

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-00--%改02
提出年月日	2023年4月*日

VI-2-9-2-12 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-9-2-12 R0

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 地震応答解析モデル及び諸元	13
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32

## 1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び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、電気配線貫通部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。

本計算書では、地震による荷重が大きくなる X-100A～D を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

電気配線貫通部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

電気配線貫通部の構造計画を表 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>電気配線貫通部はドライウエルに支持される。</p> <p>電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>電気配線貫通部は円筒形スリーブ、アダプタ及びフランジで構成され、両端部に内側接続箱と外側接続箱を有する鋼製構造物である。水平方向の振れ止めのため、サポートを設置している。なお、ドライウエルの熱伸びによる鉛直方向変位を考慮し、サポートは水平方向のみ拘束する。</p>	

## 2.2 評価方針

電気配線貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び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限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「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。

電気配線貫通部の耐震評価フローを図2-1に示す。

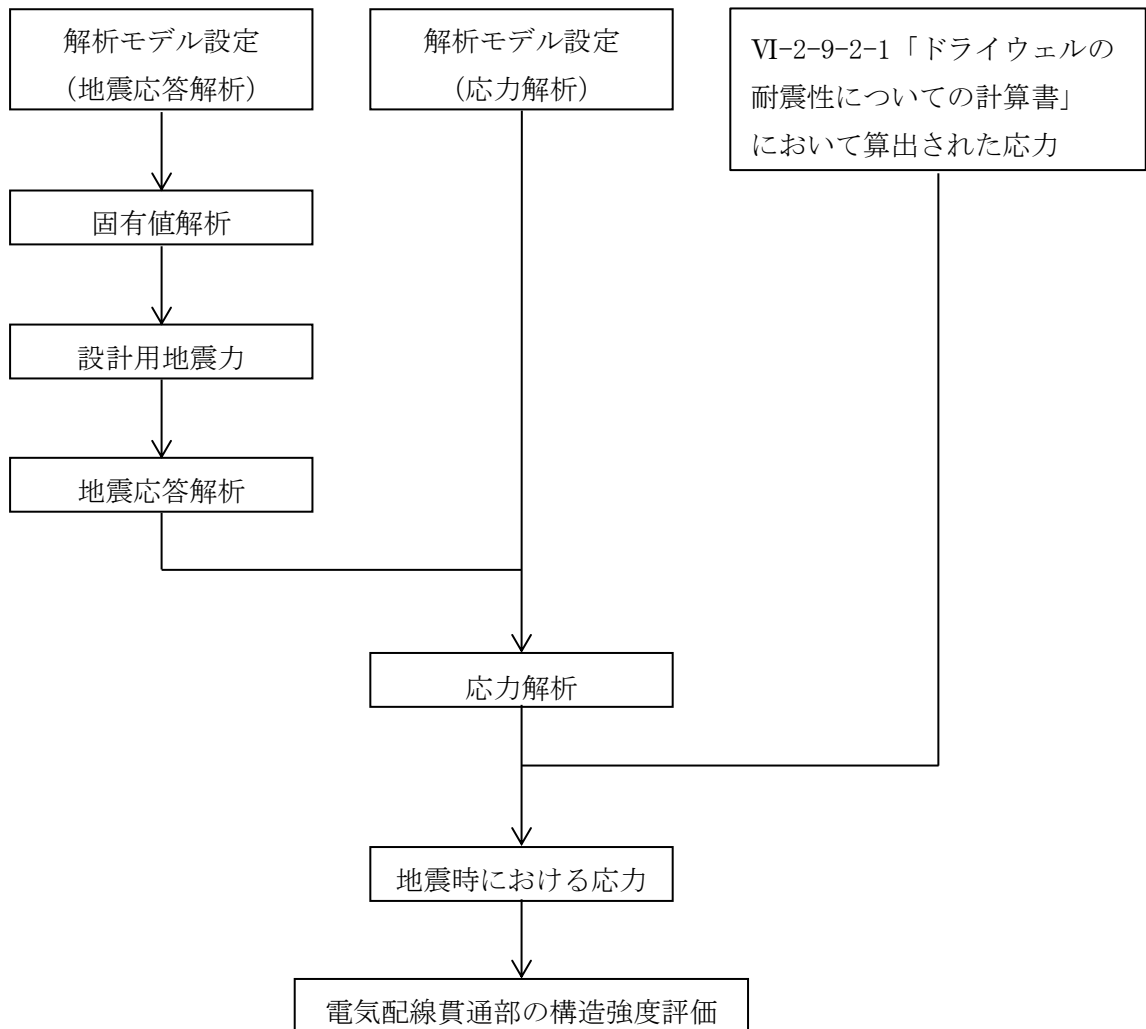


図2-1 電気配線貫通部の耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・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  
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・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 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (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
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_i$	地震層せん断力係数	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$D$	死荷重	—
$d_o$	外径	mm
$d_i$	内径	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	—
$L_i$	長さ ( $i = 1, 2$ )	mm
$m_o$	質量	kg
$M$	機械的荷重	—
$M_L$	地震と組み合わせる機械的荷重	—
$M_{SAL}$	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
$M_{SALL}$	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
$N_a$	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	—
$P$	圧力	—
$P_L$	地震と組み合わせる圧力	—
$P_{SAL}$	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
$P_{SALL}$	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
$S$	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	—
$S_d^*$	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	—
$S_\ell$	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_\ell'$	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_n$	地震動による応力振幅	MPa
$S_p$	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
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	—
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
$T$	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
$\nu$	ポアソン比	—

## 3. 評価部位

代表とした電気配線貫通部 X-100A~D の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

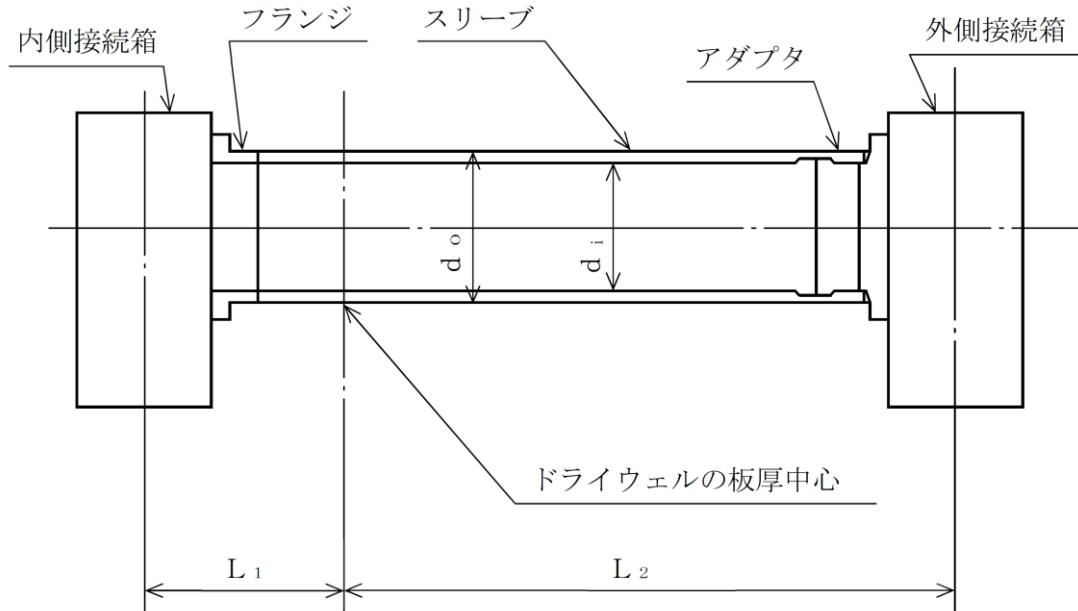


図 3-1 電気配線貫通部の形状及び主要寸法

表 3-1 電気配線貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部 番号	$d_o$	$d_i$	$L_1$	$L_2$
X-100A~D				

表 3-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ドライウェル	SPV50	SPV490 相当
アダプタ	STS42	STS410 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当



#### 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) 電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

電気配線貫通部の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重及び相対変位を用いて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

電気配線貫通部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。

詳細な荷重の組合せは，VI-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。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容応力

電気配線貫通部の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

電気配線貫通部の使用材料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。

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*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S <sub>d</sub> *	(10)	Ⅲ <sub>A</sub> S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S <sub>s</sub>	(12)	Ⅳ <sub>A</sub> S
						(13)	
						(15)	
					D + P <sub>L</sub> + M <sub>L</sub> + S <sub>d</sub> **2	(17)	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

\*2：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*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V <sub>A</sub> S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V <sub>A</sub> S

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：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

\*3：V<sub>A</sub>SとしてIV<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

\*4：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 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	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
Ⅲ <sub>A</sub> S	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ 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 $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の $\alpha$ 倍の値 <sup>*1</sup>	$3 \cdot S$ <sup>*2</sup>	<sup>*3, *4</sup> $S_d$ 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。
Ⅳ <sub>A</sub> S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は $S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ 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 $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の $\alpha$ 倍の値 <sup>*1</sup>	$S_d$ 又は $S_s$ 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V <sub>A</sub> S <sup>*5</sup>				

注記\*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、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( $\alpha$ )を用いる。

\*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 $S_m$ は $S$ と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

\*3：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。

\*4：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が1.0以下であること。

\*5：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50*	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記\* : SPV490 相当

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50* <sup>1</sup>	周囲環境温度	200* <sup>2</sup>	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* <sup>3</sup>	167	478	581	—

注記\*1 : SPV490 相当

\*2 : S A後長期温度

\*3 : S A後長々期温度

#### 4.2.4 設計荷重

##### (1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

##### a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧） 327 kPa

外圧 14 kPa

温度（最高使用温度） 171 °C

##### b. ドライウエルの自重

電気配線貫通部より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

##### c. 電気配線貫通部の自重

「4.6.1 応力評価点」の応力評価点に作用する電気配線貫通部の自重による鉛直荷重は、以下のとおりとする。

鉛直荷重  N・mm

##### (2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、以下のとおりとする。

内圧  $P_{SAL}$  660 kPa（SA後長期）

内圧  $P_{SALL}$  380 kPa（SA後長々期）

温度  $T_{SAL}$  200 °C（SA後長期）

温度  $T_{SALL}$  70 °C（SA後長々期）

#### 4.3 地震応答解析モデル及び諸元

##### (1) 設計基準対象施設としての地震応答解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、スリーブ（内部ケーブル含む）及び接続箱の質量を考慮して固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモード解析法を用いる。

地震応答解析モデルの概要を以下に示す。

a. 電気配線貫通部は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。地震応答解析モデルを図4-1に、機器の諸元について表4-6に示す。

b. 質量は、接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定する。

c.



d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。



図4-1 電気配線貫通部の地震応答解析モデル (X-100A~D)

表 4-6 地震応答解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
質量	$m_0$	kg	
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	



#### 4.4 固有周期

##### (1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、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。

表 4-7 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-8 に、振動モード図を図 4-3 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、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。

表 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

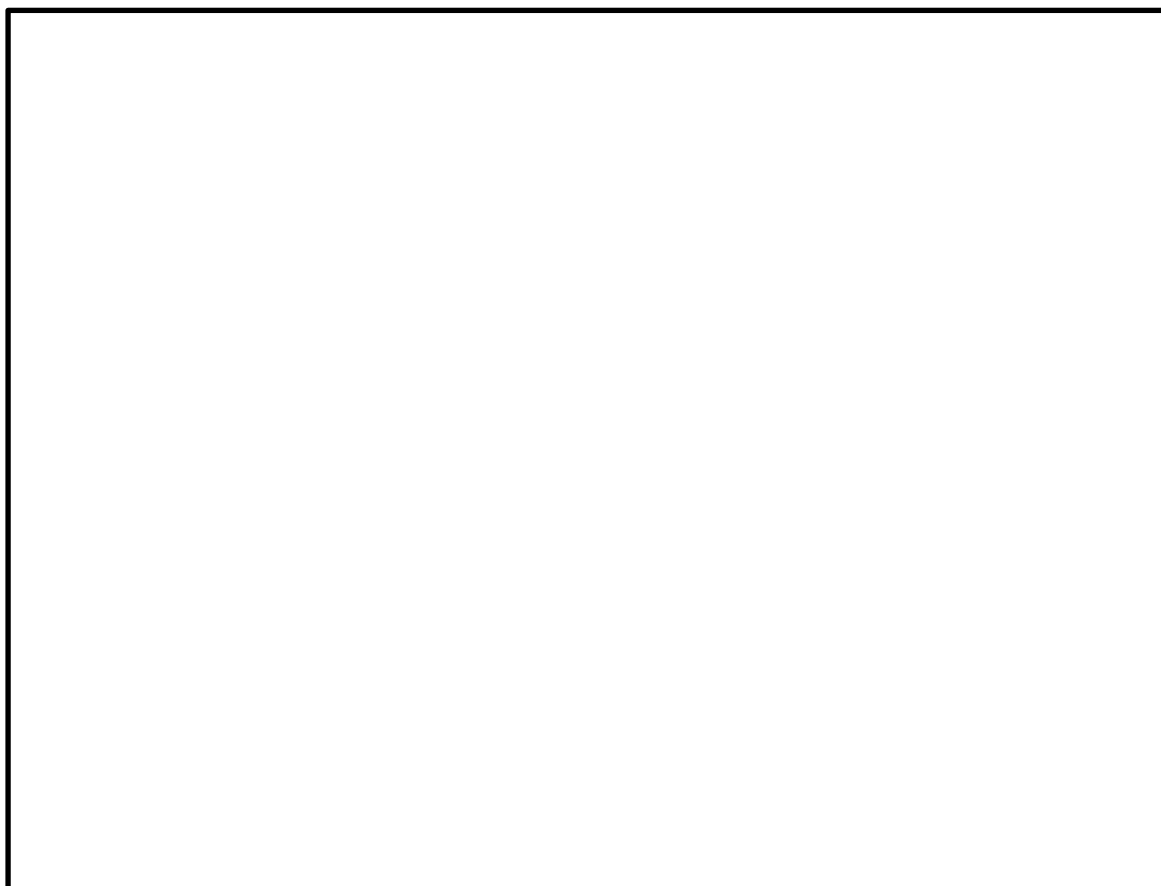


図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9～表 4-16 に示す。

「弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度」及び「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-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。

また、ドライウエルの電気配線貫通部設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

##### (1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

###### a. 電気配線貫通部

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-9 に、地震による相対変位を表 4-10 に示す。なお、水平方向はサポートによる振れ止めがあるため、地震による相対変位を考慮するが、鉛直方向については拘束がないため、地震による相対変位を考慮しない。

###### b. ドライウエル

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-11 に、水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

###### a. 電気配線貫通部

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-13 に、地震による相対変位を表 4-14 に示す。なお、水平方向はサポートによる振れ止めがあるため、地震による相対変位を考慮するが、鉛直方向については拘束がないため、地震による相対変位を考慮しない。

###### b. ドライウエル

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-15 に、水平方向地震荷重を表 4-16 に示す。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	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
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.86^{*2,*3}$	$C_V=1.90^{*4}$	$C_H=1.53^{*2,*5}$	$C_V=3.69^{*6}$	—	$1.0^{*7}$

注記\*1：機器搬入口に対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

\*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

\*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

\*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

\*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 4-10 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（設計基準対象施設）

（単位：mm）

弾性設計用地震動 S d*による 水平方向相対変位*1, *2, *3	基準地震動 S sによる 水平方向相対変位*1, *2, *4
2.3	4.0

注記\*1：相対変位量の絶対値を示す。

\*2：相対変位による設計荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

\*3：VI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」に記載の解析モデルにおいて，電気配線貫通部の設置高さ EL [ ] mm を考慮し，相対変位が最も大きくなる，原子炉建物の EL [ ] mm，原子炉格納容器の EL [ ] mm の質点間の相対変位を用いる。

\*4：VI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」に記載の解析モデルにおいて，電気配線貫通部の設置高さ EL [ ] mm を考慮し，相対変位が最も大きくなる，原子炉建物の EL [ ] mm，原子炉格納容器の EL [ ] mm の質点間の相対変位を用いる。

表 4-11 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	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S d*	S s		S d*	S s

表 4-12 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*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)
$3.562 \times 10^7$	$6.214 \times 10^{11}$	$8.151 \times 10^7$	$1.378 \times 10^{12}$

表 4-13 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 (m)	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
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.86^{*2,*3}$	$C_V=1.90^{*4}$	$C_H=1.53^{*2,*5}$	$C_V=3.69^{*6}$	—	$1.0^{*7}$

注記\*1：機器搬入口に対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

\*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

\*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

\*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

\*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 4-14 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（重大事故等対処設備）

（単位：mm）

弾性設計用地震動 $S_d^*$ による 水平方向相対変位*	基準地震動 $S_s$ による 水平方向相対変位*
2.3	4.0

注記\*：相対変位量の絶対値を示す。

表 4-15 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）

鉛直荷重	地震荷重	
	$S_d^*$	$S_s$

表 4-16 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)
$3.562 \times 10^7$	$6.214 \times 10^{11}$	$8.151 \times 10^7$	$1.378 \times 10^{12}$

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力評価点

電気配線貫通部の応力評価点は、電気配線貫通部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 4-17 及び図 4-4 に示す。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ドライウェルとスリーブとの結合部 (P 1-A~P 1-C)

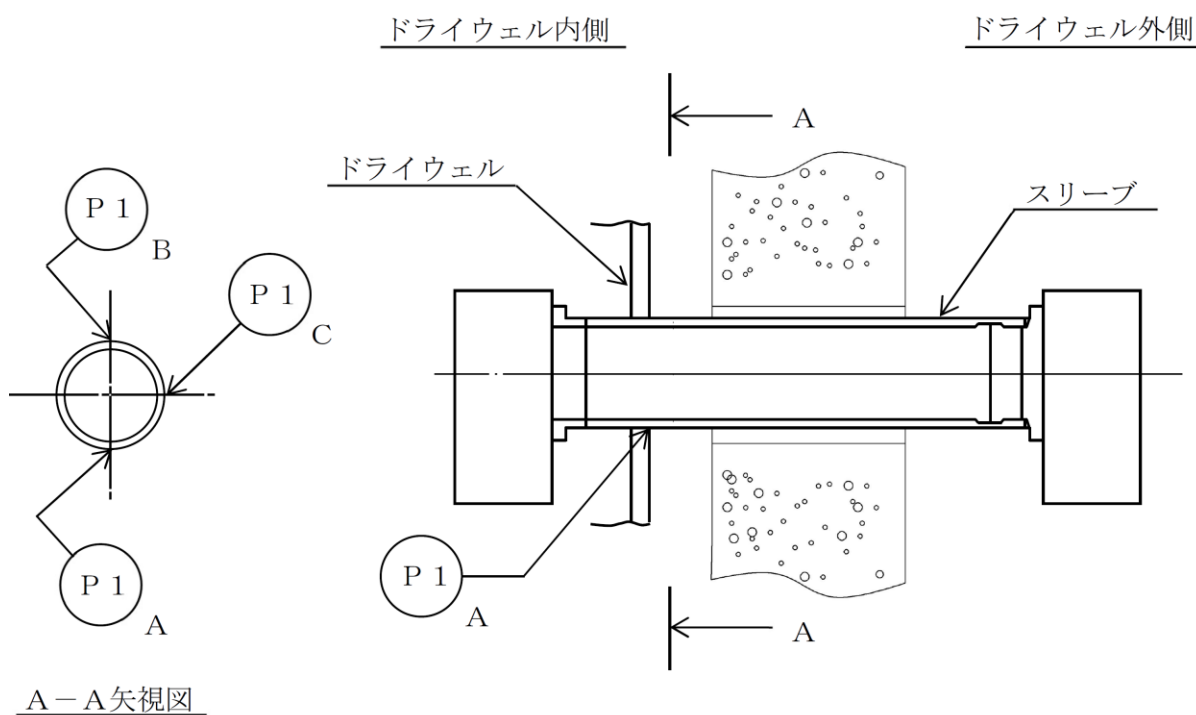


図 4-4 電気配線貫通部の応力評価点



#### 4.6.2 応力解析モデル及び諸元

##### (1) 設計基準対象施設としての応力解析モデル

設計基準対象施設としての評価における，電気配線貫通部の応力解析モデルの概要を以下に示す。

a. 電気配線貫通部の応力解析モデルは，3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

応力解析モデルを図4-5に，機器の諸元について表4-18に示す。

b. 電気配線貫通部の自重及び地震荷重に対し，電気配線貫通部先端に単位荷重（電気配線貫通部管軸方向並進及び電気配線貫通部管軸直角2軸回り回転）を負荷する。

c.

d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し，応力を求める。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，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力解析モデル

重大事故等対処設備としての応力解析モデル及び諸元は，設計基準対象施設と同じとする。

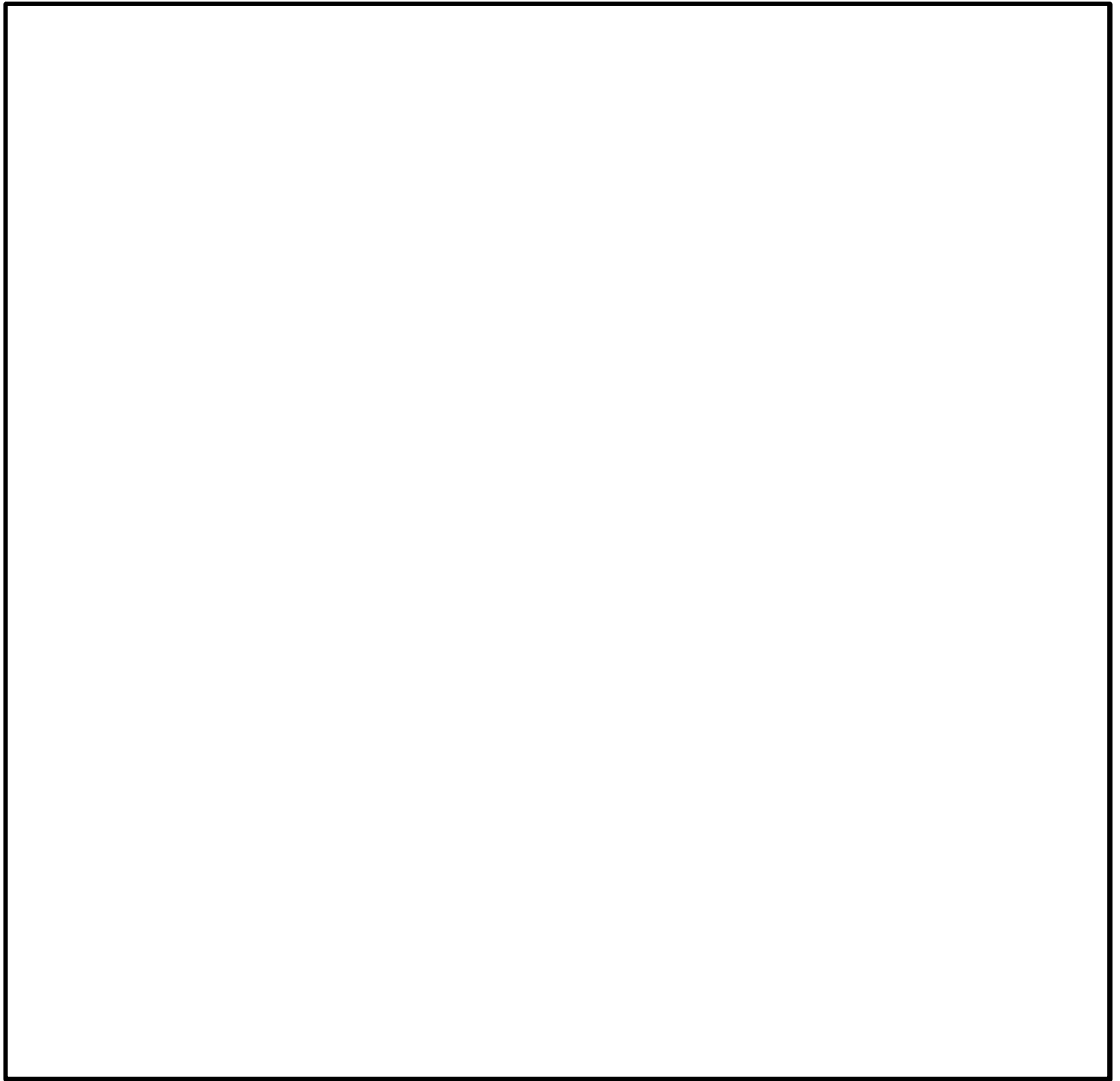


図 4-5 電気配線貫通部の応力解析モデル (X-100A~D)

表 4-18 応力解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50 (SPV490相当) STS42 (STS410相当)
質量	m <sub>o</sub>	kg	—*
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記\*：単位荷重による解析のため，質量は定義不要

#### 4.6.3 応力計算方法

電気配線貫通部の応力計算方法について以下に示す。

##### (1) 設計基準対象施設としての応力計算

###### a. 電気配線貫通部に作用する荷重による応力

電気配線貫通部に作用する自重及び地震荷重による応力を 4.6.2 項の応力解析モデルにて算出した単位荷重による応力の荷重比倍により求める。

###### b. ドライウェルに作用する荷重による応力

ドライウェルに作用する圧力、自重及び地震荷重による応力は、VI-2-9-2-1「ドライウェルの耐震性についての計算書」において算出された応力を用いる。

###### c. 応力の組合せ

応力評価点 P 1 の応力は、a. 項で求めた電気配線貫通部に作用する荷重による応力と、b. 項で求めたドライウェルに作用する荷重による応力を組み合わせることで算出する。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「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

「4.6 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 $S_m$ はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

電気配線貫通部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。発生値は許容限界を満足しており、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確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

#### (2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 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 <sub>A</sub> S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	82	495	○	(11)	
			一次+二次応力	350	501	○	(10), (11)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	91	495	○	(11)	
			一次+二次応力	346	501	○	(10), (11)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	85	495	○	(11)	
			一次+二次応力	222	501	○	(11)	

表 5-2(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	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	161	495	○	(13)	
			一次+二次応力	684	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.708	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	495	○	(13)	
			一次+二次応力	682	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.705	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	163	495	○	(13)	
			一次+二次応力	446	501	○	(13)	

注記\* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価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、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2(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	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	495	○	(17)	
			一次+二次応力	350	501	○	(17)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(17)	
			一次+二次応力	346	501	○	(17)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	495	○	(17)	
			一次+二次応力	216	501	○	(17)	



表 5-3 許容応力状態IVAS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>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</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>
P 1 - A	684	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.708
P 1 - B	682							0.705

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に ( 2.07×10<sup>5</sup> / E ) を乗じた値である。

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

## 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、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確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

### (2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-5 に示す。

表 5-4(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	$V_{AS}$		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P1-A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	490	○	V(L)-1	
			一次+二次応力	350	501	○	V(L)-1	
	P1-B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	212	490	○	V(L)-1	
			一次+二次応力	346	501	○	V(L)-1	
	P1-C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	191	490	○	V(L)-1	
			一次+二次応力	216	501	○	V(L)-1	

表 5-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SALL</sub> + M<sub>SALL</sub> + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	684	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.647	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	682	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.644	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	159	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	436	501	○	V (L L) -1	

注記\* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価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、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-5 許容応力状態 VAS 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>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</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>
P 1 - A	684	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.647
P 1 - B	682							0.644

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に ( 2.07×10<sup>5</sup> / E ) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$