

M型ロケット発射装置

森 大吉郎・橋元 保雄・中田 篤
上杉 邦憲・西田 稔夫*・福沢 清**

(1983年11月22日受理)

Mu Rocket Assembly and Launch System

By

Daikichiro MORI, Yasuo HASHIMOTO, Atsushi NAKADA,
Kuninori UESUGI, Toshio NISHIDA and Kiyoshi FUKUZAWA

Abstract: Mu rocket assembly and launch system was renewed on the same place where the former one had stood on. After breaking down of the former one, the foundation work started on April 1981, and all of the construction finished on August 1982.

This system consists of a rocket assembly tower and a launcher. The assembly tower is a steel-framed truss structure building which has 11 floors and contains cranes, big doors, and movable floors necessary to bring in, assemble, and check out the Mu rocket. This tower is 43 m high, 18 m wide, 13 m deep, and 700 ton in weight. The launcher is 300 ton in weight and made up of a boom structure and guide rails on which a rocket slides away. This launcher can revolve by bogies on a circular rail from the assembly tower toward the launching point. A flame deflector cooled by water is automatically installed to the launcher during its revolution.

On February 20 1983, M-3S-3 rocket was successfully launched as the first satellite launch using this system.

* 三菱重工(株)神戸造船所

** 三菱重工(株)高砂研究所

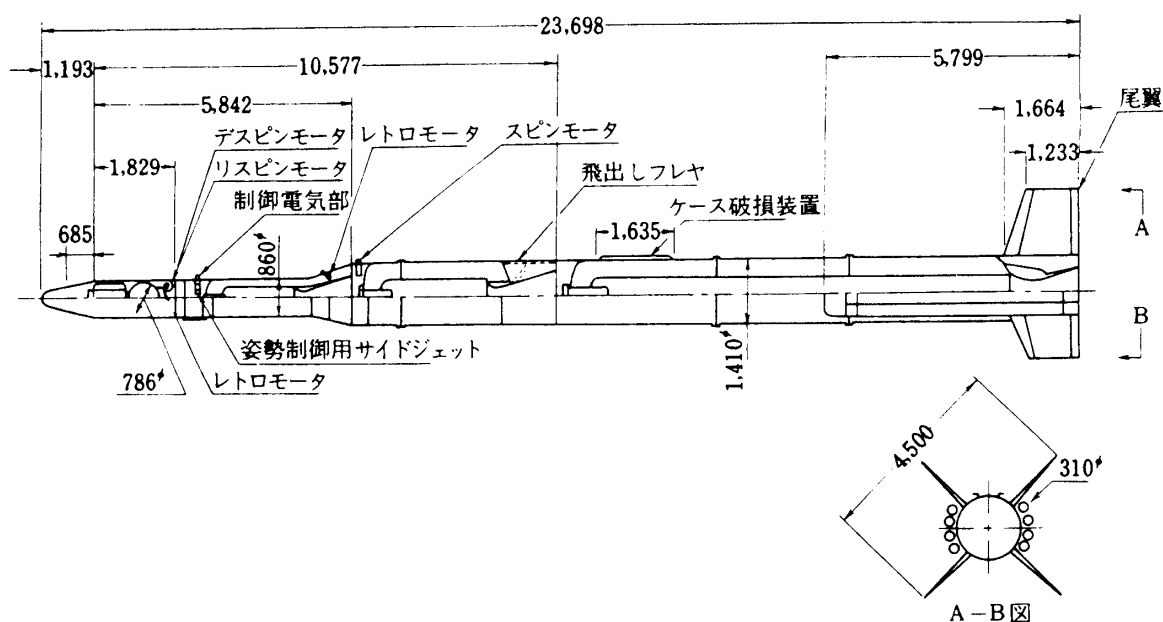
I. 基本構想(計画)

1. 旧発射装置の特色と運用経過[3]

旧型のM型ロケット発射装置は昭和38年から計画され41年に完成し、同年のM-1型飛しょう実験から使用され始めた。

計画時の基本仕様は次の如くである。

① ロケットとしてはM型ロケットを対象とする。M型は4種類のモデルチェンジが計画されていたが、最初の4S型の概要は第1図に示すように、直径1.4m、長さ23.8m、重量49.5tonであり、発射時の全推力は200tonである。そして4シリーズを通じて最大の寸度は上記の範囲内であった。



第1図 M-4S-4 概要図

② ガイドレール吊下げでの斜め発射方式で、上下角は $65^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 、方位角は $85^{\circ} \sim 153^{\circ}$ の範囲内である。

③ 動力源は油圧を主体とする。

④ ロケットの組立と整備にも発射装置を用いる。発射装置の具体的な構想を練るに際しては、海外の発射装置の調査も行った。特に米国のスカウトロケット(直径1.14m、重量21.6ton、固体燃料4段式)用ランチャ2種類を参考とした。

この当時われわれは既にカップおよびラムダランチャを設計・製作し実用していたが、傑作の評が高いラムダランチャを生んだ浦賀重工(現在の住友重機(株))の設計陣と、M型ロケットについてチャンバとランチャの両面の技術開発に意欲を燃やす三菱重工(株)神戸造船所の設計陣との協力を得て構想を練って来た[2][3]。

ここで決めた基本案は

- (1) 整備塔を設け、その中にランチャを据え、ロケットの全段組立はこの塔内ランチャ上で垂直状態にて行う。
- (2) 整備塔は旋回式とする。発射時にはランチャは塔外へせり出し、上下角の設定はウインチシステムによる。
- (3) ロケットの噴出ガスは、地表面に設けた火焰偏向板により処理し、カップやラムダの際に設置した火焰壕は作らない。

システムとしての特色はランチャを整備塔内に格納してあり、発射時にはランチャをせり出し、かつ上下角をとる点と、整備塔が旋回式である点にある。この構成は我国独特のユニークなシステムであり、NASAのフレッチャー元長官も視察後に欧米にないユニークなものであると評価していた。

41年に完成し、M-4S型を発射した後に、M-3C型で飛行制御装置がロケットに装備されたのに対応して、増大したケーブル配管類のための揺動ビームを付加した。更に3H型では第1段モータが増強され全長が長くなった。これは最初の仕様からはかなり大きくずれたものになっている。発射時推力が200 tonから240 tonに増大したことは、やはり整備塔にとっては少なからず無理が来たようで、この時から毎回の傷みがひどくなり、加えて経年劣化が進む部品要素数の増大と相俟って寿命を早めたと思われる。ともあれ10年の予定であったのが17年の長きに亘って使命を果し、合計15機の打上げを滞りなく果すことができた。

この間に経験した点としては下記があげられる。

- (1) 計画や設計に推定したメリットとデメリットは概ね実施において予測通りであった。
- (2) M-3Hより第1段のモータの推力の増大と火焰温度上昇とにより発射時の塔へのダメージが大きくなった。
- (3) 制御機器と衛星の高度化と複雑化に対応して作業性が悪くなって来た。
- (4) 塔の耐候性(風・雨・気温)が充分でない。

2. 新発射装置の基本構想

(1) 基本構想の前提

前述のように旧発射装置が齢17年を暦し、漸く電子油圧機器と可動機械部分に劣化と時代遅れが顕在化したことに加えて、ロケットと衛星の高度化(1段性能増、作業スペース、制御機器、衛星の大型化と高度化)と、保安性の増大との要因が重なり、もはや改修による対応も限界に達したので、その更新を計画しはじめた。

更新計画の推進手順としては、昭和54年から当事者で方策を練るとともに、所内に更新検討委員会を設けて構想の検討を行い、実験各班からの要望をアンケートを用いるなどして吸収することに努め、まず基本構想の確立を図った。構想の大前提としては、旧発射装置においてその有効性が確認された「整備塔でのロケットの垂直組立ておよびランチング・レールを用いた斜め発射方式」は根本方針として不変とすることとした。この方針のもとに、旧装置の経験を取り入れて昭和54年秋に練り上げた基本方針は下記の如くである。

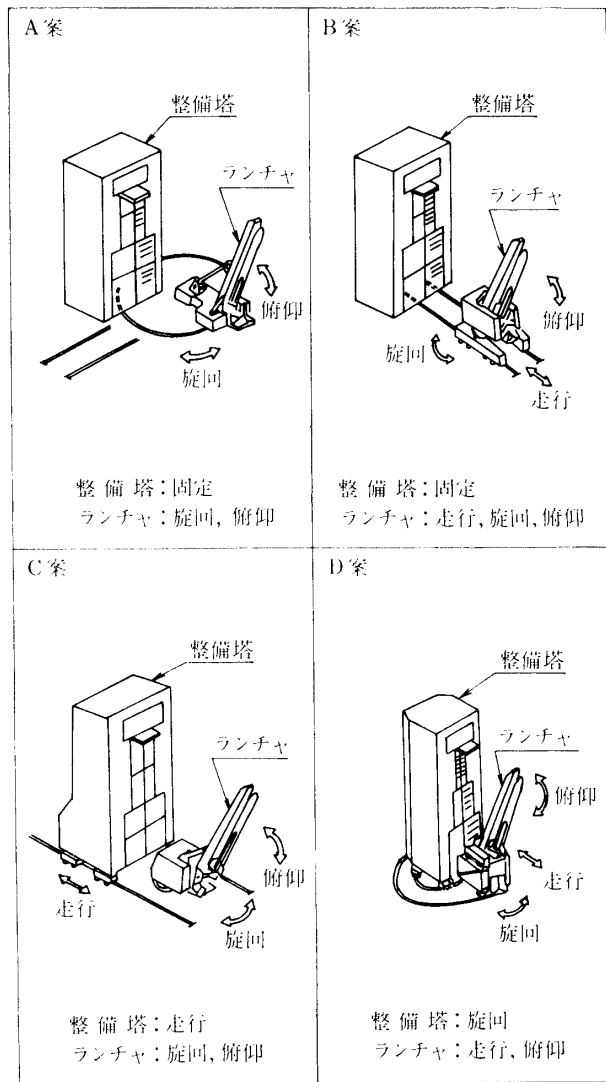
- ① 新発射装置はM台地の旧装置を撤去した跡地に建設する。
- ② 吊下式ランチング・レール斜め発射方式は経験が深く、発射保安の観点から極めて有効であるのでこれを踏襲する。
- ③ 整備塔は固定とし、床面積を大きくとる。発射姿勢のランチャと塔との間隔は、発射時の火焰等による被害を少なくするよう充分に広くとる。
- ④ M-3S-I, II, III型に用いる。

この間には、垂直発射方式、崖斜面の中途に設けた準サイロランチング方式、さらには海上プラットフォーム方式等の提案があり、比較検討を行った。

(2) 第1次検討

上述の基本方針の下に予備的検討として第2図に示す数種の案を考えて、比較検討をやや詳細に行った。整備塔移動型も検討の対象に加えてある。

第2図の4案について比較の概要を示すと下記の如くである。



第2図 ランチャ様式の比較

- A案：整備塔固定でランチャが旋回する。スペースが広くとれる。旋回・俯仰機能をランチャに付与するのみでよい。ロケット吊込・組立と整備塔出入扉に難点がある。ケーブル処理は旧型より良い。
- B案：整備塔固定でランチャは走行・旋回・俯仰の機能を持つ。相互距離はとりやすい。ランチャの機能が複雑で、作業時間が多い。ケーブル処理が複雑。
- C案：ランチャ旋回、整備塔走行。整備塔の機能が複雑で移動式大構造物となる。相互間隔はとり易い。ソーデルタ・N・アリアン等この形式が多い。
- D案：旧発射装置の型式、整備塔旋回型。実績があるが、相互距離がとり難い。塔が複雑で高い剛性を必要とする。改造発展が難しい。

これらの案について優劣の検討を行うとともに、実験各班からの要望を吸収することを目的としたアンケート調査、検討会議、現地打合せ会等が精力的に行われた。

またA案等については更につっ込んだ修正や設計の検討が行われたが、それについては後述する。これらの計画の進行にあたっては適時に検討委員会を開催して意見の集約と方針の決定を行った。

(3) 第2次検討と担当会社の選定

1次案検討で凡その概念を掴んだ上で、仕様を固め、数社に対して見積設計を打診した。3社がこれに応じて案を提出して来た。

第3図はその1例で、5角柱型の整備塔の一角に旋回ポストを据えて、ロケットを積んだランチャをこのポスト回りに旋回させる。ランチャブーム系の俯仰角反力と横荷重等はこの旋回ポストで支持される。各階にはランチャ出しのためにスイング式扉を設ける。創意が溢れたユニークな設計であるが、発射姿勢とロケットとの塔の相互距離、塔の振りと曲げ剛性、作業床の有効度、ケーブル処理等の点で設計上難しい点が発生している。

第4図は前述のA案を発展させたもので、整備塔固定・ランチャ旋回型で、旋回のアームを長くにとって発射時の相対距離を充分にとる工夫をしている。

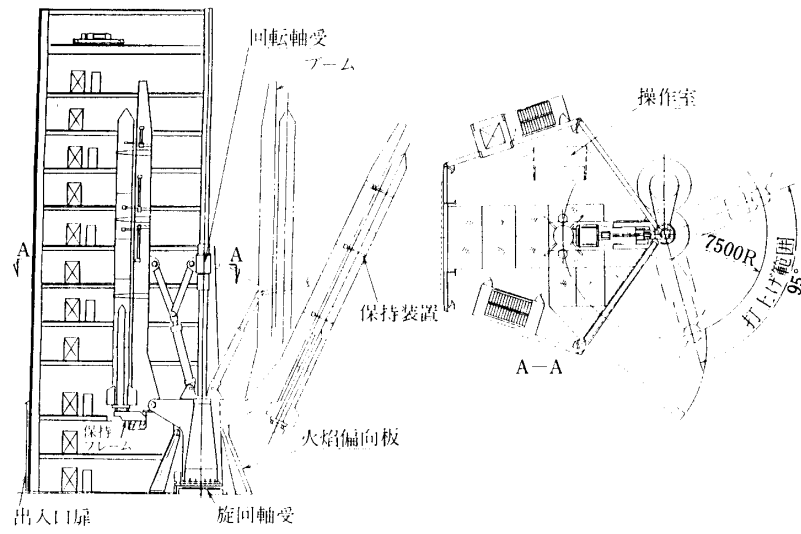
慎重な検討の結果、第4図を提案した三菱重工(株)神戸造船所を担当会社として選定した。

(4) 最終案の策定

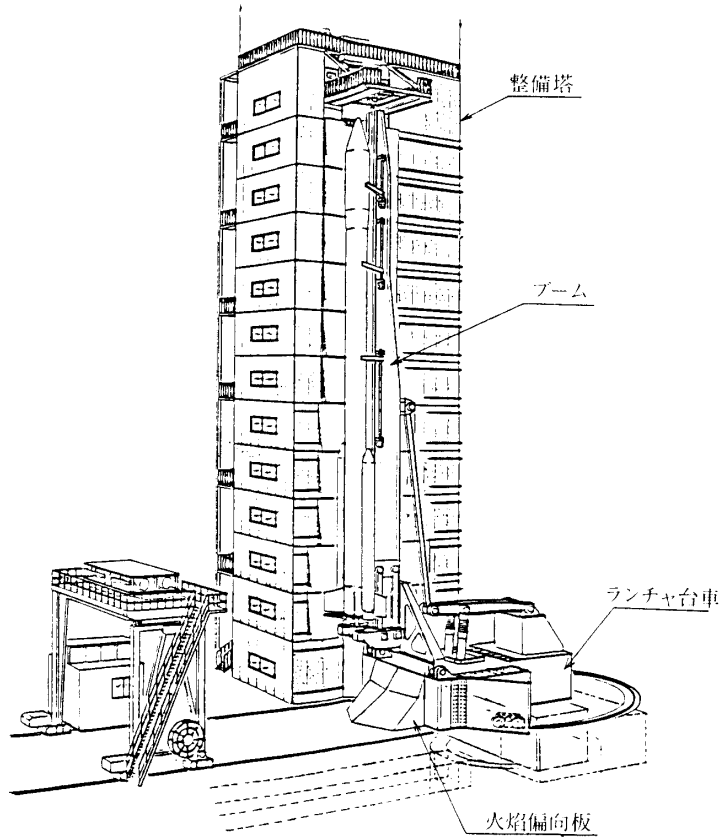
以上の経緯で、第3図あるいは第4図等の各種の具体案について基本方針を踏まえて、案の決定と担当会社の選定が行われてきた。

その結果第2図A案を当面の候補とした。しかしこのA案から現実の最終案を練り上げるまでには筆者等において改めて思い切った検討と、これと並んで各方面よりの貴重な意見を併せて、最適解を求める努力を積重ねた。以下にその主要点を述べる。このような比較的大きな(価格約24億円)大型構造システムについて、如何にして設計等が決してゆくかを示す参考例として報告の意義があると思うからである。A-1からA-3に至るプロセスを吟味する。

- ① ランチャの旋回によって発射時のランチャと塔との相対距離を確保すること、および整備塔を固定式にするという方針は妥当であるので、これを堅持する。
- ② ロケットの整備塔への吊込と組立作業は、連搬台車、転倒台車、門型クレーン、塔



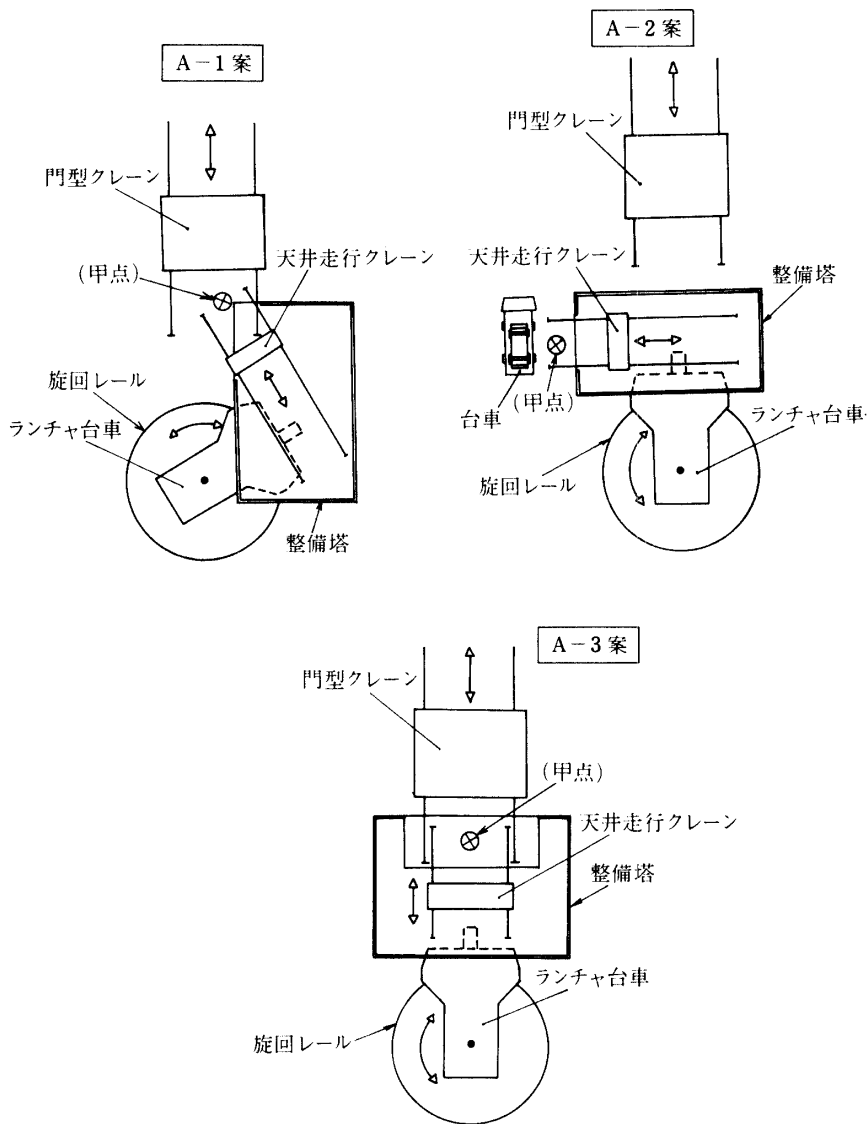
第3図 基本構想図



第4図 基本構想図

天井クレーン、塔の床、扉、ランチャなどの「大道具」の使い方についてのシステムオペレーションの課題となるが、A-1案のままでは手順が悪くかつ作業スペースが狭いので是非とも改善の必要が望ましい(林紀幸技官指摘)。またA-1案では整備塔内の作業用床面積が狭いので塔の大型化が改善の重要事項である。

③ 上記⑥の観点から、A-1からA-2となり図の甲点で吊込を行うよう提案があったが(第5図参照)、依然として甲点における作業の集中度が高いこと(上杉)、およびロケットの運搬と吊込には台車等を用いるよりも門型クレーンが格段に安定で能率的である(林技官)との指摘を受けて、塔位置を正面に据えてA-3の形を決定した。この際また塔の床面積を思い切って広くとることを総価格とのかね合いを考えながら断行した。門型クレーンを活用する観点と甲点の対策とから、ロケットの吊込は塔の裏正面(山側)で



第5図 最終案に至る経過

行うこととした。

- ④ 上記③の方針変更によりロケットの操作は効率的になったがそのしわよせは塔の構造設計にきた。すなわち塔は正面南コーナに2階から10階までのランチャ出しのための切欠を、また裏正面に6階から11階までのロケット吊込用切欠を設けることになった。これが塔の剛性、耐風強度、耐震特性に大きな影響をもつことは自明である。
- ⑤ ロケット吊込作業は風雨の中でも安心して作業できることが望ましい（森・橋元）との考えにより、塔の裏正面に特に6階から11階に至る吊込胴を設けた。
- ⑥ 付帯した大道具である門型クレーンはロケットの頭胴部が4mも延伸するのに対応して、新たにクレーン吊代12mの新型を設計することになった。そしてM組立室の天井かさ上げ工事の工期の関連と上記の全天候型への配慮とから、屋根および側壁を設けた全天候型として斬新なものを設計することとなった（森）。
- ⑦ 頭胴部と衛星の組付を最も効果的に行うために6～8階は吹抜けとし、昇降式大床を設けた。また6～8階吹抜けのクリーンブースを側室として特設し、塔内にて緊急の頭胴部分解点検の事態に備えることとした（橋元）。
- ⑧ 推進剤系作業中の緊急脱出用として4、6、8階に非常脱出用シュートを設置した（秋葉教授）。
- ⑨ 4階の運転室は視界を確保することと、塔に意匠的なアクセントをつける目的で、張出しとした（森・池田技官）。
- ⑩ 旧整備塔の外装には、波形鋼板を用いていたが、コーナ部が塩害による腐蝕する経験から、新整備塔には軽量コンクリート材を使用した（橋元）。
- ⑪ 吊込作業の円滑化のため、吊込クレーン設備は二方向移動式とした（橋元・中田）。
- ⑫ 塔内での作業者の安全を図るため、可動部は色別し、またランチャ等大型可動物の動きには種々の警報器を設けた（中田）。

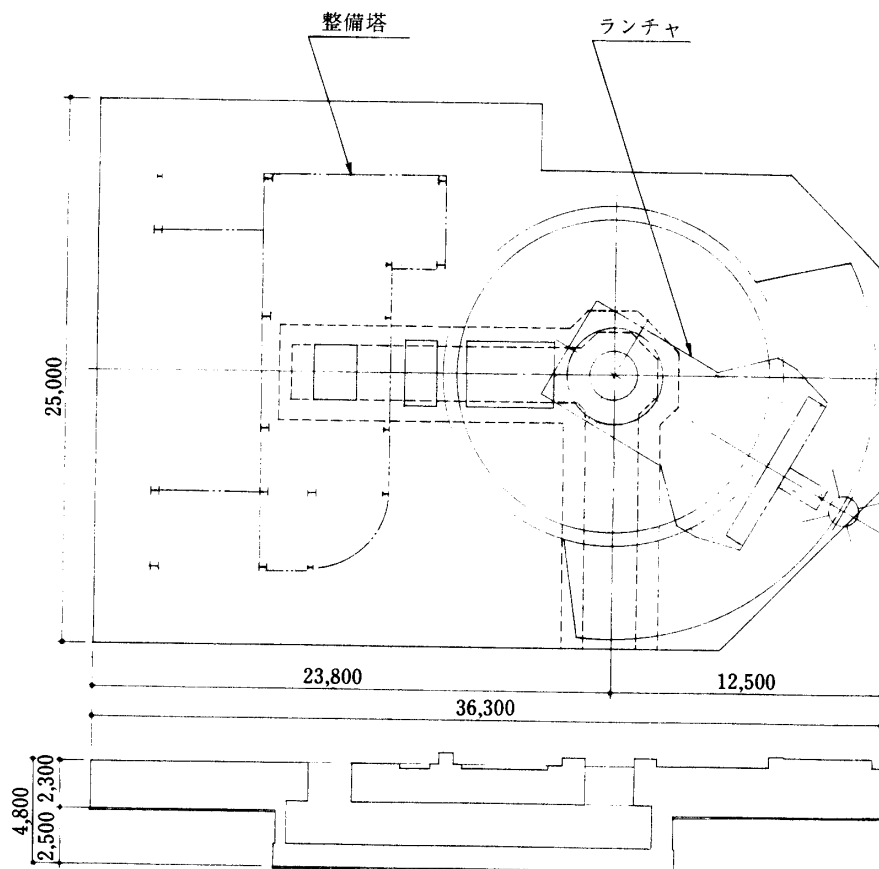
新発射整備塔の基本構想と周辺条件については以上の如くであり、これを踏まえて本体の詳細設計が行なわれたが、それは主として橋元を中心として三菱神戸の設計グループ（西田主任他）とで綿密に練られた。その概要は第3節に述べる。

以上が主として所のメンバーあるいは検討委員会が種々の注文をつけた内容であるが、担当会社として三菱重工(株)神戸造船所ではこれらの注文について具体化をそれぞれ吟味するとともに、次に述べる様な様々の深い配慮と決断を行っている。

① 基礎：旧整備塔が隣接地盤の沈下に悩まされた経験および、新発射装置は整備塔とランチャは別棟であるが、その間の相互精度が高くかつ不変であることが最も肝要であるという観点から、思い切って第6図に示すように整備塔とランチャを一体とした大基礎を構築することとし、これは鉄筋コンクリート約5000tonを入れた大工事となった。

② 塔構造：前述のように切欠きの多い構造の強度、耐震強度、耐風強度、振り剛性等については会社においてはそれなりの技術ポテンシャルを持っているが、加えて模型実験、数値解析、実物テスト等を重ね構造のインテグリティの確保に努めた。

③ ランチャ出入扉：整備塔東南角はランチャブームとロケットが旋回しながら出入りするもので、2階から10階まで切欠かれている。この空間に閉扉を設ける必要があるが、雨



第6図 ランチャ整備塔基礎図

仕舞と空調特性を旧整備塔より格段に向上させる目的から思い切って高さ 35 m、幅 7 m の画期的な大扉を設計した。そして製作担当は水門と車輦についての経験の深い日本車輛(株)となった。このような高さの 1 枚扉は国内ではあまり例がない。

④ 昇降床：かねてから外国および N の昇降床を例として検討を行っていたが、これに加えて可動部の点で創意ある設計を織込むこととした。

⑤ ケーブル処理設備：ケーブルの断線には悩まされたので、今回は旋回の動きに対応して、断線をしないよう万全の設計を施すこととした。

これらを可能ならしめたのはもちろん旧整備塔についての経験、約 17 年間に亘って発射作業と逐次の改修作業を一貫としたチームを維持して担当してきたこと、および新整備塔へのアイデア等織込みへの積極性とであろう。

なお、推進にあたっては小野部長、神戸次長の指揮の下に設計は西田主任をチーフとして作業が進められた。

II 計画ならびに詳細設計

1. 詳細設計

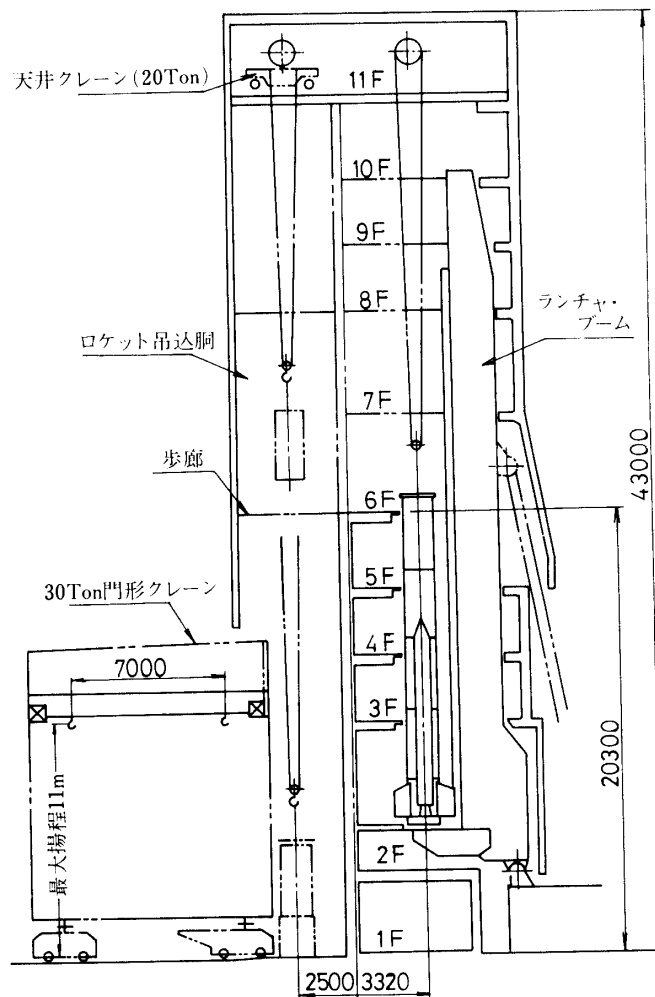
(1) 基本構想の具体化

前節で述べたように基本構想の具体化にあつては、構想がユニークであるだけにかかなりの難点があつた。

以下にその主なものを列記する。

- ① ロケットの吊込み口と、ランチャの出入口が山側と海側の反対位置にあるため、塔各段にわたり外面の切欠、大きな可動式の扉および多数の可動床を設ける必要がある。
- ② 塔の中央の前後面に大きな開放部を設けるため、塔の大梁等主要構造メンバーの連続性が不足し、構造として十分な強度、剛性を確保するために苦心を要する。
- ③ 可動式の扉および床等複雑なものを必要以上に多数装備することはオペレーションにおける所要時間が長くなること、発射装置全体の信頼性を下げること、また安全性の向上という観点から避けるべきである。

そこで作業を安全に能率良く行うためにロケット、ランチャの両班を中心として具体的な検討を行った。



第7図 ロケットの吊込

一例として、新発射装置の平面レイアウトを旧発射装置の直下の建設予定地面に実寸大に作図し、M台地周辺部の環境、塔内レイアウトおよびランチャとの関連等を皆で吟味した。特に塔内レイアウトについては、各段におけるロケットの吊込経路、組立作業スペースおよびランチャ出入り関連スペース、可動床・扉等の有効開口寸法について、ロケット機材・人員の動線を吟味しつつ具体的な意見の交換がなされた。

- ① ロケットの吊込は、第7図に示すように整備塔の6階より行うこととする。これにより塔のロケット吊込み側6階までは閉鎖断面でよいことにより、塔の剛性確保上有効な構造となる。一旦6階まで吊上げ2階のランチャ支持台まで吊降することになるが、所要時間の短縮をはかるため天井走行クレーンの昇降速度を増大させた(10 m/分、旧型の約2倍)。
- ② ロケットの吊上げ相当部には、吊込専用の十分大きな(平面寸法5 m×5 m)吊込胴部を設ける。これにより30 ton新門型クレーンとの組み合わせで、雨天、強風下においても吊込み作業が可能となる。
- ③ 吊込み側(ロケット吊込扉)およびランチャ出入用扉等は一体型(一枚物)扉とし、分割型などによる複雑化を無くし、またランチャ出入用扉には一部作業床を装備し、可動床部を少なくする。
- ④ 塔各階の可動床については必要以上に複雑な機構は採用しない。例えば、2動作(折り返す)の床作動機構は極力避ける。
- ⑤ 塔の剛性は最大風速70 m/sで変形が100 mm以内(ロケット先端位置)とする。

2. 詳細設計の骨子

(1) オペレーションを考慮した高能率の作業性：

- ① 塔内の床面積を広くし、ロケットと床の隙間を無くする。
- ② 全天候型のロケット吊込み機能をもたせる。
- ③ クレーン、エレベータ類の容量および性能向上。
- ④ 頭胴部の塔内位置での仮置きスペース(クリーンルーム)を設ける。

(2) 作業の簡素化とタイムスケジュール：

- ① ランチャの出入扉、ロケット吊込扉類の一体化。
- ② 方位角、俯仰角設定の自動化。
- ③ 火焰偏向板のランチャへの取付、取外しの自動化。
- ④ ロケットへの注気、注液系配管および散水装置(ドレンチャ)配管類についてはランチャ・旋回作動時に対する配管様式を固定式(旧装置では取付、取外し方式)とする。

(3) 整備塔内環境条件の確保：

- ① 空調、雨仕舞、及び塵埃等の侵入防止。
- ② 塔内設置設備類の低騒音化。

(4) 安全性の確保：

- ① 塔内での非常事態に対処し、緊急退避用の斜降式救助袋を設ける。
- ② 危険性を有する液(ヒドラジン)に対し、ガス検知装置、強制換気装置、注水装置および洗眼器を設ける。

- ③ 作業床の滑り止め処置を施し、保安用手摺りを設ける。
- ④ 停電用の非常照明を設ける。
- ⑤ ITV、火災報知器等、各種警報監視装置を設ける。
- ⑥ 複雑な作動をする機構系に対しては、電気的なインターロック回路を装備する。

(5) 整備塔、ランチャの耐久性、保全性の確保：

- ① ロケット噴出ガスによる火焰・塵埃・風圧の影響緩和。
- ② 塔、外装材腐蝕対策。
- ③ 塔周辺の緑化への配慮。

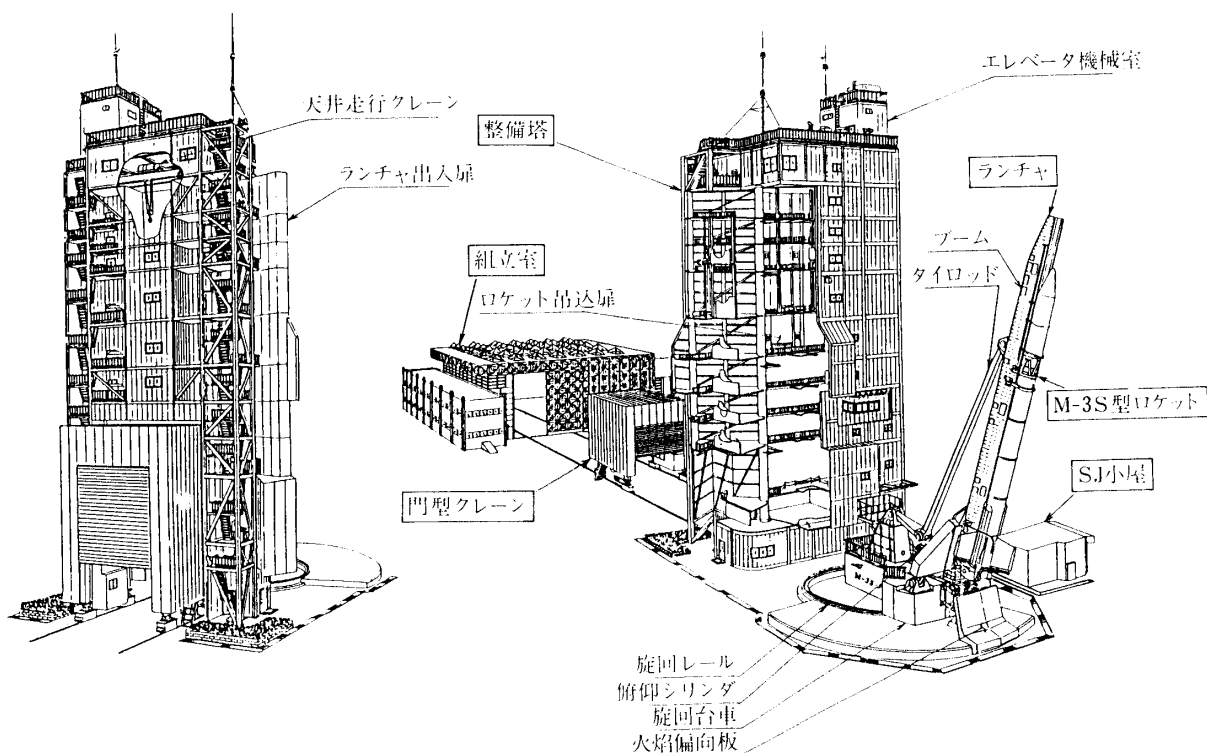
3. 新発射装置の概要

新発射装置は大別して第8図に示すように整備塔とランチャとで構成される。

ランチャは傾斜発射方式で、旋回および俯仰機能を持ち、ブーム、台車、火焰偏向板および油圧装置で構成されている。

整備塔はランチャ旋回終端に位置し、発射状態の整備塔とランチャとは十分な間隔距離を確保し、また塔内にランチャブーム部を格納してランチャ上にロケットを順次垂直に組立、点検、調整できる構造で、塔本体、作業床、ランチャ出入扉、クレーン設備、エレベータ、空調設備、および付帯設備等で構成されている。

新発射装置の構成および要目を第1表に、新・旧発射装置の比較を第2表に示す。



第8図 M型ロケット発射装置

第1表, M型ロケット発射装置構成および主要要目表

M型ロケット発射装置 ランチャ;整備塔独立型 ランチャ;旋回・俯仰作動 整備塔;固定	ランチャ ・ロケット吊下傾斜発射方式 ・発射方位角; $N+85^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ・旋回動作範囲; $N+27.68\sim 85^{\circ}$ ・旋回速度; $0\sim 20^{\circ}/\text{min}$ ・旋回設定角精度; $\pm 0.1^{\circ}$ ・発射俯仰角; $90^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ・俯仰動作範囲; $90^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ・俯仰速度; $0\sim 5^{\circ}/\text{min}$ ・俯仰設定角精度; $\pm 0.1^{\circ}$	ブーム系 (ガイドレール) (ブーム本体・保持アーム) (ロケット支持台) (俯仰機構タイロッド) (揚上装置) (保持装置)	▷ 既設レール流用 ▷ ブーム内部ケーブル布設。(ブーム本体をケーブルダクトにしている) ▷ 側面端子箱設置 ▷ 従来型と同じHANDLING ▷ 油圧シリンダ駆動, メカニカルロック ▷ ブーム両側面及び, B1用に各1組 ▷ 組立バンド(ブーム取付), 装着バンド(組立~装着), 保護バンド									
			整備塔 ・鉄骨伸組トラス方式 ・全高さ; 43m ・開口柱心間; 14.5m ・奥行柱心間; 13m	塔本体 (作業床) (吊込筒)	▷ 11階層構成, 注気注液作業室(1F), 投査・電気室(1F) ロケット組立作業室(2F~10F), 操作室(4F) クリーンルーム(7F~9F), 光学観測室(11F) クリーンブース(7, 8, 9F), 器材庫 ▷ 外装材; 石棉セメント板(防蝕) 内装材; 石棉ボード(耐火材), ステールパーチレオン 重量 ▷ 延べ面積; 約1000 m^2 , 固定床; 300 kg/m^2 , (スベリ止め床) 可動床; 200 kg/m^2 , (軌上/スライド; 2F~10F) ▷ GL~11F吹抜, 平面開口寸法; 5m×5m(屋内吊上)							
					台車系 (台車本体) (旋回ボギ・センタ軸受) (旋回レール)	▷ 台車内部ケーブル布設(地下給電路~ブーム間) ▷ 2輪(1200 ϕ)/ボギ×2台, 軸受直径約3000 ϕ ▷ 100 kg/m クレーンレール, 15m ϕ						
						火船偏向板 (偏向板本体) (持上装置) (ドレンチャ装置)	▷ 耐火セメント被覆施工 ▷ 遠隔操作持上方式(N+180°定位) ▷ 給水ライン固定式(ホース順の取付, 取外不要)					
							油圧装置	▷ 旋回/俯仰その他油圧駆動, 油圧; 最高210 $\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$				
								ランチャ出入筒 (ランチャ出入筒) (ロケット吊込筒) (吊込筒閉鎖筒)	▷ 塔2F~10F間, 開放; 7m幅×3.5m高, スイング式 ▷ 塔6F~10F間, 開放; 3.2m×1.7m, 上下スライド式 ▷ 塔6F平面開口寸法; 4m幅×4m長, スイング式			
									クレーン設備 (20t天井クレーン) (7.5tホイスト) (0.5tチェンブタック)	巻上下 走行 横行 ▷ 0.5/5/10m/min, 2/5m/min, 1m/min, 各段吊上(2F~10F) ▷ 2.3m/min, -, 2.5m/min, 頸部吊上(クリーンルーム) ▷ 2m/min, -, 3m/min, 尾翼吊上(2F)		
										空調設備	▷ 15~25 $^{\circ}\text{C}$ (温調), 空調ユニット6台(クリーンルーム, 単独ユニット)	
											エレベータ設備	▷ 開口; 1450mm(2000巾×1800長×2100高), 60m/min, 1700kg(25人)
												付帯設備 (低圧空気源) (塔給排水) (非常注水) (油割換気装置) (避雷・接地) (斜降式救助袋)
電気設備 (電気設備) (運転制御) (警報・監視)	▷ 配分電装置/照明コンセント装置 ▷ 操作場所; ロケット組立・点検→ローカル及び, 塔4F運転室, ランチャセフト→地下管制室 ▷ ITV, 警報装置, 火災報知, 作業通話装置(ランチャ専用)											
	基礎	▷ ランチャ・塔一体型の基礎構造, 地下給電路(管制室へ通ずる)										

第2表 新旧発射装置の比較表

主要項目の比較		
	更新ランチャ	現Mランチャ
1. 形式	ランチャ, 整備塔独立型	ランチャ, 整備塔一体型
2. 基本動作	ランチャ旋回⇒ランチャ俯仰 (基本動作が削減されたため, 操作性が良く, 作動タイムスケジュールが短縮される.)	整備塔アンカ開放⇒整備塔旋回⇒ランチャ走行⇒ランチャ俯仰
3. 主構成要素	ランチャ ブーム, 旋回台車 整備塔 本体	ランチャ ブーム, 走行台車 整備塔 本体, アンカ装置, 旋回台車
4. 整備塔概略規模	概略寸法(m): $18 \times 13 \times 43$ 床面積(延): 930m^2	概略寸法(m): $10 \times 8.75 \times 36$ 床面積(延): 400m^2
5. ケーブル供給の処理性	ランチャ旋回 旋回中心下の地下室からケーブルを立上げケーブルの自由度により, 旋回に対応する方式. (処理性良) ランチャ俯仰 台車内のダクトより保持アームの俯仰中心部ダクトに接続するため, ケーブルの露出部がない. 整備塔 地下室からの立上げによる方式. (固定につき処理は簡単)	ランチャ走行 重垂を使用して, ケーブルを伸縮させる方式. (ケーブルが露出し, 又重垂によりケーブルが損傷され易い.) ランチャ俯仰 台車より保持アームの俯仰中心部分を通してため露出しており, ロケット発射の火焰による損傷をうけ易い. 整備塔旋回 台車内のダクトより保持アームの俯仰中心部ダクトに接続するため, ケーブルの露出部がない. (処理性良)
6. ロケット発射時の整備塔に対する影響	ランチャ整備塔が独立のため, 発射時ロケットから整備塔への火焰の影響がほとんどない.	ランチャ, 整備塔が一体型のため発射時整備塔に与える火焰の影響が大きい.

4. 整備塔

塔は第8図に示すような形状の鉄骨トラス構造で内部にランチャブームとランチャ台の一部を収納できる。階層は11階で高さ43m、幅18m、奥行13mの直方体で重量は約700tonである(第3表)。

塔は防水、耐風、密閉構造であり、その外装には長年月に亘り腐蝕に耐えるよう、軽量コンクリート(アスロック材)を採用した。

塔の左右には露出階段および踊場を地上より屋上まで設け、山側には既述のように風雨のときでも門型クレーンとの組合せでロケットの搬入作業が可能のように、6階から11階まで吹き抜け方式の吊込胴を設けている。吊込胴と塔内作業室とはロケット搬入のとき以外は作業室の空調確保と保安のために高さ12m、幅3mのスライド式扉(ロケット吊込

第3表 整備塔 諸元表

整備塔形式	鉄骨枠組トラス方式 外装防水、耐風、密閉構造 11階層構成
高さ	約43m
幅(柱心間)	18m
奥行(柱心間)	13m
重量	約700ton
各階構成	<ul style="list-style-type: none"> • ロケット組立作業室 2階～10階 • ロケット吊込胴 4階～10階 • 注気注液操作室 1階 • 控室、電気室 • 操作室、器材庫 4階 • クリーンルーム 7階～9階 • クリーンプース 7階～10階 • 光学観測室、機械室 11階
主要設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> • 大扉類 ランチャ出入扉・ロケット吊込扉・吊込胴閉鎖扉 • クレーン設備 20ton天井クレーン/7.5tonホイスト/ 0.5tonチェンブロック • 空調設備 空調ユニット6台(パッケージタイプ) • エレベータ 1700kg(25人), 60M/min • 電気設備 配分電盤, 運転制御装置, 警報・監視装置, • 付帯設備 低圧空気源, 塔給排水, 強制換気, 避雷・ 接地, 斜降式救助袋

扉)で仕切られる。

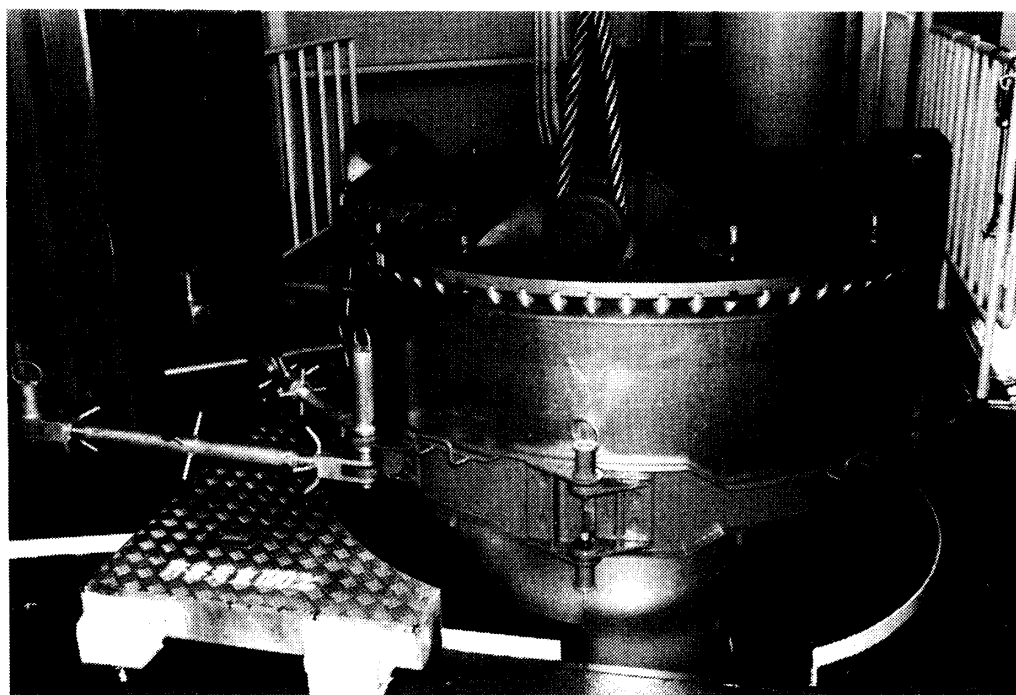
塔の海側の左一角には2階より10階まで一体型のスイング式扉(ランチャ出入扉)を設けた。この扉は閉鎖時風速70 m/sの風荷重に耐え、風速20 m/sのもとで作動可能である。

塔の構成はロケットを組立てる部屋を主体に11階の階層になっていて、その1階には各種電源盤を設置した電気室、油圧系のアキュムレータ、ロケット制御系、KE系のMDFを設置した機械室、TVC・SJの注気、注液操作室、作業者の控室および塔外からエレベータ、または共同溝へ通じる連絡通路等がある。

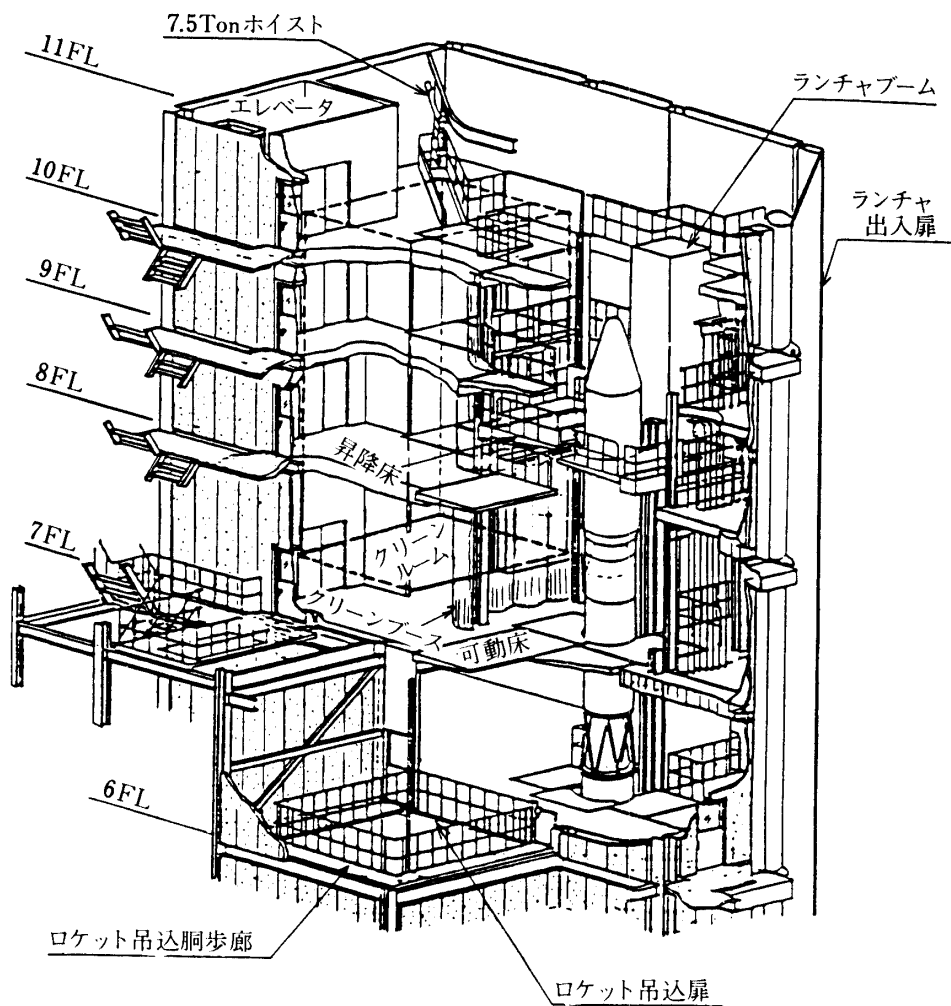
エレベータは積載重量1700 kg(25人乗)で、1階より最上階の11階まで利用でき、エレベータ速度は60 m/分である。2階から10階まではロケットの組立作業室とし、ランチャ台上にロケット各段を垂直に結合組立のうえ、空調状態の下で格納できる。2階から6階のフロアには跳ね上げ床とスライド床で構成された可動床を配置し、第一段目を組立てるが、特に2階は尾翼およびサブブースタの取付とランチャ装着作業を主体に行うためにランチャ台車廻りの整備作業用として中2階を設け作業性の向上を図った。

これらの床とロケットとの隙間は第9図のようなゴムクッションを床側に張り付けてふさぎ、ロケットと床の干渉および工具類が下の階に落下しないようにしてある。また作業床は凹凸なくフラットとし、防塵をかねたポリウレタン樹脂塗料およびエポキシ樹脂塗料の滑り止めを施し、床面積も旧型に比べ約2倍以上広くした。

4階の操作室はランチャ管制盤、空調制御装置、専用通話装置等を配置し塔における運転作業の中核を成している。操作室はランチャが塔内から塔外へせり出すとき見通しを良く、塔外観にアクセントをつけるため一部塔外へ張り出す構造とした。



第9図 床とロケット組立バンド



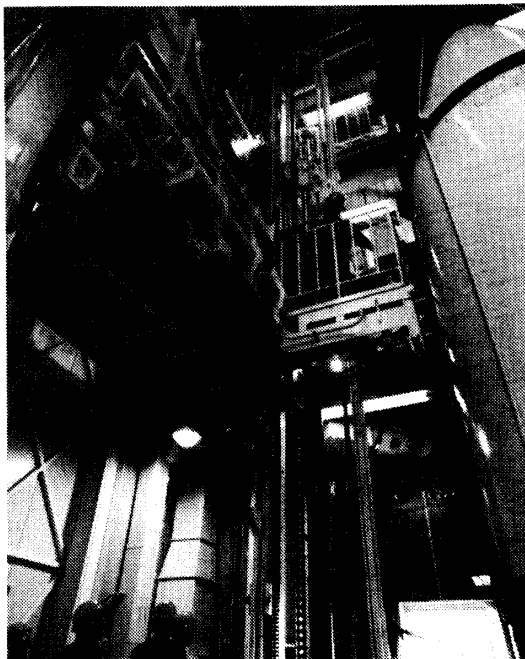
第10図 上層階内部

6階にはロケット吊込口を設けており、ロケットはこの階より塔の天井走行クレーンで塔内に取り入れられランチャ台車上に組立てられる。

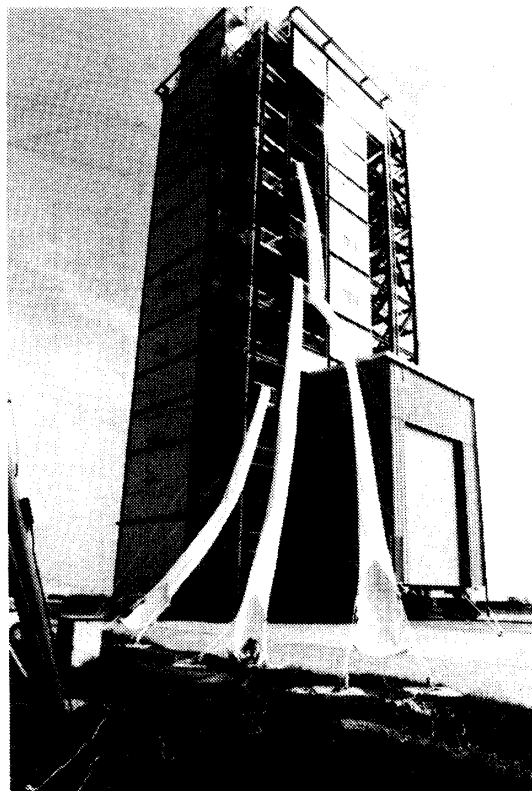
7階から10階のフロアがロケット上段の組立室である(第10図)。衛星、搭載機器を含めた頭胴部の緊急整備が行えるように、7～9階を吹き抜けとして、クリーンルームおよびクリーンブースを設けている。また7～9階には第11図のような油圧シリンダーとチェーンの組合せによる昇降式作業床を設け、最適高さ位置で各種コネクター類の取付け作業等が容易にできるように配慮した。

これらの可動床装置等のある階層には、可動床駆動用の油圧バルブスタンドと機側操作盤を設け、操作が現場で安全かつ容易に行うことができるようになっている。

10階の天井にはルーフカーテンを設け11階の機械室とロケット組立室を仕切り空気の流れを遮断し、空調効率を良くしている。



第11図 昇降式作業床



第12図 斜降式救助袋

最上階の11階には走行、横行式の20 ton天井クレーン、塔内の可動部(エレベータ、クレーンを除く)の駆動源は15 kW容量の油圧源装置を設置し、また海側の一角には光学観測専用室を配置している。屋上にはエレベータの機械室、空調機の屋外ユニット、高架水槽、アンテナ取付台、避雷針等が設置されている。

塔内の連絡通話設備として、各階に構内電話と指令電話を備え、また塔内専用の通話装置を設け作業の円滑化を図っている。

保安設備としては4, 6, 8階の屋外踊場に第12図のような緊急用の斜降式救助袋を設置し、また液系(ヒドラジン)を取扱う6, 8階には強制換気装置、注水装置、洗眼器等を設け非常時の危険予防に対する拡充を図った。

このほか保安用として火災報知器、避雷設備、塔の各入口に静電気除去用接地板が設けられている。

塔の付帯設備として各階へ7 kg/cm²Gのエアを供給している低圧空気源装置、各階屋外には給排水設備を設けた。

5. ランチャ

ランチャは整備塔と独立しているが、通常はランチャブーム系を塔内に垂直状態で格納している。

ランチャの諸元を第4表に、概観図を第13図に示す。

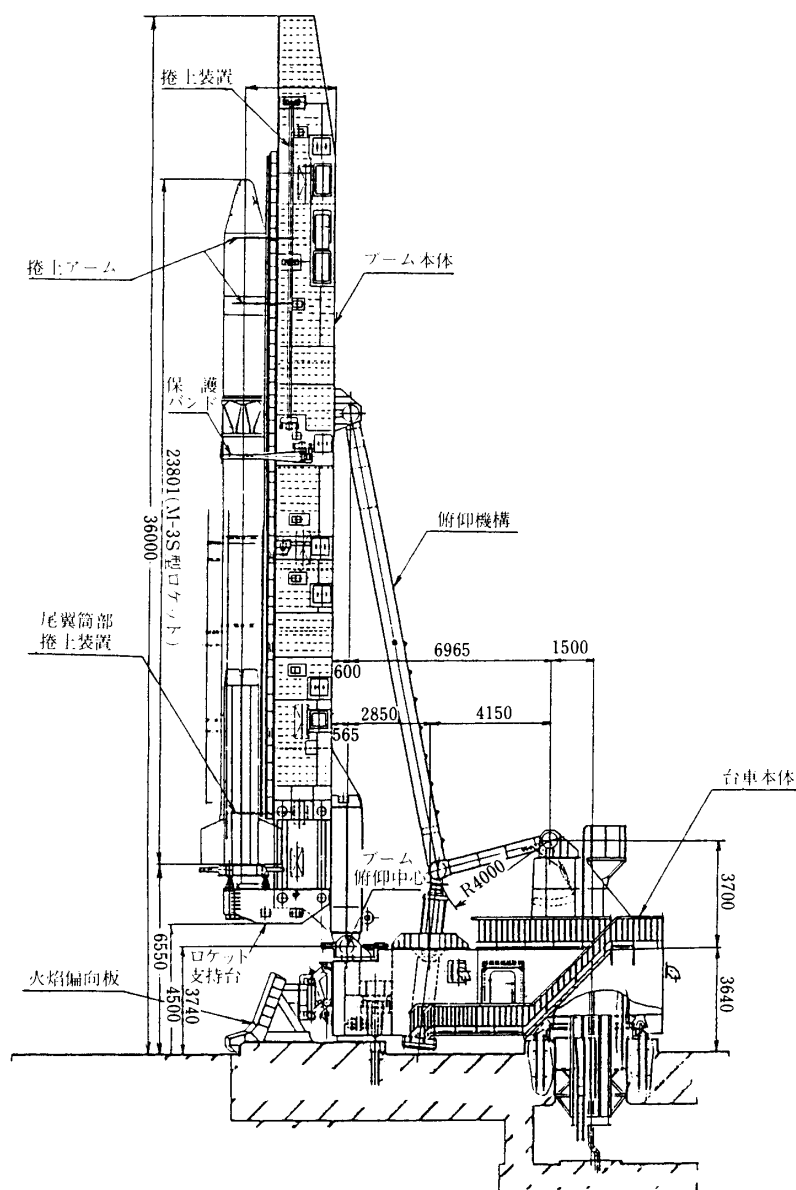
第4表 ランチャ 諸元表

発射方式	ロケット吊下傾斜発射方式
ランチャ形式	旋回・俯仰作動方式
高さ	約36m
幅	約9m
奥行	約15m
重量	約300ton
ガイドレール長さ	前後とも各10m (有効長)
発射上下角範囲	65°~90°
俯仰範囲	90°~64.5°
俯仰速度	0~5°/min (プログラム制御)
俯仰角設定精度	±0.1°
発射方位角範囲	N85°~N180°
旋回範囲	N276.8°~N85° (N180°を含む)
旋回速度	0~20°/min (プログラム制御)
方位角設定精度	±0.1°
旋回レール形式	1条式100kg/mクレーンレール
旋回レール曲率半径	7500mm
旋回レール上面精度	1/5000, 2mm/全周

ランチャの主な構成は台車とブームとから成り、ブーム長さ30mで、台車に垂直に取付けられ、重量は約300tonである。第14図のようにブーム下端のロケット支持台のリング上で全ロケットの重量を支える。

支持台は旧ランチャの吊下げ方式(平行リンク機構)を踏襲したが、M-3S II, III型への対応を考慮し、支持台上でのロケットの組立位置をブームより500mm(旧は400mm)離し、作業スペースの拡大およびM-3S II型におけるスリッパの大型化に伴う対応を図った。また支持台上でのロケットの組立作業中は各セグメントごとに組立バンドを第9図のように、ブーム側にロケットを保持して地震時に転倒あるいはブームとの衝突が起らないようにした。

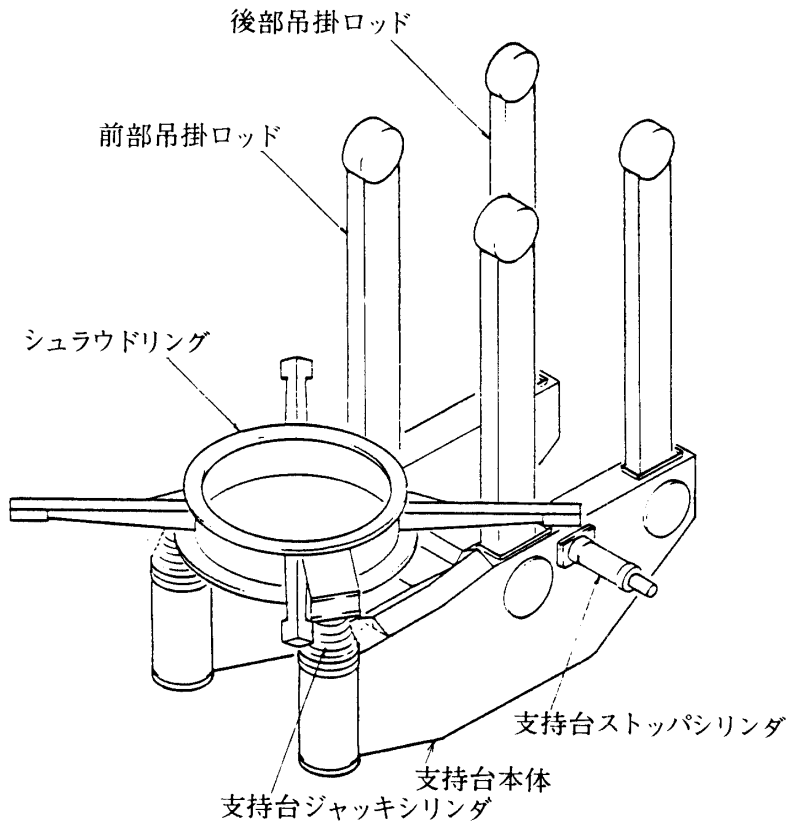
またブーム前面にはロケット発射時の滑走案内用として、旧ランチャから換装したガイドレール(ランチング・レール)を装備している。前後部各ガイドレール先端の滑走面については小野田助教授の着想と指定による第15図のような3次曲線加工を施し、ロケット離脱時に機体に作用する曲げ荷重の低減を図った[4]。



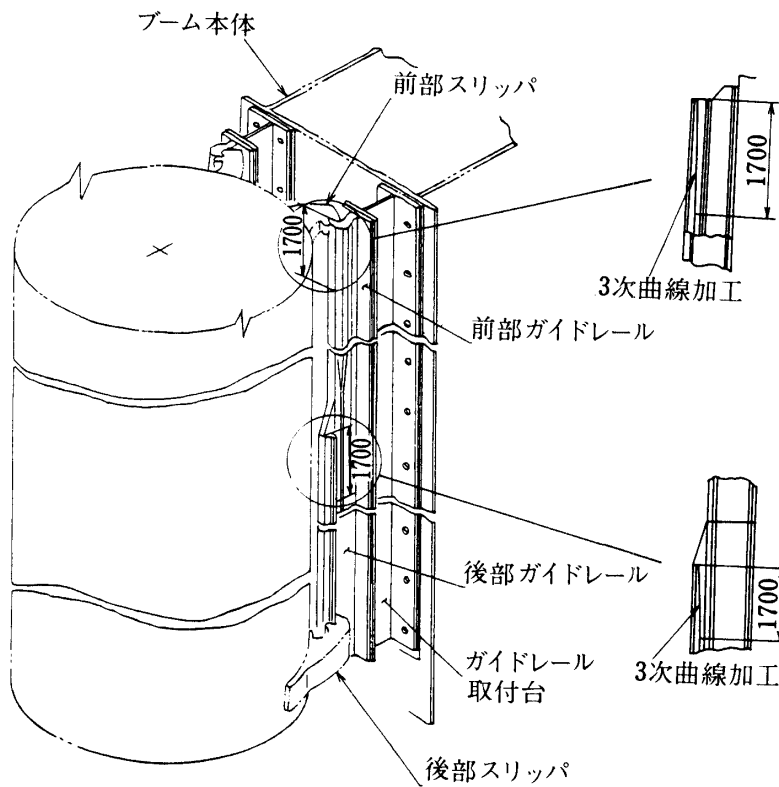
第13図 ランチャ全体図

そのほかランチャが作動中ロケットを保護する油圧式の保護バンドおよびロケット発射時における信号系のケーブル、液系のカプラー等と尾翼との干渉を避けるため、それらを巻上げる装置がブーム左右に設けてある。

支持台上で第1段目までのロケットが組み上がると支持台をブーム側に油圧装置で約500 mm 水平移動させ、3本の油圧ジャッキで約250 mm ロケットを上昇させ、そのランチングフックをブームのランチングレールに噛合させる。

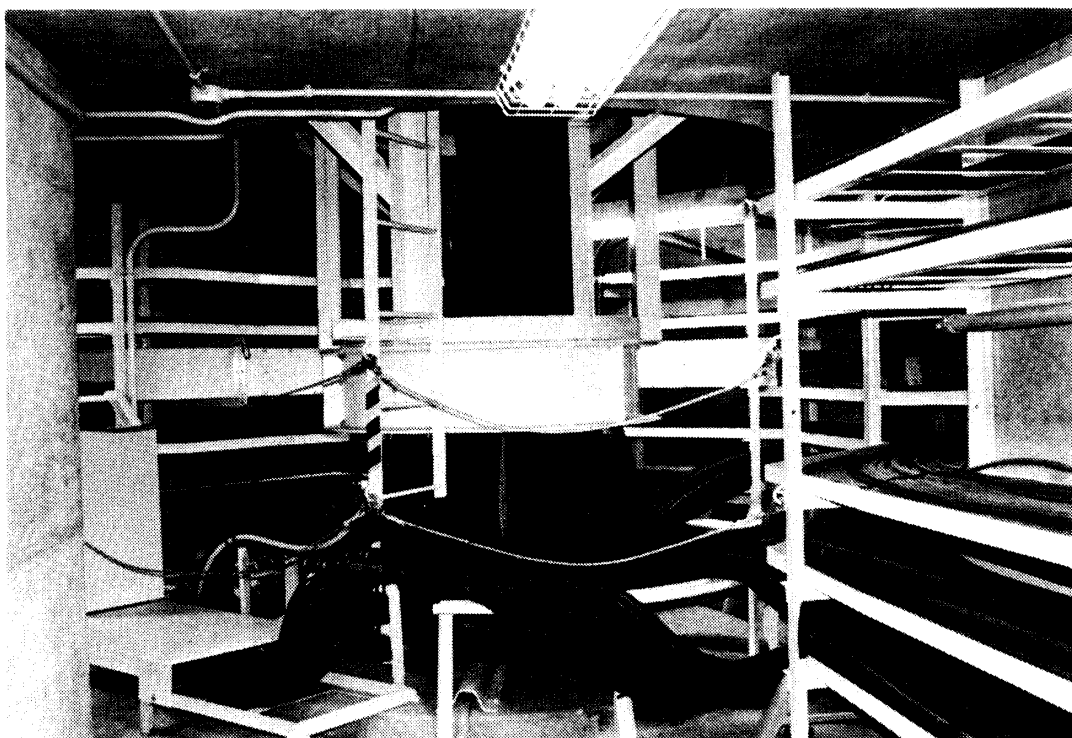


第14図 ロケット支持台



第15図 ガイドレール3次曲線加工位置図

ランチャ上で組み上がったロケットへの給電は共同溝を介し、地下給電路から約1500芯のケーブルを台車の旋回中心部に設けた垂直懸下方式の給電装置で対応している（第16図）。



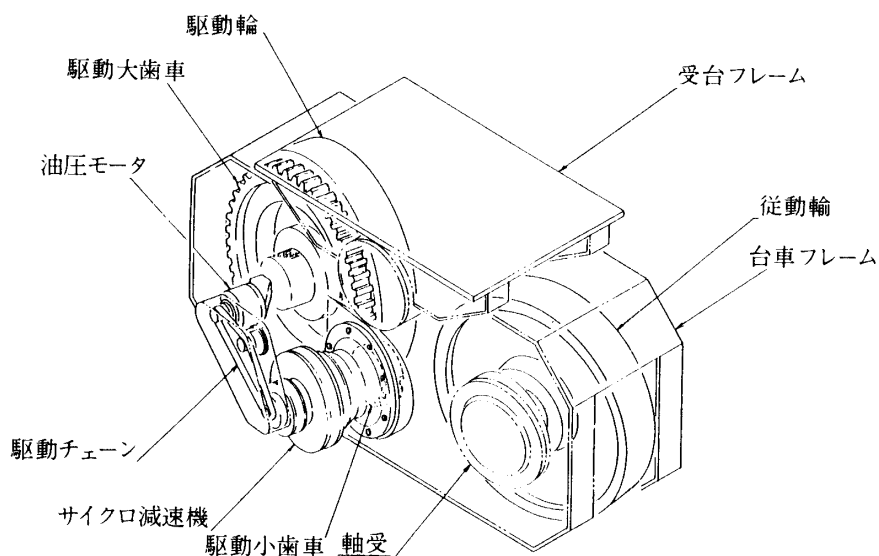
第16図 旋回中心部の配線配管処理装置

これらのケーブルは台車内の左右ダクトで点火系、搭載機器系、ランチャ系に分けられ、また俯仰動作に対してケーブルに無理がないように台車前部の俯仰軸芯部を經由してブーム内部のダクトを通りブーム内面の各端子箱まで配線され、それよりアンビリカルケーブルによりブーム側面に設けた巻上げ装置を介して、各段の機器へ着脱コネクタで接続されている。

従って、旧ランチャに比べて新ランチャはケーブル類を密閉ダクトに納め発射時ロケットの火焰から完全に保護できる。

ロケットを架装したランチャ台車は旋回中心部に設けた直径3mのセンターベアリングと台車の前部左右（各1組の1200mm径の2車輪を有する）の旋回ボギー（第17図）との組合せで支持され、油圧駆動により直径15mの1条式レール上を0~20°/分の速度で旋回する。旋回範囲は $N+276.8^\circ$ （塔内）~ $N+85^\circ$ である。角度の分解能を良くするため直径3mのセンターベアリングの外周にチェーンを巻きつけ、スプロケットを対応させシンクロ発信器で検出する方式を採用した（設定精度は $\pm 0.1^\circ$ である）。

また、俯仰機構は旧ランチャでは、ブームウインチ方式で設定範囲は $85^\circ \sim 65^\circ$ であったが、ステーシリング基部のピンを抜くことにより水平までブームを倒すことができた。



第17図 ランチャ台車の旋回ボギー

M-4S型ロケットでは第1段モータセグメントの推進薬が接着結合であり、一度結合すると分解が不可能であったので特別の場合の地上分解用として水平までの操作域を設けたが、M3C型ロケット以降は接着剤を使わない結合方法となったため、新ランチャでは設定範囲を松尾教授の指示により $90^{\circ}\sim 65^{\circ}$ の範囲に止めることとした。

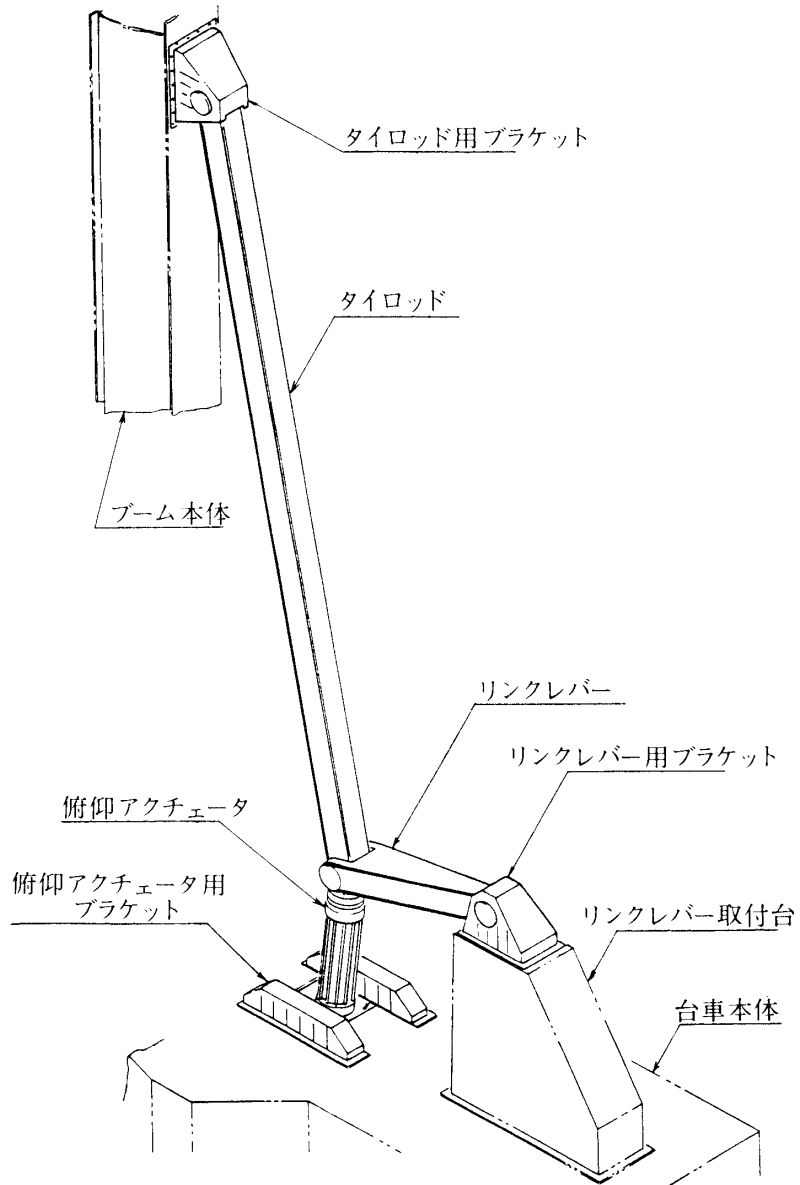
その機構は第18図に示すように伸縮シリンダーを伸縮させて、タイロッドとリンクレバーのリンク機構を介してブームを俯仰する方式であり、俯仰速度は $0^{\circ}\sim 5^{\circ}/分$ 、俯仰設定精度は $\pm 0.1^{\circ}$ である。

この俯仰駆動リンク機構はブームの転倒負荷に対して十分な精度と作動性および安全性を確認できるよう次の点に留意し設計している。

- ① 俯仰作動に伴う伸縮シリンダーの所要出力のバラツキを最小限にするようなリンク機構とした。
- ② ブーム系の転倒負荷による俯仰リンク機構部の支点軸受けへの作用力方向が常時同じになるようにし、軸受けのクリアランス等による作動の不安定および衝撃を無くした。
- ③ 伸縮シリンダーは油圧配管系が破損してもメカニカルロック部を備えており、確実に停止保持ができる。
- ④ 伸縮シリンダーの破損が生じてもタイロッドおよびリンクレバーが直線形態を成して、上下角 65° 位置で停止して保持できる。

これらのランチャの作動は全て油圧駆動で、動力はランチャ台車内にある37kWの油圧源装置から供給する。

上下角の検出角の検出方式は第19図にあるように重錘式で、発射時のロケット噴射ガスの影響を受けないようブーム内部に重錘(500kg)を取付け、半径500mmの扇形ギヤにピニオンを噛ませてその回転角をシンクロ発信器で検出している。

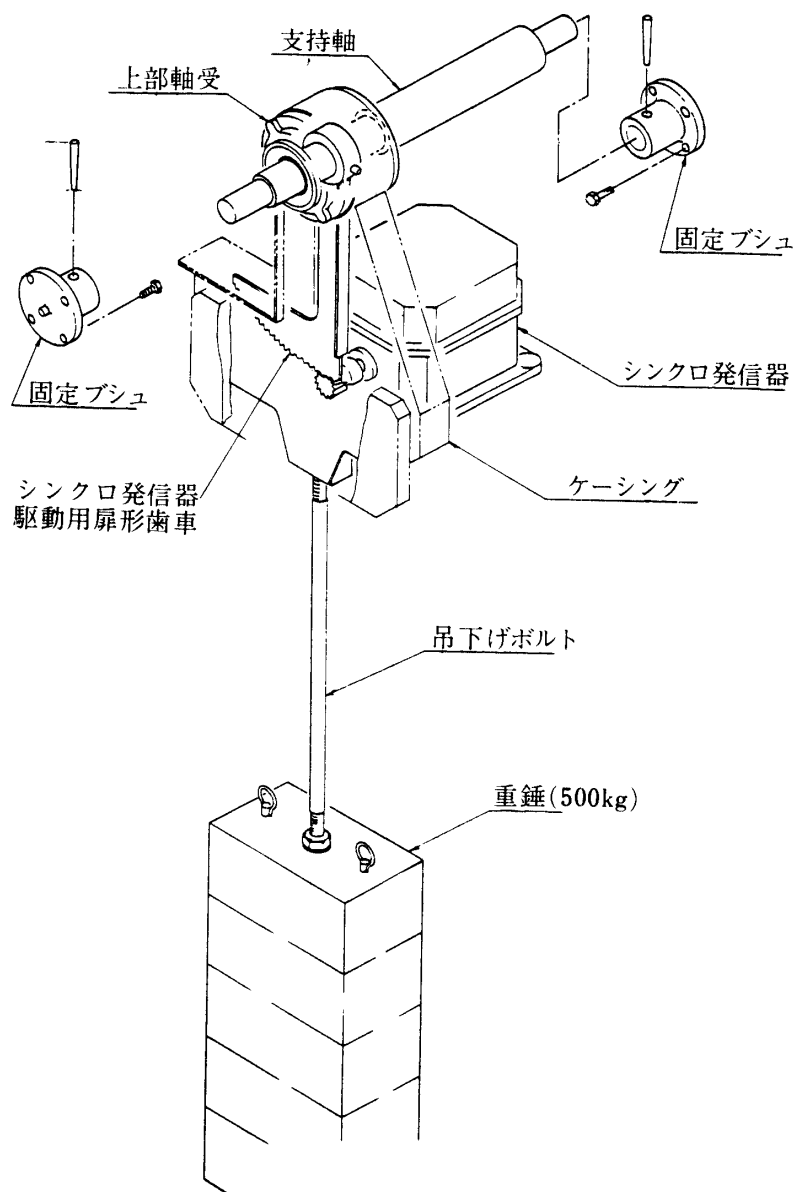


第18図 ランチャ俯仰機構

運転操作は4階にある管制盤と地下管制室にある管制盤で手動および遠隔操作が行える。操作を行う場合は、塔内の安全を確認した上で、塔内各階に設けてある機側操作盤の安全確認用押しボタンが全て押されて、始めてインターロックが解け上記管制盤に緑ランプで表示され運転可能となる。

発射時の火焰を偏向拡散させる偏向板は旧型と構造様式はほぼ同じであるが、装着は第20図に示すように油圧装置により巡回途中、 $N+180^\circ$ の位置で自動装着するように、省力化と時間短縮を図った。その所要時間は約1分である。

火焰偏向板の表面にはロケットから噴出される高温のガスに対し、旧方式の鉄板とアス

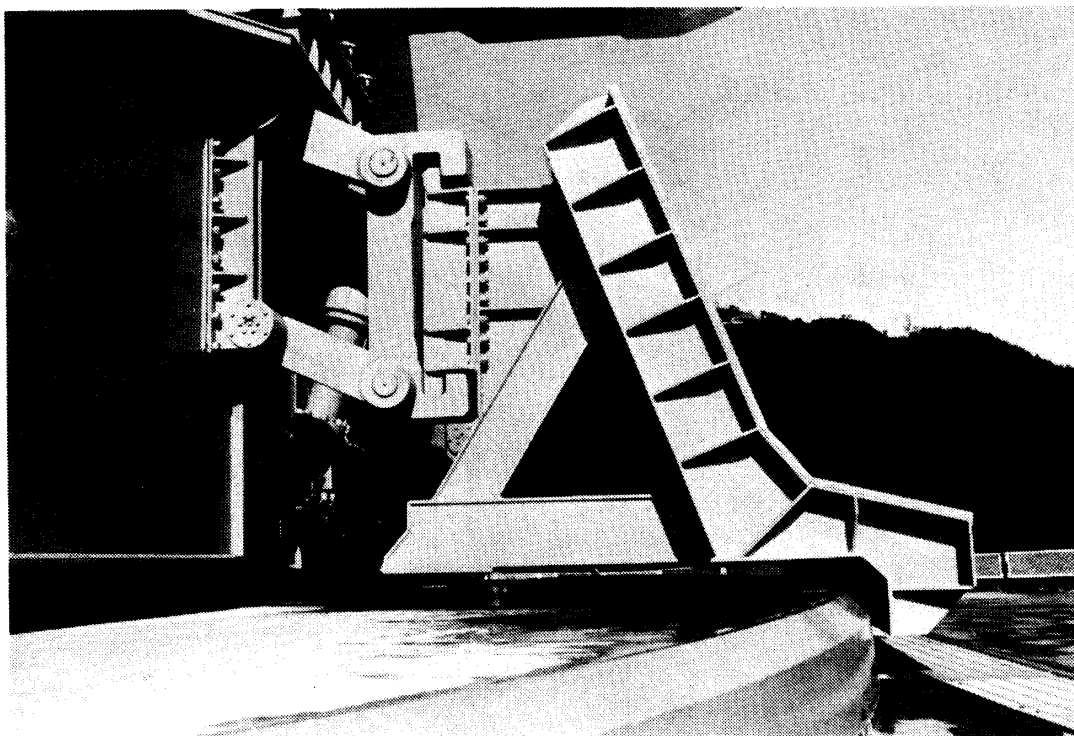


第19図 俯仰角検出方式

ベスト材の組合せによる耐火被覆方式から、M-3S-2号機(55年2月)で性能について実証試験を行った耐火セメント被覆方式に変更し、耐久性を向上させた。

また偏向板の全面に散水を行うドレンチャ装置を第21図のように、旧ランチャ同様台車の前部に備えている。

このドレンチャ装置の給水系はランチャのケーブルと同じく、旋回作動に対応して台車の旋回中心部にスィベルジョイントを採用することにより、配管系の固定化を図り、打上げ直前のホース類の取付けなど大口徑配管類の接続作業をなくした。



第20図 火焰偏向板装着機構



第21図 ドレンチャ装置

6. 油圧装置

発射装置の駆動源については推薬を取扱う関係からカップ、ラムダ、旧M発射装置等全て油圧駆動方式を全面的に採用し、その信頼性に実績があるので新発射装置でもこれを踏襲した。

油圧装置の特色は(1)大きな出力、(2)スムーズで確実な作動、(3)極低速度特性、(4)駆動機構のコンパクト化、(5)遠隔制御性等にある。

油圧源装置はランチャ台車および整備塔11階の機械室に設置してあり、俯仰、旋回の大容量作動を行うNo.1油圧源と整備塔の大扉、可動床類およびランチャ系の巻上げ、ロケット支持台、偏向板類の駆動等小容量作動を行うNo.2油圧源とがある。

No.1油圧源は旋回および俯仰作業の速度制御として可変ポンプを使用し、各々の速度要求に応じて吐出量を制御できるような電気油圧サーボ機構を採用している。また油圧源回路は旋回あるいは俯仰操作を選択することにより、各々アクチュエーターおよび制御バルブ類と共に閉回路を構成し、ランチャとして最適の油圧制御特性を得られる回路にした。

なお旧発射装置における油圧源装置(ポンプ)では騒音を小さくするためにタンク内作動油にポンプを浸漬して騒音対策を行っていたが、特に今回も低騒音対策に留意し、装置を台車内に隔離設置した。またポンプユニットそのものに低騒音ポンプの採用などの対策を行った。これにより旧型より作業室内が10ホーン程度の騒音低下が図られた。

No.1油圧源の主要諸元を第5表に示す。

No.2油圧源は定容量型ポンプを使用し、整備塔1階の機械室にアキュムレータを設けて、各作動機構の容量に対して十分な圧油量を供給できる。

No.2油圧源の主要諸元を第6表に示す。

各油圧源とアクチュエーター間には約30台の油圧制御装置(バルブスタンド)を設置している。バルブスタンドの下部にはオイルパンを取付けて弁類の保守点検時に作動油が床面にこぼれないように保全性に留意した。

整備塔およびランチャ作動系の駆動源となる油圧アクチュエーターは約100基に及んでいる。大容量の俯仰シリンダーの650φmm×350φmm×2510φmmストロークから小容量に至るまで多数の油圧アクチュエーターの油圧配管は、全長約3kmに達し整備塔の各階およびランチャの各所に縦横無尽に配管されている。

また整備塔の作業床の、油洩れに対する作業環境の清浄化が特に要求される点から、旧発射装置の実績を反映させ、油圧配管継手に重点をおいて実用的で信頼性のあるクイコミ継手方式を採用した。

No.1油圧源系には俯仰と旋回回路がある。俯仰用アクチュエーターとしての伸縮シリンダーはランチャ動作として最も重要な機能を発揮するもので、ロケットを架装したブーム系を確実に保持するためのメカニカルロック機構(ベアロック装置)を備えている。この伸縮シリンダーは第22図に示すように、油圧シリンダーのロッド部外周面をスリーブで機械的に締めつけて強固にロックする方式で、ロッド部とスリーブ間に油圧を加圧しスリーブを膨張させてロック状態をフリーにするものである。故障および停電などで油圧が低下するとロッドが掛り、伸縮シリンダーが止まり俯仰系として安定状態が確保できる。こ

第5表 NO.1油圧源 主要諸元表

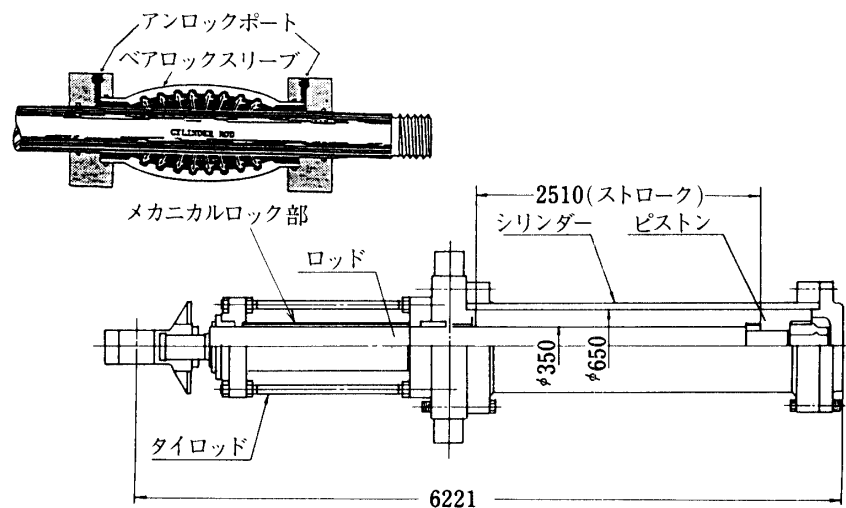
1. 油タンク容量 メインタンク サブタンク	計1500ℓ 1300ℓ 200ℓ
2. 使用圧力 No.1ポンプ圧力 ブースト圧力 サーボ圧力 ベアーロック回路圧力	MAX. 160kg/cm ² G 20kg/cm ² G 70kg/cm ² G 210kg/cm ² G
3. 電動機 No.1ポンプ用(可変ポンプ2基) ブーストポンプ用 サーボ及びベアーロック系ポンプ用	37kW-6P 全閉外扇形 7.5kW-6P 全閉外扇形 5.5kW-6P 全閉外扇形
4. ポンプ主要目 No.1ポンプ ブーストポンプ サーボポンプ ベアーロックポンプ	可変ピストンポンプ 0~145ℓ/M 2台 ベーンポンプ 132ℓ/M 1台 内接ギアポンプ 18.5ℓ/M 1台 内接ギアポンプ 3.9ℓ/M 1台
5. 使用電源 動力系(電動機) 操作系(ソレノイド)	AC200V. 60Hz AC100V. 60Hz
6. 作動油	ダフニハイドロリックフルイド#56(鉍物油)

第6表 NO.2油圧源 主要諸元表

1. 油タンク容量	500ℓ
2. 使用圧力 No.2ポンプ圧力	MAX. 210kg/cm ² G
3. 電動機 No.2ポンプ用	15kW-6P 全閉外扇型(立型タイプ)
4. ポンプ主要目 No.2ポンプ	内接ギアポンプ36ℓ/M 1台
5. 使用電源 動力系(電動機) 操作系(ソレノイド)	AC200V 60Hz AC100V 60Hz
6. 作動油	ダフニハイドロリックフルイド#56(鉍物油)

のベアロック装置は海上プラント石油掘さく機械等に使用実績がある。

俯仰、旋回油圧回路は各作動開始および停止時における加減速特性をスムーズ（目標 1/100 G 以下）に行うため、電気制御系との組合せによりプログラム制御を行っている。また加減速度特性が設定値より外れても流量制御弁（フロコン）によるゾーン制御を行い所定の加速度、減速度を超えてロケットを架装したランチャ系に衝撃を与えないようにしている。



第22図 メカニカルロック機構

7. 電気設備

電気設備は配分電、照明、運転制御、空調、警報の各装置と数多くのケーブル類から構成されている。旧発射装置の経験を生かし、以下に述べる基本事項に留意し設計を行った。

- ① 配分電装置、運転制御装置、リレー集中盤等は設置する場所に適した形状にした。
- ② 空調装置は上層階と下層階の温度差を少なく、運転、保守が容易にでき、必要スペースも最小とするよう配慮する。
- ③ ランチャセット（旋回操作、火焰偏向板装着、俯仰操作）は自動化とする。
- ④ 点火系作業時に使用する電気設備は最小限とし、防爆型の器具を使用し、配線系統を明確にする。

以下に各装置の概要を述べる。

(1) 配分電装置

M台地第2変台より受電し、整備塔1階電気室に一般動力、空調、制御、照明等の配分電盤が配置されている。また10階には7.5 ton ホイスト、クリーンルーム内リフト用の動力分電盤が、エレベータ機械室、ランチャ台車内にも分電盤が設置されている。なお点火系作業時の電力供給（ヒドラジガス検知器、強制換気装置、点火作業用照明装置への）にはM台地第2変台より別系統にて供給している。

(2) 照明・コンセント装置

照明は安全性、発射時の振動を考慮し、保安護管付密閉式の器具を各階に使用している。照明は塔内での各種作業と撮影に対応できるよう 300~400 Lx の明るさを保っている。

また停電時の電池内蔵型非常照明が各階に、点火系作業用として防爆型照明灯が2~8階に配置されている。

(3) 運転制御装置

運転制御装置には機側操作盤と4階操作監視盤、地下管制室のランチャ管制盤がある。

1階電気室と4階操作盤には除湿器を設置している。

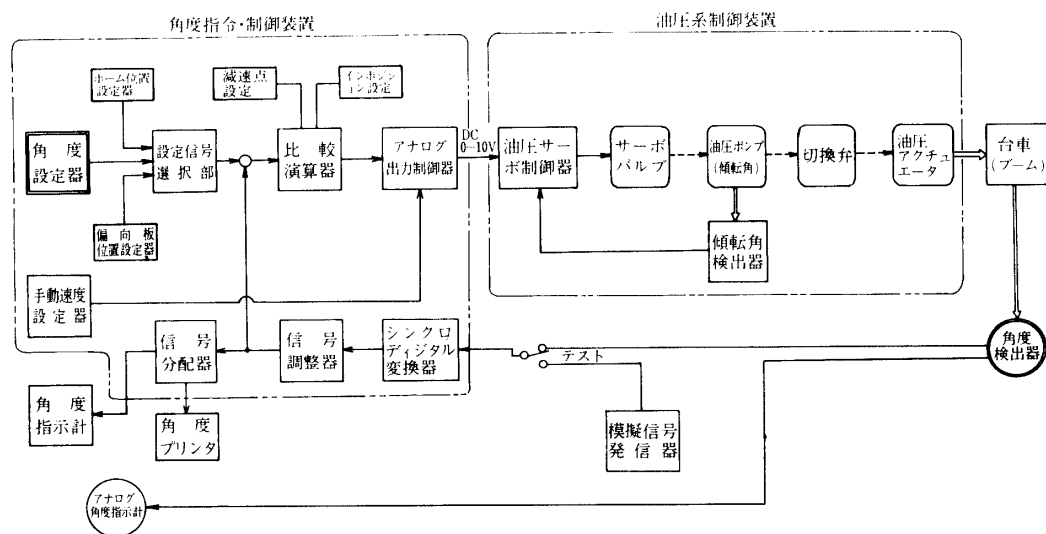
① ランチャ操作監視盤、管制盤

整備塔における集中操作監視場所となっている4階操作室は塔外作業が監視できるよう張出した構造であるため、これに対応して操作監視盤の形状をディスク型とした。盤面はロケットの吊込、組立作業、ランチャ装着、ランチャ出し準備、ランチャセットと一連の作業の流れに合わせたデザインで、各種可動床、扉類の操作、表示、油圧ポンプの運転・監視・異常警報の表示等を行っている。

地下管制室に設置したランチャ管制盤はベンチ型で設計し基本的には塔4階の操作監視盤と同様の配置でランチャ台車まわり、塔内部の作業状況を監視するITVモニタ、時刻表示器、旋回、俯仰角度プリンタ、中央司令卓との応答を行う司令応答部で構成されている。

② 旋回、俯仰角度制御装置

ランチャの項に述べた様に、信号は第23図に示すよう、アナログ角度指示計で指示するとともにシンクロデジタル変換器でデジタル化して角度表示、比較演算を行いアナログに変換し、油圧制御装置へ送っている。



第23図 角度制御ブロック図

この角度制御装置は盤面上に設けた手動速度設定ダイヤルによって油圧サーボ系を直接駆動することができる。また模擬の角度検出シンクロにより制御ロジックの作動状態のチェックを行うテスト回路が組める。

ランチャはランチャ出入扉開放完了後、目標角度を設定し、運転スイッチを押せば第31図に示す自動運転パターンにより一連の動作が自動的に行われる。この自動化によりタイムスケジュールが従来より約30分短縮され、また、角度設定精度も $\pm 0.1^\circ$ と旧装置($\pm 0.5^\circ$)に比べ格段に性能向上している。

ランチャ作動時の安全装置として①通常のプログラム制御、②油圧によるゾーン制御、③非常停止スイッチ、④メカニカルストッパ等多重安全機能を備えている。

(4) 警報監視装置

ランチャ旋回・俯仰動作時およびランチャ出入扉開閉、昇降床運転時はそれぞれ音色の異なった警報音を出す。ITV装置は塔10階と屋上にカメラを据付け、地下管制盤にモニタを設置した。また、これらの他自動火災報知器、ヒドラジン検知警報装置(強制換気装置と連動)が設置されている。

(5) 空調装置

空調装置の設計にあたっては前述した基本事項⑥の項に添って具体的検討を行い、次の方針を決定した。①上層階と下層階の温度差 5°C 以内とする。②運転・保守が容易で低電力消費タイプのものである。③装置の各階作業室に占めるスペースは最小限とし、低騒音のタイプとする。

この方針に従って検討した結果、旧発射装置で使用していた一体型集中空調式から、標準型のヒートポンプ式パッケージによる分割空調方式にすることになった。

パッケージは2階層を単位に1台を比較的スペースのある階に設置した。操作は簡単で、2階層単位で空調を行うので温度差も少ない。

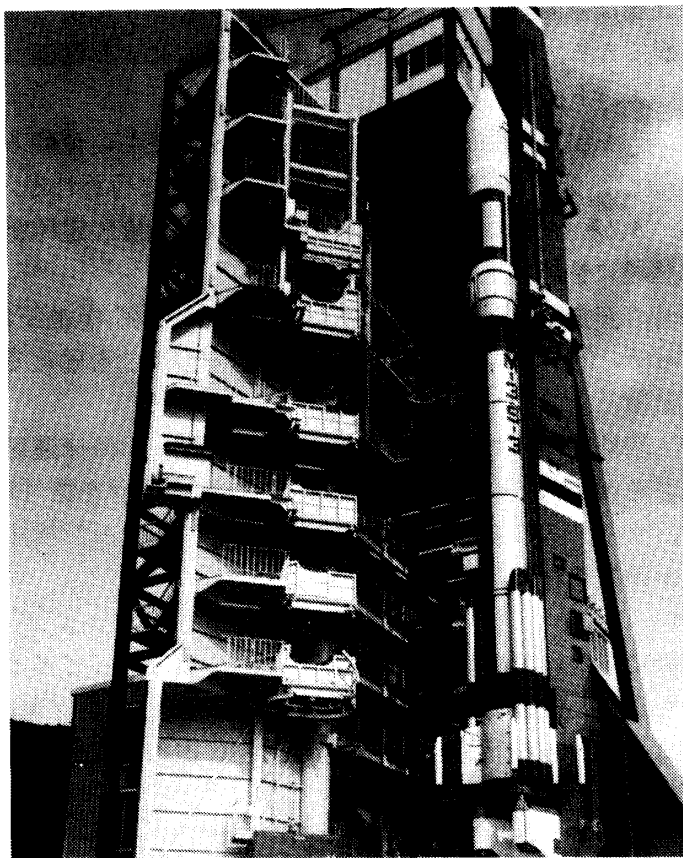
頭胴部の位置する階(7~9階)に設けたクリーンブース用空調とクリーンルームの空調は清浄度の高い(50万クラス)専用のもを使用している。各空調ユニットは4階操作室の空調制御盤から遠隔操作と監視ができる。

(6) ケーブル類

ケーブル類は地下管制室から整備塔およびランチャ台車まで共同溝、ランチャ地下給電路内に設置したケーブルラックにより各系統別に整然と布線されている。整備塔内は2本のメインダクトにより各階へ、ランチャ台車へは旋回中心部に設けた約5mのセンターダクトを通して導入され、ブーム内面の端子箱まで布線されている。ケーブルの振れは給電路下部からケーブル保持までの距離が約5.5mでこの間で吸収している。

8. 大扉

整備塔にはロケット各段・セグメントの塔内への搬入およびランチャの塔外へのせり出し用開放部を確保するために随処に大扉が装備されている。これらは旧発射装置では塔、各階層毎の分割式であったのに比べ、全て一枚物の大扉方式を採用しており、扉の構成、構造の簡素化、操作の単純化によるタイムスケジュールの短縮、塔の気密性の確保に努めた。



第24図 ランチャ出入扉

大扉としてはロケット吊込胴の下部（塔6階）に設けた「吊込胴閉鎖扉」、吊込胴と塔内作業室を仕切る（塔6階～10階）「ロケット吊込扉」、頭胴部の分解、点検に供する「クリーンルーム大扉」及びランチャせり出し用の「ランチャ出入扉」等がある。

吊込胴閉鎖扉はロケット各段の塔内への吊込用で、一辺約4mの正方形扉で水平から垂直まで油圧シリンダー駆動によりスイング作動する方式である。

ロケット吊込扉は幅3.2m高さ17mの上下スライド式大扉で、塔6階から10階までを一気に開放できる構造になっている。開放時は1～6階までの塔壁面にそって下降移動し、作業上支障のない状態に納める。駆動装置は塔11階に配置、ワイヤロープと10連の滑車および油圧シリンダーの組合せによるユニークな駆動機構を採用している。

クリーンルーム大扉は幅1.5m、高さ10mの左右スライド式二枚構成扉で、クリーンルームの床から天井までに相当する塔7～9階までの吹抜け開放が一気に可能な構造になっている。また、この扉は軽量化し大扉にもかかわらず開閉が1人で可能である。

ランチャ出入扉は縦長の大扉として他に類例のない超大型扉で第24図に示すように、幅7m、高さ35m、重量50tonのスイング式の扉である。この扉はロケットを架装したランチャが塔内から塔外へせり出せるよう2階から10階に至る塔の一角を大きく開放するも

ので、その扉の開閉作動はダイナミックでこの整備塔のもっとも象徴的なものとなっている。

このランチャ出入扉の特徴を以下に列記する。

- ① 上述の一体型スイング式大扉には扉内側に整備塔内の2階から10階までの作業用フロアがある。
- ② 扉の構造は簡素化、単純で部材は円筒状の支柱(1m直径)と薄板(6mm)鋼板を主体とした骨組にし軽量化を図っている。
- ③ 扉の外板はサンドイッチパネルとし断熱特性の向上を図った。
- ④ スイング回転扉の回転支点を5ヶ所設け、最下部の回転支点にはスラスト軸受けを使用し、扉重量(50ton)と作業床の荷重(25ton)の合計75tonの鉛直荷重を受け、さらに他の上部回転支点とともに風による水平荷重(約20ton)を負担させる構造とした。
- ⑤ 駆動装置は扉構造体に集中負荷が作用しないように、各中間支点と同一位置に4ヶ所に分けて設けている。また扉の開き角度が135°と大きいこともあり駆動油圧シリンダの出力効率を低下しないよう4節リンク機構を採用している。
- ⑥ 扉の気密性の決め手となるシールパッキンは、従来のスポンジゴム式では耐久性に難点があるので、長年のメンテナンスフリーを目標として水門用止水パッキンなどで、十分実績のあるソリッドゴム式を採用した。

9. 地上設備および搭載機器との関連について

発射装置の使い良さは、これを使用する実験班の要望を如何に巧みに取り入れているかにかかっている。そこでわれわれは各班との検討打合せ会を設計期間中、月2回の割合で積極的に実施した。

以下はそれらの要約である。

(1) ロケット班

塔の階層割り、各階のレイアウト等を主体にロケット作業とタイムスケジュールを最適にするべく詳細を協議調整した。

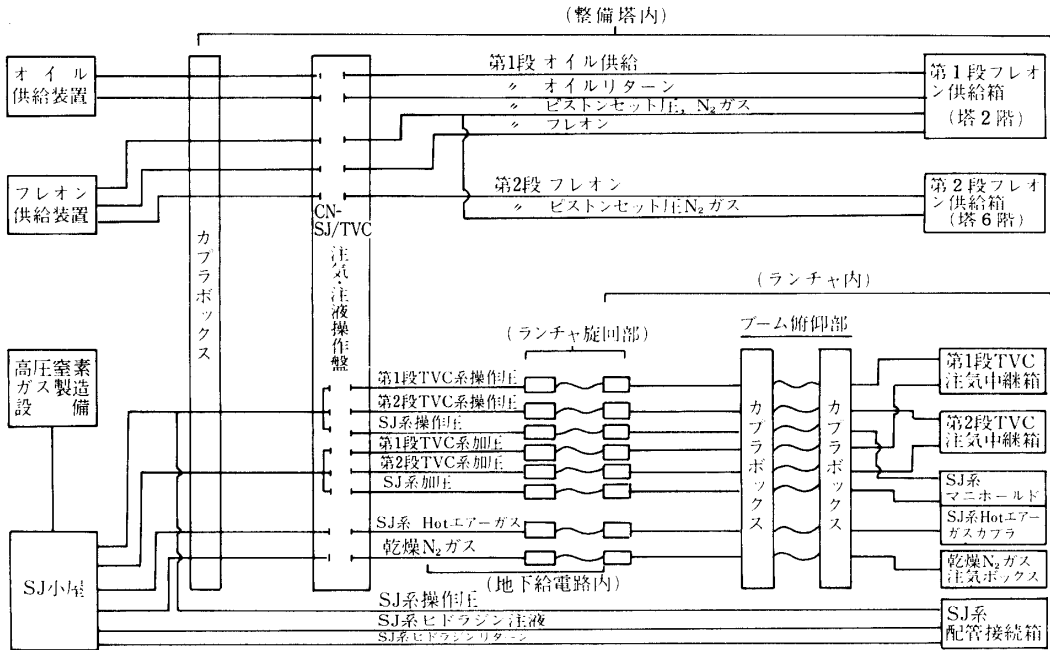
(2) 制御・サイドジェット・TVC制御班

CN・SJ・TVCとの関連については敷設する各種配管および打上げ作業における関連の取扱いについて具体的な調整を行い設計を進めた。

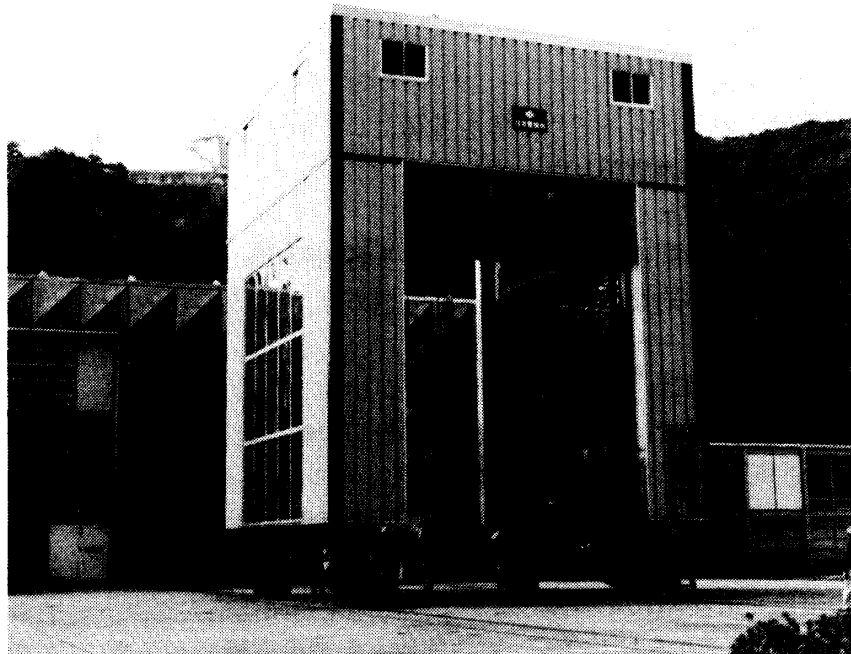
ランチャ系の配管ルートを第25図に示す。

この配管敷設の特徴は、旧装置では整備塔が旋回した後にフレキシブルホース等を接続していたが、新装置ではランチャの旋回、俯仰作動に対応して各々その作動中心部に配管を行い、回転動作に対しては回転継手(スイベルジョイント)、曲げに対しては可撓配管(フレキシブルホース)を採用し、配管系に無理な負荷がかからないようにして固定化し、接続作業を省略できるものとした。またアンビリカルケーブル系を除く配管系は発射時の噴煙に直接触れて損傷しないよう、完全密閉構造のダクトに納めた。

CN-SJ系に注液されるヒドラジンは危険物としての取扱いが必要で、注液作業の行なわれる6階と8階には専用の強制換気装置、液洩れ検知装置、洗眼シャワー、注水装置等を設置している。



第 25 図 CN-SJ/TVC 注気注液配管系統図



第 26 図 30 ton 門型クレーン

(3) 電気系 (KE), 衛星 (SA) 班

KE系の配線は地下管制室, 共同溝, 地下給電路, M2変台ダクト内で区画整理を行い, 点検の容易さと将来の改修に備えた。配線系は前記のCN系と同じく全ライン密閉構造のダクトに納め, ランチャの旋回, 俯仰に対してもケーブルに無理な振りの発生しない敷設方式を採用し, 従来旧装置で発生したケーブル断線等の悪い実績を解消するように努めた。

衛星が組込まれた頭胴部を塔内へ搬入結合した後軽微な不具合が発生した場合, 整備塔の項で述べたように7~9階にクリーンルームを設け, 一般のロケット組立室とは区分し, 分解, 点検を行うことができる。

(4) 30 ton 門型クレーン

雨天においても運搬作業等が可能なように第26図に示すような屋根と側壁を有する

第7表 30TON 門型クレーン主要目

形 式	全天候型門型クレーン
主要寸法	全 帽：10400mm 全 長：10800mm 全 高：14700mm ホイールスパン：8000mm 総重量：約73TON
走行装置	速 度：1~25m/min連続可変式 7.5 加 速 度：0.05g(クッションスタートON, OFF切換付) 速度制御：サイリスタ1次電圧制御 電 動 機：AC11kW, 6P 2台
捲上装置	容 量：15TON×2台 10×4 揚 程：11000mm フック間距離：3500~7000mm 可変式 捲上速度：1~5m/min 5段変速 連動時の2台捲上機の揚程誤差：全揚程に対して55mm 電 動 機：AC22kW, 6P 各1台
横行台車	寸 法：幅8700mm×長さ3000mm 速 度：2m/min 2 電 動 機：AC0.75kW, 4P 1台
エレベータ	形 式：電動ウインチ式 積 載 重 量：200kg 昇降ストローク：7000mm 昇 降 速 度：3m/min
鋼構造部	側壁形式：形鋼骨組構造透明アクリル樹脂板付 シャッター：ステンレス製電動シャッター 2台 海と山側

全天候型で、構造は門型フレーム上に15 ton用巻上機2台を有する横行台車を搭載した形式のもので、フックは走行方向および横行方向に移動できる。また横行台車上の巻上機1台は走行方向に移動可能で、2台の巻上フック間距離を35 m～7.0 m(M-23モータの転倒が可能)に設定できるようになっている。

また、高所の位置におけるフックの掛替え作業が行えるように昇降式作業台を設けている。第7表に主要目を示す。

なお本門型クレーンは住友重機械工業(株)の設計・製作である。

III. 製作・施工と運用

1. 製作・施工

新発射装置の一つの基本方針は、M台地の旧装置を撤去した跡地に建設することであり、これをM-3S-2号機(56年2月)とM-3S-3号機(58年2月)の打上げ時期の合間に実施完工することである(第8表)。

旧装置の撤去から基礎工事、据付工事および装置単体試験に至る新装置の完成までの工程は18ヶ月間である。

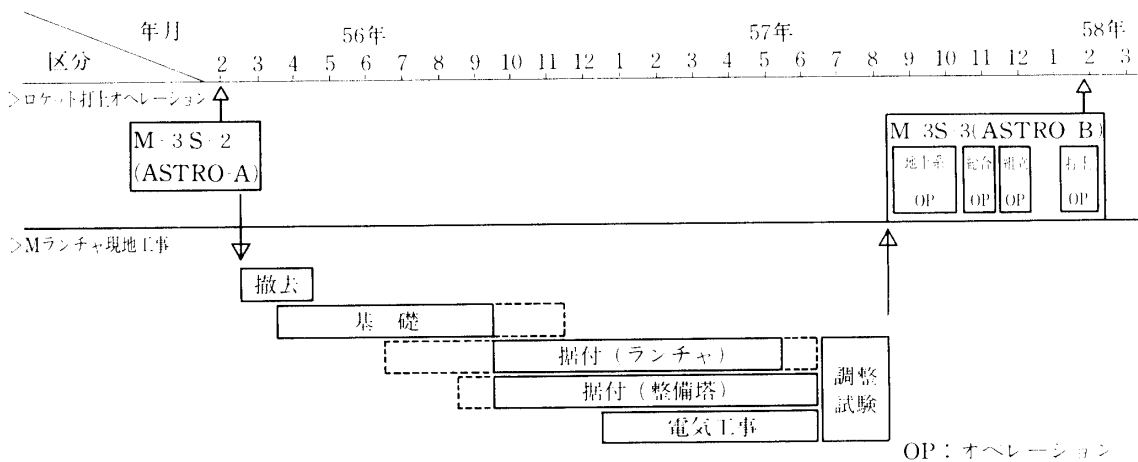
この際に整備塔とランチャとが独立しているのので表に示すように建設(据付)工事の併行が可能となり、工期短縮の効果が大きい。

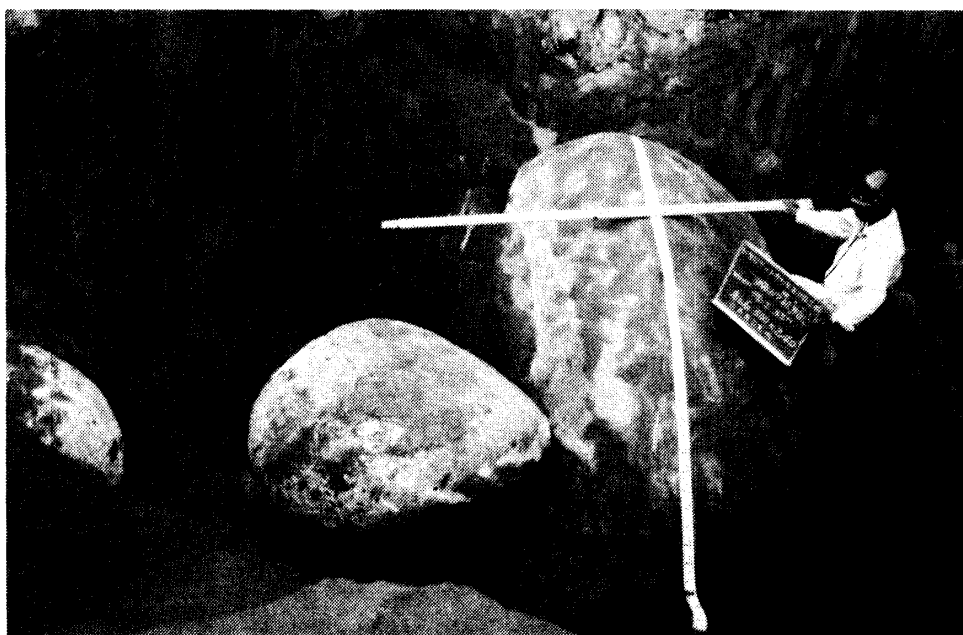
現地工事施工状況概略は下記の如くである。

(1) **旧発射装置解体、撤去**(56年3月～4月)M-3S-2号機の打上げ(56年2月21日)が済んだ翌日、旧装置への感謝祭が行なわれ、即日解体、撤去作業が開始された。

(2) **基礎工事**(56年4月～9月)旧整備塔が建設後1～3年の間に東側に巡回レール上で約30 mmの不等沈下があり、基礎部周辺にコンクリートを圧力をかけて流し込み、レールレベルを修正した苦い経験があったので、今回は整備塔の周囲を念を入れてボーリングし、地質調査を行った。その結果、新整備塔を建設するのに必要な支持層N値50は地下20～24 mに分布していることがわかった。(N値：標準貫入試験の打撃数)

第8表 M型ロケット発射装置工事KSCスケジュール





第27図 基礎工事転石



第28図 基礎工事完了状態

旧整備塔の基礎はクイは打たず井筒(ウエル)であったが、新整備塔ではPC抗基礎方式を採った。そして整備塔およびランチャを一体型として支えるコンクリート構造であるが、共同溝に通ずるトンネル部(地下給電路)を設けている。

先ず4月から6月に抗打ち工事で直径500mmのPC抗を134本、約24mの深さまで打ち込んだ。

抗打ち作業ではこの地特有の転石に難工事を強いられ、特殊な高性能堀削機をも導入し、転石を2~3個串刺しにした例もある(第27図)。

7~9月までの間にコンクリート工事(コンクリート容量約5000m³、ダンプカー約400台分)が施工され、5回に分けてコンクリート打設が行われた。このようなハードな器材輸送等のことを地元内之浦町の方々が快よく受入れて下さったことは感謝にたえない。これと併行してランチャおよび整備塔のアンカーフレームの据付作業が施工された。基礎工事完了状態図を第28図に示す。

(3) 据付工事 56年10月より本体構造物据付工事が始まった。

① ランチャ関係：10月、11月に旋回軸受、旋回レール、旋回ボギーの据付が施工された。旋回レールの上面は、ランチャ左右倒れを規定する定盤に相当する部分で、特に発射方位角範囲($N+180^{\circ}\sim N+85^{\circ}$)における高い精度と信頼性が要求される。直径15mの6分割レールは、工場において上面を基準にして、下面は機械加工を施し、現地据付状態において一体に溶接した。また、このレール設置方式はライナ無しという至難の据付方式で行ったが水平度は1/5000以内および全周(15m直径レール)で2mm以内に仕上がった。

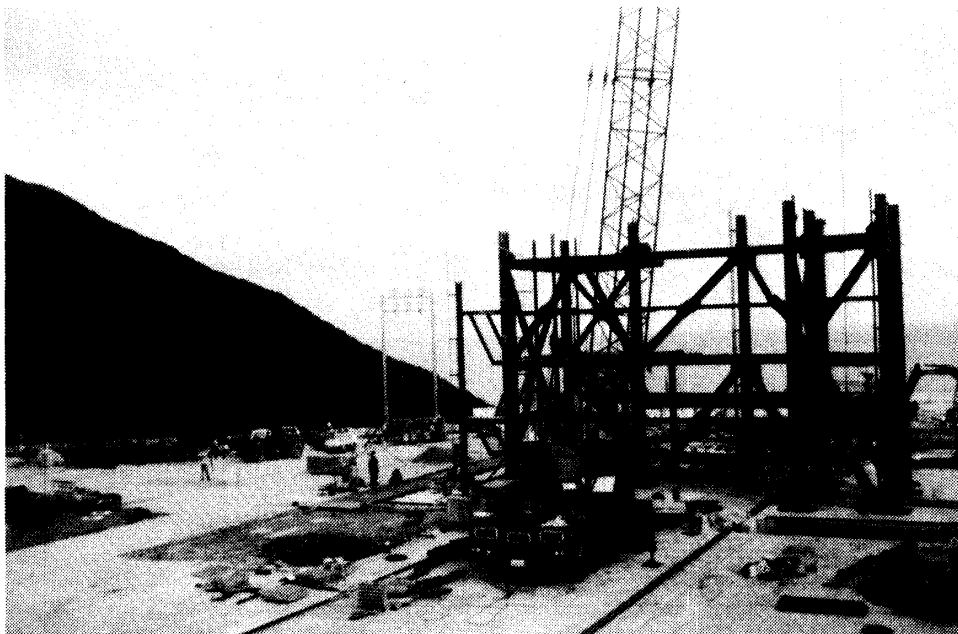
新発射装置で最大の構造ユニットであるランチャ台車(3分割型)は工場では仮組を終えて、現地へ搬入されることになったが、内之浦の輸送途中道路工事と時期を同じくして、通行制限を受けあわや台車切断という大事に合うところであったが、これもジャッキを応用した特殊な輸送工法を駆使して切り抜け無事KSCに運んだ。

12月、57年1月の間に台車本体は旋回軸受、ボギー上に据付けられ1月中旬にはランチャ台車系の仮旋回試験を実施した。試験の結果、旋回作動はスムーズで直径15mのレール上を旋回、走行し心配していた車輪の滑りによる不都合も発生せず、また旋回抵抗も設計解析どおりとなり、ブーム系など以降の据付完工後のランチャ最終特性確保に自信を得た。

2月、3月にブーム(3分割型)が搬入され、本体、ガイドレール、ロケット支持台等の順に据付けられた。このガイドレールは打上げ時ロケットを滑走案内するものでランチャにおける重要機能部の一つであり、所定の精度(真直度、垂直度、平行度)確保のため据付に最も苦労したものである。それはガイドレールの滑走面に専用に考案製作された位置決め治具を駆使して、昼間における他作業および日射による影響を避けるため、夜間に最終的な調整および据付精度の検査を行った。

② 整備塔関係：56年10月から12月の間に塔本体鉄骨の建設が施工された(第29図)。57年1月に20ton天井走行クレーンが11階に据付けられた。

1月、2月にランチャ出入扉が据付けられ人間一人で開閉作動が可能という満足のい



第29図 整備塔本体鉄骨の建設

く結果が得られた。また併行して、11月から3月の間に塔外装、内装工事が施工され本格的な艤装が始まった。

◎ 電気工事：共同溝が完工すると、57年1月より電気工事が開始され、2月、3月と電気配線用ダクト、配線および機器の取付作業が施工された。2月6日には現場(KSC)において、関連各班(LA, KE, SJ, TVC, IG 他)およびメーカーが参集し、ランチャおよび整備塔に敷設するケーブル、配管類に関する施工要領について調整会議が催され、以降(4月～6月)の各工事の推進に有効な結果を得ることになった。

特筆すべきは1年7ヶ月の間延17639人日の大工事が1名の負傷もなく完遂されたことであり、これは三菱重工(株)前波現地所長の指導によるところが大きい。

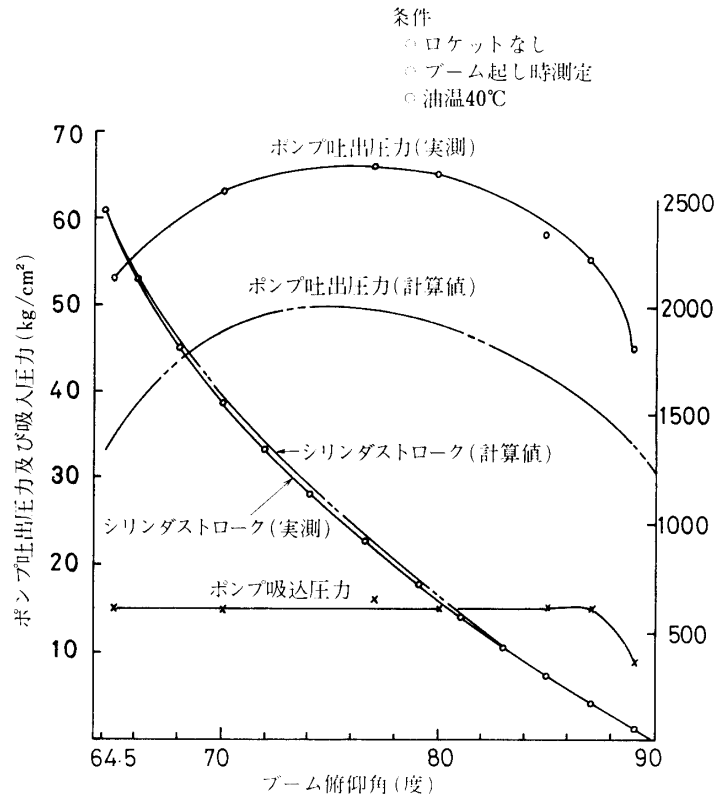
2. 運用

(1) 試運転(調整試験)

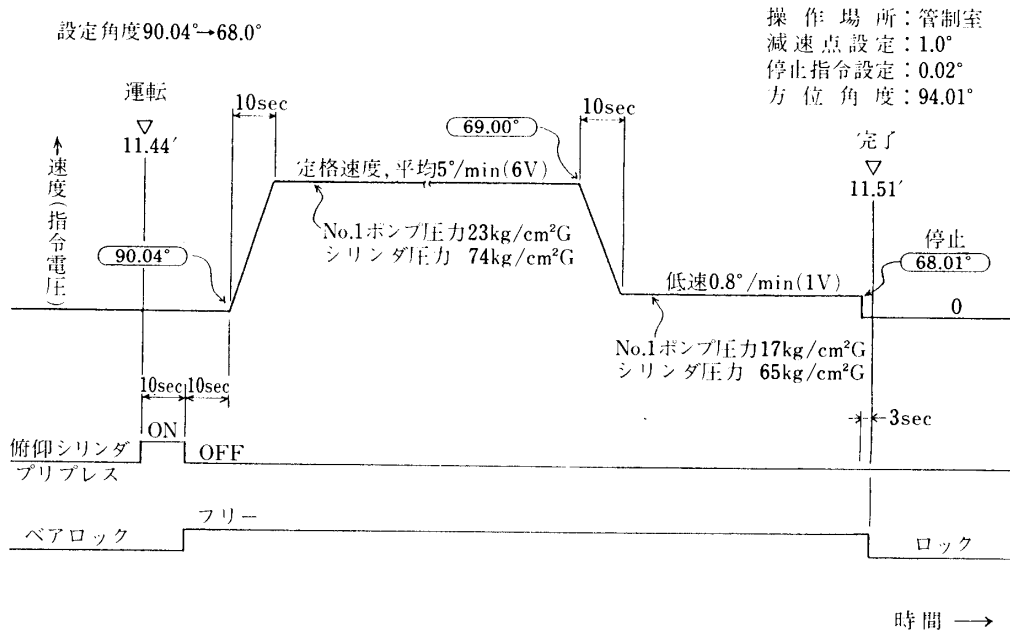
先ず7月に各部の組合せ調整試験としてランチャ系ブーム、台車、火焰偏向板等、整備塔系-可動床、ランチャ出入扉類、クレーン設備等の作動調整を行い、驚く程順調に予定のスケジュールを消化し、特性データを取得した。その例を第30, 31図, 第9表に示す。

この期間において印象的なこととして、7月5日に震度4のかなり強烈な地震に見舞われたが、ランチャ、整備塔とも損傷は全くなかった。

8月は、無負荷での一連の作動試験を10日までの間に行い、また併せて8月4日から6日の間に構体の振動試験を実施した。結果については後述する。



第30図 ブーム俯仰角とポンプ圧力及び俯仰シリンダーストロークの関係



第31図 俯仰角度設定(倒し)自動運転

第9表 整備塔騒音計測データ

場所	条件	室内中央部	空調ダクト吹出口前方1m	機器の前方1m
測定位置 地下給電路		ホーン(A)	ホーン(A)	ホーン(A)
1階	地下換気 停止	40.5		
	運転	66	75	
中2階	地下換気 停止	56		換気ユニット
	運転	61	57	60.5
2階		62.5	64	70.5
3々		63	66	70.5
4々		59	58	
5々	強制換気 停止	63.5	64.5	69
	運転	69		排気ファン下方 72.5
6階	停止	61	61	61.5
	運転	70		給気ファン前方 75.5
7々	停止	58	60	排気ファン下方 66
	運転	71		給気ファン前方 76
8々	運転	56.5	62.5	
9々		54	56	
10々		56	61	56
11々		54		63
光学観測室		58		66/75 59
クリーンルーム		50		
4F操作室		58		

(2) 荷重試験

単体の運転試験終了後 M-3S 型ダミーロケットを用いて、計測をも含んだ荷重試験を主目的としたオペレーションを行い、併せて実験班の慣熟訓練を兼ね実施した。

下記にその概要を列記する。

① ランチャオペレーションの確認

① ロケット組立：従来は整備塔までのロケット運搬作業を 40 ton 門型クレーンと転倒台車で行っていたが、新発射装置では全て 30 ton 新門型クレーンのみで可能となった。

ロケット運搬と整備塔への吊込は 30 ton 門型クレーンと整備塔の 20 ton クレーンとの組合せで行ったが、運搬および組立作業中 3 日間とも風雨に見舞われたが、作業は天候に影響されることなく、特に整備塔内への吊込作業は吊込胴内のスペースも広く、20 ton 整備塔クレーンの性能(吊上速度)も向上しているため、組立を容易に行うことができた。

また尾翼の運搬、組付作業はエレベータと整備塔 2 階に装備された 0.5 ton のクレーンで作業を実施したが、従来の約半分の時間で消化することができた。

ロケットをランチングレールに装着する作業は、2 階の作業スペース、支持台の操作性が改良され、従来より短時間で安全かつ正確に出来ることが確認された。

② ランチャセット操作：旧発射装置ではランチャセット作業として、塔アンカ、塔旋回、ランチャ走行、俯仰の 4 つの大きな動作があった。新発射装置では上述したようにランチャ旋回、俯仰の 2 つの動作のみとなり、タイムスケジュールが相当(約 1/2)短縮されることが確認された。

また火焰偏向板の旋回途中での自動装着が短時間で可能なことも確認された。

② 作業性

① 各階床がロケット各段セグメント結合位置によく対応しているため、結合作業が容易である。

② 尾翼および尾翼筒周りの作業に対応して、2 階に床を設けたので明るさ、広さ、接近性、安全、床のすべり等の作業性が良くなった。

③ 頭胴部の位置する 7~9 階に昇降床を設けたことにより、着脱コネクター等の装着作業に適応範囲が広がった。

③ 操作性

① ランチャ旋回、俯仰操作は遠隔自動設定による作動で、操作が簡略化された。

② 整備塔内専用の通話装置が設備され、各操作、作動連絡が密接に行われ、また 4 階操作室における作業の集中管理が可能で能率良い操作が実施できる。

④ 作業の安全および環境

① 塔内温度、湿度の集中管理を塔 4 階で行うことにより各階の温度状況が良くわかる。各階の温度差は $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ である。

② 整備塔 7~9 階のクリーンブースは頭胴部全体を覆い、衛星等の環境条件を良く保てる。旧整備塔と比較して格段の好環境が確保できた。

- ③ ランチャ、整備塔の油圧機器の騒音は少ない。
- ④ 各階の床には滑り止め材を使用し、また可動床、固定床周に手摺および安全ロープを設置している。
- ⑤ ランチャ出入扉、ランチャ旋回、クレーンおよび昇降床等大物の作動時には、それぞれ異なった警報音を発し、安全性の向上が図られている。
- ⑥ **まとめ**

この荷重試験ではロケット組立期間中、全天候型 30 ton 門型クレーンおよび整備塔の吊込胴の組合せにより、ロケットの運搬、吊込、組立の一連の作業を悪天候の下でも支障なく行えることが確認出来た。

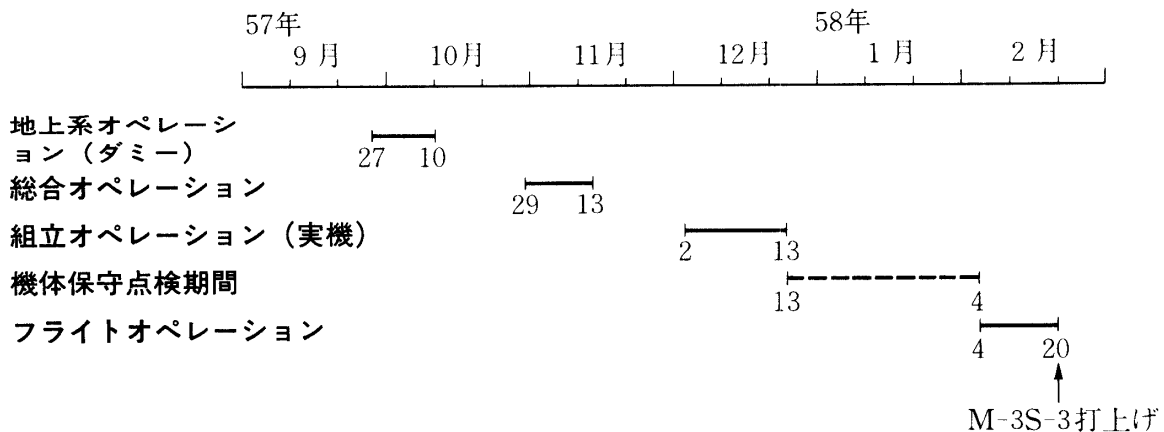
またランチャ負荷試験および振動試験の諸計測値は設計値とほぼ一致し、系が計画通り完成していることが認められ今後のオペレーションに対する有意義な資料を得た。

全体的にみて、塔内は作業床も広く、手摺、床の滑り止め等安全性の面も十分に施されているが、更に可動床および昇降床の色別を行い、作業性の向上を図ると共に作業の安全管理に努めた。計測結果についてはIV章で述べる。

(3) 実機オペレーション

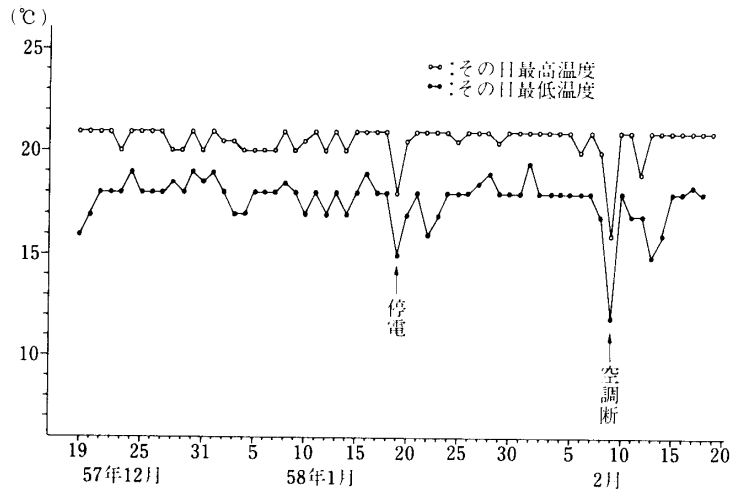
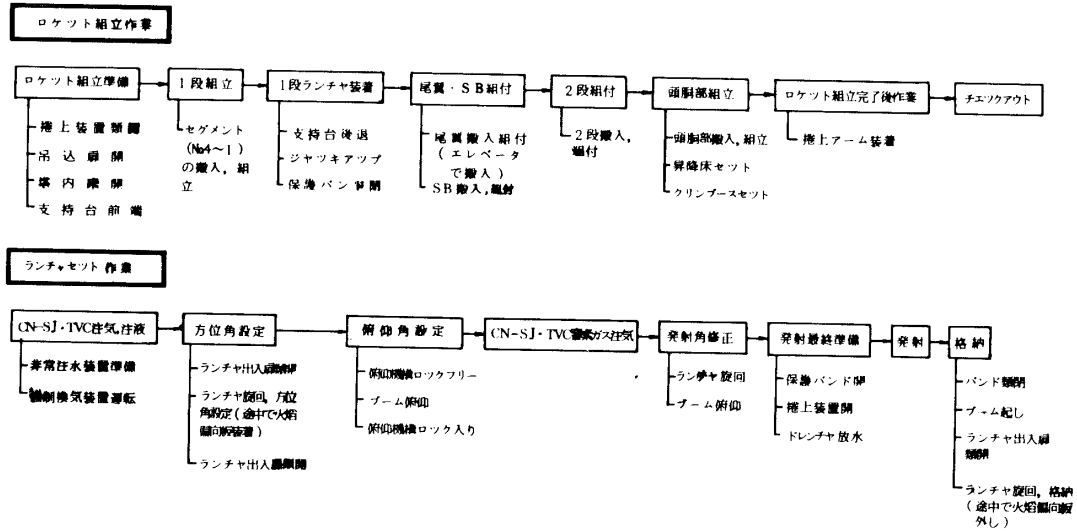
新発射装置は、昭和 57 年 8 月 30 日に完成し、9 月 27 日より M-3 S-3 号機のオペレーションを第 10 表の如く行った。

第10表 オペレーション日程



新発射装置のオペレーションフローチャートを第 11 表に示す。この間、特に大きな不具合はなく、リハーサルの際に巻上装置用アクチュエーターのドレンケース部より油洩れが発生した程度であった。

第11表 オペレーションフローチャート

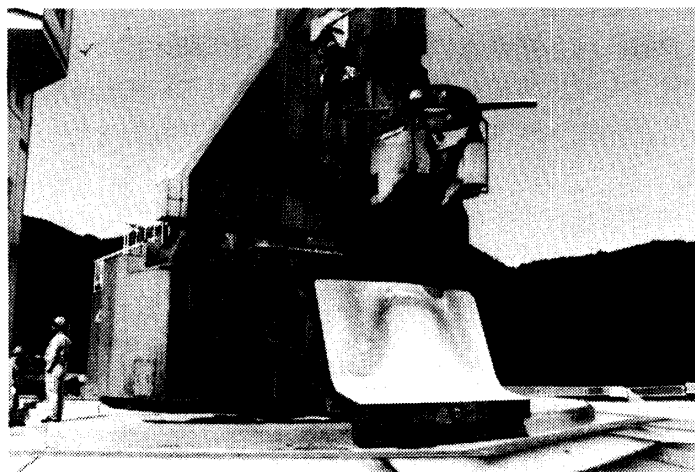


第32図 塔内温度測定データ

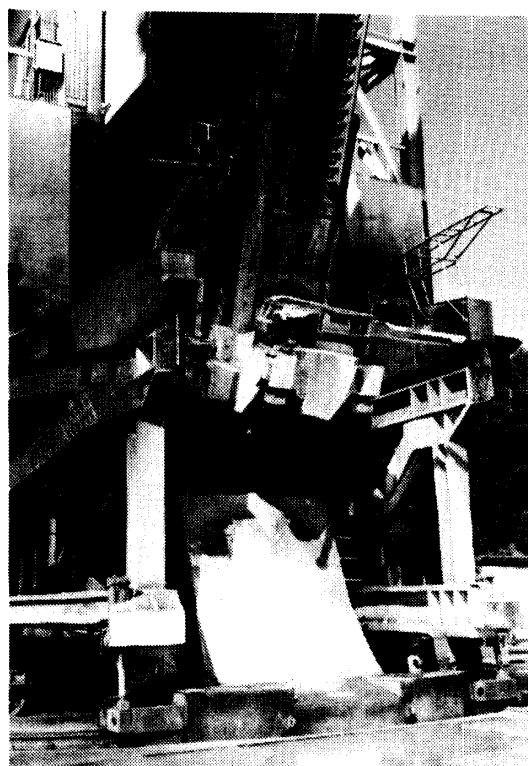
実機組立オペレーション終了後（昭和57年12月18日）より、発射当日（昭和58年2月20日）まで約64日間、整備塔内は昼夜連続の暖房運転を行った。20°C設定に対して、17°C～21°Cと安定した結果を得ることができた。この期間中の日毎のデータを第32図に示す。

打上げ後整備塔およびランチャの点検を行った。整備塔は窓ガラスが3ヶ所割れたのみ

で、その他の損傷は全くなかった。またランチャにおいてもロケット支持台の周囲表面が一部焼損し、ブーム前面、台車前面の塗装が焼け焦げた程度で、俯仰、旋回の基本動作には全く異常がなく、予想以上の軽微な損傷で、旧ランチャの経験を反映させた新ランチャの成果を確認することができた。新、旧ランチャの打上後の同じ部分の比較を第33、34図に示す。



第33図 新ランチャロケット打上げ後の状態



第34図 旧ランチャロケット打上げ後の状態

IV. 新発射装置の動的解析と計測結果

本発射装置の耐風、耐震特性の解析およびロケット発射時のランチャブームの挙動についての検討を行った。以下にその概要と各種試験の実測結果を述べる。

1. 整備塔の動的構造解析

整備塔はランチャ出入扉、ロケット吊込胴、さらには数多くの可動床を有しており、非対称性のかなり複雑な骨組構造となっている。動的解析のための数学モデルとしては各骨組部材（柱、梁、斜材等）の各接合点に質点を設け、質点間の部材の質量は各質点に集中させ、各質点間は剛性を有する質量なしの部材で結合されている形を採った。計算はラーメン構造モデルにより、一部トラス構造モデルについて比較検討を行った。

(1) 固有振動数

数学モデルによる固有振動数の計算結果を第12表に、振動モードの一例を第35図に示す。計算は20次(9.5 Hz)以上までなされているが、表と図にはその一部を示した。表中のモーダル質量および刺激係数は S 次の固有振動数における質点 r の規準モード sUr 、質点 r の質量を m_r とするとき、それぞれ $\sum_{r=1}^n m_r s U_r^2$ 、 $\sum_{r=1}^n m_r s U_r / \sum m_r s U_r^2$ を表わす。整備塔の固有振動は1次振動が135°方向(第35図参照)の曲げ振動、2次振動が45°方向の曲げ振動モードである。3次振動として振り振動が現われている。以上の結果はラーメン構造モデルで計算した結果であるが、第13表と第36図にトラス構造モデルとして計算した結果を比較して示す。振動数、モードとも低次ではラーメン構造と対応がとれている。

(2) 耐震強度

地震時の挙動および強度は重要検討事項の一つである。解析に用いた地震入力は「コンビナート保安・防災技術指針」に基づいて決定した。地震入力となる応答スペクトル $S_A(T)$ は次式で与えられる。

$$S_A(T) = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_5 \cdot \alpha_0 \quad (1-1)$$

$S_A(T)$: 固有周期 T の応答加速度スペクトル

α_0 : 基準設計加速度

β_1 : 重要度係数 (=0.75)

β_2 : 地域係数 (=0.35)

β_3 : 表層地盤増幅係数 (=1.8)

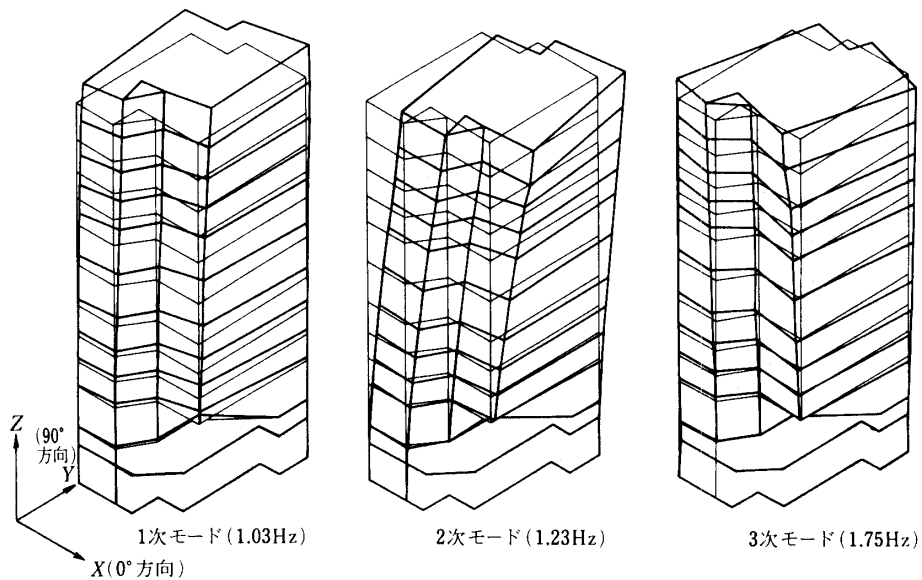
β_5 : 建造物の固有周期を考慮した応答倍率

同技術指針では地震基盤における加速度 α_0 は一様に 150 gal としている。 $\beta_1 \cdot \beta_2 < 1/3$ の場合は $\beta_1 \cdot \beta_2 = 1/3$ とすることになっており $\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \alpha_0$ の値は 90 gal となる。上記入力条件により地震応答計算をし結果の一例を第12, 13表, 第35, 36, 37図に示す。地震入力方向は4方向(0°, 45°, 90°, 135°)について行ったが、入力方向が変化しても応答はほぼ135°方向(最弱軸方向)に顕著であり、1次振動モード(第35図参照)に一致している。

ラーメンモデルとトラスモデルによる比較として減衰比 $h=0.01$ の場合の整備塔最上階における変位応答を第38図に示す。双方のモデルによる差異はわずかである。

第12表 固有振動数と刺激係数(ラーメンモデル)

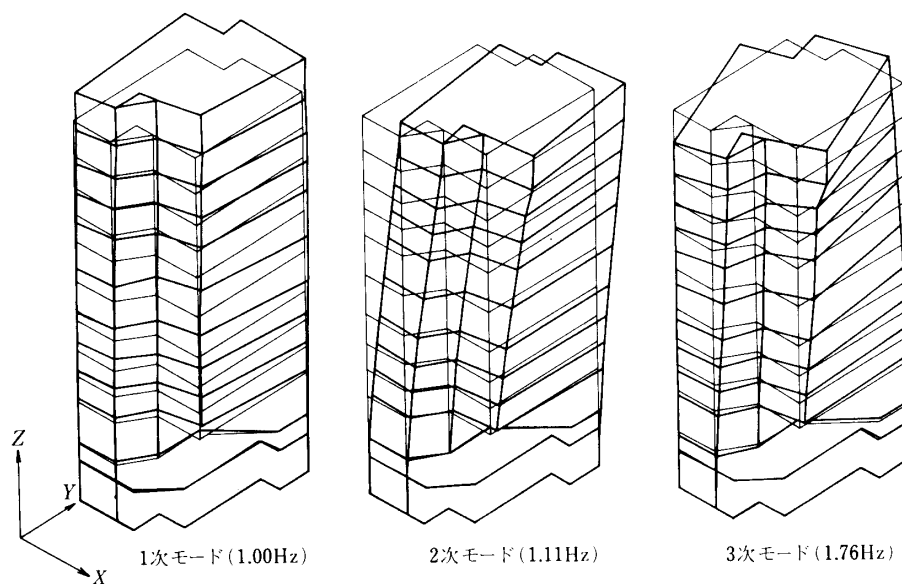
次数	周波数 (Hz)	モーダル質量 (kg·S ² /cm)	刺激係数			備考
			X方向	Y方向	Z方向	
1	1.036	656.72	-0.719	0.772	0.010	135°方向 曲げ1次 45°方向 曲げ1次 振り1次
2	1.238	307.80	1.133	1.007	0.005	
3	1.755	262.79	-0.294	-0.405	0.050	
4	4.039	123.61	-0.921	1.034	-0.036	曲げ2次
5	4.395	264.80	0.549	0.787	-0.051	
6	4.541	271.64	-0.599	0.065	-0.038	
7	5.315	32.88	0.253	0.157	0.764	
8	5.758	38.68	0.577	-0.643	1.190	
9	6.027	197.42	-0.065	0.121	1.551	
10	6.055	221.49	0.274	0.057	0.206	



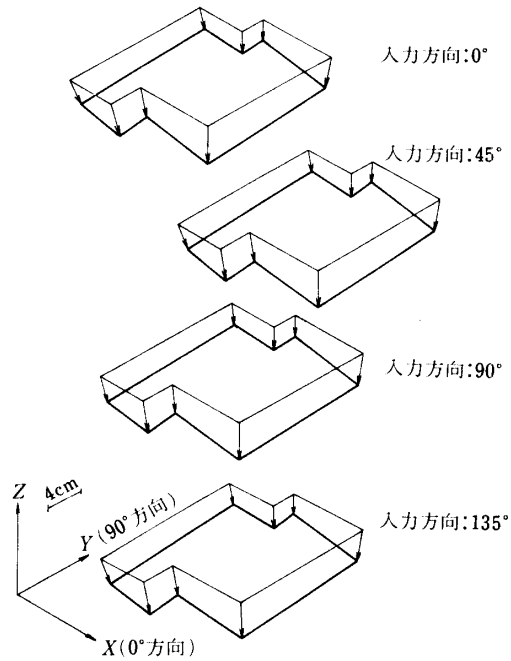
第35図 固有振動数とモード(ラーメンモデル)

第13表 固有振動数と刺激係数(トラスモデル)

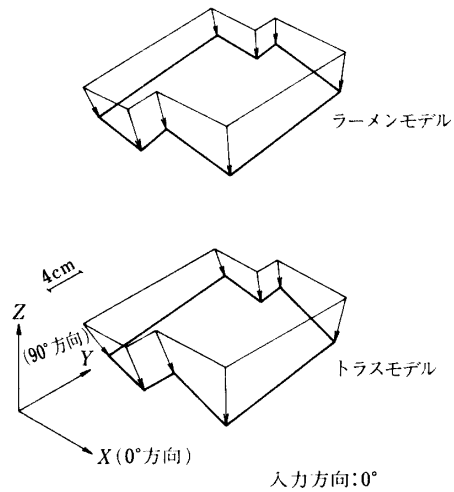
次数	周波数 (Hz)	モーダル質量 (kg·S ² /cm)	刺激係数			備考
			X方向	Y方向	Z方向	
1	1.000	514.19	-0.782	0.875	0.013	135°方向 曲げ1次 45°方向 曲げ1次 振り1次
2	1.111	235.48	1.317	1.021	0.006	
3	1.760	165.80	0.236	1.101	-0.038	
4	2.005	128.74	-0.454	0.028	0.042	
5	3.591	144.41	0.400	0.559	-0.031	
6	3.710	164.12	0.847	0.547	-0.027	
7	3.769	156.87	-0.529	0.791	-0.150	
8	3.984	88.17	-0.217	-0.126	0.034	
9	4.082	45.61	-1.479	0.752	-0.072	
10	4.313	38.94	0.299	0.605	0.486	



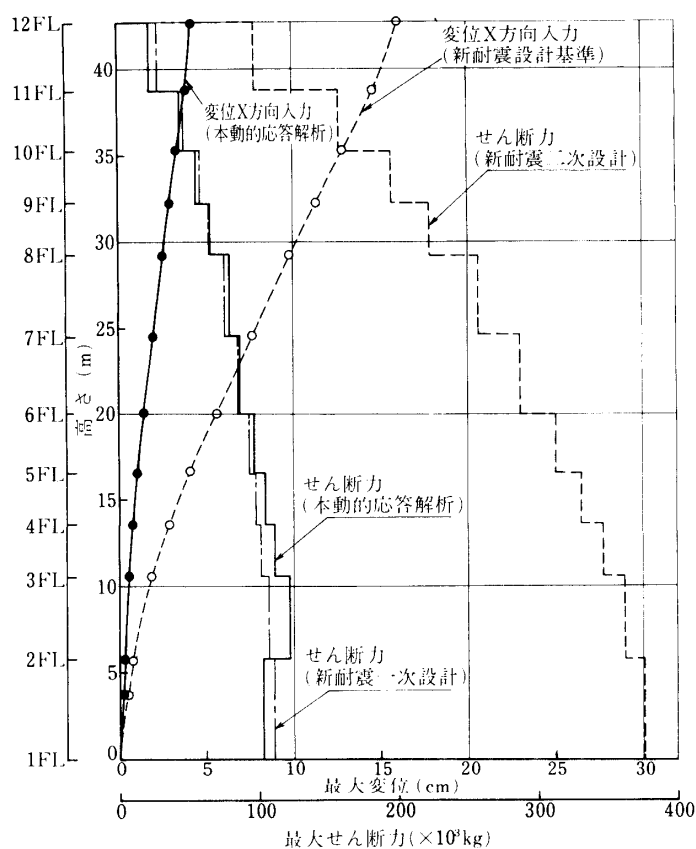
第36図 固有振動数とモード(トラスモデル)



第 37 図 地震入力方向に対する最上階の変位
応答 (減衰比 $h=0.02$)



第 38 図 ラーメン、トラスモデルによる変位
応答の比較 (減衰比 $h=0.01$)



第39図 新耐震設計と動的応答解析との比較

なお、本整備塔の主要構造部材は「新耐震設計基準」に基づいて設計されており、上記の動的解析は参考までに行ったものである。この基準は建築物の高さおよび構造の種別に応じた構造計算の方法をとるよう指定されており、特に地震力が厳しくなっている。動的解析による各階のせん断力、変位と新耐震設計による1次、2次設計のそれと第39図に示す。図に示すように2次設計では変位は解析値の4倍に達し、この基準が非常に厳しいことがわかると同時に、本発射装置の耐震強度は充分満足していることがわかる。

(3) 耐風特性

整備塔の耐風特性は①静風圧力（設計風速 70 m/s）による静的応答と②変動速風速（突風）による不規則振動応答を検討した。

① 静風圧力による静的応答

$$\text{静風圧力は } P = C \cdot Q \cdot A$$

(1-2)

で与えられる。

P ：風圧力 (kgf)

A ：受風面積

C ：風力係数（前面=0.8，背面=0.4）

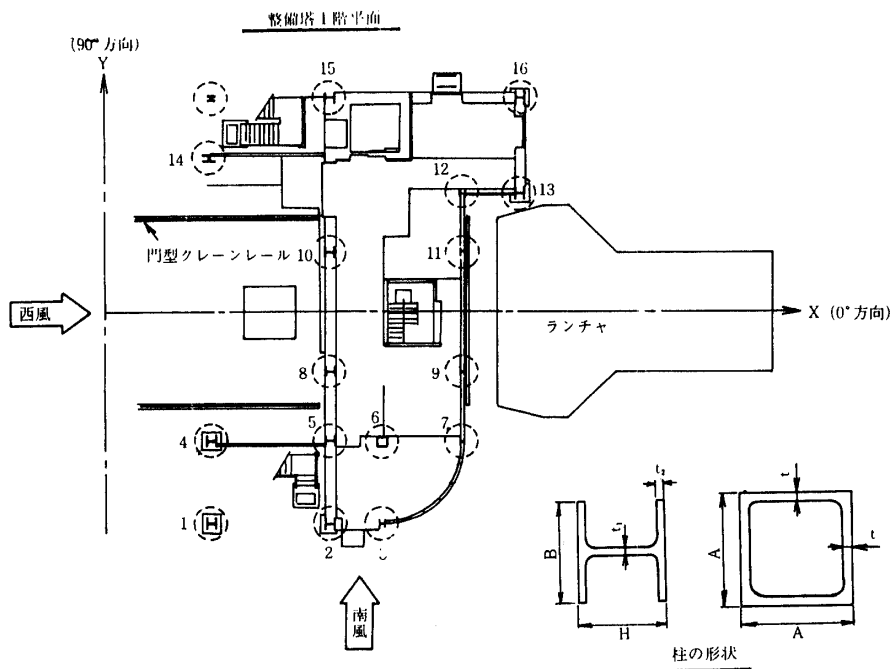
$$Q: \text{速度圧 (kgf/m}^2\text{)} = (1/16)V^2_{(z)}$$

$$V_{(z)}: \text{地上高さ } z \text{ m での風速 (m/s)} = (z/10)^{\frac{1}{6}} \cdot V_{(10)}$$

$$V_{(10)}: \text{地上高かさ 10 m での風速 (m/s)}$$

計算は整備塔を立体骨組トラス構造と考え、各節点に作用する風圧力を上式より求めた。結果を第14表に示す。これらの値は長期荷重(鉛直方向)と風荷重が総和されて求められている。整備塔が設計風速70m/sの強風に対して十分な強度があり問題ないことが確認できる。

第14表 静風圧による応答計算結果



代表部 材番号	柱の形状および寸法	断面積 (cm ²)	西 風		南 風	
			軸力(TON)	応力(kg/cm ²)	軸力(TON)	応力(kg/cm ²)
1	H (H) (B) (t ₁) (t ₂) 394×398×11×18	186.8	171.1	916	58.7	314
2	H 394×398×11×18	186.8	-248.8	-1332	85.9	460
4	H 400×400×13×21	218.7	277.0	1266	-126.0	-576
5	H 400×400×13×21	218.7	-146.8	-671	-12.3	-56
6	□ (A) (A) (t) (t) 400×400×22×22	332.6	-374.8	-1187	-26.5	-80
10	H (H) (B) (t ₁) (t ₂) 394×398×11×18	186.8	-50.3	-267	-109.5	-586
13	H 400×400×13×21	218.7	-230.0	-1052	46.4	213
15	H 414×405×18×28	295.4	148.8	504	-386.5	-1308
16	H 400×400×13×21	218.7	-258.5	-1182	-197.2	-902
代表部材番号6における最上階での撓み 量 (cm)			11.70 (X方向)		7.14 (Y方向)	

⑥ 変動風速による不規則振動

自然風を整備塔が受けると整備塔は風の変動成分のために振動する。この変動風速を整備塔に作用する動的な強制力と考え振動応答を統計量として求めた。

整備塔の固有振動数，固有モードなど構造系の振動特性が既知の場合整備塔の振動量は応答変位スペクトルの形で次式のように与えられる。

$$S_y(z; f) = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\phi_r^2(z) Jrr}{16\pi^4 M_r^2 \{(f_r^2 - f^2) + (2\psi_r f_r f)^2\}} \quad (1-3)$$

$\phi_r(z)$: r 次の固有振動モード関数

f_r : r 次の固有振動数

f : 振動数

H : 整備塔の高さ

$$Mr : \int_0^H m(z) \phi_r^2(z) dz$$

$m(z)$: 質量

C : 粘性減衰係数

$$\psi_r = \frac{\int_0^H (C + K_1 V(z)) \phi_r^2(z) dz}{4\pi f_r M_r}$$

$V(z)$: 平均風速

K_1 : 空気減衰係数

C_D : 空気力係数

$|X_a(k)|^2$: 空気アドミッタンス

$$Jrr = \int_0^H \int_0^H \phi_r(z_1) \phi_r(z_2) S_p(z_1, z_2; f) \cdot dz_1 \cdot dz_2$$

$$S_p(z_1, z_2; f) = (\rho C_D)^2 |X_a(k_1)| \cdot |X_a(k_2)| \cdot e^{-\frac{|z_1 - z_2| f \lambda_\omega}{V(z)}} \\ \times V_{(z_1)} \cdot V_{(z_2)} \\ \times \sqrt{Su(z_1; f)} \cdot \sqrt{Su(z_2; f)}$$

$Su(z; f)$: 変動風速パワースペクトル密度

λ_ω : 乱れのスケールに関する量

さらに変位応答スペクトルと振動変位の標準偏差 $\sigma_{y(z)}$ は

$$\sigma_{y(z)} = \left[2 \int_0^\infty S_y(z; f) df \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-4)$$

で求められている。

また変動風速パワースペクトル密度は次式で与えられる。

$$Su(z; f) = 2kr \cdot \frac{V_{10}^2}{f} \cdot \frac{X_B^2}{(1 + X_B^2)^{\frac{4}{3}}} \quad (1-5)$$

$$X_D := L \frac{f}{V_{10}} \quad (L=1200 \text{ m})$$

k_r : 地表面の摩擦係数

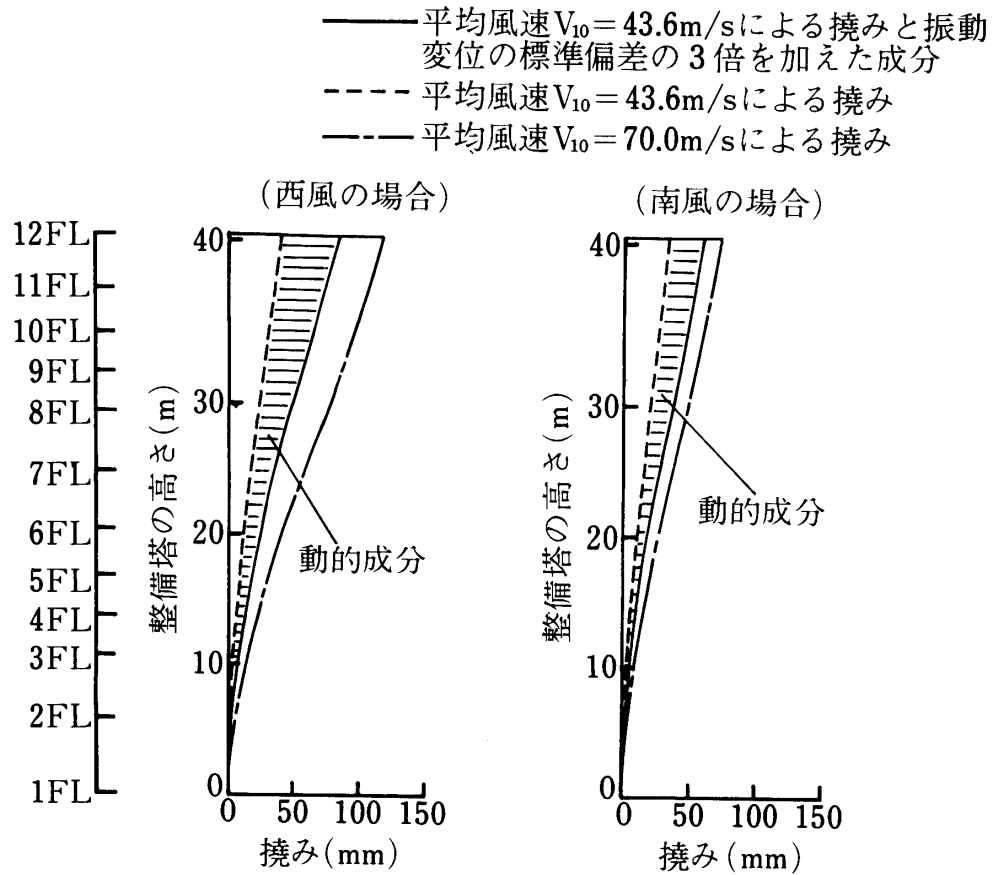
計算にあたり整備塔の固有振動数、モード、モーダル質量を用い整備塔を1本のビームに置換し、地上10mにおける平均風速の再現期間を50年とし場合の鹿児島県枕崎における推定値 $V_{10}=43.6 \text{ m/s}$ を採用した。その他計算に用いた変動風の特徴および構造物の諸元を第15表に示す。計算結果を第16表に、不規則振動応答計算結果と静的応答量との比較を第40図に示す。静風圧力によるたわみ量は変動風速を考慮したたわみ量より大きい。これは静風圧力 ($V_{10}=70 \text{ m/s}$) による強度検討を行っておけば強度上安全であることを意味している。

第15表 計算に用いた風、構造物の諸元

計算入力条件		風 向	
		西 風	南 風
風	地上10mにおける平均風速 (V_{10})	43.6m/s	43.6m/s
	平均風速の鉛直分布の指数 (α)	0.1667	0.1667
	地表面の摩擦係数 (K_r)	0.005	0.005
	乱れのスケールに関する量 (λ_l, λ_w)	7	7
	空気力係数 (C)	1.2	1.2
構 造 物	1次固有振動数	1.036Hz	1.036Hz
	減衰比	0.01	0.01
	整備塔の幅	18m	13m
	整備塔の高さ	43m	43m

第16表 変動風速による計算結果

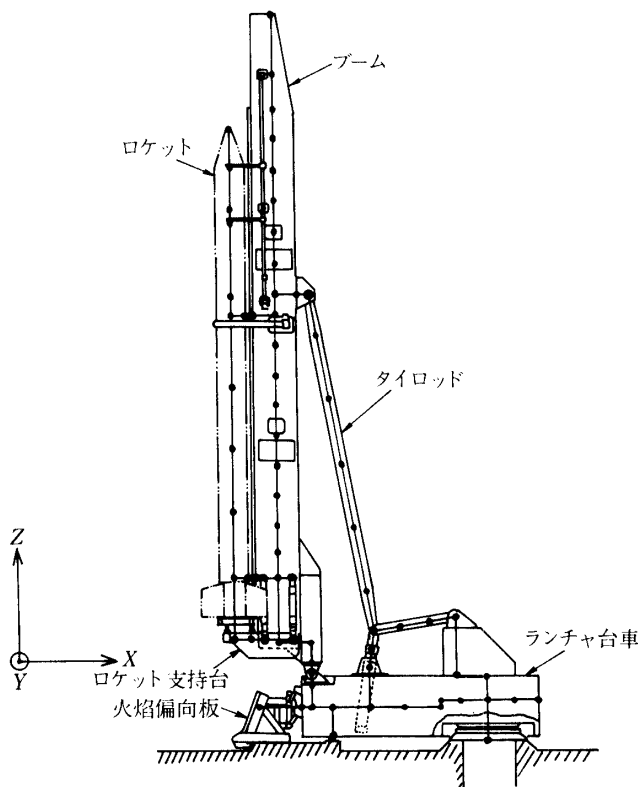
最上階における撓み	風 向	
	西 風	南 風
地上高さ10mにおける平均風速 ($V_{10}=43.6 \text{ m/s}$) による撓み (δ_s)	4.031cm	2.848cm
振動応答変位の標準偏差 (σ)	1.455	1.106
標準偏差値の3倍 (3σ)	4.365	3.318
推定最大応答変位 ($\delta_s + 3\sigma$)	8.396	6.166
$V_{10}=70 \text{ m/s}$ による応答変位	11.70	7.14



第40図 変動風速による不規則振動応答計算
と静的応答量の比較

2. ランチャ動的解析と検討

ランチャの数学モデルは整備塔の場合と同じく第41図に示すように有限個の質点を設け、質点間の質量は各々の質点に集中させ質点間は剛性のみ有する部材で結合されているものとした。ランチャのみの系では節点数75、要素数82で、ランチャ・ロケット系では節点数87、要素数96のモデルとなった。



第41図 ランチャの数学モデル

(1) 固有振動数

上記モデルにより計算した結果を第17, 18表に、モードの一例を第42, 43, 44図に示す。ランチャの基本固有振動数はY方向(旋回方向)が低く0.992 Hz, X方向(俯仰方向)が1.468 Hzである。ロケットを装着することにより, Y方向が10.8%低下し0.885 Hzに, X方向が19.6%低下し1.18 Hzとなる。更に俯仰角(70°)をつけることによりY方向は1.1%低下し0.875 Hzになるが, X方向は逆に32.2%増加し1.56 Hzとなる。

第17表 固有振動数と刺激係数 (ロケット無)

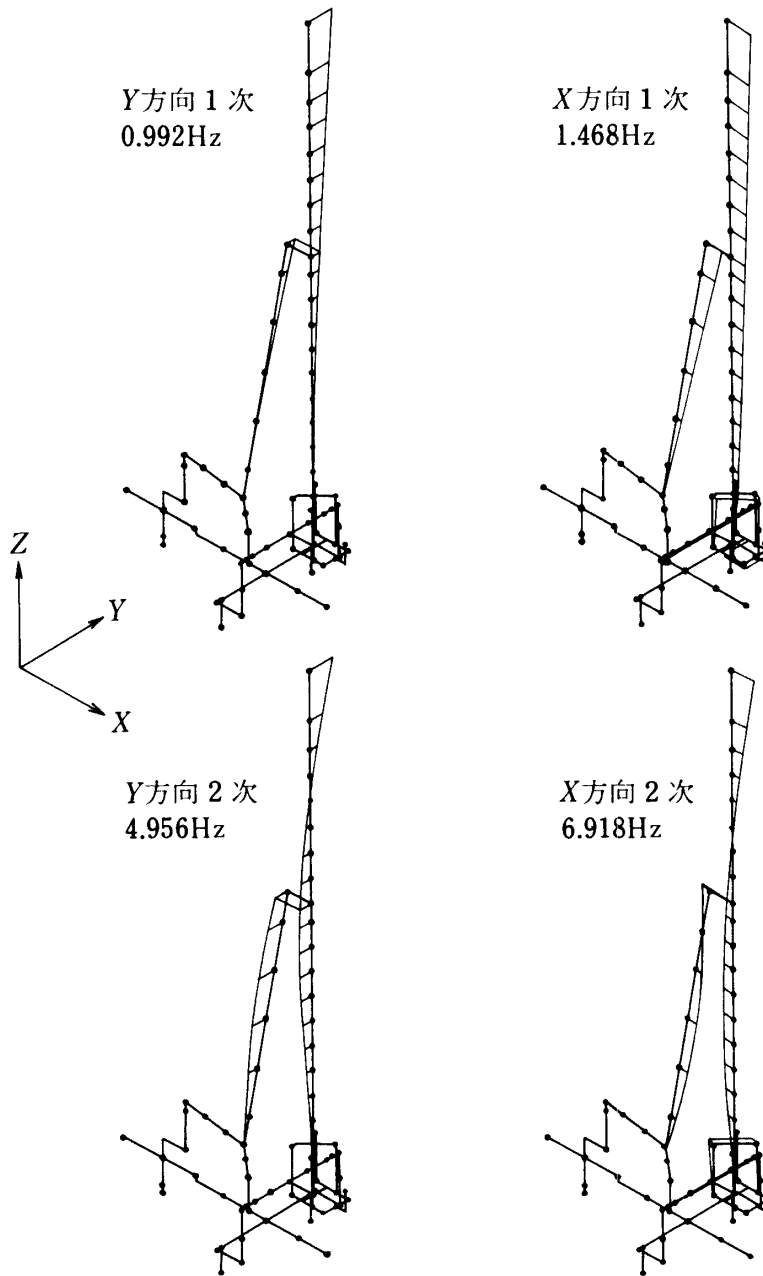
次数	固有振動数 (Hz)	モーダル質量 (kgf·sec ² /cm)	刺激係数			備考
			X方向	Y方向	Z方向	
1	0.992	12.735	0.0	1.732	0.0	ブームY方向1次
2	1.468	26.364	1.547	0.0	-0.325	ブームX方向1次
3	4.956	13.091	0.0	-1.333	0.0	ブームY方向2次
4	5.751	3.861	0.832	0.0	-0.226	タイロッドX方向
5	6.918	11.307	-0.744	0.0	0.442	ブームX方向2次
6	8.073	3.566	0.0	0.260	0.0	タイロッドY方向
7	11.602	25.424	0.0	1.412	0.0	ブームY方向3次

(俯仰角: 90°)

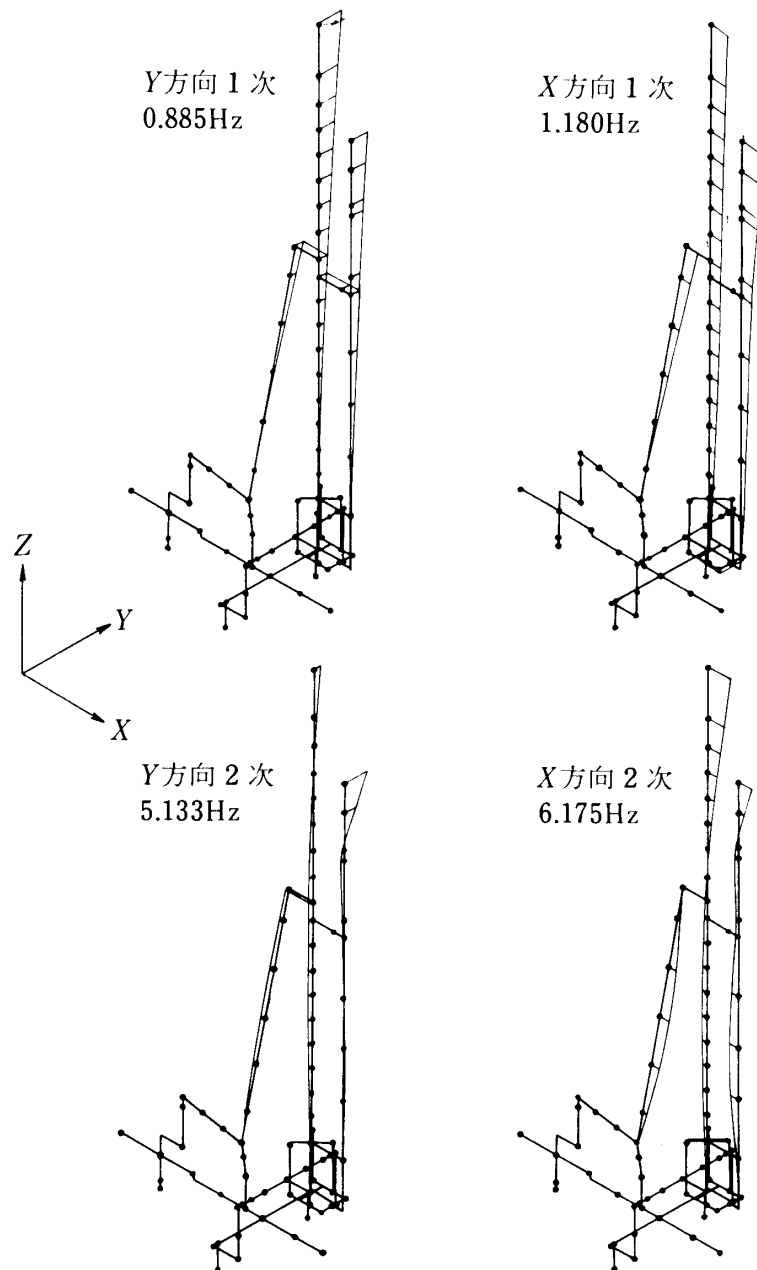
第18表 固有振動数と刺激係数 (ロケット有)

次数	固有振動数 (Hz)	モーダル質量 (kgf·sec ² /cm)	刺激係数			備考
			X方向	Y方向	Z方向	
1	0.885	18.094	0.0	1.987	0.0	ブームY方向1次
	0.875	18.074	0.0	1.993	0.0	
2	1.180	22.173	2.108	0.0	-0.550	ブームX方向1次
	1.560	15.591	2.115	0.0	-1.496	
3	2.525	1.673	0.0	1.349	0.0	ロケットY方向1次
	2.534	1.635	0.0	1.260	0.0	
4	2.797	1.027	-1.616	0.0	0.763	ロケットX方向1次
	2.829	1.195	-1.753	0.0	1.634	
5	3.034	3.506	0.0	-2.444	0.0	ロケットY方向2次
	3.045	3.694	0.0	-2.399	0.0	
6	5.133	1.466	0.0	-1.539	0.0	ブームY方向2次 (ロケットY方向3次)
	5.119	1.625	0.0	-1.627	0.0	
7	5.749	0.627	1.079	0.0	0.440	ロケットX方向2次
	5.749	0.713	1.244	0.0	0.044	

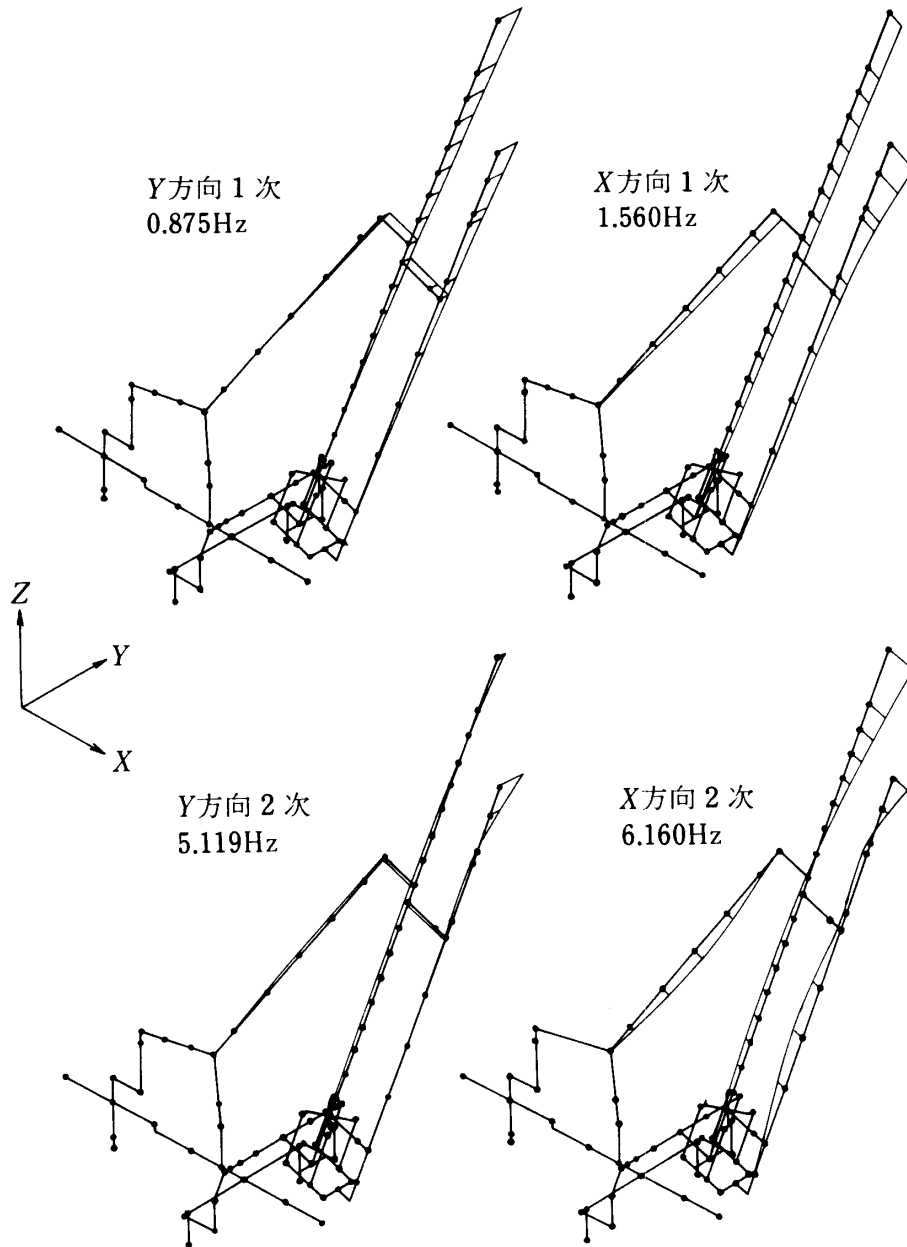
(俯仰角90°)
(俯仰角70°)



第42図 ランチャの振動モード（ロケット無）



第43図 ランチャの振動モード（ロケット有，俯仰角：90°）



第44図 ランチャの振動モード（ロケット有，俯仰角：70°）

(2) ロケット発射時の応答

ロケット発射時にはロケット荷重がブーム上を移動するため、ブームが加振され、その反力としてロケットに荷重が作用するようになる。発射時のランチャとロケット相互間の動的荷重については小野田助教授が綿密な研究を発表しているが、ここでは前述したモデルを用い比較的簡単にロケットを剛体とした仮定をおいて解析を行った。

① 運動方程式

ランチャはロケットを任意方向および角度をもって打上げるため、旋回および俯仰機構を有し、比較的複雑な構造物となっている。解析はランチャを有限個の質点に分割した集中質量定数系の立体骨組系に置換して行った。これらの構造系を粘性減衰を有するものとして外力が作用する場合を考えると運動方程式は次式で表される。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = P \quad (2-1)$$

M ：質量マトリックス

X ：変位ベクトル

K ：剛性マトリックス

P ：外力ベクトル

C ：減衰マトリックス

減衰マトリックス C は質量と剛性マトリックスの線形結合で表せるものと仮定し、次式で表わす。

$$C = \alpha M + \beta K \quad (2-2)$$

また、発射時のロケットはランチャブームを滑走するが、これをランチャに対しては移動荷重と考えると(2-1)式の外力項は次のように表される。

$$P = W_i \phi_i(t) \quad (2-3)$$

W_i ：ロケット荷重による荷重ベクトル

$\phi_i(t)$ ：外力 i の時刻 t における各節点への配分係数ベクトル

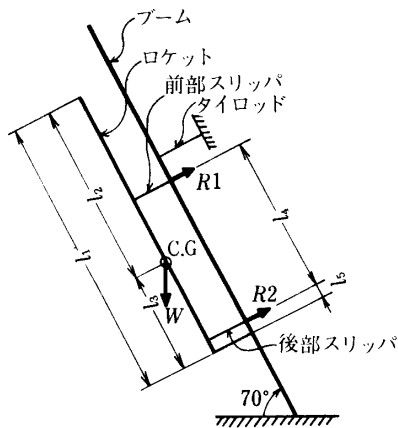
$$\phi_i(t) = \{0, 0, \dots, \phi_k, \phi_{k+1}, \dots, 0, 0\}$$

なお、外力が各節点間にある場合の配分係数は、ここでは各節点までの距離に反比例して配分されるものと考えた。

② 移動荷重

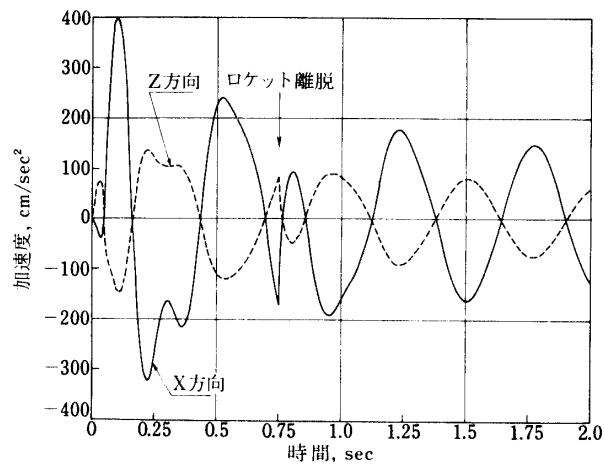
発射時にはロケットは前・後部スリッパによってランチャブーム上のレールから吊下げられた状態で約 10 m 滑走し、ほぼ同時に離脱する。この時のブームに作用する移動荷重は、ロケット重量のブームに平行な成分についてはロケットの推力に釣合うのでロケット重量のブームに垂直な成分のみとなる。このブームに働く垂直な成分は第 45 図に示すようにロケット重心およびスリッパの位置関係より、前部スリッパにおける荷重 $R1$ と後部スリッパにおける荷重 $R2$ とに振り分けた。またこれらの移動荷重の移動速度はロケット推力の時間変化データ (M-3 H-1 号機) から推定した。

計算結果を第46, 47, 48図に示す。ブーム変位および曲げモーメントは0秒において初期値(ロケット重量の静負荷による)を有し、ロケットに推力が生じるとロケット重量のブームに平行な分力が除去されブームのX方向振動が誘起される。この時の加速度値をみると(第46図参照)ブームのX方向1次振動が誘起され、その最大値は約400galとなっている。

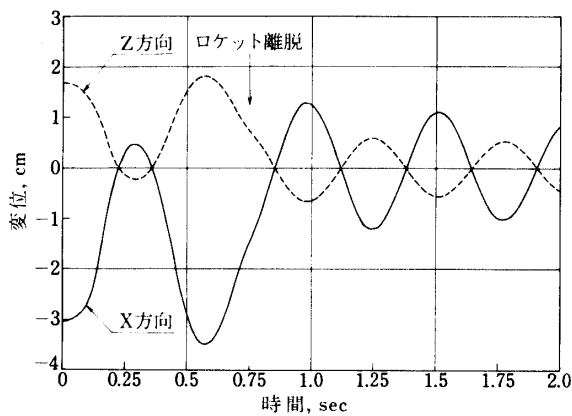


W: ロケット重量(48770kg)
 l_1 : ロケット全長(23.801m)
 l_4 : スリッパ間距離(12.981m)
 $l_2 = 14.281m, l_3 = 9.52m$
 $l_5 = 1.77m$

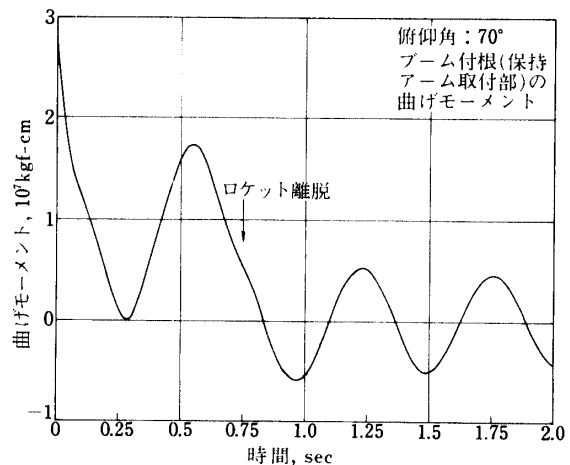
第45図 発射時の移動荷重



第46図 発射時ブーム先端の加速度
(俯仰角70°) 計算値



第47図 発射時ブーム先端の変位
(俯仰角70°) 計算値

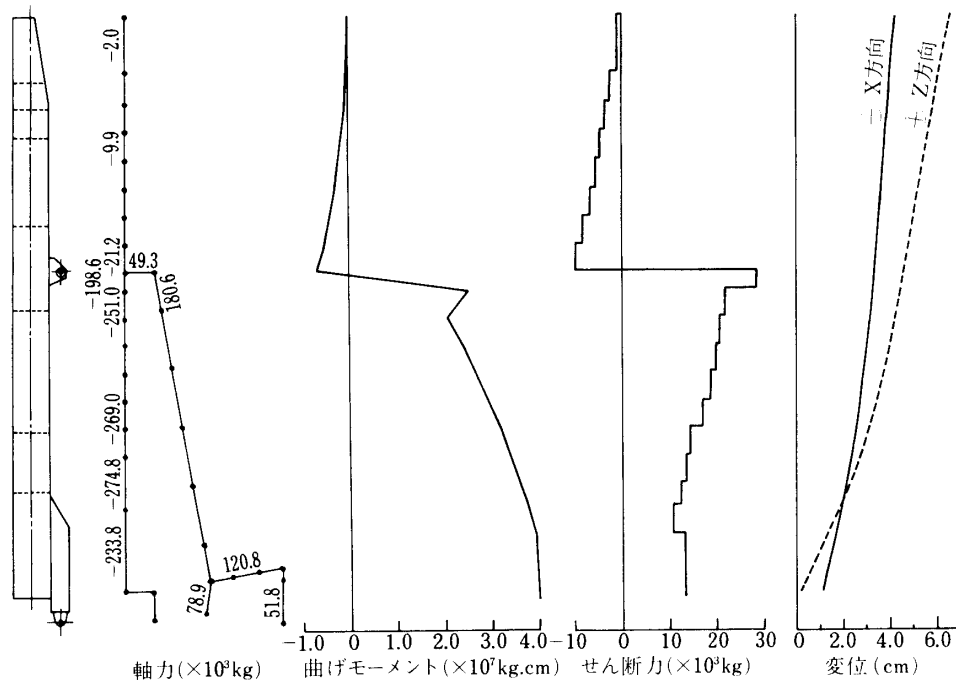


第48図 発射時ブームの曲げモーメント
計算値

(3) 耐震強度

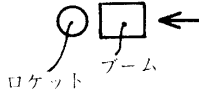


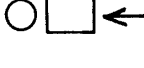


ランチャについても整備塔と同様「コンビナート保安技術指針」に基づいて(1-1)式より応答スペクトルを求め、モーダル解析による応答計算を行った。計算はロケット装着状態で俯仰角 90° 、 70° 、またロケットなし状態で俯仰角 90° の3ケースについて3方向(0° 、 45° 、 90°)の地震入力に対して行った。

計算の結果ブームの応力はブーム付根(保持アーム取付部)で 330 kg/cm^2 、タイロッド中間部で 370 kg/cm^2 が最大である。また、ブームの自重とロケット重量による部材力は、俯仰角 65° 状態が最大となる(第49図参照)この最大部材力による応力を地震入力時の最大応力に加えても 1000 kg/cm^2 以下であり、応力的には充分強度があると考えられる。地震入力に対するブーム先端における最大応答変位、加速度は第19表に示す。最大変位はY方向に約12 cm弱になることが予想される。



第49図 ブーム自重およびロケット重量によるブーム変位と部材力分布(俯仰角 65°)

第19表 地震入力によるブーム先端の最大変位と加速度

俯仰角	入力方向	ロケット有			ロケット無		
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
90°	0° 	5.723 540	0.0 0.0	0.611 41	4.314 577	0.0 0.0	0.455 89
	45° 	4.047 382	8.083 392	0.432 29	3.050 408	6.058 592	0.322 63
	90° 	0.0 0.0	11.433 555	0.0 0.0	0.0 0.0	8.568 837	0.0 0.0
70°	0° 	2.817 485	0.0 0.0	1.435 207	(変位 / 加速度) cm / gal		
	45° 	1.992 343	8.216 399	1.014 147			
	90° 	0.0 0.0	11.621 564	0.0 0.0			

(4) 耐風特性

ランチャは 20 m/s までの風速下でその機能を保ち、作業できることが要求されている。整備塔の場合と同様静的応答と非定常風に対する応答に加え、カルマン流による振動をも吟味した。

① 定常風による静的応答

一般に二次元流れの中におかれた物体に作用する抗力は次式で与えられる。

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot A \tag{2-4}$$

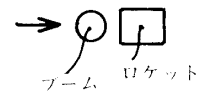





ρ : 空気密度, V : 風速, C_D : 抗力係数, A : 面積

ランチャブームは正方形断面、ロケットは円柱の抗力係数を用い、20 m/s の風速時にランチャブームおよびロケットに働く抗力を求め、前記の数学モデルに外力として与え、それぞれの変位を求めた。その結果の一例を第 20 表に示す。ランチャブームおよびロケット先端の変位は地震の応答変位と同様、Y 方向に対する変位が大きく約 3.5 cm である。この変位は地震時の変位と比べると小さく強度的に問題ないと考える。

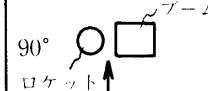


② 非定常風による不規則振動

整備塔の解析と同様(1-3)式からランチャの振動応答スペクトルを求め、応答スペクトルと振動変位の標準偏差を(1-4)式より求めた。また変動風速のパワースペクトル密度は(1-5)式で与えられる。前節までの検討でランチャは Y 方向の剛性が X 方向に比べ低い

第20表 風圧によるブーム先端の静的変位 (風速20m/sec)

俯仰角	風 向	ロ ケ ッ ト 有			ロ ケ ッ ト 無		
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
90°	180° 	cm -0.962	cm 0.0	cm 0.102	cm -0.713	cm 0.0	cm 0.075
	135° 	-0.724	2.630	0.076	-0.547	2.354	0.058
	90° 	0.0	3.442	0.0	0.0	3.037	0.0
70°	0° 	0.241	0.0	-0.120			
	45° 	0.251	2.368	-0.127			
	90° 	0.0	3.291	0.0			

第21表 変動風速による動的変位 (風速20m/sec時)

ロケ ット	俯 仰 角	風 向	ブ ー ム 先 端 部 変 位			
			静的変位 (δ_s)	動的変位の 標準偏差 (σ)	動的最大 変位 (3σ)	$\delta_s + 3\sigma$
有	90°	90° 	3.44 cm	1.30 cm	3.90 cm	7.34 cm
	70°	90° 	3.29	1.27	3.81	7.10
無	90°	90° 	3.04	1.08	3.24	6.28

ことが判明しているため、変動風による計算は Y 方向のみ行った。計算結果を第21表に示す。平均風速 (V_{10}) が 20 m/s の強風時にブーム先端の最大変位 (標準偏差の3倍) が 3.9 cm に達する可能性があり、静的変位との総和は 7.34 cm となる。この値は地震時の変位より小さい。

© 限定振動

流れの中にある円や箱形断面をもつ構造物はその後流に渦が発生し、ある風速範囲で振動を誘起することがあり、カルマン渦による一種の共振現象を伴った強制振動を限定振

動と称することがある。風速 V とカルマン渦の発生周波数 f と関係は次式であるが、

$$f = St \frac{V}{B} \quad (2-5)$$

(St : ストローハル数, B : 構造物の投影代表断面幅)

本ランチャでは Q 型ロケット (事業団) 用ランチャの模型実験値よりストローハル数を推定し固有振動特性から共振風速を求めた。第 22 表にその値を示す。共振風速が 9.3 m/s における最大振幅は三つの異なる提案式「三菱重工提案式」, 「Scruton の式」, 「共振倍率法」よりそれぞれ求めてみると、ほぼ同じの値 1.5 cm (片振幅) であった。この結果は完全な定常風が吹いていた場合で、実際に地形による風の乱れ、ランチャ近くにある整備塔の影響で、この振幅に達する確率は非常に小さい。

第22表 ランチャの共振風速

ロケット	俯仰角	1次固有振動数(Y方向)	代表断面幅	ストローハル数	共振風速	2次固有振動数(Y方向)	共振風速
無	90°	Hz 0.992	m 1.2	0.101	m/s 11.8	Hz 4.956	m/s 58.9
有	90°	0.885	1.2	0.114 (2次0.12)	9.3	5.133	51.3
	70°	0.875	1.2	0.114 (2次0.12)	9.2	5.119	51.2

3. 振動特性試験と計測結果

本整備塔、ランチャの振動特性を把握し、解析の妥当性を検討するため試験を行った。

(1) 整備塔

整備塔の振動試験は、① 整備塔 20 ton クレーンをストッパに衝突させクレーン衝突時においてストッパに貼付けた歪ゲージから得た信号と整備塔各点との伝達関数を求める方法。② ランチャ出入扉開閉時において基準点の振動応答と整備塔各点との伝達関数を求め固有振動およびモードを計測する方法。③ 他の作業の影響を受けない早朝に常時微動の計測を行い固有振動数を把握する方法。上記3つの方法で行った。

①, ②の方法では 20 ton クレーンおよび出入扉衝突時の二度当りや他の作業の影響により正確な伝達関数が得られなかった。整備塔の固有振動数把握には③の方法が最も有効で、これらのスペクトル解析およびクロススペクトラム解析により求めた。対数減衰率は 20 ton クレーン衝突時とランチャ出入扉開閉時の減衰波形から求めた。第 23 表に固有振動数と減衰比を解析値と比較して示す。固有振動数は解析値より計測値が高い値を示しているが、これは外装材 (アスロック壁, 約 60 ton) の影響によるものと思われる。ランチャ出入扉開閉時の固有振動数は扉開放時 1.63 Hz, 扉閉鎖時 1.75 Hz となる。これはランチャ出入扉開閉時には Y 方向の剛性が弱まるためであると考えられる。

第23表 固有振動数の比較

			X 方 向		Y 方 向	
			固有振動数	減衰比	固有振動数	減衰比
ラン チャ	1 次	実測値	1.44Hz	1.0%	1.31Hz	0.52%
		計算値	1.47Hz	1.0%	0.99Hz	1.0%
	2 次	実測値	—	—	4.80Hz	—
		計算値	—	—	4.96Hz	—
整備 塔	1 次	実測値	1.31Hz	1.0%	* 1.75Hz **1.63Hz	1.3%
		計算値	1.04Hz	2.0%	1.24Hz	2.0%

* ランチャ出入扉閉時

**ランチャ出入扉開時

(2) ランチャ

ランチャの試験はランチャブームの先端を整備塔のクレーンで吊した鋼製ハンマー（約500 kg）によりタッピングした。ハンマー先端に取付けたロードセル（加振力）の信号とランチャブーム各点の振動応答との伝達係数を求め固有振動数を計測した。

固有振動数と減衰比を第23表に示す。

ランチャの固有振動数はX方向についてはほぼ解析結果と一致しているが、Y方向については約30%高い値を示している。これは解析時にモデル化した保持アームの剛性の過少評価によるものと思われる。この結果からカルマン渦による共振風速が12 m/sから15.6 m/sになり解析値よりなお安全側になる。減衰率はY方向が推定値より小さいが、風および地震時の応答について再検討をした結果、固有振動数が高くなったことと相殺され問題ないことがわかった。

(3) ランチャ作動時の衝撃値および撓み

ランチャ作動時の衝撃測定はランチャ旋回、俯仰時に計測した応答波形から各状態での最大値を読みとった、その値は20 gal以下でロケットに与える影響も小さいと思われる。また台車およびロケット支持台のダミーロケットによる荷重に対する（約50 ton）撓み計測を行った結果、撓みの最大値は台車が0.5 mm、支持台が14 mmであった。

4. 発射時の計測

ロケット発射時のランチャの挙動を把握し解析値との比較を行うため、M-3 S-3号機実験においてランチャブームの振動およびブームの歪計測を行った。また整備塔、ランチャ周辺の温度計測も行った。

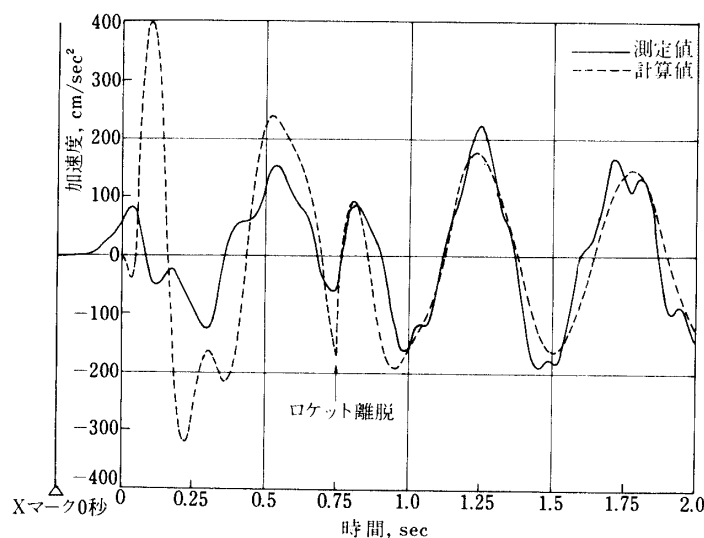
(1) ランチャブームの振動計測

ランチャブーム先端部、中央部に加速度計を取付け計測を行った。計測した加速度波形

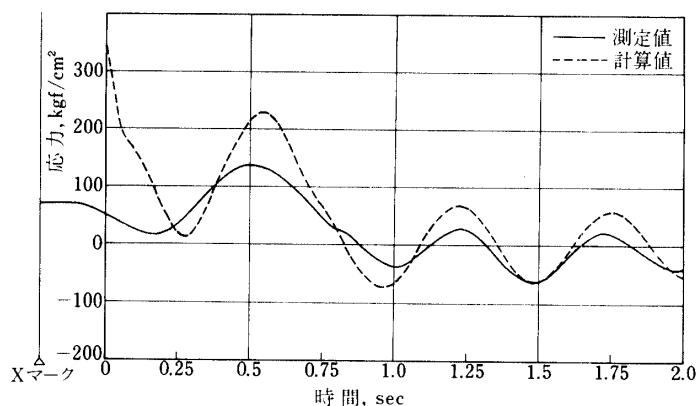
と前節で述べた計算値を比較すると第50図のようになる。点火直後の挙動に相違がみられるが、これはロケット荷重が点火と同時に支持台からステップ状に除去されるものと仮定したことによると考えられる。全体的には計算値とほぼ対応した波形とタイミングを示している。

(2) ランチャブームの歪計測

歪ゲージを用いてランチャブームの保持アーム付根附近を測定した。測定はブームの両サイド2個所にゲージを貼付け4ゲージ法で行った。測定結果と計算値を第51図に比較して示す。全対的な傾向はほぼ一致しているが、点火直後の挙動と絶対値に相違がみられる(計測値は計算値の約1/2となっている)。これらの相違も振動加速度の場合と同様、ロケット支持台の荷重除去の仮定のしかたによるものと考えられる。



第50図 発射時ブーム先端の加速度測定結果



第51図 発射時ブーム付根(保持アーム取付部)の応力測定結果

(3) 整備塔およびランチャ周辺の温度計測

ロケット発射時の周囲の温度上昇状況をサーモラベルを用いて調べた。使用したサーモラベルは50°~210°Cの範囲で5種類計200枚を用いた。測定した主な値を第24表に示す。整備塔に対する影響はほとんどなく、ランチャブーム側面の中継箱等についても問題はない結果を得た。

第24表 温度測定結果

場 所	ラベル貼付位置	温度(°C)
発射点周辺	棧橋ポール	170以下
台車周辺	台車下面ボギー部 〃 ボギー・ボックス 旋回レール内側 偏向板本体裏面 台車上面附仰シリンダー・カバー	125 100~105 100~115 170~180 75以下
ロケット支持台周辺	保持アーム・ブラケット 保持アーム下部ケーブルダクト側面 保持アーム裏面	170以下 170以下 50以下
ブーム関係	TVC・B1室素中継箱(外側) 尾翼筒巻上装置 油圧パネルカバー(塔2F相当) 巻上げ装置用回転ラム(塔6F相当) TVC乾燥室素中継箱(左側) (塔7F相当) SA用中継接栓箱(塔8F相当) ブームトップ(塔10F相当)	170以下 170以下 50~55 140~150 75以下 100以下 100~110
整備塔1F	ST/TVC注気・注液操作室窓 控室窓 ランチャ出入小扉(外)裏面	50以下 約50 100以下
整備塔2MF~2F	塔窓(海側)	50以下
〃 3F	〃 (〃)	50 〃
〃 4F	〃 (操作室)	50 〃
〃 6F	〃 (海側)	50 〃
〃 8F	〃 (〃)	50 〃
〃 9F	〃 (〃)	50 〃
〃 11F	〃 (〃)	50 〃

V. む す び

M型ロケット発射装置としては1基目である旧装置は、米国のスカウトおよびラムダランチャを参考とし、わが国独自のものを考案した。新装置は旧装置で得た経験と実績を多く取り入れたものとし、特に塔内でのロケット組立作業が能率良く行えることに大きな重点をおいた。

この計画過程においては、秋葉鏝二郎教授、籾田元紀教授、松尾弘毅教授、小野田淳次郎助教授に御助言を、実験各班の方々にはそれぞれの立場から貴重なアイデアと御協力を頂いた。

また、建設に従事された三菱重工(株)神戸造船所の方々および全天候型門型クレーンを製作された住友重機械工業(株)の皆様に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- [1] 森大吉郎・三石智・野口瞭・浦川明：ラムダ・ランチャについて，生産研究，Vol. 16，No. 11，(S. 39)，pp. 31.
- [2] 森大吉郎・三石智：ラムダロケット発射装置（ラムダ・ランチャ），日本機械学会誌，Vol. 68，No. 556，(S. 40/5).
- [3] 森大吉郎・三石智・中野旭：ミューロケット発射装置，宇宙航空研究所報告，第3巻，第1号（B），(1967)，pp. 206-223.
- [4] J. ONODA：The Dynamic Bending Load on a Satellite Launcher Due to Inclined Lift-off，Transaction of JSASS，Vol. 26，No. 71，(1983)，pp. 37-52.