

M ロケット地上燃焼設備

長 友 信 人・林 紀 幸
寺 田 守 男・八 坂 哲 雄

Mu Rocket Static Firing Test Facility

By

Makoto NAGATOMO, Noriyuki HAYASHI, Morio TERADA and Tetsuo YASAKA

Abstract: Mu rocket static firing test facility was first oriented to Lambda 735 and Mu 10 booster test, and has been extended to be adaptive to Mu-11 engine with TVC apparatus.

The facility is composed of test stand, assembly tower, package room, segment handling apparatus and TVC feed tower. Development and outline of the facility are mentioned, and the characteristics of the thrust measuring system and noted.

概 要

Mロケット地上燃焼設備は当初 L-735-3/3 および M-10 の地上燃焼のために建設されたが、その後 TVC をつけた M-11 エンジンのために増設され、現在、燃焼スタンド、組立塔、パッケージ室、転倒装置および TVC 供給塔からなる。これらが現在に至った経過と各ユニットの概観、特性、現在についてのべる。

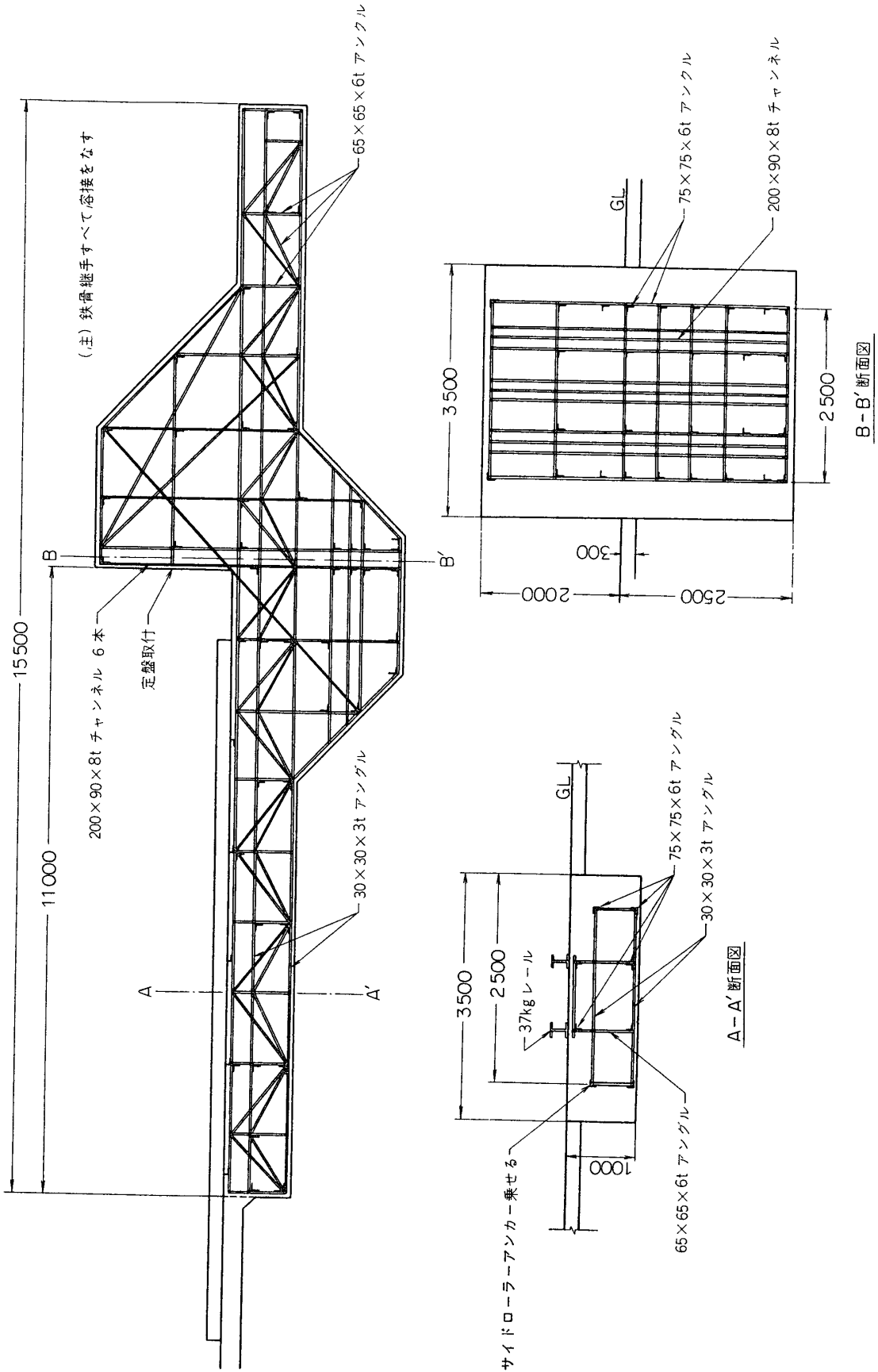
1. 序

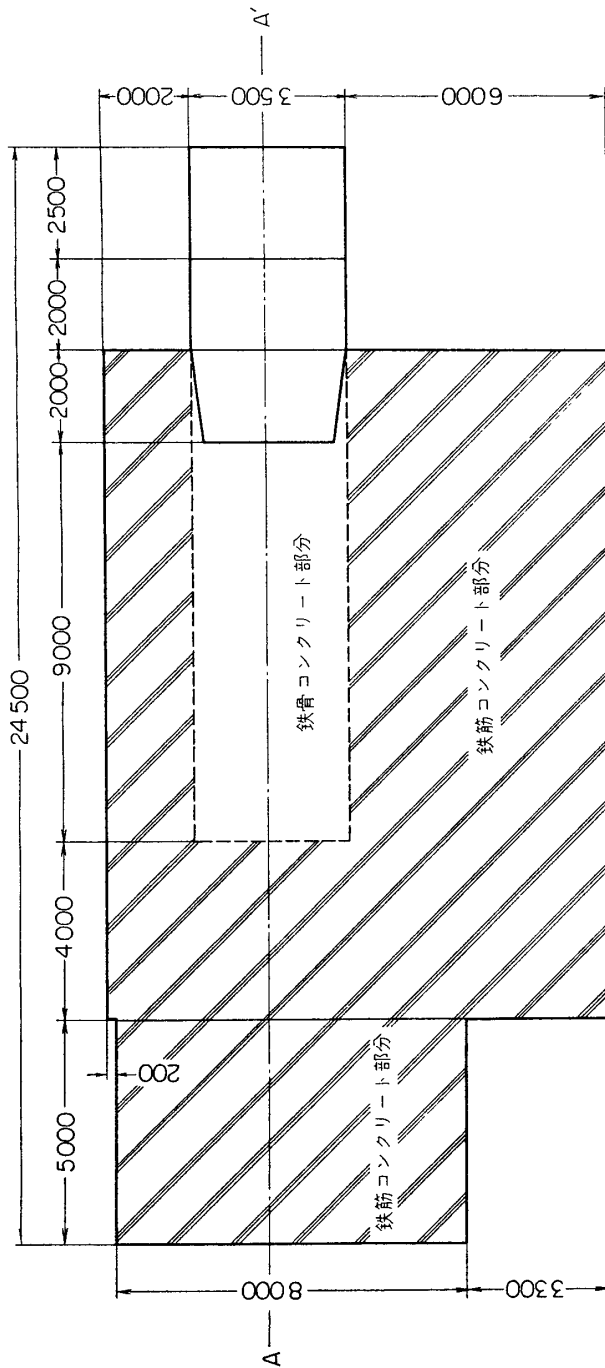
表記のMロケット地上燃焼設備は、おもにMロケットの一段目の地上燃焼実験を行なうための一連の設備とこれに付随した施設を指す。これらは単一の施設あるいは設備として一括して作られたものではないが現在は機能的に有機的つながりをもっているのでここでまとめて紹介する。

全体の基本を成すのは、組立塔とテストスタンドである。初期のMロケット1段目の燃焼実験は主推力のみ計測する方法であったが、あとに TVC (推力方向制御) 付エンジンの実験計測が行なえるようにスタンドを改造し、これに伴う設備の増設などがあって現在に至っている。ここでははじめに改造前の状態について簡単に説明したあと、現在の施設、設備について述べることにする。

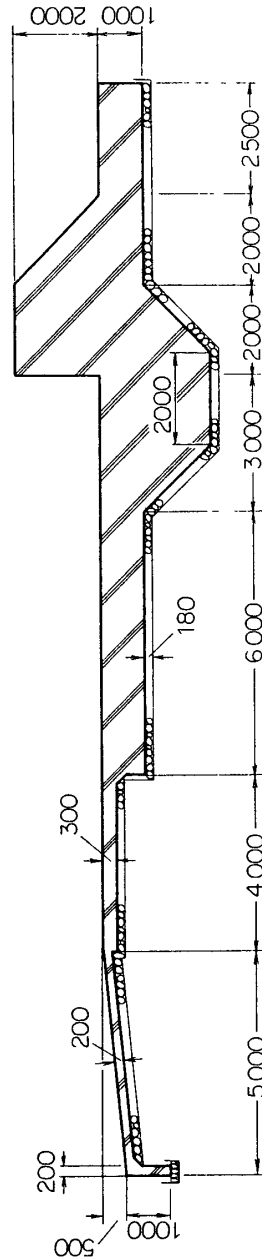
2. 初期のMロケット地上燃焼設備

昭和 37 年の 735-3/3 の実験のために、テストスタンドのコンクリート基礎が作られ、LM



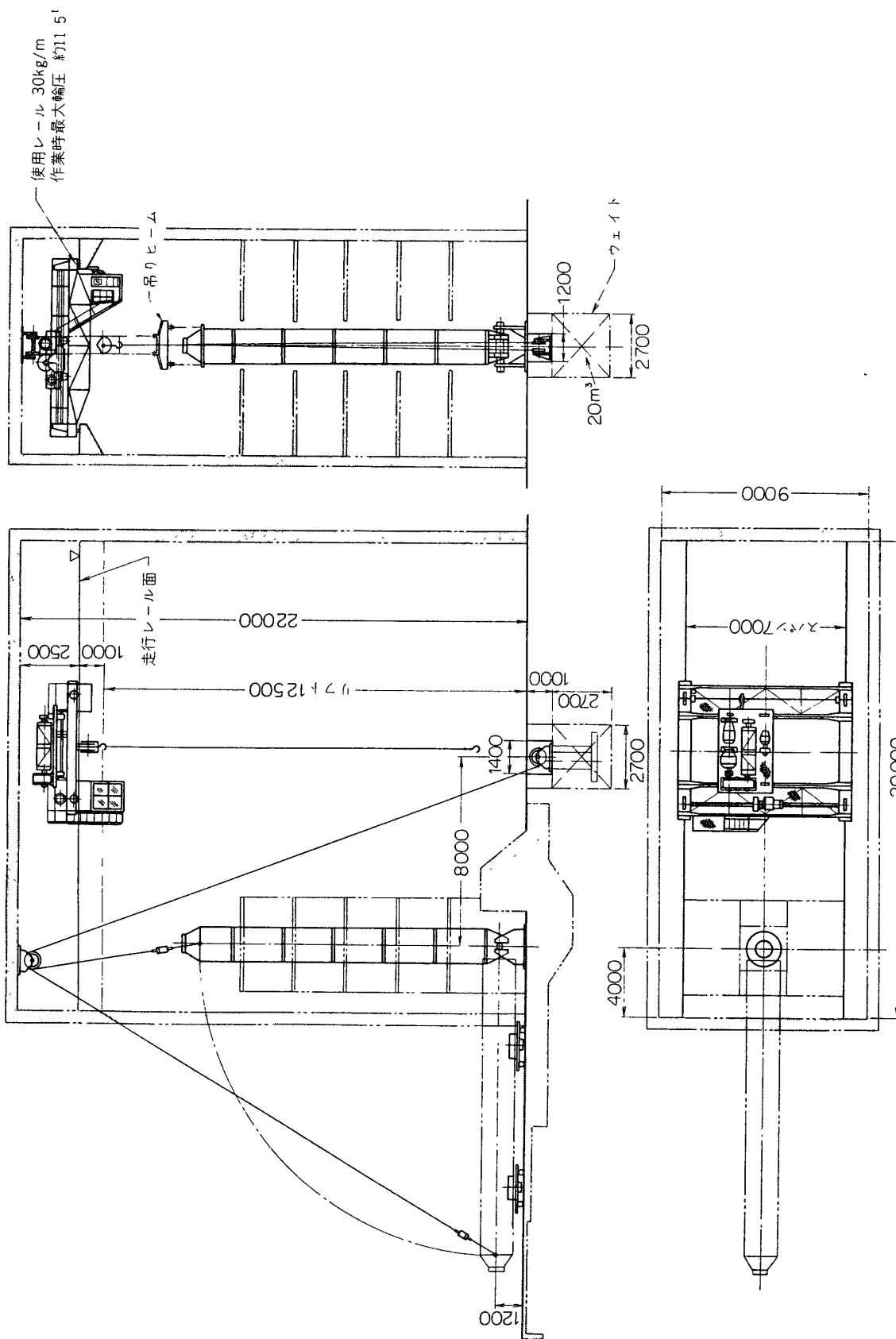


平面図

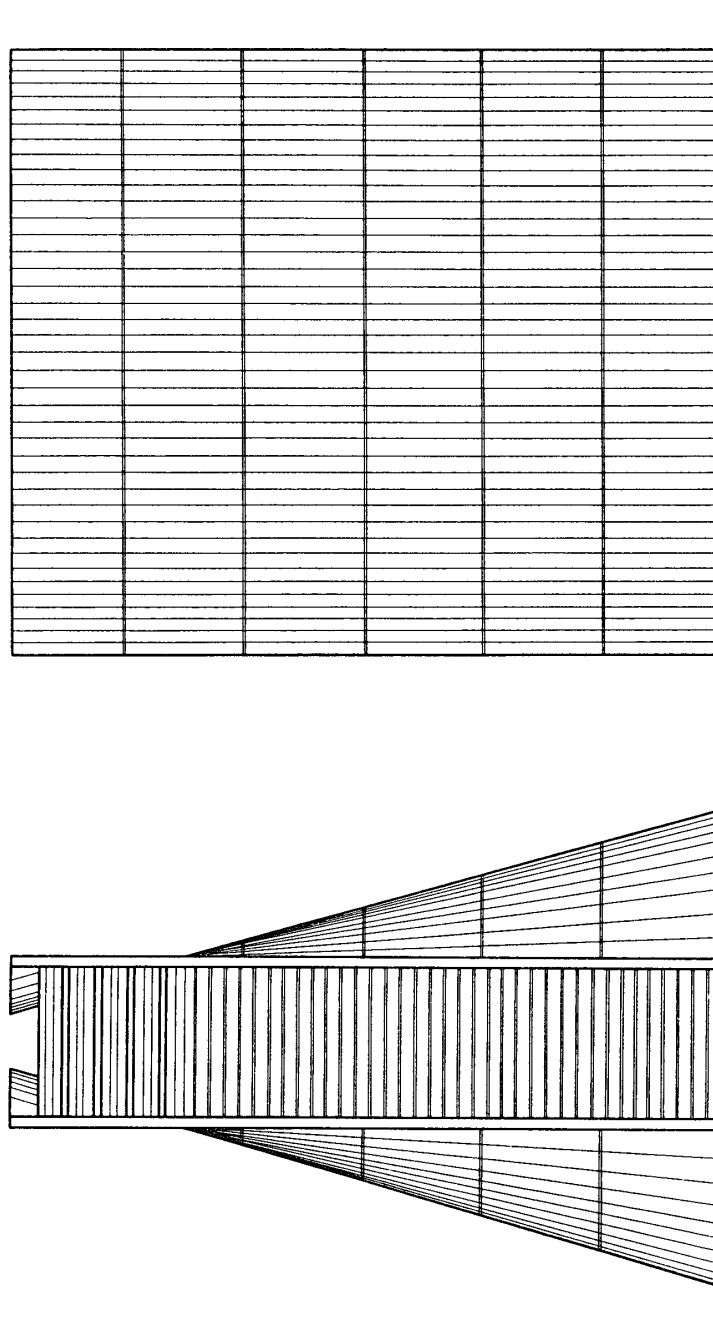


A-A'断面図

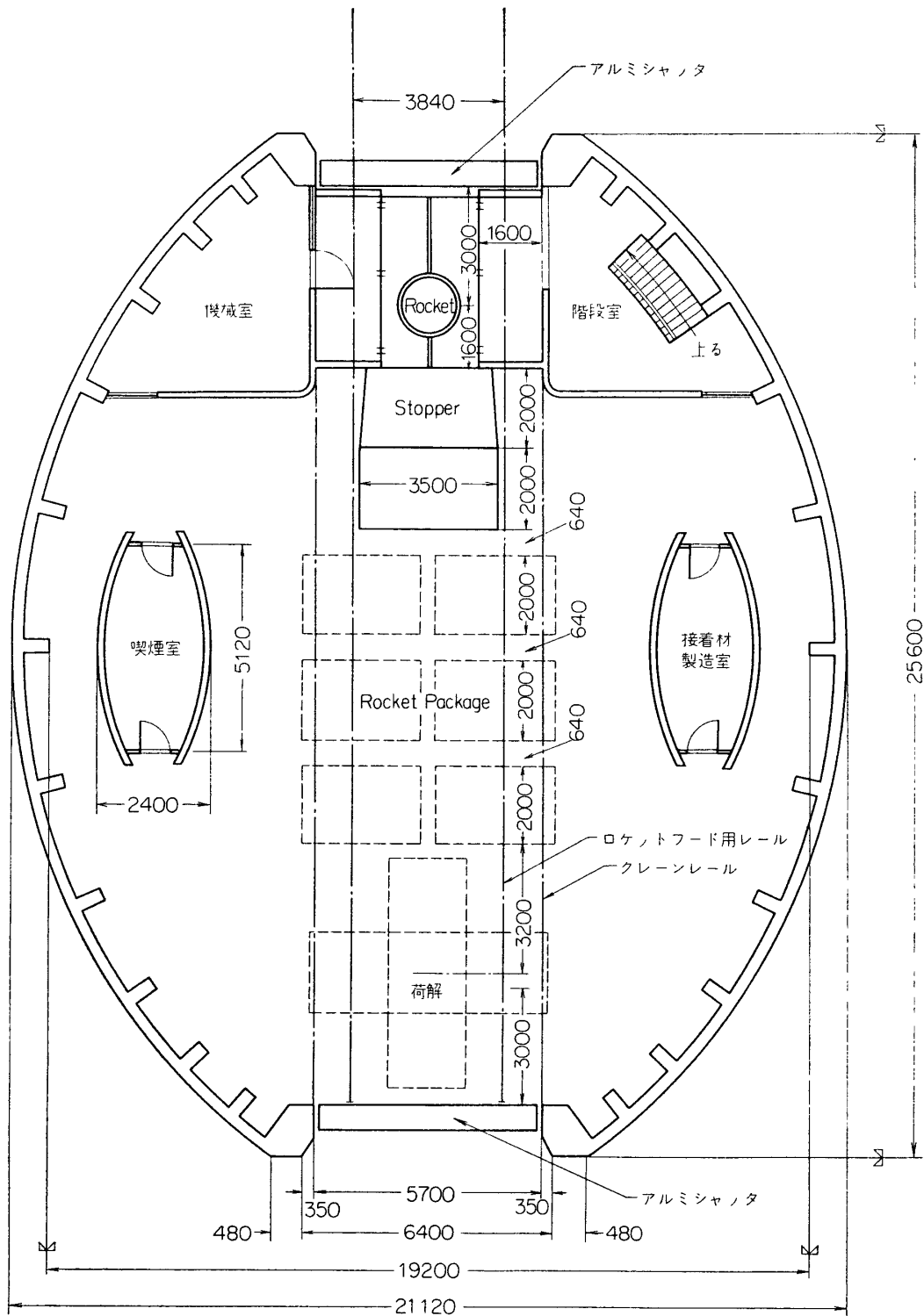
第1図 LM用テストスタンド基礎



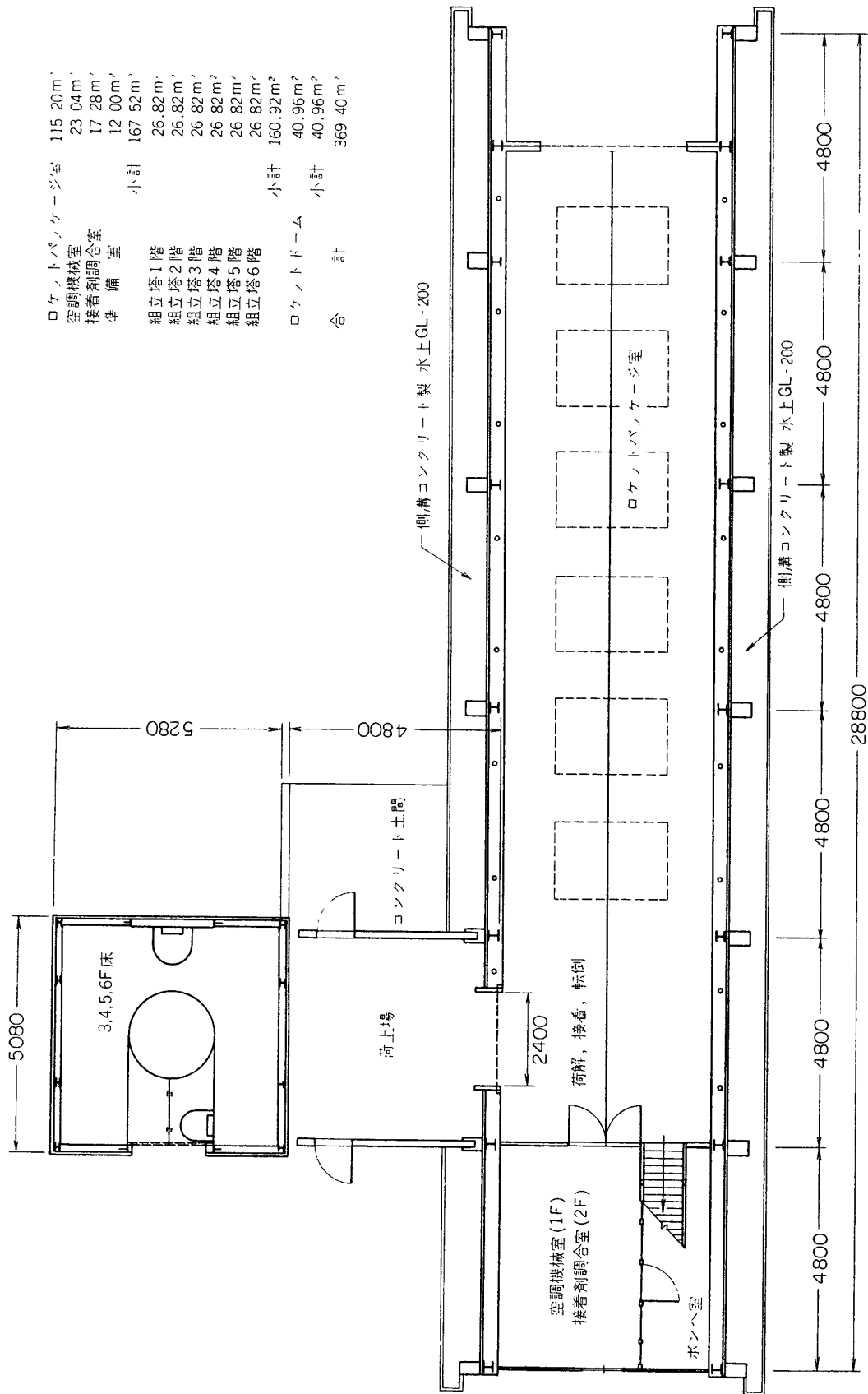
第 2-1 図 Mロケット地上燃焼設備案



第 2-2 図 外 観



第 2-3 図 内部詳細



ロケットエンジン	115.20m ²
空調機械室	23.04m ²
接着剤調合室	17.28m ²
準備室	12.00m ²
小計	167.52m ²
組立塔1階	26.82m ²
組立塔2階	26.82m ²
組立塔3階	26.82m ²
組立塔4階	26.82m ²
組立塔5階	26.82m ²
組立塔6階	26.82m ²
小計	160.92m ²
ロケットドーム	40.96m ²
小計	40.96m ²
合計	369.40m ²

第 3 図 LM 地上燃焼設備

スタンドと称して現在のMロケットスタンドの基礎となっている。第1図にこの構造を示す。

昭和40年度のM-10-1の実験に備えて、セグメント式エンジンの組立てと地上燃焼実験を行なうための施設と設備が計画された。いくつかの計画案の中から一つを第2図に示す。検討の結果、結局第3図に示すようなロケット組立塔とパッケージ室（通称三角小屋）が作られて、以後現在にいたるまでMロケット1段目の実験作業の基本が確立した。すなわち、エンジンは大型のため3ないし4回に分割されたセグメントとして製造、運搬されて、パッケージ室に搬入され、ここで開梱と検査を行なう。ここではその他のロケットの部品や実験に必要な器材の整備も行ない、組立塔内に持込んで、ノズルを上に向けた状態でロケットを組立てる。組立てたロケットに補助ビームをあてて一体とし、セグメント組立支台を軸としてテストスタンド上に倒すとエンジンは補助ビームを台車として横になる。ここで組立支台を推力受けと交換してロードセルを取付けると実験準備完了である。

2.2 主要構成

イ) パッケージ室（通称三角小屋）

セグメントの搬入、移動を行なうために、7.5トンの走行クレーンが2基設置されている。M-10-1では全長などは同じであるがセグメントは4個から成っていたため1個の寸法、重量は6トンぐらいであった。2号機から3セグメントとして1個の重量もこれに反比例して増加したので、建物全体の補強が行なわれて（昭和40年）現在の外観となった（第3図参照）。この建物の海岸寄りには、接着剤調合室や暖房装置室となっていた。なお実験終了後は台車類の格納庫として用いられている。

諸元 建坪
幅、奥行
高さ

セグメント転倒装置は現在屋内で用いられていないので省略する。

ロ) 組立塔

ここで行なう主な作業は次のようなものである。

- i) セグメントの接着および結合（いわゆるエンジン組立作業）
- ii) エンジンの補助ビームへの装着
- iii) エンジン点火系の組込み、点検
- iv) 主推力計測系の取付け

なお実験終了後は補助ビームを格納している。

作業の都合上、塔の位置はテストスタンドの推力受けの付近となり、塔内へのセグメント等の搬入のための搬入口と完成したエンジンを倒して出すための前面シャッターで外に開いているのが特長である。搬入口は南側に開き6階から10階におよびこの間の床板ははね上げ式である。前面シャッターは2階から8階まで開き、1階から8階までの床はやはりはね上げ式となっている。この床がおりにいるときは安全用手すりのはめこまれる。昇降は猿ばしごである。

機械類のおもなものは搬入用の天井走行クレーン (15 トン) と、補助ビームおよび転倒用のウィンチである。

組立塔諸元

構造	鉄骨スレート張り
高さ	22.0 m
幅	5.08 m
長さ	5.28 m

主要機器

15 トン走行クレーン	10 階
ウィンチ	ウィンチ小屋
補助ビーム	固定転向シーブは1階に支点
エンジン芯出支接装置	

ハ) ドーム

旧ドームは廃棄されたので省略する。

3. M用多分力テストスタンドへの改造

3.1 LM スタンド改造の要点

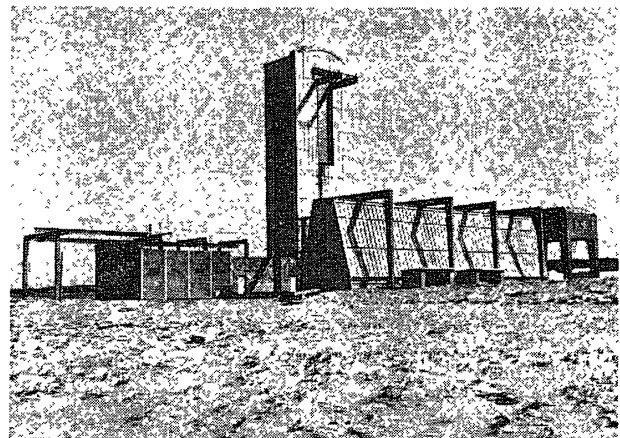
M-11 エンジンの実験のためにより大型の多分力テストスタンドの必要が生じ、上記スタンドを改造することになった。改造の目的は次の二点である。

- i) M-11 サイズ (M-10×4/3) の組立、セットおよび燃焼テストができること。
- ii) 少なくともピッチ・ヨーの多分力計測ができること。

3.2 大型化に伴う問題点と対策

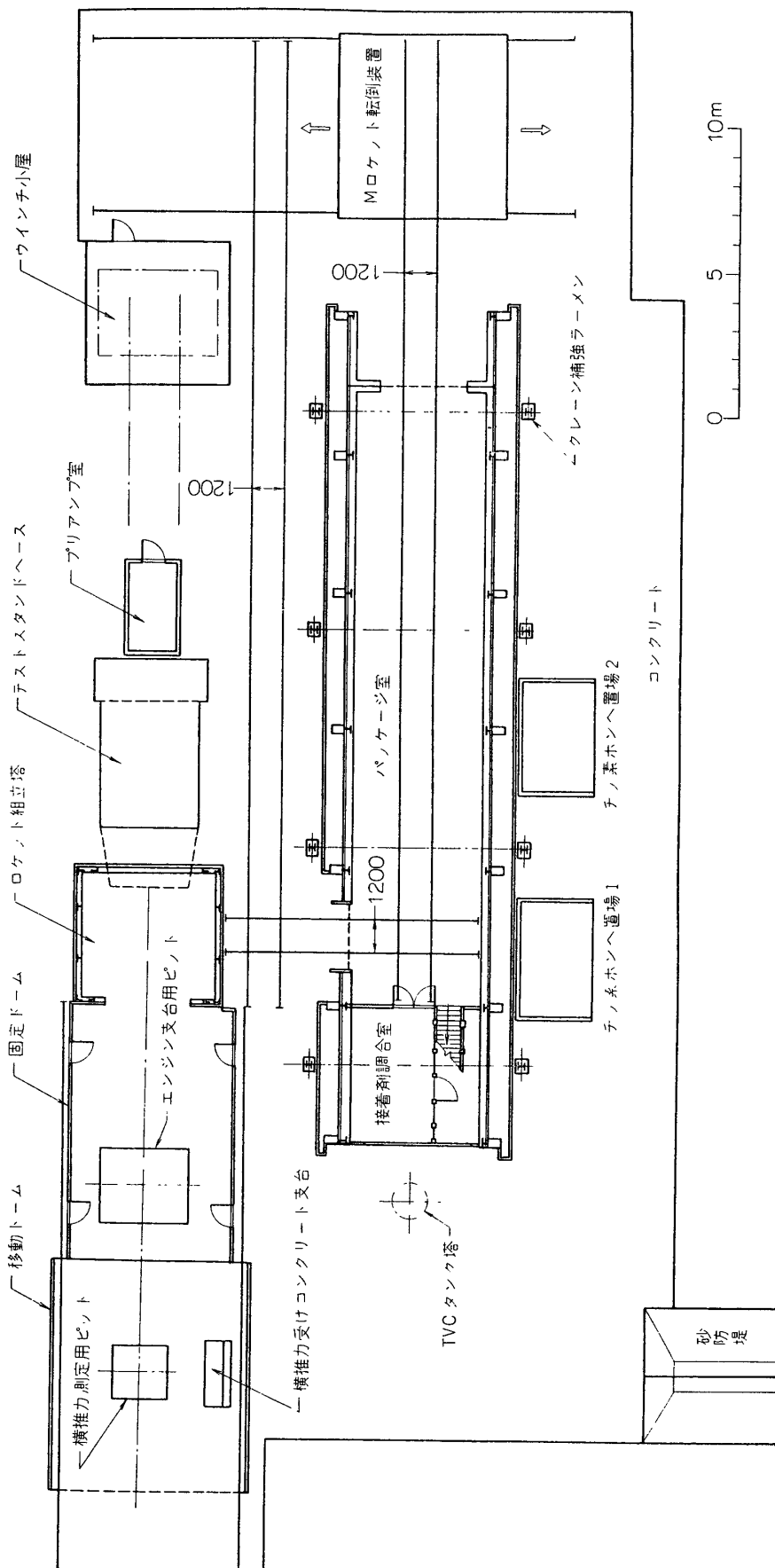
イ) パッケージ室のエンジン保管能力: エンジンの大きさが 4/3 倍になったため、セグメントが 1 個ふえて 4 個となり、スペースが明らかに不足する。これについては M-10-1 が小さいながらも 4 セグメントだったので、しばしば混同され、とくに事務手続のおくれがあったが結局応急処置としてプレハブ建物を一つ増設して、工具室とし、パッケージ室内の大型器材をここに移した。また屋内の転倒装置を廃止して屋外に独立させ、この間の作業の流れを変更することにした。第 4 図には以下の改造点も含めて、現在の配置を示す。

ロ) 組立塔の能力: ロケットの長さや重量の増加に対して、塔の大きさ、ウィンチ類の能力などなどに懸念があったが、組立塔自体は大きさ、強度と



第 4 図(A) Mロケット地上燃焼設備全体写真

到



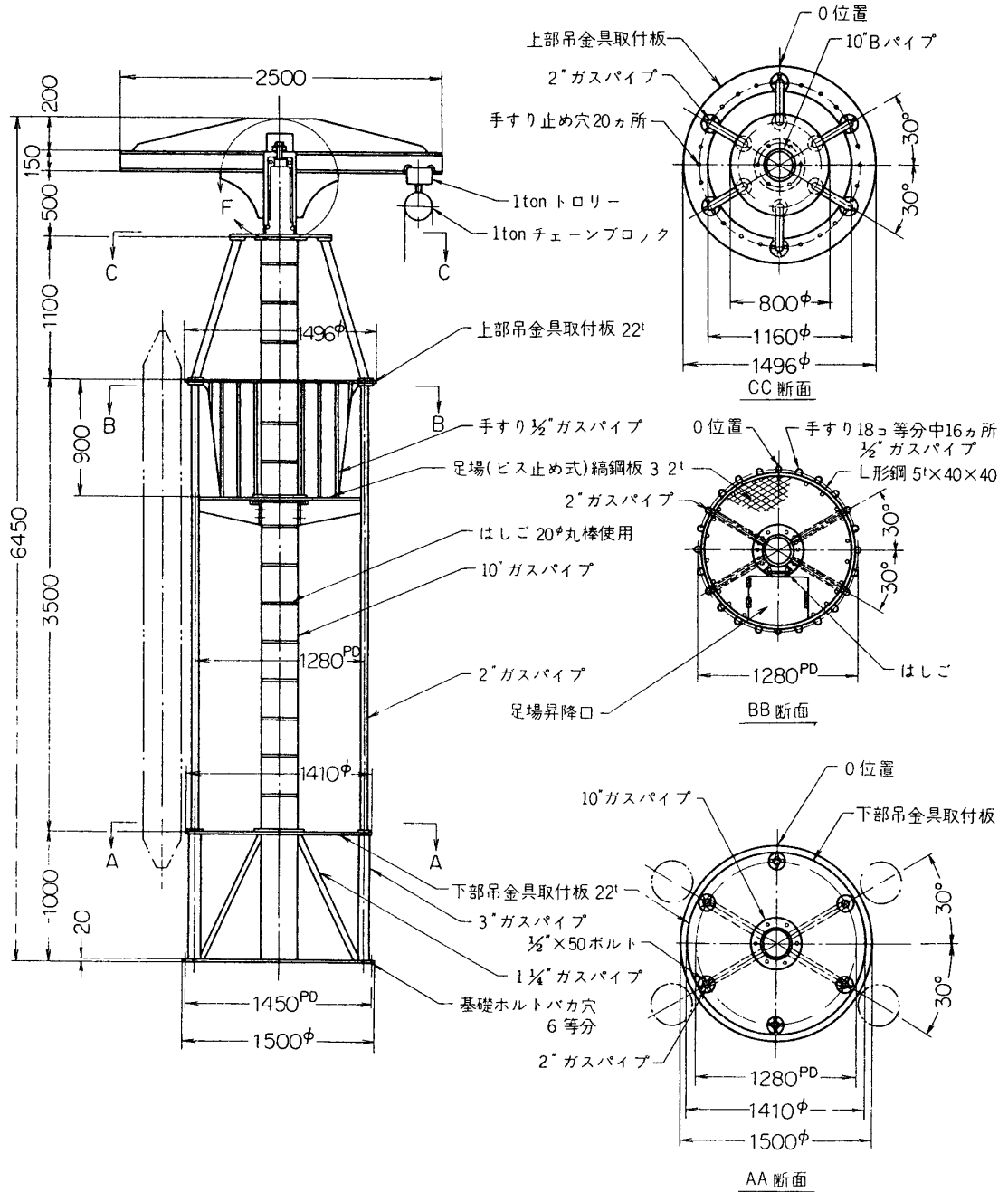
第4図(B) Mロケット地上燃焼設備全体配置図

も十分余裕があったので、もっぱら補助ビームの上げ下げに伴う手直しが主となった。

ハ) エンジン推力の増加: M-11 と M-10 では大きさに推力が比例するので、推力増加に対して推力受けのコンクリート基礎の増強が行なわれた。

3.3 TVC 付エンジンのための附属設備

イ) TVC タンク系: 実際の飛行ではエンジンに取り付けられているタンクが液面状態の関



第 5 図 タンク用スタンド

係もあって、別に立てておく必要がある。置場所などが実験目的上問題となるが、今回のものについては実機とはかなり条件が異なるものとした。第5図はこのためのタンク用スタンドを示す。

ロ) TVC 用気液保管および供給: 1 段目用の TVC 液剤は燃焼チェックのものも含めるとかなりの量になり、また、加圧用のガスもボンベで数 10 本を用意しなければならない。ガス供給は現在ポータブルコンプレッサを用いている。

これらの作業条件は NTC 内のほかの分野と比較しても、また KSC の同種作業環境など比較しても、整備がおこなわれている。

3.4 多分力計測法に関する検討点

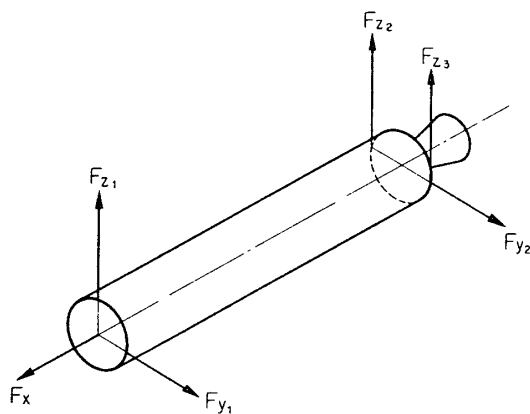
これ以前に経験のあった多分力スタンドは、M ロケット 2 段目などですでに実施されていた。エンジン全体をロードセルのついたフレキシブルつり手でさげて力を計測する方法であった。第6図Aはこの原理を示す。この方法によるとロードセルはエンジンの自重を支え、測定する能力をもたねばならないので、測定系としては大容量のものを多数必要とする。測定すべき分力は自重より1けた小さいので、計測精度は1けた良いものを必要とする。

これらの理由でこれをそのまま適用するとスタンド改造が大がかりとなり測定系の改善も

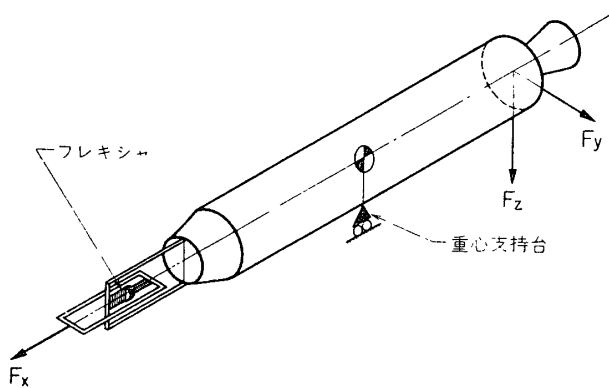
要求されることが予想されたので、結局、改造の方針を下記の二点にしぼって考えることにした。すなわち

i) 測定分力はピッチとヨー方向とする。

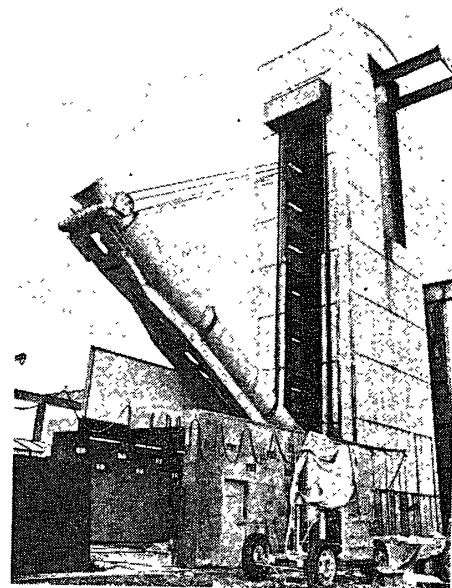
ii) 重心付近に支点をもうけて、自



第6図(A) 多分力測定系



第6図(B) M-スタンド推力測定系



第7図(B) テストスタンド写真

重の変化の影響が分力測定にあまり出ないようにする。

この結果このテストスタンドの力学系は第 6 図 B のようになる。

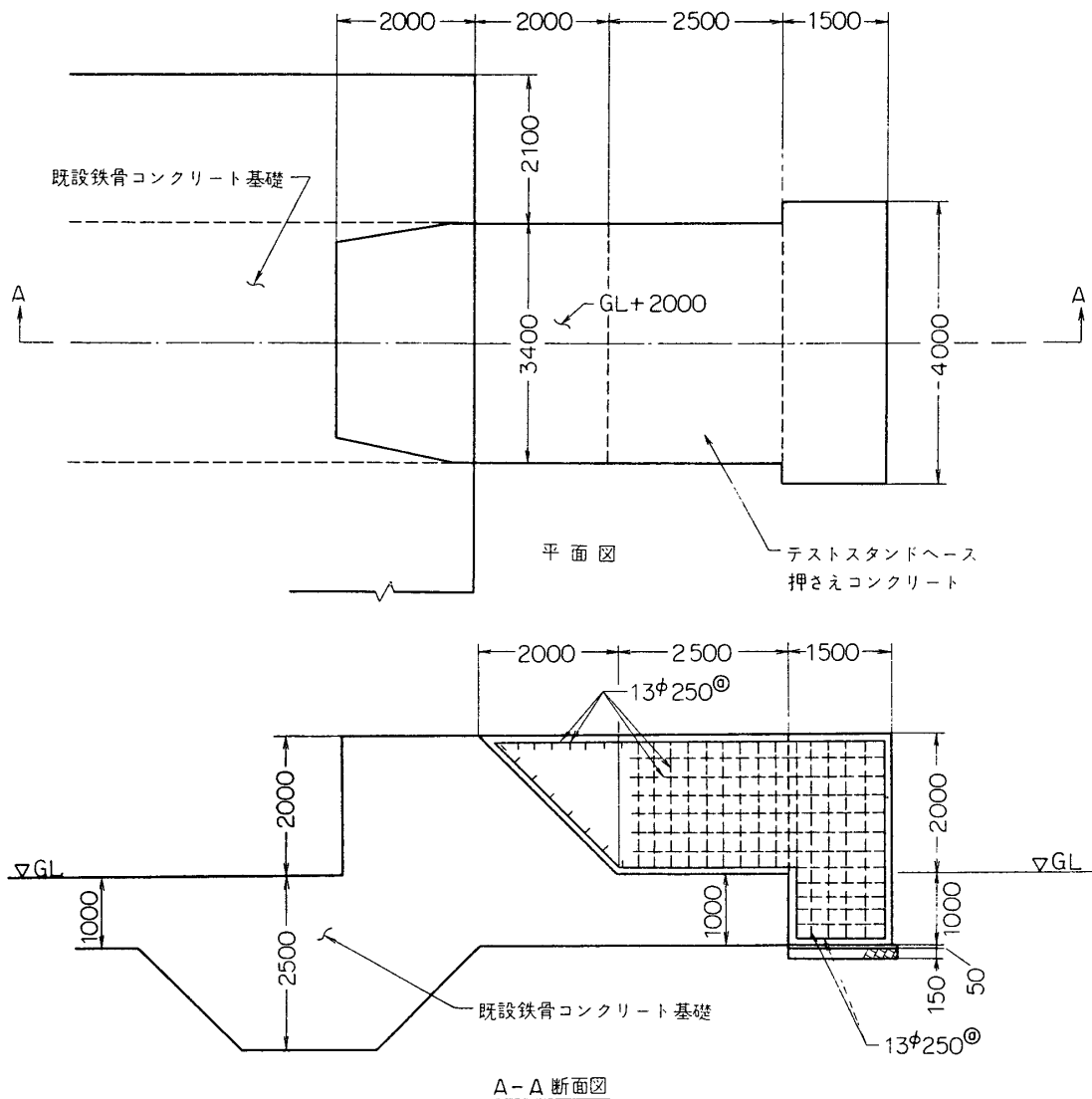
4. 改造後の主要構成

4.1 テストスタンド

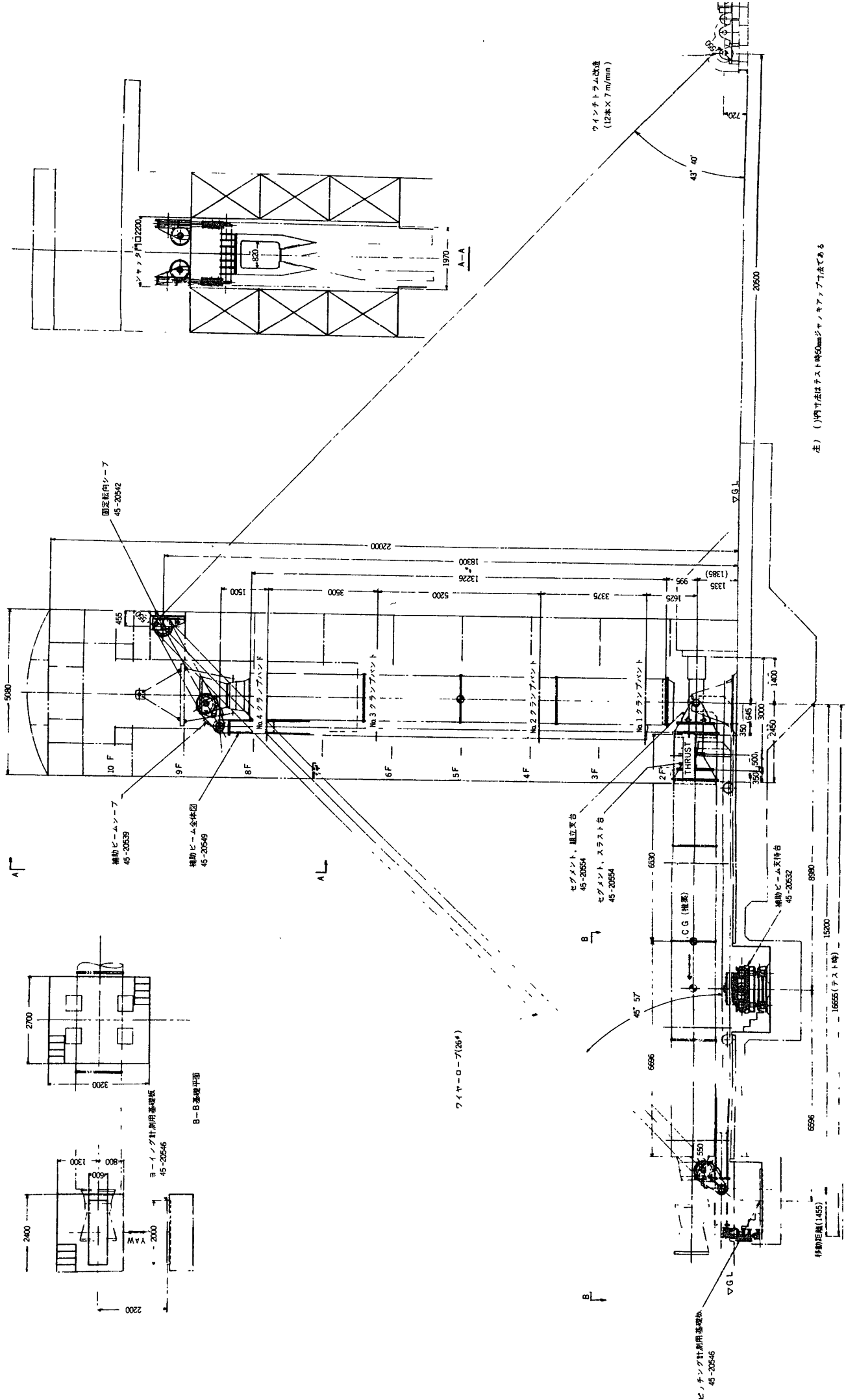
改造後のテストスタンド系の全体図は第 7 図に示すようになった。

イ) 補助ビーム: 従来のシーブ 1 個でエンジン中心と同じ垂直面内でつり上げていた方式はエンジン寸法がのびたため不都合となり, 2 個のシーブにわけて延長したビームの両端に取付けてエンジンの両側をとるようにした。

ロ) 主推力受けコンクリートの増強: 第 8 図にこの様子を示す。推力関係の計算は付録にまとめた。

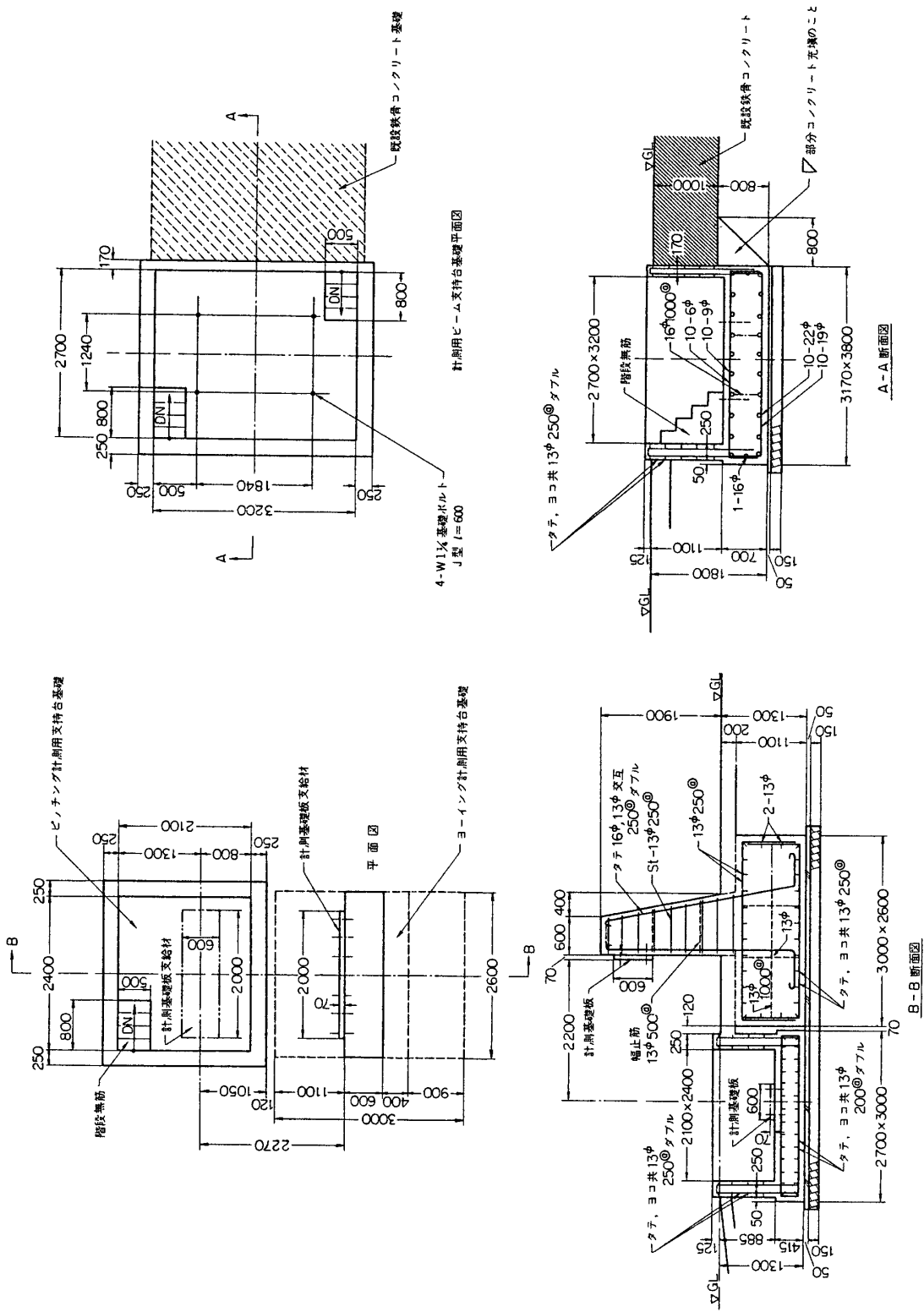


第 8 図 テストスタンド基礎増強



(*)内寸法はテスト時50mmジャキアップ寸法である

第7図(A) テストスタンド全体図



第 10 図 計測用ビーム支持台、ビッチング・ヨーイング計測用支持台基礎

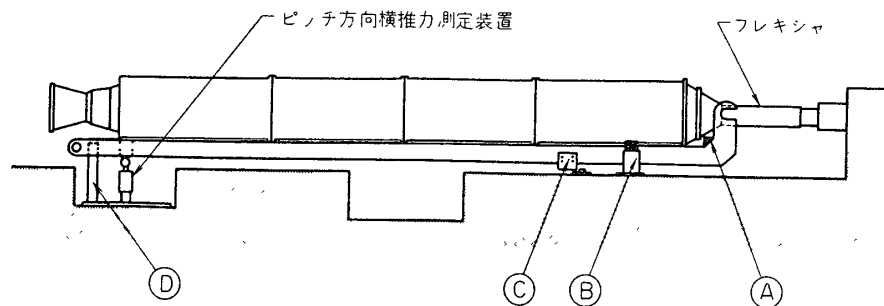
ハ) エンジン支台: M-11 エンジンの重心がほぼこの上を通るように位置がとられた。この支台は補助ビームをたおして大まかに前後位置を決めたあとにジャッキアップして補助ビームを支えてエンジンを持上げる。支点の自由度は前後方向 (約 100 mm) の移動, ピッチ・ヨーの回転運動である。第 9 図はこれを示す。

ニ) 横推力測定系: ピッチ・ヨーの横推力をノズル近くのチャンバからロードセルをとおしてささえる支持台がコンクリート基礎に増設された。第 10 図にこれを示す。測定系については別に述べるのでここでは省略する。

ホ) 主推力用フレクシャ: 主推力ロードセルとエンジンの取付けは, 推力測定のために必要な自由度を失なわないようにしなければならないのでここをフリーにした。このフレクシャは保安上安全側にいくように推力によって軸方向への復帰力が働くタイプにした。

ヘ) 安全用ストッパ類の増設

エンジンと補助ビームは一次的にはフレクシャ・ロードセル系でその位置を保たれるが, 二次的には第 11 図に示すストッパ類が働く。エンジンと補助ビームはワイヤロープで固縛されているが, 軸方向の過剰な動きは(A)で止められる。補助ビームの上下方向の過剰な動きは(B)と(C)で止められ, 軸方向については(D)が働く。



第 11 図 ストッパ配置図

4.2 組立塔

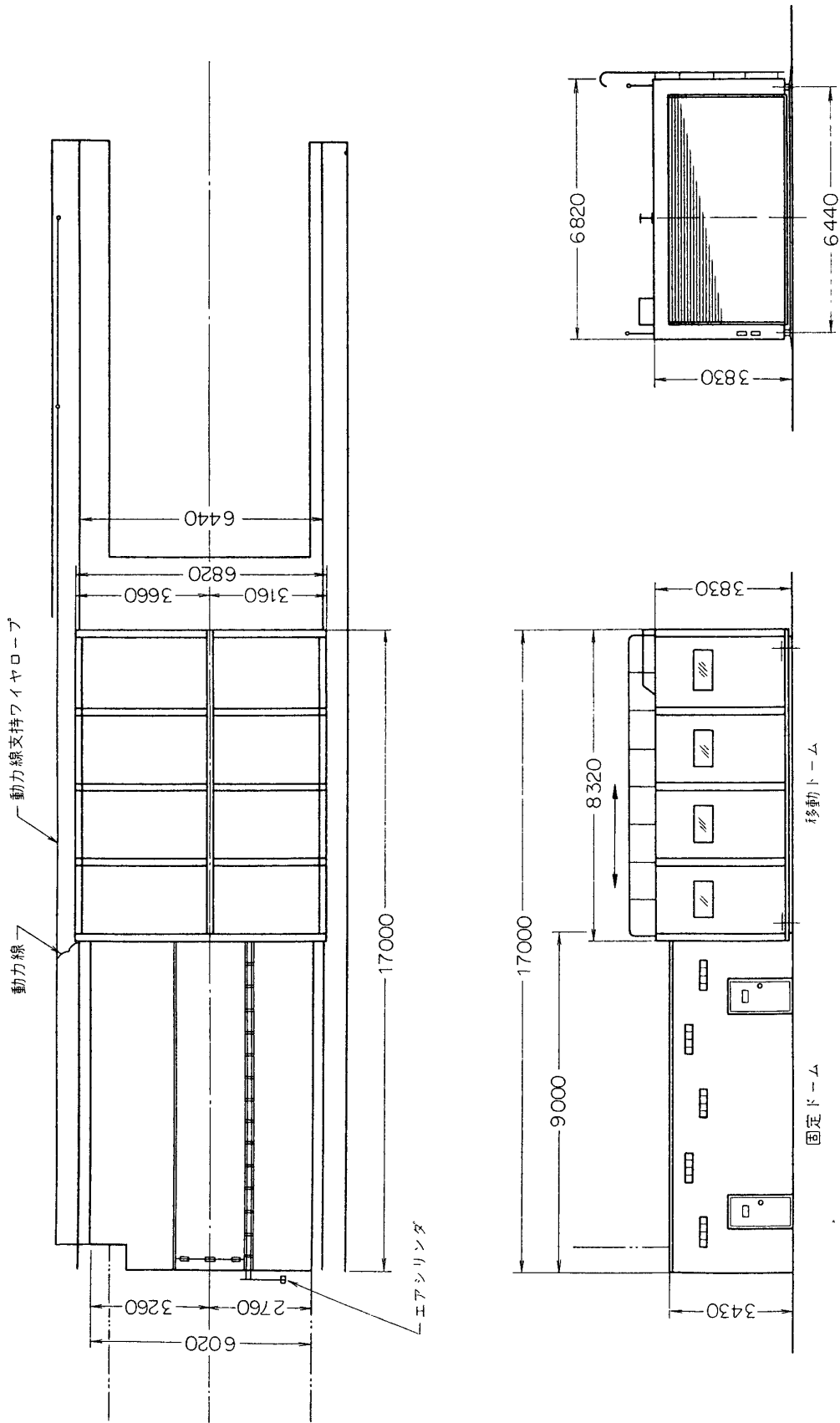
組立塔は補助ビームの延長とシーブ取付け方法の変更のために前面シャッタを改造したほか, 7, 8 階での作業のためはね上げ式床を増設した。

ウィンチ系としてはシーブを 2 個にし, 9 階に固定シーブを左右対称に設け, 補助ビーム側シーブとの間にワイヤロープを片側で 2 往復ずつさせた結果, 補助ビームの荷重を主として組立塔によって受けるようになったが, これは改造前にはウィンチ側にバランスウェイトをおいて, 塔の曲げ荷重を逃げていたのと根本的に異なる点である。

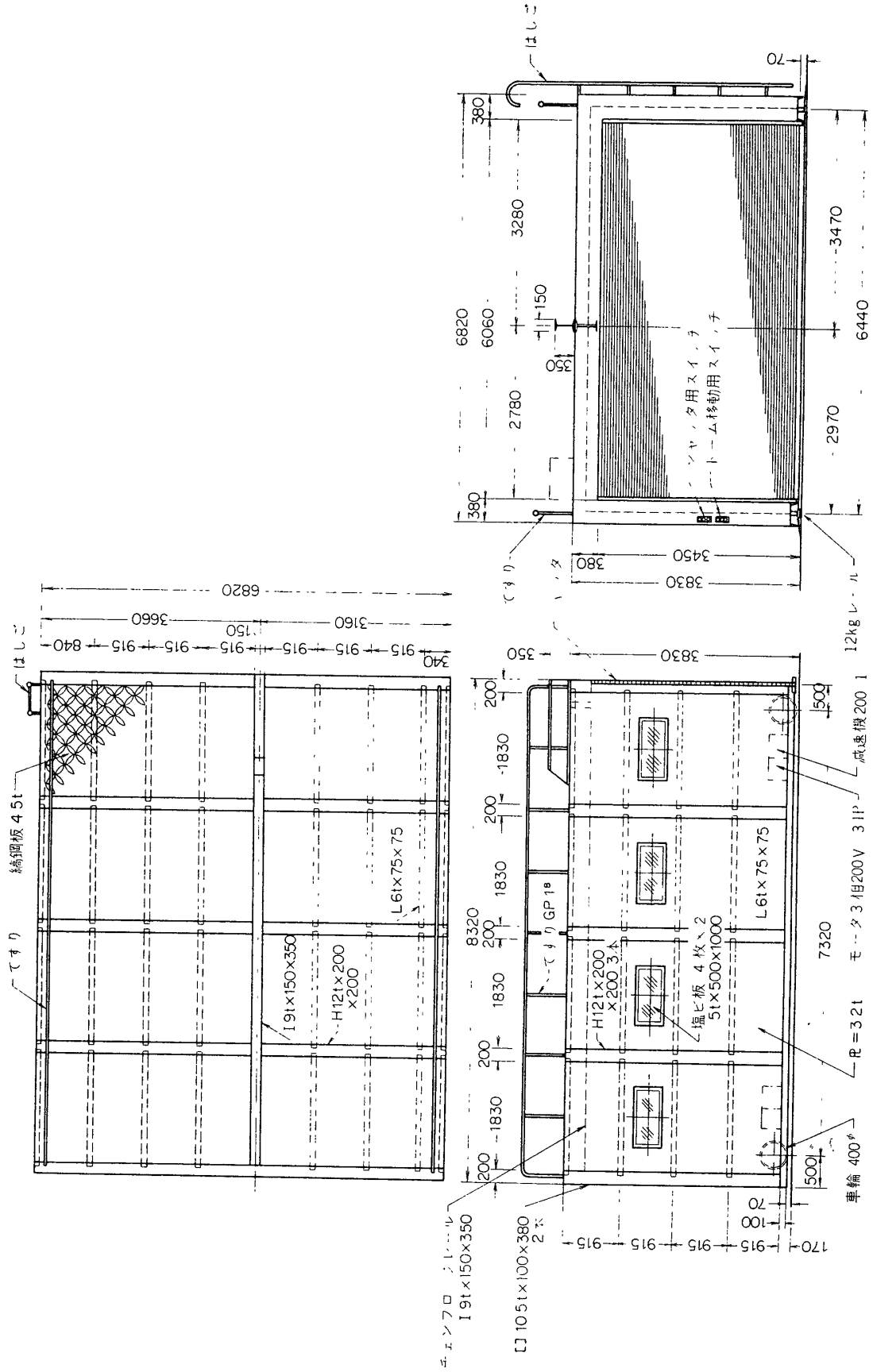
4.3 ドーム

これは組立塔に接して設けられ, 組立を完了してセットされたロケットエンジンの保護をする上屋である。LM スタンドの改造後はピッチ・ヨーの多分力計測装置に関する機器類がおかれるようになったためこれらを常時保護するためのものでもある。

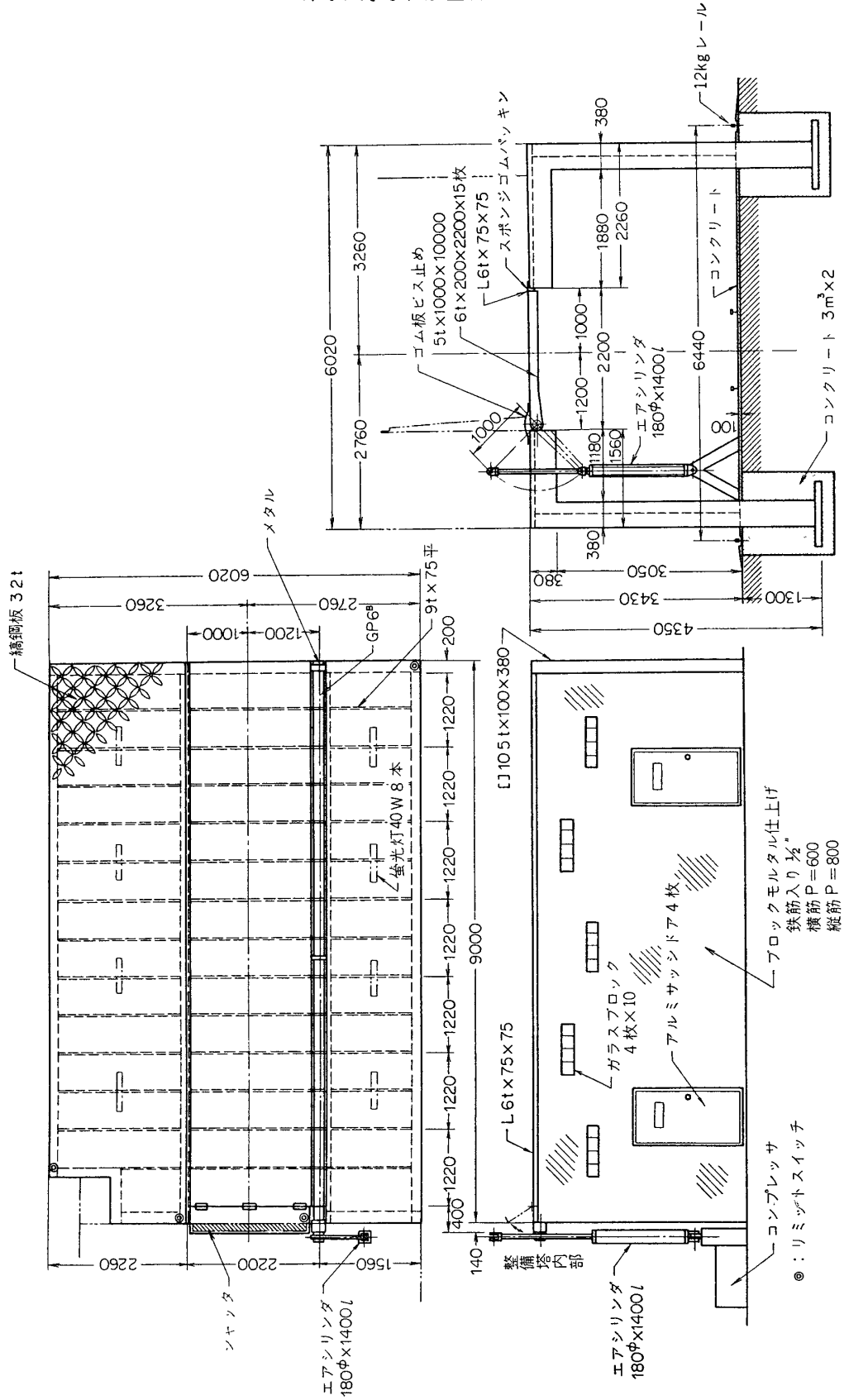
構成は組立塔に接した固定ドームと, エンジンノズル側を移動できる移動ドームからなり, 作業の状態によって, 適宜移動配置ができる。すなわち



第 12 図(a) Mテストスタンド用ドーム移動ドーム



第12図(b) Mテスタスタンド ドーム固定ドーム



第 12 図 (c)

i) エンジン塔から倒して水平状はにするときは、固定ドームの屋根の中央部を開放し、移動ドームを塔からはなしてしまう。

ii) エンジンセット状態には固定ドームの屋根をとり移動ドームをこれに結合し一体となり、エンジンを屋内においたのと同じ環境を作る。内部は広いので計測など実験の準備作業ができるほか、移動ドームは2トンまでのチェンブロックが取付けられ重量物の取扱いもできる。

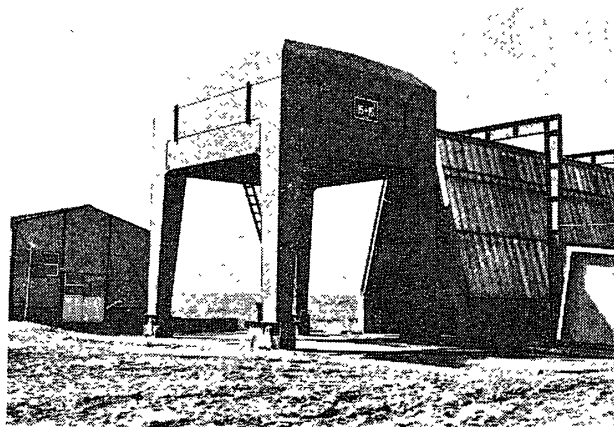
iii) エンジン燃焼試験時は移動ドームは固定ドームと重なる形で塔の側に移動し固定される。これでエンジンノズル側半分が屋外に出た形になって燃焼が行なわれる。

作業の能率向上と安全を考え、可動部はすべて電動または空気圧操作である。

4.4 Mロケット転倒装置

この装置は、組立前のロケットのセグメントの点検、整備のために両端面を上部に向ける必要があるが、そのための転倒操作をするためのものである。初期には、パッケージ室内に小規模のものがおかれていたが、M-11の実験を機に、パッケージ室がせまい、作業の安全性のうえで問題がある、などの点が考慮され、屋外に独立した大型の装置として新設された。この際、実験準備作業の流れにも改善が企てられて、全体としては能代実験場で進められている省力化自動化の方向に沿ったものとなった。

これは第13図に示すように、門型の軟鋼溶接構造であって、上部に転倒作業に用いる懸垂型ホイストが2基設置されている。この上部はホイストを収容し、床板をふさぐと上屋となり、能代実験場の苛酷な環境条件から機械



第13図 門型クレーン

類を保護できる。第4図に見るようにセグメントはパッケージ室内をレール軌道上の台車で移動し、転倒作業を行なったあと、組立塔までは別の軌道を走る台車にのせて移動する。この転倒装置全体はこの二つの軌道の間を移動できるように走行装置がついている。これもまたレールの上を走るのであるが、セグメント移動用軌道との交差個所は車輪のフランジが荷重をうけられるようレール下面に鉄板が取付けられ、エンジンに対する衝撃を避けるよう配慮された。

5. スタンド特性

5.1 静摩擦力

エンジンとスタンドの重量は重心点でユニバーサル・テーブルでささえられる。このテーブルは上下、左右方向の変位は拘束するが、軸方向変位とピッチ・ヨー方向の角度変位は自由となっており、フォワード側での主推力とノズル位置での横推力の測定を可能にしてい

る。この場合の摩擦力は推力計測値に影響を与える。

昭和 43 年 11 月に領収試験を兼ねて方向の変位に対する静摩擦力の測定を行なった。スタンドに重量 35 トンの試験荷重をのせ、ノズル位置に力を加えて変位を始めるときの値を読みとり、静止摩擦力とした。

試験結果は、

軸方向静止摩擦力	55 kg
ピッチ方向静止摩擦力	4.5 kg
ヨー方向静止摩擦力	4.3~5.0 kg

M-11-TVC エンジンの予想推力は軸方向 120 トン、横方向 3.6 トンであるため、これらの摩擦力は無視できるとの結論に達した。

5.2 推力測定部特性

主推力、横推力のためのロードセルはすべてフレキシャとともに使って、せん断力と曲げモーメントに対しては変位を自由に許し、圧縮-引張力だけを伝達するようになっている。フレキシャは薄板が面内力に対しては剛性が大で、面外力に対しては剛性が小さいことを利用して作っており、基本的には直交した 2 枚の薄板を直列につなぎ合わせたものである。以下はフレキシャがせん断力に対してどれだけの剛性を持ち、それが測定値にどれだけの影響をもつかを検討したものである。

横推力用フレキシャ

基本構造である薄板の形状は、

板厚: 8 mm ($=t$)

長さ: 56 mm ($=l$)

幅 : 80 mm ($=b$) (3 分割されたものの合計)

2 個のフレキシャの間にロードセルが直列につながれているが、双方のフレキシャの薄板が長さ 424 mm ($=l_1$) の剛体でつながれているとみなすことができる。

フレキシャは双方共回転が拘束され、せん断力による変位がロケット側の一個にのみ許されるとすると、せん断力 $F_s(xg)$ による変位 δ_s は、

$$\delta_{sB} = \left(\frac{2}{3}l + \frac{1}{2}l_1 \right) \frac{EI}{l^2} F_s$$

ただし、 EI は薄板の曲げ剛性

となる。したがって、

$$\delta_{sB} = 1.14 \times 10^{-2} F_s (\text{mm})$$

せん断力に対するばね定数は、

$$k_{sB} = 87.7 (\text{kg/mm})$$

主推力用フレキシャ

このフレキシャは 1 個であり、推力受けブロックに固定されたロードセルとエンジンのフォワード側アダプタとの間に固定される。

薄板の形状は

板厚: 25 mm

長さ: 645 mm (=l)

幅 : 300 mm

この場合にも板両端の回転が拘束されていると考えると, せん断力 $F_M(\text{kg})$ による変位 $\delta_{MB}(\text{mm})$ は,

$$\begin{aligned}\delta_{MB} &= \frac{1}{12} \frac{l^3}{EI} F_M \\ &= 2.9 \times 10^{-3} F_M (\text{mm})\end{aligned}$$

せん断力に対するばね定数は,

$$k_{MB} = 3.45 \times 10^2 (\text{kg/mm})$$

圧縮力に対するばね定数

ロードセル・フレキシャ系に圧縮力を加えたときの変位量を種々の条件で測定し, ばね定数を算出した.

CASE: 1

横推力用フレキシャ・ロードセル・フレキシャ単独での圧縮

ピッチ方向 $7.15 \times 10^3 \text{ kg/mm}$

ヨー 方向 $8.34 \times 10^3 \text{ kg/mm}$

CASE: 2

測定状態 (in-place) でおのおのの測定系に圧縮力を加えた場合

ピッチ方向 $5.3 \times 10^3 \text{ kg/mm}$

ヨー 方向 $9.1 \times 10^3 \text{ kg/mm}$

軸方向 $2.3 \times 10^4 \text{ kg/mm}$

CASE 3

フレキシャの薄板だけがひずむと考えた場合の計算値

ピッチ, ヨー方向 $5.7 \times 10^4 \text{ kg/mm}$

軸方向 $1.16 \times 10^5 \text{ kg/mm}$

CASE 2 では他のフレキシャのせん断剛性の影響が入ってはいるが, 実際の取付け状態でのばね定数をあらわすものであるから, 以後の検討はすべてこの値を用いることにする.

主推力に対する影響

エンジン燃焼中には内圧によって燃焼室が伸び, また推力による圧縮力が主推力測定系の長さを縮めるため, 横推力測定系の取付け位置が変化する. M-11 エンジンは内圧が作用する部分の長さは約 12 m, 計測された軸方向ひずみは平均 $1,200 \times 10^{-6}$ であった. したがって伸びは 14.4 mm, 一方推力 120 トンにより圧縮される量は 5.2 mm, この変位によって方向の横推力測定系に生ずる軸方向の力は,

$$(14.4 - 5.2) \times 2k_{SB} = 1.61 \times 10^3 \text{ kg}$$

これは真の推力に加算する方向に作用する。

横推力に対する影響

ピッチ方向の横推力 F_S が作用したときには、主推力フレキシヤの k_{MB} と、ヨー方向測定系の k_{SB} による拘束力が生じる。ヨー方向についても同様である。エンジンを剛体とみなしたときには、これらの拘束力によってみかけの横推力は、

ピッチ方向 11.7%
ヨー方向 6.4%

減少する。M-11 エンジンの撓性を考慮すると、みかけの減少量は

ピッチ方向 6.4%
ヨー方向 3.8%

となる。

推力の補正

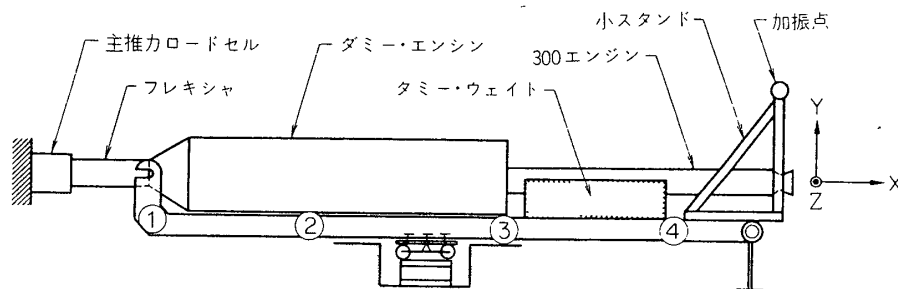
フレキシヤの影響は無視できないことが以上でわかった。ところでばね定数は CASE 1~3 でも明らかなように、取付け状態でかなりの変動があり、またせん断剛性は最も厳しい条件で求めたもので、実際にはかなり下回るものと思われる。したがって測定状態で測定系に既知の力を加え、フレキシヤの影響を加味した校正曲線をあらかじめ作ってしまい、数式による補正は最少限に止めることをしている。ただ、内圧によるエンジンの伸びはシュミレートできないので、主推力については若干の考慮が必要である。

5.3 振動特性

昭和 45 年 4 月に M-11-TVC 実験に先だちダミーウェイトと 300φ 小型モータをスタンドにのせて燃焼実験とともに振動特性試験を行なった。

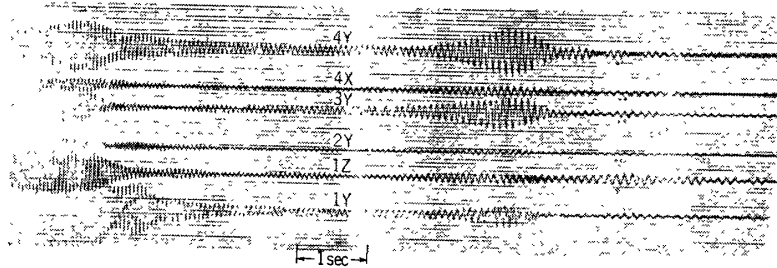
スタンド・ノズル側の端に超分巻誘導電動機 (0.11~2.2 kW, 回転数 150~3,000 rpm) を固定し、そのシャフトに約 0.4 kg の不平衡質量を取付けて起振源とした。第 14 図に示すようにスタンド各部に加速度計を取付け、振幅、位相を測定した。300φ エンジンは燃焼後の状態であり、重心は正確には支持点上にない。

共振点を大まかに把握するために加振用電動機を約 1,500 rpm にセットしたあと電源を

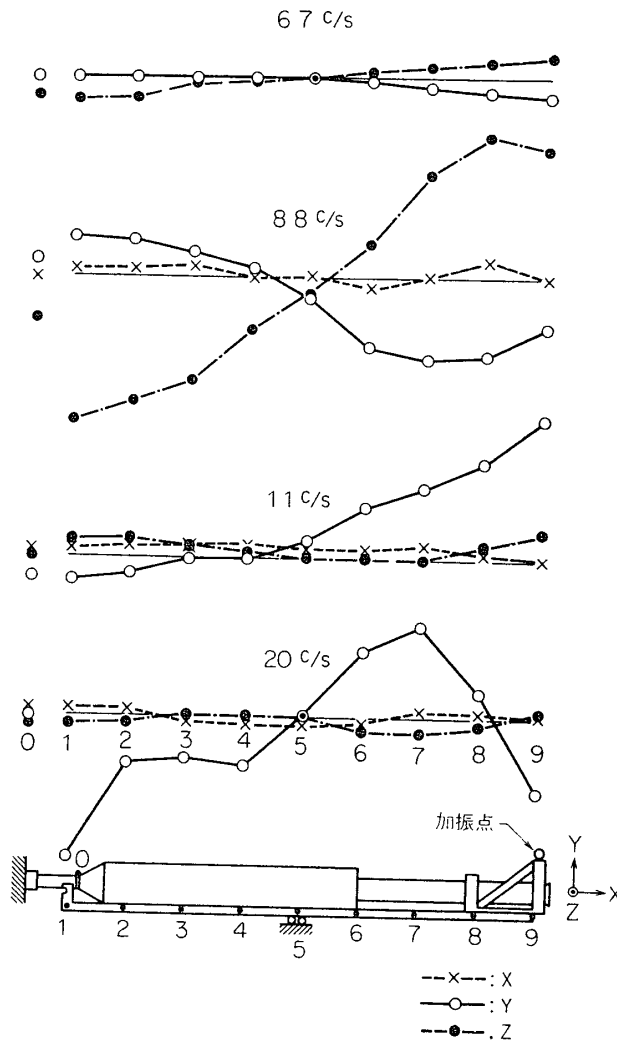


第 14 図 振動試験測定点

切り，自然に減速する間の各部加速度を測定した．第 15 図はその記録である．次に共振と思われるときの回転数に固定し，2G 加速度計でテストスタンド側面にそって 3 方向の加速度を測定，記録した．その結果から共振動数とモードを推定したのが第 16 図である．8.8 cps と 20 cps ではスタンドの変位に比べてエンジンの変位がきわめて小さく，これら二つの



第 15 図 周波数連続減少の外力に対する加速度応答



第 16 図 共振点におけるテストスタンド加速度

共振はスタンドに固有のものであることがわかる。6.7 cps, 11 cps のときにはエンジンとスタンドが一体で振動していると思われる。

X方向の共振は得られなかったが、減衰特性が大きいためと思われる。

動特性テスト、噴射テスト等のデータから基本となる振動と減衰率、振動倍率をまとめたのが第1表である。ただしスタンドのみの振動は除いた。

第1表 エンジン, スタンドの振動特性

振動モード	振動数 (cps)	減衰率	倍率
軸方向剛体	8.3	0.052	9.5
ピッチング	11	—	—
ヨーイング	6.7(16)	— (0.012)	— (42)

5.4 スタンド強度について

モータは補助ビームにワイヤで固縛され、モータ・ビーム系は重心支持台にて自由支持される。モータ主推力はスラスト受台、フレキシャ、ターンバックル、推力計を介してテストスタンドの推力受塔に伝えられる。横推力はフレキシャ、推力計を介して横推力用支持部に伝えられる。以下に各部強度を検討した結果を示す。

a) スタンド基礎

スタンド改造の際に主推力増強分、横推力の影響を検討した。(詳細は付録計算書参照)

b) 主推力計

検力計を使っての校正に際し安全性確認

c) ターンバックル

主推力に対し円筒部圧縮応力 4 kg/mm^2 , 150 トンまで圧縮載荷試験を行なった。

d) フレキシャ (主推力)

引張力の作用する薄板部応力 16 kg/mm^2 , 圧縮力の作用する周辺部応力 8.7 kg/mm^2 , 150 トンまでの圧縮載荷試験済。

e) 推力受台

200 トン圧縮載荷試験済。その後校正装置のため、 $200 \times 100 \text{ mm}$ の矩形穴2個をあけた。

f) フレキシャ, 推力計 (横推力用)

2個のフレキシャの間に推力計を挿入した測定状態での組合せで圧縮載荷試験 10 トンまで実施。

6. 謝 辞

以上10年に及ぶMロケットスタンドの歴史をふり返えるような記述になってしまったが、いろいろの都合でこれまでこれについては公刊されたものはほとんどない。したがってここに名を列らねた筆者達はたまたまこの時期にその記録をまとめる機会に出会っただけのものであって、過去に実際にこれらを計画されたり、設計、製作に参加された方々はたくさんい

られて、その苦勞が並々ならぬものであったことを記しておかなければならない。この記録をまとめるにあたっては、はじめからこれらの指導にあたってこられた森 大吉郎教授および秋葉助教授はじめ所内の方々、そして各設備施設の製作施工を担当された所外メーカの方々に直接間接にお世話になった。これらの方々に感謝すると同時に、資料の引用などで筆者らの誤りがあるかも知れないのでこの点御容赦願いたいと思う。

あ と が き

以上の設備を用いた実験は、Mロケットの1段目だけでも改造前にM-10を2機、改造後にM-11とM-12の2機、合計4機が行なわれている。この数字は地上燃焼実験の回数からいえば必ずしも多くはないが、KSCにおけるMロケットの発射回数に匹敵する数ではある。またNTCにおけるMロケット1段目の試験準備作業は重量物を取扱う危険な作業が伴い、この点では常にKSCに先だてて行なうNTCでの作業の方が経験的に未熟であるといえよう。

回を重ねるに従って施設・設備は少しずつ整備されてきたとはいえ、作業性・安全性の見地からいまだ不十分な点も多く残されており、作業に従事するオペレータの技術に依存する割合は非常に高い。このようなオペレータの頭脳と手腕に依存する現状は、新しい大型ロケットエンジンにふさわしくない前近代的なものであるというべきであり、新しい実験に対処する際に著しく作業能率が下がったり、不測の事故すら惹起するおそれがあると見なければならぬ。

この点から見ればこの設備全体についてはすでに機能的に一つの段階に達しており、今後は良好な状態を保つための点検整備の努力と安全性確保のための対策をおくればせながら傾けることが肝要であろう。

1972年6月10日 新設部(工学)

附録1 Mロケット地上燃焼実験設備関係のウインチおよびクレーン一覧

転倒ウインチ

巻上荷重	12 t
ロープ速度	7 m/min (フック速度 3.5 m/min)
巻取長さ	60 m
ロープ径	26 mmφ

組立塔 15 ton クレーン (一基)

揚程	12 m	横行電動機	1.7/2.0×2 kW
ロープ径	22.4 mmφ	巻上速度	4/4.8 m/min
巻上電動機	12/14 kW	横行速度	15/18 m/min

転倒装置 15 ton クレーン (二基)

揚程	7 m	巻上速度	2 m/min
ロープ径	22.4 mmφ	巻下 "	3 m/min
巻上電動機	12/14 kW		

パッケージ室 7.5 ton クレーン (二基)

揚程	8 m	横行電動機	1.7/2.0 kW
ロープ径	16 mm ϕ	巻上速度	5.4/6.5 m/min
巻上電動機	8/9.6 kW	横行 "	12/15 m/min

附 2 録増設基礎設計計算書

a) テストスタンド・ベース押えコンクリート

旧設基礎の重量は 215 トンである。摩擦力 R は次式により求める。

$$R = W \cdot \tan \varphi$$

ただし W は基礎重量, φ は標準貫入試験により 30° 。

したがって $R = 124$ ton.

安全係数は $124/120 = 1.03$ であり不安である。旧設基礎で最大推力 85 トンの実験が行なわれた実験より, 次の比例関係

$$\frac{\text{前回実験推力 (85 ton)}}{\text{改造前基礎重量 (215 ton)}} = \frac{\text{今回推力 (120 ton)}}{\text{改造前基礎重量 (215 ton) + 付加重量}}$$

が成り立つものとするれば, 付加重量 $W_a = 89$ ton となる。実際の基礎増設分の重量は 90 トンである。

b) ロケット支持台基礎

これに作用する重量は, ロケット重量 35 トン, ビーム重量 9 トン, 支持台重量 4.2 トン, 合計 48.2 トンであり, 基礎自身の重量は 28.3 トンである。3.17 m \times 3.8 m の矩形板であるから,

$$\text{地反力 } \sigma = \frac{76.5}{3.17 \times 3.8} = 6.35 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{許容地耐力 } \sigma_a = 8 \text{ ton/m}^2 \text{ (Terzaghi の公式安全係数 3 として)}$$

基礎板配筋を決定する際考慮すべき荷重は 48.2 ton で単位面積当りでは 4.0 ton/m^2 となる。

$$W_x = 4.0 \times 3.8 = 15.2 \text{ ton/m}$$

$$W_y = 4.0 \times 3.17 = 12.7 \text{ ton/m}$$

最大曲げモーメントは, 両端固定で集中力が中央に働く梁と考えると,

$$M_x = \frac{1}{12} \times 15.2 \times 3.17^2 = 12.7 \text{ ton-m}$$

$$M_y = \frac{1}{12} \times 12.7 \times 3.8^2 = 15.3 \text{ ton-m}$$

配筋面積

$$A_{sy} = \frac{12.7 \times 10^5}{1600 \times \frac{7}{8} \times 60} = 15.1 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx} = \frac{15.3 \times 10^5}{1600 \times \frac{7}{8} \times 60} = 18.2 \text{ cm}^2$$

これらに対応する量として A_{sy} については 10-19 ϕ で 28.4 cm², A_{sx} については 10-22 ϕ で 38.0 cm² である.

c) ピッチング計測用支持台基礎

荷重としては定盤等 1.0 トン, 横推力 5.6 トンとし, 合計 6.6 トンである.

曲げモーメントは最大 $M = 4.3 \text{ ton-m}$

$$\text{所要配筋量 } A_s = \frac{4.3 \times 10^6}{1600 \times \frac{7}{8} \times 33} = 9.6 \text{ cm}^2$$

実際の配筋は 15-13 ϕ で 19.9 cm².

d) ヨーイング計測用支持台基礎

荷重は塔下端より 1.6 m の位置に 5.6 トン作用し, 基礎自重は 31.3 トンである.

最大曲げモーメント $M = 5.6 \times 1.6 = 8.95 \text{ ton-m}$

$$\text{所要配筋量は } A_s = \frac{8.95 \times 10^5}{1600 \times \frac{5}{8} \times 90} = 7.1 \text{ cm}^2$$

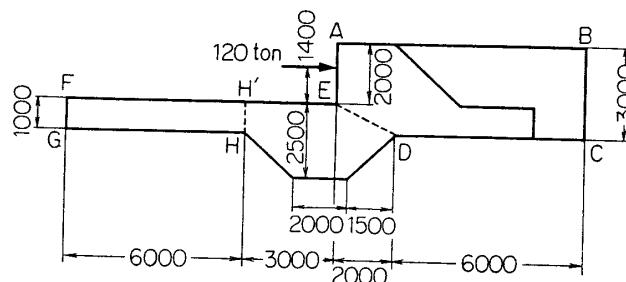
実際には 5-16 ϕ と 6-13 ϕ で 18.0 cm² である.

e) 基礎強度

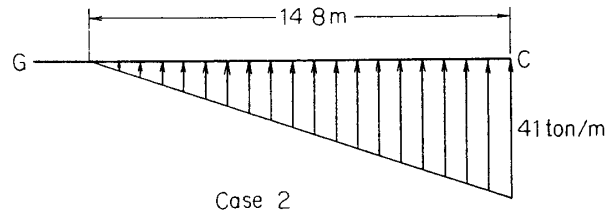
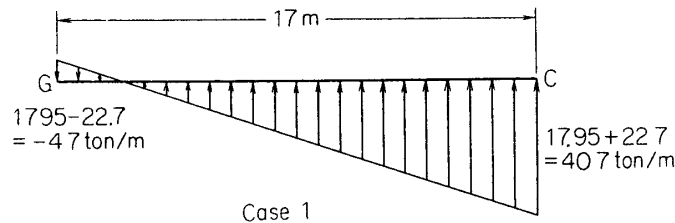
基礎およびベース押えブロックの重量は 30.5 ton である. 長さは 17 m であり, 重心は BC 端より 5.875 m, 平均単位長当たりの反力は 17.95 ton/m である. 中心点での転倒モーメントは

$$M = 120 \times 2.4 + 305 \times \left(\frac{17}{2} - 5.875 \right) = 1089 \text{ ton-m}$$

基礎は剛体と仮定し, このモーメントが中心からの距離に比例した大きさの反力と釣合うとすると, C 端, G 端での反力はそれぞれ 22.7 ton/m および -22.7 ton/m となる. 平均反力との単純な和は G 端で負となる (Case 1). 負の反力が働かない, つまり地盤は引張力に抗しないと仮定すると, このような場合には, 図のように C 端より 14.8 m の点と C との間に直線的な変化をする反力が生じ, C では 40.7 ton/m である (Case 2).



附図A

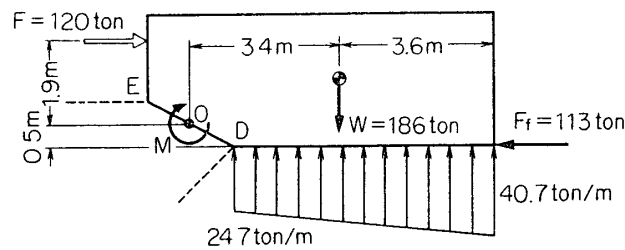


附図 B

E-D 断面での強度

反力は安全側をとって Case 1 とする, ABCDE の重量は 186 ton, 重心は C より 3.6 m のところにある. 反力の合計は 196 ton で, 摩擦力は, 摩擦角を 30° とすると, $196 \times \tan 30^\circ = 113 \text{ ton}$ である. DE の中点 O のまわりのモーメントは,

$$M = 120 \times 1.9 + 186 \times (7 - 3.6) - 148 \times 4 - 48 \times 5 + 113 \times 0.5 \\ = 104 \text{ ton-m}$$



ED 断面に働く引張力は水平方向に $12 - 113 = 7 \text{ ton}$, 鉛直方向に $196 - 186 = 10 \text{ ton}$ が作用し, 面に垂直方向にはこれらを合成して 12 ton が働く.

ED 間の距離を 2.2 m として E, D に働く集中力を求めると, E において 52.5 ton (引張), D において 40.5 ton (圧縮) となる. E に集中する鉄骨は, 鉛直方向に 182 cm^2 , 水平方向に 36 cm^2 , 45° 方向に 18 cm^2 の断面積をもったものである. ED が水平となす角を θ とすると, それらのうち O 回りのモーメントに寄与する成合は,

$$182 \cos \theta + 36 \sin \theta + 18(45^\circ - \theta) = 195(\text{cm}^2)$$

である. 許容応力を 18 kg/mm^2 とすると, 安全率は

$$\frac{195 \times 10^2 \times 18}{52.5 \times 10^3} = 6.69$$

HH' 断面での強度

安全側をとって反力は Case 2 とする。FGHH' の重量は 47 ton, 反力の合計は 20 ton, 摩擦力は 11.5 ton である。HH' の中点回りのモーメントは

$$M = 47 \times 3 - 20 \times \frac{3.8}{3} - 11.5 \times 0.5 = 109 \text{ ton-m}$$

上下面に 75×75×6 t アングル各 4 本が入っているとし、鉄-コンクリートの弾性率比 $n = 15$ とすると、コンクリートに換算した断面二次モーメント I_i は

$$I_i = \frac{3500 \times 1000^3}{12} + n \cdot 4(75+75) \times 6 \times 450^2$$

$$= 3.03 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\text{最大応力は } \sigma_{\max} = \frac{M \cdot 500}{I_i} = 0.18 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{鉄骨では } \sigma_s' = \frac{M \cdot 450}{I_i} \times n = 2.55 \text{ kg/mm}^2$$

引張力を考慮すると,

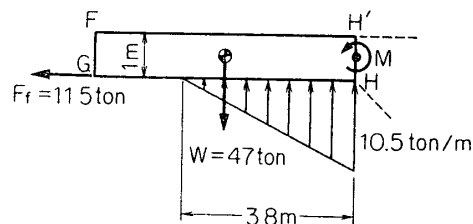
$$\sigma_s = \sigma_s' + \frac{11.5 \times 10^3}{8 \times (75+75) \times 6} = \sigma_s' + 1.60 = 4.15 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{安全率は } \sigma_{al}/\sigma_s = 18/4.15 = 4.3$$

ただし鉄材だけで耐えるモーメントは,

$$4 \times (75+75) \times 6 \times 900 \times \sigma_{al} = 58.3 \times 10^6 \text{ kgmm}$$

$$= 58.3 \text{ ton-m}$$



附図D

附録 3 M用ドーム仕様

1. 概要

この設備は 代実験場 (NTC) の整備塔及びテストスタンドに併設し、テストスタンドにセットされたロケットエンジンの保護、保温に用いる上屋及びその移動に必要な設備を含む。本設備は次の仕様を補足すること。

2. 仕様

(1) 設置場所は NTC のM整備塔及びテストスタンド付近である。

(2) このドームは次のような状態に応じて適宜移動できるものとする。

状態——(イ) 正常状態、エンジンを水平にセットして保護している状態。使用後はこの状態におく。

状態——(ロ) エンジンセット時、この時はロケットエンジンを倒して次の正常状態にするための動作でドームは海側に移動してエンジンを格納する。

状態——(ハ) エンジン燃焼中、エンジンノズル側を外に出すためドームを整備塔側に移動する。

- (3) ドームの幅は南北方向 7 m, 東西 2.0 m (上記状態一(イ)において) とし, その位置は別図中ハッチをした部分, また高さは有効 3 m 以上とする.
- (4) ドームの移動距離を少なくするためにドーム屋根は中央部で, まず半分開放できること. 又状態一(ハ)のために海側はシャッターにて開閉できること.
- (5) ドームの移動はレール式, 電動によって困難なく行なえること. また「移動中」は展示する適当な警報装置を設けること.
- (6) 保温についてのドーム内部構造はエンジンの保温が十分できるものとする.
- (7) 状態一(イ)においてレールとドームとの間は風雨等が吹き込まないように構造とする.
- (8) ドーム中央部屋根は 1 ton チェンブロックの操作ができるだけの強度をもたせること.
- (9) エンジンをセットした正常状態一(イ)において整備塔と連結して保温ができる構造とする. このために必要な改修工事を含む.
- (10) 同じく状態一(イ)において実験従事者が出入できる扉を南北に各つつ設けること.
- (11) 構造に支障のない程度において, 明り取りの窓を設けること. 窓の開閉は必要ない.
- (12) ドーム外部から内部への計測用リード線はドームの移動に妨げられないようレールの下を通る構造にすること. この位置は北側整備塔よりとする.

(整備塔側 1 か所)
(ノズル側 2 か所)

(13) 状態一(ハ)においてドームを確実に固定する装置を設けること. (風速 40 m/s で十分固定される構造とする.)

(14) 内部での作業の為に適当な電気照明を設けられること. 位置はドーム両側上部とノズル側上部.

附録 4 Mロケット地上燃焼装置 P.Y. 計測用改造概略見積仕様書

1. 概要

本仕様書は, M型ロケット 3/3 ブースタ地上燃焼装置を改造し主推力は無論の事. ピッチング及びヨーイングの重心回りに関するモーメントをも測定できるようにする工事の概略見積仕様書である.

2. 構成及び台数

3. 工事範囲

前記構成及び台数に示す諸機材及装置の設計, 製作, 輸送据付, 調整に関する一切を含むものとする.

4. 見積条件

4.1 供試体用ブースタの概要

a. 形式 M型ロケット第1段ブースタ (4セグメント)

b. ブースタ重量 (初期及後) 35 ton~8 ton

計測用機器 (増設)	計測用ビーム支持台	1 組
	補助ビーム改造	一式
	チャンバクランプ用バンド	4 組
	セグメント組立支台	1 組
	ブースタスラスト台 (芯出し用ジャッキ除く)	1 組
	ピッチングおよびヨーイング計測用基礎板 (芯出し用ジャッキ除く)	各 1 組
組立塔関係 (改造)	ウインチ用トラム改造	一式
	シーブおよびワイヤ	一式
	7, 8 階作業床新設	一式
	前面シャッタおよびシャッタカバー取替え	一式
	ブースタ用ドーム, 塔突合部改修	一式
	シーブ取付用鉄骨補強およびパネル改修	一式
基礎構造改造	前面鉄骨改造	一式
	計測用ビーム支持台基礎	一式
	ピッチングおよびヨーイング計測用基礎 土間復旧用 (手入れ) 工事	一式

附図 E

- c. 全長 (組立支台含め) 16,000 mm 以内
 d. 直径 (最大) 1,496 mm ϕ
 e. 主推力 (最大) 120 ton
 f. 横推力 (最大) ± 3.6 ton
 g. 上下推力 (最大) ± 3.6 ton

4.2 工事用電力は建設現場の近くで、有償御支給いただけるものとし、受注者は現場内メインスイッチ以降の配線及電気設備を施工し、電力を使用する。

4.3 工事用水は建設現場の近くで無償御支給いただけるものとします。

4.4 仮設敷地は建設現場の敷地を無償で貸与されるものとします。

5. 納入

- 5.1 据付場所 秋田県
 5.2 完成期日 昭和 43 年 月 末日
 5.3 納入状態 検査合格後、補助ビーム直立で長期保存姿勢

6. 提出図書及び部数

- 6.1 工程表 契約時 3 部
 6.2 承認申請図 (計画図にて) 設計後直ちに 3 部
 6.3 検査計画図 検査施行 3 週間前 3 部
 6.4 検査成績書 検査合格後直ちに 3 部
 6.5 取扱説明書 (組立図一式含む) 納入時 4 部

7. 保証

現地据付検査合格後、一か年以内に発生した製作者の責任による欠陥が発見された場合、又は故障を生じた場合、遅滞なく製作者の責任において無償で修理を行なうか又は代品を納入する。但し、旧設備における欠陥、故障に依る場合は保証外とする。又、燃焼試験毎の整備、消耗品の取扱いは別途協議の上決定する事とする。なお燃焼試験時の予想外の事象が発生した場合は保証義務を免れることがある。

8. よるべき法規、現格

8.1 日本工業規格

8.2 労働安全衛生規則

9. 構造

9.1 計測用機 (増設)

a. 計測用ビーム支する台

ブースタを乗せたビームを重心点回りで支持し、4本の手動ジャッキで上下に作動する事ができる。ビームは微小角ながら支持垂直線回りにほぼ水平面で回転可能であり、かつロケット軸心を含む垂直平面でも上下に支持点を中心として揺動も可能である。これらの微小回転・揺動中心は、ブースタの推力方向にはビームとともに ± 10 mm 程度移動可能であり、いづれの運動にもマサツ抵抗を少なくする様にコロ軸受を使用する。

b. 補助ビーム (改造)

従来のビームをできるだけ有動に利用する事とし、ブースタの接手に対応してブースタ重量受け台、計測用ビーム支持台との結合用フランジ及ボルト、それに両側にはり出して使用するシーブ金具、等を現地熔接を主体として組つける。また計測用ビーム支持回りは部分的に補強する要領とし、支持点回りの剛性を上げる。

c. ブースタクランプ用バンド

ブースタを強固に補助ビームにクランプする為4組のバンドを製作する。バンド内側はゴムライニングしブースタの変形に対する考慮をした。

d. セグメント組立支台

各セグメントを組立て最終上段のノズル組立を現在の施設内で行なう場合には一定の限度がある。1セグメントを延長した結果この長さの調節は新設したセグメント組立支台で行なった。従って、従来のセグメント組立支台より 600~700 mm 程度短かくする。

e. ブースタスラスト台

受注者が手配する(タワミ接手に合せた)スラスト台を新設する。形状その他は従来のそれに習ったものとする。

f. ピッチング計測用基礎板

ブースタノズル真下にピットを設け、そのピット内に計測器据付用定盤を強固なアンカボルトにより据付ける。なを定盤の大いさは $600^D \times 100^H$ mm.

g. ヨーイング計測用基礎板

ブースタノズル真填に設けられた鉄筋コンクリートに計測器据付用定盤を強固にアンカボルトを介して垂直に据付ける。また前記したピッチング計測用及び本項の基礎板ともに、ブースタのサイドフォースの反力に充分耐えるものとする。なを定盤の大いさは $600^D \times 100^H$ mm とする。

9.2 組立塔関係 (改造)

a. ウィンチドラム改造

補助ビーム操作用ウィンチはブースタの重量、長さ(重心位置の端からの大いさ)ともに大きくなり、これが為ウィンチの定格をこえた捜作力を必要とするので、シーブ・ワイ

ワイヤ系で倍力標指をさせて、ウ・ンチへの負荷を少なくする要領を採用し、その為ワイヤ巻き込み量を大きくせざるを得ない。従って、トーラム両端にワイヤ用のフランジをつけたものに改造する。

b. シープ・ワイヤ

前項のウィンチに対して、シープ・ワイヤともに新設する。シープ系は、移動側をビーム先端に、固定側は塔 9 階の従来付近の左右に分割する。ワイヤはロケットチャンバーの両側に分けられてシープに対応する要領とした移動シープは従ってノズルを真中にはさんで両側に配置され形となる。

c. 7, 8 階作業床

セグメント延長したブースタを組立る為に 7, 8 階に作業床を作る。作業床はセグメント入り込み用に跳ね上げ（手動式）可能とし、組立ったブースタを水平にする方向にも跳ね上げ床を設ける。その他の箇所は固定形とする。

d. 前面シャッター及シャッターカバ取換

補助ビームを操作するシープワイヤ系がロケットを真中にはさみ両側に分割して配置されたので、従来の正味内幅 1, 600 mm では構造的に無理である為、これを 2, 200 mm 程度に延長したものを考慮し、シャッターを外側に設け、それと同時にシャッターカバも新しいものにする。

e. ブースタ用ドーム、塔突合せ部改修

前項改造により、ブースタ用ドームを組立塔に突合せる部分の雨じまい部を改造する。

f. シープ取付用鉄骨補強及パネル改修

9. 2. b 項に記した如く補助ビーム用のシープ固定側改造にともなって、これらシープ用鉄骨は当然改造せねばならない。それと合せて塔のこの回りにある側壁用パネルも改修する。

g. 前面鉄骨改造及パネル改修

6, 7, 8 階の前面鉄骨を合計内幅 1, 200 にする様改造し、所定の強度を保持する様に改造し、それに合せてパネルも改修する。

9. 3 基礎構造改修

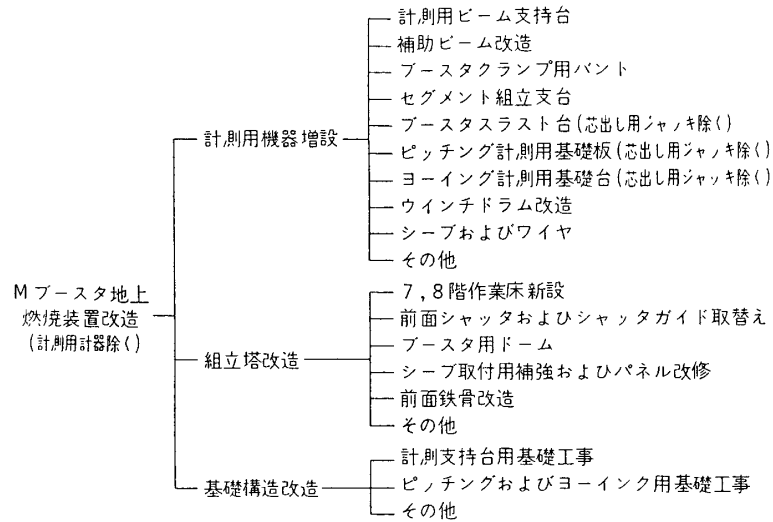
a. 計測用ビーム支持台基礎

補助ビーム・ブースタ全重量をうけて、これを支持する鉄筋コンクリート長のピットを設ける。支持台のジャッキ等を点検する為の階段を作る（但し内部の照明は工事として除く）。

b. ピッチング及ヨーイング計測用基礎

ブースタのサイドフォースに対してピッチング・ヨーイング方向の基礎と各々独立して設ける。ピッチング用のピットは深さ約 1 m の所に定質を設ける。ヨーイング用は GL. 1. 3 cm のブースタセンタに合せて垂直に定質を取付けられる様片もち状の強固な鉄筋コンクリートを地上から突出させる形状とし、ブースタ軸中心より約 2 m 位離して設置する。

c. 土間復旧工事



附図 F

各種基礎工事施工の後土間を手入れする。

附録 5 M型ロケット転倒装置 1 式仕様書

1. 概要

M型ロケットエンジン整備，検査および運搬の際の必要とするもので，懸垂型ホイスト 2 基を門型支持台上に吊下げ，上下動操作をすることにより M 型ロケットエンジンの転倒をおこなうもので，別紙図面および下記要項により製造すること。

2. 機器の構成

- | | |
|------------------------|-----|
| (1) 懸垂型ホイスト | 2 台 |
| (2) 同上支持用門型台 | 1 式 |
| (3) エンジン (セグメント) 移動用台車 | 1 台 |

3. 機器の仕様

- (1) 懸垂型ホイスト 押釦，電動式

- | | |
|-----------------|--------|
| イ) 揚量 | 15 ton |
| ロ) 揚程 (有効) | 7 m 以上 |
| ハ) 巻上速度 | 3 m/分 |
| ニ) 巻下速度 | 3 m/分 |
| ホ) ホホイスト間隔 (定固) | 3 m |

- (2) 同上支持用門型台 レール上を移動，芯を 6 m

- | | |
|-----------|---------------------|
| イ) 寸法，形状 | |
| ロ) 減速モーター | 防爆型，2 基付 |
| ハ) 走行速度 | 5 m/分 走行中ガタを生じないこと。 |

- (3) エンジン (セグメント) 移動用台車 レール上を移動

- | | |
|----------|---|
| イ) 寸法，形状 | 2,500 ^W m/m × 1,700 ^D m/m (レール間隔は，芯間 1,200 m/m) 500 |
|----------|---|

m/m^H

- ロ) 積載重量 12 ton に耐えること
 - ハ) 手押式
4. 駆動用電源は、整備塔内から分岐し、ウインチ小屋北東端に立上り、門型台車等に供給する、なお配管、配線は埋設式とし、必要諸材料は本製造範囲に含める。
 5. M型ロケット転倒装置用ホイスが風雨等能代ロケット実験場における可酷な気象条件に耐えるよう保護設備をもつこと。
 6. 転倒装置の走行中および停止線等作業上の保安を考慮して安全装置をとりもつこと。
 7. 塗装は錆止とも3回塗とし、色は別途決定する。
 8. 検査
検査は、本仕様書、図面にもとづき外観検査、性能検査をおこなう。
 9. 保証
完成引渡後1年以内に発生する請負者の責に帰すべき原因の故障等についてはすみやかに修理をおこなう。
- 一般事項
1. 設置場所
秋田県能代市大字浅内字下西山 1-1
東京大学能代ロケット実験場
パッケージ室（三角小屋）の山側
 2. 完成期限
昭和46年12月25日とする。
 3. 提出書類
製作承認図面 3部
工程表 “
部検査成績書 “
 4. 本仕様書に定めない細部事項でこれを定める必要がある場合は、協議して定めるものとする。
 5. 支払条件
請負代金は、検査完了後1ヶ月以内に東京大学事務局経理部より1回に支払うものとする。
 6. 請負者は、文部省の定めた製造請負契約基準を確守すること。