

JAERI - M
83-102

JT-60 本体基礎部品の設計
(臨界プラズマ試験装置設計報告・115)

1983年6月

高津 英幸・清水 正亜

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

JT-60 本体基礎部品の設計
(臨界プラズマ試験装置設計報告・115)

日本原子力研究所東海研究所大型トカマク開発部
高津 英幸・清水 正亜

(1983年6月8日受理)

JT-60 本体基礎部品の設計を、特に構造強度設計に重点を置いてまとめた。

基礎部品は、中心架台用、基礎架台用、支持柱架台用及び星形トラス用に分類され、前三者は実験棟本体室一階床中に、後者は同三階側壁中に埋設される。各々の基礎部品は、ソール・プレート、基礎ボルト、アンカー・プレート、アンカー・パイプ等から構成され、JT-60 本体全体の重量や電磁力等の荷重を支持する他、本体の組立精度を確保する為の基準面を提供する役割を果たす。

最終設計では、設計荷重の条件の下での全ての基礎部品の健全性が確認された。

Design of the Foundation Components for the
JT-60 Tokamak Machine

Hideyuki TAKATSU, Masatsugu SHIMIZU

Department of Large Tokamak Development
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 8, 1983)

Design of the foundation components for the JT-60 tokamak machine is described, laying the emphasis on the structural and mechanical design.

Foundation components are classified into four groups: central base, foundation base, support base of the vacuum vessel and star-shaped truss base. The former three are embedded in the first floor of the experimental building and the last in the wall of the building. Each foundation component is composed of the sole plates, the anchor bolts, the anchor plates and the anchor pipes.

Foundation components support the weight of the machine and several kinds of the load acting on the machine such as the electromagnetic force, as well as provide the cardinal surface to assemble the machine with a high accuracy. Final design showed the structural integrity of all of the foundation components under the designed load conditions.

Keywords: JT-60 Tokamak, Foundation Components, Mechanical Design,
Sole Plate, Anchor Bolt, Anchor Plate, Design

目 次

1. はじめに	1
2. 設計の概要	3
2.1 構造設計	3
2.2 絶縁設計	4
3. 設計荷重	11
3.1 中心架台用基礎部品	11
3.2 基礎架台用基礎部品	13
3.3 支持柱架台用基礎部品	15
3.4 星形トラス用基礎部品	16
4. 強度計算	25
4.1 中心架台用基礎部品	25
4.2 基礎架台用基礎部品	26
4.3 支持柱架台用基礎部品	29
4.4 星形トラス用基礎部品	31
5. 強度評価	36
5.1 強度評価基準	36
5.2 許容応力	38
5.3 強度評価	38
6. 建家との取り合い	49
6.1 本体基礎荷重	49
6.2 コンクリート面圧	49
7. おわりに	51
参考文献	52

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the design	3
2.1 Structural design	3
2.2 Insulation design	4
3. Designed load condition	11
3.1 Central base	11
3.2 Foundation base	13
3.3 Support base of the vacuum vessel	15
3.4 Star-shaped truss base	16
4. Stress calculation	25
4.1 Central base	25
4.2 Foundation base	26
4.3 Support base of the vacuum vessel	29
4.4 Star-shaped truss base	31
5. Strength evaluation	36
5.1 Criteria of the strength evaluation	36
5.2 Allowable stress	38
5.3 Strength evaluation	38
6. Interface to the building	49
6.1 Foundation load to the building	49
6.2 Surface pressure to the concrete	49
7. Conclusions	51
References	52

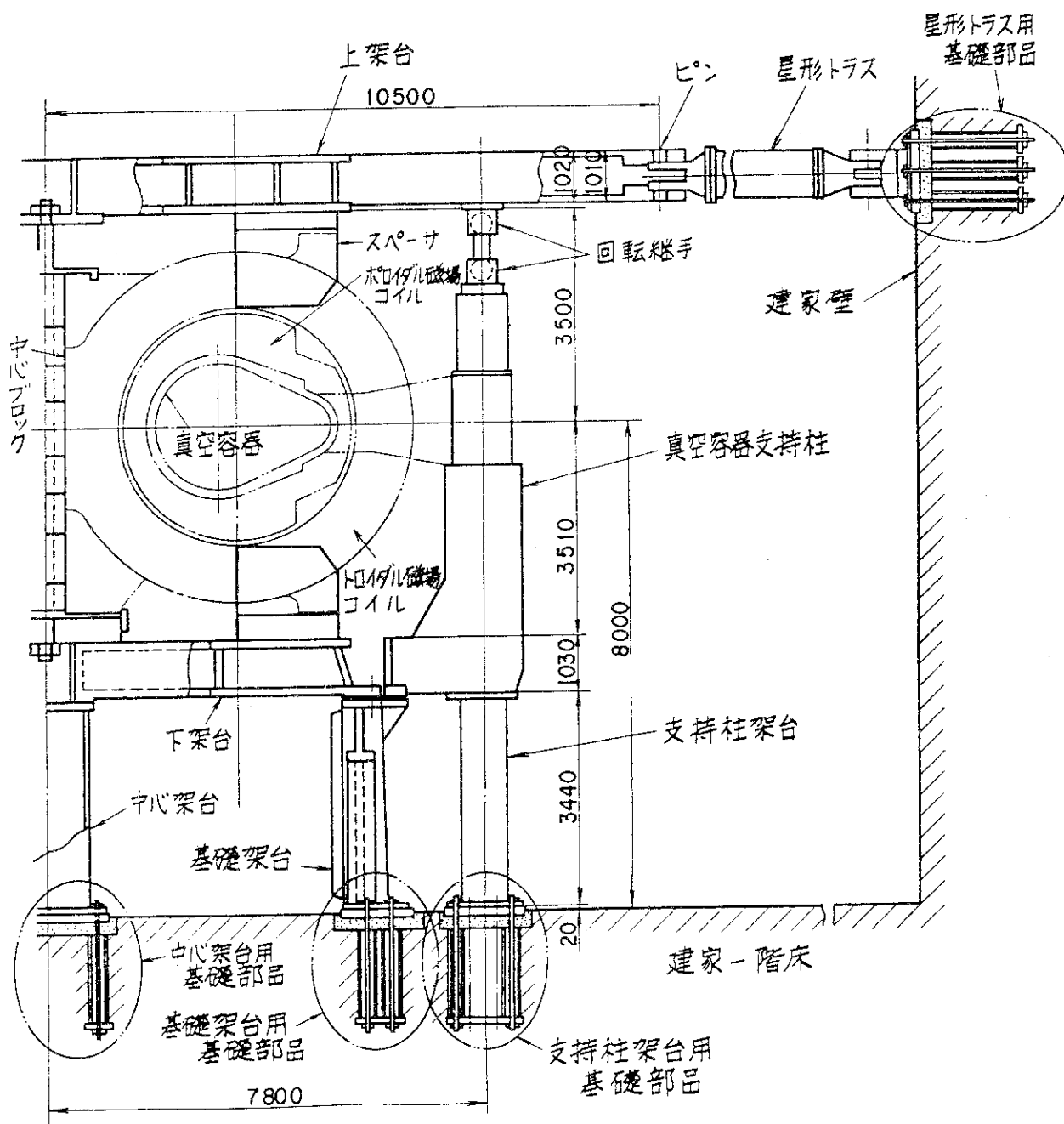
1. はじめに

臨界プラズマ試験装置 (JT-60) 本体¹⁾は、現在原研において建設が進められている。JT-60 本体は、直径約 16 m、高さ約 13 m、総重量約 5000 Tons (以下記号 Φ) の巨大なプラズマ実験装置であり、しかも電気機械である為、原子炉等他の一般構造物では例の無い巨大な電磁力が作用する。更に、装置の大きさにもかかわらず、各々のコンポーネントには、プラズマ物理からの要求から、また複雑に配置された他機器との空間的干渉から mm オーダーの据付精度が要求されている。

JT-60 本体の断面図を第 1 図に示す。JT-60 本体は、実験棟本体室一階床もしくは建家側壁中に埋設された基礎部品上に設定される。これらの基礎部品は、中心架台用、基礎架台用、支持柱架台用及び星形トラス用の 4 種類に分類され、更に、各々の基礎部品は、ソール・プレート、基礎ボルト、アンカー・プレート、アンカー・パイプ等から構成される。基礎部品は、JT-60 本体全体の重量や電磁力等の荷重を支持する他、本体の組立精度を確保する為の基準面を提供する役割を果たしている。

本報告書は、JT-60 本体基礎部品の設計について、特に構造強度設計に重点を置いてまとめたものである。以下第 2 章においては構造設計及び絶縁設計の概要についてまとめた。第 3 章から第 5 章においては強度設計の詳細を各基礎部品毎に示した。第 6 章では、建家との強度的取り合い点である本体基礎荷重及びコンクリート面圧をまとめた。

なお、本報告書中の長さの記述に関しては、特記がない限り mm 単位である。



第1図 JT-60 本体の断面図

2. 設計の概要

2.1 構造設計

JT-60 本体の基礎部品は、中心架台用、基礎架台用、支持柱架台用及び星形トラス用の4つに分けられる。前三者の基礎部品は、JT-60 本体全体の重量や各種荷重を支える基礎となるとともに、複雑な装置を精度良く設定する為の基準面となる役割を果たす。一方、後者の役割は、後で詳述する通り、本体上架台と建家側壁とを連結するコンポーネントである星形トラスの基礎として、星形トラスに作用する荷重を支えることにより運転時や地震時における本体の過度の変形を抑えることにある。

各々の基礎部品は、主にソール・プレート、基礎ボルト、アンカー・プレート及びアンカー・パイプから構成される。ソール・プレートは装置を直接支持する面を構成しており、自重や各荷重を受けて建家に伝える役割を果たす。従って、コンクリート保護の為にも、十分な接触面積をとり局部的に過大な床荷重（面圧）が作用しない様にする必要がある。また、十分な仕上精度や設定精度を有し、この上に設定される装置全体の設定精度を確保する必要がある。JT-60 本体の設計では、中心架台用、基礎架台用及び支持柱架台用ソール・プレートに対して、水平度を 0.1 mm/m 以下に抑えている。

アンカー・プレートは、建家一階床もしくは三階側壁中に埋設され、基礎ボルトによりソール・プレートと各種架台に連結される。基礎ボルトは、一端がアンカー・プレートに固定され、他端においてソール・プレートと各種架台をとも締めすることにより、各種架台及び各ソール・プレートを固定する役割を果たしている。また、アンカー・パイプは、各種架台をソール・プレート上に設定する段階において、予めコンクリート中に埋設されている基礎ボルトに初期設定誤差を吸収する水平方向の自由度を与えるために、基礎ボルトがコンクリートにより固定されてしまうのを防ぐ役割を有している。

本体基礎部品が支持する荷重としては、JT-60 本体の自重、各種の電磁力、真空力及び地震力がある。中心架台用及び基礎架台用基礎部品には、本体の自重の大部分、地震力（鉛直及び水平）、トロイダル磁場コイルの電磁力（転倒力）及びポロイダル磁場コイルの電磁力（主にフープ力）が作用する。自重、鉛直地震力及びポロイダル磁場コイルの電磁力は鉛直方向の力であり、水平地震力及びトロイダル磁場コイルの電磁力は水平方向の力である。一方、支持柱架台用基礎部品は、真空容器及び真空容器支持系の自重の大部分を支持する以外に、真空容器に作用する真空力、電磁力（転倒力、求心力）及び地震力を支える。これらの荷重には、鉛直方向下向きの力と水平方向の力以外に鉛直上向きの力が含まれる為、合成した力が上向き（引抜力）になる場合があり設計に注意を要する。

トロイダル磁場コイルに作用する転倒力は、下端が下架台から中心架台及び基礎架台を通じて建家一階床（即ち、中心架台用及び基礎架台用基礎部品）に支持され、上端は上架台から星形トラスを通じて建家三階側壁（即ち、星形トラス用基礎部品）に支持される。星形トラス用基礎部

品は、星形トラスを介してこのトロイダル磁場コイルの転倒力を支持し本体の過度な捩れ変形を抑える以外に、星形トラスの自重の一部を支持し地震力による本体の振動を抑える役割も果たしている。従って、星形トラス用基礎部品には、建家三階側壁の接線方向、垂直方向及び鉛直方向の力が作用し、一部が基礎ボルトの引抜力となる。

各種基礎部品の詳細図を第2図から第5図に、また主要諸元を第1表に示す。いずれの基礎部品においても、鉛直方向下向きの力はソール・プレートの面圧で支持される。一方、鉛直方向上向きの力（基礎ボルトの引抜力）が作用する支持柱架台用及び星形トラス用基礎部品に関しては、基礎ボルトの引張力をアンカー・プレートの面圧で支持する構造をとっている。

水平方向の力に対しては、中心架台用及び支持柱架台用基礎部品では積極的な支持は行なえない。即ち、水平方向の力が小さい為、基礎ボルトの初期締付力による摩擦力で十分支持が行なえる。しかし、基礎架台用及び星形トラス用基礎部品には大きな水平方向の力が作用する為、基礎ボルトに過大な力が働かない様に第3図及び第5図に示す様にソール・プレートに歯を設け、この歯の側面で水平力を支持する構造を採用した。

中心架台用及び基礎架台用基礎ボルトにはいずれの外力も作用せず、初期締付力のみが作用する。従って、それらのアンカー・プレートにも、基礎ボルトの初期締付力に対応する面圧のみが作用する。一方、支持柱架台用及び星形トラス用基礎ボルトには、初期締付力以外に引抜力が作用する為、アンカー・プレートにもそれに対応した面圧が作用する。

JT-60 本体は巨大な電気機械であり、運転中には装置内外に著しい漏洩磁場が発生する。従って、構造材に磁性体を用いると磁化され不整磁場の発生原因となり、プラズマの制御等に悪影響を与える為、可能な限り透磁率の低い材料を用いる必要がある。本体基礎部品に関しても、中心架台用、基礎架台用及び支持柱架台用基礎部品は比較的漏洩磁場の強い本体直下に設置される為、非磁性材料である高マンガン非磁性鋼²⁾（ソール・プレート及びアンカー・プレートはNMJ-30BP、基礎ボルトはNMJ-35A）もしくはステンレス鋼（アンカー・パイプはSUS-304）製である。一方、星形トラス用基礎部品が設置される建家側壁においては漏洩磁場が小さく磁性材の使用が可能であるので、星形トラス用基礎部品としては一般構造用鋼板(SS41)を使用している。

2.2 絶縁設計

前節に示した様に、JT-60 本体は巨大な電気機械であり、装置の内外に著しい漏洩磁場が発生する。従って、装置本体を構成する構造材が電流回路を形成するとプラズマの各種挙動に伴い渦電流が誘起され、これがプラズマ領域の不整磁場の原因となる。JT-60 本体を構成する各コンポーネントは、この不整磁場を可能な限り低く抑える為適所に絶縁を施して大きな電流回路を形成しない配慮がなされている。

JT-60 本体の電気絶縁ヶ所を示す断面図及び平面図を第6図及び第7図に示す。各基礎部品と本体とは、中心架台と下架台、基礎架台と下架台、支持柱架台と真空容器支持柱、星形トラスと上架台の間で電気絶縁が施されている。一方、実験棟本体室の建家床配筋と各種基礎ボルトは接触しない様に設計・施行されているが確実性に乏しく、床内配筋を通じて基礎ボルト間は電気

的に連結される可能性がある。基礎架台用ソール・プレートはトロイダル方向に12分割されておりコンクリートにより電気絶縁されているが、基礎架台用基礎ボルトが床内配筋を通して互いに電氣的に連結されると、

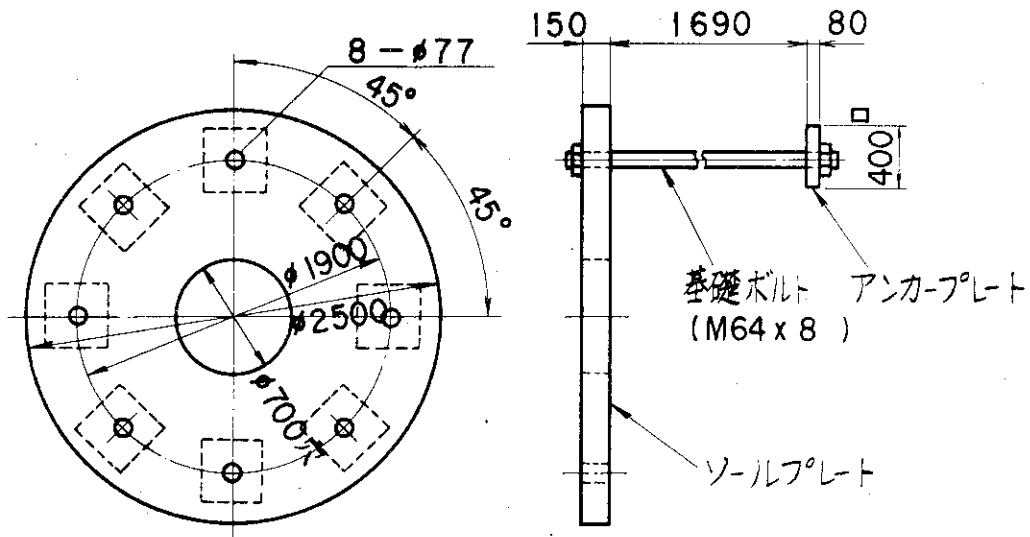
- ① 基礎架台は、トロイダル方向に4ヶ所絶縁されておりワンターン・ループを形成しない様に設計されているが、床内配筋を介してワンターン・ループを形成する可能性がある。
- ② 上記絶縁ヶ所の絶縁健全性の確認ができない場合がある。

という不具合が生じる為、基礎架台用基礎ボルトは絶縁ボルトとし、基礎架台及び基礎架台用ソール・プレートとの間が電氣的に絶縁されるものとした。

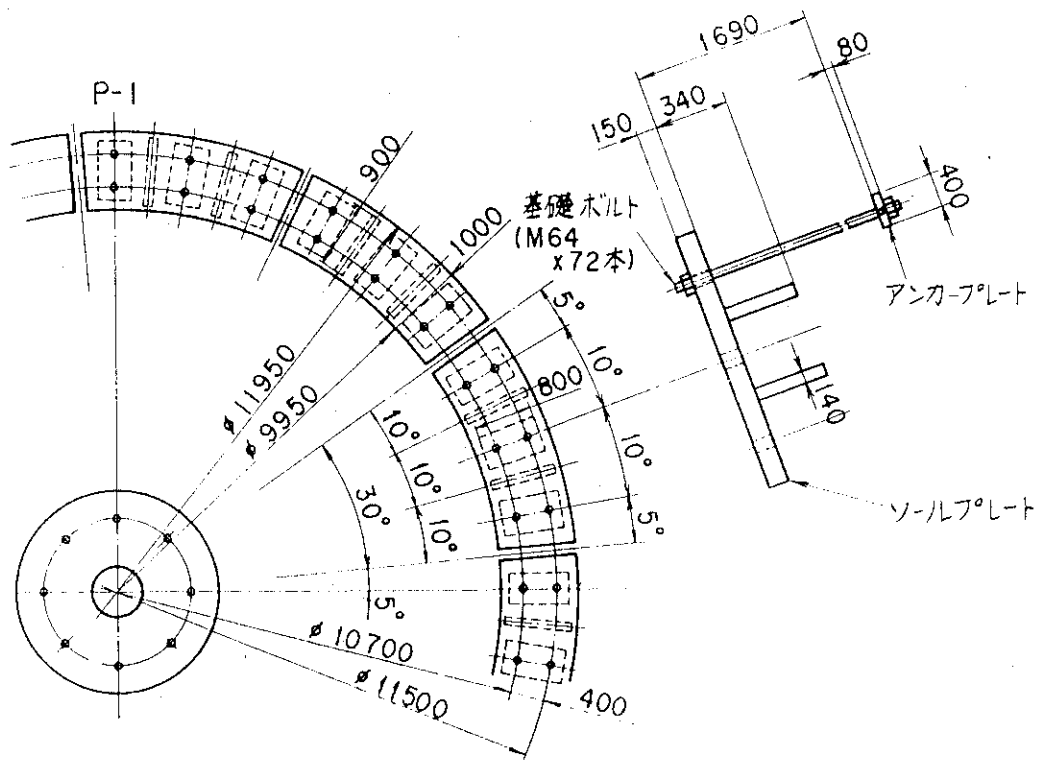
中心架台用、支持柱架台用及び星形トラス用基礎ボルトに関しては上記不具合が生じない為、非絶縁の基礎ボルトを使用している。

第1表 JT-60 本体基礎部品の主要諸元

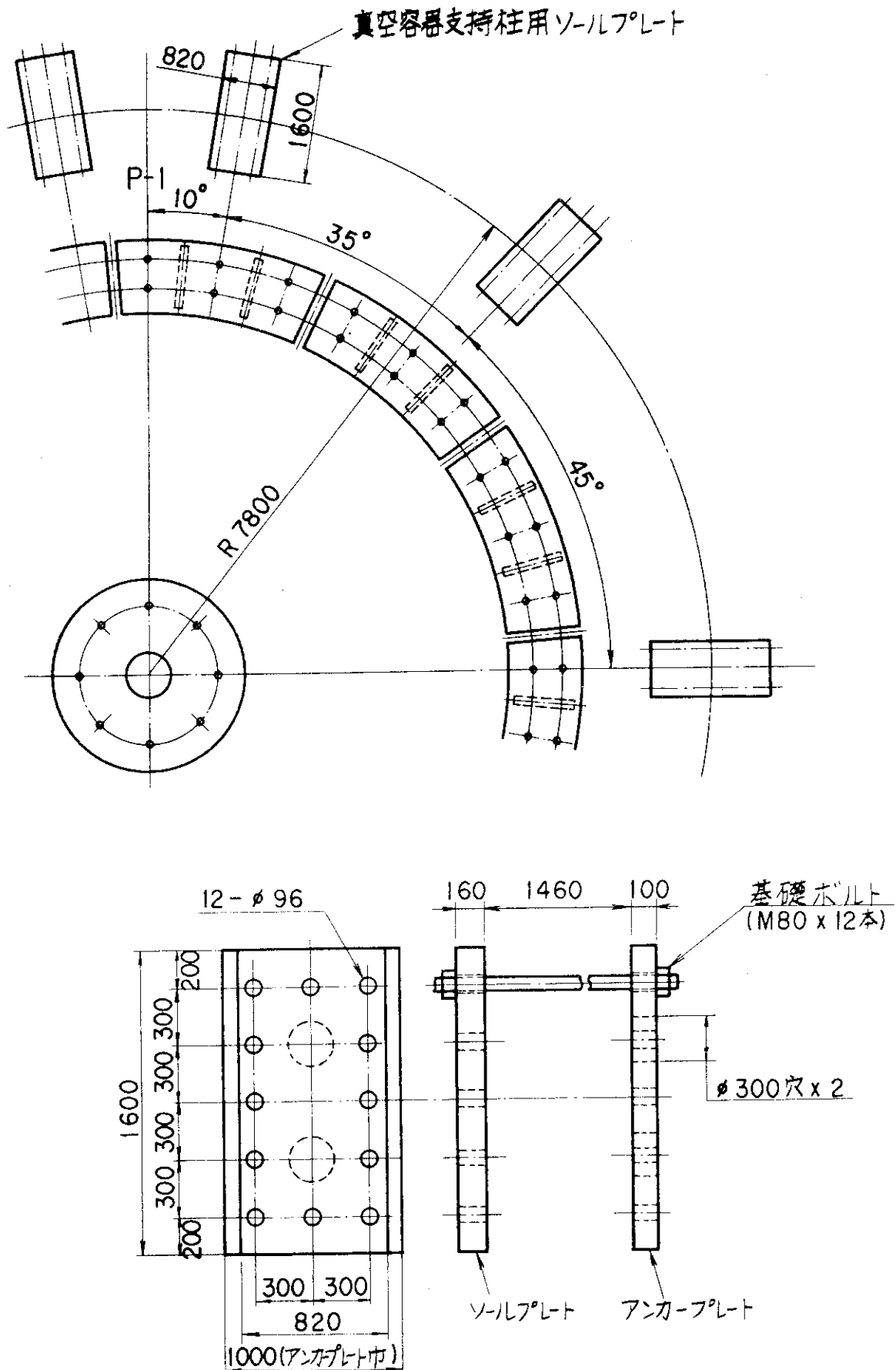
		中心架台用	基礎架台用	支持柱架台用	星形トラス用
基礎ボルト	本数	N_c 8本	N_f 72本 (6本×12ヶ所)	N_v 120本 (12本×10ヶ所)	N_s 48本 (12本×4ヶ所)
	呼び径	M 64	M 64	M 80	M 80
	有効断面積 (mm ²)	S_{bc} 2676	S_{bf} 2676	S_{bv} 4344	S_{bs} 4344
	初期締付力 (kg/mm ²)	σ_i 15.0	σ_i 15.0	σ_i 15.0	σ_i 15.0
	PCD (mm)	D_c 1900	—	—	—
ソール・プレート	枚数	n_{sc} 1	n_{sf} 12	n_{sv} 10	n_{ss} 4
	面積 (mm ²)	A_{sc} 4.52×10^6	A_{sf} 2.8×10^7	A_{sv} 1.31×10^6	A_{ss} 4.16×10^6
	ゲタの歯有効枚数	—	n_{tf} 20	—	n_{tf} 3
	ゲタの歯の幅	—	w 900	—	w 1600
	ゲタの歯の高さ	—	h 240	—	h 300
	ゲタの歯の板厚	—	t 140	—	t 130
	ゲタの歯の断面係数 (mm ³)	—	z 3.38×10^6	—	z 4.51×10^6
アンカー・プレート	枚数	n_{ac} 8	n_{af} 36	n_{av} 10	n_{as} 24
	面積 (mm ²)	A_{ac} 1.60×10^5	A_{af} 3.2×10^5	A_{av} 1.46×10^6	A_{as} 3.2×10^5



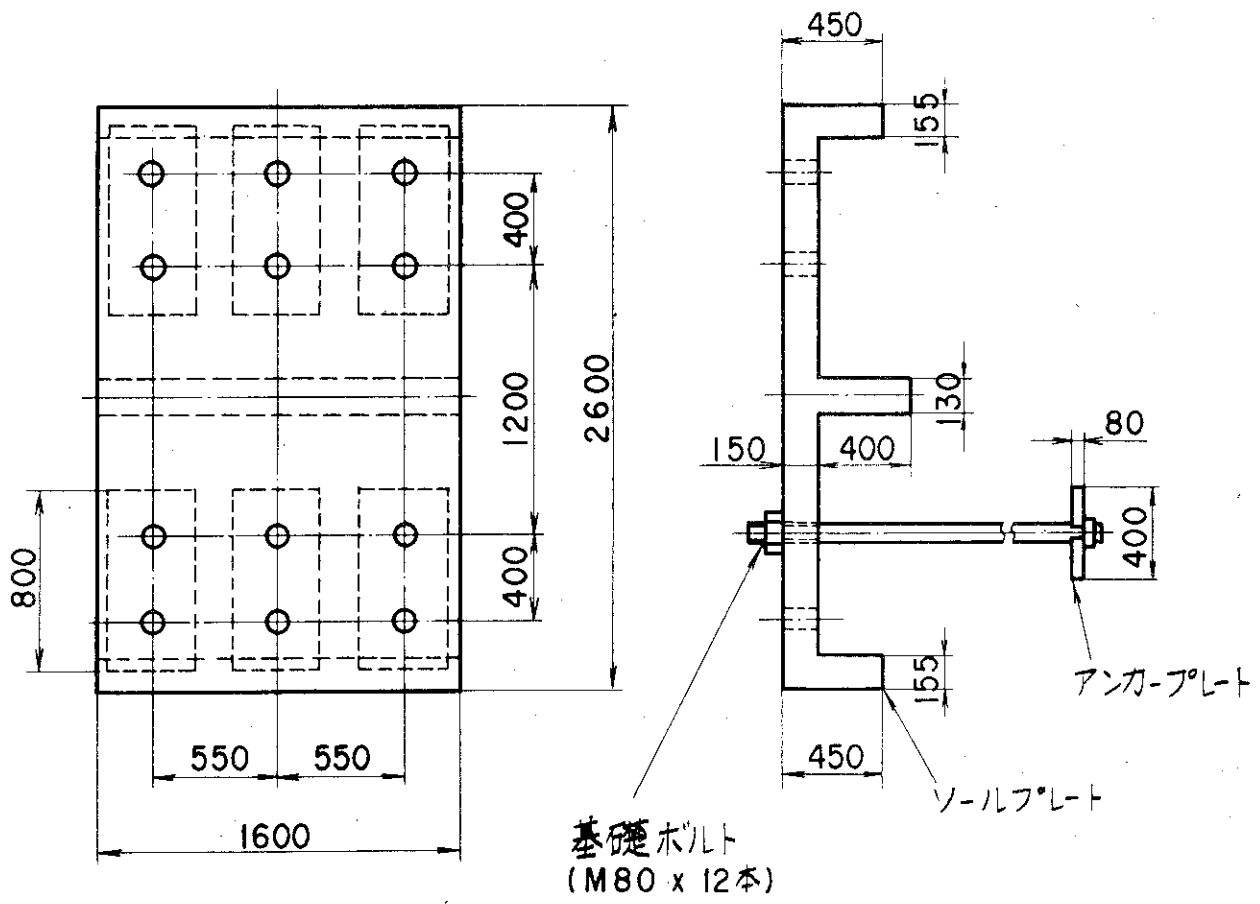
第2図 中心架台用基礎部品



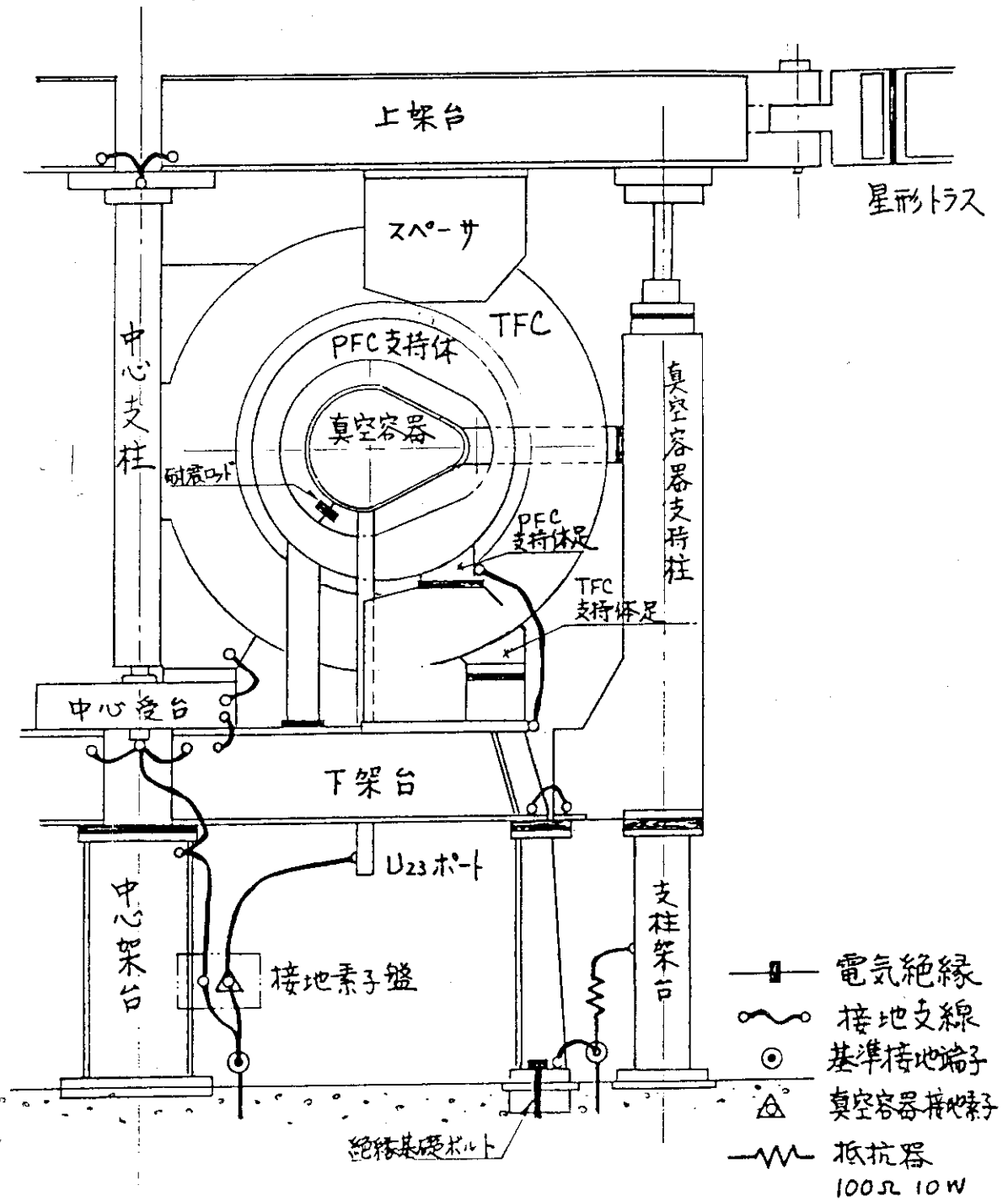
第3図 基礎架台用基礎部品



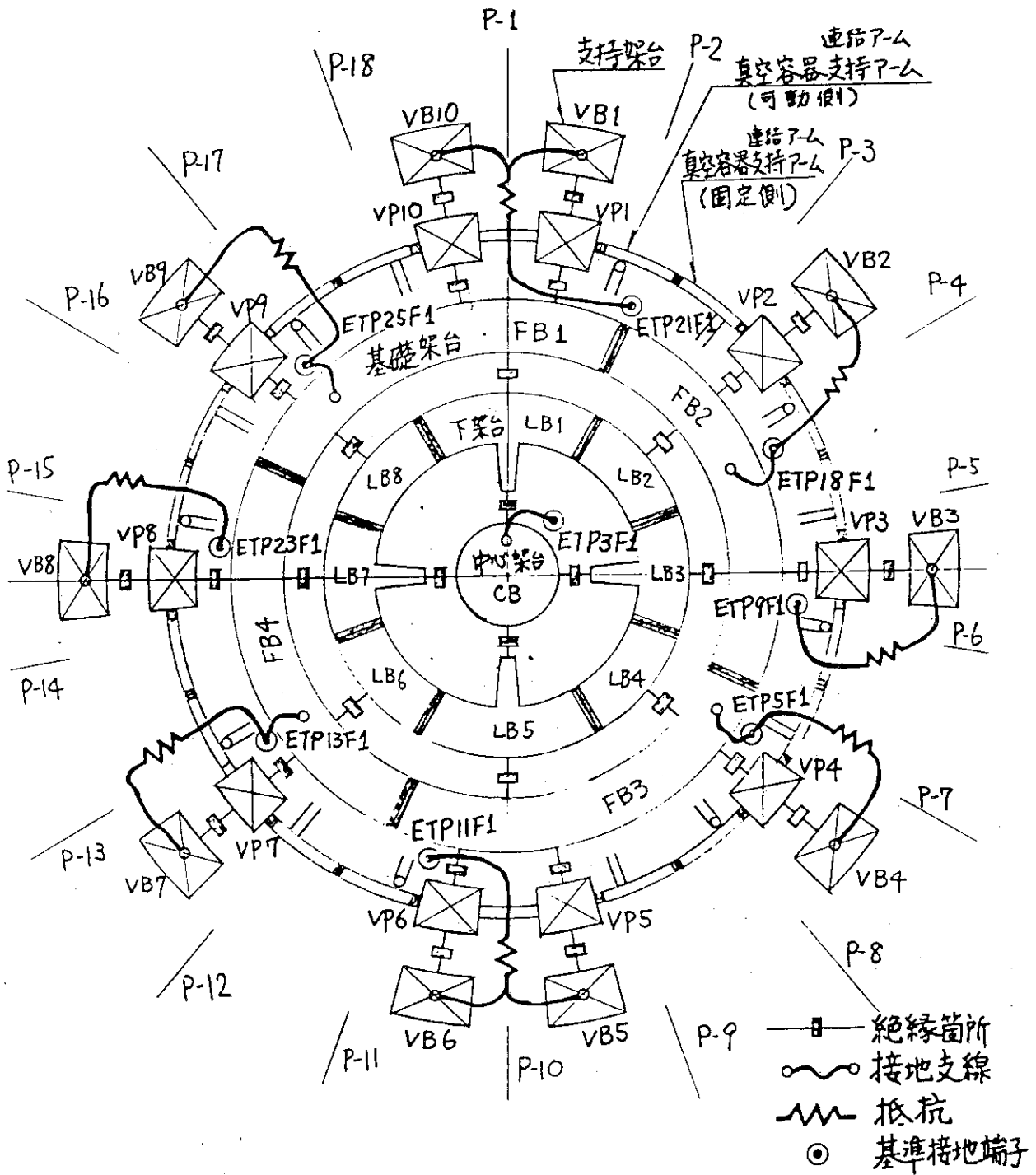
第4図 支持柱架台用基礎部品



第5図 星形トラス用基礎部品



第6図 JT-60 本体の電気絶縁ヶ所



第7図 中心架台，基礎架台，支持柱架台の電気絶縁ヶ所

3. 設計荷重

各基礎部品に作用する設計荷重を以下に記す。ここで、各基礎部品の諸元及び記号は第1表に示す通りであり、また摩擦係数 μ は0.3とする。

3.1 中心架台用基礎部品

中心架台用基礎部品に作用する荷重としては、静荷重（自重及び支持重量）、運転時荷重（ポロイダル磁場コイルからの作用力及びトロイダル磁場コイル転倒力）、地震時荷重がある。

(1) 静荷重

中心架台用基礎部品が支持する静荷重としては、中心架台の自重と中心架台が支持する上部構造物の重量がある。従って、全静荷重 W は、

$$W = (\text{中心架台自重}) + (\text{中心ブロック重量}) + (\text{上架台関係重量}) + (\text{下架台関係重量}) \\ = 10 + 15 + 79.4 \times 4 + (80.0 + 116.8) \times 4 = 810.2 \text{ ㉩}$$

で与えられる。³⁾

(2) ポロイダル磁場コイルからの作用力

ポロイダル磁場コイルに作用する電磁力等によりメガネサポート支持脚に作用する力 f_1 （上向き）及び f_2 （下向き）は、各々

$$f_1 = -60 \text{ ㉩} \times 18 = -1080 \text{ ㉩} / \text{全周}$$

$$f_2 = 90 \text{ ㉩} \times 18 = 1624 \text{ ㉩} / \text{全周}$$

である。³⁾従って、力及びモーメントの釣り合いから、支点反力 R_1 、 R_2 は下記の通り求められる（次頁の図参照）。

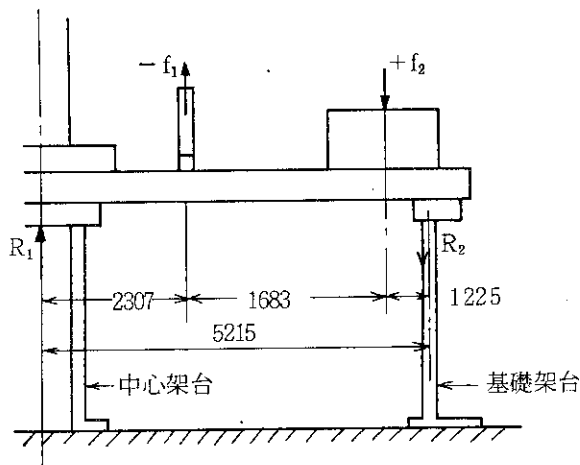
$$R_1 = \frac{1683 + 1225}{5215} \times (-1080) + \frac{1225}{5215} \times 1624$$

$$= -220.7 \text{ ㉩} \text{ (上向き)}$$

$$R_2 = \frac{2307}{5215} \times (-1080) + \frac{2307 + 1683}{5215} \times 1624$$

$$= 764.7 \text{ ㉩} \text{ (下向き)}$$

これより、ポロイダル磁場コイルからの作用力により中心架台用基礎部品には上向きの力220.7㉩が作用する。



(3) トロイダル磁場コイル転倒力

トロイダル磁場コイルの転倒力により中心架台にはトーラス中心軸まわりの振りトルクが作用する。中心架台は基礎架台に比して剛性が低いため、中心架台は基礎架台と同一角変形するとし、中心架台に作用する振りトルクを求める。

トロイダル磁場コイルの最大転倒力が作用した場合の基礎架台の振れ角 θ は 2.05×10^{-4} rad であるから、³⁾ 中心架台に作用する振りトルク T は、中心架台の外径、内径、長さを $d_2 = 1500$, $d_1 = 1400$, $l = 3300$ とすると、

$$T = \frac{\pi (d_2^4 - d_1^4) G \theta}{32 l} = 5.36 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

で得られる。従って、中心架台用基礎ボルトのピッチ・サークル・ダイヤミタを D_c とすると、接線力 F_t は

$$F_t = \frac{T}{D_c / 2} = 56.4 \text{ ㍻}$$

と得られる。

(4) 地震時荷重

設計地震力としては、鉛直加速度 $0.2 G$ 、水平加速度 $0.4 G$ が規定されている。非運転時及び運転時の垂直力 W_{VN} 及び W_{VO} は

$$W_{VN} = W (1 \pm 0.2) = 972.2 \text{ ㍻}, 648.2 \text{ ㍻}$$

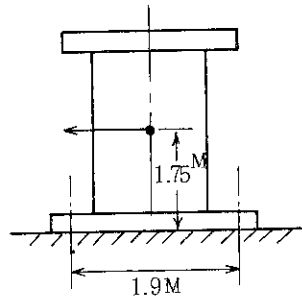
$$W_{VO} = W_V (1 \pm 0.2) = 707.0 \text{ ㍻}, 471.4 \text{ ㍻}$$

但し、 $W_V = W + R_1 = 589.2 \text{ ㍻}$ である。また、水平力 W_H は、中心架台の自重が 10 ㍻ である事から

$$W_H = 0.4 \times 10 = 4.0 \text{ ㍻}$$

である。基礎部品には、水平力によるモーメントにより垂直力 W'_V が作用する（下図参照）。

$$W'_V = \frac{1.75}{1.9} W_H = \pm 4.0 \text{ ㉮}$$



従って、地震時（非運転時）の最大水平力，最大垂直力は， $W_H = 4.0 \text{ ㉮}$ ， $W_{VN} + W'_V = 976.2 \text{ ㉮}$ であり，地震時（運転時）の最大水平力，最大垂直力は， $F_t + W_H = 60.4 \text{ ㉮}$ ， $W_{VO} + W'_V = 711.0 \text{ ㉮}$ である。

(5) まとめ

以上(1)から(4)をまとめると，中心架台用基礎部品に作用する最大荷重は下記の通りである。

自重	W	810.2 ㉮	
運転時	{ 垂直力 W_V	589.2 ㉮	
	{ 振りトルク T	53.6 ㉮	
地震時	{ 非運転時	{ 垂直力 $W_{VN} + W'_V$	976.2 ㉮
		{ 水平力 W_H	4.0 ㉮
	{ 運転時	{ 垂直力 $W_{VO} + W'_V$	711.0 ㉮
		{ 水平力 $F_t + W_H$	60.4 ㉮

3.2 基礎架台用基礎部品

基礎架台用基礎部品に作用する荷重としては、静荷重（自重及び支持荷重），運転時荷重（ポロイダル磁場コイルからの作用力及びトロイダル磁場コイル転倒力），地震時荷重がある。

(1) 静荷重

基礎架台が支持する重量Wは，安全側に5000 ㉮とする。

(2) ポロイダル磁場コイルからの作用力

3.1節でみた様に，ポロイダル磁場コイルに作用する電磁力により，基礎架台には下向きの力 $f_2 = 1624 \text{ ㉮} / \text{全周}$ が作用する。

(3) トロイダル磁場コイル転倒力

トロイダル磁場コイルの最大転倒力による振りモーメントMは14000 ㉮・mであり³⁾，基礎架台用基礎ボルトのピッチ・サークル・ダイヤミタを D_f とすると，接線力 F_θ は

$$F_{\theta} = \frac{M}{D_r/2} = 2617 \text{ ㉟} / \text{全周}$$

である。

この最大転倒力による振りモーメントは、ソール・プレートのゲタの歯状の突起（以下「ゲタの歯」と呼ぶ）及び静荷重と基礎ボルトの初期締付力による摩擦力で支持される。静荷重による摩擦力 $F_{\mu W}$ は安全率を 5 として

$$F_{\mu W} = \frac{1}{5} \mu W = 300 \text{ ㉟}$$

基礎架台用基礎ボルトの本数、有効断面積、初期締付応力を N_f 、 S_{bf} 、 σ_i とすると、基礎ボルトの初期締付力による摩擦力 $F_{\mu B}$

$$F_{\mu B} = \mu N_f S_{bf} \sigma_i = 867 \text{ ㉟}$$

従って、ゲタの歯が負担する荷重 F は

$$F = F_{\theta} - (F_{\mu W} + F_{\mu B}) = 1393 \text{ ㉟}$$

である。ソール・プレートのゲタの歯の枚数、幅、高さを n_{tf} 、 w 、 h とすると、ゲタの歯 1 枚に作用する水平力 f_{θ} 及び側面圧 P_{sf} は

$$f_{\theta} = \frac{F}{n_{tf}} = 69.7 \text{ ㉟}$$

$$P_{sf} = \frac{f_{\theta}}{wh} = 0.32 \text{ kg/mm}^2$$

である。ここで、ソール・プレートのゲタの歯は 24 枚（ソール・プレートの枚数 n_{sf} は 12 枚で各々に 2 枚の歯がついている）であるが、基礎架台に設けられている計測器搬入口の開口部のため、この部分の 4 枚のゲタの歯は支持に対する寄与が少いとみなし、安全側に有効枚数を 20 枚とした。

(4) 地震時荷重

設計地震力としては、鉛直加速度 0.2 G、水平加速度 0.4 G が規定されている。水平方向の地震力 W_H は

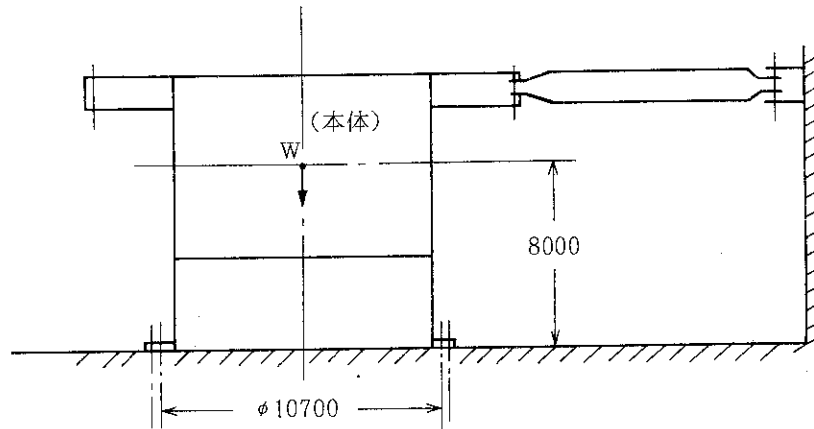
$$W_H = 0.4 W = 2000 \text{ ㉟}$$

であり、水平地震力による転倒モーメント M_H 、自重によるモーメント M_A は

$$M_H = 8.0 W_H = 16000 \text{ ㉟} \cdot \text{m}$$

$$M_A = \frac{10.7}{2} (1 - 0.2) W = 21400 \text{ ㉟} \cdot \text{m}$$

であり $M_H < M_A$ である事から地震力では自重のみでも倒れない（下図参照）。



一方、自重による摩擦力 F_μ は、鉛直地震力を考慮すると最小で

$$F_\mu = (1 - 0.2) \mu W = 1200 \text{ ㉟}$$

であり、 $F_\mu < F_E$ である事から、ソール・プレートのゲタの歯に

$$F = F_E - F_\mu = 800 \text{ ㉟}$$

なる水平力が作用する。これを有効枚数 20 枚のゲタの歯で受ける事により、一枚当たりに $f_c = 40 \text{ ㉟}$ なる水平力が作用する。

(5) まとめ

以上(1)から(4)をまとめると、基礎架台用基礎部品に作用する最大荷重は下記の通りである。

自重	W	5000 ㉟	
運転時	垂直力 $W + f_2$	6624 ㉟	
	ゲタの歯一枚への水平力 f_θ	69.7 ㉟	
地震時	非運転時	垂直力 $1.2 W$	6000 ㉟
		ゲタの歯一枚への水平力 f_c	40 ㉟
	運転時	垂直力 $1.2 W + f_2$	7624 ㉟
		ゲタの歯一枚への水平力 $f_c + f_\theta$	109.7 ㉟

3.3 支持柱架台用基礎部品

支持架台用基礎部品が作用する荷重としては、静荷重（自重及び支持荷重）、運転時荷重（真空容器に作用する電磁力、真空力等）、地震時荷重がある。

(1) 静荷重

支持柱架台用基礎部品が支持する静荷重としては、真空容器の重量の大部分と真空容器支持系（支持柱架台、真空容器支持柱、連結アーム・スタンド、連結アーム、真空容器支持アーム等）の重量がある。ここでは、真空容器支持系の剛性と重量をとり込んだFEMモデルを作成し基礎に作用する荷重を算出した。計算モデルを第8図に、基礎荷重を第2表にまとめる。ここでA, A',

B, B', C 柱の区別は第 9 図の真空容器支持系平面図に示される通りである。また、最大基礎荷重には最大モーメントによる力も合成されている。

(2) 運転時荷重

運転時荷重としては、真空容器に作用する電磁力、真空力、自重等があるが、とりわけ電磁力が大きい。更に、電磁力の作用するケースとして、プラズマ立ち上げ（着火）、同（下着火）、プラズマ消滅（消滅時定数 50 msec）、同（消滅時定数 1 msec）の 4 つが本体仕様として与えられているが、前三者に比べて後者の場合の荷重が最も大きいため、⁴⁾プラズマ 1 msec 消滅時の荷重を設計荷重として用いる。真空容器の強度計算において得られた真空容器支持点反力を第 3 表にまとめる。これらの値には、プラズマ 1 msec 消滅時における電磁力以外に真空力、自重、磁気リミタ反力、熱荷重が含まれている。⁵⁾

支持柱架台用基礎部品に作用する荷重は、第 10 図に示す真空容器支持系の FEM モデルの真空容器支持点に上記反力を入力して求めた。モデルは全て梁要素から成り、境界面（切断面）での境界条件は第 4 表にまとめる通りであり、荷重モードから求心力に対しては対称条件を、転倒力に対しては逆対称条件を与えている。また、下架台との結合部の各節点には第 5 表に示す求心方向ばね定数と垂直方向ばね定数を与えた。ここで、求心方向ばね定数は、下架台をリング構造とした場合のばね定数解析解 $886 \text{ } \$/\text{mm}$ に対して安全率を加味して $100 \text{ } \$/\text{mm}$ とした。また、垂直方向ばね定数は、基礎架台 FEM より求められた。³⁾ また、これらの節点のトラス方向の変位は自由であり、回転は全て拘束されている。

以上より得られた基礎荷重は第 2 表にまとめられている。運転時に作用する求心力は、基礎部品に対して引き抜き力（自重と逆方向の力）として作用するため、総じて荷重条件は非運転時より楽になる。

(3) 地震時荷重

真空容器支持系も、動的地震力（水平方向 200 gal、垂直方向 100 gal を建家一階床に入力した場合に真空容器支持系の受ける地震力）より静的地震力（水平方向 0.4 G、垂直方向 0.2 G）の方が大きいため、静的解析により基礎荷重を算出する。

第 8 図は静的解析用モデルを示す。モデルは全て梁要素から成り、境界面（切断面）において第 6 表にまとめる境界条件が与えられている。下架台との結合部の各節点の境界条件は運転時荷重の算出の場合と同じである。第 7 表に示される 11 の荷重条件の下で静的解析を行い、得られた基礎荷重の最大値を第 2 表にまとめる。

(4) まとめ

各運転モードに対する基礎荷重は第 2 表にまとめる通りであるが、これに安全率 1.2 を乗じて得られた第 8 表の数値を各々の種類の真空容器支持柱及び支持柱架台用基礎部品の設計用基礎荷重とする。また、第 9 表には 3 種類の真空容器支持柱をまとめた最大基礎荷重を運転モード毎にまとめた。

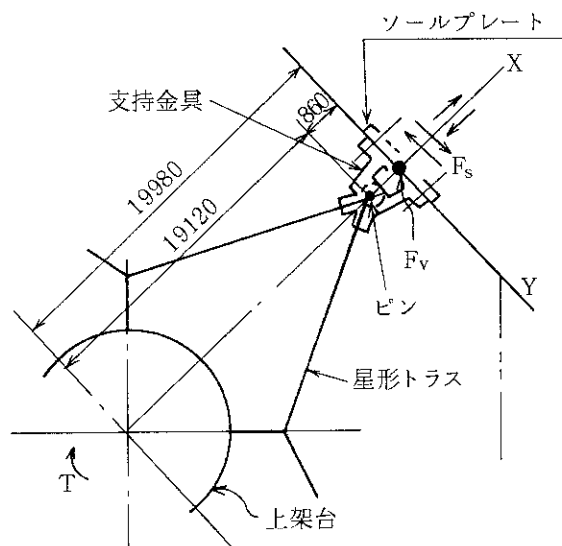
3.4 星形トラス用基礎部品

星形トラス用基礎部品に作用する荷重としては、静荷重（星形トラス 1 本分及び基礎部品の重

量), 運転時荷重(トロイダル磁場コイル転倒力), 地震時荷重がある。

(1) 静荷重

星形トラス用基礎部品が支持する静荷重としては, 星形トラス1本分の重量と基礎部品の自重(ダンパーを含む)があり, 総支持重量は30 $\text{\$}$ である。これは星形トラス支持壁面に対する垂直力 F_V として作用する。また, 下図からわかる通り, 支持重量の重心が壁面からオフセットしている事によりY軸まわりのモーメント $M_Y = 25.8 \text{\$}\cdot\text{m}$ が基礎に作用する。



(2) 運転時荷重

運転時荷重としては, トロイダル磁場コイルの最大転倒トルク $T = 1.4 \times 10^4 \text{\$}\cdot\text{m}$ がある。これは, 星形トラスの引張力或は圧縮力によって支持され, 星形トラス基礎には183.1 $\text{\$}$ の壁面平行力 F_S として作用する。³⁾また静荷重と同様に, 荷重支持点が壁面からオフセットしている事によりZ軸まわりのモーメント $M_Z = 157.5 \text{\$}$ が基礎に作用する。

(3) 地震時荷重

星形トラスの基礎には, 地震時における建家側壁への水平方向の衝撃を吸収する目的でダンパー(減衰係数 $C = 3000 \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{mm}$)が設置される。一方, ダンパーは静解析になじまないため, 地震時に星形トラス基礎に作用する荷重は動解析により求めるものとする。

地震波は本体基礎部と星形トラス取付部である建家側壁部に同時に同位相, 同振幅にて作用するとし, その大きさは最大振幅200 galとする。波形はEL CENTRO波(10秒), TAFT波(12秒)の2種類について計算し, 荷重の大きい方の値を採用している。

鉛直方向地震力に関しては, 最大振幅100 galの地震波を与えた動的解析により得られる星形トラス基礎荷重より, 鉛直方向に0.2 Gを与えた場合の静解析により得られる基礎荷重の方が値が大きく, 後者を設計用荷重として採用する。

(4) まとめ

以上(1)から(3)より, 星形トラスの基礎荷重は第10表にまとめられる。更に, モーメント M_Y , M_Z を,

$$F_{DY} = \frac{M_Y}{l_{PZ}} \quad F_{DZ} = \frac{M_Z}{l_{PY}}$$

により壁面垂直力 F_{DY} , F_{DZ} に換算した合成基礎荷重を第11表にまとめる。ここで, l_{PY} , l_{PZ} はY軸及びZ軸方向基礎ボルトのピッチを表わす。

第2表 支持柱架台に作用する基礎荷重

運転条件	柱	最大基礎荷重 (㉮)			最大モーメント (㉮・m)			
		垂 直 W		水平 F	M_x	M_y	M_z	
		下 向	上 向					
非 運 転 時 (自重)	A, A'	132.5	—	9.0	—	1.5	16.0	
	B, B'	110.0	—	11.0	0.5	4.5	21.0	
	C	174.0	—	3.5	—	0.5	11.0	
運 転 時 (自重を含む)	A, A'	78.7	—	5.3	0.9	3.1	20.8	
	B, B'	58.0	—	3.8	0.3	7.4	8.1	
	C	113.8	—	9.7	—	1.7	26.8	
地 震 時	非 運 転 時	A, A'	286.2	85.6	26.6	0.1	34.6	63.5
		B, B'	262.9	126.9	32.3	0.7	40.6	79.0
		C	304.0	63.5	23.8	0.1	32.3	92.5
	運 転 時 (自重を含む)	A, A'	232.4	121.3	22.5	1.0	35.8	66.5
		B, B'	196.1	168.4	25.1	0.5	41.1	66.1
		C	243.8	153.9	30.0	0.1	33.5	108.3

第3表 真空容器支持点反力

	40°セクタ用 支持アーム1本	60°セクタ用 支持アーム1本	備 考
求 心 力	133㉮	200㉮	ループ電流による
転 倒 力	±60㉮	±90㉮	鞍型電流による

第4表 運転時荷重算出用真空容器支持系モデルの
切断面での境界条件

	変位			回転			備考
	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z	
求心力	0	1	0	1	0	1	対称
転倒力	1	0	1	0	1	0	逆対称

0 : 自由 1 : 拘束

第5表 真空容器支持系静的解析用モデルの
下架台結合部の弾性支持条件

節点番号	求心方向ばね定数 (N/mm)	垂直方向ばね定数 (N/mm)
4	100	646
23	100	899
39	100	846
55	100	904
72	100	445

第6表 地震時荷重算出用真空容器支持系モデル
の切断面での境界条件

荷重方向	変位			回転		
	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
X	0	1	0	1	0	1
Y	1	0	1	0	1	0
Z	0	1	0	1	0	1

0 : 自由 1 : 拘束

第7表 地震時荷重算出用荷重条件

No.	入力方向	加速度(G)	No.	入力方向	加速度(G)
1	X	0.4	7	Y Z	0.4 0.2
2	Y	0.4	8	X-Y 45° Z	0.4 0.2
3	-Z	0.2	9	X Z	0.4 0.2
4	Z	0.2	10	Y Z	0.4 0.2
5	X-Y 45°	0.4	11	X-Y 45° Z	0.4 0.2
6	X -Z	0.4 0.2			

第8表 支持柱架台用基礎部品の設計荷重

運転条件	柱	最大基礎荷重 (千)			最大モーメント (千・m)			
		垂直W		水平F	M _X	M _Y	M _Z	
		下向	上向					
非 運 転 時 (自重)	A,A'	159	—	11	—	2	19	
	B,B'	132	—	13	1	5	25	
	C	209	—	4	—	1	13	
運 転 時 (自重を含む)	A,A'	94	—	6	1	4	25	
	B,B'	70	—	5	1	9	10	
	C	137	—	12	—	2	32	
地 震 時	非 運 転 時	A,A'	343	103	32	1	42	76
		B,B'	315	152	39	1	49	95
		C	365	76	29	1	39	111
	運 転 時 (自重を含む)	A,A'	279	146	27	1	43	80
		B,B'	235	202	30	1	49	79
		C	293	185	36	—	40	130

第9表 支持柱架台用基礎部品の最大設計荷重

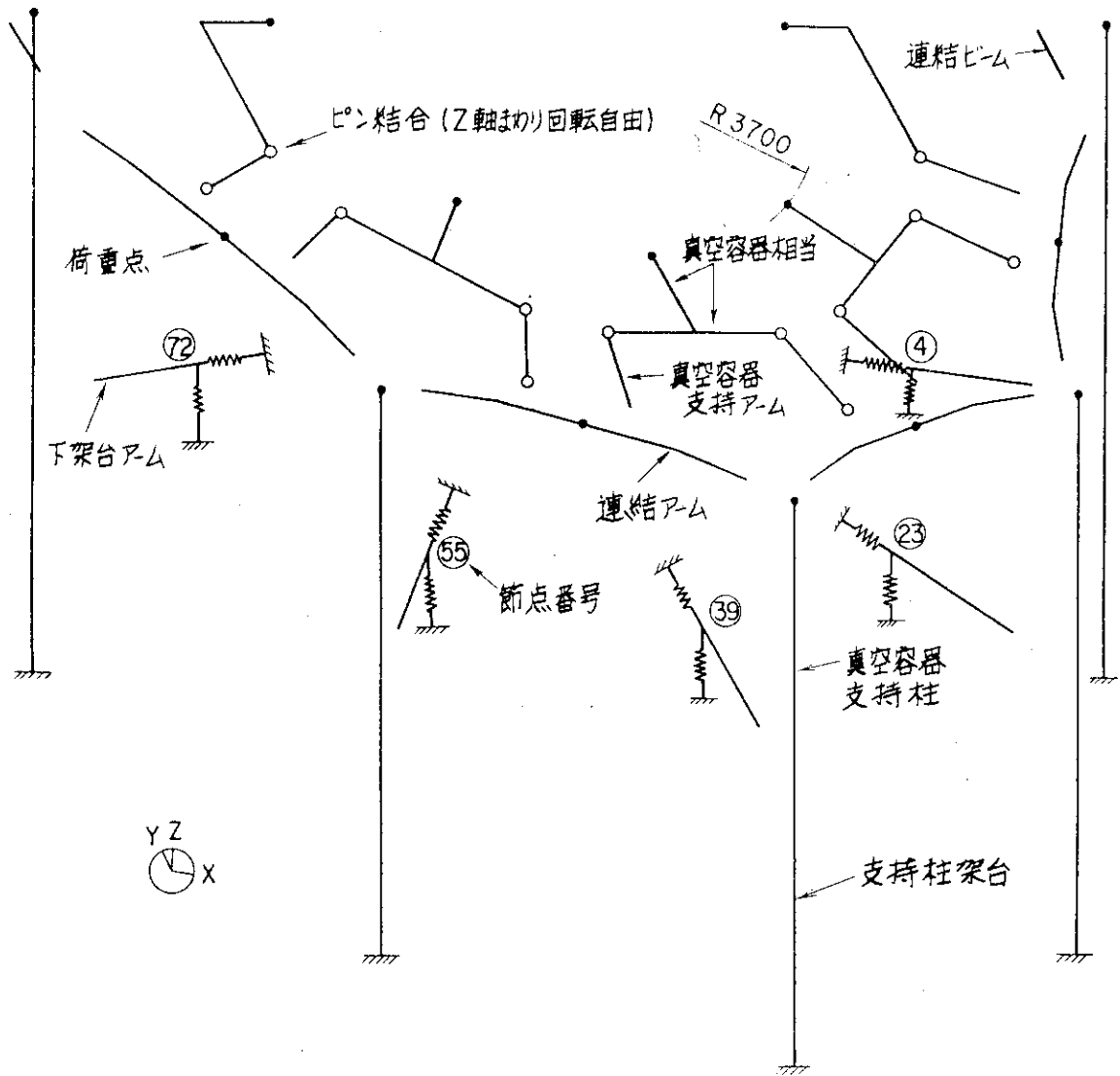
運 転 条 件		最大基礎荷重 (℥)			最大モーメント(℥・m)		
		垂 直 W		水平F	M _X	M _Y	M _Z
		下 向	上 向				
非運転時(自重)		209	—	13	1	5	25
運転時(自重を含む)		137	—	12	1	9	32
地震時	非 運 転 時	365	152	39	1	49	111
	運転時(自重を含む)	293	202	36	1	49	130

第10表 星形トラスの基礎に作用する荷重

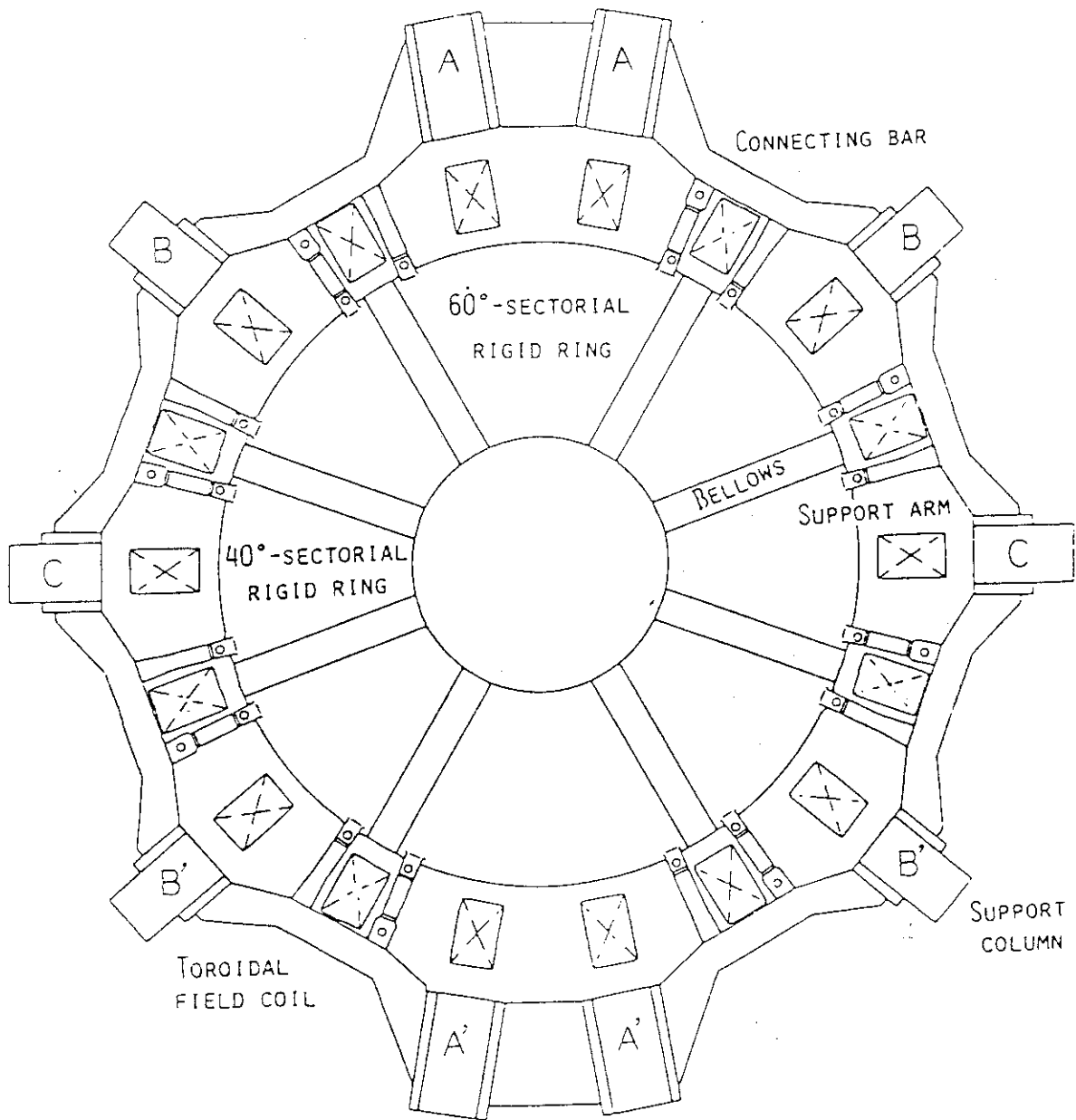
	荷 重 (℥)			モーメント(℥・m)			備考
	壁面平行力 (F _s) (水平方向)	壁面垂直力 (F _D)	壁面鉛直力 (F _V)	M _X	M _Y	M _Z	
非 運 転 時	0	0	-30	0	-25.8	0	
運 転 時	±183.1	0	-30	0	-25.8	±157.5	
運転+設計地震時	±334.1	±145	+ 6 - 36	0	+ 5.2 - 31.0	±287.3	

第11表 星形トラスの基礎に作用する合成荷重

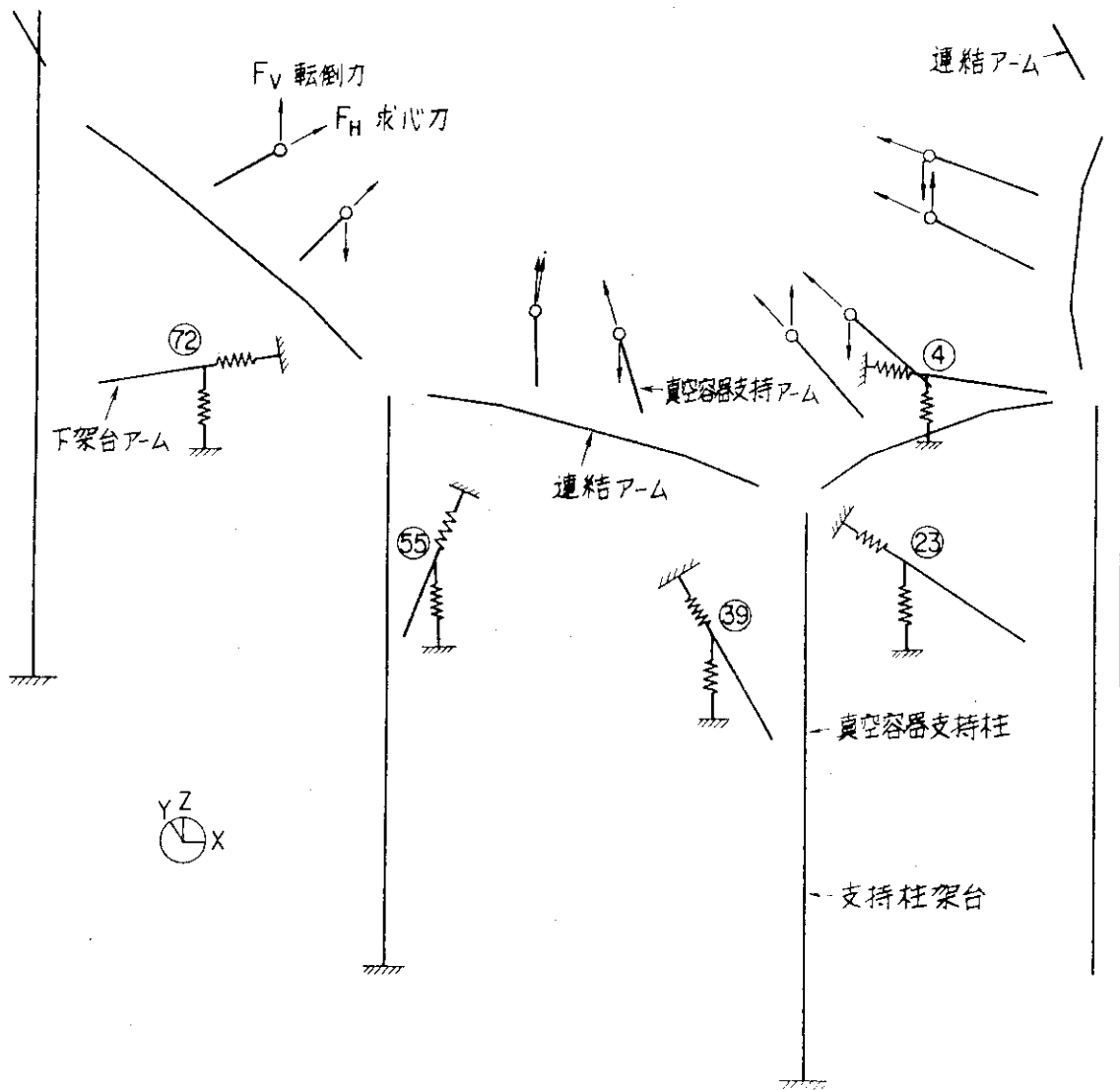
運転条件	壁面平行力 F _s (℥)	壁面垂直力 F _D (℥)	壁面鉛直力 F _V (℥)
非運転時	—	27	30
運 転 時	±220	±173	30
地 震 時	±401	±473	36



第8図 真空容器支持系静解析モデル (自重, 地震力)



第9图 真空容器支持系平面图



第10図 真空容器支持系静解析モデル (電磁力)

4. 強度計算

4.1 中心架台用基礎部品

(1) 非運転時

中心架台用ソール・プレートの面積を A_{sc} とすると、静荷重 W による基礎面圧 P は

$$P = \frac{W}{A_{sc}} = 0.2 \text{ kg/mm}^2$$

である。

基礎ボルトの初期締付力によるコンクリート面圧 P_c は、中心架台用基礎ボルトの本数、初期締付力、有効断面積を N_c 、 σ_i 、 S_{bc} とおくと

$$P_c = \frac{N_c \sigma_i S_{bc}}{A_{sc}} = 0.07 \text{ kg/mm}^2$$

(2) 運転時

フランジ部の摩擦力を考える。運転時の垂直力による摩擦力 F_μ は、

$$F_\mu = \mu W_V = 176.8 \text{ ㉩}$$

である。一方、基礎ボルトの締付による摩擦力 $F_{B\mu}$ は、

$$F_{B\mu} = \mu N_c \sigma_i S_{bc} = 96.3 \text{ ㉩}$$

である。従って摩擦力による振りトルク T_μ を考えると

$$\begin{aligned} T_\mu &= \frac{D_C}{2} (F_\mu + F_{B\mu}) \\ &= 25.9 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{mm} > T = 5.36 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

であり、電磁力による振りトルクより大きい事がわかる。即ち、電磁力による振りトルクが作用しても摩擦力により滑りは抑えられ、基礎ボルトには力が作用しない。

(3) 地震時

地震時の最大垂直力 $W_{VN} + W'_V$ によりソール・プレートに作用する面圧 P は

$$P = \frac{W_{VN} + W'_V}{A} = 0.3 \text{ kg/mm}^2$$

である。

地震時の最大水平力 $F_t + W_H$ が作用した場合のフランジ部の摩擦力を考える。運転時の垂直力

による摩擦力 F_{μ} と基礎ボルトの締め付けによる摩擦力 $F_{B\mu}$ は前(2)項と同じであり、合成摩擦力 F'_{μ} は

$$F'_{\mu} = F_{\mu} + F_{B\mu} = 273.1 \text{ ㉞} > F_t + W'_s = 60.4 \text{ ㉞}$$

と水平力より大きい事がわかる。従って、地震時においても摩擦力により滑りは抑えられるため、基礎ボルトには力が作用しない。

(4) アンカー・プレート

アンカー・プレートに作用する荷重は基礎ボルトの初期締付力のみであるから、アンカー・プレートの面積を A_{ac} とすると、アンカー・プレートの面圧 P_{ac} は、

$$P_{ac} = \frac{\sigma_i S_{bc}}{A_{ac}} = 0.25 \text{ kg/mm}^2$$

である。

4.2 基礎架台用基礎部品

(1) 非運転時

基礎架台用ソール・プレートの全面積を A_{sf} とすると自重によるソール・プレートの面圧 P は

$$P = \frac{W}{A_{sf}} = 0.18 \text{ kg/mm}^2$$

である。

基礎ボルトの初期締付によるコンクリートの面圧 P_c は、基礎架台用基礎ボルトの本数、初期締付応力、有効断面積を N_f 、 σ_i 、 S_{bf} とおくと

$$P_c = \frac{N_f \sigma_i S_{bf}}{A_{sf}} = 0.08 \text{ kg/mm}^2$$

である。

(2) 運転時

基礎架台に作用するモーメントはソール・プレートのみで支持される。ソール・プレートのゲタの歯に作用する水平力による歯の付け根の曲げ応力 σ_b 及び剪断応力 τ は、ゲタの歯の板厚を t 、水平力の印加点から付け根までの長さを l とすると

$$\sigma_b = \frac{6 f \theta l}{w t^2} = 5.20 \text{ kg/mm}^2$$

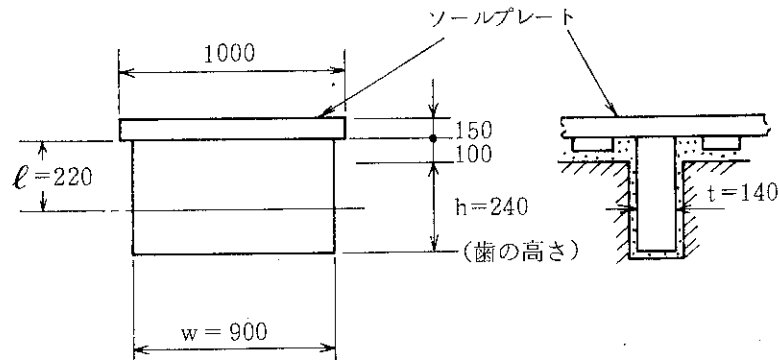
$$\tau = \frac{f \theta}{w t} = 0.55 \text{ kg/mm}^2$$

これより、主応力 σ_1, σ_2 は

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_b}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$$

$$= 5.26, -0.06 \text{ kg/mm}^2$$

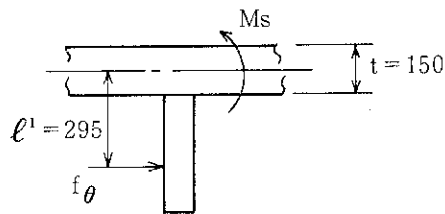
であり、応力強さ 5.32 kg/mm^2 を得る。



ソール・プレートの歯に作用する水平力により、ソール・プレートにも曲げモーメント M_s が作用する。水平力の印加点からソール・プレート中心軸までの長さを l' 、ソール・プレートの断面係数を z とおくと、ソール・プレートに作用する曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{M_s}{z} = \frac{f_\theta l'}{z} = 6.07 \text{ kg/mm}^2$$

である。



垂直力 $W + f_2$ による面圧 P は

$$P = \frac{W + f_2}{A_{sf}} = 0.24 \text{ kg/mm}^2$$

であり応力強さ 6.31 kg/mm^2 を得る。

なお、ソール・プレートのゲタの歯に作用する水平力 f_θ によるコンクリートへの面圧 P は

$$P = \frac{f_\theta}{w \cdot h} = 0.32 \text{ kg/mm}^2$$

である。

(3) 地震時

地震力もソール・プレートのみで支持される。ソール・プレートのゲタの歯に作用する水平力 f_e による曲げ応力 σ_b 及び剪断応力 τ は

$$\sigma_b = \frac{6 f_e \ell}{w t^2} = 2.99 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau = \frac{f_e}{w h} = 0.32 \text{ kg/mm}^2$$

である。これより、主応力 σ_1 、 σ_2 は 3.02 、 -0.03 kg/mm^2 であり、応力強さ 3.05 kg/mm^2 を得る。

ソール・プレートに作用するモーメントによる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{f_e \ell'}{z} = 3.50 \text{ kg/mm}^2$$

であり、地震力によるソール・プレートへの面圧増加分 P は

$$P = \frac{0.2 W}{A_{s f}} = 0.04 \text{ kg/mm}^2$$

であり、これよりソール・プレートの応力強さ 3.54 kg/mm^2 を得る。なお、ソール・プレートのゲタの歯に作用する水平力 f_e によるコンクリートへの面圧 P は、歯の側面で荷重を受ける場合が最大で

$$P = \frac{f_e}{t \cdot h} = 1.19 \text{ kg/mm}^2$$

である。

(4) アンカープレート

基礎架台用アンカー・プレートに作用する荷重は、中心架台用と同様に基礎ボルトの初期締付力のみである。1枚のアンカー・プレートは2本の基礎ボルトで締め付けられているから、アンカー・プレートの面積を $A_{a f}$ 、基礎ボルトの有効断面積を $S_{b f}$ とすると、アンカー・プレートの面圧 $P_{a f}$ は

$$P_{a f} = \frac{2 \sigma_i S_{b f}}{A_{a f}} = 0.25 \text{ kg/mm}^2$$

である。

(5) 基礎架台とソール・プレート間の溶接部の応力

基礎架台とソール・プレート間は隅肉溶接される。トロイダル磁場コイルの最大転倒力により基礎架台に作用する接線力 F_θ がこの隅肉溶接部のみで支持されるとして発生応力を評価する。隅

肉溶接部の周長を L 、のど厚を t とすると、溶接部の剪断応力 τ は

$$\tau = \frac{F_{\theta}}{L t} = \frac{2617 \times 10^3}{5.4 \times 10^4 \times 10} = 4.7 \text{ kg/mm}^2$$

である。また、水平地震力 W_H も同様に、隅肉溶接部で支持されるとすると

$$\tau = \frac{W_H}{L t} = 3.7 \text{ kg/mm}^2$$

を得る。

4.3 支持柱架台用基礎部品

(1) 非運転時

支持柱架台用ソール・プレートの全面積を A_{sv} とすると非運転時の垂直下向きの荷重 W によるソール・プレートの面圧 P は

$$P = \frac{W}{A_{sv}} = 0.2 \text{ kg/mm}^2$$

である。

基礎ボルトの初期締付によるコンクリートの面圧 P_c は、支持柱架台用基礎ボルトの本数、初期締付応力、有効断面積を N_v 、 σ_i 、 S_{bv} とおくと、

$$P_c = \frac{N_v \sigma_i S_{bv}}{A_{sv}} = 0.60 \text{ kg/mm}^2$$

である。また、基礎ボルトの初期締付による摩擦力 F_{μ} は、

$$F_{\mu} = \mu N_v \sigma_i S_{bv} = 234.6 \text{ } \mathfrak{F}$$

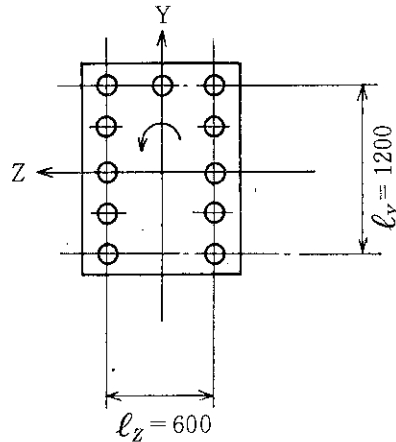
であり、非運転時の水平方向荷重 $13 \text{ } \mathfrak{F}$ より大きいから、水平方向荷重は摩擦力により支持され滑りは生じない。

モーメント M_Y 、 M_Z により基礎ボルトには引抜力が作用する。基礎ボルト間の寸法を l_Y 、 l_Z とすると、ボルトに生じる応力 σ_{MY} 、 σ_{MZ} は

$$\sigma_{MY} = \frac{M_Y}{5 \times l_Z S_{bv}} = 0.38 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{MZ} = \frac{M_Z}{3 \times l_Y S_{bv}} = 1.60 \text{ kg/mm}^2$$

であり、ボルトの全発生応力は 1.98 kg/mm^2 である。



(2) 運転時

第8表に示す通り総じて非運転時より荷重条件が楽であるため、非運転時で代表されるものとし計算は省略する。

(3) 地震時

地震時の垂直下向きの荷重 W によるソール・プレートの面圧 P は、より厳しい地震時（非運転時）の値を用いると

$$P = \frac{W}{A_{sv}} = 0.3 \text{ kg/mm}^2$$

を得る。

水平剪断力 F は、地震時（非運転時）及び地震時（運転時）のいずれの場合でも基礎ボルトの初期締付力による摩擦力より小さく、滑りは生じない。

基礎ボルトには、垂直上向きの引抜き荷重 W 、モーメント M_Y 、 M_Z により応力が生じるが、 W には M_Y 、 M_Z による成分が含まれているため、ここでは安全側に3本の基礎ボルトで全ての垂直上向きの引抜き荷重を吸収すると仮定して応力 σ を算出する。

$$\sigma = \frac{W}{3 S_{bv}} = 15.5 \text{ kg/mm}^2$$

(4) アンカー・プレート

支初柱架台用アンカー・プレートに作用する荷重は、基礎ボルトの初期締付力による面圧以外に、非運転時のモーメント成分によって生じる基礎ボルトの応力による面圧及び地震時に生じる基礎ボルトの応力による面圧がある。

支持柱架台用アンカー・プレートの面積を A_{av} とすると、1枚のアンカー・プレートは12本の基礎ボルトで締め付けられているから、基礎ボルトの初期締付力によるアンカー・プレートの面圧 P_{ac} は、

$$P_{ac} = \frac{12 \sigma_i S_{bv}}{A_{av}} = 0.54 \text{ kg/mm}^2$$

である。非運転時に基礎ボルトに生じる応力は 1.98 kg/mm^2 であるから、アンカー・プレートに生じる面圧 P_1 は

$$P_1 = \frac{1.98 \times 12 \times S_{bv}}{A_{av}} = 0.07 \text{ kg/mm}^2$$

であり、非運転時の総面圧は 0.61 kg/mm^2 である。また、地震時に基礎ボルトに生じる応力は 15.5 kg/mm^2 であるから、アンカー・プレートに生じる面圧 P_2 は、

$$P_2 = \frac{15.5 \times 12 \times S_{bv}}{A_{av}} = 0.55 \text{ kg/mm}^2$$

であり、地震時の総面圧は 1.09 kg/mm^2 である。

4.4 星形トラス用基礎部品

(1) 非運転時

第 11 表に示す通り総じて非運転時は運転時より荷重が小さいため、運転時における強度検討で代表されるものとし、計算は省略する。なお、基礎ボルトの初期締付によるコンクリートの面圧 P_c は、星形トラス用基礎ボルトの本数、初期締付力、有効断面積を N_s 、 σ_i 、 S_{bs} とおくと

$$P_c = \frac{N_s \sigma_i S_{bs}}{A_{ss}} = 0.19 \text{ kg/mm}^2$$

である。

(2) 運転時

接線力 F_s はソール・プレートの歯で支持される。歯の受圧面積 A_s は下図より $1.49 \times 10^6 \text{ mm}^2$ であり、歯の面圧 P_s は

$$P_s = \frac{F_s}{A_s} = \pm 0.12 \text{ kg/mm}^2$$

である。

ソール・プレートの歯に生じる応力は、Ⓐ～Ⓒのうち歯の長さが最も長いⒷで最大となる。Ⓑ部の歯の板厚、幅、受圧長さ、断面係数を t 、 w 、 l 、 z とすると、歯に生じる剪断応力 τ_m と歯の付け根に生じる曲げ応力 σ_b は、

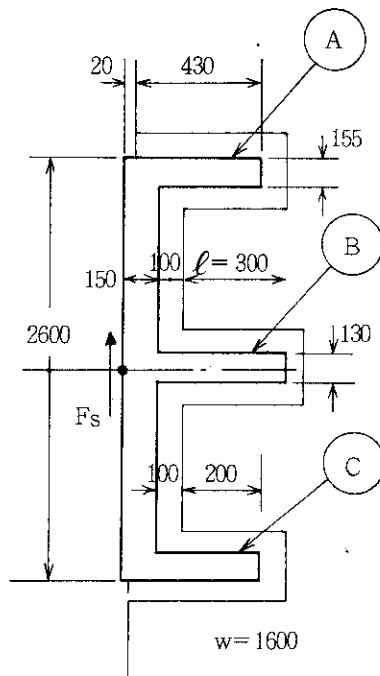
$$\tau_m = \frac{P_s l w}{t w} = 0.28 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{250 \times P_s \ell w}{Z} = 3.2 \text{ kg/mm}^2$$

であり、一次膜応力 P_m 、一次応力 $P_L + P_b$ は

$$P_m = 2 \tau_m = 0.56 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_L + P_b = 3.2 \text{ kg/mm}^2$$



歯の付け根は構造的に不連続であるから応力集中係数 β を求め、ピーク応力 Q を算出する。第11図に示す切欠きのある横棒に曲げモーメントが作用する場合の応力集中係数 K_t の表示⁶⁾ から、形状パラメータを $d = 130$ mm, $D = 2d = 260$ mm, $r = 210$ mm とみなすと、 $K_t = \beta = 2.1$ を得る。従って、ピーク応力 Q は

$$Q = \beta (P_L + P_b) = 6.7 \text{ kg/mm}^2$$

となる。

壁面鉛直力 F_v もソール・プレートの歯で支持されるが、 F_s に比して小さいので省略する。

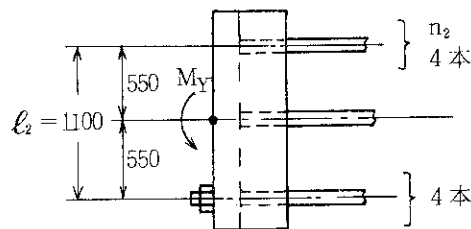
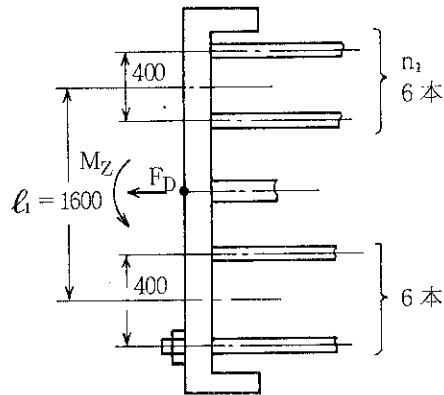
基礎に作用するモーメント M_Y, M_Z は、基礎ボルトにより支持される。モーメントにより、ボルト一本当たりに作用する最大引張荷重 F_B は

$$F_B = \frac{M_Z}{\ell_1 n_1} + \frac{M_Y}{\ell_2 n_2} = 22.3 \text{ T}$$

であり、基礎ボルトの有効断面積を S_{bs} とすると、基礎ボルトに生じる応力 σ は

$$\sigma = \frac{F_B}{S_{b_s}} = 5.3 \text{ kg/mm}^2$$

従って $P_m = P_L + P_b = \sigma = 5.3 \text{ kg/mm}^2$ である。



(3) 地震時

接線力 F_S 及び垂直力 F_D による面圧 P_S , P_D は、各々に対するソール・プレートの受圧面積を A_S , A'_S ($= 4.16 \times 10^6 \text{ mm}^2$) とすると、

$$P_S = \frac{F_S}{A_S} = \pm 0.22 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_D = \frac{F_D}{A'_S} = \pm 0.03 \text{ kg/mm}^2$$

である。

ソール・プレートの歯に生じる剪断応力 τ_m , 歯の付け根に生じる曲げ応力 σ_b は、運転時と同様にして、各々 0.51 kg/mm^2 , 5.9 kg/mm^2 と求まり、

$$P_m = 2 \tau_m = 1.02 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_L + P_b = 5.9 \text{ kg/mm}^2$$

である。

基礎ボルトには、壁面垂直力 F_D とモーメント M_Y , M_Z が作用するから、基礎ボルトの全本数を N とすると1本当たりの最大引張荷重 F_B は、

$$F_B = \frac{F_D}{N} + \frac{M_Z}{\ell_1 n_1} + \frac{M_Y}{\ell_2 n_2} = 49 \text{ ㉞}$$

であり、基礎ボルトに生じる応力 σ は、

$$\sigma = \frac{F_B}{S_{bs}} = 11.6 \text{ kg/mm}^2$$

であり、 $P_m = P_L + P_b = \sigma = 11.6 \text{ kg/mm}^2$ である。

(4) アンカー・プレート

基礎ボルトの初期締付力によるアンカー・プレートの面圧 P_{ac} は、

$$P_{ac} = \frac{2 \sigma_i S_{bv}}{A_{as}} = 0.41 \text{ kg/mm}^2$$

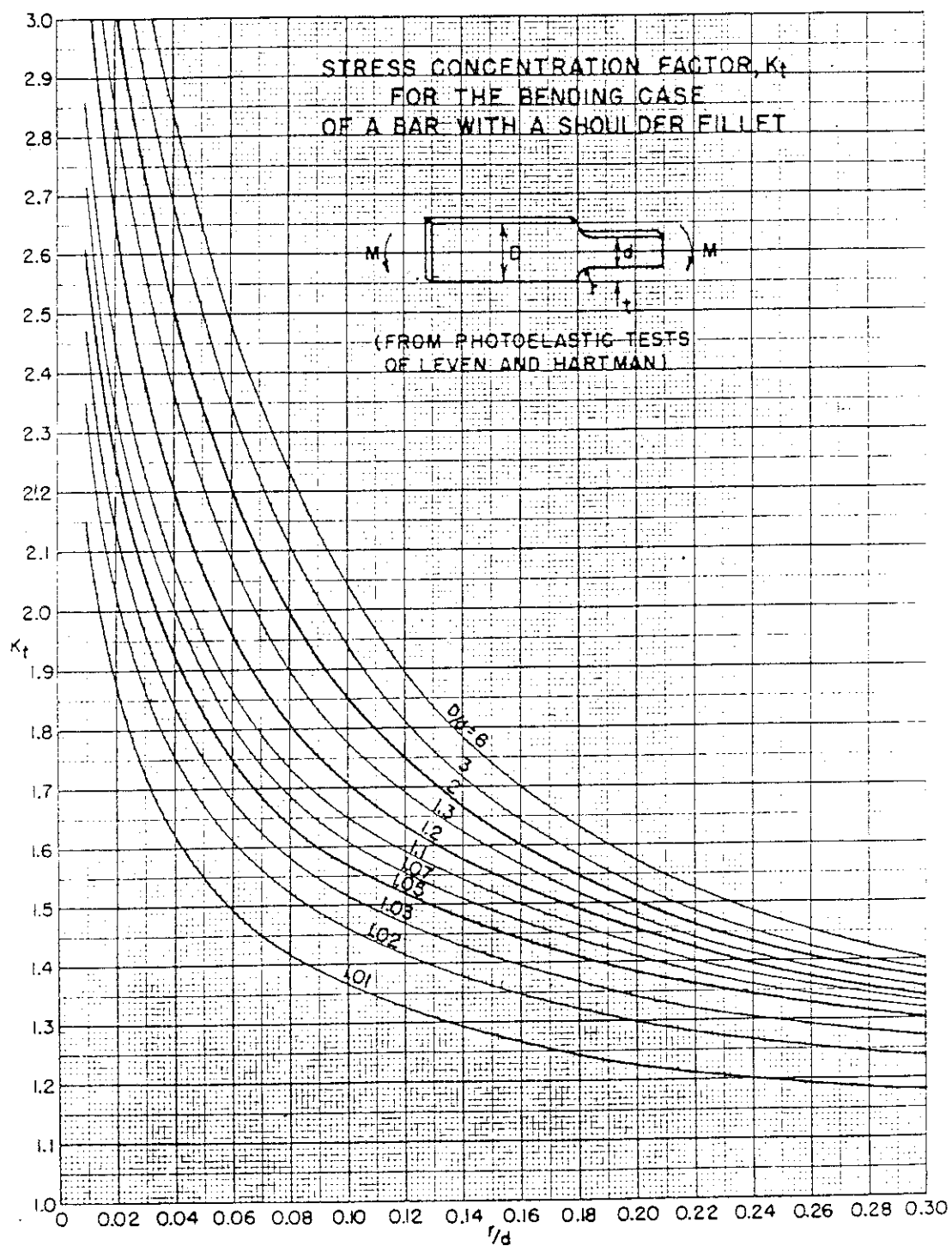
である。

運転時には基礎ボルト1本当たり最大引張荷重 F_B が作用するから、アンカー・プレート1枚当たり安全側に $F_{ap} = 2 F_B$ なる荷重が作用する。この時のアンカー・プレートの面圧 P_{ap} は、アンカー・プレートの面積を A_{as} とすると

$$P_{ap} = \frac{F_{ap}}{A_{as}} = 0.14 \text{ kg/mm}^2$$

である。壁面平行力 F_S , F_V はソール・プレートで受けるため、アンカー・プレートには応力は発生しない。

同様にして、地震時には 0.31 kg/mm^2 の面圧を得る。



第 11 図 切欠きのある横棒に曲げモーメントが作用した場合の応力集中係数

5. 強度評価

5.1 強度評価基準

JT-60 本体の設計において考慮すべき現象と許容値は下記の考え方による。

(1) 考慮すべき現象と回数

(i) 10^4 以上 (定常連続運転機器を含む)

いわゆるJT-60の通常状態であり、以下の(ii)~(iv)項で定められている以外で契約仕様書に規定されている現象。

(ii) 10以上で 10^4 未満

JT-60装置は通常の状態((i)項と同じ)でプラズマの挙動が以下のとき。

- ① 契約仕様書で定めている「場合B」の場合
- ② プラズマの消滅時間が1 msec ~ 50 msec の場合

(iii) 2以上~10未満

以下の現象とする。

JT-60装置およびプラズマの挙動は通常の状態((i)項と同じ)で以下の現象が生じる。

- ① コイル電流が最大定格の1.2倍の場合
- ② 真空容器の温度高の場合

(iv) 1以下

JT-60装置およびプラズマ挙動は通常の状態((i)項と同じ)で以下の現象が生じる。

- ① コイル絶縁の地絡の場合
- ② 可動リミタサーボ弁全数故障

(2) 考慮すべき現象が発生したときの被害の程度は以下になるよう設計する。

(i) 10^4 以上

当然のこととして無被害

(ii) 10以上~ 10^4 未満

無被害とするが、場合によっては装置を停止し異常のないことを点検して確認する。

(iii) 2以上~10未満

運転状態の修正または損傷部の修理が必要となる。しかし修理所要日数は1週間以下程度にする。

(iv) 1以下

JT-60の運転能力は損なわれてもよいが、他機器への波及は極力防止する。

(3) 考慮すべき現象と自然現象との組合せ及び許容応力

考慮すべき現象と自然現象との組合せによる設計状態は次表の通り分類できる。

自然現象 設計状態	地震なし	運転時地震	設計時地震
I (10 ⁴ 以上)	A	B	C
II (10以上~10 ⁴ 未満)	B	C	D
III (2 以上~10 未満)	C	D	D
IV (1 以下)	D	D	D

ここでA~Dは設計状態を表わし、その各々に対し許容応力を定める。

(i) A

- ① $P_m \leq S_m$
- ② $P_L \leq 1.5 S_m$
- ③ $P_L + P_b \leq 1.5 S_m$
- ④ $P_L + P_b + Q \leq 3.0 S_m$
- ⑤ 累積疲れ損傷比 $U \leq 1.0$

(ii) B

- ① $P_m \leq \text{MIN} (1.2 S_m, 0.9 S_y)$
- ② $P_L \leq \text{MIN} (1.8 S_m, 1.35 S_y)$
- ③ $P_L + P_b \leq \text{MIN} (1.8 S_m, 1.35 S_y)$
- ④ $P_L + P_b + Q \leq \text{MIN} (3.6 S_m, 2.75 S_y)$
- ⑤ 累積疲れ損傷比 $U \leq 1.0$

(iii) C

- ① $P_m \leq \text{MAX} (1.5 S_m, 0.9 S_y)$
- ② $P_L \leq \text{MAX} (2.25 S_m, 1.35 S_y)$
- ③ $P_L + P_b \leq \text{MAX} (2.25 S_m, 1.35 S_y)$
- ④ $P_L + P_b + Q \leq \text{MAX} (4.5 S_m, 2.75 S_y)$

(iv) D

- ① $P_m \leq \text{MAX} (0.7 S_u, S_y)$
- ② $P_L < \text{MAX} (1.05 S_u, 1.5 S_y)$
- ③ $P_L + P_b \leq \text{MAX} (1.05 S_u, 2.7 S_y)$

ここで、

- P_m : 一次一般膜応力強さ
 P_L : 一次局部膜応力強さ
 P_L : 一次曲げ応力強さ
 Q : 二次応力強さ
 S_m : 許容応力強さ

なお、JT-60 本体の運転回数は下記の通りである。

最大定格運転	最大転倒力時	12,500
	通常転倒力時	50,000

最大50%定格運転	150,000
最大長パルス放電洗浄定格運転	100,000

5.2 許容応力

中心架台用，基礎架台用，支持柱架台用基礎部品には高マンガン非磁性鋼（材質記号NMJ 30 BP，NMJ 35 AP）を用い，星形トラス用基礎部品には軟鋼（材質記号SS 41 相当品）を用いる。各材料の機械的強度と，ASME Sec. IIIに則った許容応力強さを第12表にまとめる。

第12図，第13図には高マンガン非磁性鋼と軟鋼材の設計疲労曲線を示す。第12図は，3種類の加工率を有するNMJ 30 B相当材の試験片に対する両振疲労試験データから得られたS-N曲線と加工率0%のデータをもとに作成された設計疲労曲線を示す。また第13図は，ASME Sec. IIIに示されているSS 41の設計疲労曲線を示す。

ソール・プレートとアンカー・プレートの疲労強度に関しては，使用材料の寸法，形状，仕上状況等の影響を考慮に入れる必要がある。これらの効果は一般的に次式の如く示される。

$$\sigma_w = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{\beta} \cdot \sigma_{w0}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_w = \text{部品の疲れ強さ} \\ \sigma_{w0} = \text{材料の標準試験片による疲れ限度} \\ \beta_1 = \text{形状による切欠係数} \\ \xi_1 = \text{寸法効果による疲れ限度低下率} \\ \xi_2 = \text{表面の仕上，腐食などによる限度低下率} \end{array} \right.$$

ここで， ξ_1 ， ξ_2 の値は，各基礎部品に対して第13表に示す如くまとめられる。⁷⁾

基礎ボルトに関しては，各種平均応力を有するボルト・ナット結合体のS-N曲線⁸⁾より，第14図に示す設計疲労曲線を定めた。

5.3 強度評価

以上の評価基準に従って行った各種基礎部品の応力評価結果を第14表から第16表に示す。

第14表には，各種ソール・プレートの応力評価結果をまとめる。中心架台用及び支持柱架台用ソール・プレートには，自重による面圧のみが作用するだけである。また，基礎架台用及び星形トラス用ソール・プレートにはトロイダル磁場コイルの転倒力が作用するが，発生応力は許容応力に比べて十分小さい。

第15表には，各種アンカー・プレートの応力評価結果をまとめる。中心架台用及び基礎架台用アンカー・プレートには，基礎ボルトの初期締付力による面圧のみが作用する。一方，支持柱架台用アンカー・プレートには，自重等により基礎に作用するモーメント成分が基礎ボルトの引抜き力となり，結果的にアンカー・プレートの面圧として作用する。同様に，星形トラス用アンカー・プレートにも，トロイダル磁場コイル転倒力により基礎に作用するモーメントが基礎ボルトの

引抜力となり、結果的にアンカー・プレートの面圧として作用する。

第16表には、各種基礎ボルトの応力評価結果をまとめる。上述の通り、中心架台用及び基礎架台用基礎ボルトには初期締付力のみが作用し、支持柱架台用及び星形トラス用基礎ボルトには、基礎に作用するモーメント成分による引抜力が作用する。

各基礎部品のピーク応力強さと疲労評価の結果は第17表から第19表にまとめられている。第17表には各種ソール・プレート、第18表には各種アンカー・プレート、第19表には各種基礎ボルトの疲労評価結果をまとめる。ここで、最大50%定格運転時と最大長パルス放電洗浄運転時の応力値は、各々、最大定格運転時の応力値の $1/4$ 、 $1/10$ とする。また、異常運転の運転回数は、最大定格運転の運転回数の25%（本体仕様によれば立ち上げ不着火が5%、プラズマ消滅が20%）とする。運転時地震により発生する応力は、設計地震時に発生する応力に最大加速度の比（ $90/200$ ）を乗じた値を用いる。この際、安全側の評価として、異常運転時の応力を運転時地震時の応力に重畳する。

第17表から第19表の疲労評価結果から明らかな様に、いずれの基礎部品も累積疲労損傷度において3以上の安全率を有していることがわかる。

第12表 基礎部品用材料の機械的強度と許容応力強さ

(kg/mm²)

材質記号	引張強さ σ_u	降伏強さ $\sigma_{0.2}$	許容応力強さ		
			$\frac{1}{3} \sigma_B$	$\frac{2}{3} \sigma_{0.2}$	S_m
NMJ 30 BP	≥ 60.0	≥ 30.0	20.0	20.0	20.0
NMJ 35 AP	≥ 75.0	≥ 35.0	25.0	23.3	23.3
SS 41相当品	≥ 41.0	≥ 22.0	13.7	14.7	13.7

第13表 疲労に及ぼす諸効果

基礎部品名		板厚(mm)	ξ_1	ξ_2
ソール・プレート	中心架台用	150	0.94	0.78
	基礎架台用	140~150	0.94	0.78
	支持柱架台用	150	0.94	0.78
	星形トラス用	150	0.94	0.78
アンカー・プレート	中心架台用	80	0.95	0.78
	基礎架台用	80	0.95	0.78
	支持柱架台用	100	0.95	0.78
	星形トラス用	80	0.95	0.78

第14表 各種ソール・プレートの応力評価

地震の有無		地		震		無		設計地震時		備考
		1次応力		1次+2次応力		1次+2次応力		1次応力		
要素	項目	P_m ($\leq S_m$)	$P_L + P_b$ ($< 1.5 S_m$)	$P_L + P_b + Q$ ($< 3.0 S_m$)	$F = \beta \cdot \sigma$ (ピーク)	$\beta \cdot \sigma$	P_m ($0.7 S_u$)	$P_L + P_b$ ($1.05 S_u$)	(kg/mm ²)	
		基礎架台用	許容応力	20.0	30.0	60.0	β 切次係数	$\beta \cdot \sigma$		42.0
中心架台用	許容応力	20.0	30.0	60.0	β	$\beta \cdot \sigma$	42.0	63.0	<ul style="list-style-type: none"> 設計地震による応力の増加分 0.1 kg/mm² 運転時地震 (90 gal相当) によるピーク応力の増加分 0.05 kg/mm² 	
	計算法	0.2	—	—	1.0	0.2	0.3	—		
文架持台柱用	許容応力	20.0	30.0	60.0	β	$\beta \cdot \sigma$	42.0	63.0	<ul style="list-style-type: none"> 設計地震による応力の増加分 0.1 kg/mm² 運転時地震 (90 gal相当) によるピーク応力の増加分 0.05 kg/mm² 	
	計算法	0.2	—	—	1.0	0.2	0.3	—		
星ラ形スト用	許容応力	13.7	20.6	41.0	β	$\beta \cdot \sigma$	28.7	43.1		
	計算法	0.7	3.2	—	2.1	6.7	1.2	5.9		
	計算法	0.4	1.6	—	2.1	3.4	0.9	4.3		

第15表 各種アンカー・プレートの応力評価

要素	地震の有無 応力項目	地			震			無			設計地震時		備考
		1次応力		1次+2次応力	1次+2次応力		1次+2次応力		1次応力		備		
		P_m ($\leq S_m$)	$P_L + P_b$ ($< 1.5 S_m$)	$P_L + P_b + Q$ ($< 3.0 S_m$)	$F = \beta \cdot \sigma$ (ピーク)	β 切欠係数	$\beta \cdot \sigma$	P_m ($0.7 S_u$)	$P_L + P_b$ ($1.05 S_u$)				
基礎 架台用	許容応力	20.0	30.0	60.0	$\beta \cdot \sigma$	β	$\beta \cdot \sigma$	42.0	63.0				
	計 算 力	0.25	0.25	—	1.0	1.0	0.25	0.25	0.25				
	通常転倒力	0.25	0.25	—	1.0	1.0	0.25	0.25	0.25				
中心 架台用	許容応力	20.0	30.0	60.0	$\beta \cdot \sigma$	β	$\beta \cdot \sigma$	42.0	63.0				
	計 算 力	0.25	0.25	—	1.0	1.0	0.25	0.25	0.25				
	最大および 通常転倒力	0.25	0.25	—	1.0	1.0	0.25	0.25	0.25				
支 架 持 柱	許容応力	20.0	30.0	60.0	$\beta \cdot \sigma$	β	$\beta \cdot \sigma$	42.0	63.0	・設計地震による応力の増加分 0.55 kg/mm^2 ・基礎ボルト初期締付力による応力 0.54 kg/mm^2			
	計 算 力	< 0.61	< 0.61	—	1.0	1.0	< 0.61	< 1.09	< 1.09				
	1 msec べ ス 運 転 時 、 非 運 転 時	0.61	0.61	—	1.0	1.0	0.61	1.09	1.09				
屋 上 形 ス ト 用	許容応力	13.7	20.6	41.0	$\beta \cdot \sigma$	β	$\beta \cdot \sigma$	1.09	43.1				
	計 算 力	0.1	0.1	—	1.0	1.0	0.1	0.3	0.3				
	最大転倒力 通常転倒力	0.05	0.05	—	1.0	1.0	0.05	0.25	0.25				

第 16 表 各種基礎ボルトの応力評価

地震の有無		地震		無		設計地震時		(kg/mm ²)
		1次応力	1次+2次応力	1次応力	1次+2次応力	P _m (0.7 S _u)	P _L + P _b (1.05 S _u)	
要素	基礎架台用	許容応力	23.3	35.0	70.0	52.5	78.8	初期締付力のみ
		計応力	—	—	—	—	—	
	最大転倒力	—	—	—	—	—	初期締付力のみ	
	通常転倒力	—	—	—	—	—		
	許容応力	23.3	35.0	70.0	52.5	78.8	・設計地震による応力の増加分 13.5 kg/mm ² 90 gal相当による応力の増加分 6.1 kg/mm ²	
	計応力	—	—	—	—	—		
	最大転倒力	—	—	—	—	—		初期締付力のみ
	通常転倒力	—	—	—	—	—		
	許容応力	23.3	35.0	70.0	52.5	78.8		初期締付力のみ
	計応力	2.0	—	—	15.5	—		
	架台用 支持柱	許容応力	13.7	20.6	41.0	28.7	43.1	初期締付力のみ
	スベ	計応力	5.3	5.3	—	11.6	11.6	
1 msec	通常転倒力	2.7	2.7	—	9.0	9.0		

第17表 各種ソール・プレートの疲労評価

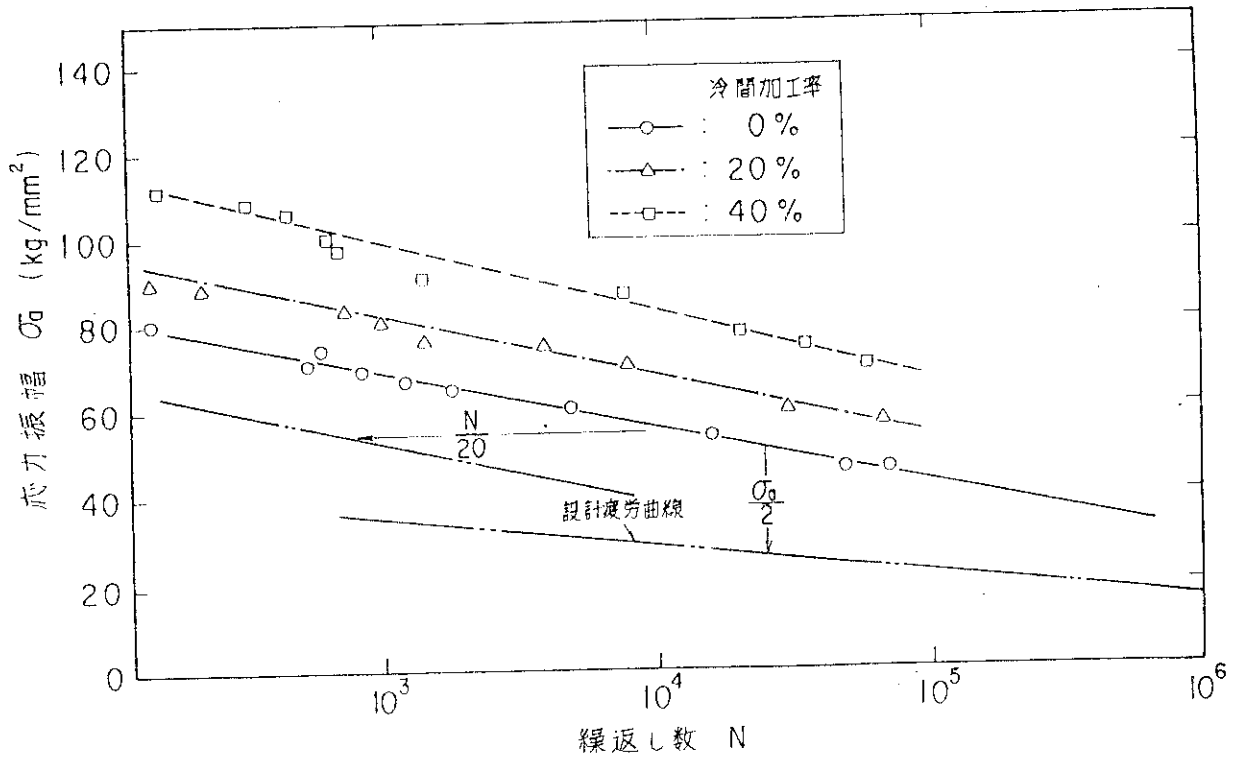
品名	運 転 条 件	運 転 回 数 (n_i)	ピーク 応 力 ($\beta \cdot \sigma$)	換 算 応 力 σ_e $\frac{\beta \sigma}{\xi_1 \xi_2}$	許 容 回 数 (N_i)	$\frac{n_i}{N_i}$	安全率 $\frac{\sigma_{wo}}{\sigma_c}$	備 考
基礎 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	3.2	4.4	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 1.0$ $\xi_1 \xi_2 = 0.73$ (150 t)
	最大50%定格運転	15×10^4	0.8	1.1	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.3	0.4	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	6.3	8.6	$>10^6$	0.01	2.0	
	運転時地震	200	7.9	10.8	$>10^6$	<0.00	2.0	
	$\Sigma \frac{n_i}{N_i}$					<0.31		
中 心 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	0.2	0.3	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 1.0$ $\xi_1 \xi_2 = 0.73$ (150 t)
	最大50%定格運転	15×10^4	0	0	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0	0	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	0.2	0.3	$>10^6$	<0.01	2.0	
	運転時地震	200	0.3	0.3	$>10^6$	0.00	2.0	
	$\Sigma \frac{n_i}{N_i}$					<0.31		
支 持 柱 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	0.2	0.3	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 1.0$ $\xi_1 \xi_2 = 0.73$ (150 t)
	最大50%定格運転	15×10^4	0	0	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0	0	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	0.2	0.3	$>10^6$	<0.01	2.0	
	運転時地震	200	0.3	0.3	$>10^6$	0.00	2.0	
	$\Sigma \frac{n_i}{N_i}$					<0.31		
星 形 ト ラ ス 用	最大定格運転	5×10^4	3.4	4.7	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 2.1$ $\xi_1 \xi_2 = 0.73$ (150 t)
	最大50%定格運転	15×10^4	0.9	1.2	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.3	0.4	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転(最大転倒力)	1.25×10^4	6.7	9.2	3×10^5	0.04	2.0	
	運転時地震	200	9.3	12.7	1×10^5	0.00	2.0	
	$\Sigma \frac{n_i}{N_i}$					<0.34		

第 18 表 各種アンカー・プレートの疲労評価

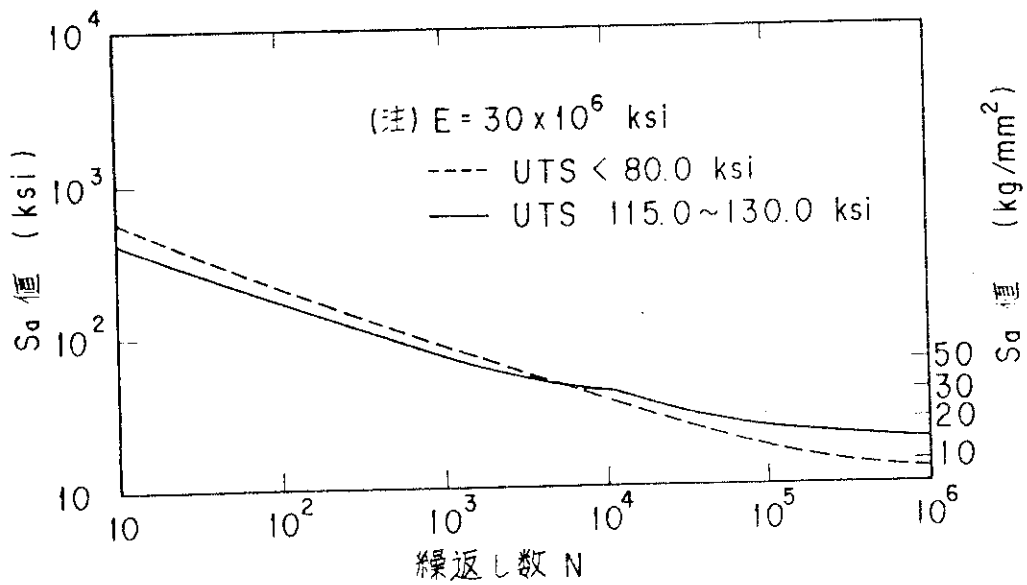
品名	運 転 条 件	運転回数 (n_i)	ピーク ($\beta \cdot \sigma$)	換算応力 $\frac{\sigma_e \beta \sigma}{\xi_1 \xi_2}$	許 容 数 回 数 (N_i)	$\frac{n_i}{N_i}$	安全率 $\frac{\sigma_{wo}}{\sigma_e}$	備 考
基礎 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	—	—	—	—	—	変動 応力 なし
	最大 50% 定格運転	10×10^4	—	—	—	—	—	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	15×10^4	—	—	—	—	—	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	—	—	—	—	—	
	運転時地震	200	—	—	—	—	—	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$							
中 心 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	—	—	—	—	—	変動 応力 なし
	最大 50% 定格運転	15×10^4	—	—	—	—	—	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	—	—	—	—	—	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	—	—	—	—	—	
	運転時地震	200	—	—	—	—	—	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$							
支 持 柱 架 台 用	最大定格運転	5×10^4	0.6	0.8	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 1.0$ $\xi_1 \xi_2 = 0.74$ (100 t)
	最大 50% 定格運転	15×10^4	0.2	0.2	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.1	0.1	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	0.6	0.8	$>10^6$	<0.01	2.0	
	運転時地震	200	0.8	1.1	$>10^6$	0.00	2.0	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$					<0.31		
星 形 ト ラス 用	最大定格運転	5×10^4	0.05	0.07	$>10^6$	<0.05	2.0	$\beta = 1.0$ $\xi_1 \xi_2 = 0.74$ (80 t)
	最大 50% 定格運転	15×10^4	0.03	0.04	$>10^6$	<0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.01	0.01	$>10^6$	<0.10	2.0	
	異常運転 (最大転倒力)	1.25×10^4	0.1	0.14	$>10^6$	<0.01	2.0	
	運転時地震	2200	0.19	0.26	$>10^6$	0.00	2.0	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$					<0.31		

第 19 表 各種基礎ボルトの疲労評価

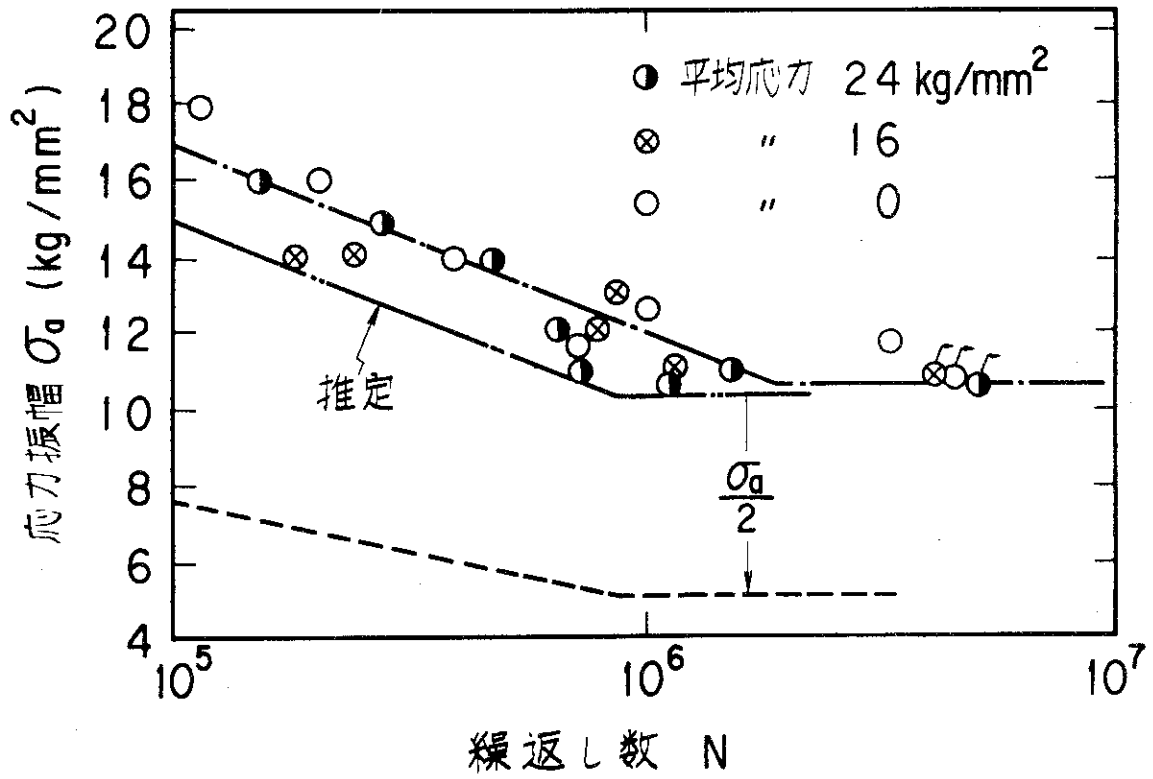
品名	運 転 条 件	運転回数 (n_i)	応 力 σ_B	許容回数 (N_i)	$\frac{n_i}{N_i}$	安全率 $\frac{\sigma_B}{\sigma_e}$	備 考
基礎 架台用	最大定格運転	5×10^4	—	—	—	—	変動 応力なし
	最大 50% 定格運転	15×10^4	—	—	—	—	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	—	—	—	—	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	—	—	—	—	
	運転時地震	200	—	—	—	—	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$						
中心 架台用	最大定格運転	5×10^4	—	—	—	—	変動 応力なし
	最大 50% 定格運転	15×10^4	—	—	—	—	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	—	—	—	—	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	—	—	—	—	
	運転時地震	200	—	—	—	—	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$						
支持 柱 架台用	最大定格運転	5×10^4	1.0	$> 10^6$	< 0.05	2	
	最大 50% 定格運転	15×10^4	0.3	$> 10^6$	< 0.15	2	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.1	$> 10^6$	< 0.10	2	
	異常運転(プラズマ消滅, 最大転倒)	1.25×10^4	2.0	$> 10^6$	< 0.01	2	
	運転時地震	200	8.1	$> 10^4$	< 0.02	2	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$				< 0.33		
星 形 ト ラス 用	最大定格運転	5×10^4	2.7	$> 10^6$	< 0.05	2.0	
	最大 50% 定格運転	15×10^4	0.7	$> 10^6$	< 0.15	2.0	
	最大長パルス放電洗浄定格運転	10×10^4	0.3	$> 10^6$	< 0.10	2.0	
	異常運転(最大転倒力)	1.25×10^4	5.3	7×10^5	0.018	2.0	
	運転時地震	200	8.1	5×10^4	0.000	2.0	
	$\sum \frac{n_i}{N_i}$				< 0.32		



第12図 高マンガン非磁性鋼の設計疲労曲線



第13図 軟鋼SS-41の設計疲労曲線



第 14 図 基礎ボルトの設計疲労曲線

6. 建家との取り合い

6.1 本体基礎荷重

建家との取り合い点である本体基礎荷重をまとめておく。詳細に関しては第3章に示す通りであり、最大設計基礎荷重のみを示す。中心架台用及び基礎架台用ソール・プレートに作用する最大設計基礎荷重は第20表に、支持柱架台用ソール・プレートに作用する最大設計基礎荷重は第9表にまとめる。

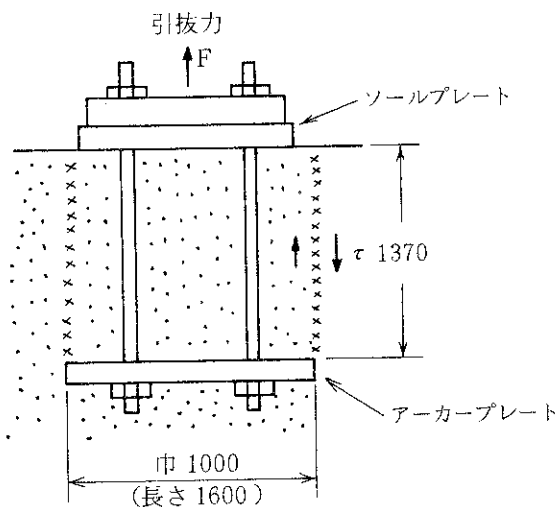
6.2 コンクリート面圧

本体基礎荷重による各種基礎部品と本体室一階床コンクリート間の面圧を第21表にまとめる。面圧は、ソール・プレートとコンクリート間及びアンカー・プレートとコンクリート間に分けて示されており、詳細は第4章に示されている。これから明らかな様にいずれの値もコンクリートの許容面圧（基礎ボルト初期締付時において 0.8 kg/mm^2 、非運転時及び運転時において 0.4 kg/mm^2 、地震時において 1.2 kg/mm^2 ）⁹⁾を下回っている。

また、支持柱架台用基礎部品には、真空容器に作用する電磁力（求心力）により引抜力が作用する。最大引抜力は第9表から 202 ㏩ であり、この引抜力によりコンクリートに作用する剪断力 τ は、概略

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\text{引 抜 力}}{(\text{アンカー・プレートの周長}) \times (\text{アンカー・プレート深さ})} \\ &= \frac{202 \times 10^3}{2 \times (1000 + 1600) \times 1370} = 0.03 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

で、コンクリート強度の点からは問題ないと思われる。



第20表 ソール・プレートに作用する本体基礎荷重

(N)

運 転 条 件		基礎架台用		中心架台用	
		垂 直	水 平	垂 直	水 平
非運転時 (自 重)		417	—	885	—
運 転 時 (自重を含む)		417	213	634	60
地震時	非運転時	500	167	760	4
	運 転 時 (自重を含む)	500	380	1030	64

(注) 本表の数値はソール・プレート1ヶに作用する荷重を示す。

第21表 各基礎部品のコンクリートに対する面圧

(kg/mm²)

		非運転時 (基礎ボルトの初 期締付力を含む)	運 転 時 (自重を含む)	地震時+運転時 (自重を含む)
中心架台用	ソール・プレート	0.27	0.15	0.24
	アンカー・プレート	0.25	0	0
基礎架台用	ソール・プレート	0.26	0.32	1.19
	アンカー・プレート	0.25	0	0
支持柱架台用	ソール・プレート	0.80	0.13	0.30
	アンカー・プレート	0.61	0.07	0.55
星形トラス用	ソール・プレート	0.25	0.12	0.25
	アンカー・プレート	0.45	0.14	0.31
コンクリートの許容面圧		0.80	0.40	1.20

7. お わ り に

JT-60 本体基礎部品の設計を、特に構造強度設計に重点を置いてまとめた。

基礎部品は、中心架台用、基礎架台用、支持柱架台用及び星形トラス用に分類され、前三者は実験棟本体室一階床中に、後者は同三階側壁中に埋設される。各々の基礎部品は、ソール・プレート、基礎ボルト、アンカー・プレート、アンカー・パイプ等から構成され、JT-60 本体全体の重量や電磁力等の荷重を支持する他、本体の組立精度を確保する為の基準面を提供する役割を果たす。

構造強度設計によれば、いずれの基礎部品においても鉛直方向下向きの力はソール・プレートの面圧で支持される。一方、鉛直方向上向きの力（基礎ボルトの引抜力）が作用する支持柱架台用及び星形トラス用基礎部品に関しては、基礎ボルトの引張力をアンカー・プレートの面圧で支持する構造をとっている。

水平方向の力に対しては、中心架台用及び支持柱架台用基礎部品では積極的な支持は行なわれない。即ち、水平方向の力が小さい為、基礎ボルトの初期締付力による摩擦力で十分支持が行なえる。しかし、基礎架台用及び星形トラス用基礎部品には大きな水平方向の力が作用する為、基礎ボルトに過大な力が働かない様に第3図及び第5図に示す様にソール・プレートに歯を設け、この歯の側面で水平力を支持する構造を採用した。

最終設計では、設計荷重の条件の下での全ての基礎部品の健全性が確認された。

最後に、本設計を進めるに当たり終始御指導、御鞭撻戴いた苫米地 顕大型トカマク開発部長、吉川 允二同次長、飯島 勉前JT-60第1開発室長（現JT-60計画室長）、太田 充同室長代理に深く感謝致します。また有益な御意見を戴いた建設部鈴木 偉之氏、および豊島 昇氏、清宮 宗孝氏をはじめとするJT-60第1開発室々員の皆様、JT-60 本体の設計製作を受注担当された（株）日立製作所の関係者各位に対しても深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) Y. Iso, M. Ohta : Trans. of the 6th SMIRT, N, 9 (1981).
- (2) 大久保 実, 太田 充, 飯島 勉 : 電気学会研究会資料, 金属材料研究会, MR-80-1 (1980).
- (3) 高津 英幸, 清水 正亜 : 刊行予定
- (4) H. Ninomiya, Y. Nakamura, T. Ozeki, A. Kameari, N. Tsuzuki, T. Sometani, Y. Suzuki : Proc. 8th Symp. on Engineering Problems of Fusion Research, San Francisco, 1863 (1979).
- (5) 高津 英幸, 山本 正弘, 清水 正亜 : 刊行予定
- (6) R.E. Peterson : Stress Concentration Design Factors, John Wiley & Sons, Inc., New York, 69 (1953).
- (7) 日本機械学会編 : 金属材料疲れ強さの設計資料, 日本機械学会, 東京 (1974).
- (8) 日本規格協会編 : ねじ締付機構設計のポイント, 日本規格協会, 東京 (1973).
- (9) 鈴木 偉之 : 私信