

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1
提出年月日	平成30年8月9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. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	6
4.1 設計荷重	6
4.2 材料及び許容応力	9
5. 応力計算	13
5.1 応力評価点	13
5.2 計算方針	14
6. 評価結果	28

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。その耐震評価は上部シアラグ及びスタビライザの地震応答解析、応力評価により行う。

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既設のSクラス施設に分類され、以下、基準地震動の策定に伴う耐震評価を行う。

2. 構造説明

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
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>・ドライウェ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>	

2.2 評価方針

- (1) 上部シアラグ及びスタビライザの応力評価は、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は、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。
- (2) 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MSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 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。

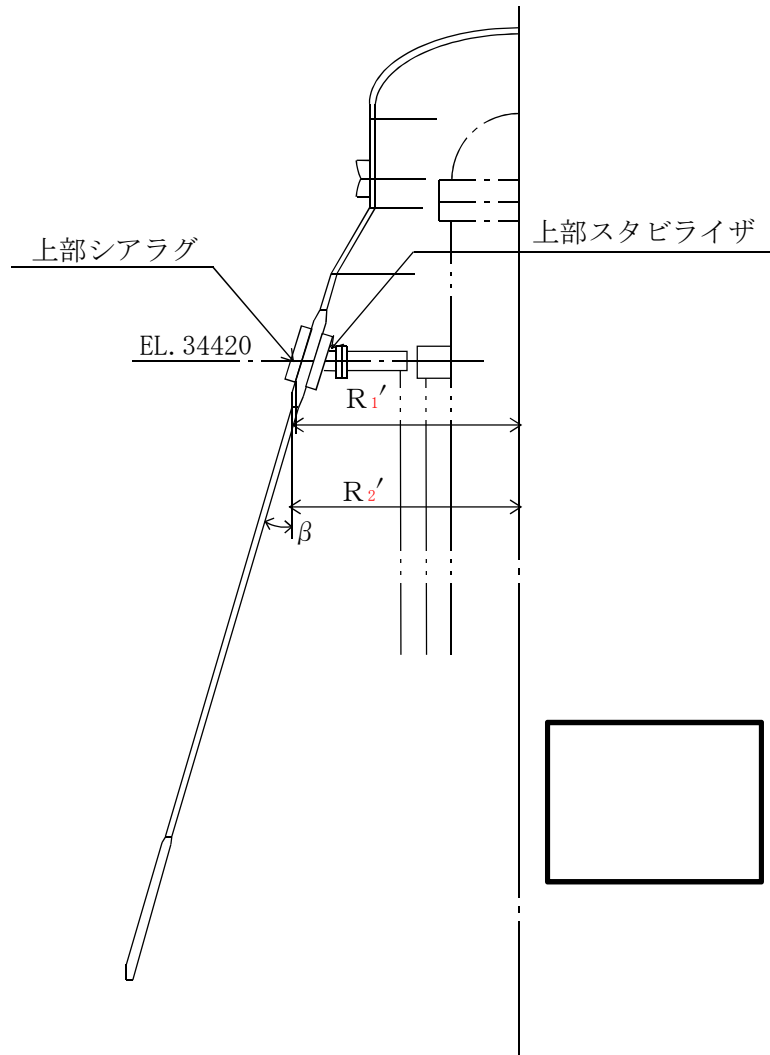


図3-1 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法（単位：mm）

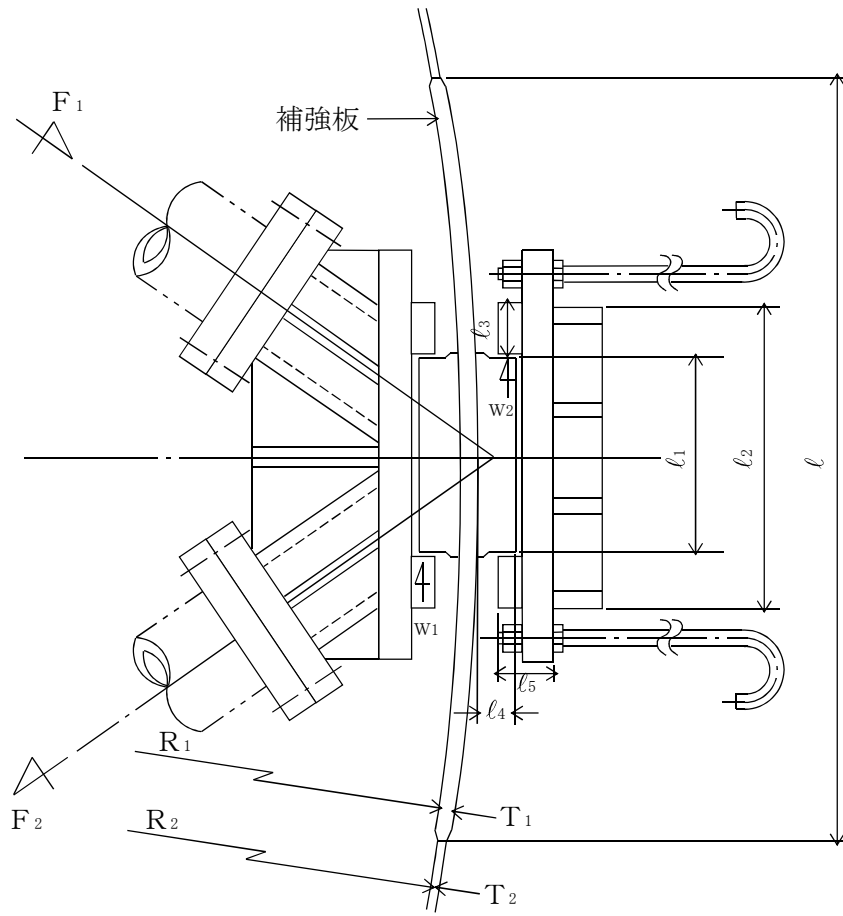


図 3-2 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(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. 圧力容器本体及び原子炉遮蔽壁からの地震荷重

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、圧力容器本体及び原子炉遮蔽壁からの弾性設計用地震動 S_d 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、

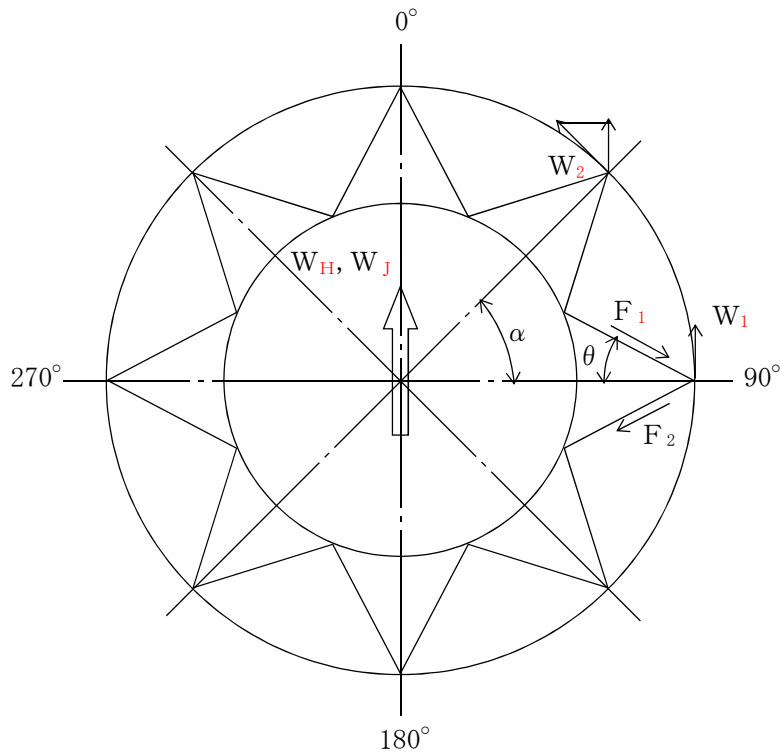


図 4-1 荷重の分配

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

b. 格納容器及び原子炉建屋からの地震荷重

格納容器及び原子炉建屋からの弾性設計用地震動 S_d 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}		
$W_{ISO} = \frac{1}{4} W_{HO}$		
$F_{ISO} = \frac{W_{ISO}}{2 \times \sin \theta}$		

(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圧力容器本体及び原子炉遮蔽壁から水平地震荷重、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 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 _s	D + P _D + M _D + S _d *
シアラグ		
スタビライザ		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-3 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		SCM435	(SGV480 相当)
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	

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う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 4-4 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、上部シアラグ取付部の評価に用いるものを表 4-7 に、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 4-8 に示す。

表4-4 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 _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
原子炉本体	原子炉圧力容器 附属構造物	原子炉格納容器 スタビライザ	S	—	$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
原子炉格納施設	原子炉格納容器	上部シアラグと格納容器胴との接合部	S	クラスMC容器	$D + P + M + S_{d^*}$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_{d^*}$	Ⅳ _A S

表4-5 許容限界 (クラスMC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 _A S	S _y と0.6・S _u 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 _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S _d 又はS _s 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。	0.6・S	S _y (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u 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 _u 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 _u	S _u (1.5・S _u)

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_mはSと読み替える。）の弾塑性解析を用いる。

表4-6 許容限界（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2, *3}				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
Ⅲ _A S	1.5 f t	1.5 f s	1.5 f c	1.5 f b	1.5 f p
Ⅳ _A S	1.5 f t [*]	1.5 f s [*]	1.5 f c [*]	1.5 f b [*]	1.5 f p [*]

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：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：「鋼構造設計基準 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。

表4-7 上部シアラグ取付部の許容応力

(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 相当)	III _A S	—	344	393
	IV _A S	—	380	393

表4-8 上部シアラグ及びスタビライザの許容応力

(単位：MPa)

材料	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 相当)	III _A S	229	229	229 (264)*	132	229
	IV _A S	275	275	275 (317)*	158	275
SCM435	III _A S	592	444	—	342	—
	IV _A 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。

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形状及び応力レベルを考慮して設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取付部
P 8	上部シアラグと格納容器胴との接合部

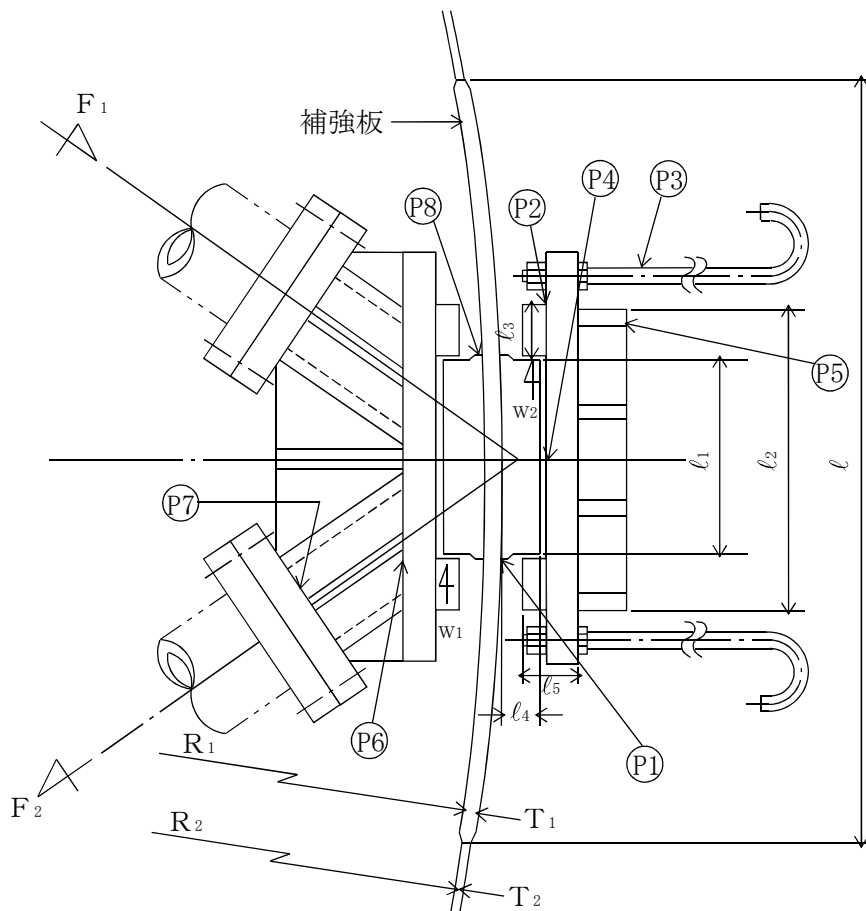


図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 上部シアラグ

(1) メールシアラグ

a. 寸法

メールシアラグの寸法を図5-2に示す。

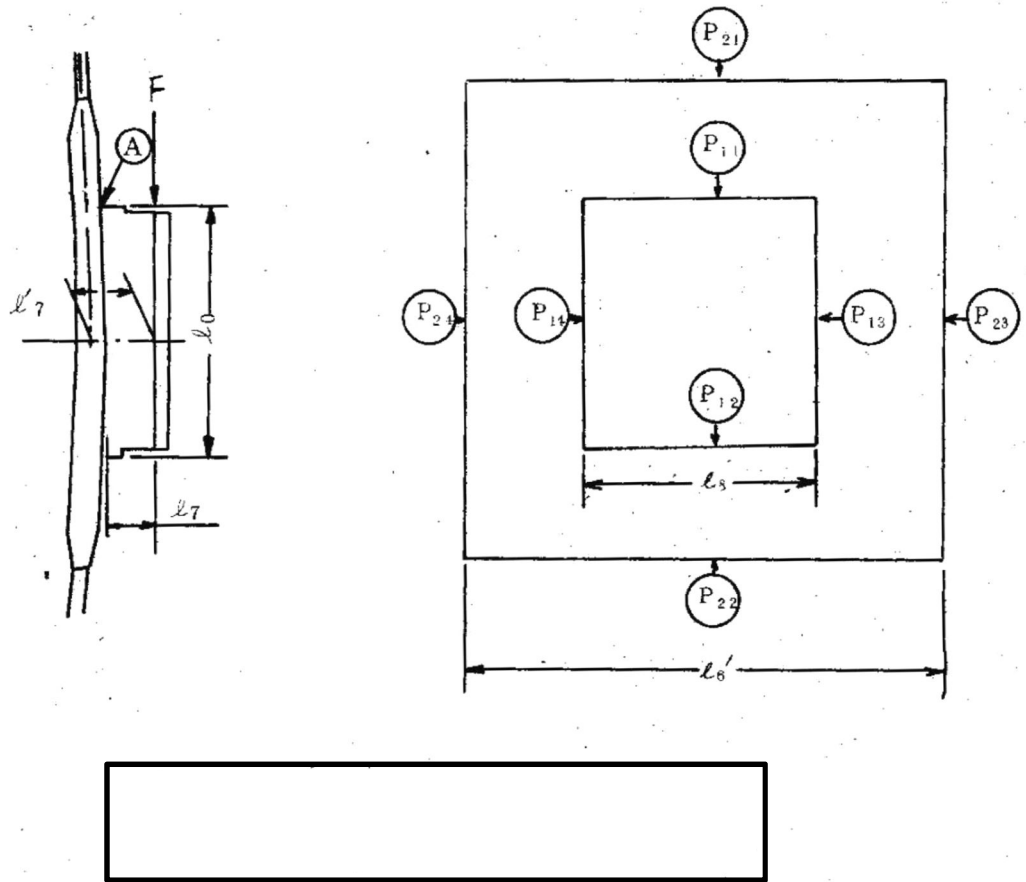


図5-2 メールシアラグ (単位: mm)

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 _s	F = <input type="text"/>	M = F · l ₇ = <input type="text"/> l ₇ = <input type="text"/>
D + P _D + M _D + S _d *	F = W = <input type="text"/>	M = F · l ₇ = <input type="text"/> l ₇ = <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。

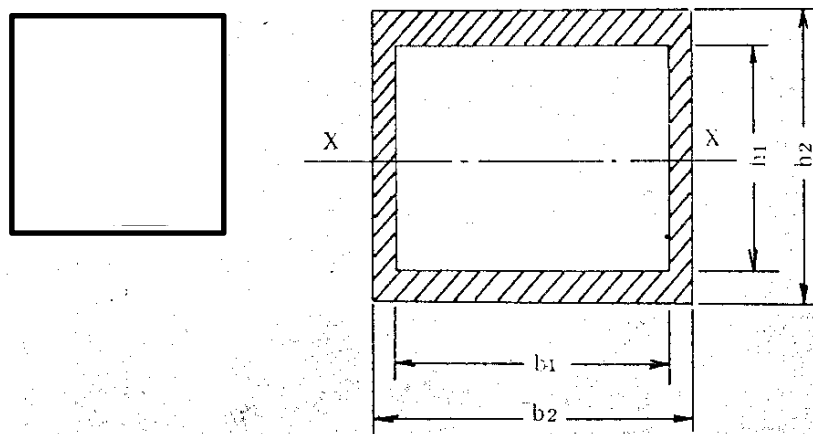


図 5-3 ①溶接部の断面 (単位: mm)

(b) せん断応力

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

ここに,

A_w: 断面積 = mm²

(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 = mm³

(d) 組合せ応力

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

(2) フィメイルシアラグ

a. 寸法

フィメイルシアラグの寸法を図5-4に示す。

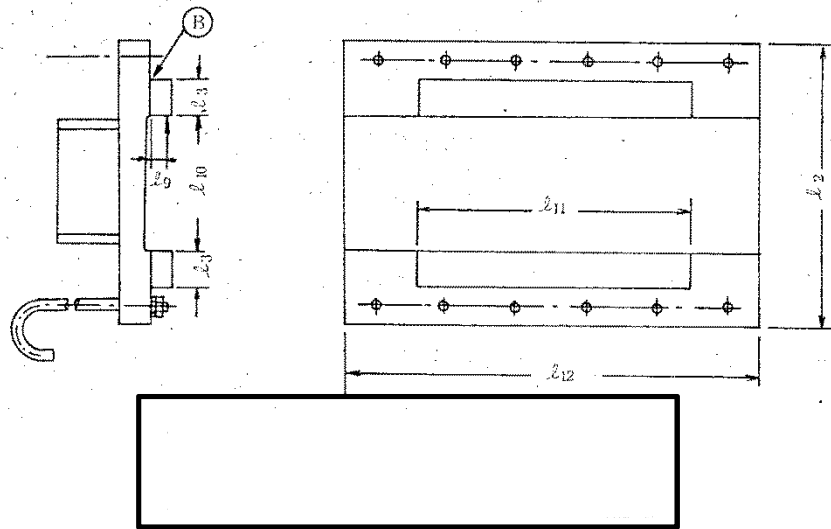


図5-4 フィメイルシアラグ (単位: mm)

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

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。

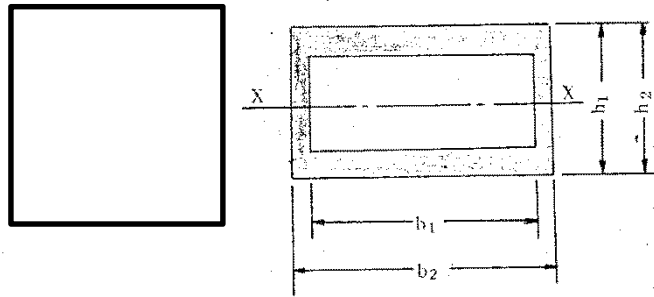


図5-5 点Bの溶接部の断面 (単位: mm)

(b) せん断応力

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

ここに,

A_w : 断面積 = $\boxed{}$ mm²

(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 = mm³

(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

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。

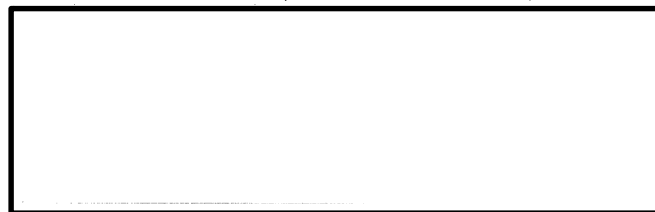
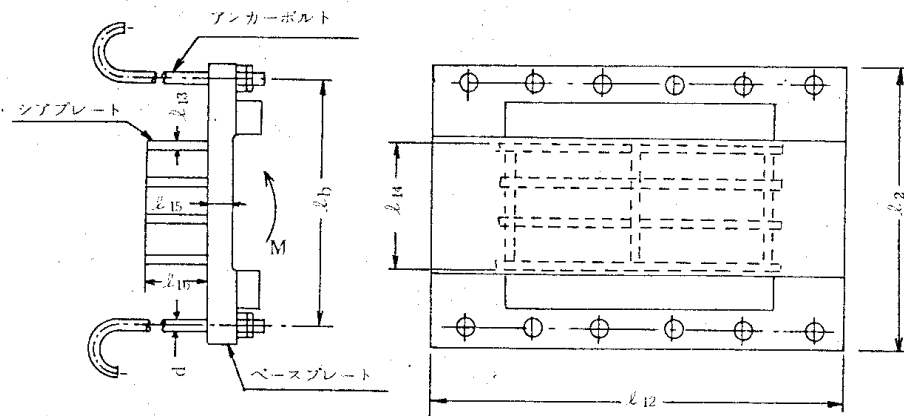


図5-6 ベースプレート及びアンカープレート (単位: mm)

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

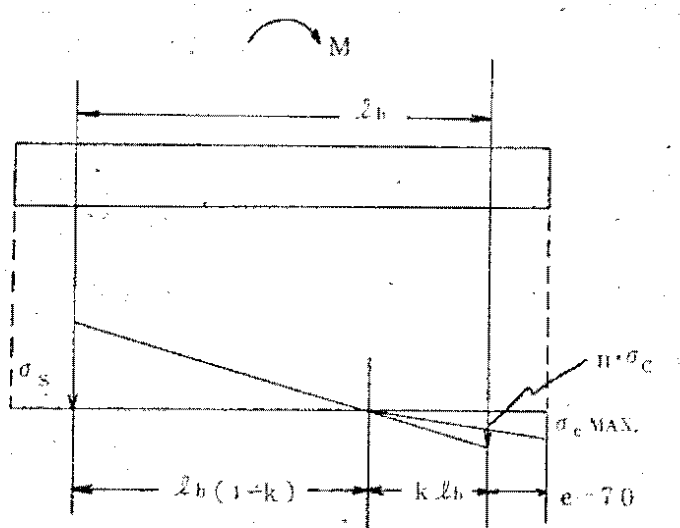
イ. アンカーボルトを鉄筋とするベースプレートの形状の断面をもつ鉄筋コンクリート柱として計算する。

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



上図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 σ_s 及びボルトの下のコンクリート圧縮応力 σ_c を求める。

・力の釣合い

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

・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 $= \square \text{ mm}^2$

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 $= \square$

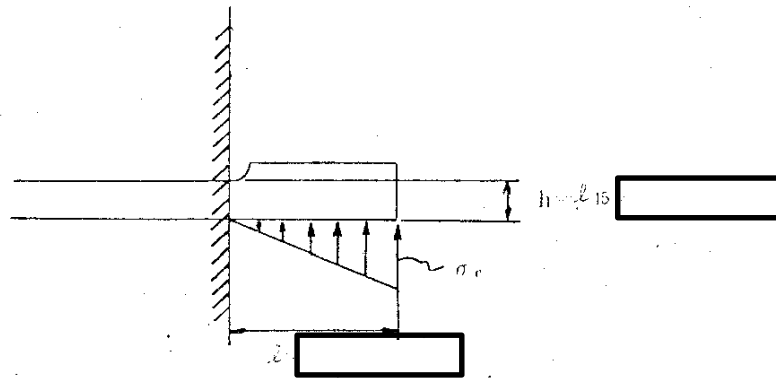
N_P : シアプレート数 $= \square$

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,

$$Z : \text{断面係数} = \boxed{} \text{ mm}^3/\text{mm}$$

- e. シアプレート

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 5-7 に示す。

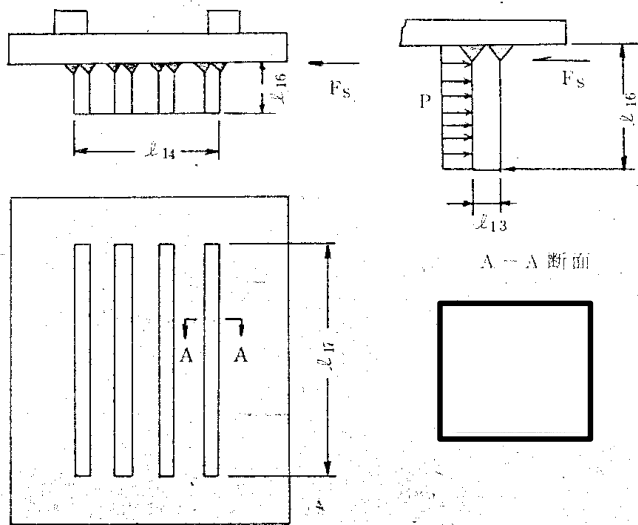


図 5-7 シアプレート (単位 : mm)

(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,

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

ロ. 曲げ応力

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

ここに,

$$Z = \boxed{} \text{ mm}^3$$

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

(1) ウェブ

a. 寸法

ウェブの寸法を図 5-8 に示す。

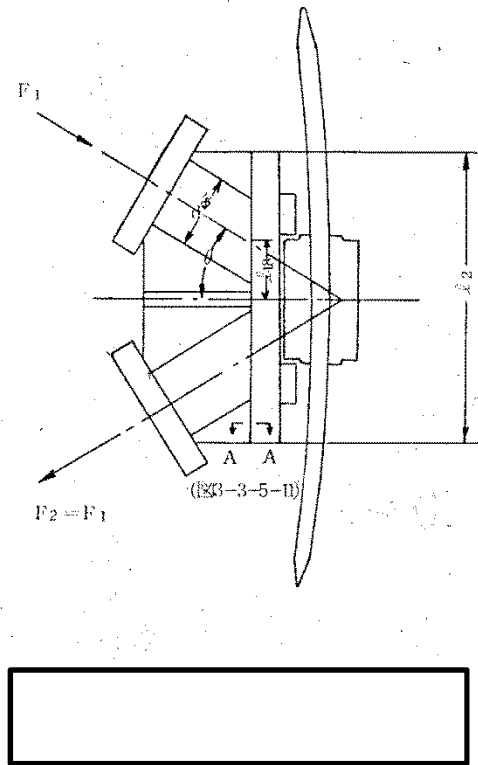


図 5-8 ウェブの寸法 (単位 : mm)

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 mm 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 mm² 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 = mm²

(b) 曲げ応力

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

ここに、

Z : 断面係数 = mm³

(c) 組合せ応力

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

(2) フランジとウェブの取付部

a. 寸法

フランジとウェブの取付部の寸法を図 5-9 に示す。

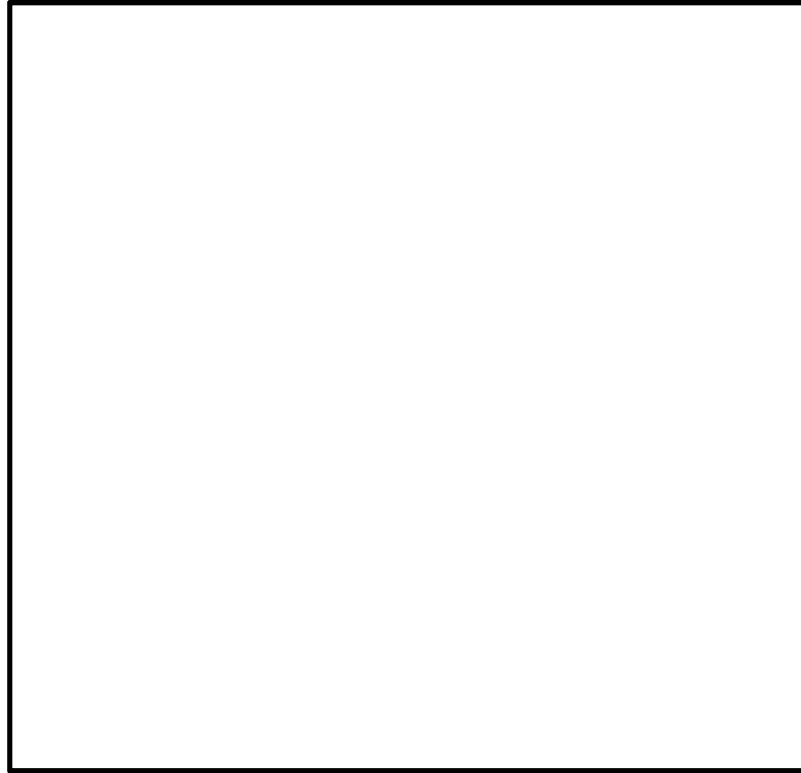


図 5-9 フランジとウェブの取付部 (単位 : mm)

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取付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取付部に加わる荷重

荷重の 組合せ	荷重	引張力 F_1 (N)
	$D + P_D + M_D + S_s$	$F_1 =$ <input type="text"/>
	$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	$F_1 =$ <input type="text"/>

c. フランジとウェブの取付部の応力

(a) 引張応力

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

ここに,

A : 断面積 = mm²

(b) 組合せ応力

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

5.2.3 上部シアラグと格納容器胴との接合部

各荷重により上部シアラグと格納容器胴との接合部に生じる応力は、解析コードM S C N A S T R A Nを使用して計算する。上部シアラグと格納容器胴との接合部の計算モデルを図5-10に示す。

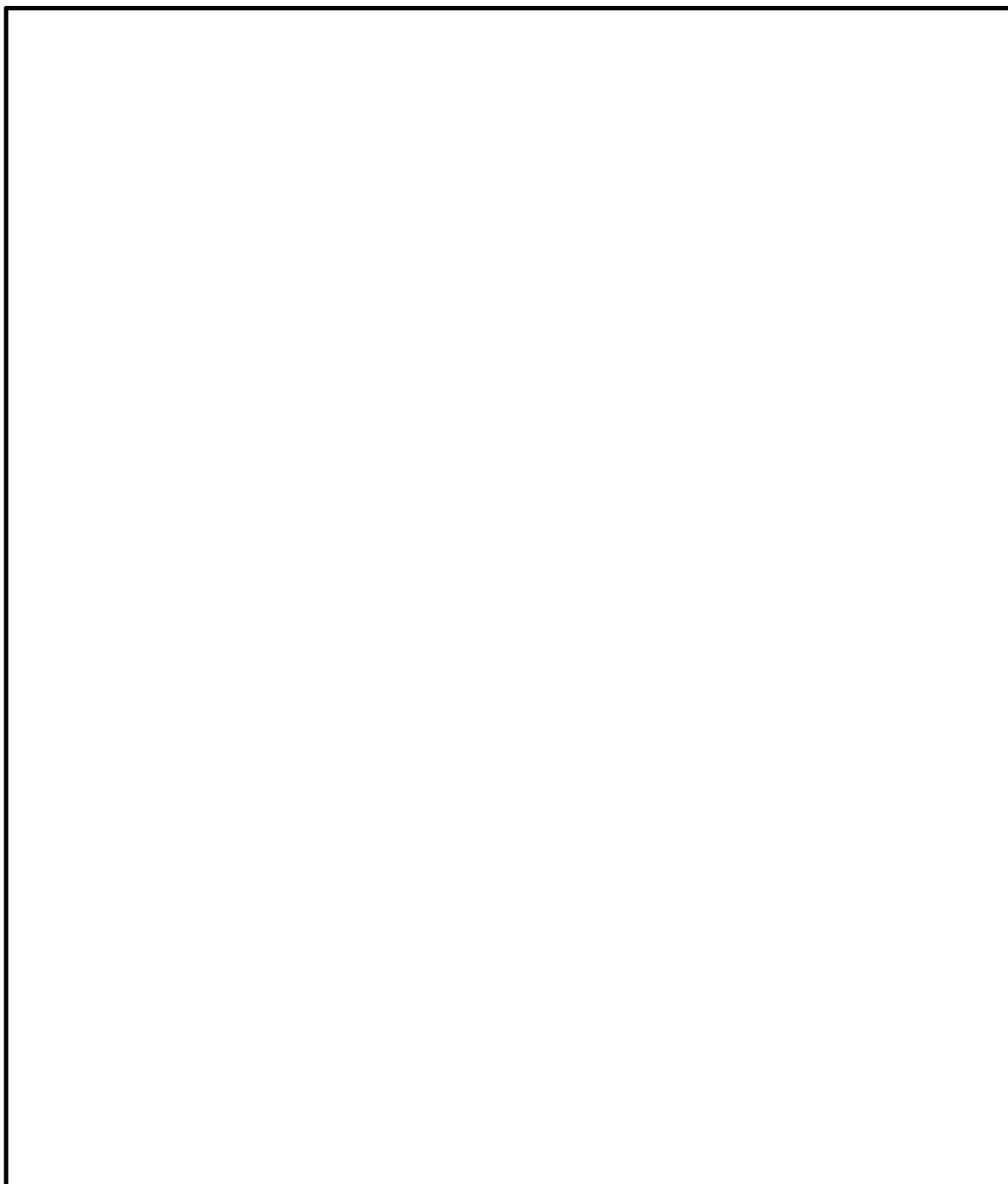


図5-10 計算モデル

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。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表6-1に示す。

表4-4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、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表6-2に示す。

表4-4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。

表 6-1 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s 又はD + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				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	27	275	○	
			せん断応力	68	158	○	
			組合せ応力	121	275	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力	65	275	○	
			せん断応力	75	158	○	
			組合せ応力	146	275	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力	78	444	○	
			せん断応力	65	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	10	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	254	317	○	
			せん断応力	29	158	○	
			組合せ応力	259	275	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力	193	275	○	
			せん断応力	75	158	○	
			組合せ応力	233	275	○	
	P 7	フランジとウェブの取付部	引張応力	155	275	○	
P 8	上部シアラグと 格納容器胴との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	144	380	○		
		一次+二次応力	982	393	×*		
		疲労評価	0.834	1	○		

注記 * : P 8の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 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_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				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	22	229	○	
			せん断応力	54	132	○	
			組合せ応力	96	229	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力	52	229	○	
			せん断応力	60	132	○	
			組合せ応力	117	229	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力	62	444	○	
			せん断応力	52	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	8	264	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	205	264	○	
			せん断応力	23	132	○	
			組合せ応力	209	229	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力	154	229	○	
			せん断応力	60	132	○	
			組合せ応力	186	229	○	
	P 7	フランジとウェブの取付部	引張応力	124	229	○	
P 8	上部シアラグと 格納容器胴との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	96	344	○		
		一次+二次応力	750	393	×*		
		疲労評価	0.651	1	○		

注記 * : P 8 の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 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。