

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-857 改3
提出年月日	平成30年9月6日

V-2-9-2-3 上部シアラグ及びスタビライザの耐震性について  
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	13
4.1 設計条件	13
5. 応力計算	15
5.1 応力評価点	15
5.2 応力計算方法	16
5.2.1 上部シアラグ（応力評価点P 1～P 5）の応力計算方法	16
5.2.2 上部スタビライザ（応力評価点P 6及びP 7）の応力計算方法	25
5.2.3 上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 8）の 応力計算方法	29
6. 評価結果	32

## 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、上部シアラグ及びスタビライザ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。

上部シアラグ及びスタビライザ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、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

上部シアラグ及びスタビライザの構造計画を表 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、フィメイ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>・ドライウエルの水平地震力をシアラグにより、原子炉建屋に伝達する。</p>	<p>上部シアラグ 及びスタビライザ</p> <p>上部シアラグ</p> <p>EL.34420</p> <p>上部スタビライザ</p>

## 2.2 評価方針

上部シアラグ及びスタビライザの応力評価は、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」にて示す上部シアラグ及びスタビライザの部位を踏まえた「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、「5.2 応力計算方法」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>
b	長さ	mm
d	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
E <sub>c</sub>	コンクリートの縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	ボルトの縦弾性係数	MPa
e	長さ	mm
F	原子炉格納容器スタビライザ1本に作用する荷重, 基準応力	N, MPa
F <sub>s</sub>	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>0</sub>	質量	kg
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 <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	—
P <sub>D</sub>	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P <sub>D0</sub>	最高使用圧力 (外圧)	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	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	—
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>u</sub>	材料の設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	材料の設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
$T$	板厚, 温度	mm, °C
$T_D$	最高使用温度	°C
$W$	荷重	N
$W_d$	最大圧縮荷重	N
$Z$	断面係数	mm <sup>3</sup>
$\alpha$	角度	°
$\beta$	角度	°
$\theta$	角度	°
$\sigma$	組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	引張応力	MPa
$\sigma_b$	曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	ボルトの下のコンクリートの圧縮応力	MPa
$\sigma_{cmax}$	コンクリートの最大圧縮応力	MPa
$\sigma_s$	ボルトの引張応力	MPa
$\tau$	せん断応力	MPa
$\nu$	ポアソン比	—

3. 計算条件

3.1 形状及び主要寸法

原子炉格納容器の上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

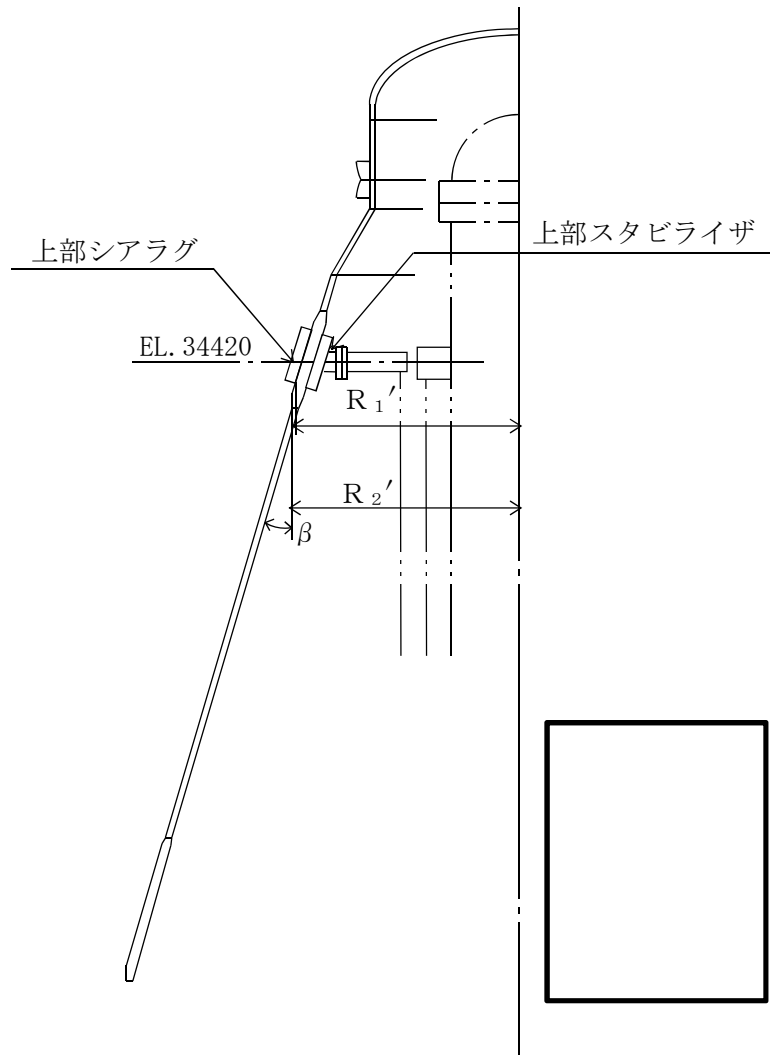


図 3-1 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法



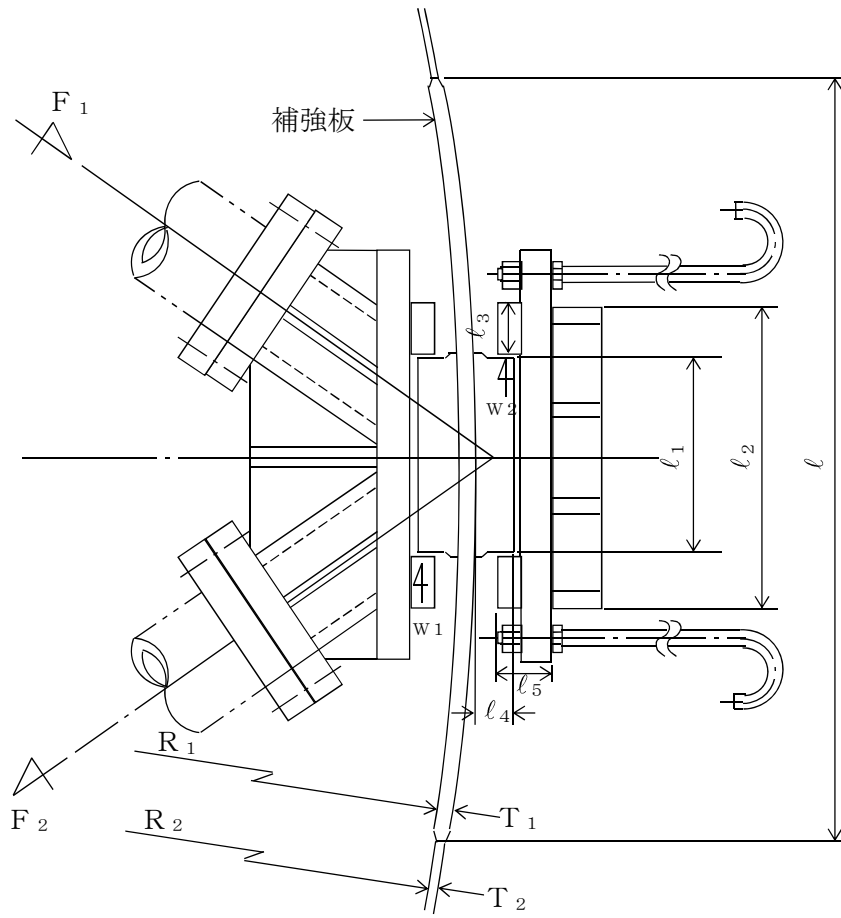


図 3-2 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法

### 3.2 解析範囲

本計算書における評価部位は、上部シアラグ及びスタビライザ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、上部スタビライザウェブ、フランジとウェブの結合部及び上部シアラグと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	
スタビライザ	ウェブ	SGV480 相当	
	フランジ	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、上部シアラグ及びスタビライザの評価について表 3-3 に、上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、上部シアラグ及びスタビライザの評価に用いるものを表 3-5 に、上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 原子炉格納施設的设计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
—		上部シアラグ	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 本体	原子炉 圧力容器 付属構造物	原子炉格納容器 スタビライザ	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	上部シアラグと 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	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ <sup>*6</sup>	$3 \cdot f_b$ <sup>*7</sup>	$1.5 \cdot f_p$ <sup>*8</sup>	$1.5 \cdot f_b$ <sup>*7, *8</sup>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[ \begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみに} \\ \text{よる応力振幅について評価} \\ \text{する。} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p$ <sup>*8</sup>	$1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

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 $f_t$ ，一次せん断応力に対しては $f_s$ 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 $1.5 \cdot f_s$ とする。

\*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた $f_b$ 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 上部シアラグ及びスタビライザの許容限界

(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	229 (264)*	132	229
		Ⅳ <sub>A</sub> S	275	275	275 (317)*	158	275
SCM435	171	Ⅲ <sub>A</sub> S	592	444	—	342	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	592	444	—	342	—

注記 \* : ( ) 内の値は、面外に曲げを受ける板の許容応力を示す。

表3-6 上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	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	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) 地震荷重

上部シアラグ及びスタビライザ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. 原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽からの地震荷重

上部シアラグ及びスタビライザと水平荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示し，原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽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  $S_s$  による水平方向地震荷重を表 4-1 に示す。

ここに，

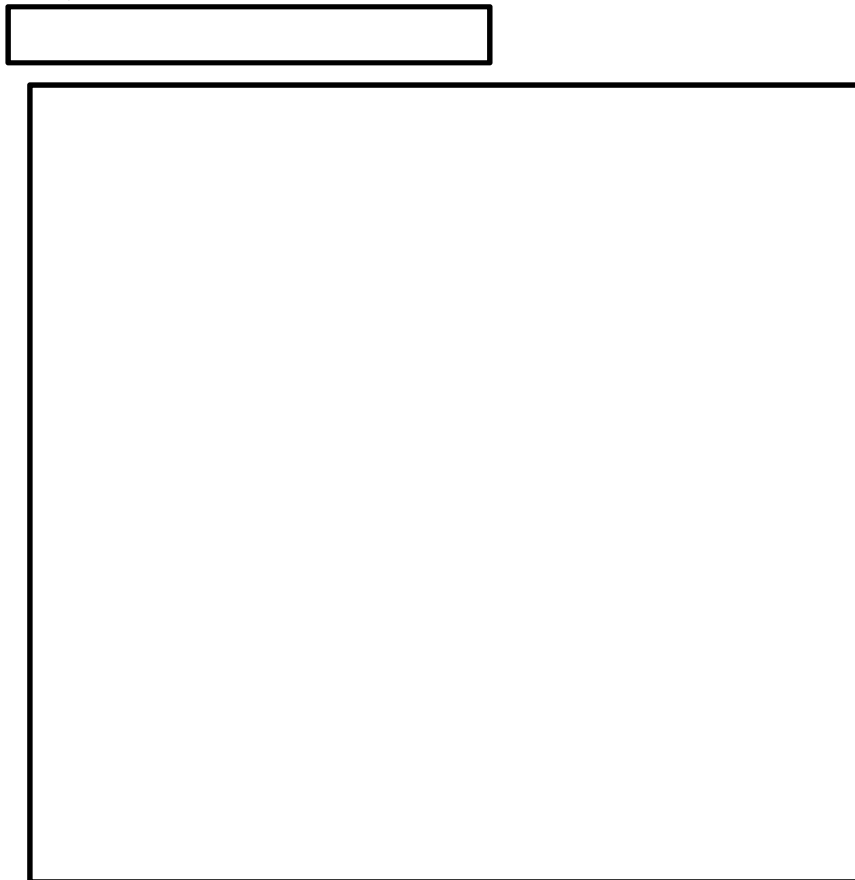


図 4-1 荷重の分配



表 4-1 原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽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 $W_{HI}$		
$W_{1SI} = \frac{1}{4} W_{HI}$		
$F_{1SI} = \frac{W_{1SI}}{2 \times \sin \theta}$		

b. 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  $S_s$  による水平方向地震荷重を表 4-2 に示す。

表 4-2 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 $W_{HO}$		
$W_{1SO} = \frac{1}{4} W_{HO}$		
$F_{1SO} = \frac{W_{1SO}}{2 \times \sin \theta}$		

(4) 設計荷重

応力計算は上部シアラグ及びスタビライザに分けて行なう。荷重は水平地震荷重を考える。格納容器内部にある部材は原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽から水平地震荷重，外側にある部材は原子炉建屋からの水平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組当りの上部シアラグ及びスタビライザに加わる設計荷重は 4.1(3)項より表 4-3 に示すように与えられる。

表 4-3 上部シアラグ及びスタビライザに加わる設計荷重

部材	荷重条件	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$D + P_D + M_D + S_s$
	シアラグ		
スタビライザ			

5. 応力計算

5.1 応力評価点

上部シアラグ及びスタビライザの応力評価点は、上部シアラグ及びスタビライザ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	上部スタビライザウェブ
P 7	フランジとウェブの結合部
P 8	上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部

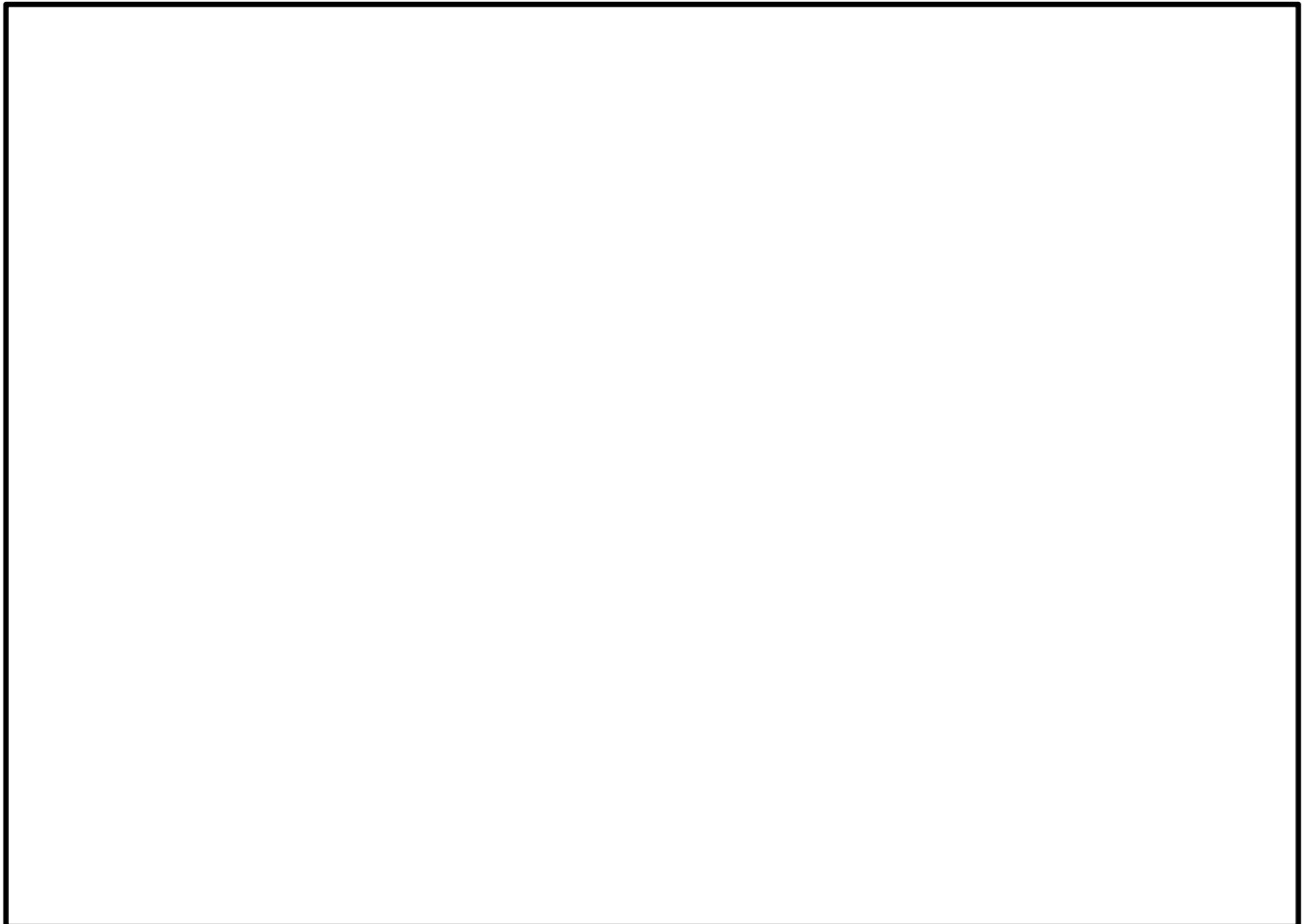


図 5-1 応力評価点

## 5.2 応力計算方法

各荷重により上部シアラグ及びスタビライザに生じる応力は、応力評価点 P 1～P 7 は理論解で計算し算出する。応力評価点 P 8 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 上部シアラグ（応力評価点 P 1～P 5）の応力計算方法

#### (1) メイルシアラグ（応力評価点 P 1）

##### a. 寸法

メイルシアラグの寸法を図 5-2 に示す。

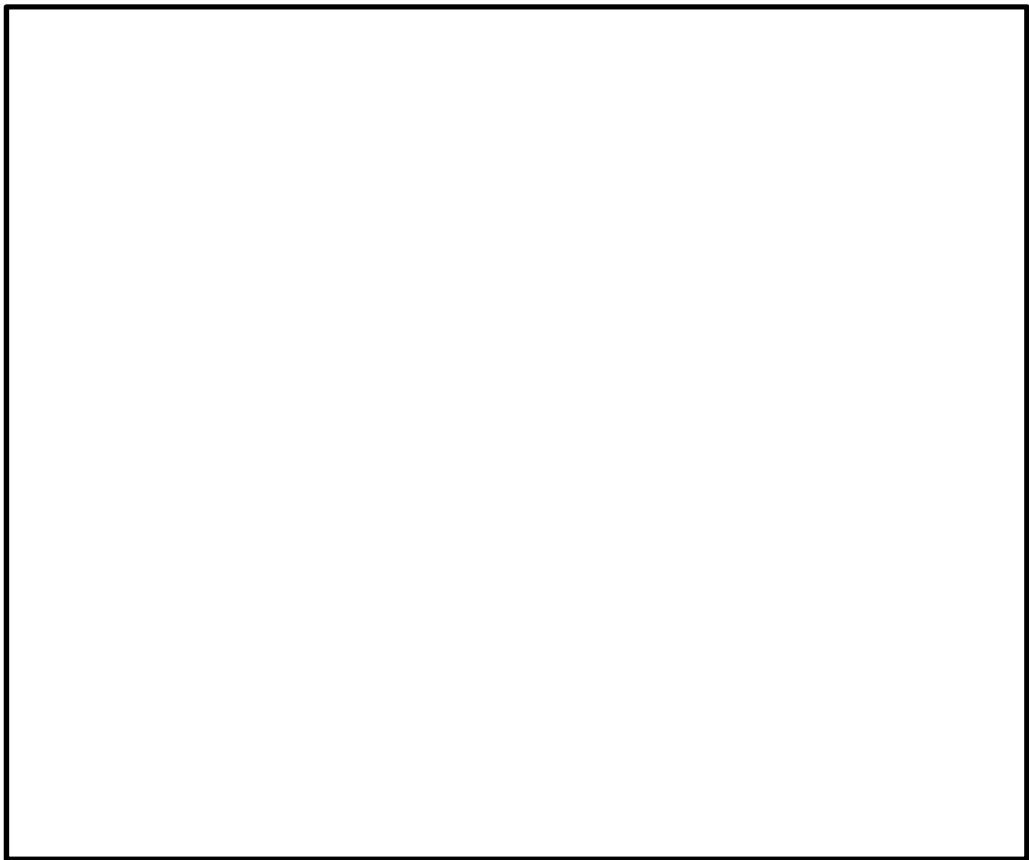


図 5-2 メイルシアラグ

b. せん断力及び曲げモーメント

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 5-2 に示す。

表 5-2 メイ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 (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = W = \boxed{\phantom{000}}$	$M = F \cdot l_7$ $= \boxed{\phantom{000}}$ $l_7 = \boxed{\phantom{000}}$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W = \boxed{\phantom{000}}$	$M = F \cdot l_7$ $= \boxed{\phantom{000}}$ $l_7 = \boxed{\phantom{000}}$

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 ①溶接部の断面

(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

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

(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。

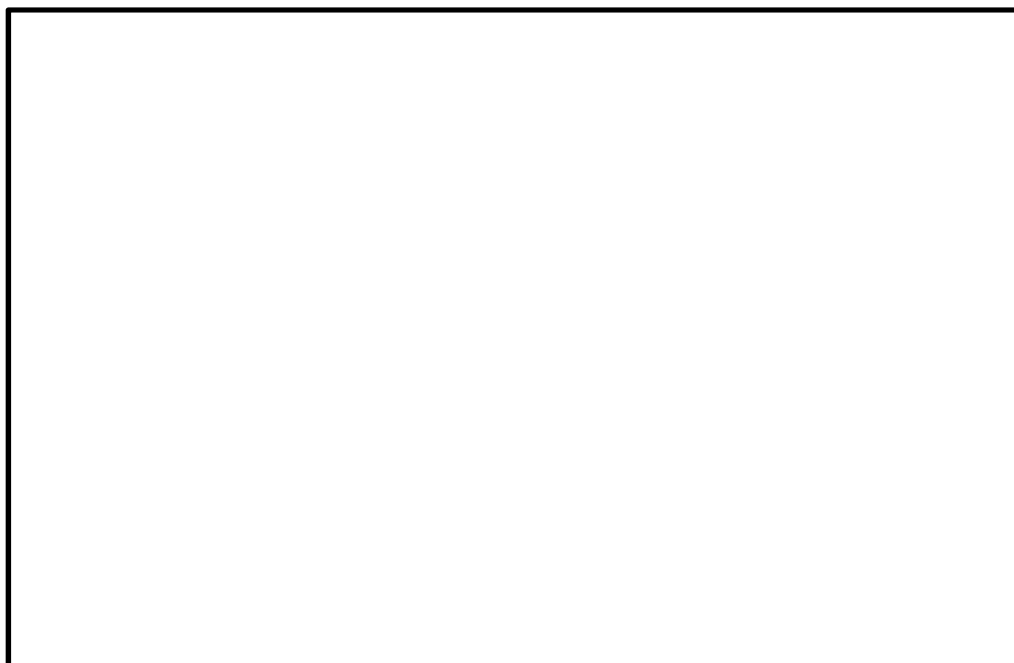


図 5-4 フィメイルシアラグ

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 ③部せん断力 F (N)	③部曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W = \boxed{\phantom{000}}$	$M = F \cdot l_9$ $= \boxed{\phantom{000}}$ $l_9 = \boxed{\phantom{00}}$
$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	$F = W = \boxed{\phantom{000}}$	$M = F \cdot l_9$ $= \boxed{\phantom{000}}$ $l_9 = \boxed{\phantom{00}}$

c. ③部の応力

(a) 断面の形状

点Bの断面の形状及び寸法を図 5-5 に示す。

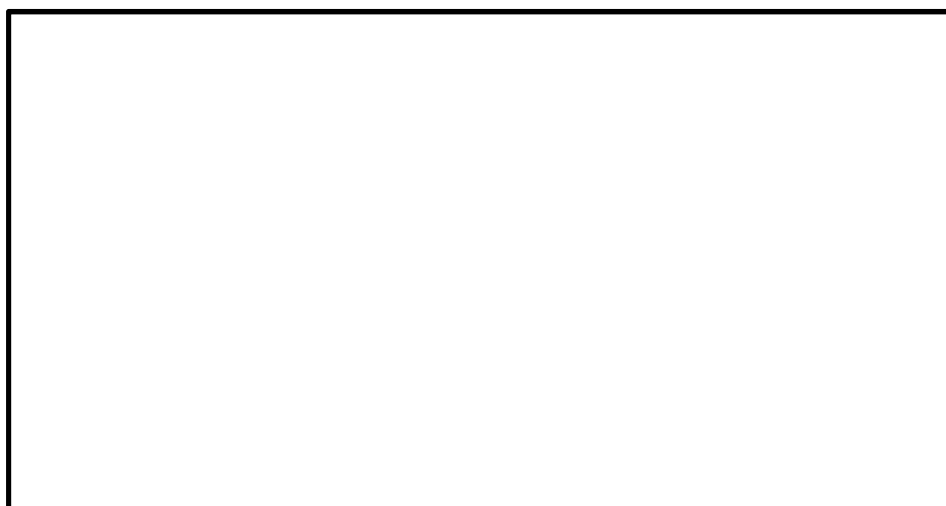


図 5-5 点Bの溶接部の断面

(b) せん断応力

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

ここに,

$A_w$  : 断面積 =  $\boxed{\phantom{000}}$

(c) 曲げ応力

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

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

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

(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。

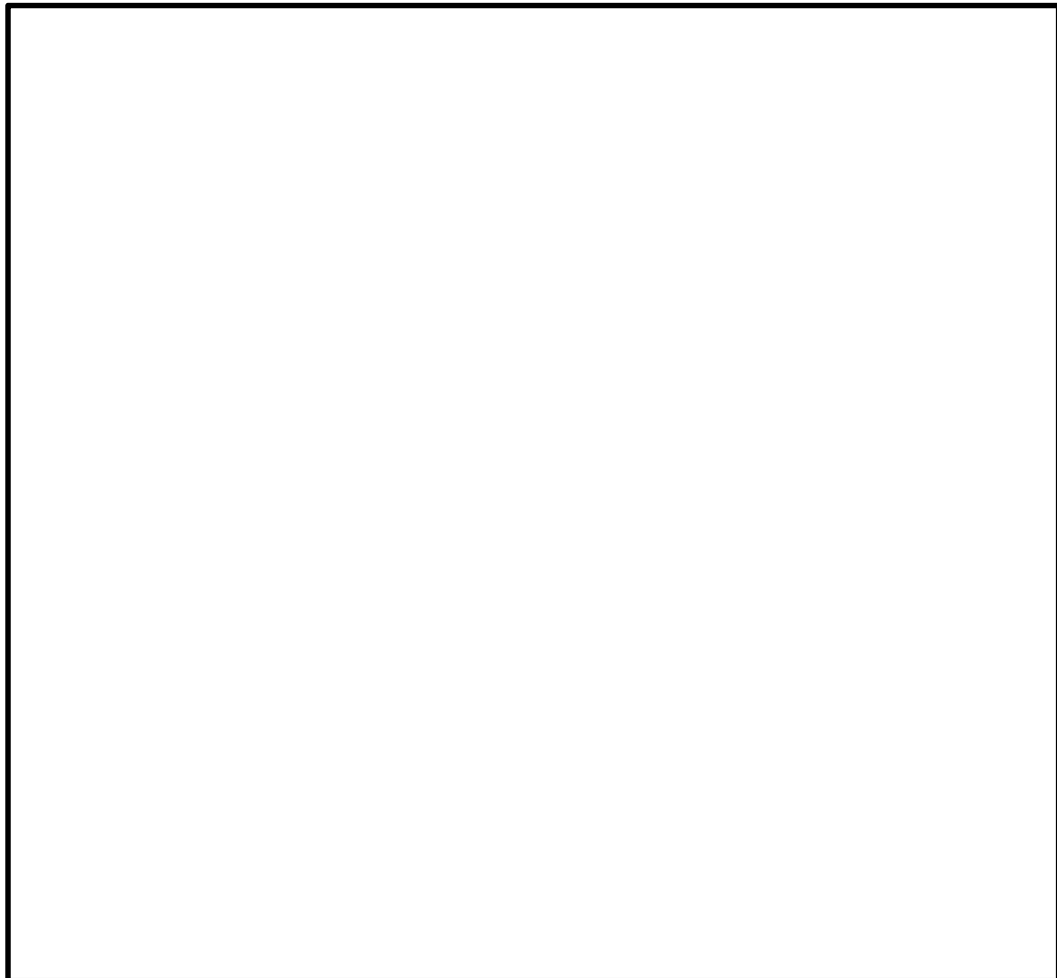


図 5-6 ベースプレート及びアンカープレート

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プレー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プレートに加わる荷重

荷重の 組合せ	荷重	せん断力 F (N)	曲げモーメント M (N・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. シアプレート付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 の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。

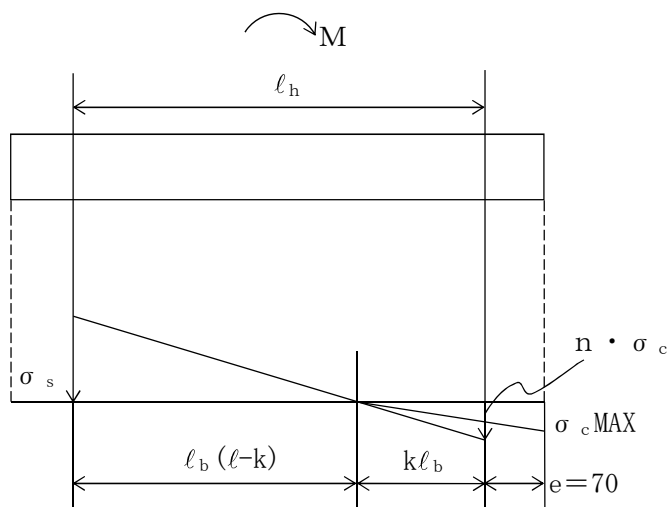


図 5-7 計算モデル図



・力の釣合い

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

・モーメントの釣合い

$$M - 6 \cdot A_b \cdot \sigma_s \cdot (1 - k) \cdot \ell_b - 6 \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c \cdot k \cdot \ell_b - \frac{1}{2} \cdot \sigma_{cmax} \cdot A_c \cdot \frac{2}{3} \cdot (k \cdot \ell_b + 70) = 0$$

ここに,

M : 最大曲げモーメント

$W_d$  : 最大圧縮荷重

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

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 :  $E_s / E_c = \square$

$A_b$  : ボルト 1 本分最小断面積 =  $\frac{\pi}{4} \cdot d'^2 = \square$

$A_c$  : 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

$$F_s = \frac{N_b \cdot d}{N_b \cdot d + N_P \cdot \ell_{17}} \cdot F$$

ここに,

$N_b$  : アンカーボルト数 =  $\square$

$N_P$  : シアプレート数 =  $\square$

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。ベースプレート応力モデルを図 5-8 に示す。

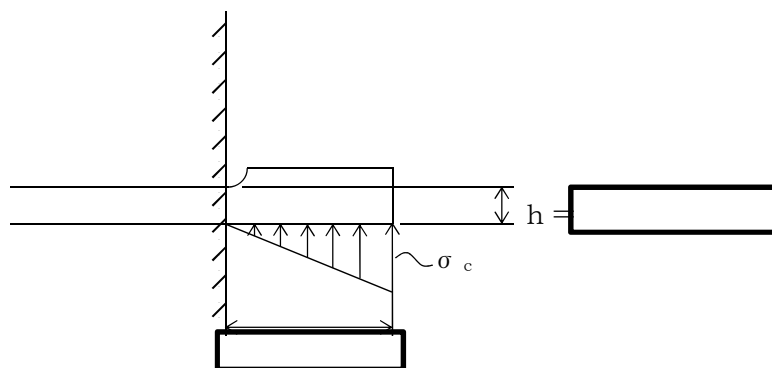


図 5-8 ベースプレート応力計算モデル

(a) 固定点の曲げモーメント

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

(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 ( $l_{13}$ ) より大きいので以下の計算はシアプレートの厚さの断面をもつ梁として行う。

(a) 寸法

シアプレートの寸法を図 5-9 に示す。

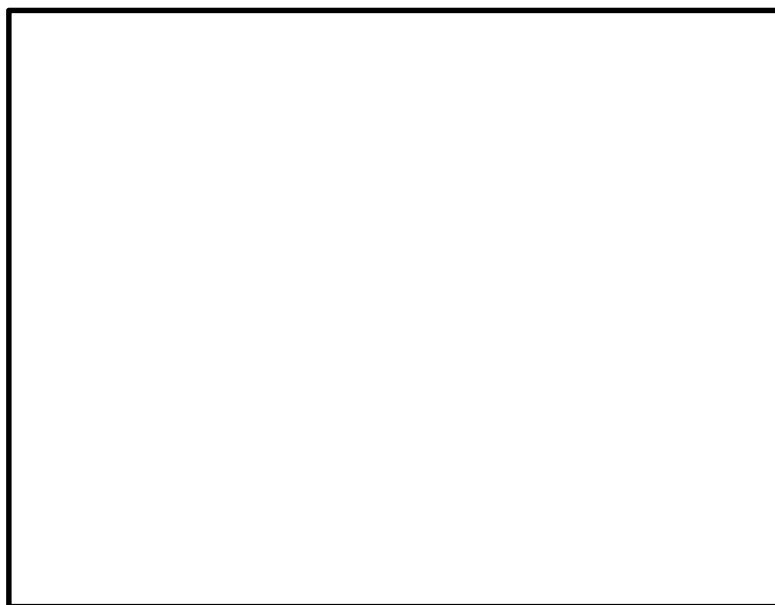


図 5-9 シアプレート

(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,

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

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 上部スタビライザ（応力評価点 P 6 及び P 7）の応力計算方法

#### (1) ウェブ（応力評価点 P 6）

##### a. 寸法

ウェブの寸法を図 5-10 に示す。

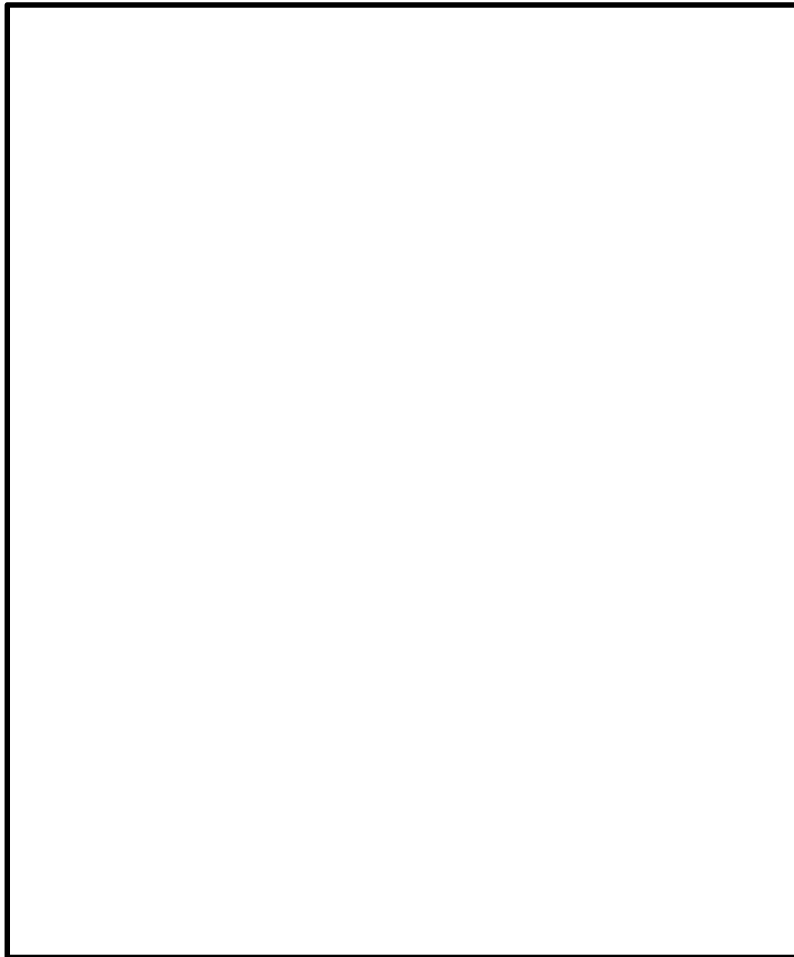


図 5-10 ウェブの寸法

b. せん断力及び曲げモーメント

ウェブのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 5-5 に示す。

表 5-5 ウェブの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重 せん断力 F (N)	曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = 2F_1 \sin \theta$ = <input type="text"/>	$M = 2F_1 \cos \theta \cdot l_{18}$ = <input type="text"/> $l_{18} =$ <input type="text"/>
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = 2F_1 \sin \theta$ = <input type="text"/>	$M = 2F_1 \cos \theta \cdot l_{18}$ = <input type="text"/> $l_{18} =$ <input type="text"/>

c. 断面の形状

断面の形状は溶接部の幅がウェブの板厚に比べて大きくなるので最小厚さはウェブの板厚の  とする。ウェブに取付けられたパイプのドライウェル壁に取付けられた断面積は  と仮定した。

d. ウェブの応力

(a) せん断力

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

ここに,

A : 断面積 =

(b) 曲げ応力

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

ここに,

Z : 断面係数 =

(c) 組合せ応力

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

(2) フランジとウェブの結合部 (応力評価点 P 7)

a. 寸法

フランジとウェブの結合部の寸法を図 5-11 に示す。

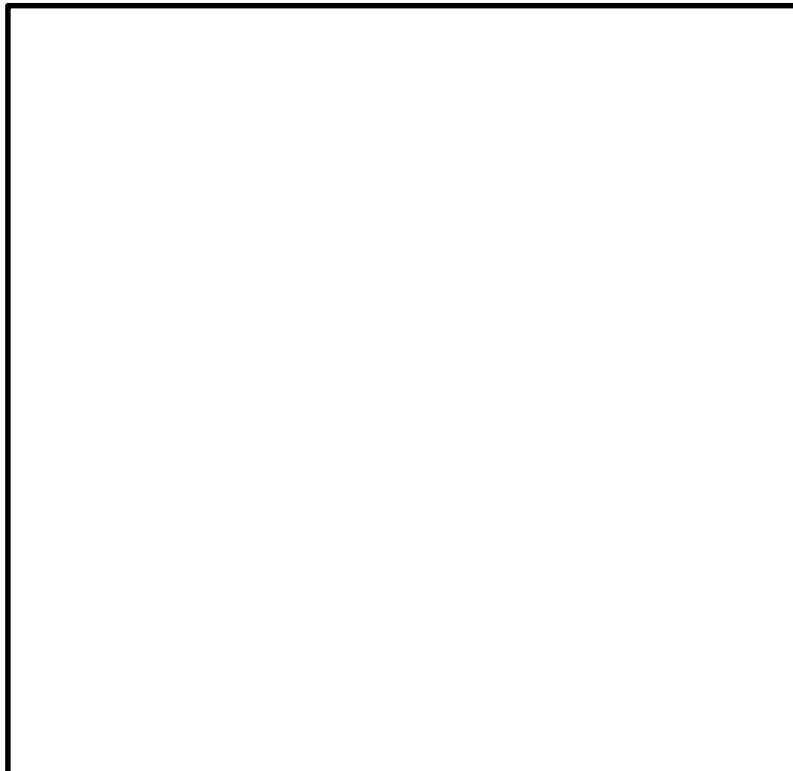


図 5-11 フランジとウェブの結合部 (単位 : mm)

b. 引張力

5.2.2(1)b. 表 5-5 より求めたフランジとウェブの結合部に加わる荷重を表 5-6 に示す。

表 5-6 フランジとウェブの結合部に加わる荷重

荷重 荷重の 組合せ	引張力 $F_1$ (N)
$D + P_D + M_D + S_s$	$F_1 =$ <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F_1 =$ <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>

c. フランジとウェブの結合部の応力

(a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_1}{A}$$

ここに,

A : 断面積 =

(b) 組合せ応力

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

### 5.2.3 上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部（応力評価点P8）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

各荷重により上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. 上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

上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 5-7 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。



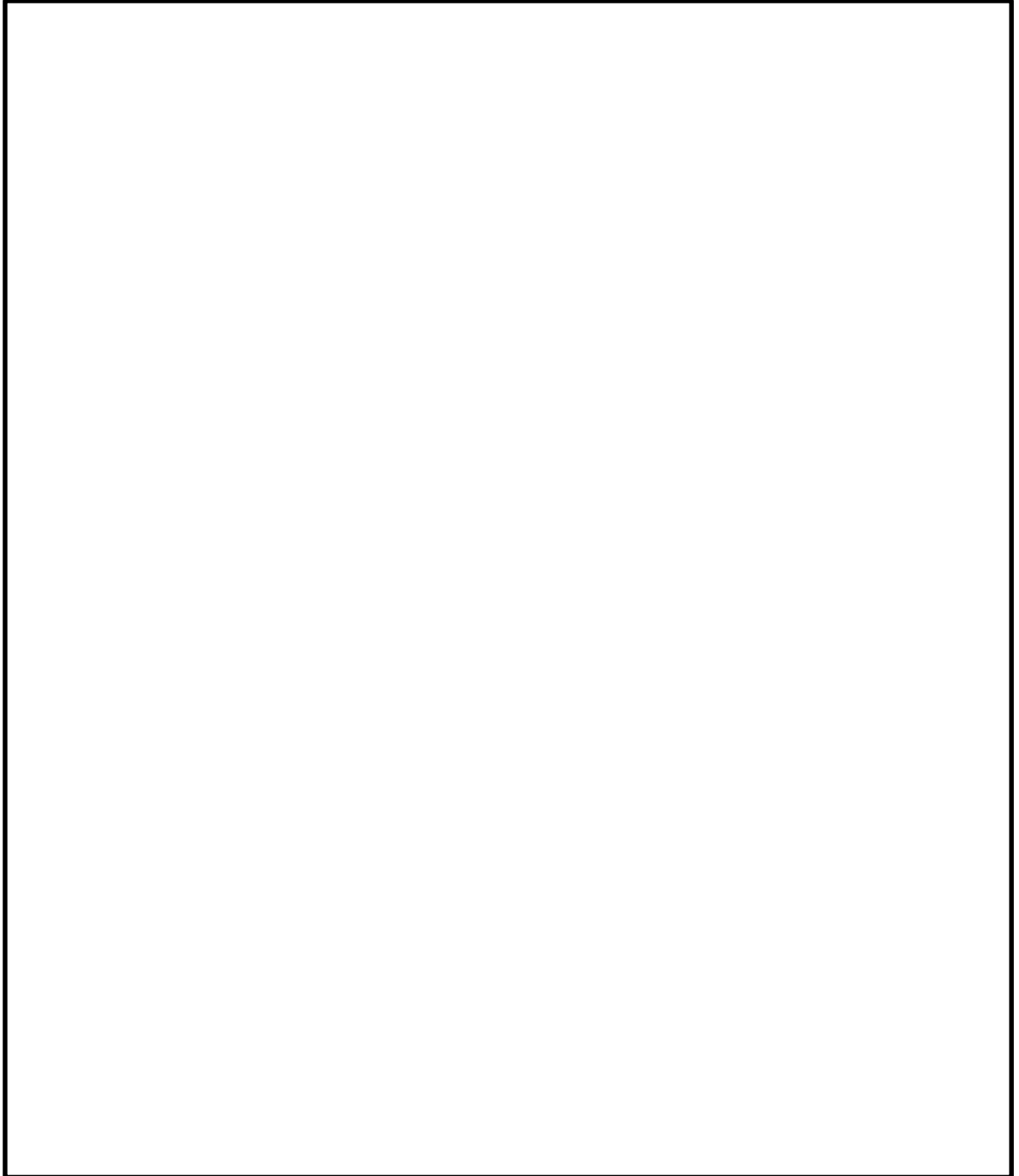


図 5-12 解析モデル

表 5-7 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	<input type="text"/> (SGV480相当)
温度条件	T	℃	66(ドライウェル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウェル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

## 6. 評価結果

上部シアラグ及びスタビライザ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。

また、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する疲労評価結果を表 6-2 に示す。

### (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 6-3 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 $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価を記載している。

また、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに対する疲労評価結果を表 6-4 に示す。

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		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力強さ	22	229	○	
			せん断応力強さ	54	132	○	
			組合せ応力強さ	96	229	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力強さ	52	229	○	
			せん断応力強さ	60	132	○	
			組合せ応力強さ	117	229	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力強さ	62	444	○	
			せん断応力強さ	52	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力強さ	8	264	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力強さ	205	264	○	
			せん断応力強さ	23	132	○	
			組合せ応力強さ	209	229	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力強さ	154	229	○	
			せん断応力強さ	60	132	○	
			組合せ応力強さ	186	229	○	
	P 7	フランジとウェブの結合部	引張応力強さ	124	229	○	
	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	96	344	○	
			一次+二次応力強さ	750	393	×*	
疲労評価			0.651	1	○		

注記 \* : P 8 の一次+二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-2 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> ' (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>	備考
P 8	750	2.00	1208	1208	1296	123	80	0.651	

K<sub>e</sub> : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S<sub>p</sub> : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S<sub>1</sub> : 繰返しピーク応力強さ

S<sub>1</sub>' : 補正繰返しピーク応力強さ\*

N<sub>a</sub> : 許容繰返し回数

N<sub>c</sub> : 地震時における繰返し回数

E<sub>o</sub> : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

注記 \* : S<sub>1</sub>に (E<sub>o</sub>/E) を乗じた値である

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa} \quad E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 6-3(1) 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		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力強さ	22	275	○	
			せん断応力強さ	54	158	○	
			組合せ応力強さ	96	275	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力強さ	52	275	○	
			せん断応力強さ	60	158	○	
			組合せ応力強さ	117	275	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力強さ	62	444	○	
			せん断応力強さ	52	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力強さ	8	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力強さ	205	317	○	
			せん断応力強さ	23	158	○	
			組合せ応力強さ	209	275	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力強さ	154	275	○	
			せん断応力強さ	60	158	○	
			組合せ応力強さ	186	275	○	
	P 7	フランジとウェブの結合部	引張応力強さ	124	275	○	
	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	114	380	○	
			一次+二次応力強さ	748	393	×*	
疲労評価			0.646	1	○		

注記 \* : P 8の一次+二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-3(2) 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		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力強さ	27	275	○	
			せん断応力強さ	68	158	○	
			組合せ応力強さ	121	275	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力強さ	65	275	○	
			せん断応力強さ	75	158	○	
			組合せ応力強さ	146	275	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力強さ	78	444	○	
			せん断応力強さ	65	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力強さ	10	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力強さ	254	317	○	
			せん断応力強さ	29	158	○	
			組合せ応力強さ	259	275	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力強さ	193	275	○	
			せん断応力強さ	75	158	○	
			組合せ応力強さ	233	275	○	
	P 7	フランジとウェブの結合部	引張応力強さ	155	275	○	
	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力強さ	144	380	○	
			一次+二次応力強さ	982	393	×*	
疲労評価			0.834	1	○		

注記 \* : P 8 の一次+二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 ( J S M E S N C 1 - 2005 ) P V B - 3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-4(1) 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S に対する疲労評価結果 (D + P<sub>L</sub> + M<sub>L</sub> + S<sub>d</sub>\*)

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> ' (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>	備考
P 8	748	2.00	1205	1205	1293	124	80	0.646	

K<sub>e</sub> : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S<sub>p</sub> : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S<sub>1</sub> : 繰返しピーク応力強さ

S<sub>1</sub>' : 補正繰返しピーク応力強さ\*

N<sub>a</sub> : 許容繰返し回数

N<sub>c</sub> : 地震時における繰返し回数

E<sub>o</sub> : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

注記 \* : S<sub>1</sub>に (E<sub>o</sub>/E) を乗じた値である

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa} \quad E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表 6-4(2) 許容応力状態IV<sub>A</sub>Sに対する疲労評価結果 (D+P+M+S<sub>s</sub>)

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> (MPa)	S <sub>1</sub> ' (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>	備考
P 8	982	2.26	1582	1788	1918	48	40	0.834	

K<sub>e</sub> : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S<sub>p</sub> : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S<sub>1</sub> : 繰返しピーク応力強さ

S<sub>1</sub>' : 補正繰返しピーク応力強さ\*

N<sub>a</sub> : 許容繰返し回数

N<sub>c</sub> : 地震時における繰返し回数

E<sub>o</sub> : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

注記 \* : S<sub>1</sub>に (E<sub>o</sub>/E) を乗じた値である

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa} \quad E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$