

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0200_改1
提出年月日	2021年9月2日

VI-2-3-4-2-3 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書

2021年 9月
東北電力株式会社

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	許容応力評価条件	9
4.2.4	設計荷重	9
4.3	解析モデル及び諸元	10
4.4	固有周期	10
4.5	設計用地震力	10
4.6	計算方法	11
4.6.1	水平地震荷重による応力	11
4.6.2	鉛直地震荷重による応力	11
4.6.3	死荷重による応力	11
4.7	計算条件	11
4.8	応力の評価	11
5.	参照図書	12

図表目次

図 2-1	CRDハウジング支持金具の耐震評価フロー	4
図 3-1	CRDハウジング支持金具の形状・寸法・材料・応力評価点	13
図 4-1	解析モデル	17
図 4-2	振動モード図	18
表 2-1	構造計画	3
表 2-2	表示する数値の丸め方	7
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	14
表 4-2	許容応力（クラス 1 支持構造物）	15
表 4-3	許容応力評価条件	16
表 4-4	機器諸元	17
表 4-5	固有周期	18
表 4-6	設計用地震力（水平方向）	19
表 4-7	設計用地震力（鉛直方向）	19
表 4-8	評価結果まとめ	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構ハウジング支持金具（以下「CRDハウジング支持金具」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

CRDハウジング支持金具は設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注：本計算書においては、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

CRDハウジング支持金具の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>原子炉本体基礎に CRD ハウジング支持金具を固定する。</p>	<p>主体構造</p> <p>CRD ハウジング支持金具は、原子炉本体基礎に溶接されたブラケットとブラケットにより取り付けられたレストレイントピーム及びレストレイントピームをつなぐスプライズプレートから構成され、制御棒駆動機構ハウジングからの水平荷重を原子炉本体基礎に伝達するよう、制御棒駆動機構ハウジングを取り囲んでいる。</p>	<p>概略構造図</p> <p>原子炉本体基礎</p> <p>レストレイントピーム</p> <p>スプライズプレート</p> <p>ブラケット</p> <p>制御棒駆動ハウジング</p> <p>CRD ハウジング支持金具 概略図</p> <p>A～A 断面</p>

2.2 評価方針

CRDハウジング支持金具の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力が許容応力に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

CRDハウジング支持金具の耐震評価フローを図2-1に示す。

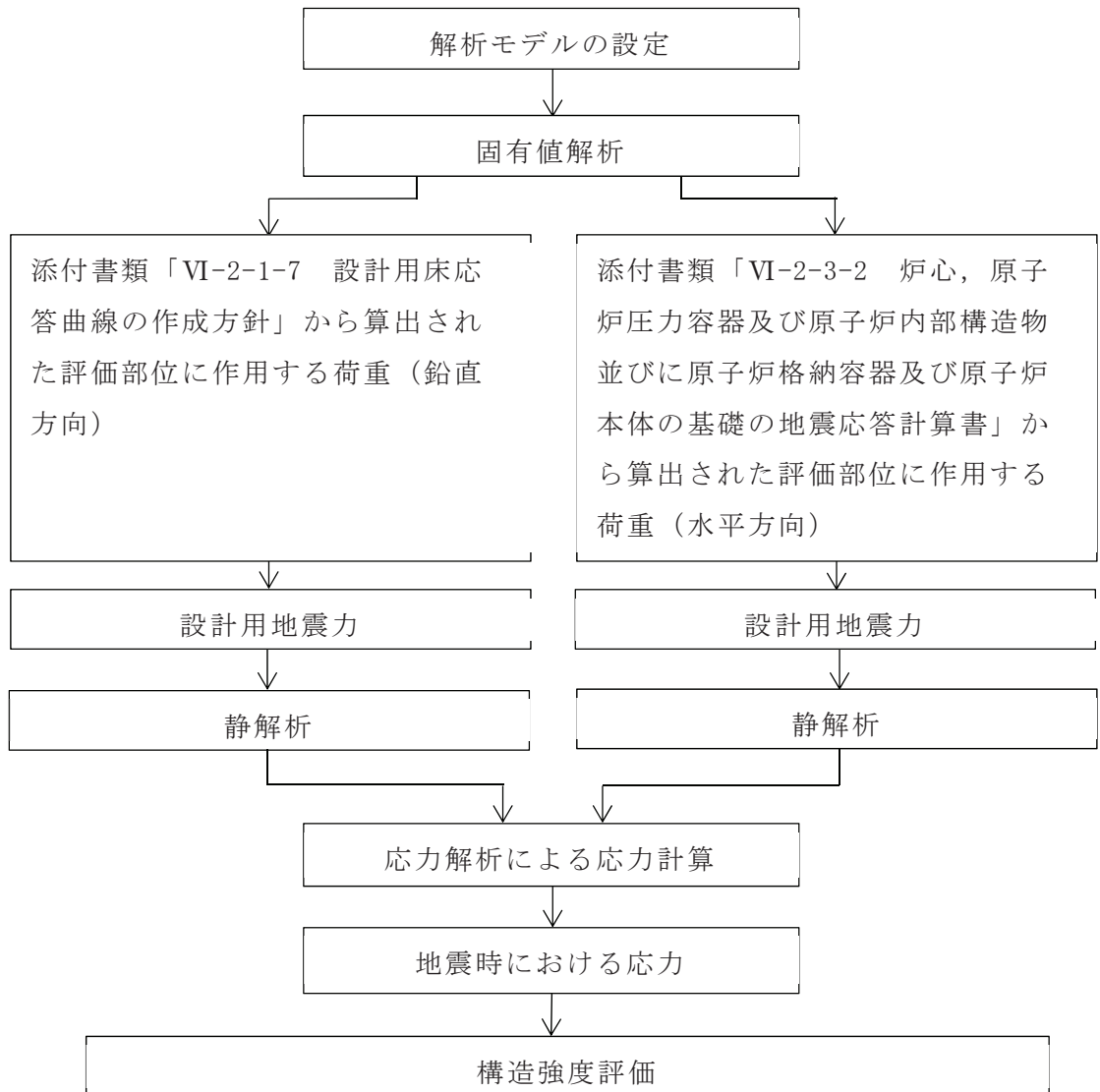


図 2-1 CRDハウジング支持金具の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（以降「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3 指針を指す。）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
E	縦弾性係数	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_k	組合せ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
l_1	CRDハウジング支持金具の内のり寸法	mm
l_2	CRDハウジング支持金具の内のり寸法	mm
M	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせすべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重	—
M_L	地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後が生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重	—
m_0	質量	kg
P	地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）における圧力荷重	—
P_L	地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後が生じている圧力荷重	—
S	許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6に規定される値	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に規定される値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定される値	MPa
$S_y(RT)$	40℃における設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定される値	MPa
T	温度	℃
ν	ポアソン比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示す通りである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

本計算書で解析する CRDハウジング支持金具の形状・寸法・材料を図 3-1 に示す。

なお、CRDハウジング支持金具の応力評価点は、CRDハウジング支持金具を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を図 3-1 に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) CRDハウジング支持金具は、原子炉本体の基礎の内周側に固定され、CRDハウジングの水平地震荷重を原子炉本体の基礎に伝達する構造である。

CRDハウジング支持金具の耐震評価は、「4.5 設計用地震力」に示す水平地震荷重及び鉛直地震力を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 許容応力評価条件

許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

4.2.4 設計荷重

- (1) 最高使用温度及び死荷重

最高使用温度及び死荷重は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

4.3 解析モデル及び諸元

CRDハウジング支持金具の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元について表4-4に示す。なお、解析においては原子炉本体基礎との取り合い部で溶接されるため、ブラケット、スプライスプレート及びレストレントビームをモデル化している。

- (1) 3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。
- (2) 拘束条件は、
- (3) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有周期と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-5に、振動モード図を図4-2に示す。固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-6及び表4-7に示す。

CRDハウジング支持金具に加わる地震荷重 S_d^* 及び地震荷重 S_s での水平地震荷重は添付書類「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において、CRDハウジングレストレントビームがばね要素としてモデル化されているため、ばね反力として求めた水平地震荷重を用いる。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による鉛直地震力は、「4.4 固有周期」に示す通り鉛直方向で剛構造であることから添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.6 計算方法

応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

以下の荷重を用いて応力評価断面の断面性状により各荷重による応力を算出し、組合せ応力は次のように求め、いずれか大きい方を用いる。

$$\sigma_k = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

又は、

$$\sigma_k = \sqrt{\left(\frac{f_t}{f_c} \cdot \sigma_c + \sigma_b\right)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

4.6.1 水平地震荷重による応力

表 4-6 に示す水平地震荷重を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、静解析により得られる荷重（軸力、モーメント、せん断力）を用いる。

4.6.2 鉛直地震荷重による応力

表 4-7 に示す鉛直地震力を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、動的地震力及び静的地震力を用いた静解析により得られる荷重（モーメント、せん断力）を用いる。

4.6.3 死荷重による応力

「4.2.4(1) 最高使用温度及び死荷重」に示す死荷重を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、静解析により得られる荷重（モーメント、せん断力）を用いる。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

各許容応力状態における評価を表 4-8 に示す。

表 4-8 より、各許容応力状態の各応力は、「4.2.2 許容応力」に示す許容応力を満足する。

5. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
IV-3-1-3-3 「制御棒駆動機構ハウジング支持金具の応力計算書」

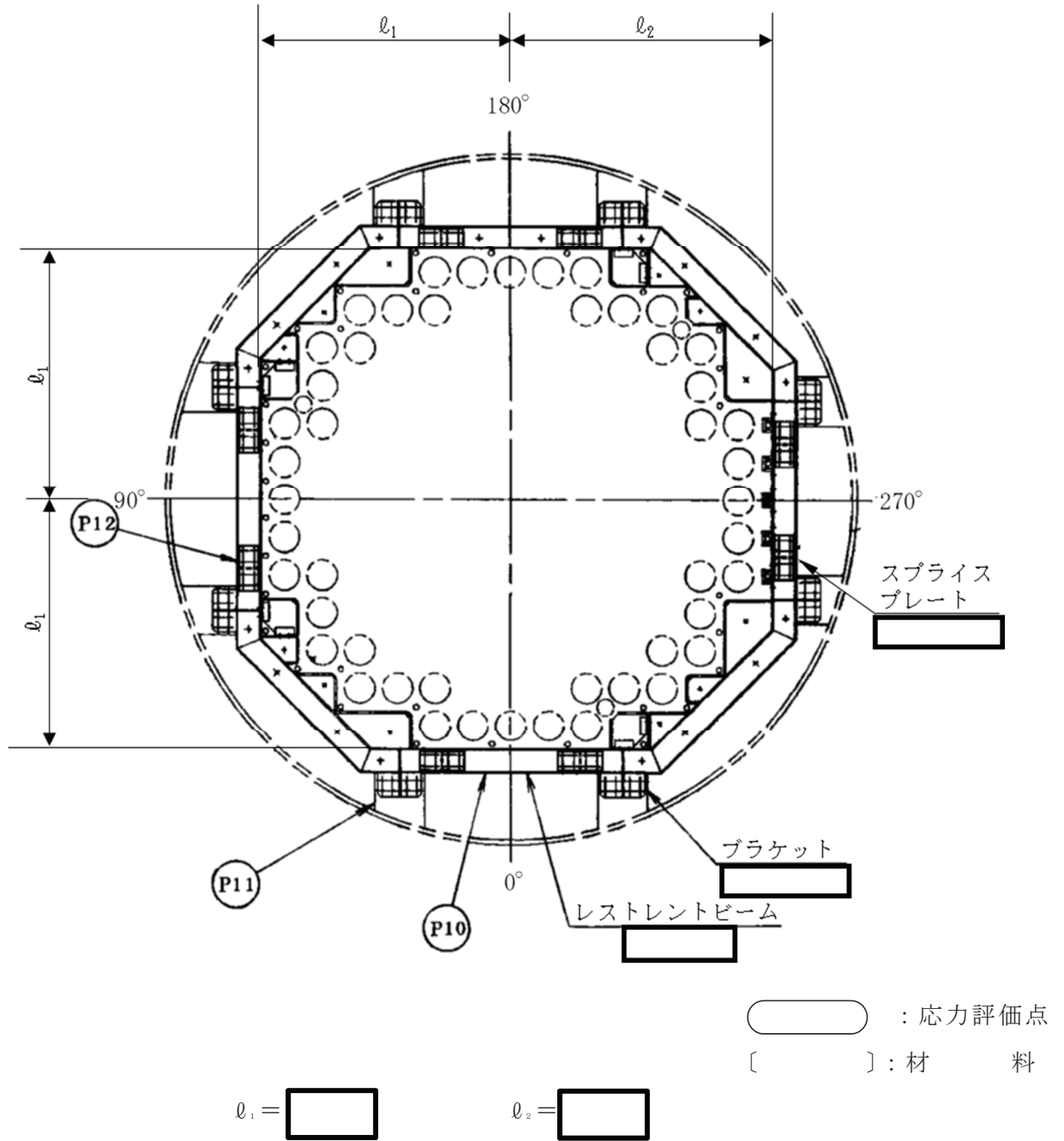


図 3-1 CRD ハウジング支持金具の形状・寸法・材料・応力評価点
(単位：mm)

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉本体	原子炉圧力 容器付属 構造物	S	—*1	D + P + M + S d *	III _A S
				D + P _L + M _L + S d *	
				D + P + M + S s	IV _A S

注記*1：クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を準用する。

表 4-2 許容応力 (クラス 1 支持構造物)

許容応力状態	許容応力 ^{*1, *2} (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
レストレントビーム	鋼板	周囲環境温度 171	—	—	—	—
ブラケット	鋼板		—			—
スプラインプレート	鋼板		—			—

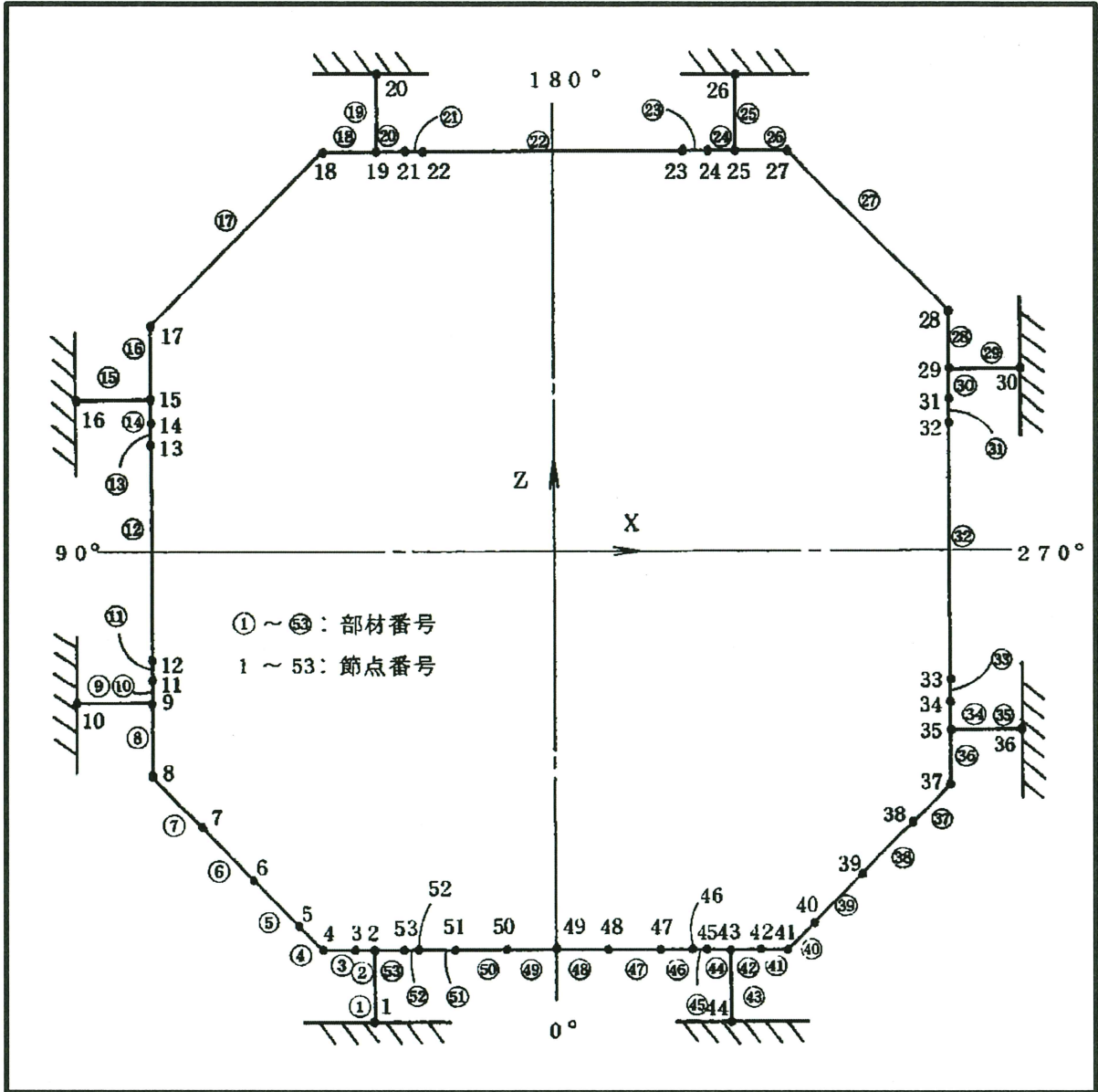


図 4-1 解析モデル

表 4-4 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m _o	kg	
温度条件	T	℃	171
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 4-5 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)
1次	鉛直	0.021



1次モード

図 4-2 振動モード図

表 4-6 設計用地震力（水平方向）

	地震荷重 S _d *	地震荷重 S _s
水平地震荷重 (N)		

表 4-7 設計用地震力（鉛直方向）

据付場所及び床面高さ (mm)		原子炉本体基礎 0. P. 					
固有周期 (s)		水平 : 0.05 以下		鉛直 : 0.05 以下			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		—	—	—	—	—	—
動的地震力 * ¹		—	—	0.77	—	—	1.32
静的地震力 * ²		—	—	0.29	—	—	—

注記 *1 : S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*2 : 静的震度 (1.2 · C_v) を示す。

表 4-8 評価結果まとめ

評価対象 設備	評価部位	応力分類	III Δ S		IV Δ S	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
			MPa	MPa	MPa	MPa
CRDハウジング支持金 具	P10 レストレントビーム	引張応力	4		8	
		圧縮応力	3		5	
		せん断応力	9		18	
		強軸曲げ応力	38		78	
		弱軸曲げ応力	3		4	
		組合せ応力	47		94	
		引張応力	1		3	
		圧縮応力	10		21	
		せん断応力	3		6	
		強軸曲げ応力	19		38	
P11 ブラケット	弱軸曲げ応力	17		22		
	組合せ応力	45		80		
	引張応力	2		3		
	圧縮応力	3		5		
	せん断応力	10		20		
P12 スプラインプレート	強軸曲げ応力	30		62		
	弱軸曲げ応力	3		3		
	組合せ応力	39		78		