

## 種子島宇宙センター H-II ロケット射座本体基礎工事

Tanegashima Space Center H-II Rocket Launch Pad Foundation

阿部 繁雄 (あべ しげお)

鶴田 三千雄 (つるた みちお)

宇宙開発事業団打上管制部射場整備開発室

宇宙開発事業団種子島宇宙センターH-II関連臨時工事事務所

中谷 恒司 (なかたに つねし)

三菱重工業㈱神戸造船所新製品技術部建築技術課

## 1. はじめに

H-II ロケットは、現在打ち上げているH-I ロケットに代わる次期主力ロケットで、平成4年度に種子島宇宙センター吉信射点より1号機の打上げが計画されている。この打上げに要する射場の各設備は、昭和60年に始まる造成工事に引続き順次着工され、現在、主要設備である整備組立棟・発射管制棟・移動発射台・支援機械棟・射座および射座点検塔の各設備共最終段階の艤装工事へと進行している。

吉信射点は、種子島の南部東海岸の大崎地区に位置しており、北側、東側、南側3方向を海に囲まれた標高20~40mの丘陵地に位置する。この射点の各設備は、吉信崎先端の景観を保持するため、最小限の林地開発がなされたエリアに配置されている。また、吉信射点からH-I ロケット打上げ設備が位置する大崎射点を一望できる。

吉信(H-II)射点完成予想図を **口絵写真—5** ページに示す。

## 2. 地質概要

## 2.1 地質分布

射座が設けられる吉信崎には新生代第三紀新生の茎永層群大崎が分布しており、谷部には茎永層群を覆って火山灰層、岩層堆積物が比較的厚く分布している。茎永層群大崎層は砂岩、泥岩(シルト岩)、砂岩泥岩互層からなっており、互層間隔は20~60cm程度である。全体に泥岩の割合の方が多く、東へ15°~30°傾斜している。大崎層には北西-南東方向および北東-南西方向に垂直に近い角度で割れ目が発達している。火山灰層は茎永層群を覆って厚く分布し

ており、最大厚さは約6m程度である。本層は層相の変化が著しく、下位から順に砂質凝灰岩、軽石質凝灰岩、腐植土質火山灰が分布している。岩層堆積物は火山灰層を覆って分布しており、最大3m程度である。岩層堆積物に含まれる砂岩、泥岩等の礫は、強風化をうけており非常に軟質となっている。

## 2.2 地質構造

射座付近には2条の主要断層およびその派生断層が存在している。各断層の概要は次のとおりである。

## 1) F-I断層, F-I'断層

F-I断層は、射座部を横断する最大の断層であり、この断層を境に東側に砂岩・泥岩互層、西側に砂岩が分布している。断層の幅は15~30cm程度であり、露頭で確認される限りではその周辺1~4m程度はせん断亀裂を伴っている。

F-I'断層は、F-I断層の派生断層と考えられ、砂岩の中を切るものとなっている。断層の幅は30cm程度である。

## 2) F-II断層, F-II'断層

F-II断層は、射座付近の砂岩層中を切断する断層であり、断層幅は10~15cmである。

F-II'断層はF-II断層の派生断層であり、砂岩を切るものとなっている。断層幅は約10cmである。断層の位置平面図を図—1に示す。

## 3. 上部構造物の概要と機能

射座点検塔は固定部と旋回部から構成される。固定部は従来のアンピリカルマストの役目を果たす塔であり、高さ約67m、幅約15m、奥行約8mであり、合計14フロアからなり、各フロアには打上げに必要な地上支援装置が収容されている。また、打上

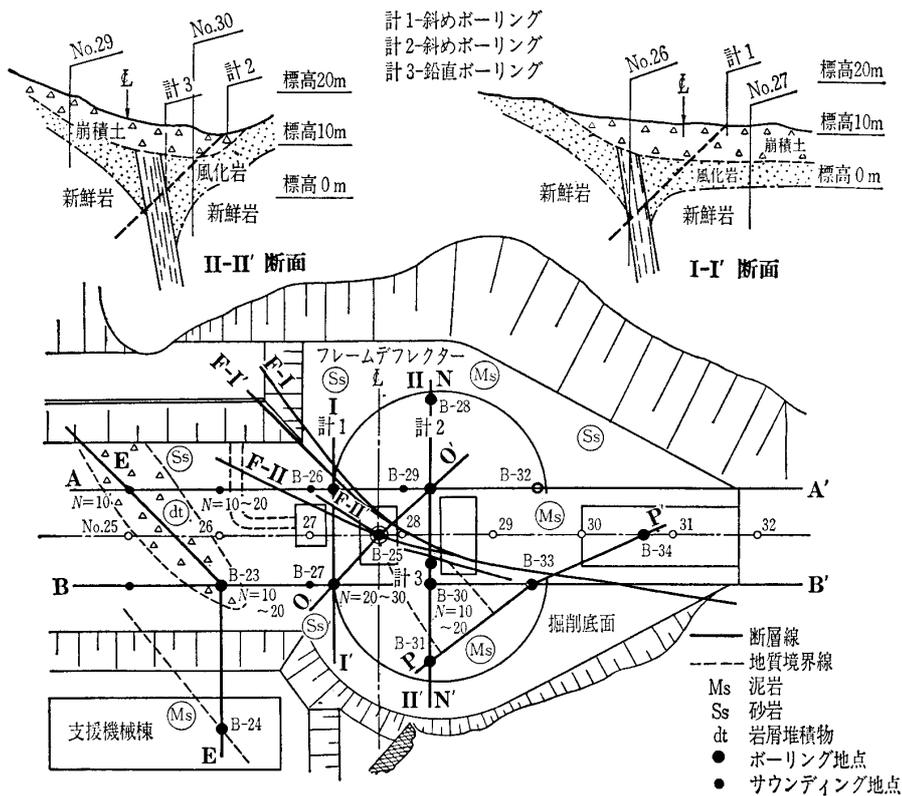


図-1 水平地質断面図

げ時の火災による各階設備の損傷を防ぐため、前面には防熱板（鋼板）が設置されている。

旋回部は高さ約75m、幅約30m、奥行約17mであり、機能上、更に左旋回部と右旋回部に分かれる構造となっている。内部には機体の点検、衛星フェアリングの搬入、組付け、アンビリカル系が供給される各点検室を有している。

打上げ時には左右分離（上部衛星点検室は一体）し、それぞれ約170°旋回退避する構造となっている。また、旋回退避するための旋回台車用の軌条（100 kg/mレール2条）として、左旋回部には半径31m、右旋回部には半径16mの軌条が配置されている。射座および射座点検塔の鳥瞰図を図-2に示す。また、H-IIロケットの主要諸元を表-1、概念図を図-3に示す。

#### 4. 射座本体基礎の概要

射座本体基礎は、移動発射台および射座点検塔を支持拘束し、また、ロケットの打上げ時のエンジン排ガスを偏向・排出する機能を有するもので、大きく分けて次に示す基礎により構成されている。

##### 4.1 移動発射台基礎

整備組立棟にて2段まで組立てられたロケットを

射座へ運搬・発射を行う移動台車の基礎で、ピア形式である。

##### 4.2 射座点検塔基礎

全長約50m、直径4m、大型固体ロケット2基を備えた2段式ロケットの機体へのアクセスを行うと共に、フェアリングを組立てるための点検塔の基礎である。煙道基礎も兼ねたボックスカルバート形式であり、左右旋回軌条基礎も一体となっている。

##### 4.3 フレームデフレクター基礎

ロケット打上げ時に発生する排ガスを偏向させるフレームデフレクターを支持する基礎である。打上げ時の燃焼振動を近接基礎への伝達を抑えるため、射座点検塔基礎とは独立した基礎となっている。

##### 4.4 煙道基礎

打上げ時の燃焼ガス流出路の基礎

表-1 H-IIロケットの主要諸元

項目	諸元	備考	
全長	48.817m		
直径	4.0m		
全備重量	259.5 t		
ペイロード重量	3.8 t	衛星分離部を含む	
第1段	推進薬	液化酸素/液化水素	
	推進薬重量	85.0 t	海面上*
	推力	93 tf	
	燃焼時間	315.8 s	真空中*
	比推力	449 s	
SRB	推進薬	固体推進薬	
	推進薬重量	118.0 t	2本分
	推力	320 tf	2本分、海面上
	燃焼時間	95 s	
	比推力	271 s	真空中
第2段	推進薬	液化酸素/液化水素	
	推進薬重量	14.0 t	真空中
	推力	12 tf	再着火機能
	燃焼時間	525 s	真空中
	比推力	451.9 s	
衛星フェアリング	直径	4.1m	衛星収納域
	全長	11.8m	3.7mφ×10mL
	重量	1.4 t	

\*注 補助エンジン分は含まない。

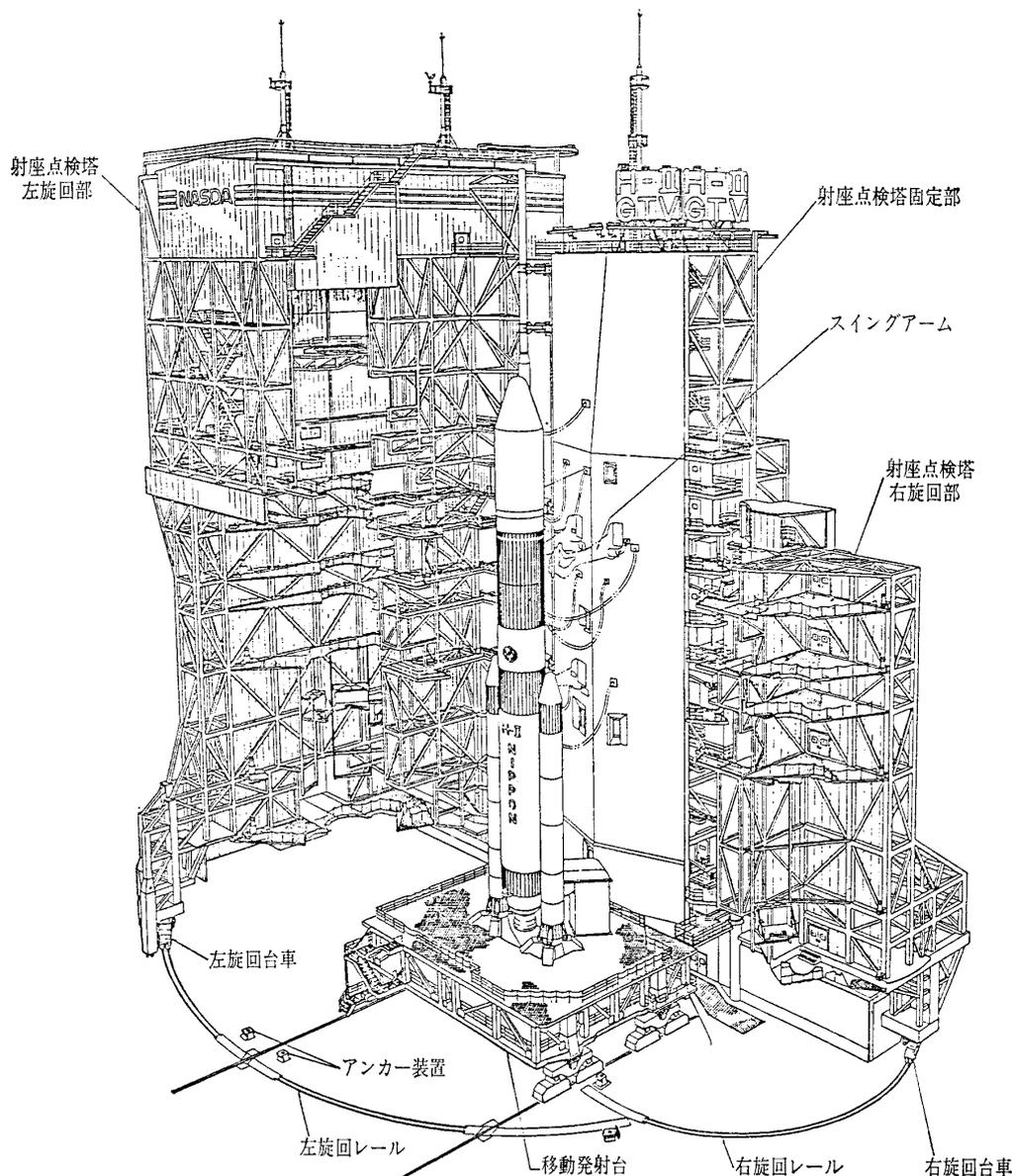


図-2 射座点検塔鳥瞰図

であり，射座点検塔基礎と一体化となっている。

## 5. 各段階における地質調査結果と射座本体基礎形式の変遷

### 5.1 計画段階

射座はロケット打上げ設備に属する特殊構造物であり，位置的には，北方および南方，東方に海が開けた所，すなわち東方に低く突出した岬であることが前提条件となる。また，射座基礎の支持地盤は，十分な強度を有する堅固な地盤である必要がある。

この段階で実施された地形判読，地質踏査，ボーリング調査結果によると，射座部には砂岩，泥岩等の軟岩が分布していることがわかった。また，F-I，F-II断層の存在もわかったが，脆弱部は断層に沿う極く狭い域に限られると推測されていた。

種子島宇宙センターの全体計画および上述した地形・地質条件を考慮して，H-IIロケットの射座を吉信崎南端に選定した。この段階での射座の基礎は，根入れ深さの調整を計ることにより，直接基礎形式で十分な強度を有する軟岩に支持させる計画であった。

### 5.2 設計段階

設計段階に至り，断層周辺地盤の性状を把握するためにボーリング調査を実施した。調査内容は，F-I断層を挟む，2本の鉛直ボーリングおよびF-I断層を貫く，1本の斜めボーリングである。結果によると，断層周辺部に脆弱化した域が認められ，特に，F-I断層の西側域に分布する砂岩は固結度が低く，射座基礎の支持地盤としては強度的に不足することが分かってきた。

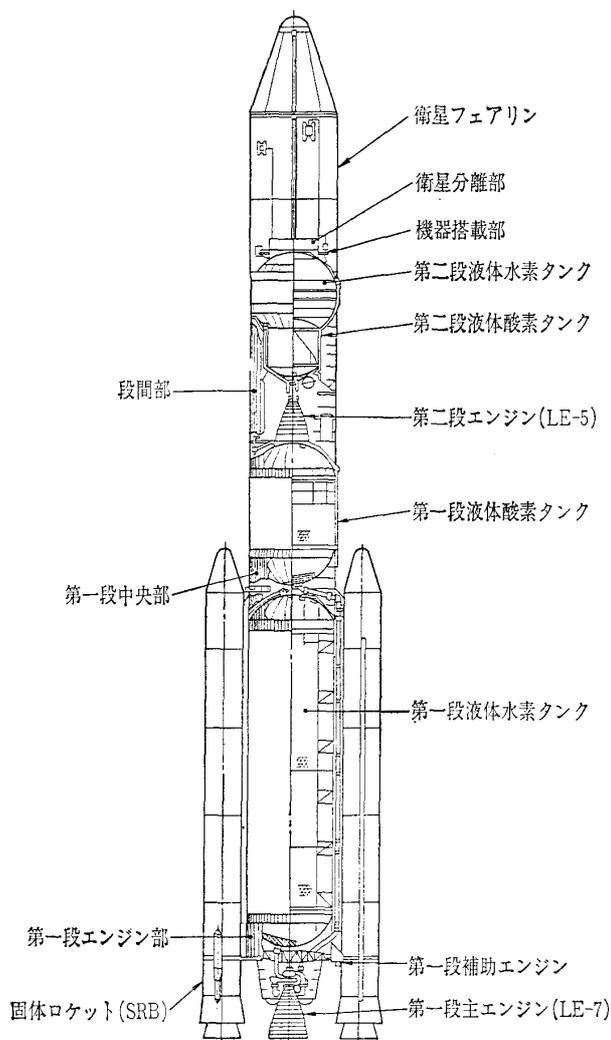


図-3 H-IIロケット概念図

このため、現計画における射座設備に関し、安全性および今後の運営面を考慮し

- ① 現計画の射座位置を変更し、十分なる強度を有した地盤位置へ移す。
- ② 断層部に対する基礎地盤の改良を行う。

以上2案について、安全・コスト・工程面から検討した。

その結果、射座位置を変更せず、断層周辺の劣化・脆弱部の地盤をコンクリートで置換することで工事可能との判断により工事に着手した(図-4)。

### 5.3 施工段階(基礎掘削時)

工事進行に伴いこれまで推定していた以外にも断層が存在し、また、割れ目の密集による劣化域は、予想外に深く広域にあることが明らかになってきた。

このため、基礎部の掘削工事と並行して各種の地質調査を実施し、断層の位置方向・幅・性状、支持層の深度・平面的分布等を詳細に把握した上で、工法の再検討を行うこととした。

#### (1) 地質調査結果

実施した調査は、射座基礎部の支持層の分布状況把握を目的としたものと、掘削域の地下水と海水との関連性把握を目的としたものに2分される。

射座基礎部の支持層把握を目的とした調査は、三次掘削(EL+5~9m)まで進んだ段階で実施した。調査の内容は、45箇所(5mメッシュ配置)、総延長640mの動的コーン貫入試験である。地盤が同じであれば、本試験で得られる $N_a$ 値は、標準貫入試験(JIS-A-1219)で得られる $N$ 値とほぼ同じ値を示すことが示されている。

調査結果によると、劣化域の深度はこれまでの調査では最大でもEL-10mと推定していたが、最大EL-16mまで達しており、また劣化範囲も広域に及ぶことが明らかになった。設計段階での調査結果と相違が発生した要因としては複数考えられるが、最も大きな要因としては、劣化域の分布が必ずしも

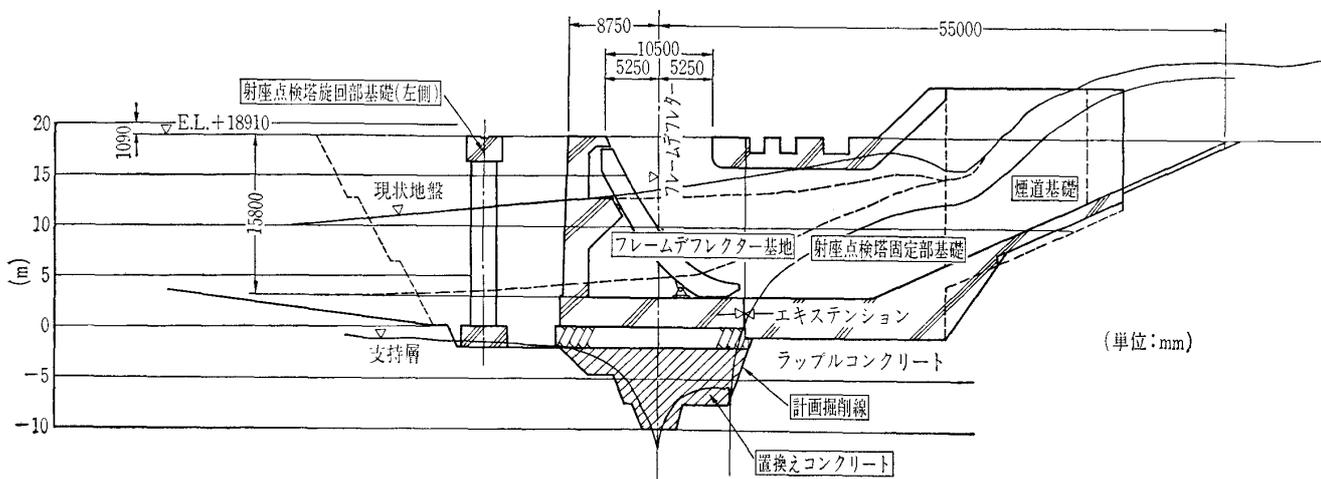


図-4 コンクリート置換工法断面図(設計段階)

断層の分布と一致しておらず、劣化域は断層、割れ目、砂岩の性状が複雑に組合わさって生成されていることがあげられる。

また、掘削時の地下水処理計画を検討するために、前述の動的コーン貫入試験と並行して、ボーリング調査、単孔式揚水試験および水質試験を行った。

これらの試験で得られた水理定数を用いて、基礎底面（EL-0m）まで掘削した場合の周辺地盤からの湧水量を検討すると、約 $34\text{m}^3/\text{h}$ 程度と推定された。また、ボーリング孔深度 EL-24m での揚水（定常状態）によって汲み上げられた地下水の塩素イオン（Cl<sup>-</sup>）濃度は、135 ppm であった。一般に浅層地下水の塩素イオン濃度は5~40 ppm、海水（外洋）で20 000 ppm であることから、本基礎部の地下水の塩素イオン濃度は一般の地下水よりやや高い値であるが、これは塩水の浸入よりむしろ地理的に潮風を受けやすい地理的条件のため、全般的に高い値を示すものと考えられた。

## (2) 基礎形式

これらの調査結果を基に、置換工法を採用する場合の

問題点を整理すると、次のようになる。

- 掘削深さが40m程度となる。特に、北面では既造成のり高を入れると約60mにも及ぶ。
- 工事期間中ののり面放置期間が長いため、のり面保護、養生を考慮してのり面安定の確保に問題が残る。
- のり面を切り直すためには、再度林地開発申請が必要となる。
- 掘削範囲および深さが大きくなるばかりでなく、湧水量の増大による湧水処理（量および水質の面）の見直しを計る必要がある。

これらの諸条件を考慮すると当初計画していたコンクリートによる置換工法を採用すると、安全性が下がる可能性があり、しかも、コスト・工期の大幅な見直しが必要となった。このため工法の見直しを行った結果、コンクリート置換工法と同様に支持地盤を確認しながら施工可能な工法であり、かつ複雑な地質分布に対応して深度変更ができる深礎工法を最終的に採用することにした。

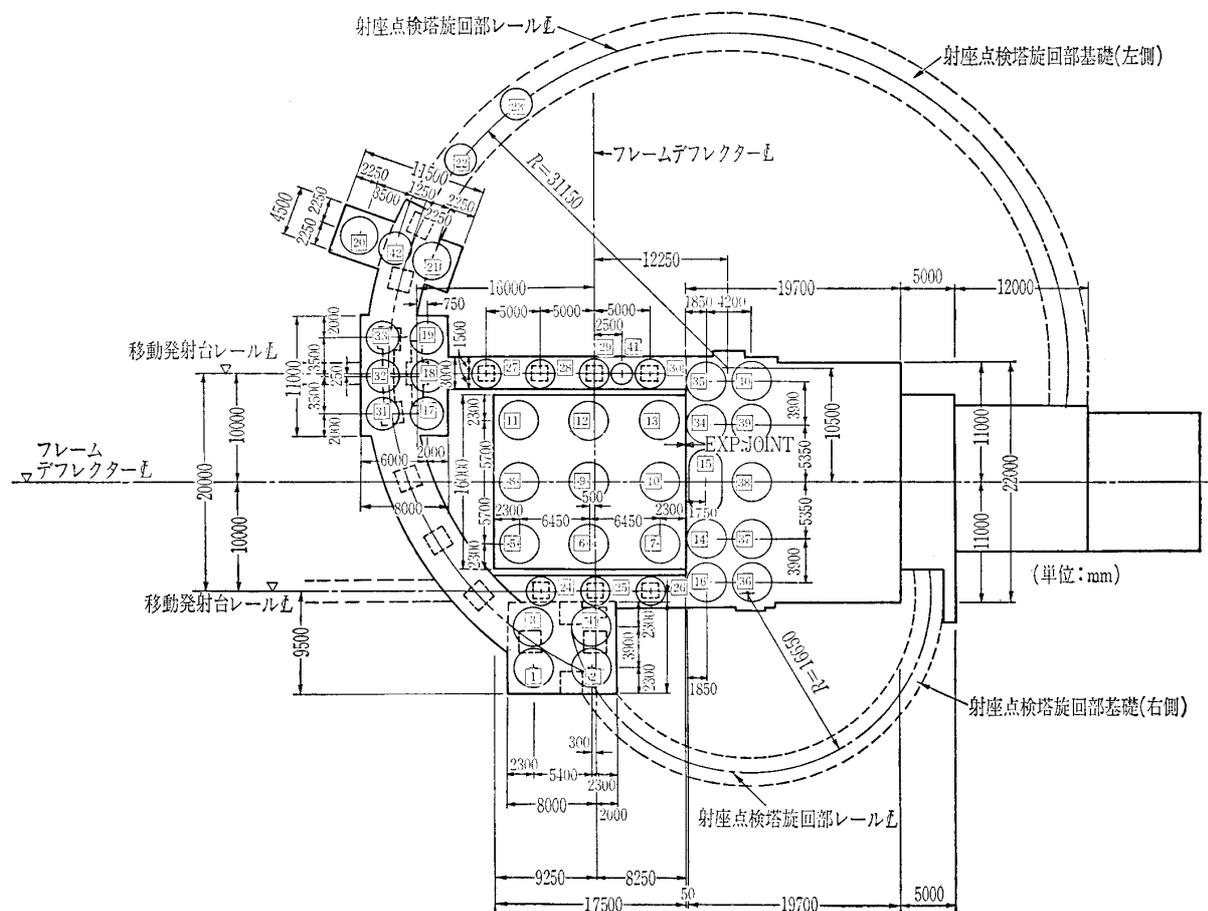
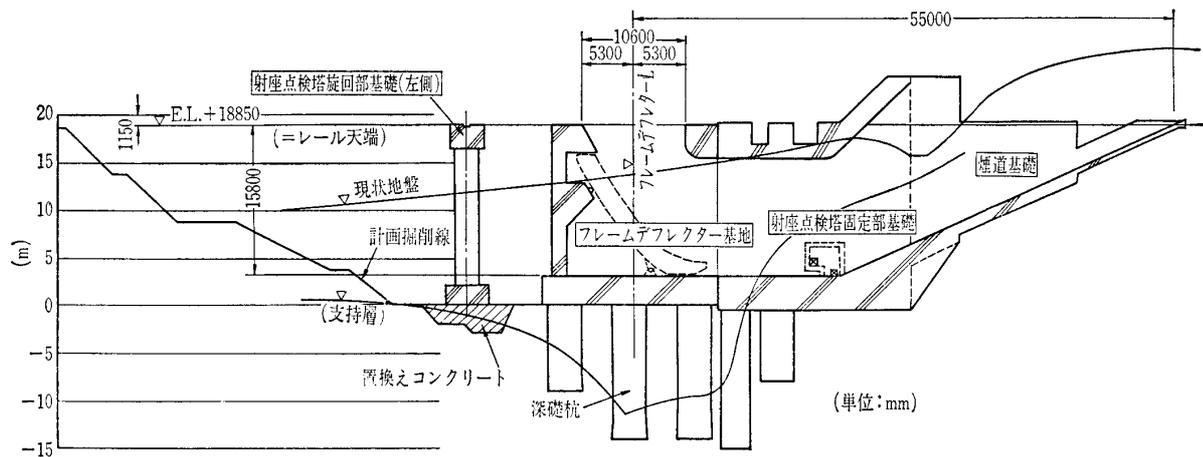


図-5 深礎杭配置図



図—6 深礎杭断面図

図—5, 6 に深礎杭配置および断面図を示す。

## 6. 深礎杭の施工

### 6.1 深礎杭の概要

深礎杭は、射座基礎の床付面 (EL±0 m) より掘削した。杭径は 2.0m, 2.5m, 3.0m, 3.5m の 4 種であり、合計 42 基打設した。杭長さは、最長 20m, 最短 6 m である。

深礎杭に使用した資材は次のとおりである。

○コンクリート：4 240m<sup>3</sup>  
(延掘削長：495m)

○注入モルタル：490m<sup>3</sup>

○鉄筋：290 t

深礎杭の施工速度は、施工ヤードが狭小かつ資材の搬入路、掘削土砂の搬出路、資材仮置場等の制約を受けたため、常時 2～3 基を並行しての施工となり、合計 42 基で延 5 か月要した。

### 6.2 杭体工

杭径が 2.5m 以下の深礎杭については、エアーピックおよびブレイカー併用の人力掘削とし、オートリフト (バケット容量：0.15m<sup>3</sup>) により排土した。

杭径が 3.0m 以上の深礎杭については、地盤の *N* 値が 30 程度までの区間はロングマンテイングクラムシェルにより掘削・排土した。*N* 値が 30 以上で固結している地盤に対しては、ブレイカーにより人力掘削し、掘削土を杭底中心に集めた後、ロングマンテイングクラムシェルにより排出した。

掘削が 0.8m～1.5m 程度進行するごとに、坑壁の周囲にライナープレートを組み立て、坑壁を保護した。また、杭長 7 m 以上になる場合には、2 m ごとに補

強リングを架設し、ライナープレートを補強した。

支持地盤に到達後、鉄筋加工場で加工された鉄筋を搬入し、油圧トラッククレーン等を使用し順次下部より組立てた。コンクリートの打設にはポンプ車を使用した。

ライナープレートと坑壁間の空隙部については、孔内 4 箇所注入管を配置しておき、仮設モルタルを圧入した。注入圧力は 2 kgf/cm<sup>2</sup> とし、注入口にはストップバルブ・圧力ゲージを取付け注入圧力を管理した。

### 6.3 補助工

断層に近い脆弱部では、杭長が長くなることもあり、掘削時に割れ目から最大 50～100 l/min 程度の湧水があった。この湧水は、2 インチ高揚程水中ポンプを使った釜場排水工により、支障なく処理できた。

しかし、割れ目の著しい域および固結度の低い砂岩が分布する域では、湧水に伴う小崩壊が坑壁とライナープレートとの隙間で起こった。このため、特に脆弱な域では、薬液注入工を行い、坑壁地盤の強化を計った上で掘削を進めた。

また、人力での掘削・ライナープレート組立と孔内での作業が主体のため、昇降時の転落防止装置・換気設備・非常用連絡設備等の諸設備も十分考慮して施工した。深礎杭施工状況を写真—1, 2 に示す。

### 6.4 床付面の確認

これまでに実施した地質調査結果では、必ずしもこの複雑な地盤状況を十分に把握できていなかった。深礎杭を採用した一つの理由は、掘削時に地盤を直接確認できることにあり、掘削中は、現地に地質技

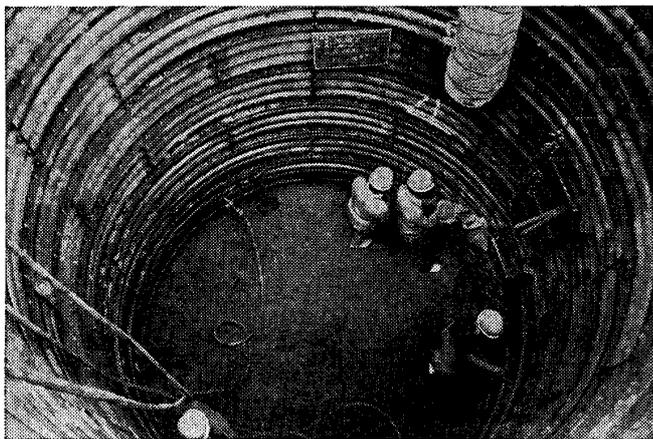


写真-1 深礎杭施工状況

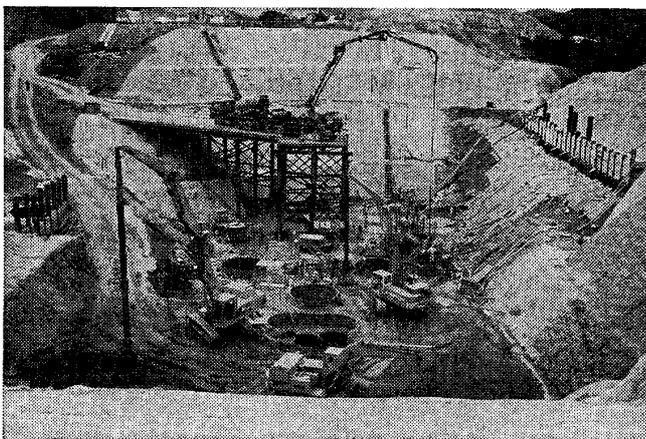


写真-2 深礎杭施工状況

術者を常駐させ、地質状況および支持地盤を確認した上で、コンクリートを打設した。

また、床付面に至っても割れ目等が著しい域では、平板載荷試験により直接的に支持力を確認すると同時に、ボーリング調査により床付面下深部地盤を確

認した上で、床付深度を再検討した。動的コーン貫入試験により5mメッシュで地盤を確認していたため、計画床付深度と実際の床付深度との差は数m以内におさえることができた。

なお、深礎杭の施工中に行った地質調査の内容は次のとおりである。

- ボーリング : 6箇所 延120m
- 孔内水平載荷試験 : 16回
- 岩の一軸圧縮試験 : 6回
- 平板載荷試験 : 5回

## 7. おわりに

本射座基礎工事は、地盤状況が非常に複雑であったため、地盤状況を確認しながら工事を進めた。その結果、地盤が悪い状況下にもかかわらず、深礎杭を確実な支持地盤に床付けできたと自負している。

ただ、床付地盤の良否は、その深度に到達しないと判断がつかない状態であり、工程予測の面からは問題があった。加えて、離島での工事であるため、資機材は本土から調達する必要があり、工法選定からもコスト面からも制限があった。

これらの各深礎杭完了ブロックより各基礎を築造し、昭和63年5月より上部構造物である射座点検塔工事に引継がれ平成2年6月に射座本体設備が完成（口絵写真-5ページ）した。最後に困難な条件下で施工に携われ、本体を完成させた関係各位に深く感謝いたします。

（原稿受理 1991.2.9）