

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-702 改8
提出年月日	平成30年9月13日

V-2-9-2-6 機器搬入用ハッチ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	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	8
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	31

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、機器搬入用ハッチ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。

機器搬入用ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての**構造強度評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

機器搬入用ハッチの構造計画を表 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>・機器搬入用ハッチは原子炉格納容器のドライウエル円錐部に溶接で支持される</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の鏡板で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>機器搬入用ハッチ 拡大図</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

機器搬入用ハッチの応力評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す機器搬入用ハッチの部位を踏まえた「3 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界に収まることを、「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。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

機器搬出入用ハッチの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

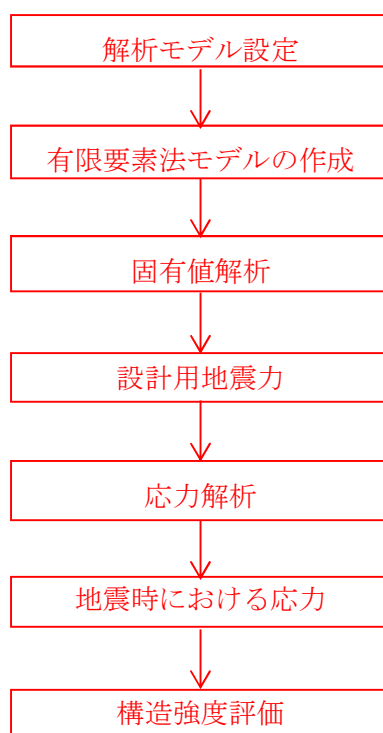


図 2-1 機器搬入用ハッチの耐震評価フロー

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。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
d_i	各部位の直径 ($i=1, 2$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	各部位の長さ ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
m_0	質量	kg
P_D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P_{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P_{SAL}	圧力 (SA後長期内圧)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期内圧)	kPa
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
R_{in}	各部位の半径, 長さ ($n=0, 1, 2$)	mm
R_h	鏡板の半径, 長さ	mm
S	材料の許容引張応力	MPa
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	—
S_p	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	MPa
S_l	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_l'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	°C
T_D	最高使用温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
t_i	各部位の板厚 ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
ν	ポアソン比	—
θ	角度	°

2.5 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

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
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
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

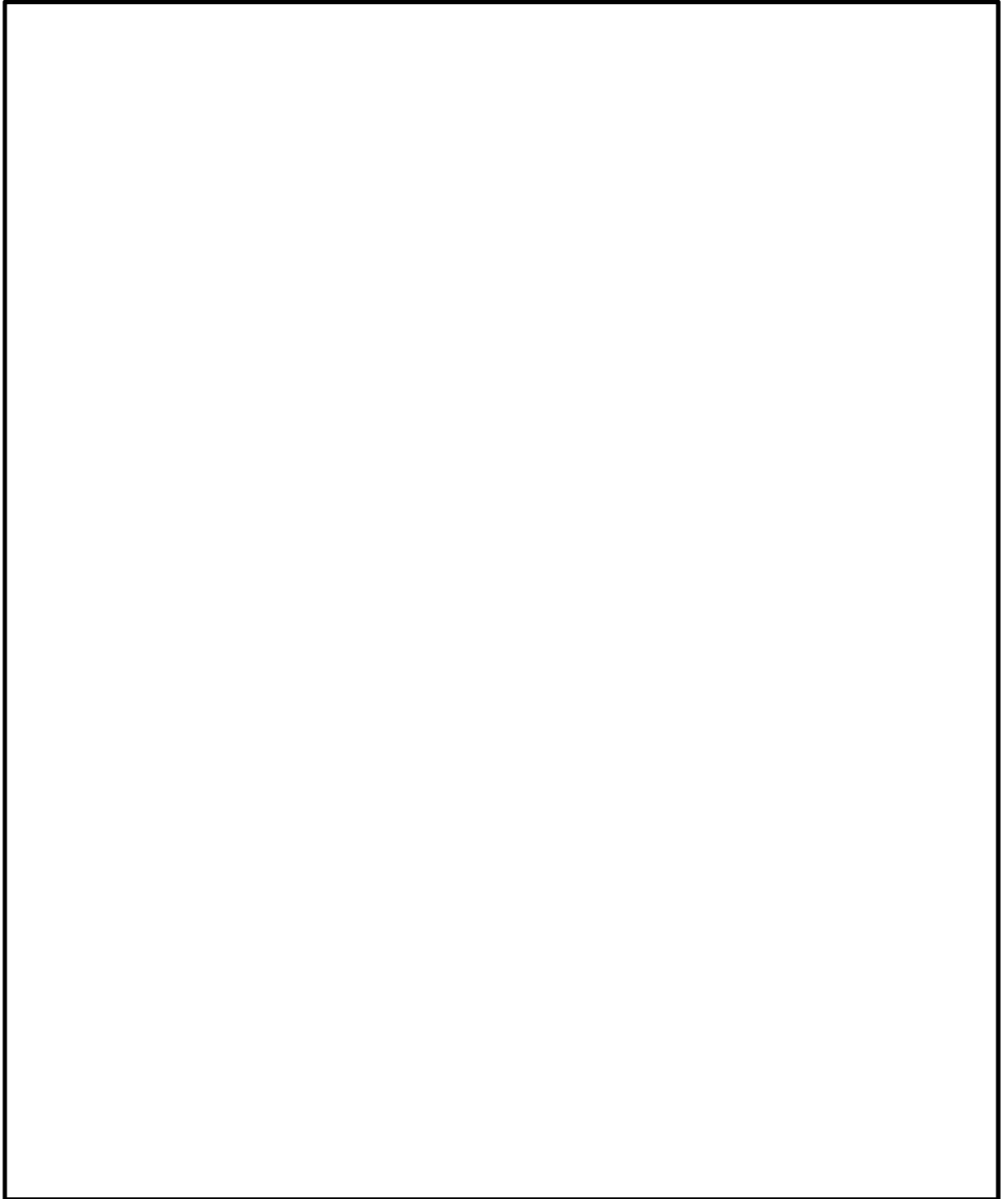


図 3-1 機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウエル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

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) 機器搬入用ハッチは、原子炉格納容器のドライウエル円錐部に支持される構造物である。
機器搬入用ハッチに作用する地震力は、機器搬入用ハッチのドライウエル円錐部への取り付け方向を考慮し、機器搬入用ハッチに対して軸方向及び軸直角方向（水平、鉛直）に作用するものとし、固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。機器搬入用ハッチの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容限界

機器搬入用ハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。表で使用される記号は添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従うものとする。

詳細な荷重の組合せは、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。

4.2.2 許容限界

機器搬入用ハッチの許容限界を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

機器搬入用ハッチの許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

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
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入用ハッチ	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

注記 *：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入用ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*2}$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 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 _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。	*4*5 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 *6 (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 *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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比又は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4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	-

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	150	131	232	424	-
		周囲環境 温度	171	131	229	423	-

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（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 _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	253	380	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかたため、評価結果の記載については省略する。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（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	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかたため、評価結果の記載については省略する。

4.2.4 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_{DO}	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) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (S A後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (S A後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (S A後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (S A後長々期)

(4) 死荷重

a. 機器搬入用ハッチの自重 N (補強板重量含む)

b. ドライウエルの自重

機器搬入用ハッチより上部の原子炉格納容器の自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(5) 活荷重

a. 床に加わる荷重 N

b. ドライウエルの荷重

機器搬入用ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(6) 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器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」において計算された計算結果を用いる。原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。「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のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重* ¹	地震荷重		鉛直荷重* ²	地震荷重	
	S _d *	S _s		S _d *	S _s

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

重大事故等時		
鉛直荷重*	地震荷重	
	S _d	S _s

注記 *：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S _d 又は 静的地震力による地震荷重		基準地震動 S _s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S _d による地震荷重		基準地震動 S _s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 解析モデル及び諸元

機器搬入用ハッチの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-12 に示す。

- (1) 機器搬入用ハッチをシェルモデルにてモデル化する。また、機器搬入用ハッチが取り付けられる原子炉格納容器胴板もシェル要素でモデル化する。
- (2) 機器搬入用ハッチの質量は、シェルモデルに付加する。
- (3) 拘束条件は、原子炉格納容器本体の上端及び下端の全周を完全拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び応力を求める。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、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。

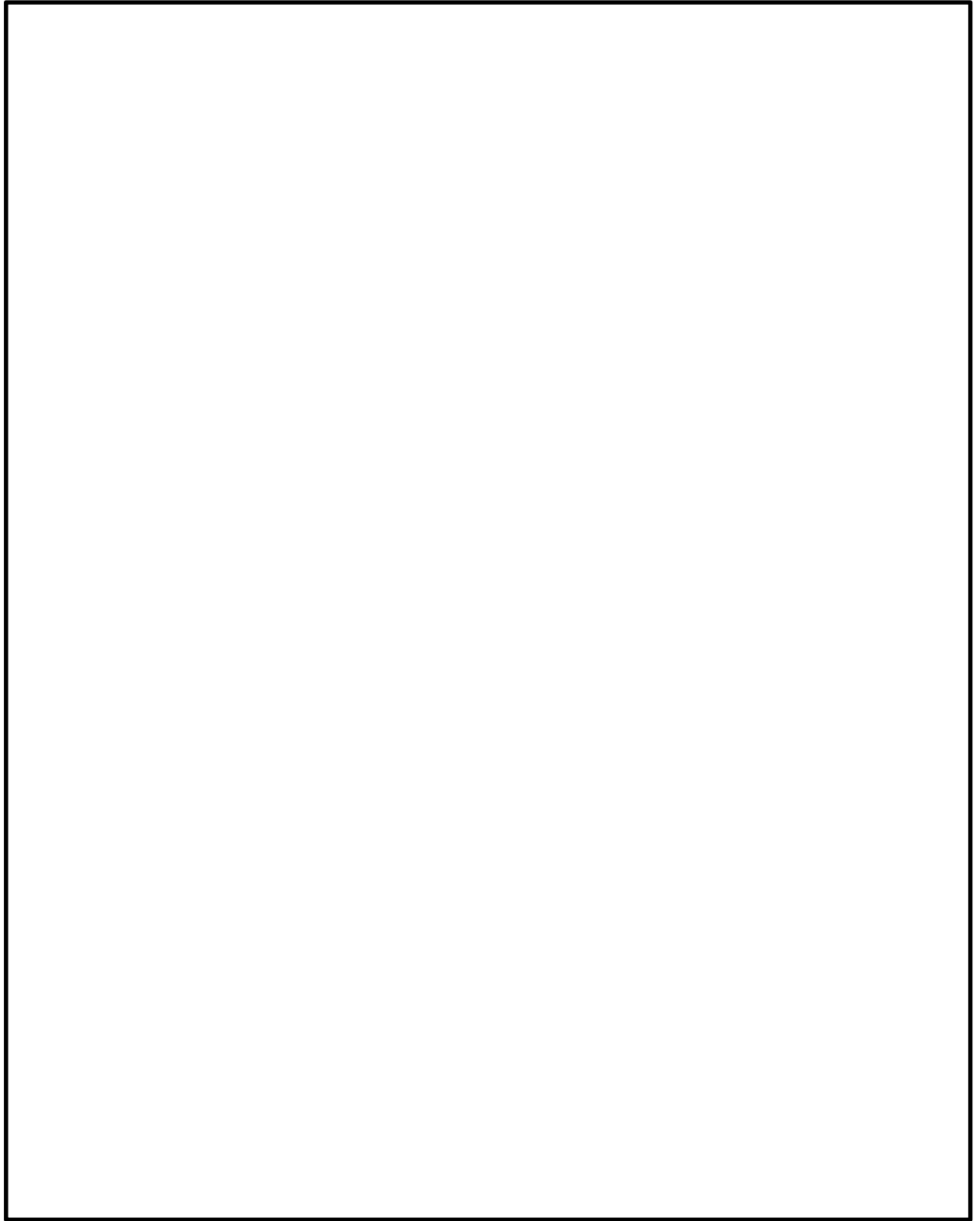


図 4-1 機器搬入用ハッチ解析モデル

表 4-12 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
温度条件	T	℃	66 (ドライウエル) 32 (サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000 (ドライウエル) 202000 (サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-13 に振動モード図を図 4-2 に示す。

表 4-13 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1次		水平方向(周方向)			
2次		水平方向(径方向)			
3次		鉛直方向			
4次		水平方向(周方向)			

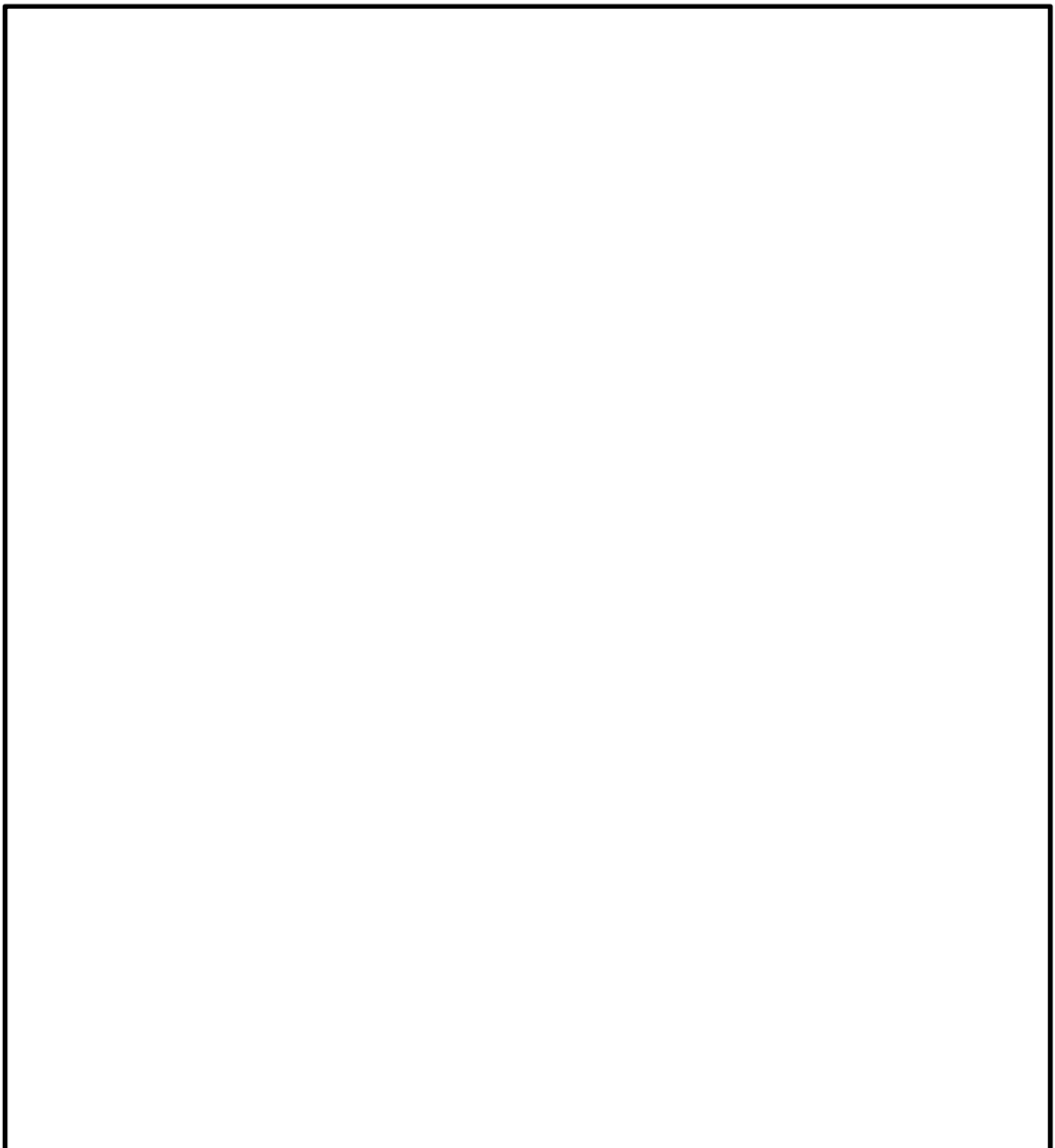


図 4-2 振動モード図

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-14 及び表 4-15 に示す。

「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 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
格納容器 []	[]	[]	$C_H=0.65$ 又は*3	$C_V=0.49$ 又は*3	$C_H=1.05$ 又は*4	$C_V=0.93$ 又は*4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*3：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-15 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
格納容器 []	[]	[]	$C_H=0.65$ 又は*3	$C_V=0.49$ 又は*3	$C_H=1.05$ 又は*4	$C_V=0.93$ 又は*4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*3：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

機器搬入用ハッチの応力評価点は、機器搬入用ハッチ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表 4-16 及び図 4-3 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	円筒胴と補強板との結合部 (P 1 - 1 ~ P 1 - 3)
P 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部 (P 2 - 1 ~ P 2 - 3)

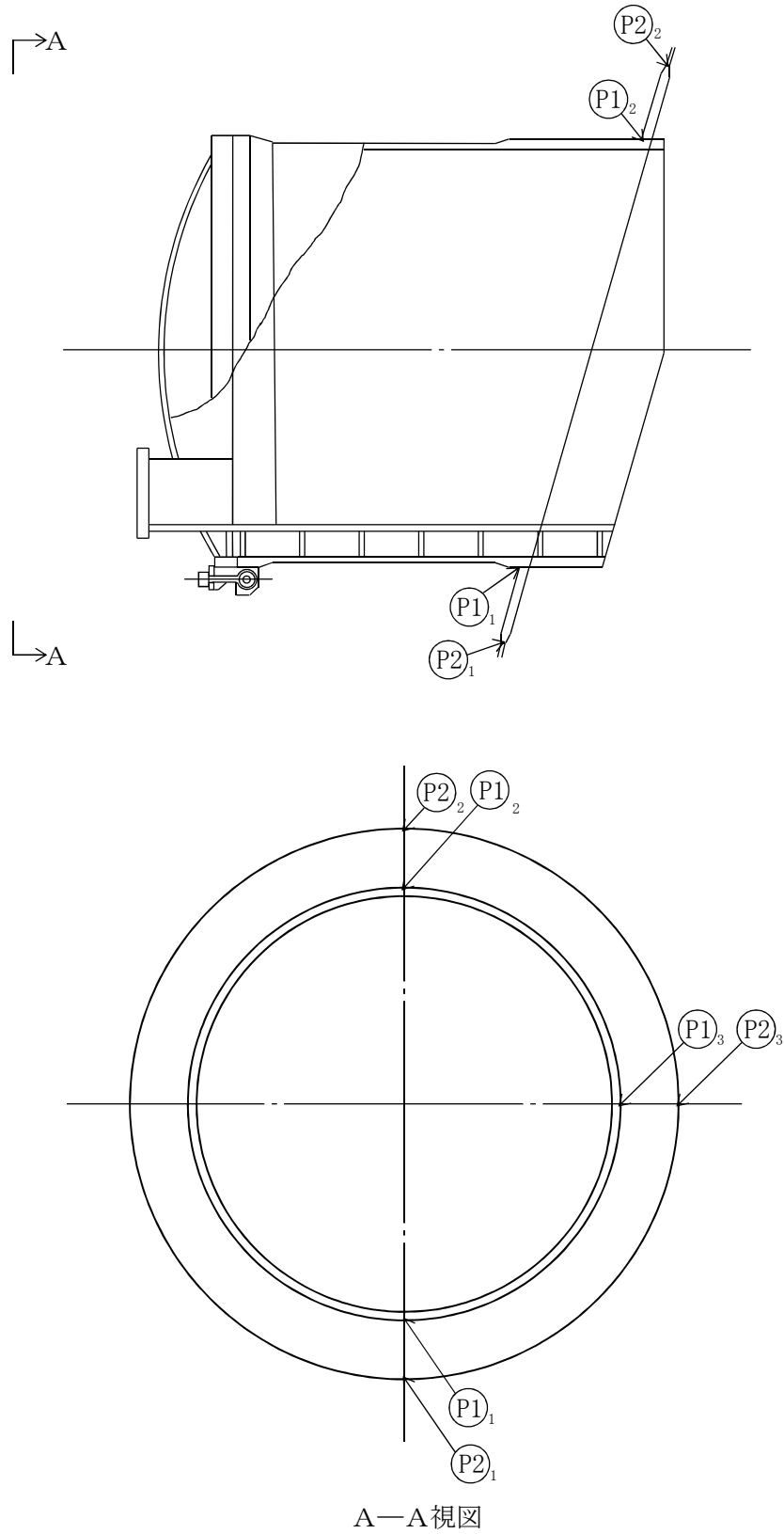


図 4-3 機器搬入用ハッチの応力評価点

4.6.2 応力計算方法

機器搬入用ハッチの表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、図 4-1 の解析モデルを用いて算出した応力と原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせるにより算出する。

応力計算方法について、以下に示す。

4.6.2.1 円筒胴と補強板との結合部及びドライウエル円錐胴と補強板との結合部（応力評価点 P 1 及び P 2）

(1) 機器搬入用ハッチに作用する荷重による応力

機器搬入用ハッチに作用する死荷重，地震荷重による応力は，図 4-1 に示す機器搬入用ハッチの解析モデルを用いて算出する。地震荷重による応力は，機器搬入用ハッチの質量を等分布に付加し，4.5 項に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する圧力，死荷重及び地震荷重による応力は，添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は，4.2.4 (6) 項に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は，(1)で求めた機器搬入用ハッチに作用する荷重による応力と，(2)で求めた原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 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MSC NASTRAN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。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，4.2 項 荷重の組合せ及び許容限界に示す。

4.8 応力の評価

4.6 項で求めた応力は表 4-6 及び表 4-7 に記載される値以下であることを示す。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

機器搬入用ハッチの設計基準対象施設として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_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 5-1 及び疲労評価結果を表 5-2 に示す。表 4-1 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_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 5-3 及び疲労評価結果を表 5-4 に示す。表 4-1 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 5-1 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	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	53	344	○	
			一次+二次応力強さ	198	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	51	344	○	
			一次+二次応力強さ	128	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	72	344	○	
			一次+二次応力強さ	272	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	71	344	○	
			一次+二次応力強さ	184	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	49	344	○	
			一次+二次応力強さ	98	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	62	344	○	
			一次+二次応力強さ	424	393	×*	
			疲労評価	0.032	1	○	単位なし

注記 * : P 2 - 3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 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 5-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P 2 - 3	424							0.064	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である。

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

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

表 5-3(1) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (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	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	113	380	○	
			一次+二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	115	380	○	
			一次+二次応力強さ	88	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	105	380	○	
			一次+二次応力強さ	144	393	○	
	P 2 - 1	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	108	380	○	
			一次+二次応力強さ	112	393	○	
	P 2 - 2	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	113	380	○	
			一次+二次応力強さ	66	393	○	
	P 2 - 3	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	112	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	85	380	○	
			一次+二次応力強さ	362	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	87	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	118	380	○	
			一次+二次応力強さ	462	393	×*	
			疲労評価	0.392	1	○	単位なし
	P 2 - 1	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	116	380	○	
			一次+二次応力強さ	336	393	○	
	P 2 - 2	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	84	380	○	
			一次+二次応力強さ	178	393	○	
	P 2 - 3	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	102	380	○	
			一次+二次応力強さ	718	393	×*	
			疲労評価	0.570	1	○	単位なし

注記 * : P 1 - 3 及び P 2 - 3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 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 5-4 許容応力状態Ⅳ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P 1 - 3	462							0.392	
P 2 - 3	718							0.570	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である。

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

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬入用ハッチの重大事故等対処設備として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 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-5 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について記載している。

表 5-5(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV_{AS}		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	194	380	○	
			一次+二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	196	380	○	
			一次+二次応力強さ	88	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	185	380	○	
			一次+二次応力強さ	144	393	○	
	P 2 - 1	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	189	380	○	
			一次+二次応力強さ	112	393	○	
	P 2 - 2	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	194	380	○	
			一次+二次応力強さ	66	393	○	
	P 2 - 3	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	193	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	

表 5-5(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _{AS}		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	109	380	○	
			一次+二次応力強さ	228	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	110	380	○	
			一次+二次応力強さ	162	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	111	380	○	
			一次+二次応力強さ	254	393	○	
	P 2 - 1	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	107	380	○	
			一次+二次応力強さ	214	393	○	
	P 2 - 2	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	102	380	○	
			一次+二次応力強さ	128	393	○	
	P 2 - 3	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜応力強さ+曲げ応力強さ	101	380	○	
			一次+二次応力強さ	390	393	○	