

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-771 改2
提出年月日	平成30年7月19日

V-2-9-2-10 電気配線貫通部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	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	7
5. 応力計算	11
5.1 応力評価点	11
5.2 計算方針	12
5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力	12
5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力	12
6. 評価結果	13
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	16

1. 概要

本計算書は、「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、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。その耐震評価は電気配線貫通部の地震応答解析、応力評価により行う。

電気配線貫通部は設計基準対象施設においては既設の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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

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	
電気配線貫通部は、原子炉格納容器に支持される。	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器に円筒形スリーブ、アダプタ及びヘッドが取り付けられた鋼製構造物である。 	

2.2 評価方針

- (1) 電気配線貫通部の応力評価は、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力、地震荷重）による応力と、貫通部に作用する荷重による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、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NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コード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) 本計算書における評価部位は、電気配線貫通部の形状及び応力レベルを考慮し、電気配線貫通部の原子炉格納容器への取付部とする。

3. 形状及び主要寸法

電気配線貫通部の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に示す。

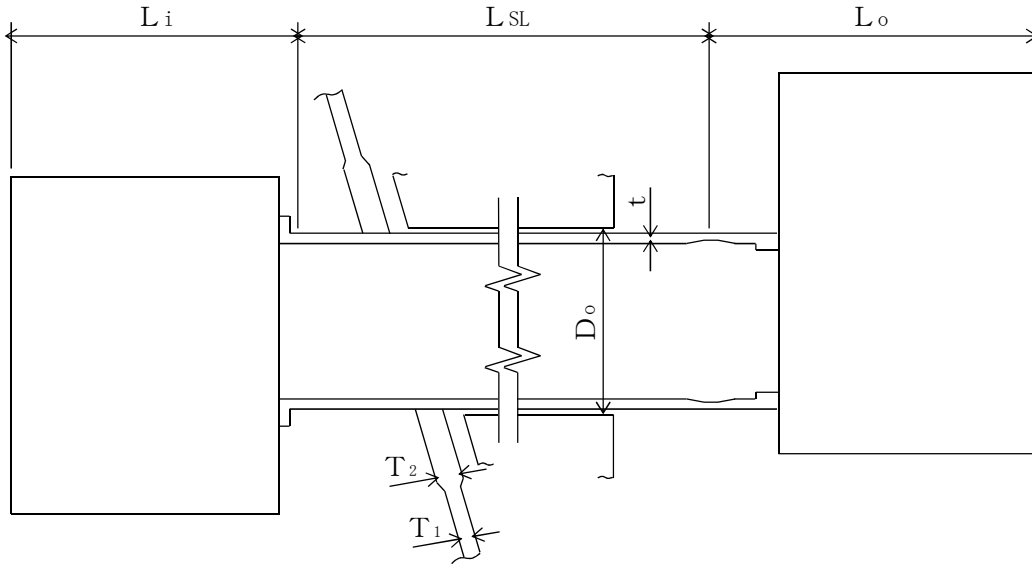


図 3-1 電気配線貫通部の形状

表 3-1 電気配線貫通部の寸法

(単位：mm)

貫通部番号	取付位置 (EL.)	D_o	t	T_1	T_2	L_{SL}	L_i	L_o
X-101D								

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) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 $P_{SA(L)}$	465 kPa	(S A後長期)
内圧 $P_{SA(LL)}$	200 kPa	(S A後長々期)
温度 $T_{SA(L)}$	171 °C	(S A後長期)
温度 $T_{SA(LL)}$	150 °C	(S A後長々期)

(4) 死荷重

a. 電気配線貫通部の自重

X-101D



(5) 地震荷重

電気配線貫通部に加わる地震荷重について、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき、作成した設備評価用床応答曲線を用いる。表 4-1 及び表 4-2 に示す設計震度により電気配線貫通部に加わる荷重を解析コード NASTRAN を使用して計算する。計算モデルを図 4-1 に示す。



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
格納容器との接合はシェルバネを考慮

図 4-1 計算モデル

表 4-1 設計震度（設計用床応答曲線）（設計基準対象施設）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S _d	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S _s	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

表 4-2 設計震度（設計用床応答曲線）（重大事故等対処設備）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S _d	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S _s	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

原子炉格納容器胴 (SGV480 相当)
 補強板 (SGV480 相当)

(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のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表4-3 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	電気配線貫通部	S	クラスMC容器	$D + P + M + S_d^*$	ⅢAS
					$D + P + M + S_s$	ⅣAS
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	ⅣAS

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4-4 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	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	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	VAS (VASとしてIVAS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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、「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圧力、最高温度との組合せを考慮する。

表4-5 許容応力（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
ⅢAS	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)
ⅣAS	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。	左欄の 1.5倍の値*2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
VAS (VASとしてⅣA Sの許容限界を用 いる。)	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。					

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 : $3 \cdot S$ 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4-6 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 相当)	171	ⅢA S	—	344	393
		ⅣA S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

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 相当)	171	ⅤA S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393
	150	ⅤA S	—	348 ^{*1}	393
—			381 ^{*2}	393	

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

電気配線貫通部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

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
X-101D	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側) (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板取付部 (胴側) (P 2 - A ~ P 2 - C)

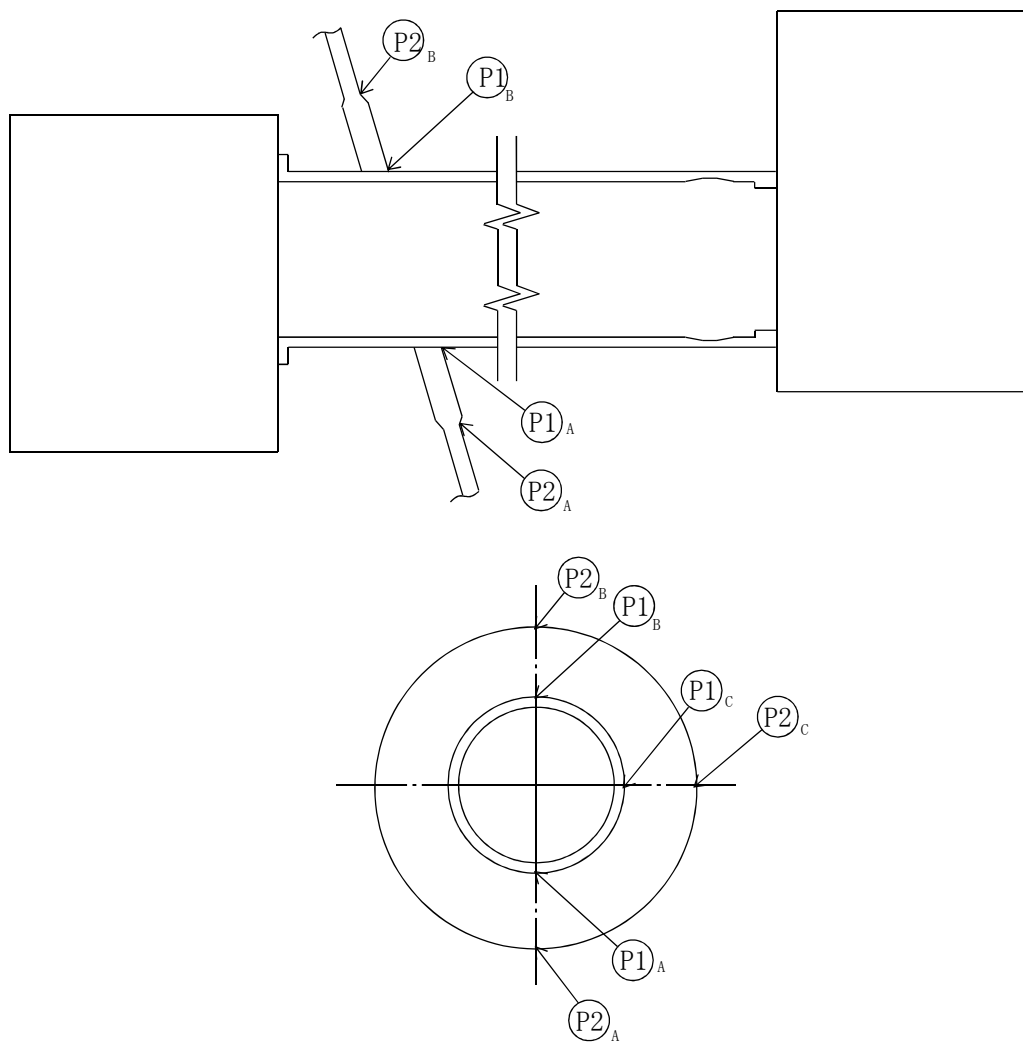


図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する最高使用圧力（内圧）、最高使用圧力（外圧）、死荷重及び地震荷重による応力は、「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重、地震荷重による応力は、解析コードNASTRANを用いて計算する。

計算モデルを図5-2に示す。

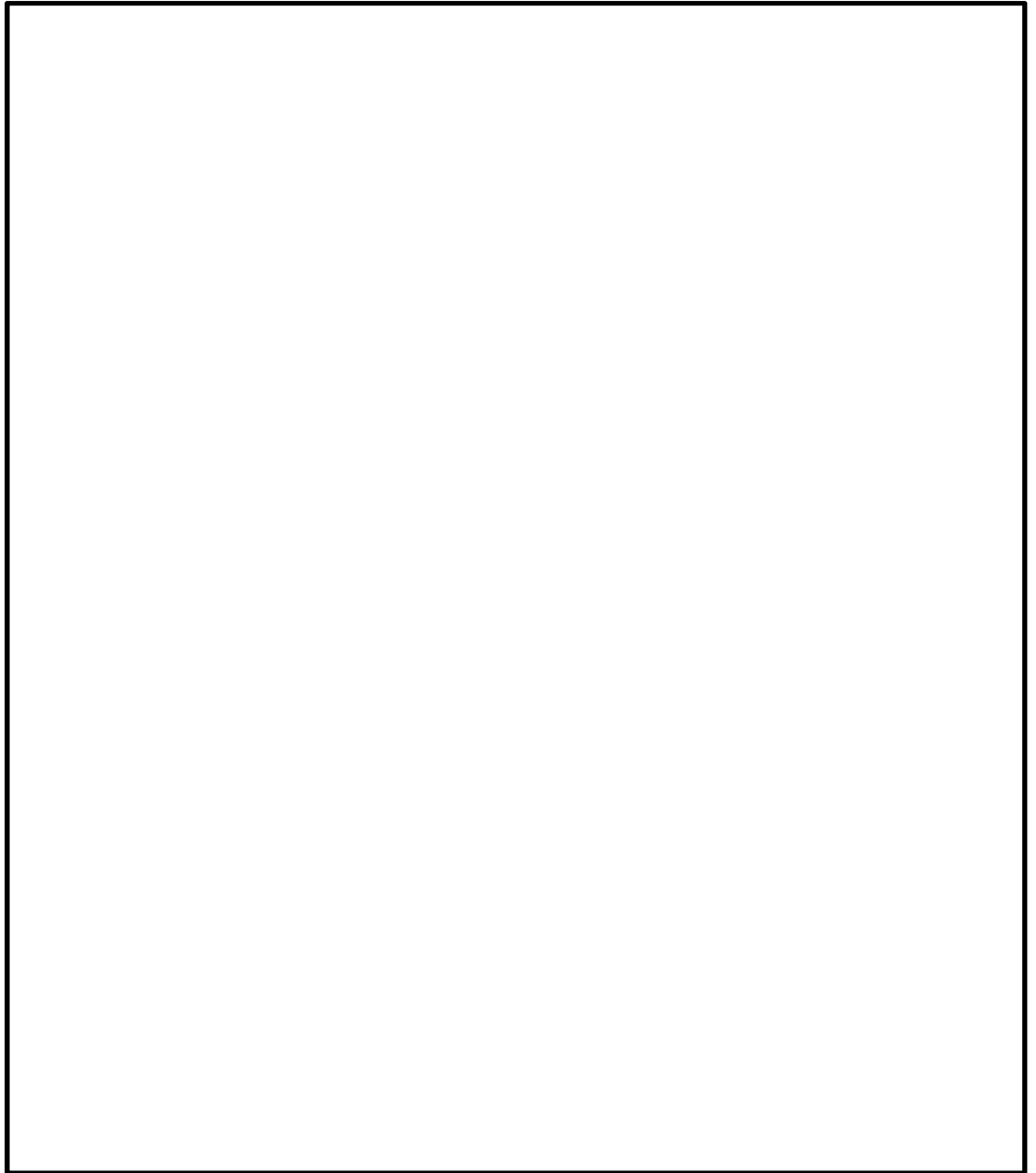


図5-2 計算モデル (X-101D)

6. 評価結果

6.1 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 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ 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 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態IVAS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	IVAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P1-A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	344	○	①*
			一次+二次応力	516	393	×*	①*
			疲労評価	0.346	1	○	単位なし
	P1-B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	117	344	○	①*
			一次+二次応力	524	393	×*	①*
			疲労評価	0.378	1	○	単位なし
	P1-C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	96	344	○	①*
			一次+二次応力	336	393	○	①*
	P2-A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	104	380	○	②*
			一次+二次応力	440	393	×*	①*
			疲労評価	0.065	1	○	単位なし
	P2-B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	380	○	②*
			一次+二次応力	446	393	×*	①*
			疲労評価	0.069	1	○	単位なし
	P2-C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	98	380	○	②*
			一次+二次応力	320	393	○	①*

注記 * : ① : D+P+M+S_s / ② : D+P_L+M_L+S_d*における結果を示す。

P1-A, P1-B及びP2-A, P2-B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 (JSME S-NC1-2005) 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ⅢA 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	ⅢA S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	66	344	○	
			一次+二次応力	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	57	344	○	
			一次+二次応力	180	393	○	
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	234	393	○	
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	59	344	○	
			一次+二次応力	236	393	○	
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	55	344	○	
			一次+二次応力	170	393	○	

6.2 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対処設備として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V_ASに対する評価

許容応力状態V_ASに対する応力評価結果を表6-3に示す。

表4-4に示す荷重の組合せのうち、D+P_{SAL}+M_{SAL}+S_d又はD+P_{SALL}+M_{SALL}+S_s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。

表 6-3 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s 又は D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	176	344	○	②*
			一次+二次応力	512	393	×*	①*
			疲労評価	0.327	1	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	185	344	○	②*
			一次+二次応力	520	393	×*	①*
			疲労評価	0.350	1	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	162	344	○	②*
			一次+二次応力	332	393	○	①*
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	174	380	○	②*
			一次+二次応力	436	393	×*	①*
			疲労評価	0.059	1	○	単位なし
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	182	380	○	②*
			一次+二次応力	442	393	×*	①*
			疲労評価	0.063	1	○	単位なし
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	166	380	○	②*
			一次+二次応力	318	393	○	①*

注記 * : ① : D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s / ② : D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_dにおける結果を示す。

P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B 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。