

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-009-02 改 01
提出年月日	2022年12月1日

VI-2-9-2-1 ドライウエルの耐震性についての計算書

2022年12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	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	7
4.1 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 設計用地震力	12
4.4 計算方法	15
4.5 計算条件	19
4.6 応力の評価	19
5. 評価結果	20
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24
6. 参照図書	27

図 表 目 次

図 2-1	ドライウエルの耐震評価フロー	3
図 3-1	ドライウエルの形状及び主要寸法	6
図 4-1	ドライウエルの応力評価点	16
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	5
表 3-1	使用材料表	6
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）	8
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）	9
表 4-3	クラスMC容器の許容応力	10
表 4-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	11
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）	11
表 4-6	鉛直方向荷重（設計基準対象施設）	13
表 4-7	水平方向地震荷重（設計基準対象施設）	13
表 4-8	鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）	14
表 4-9	水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）	14
表 4-10	応力評価点	15
表 4-11	軸圧縮荷重における組合せ係数の適用方法（設計基準対象施設）	17
表 4-12	軸圧縮荷重における組合せ係数の適用方法（重大事故等対処設備）	17
表 5-1	許容応力状態Ⅲ _A Sに対する評価結果（D+P+M+S _d *）	21
表 5-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A Sに対する評価結果（D+P+M+S _s ）	22
表 5-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A Sに対する評価結果（D+P _L +M _L +S _d *）	23
表 5-3(1)	許容応力状態Ⅴ _A Sに対する評価結果（D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d ）	25
表 5-3(2)	許容応力状態Ⅴ _A Sに対する評価結果（D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s ）	26

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、ドライウエル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。

ドライウエル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、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるドライウエルの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウエルの構造計画を表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>ドライウエルは EL10.1m 以下においてコンクリートに埋設されており、原子炉建物及び原子炉建物基礎スラブと一体となっている。</p> <p>ドライウエル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>上下部半球胴部円筒形の鋼製容器（胴部内径 22.8m、全高 <input type="text" value=""/> m）であり、板厚は <input type="text" value=""/> mm である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：m)</p>

2.2 評価方針

ドライウエルの応力評価は、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」にて設定する箇所に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. 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。

ドライウエルの耐震評価フローを図2-1に示す。

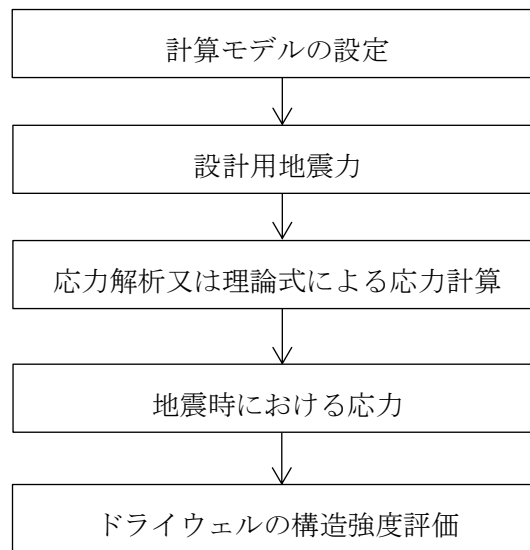


図2-1 ドライウエルの耐震評価フロー

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
A	断面積	mm ²
D _i	内径 (i = 1, 2)	mm
E	縦弾性係数	MPa
f _b	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 にて定める F の値	MPa
g	重力加速度	m/s ²
l _i	長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
R	円筒の平均半径	mm
R _i	半径 (i = 1, 2, 3…)	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t	円筒の板厚	mm
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
Z	断面係数	mm ³
α	安全率	—
η	係数 (= R / t)	—
η _i	係数 (i = 2, 3)	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

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
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁*2
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁*2
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

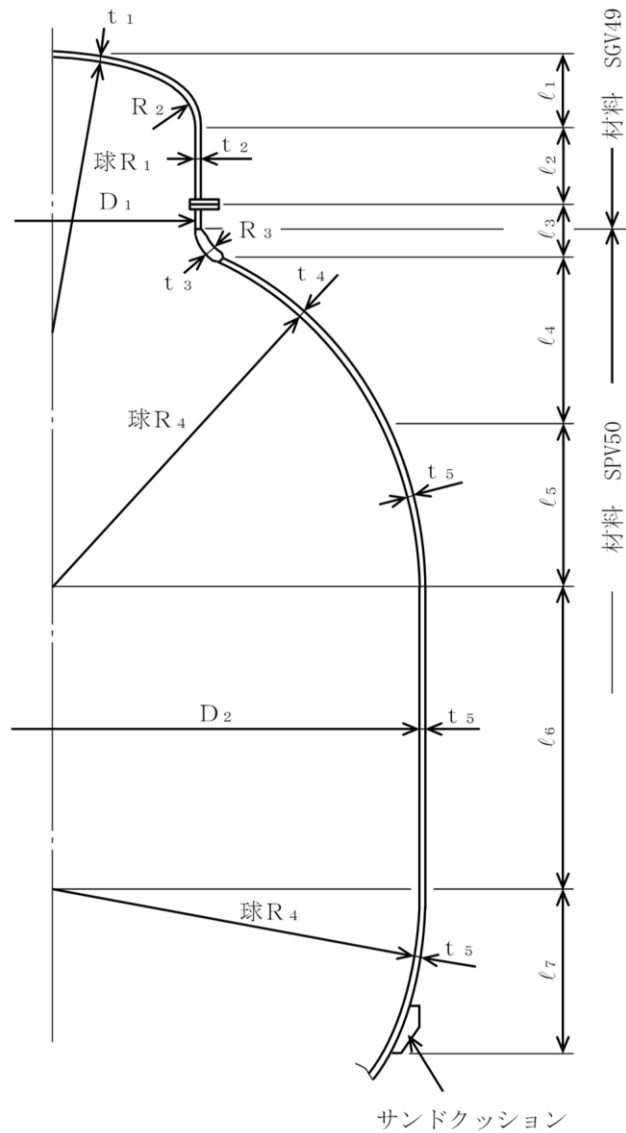
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中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

ドライウエルの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



$D_1 = 9220$	$D_2 = 22800$	$R_1 = 8673$	$R_2 = 1656$	$R_3 = 790$
$R_4 = 11400$	$l_1 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_2 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_3 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_4 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
$l_5 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_6 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_7 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_1 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_2 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
$t_3 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_4 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_5 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>		

(単位：mm)

図3-1 ドライウエルの形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ドライウエル	SGV49	SGV480 相当
	SPV50	SPV490 相当

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) ドライウエル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。

ドライウエルの耐震評価として、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を用いて，参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は，ドライウエルに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，座屈評価では組合せ係数法を，座屈評価以外では絶対値和を適用する。

- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。

- (4) 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

ドライウエル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

ドライウエルの許容応力は，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

ドライウエル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	ドライウエル	S	クラスMC容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d ** ²	(17)	Ⅳ _A 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*4
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウエル	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *3	(V (L) -1)	V _{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _{AS}

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，「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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：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。

*4：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*8					
	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*7	
					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び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	3・S*1	*2, *3 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0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	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。		0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S*5						

注記*1：3・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。

*2：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。

*3：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。

*4：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。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*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

*7：座屈に対する評価は、J E A G 4 6 0 1-1984の第2種容器の軸圧縮荷重及び曲げモーメントによる座屈に対する評価式を用いる。

*8：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。

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)
ドライウエル	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ³	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ⁴	131	248	453	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	200* ³	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ⁴	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当







*3：S A後長期温度

*4：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，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

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
死荷重（自重）	
通常運転時	 N
燃料交換時	 N
死荷重（ウェルディングパッド支持荷重）	
通常運転時及び燃料交換時	 N
活荷重（ハッチ類における活荷重）	
通常運転時	 N
燃料交換時	 N
活荷重（水荷重）	
燃料交換時のみ	 N

(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，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa（S A後長期）
内圧 P_{SALL}	380kPa（S A後長々期）
温度 T_{SAL}	200°C（S A後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（S A後長々期）

4.3 設計用地震力

ドライウエルに加わる地震荷重について，VI-2-2-1「炉心，原子炉压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設計荷重を設定する。また，燃料交換時の鉛直地震荷重については，死荷重及び活荷重にVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてドライウエルの応力計算に用いる鉛直方向荷重を表 4-6 に，水平方向地震荷重を表 4-7 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてドライウエルの応力計算に用いる鉛直方向荷重を表 4-8 に，水平方向地震荷重を表 4-9 に示す。

表 4-6 鉛直方向荷重 (設計基準対象施設)

(単位 : N)

応力評価点*	通常運転時			燃料交換時		
	死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
		S d*	S s		S d*	S s
P 1						
P 2						
P 3						
P 4						
P 5						
P 6						
P 7						
P 8						

注記* : 応力評価点の位置は図 4-1 参照

表 4-7 水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)

応力評価点* ¹	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)
P 1	3.180×10^5	7.450×10^8	8.680×10^5	2.030×10^9
P 2	5.070×10^6	1.020×10^{10}	1.240×10^7	2.350×10^{10}
P 3	5.910×10^6	1.020×10^{10}	1.360×10^7	2.350×10^{10}
P 4	2.470×10^7	6.570×10^{10}	5.650×10^7	1.420×10^{11}
P 5	2.580×10^7	1.880×10^{11}	5.810×10^7	4.080×10^{11}
P 6	2.630×10^7	3.460×10^{11}	5.920×10^7	7.580×10^{11}
P 7	2.700×10^7	4.300×10^{11}	6.160×10^7	9.460×10^{11}
P 8	2.740×10^7	5.270×10^{11}	6.270×10^7	1.170×10^{12}
				$9.990 \times 10^{11}*2$

注記* 1 : 応力評価点の位置は図 4-1 参照

* 2 : 座屈評価に用いる荷重

表 4-8 鉛直方向荷重 (重大事故等対処設備)

(単位：N)

応力評価点*	重大事故等時		
	死荷重及び 活荷重	地震荷重	
		S d	S s
P 1			
P 2			
P 3			
P 4			
P 5			
P 6			
P 7			
P 8			

注記*：応力評価点の位置は図 4-1 参照

表 4-9 水平方向地震荷重 (重大事故等対処設備)

応力評価点* ¹	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)
P 1	3.180×10^5	7.450×10^8	8.680×10^5	2.030×10^9
P 2	5.070×10^6	1.020×10^{10}	1.240×10^7	2.350×10^{10}
P 3	5.910×10^6	1.020×10^{10}	1.360×10^7	2.350×10^{10}
P 4	2.470×10^7	6.570×10^{10}	5.650×10^7	1.420×10^{11}
P 5	2.580×10^7	1.880×10^{11}	5.810×10^7	4.080×10^{11}
P 6	2.630×10^7	3.460×10^{11}	5.920×10^7	7.580×10^{11}
P 7	2.700×10^7	4.300×10^{11}	6.160×10^7	9.460×10^{11}
P 8	2.740×10^7	5.270×10^{11}	6.270×10^7	1.170×10^{12}
				$9.990 \times 10^{11} * 2$

注記* 1：応力評価点の位置は図 4-1 参照

* 2：座屈評価に用いる荷重

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価方法

ドライウエルの応力評価点は、ドライウエル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 4-10 及び図 4-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 1～P 8 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表 4-10 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部
P 2	円筒部とナックル部の接合部
P 3	ナックル部と球形部の接合部
P 4	球形部の板厚変化部
P 5	球形部と円筒部の接合部
P 6	円筒部
P 7	円筒部と球形部の接合部
P 8	基部

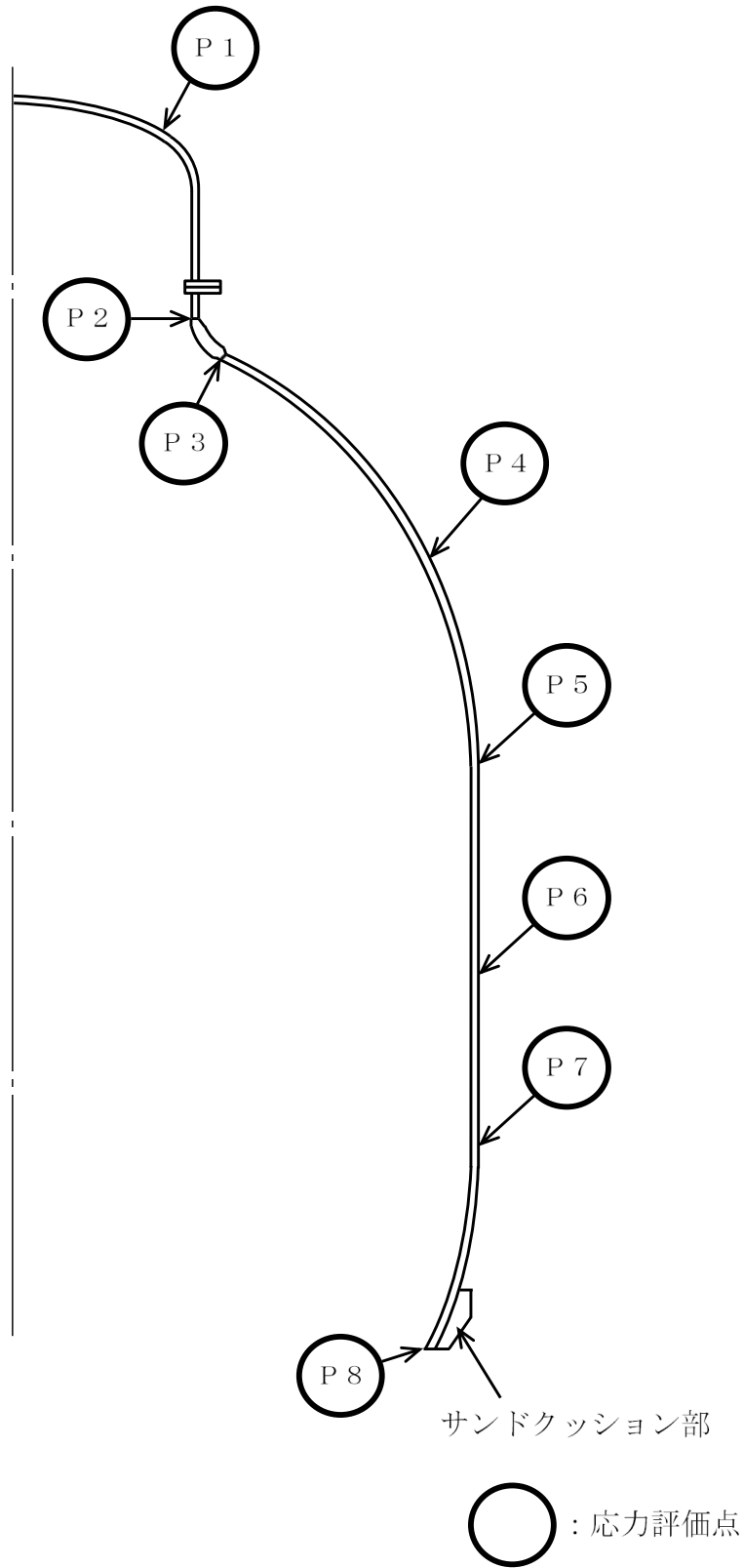


図 4-1 ドライウェルの応力評価点

4.4.2 座屈評価

(1) 評価荷重

応力評価点 P 8 の座屈評価に用いる地震荷重*1 を以下に示す。

a. 設計基準対象施設としての評価荷重(S s)

軸圧縮荷重*2 $P = \text{[]} \text{ N}$

曲げモーメント $M = 9.990 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}$

b. 重大事故等対処設備としての評価荷重(S s)

軸圧縮荷重*2 $P = \text{[]} \text{ N}$

曲げモーメント $M = 9.990 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}$

注記*1：評価条件については組合せ係数法を採用する。座屈評価に対して曲げモーメント（水平方向地震荷重）が支配的であることが明らかであるため、保守的な条件として軸圧縮荷重（鉛直方向地震荷重）に対して組合せ係数 0.4 を乗じる。

*2：表 4-6, 表 4-8 に示す鉛直方向荷重により算出する。軸圧縮荷重における組合せ係数の適用方法を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

表 4-11 軸圧縮荷重における組合せ係数の適用方法（設計基準対象施設）

（単位：N）

組合せ係数適用前の荷重		座屈評価で使用する 軸圧縮荷重
死荷重及び活荷重	鉛直方向地震荷重	

表 4-12 軸圧縮荷重における組合せ係数の適用方法（重大事故等対処設備）

（単位：N）

組合せ係数適用前の荷重		座屈評価で使用する 軸圧縮荷重
死荷重及び活荷重	鉛直方向地震荷重	

(2) 評価式

応力評価点 P 8 に対する地震時における評価は、以下の評価式を用いて行う。

$$\frac{\alpha \cdot (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

A : 断面積 = $2.14 \times 10^6 \text{mm}^2$

Z : 断面係数 = $1.07 \times 10^{10} \text{mm}^3$

f c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で、次の計算式により計算した値

$$f_c = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (\eta_2 \leq \eta \leq 800 \text{ より})$$

f b : 曲げモーメントに対する座屈応力で、次の計算式により計算した値

$$f_b = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (\eta_3 \leq \eta \leq 800 \text{ より})$$

α : 安全率 = 1.5 ($\eta_2 \leq \eta$ より)

E : 縦弾性係数 = $1.93 \times 10^5 \text{MPa}$ 設計基準対象施設 (171°C)

$1.91 \times 10^5 \text{MPa}$ 重大事故等対処設備 (200°C)

t : 円筒の板厚 = mm

R : 円筒の平均半径 = 10002.5mm

η : R/t

η_2 : $8000 \cdot g/F$

η_3 : $9600 \cdot g/F$

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 にて定める F の値

385MPa 設計基準対象施設 (171°C)

381MPa 重大事故等対処設備 (200°C)

4.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 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

ドライウエル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。

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	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	12	344	○	(10)	
			一次+二次応力	10	393	○	(10)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	34	344	○	(11)	
			一次+二次応力	61	393	○	(11)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	38	495	○	(11)	
			一次+二次応力	95	501	○	(11)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	32	495	○	(11)	
			一次+二次応力	55	501	○	(10), (11)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	34	495	○	(11)	
			一次+二次応力	61	501	○	(10), (11)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	34	330	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	34	495	○	(11)	
			一次+二次応力	63	501	○	(10), (11)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	495	○	(11)	
			一次+二次応力	81	501	○	(11)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(10), (11)	
			一次+二次応力	183	501	○	(11)	
			座屈	0.95*	1.0	○	(13)	単位なし

注記* : 保守的に S_s での評価結果を記載し、荷重の組合せ番号は (D + P + M + S_s) に対応する番号を示す。

表 5-2(1) 許容応力状態IVAS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	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	17	380	○	(12)	
			一次+二次応力	22	393	○	(12)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	59	380	○	(13)	
			一次+二次応力	134	393	○	(13)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	55	495	○	(13)	
			一次+二次応力	197	501	○	(13)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	65	495	○	(13)	
			一次+二次応力	120	501	○	(12), (13)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	68	495	○	(13)	
			一次+二次応力	128	501	○	(12), (13)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	72	330	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(13)	
			一次+二次応力	140	501	○	(12), (13)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	89	495	○	(13)	
			一次+二次応力	163	501	○	(13)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	190	495	○	(12), (13)	
			一次+二次応力	402	501	○	(13)	
			座屈	0.95	1.0	○	(13)	単位なし

表 5-2(2) 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	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	88	380	○	(17)	
			一次+二次応力	10	393	○	(17)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	88	380	○	(17)	
			一次+二次応力	47	393	○	(17)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	154	495	○	(17)	
			一次+二次応力	51	501	○	(17)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	495	○	(17)	
			一次+二次応力	55	501	○	(17)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	96	495	○	(17)	
			一次+二次応力	61	501	○	(17)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	116	330	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	116	495	○	(17)	
			一次+二次応力	63	501	○	(17)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	495	○	(17)	
			一次+二次応力	77	501	○	(17)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	104	495	○	(17)	
			一次+二次応力	181	501	○	(17)	
			座屈	0.95*	1.0	○	(13)	単位なし

注記* : 保守的にS_sでの評価結果を記載し、荷重の組合せ番号は(D + P + M + S_s)に対応する番号を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエル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 5-3 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。

表 5-3(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 _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部 とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	177	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	10	393	○	V (L) -1	
	P 2	円筒部とナックル部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	168	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	47	393	○	V (L) -1	
	P 3	ナックル部と球形部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	301	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	51	501	○	V (L) -1	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	124	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	55	501	○	V (L) -1	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	180	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	61	501	○	V (L) -1	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	228	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	228	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	63	501	○	V (L) -1	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	184	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	77	501	○	V (L) -1	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	181	501	○	V (L) -1	
			座屈	0.92*	1.0	○	V (LL) -1	単位なし

注記* : 保守的に S_s での評価結果を記載し, 荷重の組合せ番号は (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) に対応する番号を示す。

表 5-3(2) 許容応力状態 VAS 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	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部 とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	22	393	○	V (L L) -1	
	P 2	円筒部とナックル部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	115	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	108	393	○	V (L L) -1	
	P 3	ナックル部と球形部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	189	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	110	501	○	V (L L) -1	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	95	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	120	501	○	V (L L) -1	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	120	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	128	501	○	V (L L) -1	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	150	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	150	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	140	501	○	V (L L) -1	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	123	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	153	501	○	V (L L) -1	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	202	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	399	501	○	V (L L) -1	
			座屈	0.92	1.0	○	V (L L) -1	単位なし

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-1 「ドライウエルの強度計算書」