

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-775 改2
提出年月日	平成30年9月6日

V-2-9-2-4 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの  
耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
3. 計算条件	6
3.1 形状及び主要寸法	6
3.2 解析範囲	9
3.3 材料	9
3.4 荷重の組合せ及び許容限界	9
4. 荷重条件	15
4.1 設計条件	15
5. 応力計算	18
5.1 応力評価点	18
5.2 応力計算方法	19
5.2.1 下部シアラグ（応力評価点P 1～P 5）の応力計算方法	19
5.2.2 ダイヤフラムブラケット（応力評価点P 6）の応力計算方法	28
5.2.3 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部（応力評価点P 7）の 応力計算方法	30
6. 評価結果	33

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット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。

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット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。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>・メイルシアラグは原子炉格納容器胴に溶接され、フィメールシアラグは原子炉建屋にアンカーボルトで固定される。</p>	<p>・シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、ダイヤフラムフロア及びドライウエルの水平地震力を原子炉建屋に伝達する鋼製の構造物である。</p>	<p>下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット</p> <p>下部シアラグ</p> <p>ダイヤフラムブラケット</p>

## 2.2 評価方針

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重、荷重の組合せ及び許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの部位を踏まえた「3.2 解析範囲」にて設定する箇所において、「4.1 設計条件」で算出した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力計算」にて示す方法にて確認することで実施する。

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。)) J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005改定)

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	ボルト1本分の最小断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub>	圧縮側ベースプレート面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>w</sub>	断面積	mm <sup>2</sup>
b	長さ	mm
d	ボルトの直径	mm
d'	ボルトの谷径	mm
E	縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	ボルトの縦弾性係数	MPa
E <sub>c</sub>	コンクリートの縦弾性係数	MPa
F	せん断力	N
F <sub>s</sub>	せん断力	N
F'	せん断力	N
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力	MPa
f <sub>p</sub>	許容支圧応力	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	許容引張応力	MPa
h	長さ	mm
k	係数	—
l	長さ	mm
M	曲げモーメント	N・mm
M <sub>c</sub>	曲げモーメント	N・mm
N <sub>b</sub>	アンカーボルト数	—
N <sub>p</sub>	シアプレート数	—
n	$E_s / E_c = \square$	—
P <sub>D</sub>	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P <sub>DO</sub>	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P <sub>DBA</sub>	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>L</sub>	一次局部膜応力	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
R	原子炉格納容器胴の内半径	mm
S	材料の許容引張応力	MPa
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—

記号	記号の説明	単位
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	—
$S_u$	材料の設計引張強さ	MPa
$S_y$	材料の設計降伏点	MPa
$T$	板厚, 温度	mm, °C
$T_D$	最高使用温度	°C
$W$	荷重	N
$W_{HD}$	ダイヤフラムフロアからの水平方向地震荷重	N
$W_{HS}$	原子炉格納容器及び原子炉建屋からの水平方向地震荷重	N
$W_d$	最大圧縮荷重	N
$W_j$	ジェット反力	N
$X$	対称軸	—
$Z$	断面係数	mm <sup>3</sup>
$\alpha$	角度	°
$\beta$	角度	°
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma$	組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	コンクリート圧縮応力	MPa
$\sigma_{cmax}$	コンクリートの最大圧縮応力	MPa
$\sigma_s$	ボルト引張応力	MPa
$\tau$	せん断応力	MPa

3. 計算条件

3.1 形状及び主要寸法

原子炉格納容器の下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの形状及び主要寸法を図 3-1, 図 3-2 及び図 3-3 に示す。

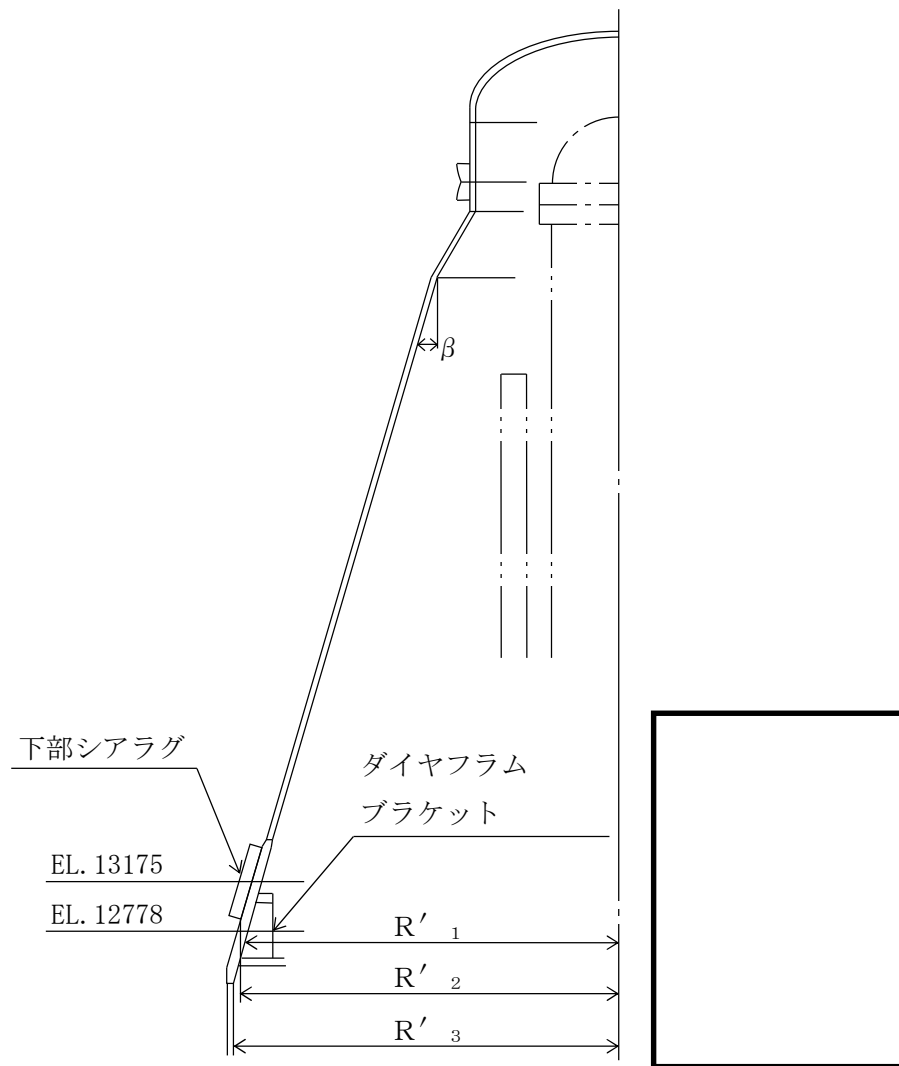


図 3-1 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの形状及び主要寸法



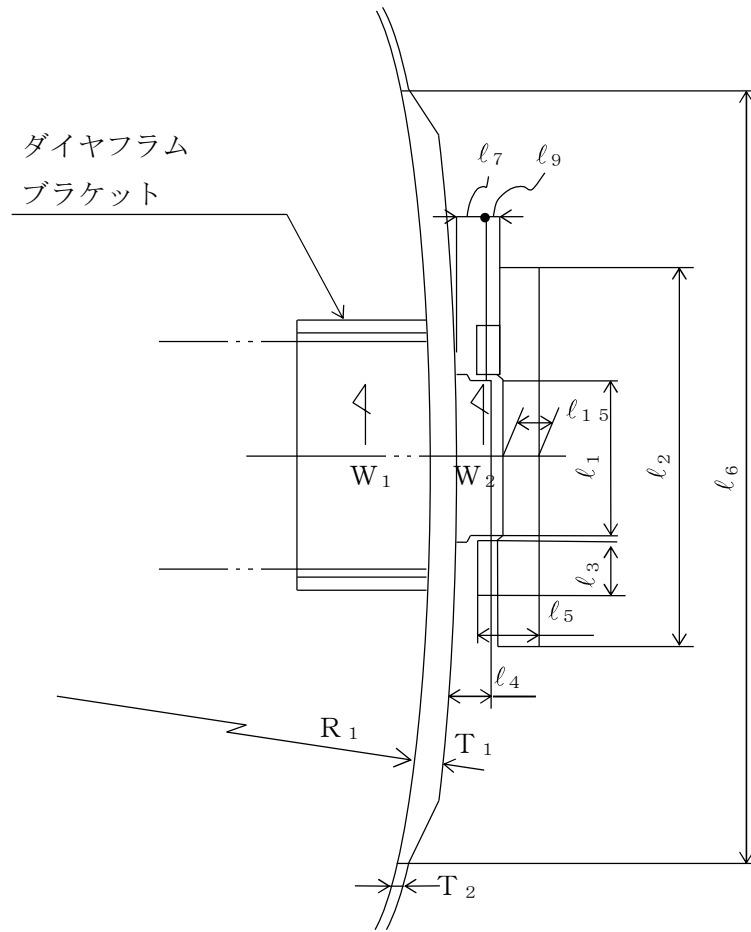


図 3-2 下部シアラグの形状及び主要寸法

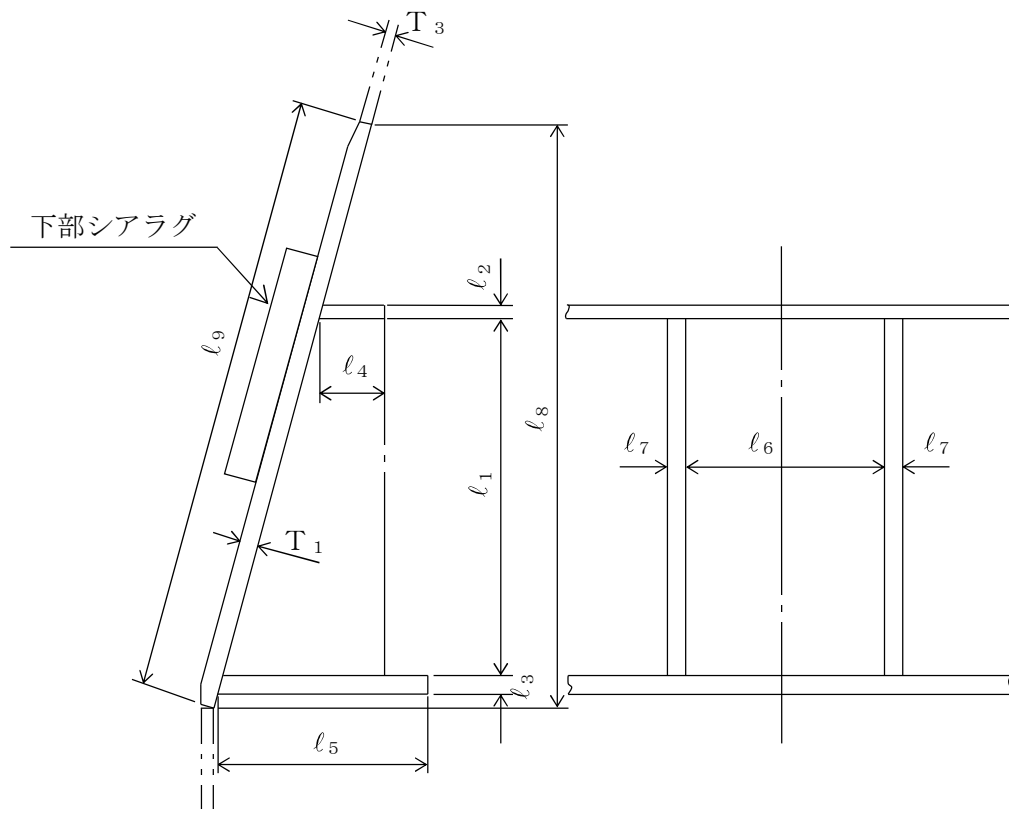


図 3-3 ダイアフラムブラケットの形状及び主要寸法

### 3.2 解析範囲

本計算書における評価部位は、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの形状及び応力レベルを考慮し、メイルシアラグ、フィメイルシアラグ、アンカーボルト、ベースプレート、シアプレート、ダイヤフラムブラケット及び下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部とする。

### 3.3 材料

使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ドライウェル円錐部シェル	SGV49 相当	SGV480*
メイルシアラグ	SGV480 相当	
フィメイルシアラグ	SGV480 相当	
ダイヤフラムブラケット	SGV480 相当	
アンカーボルト	SCM435	

注記 \* : 新 JIS を示す。

### 3.4 荷重の組合せ及び許容限界

地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3-2 に示す。許容応力状態に対する許容限界のうち、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの評価について表 3-3 に、下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の評価について表 3-4 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容限界のうち、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの評価に用いるものを表 3-5 に、下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。

表3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
—		下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S
原子炉格納施設	原子炉格納容器	下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部	S	クラスMC容器	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅳ <sub>A</sub> S

## [記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 各許容応力状態における外圧
- 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
- $P_L$  : 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、その後に生じている圧力荷重
- $M_L$  : 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、その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- $P_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重各許容応力状態における外圧
- $M_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- $S_d^*$  : 弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力又は静的地震力
- $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ により定まる地震力

注記 \* : 耐震Sクラス設備の直接支持構造物として、その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を適用する。

表3-3 許容限界（その他の支持構造物）

（設計基準対象施設）

許容応力 状 態	許容限界*1,*2,*3 (ボルト等以外)										許容限界*2,*4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
	一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈*5	引張	せん断	
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub>	1.5・f <sub>s</sub>	1.5・f <sub>c</sub>	1.5・f <sub>b</sub>	1.5・f <sub>p</sub>	3・f <sub>t</sub>	3・f <sub>s</sub> <sup>*6</sup>	3・f <sub>b</sub> <sup>*7</sup>	1.5・f <sub>p</sub> <sup>*8</sup>	1.5・f <sub>b</sub> <sup>*7,*8</sup>	1.5・f <sub>t</sub>	1.5・f <sub>s</sub>	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
Ⅳ <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>c</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>b</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>p</sub> <sup>*</sup>	$\left[ \begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみに} \\ \text{よる応力振幅について評価} \\ \text{する。} \end{array} \right]$			1.5・f <sub>p</sub> <sup>*8</sup>	1.5・f <sub>s</sub> 又は 1.5・f <sub>c</sub>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

注記\*1：「鋼構造設計規準 SI 単位版」（2002年日本建築学会）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。

\*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

\*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を一次引張応力に対しては f<sub>t</sub>，一次せん断応力に対しては f<sub>s</sub> として，またⅣ<sub>A</sub>S→Ⅲ<sub>A</sub>Sとして応力評価を行う。

\*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f<sub>s</sub>とする。

\*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f<sub>b</sub>とする。

\*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表3-4 許容限界 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 *2	3・S*3 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、 運転状態I, IIにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。  *4, *5	0.6・S	S <sub>y</sub> *6 (1.5・S <sub>y</sub> )
IV <sub>A</sub> S	構造上の連続な部分は0.6・S <sub>u</sub> , 不連続な部分はS <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6S <sub>u</sub> の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 *2			0.4・S <sub>u</sub>	S <sub>u</sub> *6 (1.5・S <sub>u</sub> )
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)						

注記 \*1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*2: 設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の非又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

\*3: 3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S<sub>m</sub>はSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

\*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 $S_d$ 又は $S_s$ 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

\*5：運転状態 I，IIにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

\*6：( )内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表3-5 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの許容限界

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力 (一次応力)			
				引張り	曲げ	せん断	組合せ
SGV480	171	Ⅲ <sub>A</sub> S	229	—	229	132	229
		Ⅳ <sub>A</sub> S	275	—	275	158	275
SCM435	171	Ⅲ <sub>A</sub> S	592	444	—	342	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	592	444	—	342	—

表3-6 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の許容限界

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			$P_m^*$	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ <sub>A</sub> S	229	344	393
		Ⅳ <sub>A</sub> S	253	380	393

注記 \*：評価対象は、構造または形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分に小さいため、評価結果の記載については省略する。



#### 4. 荷重条件

##### 4.1 設計条件

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧  $P_D$  310 kPa

外圧  $P_{D0}$  14 kPa

温度  $T_D$  171 °C

- (2) 冷却材喪失事故後の最大内圧  $P_{DBA}$  255 kPa

- (3) ジェット反力

下部シアラグ全体に作用するジェット反力  $W_j$   $2.68 \times 10^6$  N

下部シアラグ及びダイヤフラムフロアと水平荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示す。水平荷重が加わる場合の各位置における荷重の分配は次式で示される。

$$W_{1j} \cdot W_j =$$

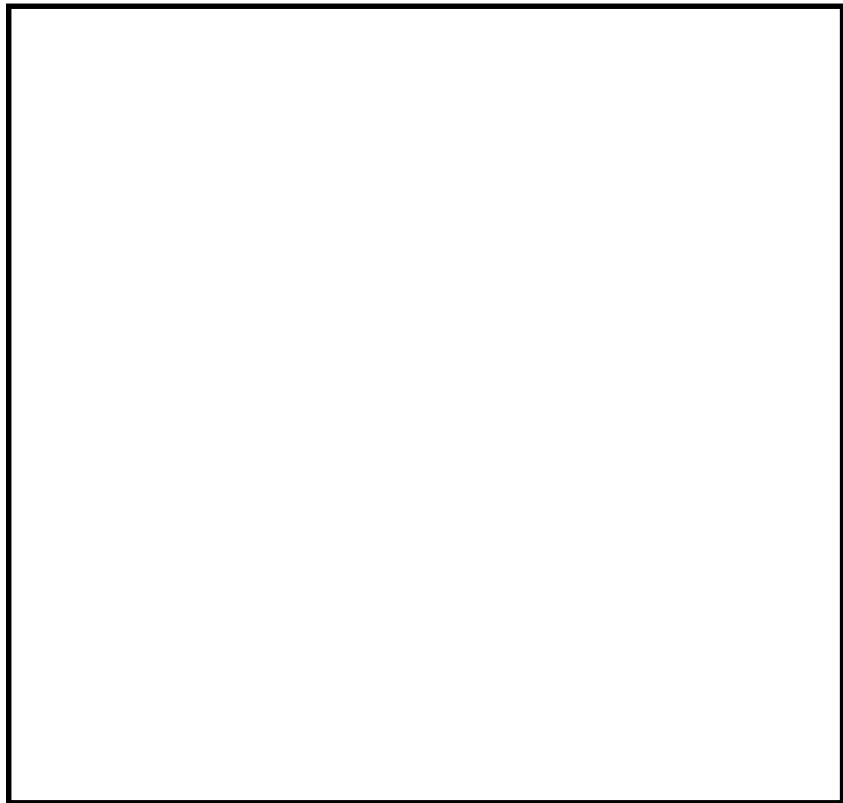


図 4-1 荷重の分配

(4) 地震荷重

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる地震荷重について、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器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」において計算された計算結果を用いる。

a. 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの地震荷重

原子炉格納容器及び原子炉建屋からの弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的地震力及び基準地震動  $S_s$  による地震荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの水平方向地震荷重  
(単位：N)

地震荷重	$S_d^*$	$S_s$
水平方向地震荷重 $W_{HS}$		
$W_{1S} = \square \cdot W_{HS}$		

b. ダイヤフラムフロアからの地震荷重

ダイヤフラムフロアからの弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的地震力及び基準地震動  $S_s$  による地震荷重を表 4-2 に示す。

表 4-2 ダイヤフラムフロアからの水平方向地震荷重  
(単位：N)

地震荷重	$S_d^*$	$S_s$
水平方向地震荷重 $W_{HD}$		
$W_{1D} = \square \cdot W_{HD}$		

(5) 設計荷重

荷重は水平方向地震荷重とジェット反力を考える。原子炉格納容器内部にある部材はダイヤフラムフロアから水平方向地震荷重，ジェット反力，外側にある部材は原子炉建屋からの水平方向地震荷重がそれぞれの部材の重心に加わるものとする。安全側の計算として，内側，外側の荷重が同時に加わるものとするならば1組当りのシアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる設計荷重は4.1(3)，(4)項より表4-3に示すように与えられる。

表4-3 シアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる設計荷重

部材 \ 荷重条件	$D + P + M + S_d^*$	$D + P + M + S_s$
シアラグ		
ダイヤフラムブラケット		
合計		

## 5. 応力計算

### 5.1 応力評価点

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの応力評価点は、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット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して設定する。選定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	メイルシアラグ
P 2	フィメイルシアラグ
P 3	アンカーボルト
P 4	ベースプレート
P 5	シアプレート
P 6	ダイヤフラムブラケット
P 7	下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部

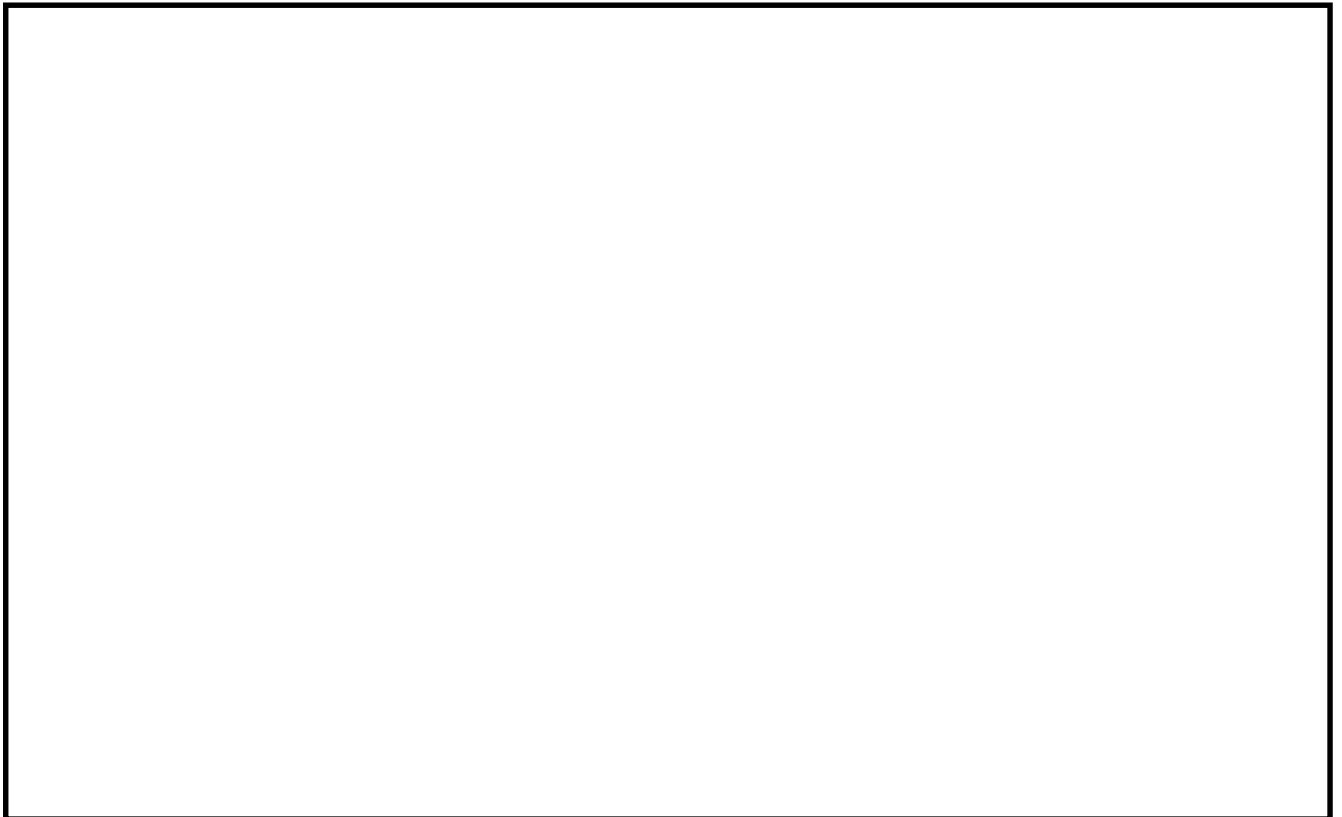


図 5-1 応力評価点

## 5.2 応力計算方法

各荷重により下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットに生じる応力は、応力評価点P 1～P 6は理論解で計算し算出する。応力評価点P 7の応力の算出には、三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

### 5.2.1 下部シアラグ（応力評価点P 1～P 5）の応力計算方法

#### (1) メールシアラグ（応力評価点P 1）

##### a. 寸法

メールシアラグの寸法及び応力評価位置を図 5-2 に示す。

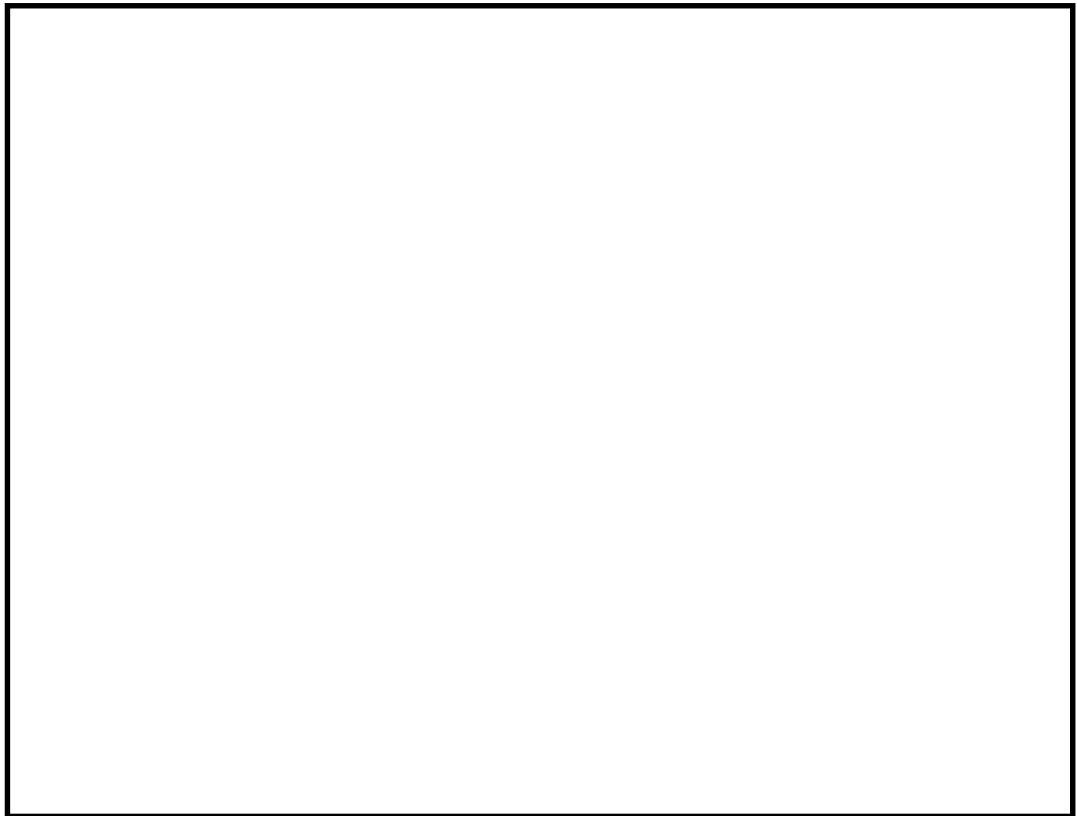


図 5-2 メールシアラグ

b. せん断力及び曲げモーメント

マイルシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 5-2 に示す。

表 5-2 メールシアラグの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重 ①部せん断力 F (N)	①部曲げモーメント M <sub>c</sub> (N・mm)
D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	F = W = <input type="text"/>	M <sub>c</sub> = F · l <sub>7</sub> = <input type="text"/> l <sub>7</sub> = <input type="text"/>
D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub> *	F = W = <input type="text"/>	M <sub>c</sub> = F · l <sub>7</sub> = <input type="text"/> l <sub>7</sub> = <input type="text"/>

c. ①部の応力

(a) 断面の形状

①部の断面の形状及び寸法は図 5-3 に示すような溶接部の断面である。



図 5-3 溶接部の断面

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

ここに,

A<sub>w</sub> : 断面積 =

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_c}{Z}$$

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) フィメイルシアラグ (応力評価点 P 2)

a. 寸法

フィメイルシアラグの寸法を図 5-4 に示す。

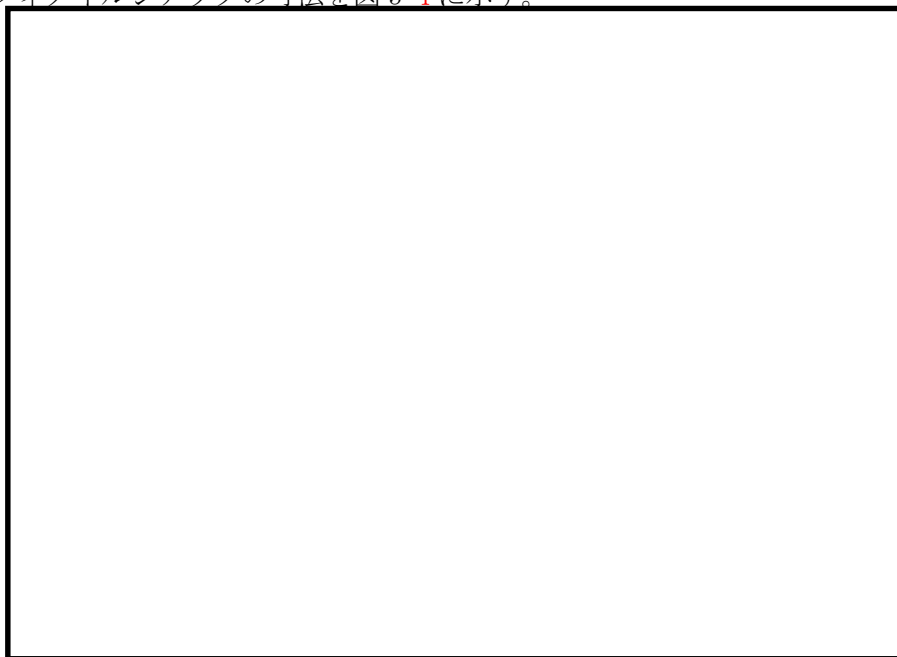


図 5-4 フィメイルシアラグ (単位 : mm)

b. せん断力及び曲げモーメント

フィメイルシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 5-3 に示す。

表 5-3 フィメイルシアラグの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重 F (N)	③部せん断力 F (N)	③部曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W =$ <input type="text"/>	$M = F \cdot l_9$ $=$ <input type="text"/> $l_9 =$ <input type="text"/>	
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = W =$ <input type="text"/>	$M = F \cdot l_9$ $=$ <input type="text"/> $l_9 =$ <input type="text"/>	

c. ㊸部の応力

(a) 断面の形状

㊸部の断面の形状及び寸法を図 5-5 に示す。



図 5-5 ㊸部の溶接部

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

ここに,

$A_w$  : 断面積 =

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

$Z$  : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \tau^2}$$



(3) ベースプレート及びアンカーボルト (応力評価点 P 3 及び P 4)

a. 寸法

ベースプレート及びアンカーボルトの形状及び寸法を図 5-6 に示す。

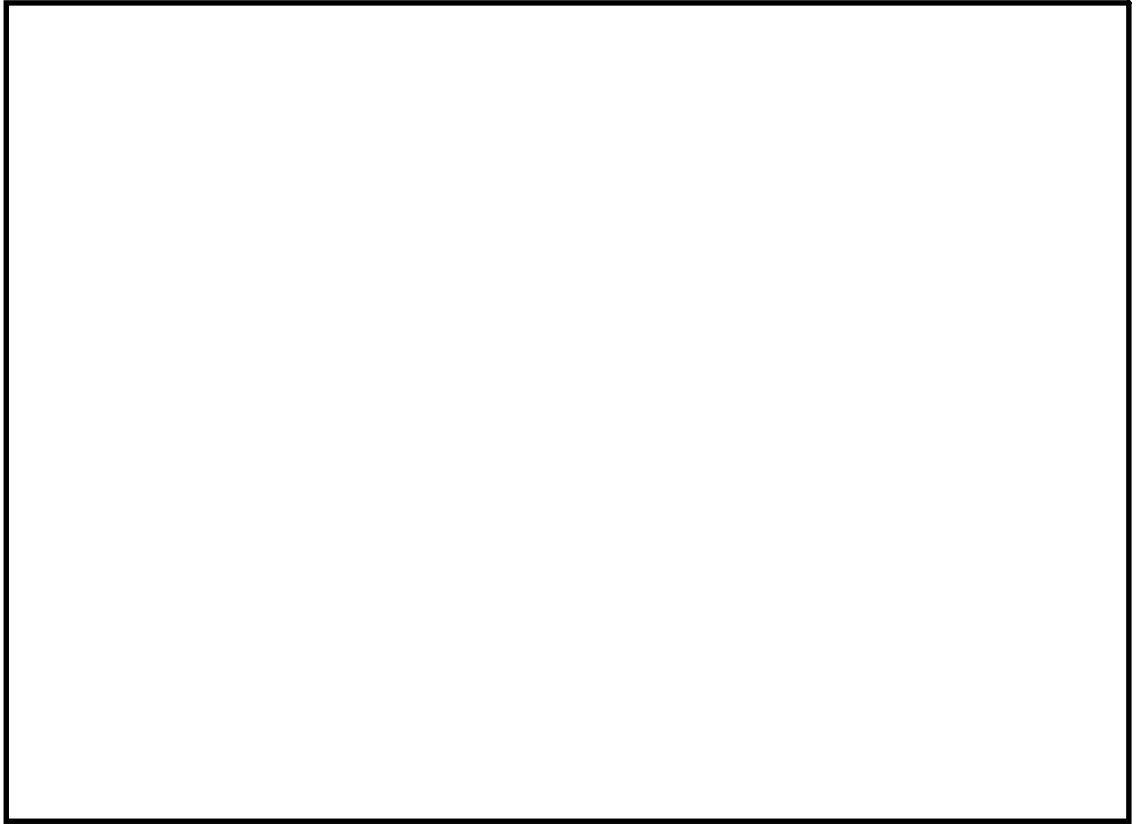


図 5-6 ベースプレート及びアンカーボルト

b. せん断力及び曲げモーメント

5.2.1(2)b.表 5-3 より求めたベースプレート及びアンカーボルトに加わる荷重を表 5-4 に示す。

表 5-4 ベースプレート及びアンカーボルトに加わる荷重

荷重 荷重の 組合せ	せん断力 F (N)	曲げモーメント M (N・mm/mm)
$D + P_D + M_D + S_s$		
$D + P_D + M_D + S_d^*$		

c. アンカーボルトの応力

(a) 計算上の仮定

イ. アンカーボルトを鉄筋とするベースプレートの形状の断面をもつ鉄筋コンクリート柱として計算する。

ロ. シアプレートはアンカーとしての働きはもたないものとする。

(b) 計算方法

文献「S.P.Timoshenko : Strength of Materials Part. 1, D Van Nostrand Co. Inc. (1955)」の Chapter VII (48) と同様な方法で計算を行なう。

(c) コンクリートの支圧応力及びアンカーボルトの引張応力

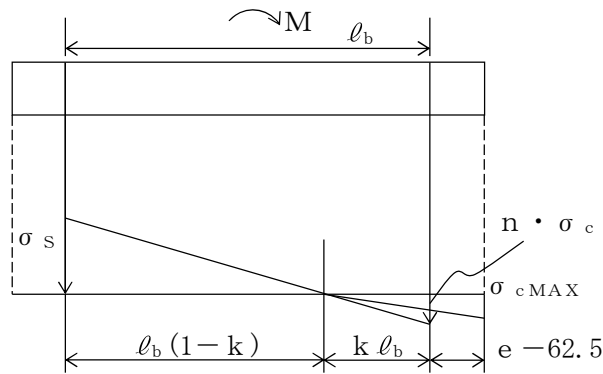


図 5-7 計算モデル

図 5-7 に示す計算モデルより力の釣合いとモーメントとの釣合いからボルト引張応力  $\sigma_s$  及びボルトの下のコンクリート圧縮応力  $\sigma_c$  を求める。

・力の釣合い

$$6 \cdot A_b \cdot \sigma_s - 6 \cdot A_b \cdot (n \cdot \sigma_c) - \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot \sigma_{c \max} = 0$$

・モーメントの釣合い

$$M - 6 \cdot A_b \cdot \sigma_s \cdot (1 - k) \cdot \ell_b - 6 \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c \cdot k \cdot \ell_b - \frac{1}{2} \sigma_{c \max} \cdot A_c \cdot \frac{2}{3} \cdot (k \cdot \ell_b + 62.5) = 0$$

ここに、

M : 最大曲げモーメント

$W_d$  : 最大圧縮荷重

$$\sigma_{c \max} : \text{コンクリートの最大圧縮応力} = \frac{(k \cdot \ell_b + e) \cdot \sigma_c}{k \cdot \ell_b}$$

k : 係数 =  $1 / (1 + \sigma_s / n \cdot \sigma_c)$

$E_s$  : ボルトの縦弾性係数

$E_c$  : コンクリートの縦弾性係数

n :  $E_s / E_c =$

$A_b$  : ボルト 1 本の最小断面積 =

$A_c$  : 圧縮側ベースプレート面積 =  $(k \cdot \ell_b + e) \cdot \ell_{12}$

(d) アンカーボルトのせん断応力

イ. せん断力

$$F_s = \frac{N_b \cdot d}{N_b \cdot d + N_P \cdot l_1} \cdot F$$

ここに,

$N_b$  : アンカーボルト数 =

$N_P$  : シアプレート数 =

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{N_b \cdot A_b}$$

d. ベースプレートの曲げ応力

ベースプレートにはモーメントによる反力がシアプレートによって区分された長方形板に加わるものとする。

このことは安全側の計算となる。

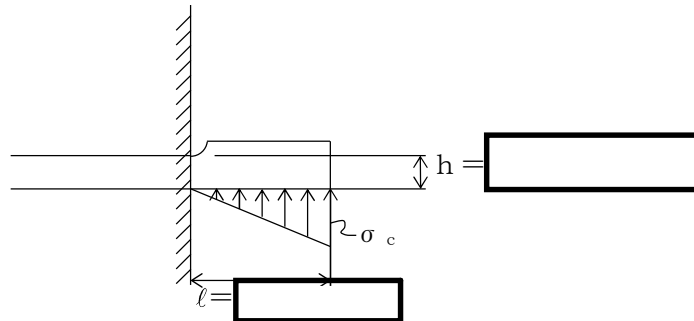


図 5-8 ベースプレート応力計算モデル

(a) 固定点の曲げモーメント

$$M = \frac{1}{3} \cdot \sigma_c \cdot l^2$$

(b) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

$Z$  : 断面係数 =

e. シアプレート (応力評価点 P 5)

ベースプレートに加わるせん断力はアンカーボルトとシアプレートに分配されるものとする。

また、ベースプレートとシアプレートの溶接部の脚長はシアプレートの厚さ ( $t_{13}$ ) より大きいので以下シアプレートの厚さの断面をもつ梁と仮定して計算する。

(a) 寸法

シアプレートの寸法を図 5-9 に示す。

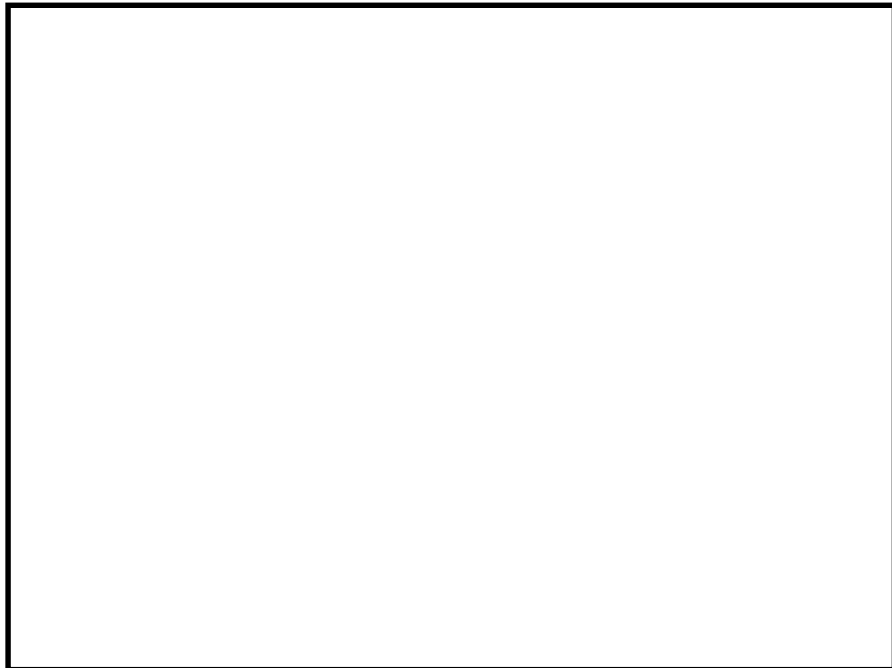


図 5-9 シアプレート

(b) せん断力及び曲げモーメント

イ. せん断力

$$F_s = F' / N_p$$

ここに,

$$F' = \frac{N_p \cdot l_{17}}{N_b \cdot d + N_p \cdot l_{17}} \cdot W_1$$

ロ. 曲げモーメント

$$M = \frac{F_s \cdot l_{16}}{2}$$

(c) シアプレートの応力

イ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

ここに,

$$A = \boxed{\phantom{000000}}$$

ロ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

$$Z = \boxed{\phantom{000000}}$$

ハ. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \tau^2}$$

5.2.2 ダイヤフラムブラケット（応力評価点P 6）の応力計算方法

(1) 寸法

ダイヤフラムブラケットの寸法及び応力評価位置を図 5-10 に示す。

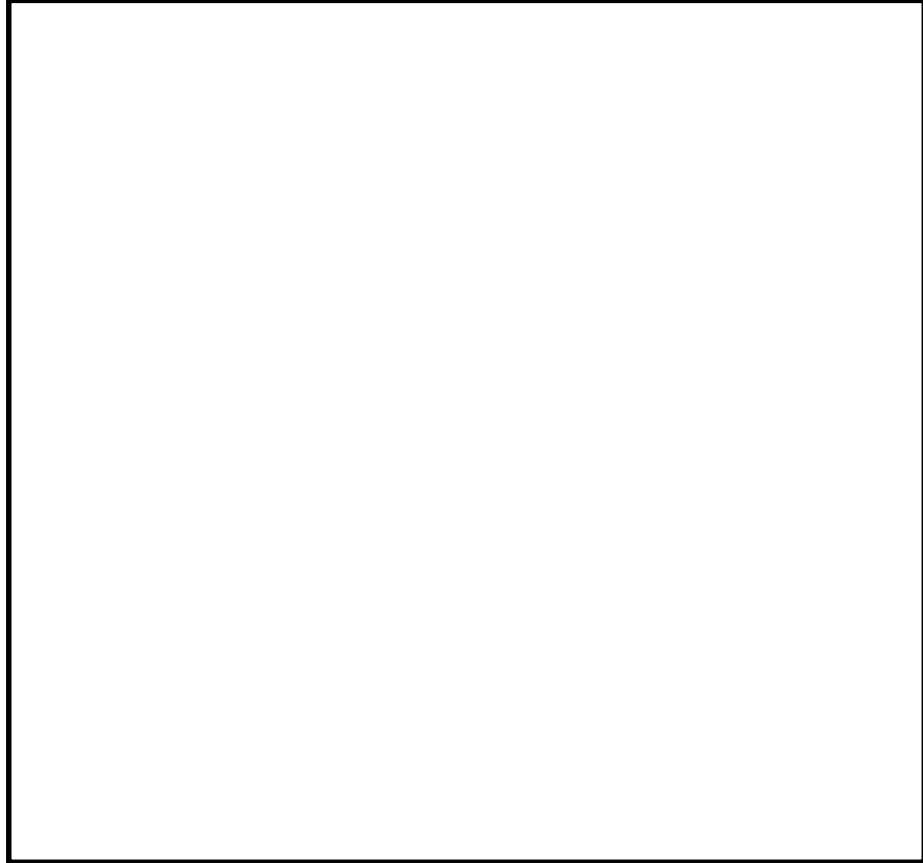


図 5-10 ダイヤフラムブラケット

(2) せん断力

ダイヤフラムブラケットのせん断力の荷重計算を表 5-5 に示す。

表 5-5 ダイヤフラムブラケットの荷重計算

荷重 荷重の 組合せ	荷重	◎部せん断力 F (N)
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W_2$	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = W_2$	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>

## (3) ㉔部の応力

## a. 形状及び寸法

㉔部の形状及び寸法を図 5-11 に示す。

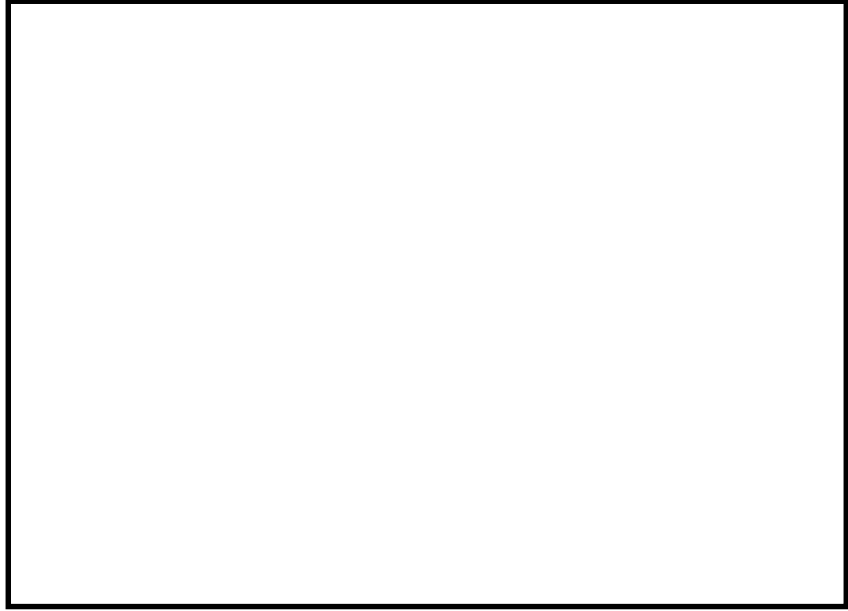


図 5-11 溶接部の形状 (単位 : mm)

## b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

ここに、

$A_w =$



### 5.2.3 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部（応力評価点 P 7）の応力計算方法

#### (1) 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

#### (2) 応力解析の概要

各荷重により下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に生じる応力の算出には、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

#### (3) 荷重条件

応力解析においては「4. 荷重条件」で示した荷重で計算を行う。

#### (4) 応力計算方法

##### a. 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に作用する荷重による応力

下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の解析モデルを図 5-12 に、解析モデルの諸元を表 5-6 に示す。

##### b. 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。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「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。



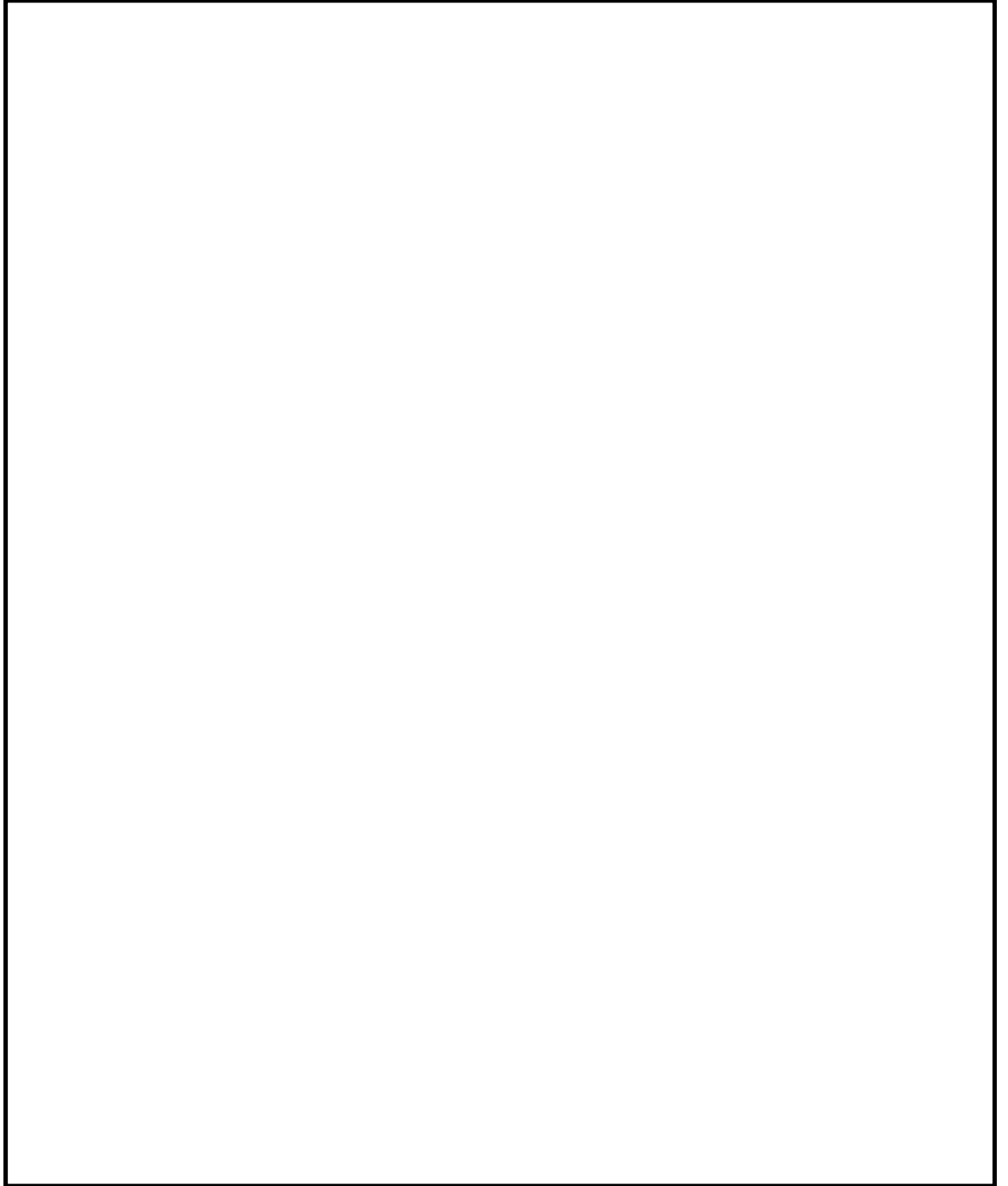


図 5-12 解析モデル

表 5-6 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
温度条件	T	°C	66(ドライウエル) 32(サブプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サブプレッション・チェンバ)
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

## 6. 評価結果

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

### (1) 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

### (2) 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに対する評価

許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する評価結果 (D + P + M + S<sub>d</sub>\*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力強さ	11	229	○	
			せん断応力強さ	35	132	○	
			組合せ応力強さ	62	229	○	
	P 2	フィメール シアラグ	曲げ応力強さ	31	229	○	
			せん断応力強さ	36	132	○	
			組合せ応力強さ	70	229	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力強さ	30	444	○	
			せん断応力強さ	63	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力強さ	20	264	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力強さ	119	264	○	
			せん断応力強さ	14	132	○	
			組合せ応力強さ	122	229	○	
	P 6	ダイヤフラムブラケット	せん断応力強さ	18	132	○	
	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	54	344	○	
一次+二次応力強さ			206	393	○		

表 6-2(1) 許容応力状態IV<sub>A</sub>Sに対する評価結果 (D + P + M + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力強さ	17	275	○	
			せん断応力強さ	55	158	○	
			組合せ応力強さ	97	275	○	
	P 2	フィメイル シアラグ	曲げ応力強さ	48	275	○	
			せん断応力強さ	55	158	○	
			組合せ応力強さ	107	275	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力強さ	46	444	○	
			せん断応力強さ	97	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力強さ	30	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力強さ	215	317	○	
			せん断応力強さ	24	158	○	
			組合せ応力強さ	219	275	○	
	P 6	ダイヤフラムブラケット	せん断応力強さ	23	158	○	
	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	86	380	○	
一次+二次応力強さ			334	393	○		

表 6-2(2) 許容応力状態IV<sub>A</sub>Sに対する評価結果 (D + P<sub>L</sub> + M<sub>L</sub> + S<sub>d</sub>\*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	77	380	○	
			一次+二次応力強さ	206	393	○	