

別紙 1 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の気密性に関する計算書

目 次

1. 概要	1
2. 既往の知見等の整理	1
3. 原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響検討	3
3.1 検討方針	3
3.2 空気漏えい量の算定結果	9
3.2.1 壁面からの漏えい量	9
3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較	11
3.4 検討結果	11
4. まとめ	11

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和 53 年 9 月制定）における A クラスの施設の気密性について、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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）では、S 1 地震動に対し弾性範囲であることを確認することで、機能が維持されるとしている。

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では、耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本としたうえで、その状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ることによって必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

二次格納施設の気密バウンダリを構成する原子炉建屋原子炉区域の地震応答解析による評価において、耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために、耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに、原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

（財）原子力発電技術機構は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書*¹」において、J E A G 4 6 0 1 -1987 による許容限界の目安値（S 2 地震時に対してせん断変形角 $2/1000\text{rad}$ ，静的地震力に対して $\tau = \tau u/1.5$ ）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し、気圧差維持のためのファン容量と比較することで、空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は、ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また、（財）原子力発電技術機構は、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書*²」において、耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が、十分に実機への適用性があることを確認している。更に、開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており、「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって、二次格納施設の気密バウンダリとなる原子炉建屋原子炉区域の壁が鉄筋コンクリート造であり、壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから、同文献にて提案されている各評価式を用い、原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots \text{式(2. 1)}$$

ここで,

Q : 単位面積あたりの流量(L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10^6 , 95%非超過値は 1.18×10^7 , 5%非超過値は 4.21×10^5)

γ : 最大せん断ひずみ

ΔP : 差圧(mmAq)

T : 壁厚(cm)

$$\Delta Q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots \text{式(2. 2)}$$

ここで,

ΔQ : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲 (=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記*1: 財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 建屋基礎地盤系評価に関する報告書(その2)平成8年度」

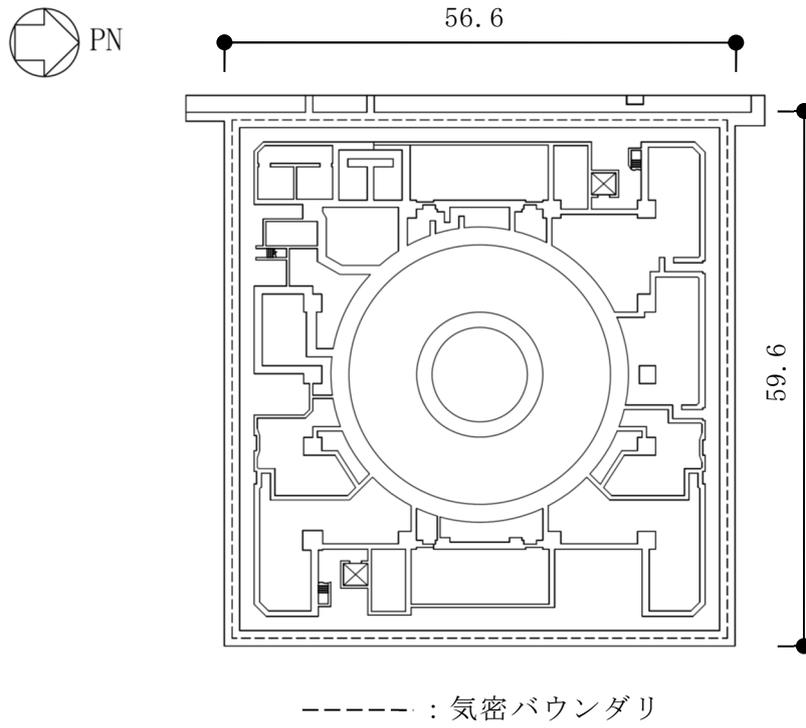
*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響検討

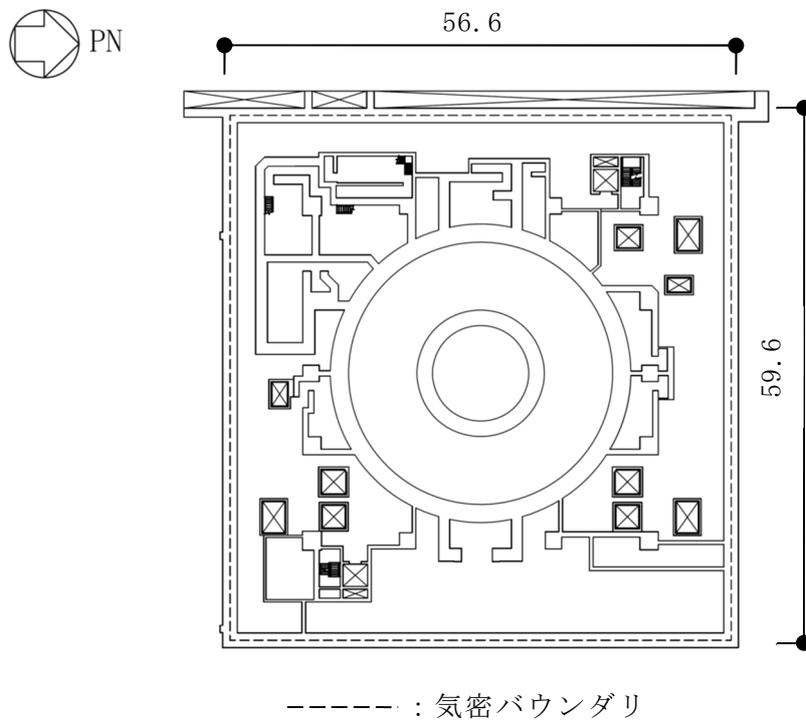
3.1 検討方針

「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式(2.1)及び式(2.2)により気密バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})に達したときの空気漏えい量を算定し、非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認する。

原子炉建屋原子炉区域の概略図を図3-1に示す。原子炉建屋原子炉区域(T.M.S.L. -8.2m~T.M.S.L. 49.7m)を構成する壁の壁厚は約□cmから約□cmである。

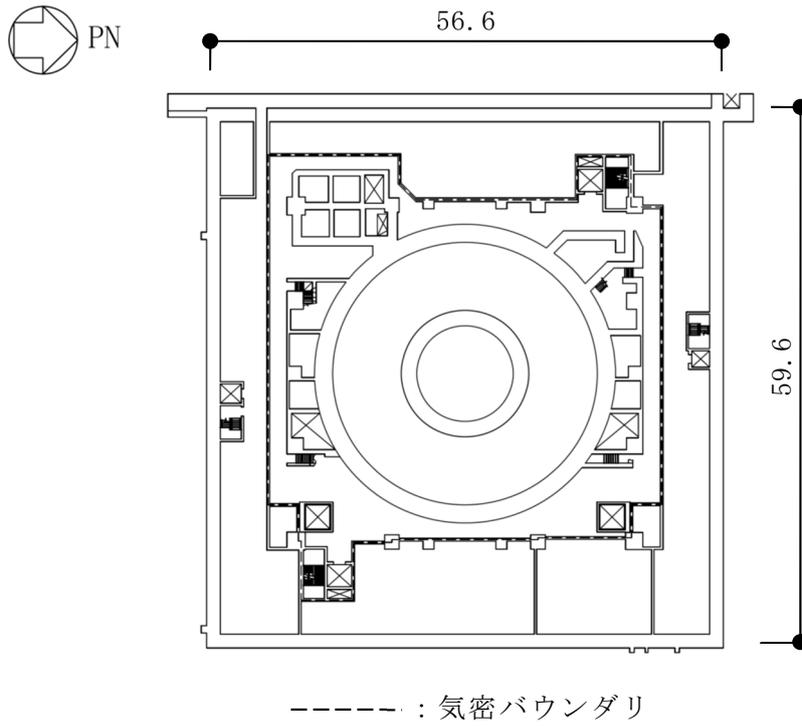


(a) 平面図 (T. M. S. L. -8.2m) (単位 : m)

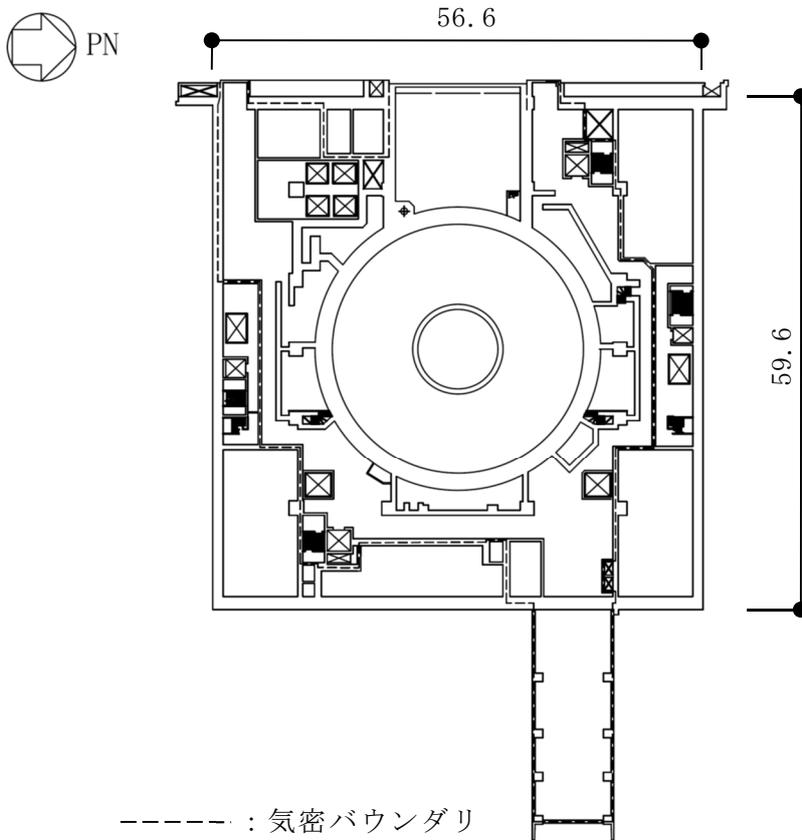


(b) 平面図 (T. M. S. L. -1.7m) (単位 : m)

図 3-1 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (1/5)

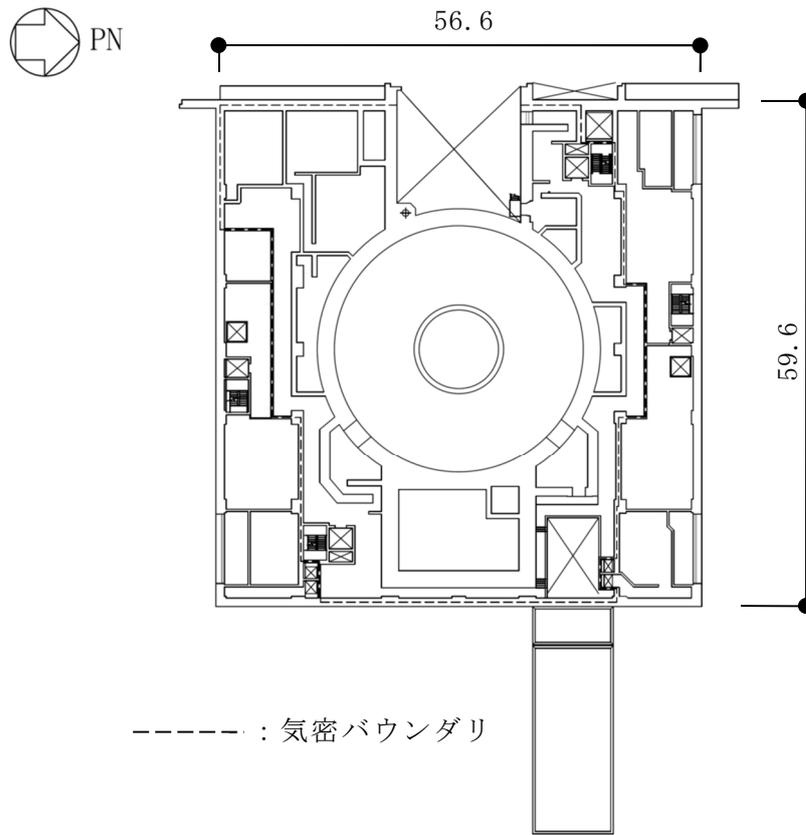


(c) 平面図 (T.M.S.L. 4.8m) (単位 : m)

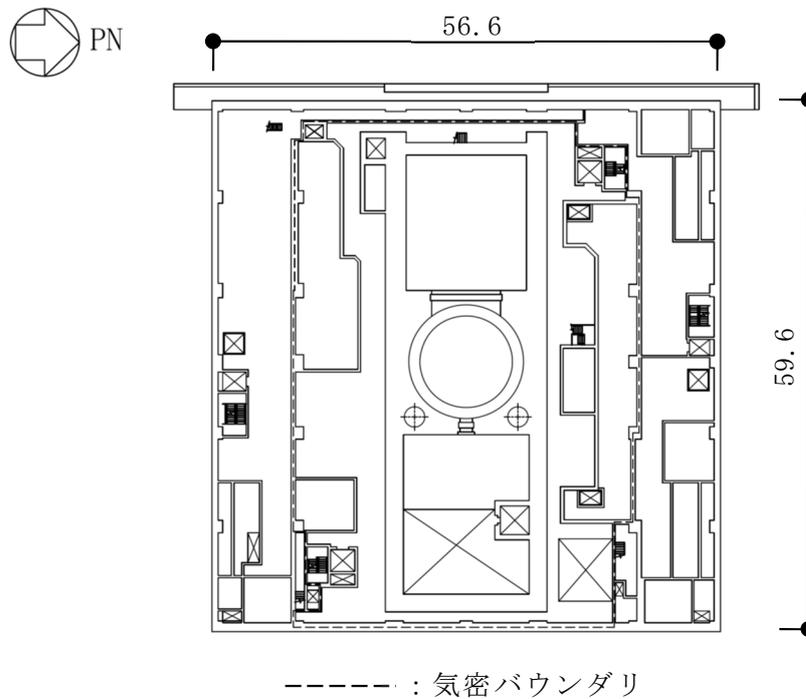


(d) 平面図 (T.M.S.L. 12.3m) (単位 : m)

図 3-1 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (2/5)

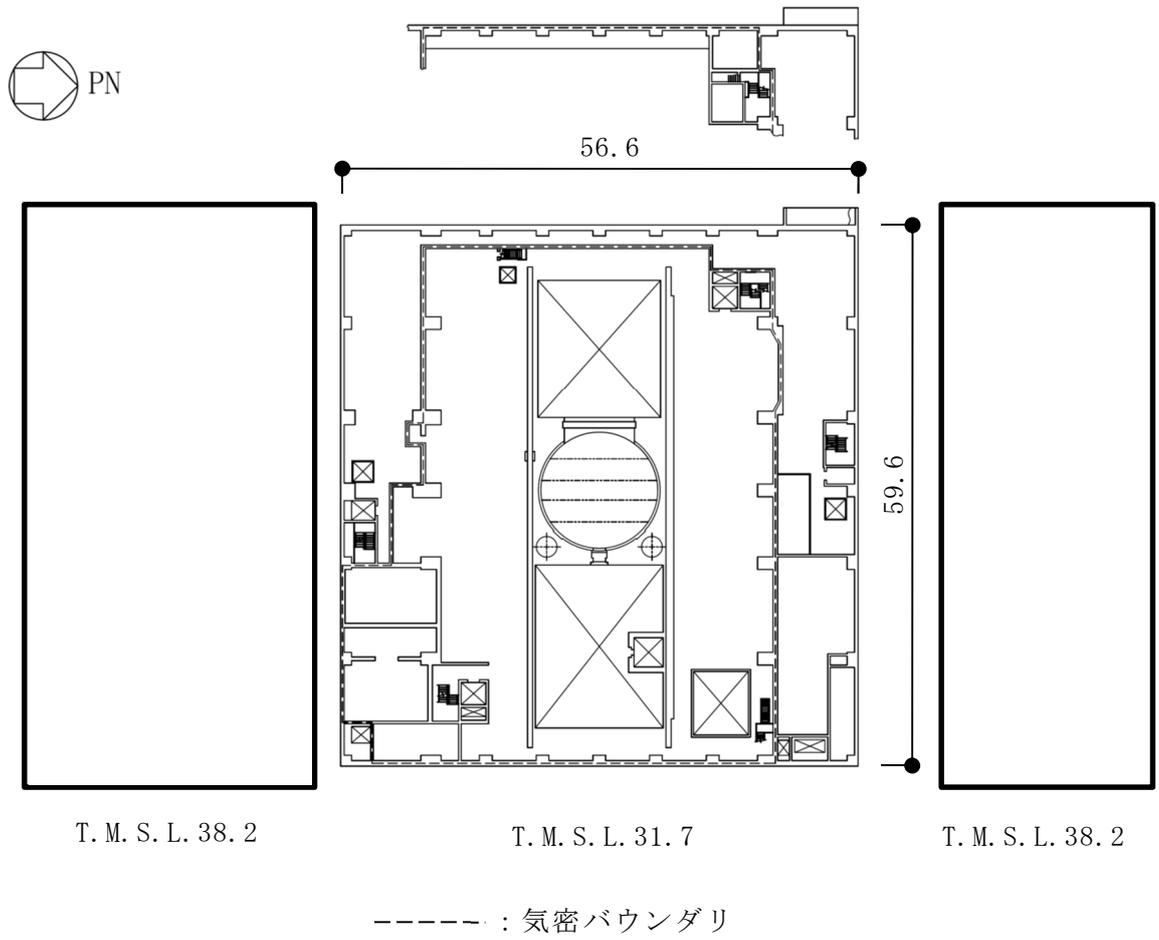


(e) 平面図 (T. M. S. L. 18. 1m) (単位 : m)



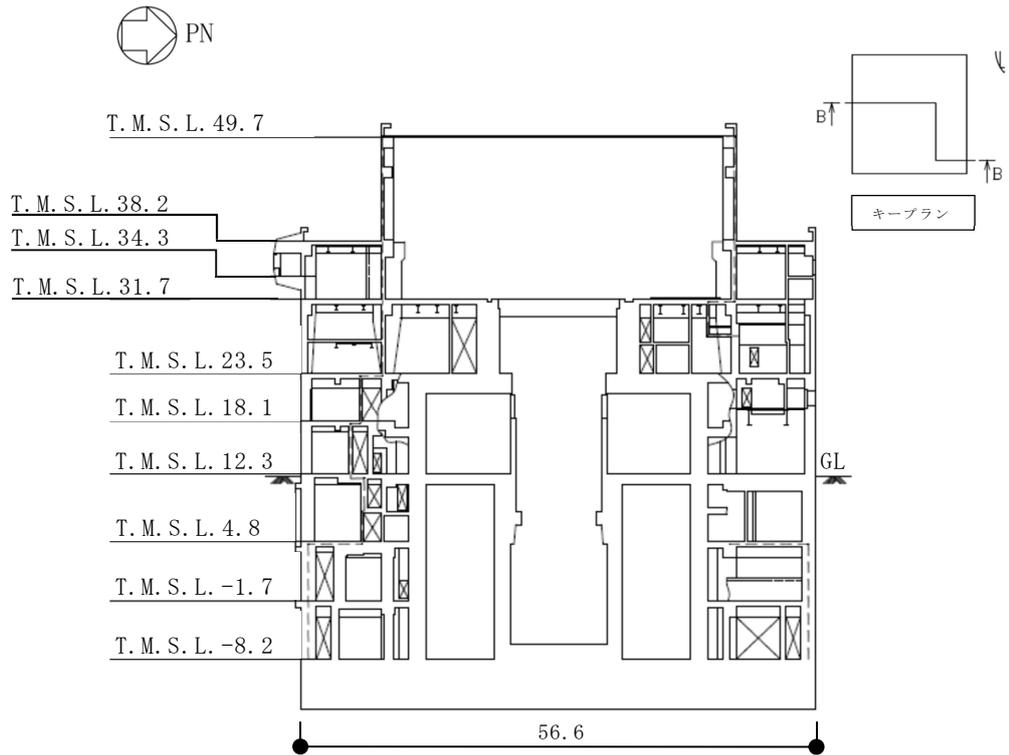
(f) 平面図 (T. M. S. L. 23. 5m) (単位 : m)

図 3-1 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (3/5)



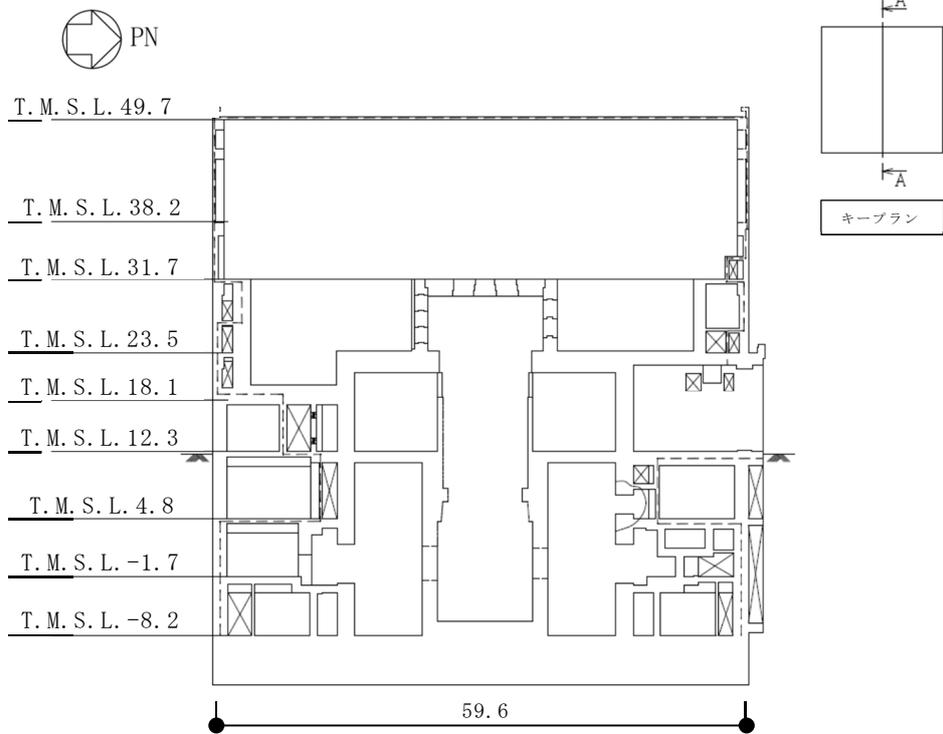
(g) 平面図 (T. M. S. L. 31.7m) (単位 : m)

図 3-1 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (4/5)



----- : 気密バウンダリ

(h) 断面図 (B-B 断面) (単位 : m)



----- : 気密バウンダリ

(i) 断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

図 3-1 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (5/5)

3.2 空気漏えい量の算定結果

3.2.1 壁面からの漏えい量

原子炉建屋原子炉区域の壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 算定結果（原子炉建屋原子炉区域）

T. M. S. L. (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大 せん断 ひずみ γ ($\times 10^{-3}$)	*2 差圧 ΔP (mmAq)	*3 壁の 面積 A (m^2)	漏えい量 Q ($\ell/min/m^2$)	開口 面積 A' (m^2)	壁の見付 面積に対する 開口総面積 β	通気量 割増率 ΔQ	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (ℓ/min)
		C ($\times 10^7$)	Q'/Q ₀								
49.7	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	890	0.30	0	0.000	1.00	267
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	1364	0.30	72	0.053	3.67	1502
31.7	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	59	0.30	0	0.000	1.00	18
		1.18	7.41	2.00	6.4	137	0.22	2	0.015	1.76	54
		1.18	7.41	2.00	6.4	14	0.18	0	0.000	1.00	3
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	433	0.15	0	0.000	1.00	65
		1.18	7.41	2.00	6.4	65	0.30	0	0.000	1.00	20
		1.18	7.41	2.00	6.4	145	0.22	3	0.021	2.06	66
23.5	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	534	0.18	0	0.000	1.00	97
		1.18	7.41	2.00	6.4	5	0.35	0	0.000	1.00	2
		1.18	7.41	2.00	6.4	279	0.30	0	0.000	1.00	84
		1.18	7.41	2.00	6.4	10	0.22	0	0.000	1.00	3
		1.18	7.41	2.00	6.4	27	0.18	0	0.000	1.00	5
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	274	0.09	0	0.000	1.00	25
		1.18	7.41	2.00	6.4	81	0.05	0	0.000	1.00	5
		1.18	7.41	2.00	6.4	332	0.30	0	0.000	1.00	100
		1.18	7.41	2.00	6.4	1446	0.18	0	0.000	1.00	261
		1.18	7.41	2.00	6.4	145	0.11	0	0.000	1.00	16
18.1	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	67	0.30	2	0.030	2.51	51
		1.18	7.41	2.00	6.4	96	0.09	0	0.000	1.00	9
		1.18	7.41	2.00	6.4	120	0.07	0	0.000	1.00	9
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	129	0.30	0	0.000	1.00	39
		1.18	7.41	2.00	6.4	145	0.15	0	0.000	1.00	22
		1.18	7.41	2.00	6.4	75	0.09	0	0.000	1.00	7
12.3	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	11	0.08	0	0.000	1.00	1
		1.18	7.41	8.33*4	6.4	113	11.41	1	0.009	1.46	1883
		1.18	7.41	2.00	6.4	72	0.22	0	0.000	1.00	16
		1.18	7.41	2.00	6.4	27	0.15	0	0.000	1.00	5
		1.18	7.41	2.00	6.4	173	0.11	5	0.029	2.46	47
		1.18	7.41	2.00	6.4	124	0.06	15	0.121	7.09	53
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	483	0.30	3	0.007	1.36	198
		1.18	7.41	2.00	6.4	19	0.25	0	0.000	1.00	5
		1.18	7.41	2.00	6.4	238	0.22	1	0.005	1.26	66
		1.18	7.41	2.00	6.4	248	0.15	0	0.000	1.00	38
		1.18	7.41	2.00	6.4	34	0.13	0	0.000	1.00	5
		1.18	7.41	2.00	6.4	90	0.11	1	0.012	1.61	16
4.8	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	119	0.08	0	0.000	1.00	10
		1.18	7.41	2.00	6.4	49	0.07	2	0.041	3.07	11
		1.18	7.41	2.00	6.4	423	0.30	9	0.022	2.11	268
		1.18	7.41	2.00	6.4	56	0.22	0	0.000	1.00	13
		1.18	7.41	2.00	6.4	28	0.18	0	0.000	1.00	6
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	104	0.13	0	0.000	1.00	14
		1.18	7.41	2.00	6.4	28	0.11	0	0.000	1.00	4
		1.18	7.41	2.00	6.4	15	0.06	0	0.000	1.00	1
		1.18	7.41	2.00	6.4	596	0.30	0	0.000	1.00	179
		1.18	7.41	2.00	6.4	21	0.18	0	0.000	1.00	4
-1.7	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	43	0.15	0	0.000	1.00	7
		1.18	7.41	2.00	6.4	197	0.13	0	0.000	1.00	26
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	70	0.09	0	0.000	1.00	7
-8.2	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	702	0.06	2	0.003	1.16	49
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	741	0.06	0	0.000	1.00	45
		1.18	7.41	2.00	6.4	702	0.06	1	0.002	1.11	47
		1.18	7.41	2.00	6.4	741	0.06	0	0.000	1.00	45
									合計		5795

注記*1：保守的に各壁の最大せん断ひずみが同時に許容限界となることを想定し、評価する。

*2：設計気密度の差圧条件とする。

*3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

*4：当該壁はフレーム構造部のため、フレーム構造部の許容限界である最大層間変形角1/120（ $=8.33 \times 10^{-3}$ ）を用いて評価する。

3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較

原子炉建屋原子炉区域の総漏えい量と空気流入率を表 3-2 に示す。

表 3-2 総漏えい量と空気流入率の比較

総漏えい量 (m^3/min)	非常用ガス処理設備放出流量 (m^3/min)
6	33.3*

注記*：非常用ガス処理設備容量とする。

3.4 検討結果

原子炉建屋原子炉区域について総漏えい量は非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認した。

よって、原子炉建屋原子炉区域は、耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

原子炉建屋原子炉区域は、耐震壁の許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、原子炉格納容器から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できる気密性を有していることを確認した。

以上より、原子炉建屋の地震応答解析による評価において、換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

VI-2-9-3-1-1 燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性
についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.3.1	S d 閉機能維持	5
2.3.2	S s 開機能維持	5
2.4	適用規格・基準等	7
3.	S d 閉機能維持評価	8
3.1	固有周期の確認方法	8
3.1.1	水平方向	8
3.1.2	鉛直方向	8
3.2	固有周期の確認結果	8
3.3	設計用地震力	9
3.4	評価方法	10
3.4.1	地震荷重	10
3.4.2	開放荷重	10
3.5	評価結果	10
4.	S s 開機能維持評価	11
4.1	取付け状況	11
4.2	層間変位の算定	12
4.3	評価結果	12

1. 概要

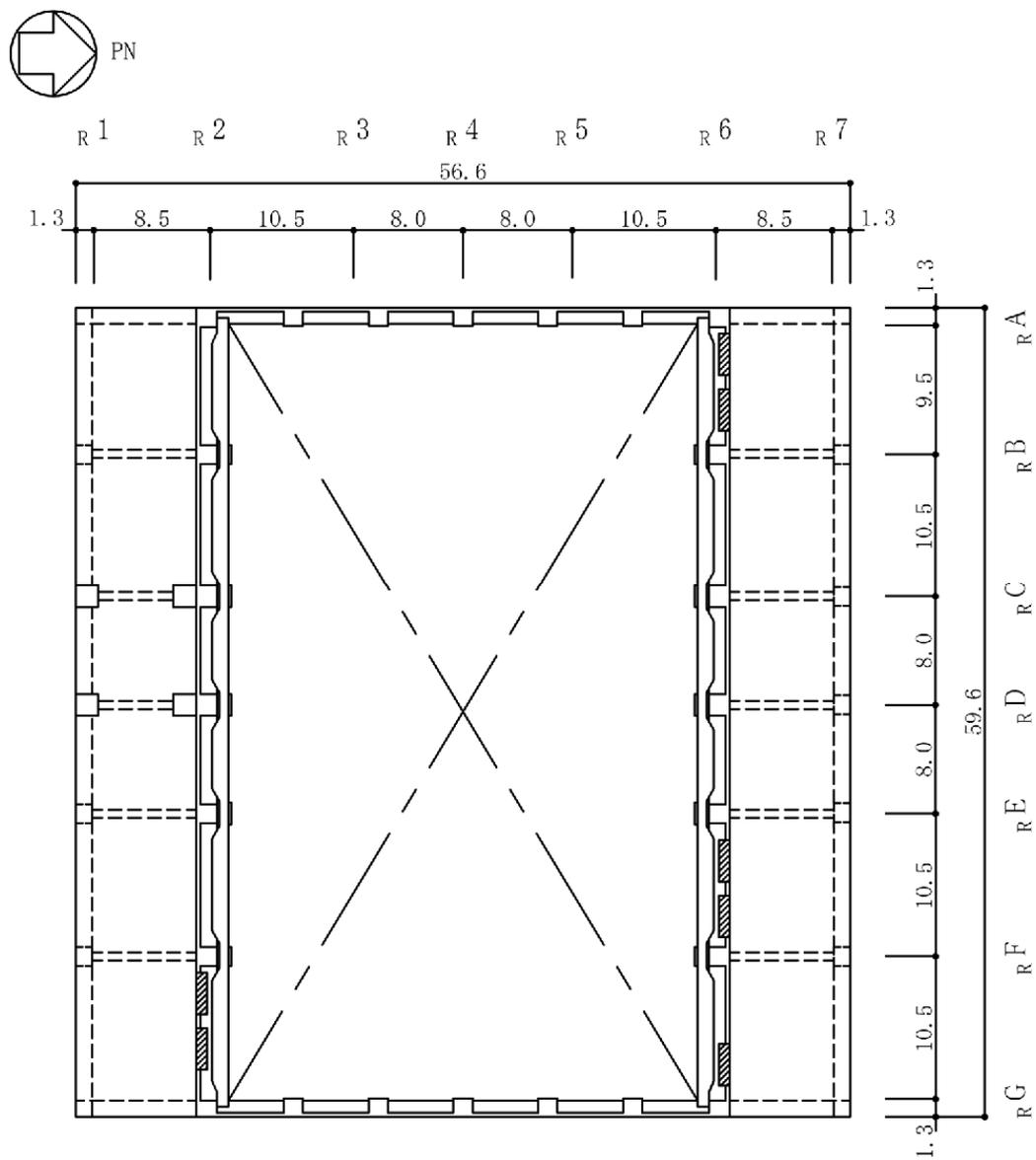
本計算書は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）に設置されている燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）が、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重に対し開放しないこと、基準地震動 S_s による地震荷重に対し開放機能が維持できる構造強度を有していることを説明するものである。

オペフロBOPは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」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」に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

オペフロ BOP の設置位置図を図 2-1 に示す。



▨ : オペフロ BOP

注：東京湾平均海面を以下「T. M. S. L.」という。

図 2-1 オペフロ BOP の設置位置図 (単位 : m)

(T. M. S. L. 38. 2m)

2.2 構造概要

オペフロBOPは、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の一部（地上4階中間床）に配置され、差圧により開放するパネル本体、パネルを建屋外壁内に設置する枠部及び差圧により曲げ変形する止板部より構成される設備である。

オペフロBOPの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 オペフロ BOP 構造計画

計画の概要	
支持構造	主体構造
<p>オペフロ BOP は、十分な強度を有する構造とし、枠部により原子炉建屋原子炉区域の壁に据え付けられる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・パネル本体 ・枠部 <p>オペフロ BOP は、パネル本体、パネルを原子炉建屋外壁内に設置する枠部より構成される設備である。</p>
材料	SS400
作動方式	止板式 (16 個/パネル)
止板仕様	材質 SHY685
概略構造図 (単位 : m)	
<p>The diagram illustrates the structure of the Operflo BOP. It consists of a main panel (パネル本体) supported by a frame (枠部). The panel has a width of 6.28 m and a height of 2.84 m. The frame has a total height of 2.84 m. The top and bottom edges of the panel are equipped with stop plates (止板). The cross-section A-A shows the panel's thickness and the stop plate's position. The cross-section B-B shows the panel's width and the frame's structure. Dimensions are provided in meters.</p>	

2.3 評価方針

オペフロBOPの地震時の構造強度及び機能維持評価は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、以下の評価方針とする。

オペフロBOPの評価フローを図2-2に示す。

2.3.1 S d 閉機能維持

弾性設計用地震動S dによる地震荷重に相当する荷重でオペフロ BOP が開放しないこと（以下「S d 閉機能維持」という。）を確認する。具体的には、モックアップ試験体の振動試験により固有振動数を計測し、弾性設計用地震動S dによる地震荷重が、オペフロ BOP の開放荷重を下回ることを確認する。

なお、パネル本体については、設計差圧に対して健全性を確保する設計としており、弾性設計用地震動S dによる地震荷重が設計差圧以下であるため健全性は確保される。

2.3.2 S s 開機能維持

基準地震動S sによる地震荷重に対し開放機能が維持できる構造であること（以下「S s 開機能維持」という。）を確認する。具体的には、基準地震動S sによる地震荷重に対して、設置箇所における原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）躯体の層間変位が、パネル本体と枠部の間隙より小さく、支持躯体とパネル本体の干渉が生じないことにより、パネル本体が開放機能を維持できることを確認する。

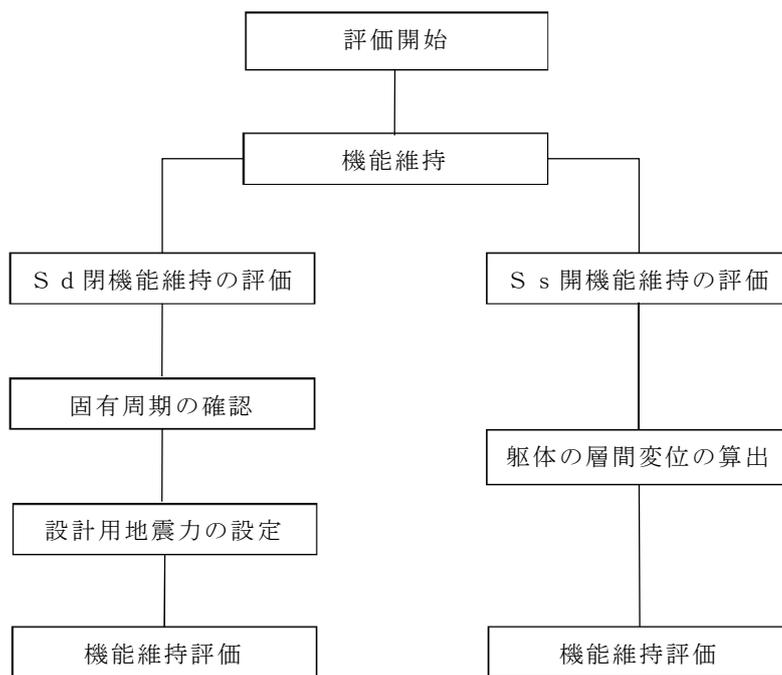


図 2-2 オペフロ BOP の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 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)

3. S d 閉機能維持評価

3.1 固有周期の確認方法

3.1.1 水平方向

オペフロ BOP の閉機能維持評価に係る面外方向（NS 方向）について固有周期を確認する。固有周期は、モックアップ試験体の振動試験にて、ゴムハンマーにより当該試験体に振動を与え、加速度を測定し、測定したパネル本体中央の加速度波形から、高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルより確認する。

なお、面内方向（EW 方向）については十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-1、固有振動数の測定結果を図 3-1 に示す。面外方向（NS 方向）の固有周期は 秒（固有振動数は Hz）であり、固有振動数が 20Hz 以上であることを確認した。そのため、「3.3 設計用地震力」では、剛構造として評価する。

表 3-1 固有周期

方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
NS 方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>



図 3-1 固有振動数測定結果

3.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-2 に示す。

「弾性設計用地震動 S d」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、「静的震度」による地震力は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。評価に用いる震度は、保守的な評価とするため、オペフロ BOP 設置階の上階 (T. M. S. L. 49.7m) の値とする。

なお、オペフロ BOP を閉止する止板は、枠部に作用する鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、鉛直震度に対する S d 閉機能維持評価は行わない。

表 3-2 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 床面高さ (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	
	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
原子炉建屋 T. M. S. L. 49.7	<input type="text"/> *	0.05 以下	$C_H = 1.03$	$C_V = 0.52$	—	—

注記* : 面外方向 (NS 方向) の値を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 地震荷重

弾性設計用地震動 S d による地震荷重は、「3.3 設計用地震力」で示した水平震度を用いて、次式により算定する。

$$F_H = W \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (3.1)$$

- F_H : 地震荷重 (N)
- W : オペフロ BOP の質量 (=868kg)
- C_H : 水平震度 (=1.03)
- g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

3.4.2 開放荷重

オペフロ BOP の開放荷重は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す実機大モックアップ試験にて得られた開放荷重とする。

3.5 評価結果

オペフロ BOP の弾性設計用地震動 S d による地震荷重と開放荷重を比較した評価結果を表 3-3 に示す。

オペフロ BOP は、弾性設計用地震動 S d による地震荷重に対し、開放しないことを確認した。

表 3-3 評価結果

試験体	①開放荷重 (kN)	②弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (① > ②)
試験 1	□	8.8	○
試験 2	□		○
試験 3	□		○

4. S s 開機能維持評価

4.1 取付け状況

オペフロ BOP は、止板により枠部に取付けられている。パネル本体と枠部の取付け状況を図 4-1 に示す。パネル本体と枠部とは左右及び上部に 70 mm の間隙がある。

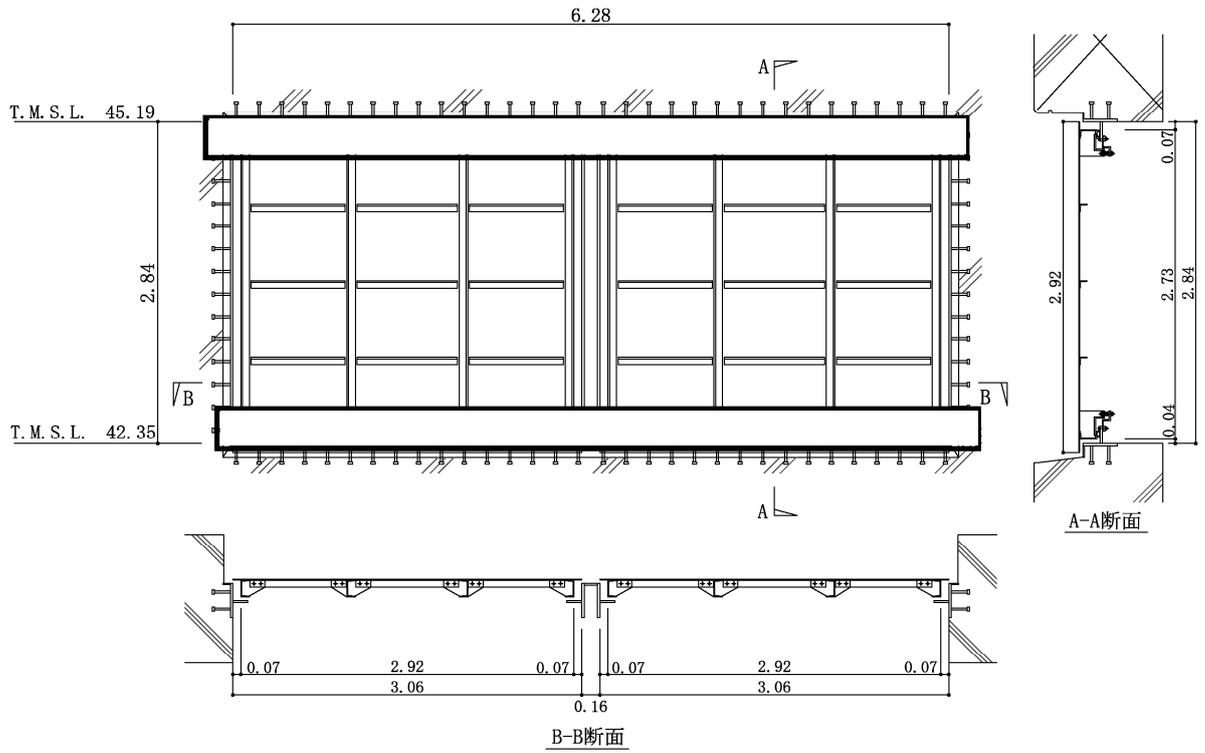


図 4-1 パネル本体と枠部の取付け状況 (単位 : m)

4.2 層間変位の算定

地震時の躯体の層間変位について図 4-2 に示す。層間変位は、VI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて設定している耐震壁のせん断ひずみの許容限界を層間変形角として、以下の式により算定する。

$$\delta = h \cdot \theta \dots\dots\dots (4.1)$$

h : パネル本体の高さ (=2.73m)

θ : 層間変形角 (=2.0×10⁻³rad)

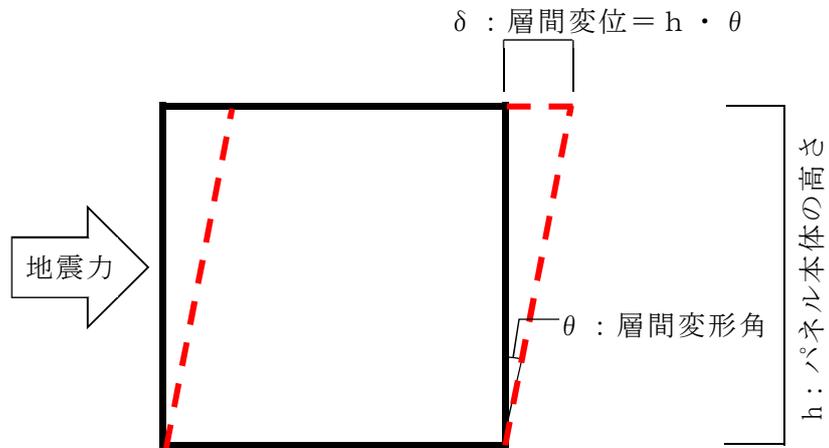


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。躯体の層間変位は 5.46mm であり、パネル本体側面と枠部とは 70mm の間隙があることから変形に対し追従できる。以上のことから、オペフロ BOP は、基準地震動 S_s を受けたとしても開放機能に影響はないことを確認した。

表 4-1 評価結果

① 層間変位 (mm)	② 間隙 (mm)	判定 (①<②)
5.46	70	○

VI-2-9-3-1-2 主蒸気系トンネル室
ブローアウトパネルの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造概要	5
2.3	評価方針	8
2.3.1	S d 閉機能維持	8
2.3.2	S s 開機能維持	8
2.4	適用規格・基準等	10
3.	S d 閉機能維持評価	11
3.1	固有周期の確認方法	11
3.1.1	水平方向	11
3.1.2	鉛直方向	11
3.2	固有周期の確認結果	11
3.3	設計用地震力	12
3.4	評価方法	13
3.4.1	地震荷重	13
3.4.2	開放荷重	13
3.5	評価結果	14
4.	S s 開機能維持評価	15
4.1	取付け状況	15
4.2	層間変位の算定	16
4.3	評価結果	16

1. 概要

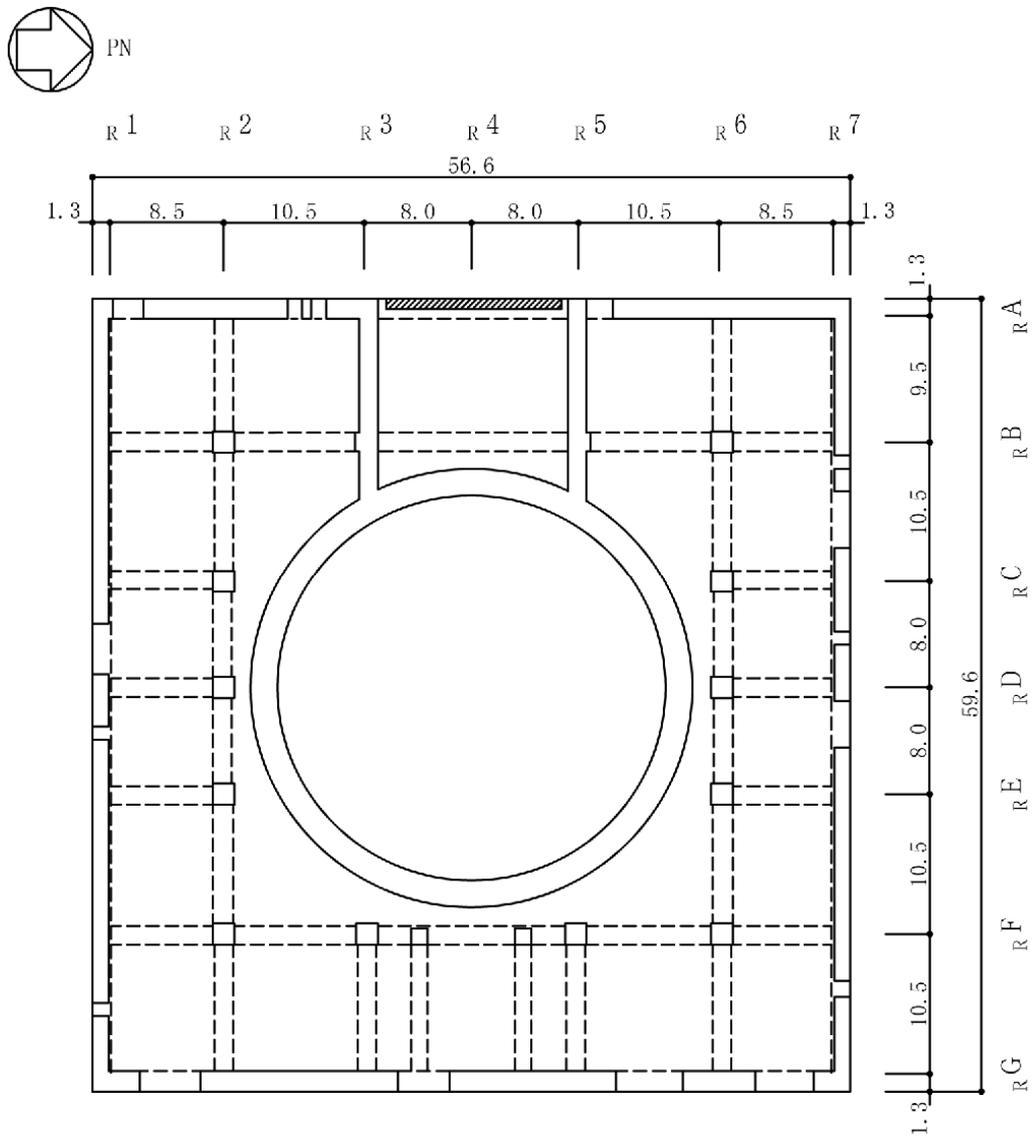
本計算書は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）主蒸気系トンネル室（以下「MSトンネル室」という。）のタービン建屋境界部に設置されている主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下「MSトンネル室BOP」という。）が弾性設計用地震動 S_d による地震荷重に対し開放しないこと、基準地震動 S_s による地震荷重に対し開放機能が維持できる構造強度を有していることを説明するものである。

MSトンネル室BOPは、設計基準対象施設において「Sクラスの施設」に、重大事故等対処設備においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

MS トンネル室 BOP の設置位置平面図及び断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。



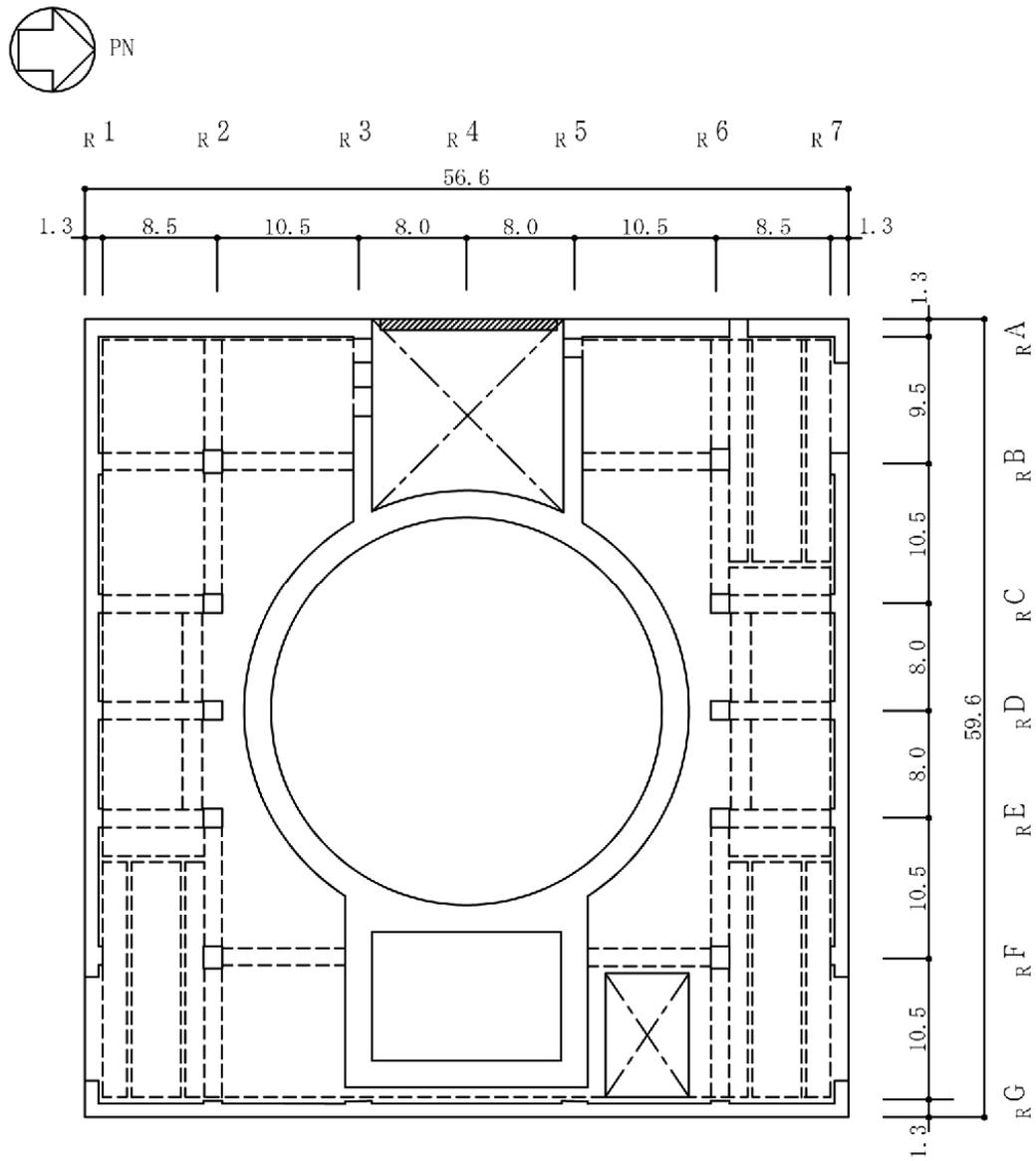
▨ : MS トンネル室 BOP

注 : 東京湾平均海面を以下「T. M. S. L.」という。

図 2-1 MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (単位 : m) (1/2)

(T. M. S. L. 12.3m)

K6 ① VI-2-9-3-1-2 R0



▨ : MS トンネル室 BOP

図 2-1 MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (単位 : m) (2/2)

(T. M. S. L. 18. 1m)

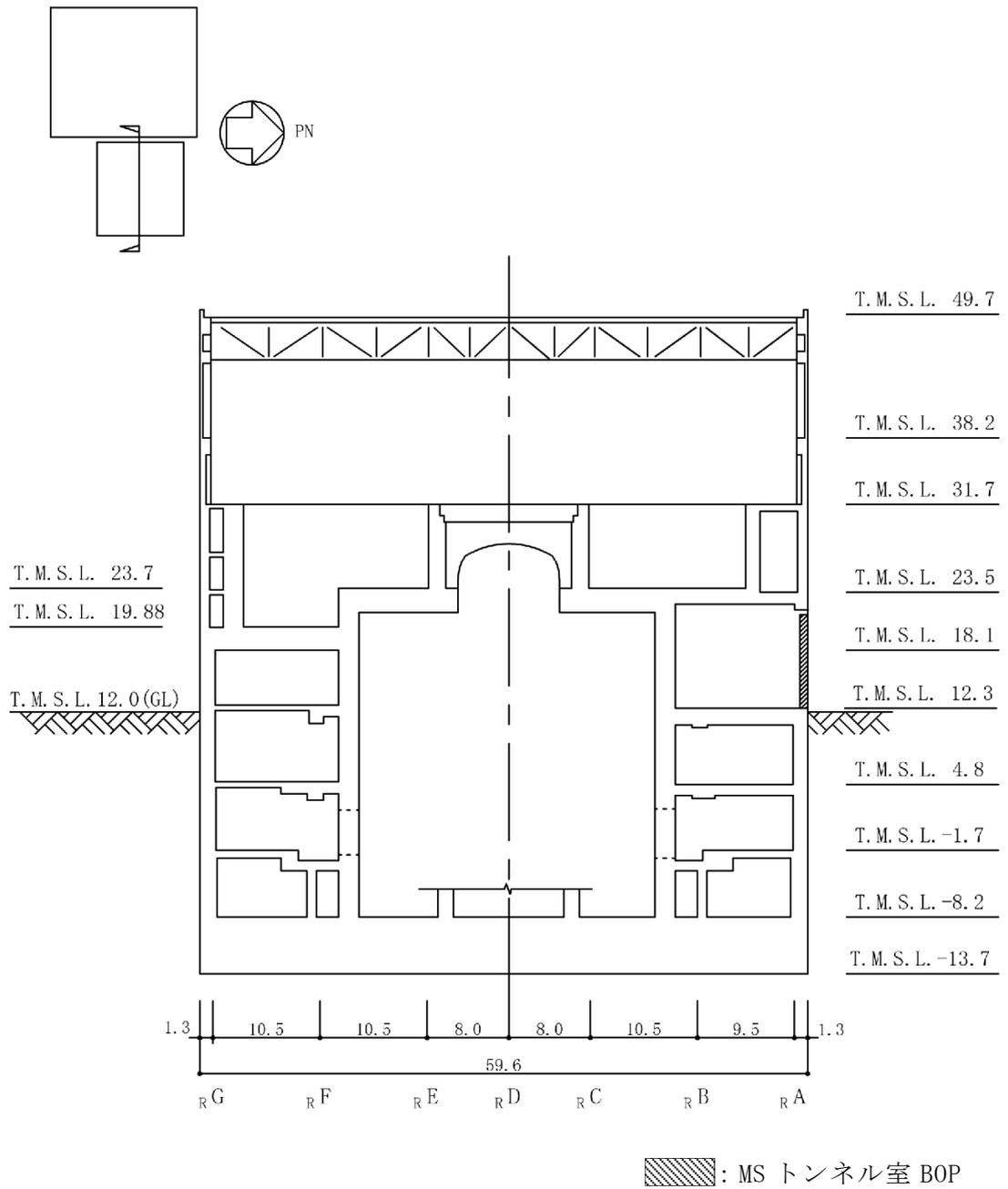


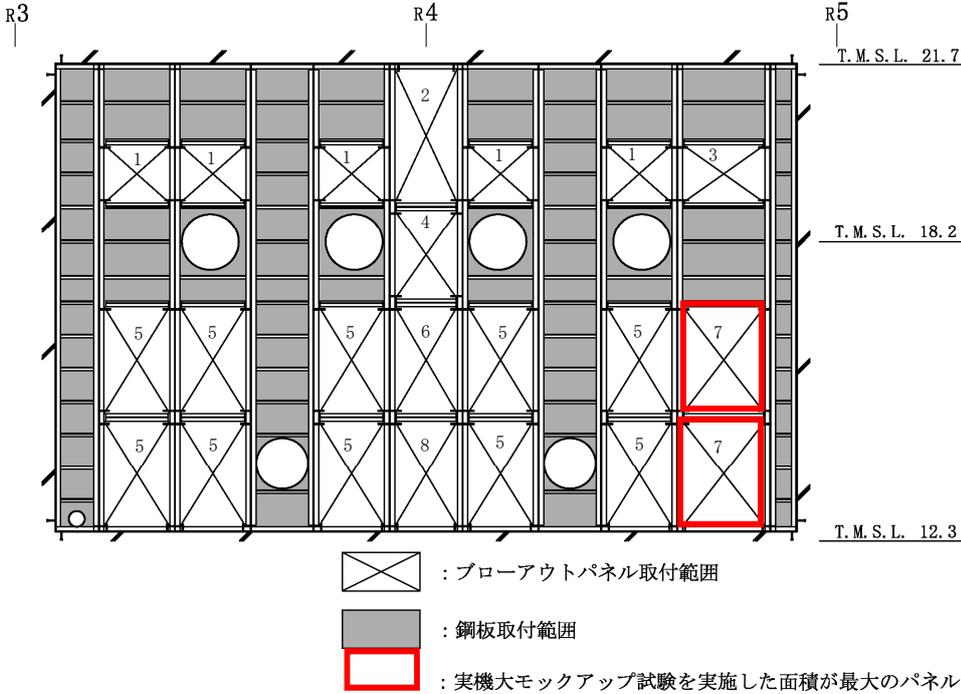
図 2-2 MS トンネル室 BOP の設置位置断面図 (単位 : m)
(EW 方向)

2.2 構造概要

MSトンネル室BOPは、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）のMSトンネル室タービン建屋側開口部（T.M.S.L.12.3m～21.7m）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、パネルをMSトンネル室壁面内に設置する枠部及び差圧により曲げ変形する止板部より構成される設備である。

MSトンネル室BOPの構造計画を表2-1に示す。

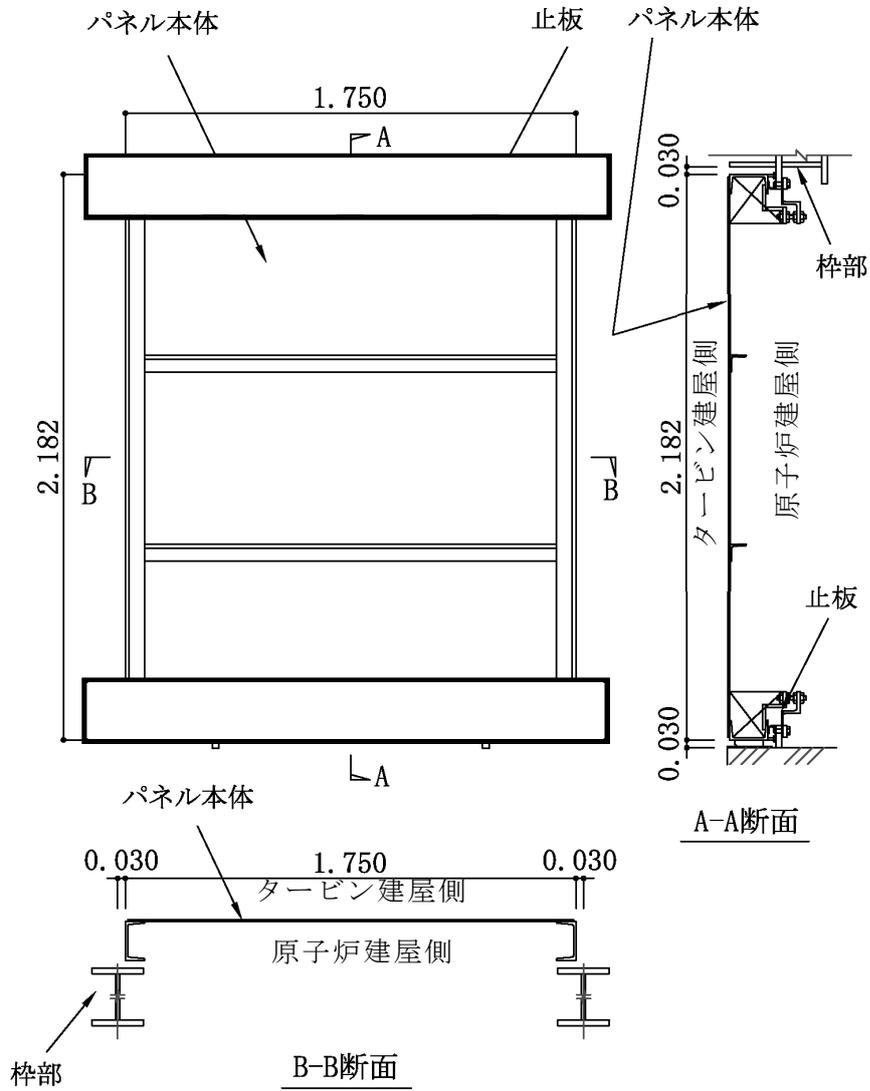
表 2-1 MS トンネル室 BOP の構造計画 (1/2)

計画の概要	
支持構造	主体構造
MS トンネル室 BOP は、十分な強度を有する構造とし、枠部により MS トンネル室の壁に据付けられる。	<ul style="list-style-type: none"> ・パネル本体 ・枠部 <p>MS トンネル室 BOP は、パネル本体、パネルを MS トンネル室壁面内に設置する枠部により構成される設備である。</p>
材料	SS400
作動方式*	止板式 (No. 1, 3, 4)  個 / パネル (上部  個, 下部  個) (No. 2, 5, 6, 7, 8)  個 / パネル (上部  個, 下部  個)
止板仕様	材質 SHY685
主要寸法* (幅×高さ)	(No. 1) 1.420m×1.224m (No. 2) 1.360m×2.732m (No. 3) 1.750m×1.224m (No. 4) 1.360m×1.824m (No. 5) 1.420m×2.182m (No. 6) 1.360m×2.174m (No. 7) 1.750m×2.182m (No. 8) 1.360m×2.182m
概略構造図 (単位 : m)	
 <p>  : ブローアウトパネル取付範囲  : 鋼板取付範囲  : 実機大モックアップ試験を実施した面積が最大のパネル </p>	

注記* : No. は MS トンネル室概略構造図のパネルに記載の番号に対応

表 2-2 MS トンネル室 BOP の構造計画 (2/2)

概略構造図 (単位 : m)



注 : 実機大モックアップ試験を実施した面積が最大の No. 7 パネル

2.3 評価方針

MSトンネル室BOPの地震時の構造強度及び機能維持評価は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、以下の評価方針とする。

MSトンネル室BOPの評価フローを図2-3に示す。

2.3.1 S d 閉機能維持

弾性設計用地震動S dによる地震荷重に相当する荷重でMSトンネル室BOPが開放しないこと（以下「S d 閉機能維持」という。）を確認する。具体的には、モックアップ試験体の振動試験により固有振動数を計測し、弾性設計用地震動S dによる地震荷重が、MSトンネル室BOPの開放荷重を下回ることを確認する。

なお、パネル本体については、設計差圧に対して健全性を確保する設計としており、弾性設計用地震動S dによる地震荷重が設計差圧以下であるため健全性は確保される。

2.3.2 S s 開機能維持

基準地震動S sによる地震荷重に対し開放機能が維持できる構造であること（以下「S s 開機能維持」という。）を確認する。具体的には、基準地震動S sによる地震荷重に対して、設置箇所における原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）躯体の層間変位が、パネル本体と枠部の間隙より小さく、支持躯体とパネル本体の干渉が生じないことにより、パネル本体が開放機能を維持できることを確認する。

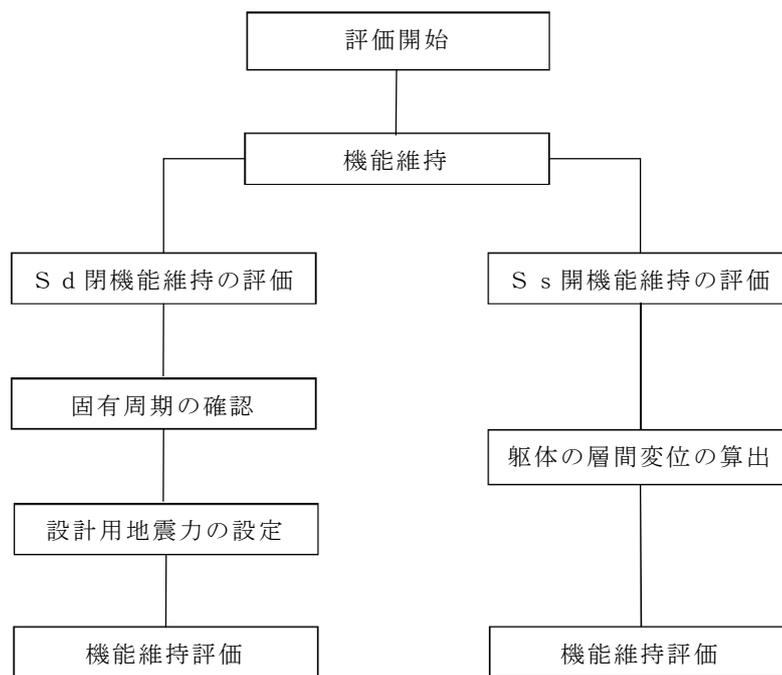


図 2-3 MS トンネル室 BOP の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 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)

3. S d 閉機能維持評価

3.1 固有周期の確認方法

3.1.1 水平方向

MS トンネル室 BOP の閉機能維持評価に係る面外方向（EW 方向）について固有周期を確認する。固有周期は、モックアップ試験体の振動試験にて、ゴムハンマーにより当該試験体に振動を与え、加速度を測定し、測定したパネル本体中央の加速度波形から、高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルより確認する。試験体については、「土木学会 構造力学公式集」に基づく固有振動数の評価より、固有周期が最も長くなる No.7 パネルを選定した。

なお、面内方向（NS 方向）については十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-1、固有振動数の測定結果を図 3-1 に示す。面外方向（EW 方向）の固有周期は 秒（固有振動数は Hz）であり、固有振動数が 20Hz 以上であることを確認した。そのため、「3.3 設計用地震力」では、剛構造として評価する。

表 3-1 固有周期

方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
EW 方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

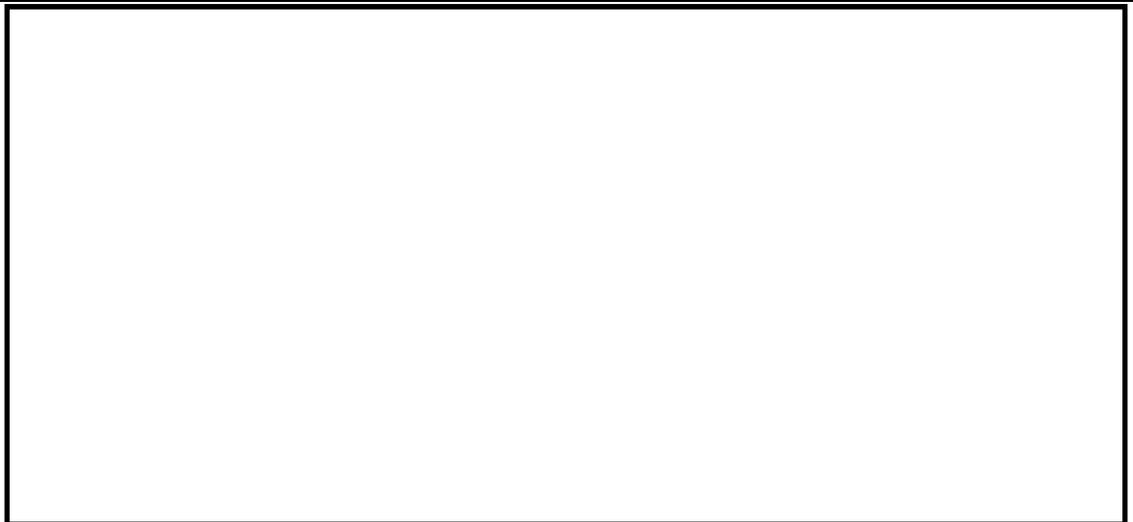


図 3-1 固有振動数測定結果

3.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-2 に示す。

「弾性設計用地震動 S d」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、「静的震度」による地震力は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。評価に用いる震度は、保守的な評価とするため、MS トンネル室 BOP 設置階の上階 (T. M. S. L. 23.5m) の値とする。

なお、MS トンネル室 BOP を閉止する止板は、枠部に作用する鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、鉛直震度に対する S d 閉機能維持評価は行わない。

表 3-2 設計用地震力 (設計基準対象施設, 重大事故等対処設備)

据付場所 及び 床面高さ (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	
	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
原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5	□*	0.05 以下	$C_H = 0.65$	$C_V = 0.47$	—	—

注記* : 面外方向 (EW 方向) の値を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 地震荷重

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重は、「3.3 設計用地震力」で示した水平震度を用いて、次式により算定する。

$$F_H = W \cdot C_H \cdot g \cdots \cdots \cdots (3.1)$$

- F_H : 地震荷重 (N)
 W : MS トンネル室 BOP の質量 (=375kg*)
 C_H : 水平震度 (=0.65)
 g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
 注記* : No.7 パネルの質量を示す。

3.4.2 開放荷重

MS トンネル室 BOP の開放荷重は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す実機大モックアップ試験にて得られた開放荷重とする。なお、MS トンネル室 BOP の実機大モックアップ試験は No.7 パネルで実施したことから、その他のパネルについては、実機大モックアップ試験結果より得られた静止摩擦係数 を基に保守的に設定した静止摩擦係数 を用いて算出したパネル下部の摩擦力及びVI-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」にて設定した止板仕様における止板耐力より開放荷重を算定する。

3.5 評価結果

MS トンネル室 BOP の弾性設計用地震動 S d による地震荷重と実機大モックアップ試験にて得られた開放荷重を比較した評価結果を表 3-3 に示す。また、弾性設計用地震動 S d による地震荷重とパネル下部の摩擦力及び止板耐力より算定した開放荷重を比較した評価結果を表 3-4 に示す。

MS トンネル室 BOP は、いずれのパネルにおいても弾性設計用地震動 S d による地震荷重に対し、開放しないことを確認した。

表 3-3 評価結果 (No.7 パネル)

試験	①開放荷重 (kN)	②弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (① > ②)
試験 1	<input type="checkbox"/>	2.4	○
試験 2	<input type="checkbox"/>		○
試験 3	<input type="checkbox"/>		○

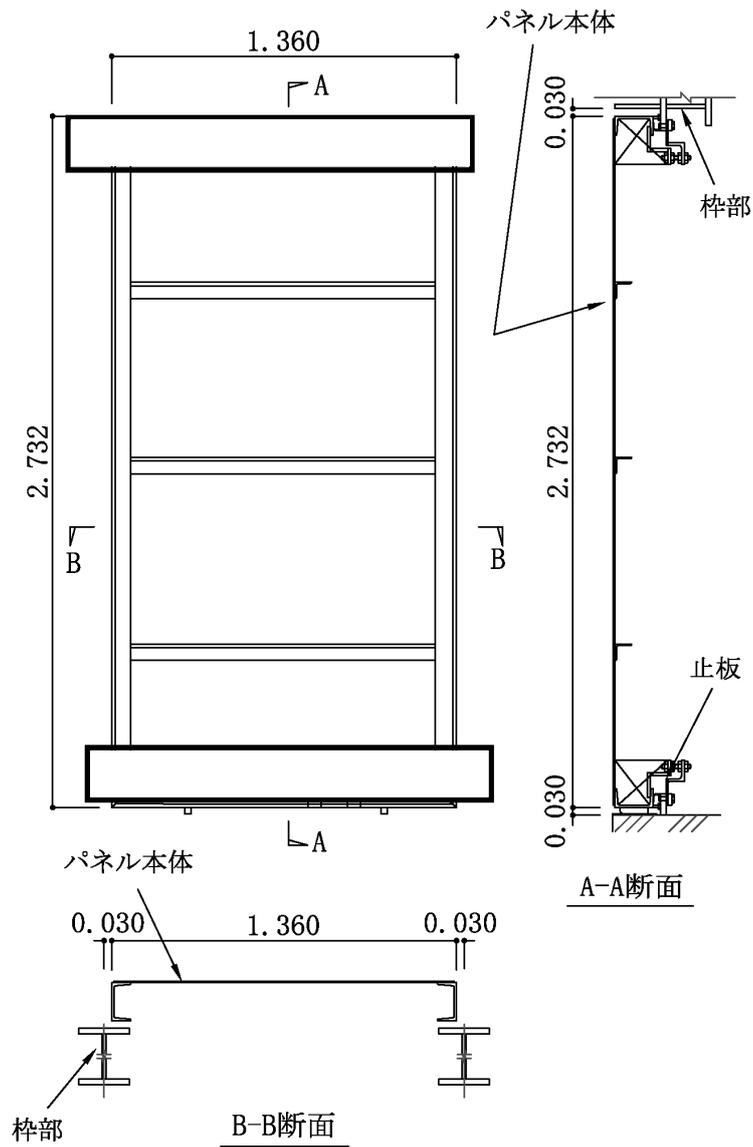
表 3-4 評価結果 (全パネル)

パネル No.	質量 (kg)	摩擦係数	① 摩擦力 (kN)	② 止板耐力 (kN)	③ 開放荷重 (①+②) (kN)	水平震度	④ 弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (③ > ④)
1	207	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.95	<input type="checkbox"/>	0.65	1.3	○
2	379		<input type="checkbox"/>	6.47	<input type="checkbox"/>		2.4	○
3	240		<input type="checkbox"/>	3.56	<input type="checkbox"/>		1.5	○
4	270		<input type="checkbox"/>	4.31	<input type="checkbox"/>		1.7	○
5	325		<input type="checkbox"/>	5.35	<input type="checkbox"/>		2.1	○
6	315		<input type="checkbox"/>	5.35	<input type="checkbox"/>		2.0	○
7	375		<input type="checkbox"/>	6.47	<input type="checkbox"/>		2.4	○
8	315		<input type="checkbox"/>	5.35	<input type="checkbox"/>		2.0	○

4. S s 開機能維持評価

4.1 取付け状況

MS トンネル室 BOP は、止板により枠部に取付けられている。パネル本体と枠部の取付け状況を図 4-1 に示す。パネル本体と枠部とは左右及び上部に 30 mm の間隙がある。



注：パネル本体の高さが最も大きい No.2 パネル

図 4-1 パネル本体と枠部の取付け状況 (単位：m)

4.2 層間変位の算定

地震時の躯体の層間変位について図 4-2 に示す。層間変位は、VI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて設定している耐震壁のせん断ひずみの許容限界を層間変形角として、以下の式により算定する。なお、評価は層間変位が最大となるパネル本体の高さが最も大きい No.2 パネルについて行う。

$$\delta = h \cdot \theta \dots\dots\dots (4.1)$$

h : パネル本体の高さ (=2.732m)

θ : 層間変形角 (=2.0×10⁻³rad)

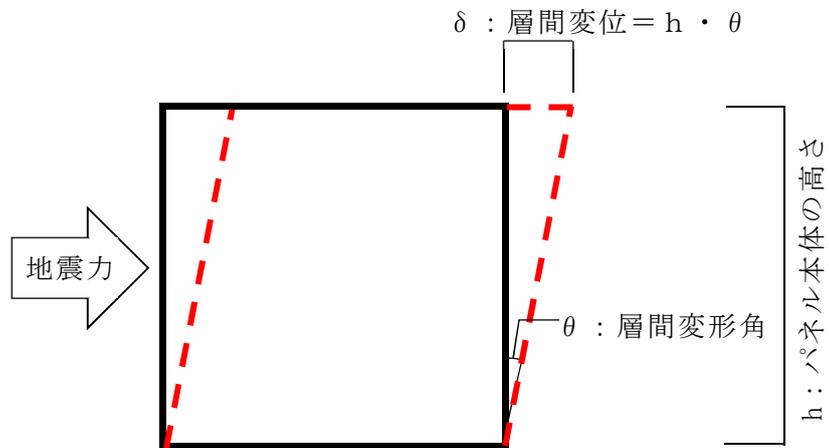


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。躯体の層間変位は 5.47mm であり、パネル本体側面と枠部とは 30mm の間隙があることから変形に対し追従できる。以上のことから、MS トンネル室 BOP は、基準地震動 S_s を受けたとしても開放機能に影響はないことを確認した。

表 4-1 評価結果

①層間変位 (mm)	②間隙 (mm)	判定 (①<②)
5.47	30	○

VI-2-9-3-3 原子炉建屋エアロック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 配置概要	1
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
2.5 記号の説明	9
3. 固有周期	12
3.1 固有周期の計算方法	12
3.1.1 水平方向	12
3.1.2 鉛直方向	13
3.2 固有周期の計算条件	14
3.3 固有周期の計算結果	15
4. 構造強度評価	16
4.1 評価部位	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	19
4.2.1 耐震評価上考慮する荷重	19
4.2.2 荷重の設定	20
4.3 許容限界	22
4.3.1 使用材料	22
4.3.2 許容限界	23
4.4 計算方法	24
4.4.1 開き戸形式	24
4.4.2 引き戸形式	32
4.5 計算条件	36
5. 評価結果	39

1. 概要

本資料は、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及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建屋エアロック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。

原子炉建屋エアロックは、原子炉建屋原子炉区域の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処施設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施設として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建屋エアロックの設置位置を図 2-1 に示す。

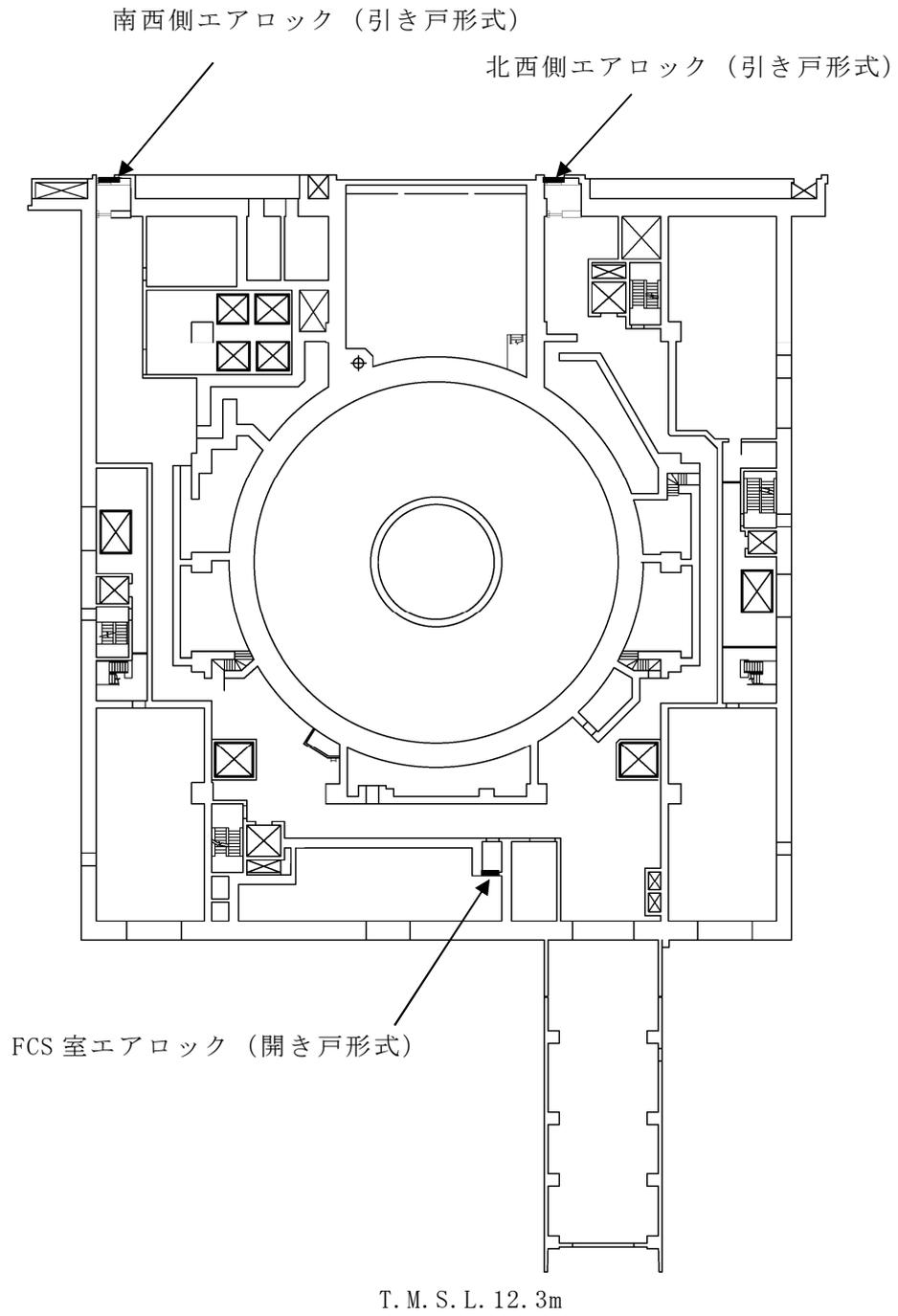


図 2-1 設置位置図 (1/2)

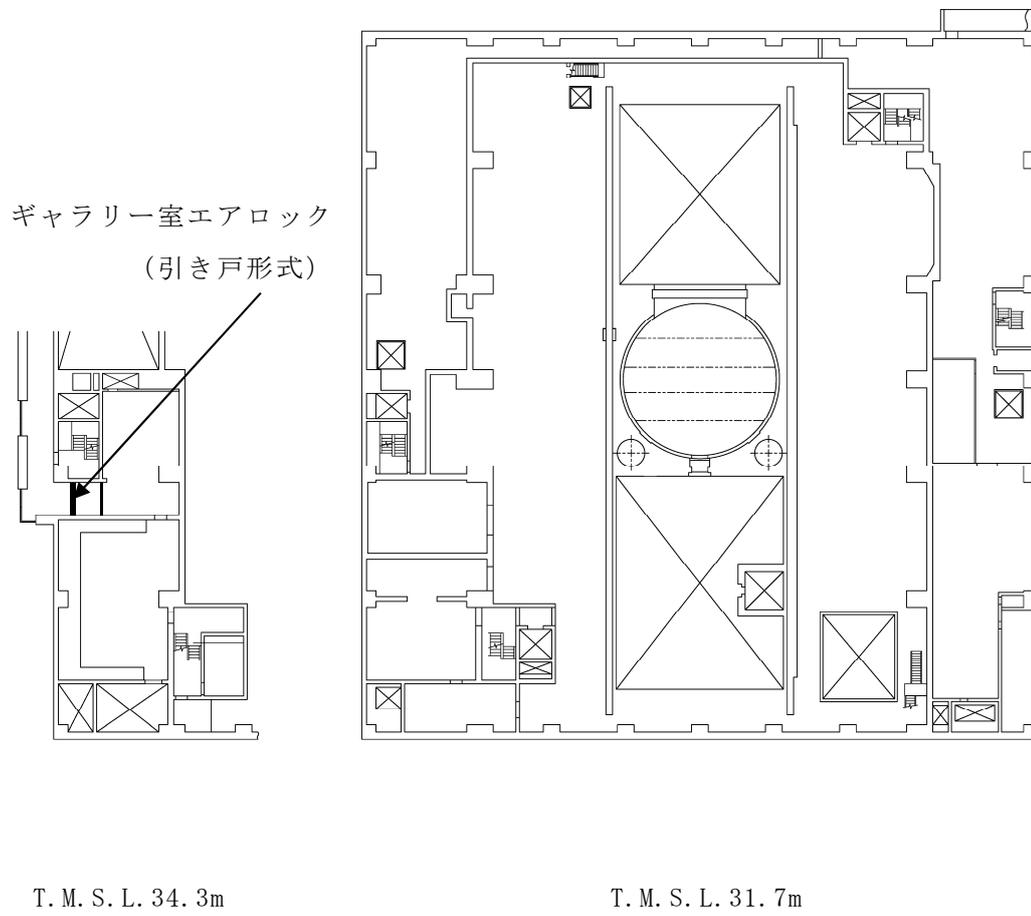


図 2-1 設置位置図 (2/2)

2.2 構造計画

原子炉建屋エアロックの構造計画を表 2-1 及び表 2-2, 概略構造図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

なお, 図 2-1 で示すように, 原子炉建屋内には開き戸形式のエアロック扉 1 箇所, 引き戸形式のエアロック扉が 3 箇所あり, 引き戸形式でのエアロック扉は, いずれも同一構造の扉である。

2-1 構造計画 (開き戸形式)

計画の概要	
支持構造	主体構造
エアロックを閉止する際に, カンヌキにより扉が扉枠に固定される構造とする。また, 扉枠を躯体の開口部周辺に, スタッドにより固定する構造とする。	開き戸形式の鋼製扉とし, 鋼製の芯材に表側鋼板を取付け, 扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み, 扉を扉枠と一体化させる構造とする。また, 扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。

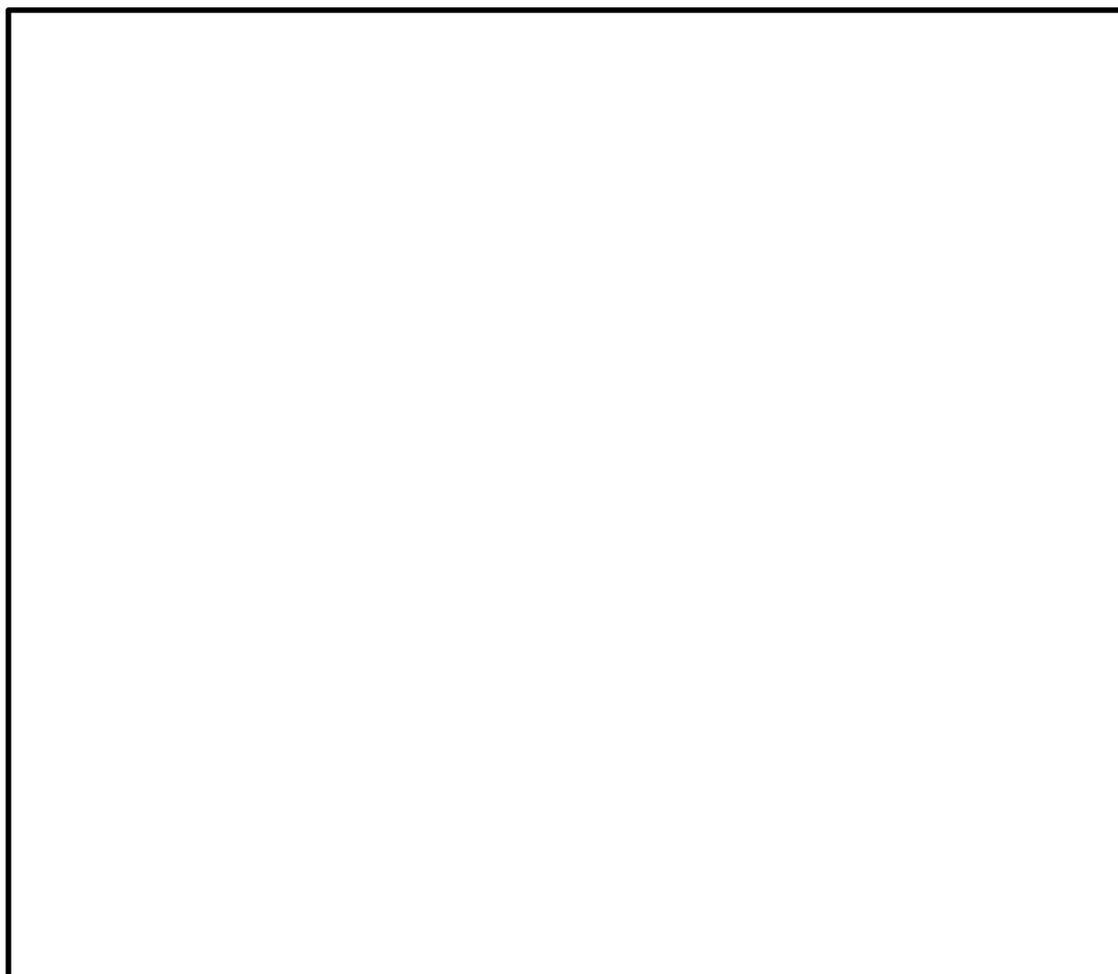


図 2-2 FCS 室エアロック概略構造図 (開き戸形式) (単位: mm)

表 2-2 構造計画（引き戸形式）

計画の概要	
支持構造	主体構造
<p>エアロックを閉止する際に締付ローラーにより扉が扉枠に固定される構造とする。</p> <p>エアロックの閉止の際は、枠溝に対し回転する締付ローラーが、枠溝から受ける反力で扉を押し込むようにして扉が扉枠に固定される。</p> <p>また、扉枠を躯体の開口部周辺にスタッドにより固定する構造とする。</p>	<p>引き戸形式の鋼製扉とし、鋼製の表側鋼板をスライドさせ、締付ローラーによって固定部に密着することで扉を扉枠と一体化させる構造とする。</p>



図 2-3 南西側エアロック概略構造図（引き戸形式）（単位：mm）

2.3 評価方針

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」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「2.2 構造計画」にて示す原子炉建屋エアロックの部位を踏まえ、「4.1 評価部位」にて設定する部位において、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」に示す方法にて確認することで実施する。

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

原子炉建屋エアロックの耐震評価フローを図2-4に示す。

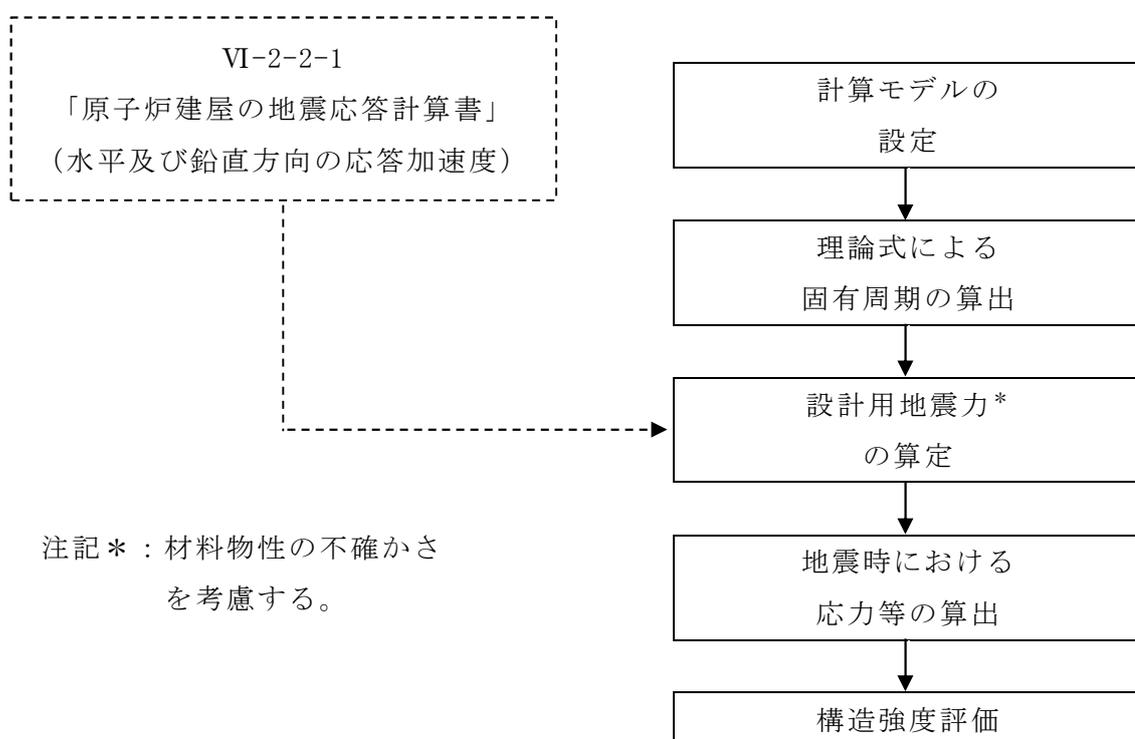


図2-4 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (3) 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，2005 改定）
（以下「S規準」という。）
- (4) 日本産業規格（J I S）

2.5 記号の説明

原子炉建屋エアロックの耐震評価に用いる記号を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号（開き戸形式）（1/2）

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建屋エアロックの 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面 2 次モーメント	m ⁴	
	L	はり長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _X	扉体自重	kN	
	W ₁	躯体開口幅	mm	
	H ₁	躯体開口高	mm	
	P _{E1}	圧力荷重（内圧）	kN/m ²	
P _{E2}	圧力荷重（外圧）	kN/m ²		
ヒンジ部	共通	L _j	ヒンジ中心間距離	mm
		L _r	扉体重心～ヒンジ芯間距離（扉体幅方向）	mm
		L _t	扉体重心～ヒンジ芯間距離（扉体厚方向）	mm
		R _r	扉体幅方向自重反力	N
		R _t	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジアーム	A ₁	ヒンジアームの断面積	mm ²
		L ₁	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M ₁	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q ₁	ヒンジアームのせん断力	N
		Z ₁	ヒンジアームの断面係数	mm ³
		σ _{b1}	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x1}	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm ²
	τ ₁	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm ²	
	ヒンジピン	A ₂	ヒンジピンの断面積	mm ²
L ₂		ヒンジピンの軸支持間距離	mm	

表 2-3 耐震評価に用いる記号（開き戸形式）（2/2）

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジピン	M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
		Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm^3
		σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x2}	ヒンジピンの組合せ応力度	N/mm^2
		τ_2	ヒンジピンのせん断応力度	N/mm^2
	ヒンジボルト	A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
		n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
		Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
		T_3	ヒンジボルトの引張力	N
		σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力度	N/mm^2
		τ_3	ヒンジボルトのせん断応力度	N/mm^2
カンヌキ	共通	F_H'	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	A_4	カンヌキの断面積	mm^2
		L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
		M_4	カンヌキの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		n	カンヌキの本数	本
		Q_4	カンヌキのせん断力	N
		Z_4	カンヌキの断面係数	mm^3
		σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x4}	カンヌキの組合せ応力度	N/mm^2
	τ_4	カンヌキのせん断応力度	N/mm^2	

表 2-4 耐震評価に用いる記号（引き戸形式）

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建屋エアロックの1次固有振動数	Hz	
	I	断面2次モーメント	m ⁴	
	L	はり長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _x	扉体自重	kN	
	W ₂	扉幅	mm	
	H ₂	扉高	mm	
	P _{E1}	圧力荷重（内圧）	kN/m ²	
P _{E2}	圧力荷重（外圧）	kN/m ²		
固定部	共通	F ₅	接触箇所1箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力	N
		N ₅	水平面外方向の扉体とレール周辺部材の接触箇所	箇所
	ローラー軸	A ₅	締付ローラー軸の断面積	mm ²
		L ₅	締付ローラー作用点距離	mm
		M ₅	締付ローラー軸評価位置の曲げモーメント	N・mm
		Z ₅	締付ローラー軸の断面係数	mm ³
		σ _{b5}	締付ローラー軸の曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x5}	締付ローラー軸の組合せ応力度	N/mm ²
		τ ₅	締付ローラー軸のせん断応力度	N/mm ²

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、図 3-1 及び図 3-2 に示すはりモデルとして、「土木学会 構造力学公式集」に基づき計算する。

ここで、扉閉止時は、開き戸形式のエアロックはカンヌキにより扉枠に固定される構造であることから端部の境界条件を固定として、引き戸形式のエアロックは締付けローラーにより扉を扉面外方向に拘束する構造であることから端部の境界条件を単純支持とする。

扉開放時は、開き戸形式のエアロックは片側ヒンジ、片側自由端のはりとしてモデル化し、引き戸形式のエアロックは扉閉止時と端部の境界条件が変わらないことから、端部の境界条件を単純支持とする。

また、モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

3.1.1 水平方向

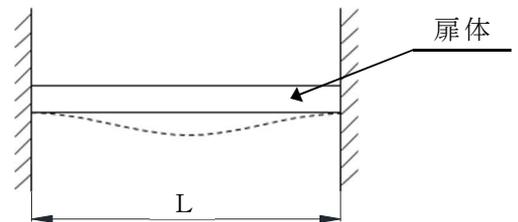
(1) 扉閉止時

扉閉止時の水平方向の固有周期は、図 3-1 に示す固有値計算モデルにより、扉面外方向について算出する。

a. 開き戸形式

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{4.7300^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$



b. 引き戸形式

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

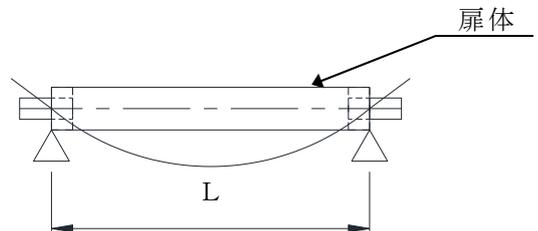


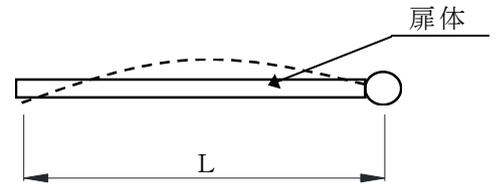
図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

(2) 扉開放時

扉開放時の水平方向の固有周期は、図 3-2 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

a. 開き戸形式

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{3.9266^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$



b. 引き戸形式

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

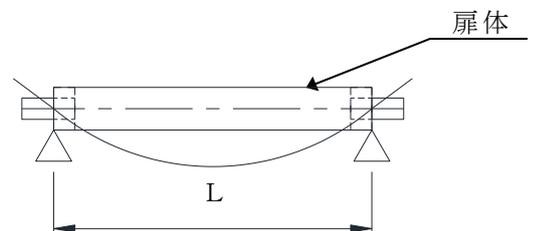


図 3-2 固有値計算モデル (扉開放時)

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件
(a) FCS 室エアロック（開き戸形式）

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	L	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面 2 次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック（引き戸形式）

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	L	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面 2 次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

(c) ギャラリー室エアロック（引き戸形式）

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	L	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面 2 次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 3-2 固有周期 (s)

エアロック名称	扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
FCS 室エアロック	閉止時		
	開放時		
南西側エアロック 北西側エアロック	閉止時		
	開放時		
ギャラリー室エアロック	閉止時		
	開放時		

4. 構造強度評価

4.1 評価部位

原子炉建屋エアロックの評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示すエアロックの構造を踏まえ、エアロックに作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、設定する。

開き戸形式のエアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部及びカンヌキ部から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

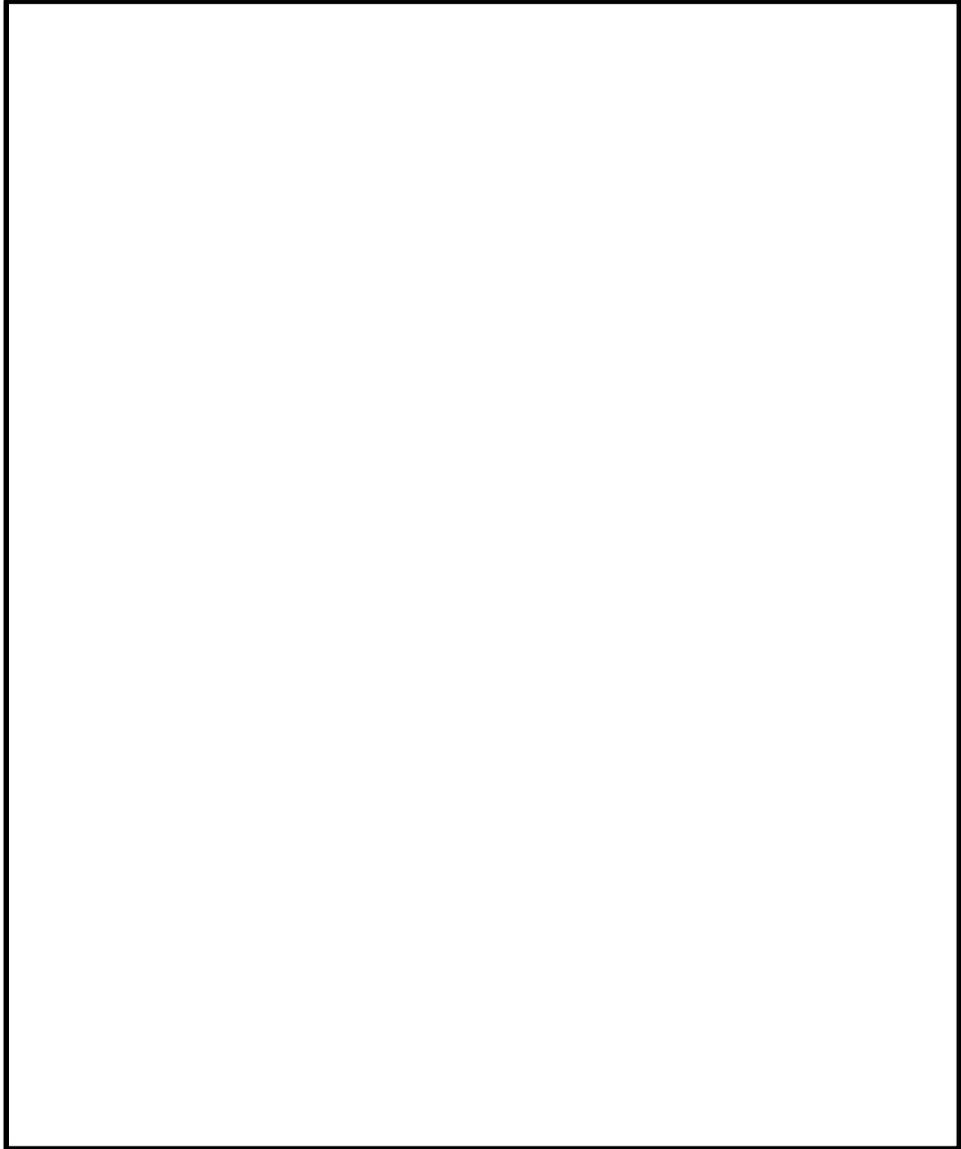
カンヌキ部については、カンヌキを受けるプレートが直接扉枠へ接合しているため、カンヌキのみを評価部位とする。

引き戸形式のエアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、締付ローラーから扉枠に伝達しているため、評価部位を固定部（締付ローラー、ベアリング及びローラー軸）とする。

なお、扉枠からは直接躯体に荷重の伝達をしているため、扉枠と躯体を接合しているスタッドについては、評価対象としないこととする。

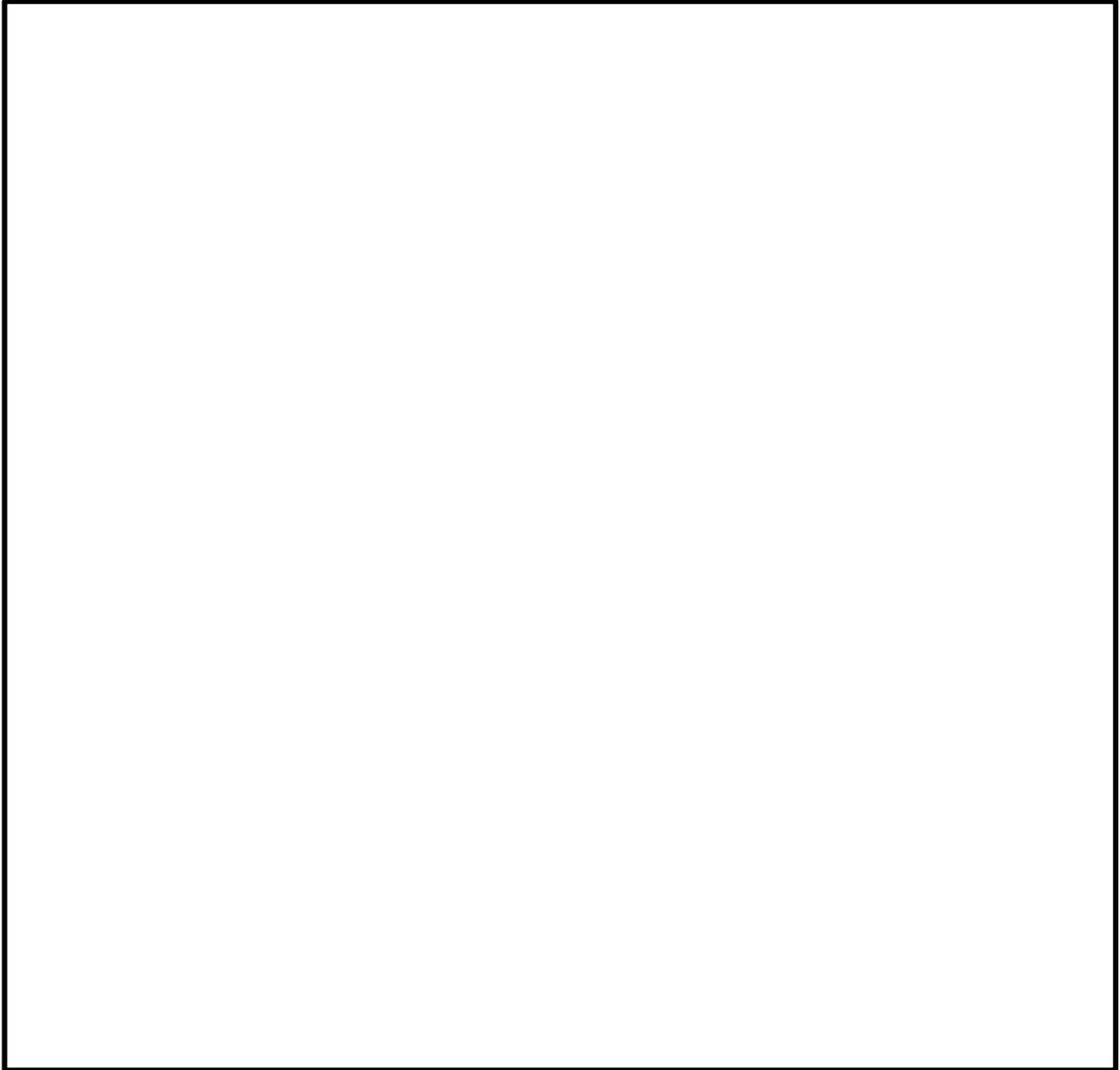
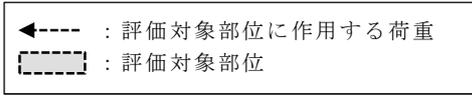
原子炉建屋エアロックの地震荷重の作用イメージと評価部位を図 4-1 に示す。

← : 評価対象部位に作用する荷重
□ : 評価対象部位



(a) 開き戸形式

図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位 (1/2)



(b) 引き戸形式

図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位 (2/2)

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに準じて設定する。

VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処施設の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動 S_s による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

原子炉建屋エアロックの耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

G	: 固定荷重 (kN)
P	: 圧力荷重 (kN/m ²)
S_s	: 基準地震動 S_s による地震力 (kN)

4.2.2 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

原子炉建屋エアロックの固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

エアロック名称	固定荷重 (kN)
FCS 室エアロック	
南西側エアロック	
北西側エアロック	
ギャラリー室エアロック	

(2) 圧力荷重 (P)

原子炉建屋エアロックにかかる圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は原子炉建屋エアロックの建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧（負圧）はエアロックに対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

種類	圧力荷重 (kN/m ²)
内圧（正圧）	0.000
外圧（負圧）	0.491

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_sによる荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして VI-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」によることとし、設置階の上階の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_sによる地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

エアロック名称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
FCS 室エアロック	T. M. S. L. 12. 3m	0. 935	0. 907
南西側エアロック 北西側エアロック	(T. M. S. L. 18. 1m)	0. 935	0. 907
ギャラリー室エアロック	T. M. S. L. 34. 5m (T. M. S. L. 38. 2m)	1. 35	0. 994

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

原子炉建屋エアロックを構成するヒンジ部、カンヌキ及び固定部の使用材料を表4-4に示す。

表 4-4 使用材料

(a) 開き戸形式

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ			

(b) 引き戸形式

部位		材質	仕様
固定部	締付ローラー		
	ベアリング		
	ローラー軸		

4.3.2 許容限界

(1) ヒンジ部及びカンヌキ

ヒンジ部及びカンヌキを構成する部材の許容限界は、「S規準」に基づき設定する。各部材の許容限界を表4-5に示す。

表4-5 ヒンジ部及びカンヌキの許容限界

材質	許容限界 (N/mm ²)		
	曲げ	引張	せん断
	215	215	124
	205	205	118
	345	345	199
	651	651	375

(2) 固定部

固定部を構成する部材の許容限界及び許容荷重は、「S規準」及び基本定格荷重に基づき設定する。各部材の許容限界及び許容荷重を表4-6に示す。

表4-6 固定部の許容限界及び許容荷重

材質	許容限界 (N/mm ²)			許容荷重
	曲げ	引張	せん断	定格荷重 (N)
	—	—	—	13700
	—	—	—	7850
	235	235	135	—

4.4 計算方法

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、地震により生じる応力度または荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

4.4.1 開き戸形式

(1) 荷重計算方法

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から、各部材に発生する応力度を算定する。ヒンジ部に生じる荷重を図 4-2 に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$



図 4-2 ヒンジ部に生じる荷重

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームは，曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。

図 4-3 にヒンジアームに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジアームに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

ロ. せん断力

ヒンジアームに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$



図 4-3 ヒンジアームに生じる荷重

(b) ヒンジピン

ヒンジピンは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図4-4にヒンジピンに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

ロ. せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$



図4-4 ヒンジピンに生じる荷重

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトは，引張応力度及びせん断応力度について評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は，扉の開放角度が 90° の時には引張力として作用し，扉の開放角度が 180° の時には，せん断力として作用することから次式により算定する。なお，45° や 135° 等の上記以外の開放状況下においては，ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ 90° 開放時の引張力，180° 開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は 90° と 180° を想定するものとする。また，2 箇所設置しているヒンジ部のうち，上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して，下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから，下部のヒンジボルトを対象に評価する。図 4-5 にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_X + F_V)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$



図 4-5 ヒンジボルトに生じる荷重

b. カンヌキ

カンヌキは、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（外圧）から、部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図 4-6 に、カンヌキに生じる荷重を図 4-7 に示す。

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

$$F_{H'} = W_X \cdot C_H + P_{E2} \cdot W_1 \cdot H_1$$



図 4-6 扉体に生じる荷重



図 4-7 カンヌキに生じる荷重

(a) 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

(b) せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

(2) 応力の評価

各部材に生じる応力度等が，許容限界以下であることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，荷重の組合せを考慮する。

a. ヒンジ部

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，ヒンジアームに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

(b) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，ヒンジピンに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し，ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

b. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

4.4.2 引き戸形式

(1) 荷重計算方法

a. 固定部

(a) 縮付ローラー

接触箇所 1 箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力は次式で算出する。

図 4-8 に縮付ローラーに生じる荷重を示す。

$$F_5 = (C_H \cdot W_X + P_{E2} \cdot W_2 \cdot H_2) / N_5$$

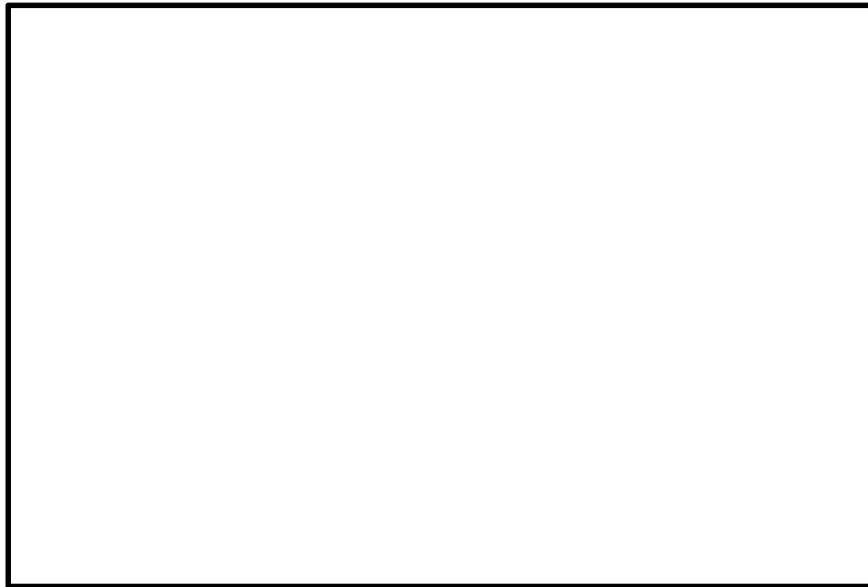


図 4-8 縮付ローラーに生じる荷重

(b) ベアリング

接触箇所 1 箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力は次式で算出する。

図 4-9 にベアリングに生じる荷重を示す。

$$F_5 = (C_H \cdot W_X + P_{E2} \cdot W_2 \cdot H_2) / N_5$$

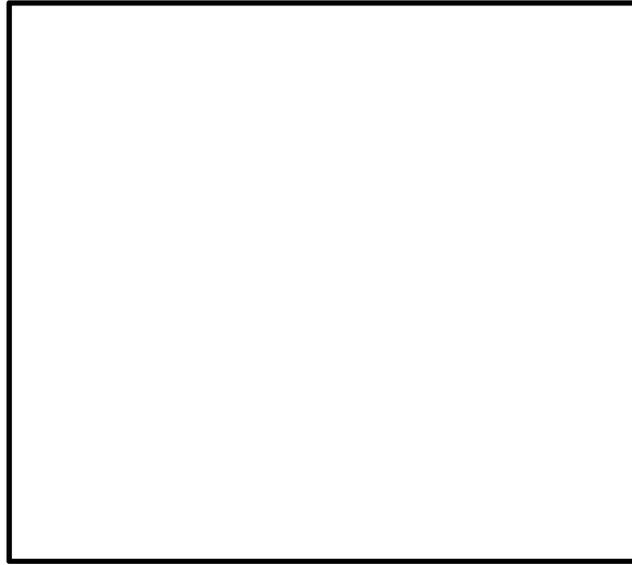


図 4-9 ベアリングに生じる荷重

(c) ローラー軸

ローラー軸は、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。図 4-10 にローラー軸に生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ローラー軸に生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_5 = F_5 \cdot L_5$$

$$\sigma_{b5} = M_5 / Z_5$$

ロ. せん断力

ローラー軸に生じるせん断応力度を次式により算定する。

$$\tau_5 = F_5 / A_5$$

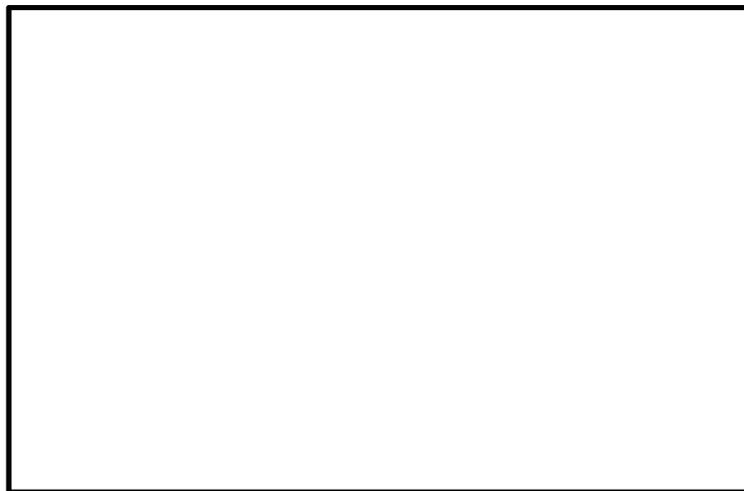


図 4-10 ローラー軸に生じる荷重

(2) 応力の評価

各部材に生じる荷重又は応力度が，許容限界以下であることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，荷重の組合せを考慮する。

a. 締付部

(a) 締付ローラー

締付ローラーに生じる荷重が許容荷重以下であることを確認する。

(b) ベアリング

ベアリングに生じる荷重が許容荷重以下であることを確認する。

(c) ローラー軸

ローラー軸に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，ローラー軸に生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X5} = \sqrt{\sigma_{b5}^2 + 3 \cdot \tau_5^2}$$

4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-7に示す。

表4-7 耐震評価に用いる計算条件 (1/3)

(a) FCS室エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	0.935
		C_V	—	鉛直震度	0.907
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	躯体開口幅	
		H_1	mm	躯体開口高	
		P_{E1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P_{E2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.491
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジアーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジピン	A_2	mm ²	断面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
		Z_2	mm ³	断面係数	
	ヒンジボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	

表 4-7 耐震評価に用いる計算条件 (2/3)

(a) FCS 室エアロック

対称部位	記号	単位	定義	数値
カンヌキ	A_4	mm^2	断面積	
	L_4	mm	作用点間距離	
	n	本	本数	
	Z_4	mm^3	断面係数	

表 4-7 耐震評価に用いる計算条件 (3/3)

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		C _H	—	水平震度	0.935
		C _V	—	鉛直震度	0.907
		W _x	kN	扉体自重	□
		W ₂	mm	扉体幅	
		H ₂	mm	扉体高	
		P _{E1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P _{E2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.491
固定部	共通	N ₅	箇所	締付部の接触個所	□
	ローラー軸	A ₅	mm ²	断面積	
		L ₅	mm	作用点間距離	
		Z ₅	mm ³	断面係数	

(c) ギャラリー室エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		C _H	—	水平震度	1.35
		C _V	—	鉛直震度	0.994
		W _x	kN	扉体自重	□
		W ₂	mm	扉体幅	
		H ₂	mm	扉体高	
		P _{E1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P _{E2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.491
固定部	共通	N ₅	箇所	締付部の接触個所	□
	ローラー軸	A ₅	mm ²	断面積	
		L ₅	mm	作用点間距離	
		Z ₅	mm ³	断面係数	

5. 評価結果

エアロックの評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており，設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1 耐震評価結果 (1/2)

(a) FCS 室エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界	検定値
ヒンジ部	ヒンジアーム	曲げ (N/mm ²)	18	215	0.09
		せん断 (N/mm ²)	2	124	0.02
		組合せ (N/mm ²)	18	215	0.09
	ヒンジピン	曲げ (N/mm ²)	293	345	0.85
		せん断 (N/mm ²)	7	199	0.33
		組合せ (N/mm ²)	294	345	0.85
	ヒンジボルト	引張 (N/mm ²)	24	651	0.04
		せん断 (N/mm ²)	24	375	0.07
	カンヌキ	曲げ (N/mm ²)	5	205	0.03
せん断 (N/mm ²)		1	118	0.01	
組合せ (N/mm ²)		5	205	0.03	

表 5-1 耐震評価結果 (2/2)

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界	検定値
固 定 部	締付ローラー	定格荷重 (N)	1180	13700	0.09
	ベアリング	定格荷重 (N)	1180	7850	0.16
	ローラー軸	曲げ (N/mm ²)	59	235	0.26
		せん断 (N/mm ²)	3	135	0.03
		組合せ (N/mm ²)	59	235	0.26

(c) ギャラリー室エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界	検定値
固 定 部	締付ローラー	定格荷重 (N)	1530	13700	0.12
	ベアリング	定格荷重 (N)	1530	7850	0.20
	ローラー軸	曲げ (N/mm ²)	76	235	0.33
		せん断 (N/mm ²)	4	135	0.03
		組合せ (N/mm ²)	76	235	0.33

VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	10
3. 地震応答解析による評価方法	11
4. 応力解析による評価方法	12
4.1 評価対象部位及び評価方針	12
4.2 荷重及び荷重の組合せ	14
4.2.1 荷重	14
4.2.2 荷重の組合せ	24
4.3 許容限界	25
4.4 解析モデル及び諸元	28
4.4.1 モデル化の基本方針	28
4.4.2 解析諸元	32
4.4.3 材料構成則	33
4.5 評価方法	35
4.5.1 応力解析方法	35
4.5.2 断面の評価方法	40
5. 評価結果	44
5.1 地震応答解析による評価結果	44
5.1.1 S d 地震時	44
5.1.2 S s 地震時	44
5.2 応力解析による評価結果	46
5.2.1 S d 地震時	46
5.2.2 S s 地震時	46
6. 引用文献	52

1. 概要

原子炉建屋基礎スラブは、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「RCCV 底部」という。）及び原子炉建屋のうち RCCV 底部以外の基礎（以下「周辺部基礎」という。）で構成される。

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋基礎スラブのうち、周辺部基礎の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

なお、RCCV 底部の評価については、VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」にて実施する。

周辺部基礎は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）の間接支持構造物」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. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋基礎スラブは、原子炉建屋の一部を構成している。原子炉建屋基礎スラブを含む原子炉建屋の設置位置を図2-1に示す。

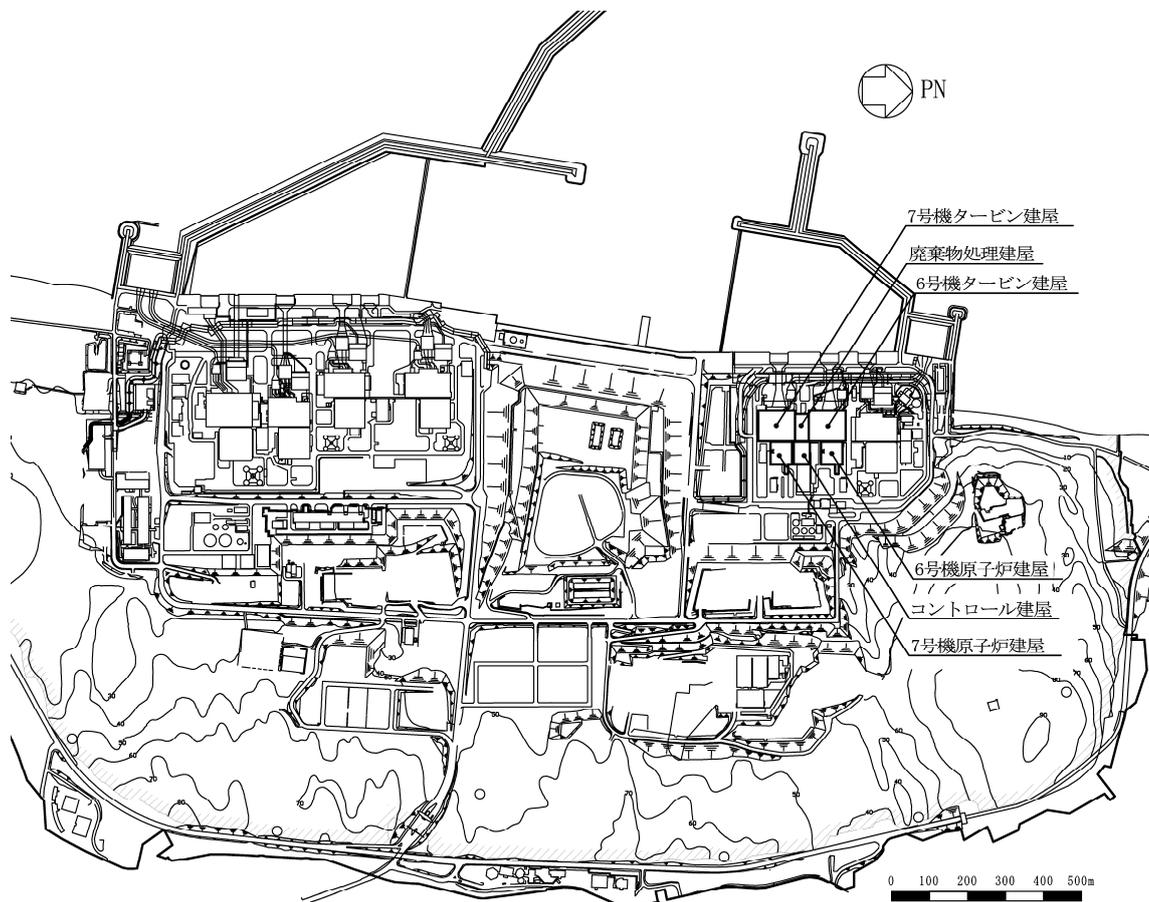


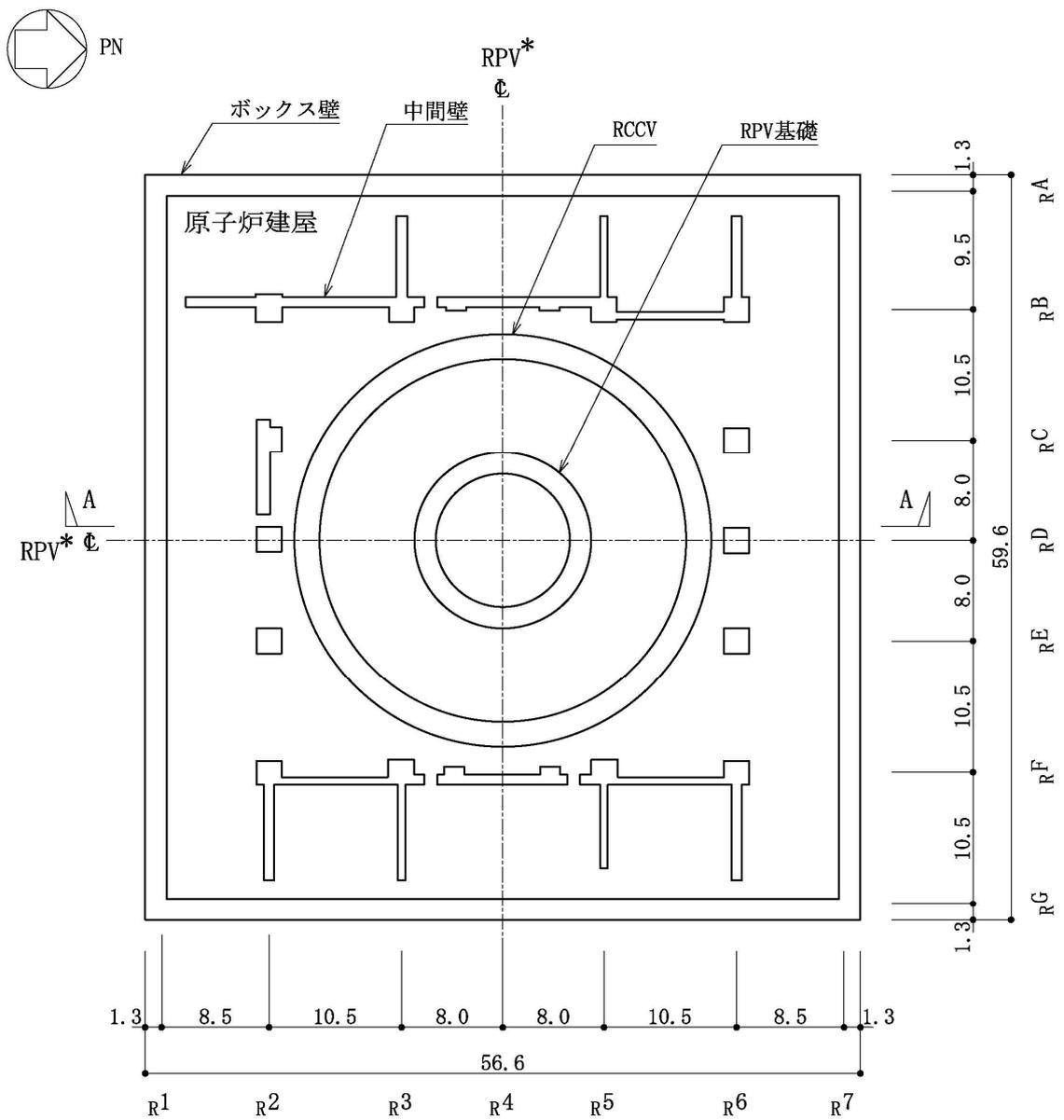
図2-1 原子炉建屋基礎スラブを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋基礎スラブは、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）及びこれを取り囲む原子炉建屋の共通の基礎となっている鉄筋コンクリート造の基礎スラブであり、RCCV 底部と周辺部基礎により構成される。平面の形状は、NS 方向 56.6m, EW 方向 59.6m の矩形であり、厚さは 5.5m である。

この基礎スラブは、上部構造物からの死荷重、活荷重、地震力、内圧等に対して、十分な強度を有するように設計され、支持地盤である泥岩上に設置されている。上部構造物としては、原子炉本体基礎（以下「RPV 基礎」という。）、RCCV、原子炉建屋の外壁（以下「ボックス壁」という。）、RCCV とボックス壁の間の耐震壁（以下「中間壁」という。）等が配置されている。

原子炉建屋基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

注記*：原子炉圧力容器を，以下「RPV」という。

図 2-2 原子炉建屋基礎スラブの概略平面図 (T.M.S.L.-8.2m) (単位：m)

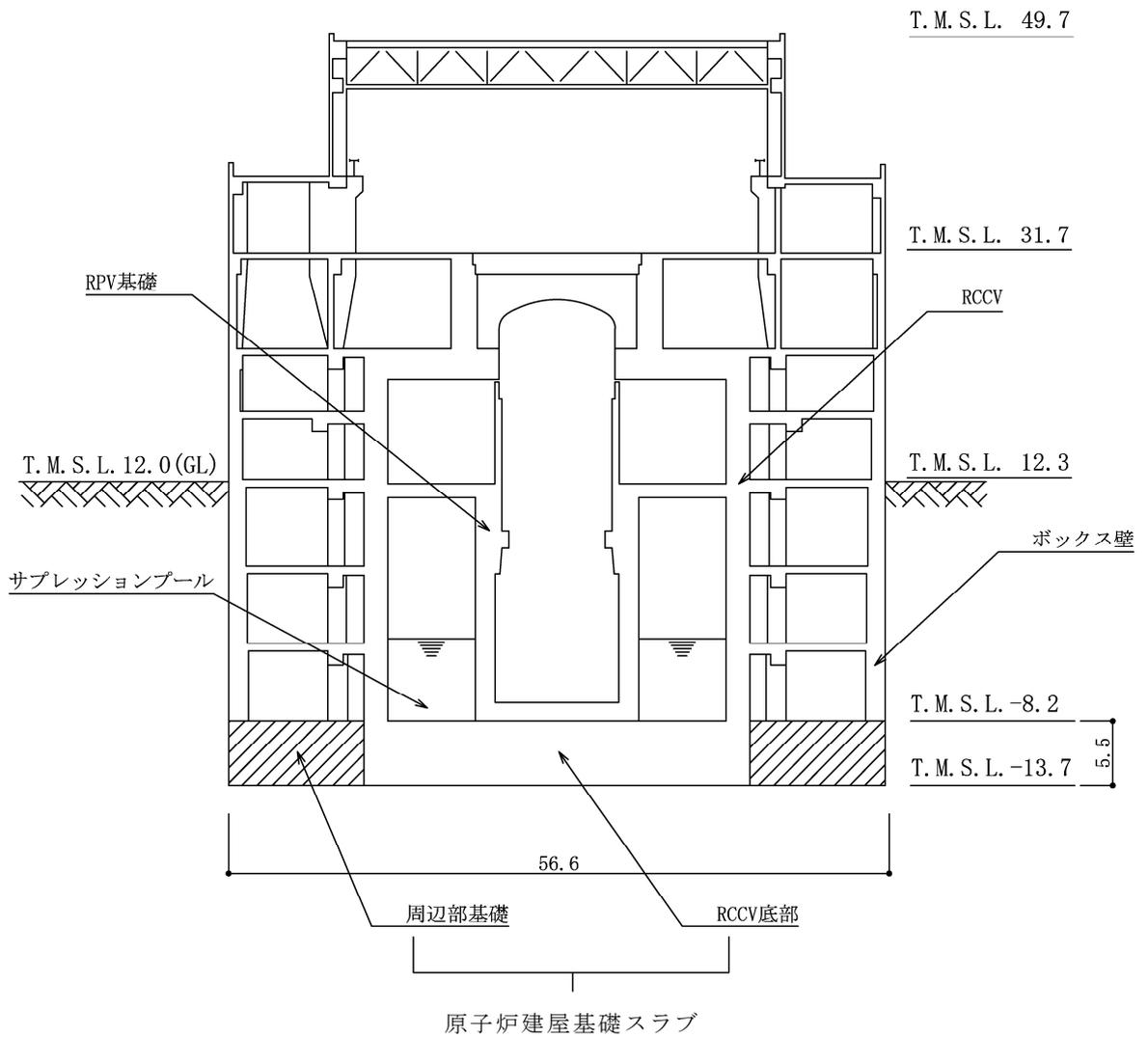


図 2-3 原子炉建屋基礎スラブの概略断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

2.3 評価方針

周辺部基礎は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）の間接支持構造物」に分類される。

周辺部基礎の設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 S_d 地震時」という。）に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。

周辺部基礎の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては接地圧の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、周辺部基礎の地震時の構造強度及び支持機能の確認を行う。なお、接地圧は、RCCV底部及び周辺部基礎を一体として扱い、原子炉建屋基礎スラブ全体として評価する。評価にあたっては、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行うこととする。ここで、周辺部基礎では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設と同一となる。

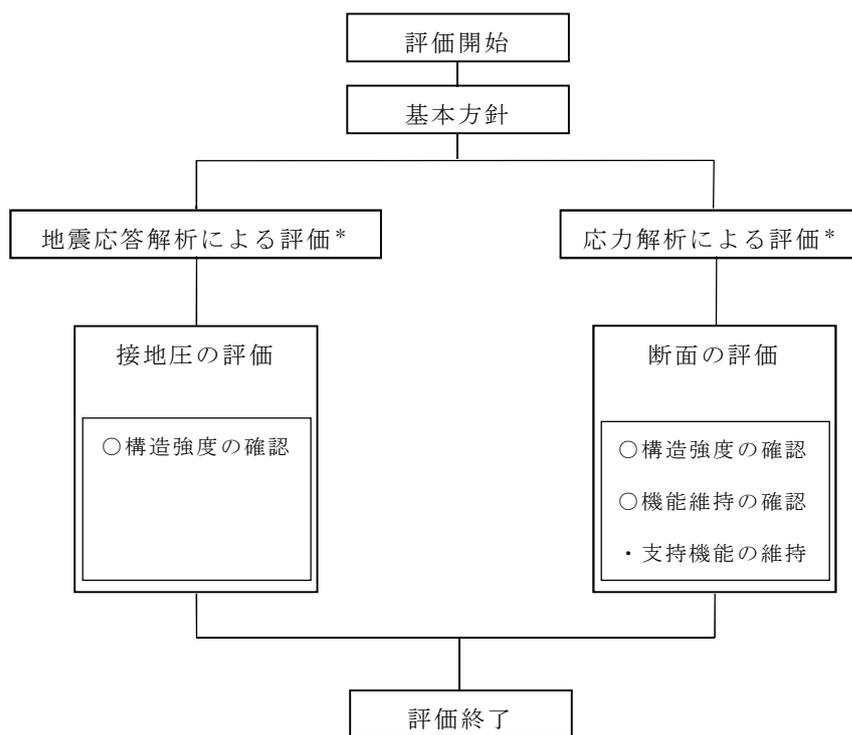
更に、RCCV底部は設計基準対象施設においては「Sクラス施設」及び「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」並びに「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）の間接支持構造物」に分類され、それぞれの分類に応じた耐震評価を実施している。周辺部基礎について、周辺部基礎がRCCV底部に接続し、基礎全体として一体となっていることから、RCCV底部のそれぞれの分類に応じた耐震評価における荷重の組合せに対しても「Sクラスの施設」及び間接支持構造物としての機能を有していることを確認する。なお、RCCV底部は、VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」に示すとおり、荷重状態Ⅲ～Ⅴに対する評価を実施しているが、荷重状態Ⅲの地震時(1)及び荷重状態Ⅳの地震時(2)に対する評価については、それぞれ S_d 地震時及び S_s 地震時に対する評価と同一となる。また、荷重状態Ⅲの（異常＋地震）時(1)、荷重状態Ⅳの（異常＋地震）時(2)及び荷重状態Ⅴに対する評価について

は、周辺部基礎では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、それぞれS d地震時又はS s地震時に対する評価と同一となる。

周辺部基礎の評価フローを図2-4に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (設工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤+ σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%及び 西山層+10%)	—
③ケース 3 (建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ)	実強度- σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤- σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%及び 西山層-10%)	—
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑤ケース 5 (建屋剛性-2 σ)	実強度-2 σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	—



注記* : VI-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 周辺部基礎の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，1999 改定）（以下「RC 規準」という。）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）（以下「RC-N 規準」という。）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）（以下「CCV 規格」という。）

3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、周辺部基礎の構造強度については、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大接地圧が許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における周辺部基礎の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 S _d 及び静的地震力	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	短期許容支持力度* ¹ 4110kN/m ²
		基準地震動 S _s	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ² 5980kN/m ²

注記*1 : 平成 4 年 3 月 27 日付け 3 資庁第 13033 号にて認可された工事計画の添付書類 IV-1-3「原子炉格納施設の基礎に関する説明書」に基づく。

*2 : 平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6674 号にて認可された工事計画の添付書類 IV-2-7-1「原子炉建屋の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* 5980kN/m ²

注記* : 平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6674 号にて認可された工事計画の添付書類 IV-2-7-1「原子炉建屋の耐震性についての計算書」に基づく。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

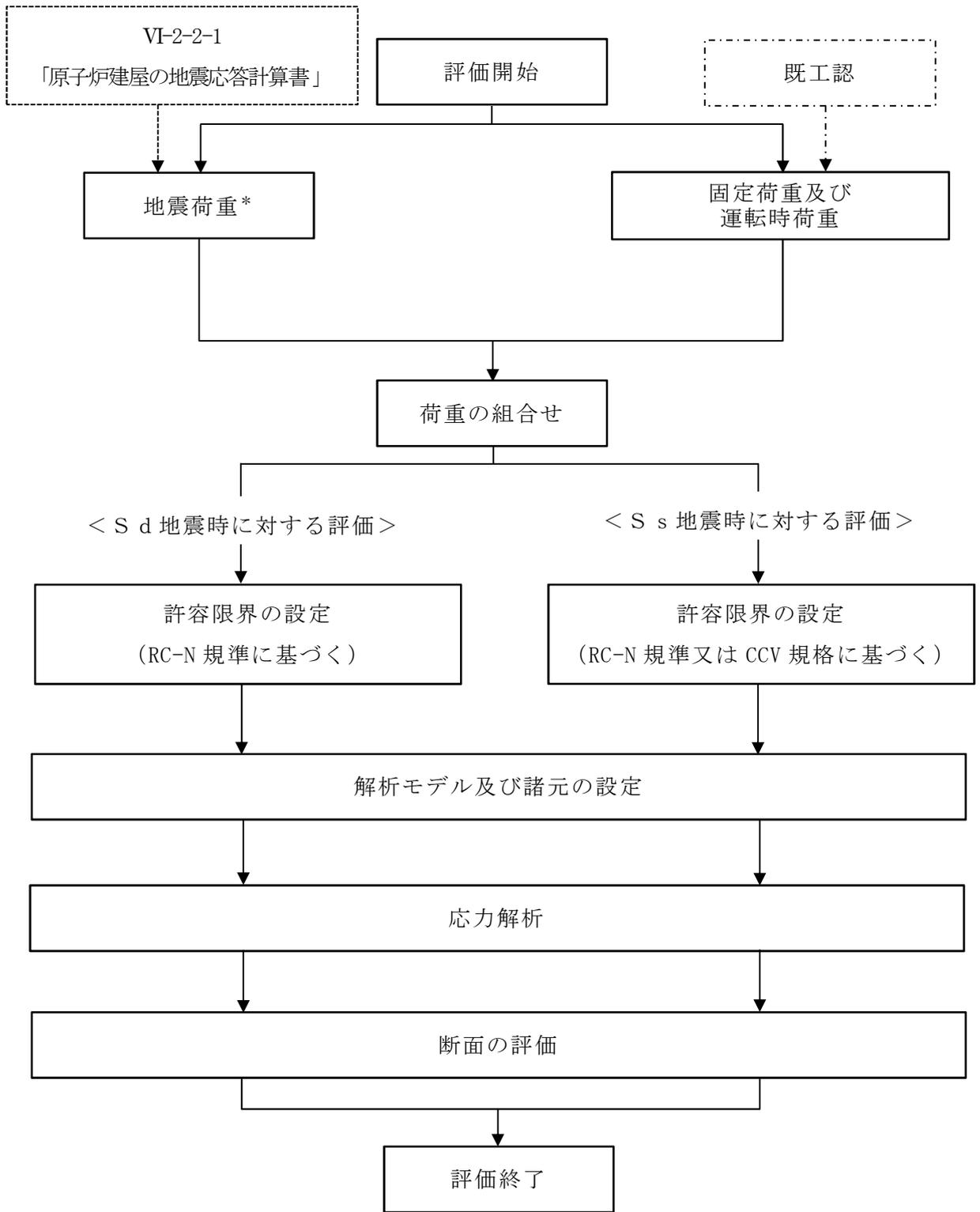
周辺部基礎の応力解析による評価対象部位は基礎スラブとし、3次元 FEM モデルを用いた応力解析により評価を行う。3次元 FEM モデルを用いた応力解析に当たっては、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及び平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画の添付書類IV-1-3「原子炉格納施設の基礎に関する説明書」（以下「既工認」という。）による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。

(1) S d 地震時に対する評価

S d 地震時に対する評価は、周辺部基礎について、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が RC-N 規準に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) S s 地震時に対する評価

S s 地震時に対する評価は、周辺部基礎について、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、RC-N 規準又は CCV 規格に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。



注記*：材料物性の不確かさについては，VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重

基礎スラブに作用する固定荷重として次のものを考慮する。

a. 死荷重及び活荷重 (DL)

死荷重及び活荷重は、既工認に基づき、次のものを考慮する。

- ・鉄筋コンクリート構造体の自重・・・23.5kN/m³
- ・サプレッションプール内静水圧（水深7.1m）
- ・ボックス壁，RCCV，中間壁，柱等から作用する上部構造物の自重並びに機器及び配管の重量
- ・基礎スラブ上の機器，配管等の重量
- ・浮力・・・53.9kN/m²

(2) 運転時荷重

基礎スラブにおいて、運転時の状態で作用する荷重として次のものを考慮する。各荷重については、既工認に基づき設定する。（既工認時の温度分布解析については、IV-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」の別紙2「温度分布解析」参照）

a. 運転時圧力（ P_1 ）

運転時において、RCCV 底部の上面と下面との圧力差によって生じる荷重で、次の値とする。

$$P_1 = 13.7\text{kPa} \dots\dots\dots (4. 1)$$

b. 運転時温度荷重（ T_1 ）

運転時において、基礎スラブに生じる温度変化による荷重及び基礎スラブの上面と下面との温度差によって生じる荷重で、上面と下面の温度を表 4-1 のとおり設定する。

表 4-1 運転時温度荷重（ T_1 ）

（単位：℃）

	記号		季節	RCCV 底部				周辺部基礎	
				A 部		B 部		C 部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
運転時	T_1	$s T_1$	夏	45.0	15.0	36.0	16.0	38.5	15.5
		$w T_1$	冬	45.0	15.0	35.0	15.0	11.0	17.0

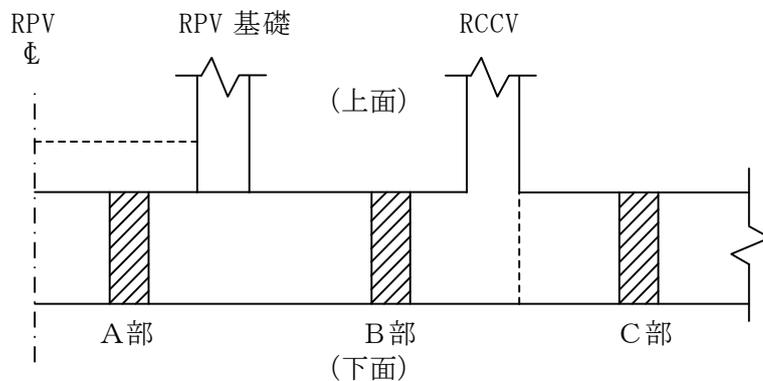


表 4-2 地震荷重 (K_d) (せん断力)

(a) NS 方向

(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

部 位	せん断力	
	S d	静的地震力
ボックス壁 (R_A 通り)	179	198
中間壁 (R_B 通り)	46.1	54.9
RCCV	129	184
RPV 基礎	41.8	42.0
中間壁 (R_F 通り)	35.7	41.6
ボックス壁 (R_G 通り)	179	198

(b) EW 方向

(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

部 位	せん断力	
	S d	静的地震力
ボックス壁 (R_1 通り)	209	217
中間壁 (R_2 通り)	26.0	22.3
中間壁 (R_3 通り)	15.1	8.80
RCCV	122	198
RPV 基礎	41.8	42.0
中間壁 (R_5 通り)	12.1	6.70
中間壁 (R_6 通り)	14.1	7.10
ボックス壁 (R_7 通り)	209	217

表4-3 地震荷重 (K_d) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

(単位: $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部 位	曲げモーメント	
	S d	静的地震力
ボックス壁 (R_A 通り)	668	728
中間壁 (R_B 通り)	137	57.5
RCCV	421	611
RPV 基礎	86.7	86.7
中間壁 (R_F 通り)	106	43.6
ボックス壁 (R_G 通り)	668	737

(b) EW 方向

(単位: $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部 位	曲げモーメント	
	S d	静的地震力
ボックス壁 (R_1 通り)	693	728
中間壁 (R_2 通り)	74.7	20.5
中間壁 (R_3 通り)	43.4	8.10
RCCV	383	510
RPV 基礎	86.7	86.7
中間壁 (R_5 通り)	34.7	6.20
中間壁 (R_6 通り)	40.5	6.60
ボックス壁 (R_7 通り)	693	722

表 4-4 地震荷重 (K_d) (鉛直震度)

部 位	鉛直震度	
	S d (軸力係数)	静的地震力
RCCV, ボックス壁 及び中間壁	0.44	0.24
RPV 基礎	0.48	0.24
基礎スラブ	0.39	0.24

表 4-5 地震荷重 (K_s) (せん断力)

(a) NS 方向

(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

部 位	せん断力
	S s
ボックス壁 (R_A 通り)	317
中間壁 (R_B 通り)	81.0
RCCV	244
RPV 基礎	57.4
中間壁 (R_F 通り)	62.8
ボックス壁 (R_G 通り)	317

(b) EW 方向

(単位 : $\times 10^3 \text{kN}$)

部 位	せん断力
	S s
ボックス壁 (R_1 通り)	377
中間壁 (R_2 通り)	49.8
中間壁 (R_3 通り)	28.9
RCCV	255
RPV 基礎	57.4
中間壁 (R_5 通り)	23.1
中間壁 (R_6 通り)	27.0
ボックス壁 (R_7 通り)	377

表 4-6 地震荷重 (K_s) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

(単位 : $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部 位	曲げモーメント
	S s
ボックス壁 (R_A 通り)	1120
中間壁 (R_B 通り)	254
RCCV	830
RPV 基礎	113
中間壁 (R_F 通り)	197
ボックス壁 (R_G 通り)	1120

(b) EW 方向

(単位 : $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部 位	曲げモーメント
	S s
ボックス壁 (R_1 通り)	1150
中間壁 (R_2 通り)	130
中間壁 (R_3 通り)	75.5
RCCV	703
RPV 基礎	113
中間壁 (R_5 通り)	60.4
中間壁 (R_6 通り)	70.4
ボックス壁 (R_7 通り)	1150

表 4-7 地震荷重 (K_s) (鉛直震度)

部 位	鉛直震度
	S_s (軸力係数)
RCCV, ボックス壁 及び中間壁	0.88
RPV 基礎	0.95
基礎スラブ	0.76

c. 地震時土圧荷重 (E_d 及び E_s)

地震時土圧荷重は、地震時土圧により地下外壁を介して作用する荷重として、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき算出した荷重を包絡させて設定する。
地震時土圧荷重を表 4-8 に、地震時土圧による荷重分布を図 4-2 に示す。

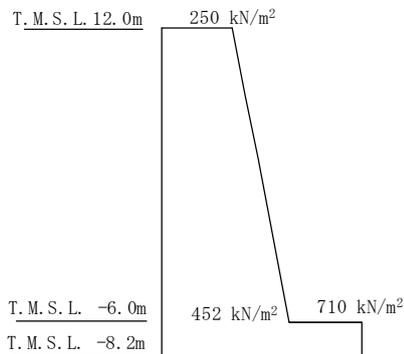
表 4-8 地震時土圧荷重 (E_d 及び E_s)

標高 (m)	S _d 地震時土圧荷重 (kN/m ²)	S _s 地震時土圧荷重 (kN/m ²)
T. M. S. L. 12.0 ~ T. M. S. L. -6.0	$250 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$	$460 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$
T. M. S. L. -6.0 ~ T. M. S. L. -8.2	710	1190

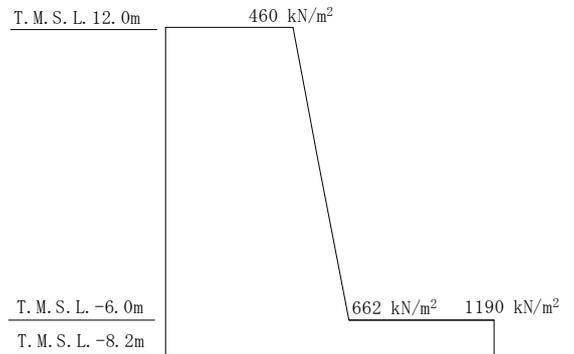
注：記号は以下のとおり。

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 地表面からの深さ (m)



S_d 地震時土圧荷重



S_s 地震時土圧荷重

図 4-2 地震時土圧による荷重分布

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-9 に示す。

表 4-9 荷重の組合せ

外力の状態	荷重 番号	荷重の組合せ
S _d 地震時*	1	$DL + P_1 + T_1 + H_1 + K_d + E_d$
S _s 地震時	2	$DL + P_1 + H_1 + K_s + E_s$

注記*：温度荷重がない場合も考慮する。

- DL : 死荷重及び活荷重
- P₁ : 運転時圧力
- T₁ : 運転時温度荷重
- H₁ : 逃がし安全弁作動時荷重
- K_d及びK_s : 地震荷重
- E_d及びE_s : 地震時土圧荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における周辺部基礎の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-10 及び表 4-11 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-12 及び表 4-13 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-14 に示す。

表 4-10 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	周辺部基礎	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	RC-N規準に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	周辺部基礎	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} ・面外せん断力*² 短期許容せん断力
支持機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	周辺部基礎	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} ・面外せん断力*² 短期許容せん断力

注記*1 : CCV 規格に基づく。

*2 : RC-N 規準に基づく。

*3 : 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響」の確認が含まれる。

表 4-11 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	周辺部 基礎	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ ・面外せん断力*² 短期許容せん断力
支持機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	周辺部 基礎	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ ・面外せん断力*² 短期許容せん断力

注記*1 : CCV 規格に基づく。

*2 : RC-N 規準に基づく。

*3 : 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響」の確認が含まれる。

表 4-12 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 29.4$			
	応力状態1* ¹		応力状態2* ²	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
S d 地震時	19.6	1.17	22.0	1.17
S s 地震時	—	1.17	—	—

注記*1：「応力状態 1」とは、各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

*2：「応力状態 2」とは、各荷重状態において温度荷重による応力が生じている状態をいう。

表 4-13 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	引張及び圧縮	面外せん断補強
S d 地震時	SD35 (SD345 相当)	SD35 (SD345 相当)
	345	345

表4-14 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

外力の状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
S s 地震時	0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

S d 地震時における応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。S s 地震時における応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、周辺部基礎のほか、RCCV、使用済燃料貯蔵プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット及びダイヤフラムフロアを一体としたモデルである。応力解析における評価対象部位は、周辺部基礎であるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。なお、本解析モデルは、VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」と同一である。地震荷重時の解析モデルを図 4-3 に示す。

S d 地震時における熱応力の解析に用いるコンクリートの弾性係数は、1/3 に低減した値を用いる。

(2) 使用要素

S d 地震時における解析モデルに使用する FEM 要素は、シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性材料によるシェル要素である。

S s 地震時における解析モデルに使用する FEM 要素は、積層シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素である。

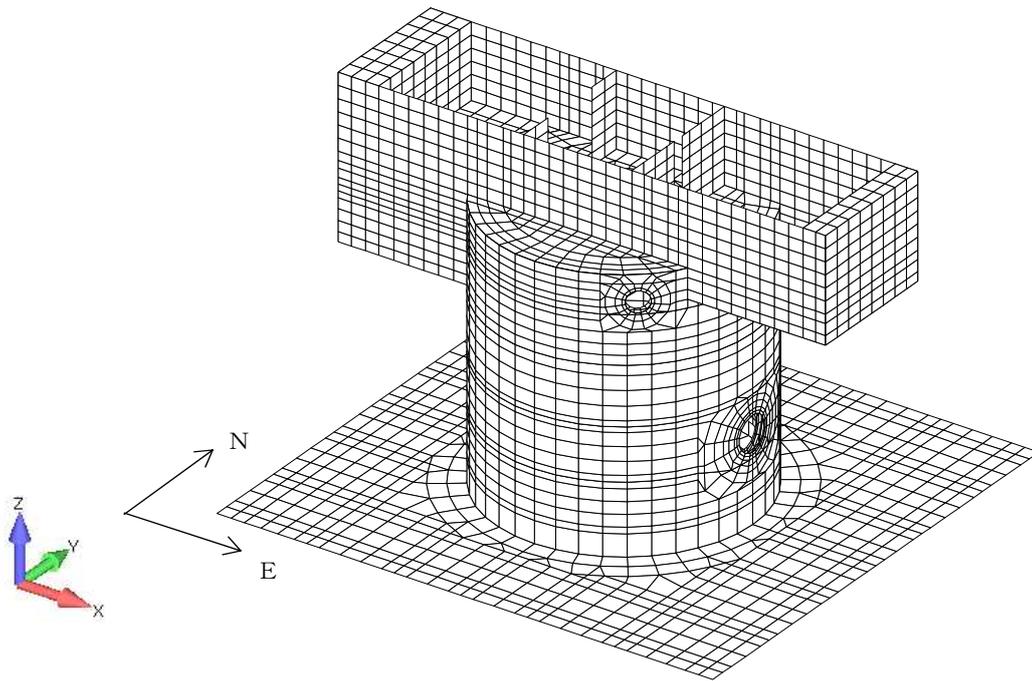
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

解析モデルの節点数は 8266、要素数は 12028 である。

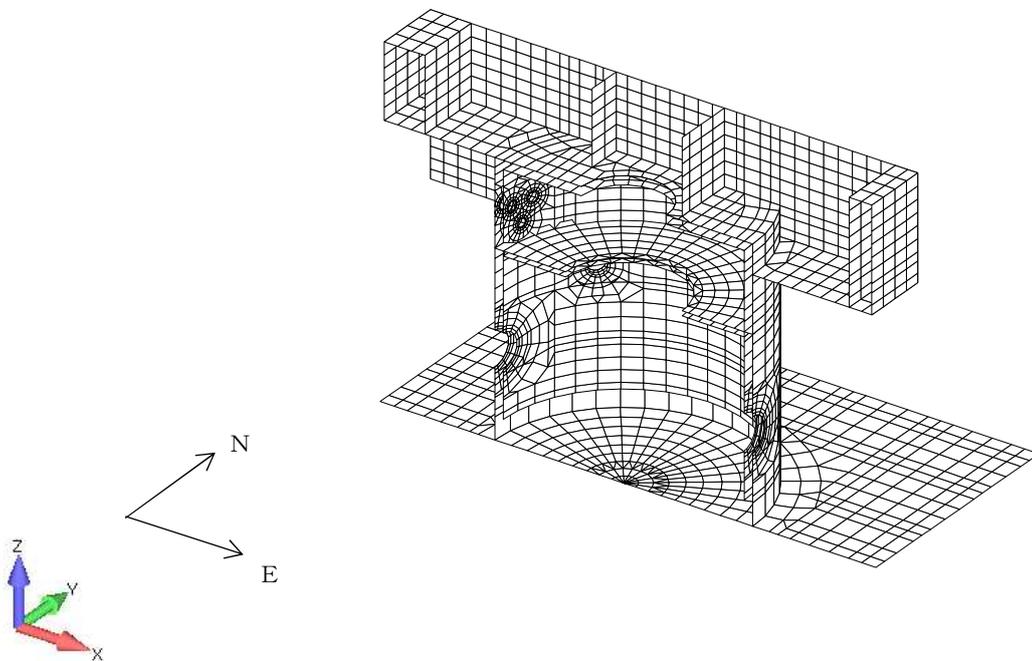
(3) 境界条件

3次元 FEM モデルの基礎スラブ底面及び側面に、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元 FEM モデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばね及び側面水平ばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばね及び側面回転ばねを基に設定を行う。なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

また、3次元 FEM モデルの上部構造物に対する周辺床及び外壁の剛性並びに基礎スラブに対する上部構造物の剛性を考慮する。中間壁の脚部位置については、はり要素を設ける。



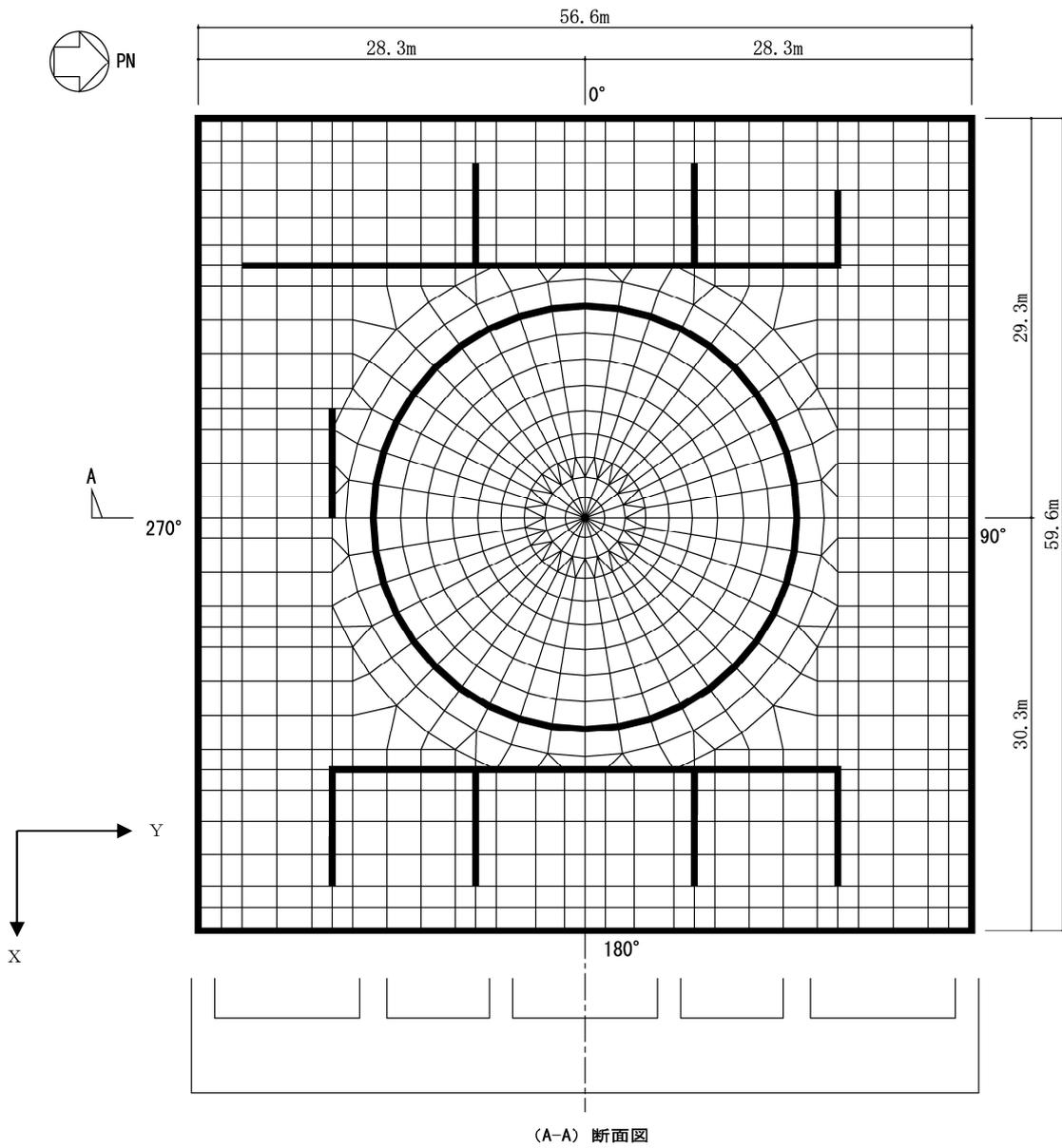
(a) 全体鳥瞰図（地震荷重時）



(b) 全体断面図（地震荷重時）

図 4-3 解析モデル (1/2)

K6 ① VI-2-9-3-4 R0



注：太線部は耐震壁の位置を示す。

(c) 基礎スラブ要素分割図

図 4-3 解析モデル (2/2)

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-15 及び表 4-16 に示す。

表 4-15 コンクリートの物性値

諸元	物性値	
	上部構造物	基礎スラブ
ヤング係数 (N/mm ²)	2.88×10 ⁴ *1	2.79×10 ⁴ *2
ポアソン比	0.2	0.2

注記*1 : 剛性はコンクリートの実強度 (43.1N/mm²) に基づく。

*2 : 剛性はコンクリートの実強度 (39.2N/mm²) に基づく。

表 4-16 鉄筋の物性値

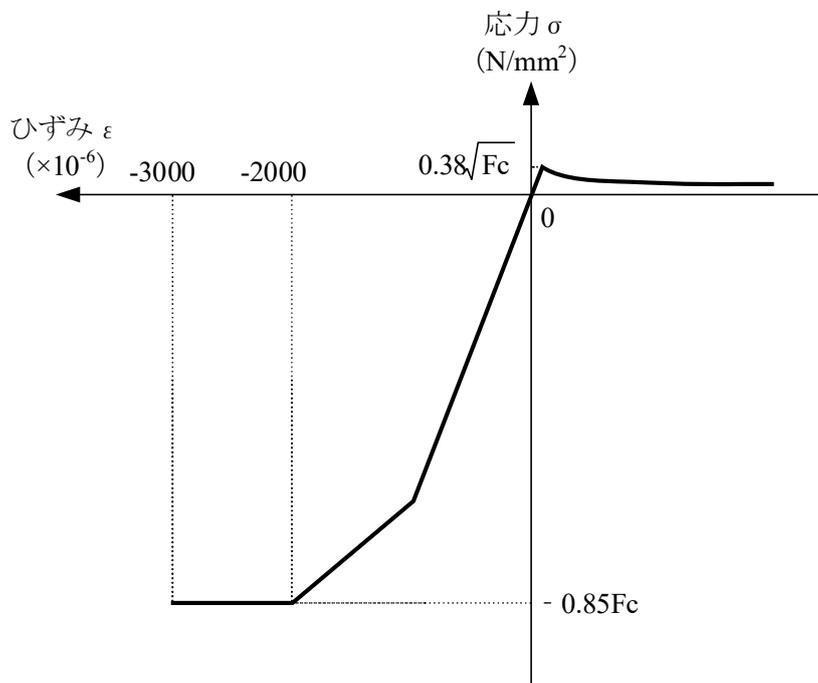
(単位 : N/mm²)

諸元	物性値
鉄筋の種類	SD40 (SD390 相当) SD35 (SD345 相当)
ヤング係数	2.05×10 ⁵

4.4.3 材料構成則

S s 地震時に対する評価で用いる材料構成則を図 4-4 に示す。

なお、ヤング係数は実強度に基づく値とし、コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。



F_c : コンクリートの設計基準強度

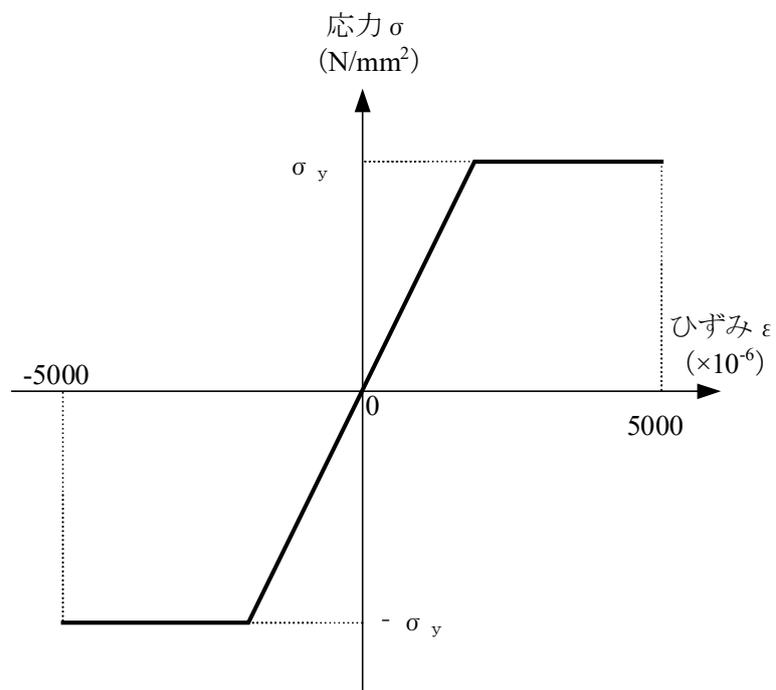
項目	設定
圧縮強度	$-0.85 F_c$ (CCV 規格)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (CCV 規格)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c=0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (RC 規準)

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 4-4 材料構成則 (1/2)

- 鉄筋の構成則：バイリニア型
- 終局ひずみ： $\pm 5000 \times 10^{-6}$ （CCV規格）



σ_y : 鉄筋の降伏強度

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

図 4-4 材料構成則 (2/2)

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

周辺部基礎について、S_d地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施し、S_s地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_d地震時及びS_s地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせで求める。

DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
T ₁	: 運転時温度荷重
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{d1SN} *	: S→N方向 S _d 地震荷重 (動的地震力)
K _{d1WE} *	: W→E方向 S _d 地震荷重 (動的地震力)
K _{d1DU} *	: 鉛直方向 S _d 地震荷重 (動的地震力)
K _{d2SN} *	: S→N方向 S _d 地震荷重 (静的地震力)
K _{d2WE} *	: W→E方向 S _d 地震荷重 (静的地震力)
K _{d2DU} *	: 鉛直方向 S _d 地震荷重 (静的地震力)
K _{sSN} *	: S→N方向 S _s 地震荷重
K _{sWE} *	: W→E方向 S _s 地震荷重
K _{sDU} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
E _{dNS}	: NS方向 S _d 地震時土圧荷重
E _{dEW}	: EW方向 S _d 地震時土圧荷重
E _{sNS}	: NS方向 S _s 地震時土圧荷重
E _{sEW}	: EW方向 S _s 地震時土圧荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW方向はW→E方向の加力、NS方向はS→N方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している。

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-17 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008」((社) 日本電気協会) を参考に、組合せ係数法(組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-17 荷重の組合せケース (1/2)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S d 地震時	1-1	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-2	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-3	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-4	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-5	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-6	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-7	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-8	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-9	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
	1-10	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
	1-11	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
	1-12	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
	1-13	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
	1-14	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
	1-15	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
	1-16	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
	1-17	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-18	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-19	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-20	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-21	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-22	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
	1-23	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
	1-24	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 4-17 荷重の組合せケース (2/2)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	2-1	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-3	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-4	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-5	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-6	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-7	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-8	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-9	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-10	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-11	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-13	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-14	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-15	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については，上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については，上部構造物からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

基礎スラブ内に作用する荷重については，地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面及び側面に発生する荷重の差を FEM モデルの各要素の大きさに応じて分配し，節点荷重として入力する。

b. 温度荷重

S d 地震時における熱応力については，CCV 規格に基づき，部材の剛性を一律に低減する一律低減法により評価する。

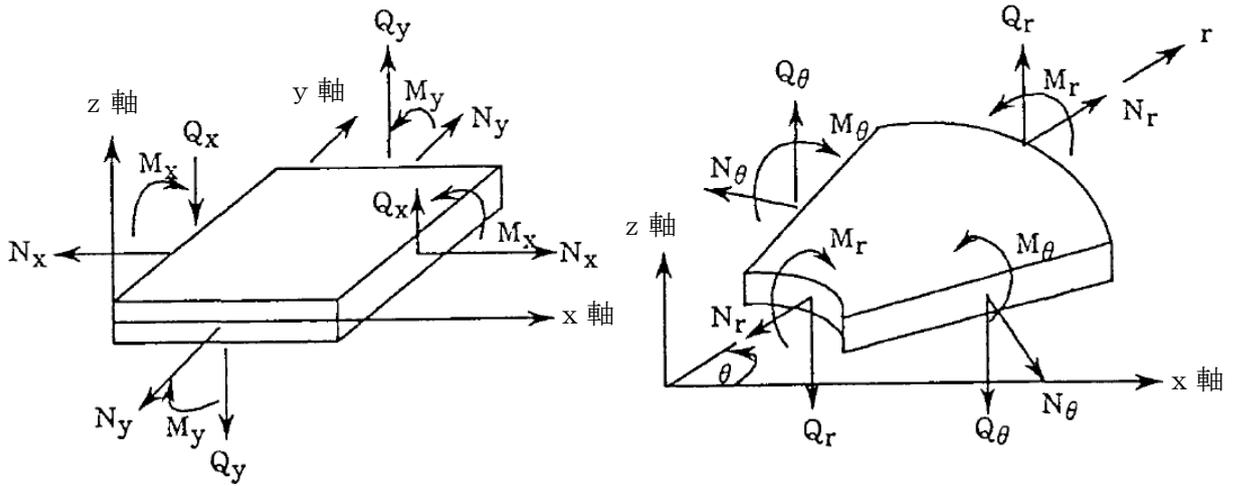
c. 地震荷重及び温度荷重以外の荷重

地震荷重及び温度荷重以外の荷重については，FEM モデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

周辺部基礎の断面の評価に用いる応力は、3次元 FEM モデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）とする。

周辺部基礎の断面力成分を図 4-5 に示す。



M_x, M_y : 曲げモーメント	kN・m/m	M_r, M_θ : 曲げモーメント	kN・m/m
Q_x, Q_y : せん断力	kN/m	Q_r, Q_θ : せん断力	kN/m
N_x, N_y : 軸力	kN/m	N_r, N_θ : 軸力	kN/m

応力の符号（矢印の方向を正とする。）

図 4-5 周辺部基礎の断面力成分

(1) S d 地震時

周辺部基礎について、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度を算定する際は、RC-N 規準に基づき、表 4-12 及び表 4-13 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，RC-N 規準に基づき行う。

面外せん断力が，次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (4. 1)$$

ここで，

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で，表 4-12 に示す値 (N/mm²)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。また，引張軸力が 2N/mm² を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1} \dots\dots\dots (4. 2)$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で，表 4-13 に示す値 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で，次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x} \dots\dots\dots (4. 3)$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については，第 2 項を 0 とする。

(2) S s 地震時

周辺部基礎について、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、CCV 規格の CVE-3521.2 に基づき、表 4-14 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、RC-N 規準に基づき行う。

面外せん断力が、「(1) S d 地震時」と同様に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

3次元 FEM モデルを用いた応力の算定において、FEM 要素に応力集中等が見られる場合については、RC-N 規準に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

地震時の最大接地圧が，地盤の許容限界を超えないことを確認する。

5.1.1 S d 地震時

材料物性の不確かさを考慮した S d 地震時の最大接地圧が 1350kN/m^2 であることから，地盤の短期許容支持力度 (4110kN/m^2) を超えないことを確認した。

S d 地震時の最大接地圧を表 5-1 に示す。

5.1.2 S s 地震時

材料物性の不確かさを考慮した S s 地震時の最大接地圧が 2560kN/m^2 であることから，地盤の極限支持力度 (5980kN/m^2) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-2 に示す。

表 5-1 S d 地震時の最大接地圧

	NS方向	EW方向
検討ケース	Sd-1, ケース6	Sd-2, ケース6
鉛直力N ($\times 10^5$ kN)	22.7	21.7
転倒モーメントM ($\times 10^6$ kN・m)	20.4	23.0
最大接地圧 (kN/m ²)	1330	1350

表 5-2 S s 地震時の最大接地圧

	NS方向*	EW方向*
検討ケース	Ss-1, ケース6	Ss-2, ケース6
鉛直力N ($\times 10^5$ kN)	29.3	29.2
転倒モーメントM ($\times 10^6$ kN・m)	34.5	38.4
最大接地圧 (kN/m ²)	2350	2560

注記* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

5.2 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図5-1に、配筋一覧を表5-3に示す。

5.2.1 S d 地震時

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-2に、評価結果を表5-4に示す。

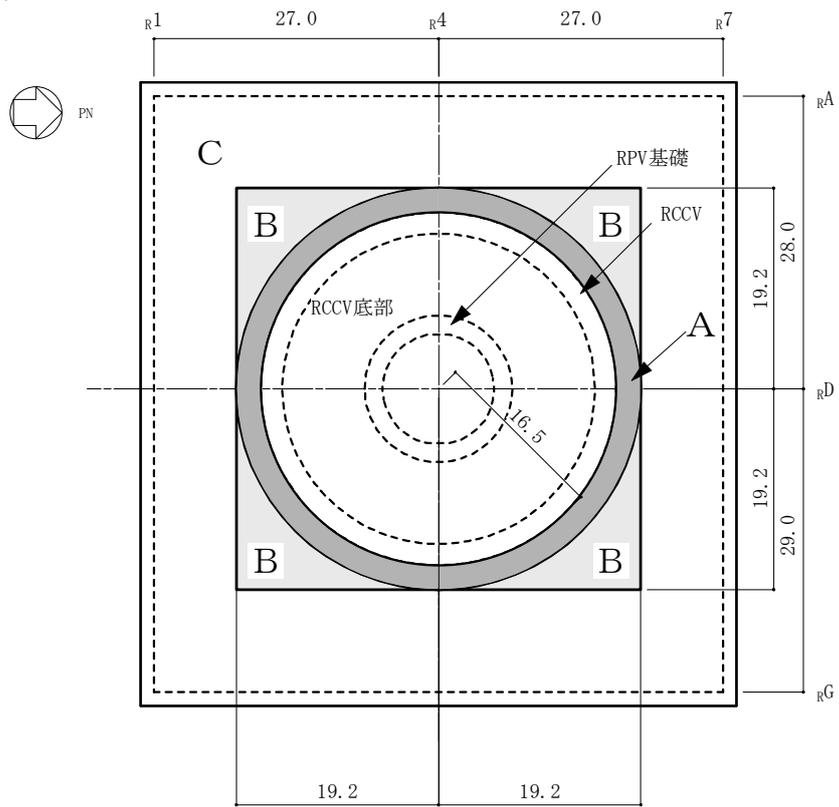
S d 地震時において、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

5.2.2 S s 地震時

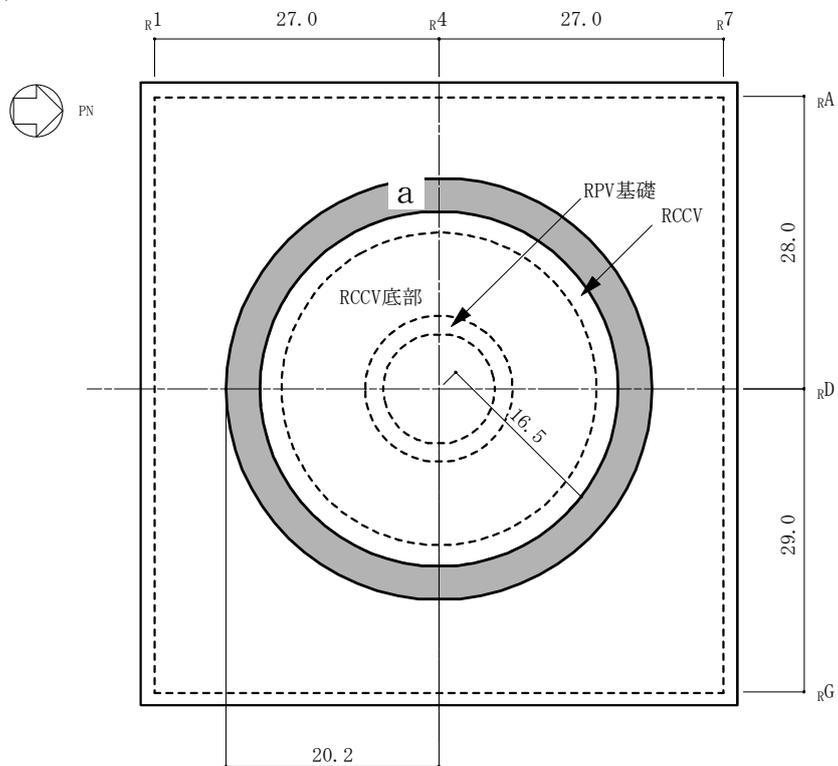
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-3に、評価結果を表5-5に示す。

S s 地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 5-1 配筋領域図 (単位: m)

表 5-3 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	放射	5×320-D38	NS	5-D38@200
	円周	5-D38@200	EW	5-D38@200
B	NS	3-D38@200	NS	5-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	5-D38@200
C	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D35@400×400

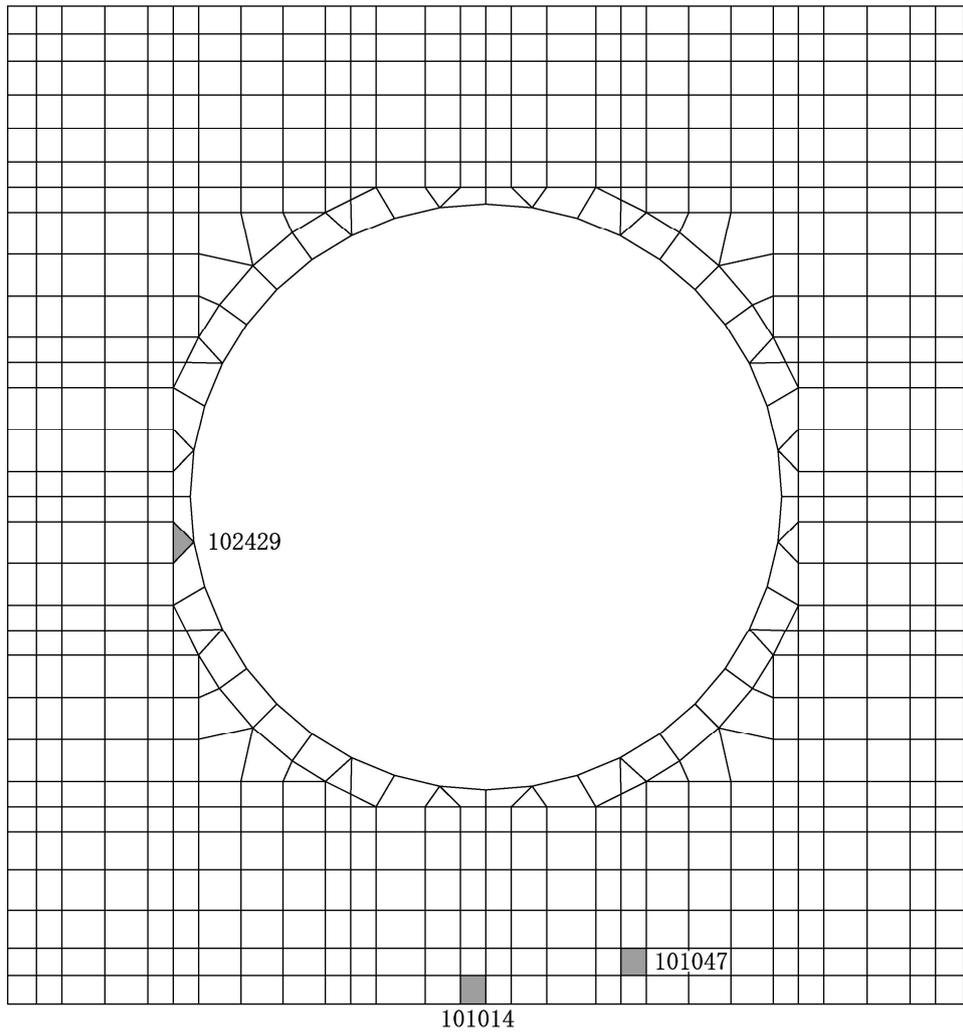


図 5-2 選定した要素の位置 (S d 地震時)

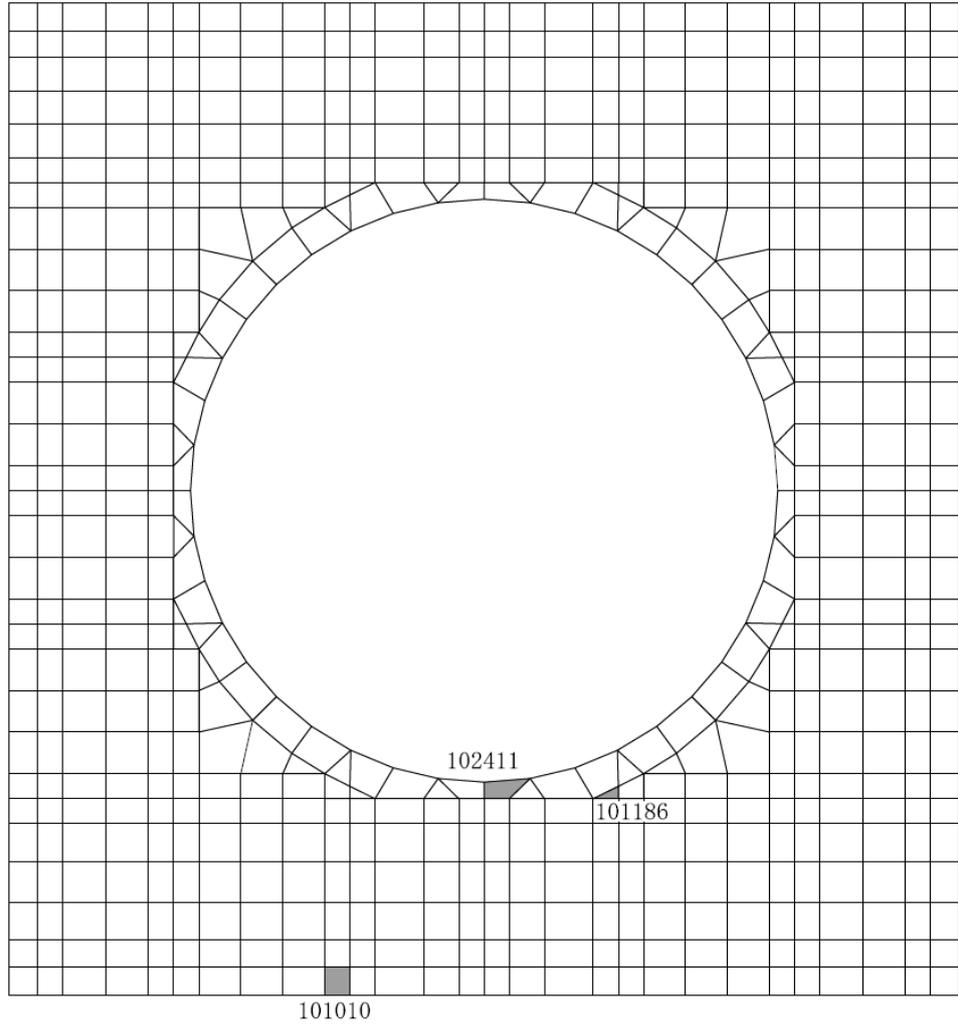


図 5-3 選定した要素の位置 (S s 地震時)

表 5-4 評価結果 (S d 地震時)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	102429	1-19	4.84	22.0
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	101014	1-4	234	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	101047	1-22	1.09	2.34

表 5-5 評価結果 (S s 地震時)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101186	2-1	0.285	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101010	2-8	0.303	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	102411	2-2	2.43	3.01

6. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

VI-2-9-4 圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-1 真空破壊弁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 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と計算数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	8
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2 許容応力	8
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
5.2.4 設計荷重	13
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 最高使用圧力(内圧)による応力	16
5.4.2 最高使用圧力(外圧)による応力	16
5.4.3 真空破壊弁に作用する荷重による応力	16
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 動的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25

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、真空破壊弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

真空破壊弁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及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

真空破壊弁の構造計画を表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>真空破壊弁は原子炉本体の基礎に支持される。</p> <p>真空破壊弁は、原子炉本体の基礎と一体構造となっており、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉本体の基礎あるいは原子炉格納容器底部を介して原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>真空破壊弁は、内径 mm, 板厚 mm のパイプ、アーム及びバルブディスクで構成される鋼製構造物である。</p> <p>真空破壊弁の動作試験用の駆動装置として、シリンダが設置されている。</p>	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">真空破壊弁 拡大図</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

真空破壊弁の応力評価は、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、「5. 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。また、機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の機能方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

真空破壊弁の耐震評価フローを図2-1に示す。

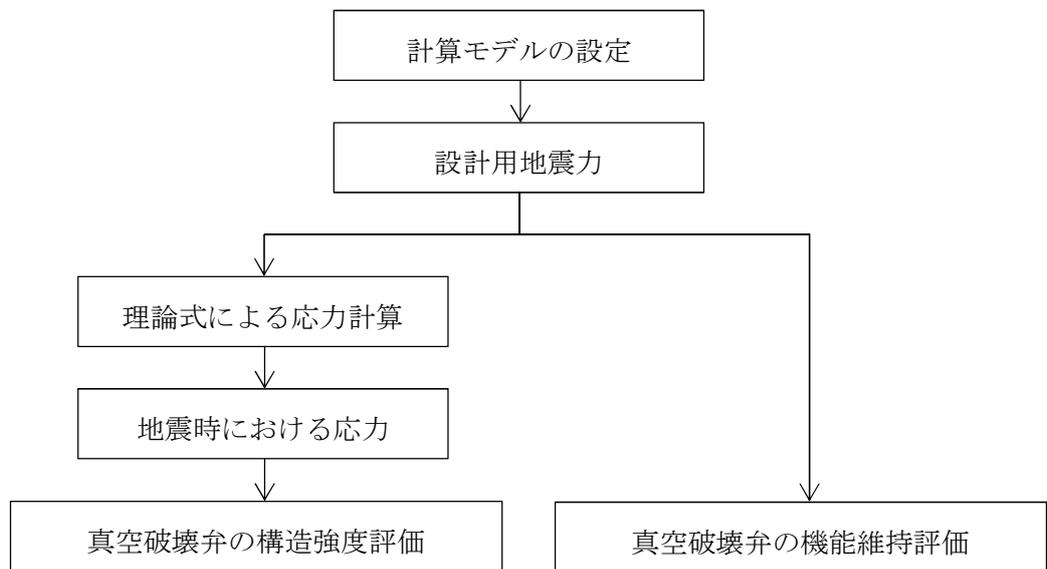


図2-1 真空破壊弁の耐震評価フロー

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 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 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 (2005年版 (2007年追補版含む。)) JSME S NC 1-2005/2007) (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	面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D _i *	直径 (i = 0, 1)	mm
ℓ ₁	長さ	mm
M _C	モーメント	N・mm
M _D	機械的荷重	—
M _L	モーメント	N・mm
M _{SAD}	機械的荷重 (S A時)	—
N	軸力	N
P	最高使用圧力 (内圧)	MPa, kPa
P _D	圧力	—
P _e	最高使用圧力 (外圧)	MPa, kPa
P _{SAD}	圧力 (S A時)	—
Q	せん断力	N
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のいずれか大きいほうの地震力	—
S _m	設計応力強さ	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 (R T)	40℃における設計降伏点	MPa
t ₁	厚さ	mm
W ₁	死荷重	N
Z	断面係数	mm ³
σ _ℓ	軸方向応力	MPa
σ _t	円周方向応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

注記* : D_iの添字 i の意味は、以下のとおりとする。

i = 0 : パイプ外径

i = 1 : パイプ内径

2.5 計算精度と計算数値の丸め方

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 に示すとおりである。

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	℃	—	—	整数位
許容応力* ¹	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
力	N	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁* ²

注記*1：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨てて整数化する。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

真空破壊弁の配置図を図 3-1 に、形状及び主要寸法を図 3-2 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

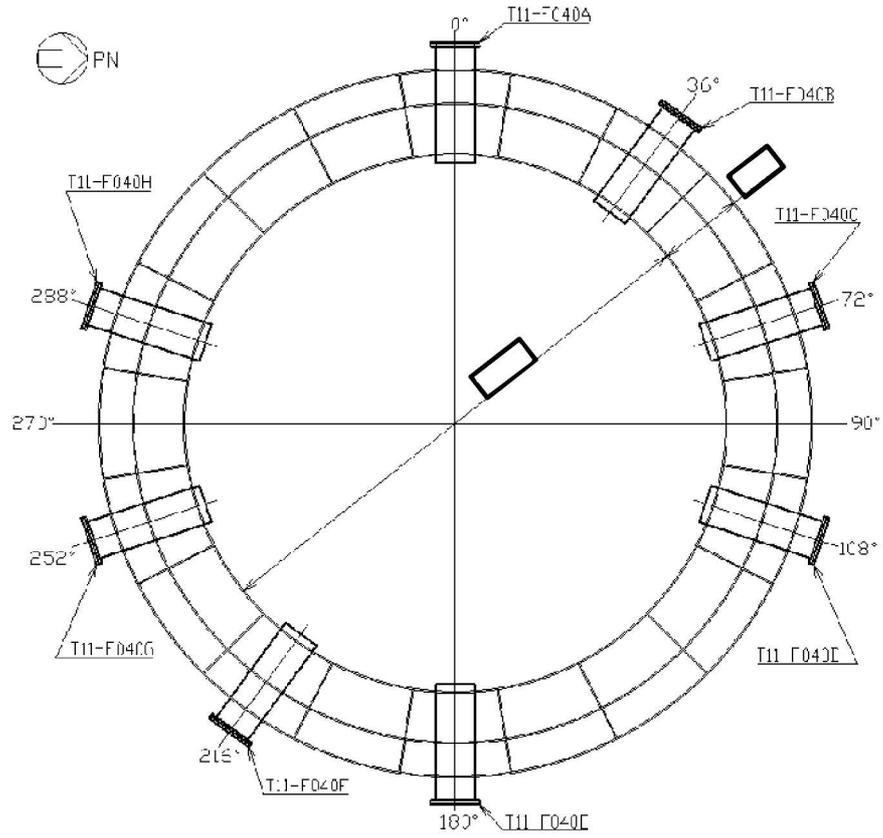
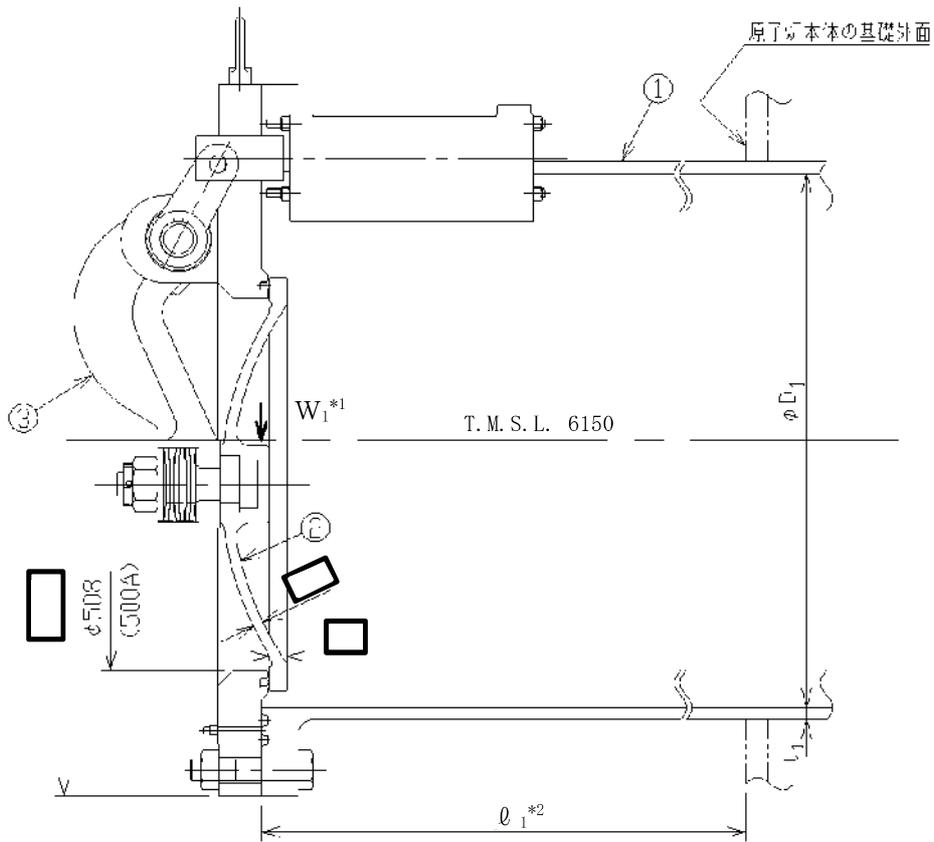


図 3-1 真空破壊弁の配置図



注記*1：W₁（死荷重）の作用点を示す。

*2：l₁寸法は最大長さを示す。

① パイプ
D₁ =

② バルブディスク
l₁ =

③ アーム
t₁ =

図 3-2 真空破壊弁の形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
パイプ	SGV49	SGV480 相当

4. 固有周期

真空破壊弁は、パイプが原子炉本体の基礎に埋め込まれた構造であり、原子炉本体の基礎からの突出し長さに対して断面剛性が高いため、固有周期は十分に小さく剛構造となる。

よって、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 真空破壊弁は、パイプが原子炉本体の基礎に埋め込まれた構造であり、地震荷重は原子炉本体の基礎を介して原子炉建屋に伝達される。

真空破壊弁の耐震評価として、VI-2-2-4「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構造強度評価を行う。また、重大事故等対処設備としての評価においては、没水時における真空破壊弁内部の水重量を考慮する。

(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。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

真空破壊弁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 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、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。

5.2.2 許容応力

真空破壊弁の許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

真空破壊弁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 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 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	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	真空破壊弁	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記* : クラス 2 容器の荷重の組合せ及び許容応力状態で評価する。

表5-2 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	圧力低減設備 その他の安全設備	真空破壊弁	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ *3	V_{AS} *4

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：重大事故等クラス2容器の荷重の組合せ及び許容応力状態で評価する。

*3：重大事故等後の最高内圧（差圧），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5-3 クラス2容器及び重大事故等クラス2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 _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 1.5倍の値	*1 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5倍の値		
V _A S ^{*2}				

注記*1：2・S_y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2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*2：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 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	171				
真空破壊弁パイプ	SGV49*	周囲環境 温度	171	—	229	423	—

注記* : SGV480 相当

表5-5 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	200				
真空破壊弁パイプ	SGV49*	周囲環境 温度	200	—	226	422	—

注記* : SGV480 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計圧力及び設計温度

設計基準対象施設としての設計圧力及び設計温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に基づき設定する。

内圧（差圧）	173kPa
外圧（差圧）	14kPa
温度	171℃

(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」に従い、以下のとおりとする。

内圧（差圧）	173kPa
温度	200℃

(3) 死荷重

真空破壊弁の自重を死荷重とする。

なお、重大事故等対処設備においては、没水による内包水を考慮する。

設計基準対象施設	<input type="text"/>	N
重大事故等対処設備	<input type="text"/>	N

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 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、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 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	
	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
原子炉本体の 基礎 T. M. S. L. 6.15	—*	—*	C _H =0.68	C _V =0.68	C _H =1.38	C _V =1.36

注記*：固有周期は十分に小さく，計算を省略する。

表 5-7 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	
	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
原子炉本体の 基礎 T. M. S. L. 6.15	—*	—*	C _H =0.68	C _V =0.68	C _H =1.38	C _V =1.36

注記*：固有周期は十分に小さく，計算を省略する。

5.4 計算方法

真空破壊弁の応力評価点は、真空破壊弁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 5-8 及び図 5-1 に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 ~ P 3	真空破壊弁パイプ

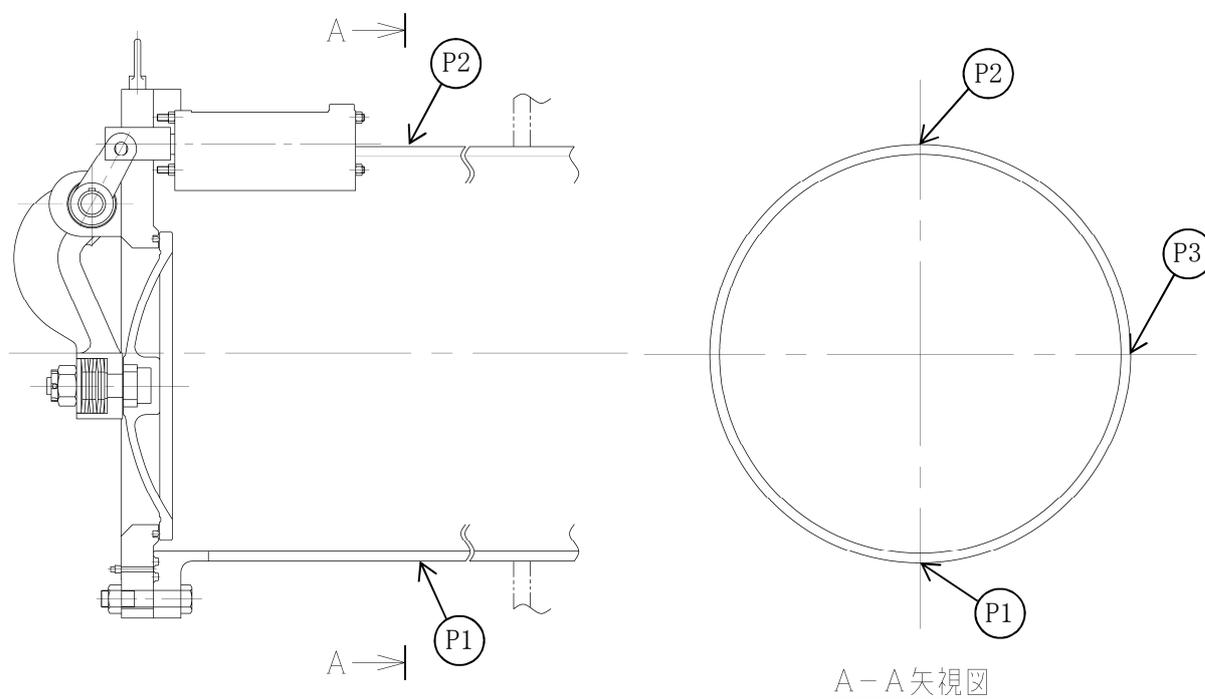


図 5-1 真空破壊弁の応力評価点

5.4.1 最高使用圧力(内圧)による応力

円周方向

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D_1}{2 \cdot t_1}$$

軸方向

$$\sigma_\ell = \frac{P \cdot D_1}{4 \cdot t_1}$$

5.4.2 最高使用圧力(外圧)による応力

円周方向

$$\sigma_t = -\frac{P_e \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{2 \cdot t_1}$$

軸方向

$$\sigma_\ell = -\frac{P_e \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{4 \cdot t_1}$$

5.4.3 真空破壊弁に作用する荷重による応力

真空破壊弁に作用する荷重として鉛直方向荷重及び水平方向荷重を考慮する。

ここで、荷重の作用位置はすべての場合に対して安全側に真空破壊弁パイプの外側端（フランジ面）とする。

また、地震荷重の作用方向を図5-2のように定める。

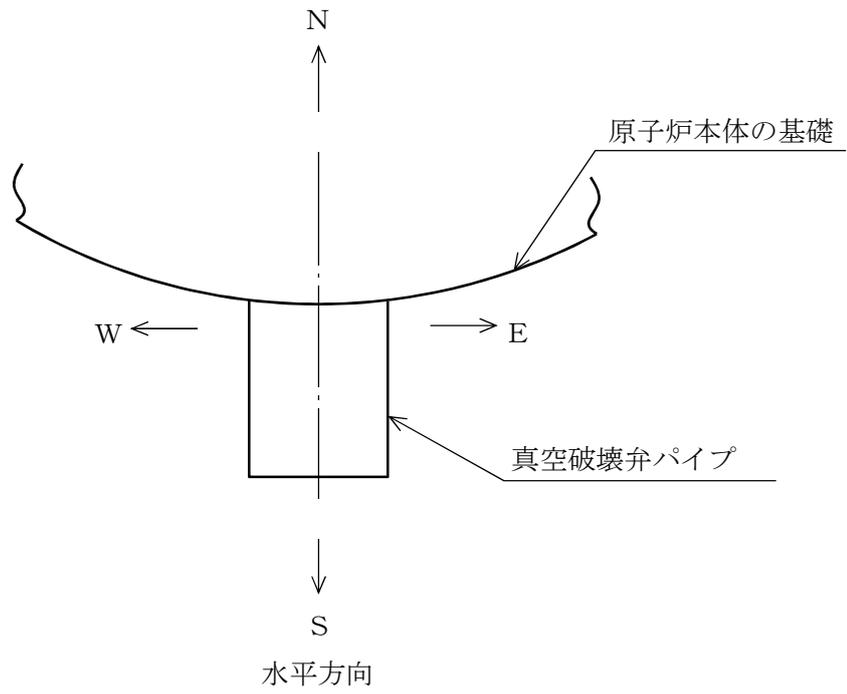
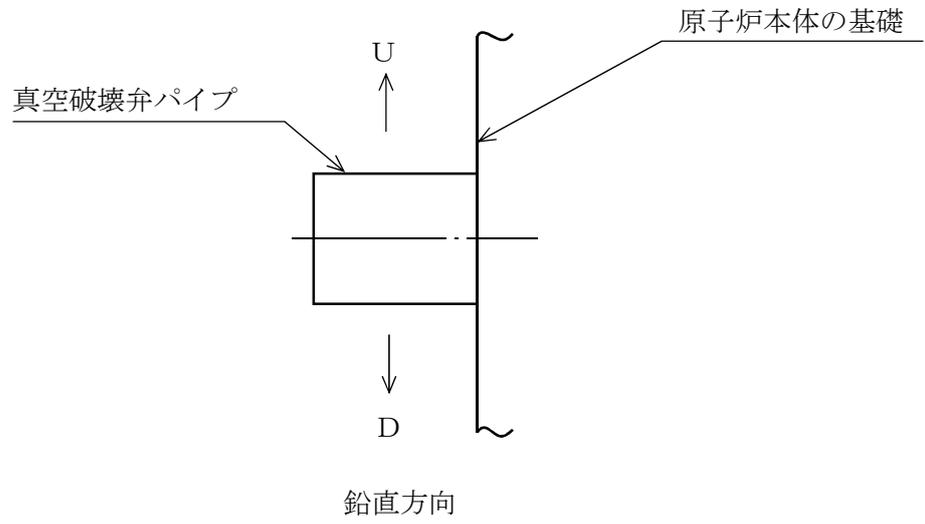


図5-2 地震荷重の作用方向

(1) 鉛直方向荷重

鉛直方向荷重としては、真空破壊弁の死荷重 (W_1) がある。この荷重と地震荷重を加え合わせて、応力計算を行う。

a. 死荷重による鉛直方向荷重

(a) 死荷重

モーメント

$$M_L = W_1 \cdot \ell_1$$

せん断力

$$Q = W_1$$

(b) 地震荷重作用時

モーメント

$$M_L = \pm C_V \cdot W_1 \cdot \ell_1$$

せん断力

$$Q = \pm C_V \cdot W_1$$

ここに、 C_V ：鉛直方向設計震度

(2) 水平方向荷重

水平方向荷重としては、真空破壊弁の死荷重による水平地震荷重がある。

a. 死荷重による水平地震荷重

(a) 地震荷重作用時

軸力

$$N = \pm C_H \cdot W_1$$

モーメント

$$M_C = \pm C_H \cdot W_1 \cdot \ell_1$$

せん断力

$$Q = \pm C_H \cdot W_1$$

ここに、 C_H ：水平方向設計震度

(3) 各荷重による応力

(1)項及び(2)項で得られた軸力，モーメント及びせん断力により真空破壊弁パイプに生じる応力は以下の式により計算する。

a. 軸力による応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{N}{A}$$

ここに，

A：真空破壊弁パイプの断面積

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - D_1^2)$$
$$D_0 = D_1 + 2 \cdot t_1$$

b. モーメントによる応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{M_C}{Z} \left(\text{又は} \frac{M_L}{Z} \right)$$

ここに，

Z：真空破壊弁パイプの断面係数

$$= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_0^4 - D_1^4)}{D_0}$$

c. せん断力による応力

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 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 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。

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

真空破壊弁の地震時又は地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

真空破壊弁は地震時動的機能維持が確認された逆止弁と類似の構造であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能維持評価用加速度は表 5-6 及び表 5-7 に示すものを用いる。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
真空破壊弁	逆止弁	水平	6.0
		鉛直	6.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

真空破壊弁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及び動的機能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 7-1 及び表 7-2 に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を表 7-3 に示す。

表 7-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊弁	P1	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	7	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P2	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	7	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P3	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	7	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	

表 7-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊弁	P1	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	8	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P2	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	8	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P3	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	7	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	
			一次+二次応力	10	458	○	

表 7-3 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

	要求機能	機能維持評価用加速度		機能確認済加速度	
		水平	鉛直	水平	鉛直
真空破壊弁	β (S _s) *	1.38	1.36	6.0	6.0

注記* : 基準地震動 S_s , 弾性設計用地震動 S_d 後に動的機能が要求されることを表す。

機能維持評価用加速度 (1.2ZPA) は全て機能確認済加速度以下である。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

真空破壊弁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及び動的機能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 7-4 に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を表 7-5 に示す。

表 7-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊弁	P1	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	10	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	
	P2	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	9	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	
	P3	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	8	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	

表 7-5 動的機能の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

	要求機能	機能維持評価用加速度		機能確認済加速度	
		水平	鉛直	水平	鉛直
真空破壊弁	$\beta (S_s) *$	1.38	1.36	6.0	6.0

注記*：基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d 後に動的機能が要求されることを表す。

機能維持評価用加速度 (1.2ZPA) は全て機能確認済加速度以下である。

VI-2-9-4-2 ダイヤフラムフロア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 適用規格・基準等	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. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容値	9
4.2.1 荷重の組合せ及び荷重状態	9
4.2.2 許容値	9
4.2.3 使用材料の許容応力度評価条件	9
4.2.4 設計荷重	14
4.3 設計用地震力	16
4.4 計算方法	16
4.4.1 評価点	16
4.4.2 解析モデル及び諸元	18
4.4.3 荷重、応力度及びひずみ計算方法	20
4.5 計算条件	21
4.6 評価	21
5. 評価結果	22
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	38
6. 参照図書	49

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準じ、ダイヤフラムフロア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。

ダイヤフラムフロア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。

なお、本計算書においては、新規制対応設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ダイヤフラムフロアの評価は、平成4年3月27日付け3資庁第13033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

ダイヤフラムフロアの構造計画を表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>ダイヤフラムフロアは原子炉本体の基礎（以下「原子炉本体基礎」という。）及び原子炉格納容器シェル部に支持される。</p> <p>ダイヤフラムフロアの鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉本体基礎及び原子炉格納容器シェル部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ダイヤフラムフロアは、鉄筋コンクリートスラブと鋼板で構成される構造物である。鉄筋コンクリートスラブは外径約 28900mm、内径約 12700mm、厚さ 1200mm である。原子炉格納容器シェル部及び原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアの接合部を構成する鋼板（シアプレート）は板厚 \square mm と \square mm である。</p>	<p>注記*1: 逃がし安全弁排気管を示す。 *2: 原子炉圧力容器を示す。</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ダイヤフラムフロアの応力評価は、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「2.3 適用規格・基準等」にて設定される許容限界に基づき、「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度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。

ダイヤフラムフロアの耐震評価フローを図2-1に示す。

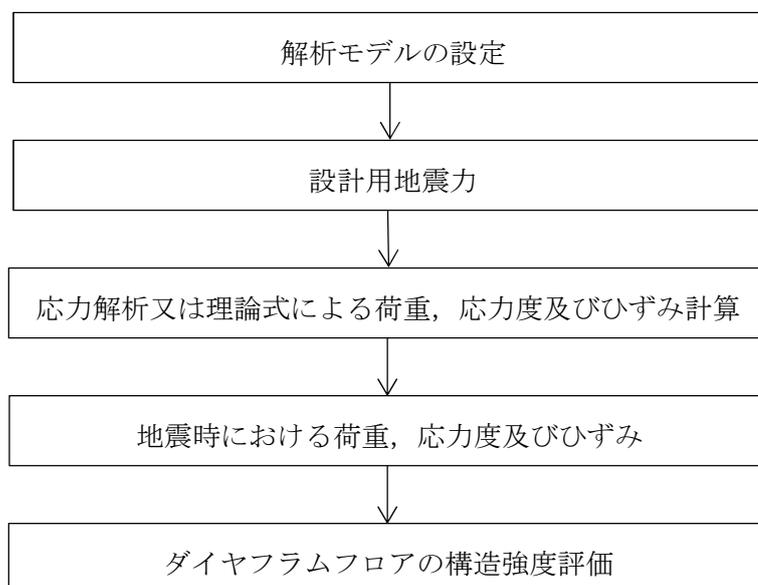


図2-1 ダイヤフラムフロアの耐震評価フロー

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 (コンクリート製原子炉格納容器規格 J S M E S N E 1 -
2003) (以下「CCV規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会 1985 制定)
- ・鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
E	ヤング係数	N/mm ²
f _b	許容曲げ応力度	N/mm ²
f _s	許容せん断応力度	N/mm ²
F	許容応力度の基準値	N/mm ²
F _c	コンクリートの設計基準強度	kg/cm ² , N/mm ²
H	水力学的動荷重, 水平方向荷重	—, kN
L	活荷重	—
P _i	圧力 (i = 1, 2, 3…)	—
P _{SAL}	圧力 (SA後長期内圧)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA後長々期内圧)	kPa
P _w	面外せん断補強筋比	—
Q _{A1}	コンクリートの許容面外せん断力	N/mm
Q _{A2}	鉄筋で補強した場合の許容面外せん断力	N/mm
Q _x	円周方向の面外せん断力	N/mm
Q _y	放射方向の面外せん断力	N/mm
R _i	配管荷重 (i = 1, 2, 3…)	—
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のいずれか大きい方の地震力	—
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	N/mm ²
S _y	設計降伏点	N/mm ²
T _i	温度	—
V	鉛直方向荷重, 鉛直震度	kN/m ² , kN, —
α	線膨張係数, せん断スパン比による割増し係数	1/°C, —
c _{εc}	コンクリートの圧縮ひずみ	—
s _{εc}	鉄筋の圧縮ひずみ	—
s _{εt}	鉄筋の引張ひずみ	—
ν	ポアソン比	—
ρ	単位体積質量	kN/m ³
c _{σc}	コンクリートの圧縮応力度	N/mm ²
s _{σc}	鉄筋の圧縮応力度	N/mm ²
s _{σt}	鉄筋の引張応力度	N/mm ²

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 に示すとおりである。

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
温度		℃	—	—	整数位
許容応力度（鉄筋コンクリートスラブ）		N/mm ²	有効数字 4 桁目	切捨て	有効数字 3 桁*
許容応力度（シアプレート）		N/mm ²	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力度（鉄筋コンクリートスラブ）		N/mm ²	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
算出応力度（シアプレート）		N/mm ²	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容ひずみ		—	—	—	小数点以下第 3 位
算出ひずみ		—	小数点以下第 7 位	切上げ	小数点以下第 6 位
許容荷重	面外せん断力	N/mm	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	スタッドに対するせん断力	N/本	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁*
算出荷重	面外せん断力	N/mm	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
	スタッドに対するせん断力	N/本	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁*

注記*：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

ダイヤフラムフロアの形状及び主要寸法を図3-1に、評価部位及び使用材料を表3-1に示す。

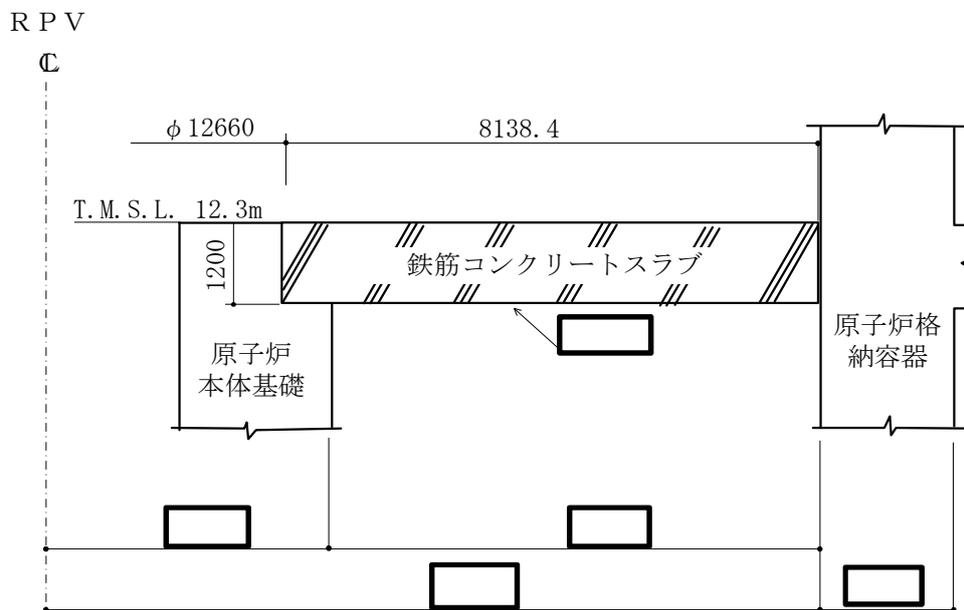


図3-1 ダイヤフラムフロアの形状及び主要寸法 (単位: mm)

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位		使用材料	備考
鉄筋コンクリートスラブ	コンクリート部	コンクリート	
	鉄筋		
構造用鋼材 (シアプレート)			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) ダイヤフラムフロアの地震荷重は、原子炉本体基礎及び原子炉格納容器シェル部を介して原子炉建屋に伝達される。ダイヤフラムフロアの耐震評価として、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及びVI-2-2-4「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) 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値

4.2.1 荷重の組合せ及び荷重状態

ダイヤフラムフロアの荷重の組合せ及び荷重状態のうち、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 許容値

ダイヤフラムフロアの許容値は、「2.3 適用規格・基準等」に基づき表 4-3～表 4-9 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力度評価条件

ダイヤフラムフロアの使用材料の許容応力度評価条件を表 4-10 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び荷重状態（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		荷重状態*3 <許容応力状態>
原子炉格納 施設	圧力低減 設備その他 の安全設備	ダイヤ フラム フロア	S	建物・ 構築物	D + L + P ₁ + R ₁ + T ₁ + H + S _d * [*]	(10)	Ⅲ <短期>
						(11)	
					(14)		
					D + L + P ₁ + R ₁ + H + S _s	(12)	Ⅳ <短期>
						(13)	
						(15)	
					D + L + P ₂ + R ₂ + S _d ** ^{**2}	(17)	Ⅳ <短期>

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5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：地震荷重と組み合わせる場合は、異常発生直後を除くその後の状態の荷重と組み合わせる。

*3：鋼構造設計規準による場合は、< >内の許容応力状態を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び荷重状態（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}		荷重状態 ^{*4} <許容応力状態>
原子炉格納 施設	圧力低減 設備その他 の安全設備	ダイヤフラム フロア	常設耐震／防止 常設／緩和	建物・ 構築物	$D + L + P_3 + R_3 + H + S_d$ ^{*3}	(V(L)-1)	V ^{*5} <短期>
					$D + L + P_4 + R_4 + S_s$	(V(LL)-1)	V ^{*5} <短期>

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5-4の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及びそのときの飽和温度との組合せを考慮する。

*4：鋼構造設計規準による場合は，< >内の許容応力状態を適用する。

*5：VとしてIVの許容限界を用いる。

表4-3 コンクリートの許容応力度

応力分類 荷重状態	コンクリート (単位: N/mm ²)		
	圧縮応力度* ¹		せん断応力度* ²
Ⅲ	応力状態1* ³	$\frac{2}{3} \cdot F_c$	$1.5 \cdot \left(0.49 + \frac{F_c}{100} \right)$
	応力状態2* ³	$\frac{3}{4} \cdot F_c$	
Ⅳ	0.85 · F _c		
Ⅴ			

注記*1: ⅤとしてⅣの許容限界を用いる。

*2: Ⅳ及びⅤとしてⅢの許容限界を用いる。

*3: C C V規格 CVE-3120 用語の定義より, 応力状態1は各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。応力状態2は各荷重状態において応力が生じている状態をいう。

表4-4 鉄筋の許容応力度 (単位: N/mm²)

荷重状態	引張応力度及び圧縮応力度*
Ⅲ	<div style="border: 2px solid black; width: 80px; height: 40px; margin: auto;"></div>
Ⅳ	
Ⅴ	

注記*: Ⅳ及びⅤとしてⅢの許容限界を用いる。

表4-5 鉄筋の面外せん断力に対する許容応力度 (単位: N/mm²)

荷重状態	引張応力度*
Ⅲ	<div style="border: 2px solid black; width: 80px; height: 40px; margin: auto;"></div>
Ⅳ	
Ⅴ	

注記*: Ⅳ及びⅤとしてⅢの許容限界を用いる。

表4-6 鉄筋とコンクリートの許容ひずみ

荷重状態	鉄筋		コンクリート
	引張ひずみ*	圧縮ひずみ*	圧縮ひずみ*
Ⅳ	0.005	0.005	0.003
Ⅴ			

注記*: ⅤとしてⅣの許容限界を用いる。

表4-7 コンクリートの許容面外せん断力 (単位: N/mm)

荷重状態	面外せん断力*
Ⅲ	□
Ⅳ	
Ⅴ	

注記*: Ⅳ及びⅤとしてⅢの許容限界を用いる。

表4-8 構造用鋼材の許容応力度

許容応力状態	曲げ	せん断
短期	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$

表4-9 原子炉本体基礎接合部半径方向水平力伝達用頭付スタッドの許容値 (単位: N/本)

許容応力状態	せん断力
短期	□

表 4-10 使用材料の許容応力度評価条件

評価部材		材料*1, *2	F (N/mm ²)	S _y (N/mm ²)	S _u (N/mm ²)
構造用鋼材 (シアプレート)	原子炉格納容器接合部	□			
	原子炉本体基礎接合部				

注記*1: □ は □ を示す。

*2: □ は □ を示す。

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ダイヤフラムフロアの設計荷重を表 4-11 に示す。

表 4-11 設計荷重 (設計基準対象施設)

荷重		荷重記号* ¹	ダイヤフラムフロアに作用する荷重
通常荷重	死荷重	D	V : <input type="text"/> kN/m ²
運転時荷重	運転時差圧	P ₁	14kPa (D/W 14kPa, S/C 0kPa)
	運転時温度	T ₁	上面温度 57℃, 下面温度 43℃
異常時荷重	異常時内圧* ²	P ₂	34kPa (D/W 34kPa, S/C 34kPa)
地震時荷重	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震荷重又は静的地震荷重	S _d * ³	H : <input type="text"/> kN* ³ 又は <input type="text"/> kN* ³ V : 設計用最大応答加速度より得られる震度 0.58* ⁴ 又は静的震度 0.24* ⁴
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的地震により定まる地震時配管荷重	S _d * ³	V : <input type="text"/> kN* ⁵
	基準地震動 S _s により定まる地震荷重	S _s	H : <input type="text"/> kN* ³ V : 鉛直震度 1.15* ⁴
	基準地震動 S _s により定まる地震時配管荷重	S _s	V : <input type="text"/> kN* ⁵

注 1 : D/W はドライウェル, S/C はサプレッションチェンバを示す。

注 2 : V は鉛直方向を示す。(下向きを正とする。) H は水平方向を示す。

注 3 : 原子炉格納容器及び原子炉本体基礎より間接的に作用する水力学的動荷重についても考慮する。

注記*1 : 表 4-1 の荷重の組合せの記号を示す。

*2 : 異常時発生直後を除くその後の状態の荷重を示す。

*3 : VI-2-2-4 「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定し, 既工認の値との包絡値とする。

*4 : VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

*5 : 逃がし安全弁排気管貫通部 1 箇所当たりの荷重を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としてのダイヤフラムフロアの設計荷重を表 4-12 に示す。

表 4-12 設計荷重 (重大事故等対処設備)

荷重		荷重記号*1	ダイヤフラムフロアに作用する荷重
重大事故 等時荷重	死荷重	D	V : <input type="text"/> kN/m ²
	SA後長期 内圧 P _{SAL} 差圧 P _{SAL}	P ₃	620kPa (D/W 620kPa, S/C 620kPa) *2 173kPa (D/W 620kPa, S/C 447kPa) *2
	SA後長々期 内圧 P _{SALL} 差圧 P _{SALL}	P ₄	150kPa (D/W 150kPa, S/C 150kPa) *2 100kPa (D/W 150kPa, S/C 50kPa) *2
	地震時荷重 (重大事故 等時)	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震荷重	S _d
弾性設計用地震動 S _d により定まる地震時配 管荷重		S _d	V : <input type="text"/> kN*5
基準地震動 S _s により 定まる地震荷重		S _s	H : <input type="text"/> kN*3 V : 鉛直震度 1.15*4
基準地震動 S _s により 定まる地震時配管荷重		S _s	V : <input type="text"/> kN*5

注 1 : D/W はドライウェル, S/C はサプレッションチェンバを示す。

注 2 : V は鉛直方向を示す。(下向きを正とする。) H は水平方向を示す。

注 3 : 原子炉格納容器及び原子炉本体基礎より間接的に作用する水力学的動荷重についても考慮する。

注記*1 : 表 4-2 の荷重の組合せの記号を示す。

*2 : VI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に基づき設定する。

*3 : VI-2-2-4 「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

*4 : VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

*5 : 逃がし安全弁排気管貫通部 1 箇所当たりの荷重を示す。

4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力は、「4.2.4 設計荷重」に示す荷重を用いる。なお、設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」及びVI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定し、既工認の値との包絡値とする。

4.4 計算方法

4.4.1 評価点

ダイヤフラムフロアの評価点は、ダイヤフラムフロアを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生荷重、応力度又はひずみが大きくなる部位を選定する。選定した評価点を表4-13及び図4-1～図4-3に示す。

表4-13 ダイヤフラムフロアの評価点

評価点番号	評価点
P 1 * ¹	鉄筋コンクリートスラブ放射方向
P 2 * ¹	鉄筋コンクリートスラブ円周方向
P 3 * ²	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 地震時水平力伝達用シアプレート
P 4 * ²	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 鉛直力伝達用シアプレート
P 5 * ²	原子炉本体基礎接合部 地震時水平力伝達用シアプレート
P 6 * ³	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド

注記*1：CCV規格に基づき応力度、ひずみ及び面外せん断力を評価する。

*2：鋼構造設計規準に基づき曲げ応力度及びせん断応力度を評価する。

*3：各種合成構造設計指針・同解説に基づきせん断力を評価する。

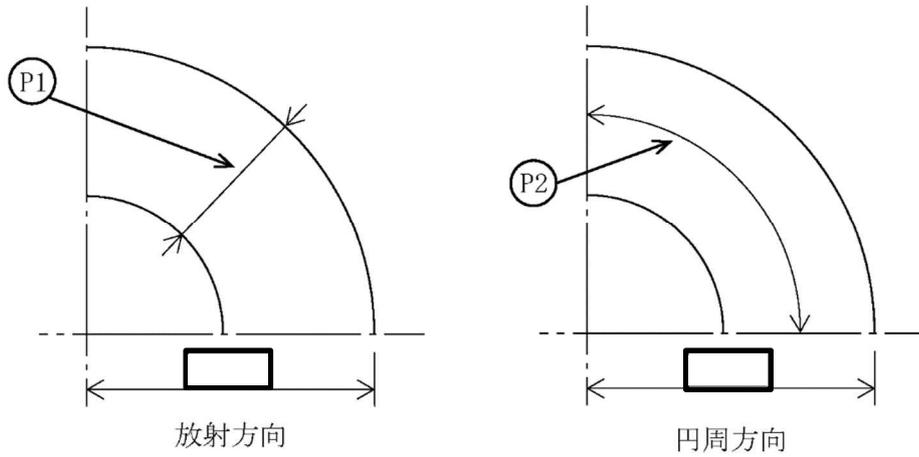


図 4-1 ダイアフラムフロアの評価点（鉄筋コンクリートスラブ）

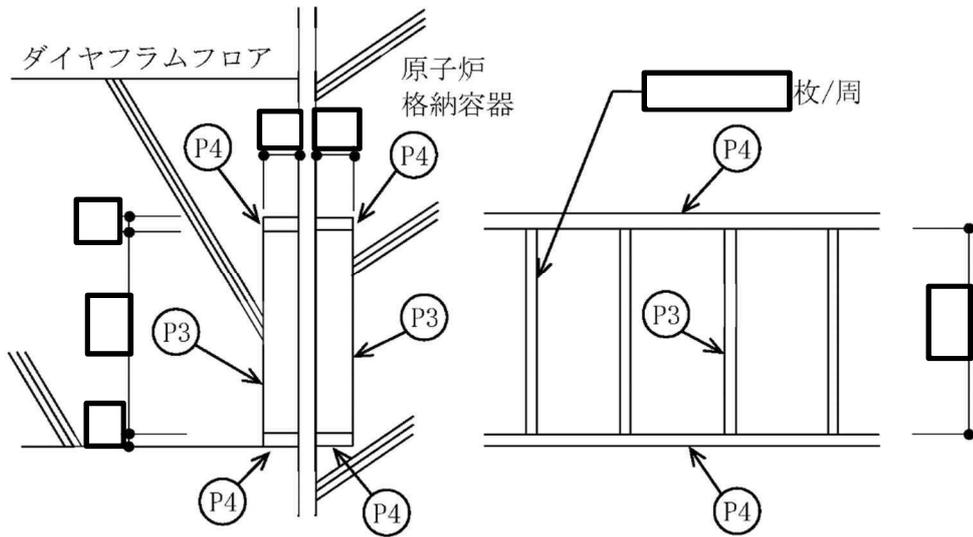


図 4-2 ダイアフラムフロアの評価点（鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部）

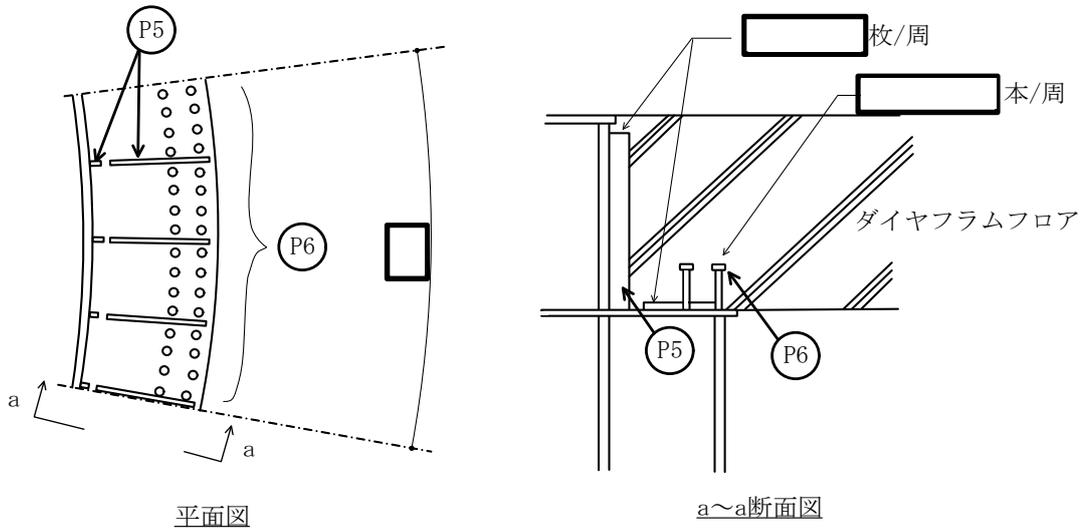


図 4-3 ダイアフラムフロアの評価点（原子炉本体基礎接合部）

4.4.2 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル

設計基準対象施設としての評価は、既工認からの変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル

重大事故等対処設備としての評価における、ダイヤフラムフロアの解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ダイヤフラムフロアの解析モデルは、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。ダイヤフラムフロアが平面的にほぼ対称であるため、既工認と同様に、解析は1/2モデルを用いて行う。解析モデルを図4-4に、解析モデルの諸元について表4-14に示す。

b.



- c. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、荷重、応力度及びひずみを求める。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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

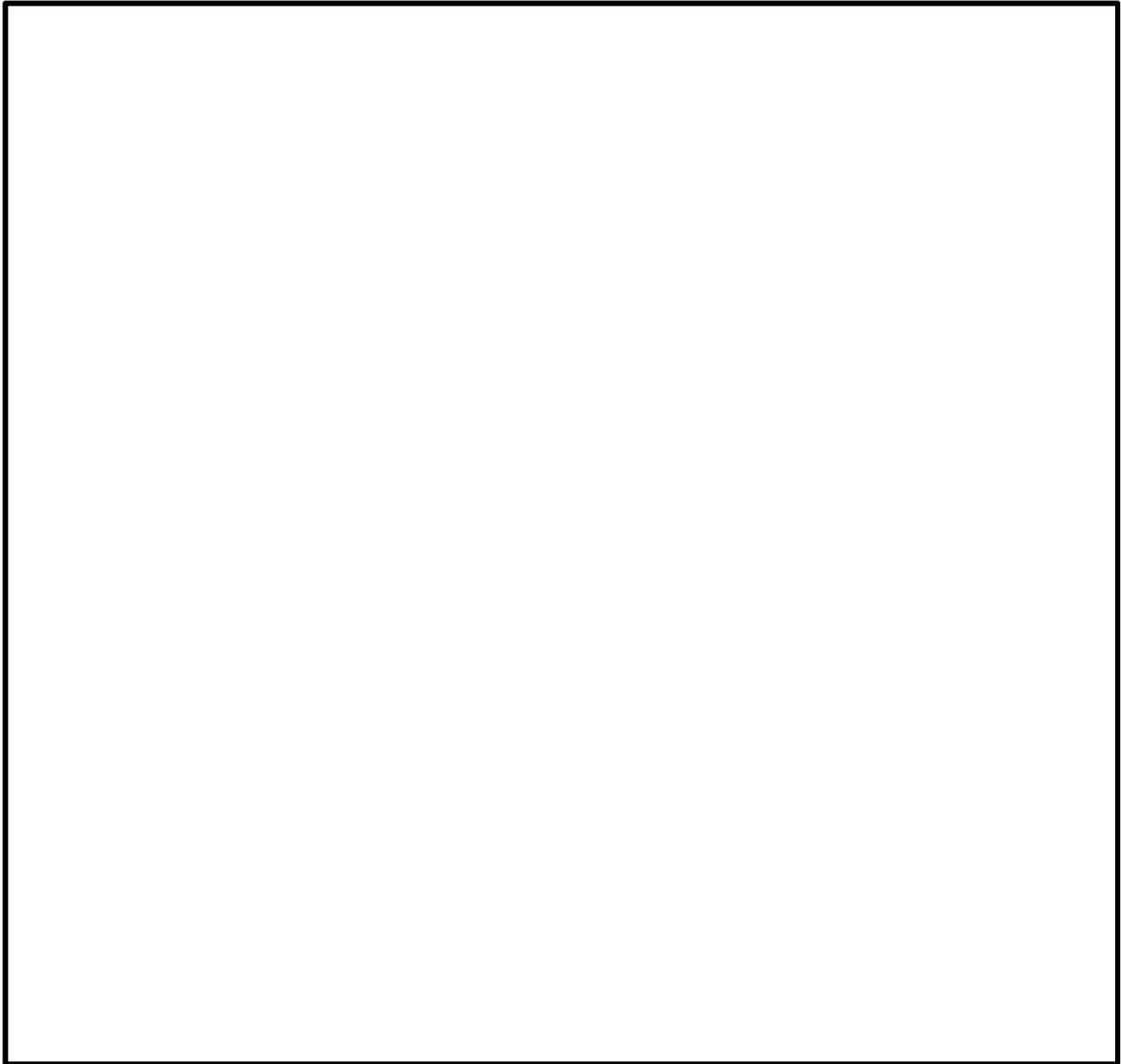


図 4-4 解析モデル (単位 : mm)

表 4-14 解析モデル諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	コンクリート
単位体積重量	ρ	kN/m ³	[Redacted]
ヤング係数	E	N/mm ²	
線膨張係数	α	1/°C	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

4.4.3 荷重，応力度及びひずみ計算方法

ダイヤフラムフロアの荷重，応力度及びひずみ計算方法について以下に示す。

荷重，応力度及びひずみの計算方法は既工認から変更はなく，参考図書（1）に示すとおりである。

a. 応力評価点 P1, P2

「4.4.2 解析モデル及び諸元」に示すダイヤフラムフロアの解析モデルにより算出した軸力，曲げモーメント及び面外せん断力より，応力度，ひずみ及び面外せん断力を求める。

b. 応力評価点 P3, P5

評価点に作用する水平方向の地震荷重と部材の断面性能より，曲げ応力度及びせん断応力度を求める。

c. 応力評価点 P4

「4.4.2 解析モデル及び諸元」に示すダイヤフラムフロアの解析モデルにより算出した面外せん断力と部材の断面性能より，曲げ応力度及びせん断応力度を求める。

d. 応力評価点 P6

「4.4.2 解析モデル及び諸元」に示すダイヤフラムフロアの解析モデルにより算出した軸力より，せん断力を求める。

4.5 計算条件

解析に用いる荷重を「4.2 荷重の組合せ及び許容値」に示す。

4.6 評価

「4.4 計算方法」で求めた荷重，応力度及びひずみが許容値以下であること。

なお，面外せん断力に対する評価においては，コンクリートの許容面外せん断力を満足しない場合，CCV規格 CVE-3522(2)に従い，鉄筋で補強した場合の許容面外せん断力を用いること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダイヤフラムフロア的设计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～表 5-3 に示す。また、評価点 P1, P2 における断面検討箇所を図 5-1 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计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。

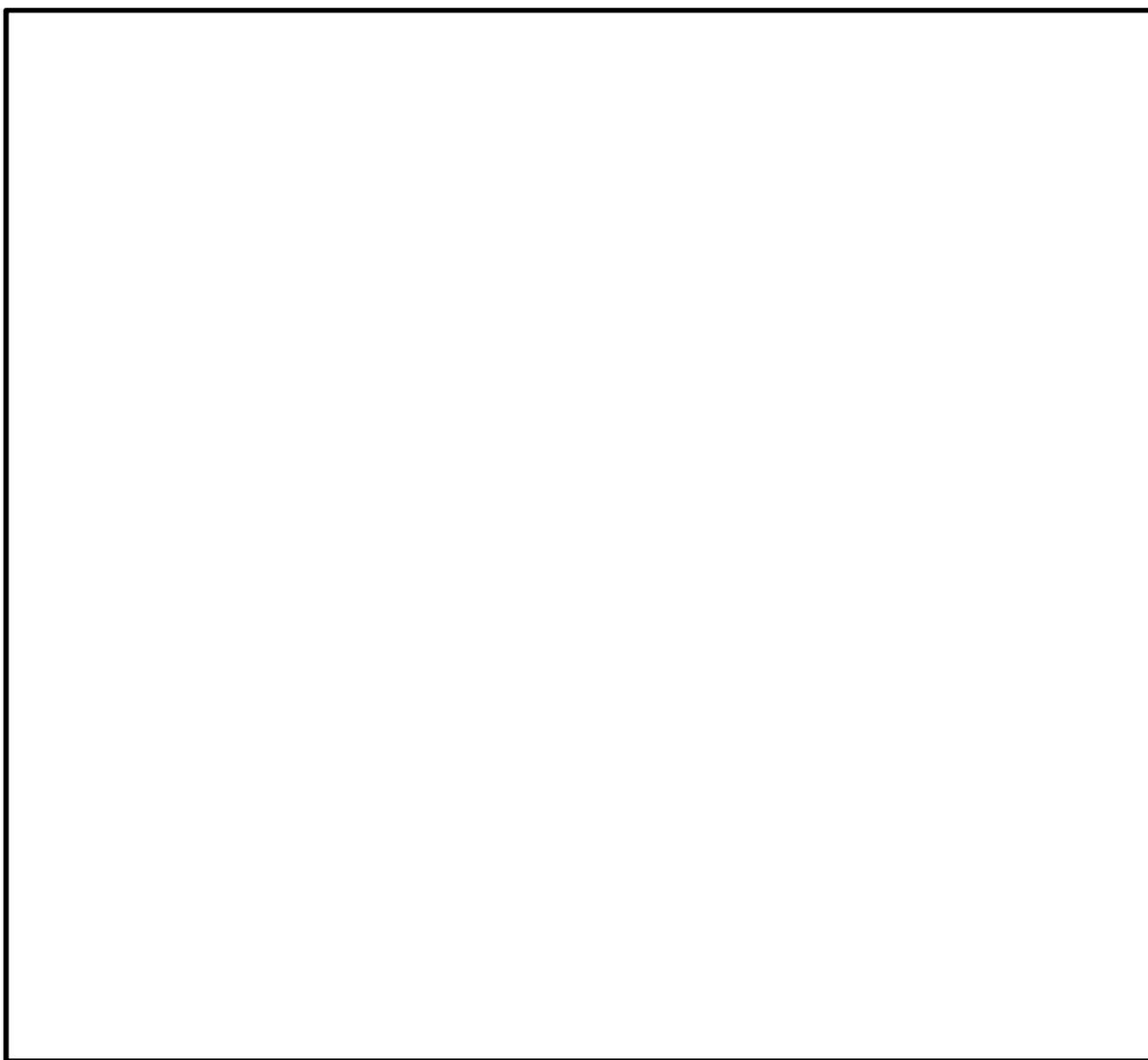


図 5-1 断面検討箇所

表 5-1(1) 荷重状態Ⅲに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討応力度	応力状態	Ⅲ		判定	荷重の 組合せ
						算出応力度*3	許容値		
						N/mm ²	N/mm ²		
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	c σ c	1	-6.8		○	(14)
					2	-8.4		○	(14)
				s σ c	2	-39.1		○	(14)
					1	164.8		○	(14)
			No. 2	c σ c	1	-4.2		○	(14)
					2	-6.1		○	(14)
				s σ c	2	-21.5		○	(14)
			s σ t		2	135.3		○	(14)
			No. 3	c σ c	1	-3.8		○	(14)
					2	-4.0		○	(14)
				s σ c	2	-29.3		○	(14)
			s σ t		1	111.4		○	(14)
			No. 4	c σ c	1	-0.9		○	(14)
					2	-2.3		○	(14)
				s σ c	2	-22.5		○	(14)
					s σ t	1		29.5	○

注記*1：軸力及び曲げモーメントによる応力度の評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：算出応力度の最大値を示す。

表 5-1(1) 荷重状態Ⅲに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討応力度	応力状態	Ⅲ		判定	荷重の 組合せ	
						算出応力度*3	許容値			
						N/mm ²	N/mm ²			
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	c σ c	1	-0.8		○	(14)	
					2	-1.3		○	(14)	
				s σ c	2	-13.2		○	(14)	
					2	96.3		○	(14)	
			No. 6	c σ c	1	-1.9		○	(14)	
					2	-2.1		○	(14)	
				s σ c	2	-9.1		○	(14)	
			No. 7	s σ t	2	126.3		○	(14)	
					c σ c	1		-0.5	○	(14)
						2		-1.6	○	(14)
			No. 8	s σ c	2	-12.5		○	(14)	
					2	70.0		○	(14)	
				c σ c	1	—*4		—	—	
					2	-0.7		○	(14)	
			s σ c	2	-8.4	○		(14)		
				s σ t	2	91.6		○	(14)	

注記*1：軸力及び曲げモーメントによる応力度の評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：算出応力度の最大値を示す。

*4：圧縮応力度は生じない。

表 5-1(2) 荷重状態Ⅲに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	Ⅲ					判定	荷重の 組合せ
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値		
					Q _y *3	Q _{A1}			Q _{A2}		
					N/mm	N/mm			N/mm		
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	2	399		—	—	—	○	(14)
			No. 2	1	432		—	—	—	○	(14)
			No. 3	1	497		—	—	—	○	(14)
			No. 4	2	1103				○	(14)	

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-1(2) 荷重状態Ⅲに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	Ⅲ					判定	荷重の 組合せ
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値		
					Q _x *3	Q _{A1}			Q _{A2}		
					N/mm	N/mm			N/mm		
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	2	299		—	—	—	○	(14)
			No. 6	2	106		—	—	—	○	(14)
			No. 7	1	148		—	—	—	○	(14)
			No. 8	2	717		—	—	—	○	(14)

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-1(3) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容値		
				N/mm ²	N/mm ²		
ダイヤフラム フロア	P3	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部	曲げ応力度	42		○	—*
		地震時水平力伝達用シアプレート	せん断応力度	6		○	—*
	P4	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部	曲げ応力度	79		○	(14)
		鉛直力伝達用シアプレート	せん断応力度	10		○	(14)
	P5	原子炉本体基礎接合部	曲げ応力度	111		○	—*
		地震時水平力伝達用シアプレート	せん断応力度	16		○	—*

注記* : 支配的な水平地震荷重のみ考慮し評価するため、「—」とする。

表 5-1(4) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D+L+P₁+R₁+T₁+H+S d*)

評価対象設備	評価部位		Ⅲ		判定	荷重の 組合せ
			せん断力*	許容値		
			N/本	N/本		
ダイヤフラム フロア	P6	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド	3.026×10 ⁴		○	(14)

注記* : スタッド1本当たりのせん断力を示す。

表 5-2(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+H+S_s) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討ひずみ	応力状態	Ⅳ		判定	荷重の 組合せ
						算出ひずみ*3 (×10 ⁻⁶)	許容値 (×10 ⁻⁶)		
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	c ε c	1	-607	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-6	-5000	○	(15)
				s ε t	1	1372	5000	○	(15)
			No. 2	c ε c	1	-248	-3000	○	(15)
				s ε c	1	—*4	—	—	—
				s ε t	1	839	5000	○	(15)
			No. 3	c ε c	1	-244	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-6	-5000	○	(15)
				s ε t	1	796	5000	○	(15)
			No. 4	c ε c	1	-80	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-6	-5000	○	(15)
				s ε t	1	203	5000	○	(15)

注記*1：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：算出ひずみの最大値を示す。

*4：圧縮ひずみは生じない。

表 5-2(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+H+S_s) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討ひずみ	応力状態	Ⅳ		判定	荷重の 組合せ
						算出ひずみ*3 (×10 ⁻⁶)	許容値 (×10 ⁻⁶)		
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	c ε c	1	-41	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-1	-5000	○	(15)
				s ε t	1	705	5000	○	(15)
			No. 6	c ε c	1	-87	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-2	-5000	○	(15)
				s ε t	1	461	5000	○	(15)
			No. 7	c ε c	1	-15	-3000	○	(15)
				s ε c	1	-12	-5000	○	(15)
				s ε t	1	275	5000	○	(15)
			No. 8	c ε c	1	—*4	—	—	—
				s ε c	1	—*4	—	—	—
				s ε t	1	412	5000	○	(15)

注記*1：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：算出ひずみの最大値を示す。

*4：圧縮ひずみは生じない。

表 5-2(2) 荷重状態IVに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+H+S_s) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	IV					判定	荷重の 組合せ
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値		
					Q _y *3	Q _{A1}			Q _{A2}		
					N/mm	N/mm			N/mm		
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	1	580		—	—	—	○	(15)
			No. 2	1	537		—	—	—	○	(15)
			No. 3	1	707		—	—	—	○	(15)
			No. 4	1	1496				○	(15)	

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-2(2) 荷重状態IVに対する評価結果*1 (D+L+P₁+R₁+H+S_s) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	IV					判定	荷重の 組合せ
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値		
					Q _x *3	Q _{A1}			Q _{A2}		
					N/mm	N/mm			N/mm		
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	1	371		—	—	—	○	(15)
			No. 6	1	73		—	—	—	○	(15)
			No. 7	1	159		—	—	—	○	(15)
			No. 8	1	783		—	—	—	○	(15)

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-2(3) 荷重状態IVに対する評価結果 (D+L+P₁+R₁+H+S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容値		
				N/mm ²	N/mm ²		
ダイヤフラム フロア	P3	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部	曲げ応力度	79		○	—*
		地震時水平力伝達用シアプレート	せん断応力度	11		○	—*
	P4	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部	曲げ応力度	113		○	(15)
		鉛直力伝達用シアプレート	せん断応力度	14		○	(15)
	P5	原子炉本体基礎接合部	曲げ応力度	209		○	—*
		地震時水平力伝達用シアプレート	せん断応力度	29		○	—*

注記*：支配的な水平地震荷重のみ考慮し評価するため、「—」とする。

表 5-2(4) 荷重状態IVに対する評価結果 (D+L+P₁+R₁+H+S_s)

評価対象設備	評価部位		IV		判定	荷重の 組合せ
			せん断力*	許容値		
			N/本	N/本		
ダイヤフラム フロア	P6	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド	3.974×10 ⁴		○	(15)

注記*：スタッド1本当たりのせん断力を示す。

表 5-3(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*1 (D+L+P₂+R₂+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討ひずみ	応力状態	Ⅳ		判定
						算出ひずみ*3 (×10 ⁻⁶)	許容値 (×10 ⁻⁶)	
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	c ε c	1	-314	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	754	5000	○
			No. 2	c ε c	1	-196	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	556	5000	○
			No. 3	c ε c	1	-163	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	510	5000	○
			No. 4	c ε c	1	-41	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	137	5000	○

注記*1：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：算出ひずみの最大値を示す。

*4：圧縮ひずみは生じない。

表 5-3(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*¹ (D+L+P₂+R₂+S d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名* ²	検討ひずみ	応力状態	Ⅳ		判定
						算出ひずみ* ³ (×10 ⁻⁶)	許容値 (×10 ⁻⁶)	
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	c ε c	1	-30	-3000	○
				s ε c	1	-6	-5000	○
				s ε t	1	450	5000	○
			No. 6	c ε c	1	-92	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	385	5000	○
			No. 7	c ε c	1	-20	-3000	○
				s ε c	1	-4	-5000	○
				s ε t	1	208	5000	○
			No. 8	c ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	312	5000	○

注記*¹：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*²：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*³：算出ひずみの最大値を示す。

*⁴：圧縮ひずみは生じない。

表 5-3(2) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*1 (D+L+P₂+R₂+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	Ⅳ					判定
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値	
					Q _y *3	Q _{A1}			Q _{A2}	
					N/mm	N/mm			N/mm	
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	1	298		—	—	—	○
			No. 2	1	398		—	—	—	○
			No. 3	1	446		—	—	—	○
			No. 4	1	830		—	—	—	○

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-3(2) 荷重状態Ⅳに対する評価結果*1 (D+L+P₂+R₂+S d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	Ⅳ					判定
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値	
					Q _x *3	Q _{A1}			Q _{A2}	
					N/mm	N/mm			N/mm	
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	1	174		—	—	—	○
			No. 6	1	95		—	—	—	○
			No. 7	1	144		—	—	—	○
			No. 8	1	590		—	—	—	○

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-1 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-3(3) 荷重状態IVに対する評価結果 (D + L + P₂ + R₂ + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV		判定
				算出応力度	許容値	
				N/mm ²	N/mm ²	
ダイヤフラム フロア	P3	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	42		○
			せん断応力度	6		○
	P4	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 鉛直力伝達用シアプレート	曲げ応力度	73		○
			せん断応力度	9		○
	P5	原子炉本体基礎接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	111		○
			せん断応力度	16		○

表 5-3(4) 荷重状態IVに対する評価結果 (D + L + P₂ + R₂ + S d*)

評価対象設備	評価部位		IV		判定
			せん断力*	許容値	
			N/本	N/本	
ダイヤフラム フロア	P6	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド	3.059 × 10 ⁴		○

注記* : スタッド1本当たりのせん断力を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ダイヤフラムフロア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 及び表 5-5 に示す。また、評価点 P1, P2 における断面検討箇所を図 5-2 に示す。

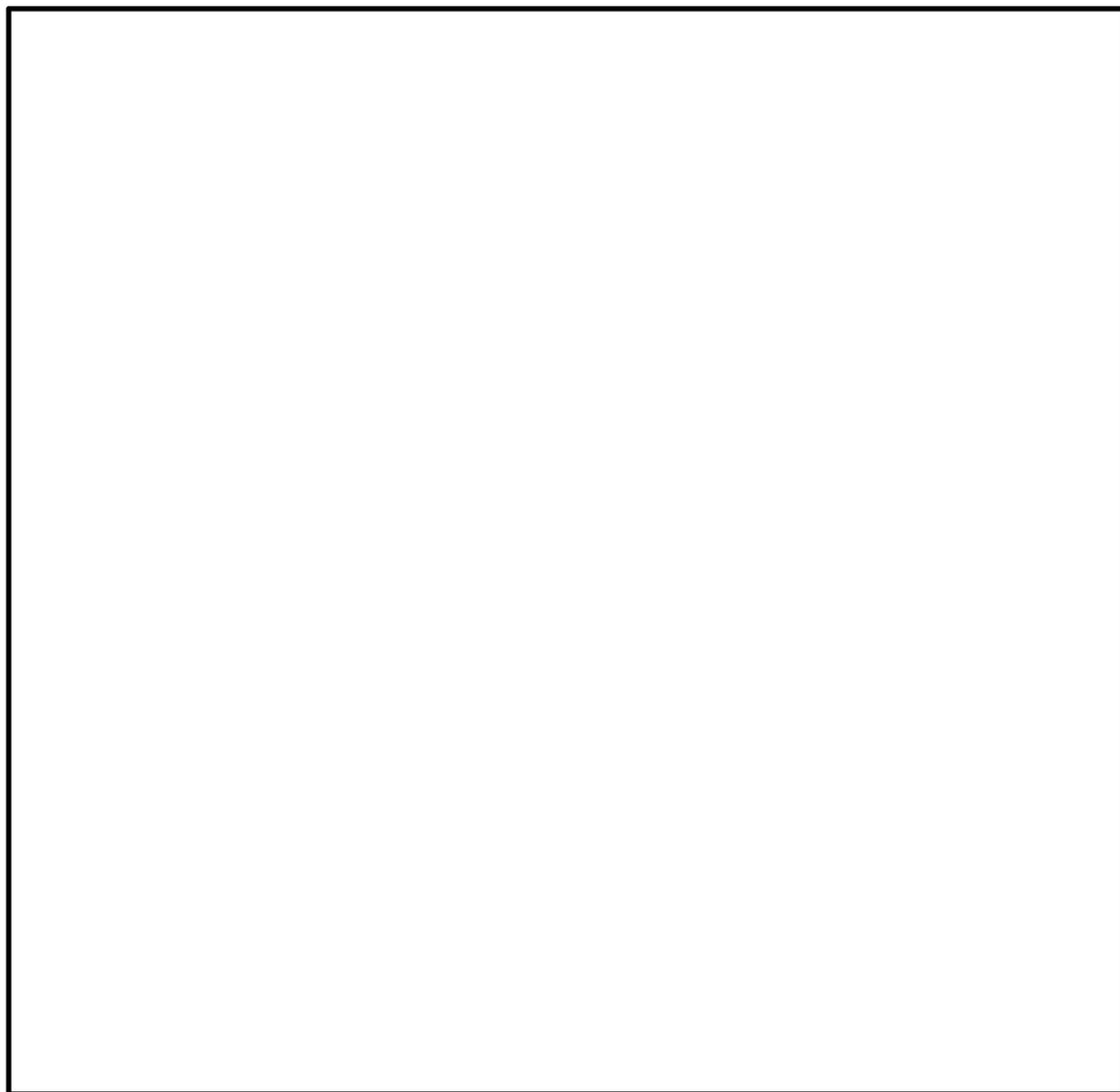


図 5-2 断面検討箇所

表 5-4(1) 荷重状態 V に対する評価結果*¹ (D + L + P₃ + R₃ + H + S d) (その 1)

評価対象設備	評価部位		箇所名* ²	検討ひずみ	応力状態	V		判定
						算出ひずみ* ³ ($\times 10^{-6}$)	許容値 ($\times 10^{-6}$)	
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	c ε c	1	-497	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	1140	5000	○
			No. 2	c ε c	1	-404	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	875	5000	○
			No. 3	c ε c	1	-510	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	1208	5000	○
			No. 4	c ε c	1	-45	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	708	5000	○

注記*¹：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*²：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*³：算出ひずみの最大値を示す。

*⁴：圧縮ひずみは生じない。

表 5-4(1) 荷重状態 V に対する評価結果*¹ (D + L + P₃ + R₃ + H + S d) (その 2)

評価対象設備	評価部位		箇所名* ²	検討ひずみ	応力状態	V		判定
						算出ひずみ* ³ ($\times 10^{-6}$)	許容値 ($\times 10^{-6}$)	
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	c ε c	1	-16	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	964	5000	○
			No. 6	c ε c	1	-123	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	1185	5000	○
			No. 7	c ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	530	5000	○
			No. 8	c ε c	1	-16	-3000	○
				s ε c	1	—* ⁴	—	—
				s ε t	1	964	5000	○

注記*¹：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*²：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*³：算出ひずみの最大値を示す。

*⁴：圧縮ひずみは生じない。

表 5-4(2) 荷重状態 V に対する評価結果*¹ (D + L + P₃ + R₃ + H + S d) (その 1)

評価対象設備	評価部位		箇所名* ²	応力状態	V				判定	
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)		許容値
					Q _y * ³	Q _{A1}				Q _{A2}
					N/mm	N/mm				N/mm
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	1	348		—	—	—	○
			No. 2	1	344		—	—	—	○
			No. 3	1	1146					○
			No. 4	1	1876					○

注記*¹：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*²：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*³：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-4(2) 荷重状態 V に対する評価結果*¹ (D + L + P₃ + R₃ + H + S d) (その 2)

評価対象設備	評価部位		箇所名* ²	応力状態	V					判定
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)	許容値	
					Q _x * ³	Q _{A1}			Q _{A2}	
					N/mm	N/mm			N/mm	
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	1	890		—	—	—	○
			No. 6	1	97		—	—	—	○
			No. 7	1	151		—	—	—	○
			No. 8	1	890		—	—	—	○

注記*¹：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*²：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*³：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-4(3) 荷重状態Vに対する評価結果 (D + L + P₃ + R₃ + H + S d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V		判定
				算出応力度	許容値	
				N/mm ²	N/mm ²	
ダイヤフラム フロア	P3	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	35		○
			せん断応力度	5		○
	P4	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 鉛直力伝達用シアプレート	曲げ応力度	168		○
			せん断応力度	20		○
	P5	原子炉本体基礎接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	92		○
			せん断応力度	13		○

表 5-4(4) 荷重状態Vに対する評価結果 (D + L + P₃ + R₃ + H + S d)

評価対象設備	評価部位		V		判定
			せん断力*	許容値	
			N/本	N/本	
ダイヤフラム フロア	P6	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド	4.304 × 10 ⁴		○

注記*：スタッド1本当たりのせん断力を示す。

表 5-5(1) 荷重状態 V に対する評価結果*1 (D + L + P₄ + R₄ + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討ひずみ	応力状態	V		判定
						算出ひずみ*3 ($\times 10^{-6}$)	許容値 ($\times 10^{-6}$)	
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	c ϵ c	1	-721	-3000	○
				s ϵ c	1	-16	-5000	○
				s ϵ t	1	1530	5000	○
			No. 2	c ϵ c	1	-596	-3000	○
				s ϵ c	1	-24	-5000	○
				s ϵ t	1	1182	5000	○
			No. 3	c ϵ c	1	-389	-3000	○
				s ϵ c	1	-18	-5000	○
				s ϵ t	1	1013	5000	○
			No. 4	c ϵ c	1	-92	-3000	○
				s ϵ c	1	—*4	—	—
				s ϵ t	1	500	5000	○

注記*1：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*2：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*3：算出ひずみの最大値を示す。

*4：圧縮ひずみは生じない。

表 5-5(1) 荷重状態 V に対する評価結果*1 (D + L + P₄ + R₄ + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	検討ひずみ	応力状態	V		判定
						算出ひずみ*3 ($\times 10^{-6}$)	許容値 ($\times 10^{-6}$)	
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	c ε c	1	-10	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	507	5000	○
			No. 6	c ε c	1	-154	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	741	5000	○
			No. 7	c ε c	1	-13	-3000	○
				s ε c	1	-3	-5000	○
				s ε t	1	346	5000	○
			No. 8	c ε c	1	-10	-3000	○
				s ε c	1	—*4	—	—
				s ε t	1	507	5000	○

注記*1：軸力及び曲げモーメントによるひずみの評価結果を示す。

*2：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*3：算出ひずみの最大値を示す。

*4：圧縮ひずみは生じない。

表 5-5(2) 荷重状態 V に対する評価結果*1 (D+L+P₄+R₄+S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	V				判定	
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)		許容値
					Q _y *3	Q _{A1}				Q _{A2}
					N/mm	N/mm				N/mm
ダイヤフラム フロア	P1	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	No. 1	1	639		—	—	—	○
			No. 2	1	459		—	—	—	○
			No. 3	1	1036					○
			No. 4	1	1740					○

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-5(2) 荷重状態 V に対する評価結果*1 (D+L+P₄+R₄+S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		箇所名*2	応力状態	V				判定	
					算出荷重	許容値	α	P _w (%)		許容値
					Q _x *3	Q _{A1}				Q _{A2}
					N/mm	N/mm				N/mm
ダイヤフラム フロア	P2	鉄筋コンクリート スラブ円周方向	No. 5	1	971				○	
			No. 6	1	169		—	—	—	○
			No. 7	1	153		—	—	—	○
			No. 8	1	971					○

注記*1：面外せん断力に対する評価結果を示す。

*2：図 5-2 における断面検討箇所を示す。

*3：面外せん断力の最大値を示す。

表 5-5(3) 荷重状態Vに対する評価結果 (D + L + P₄ + R₄ + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V		判定
				算出応力度	許容値	
				N/mm ²	N/mm ²	
ダイヤフラム フロア	P3	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	79		○
			せん断応力度	11		○
	P4	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部 鉛直力伝達用シアプレート	曲げ応力度	152		○
			せん断応力度	18		○
	P5	原子炉本体基礎接合部 地震時水平力伝達用シアプレート	曲げ応力度	209		○
			せん断応力度	29		○

表 5-5(4) 荷重状態Vに対する評価結果 (D + L + P₄ + R₄ + S_s)

評価対象設備	評価部位		V		判定
			せん断力*	許容値	
			N/本	N/本	
ダイヤフラム フロア	P6	原子炉本体基礎接合部 半径方向水平力伝達用頭付きスタッド	4.190 × 10 ⁴		○

注記*：スタッド1本当たりのせん断力を示す。

6. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-4-3-3 「ダイヤフラムフロアの強度計算書」

VI-2-9-4-3 ベント管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. 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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	11
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	14
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	20
4.7 計算条件	21
4.8 応力の評価	21
5. 評価結果	22
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25
6. 参照図書	27

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、ベント管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。

ベント管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。

なお、本計算書においては、新規制対応設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ベント管の評価は、平成4年3月27日付け3資庁第13033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

ベント管の構造計画を表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>ベント管は原子炉本体の基礎のコンクリート内に設置され、垂直管上端、</p>	<p>ベント管は、内径 1200 mm, 板厚 6.5 mm, 長さ mm の垂直管に、内径 700 mm の水平吐出管を取り付けた構造である。10 本のベント管のうち 5 本には、外径 mm のリターンラインが取り付けられる。</p>	<p style="text-align: center;">A~A断面図</p> <p style="text-align: center;">ベント管 詳細図 (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は、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. 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。

ベント管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

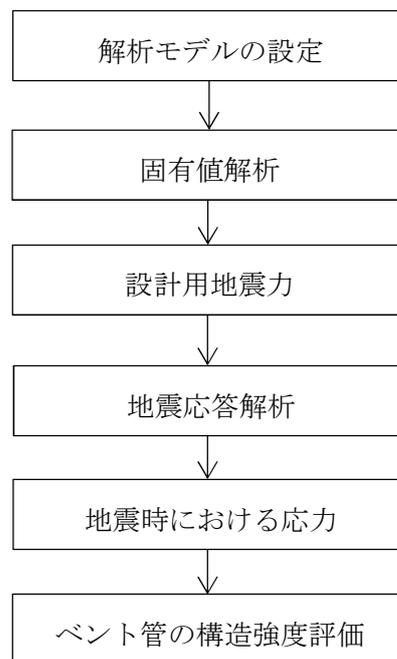


図 2-1 ベント管の耐震評価フロー

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 (2005年版 (2007年追補版含む。)) J S M E
S N C 1 -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_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_i	直径 ($i = 1, 2, 3$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
ℓ_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
m_0	質量	kg
m_1	水質量	kg
M_D	機械的荷重	—
M_{SAD}	機械的荷重 (S A時)	—
P_D	圧力	—
P_{SAD}	圧力 (S A時)	—, 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のい ずれか大きい方の地震力	—
S_m	設計応力強さ	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
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T_D	温度	°C
T_{SAD}	温度 (S A時)	°C
ν	ポアソン比	—

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 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

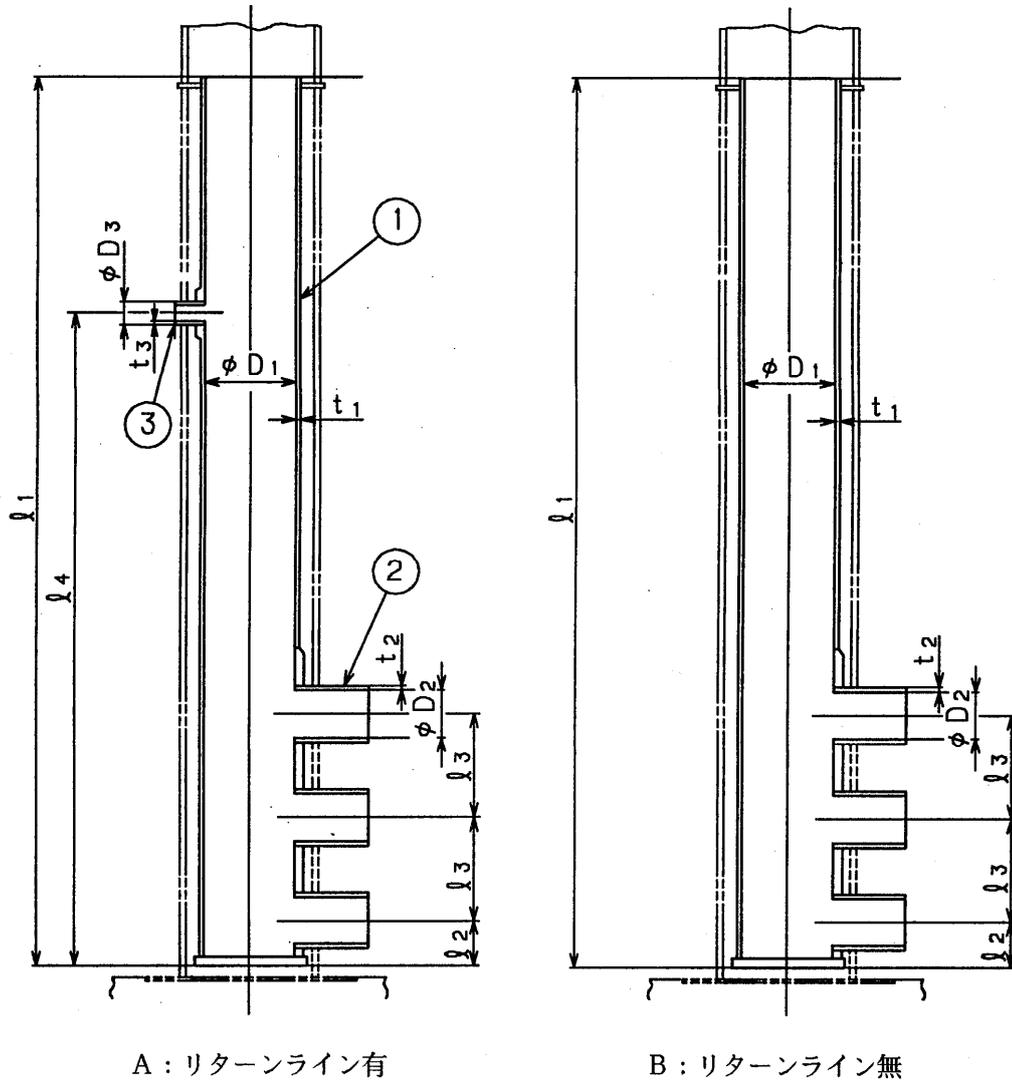
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力 ^{*1}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}

注記*1：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨てて整数化する。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



①垂直管 ②水平吐出管 ③リターンライン

$D_1 = 1200$ $D_2 = 700$ $D_3 = \square$ $l_1 = \square$ $l_2 = \square$
 $l_3 = \square$ $l_4 = \square$ $t_1 = 6.5$ $t_2 = 20$ $t_3 = \square$
 (単位 : mm)

図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
垂直管及び水平吐出管	SUS304L	
リターンライン		

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) ベント管は原子炉本体の基礎に内蔵されている構造物であり、ベント管に作用する地震力は、水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ベント管の耐震評価として、VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、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) 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

ベント管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、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

ベント管の許容応力は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

ベント管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	圧力低減設備 その他の安全設備	ベント管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

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	圧力低減設備 その他の安全設備	ベント管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s^{*2}$	V _A S ^{*3}

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：重大事故等後の最高内圧（差圧）及び最高外圧（差圧）との組合せを考慮する。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 クラス2管及び重大事故等クラス2管の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y 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、上記値と $1.2 \cdot S$ との 大きい方。	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が1.0以下であるこ と。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれ ば、疲労解析は不要である。	*1
Ⅳ _A S	$0.9 \cdot S_u$		
V _A S ^{*2}			

注記*1： $2 \cdot S_y$ を超える場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)の簡易弾塑性解析を用いることができる。
(ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)

*2：V_ASとしてⅣ_AS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 _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
垂直管及び水平吐出管	SUS304L	周囲環境 温度	171	—	127	382	—
リターンライン	<input type="text"/>	周囲環境 温度	171	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—

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 _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
垂直管及び水平吐出管	SUS304L	周囲環境 温度	200	—	122	372	—
リターンライン	<input type="text"/>	周囲環境 温度	200	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—

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，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び逃がし安全弁作動時荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧（差圧）	173kPa
外圧（差圧）	14kPa
温度	171℃

b. 死荷重

ベント管 1 本当たりの死荷重

	N
--	---

ベント管 1 本当たりの管内保有水

	N
--	---

c. 逃がし安全弁作動時荷重

逃がし安全弁作動時空気泡圧力による荷重としては，気泡差圧による荷重と気泡速度によるドラッグ力を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 評価圧力及び評価温度

内圧（差圧）	P_{SAD}	173kPa
外圧（差圧）	P_{SAD}	14kPa
温度	T_{SAD}	200℃

b. 重大事故等対処設備としての水荷重

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として，没水時におけるベント管内部の水重量を考慮する。

管内保有水

 N

c. 重大事故等対処設備としての逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重

重大事故等対処設備としての逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失事故時蒸気ブローダウン荷重は設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，参照図書(1)に示すとおりである。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、ベント管質量及び内部水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、スペクトルモーダル解析法を用いる。なお、ベント管はコンクリートに埋設されているが、解析においては考慮しない。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ベント管は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。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. 垂直管、水平吐出管及びリターンラインをモデル化し、固有値解析及び構造強度評価を実施する。



- 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、別紙「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解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての評価は、ベント管質量及び内部水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。ベント管はコンクリートに埋設されているが、解析においては考慮しない。重大事故等対処設備としての解析モデルは、設計基準対象施設と同じとする。諸元を表4-6に示す。

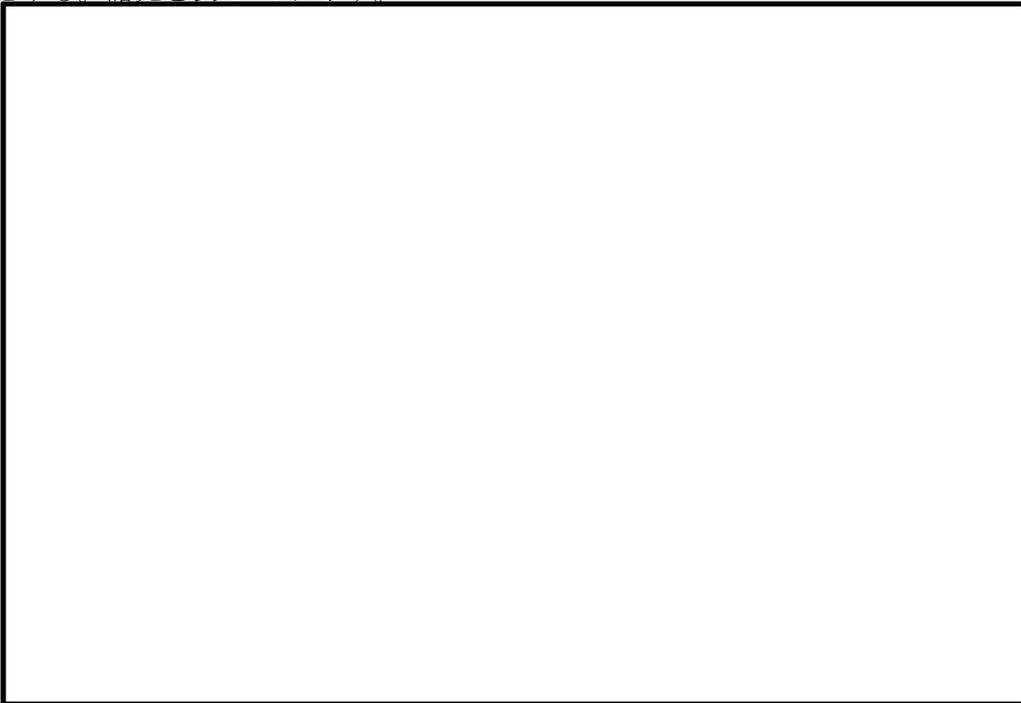


図4-1 解析モデル

表 4-6 機器諸元 (その1) (設計基準対象施設)

項目	記号	単位	入力値	
			A : リターン ライン有	B : リターン ライン無
質量	m_0	kg		
水質量	m_1	kg		
温度条件	T_D	°C	171	171
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—	0.3	0.3
要素数	—	—		
節点数	—	—		

表 4-6 機器諸元 (その2) (重大事故等対処設備)

項目	記号	単位	入力値	
			A : リターン ライン有	B : リターン ライン無
質量	m_0	kg		
水質量	m_1	kg		
温度条件	T_{SAD}	°C	200	200
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—	0.3	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

設計基準対象施設における固有周期を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。リターンライン有及び無の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-7 固有周期（設計基準対象施設）

リターン ラインの 有無	モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X方向	Y方向	Z方向
有	1次	0.051	2.929	0.000	0.000
	2次	0.022	—	—	—
無	1次	0.062	3.051	0.000	0.000
	2次	0.025	—	—	—

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。

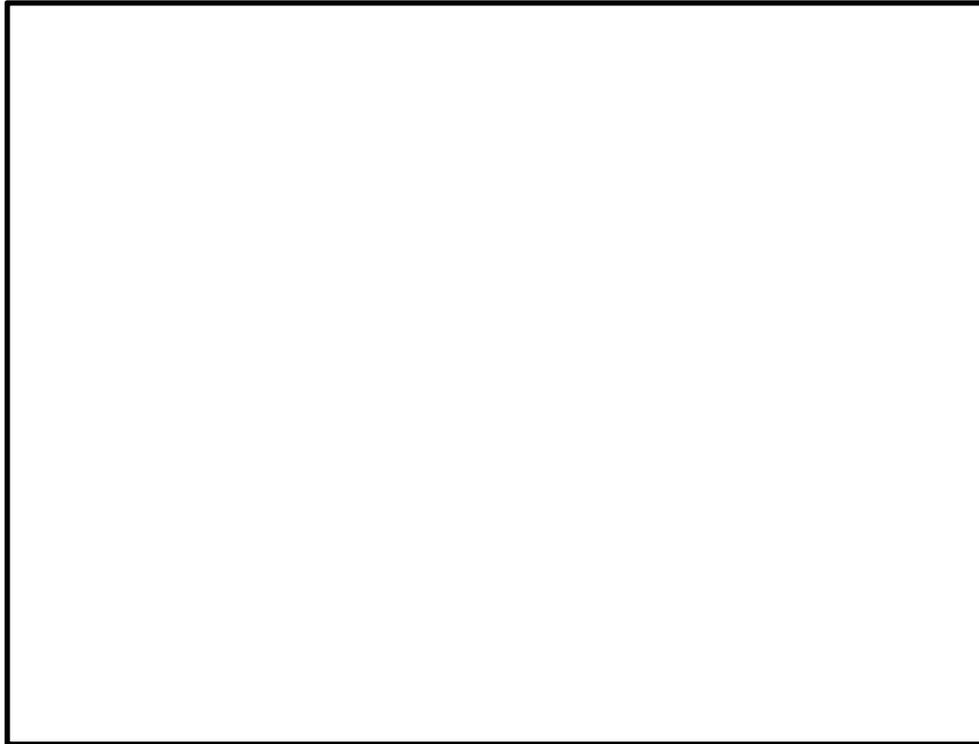
(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-8 に、振動モード図を図 4-3 に示す。リターンライン有及び無の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

リターン ラインの 有無	モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X方向	Y方向	Z方向
有	1次	0.052	3.294	0.000	0.000
	2次	0.031	—	—	—
無	1次	0.067	3.647	0.000	0.000
	2次	0.038	—	—	—

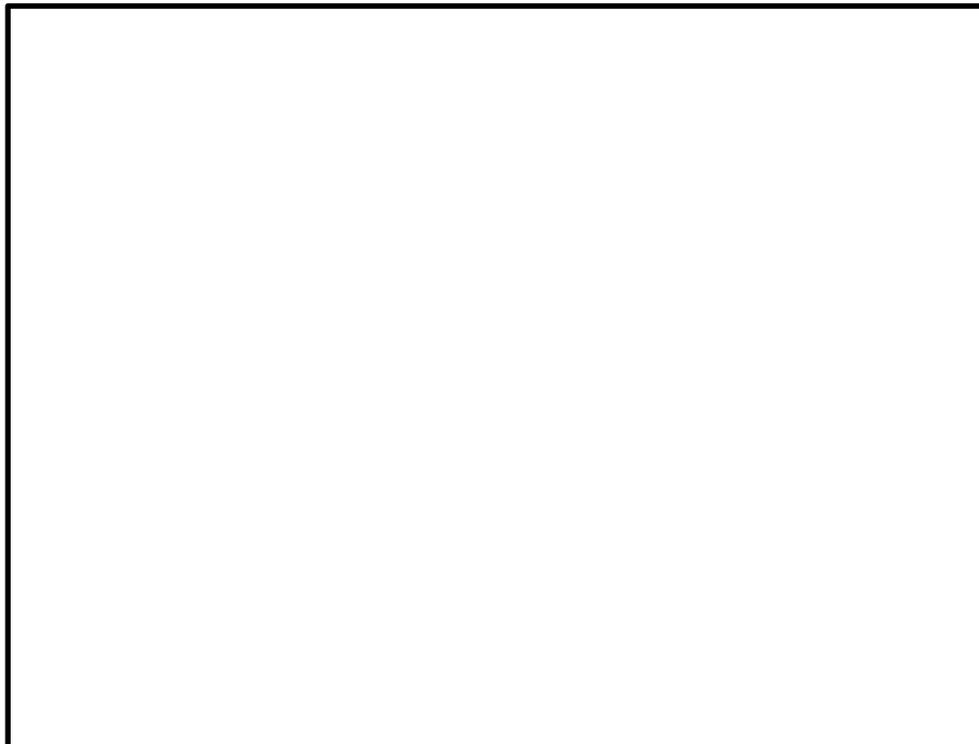
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



A : リターンライン有

B : リターンライン無

1次モード

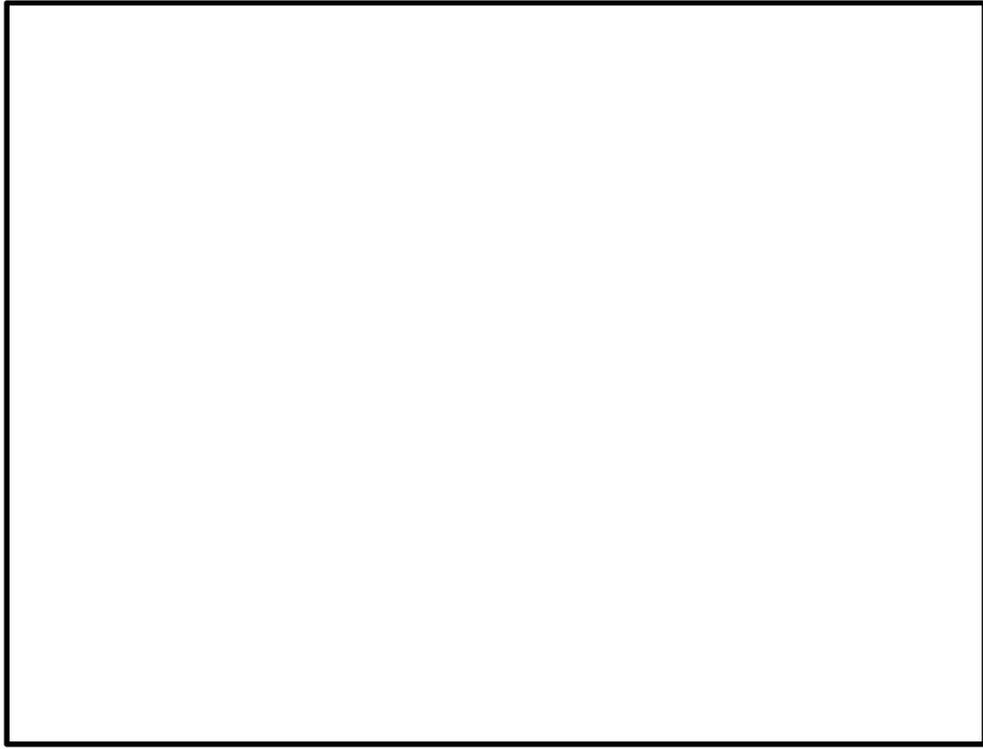


A : リターンライン有

B : リターンライン無

2次モード

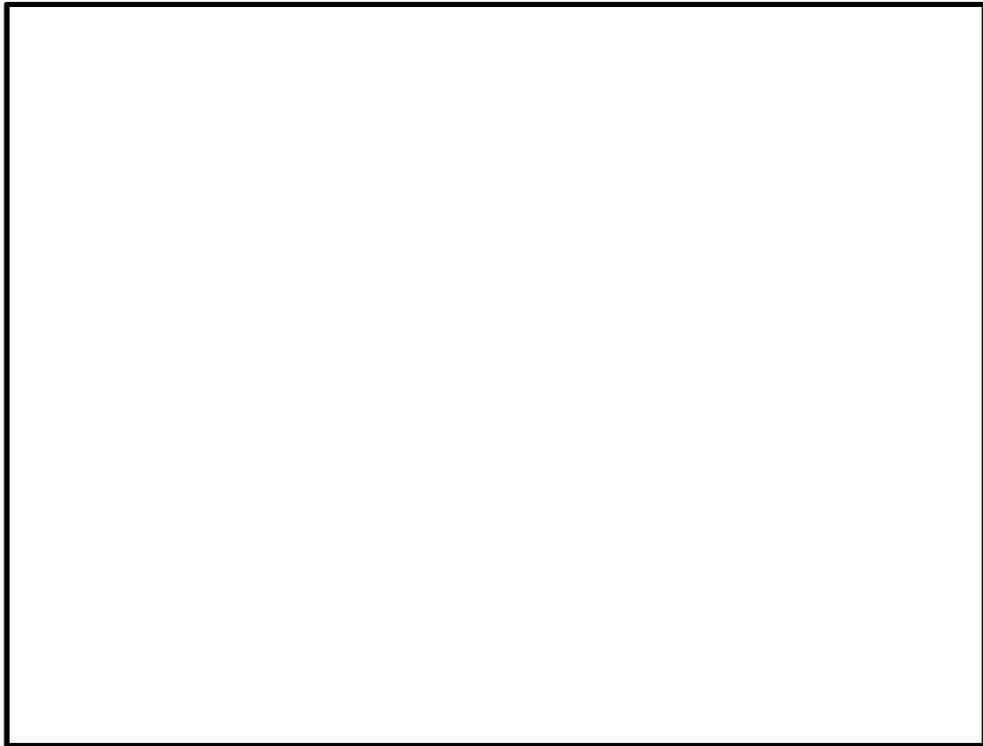
図 4-2 振動モード図 (設計基準対象施設)



A : リターンライン有

B : リターンライン無

1次モード



A : リターンライン有

B : リターンライン無

2次モード

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 及び表 4-10 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「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、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。

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)			原子炉本体基礎 T.M.S.L. 3.5 ~ -8.2											
減衰定数 (%)			水平 : <input type="text"/> *1 鉛直 : -											
地震力			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s								
リターン ラインの 有無	モード	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2						
			X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向						
有	1次	0.051												
	2次*3	0.022												
無	1次	0.062												
	2次*3	0.025												
動的地震力*4														
静的地震力*5														

注記*1 : ベント管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3 : 1次は固有周期が0.050sより長いモード、2次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4 : S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5 : 静的震度 (3.6C_i及び1.2C_v)を示す。

表 4-10 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)			原子炉本体基礎 T.M.S.L. 3.5 ~ -8.2											
減衰定数 (%)			水平： <input type="text"/> *1 鉛直：-											
地震力			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s								
リターン ラインの 有無	モード	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2						
			X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向						
有	1次	0.052												
	2次*3	0.031												
無	1次	0.067												
	2次*3	0.038												
動的地震力*4														
静的地震力*5														

注記*1：ベント管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3：1次は固有周期が0.050sより長いモード、2次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度（3.6C_i及び1.2C_v）を示す。

4.6 計算方法

ベント管の応力評価点は、ベント管を構成する部材の形状及び応力レベルを考慮し、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 4-11 及び図 4-4 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 P1～P4 は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られた荷重と各評価点の断面性能を用いて評価する。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	垂直管支持部
P 2	水平吐出管の垂直管との結合部
P 3	水平吐出管支持部
P 4	リターンラインの垂直管との結合部

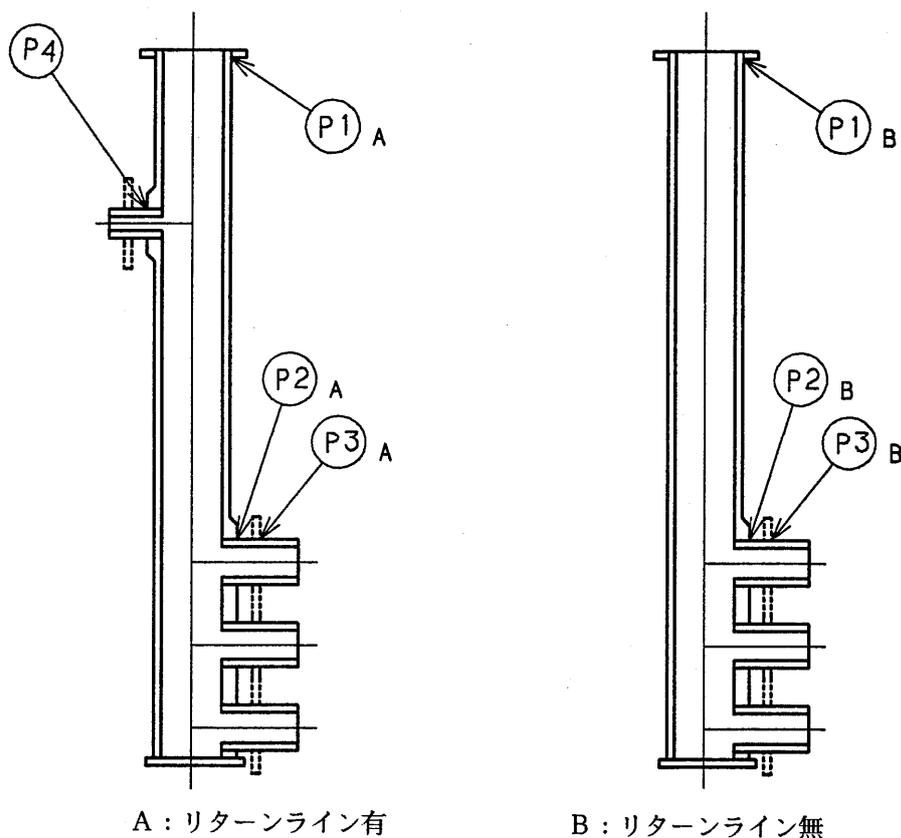


図 4-4 ベント管の応力評価点

4.7 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「4.5 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 PPB-3536 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

ベント管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。

なお、表中の一次応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1-A	垂直管支持部 (リターンライン有)	一次応力	10		○	
			一次+二次応力	2		○	
	P1-B	垂直管支持部 (リターンライン無)	一次応力	10		○	
			一次+二次応力	2		○	
	P2-A	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン有)	一次応力	12		○	
			一次+二次応力	12		○	
	P2-B	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン無)	一次応力	16		○	
			一次+二次応力	20		○	
	P3-A	水平吐出管支持部 (リターンライン有)	一次応力	5		○	
			一次+二次応力	4		○	
	P3-B	水平吐出管支持部 (リターンライン無)	一次応力	6		○	
			一次+二次応力	6		○	
	P4	リターンラインの垂直管との結合部	一次応力	36		○	
			一次+二次応力	56		○	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1-A	垂直管支持部 (リターンライン有)	一次応力	3		○	
			一次+二次応力	4		○	
	P1-B	垂直管支持部 (リターンライン無)	一次応力	3		○	
			一次+二次応力	4		○	
	P2-A	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン有)	一次応力	19		○	
			一次+二次応力	28		○	
	P2-B	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン無)	一次応力	25		○	
			一次+二次応力	40		○	
	P3-A	水平吐出管支持部 (リターンライン有)	一次応力	5		○	
			一次+二次応力	6		○	
	P3-B	水平吐出管支持部 (リターンライン無)	一次応力	7		○	
			一次+二次応力	10		○	
	P4	リターンラインの垂直管との結合部	一次応力	76		○	
			一次+二次応力	136		○	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管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。

なお、表中の一次応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 5-3 許容応力状態V_ASに対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1-A	垂直管支持部 (リターンライン有)	一次応力	27		○	
			一次+二次応力	6		○	
	P1-B	垂直管支持部 (リターンライン無)	一次応力	28		○	
			一次+二次応力	8		○	
	P2-A	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン有)	一次応力	42		○	
			一次+二次応力	34		○	
	P2-B	水平吐出管の垂直管との結合部 (リターンライン無)	一次応力	48		○	
			一次+二次応力	46		○	
	P3-A	水平吐出管支持部 (リターンライン有)	一次応力	41		○	
			一次+二次応力	8		○	
	P3-B	水平吐出管支持部 (リターンライン無)	一次応力	42		○	
			一次+二次応力	10		○	
	P4	リターンラインの垂直管との結合部	一次応力	122		○	
			一次+二次応力	208		○	

6. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-4-3-4 「ベント管の強度計算書」