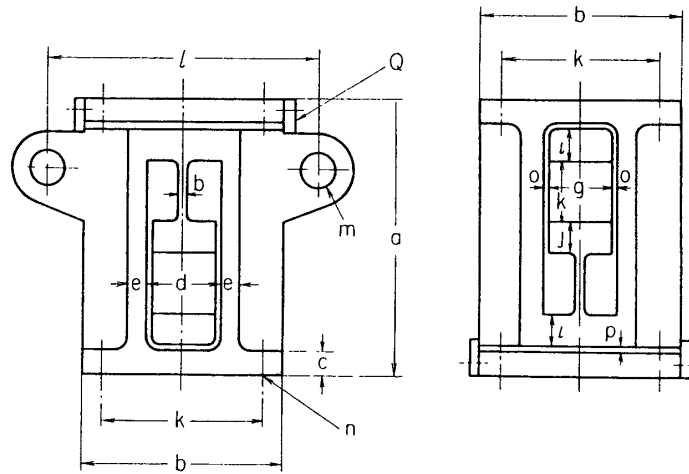


第7図 主推力ロードセルナフレキシャの取付状態

構造のロードセルを開発した。このロードセルは、荷重軸をリングで囲み、瞬間的に加わる荷重が荷重軸に対して直線的に加わり正しい荷重を検出することができる。また測定において直線性のない荷重は外側のリングで受け、圧縮および引張のいずれの荷重に対しても荷重軸に余分な負担をかけず、荷重軸にたわみ、その他の狂いを生じないようにしたものである。

2.3 フレキシャ

このフレキシャはエンジンの燃焼試験において、推力および横推力を正しく測定するためエンジンとロードセルの中間に取付け、エンジンとロードセルとの取付け誤差によるねじれおよび振動その他の不安定要素を取除くものである。第8図に示すフレキシャは第1図⑫に設置されているもので、圧縮荷重を引張り荷重に変換する機能をもったものであり、これによって上記した不安定要素を取除き、ロードセルに正しい荷重を伝達するものである。この機能について述べると(第9図フレキシャ機能)、まず基板(4)と一体化した枠体①の橋板(3)と、基板(5)と一体化した枠体②の橋板(3)'を連結板(7)(8)により連結したものであるから、一方の基板(5)に矢印方向の圧縮加重がかかると、その枠体①の橋板(3)により他方の枠体②の橋板(3)'を引張る。その結果上記の圧縮荷重はここで引張り荷



NO	a	b	c	d	e	f	g
	376	240	23	96	20	10.5	90
	h	i	j	k	l	m	n
	18	30	20	200	340	30	21×8
	o	p	q				
	3	4	フレキシャロック具				

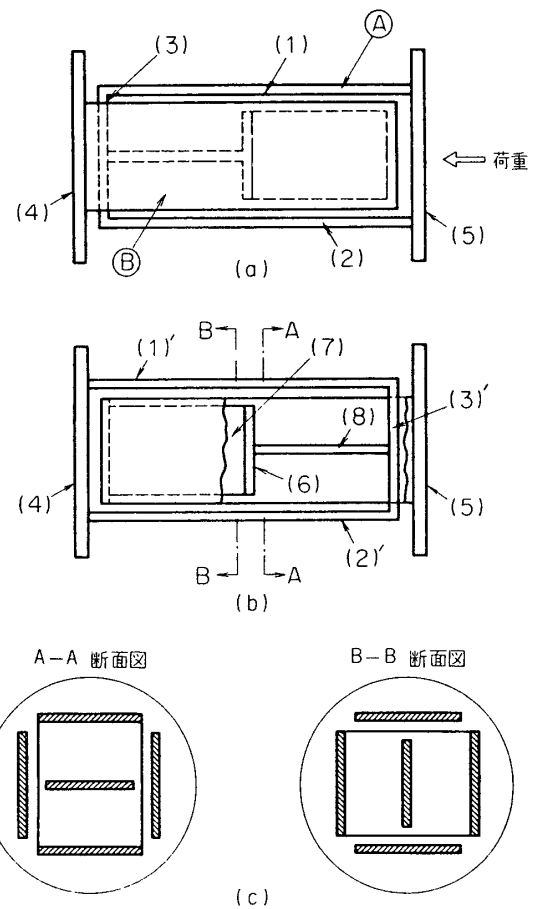
第8図 フレキシャ構造

重に変換され、枠体⑥の基板 (4) に対して圧縮重荷が負荷される。そしてこの場合互に相手方枠体の空間にそう入した橋板が連結板により連絡されて揺動が自在になっているため、エンジンとロードセルのセットにずれがあったり、また振動その他の影響もこの機能によってなくすことができ、正しい荷重がロードセルに伝達される。なお横推力検出部に取付けてあるフレキシャは、形状の異なるものであるが原理的にはまったく同様のものである。

3. 較正装置

この較正装置は第 1 図に示すように横推力の検出部に対応した位置にセットされているもので、圧縮および引張の両方向の荷重が加えられるようなジャッキが使用されている。また加えられる荷重を検出するための較正用ロードセルがフレキシャと結合された状態でセットされている。なお荷重を加えるものとして油圧装置が設置されており、これはすべて自動で行なうことができる。ここではこれらを構成しているおもな部分について構造、および機能等を次のようにわけて説明を加える。

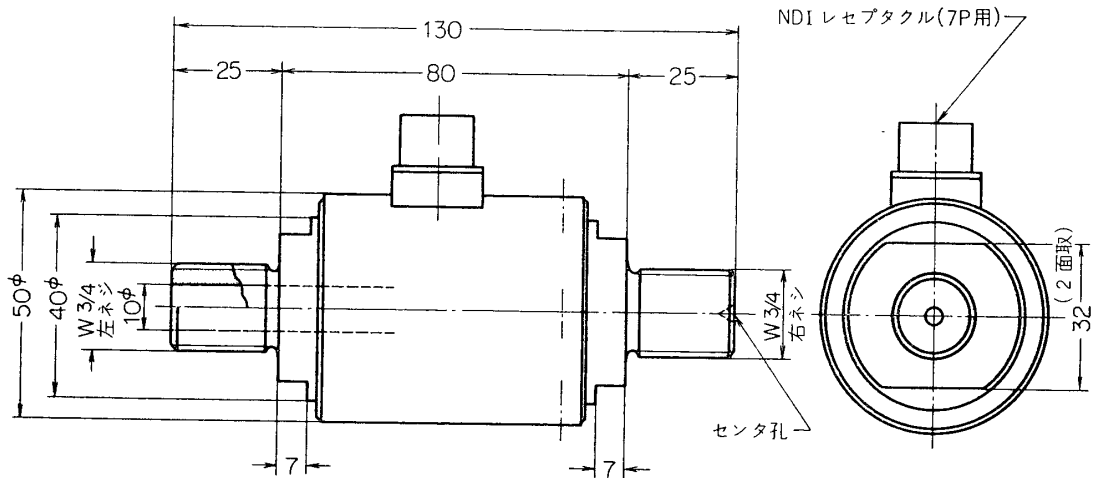
- 1) ロードセル (較正用荷重計)
- 2) ジャッキ
- 3) 油圧装置のおもな構造と特性



第 9 図 フレキシャの機能

第 1 表 較正用ロードセル仕様

出力歪量	$2,000 \times 10^{-6} \pm 1\%$	温度補償範囲	$-10 \sim +60^\circ\text{C}$
定格出力電圧	$1 \text{ mV/V} \pm 1\%$ 開放端	抵抗値入力	$120 \Omega \pm 1\%$
許容過負荷	120%	抵抗値出力	$120 \Omega \pm 1\%$
破壊過負荷	300%	初期バランス	$\pm 100 \times 10^{-6}$
直線性	$\pm 0.3\%$ F.S.	標準印加電圧	AC DC 3 V
ヒステリシス	$\pm 0.2\%$ F.S.	許容印加電圧	AC DC 6 V
温度による零点移動	$\pm 0.01\%$ F.S./ $^\circ\text{C}$	絶縁抵抗	$300 \text{ M}\Omega$ 以上
温度による出力変動	$\pm 0.01\%$ F.S./ $^\circ\text{C}$	再現性	± 0.3 F.S.
許容温度範囲	$-15 \sim +75^\circ\text{C}$		



第10図 ロードセル (校正用) の構造

- 4) 油圧回路
- 5) 校正方法

3.1 ロードセル (校正用荷重計)

このロードセルは第10図に示す構造を持ったもので(2.2)に記した計測用ロードセルに対して基準になる最も精度の良いものである。特長としては

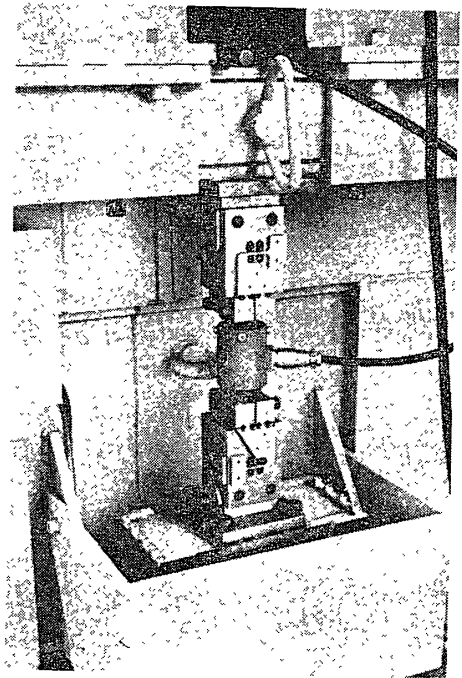
- 1) 静特性・動特性ともすぐれており、非常に早い変化を検出することができる。
- 2) 良質な特殊鋼を使用しており、定格荷重内のヒステリシス、零点移動がほとんどない。
- 3) 温度補償および湿度に対する処理も十分である。
- 4) 小型、軽量で取扱いが容易である。

を上げることができる。

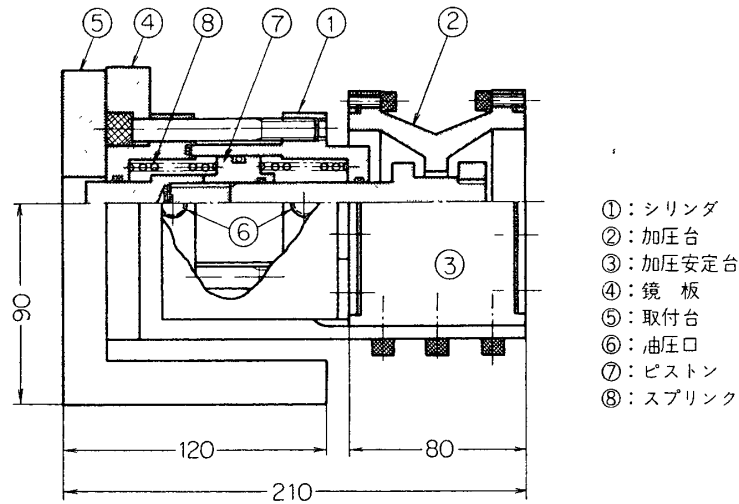
荷重の検出方法は、ロードセル内の受感部の伸縮を、ストレンゲージの抵抗変化によって、ブリッジ回路の不均衡電圧を出力として取出し、増幅器で増幅して記録するものである。これは計測用ロードセルについてもまったく同じ方法である。第1表にこのロードセルのおもな仕様について示す。

3.2 ジャッキ

このジャッキの構造は第12図に示すもので、ロードセルに荷重をかけるためのものであり、油圧力を機械力にかえるものである。これは個々の横推力検出部と同位置に組込まれているものである。ここでこの機能について述べると、まず圧力零の場合はピストンはスプリ



第11図 横推力校正用ロードセルとフレクチャの取付状態



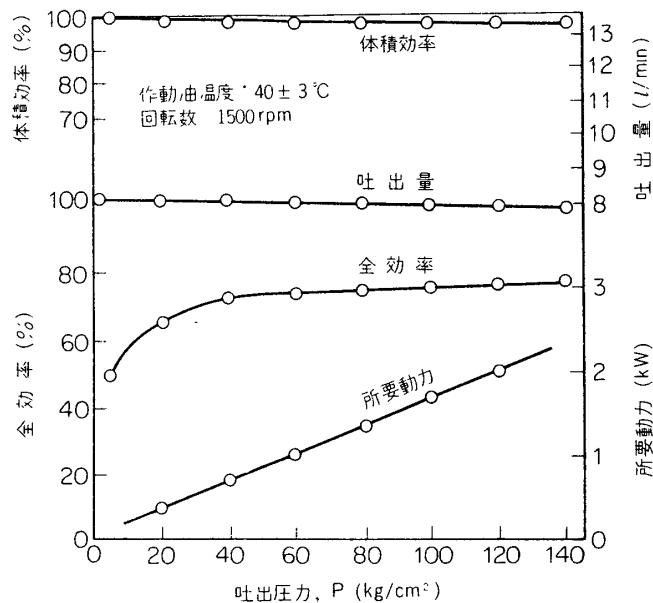
第 12 図 ジャッキ

ングによって左右におし合っているため、加圧安定台とシャフトはニュートラルの状態にある。次にある圧力を、たとえば圧縮方向に加えたとしても、ピストンは一方向に移動し、同時に一体となっているシャフトも動く、この動きによってシャフトと加圧安定台は接触し、荷重をロードセルに加えるしくみになっている。なおこの操作は引張方向に対してもまったく同じである。

3.3 油圧装置のおもな機能と特性

ここでは使用されている主な構成部を、油圧ポンプ、遠隔制御弁、安全弁、減圧弁、電磁弁、にわけて、その機能と特性について述べる。

1) 油圧ポンプ



第 13 図 油圧ポンプ性能曲線

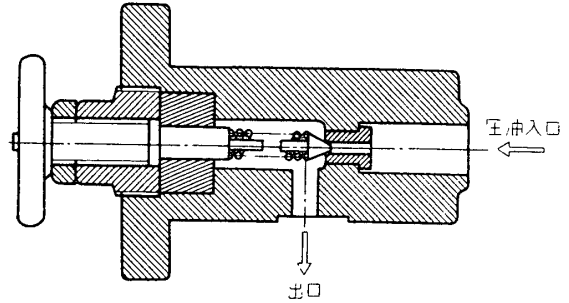
ここで使用されているポンプの型式は歯車ポンプ型である。この歯車ポンプはケーシングに密に接した駆動歯車と従動歯車とからなり、歯先空間に満たされた作動油はケーシング内面に沿って移動し、歯車のかみあい部によって送り出されるものである。第 13 図にポンプの性能曲線を示す。

2) 遠隔制御弁 (第 14 図に示す)

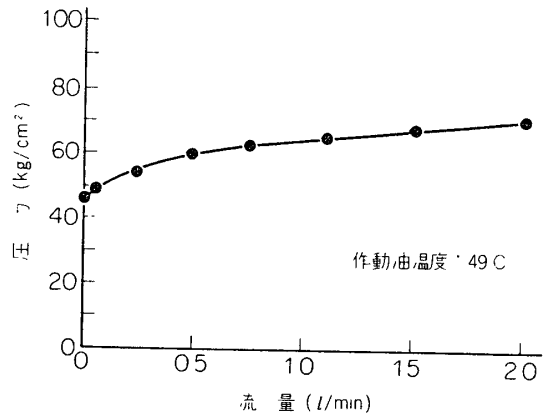
このバルブは、安全弁のベント回路を遠隔操作して、油圧系のリリース圧力を任意に変更したり、またアンロードすることができるものである。

3) 安全弁 (第 16 図に示す)

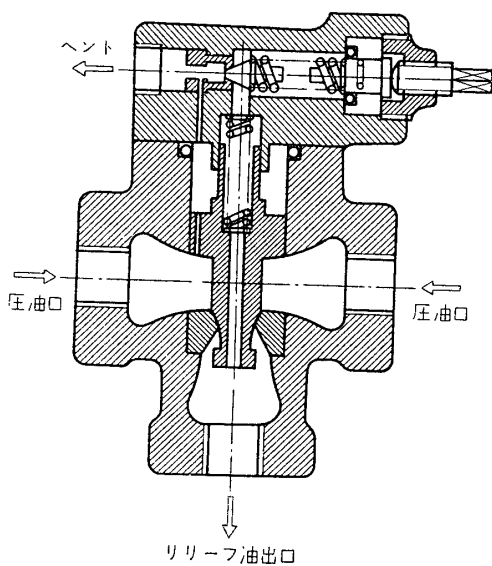
このバルブは直接作動形と違って、2次圧力を制御するバランス・ピストン型でありベント回路を大気圧に開放あるいは閉止することによ



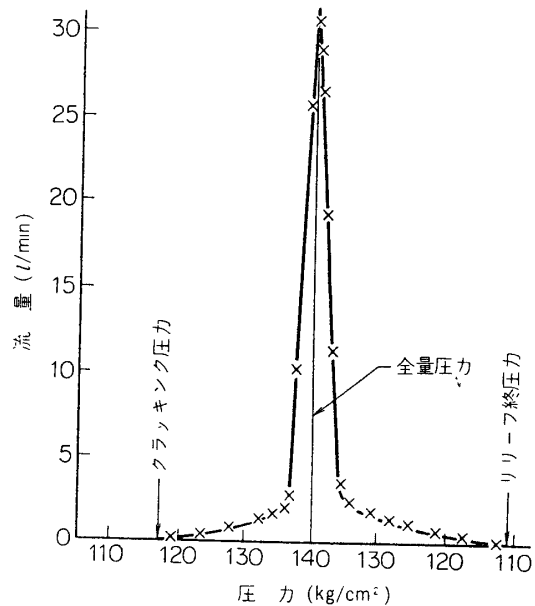
第 14 図 遠隔制御弁



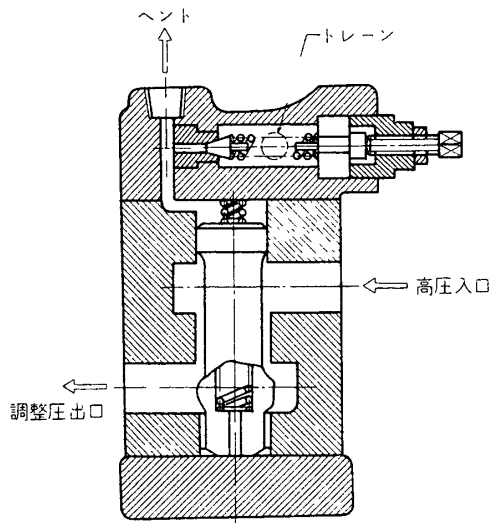
第 15 図 "



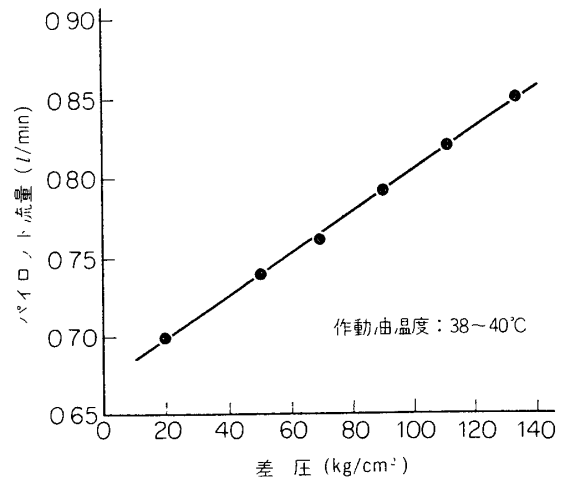
第 16 図 安全弁



第 17 図 安全弁性能曲線



第 18 図 減圧弁



第 19 図 差圧-パイロット流量試験

って、遠隔操作で主回路の圧力を制御するものである。第 17 図に性能曲線を示す。この曲線からわかるように、全量リリース圧力と作動始め圧また作動終り圧との圧力差はきわめて小さく、しかも履歴現象がない。よって作動は正確かつ敏感で、リリース時のチャタリングがないのが特徴である。なおこのバルブの最大流量 30 l/min、圧力調整範囲 35~140 kg/cm² である。

4) 減圧弁 (第 18 図に示す)

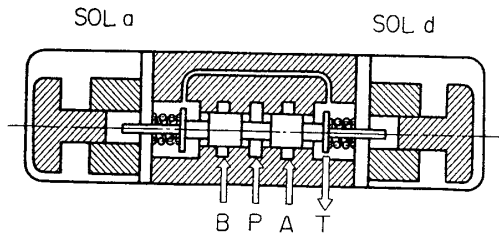
このバルブはバランスタイプで、主回路の圧力に対して一段低い圧力が必要な場合に使用するものであり、一次側主回路の圧力変動に対して、二次側レデュースト圧は調整された一定の圧力を保持することができる。これらから特長を列記すると下記のものを上げることができる。

- ① 調整圧を広範囲にとることができる。
- ② 流量変化に対する調整圧の変動がほとんどない。
- ③ ベント穴に遠隔制御弁を接続することによって遠隔操作により調整圧を変えることができる。

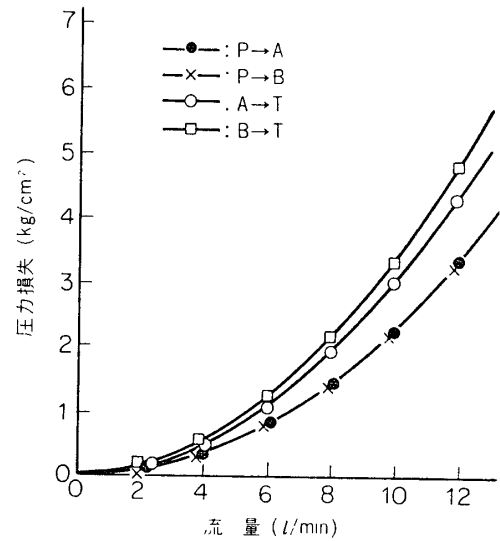
なおこのバルブの、最大流量 30 l/min、圧力調整範囲 7~70 kg/cm² である。第 19 図に差圧-パイロット流量試験の結果を示す。

5) 電磁弁 (第 20 図に示す)

このバルブは磁石によって直接操作される切換バルブの一種で、最も一般的に使用されているものである。しかし、このバルブは小形で許容流量が大きく、しかも圧力損失が小さい、また使用圧力が高く、タンクポートの許容背圧が高くなっている。これらの特長を持っているものである。なおこのバルブは、最高使用圧力 140 kg/cm²、背圧許容 70 kg/cm²、定格流量 9 l/min、許容切換ヒン度 60 回/min、の仕様を持っている。第 21 図に圧力損失曲線を示す。



第20図 電磁弁



第21図 圧力損失曲線

3.4 油圧回路

この回路は (3.3) で述べた主要部から構成されている。まず油圧ポンプは高出力を要するためギヤポンプを使用しており圧力の上げ下げは減圧弁と遠隔制御弁とを組み合わせで使用している。遠隔制御弁は電気信号によって作動を行なえるようモータ作動方式になっている。

荷重用ジャッキは圧縮および引張共同圧力となるような構造であり、かつニュートラル状態では校正用のロードセル、フレキシャ等は空間に浮いた状態になるようピストンの両側にスプリングが設けられている。

圧縮および引張の切替えには電磁弁を使用している。なおニュートラル状態ではドレーン回路に行く構造になっている。これらの機能をとりの装置はニュートラル状態では油圧ポンプ作動中でも荷重はまったくかからない。第22図に回路図を示す。

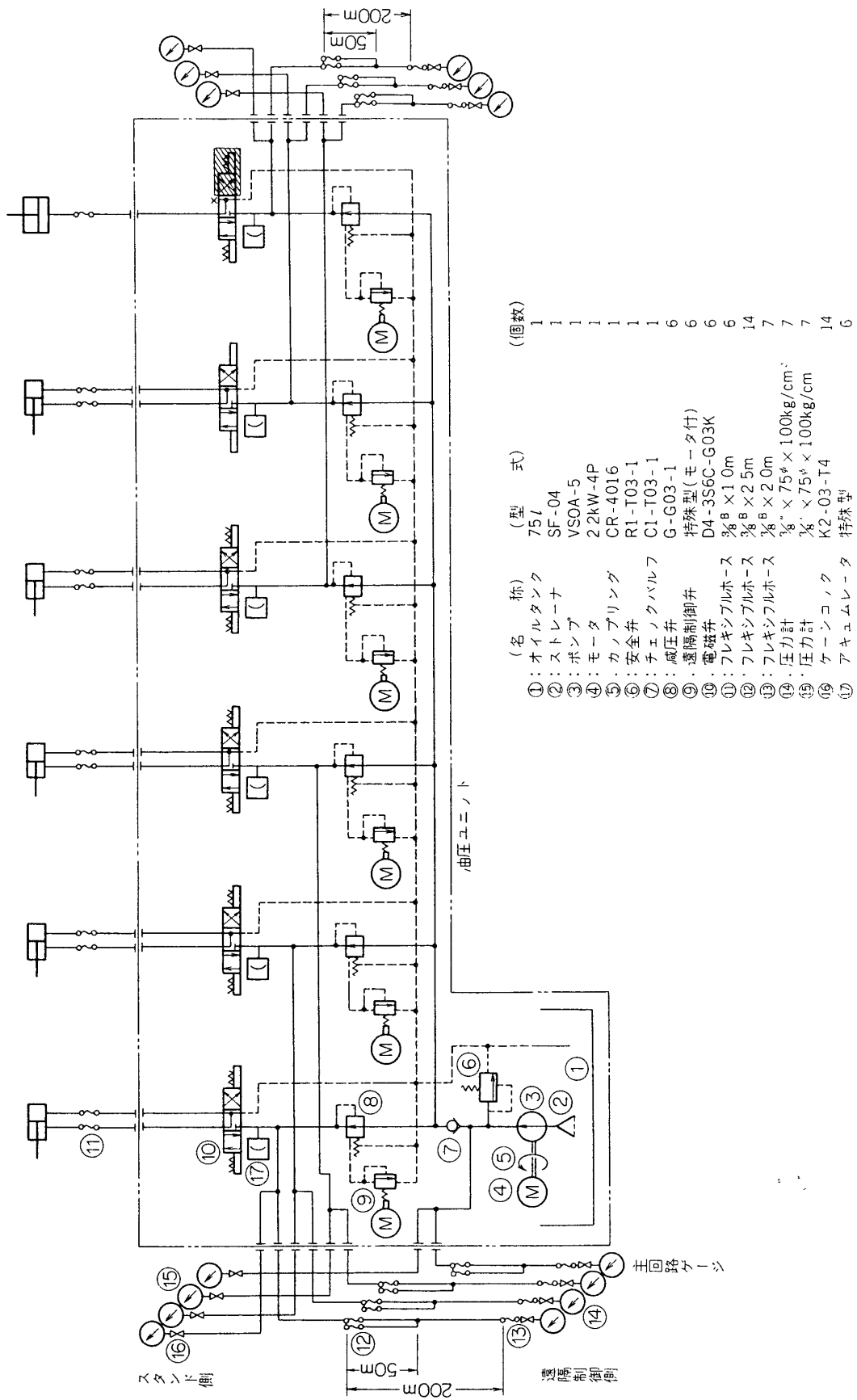
またこの回路図の一回路について圧力の伝達系を説明する。(一回路を取り出し、簡略化した回路図を第23図に示す。)

作動順序

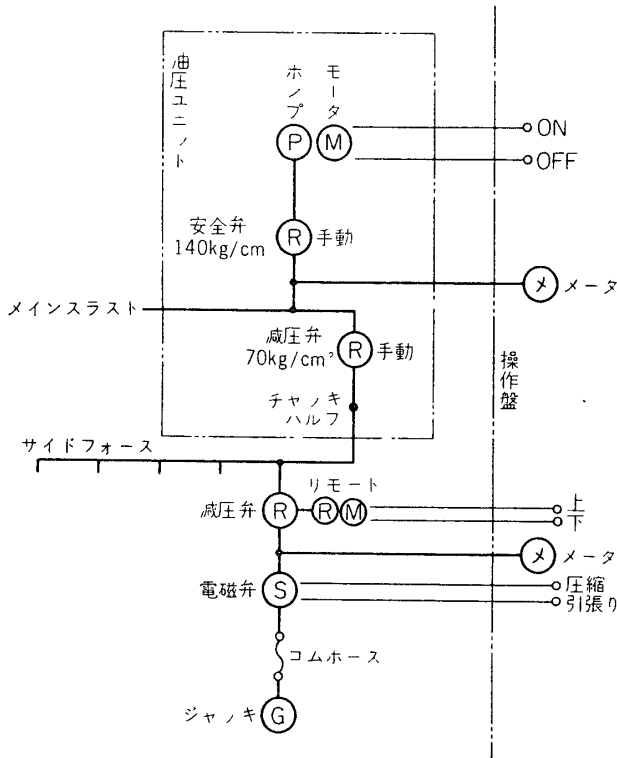
- 1) 油圧ポンプ電源 ON, 操作盤上で行なう。
- 2) 油圧ユニット上の安全弁を手動にて圧力調整を行なう。調整圧は 140 kg/cm^2 にする。なお最低 70 kg/cm^2 まで下げることができる。
- 3) 回路は主推力側と横推力側にわけられているが、全回路は単独で操作することができる。操作は全回路同じである。
- 4) 横推力側の圧力は一段低い圧力で作動させるため、手動用の減圧弁にて圧力調整を行なう。

以後は一回路についての操作方法を述べる。

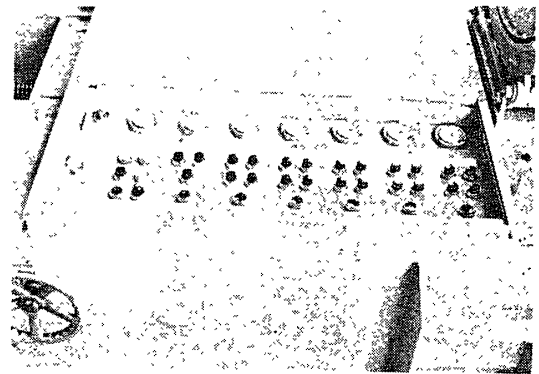
- 5) 圧力方向 (圧縮, 引張) の選定を電磁弁で行なう。この場合操作盤上の信号灯スイッチの信号灯が点灯する。



第 22 図 校正用油圧回路



第 23 図 校正用油圧回路 (一回路のみ)

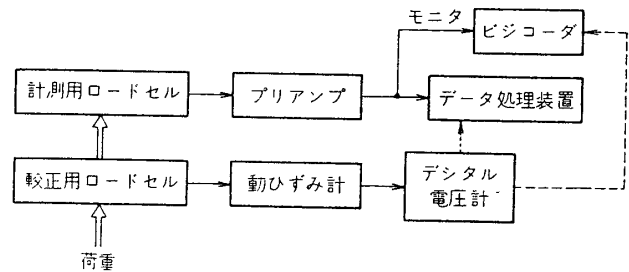


第 24 図 校正装置操作盤

- 6) 遠隔制御弁によって操作盤上の圧力メータをみながら必要な圧力設定を行なう。この圧力はそのままジャッキに伝わっており荷重がロードセルに加えられている。また瞬間的に荷重を加えるときは遠隔制御弁にて圧力調整後電磁弁で圧力方向セットを行なうことで荷重を加えることができる。

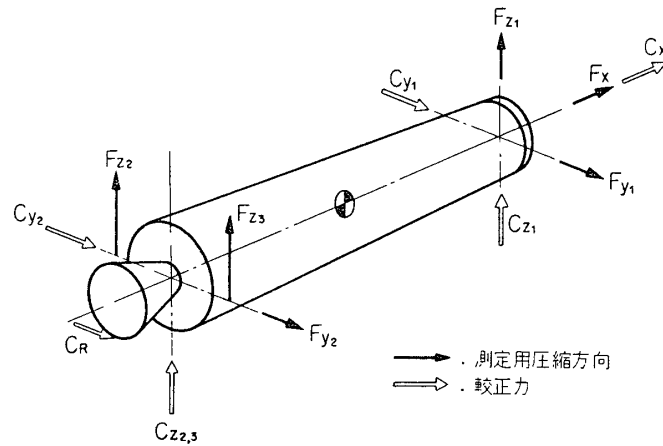
3.5 校正方法

ここで述べる校正方法は (3.4) で述べた油圧系の操作を行なうことによって校正用ロードセルのひずみを基準値としたときの計測用ロードセルのひずみを記録し、値を荷重におき換えたものである。第 25 図に校正方法の系統図を示す。この系統図について説明を加えると、まず校正用ロードセルの校正曲線から、ある荷重に対するひずみ量を読み、このひずみ量を動ひずみ計の持っている校正値におき換え、そのときの電圧値をデジタル電圧計で読んでおく。次にこの電圧値になるよう荷重を加え、値を計測用ロードセルの出力としてデータ処理装置に記録する。なお同時に極性などのチェックのためにモニタとしてビジコーダにも記録しておく。これらの操作を各検出部について数回行ない、較



第 25 図 ロードセル校正系統

正用ロードセルの出力としてデータ処理装置に記録する。なお同時に極性などのチェックのためにモニタとしてビジコーダにも記録しておく。これらの操作を各検出部について数回行ない、較



第 26 図 分力測定点および校正点記号

正曲線を得る。各検出部の記号を第 26 図に示す。

4. 機能試験

次に示す二項目について行なった試験結果について述べる。

- 1) ロードセルフレキシャ系の圧縮破壊試験
- 2) 六分力試験装置の静特性および動特性試験

4.1 ロードセルフレキシャ系の圧縮破壊試験

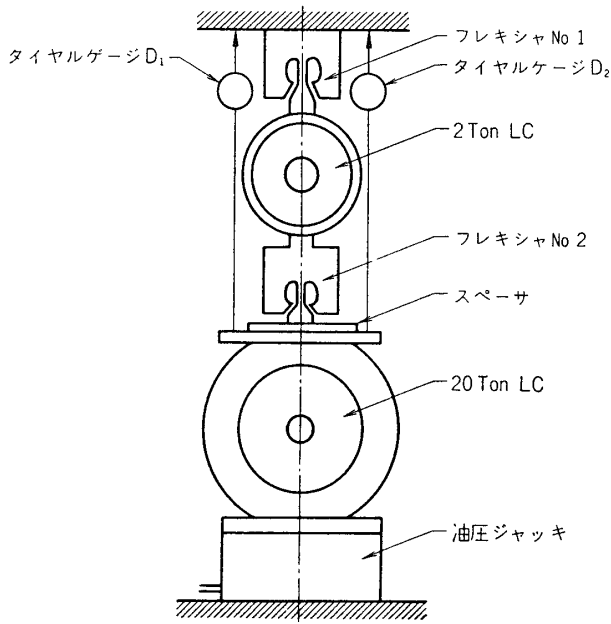
この試験は横推力の検出部である 2 ton ロードセルフレキシャに圧縮力をかけて主要点のひずみ変位を測定したものである。試験は 2 回行ない、第 1 回目はロードセルの定格であり 2 ton までの荷重に対する変化を測定した。また第 2 回目は破壊まで荷重を加えその状態を測定した。

a) 試験方法

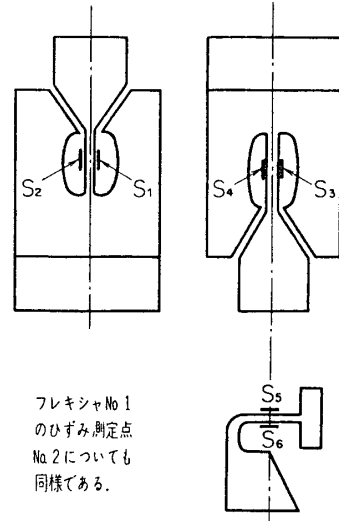
第 27 図に示すように、2 ton ロードセルの両端にフレキシャを取付け、20 ton 主推力用ロードセルを介して油圧ジャッキにて圧縮力をかけた。測定点は第 28 図に示すようにフレキシャの主要点のひずみ、11 点 (抵抗線ひずみ計)、系の圧縮量、2 点 (ダイヤルゲージ)、ロードセル出力、2 ton および 20 ton 用である。

h) 試験結果および結論

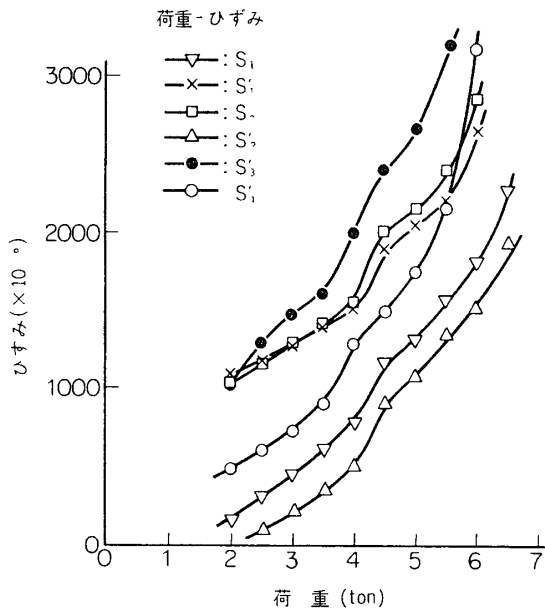
第 29 図と第 30 図にひずみおよび変位の結果を示す。この結果から次のことがいえる。この六分力試験装置の 2 ton 用ロードセルフレキシャ系は 6.5 ton の荷重まで耐えることがわかった。なおフレキシャの性質上載荷状況によってこの値はかなりのばらつきを有すると思わなければならない。試験後の外観は No. 2 フレキシャは間隔一杯に傾き、この段階ではもはやフレキシャとしての役目をなし得ない状態であった。第 31 図にフレキシャ断面を示す。このフレキシャの荷重の伝達は①+③から④のブロックを介して②+③へと伝わる。第 31 図の部材①、②が同じひずみを持つとすると、部材③はその倍のひずみを受けるわけで、全体の破壊にさきだってこれがまず破壊する。第 29 図および第 30 図において 3.5~



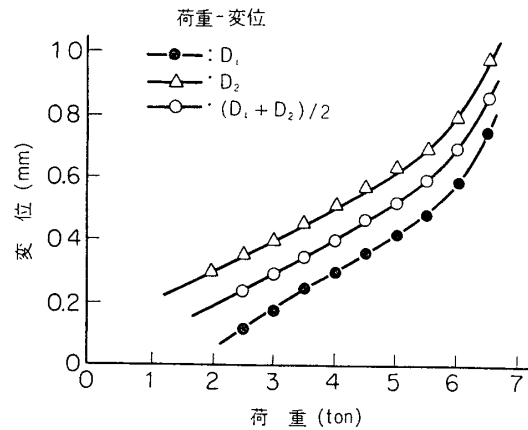
第 27 図 圧縮破壊試験方法



第 28 図 " 測定点



第 29 図 破壊試験結果



第 30 図 "

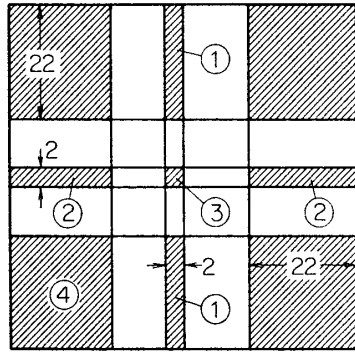
4.5 ton の荷重のときにひずみの曲線に不連続があらわれるのはこのためと考えられる。
部材①, ②, ③のオイラ座屈応力を求めると、すべて同一で

$$\sigma_E = P_E/A = \pi^2 EI/l^2 A = 350 \text{ kg/mm}^2$$

一端固定、他端自由と考えると

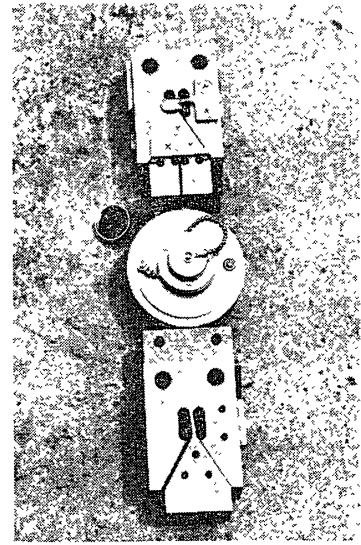
$$\sigma_{cr} = 354/2^2 = 98 \text{ kg/mm}^2$$

圧縮力に置き換えると③を無視して



(単位: mm)

第 31 図 フレキシャ断面図



第 32 図 破壊試験後のフレキシャの状態

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \times 2 \times (2 \times 22) = 7800 \text{ kg} = 7.8 \text{ ton}$$

偏荷重と考えるとさらにこの値は下る。

以上より当フレキシャロードセルは 3.5 ton までは完全で、再使用可能であり、最終的には 6.5 ton までの圧縮力に耐える。また組合せた際の荷重たわみ関係 (第 30 図) はダイヤルゲージ測定結果より

$$k = 10 \text{ ton/mm}$$

のばねで置きかえて近似できるものと思われる。

4.2 六分力試験装置の静特性および動特性試験

静特性

ロケットエンジンは 6 組のフレキシャ、ロードセル系でスタンドに固定されるため、エンジンが発生するあらゆる力は 6 個のロードセルで検出できる。支持系は発生した力を 6 個の成分—主推力、ロールモーメント、2 方向の横推力とそれに対応するモーメントにわけて検出できるように配置されている。較正用油圧装置を使っておのこの力に対応してどの検出用ロードセルにどれだけの出力が出るかをあらかじめ知ることができる。主推力用較正装置は現在 (47 年 1 月) まだ装備されていないので主推力が横推力成分に与える影響ははっきりしないが、ノズルおよびフォワード側で働く横推力については互にほとんど干渉することなく検出できることが確かめられている。

較正装置により作用する力を $\{F_c\}$ であらわし、測定用ロードセルの出力を $\{\varepsilon_c\}$ であらわすと、両者の関係は次の式であらわされる。

$$\{\varepsilon_c\} = [A] \{F_c\}$$

ただし

$$\{F_c\} = [C_x, C_{y1}, C_{y2}, C_{z1}, C_{z2,3}, C_R]^T$$

$$\{\varepsilon_c\} = [\varepsilon_x, \varepsilon_{y1}, \varepsilon_{y2}, \varepsilon_{z1}, \varepsilon_{z2}, \varepsilon_{z3}]^T$$

[A] は 6×6 のマトリックスである。エンジンの発生する 6 分力を {F} とすると、{F} と {F_c} の関係はエンジンとその支持系で決定し

$$\{F\} = [B]\{F_c\}$$

とあらわすことができる。ただし、

$$\{F\} = [F_x, F_y, F_z, M_{\text{Roll}}, M_{\text{Yaw}}, M_{\text{Pitch}}]^T$$

$$[B] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_R \\ 0 & l_1 & -l_2 & 0 & 0 & -l_2 \\ 0 & 0 & 0 & l_1 & -l_2 & 0 \end{pmatrix}$$

ここで l_1, l_2 は重心とフォワードおよびノズル側の較正力間の距離で、 l_R は機体中心軸とロール較正力間の距離である。

測定ロードセルの出力 $\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x, \varepsilon_{y1}, \varepsilon_{y2}, \varepsilon_{z1}, \varepsilon_{z2}, \varepsilon_{z3}]^T$ から 6 分力は次の式で求められる。

$$\{F\} = [B][A]^{-1}\{\varepsilon\}$$

マトリックス [A] の成分は燃焼前の Inplace 較正で正確に求めることとする。 F_z と M_{Pitch} には燃焼中の推葉の減少が直接影響するのでそのための補正は当然エンジンごとに必要である。

燃焼実験に先立ち S-300-G3 の空エンジンを搭載して [A] マトリックスを求めた結果を次に示す。

$$[A] = \begin{pmatrix} 0.008 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0.013 & 0 & 0 & 0.01 \\ 0 & 0 & 1.40 & 0 & 0 & 1.43 \\ 0 & 0 & 0 & 0.76 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.38 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.38 & -0.50 \end{pmatrix} \times 10^{-6}/\text{kg}$$

動特性

スタンドに S-300-G3 の燃焼済みエンジンを取付け、エンジンに衝撃力を与えてスタンドの動特性を調べた。各ロードセルの出力から振動成分を読みとると、

$$F_{y1}, F_{z1}, F_{y2} \text{ に } 95 \text{ Hz}$$

$$F_{y1}, F_{z1}, F_{y2}, F_{z2}, F_{z3} \text{ に } 30 \text{ Hz}$$

が顕著である。95 Hz の振動は早く減衰するが、30 Hz の振動は長く残る。後者はエンジンの曲げ振動によるものと思われ、記録から読取った減衰係数比は 0.035 である。

スタンドには減衰装置は特に設けてなく、そのため応答はきわめて良好であるが、出力データに振動成分が重畳する。従来も行なわれたように出力データの収録の際には最も低いス

タンド振動をも取り除くことができるようなフィルタをかける必要がある。

5. む す び

台車式六分力測定装置はおもに①可動式であってエンジンセットが容易である。②六分力も精度よく測定できることを目的として製作された。過去2回の燃焼試験がこの装置を用いて行なわれたが (S-300-G 3, SB-300 TVC), ①の目的は十分に達成された。②については特に真空槽中でのドリフトが大きいのがめだつ。その原因としては、真空度、温度等が考えられるが、今後の実験に際してはそれらの原因と思われる事らに対する処置を十分することが望まれる。また較正用油圧操作を遠隔化する予定であるが、これによって測定精度の向上することが期待される。最後にこの装置を製作するに当り御助言くださった推進班の諸先生方またフレキシヤ、ロードセルの破壊試験に御協力いただいた森研究室橋元技官に謝意を表する次第である。

1972年 6 月10日 新設部(工学)