

VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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	14
2.4	適用規格・基準等	17
3.	地震応答解析による評価方法	18
4.	応力解析による評価方法	20
4.1	評価対象部位及び評価方針	20
4.1.1	屋根スラブ及び床スラブ	20
4.1.2	屋根トラス	23
4.1.3	耐震壁	27
4.2	荷重及び荷重の組合せ	29
4.2.1	屋根スラブ	29
4.2.2	床スラブ	30
4.2.3	屋根トラス	31
4.2.4	耐震壁	40
4.3	許容限界	46
4.3.1	屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁	46
4.3.2	屋根トラス	49
4.4	解析モデル及び諸元	50
4.4.1	屋根スラブ	50
4.4.2	床スラブ	50
4.4.3	屋根トラス	52
4.4.4	耐震壁	58
4.5	応力評価方法	59
4.5.1	屋根スラブ	59
4.5.2	床スラブ	61
4.5.3	屋根トラス	64
4.5.4	耐震壁	65
4.6	断面の評価方法	69
4.6.1	屋根スラブ	69
4.6.2	床スラブ	70
4.6.3	屋根トラス	72

4.6.4	耐震壁	73
5.	地震応答解析による評価結果	75
5.1	耐震壁のせん断ひずみの評価結果	75
6.	応力解析による評価結果	79
6.1	屋根スラブの評価結果	79
6.2	床スラブの評価結果	80
6.3	屋根トラスの評価結果	81
6.3.1	固有値解析結果	81
6.3.2	断面の評価結果	85
6.4	耐震壁の評価結果	91
7.	引用文献	93

別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書

別紙 2 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の気密性についての計算書

別紙 3 剛性低下を考慮した影響検討

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋のうち、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）、2次しゃへい壁及び補助しゃへい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基づき行う。

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉建屋を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建屋の2次しゃへい壁及び補助しゃへいに該当し、その2次しゃへい壁及び補助しゃへいは、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以外の常設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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の「Sクラスの施設」及び「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価並びに2次しゃへい壁及び補助しゃへいの「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は原子炉建屋の一部を構成している。原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

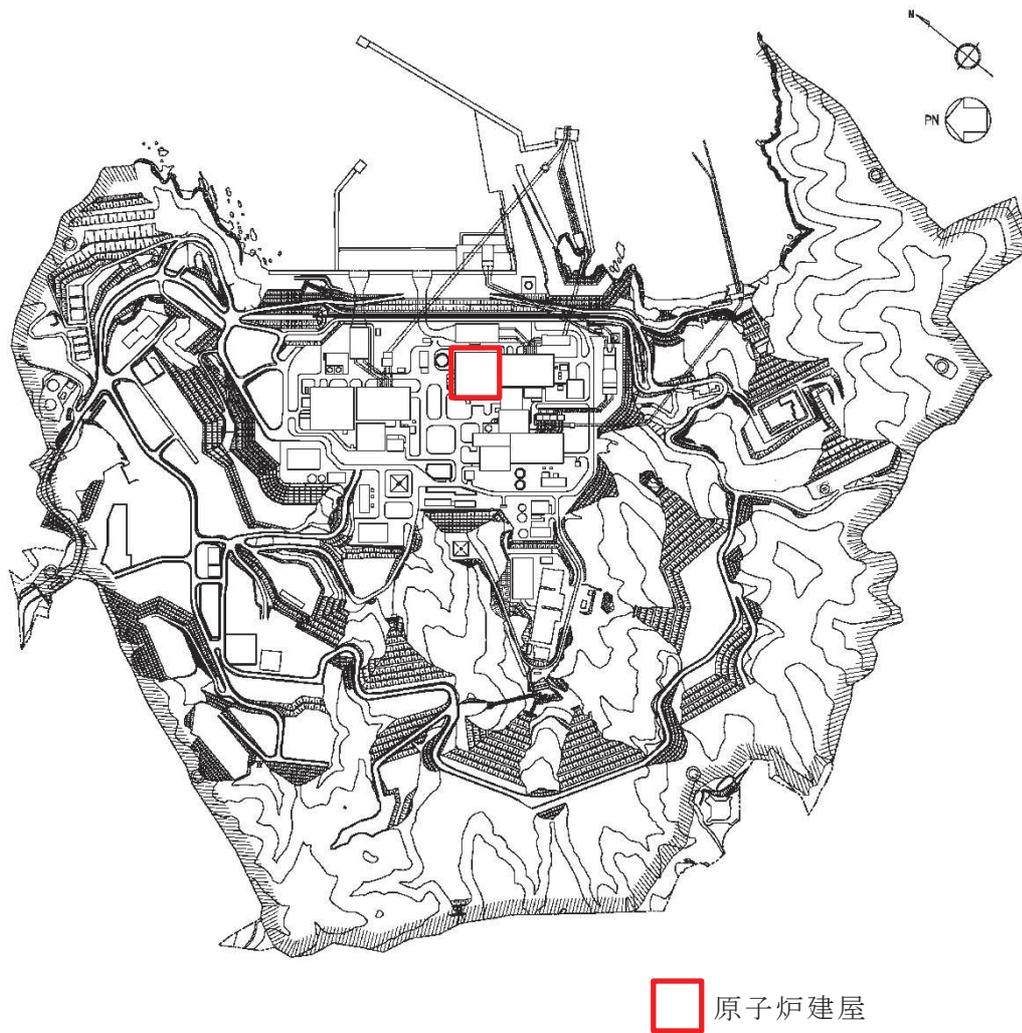


図 2-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

原子炉建屋は、地下3階、地上3階建で、基礎底面からの高さは64.6mであり、平面は下部で77.0m(NS方向)×84.0m(EW方向)\*のほぼ正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)である。

原子炉建屋の中央部には、平面が66.0m×53.0m\*(最下階)で地下3階、地上3階建の原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)があり、その周囲には地下3階、地上2階建の原子炉建屋附属棟(以下「附属棟」という。)が配置され、これらは同一基礎版上に設置された一体構造である。なお、原子炉建屋1階の北側には大物搬入口躯体が位置しており、大物搬入口躯体の基礎は、厚さ2.0mのべた基礎で、原子炉建屋の支持地盤上に配置されたマンメイドロック上に設置されており、原子炉建屋と一体化している。また、大物搬入口躯体の耐震壁は原子炉建屋とエキスパンションジョイント(以下「EXP.J」という。)を介して接続している。

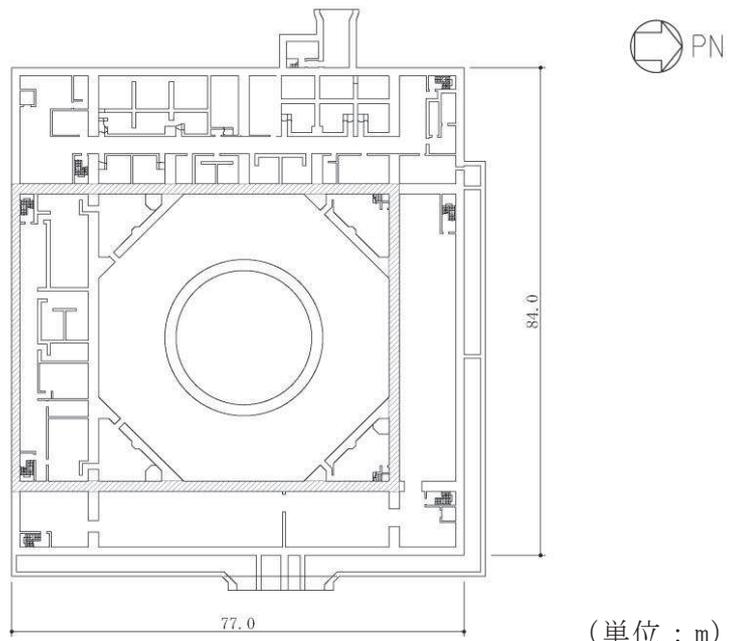
原子炉建屋最上部に位置する鉄骨フレーム(以下「屋根トラス」という。)の平面は、40.6m(NS方向)×53.0m(EW方向)\*の長方形をなしており、燃料取替床レベルからの高さは17.3mである。

原子炉建屋の基礎は、厚さ6.0mのべた基礎で、支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されている。

原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)は、基礎スラブから屋根面まで連続した壁、床スラブ、屋根トラスに支持される屋根スラブから構成されている。

原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の範囲の平面図及び断面図を図2-2及び図2-3に示す。また、2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図及び断面図を図2-4及び図2-5に示す。

注記\* : 建屋寸法は壁外面押えとする。

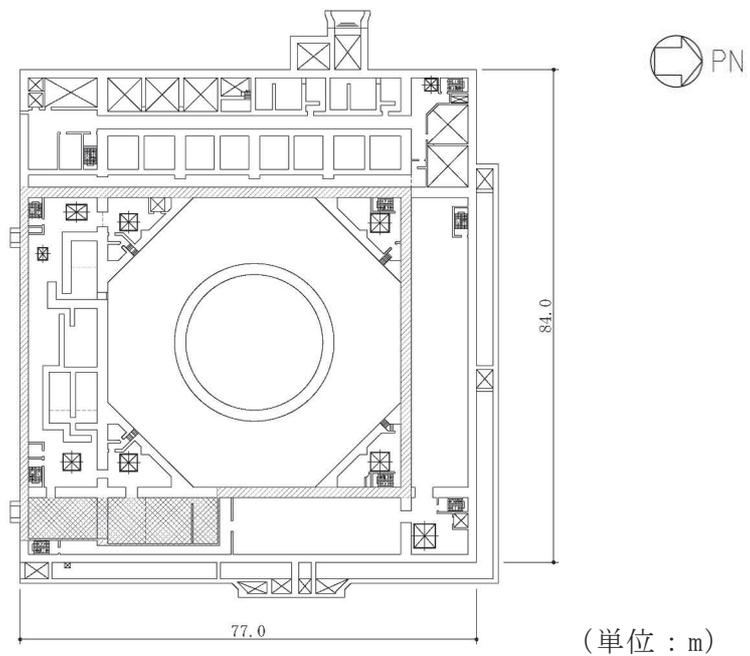


(単位：m)

- 二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。
- 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

注：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.) -0.74m である。

図 2-2(1) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図  
(B3F, O.P. -8.1m)



(単位：m)

- 二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。
- 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

図 2-2(2) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図  
(B2F, O.P. -0.8m)

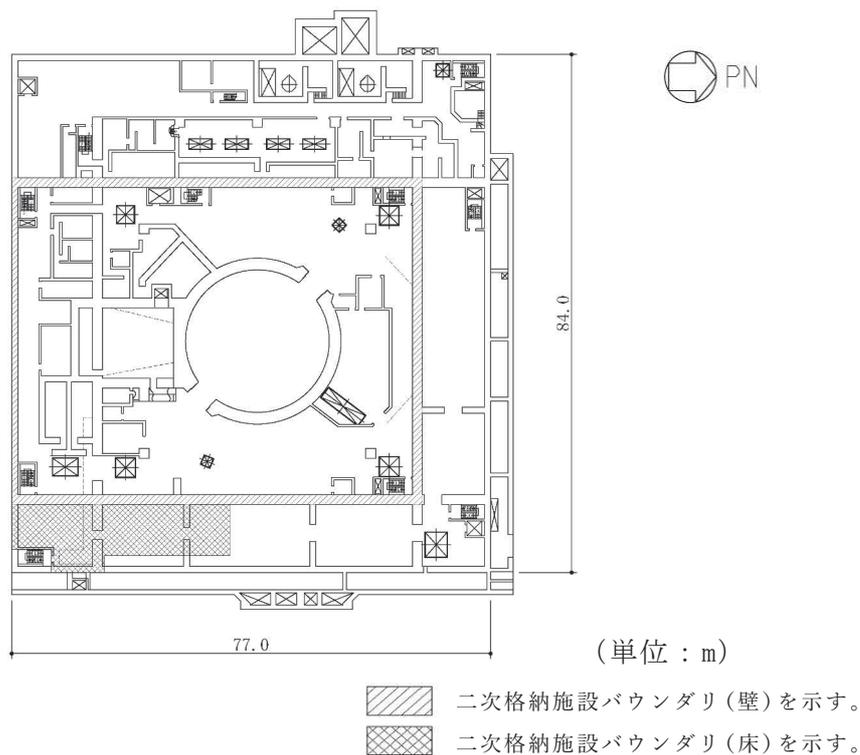


図 2-2(3) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(B1F, O.P. 6.0m)

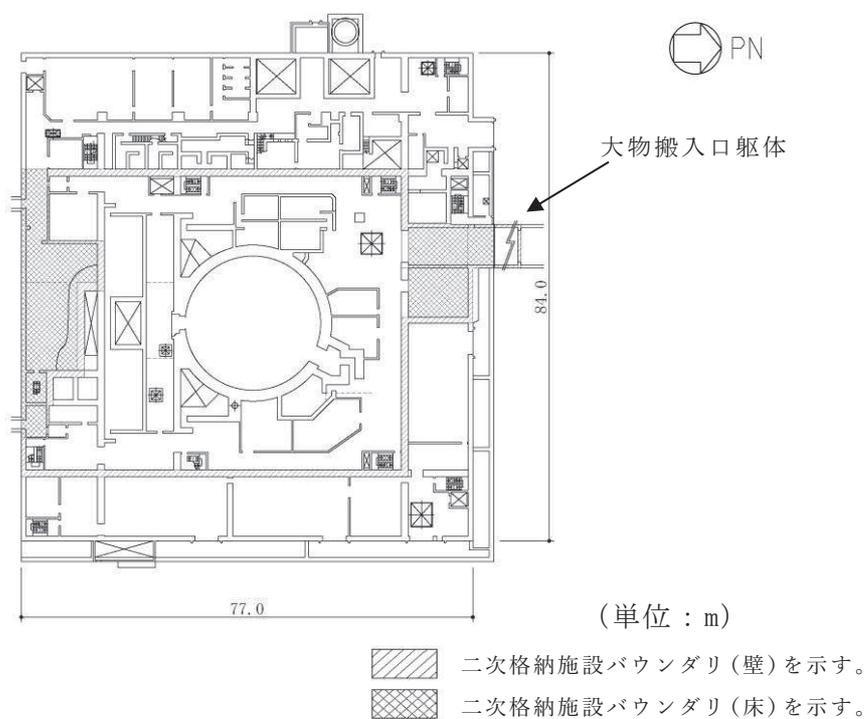
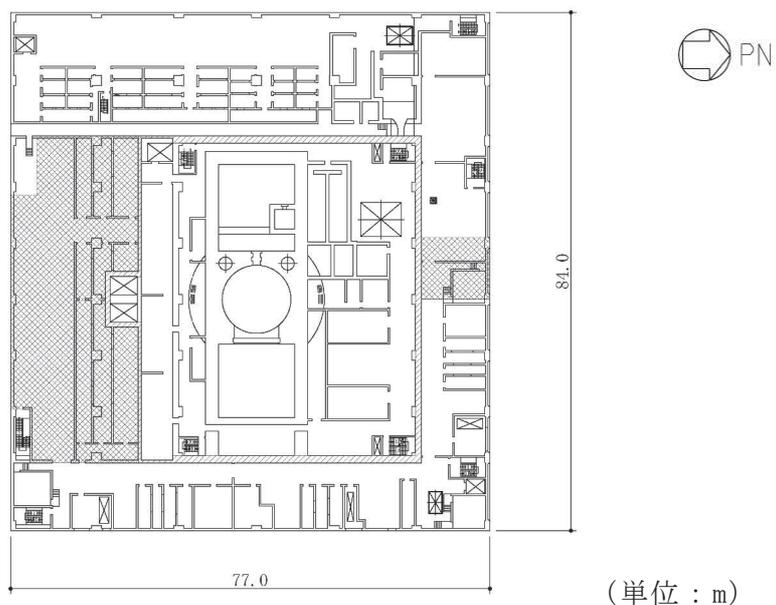
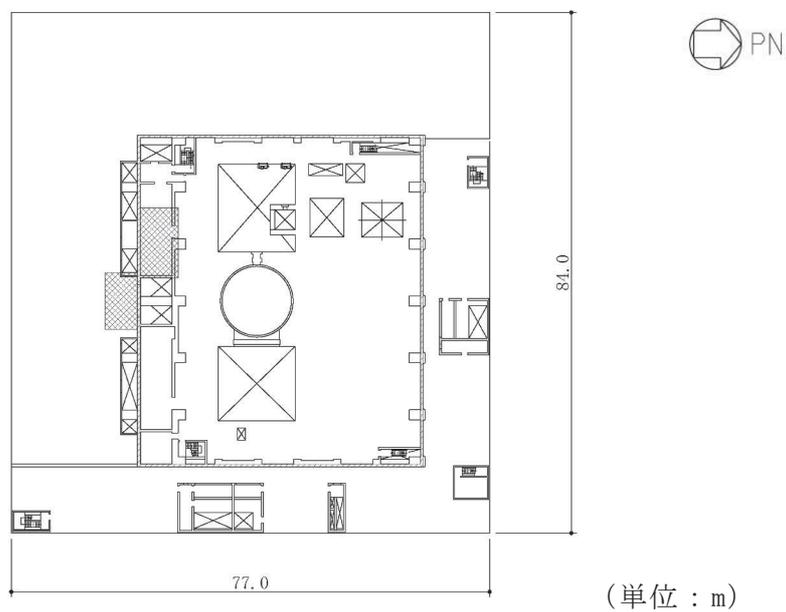


図 2-2(4) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(1F, O.P. 15.0m)



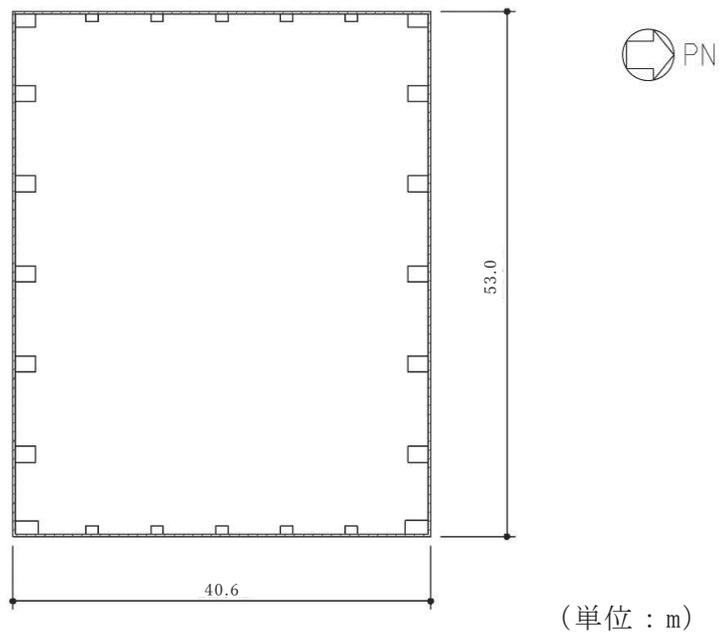
- 二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。
- 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

図 2-2(5) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(2F, O.P. 22.5m)



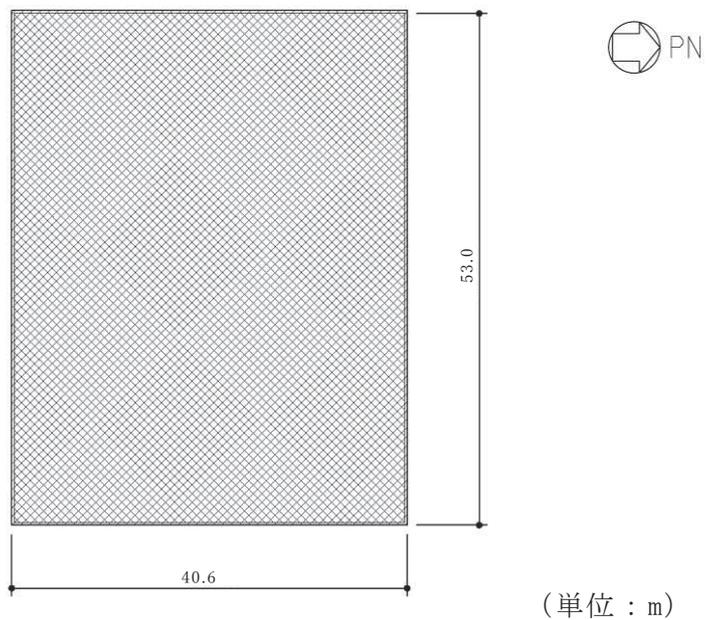
- 二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。
- 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

図 2-2(6) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(3F, O.P. 33.2m)



二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。  
 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

図 2-2(7) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図  
(CRF, O.P. 41.2m)



二次格納施設バウンダリ(壁)を示す。  
 二次格納施設バウンダリ(床)を示す。

図 2-2(8) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図  
(RF, O.P. 50.5m)

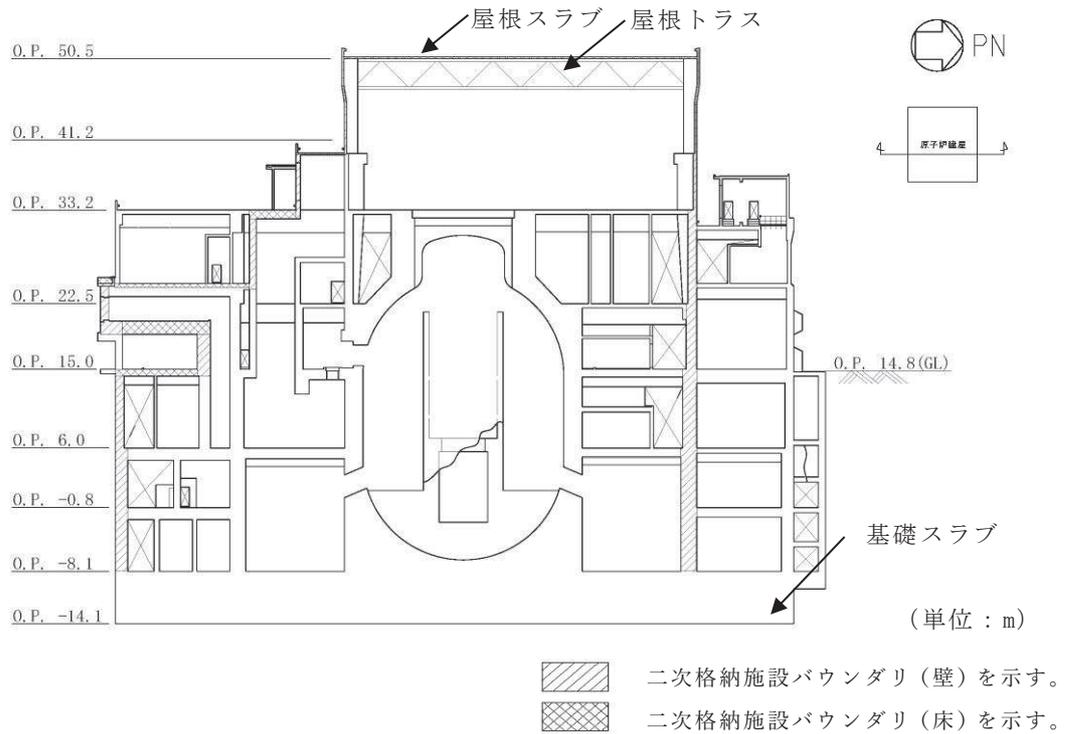


図 2-3(1) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の断面図  
(NS 方向)

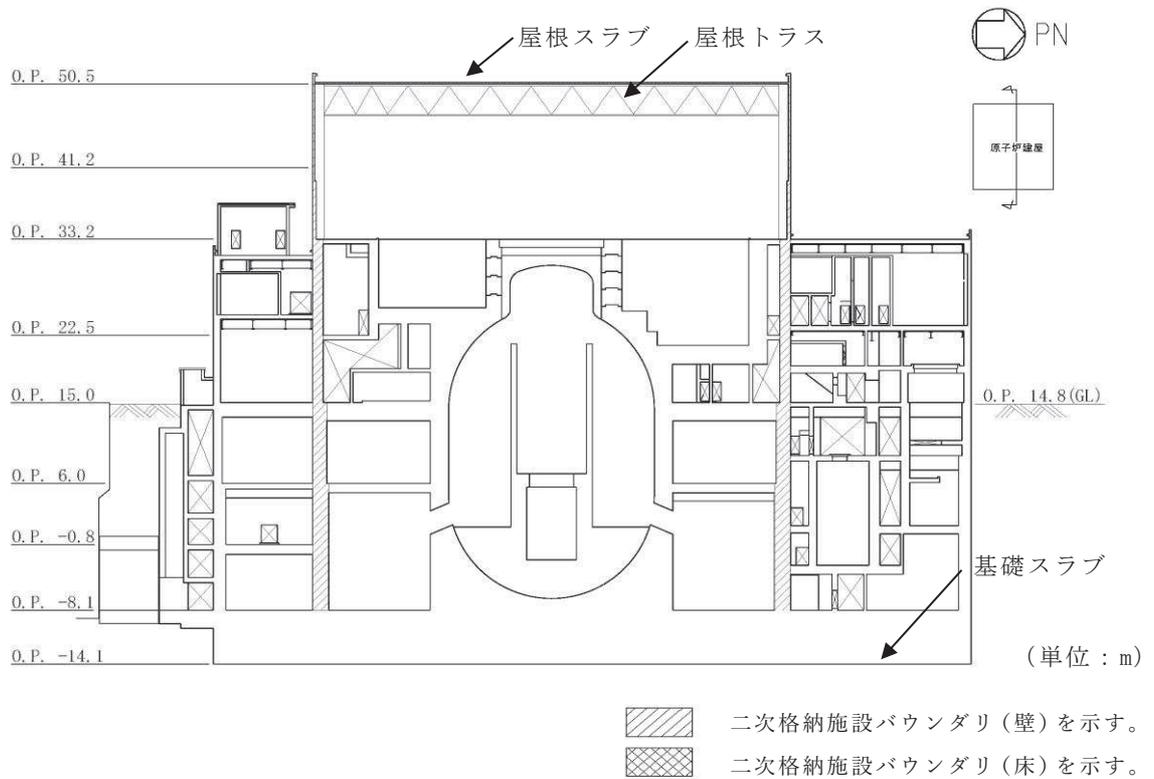


図 2-3(2) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の断面図  
(EW 方向)

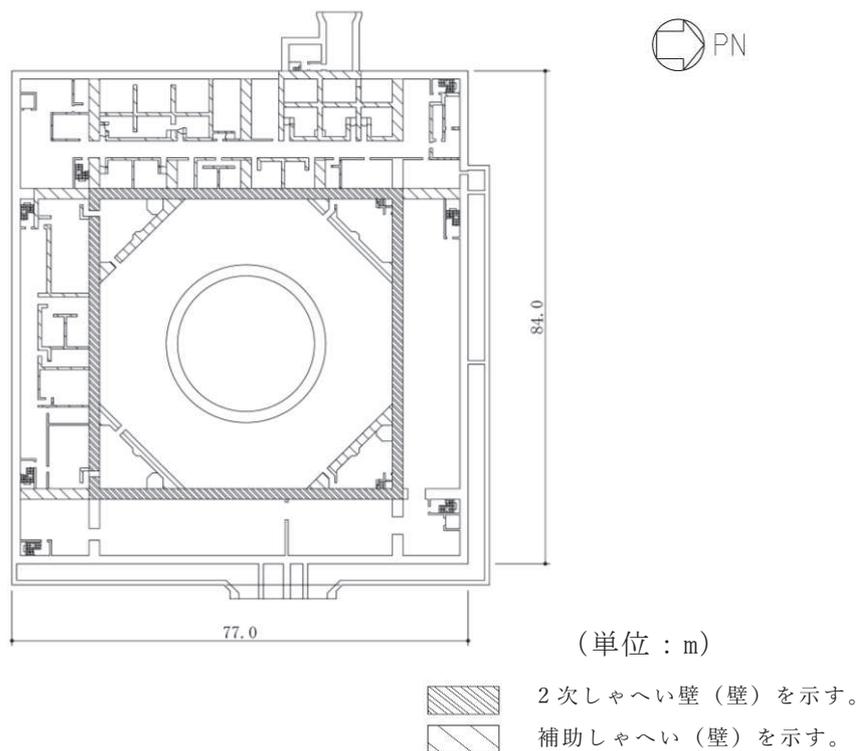


図 2-4(1) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(B3F, O.P. -8.1m)

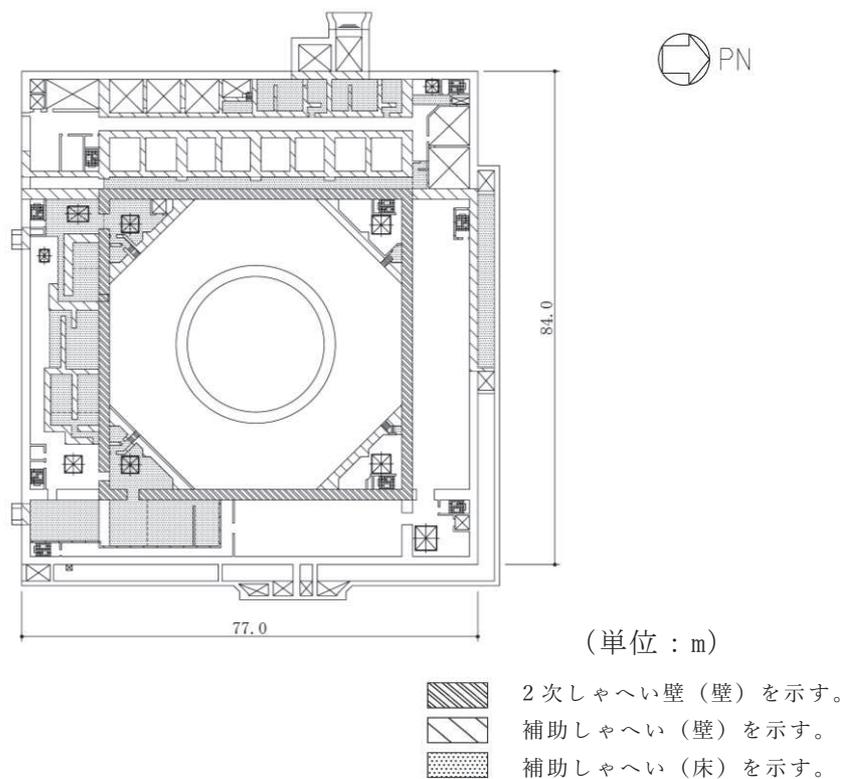


図 2-4(2) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(B2F, O.P. -0.8m)

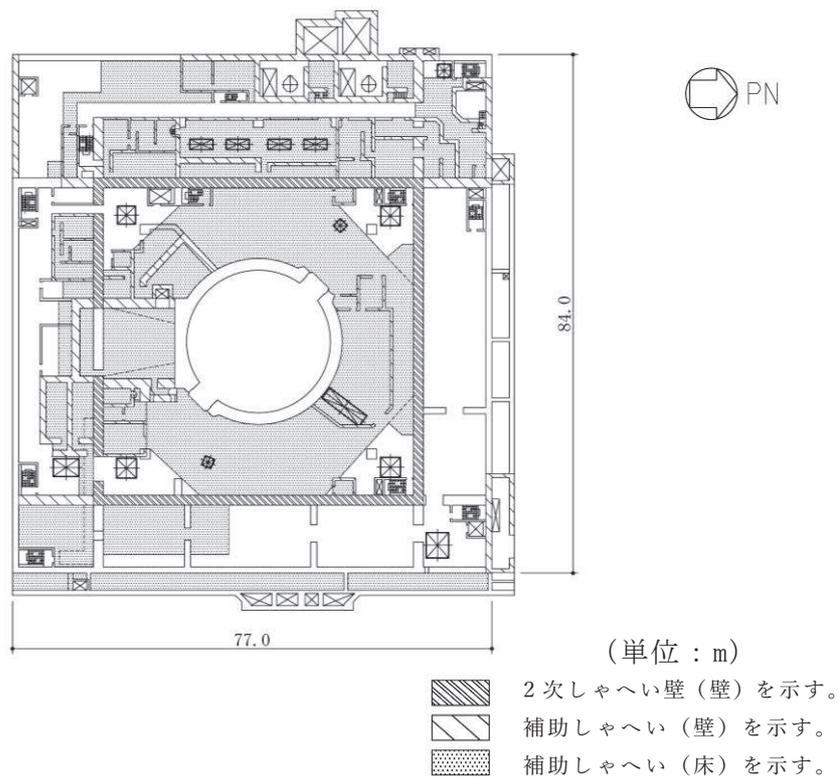


図 2-4(3) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(B1F, O.P. 6.0m)

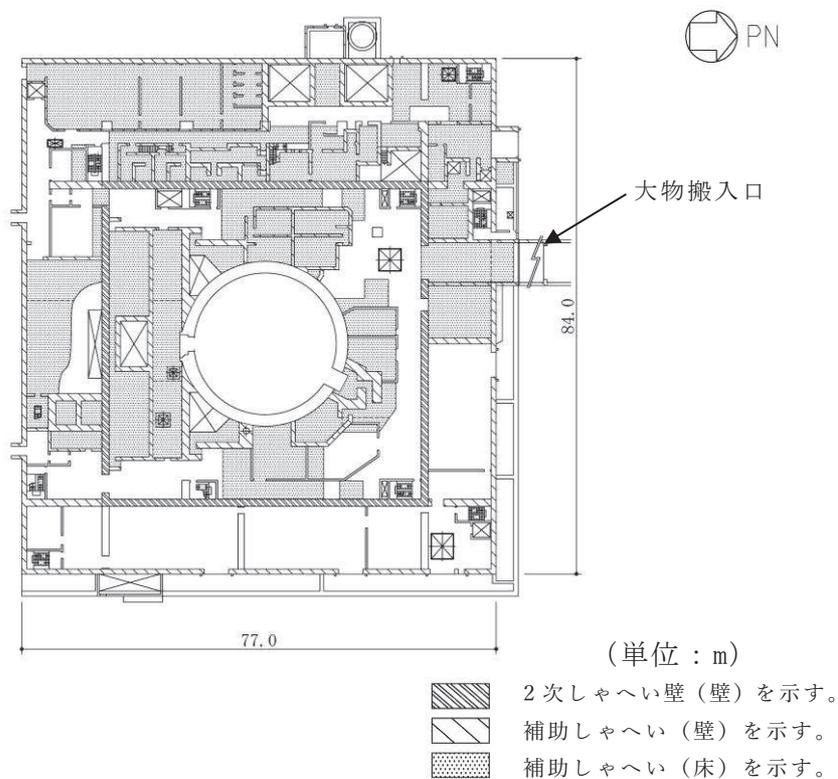
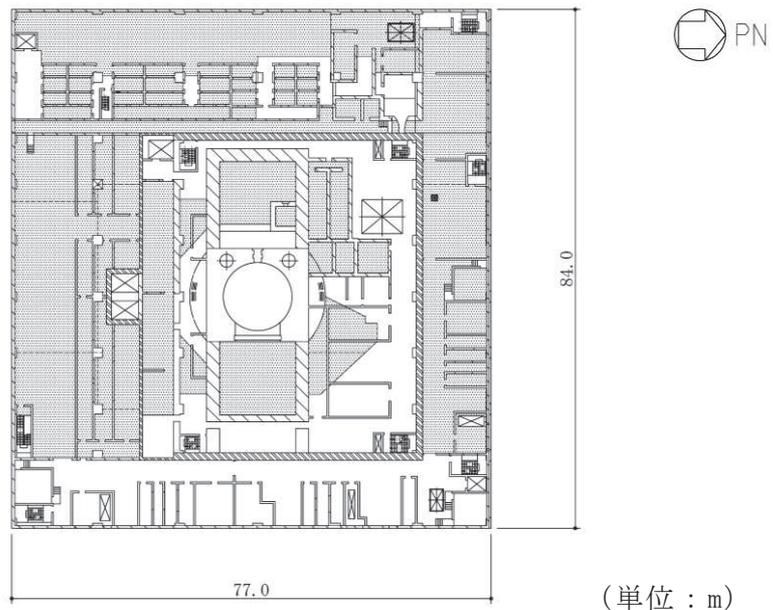
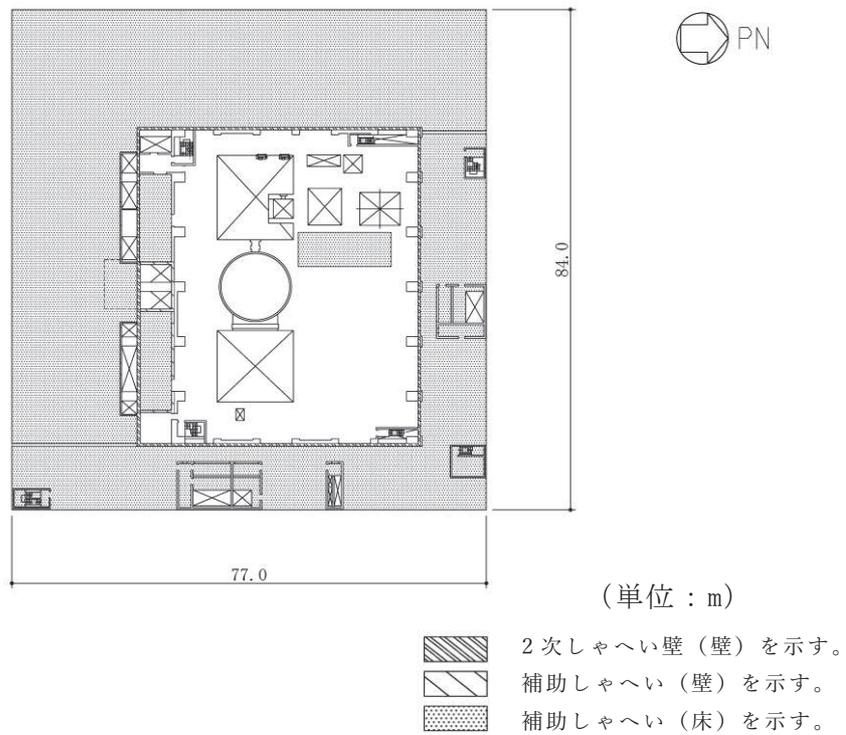


図 2-4(4) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(1F, O.P. 15.0m)



- 2次しゃへい壁（壁）を示す。
- 補助しゃへい（壁）を示す。
- 補助しゃへい（床）を示す。

図 2-4(5) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(2F, O.P. 22.5m)



- 2次しゃへい壁（壁）を示す。
- 補助しゃへい（壁）を示す。
- 補助しゃへい（床）を示す。

図 2-4(6) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(3F, O.P. 33.2m)

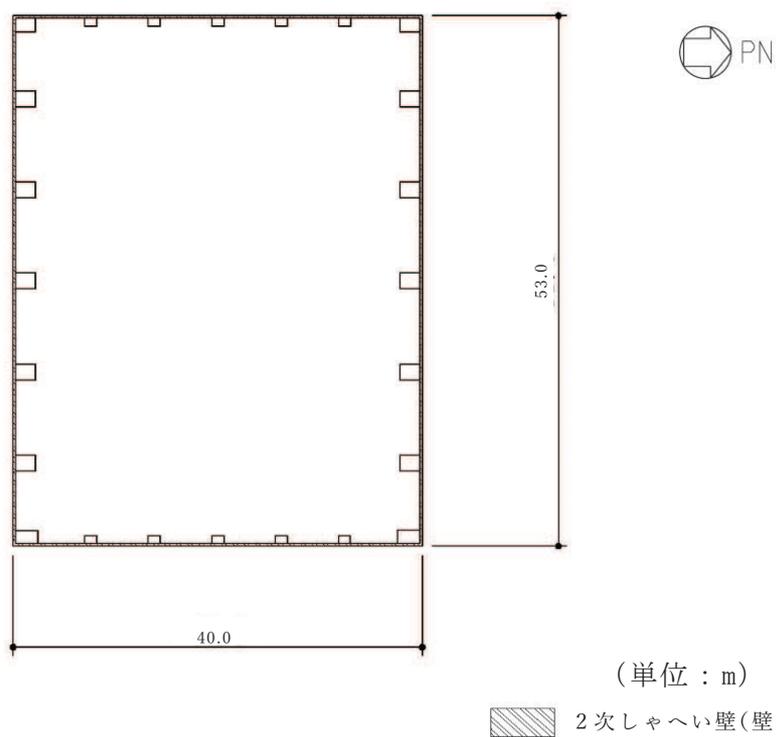


図 2-4(7) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(CRF, O.P. 41.2m)

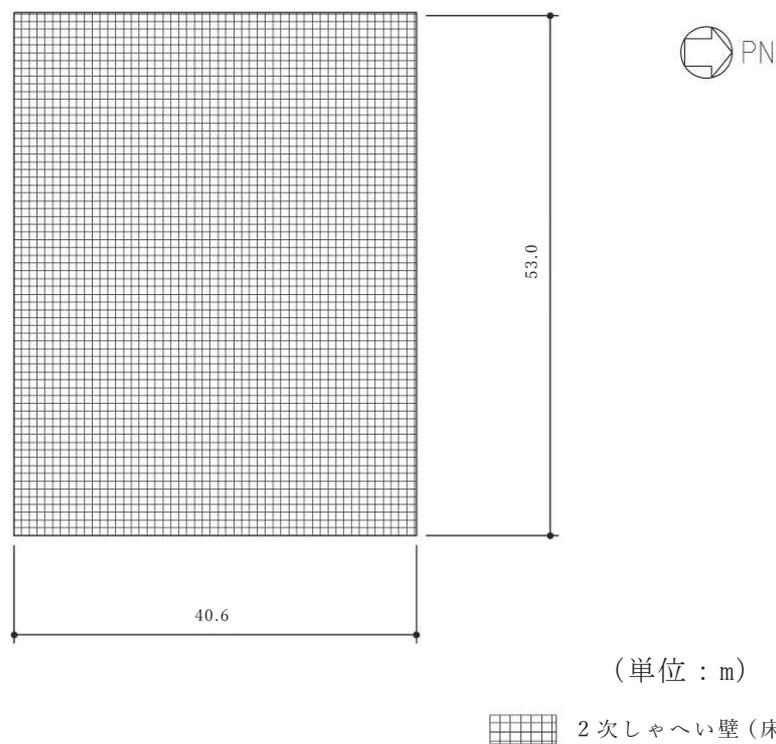


図 2-4(8) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の平面図  
(RF, O.P. 50.5m)

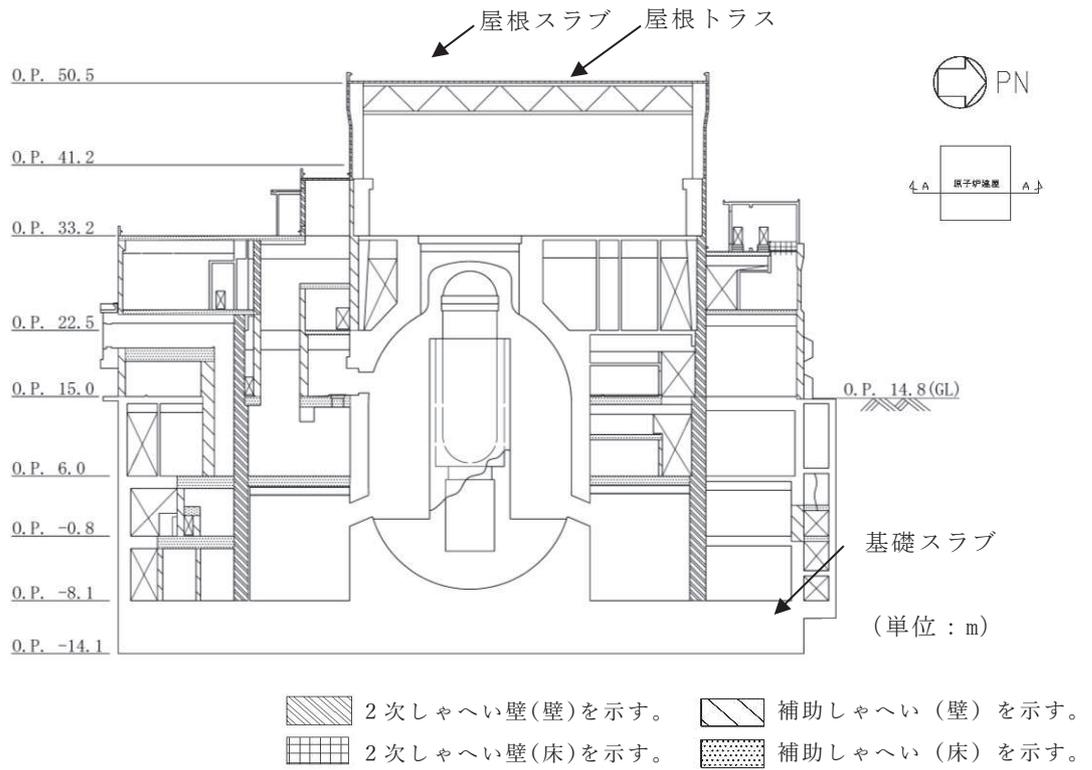


図 2-5(1) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の断面図 (NS 方向)

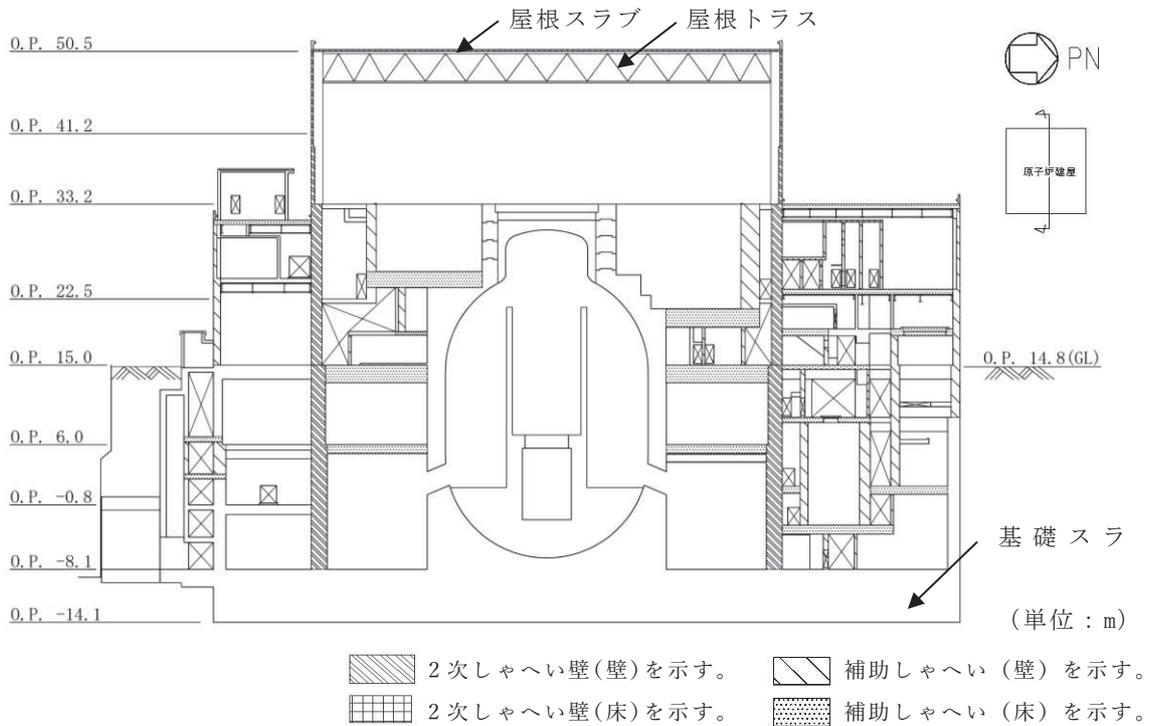


図 2-5(2) 2次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の断面図 (EW 方向)

### 2.3 評価方針

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は，設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に，重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また，原子炉建屋を構成する壁及びスラブの一部は，原子炉建屋の2次しゃへい壁及び補助しゃへいに該当し，その2次しゃへい壁及び補助しゃへいは，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以外の常設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。

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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に対する評価（以下「 $S_d$ 地震時に対する評価」という。）及び基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行う。

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の評価は，添付書類「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，耐震壁のせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価を，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，地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

それぞれの評価は，添付書類「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。表2-1に原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

なお，原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の地震時の構造強度及び機能維持の確認には，地震応答解析による評価において保有水平耐力の評価及び支持機能の確認が必要であるが，原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）が原子炉建屋の一部であることを踏まえ，原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「VI-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示す。

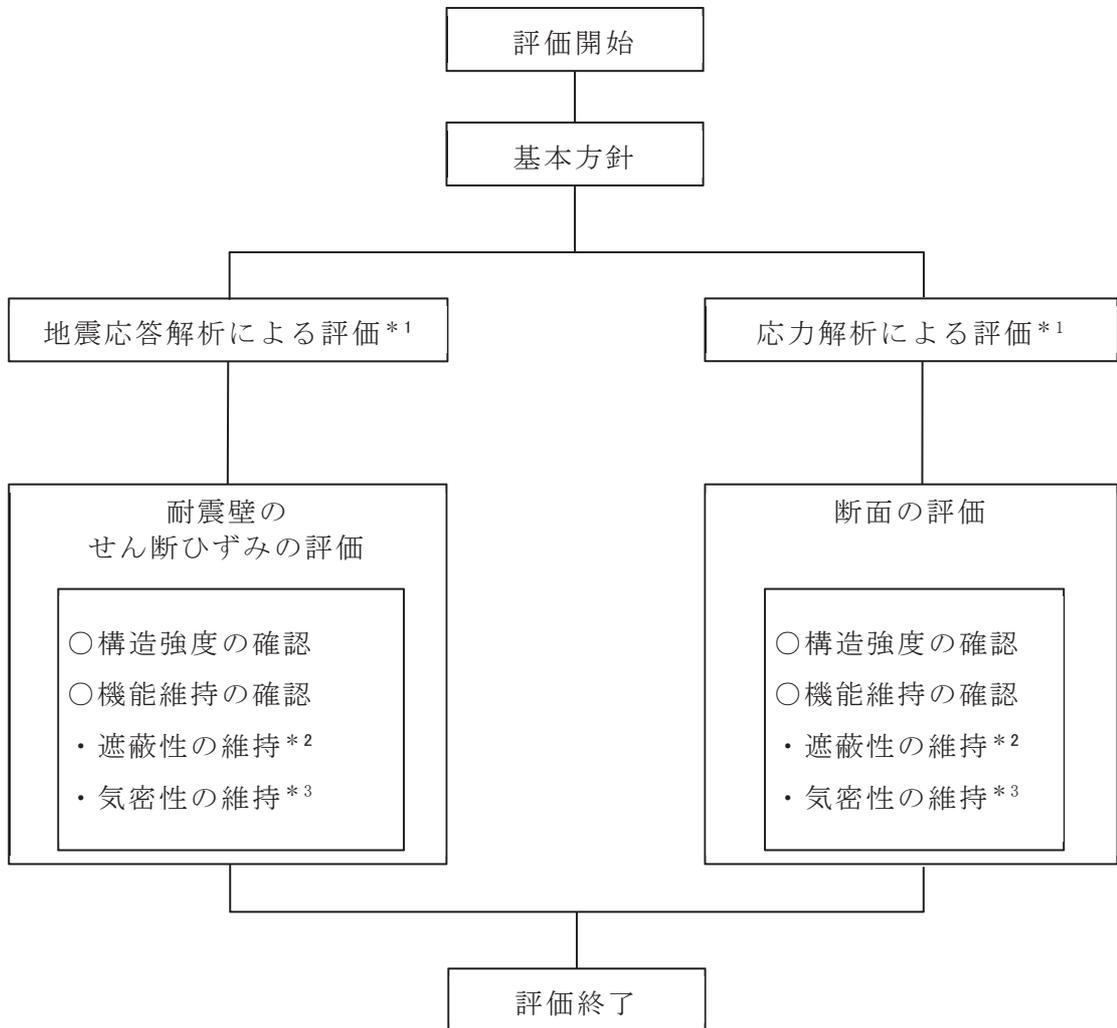
また，原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設），2次しゃへい壁及び補助しゃへいの重大事故等対処施設としての評価においては， $S_s$ 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで，原子炉建屋は使用済燃料プールにおいて，運転時，設計基準事故時及び重大事故等時の状態で温度の条件が異なるが，コンクリートの温度が上昇した場合においても，コンクリートの圧縮強度の低下は認められず，剛性低下は認められるが，その影響は小さいと考えられること，また，「J S M E S N E 1 - 2 0 0 3 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」では要素内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり，十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないとされていることから，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しての評価と同一となる。

図2-6に原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設），2次しゃへい壁及び補助しゃへいの評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S <sub>s</sub> (水平)	ケース 1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 + σ
	ケース 3				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 - σ
	ケース 4	基本ケースの 0.78 倍*	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 5				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 + σ
	ケース 6				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 - σ
基準地震動 S <sub>s</sub> (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				標準地盤 - σ	
弾性設計用 地震動 S <sub>d</sub> (水平, 鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	—	5% (水平, 鉛直とも)	(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 + σ
	ケース 3				(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 - σ

注記\*：建屋剛性（初期剛性）の不確かさについて、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S<sub>s</sub> について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。具体的には、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力前後の 1 次固有振動数の比 (f<sub>Ss 入力後</sub>/f<sub>Ss 入力前</sub>) から算定した剛性比を基本ケースの初期剛性に掛けることによって算定する。



注記\*1：添付書類「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。

\*2：2次しゃへい壁及び補助しゃへいについて実施する。

\*3：原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）について実施する。

図 2-6 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設），2次しゃへい壁及び補助しゃへいの評価フロー

## 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（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 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
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー
- ・ 日本建築学会 2001 年 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計と保有水平耐力ー
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

3. 地震応答解析による評価方法

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）、2次しゃへい壁及び補助しゃへいの構造強度については、添付書類「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耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、添付書類「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耐震壁の最大応答せん断ひずみ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原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）、2次しゃへい壁及び補助しゃへいの許容限界は、添付書類「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	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁*1	最大応答せん断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	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁*1 (原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup> *2

注記\*1: 建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*2: 事故時においては、PCV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ように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙2 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の気密性に関する計算書」に示す。

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 <sub>s</sub>	耐震壁*1	最大応答せん断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	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁*1 (2次しゃへい壁及び補助しゃへい)	最大応答せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁*1 (原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup> *2

注記\*1: 建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*2: 事故時においては、PCV 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ように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 2 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の気密性に関する計算書」に示す。

#### 4. 応力解析による評価方法

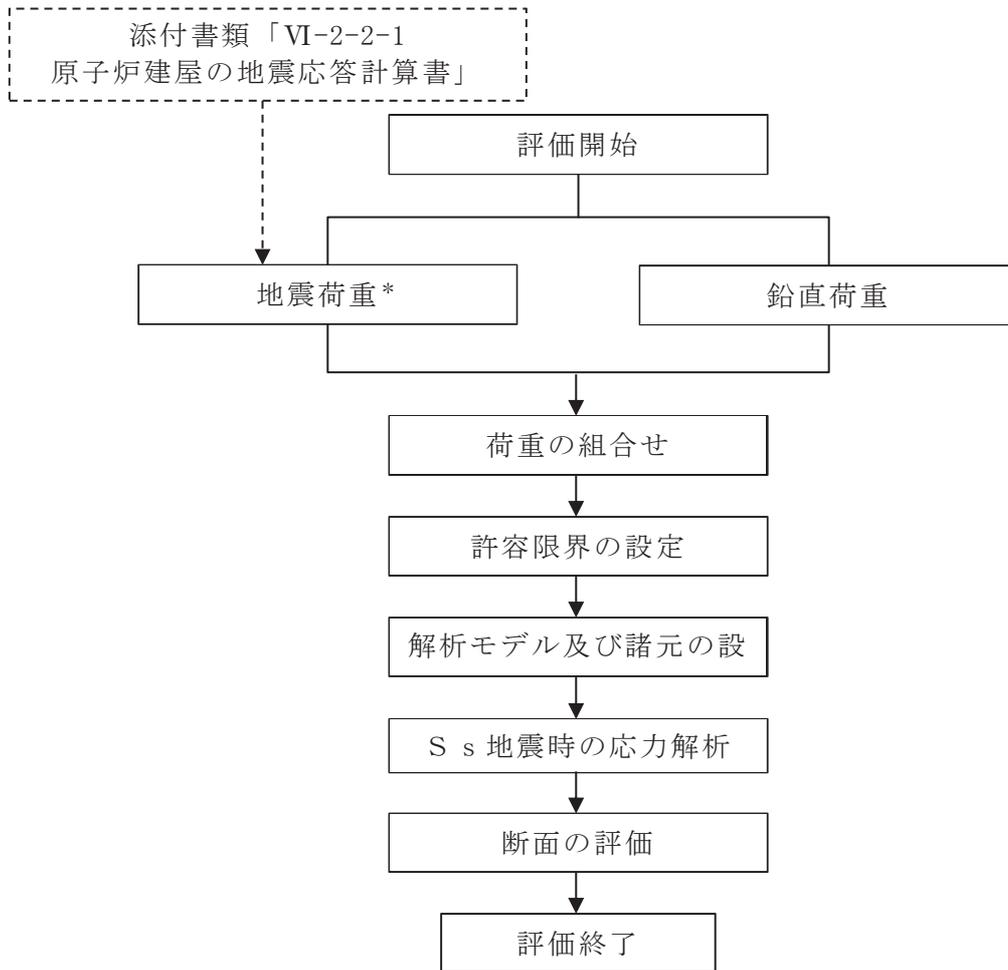
##### 4.1 評価対象部位及び評価方針

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）、2次しゃへい壁及び補助しゃへいの応力解析による評価対象部位は、屋根スラブ、床スラブ、屋根トラス及び耐震壁とする。

##### 4.1.1 屋根スラブ及び床スラブ

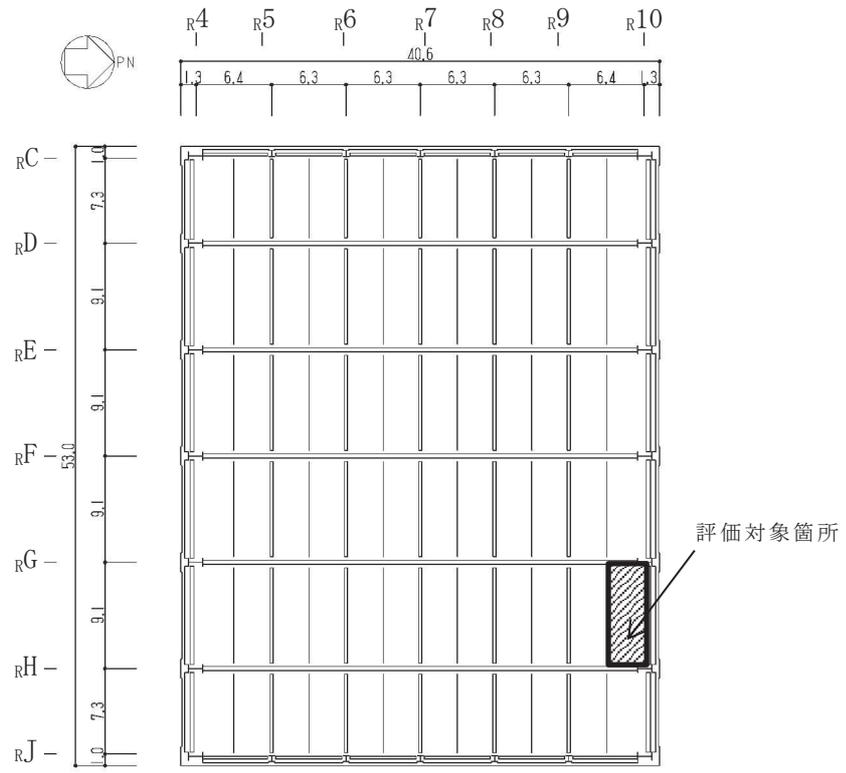
屋根スラブ及び床スラブについては、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられる。したがって、 $S_s$ 地震時に対する評価は、基準地震動 $S_s$ による鉛直震度を考慮した応力解析モデルを用いて、各部材の断面評価を行う。鉛直震度については、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた基準地震動 $S_s$ による結果を用いる。許容限界については、屋根スラブ及び床スラブは、「RC-N規準」に基づき設定する。 $S_d$ 地震時に対する評価については、上記のとおり基準地震動 $S_s$ で評価するため新たな検討は行わない。評価については、各断面の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図4-1に、選定した部材を図4-2に示す。



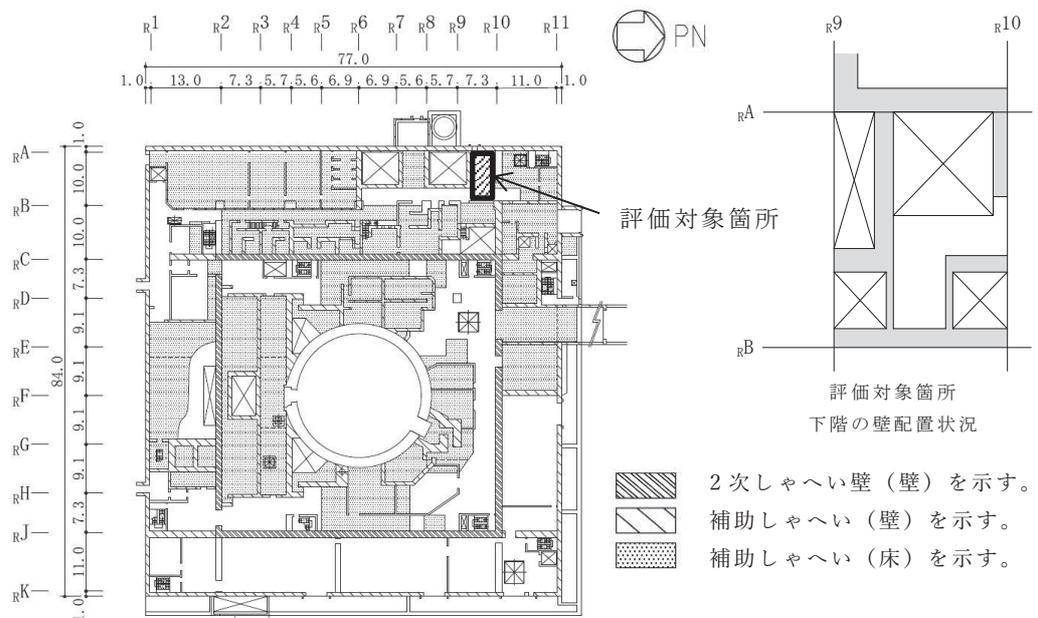
注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 屋根スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー



(単位：m)

(a) 屋根スラブ，RF，O.P. 50.5m



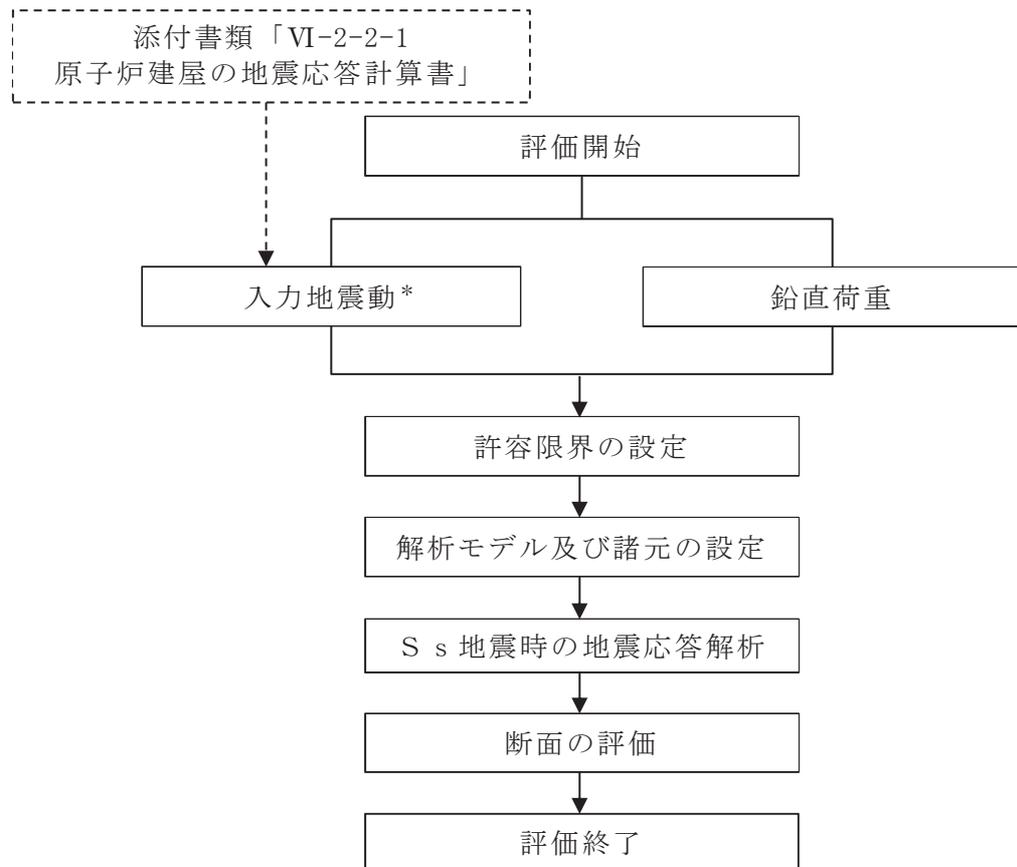
(b) 床スラブ，1F，O.P. 15.0m

図 4-2 評価を記載する部材の位置

#### 4.1.2 屋根トラス

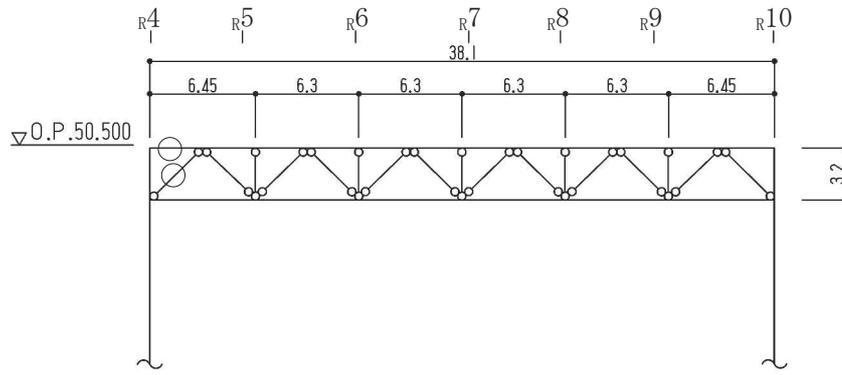
屋根トラスについては、水平方向の地震動に加え、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられる。したがって、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために、3次元 FEM モデルを用いた地震応答解析により生じた応力を用いて、各部材の断面の評価を行う。S<sub>s</sub>地震時に対する評価については、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S<sub>s</sub> による結果を用いる。許容限界については、「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。なお、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> の応答加速度が基準地震動 S<sub>s</sub> の 0.5 倍又は 0.58 倍であり、許容限界が基準地震動 S<sub>s</sub> の 1/1.1 倍であることから、基準地震動 S<sub>s</sub> により生じる各部材の断面の応力が弾性限強度を超えないことを確認することで、屋根トラスの S<sub>d</sub> 地震時に対する評価については、行わないこととする。評価については、各部材の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図 4-3 に、選定した部材を図 4-4～図 4-7 に示す。

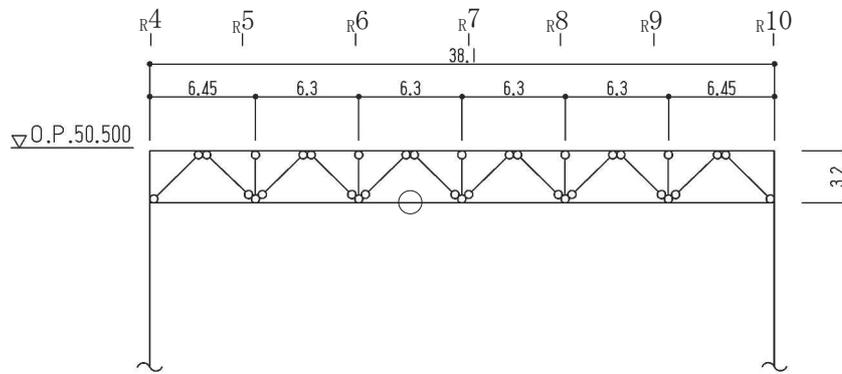


注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

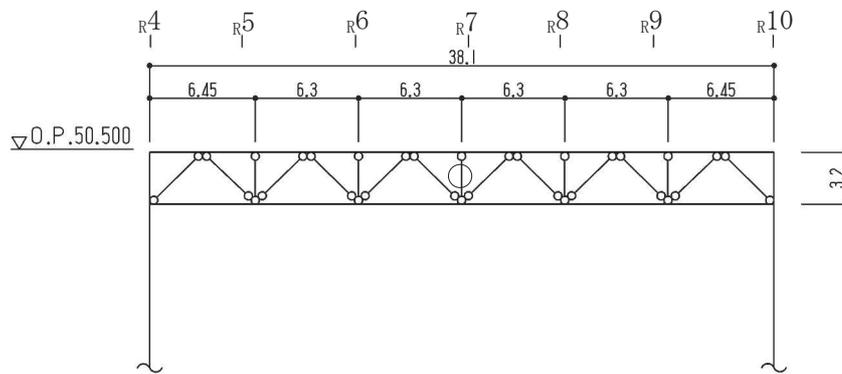
図 4-3 屋根トラスの応力解析による評価フロー



(a) 主トラス： $R_E$  通り



(b) 主トラス： $R_F$  通り

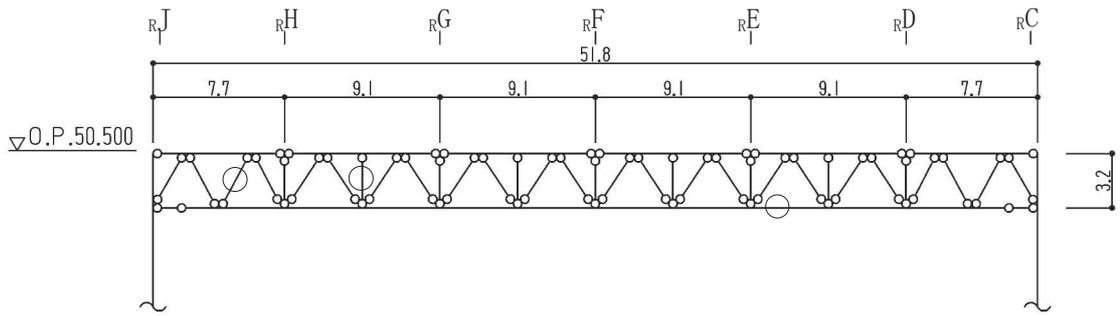


(c) 主トラス： $R_G$  通り

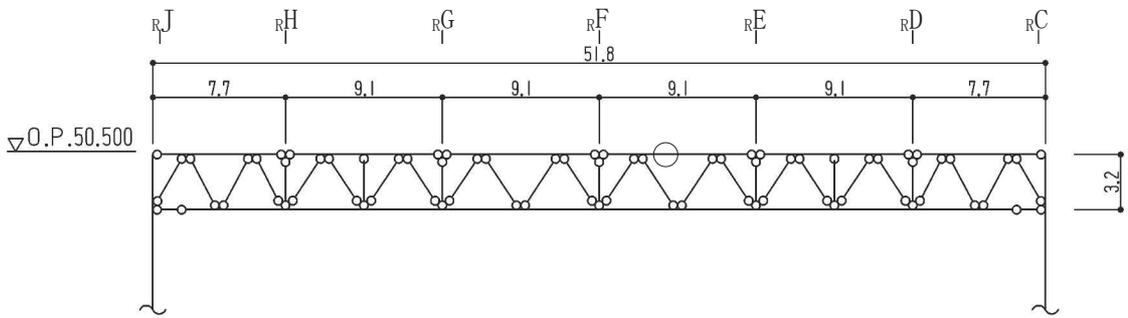
○：最大応力発生箇所を示す。

(単位：m)

図 4-4 評価を記載する部材の位置 (主トラス)



(a) サブトラス :  $r_7$  通り

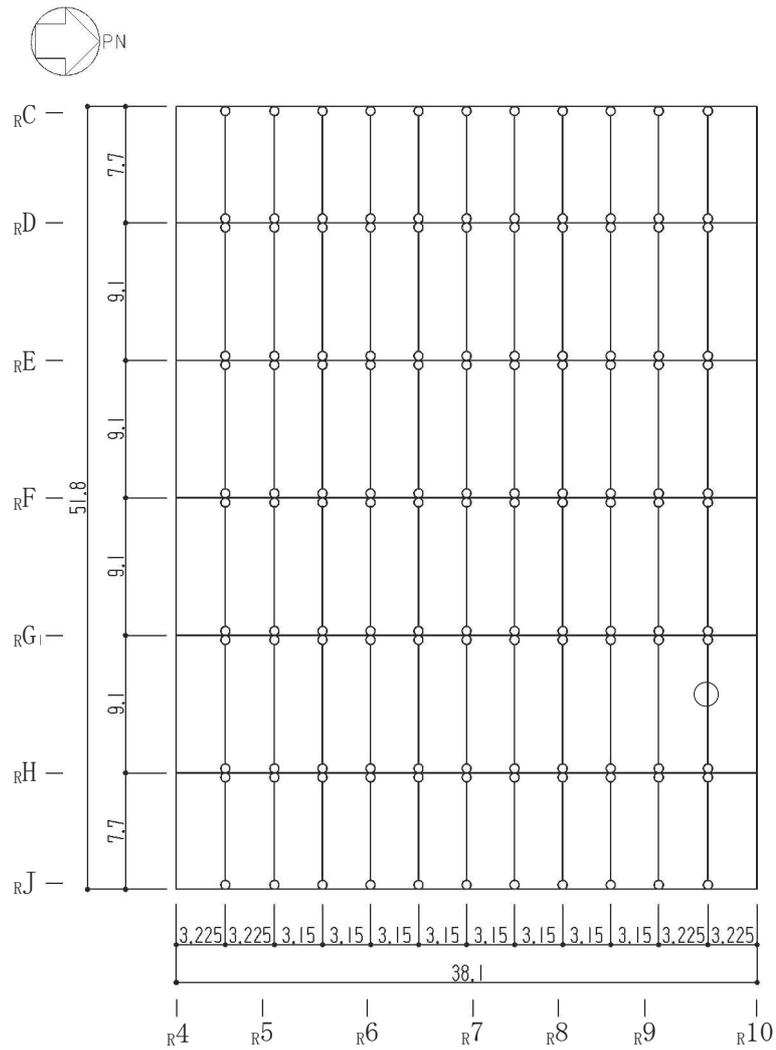


(b) サブトラス :  $r_9$  通り

○ : 最大応力発生箇所を示す。

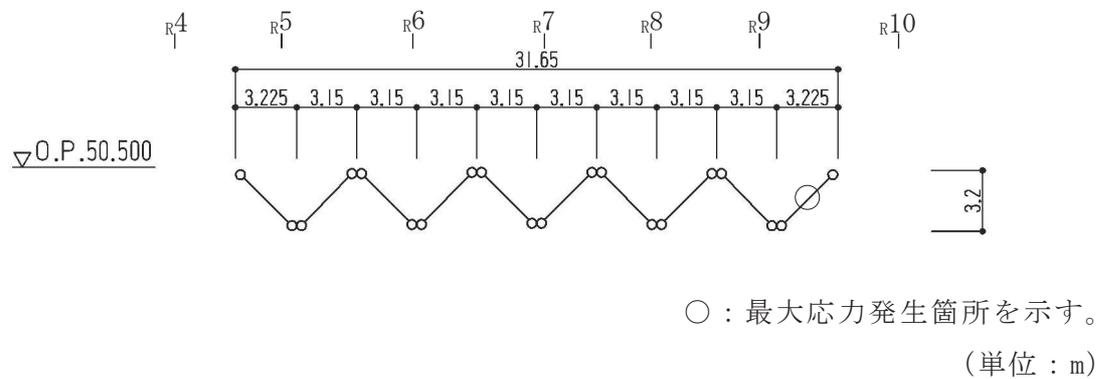
(単位 : m)

図 4-5 評価を記載する部材の位置 (サブトラス)



○：最大応力発生箇所を示す。  
(単位：m)

図 4-6 評価を記載する部材の位置 (母屋：O.P. 50.5m)



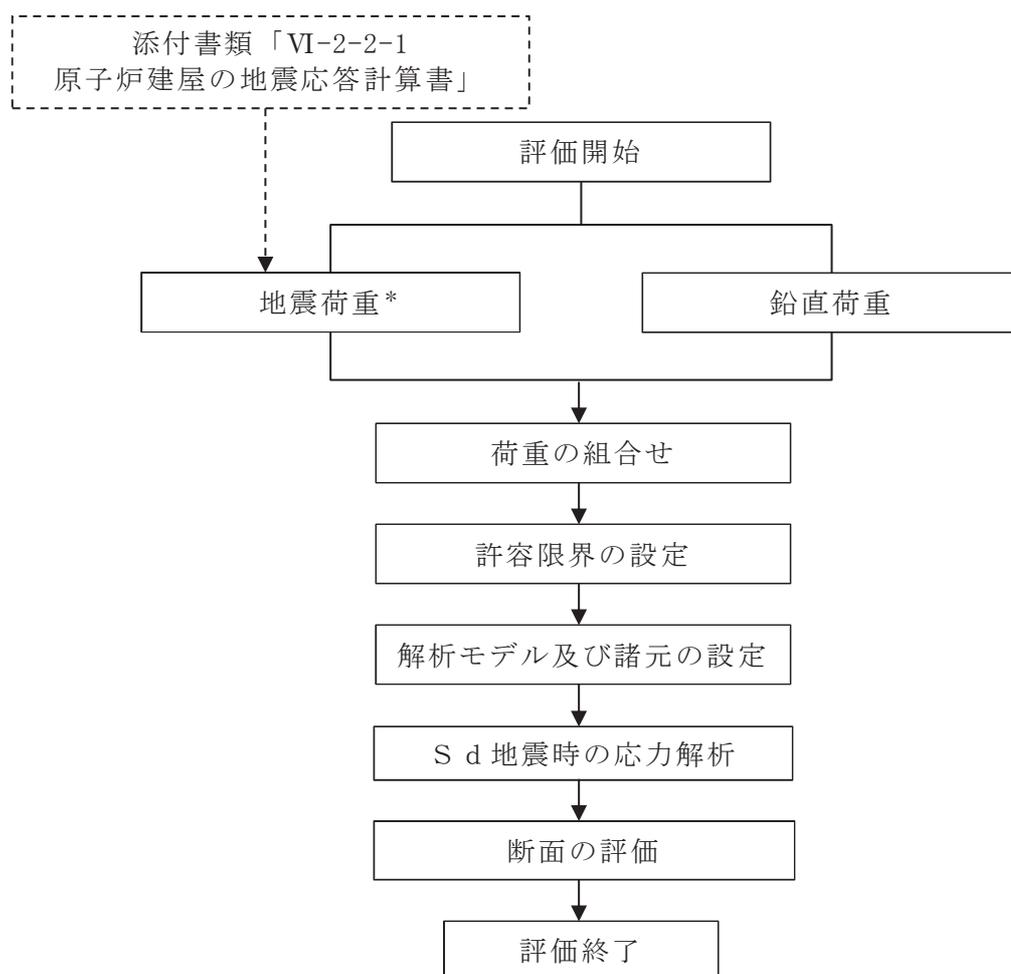
○：最大応力発生箇所を示す。  
(単位：m)

図 4-7 評価を記載する部材の位置 (方杖：RH 通り RJ 通り間)

#### 4.1.3 耐震壁

S d地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「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。評価については、耐震壁の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図4-8に、選定した部材を図4-9に示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-8 耐震壁の応力解析による評価フロー

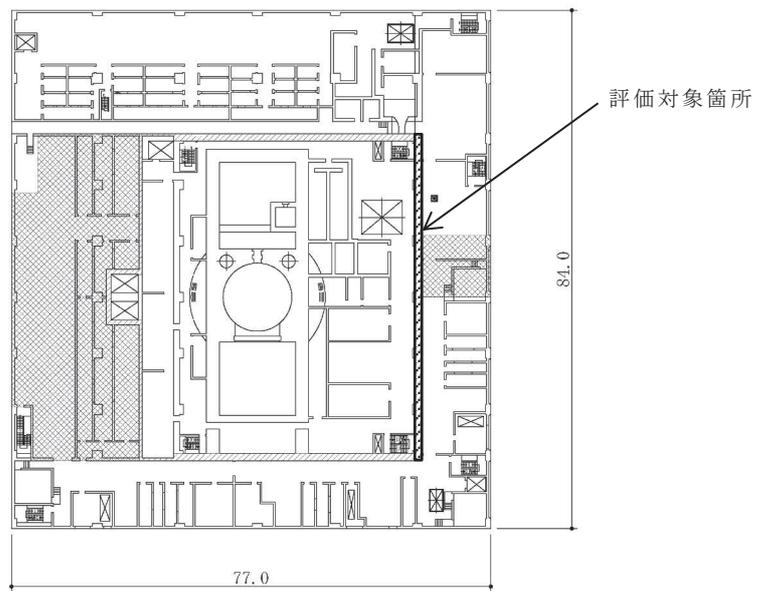


図 4-9 耐震壁の評価を記載する部材の位置  
(2F, O. P. 22.5m)

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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組合せを用いる。

### 4.2.1 屋根スラブ

#### (1) 荷重

##### a. 鉛直荷重

固定荷重 (G)、積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。ただし、屋根スラブの固定重量の低減を図り、ルーフブロック等を撤去したため、その重量も反映する。

##### b. 地震荷重

地震荷重 ( $S_s$ ) は、基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデルの屋根トラス部の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。なお、鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

#### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_s$  : 地震荷重

#### 4.2.2 床スラブ

##### (1) 荷重

###### a. 鉛直荷重

固定荷重 (G), 積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。

###### b. 地震荷重

地震荷重 ( $S_s$ ) は, 基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデルの各層の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。なお, 鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

##### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_s$  : 地震荷重

### 4.2.3 屋根トラス

#### (1) 荷重

##### a. 鉛直荷重

表 4-3 に荷重の一覧を示す。固定荷重 (G) は「既工認」に基づき設定する。ただし、屋根トラスは裕度向上を目的として、耐震補強工事を実施しており、その際に屋根スラブの固定重量の低減を図り、ルーフブロック等を撤去したため、その重量も反映する。なお、原子炉建屋内は負圧となっており、屋根スラブに鉛直下向きの圧力荷重が作用しているが、鉛直荷重と比較して  $6.28 \times 10^{-2} \text{kN/m}^2$  と非常に軽微なため考慮しない。

表 4-3 荷重一覧

固定荷重 (G)	屋根スラブ	4.41 kN/m <sup>2</sup>
	トラス鋼材	77.0 kN/m <sup>3</sup>
	クレーン荷重	3270 kN
積載荷重 (P)		0.294 kN/m <sup>2</sup>

##### b. 地震荷重

地震荷重 (S<sub>s</sub>) は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」から得られる燃料取替床レベル (3F, 0.P. 33.2m) の S<sub>s</sub> 地震時の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度とし、「2.3 評価方針」に示したとおり、材料物性の不確かさを考慮する。これらの中で屋根トラスの振動特性を踏まえ影響が大きいと考えられるケース 2 の S<sub>s</sub>-D1, S<sub>s</sub>-D2 及び S<sub>s</sub>-F3 の水平 2 成分、鉛直成分及び回転 2 成分の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 4-10~図 4-17 に示す。

#### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

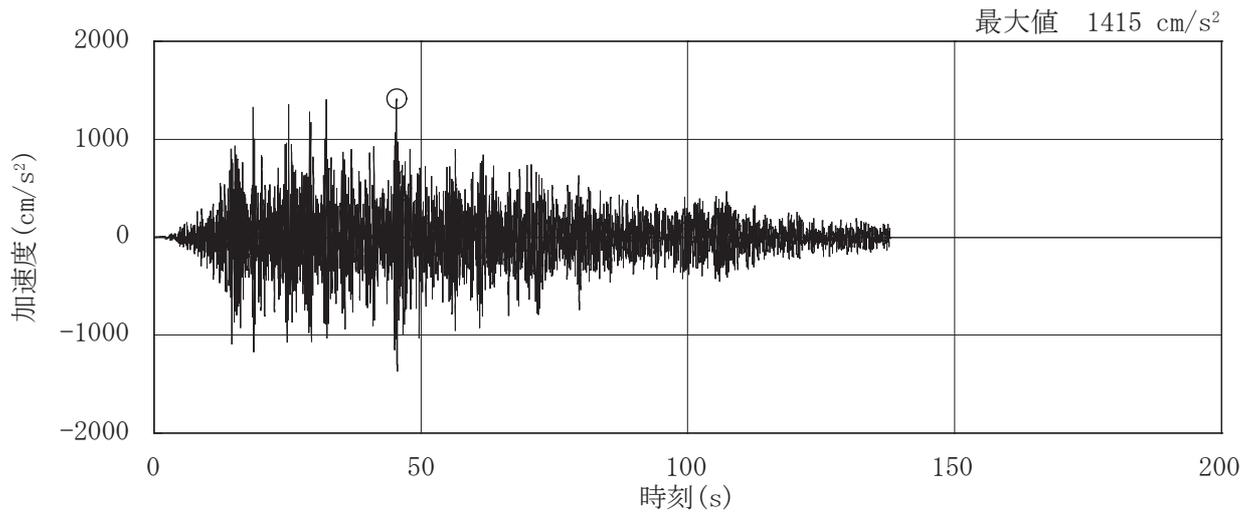
表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

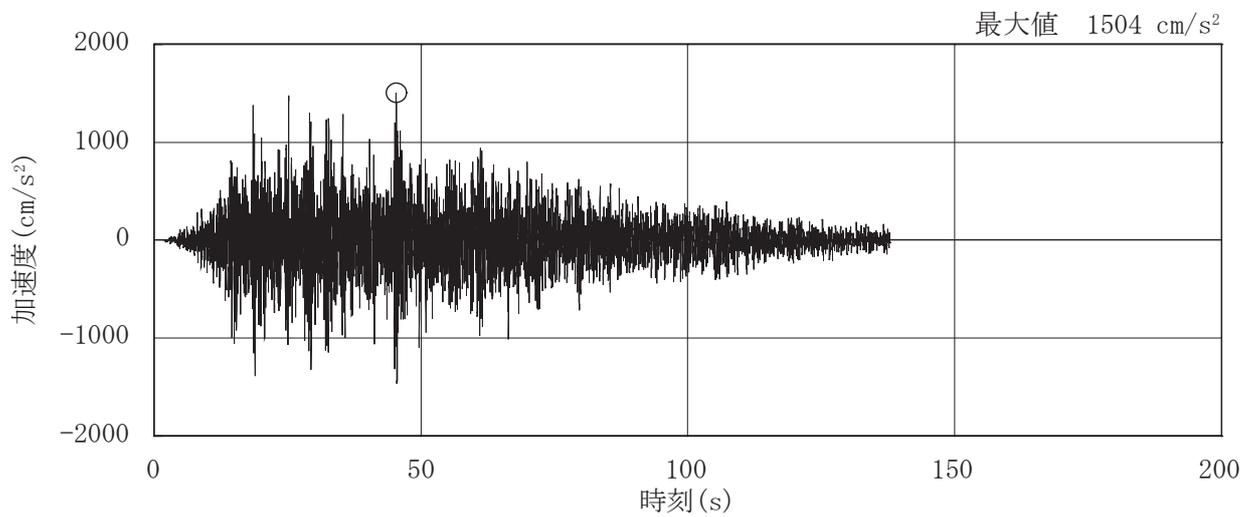
G : 固定荷重

P : 積載荷重

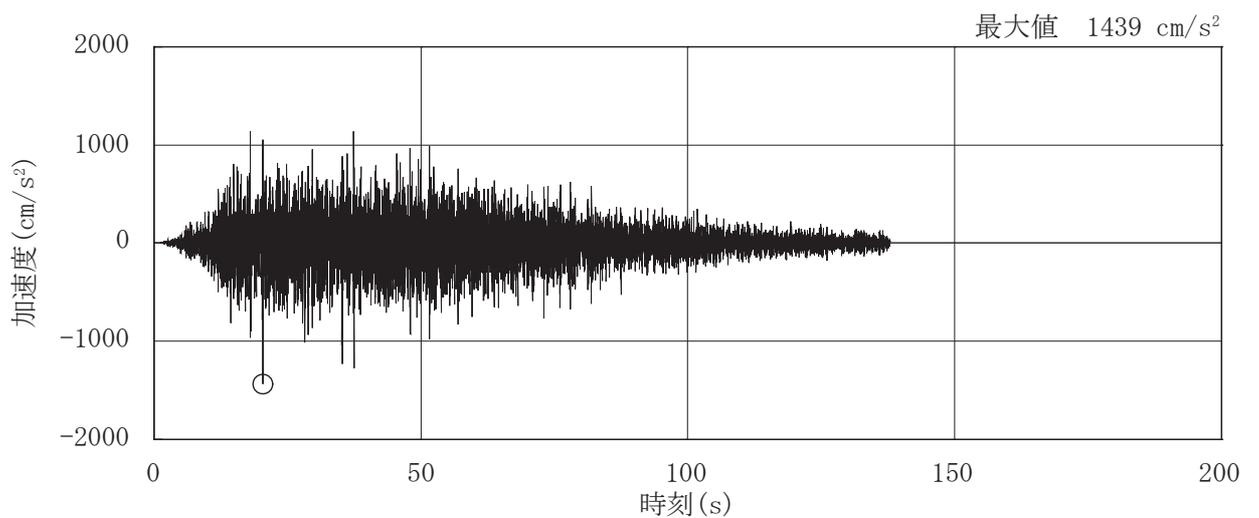
S<sub>s</sub> : 地震荷重



(a) NS 方向

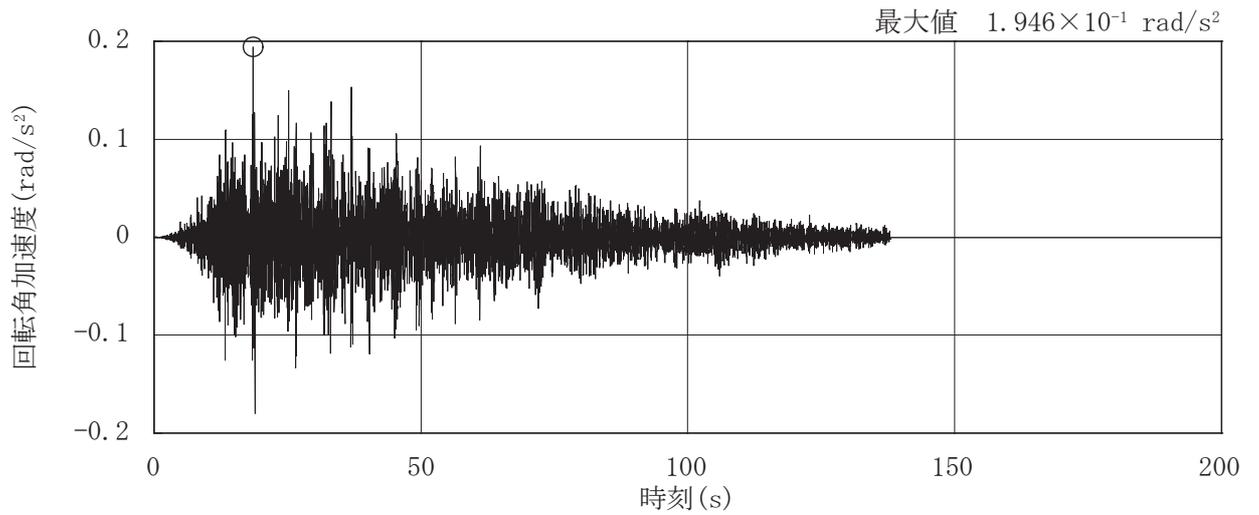


(b) EW 方向

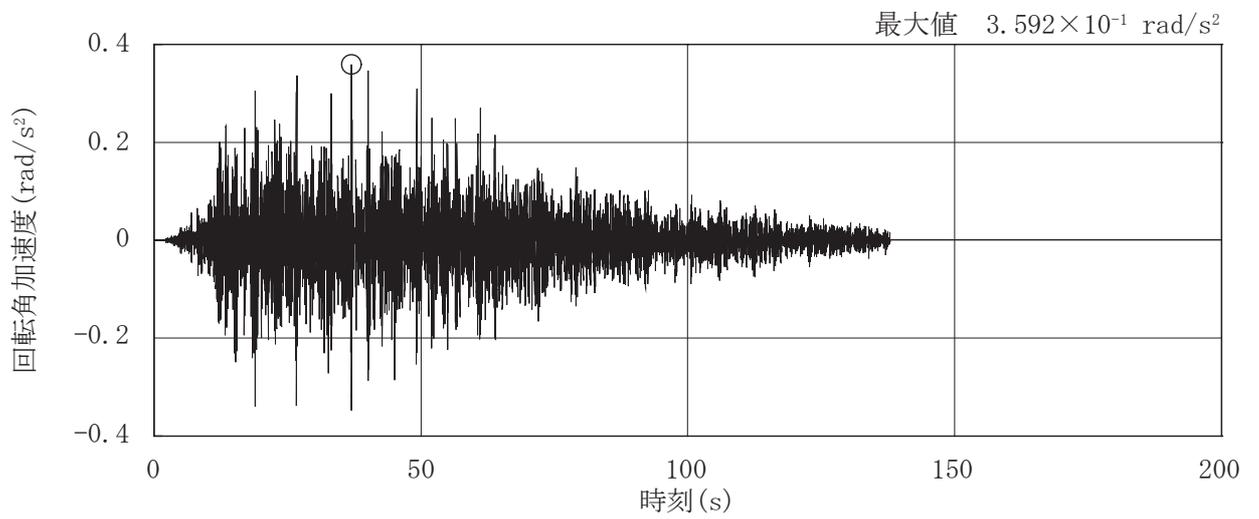


(c) UD 方向

図 4-10 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 1, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

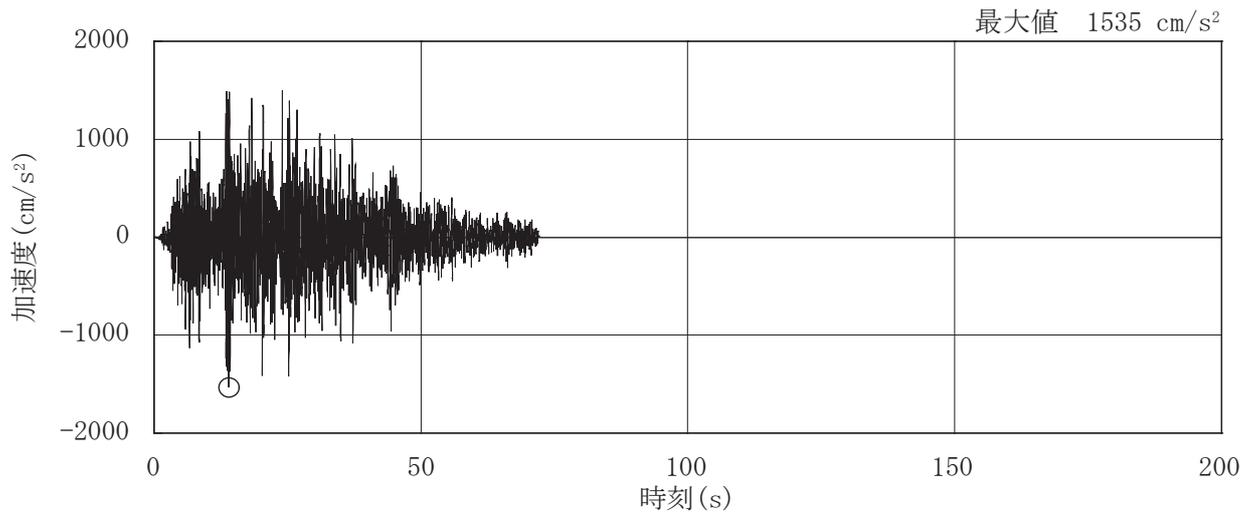


(a) NS 方向

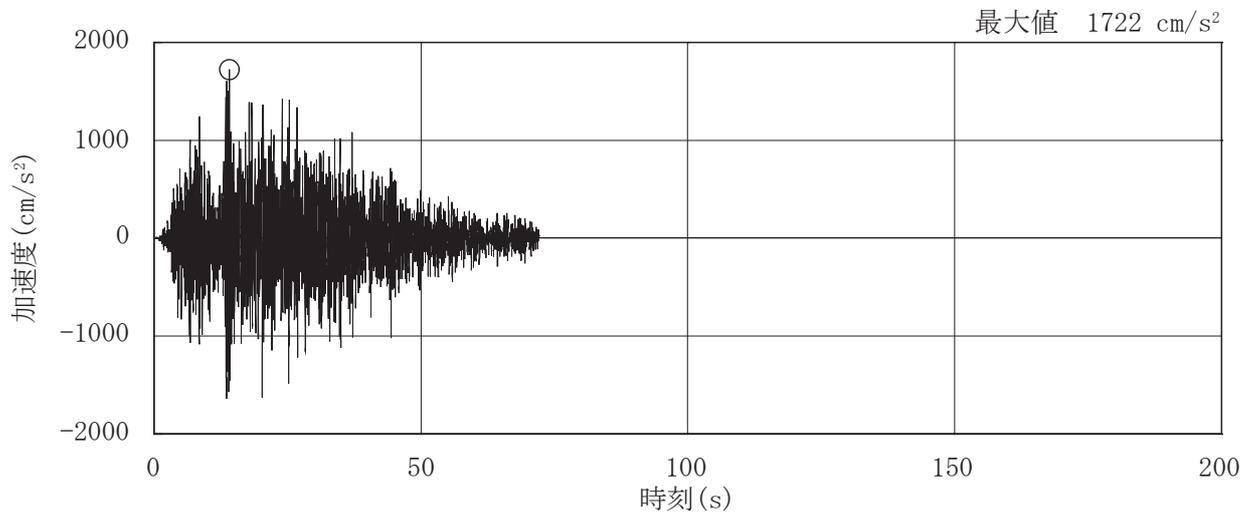


(b) EW 方向

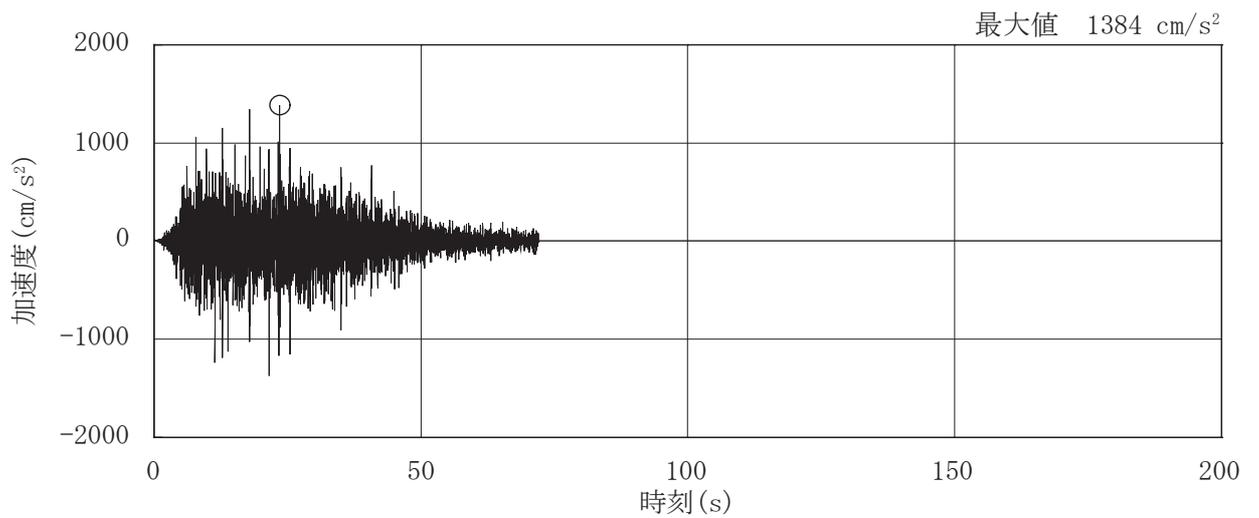
図 4-11 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 1, ケース 2, 回転成分)



(a) NS 方向

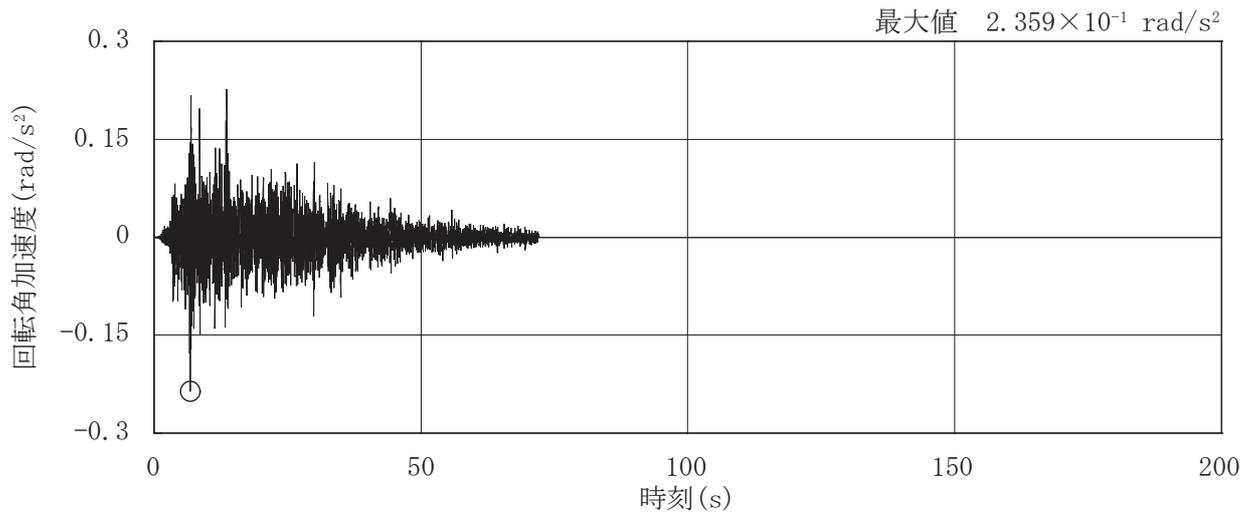


(b) EW 方向

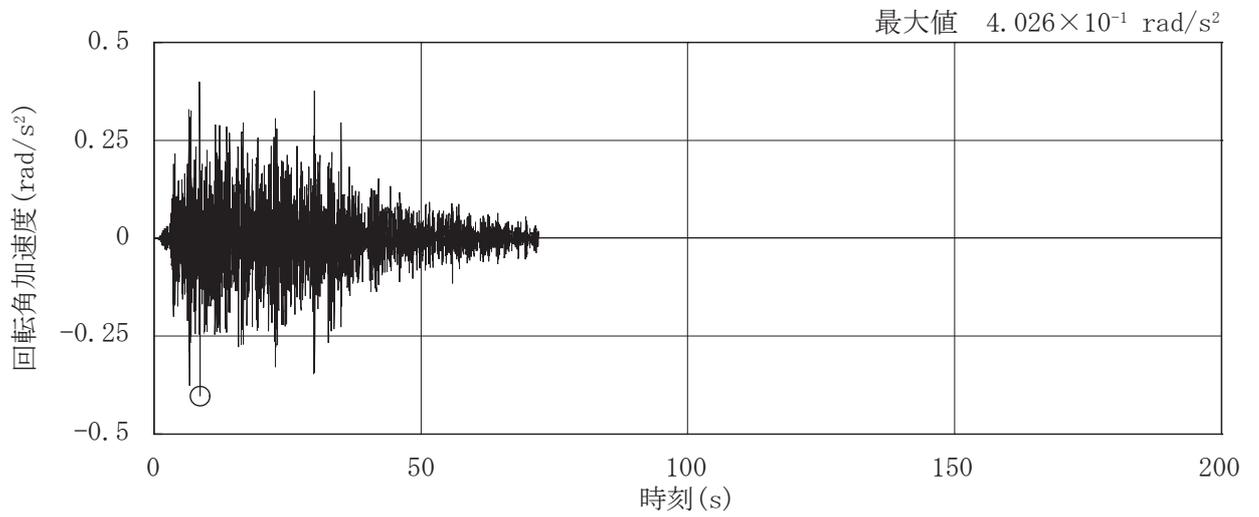


(c) UD 方向

図 4-12 燃料取替床レベル (3F, 0.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 2, ケース 2, 水平, 鉛直成分)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-13 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 2, ケース 2, 回転成分)

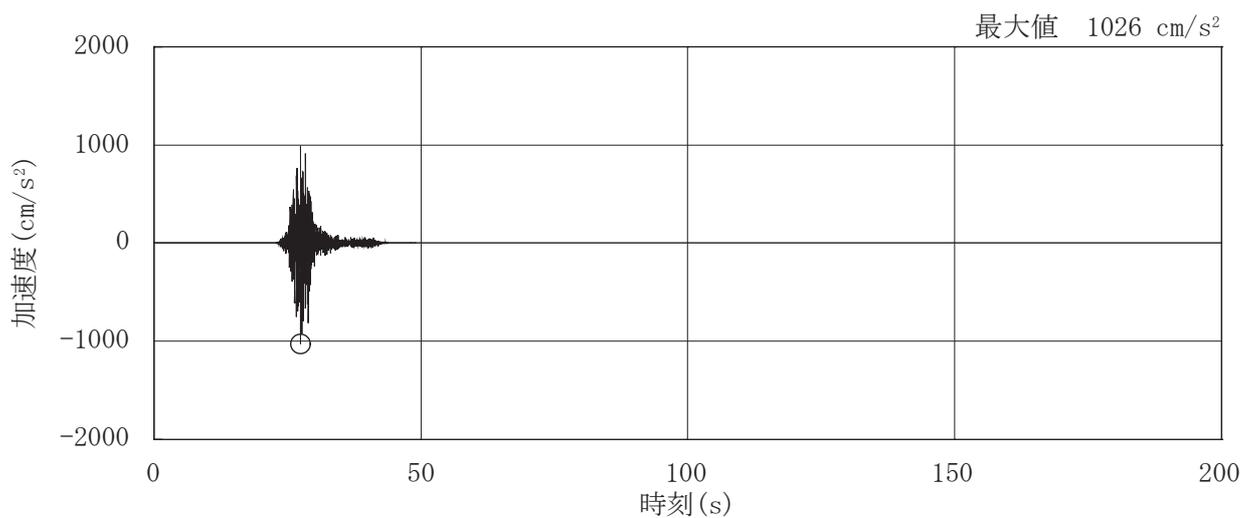
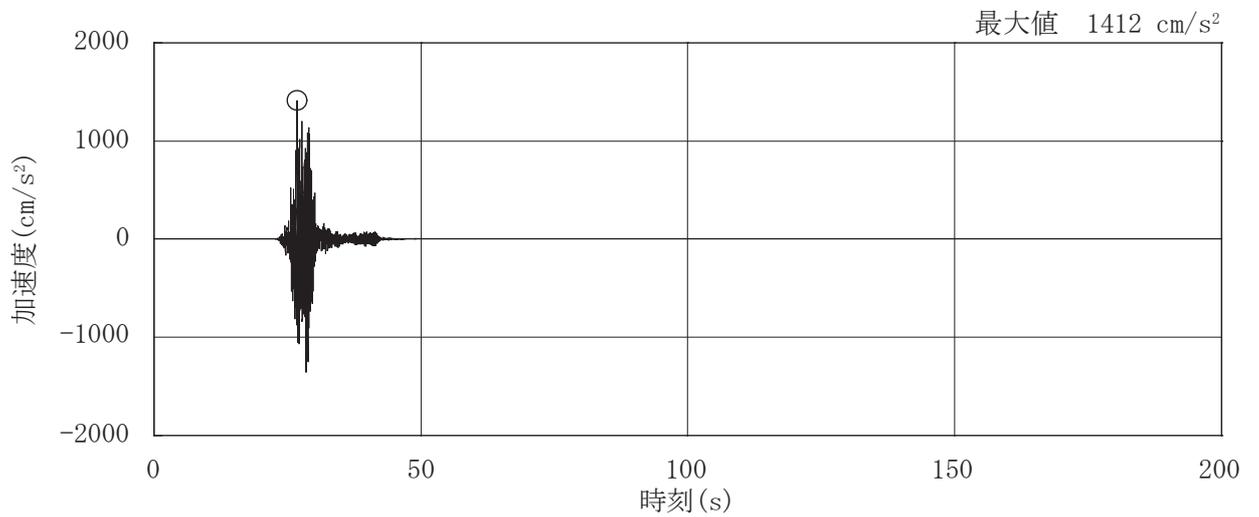
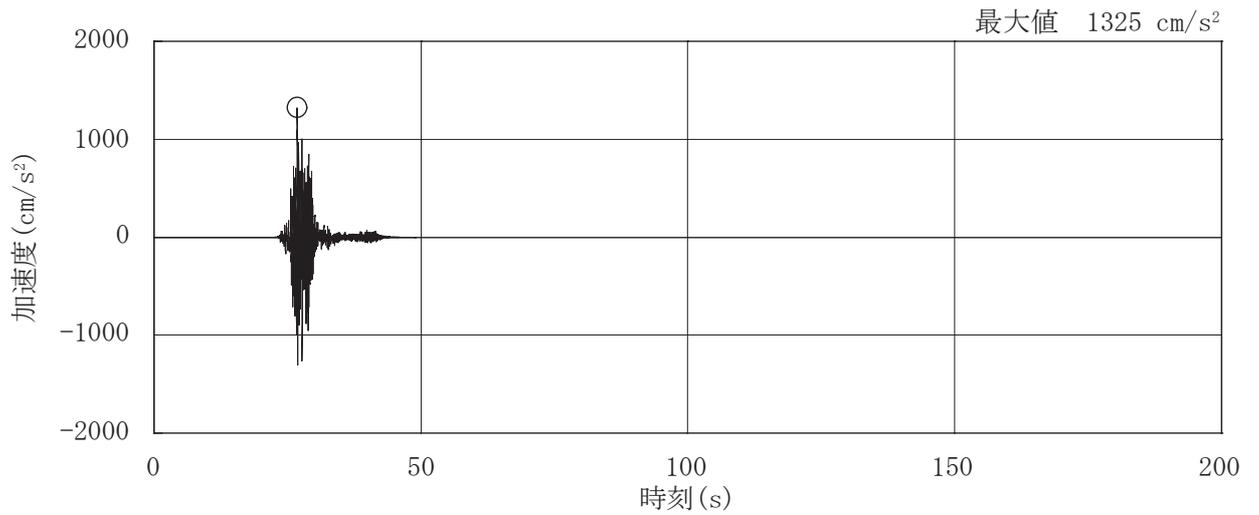
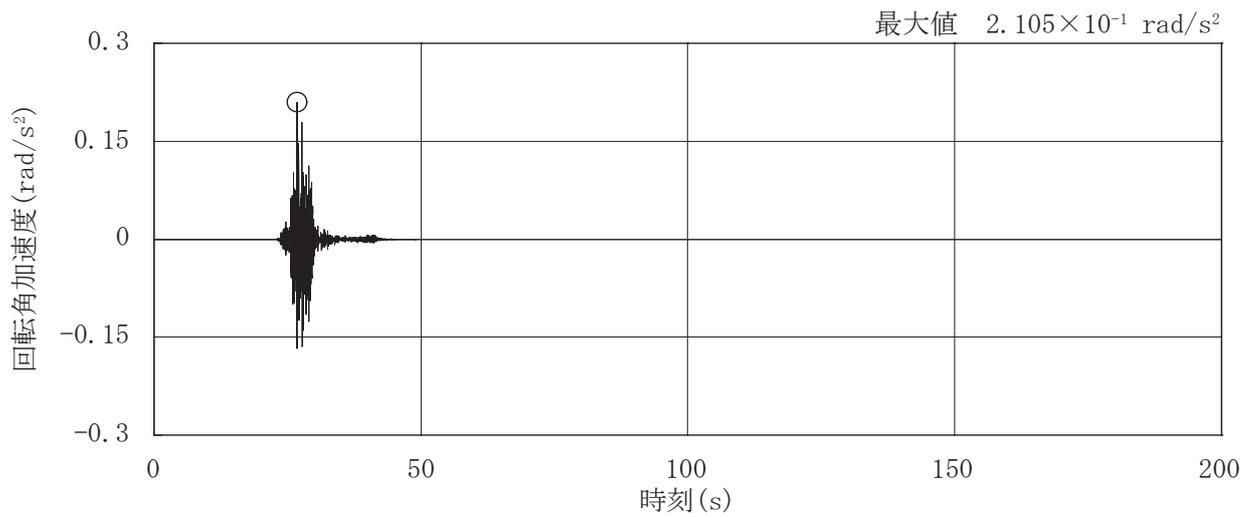
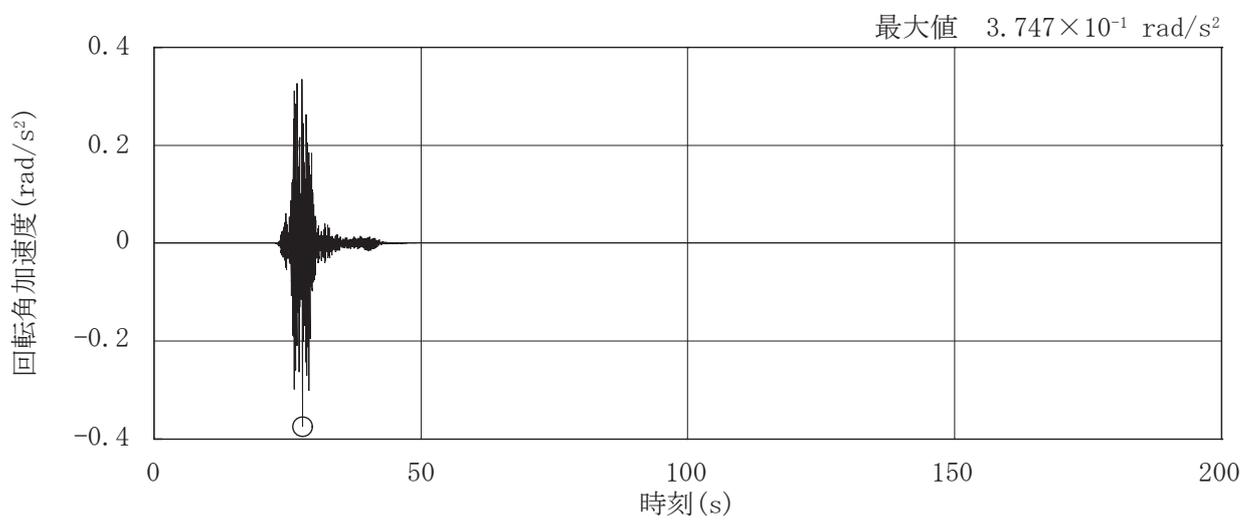


図 4-14 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - F 3, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

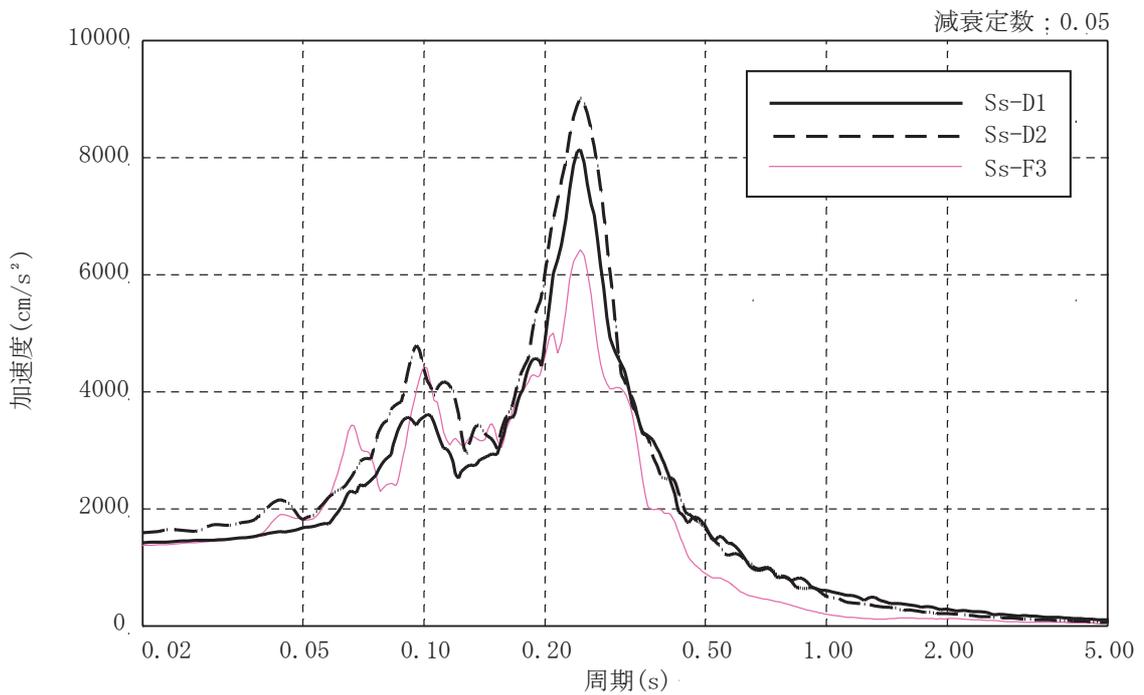


(a) NS 方向

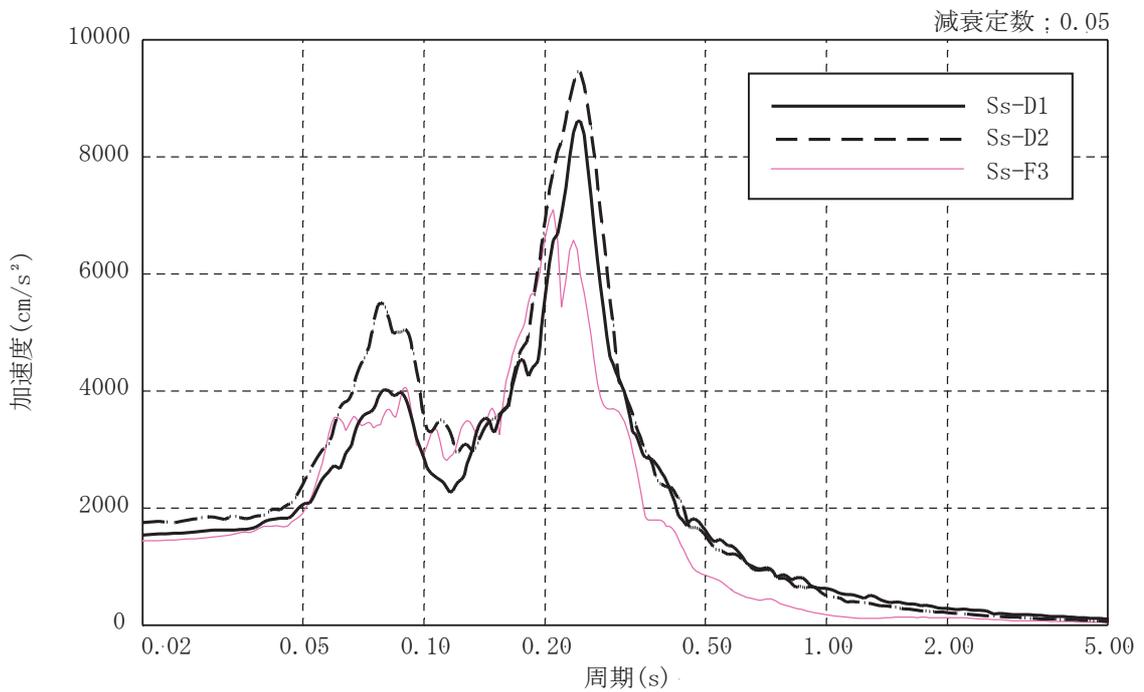


(b) EW 方向

図 4-15 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - F 3, ケース 2, 回転成分)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-16 水平成分の加速度応答スペクトル  
(燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m), ケース 2)

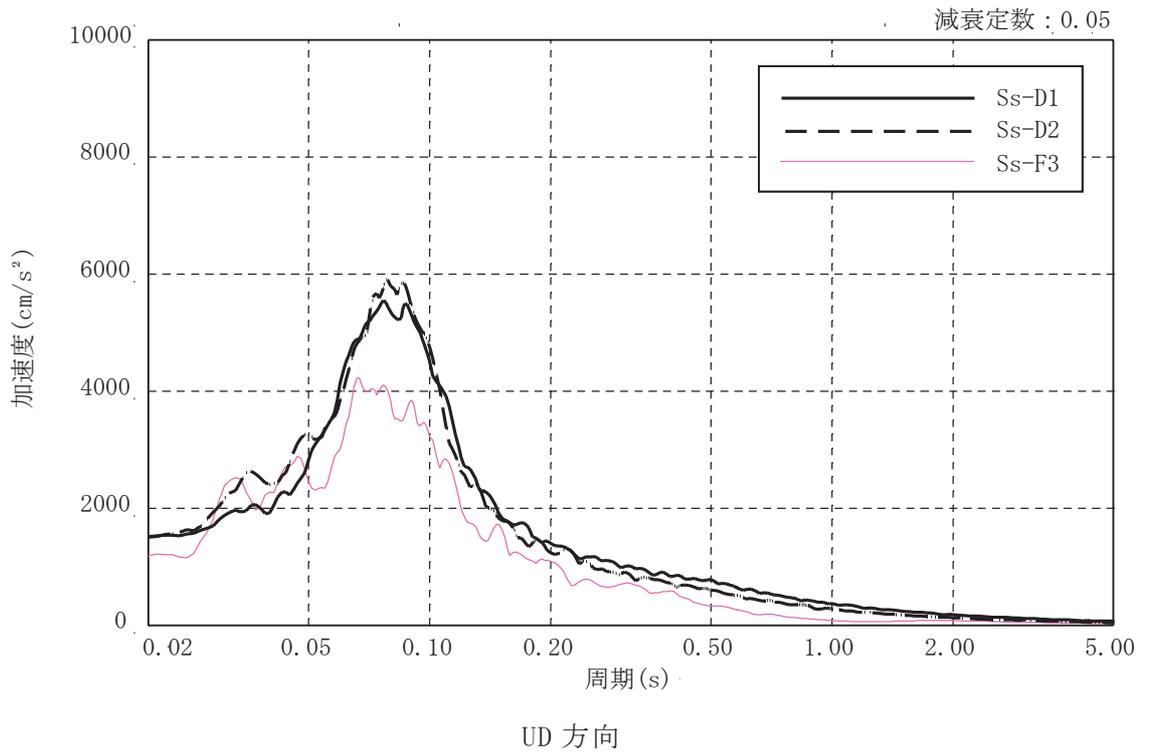


図 4-17 鉛直成分の加速度応答スペクトル  
(燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m), ケース 2)

#### 4.2.4 耐震壁

##### (1) 荷重

##### a. 鉛直荷重

固定荷重 (G), 積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。

##### b. 地震荷重

##### (a) 地震荷重

地震荷重 ( $S_d$ ) は, 静的地震力と弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析により算定される動的地震力を包絡した荷重とする。このとき, 弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析より算定される動的地震力は, 添付書類「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て設定する。

地震荷重を表 4-5~表 4-7 に示す。

表 4-5 地震荷重 (Sd, せん断力)  
(a) NS 方向

OW-K ( $\times 10^3$ kN)				IW-J ( $\times 10^3$ kN)			SW ( $\times 10^3$ kN)			IW-C ( $\times 10^3$ kN)			OW-A ( $\times 10^3$ kN)		
O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値
50.50				50.50	21.3	16.1	21.3	50.50	22.2	15.8	22.2	50.50			
41.20				41.20	23.0	18.8	23.0	41.20	22.1	16.9	22.1	41.20			
33.20	53.5	44.0	53.5	33.20	121	99.5	121	33.20	134	103	134	33.20	59.7	48.2	59.7
22.50	96.8	85.0	96.8	22.50	185	167	185	22.50	207	186	207	22.50	114	103	114
15.00	138	125	138	15.00	248	224	248	15.00	278	246	278	15.00	152	137	152
6.00	171	151	171	6.00	286	253	286	6.00	325	281	325	6.00	191	165	191
-0.80	202	170	202	-0.80	320	270	320	-0.80	384	311	384	-0.80	222	182	222
-8.10				-8.10				-8.10				-8.10			

(b) EW 方向

OW-1 ( $\times 10^3$ kN)			IW-2 ( $\times 10^3$ kN)			IW-4 ( $\times 10^3$ kN)			SW ( $\times 10^3$ kN)			IW-10 ( $\times 10^3$ kN)			OW-11 ( $\times 10^3$ kN)				
O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値	O.P. (m)	Sd	静的	包絡値
33.20	88.6	66.2	88.6	33.20	122	108	122	33.20	23.6	21.6	23.6	33.20	46.5	37.1	46.5	33.20	68.5	50.6	68.5
22.50	112	99.4	112	22.50	225	204	225	22.50	97.8	73.9	97.8	22.50	124	88.1	124	22.50	111	97.3	111
15.00	152	139	152	15.00	280	253	280	15.00	73.6	61.8	73.6	15.00	180	161	180	15.00	148	135	148
6.00	182	163	182	6.00	325	278	325	6.00	129	119	129	6.00	246	223	246	6.00	180	161	180
-0.80	205	179	205	-0.80				-0.80	125	114	125	-0.80	292	264	292	-0.80	211	183	211
-8.10				-8.10				-8.10	160	133	160	-8.10	331	284	331	-8.10			

表 4-6 地震荷重 (Sd, 曲げモーメント)

(a) NS 方向

O.P. (m)				IW-J ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			O.P. (m)			IW-C ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			O.P. (m)			OW-A ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )		
OW-K ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )						SW ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )												
Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	
0.129	0.0000	0.129	0.0299	0.0048	0.0299	0.455	0.0000	0.455	0.0365	0.0051	0.0365	0.171	0.0000	0.171				
0.640	0.471	0.640	0.227	0.145	0.227	0.541	0.236	0.541	0.239	0.142	0.239	0.772	0.516	0.772				
0.759	0.471	0.759	0.441	0.247	0.441	1.13	0.236	1.13	0.379	0.201	0.379	0.995	0.516	0.995				
1.43	1.11	1.43	0.625	0.398	0.625	1.25	0.802	1.25	0.553	0.337	0.553	1.81	1.29	1.81				
1.59	1.11	1.59	1.43	0.551	1.43	1.71	0.802	1.71	1.65	0.516	1.65	1.99	1.29	1.99				
2.75	2.23	2.75	2.43	1.62	2.43	2.20	1.58	2.20	3.71	1.62	3.71	3.21	2.52	3.21				
2.87	2.23	2.87	3.17	1.62	3.17	2.33	1.58	2.33	5.01	3.01	5.01	3.37	2.52	3.37				
3.95	3.26	3.95	4.43	2.87	4.43	2.77	2.10	2.77	7.91	5.22	7.91	4.45	3.64	4.45				
4.05	3.26	4.05	4.96	2.87	4.96	2.87	2.10	2.87	8.43	5.22	8.43	4.56	3.64	4.56				
5.39	4.50	5.39	7.10	4.88	7.10	3.96	3.25	3.96	10.3	7.13	10.3	6.10	4.97	6.10				
			7.52	4.88	7.52				10.6	7.13	10.6							
			9.26	6.60	9.26				12.6	9.40	12.6							
			9.51	6.60	9.51													
			11.4	8.57	11.4													

(b) EW 方向

OW-1 ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			IW-2 ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			IW-4 ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			SW ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			IW-10 ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )			OW-11 ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )		
Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値	Sd	静的	包絡値
0.542	0.0000	0.542	0.638	0.0000	0.638	0.139	0.0000	0.139	0.426	0.319	0.426	0.101	0.0000	0.101	0.139	0.0000	0.139
1.40	0.708	1.40	8.97	4.84	8.97	0.341	0.201	0.341	0.746	0.426	0.746	0.322	0.216	0.322	0.843	0.542	0.843
1.80	0.708	1.80	1.36	0.808	1.36	0.468	0.201	0.468	0.746	0.426	0.746	0.404	0.216	0.404	1.01	0.542	1.01
2.63	1.45	2.63	2.47	0.808	2.47	0.673	0.390	0.673	0.734	0.262	0.734	0.715	0.512	0.715	1.84	1.27	1.84
2.91	1.45	2.91	4.29	2.65	4.29	2.93	0.688	2.93	0.936	0.262	0.936	2.23	0.702	2.23	2.04	1.27	2.04
4.20	2.70	4.20	4.29	2.65	4.29	3.26	1.48	3.26	1.94	1.33	1.94	4.51	1.96	4.51	3.30	2.49	3.30
4.42	2.70	4.42	10.7	6.55	10.7	4.67	1.72	4.67	2.07	1.33	2.07	5.76	3.17	5.76	3.50	2.49	3.50
5.50	3.81	5.50	11.2	6.55	11.2	4.76	2.19	4.76	2.56	1.89	2.56	6.37	3.17	6.37	4.55	3.58	4.55
5.65	3.81	5.65	13.1	8.58	13.1				2.67	1.89	2.67	8.33	5.18	8.33	4.69	3.58	4.69
6.86	5.12	6.86							3.77	3.12	3.77	8.76	5.18	8.76	5.87	4.92	5.87
												10.4	6.98	10.4			
												10.7	6.98	10.7			
												12.5	9.05	12.5			

表 4-7 地震荷重 (S<sub>d</sub>, 鉛直震度)

O. P. (m)	S <sub>d</sub>	S <sub>d</sub> ×0.4	静的	包絡値
48.725	1.01	0.40	0.24	0.40
41.2	0.91	0.36	0.24	0.36
33.2	0.85	0.34	0.24	0.34
22.5	0.75	0.30	0.24	0.30
15.0	0.66	0.26	0.24	0.26
6.0	0.52	0.21	0.24	0.24
-0.8	0.42	0.17	0.24	0.24
-8.1				

(b) 地震時土圧

地震時土圧荷重は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき有限要素モデルより算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。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 4-18 に示す。なお、南側はタービン建屋及び制御建屋が隣接しているため、地震時土圧荷重を考慮しない。

表 4-8 地震時土圧荷重

O. P. (m)	地震時土圧荷重 (kN/m <sup>2</sup> )		
	東側	西側	北側
14.8	69.5	81.4	79.2
10.5	109.5	121.4	119.2
10.5	155.1	146.6	145.7
2.6	228.6	220.1	219.2
2.6	270.6	218.2	208.1
-4.45	336.1	283.7	273.6
-4.45	477.6	356.4	342.3
-11.1	539.5	418.3	404.2

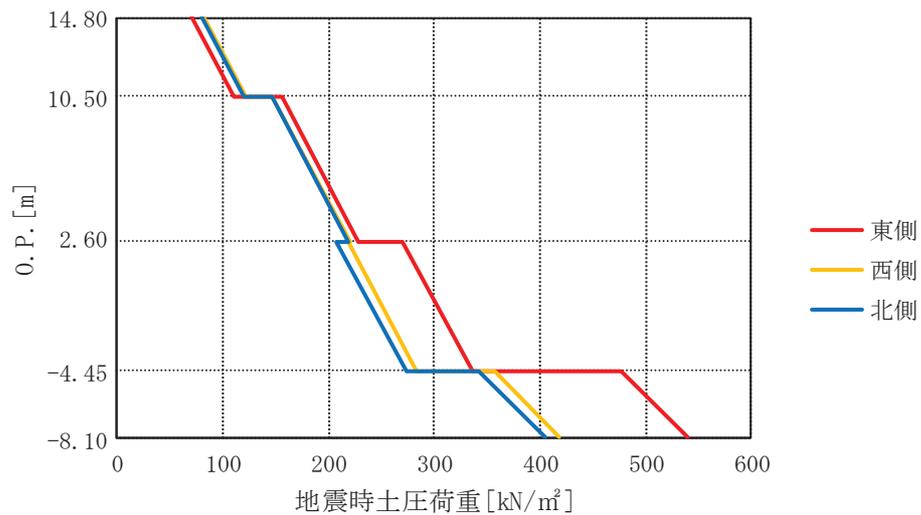


図 4-18 地震時土圧による荷重分布

(2) 荷重組合せ

荷重の組合せを表 4-9 に示す。

表 4-9 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S d 地震時	G + P + S d

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (常時土圧を含む)

S d : 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む)

### 4.3 許容限界

#### 4.3.1 屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁

応力解析による評価における屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁の許容限界は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，表 4-10 及び表 4-11 のとおり設定する。また，表 4-12 及び表 4-13 にコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を示す。

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	基準地震動 $S_s$	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の屋根スラブ及び床スラブ	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*1
		弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震壁	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
気密性	換気性能とあいまって気密機能を有すること	基準地震動 $S_s$	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の屋根スラブ及び床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持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*2
		弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震壁	部材に生じる応力が気密性を維持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

注記\*1：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

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	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の屋根スラブ及び床スラブ、2次しゃへい壁（床）及び補助しゃへい（床）	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*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S s	2次しゃへい壁（床）及び補助しゃへい（床）	部材に生じる応力が遮蔽性を維持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*1
気密性	換気性能とあいまって気密機能を有すること	基準地震動 S s	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の屋根スラブ及び床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持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*2

注記\*1：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-12 コンクリートの短期許容応力度（屋根スラブ及び床スラブ）

(a) 屋根スラブ

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
32.4	21.6	1.21

(b) 床スラブ

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
32.4	21.6	1.21

表 4-13 鉄筋の短期許容応力度（屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁）

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

#### 4.3.2 屋根トラス

応力解析による評価における屋根トラスの許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-14 及び表 4-15 のとおり設定する。また、表 4-16 に鉄骨の弾性限強度を示す。

表 4-14 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	基準地震動 S <sub>s</sub>	主トラス サブトラス 母屋 方杖	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度
支持機能	屋根スラブを支持する機能をそこなわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	主トラス サブトラス 母屋 方杖	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度

表 4-15 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 <sub>s</sub>	主トラス サブトラス 母屋 方杖	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度

表 4-16 鉄骨の弾性限強度

（単位：N/mm<sup>2</sup>）

材 料	板 厚	F 値	弾性限強度		
			圧縮及び引張*	曲げ*	せん断
SS41(SS400 相当) SS400 SN400B	t ≤ 40mm	235	258	258	135
SM50A(SM490A 相当) SN490B	t ≤ 40mm	325	357	357	187

注記\*：「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮する。ただし、圧縮及び曲げの弾性限強度に対しては上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 屋根スラブ

###### (1) モデル化の基本方針

屋根スラブは、1方向スラブとしてモデル化し、スパンがほぼ均等なスラブの外端がスラブに比べて十分剛性の大きい RC 壁と連続していることから、両端固定はりとして評価する。

###### (2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-17 に示す。

表 4-17 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
32.4	2.51×10 <sup>4</sup>	0.2

##### 4.4.2 床スラブ

###### (1) モデル化の基本方針

床スラブは、床スラブ周囲の境界条件を考慮して両端固定はり、三辺固定・一辺自由版、四辺固定版又は FEM 解析により評価する。FEM 解析により評価した 1 階 (O.P. 15.0m) の評価対象箇所の解析モデル図を図 4-19 に示す。FEM 解析では、床スラブをシェル要素でモデル化し、下階から壁で支持されている位置を固定として評価する。

###### (2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-18 に示す。

表 4-18 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
32.4	2.51×10 <sup>4</sup>	0.2

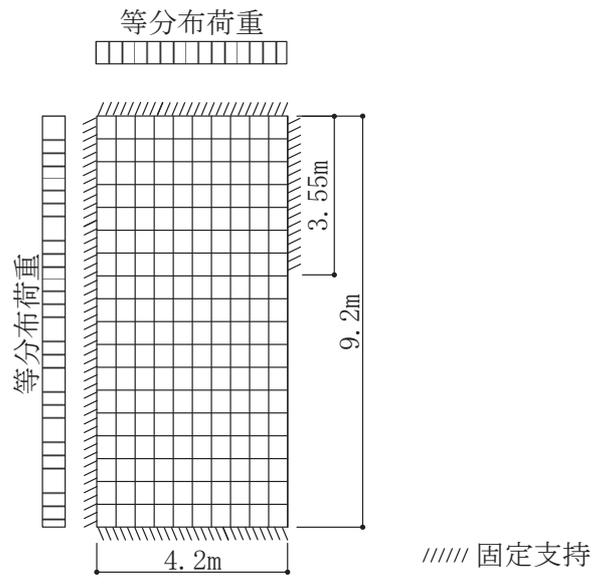


図 4-19 解析モデル

#### 4.4.3 屋根トラス

##### (1) モデル化の基本方針

屋根トラスの評価に用いる応力は、地震応答解析により評価する。屋根トラスの地震応答解析モデルは、燃料取替床レベル（3F，0.P.33.2m）より上部の鉄骨鉄筋コンクリート造の柱，はり，壁，鉄骨造の屋根トラス等を線材及び面材により立体的にモデル化した3次元FEMモデルとする。

屋根トラスは、主トラス，サブトラス，母屋及び方杖をモデル化する。各鉄骨部材は軸，曲げ変形を考慮したはり要素（トラスの上下弦材及び母屋）と軸変形のみを考慮したトラス要素（トラスの斜材，束材及び方杖）としてモデル化し，減衰を剛性比例型減衰として設定する。屋根スラブはシェル要素でモデル化し，面内剛性のみ考慮することとし，屋根トラスの応力評価に対する保守性の観点から，面外剛性については考慮しない。耐震壁及び外周はりには各々シェル要素及び軸，曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化し，耐震壁の開口部についても考慮する。柱脚の条件は固定とする。解析モデルの節点数は1424，要素数は2582である。

解析モデルの概要を図4-20に，代表例としてサブトラス下弦材の断面を図4-21に，部材リストを表4-19に示す。

なお，平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については，観測記録や試験データなどから適切に地震応答解析モデルへ反映し，保守性を確認した上で適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数は，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの地上3階及びクレーン階の値を採用し，NS方向で0.30，EW方向で0.50とする。

また，耐震補強工事で追設した部材として，内部ボックス壁と同じ構面において3階（0.P.33.2m～0.P.41.2m）には耐震壁を，クレーン階（0.P.41.2m～0.P.50.5m）には鉄骨ブレースを地震応答解析モデルに反映している。さらに，屋根トラスについては，サブトラス及び母屋の補強工事を解析モデルに反映しており，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す質点系モデルの質点重量とは条件が異なる。

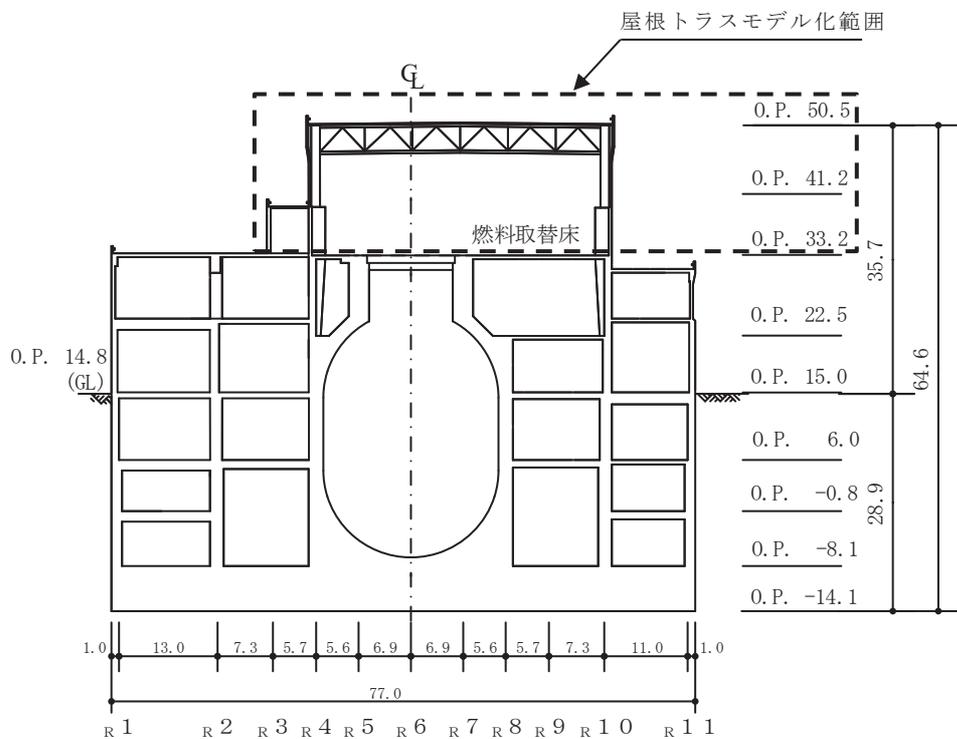
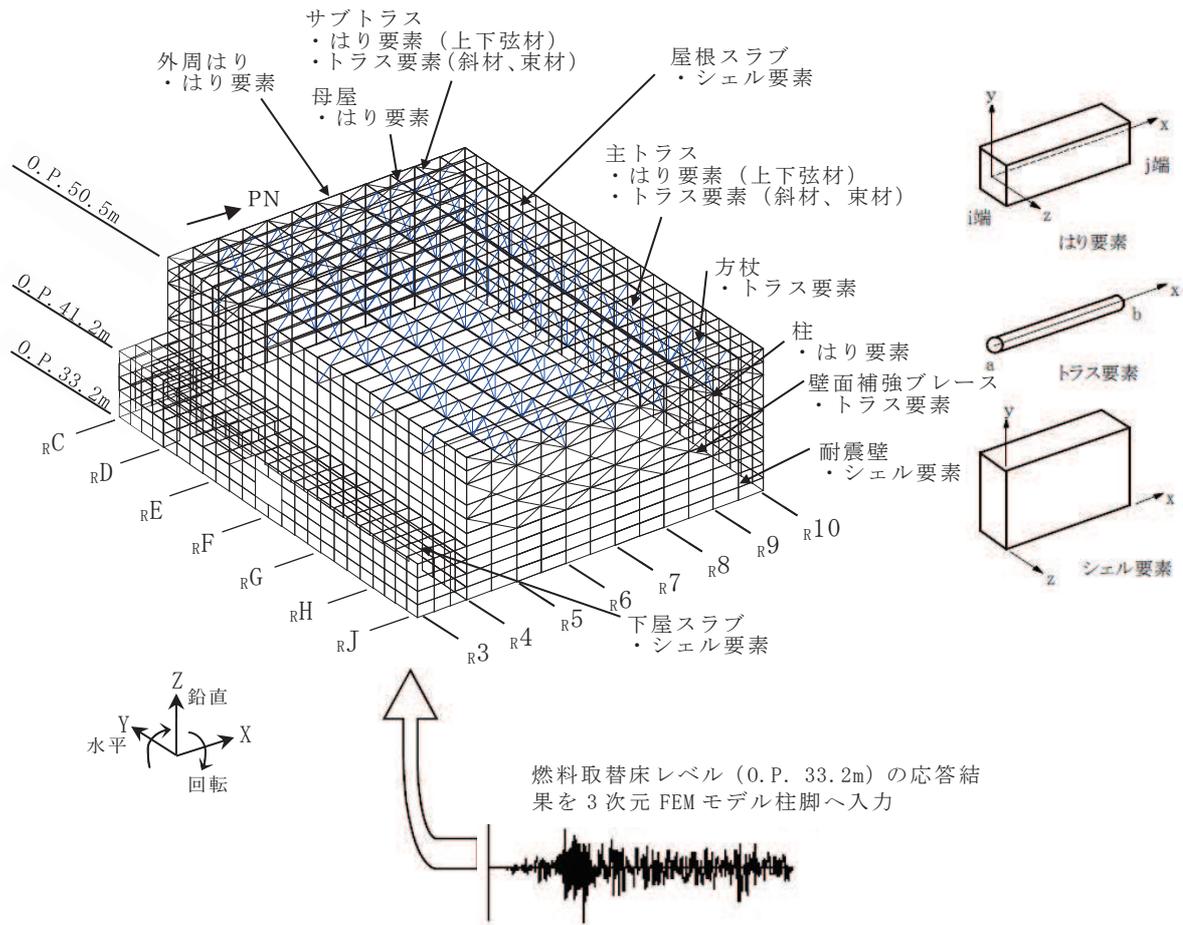
基準地震動 $S_s$ に対する評価を実施する際，屋根トラスを構成する部材の一部が弾性範囲を超える場合には，屋根トラスを構成する部材の一部に対して弾塑性特性として修正若林モデル（引用文献(1)参照）を適用する。修正若林モデルの弾塑性特性を図4-22に示す。修正若林モデルは，繰返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性ひずみの関数で表現し，実験との対応度を向上させた手法である。屋根トラス部材の弾塑性特性について表4-20に示す。

解析モデルへの入力は，原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる燃料取

替床レベル（3F，O.P. 33.2m）の応答結果を用いることとし，燃料取替床位置を固定として水平方向（並進・回転）と鉛直方向の3成分同時入力とする。

また，原子炉建屋全体の地震応答解析では，接地率が65%未満となるケースについては誘発上下動を考慮しており，屋根トラスについても当該ケースについては誘発上下動を考慮した応答を用いるものとする。

解析には，解析コード「fappase」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(単位 : m)

図 4-20 屋根トラス (燃料取替床上部フレーム) の解析モデル図と入力概要

表 4-19 部材リスト

部位		使用部材	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-350×350×12×19	SM50A (SM490A相当)	173.9	40300
	下弦材	H-350×350×12×19	SM50A (SM490A 相当)	173.9	40300
	斜材	2CTs-175×350×12×19 2CTs-150×300×10×15	SM50A (SM490A相当)	173.9 119.8	—
	束材	2CTs-100×200×8×12	SM50A (SM490A相当)	63.54	—
サブ トラス	上弦材	H-250×250×9×14	SS41 (SS400相当)	92.18	10800
	下弦材	(d1) PL-19×601+PL-25×550 +2PLs-16×344	SN490B	361.8	94790
		(d2) PL-19×601+PL-25×550 +2PLs-19×344 (図4-16参照)		382.4	96860
		(d3) CT-170×250×9×14 +BT-280×250×9×12 +2PLs-16×350 (図4-16参照)		SS41 (SS400相当) SN400B	216.9
	斜材	2Ls-130×130×9 +2Ls-150×90×12	SS41 (SS400相当)	100.2	—
		2Ls-130×130×9 +2Ls-150×150×15		131.0	
2Ls-130×130×9 +2Ls-250×90×12×16		131.4			
2Ls-90×90×10 +2Ls-250×90×10×15		108.9			
2Ls-90×90×10 +2Ls-300×90×11×16		126.4			
束材	4Ls-90×90×6	SS400	42.20	—	
母屋	上弦面	H-390×300×10×16	SS41 (SS400相当)	136.0	38700
方杖	—	2Ls-130×130×9 2Ls-90×90×10	SS400	45.48 34.00	—

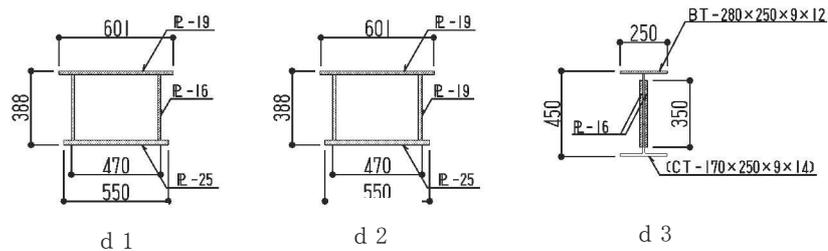


図 4-21 サブトラス下弦材の断面

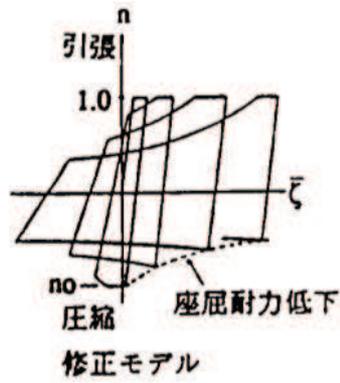


図 4-22 修正若林モデルの弾塑性特性

表 4-20 屋根トラス部材の弾塑性特性について

部位		モデル要素	弾塑性特性
主トラス	上弦材	はり要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		考慮しない (弾性)
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)
	束材		
サブトラス	上弦材	はり要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		考慮しない (弾性)
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)
	束材		
母屋	上弦面	はり要素	考慮しない (弾性)
方杖	—	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-21 に示す。耐震壁（追設耐震壁を除く）の初期剛性の設計値に対する補正係数は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの地上 3 階及びクレーン階の値を採用し、NS 方向で 0.30、EW 方向で 0.50 とする。

表 4-21 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： F <sub>c</sub> = 32.4 (N/mm <sup>2</sup> ) (F <sub>c</sub> = 330 (kgf/cm <sup>2</sup> )) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 <sup>4</sup>	1.14 × 10 <sup>4</sup>	5	既設部
鉄筋コンクリート コンクリート： F <sub>c</sub> = 33 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD345	2.52 × 10 <sup>4</sup>	1.05 × 10 <sup>4</sup>	5	追設部
鉄骨：SS41 (SS400 相当) SM50A (SM490A 相当)	2.05 × 10 <sup>5</sup>	7.90 × 10 <sup>4</sup>	2	屋根トラス
鉄骨：SN400B SN490B BCR295	2.05 × 10 <sup>5</sup>	7.90 × 10 <sup>4</sup>	2	追設ブレース

#### 4.4.4 耐震壁

##### (1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき評価する。

地震時土圧に対する地下外壁の応力解析は，図 4-23 に示すように，基礎版上端で固定，各床位置をピン支承とする一方向版として行う。

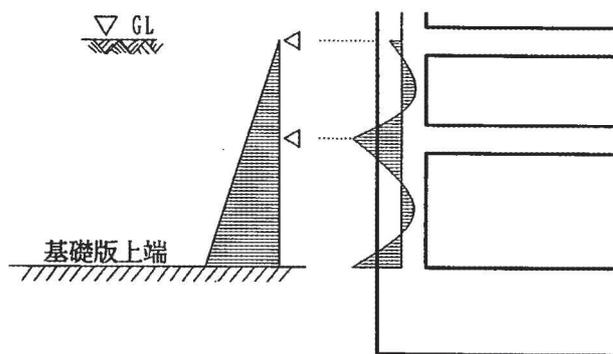


図 4-23 地下外壁の応力解析モデル

##### (2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-22 に示す。

表 4-22 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
32.4	$2.51 \times 10^4$	0.2

#### 4.5 応力評価方法

##### 4.5.1 屋根スラブ

###### a. 荷重ケース

S<sub>s</sub>地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大応答鉛直加速度は、質点系モデルにより得られた屋根面の加速度のうち、最大の加速度を採用する。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 4-23 に示す。

- G : 固定荷重  
 P : 積載荷重  
 S<sub>sUD</sub> : 地震荷重（鉛直方向）

表 4-23 最大鉛直加速度及び鉛直震度

O. P. (m)	階	ケース	最大応答 鉛直加速度 (m/s <sup>2</sup> )	鉛直震度
50.5	RF	S <sub>s</sub> -D 2 ケース 2	39.6	4.04

###### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-24 に示す。

鉛直地震力は、固定荷重及び積載荷重と同じ載荷方向となる下向き方向に作用させるものとする。

表 4-24 荷重の組合せケース（屋根スラブ）

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + 1.0 S <sub>sUD</sub>

c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定はりの曲げモーメント及びせん断力は下式より求める。

(端部曲げモーメント)

$$M = \frac{1}{12} \cdot w \cdot l^2$$

ここで,

w : 等分布荷重 (N/m)

l : スパン (m)

(端部せん断力)

$$Q = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l$$

ここで,

w : 等分布荷重 (N/m)

l : スパン (m)

#### 4.5.2 床スラブ

##### a. 荷重ケース

S<sub>s</sub>地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大鉛直加速度は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による。なお、対象とするスラブで固有振動数が20Hzを下回る部分については、共振を考慮する。共振を考慮しない場合の鉛直震度を表4-25に示す。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>SUD</sub> : 地震荷重（鉛直方向）

表4-25 最大鉛直加速度及び鉛直震度

0. P. (m)	階	ケース	最大鉛直加速度 (m/s <sup>2</sup> )	鉛直震度
41.2	CRF	S <sub>s</sub> -D3 ケース2	15.40	1.58
33.2	3F	S <sub>s</sub> -D1 ケース2	14.39	1.47
22.5	2F	S <sub>s</sub> -D1 ケース2	12.69	1.30
15.0	1F	S <sub>s</sub> -D1 ケース2	11.18	1.15
6.0	B1F	S <sub>s</sub> -D1 ケース2	8.84	0.91
-0.8	B2F	S <sub>s</sub> -D1 ケース2	7.12	0.73

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表4-26に示す。

鉛直地震力は、固定荷重と同じ載荷方向となる下向き方向に作用させるものとする。

表4-26 荷重の組合せケース（床スラブ）

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + 1.0 S <sub>SUD</sub>

## c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定はり，四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式より求める。また，等分布荷重を受ける三辺固定・一辺自由版の曲げモーメント及びせん断力は，計算図表（引用文献(2)参照）を用いて求める。FEM解析を実施した箇所では，対象スラブ範囲で発生した各要素の最大応力を用いて評価する。

（両端固定はり）

- ・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} \cdot w \cdot l^2$$

- ・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} \cdot w \cdot l^2$$

- ・ 端部せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = 0.5 \cdot w \cdot l$$

ここで，

$l$  : 有効スパン (m)

$w$  : 等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

（四辺固定版）

- ・ 短辺の端部曲げモーメント ( $M_{X1}$ )

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・ 短辺の中央部曲げモーメント ( $M_{X2}$ )

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・ 短辺のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・ 長辺の端部曲げモーメント ( $M_{Y1}$ )

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺の中央部曲げモーメント ( $M_{Y2}$ )

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_X^2$$

- ・長辺のせん断力 ( $Q_Y$ )

$$Q_Y = 0.46 \cdot w \cdot l_X$$

ここで,

$l_X$  : 短辺有効スパン (m)

$l_Y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{l_Y^4}{l_X^4 + l_Y^4} \cdot w$$

#### 4.5.3 屋根トラス

屋根トラスについては，3次元 FEM モデルを用いた地震応答解析により得られた各部材の応力を評価する。

##### a. 荷重ケース

S<sub>s</sub>地震時の応力は，次の荷重を3次元 FEM モデルに入力して求める。

荷重の記号を以下に示す。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重（燃料取替床レベルの S<sub>s</sub>地震時の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度）

##### b. 荷重の組合せケース

水平地震荷重と鉛直地震荷重は，加速度時刻歴波形を同時に入力して組み合わせる。

##### c. 荷重の入力方法

屋根面の固定荷重は面荷重として，天井クレーンは待機位置（<sub>R</sub>J 通り側）にあるものとし，その重量は対応する節点に集中荷重として入力する。

地震荷重は，図 4-3～図 4-8 に示した加速度時刻歴波形を3次元 FEM モデルの脚部に入力する。

#### 4.5.4 耐震壁

##### (1) 地震時面内せん断応力度

地震荷重に対する耐震壁の面内せん断力に対して，耐震壁の有効せん断断面積により面内せん断応力度を評価する。

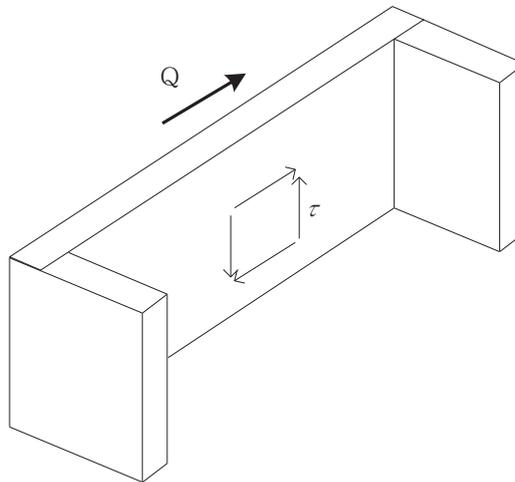
$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで，

$\tau$  : 面内せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 面内せん断力 (N)

$A_s$  : 有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)



(2) 地震時曲げモーメント及び軸力

a. 鉄筋比により評価する場合

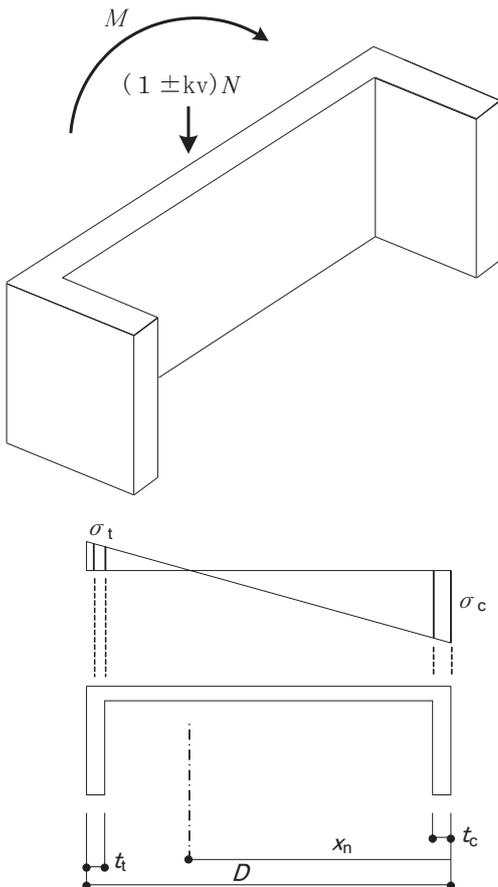
地震時曲げモーメント及び軸力に対して，耐震壁の有効断面 2 次モーメントにより軸方向応力度を評価する。鉛直荷重に対しては，鉛直震度を考慮する。

$$\sigma_c = (1 + k v) \sigma_o + \frac{M}{I} (\chi_n - t_c) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 + k v) \sigma_o + \frac{M}{I} \chi_n \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$

$$\sigma_t = (1 - k v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - \chi_n - t_t) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 - k v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - \chi_n - \frac{t_t}{2}) \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$



ここで，

$\sigma_c$  : 軸方向最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  : 軸方向最大引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_o$  : 鉛直荷重による平均軸圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 地震時曲げモーメント (kN・m)

N : 長期軸力 (kN)

I : 耐震壁の断面 2 次モーメント (m<sup>4</sup>)

$\chi_n$  : 曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離 (m)

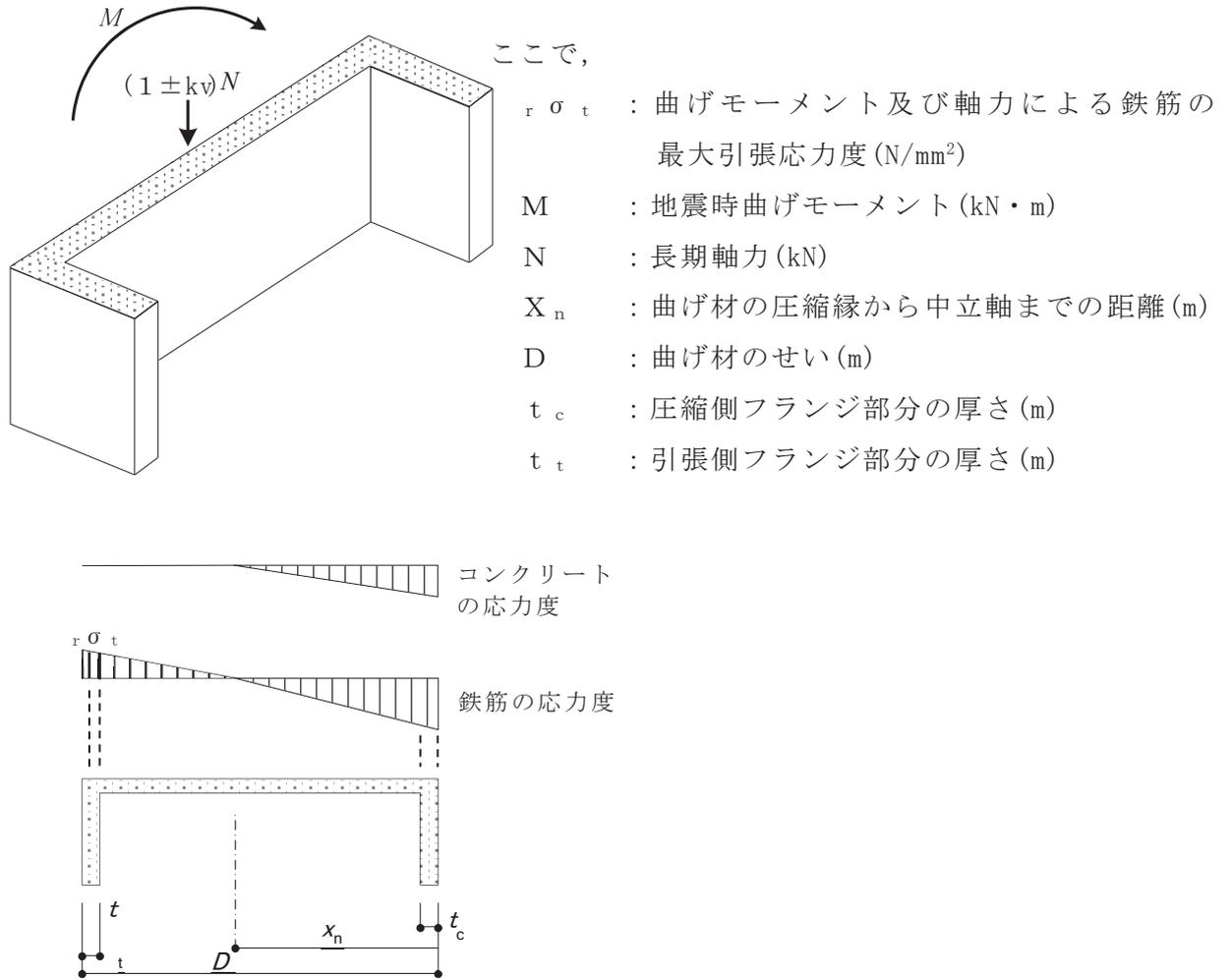
D : 曲げ材のせい (m)

$t_c$  : 圧縮側フランジ部分の厚さ (m)

$t_t$  : 引張側フランジ部分の厚さ (m)

b. 応力度により評価する場合

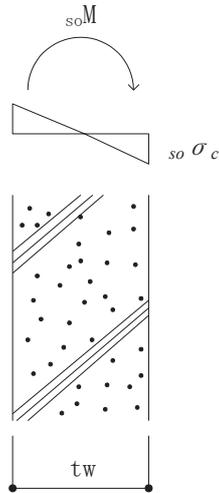
鉄筋比により健全性が確認できなかった場合、「RC-N規準 14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて地震時曲げモーメント及び軸力に対する耐震壁の鉄筋の応力度を評価する。なお、鉛直荷重に対しては、鉛直震度を考慮する。



(3) 地震時土圧による面外応力度

耐震壁で地震時土圧による面外曲げモーメントの生じる部分については、下式によりそれぞれコンクリートの最大圧縮応力度及び鉄筋の最大引張応力度を評価する。

$$s_o \sigma_c = \frac{s_o M}{Z}$$



ここで、

$s_o \sigma_c$  : コンクリートの最大圧縮応力度

$s_o M$  : 土圧による面外曲げモーメント

$Z$  : 単位幅あたりの壁の面外断面係数

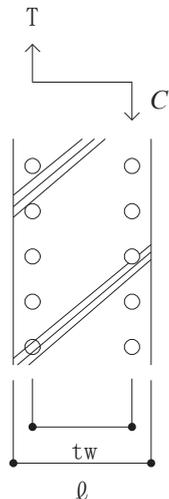
$$\left( = \frac{b \cdot t_w^2}{6} \right)$$

$b$  : 単位幅

$t_w$  : 壁の厚さ

$$a_t = \frac{s_o M}{f_t \cdot \ell}$$

$$P_{s_o} = \frac{2}{b} \cdot \frac{a_t}{t_w}$$



ここで、

$a_t$  : 片側必要鉄筋断面積

$\ell$  : 鉄筋の重心間距離

$f_t$  : 鉄筋の許容引張応力度

$b$  : 耐震壁の幅

$P_{s_o}$  : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比

## 4.6 断面の評価方法

### 4.6.1 屋根スラブ

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

#### a. 曲げモーメント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、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

#### 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、評価対象箇所が生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 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。)

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

ここで、

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)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度で, 表 4-7 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で, 表 4-8 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $p_w$  : せん断補強筋比で, 次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$x$  : 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。

(なお, 屋根スラブには, 面外せん断補強筋は入っていない。)

#### 4.6.2 床スラブ

床スラブの評価対象箇所は, 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設), 2 次しゃへい壁及び補助しゃへいの範囲の床スラブとし, 断面の評価は以下の方法で行う。

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し, 各許容限界を超えないことを確認する。

##### a. 曲げモーメント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, 次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が, 許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで,

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

$j$  : 断面の応力中心距離で, 断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

##### 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, 評価対象箇所に生じる面外せん断力が, 次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで,

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

- b : 断面の幅 (mm)  
 j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)  
 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。)

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

- 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)  
 f<sub>s</sub> : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-7 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 w f<sub>t</sub> : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-8 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 p<sub>w</sub> : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- a<sub>w</sub> : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 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。  
 (なお、床スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

#### 4.6.3 屋根トラス

断面の評価は以下の方法で行う。

3次元 FEM モデルの時刻歴地震応答解析により各部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認する。

地震時に生じる軸力及び曲げモーメントに対する断面検定について、下式を用いて行う。ただし、主トラス、サブトラスの斜材、束材及び方杖は軸応力度のみ評価する。なお、主トラス上下弦材の弱軸周りの曲げモーメントはサブトラスが直交方向の変形を拘束しているため考慮しない。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここに、 $\sigma_c$  : 地震時における部材の軸応力度

$\sigma_b$  : 地震時における部材の曲げ応力度

$f_c$  : 圧縮応力度に対する許容値\*

$f_b$  : 曲げ応力度に対する許容値\*

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここに、 $\sigma_t$  : 地震時における部材の軸応力度

$\sigma_b$  : 地震時における部材の曲げ応力度

$f_t$  : 引張応力度に対する許容値\*

$f_b$  : 曲げ応力度に対する許容値\*

注記\* : 「建設省告示第 2464 号」に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。

#### 4.6.4 耐震壁

耐震壁の断面評価の評価フローを図 4-24 に示す。

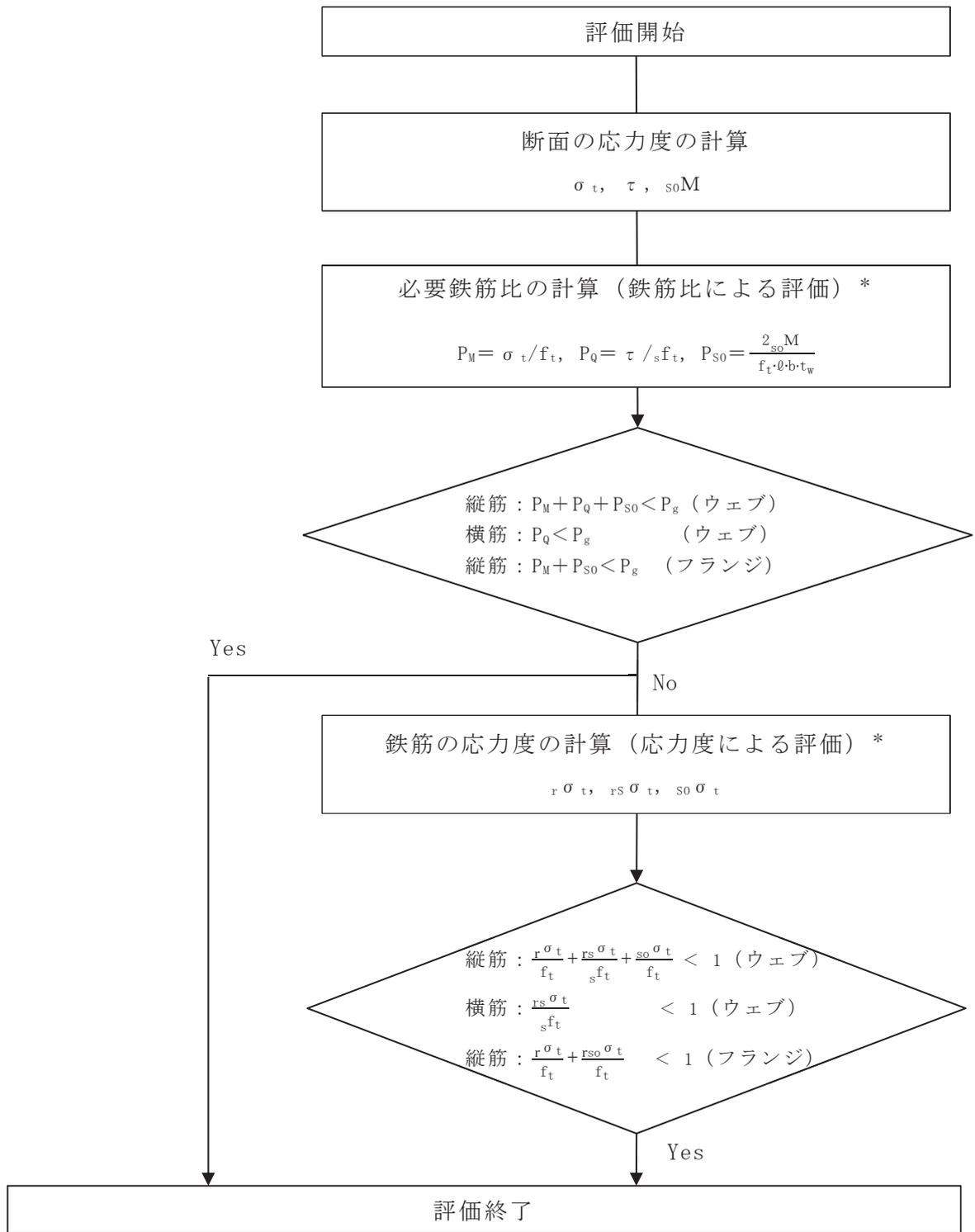
ここで、図中の記号は以下による。

- $\sigma_t$  : 軸方向最大引張応力度
- $\tau$  : 面内せん断応力度
- ${}_s\sigma_t$  : 土圧による鉄筋の最大引張応力度
- $f_t$  : 鉄筋の許容引張応力度
- ${}_s f_t$  : 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度
- $P_g$  : 設計鉄筋比
- $P_Q$  : 面内せん断力による必要鉄筋比
- $P_{SO}$  : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比
- $P_M$  : 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比
- ${}_sOM$  : 土圧による面外曲げモーメント
- ${}_r\sigma_t$  : 曲げモーメント及び軸力による鉄筋の最大引張応力度
- ${}_{rs}\sigma_t$  : 面内せん断力による鉄筋の最大引張応力度
- $b$  : 耐震壁の幅
- $t_w$  : 耐震壁の厚さ
- $\ell$  : 鉄筋の重心間距離

耐震壁の断面評価は、「4.5 応力評価方法」に示す方法により地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに土圧による面外応力度によってそれぞれ計算される必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を上回る場合には、地震時曲げモーメント及び軸力に対して、RC-N規準 14 条「柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて鉄筋の応力度を算定し、地震時面内せん断応力度及び地震時土圧による面外応力度を組み合わせた応力度が鉄筋の許容応力度を超えないことを確認する。

各部の評価において考慮する応力度は次の通りとする。ウェブの評価においては、地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに常時土圧による面外応力度を考慮するものとする。フランジにおいては、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに地震時土圧による面外応力度を考慮するものとする。なお、フランジのうちウェブと交差する箇所は、地震時面内せん断応力度も考慮するものとする。



注記\* : 「4.5.4 耐震壁」による。

図 4-24 耐震壁の評価フロー

## 5. 地震応答解析による評価結果

### 5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 $S_s$ 地震時の各層の最大応答せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは  $1.62 \times 10^{-3}$  (NS 方向, IW-J 部,  $S_s - F 3$ , ケース 5) であり, 許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。各階の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 及び表 5-2 に示す。各表において, 最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトンカーブ上にプロットした図を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ (NS 方向)

要素番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )	要素番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
(1)	0.59	2.0	(17)	0.40	2.0
(2)	0.74		(18)	1.48	
(3)	0.68		(19)	1.51	
(4)	0.49		(20)	0.74	
(5)	0.65		(21)	0.96	
(6)	1.33		(22)	0.77	
(7)	1.62		(23)	0.52	
(8)	0.59		(24)	0.88	
(9)	0.78		(25)	0.72	
(10)	0.76		(26)	0.83	
(11)	0.55		(27)	0.77	
(12)	0.68		(28)	0.52	
(13)	0.16		(29)	0.79	
(14)	0.38		(32)	1.54	
(15)	0.41		(34)	1.43	
(16)	0.76				

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示

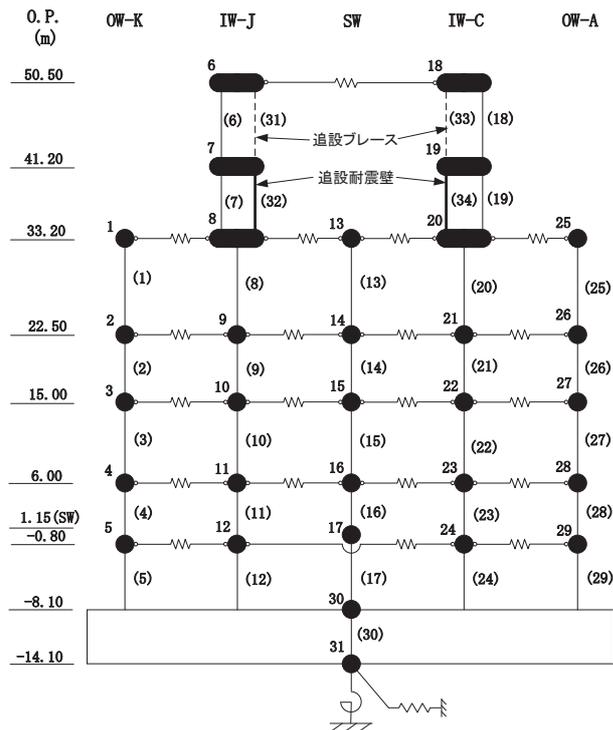
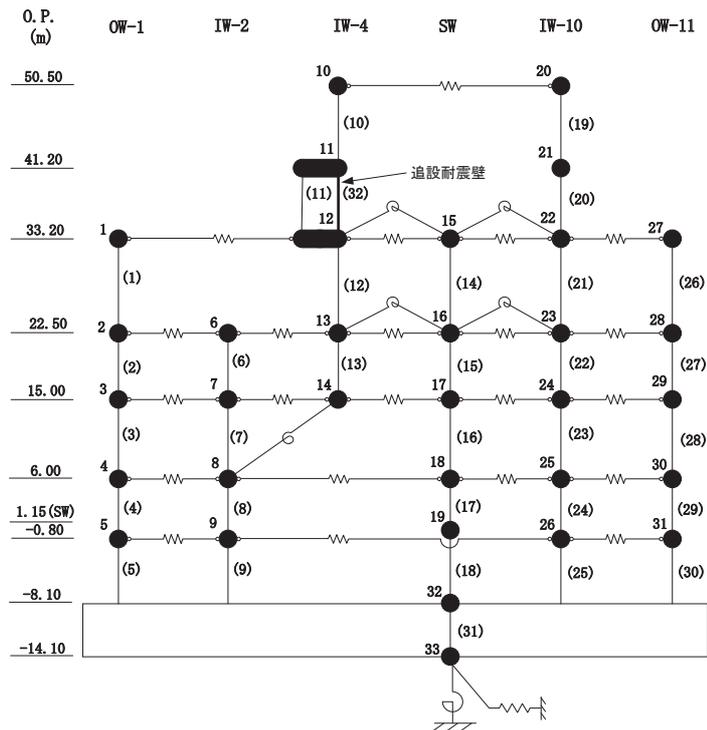
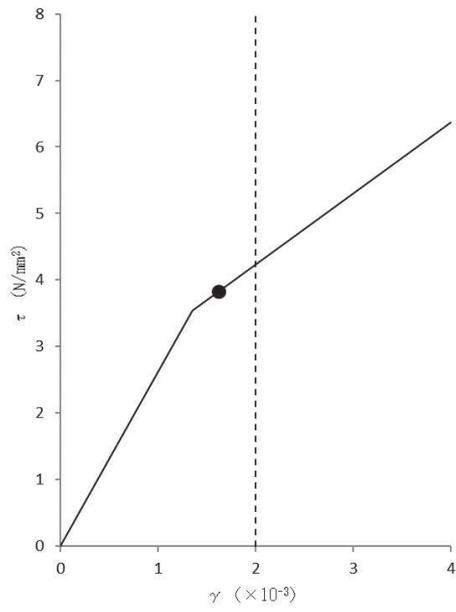


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ (EW 方向)

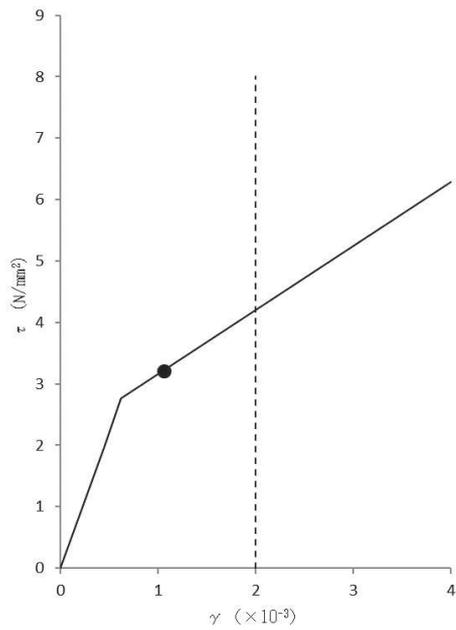
要素番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )	要素番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
(1)	0.57	2.0	(17)	0.78	2.0
(2)	0.56		(18)	0.41	
(3)	0.71		(19)	1.06	
(4)	0.50		(20)	0.97	
(5)	0.64		(21)	0.51	
(6)	0.44		(22)	0.77	
(7)	0.77		(23)	0.66	
(8)	0.52		(24)	0.50	
(9)	0.68		(25)	0.72	
(10)	0.87		(26)	0.56	
(11)	0.98		(27)	0.77	
(12)	0.42		(28)	0.60	
(13)	0.50		(29)	0.52	
(14)	0.21		(30)	0.67	
(15)	0.39		(32)	0.97	
(16)	0.61				

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示





(a) NS 方向 (S s - F 3, ケース 5, 要素番号(7))



(b) EW 方向 (S s - F 3, ケース 5, 要素番号(19))

図 5-1 せん断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ

6. 応力解析による評価結果

6.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価結果を表 6-1 に示す。

屋根スラブについては，S s 地震時において，曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-1 評価結果（屋根スラブ）

O.P. (m)		50.5
厚さ t (mm)		170
有効せい d (mm)		106
配筋 (鉄筋断面積)		D16@200 (995mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	25.1
	鉄筋応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	272
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.79
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	42.6
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (kN/m)	112.2
	検定値	0.38
判定		可

## 6.2 床スラブの評価結果

床スラブの評価結果を表 6-2 に示す。

S s 地震時において、曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-2 評価結果 (床スラブ)

O.P. (m)		15.0
厚さ t (mm)		500
有効せい d (mm)		431
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D19@200 (1435mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D19@200 (1435mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	132
	鉄筋応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	244
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.71
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	322
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	2.00
	許容限界 (kN/m)	912
	検定値	0.36
判定		可

### 6.3 屋根トラスの評価結果

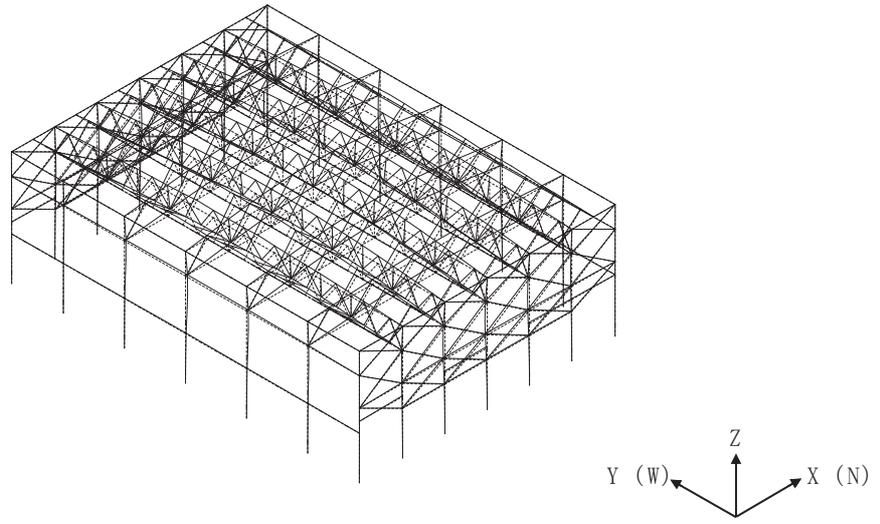
#### 6.3.1 固有値解析結果

屋根トラスの固有値解析結果を表 6-3 及び図 6-3 に示す。

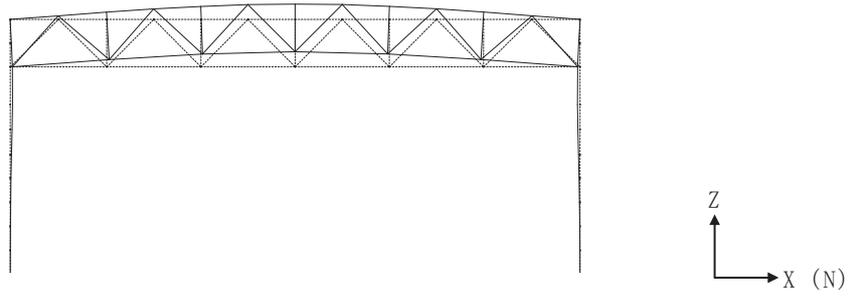
1 次固有振動数は鉛直方向で 3.60Hz, 水平方向で 6.16Hz (EW 方向), 6.64Hz (NS 方向) となる。

表 6-3 固有値解析結果

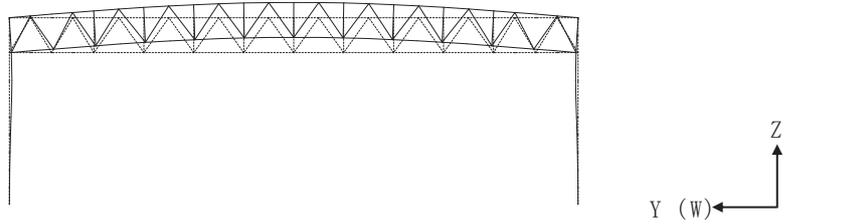
次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			水平方向 (NS)	水平方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	
1	3.60	0.278	0.011	0.005	1.567	鉛直方向1次
2	5.65	0.177	0.101	-0.148	0.005	
3	6.07	0.165	0.953	-0.008	0.028	
4	6.16	0.162	-0.055	-1.527	0.012	EW方向1次
5	6.40	0.156	-0.150	-0.366	-0.051	
6	6.43	0.156	-0.096	-0.023	0.151	
7	6.58	0.152	0.458	-1.190	-0.016	
8	6.61	0.151	-1.606	-0.733	-0.042	
9	6.64	0.151	-3.310	0.227	-0.036	NS方向1次
10	6.71	0.149	-1.515	-0.121	-0.019	



(a) 鳥瞰図

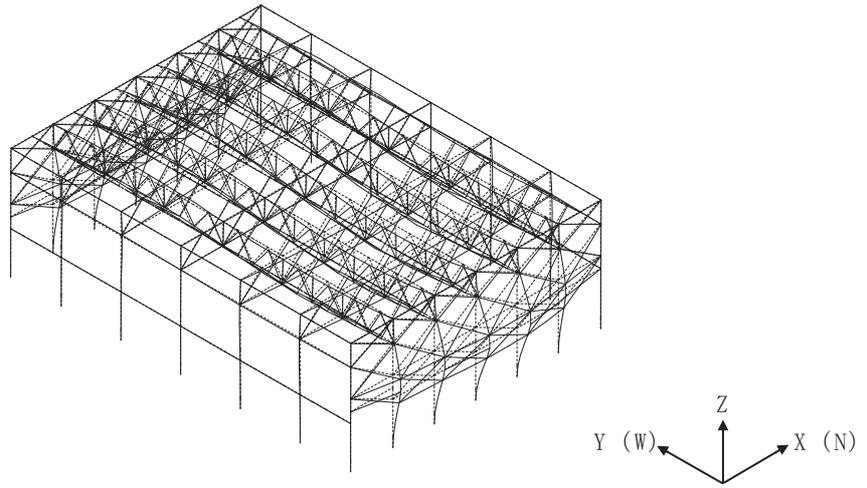


(b) XZ 面

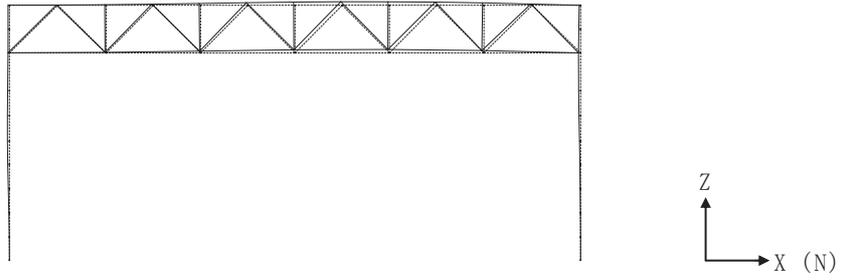


(c) YZ 面

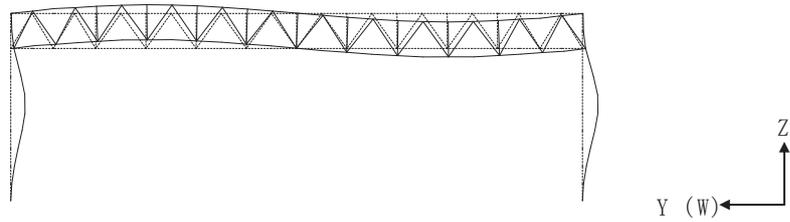
図 6-3(1) 固有モード図  
(鉛直方向 1 次)



(a) 鳥瞰図

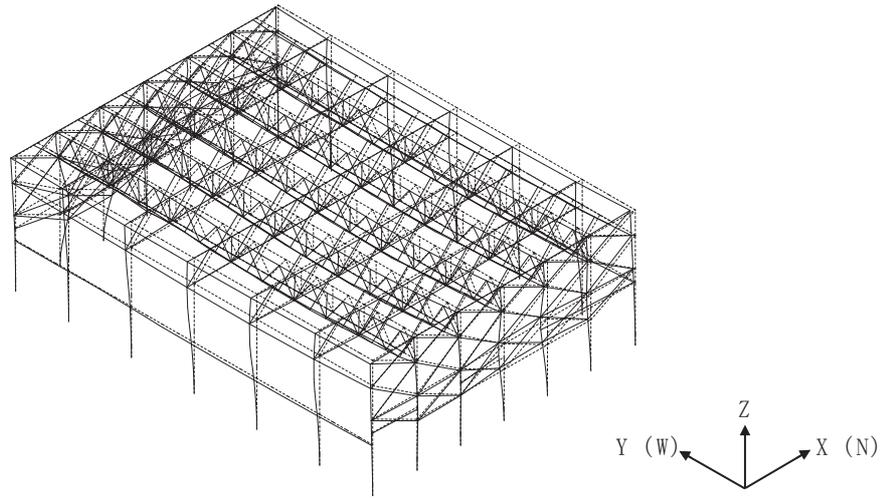


(b) XZ 面

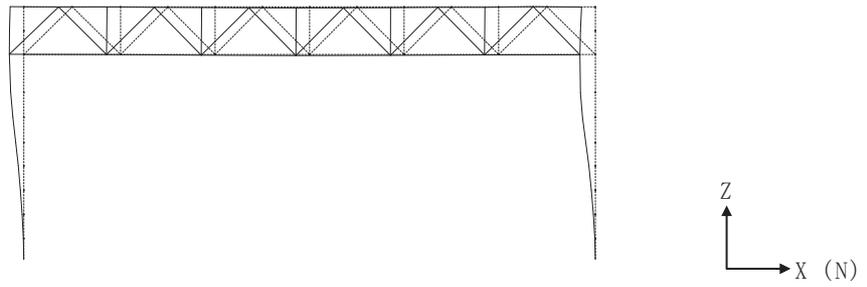


(c) YZ 面

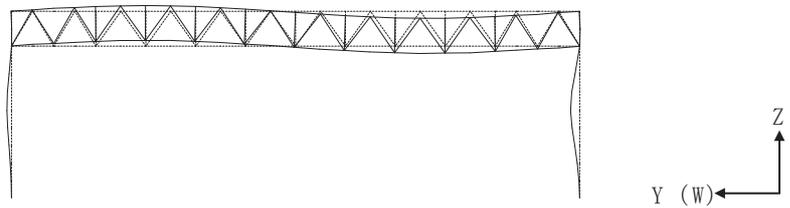
図 6-3(2) 固有モード図  
(EW 方向 1 次)



(a) 鳥瞰図



(b) XZ 面



(c) YZ 面

図 6-3(3) 固有モード図  
(NS 方向 1 次)

### 6.3.2 断面の評価結果

屋根トラスの各部材の断面算定結果を表 6-4～表 6-7 に示す。

屋根トラスの各部材における発生応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-4(1) 断面算定結果 (主トラス :  $R_E$  通り)

部材 (種類)		上弦材	
位置		$R_4$ 通り $R_5$ 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	H-350×350×12×19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		765	78.7
M (kN・m)		120	120
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	44.0	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	4.53
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	52.2	52.2
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	357
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.28 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.17 (<1.0)	
判定		可	可

表 6-4(2) 断面算定結果 (主トラス :  $R_F$  通り)

部材 (種類)		下弦材	
位置		$R_6$ 通り $R_7$ 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	H-350×350×12×19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		4350	981
M (kN・m)		58.2	58.2
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	250	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	56.4
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	25.3	25.3
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	280
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.79 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.29 (<1.0)	
判定		可	可

表 6-4(3) 断面算定結果 (主トラス :  $R_E$  通り)

部材 (種類)		斜材	
位置		$R_4$ 通り $R_5$ 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	2CTs - 175 × 350 × 12 × 19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		126	3170
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	7.25	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	182
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	300
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.03 (< 1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.61 (< 1.0)
判定		可	可

表 6-4(4) 断面算定結果 (主トラス :  $R_G$  通り)

部材 (種類)		束材	
位置		$R_7$ 通り	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	2CTs - 100 × 200 × 8 × 12	
	種別	SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		132	290
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	20.8	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	45.6
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	262
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.06 (< 1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.18 (< 1.0)
判定		可	可

表 6-5(1) 断面算定結果 (サブトラス :  $r_9$  通り)

部材 (種類)		上弦材	
位置		$r_E$ 通り $r_F$ 通り間	
ケース		S s - D 2 , ケース 2	
鉄骨断面	部材	H-250×250×9×14	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		35.9	174
M (kN・m)		117	117
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.89	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	18.9
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	135	135
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	258
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.55 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.61 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(2) 断面算定結果 (サブトラス :  $r_7$  通り)

部材 (種類)		下弦材	
位置		$r_D$ 通り $r_E$ 通り間	
ケース		S s - D 2 , ケース 2	
鉄骨断面	部材	PL-19×601+PL-25×550+2PL-19×344	
	種別	SN490B	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		6170	2350
M (kN・m)		341	341
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	180	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	68.6
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	84.6	84.6
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	353
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.75 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.44 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(3) 断面算定結果 (サブトラス :  $r_7$  通り)

部材 (種類)		斜材	
位置		$r_H$ 通り $r_J$ 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	2Ls - 90×90×10 + 2Ls - 250×90×10×15	
	種別	SS41(SS400 相当), SS400	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		577	1950
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	53.0	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	179
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	226
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.21 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.80 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(4) 断面算定結果 (サブトラス :  $r_7$  通り)

部材 (種類)		束材	
位置		$r_G$ 通り $r_H$ 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	4Ls - 90×90×6	
	種別	SS400	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		117	209
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	27.7	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	49.5
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	219
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.11 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.23 (<1.0)
判定		可	可

表 6-6 断面算定結果（母屋：<sub>R</sub>9 通り <sub>R</sub>10 通り間）

部材（種類）		母屋	
位置		<sub>R</sub> G 通り <sub>R</sub> H 通り間	
ケース		S s - D 1, ケース 2	
鉄骨断面	部材	H-390×300×10×16	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		46.3	99.9
M (kN・m)		350	350
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.40	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	7.35
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	177	177
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	258
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.71 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.72 (<1.0)	
判定		可	可

表 6-7 断面算定結果（方杖：<sub>R</sub>H 通り <sub>R</sub>J 通り間）

部材（種類）		方杖	
位置		<sub>R</sub> 9 通り <sub>R</sub> 10 通り間	
ケース		S s - D 2, ケース 2	
鉄骨断面	部材	2Ls-130×130×9	
	種別	SS400	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		274	472
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	60.2	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	104
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	156
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.24 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.67 (<1.0)	
判定		可	可

#### 6.4 耐震壁の評価結果

耐震壁の評価結果を表 6-8 に示す。対象部位において、応力度による評価を実施した結果、S s 地震時に曲げモーメント及び軸力並びに面内せん断力により生じる鉄筋応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-8 評価結果 (2 階)

O. P. (m)		22.5~33.2
壁位置 (通り)		R10
壁厚 (mm)		1000
せん断断面積 (m <sup>2</sup> )		53.00
配筋	縦筋配筋	4-D29@200
	縦筋設計鉄筋比 P <sub>g</sub> (%)	1.284
	横筋配筋	2-D29@200 2-D29@400
	横筋設計鉄筋比 P <sub>g</sub> (%)	0.963
せん断に対する検討	せん断力 Q (×10 <sup>4</sup> kN)	12.4
	鉄筋応力度 r <sub>s</sub> σ <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	195
	許容限界 s f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	345
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (×10 <sup>5</sup> kN・m)	32.1
	軸力 N (×10 <sup>3</sup> kN)	36.1
	鉄筋応力度 rσ <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	135
	許容限界 f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	345
rσ <sub>t</sub> /f <sub>t</sub> + r <sub>s</sub> σ <sub>t</sub> /s f <sub>t</sub>		0.96
判定		可

## 7. 引用文献

- (1) 谷口ほか「鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究」(日本建築学会構造工学論文集, Vol. 37B 号, 1991 年 3 月, pp303-316)
- (2) 「鉄筋コンクリート構造計算用資料集」( (社)日本建築学会, 2002 年)

別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書

## 目 次

(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書.....	別紙 1- 1
1. 概要.....	別紙 1- 2
2. 基本方針.....	別紙 1- 3
2.1 位置.....	別紙 1- 3
2.2 構造概要.....	別紙 1- 5
2.3 評価方針.....	別紙 1- 8
2.4 適用規格・基準等.....	別紙 1-10
3. 解析方法.....	別紙 1-11
3.1 設計に用いる地震波.....	別紙 1-11
3.2 地震応答解析モデル.....	別紙 1-12
3.3 入力地震動.....	別紙 1-16
3.4 解析方法.....	別紙 1-39
3.4.1 動的解析.....	別紙 1-39
3.4.2 静的解析.....	別紙 1-39
3.4.3 必要保有水平耐力.....	別紙 1-40
3.5 解析条件.....	別紙 1-41
3.5.1 建物・構築物の復元力特性.....	別紙 1-41
3.5.2 材料物性の不確かさ.....	別紙 1-49
4. 解析結果.....	別紙 1-52
4.1 動的解析.....	別紙 1-52
4.1.1 固有値解析結果.....	別紙 1-52
4.1.2 応答解析結果.....	別紙 1-52
4.2 静的解析.....	別紙 1-66
4.3 必要保有水平耐力.....	別紙 1-67

(Ⅱ) 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書.....	別紙 1- 68
1. 概要.....	別紙 1- 69
2. 基本方針.....	別紙 1- 70
2.1 位置.....	別紙 1- 70
2.2 構造概要.....	別紙 1- 72
2.3 評価方針.....	別紙 1- 79
2.4 適用規格・基準等.....	別紙 1- 83
3. 地震応答解析による評価方法.....	別紙 1- 84
4. 応力解析による評価方法.....	別紙 1- 87
4.1 評価対象部位及び評価方針.....	別紙 1- 87
4.1.1 耐震壁.....	別紙 1- 88
4.1.2 屋根スラブ.....	別紙 1- 89
4.1.3 フレーム構造部（扉部）.....	別紙 1- 90
4.2 荷重及び荷重の組合せ.....	別紙 1- 91
4.2.1 耐震壁.....	別紙 1- 91
4.2.2 屋根スラブ.....	別紙 1- 92
4.2.3 フレーム構造部（扉部）.....	別紙 1- 93
4.3 許容限界.....	別紙 1- 94
4.4 解析モデル及び諸元.....	別紙 1- 98
4.4.1 耐震壁.....	別紙 1- 98
4.4.2 屋根スラブ.....	別紙 1-100
4.4.3 フレーム構造部（扉部）.....	別紙 1-101
4.5 評価方法.....	別紙 1-103
4.5.1 応力解析方法.....	別紙 1-103
4.5.2 断面の評価方法.....	別紙 1-109
5. 地震応答解析による評価結果.....	別紙 1-112
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果.....	別紙 1-112
5.1.1 S s 地震時.....	別紙 1-112
5.2 フレーム構造部（一般部）.....	別紙 1-113
5.2.1 S s 地震時.....	別紙 1-113
5.3 保有水平耐力.....	別紙 1-114
6. 応力解析による評価結果.....	別紙 1-115
6.1 耐震壁の評価結果.....	別紙 1-115
6.2 屋根スラブの評価結果.....	別紙 1-118
6.3 フレーム構造部（扉部）の評価結果.....	別紙 1-120

( I ) 大物搬入口躯体の地震応答計算書

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」及び添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく大物搬入口躯体の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値及び静的地震力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物の設計用地震力として用いる。また、必要保有水平耐力については建物・構築物の構造強度の確認に用いる。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

大物搬入口躯体は、原子炉建屋の一部を構成している。大物搬入口躯体を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に、原子炉建屋における大物搬入口躯体の設置位置を図 2-2 に示す。

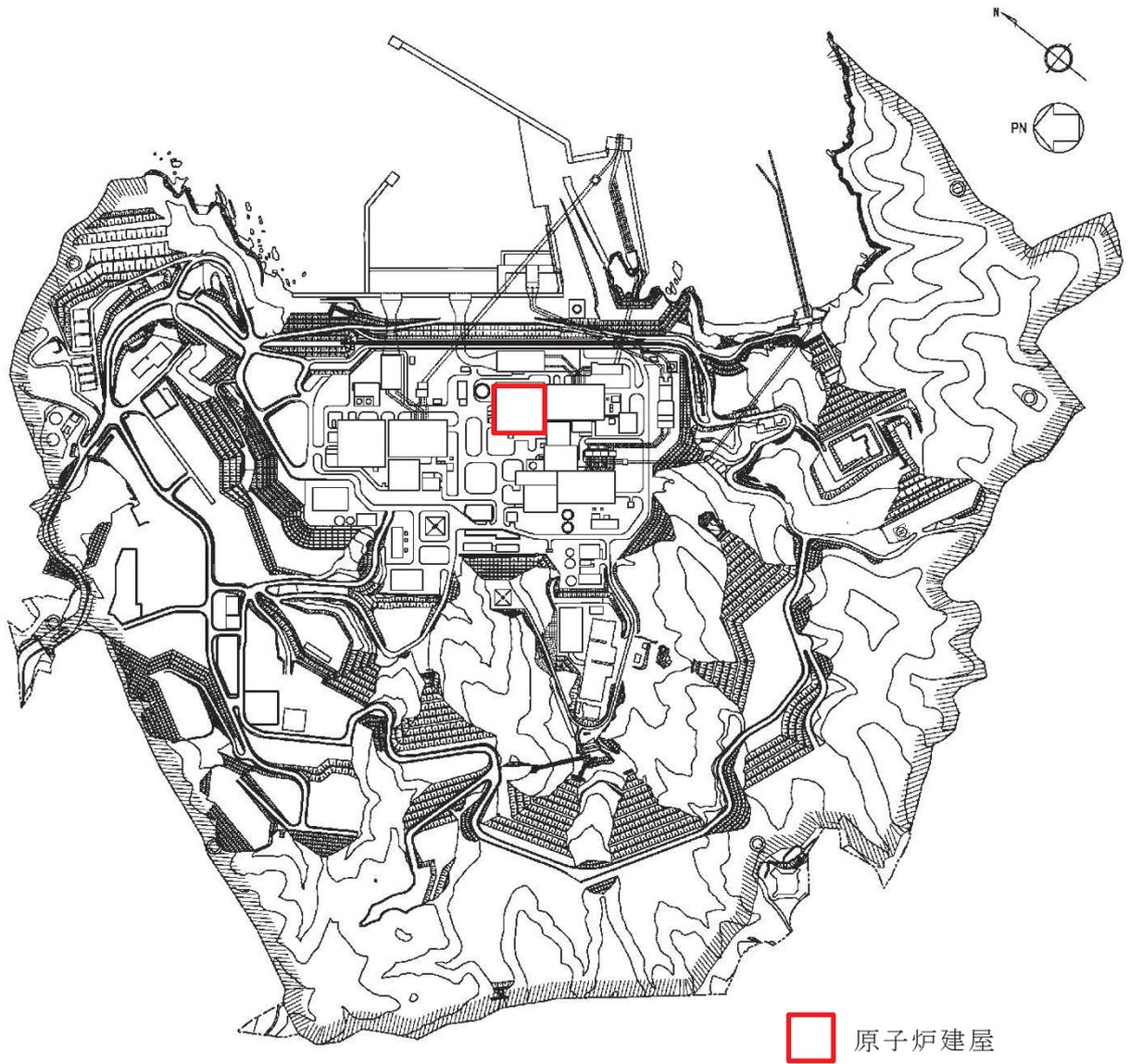
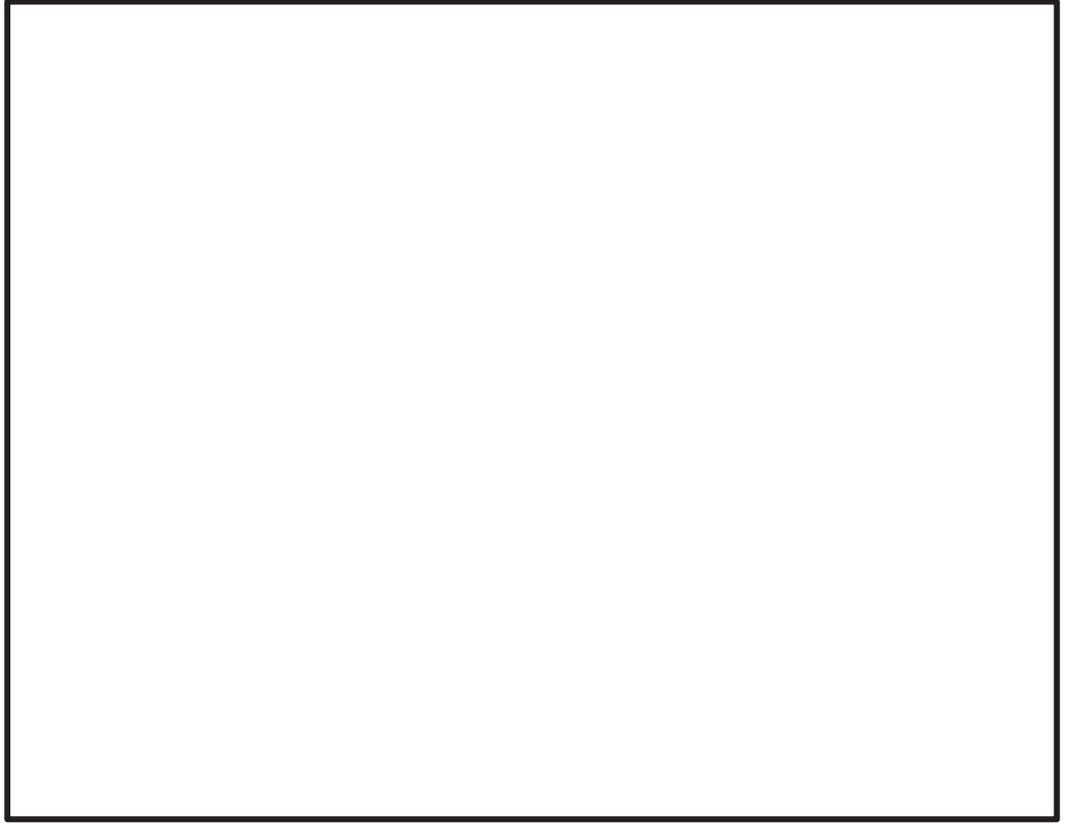


図 2-1 原子炉建屋の設置位置



O. P. 15. 0m

図 2-2 大物搬入口躯体の設置位置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造概要

大物搬入口躯体は、原子炉建屋 1 階の北側に位置し、基礎スラブ、耐震壁及び屋根スラブからなる箱型の鉄筋コンクリート構造物である。地上高さは 8.1m であり、平面は長さ 12.2m (NS 方向) × 幅 11.5m (EW 方向)\* である。

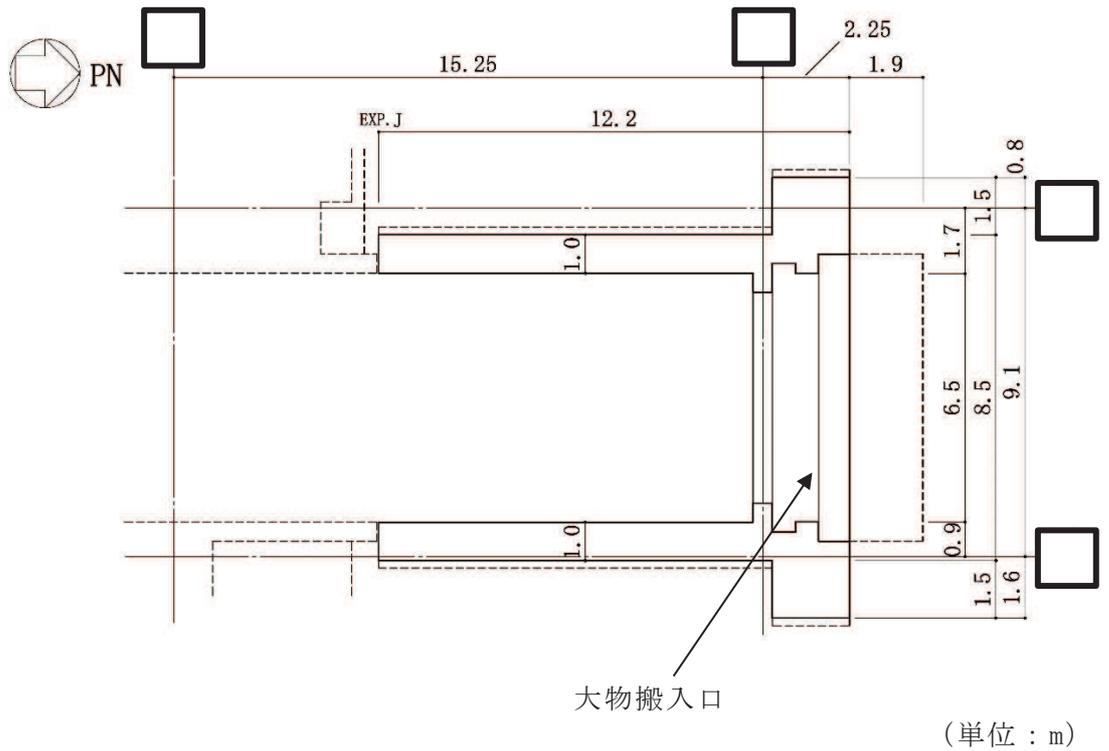
建屋の構造は鉄筋コンクリート造であり、その主たる耐震要素は耐震壁である。

大物搬入口躯体の基礎は、厚さ 2.0m のべた基礎で、原子炉建屋の支持地盤上に配置されたマンメイドロック上に設置されており、原子炉建屋と一体化している。また、耐震壁及び屋根スラブは原子炉建屋とエキスパンションジョイント（以下「EXP. J」という。）を介して接続しており、構造的に分離している。なお、大物搬入口躯体については、耐震性向上の観点から、耐震補強を行うこととし、耐震補強を考慮した評価を行う。耐震補強は、既存耐震壁及び屋根スラブの増厚、大物搬入口周囲の柱・はりフレームの構築により行う。

地震力に対しては、NS 方向では東西に設置されている耐震壁（面内方向）を主な耐震要素として、EW 方向では同耐震壁（面外方向）及び屋根スラブで構成されるフレームを主な耐震要素として設計している。また、大物搬入口取付部は、柱及びはりによるフレーム構造としている。

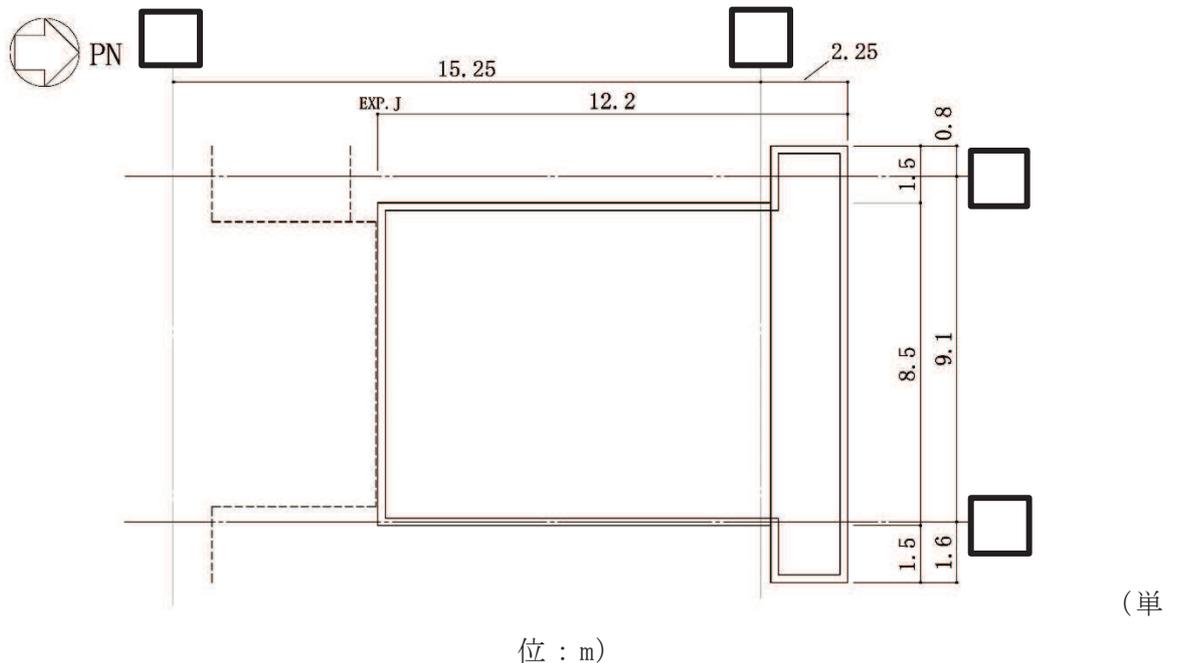
大物搬入口躯体の概略平面図及び概略断面図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。

注記\*：寸法は壁外面押えとする。



注：破線は基礎スラブ及び原子炉建屋の外形を示す。

図 2-3(1) 大物搬入口躯体の概略平面図 (1F, O.P. \* 15.0m)

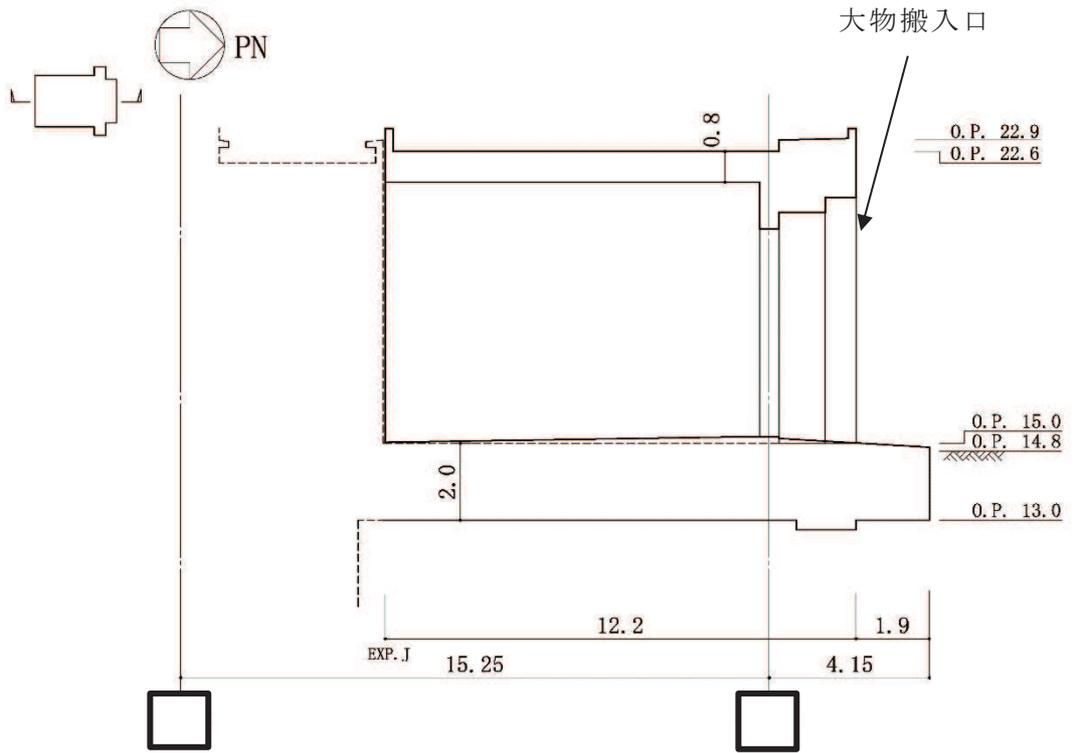


注：破線は基礎スラブ及び原子炉建屋の外形を示す。

図 2-3(2) 大物搬入口躯体の概略平面図 (RF, O.P. \* 22.6m)

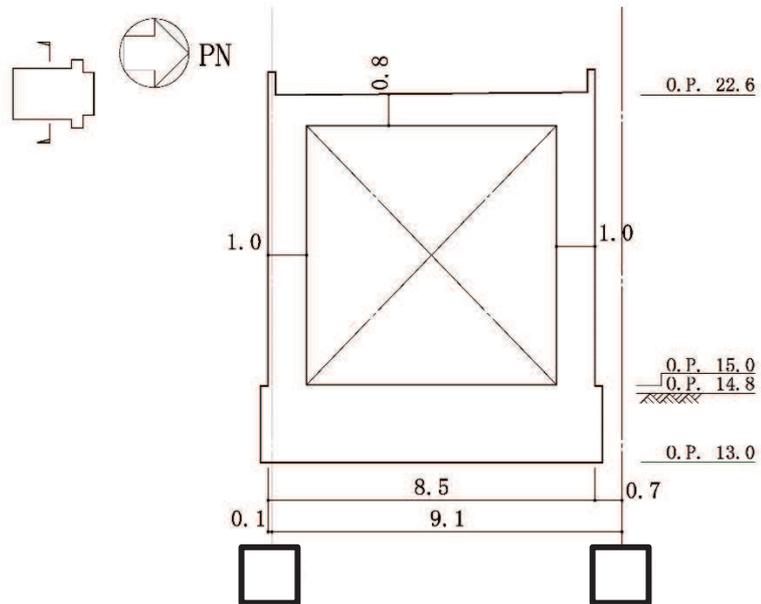
注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.) - 0.74m である。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位 : m)

図 2-4(1) 大物搬入口躯体の概略断面図 (NS 方向)



(単位 : m)

図 2-4(2) 大物搬入口躯体の概略断面図 (EW 方向)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

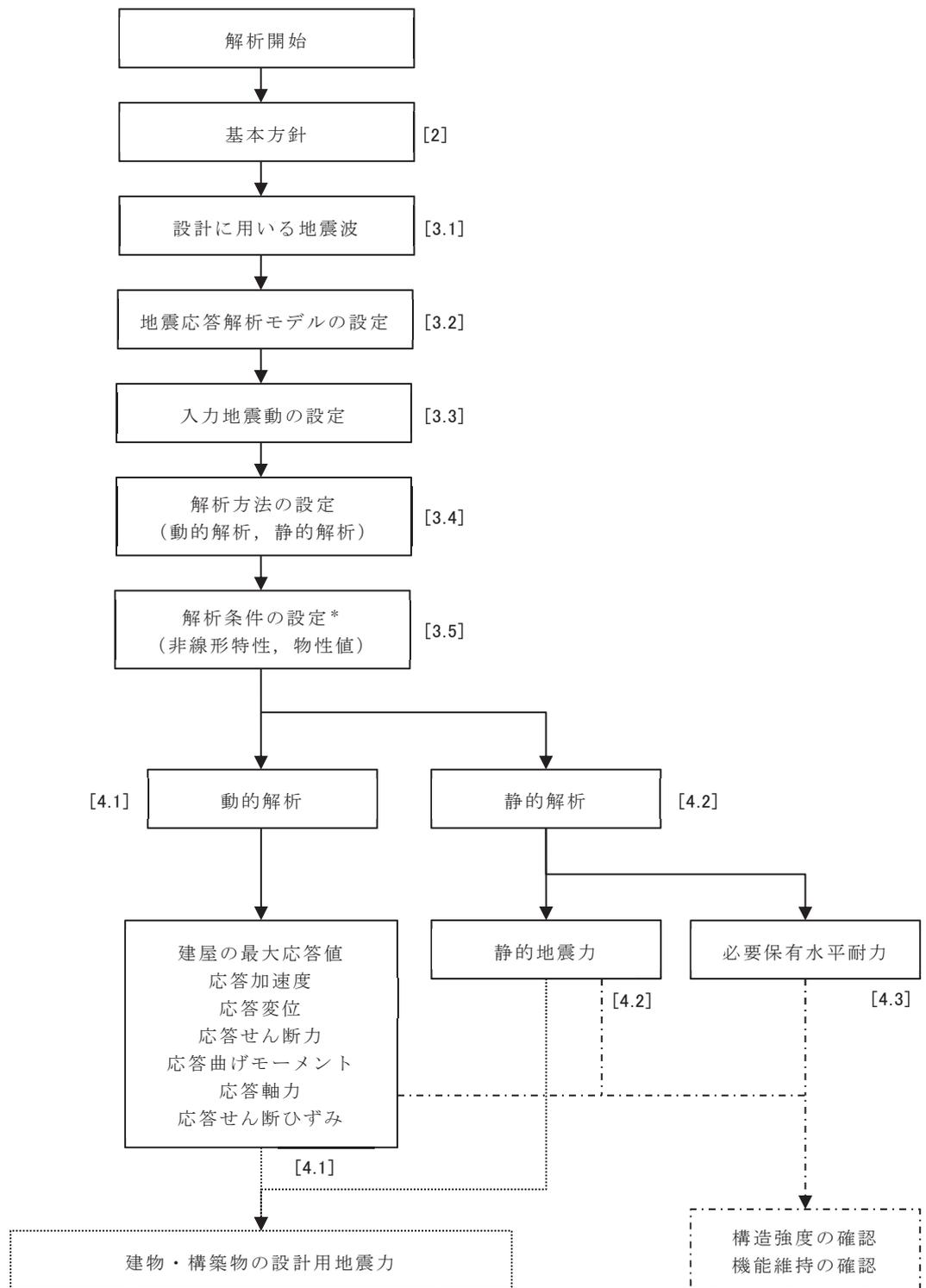
### 2.3 評価方針

大物搬入口躯体の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

地震応答解析フローを図 2-5 に示す。

地震応答解析は、「3.1 設計に用いる地震波」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルと「3.3 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.4 解析方法」及び「3.5 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、材料物性の不確かさを考慮した建屋の各種応答値を算出する。

「4.2 静的解析」においては静的地震力を、「4.3 必要保有水平耐力」においては必要保有水平耐力を算出する。



注：[ ]内は、本資料における章番号を示す。  
 注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 地震応答解析フロー

## 2.4 適用規格・基準等

大物搬入口躯体の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 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）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）
- ・ 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

### 3. 解析方法

#### 3.1 設計に用いる地震波

大物搬入口躯体の地震応答解析モデルは、大物搬入口躯体の基礎版が原子炉建屋の1階床スラブと一体となっていることから、基礎版上端（O.P.15.0m）を固定とする基礎固定モデルとする。このモデルへの入力地震動は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  を用いた原子炉建屋の地震応答解析結果のうち、原子炉建屋1階の床応答波形を用いる。基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  として作成した地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルは、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」と同一である。

### 3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表 3-1 に示す。大物搬入口躯体は既設部と新設部が一体となった構造であることを踏まえ、基本ケースでは新設部の物性値とする。

表 3-1 建物・構築物の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： F <sub>c</sub> = 33 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD345, SD490	2.52 × 10 <sup>4</sup>	1.05 × 10 <sup>4</sup>	5	新設部の設計値

注：既設部のコンクリートの設計基準強度 F<sub>c</sub> は 32.4N/mm<sup>2</sup> (330kgf/cm<sup>2</sup>) である。

(1) NS 方向

NS 方向の地震応答解析モデルは、大物搬入口躯体の基礎版が原子炉建屋の 1 階床スラブと一体となっていることから、基礎版上端 (O.P. 15.0m) を固定とする基礎固定モデルとする。質点位置は屋根スラブ上面 (O.P. 22.6m) とし、基礎版上面と屋根スラブ上面の中間高さより上部の重量を質点重量とする。曲げせん断要素の断面は耐震壁部分のみを考慮する。質点重量には扉を支持するフレームの柱、はりと重量評価高さ範囲の扉本体の重量を考慮する。

NS 方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に、NS 方向の地震応答解析モデルの諸元を表 3-2 に示す。

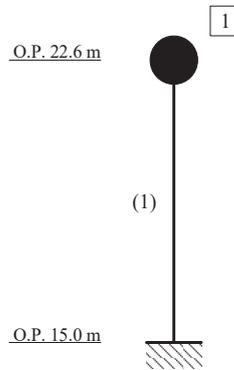


図 3-1 地震応答解析モデル (NS 方向)

表 3-2 地震応答解析モデルの諸元 (NS 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (× 10 <sup>3</sup> kN・m <sup>2</sup> )	要素 番号	せん断 断面積 A <sub>S</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	5630	72.4	(1)	20.4	176.8
合計	5630				

(2) EW 方向

EW 方向の地震応答解析モデルは、大物搬入口躯体の基礎版が原子炉建屋の 1 階床スラブと一体となっていることから、基礎版上端 (O.P. 15.0m) を固定とする基礎固定モデルとする。上部構造部 (耐震壁及び屋根スラブ) は、単位幅のフレームを質点系モデルとしてモデル化し、基礎版上端より上側のフレーム部の非線形特性は、静的荷重漸増解析モデルにより求まる水平方向の荷重-変位曲線から設定した等価せん断要素としてモデル化する。質点位置は、等価せん断要素の部材長さが静的荷重増分解析のフレームモデルの高さに合うように、屋根スラブ中心 (O.P. 22.2m) とする。基礎版上端と屋根スラブ中心の中間高さより上部の重量を質点重量とする。

EW 方向の地震応答解析モデルを図 3-2 に、EW 方向の地震応答解析モデルの諸元を表 3-3 に示す。

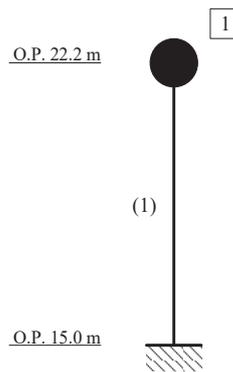


図 3-2 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 3-3 地震応答解析モデルの諸元 (EW 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (× 10 <sup>3</sup> kN・m <sup>2</sup> )	要素 番号	等価せん断 断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	370	—	(1)	0.0503	—
合計	370				

(3) UD 方向

UD 方向の地震応答解析モデルは、大物搬入口躯体の基礎版が原子炉建屋の 1 階床スラブと一体となっていることから、基礎版上端 (O.P. 15.0m) を固定とする基礎固定モデルとする。質点位置は屋根スラブ上面 (O.P. 22.6m) とし、基礎版上面と屋根スラブ上面の中間高さより上部の重量を質点重量とする。軸断面には耐震壁及び柱部分を考慮する。質点重量には扉を支持するフレームの柱、はりと重量評価高さ範囲の扉本体の重量を考慮する。

UD 方向の地震応答解析モデルを図 3-3 に、UD 方向の地震応答解析モデルの諸元を表 3-4 に示す。

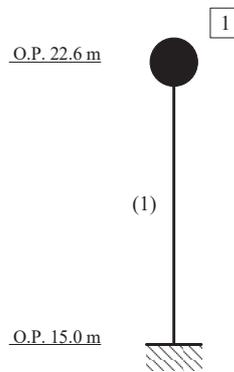


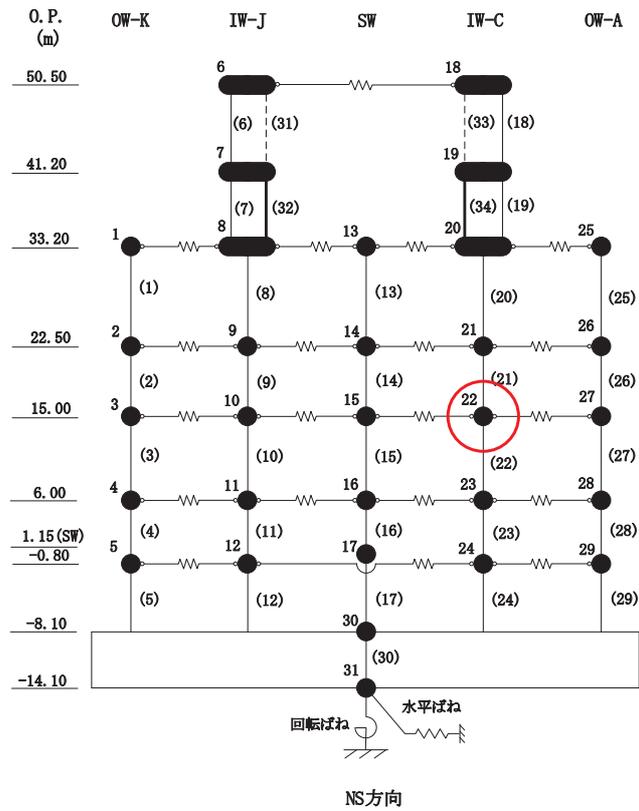
図 3-3 地震応答解析モデル (UD 方向)

表 3-4 地震応答解析モデルの諸元 (UD 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	要素 番号	軸断面積 A <sub>N</sub> (m <sup>2</sup> )
1	5630	(1)	28.4
合計	5630		

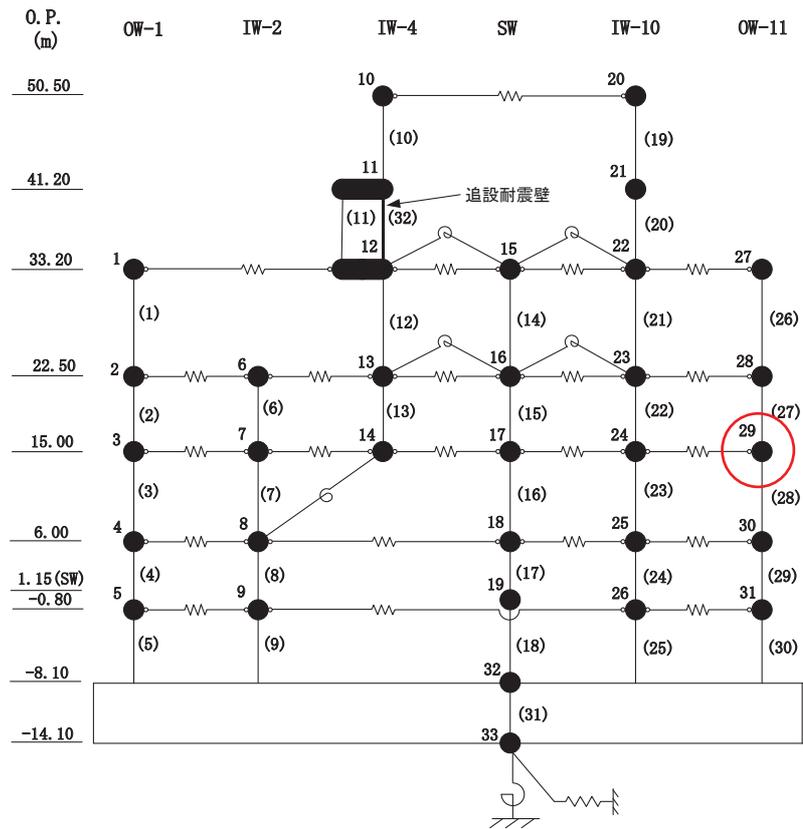
### 3.3 入力地震動

大物搬入口躯体の地震応答解析に用いる入力地震動は、原子炉建屋の地震応答解析における基本ケースの大物搬入口躯体位置に対応する質点（NS 方向：質点 22，EW 方向：質点 29，UD 方向：質点 8）の床応答とする。床応答を採用した質点位置を図 3-4 に示す。地震応答解析に用いる入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-5 及び図 3-6 に示す。



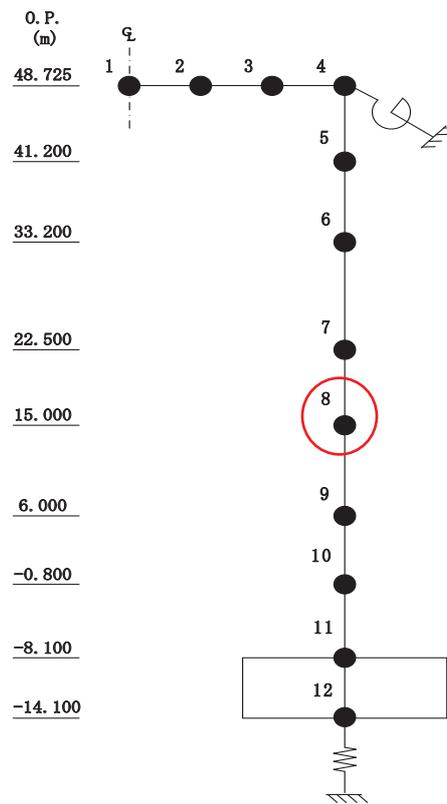
○ : 床応答を採用した質点

図 3-4(1) NS 方向の入力地震動として床応答を採用した質点位置



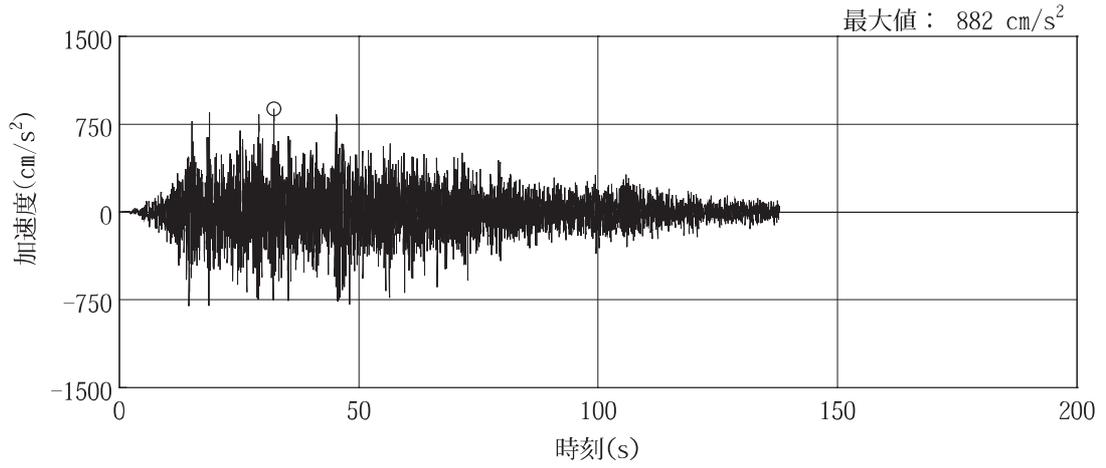
○ : 床応答を採用した質点

図 3-4(2) EW 方向の入力地震動として床応答を採用した質点位置

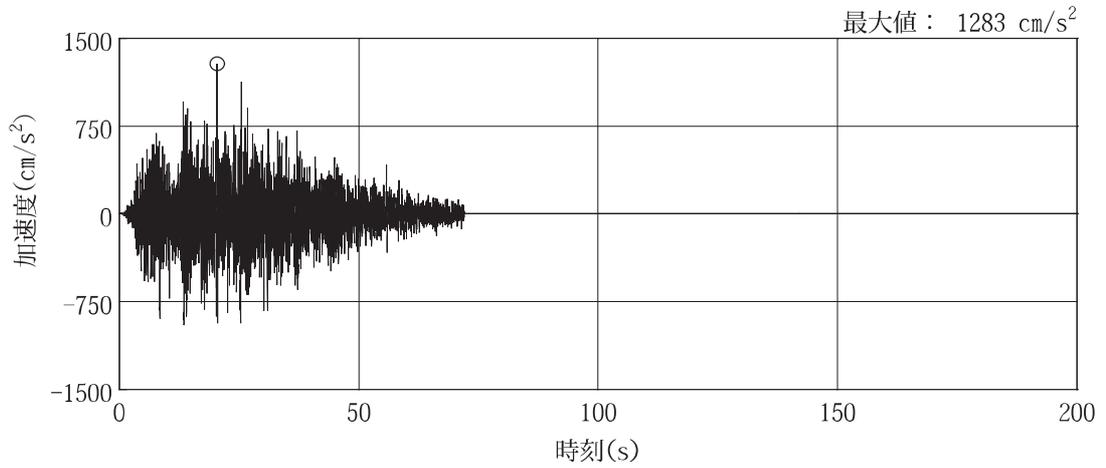


○ : 床応答を採用した質点

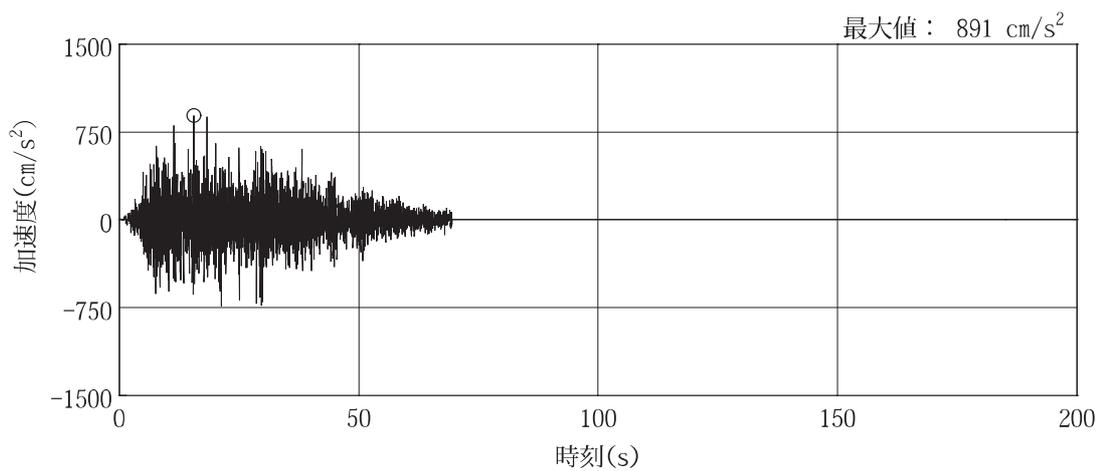
図 3-4(3) UD 方向の入力地震動として床応答を採用した質点位置



(a) S s - D 1

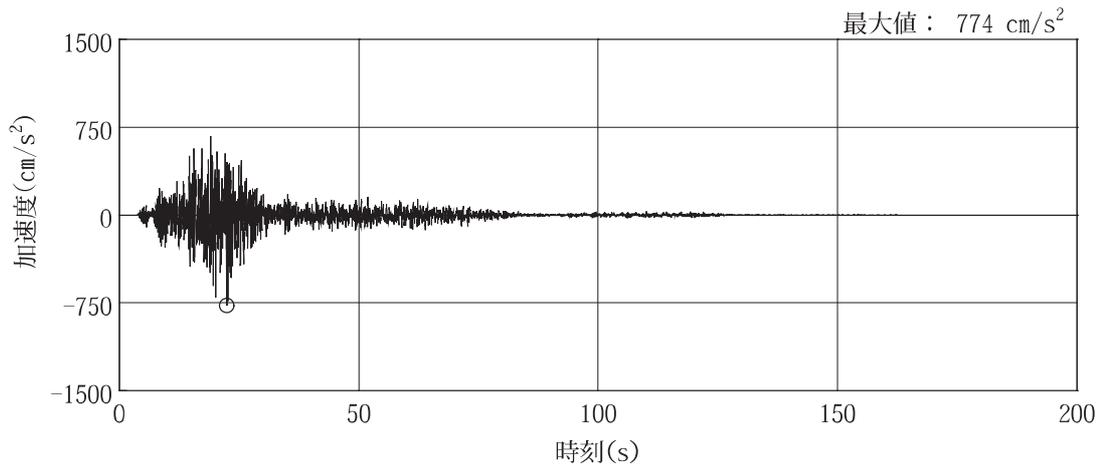


(b) S s - D 2

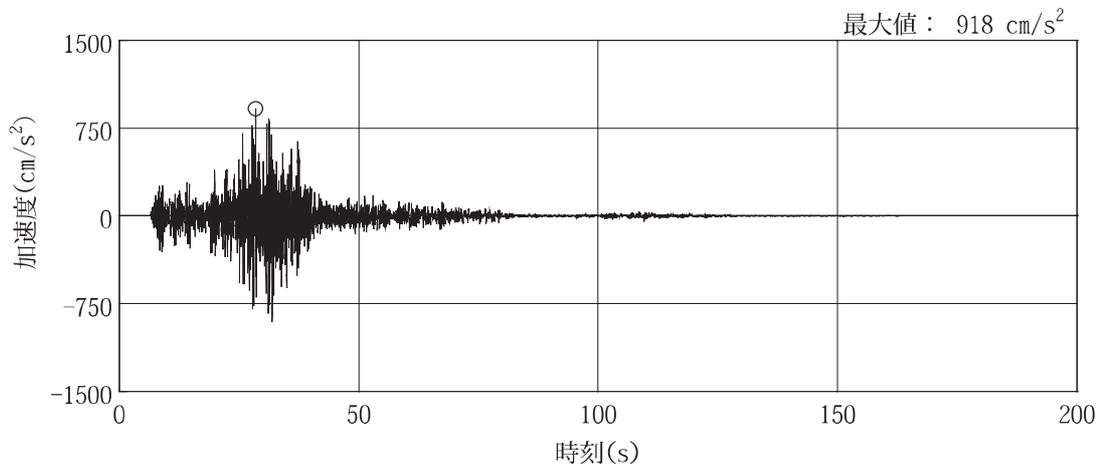


(c) S s - D 3

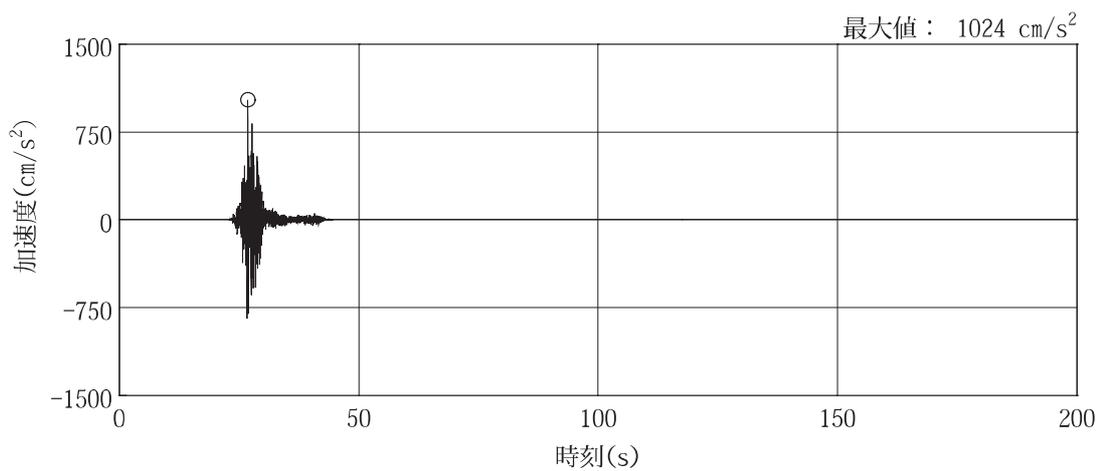
図 3-5(1) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-5(2) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (2/3)

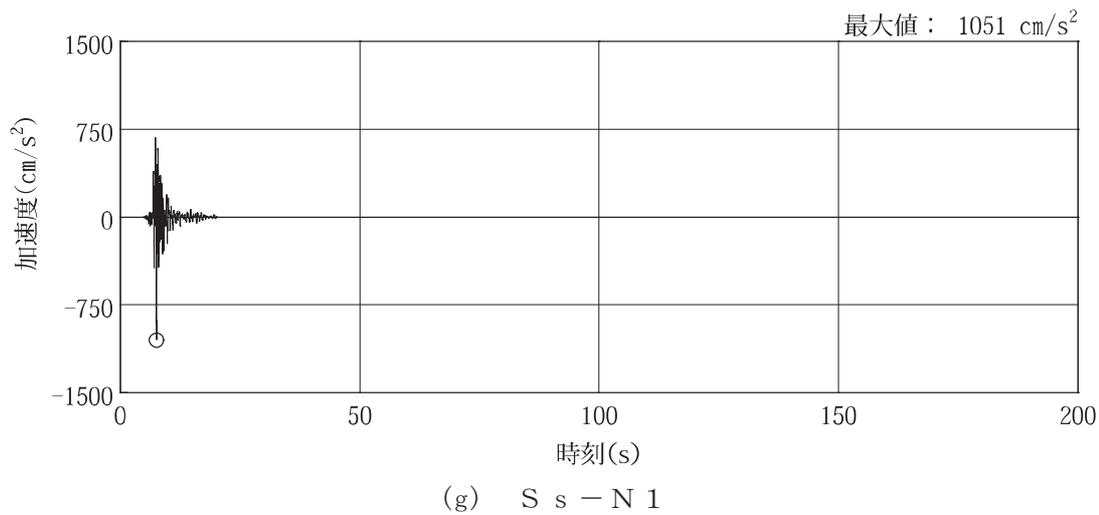
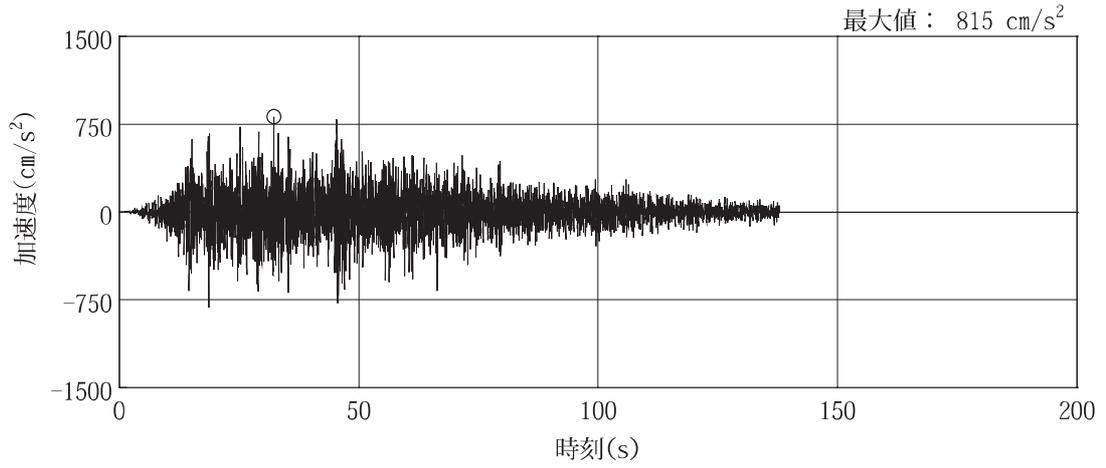
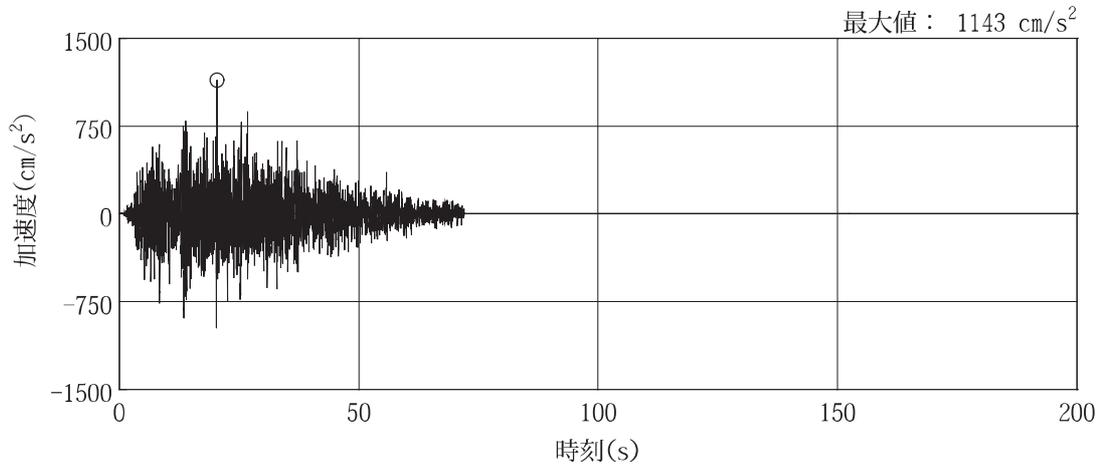


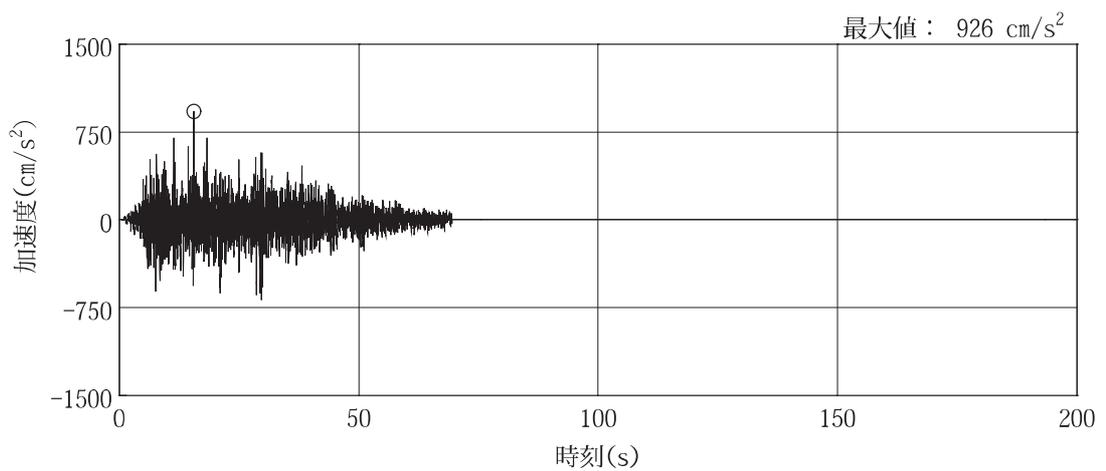
図 3-5(3) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（基準地震動 S s）（3/3）



(a) S s - D 1

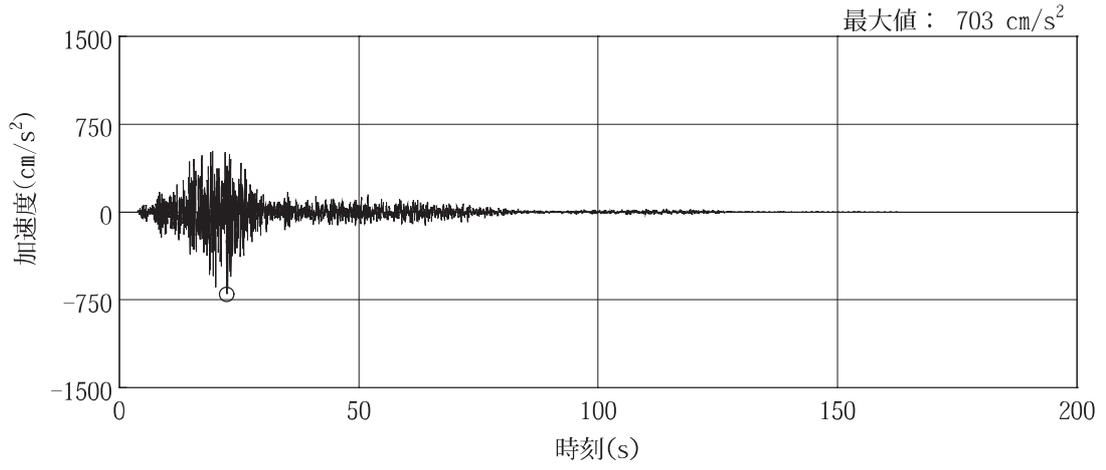


(b) S s - D 2

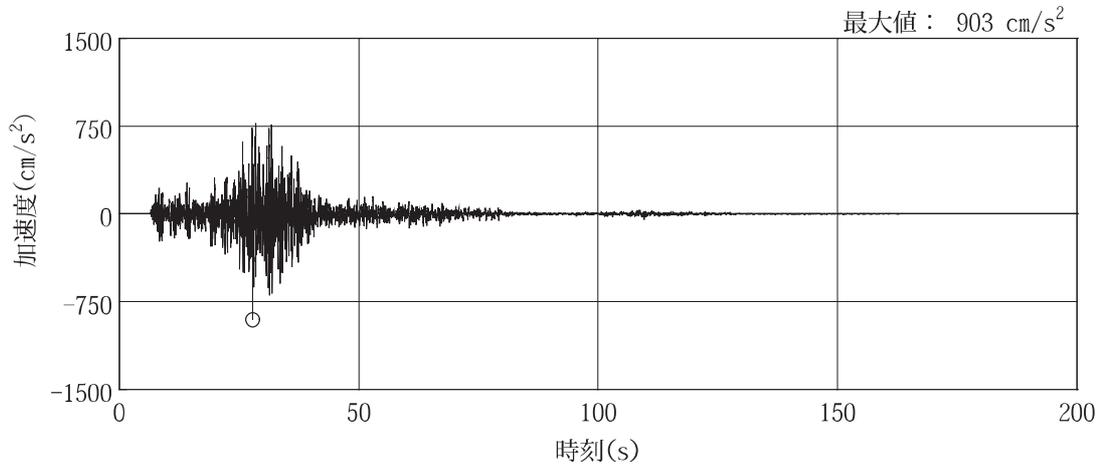


(c) S s - D 3

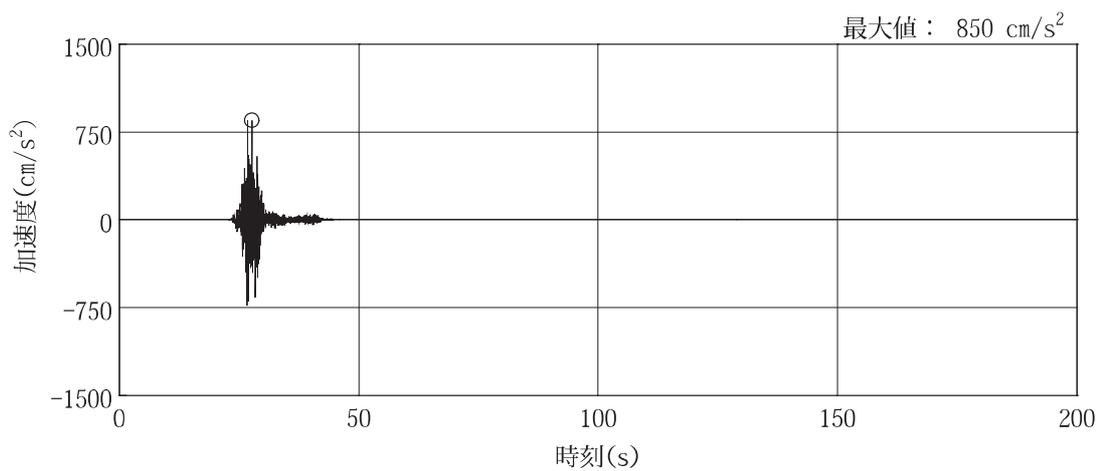
図 3-5(4) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-5(5) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (2/3)

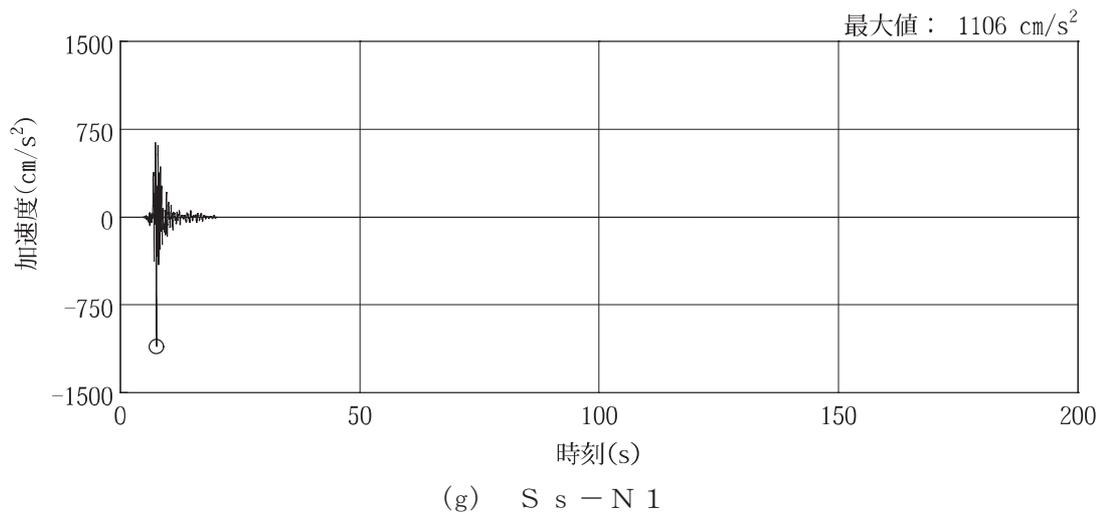
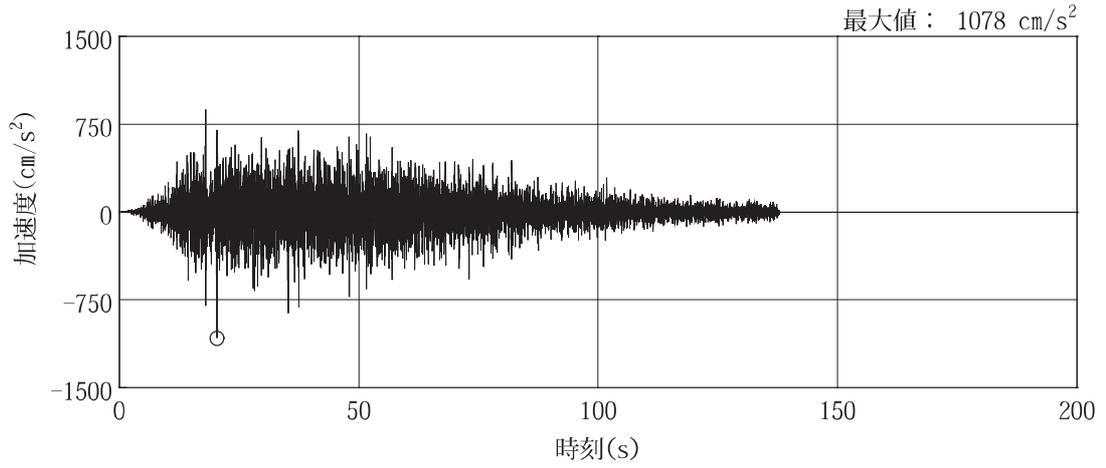
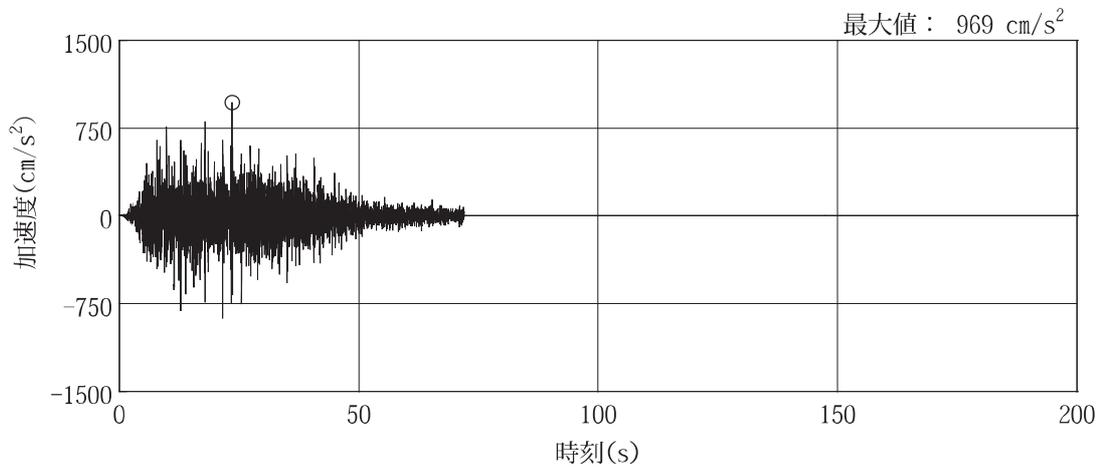


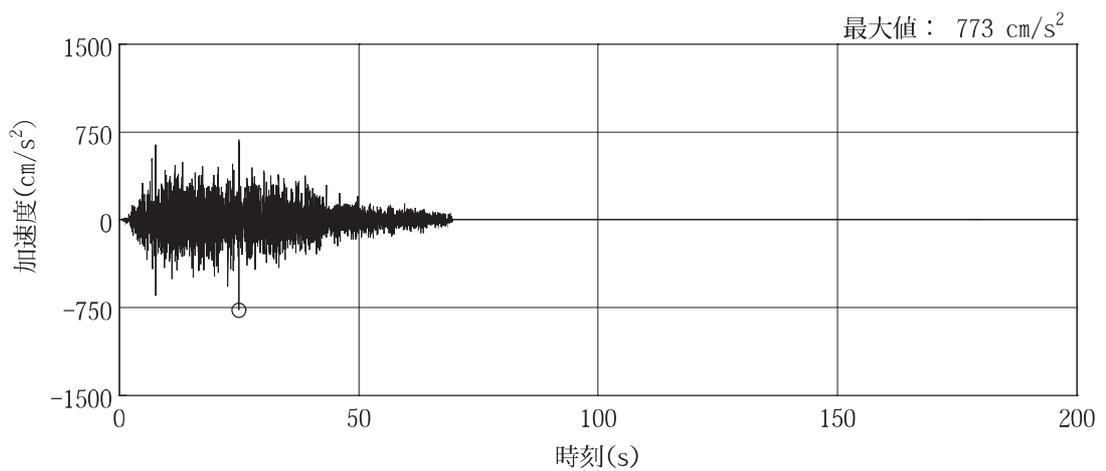
図 3-5(6) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (3/3)



(a) S s - D 1

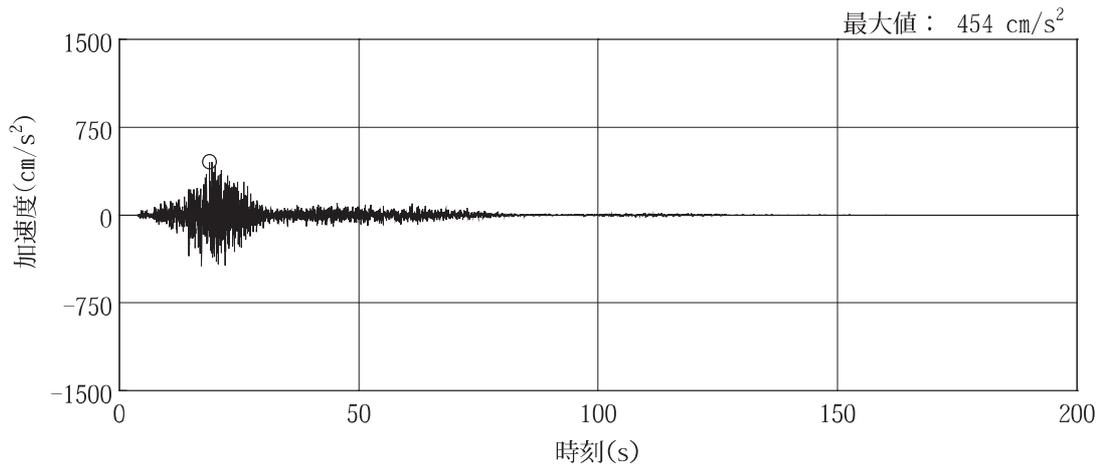


(b) S s - D 2

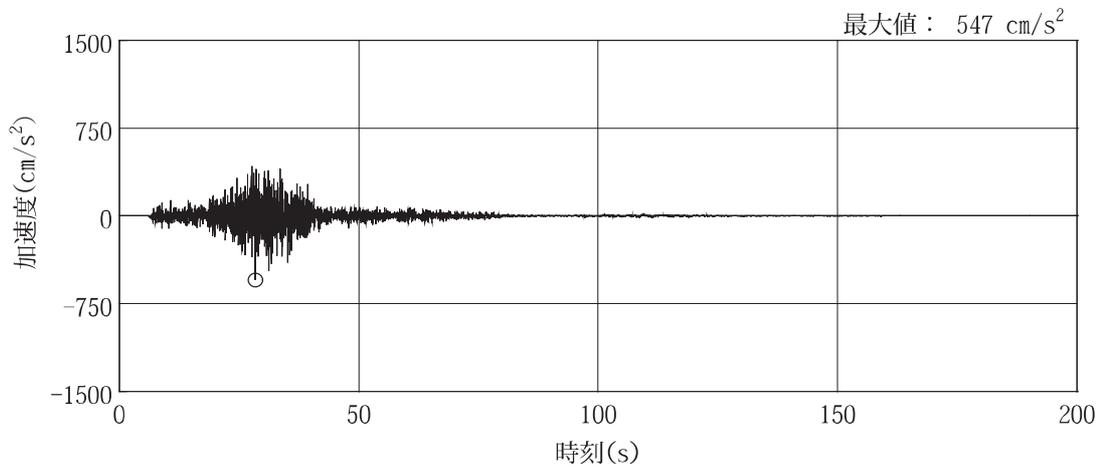


(c) S s - D 3

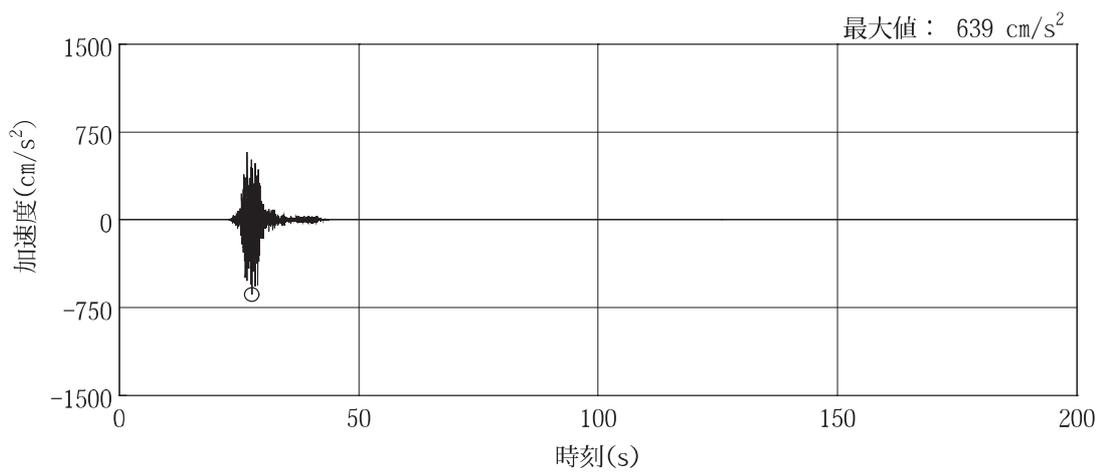
図 3-5(7) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-5 (8) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s) (2/3)

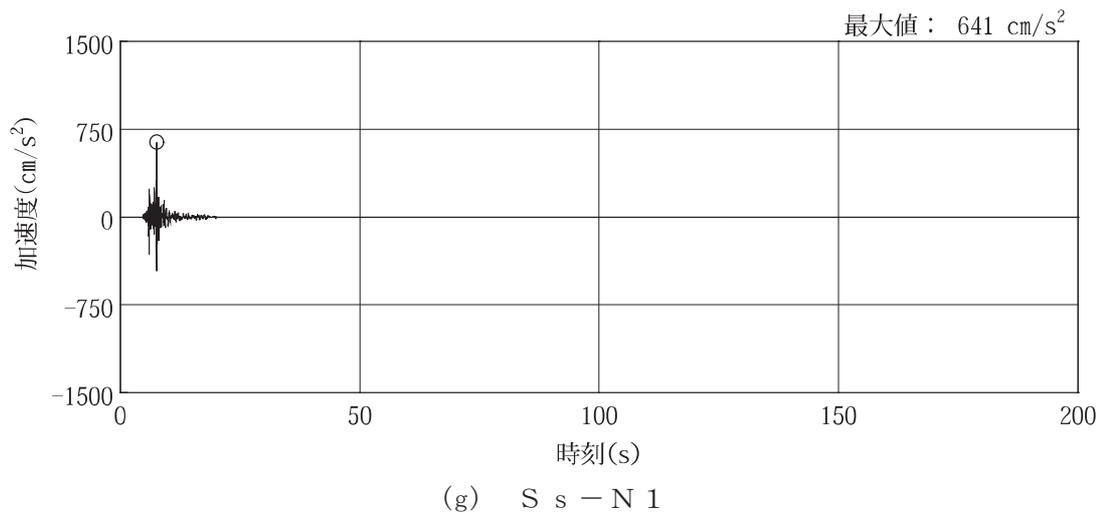
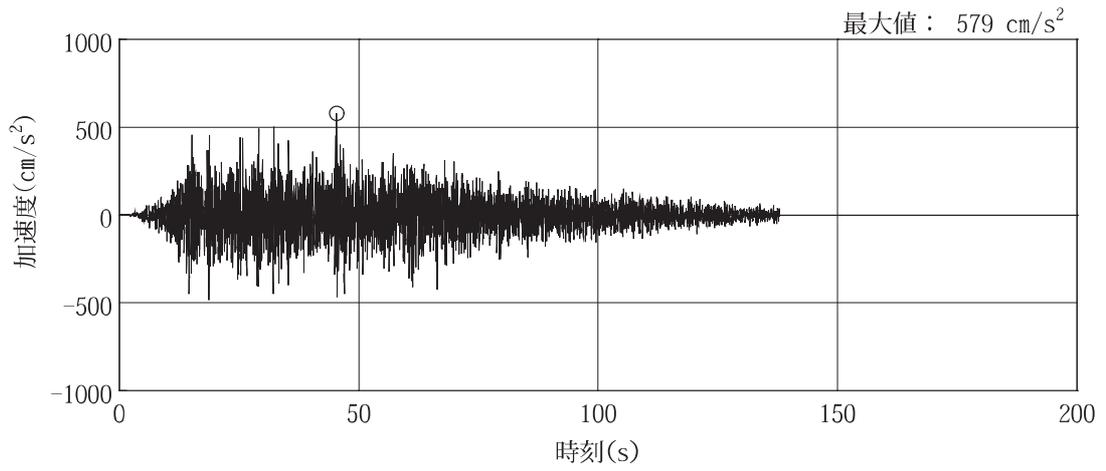
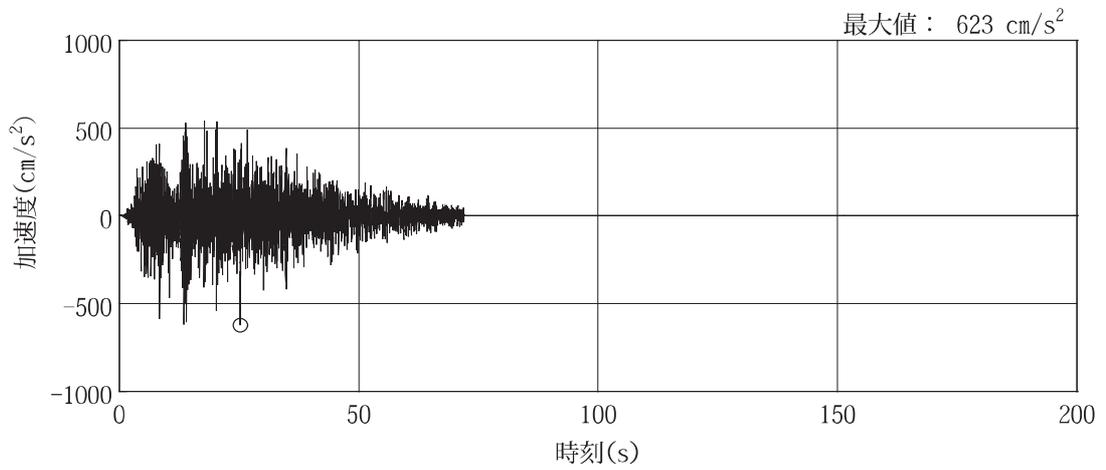


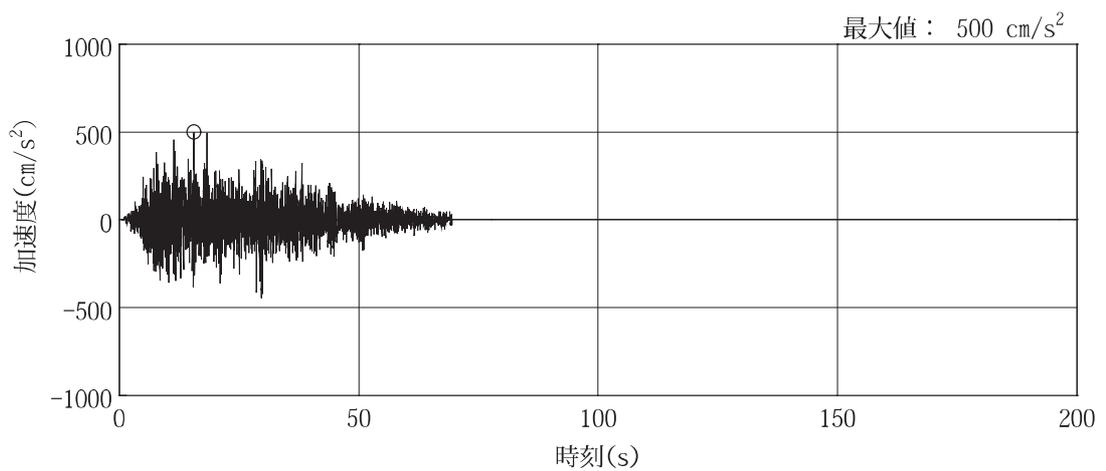
図 3-5(9) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（基準地震動 S s）（3/3）



(a) S d - D 1

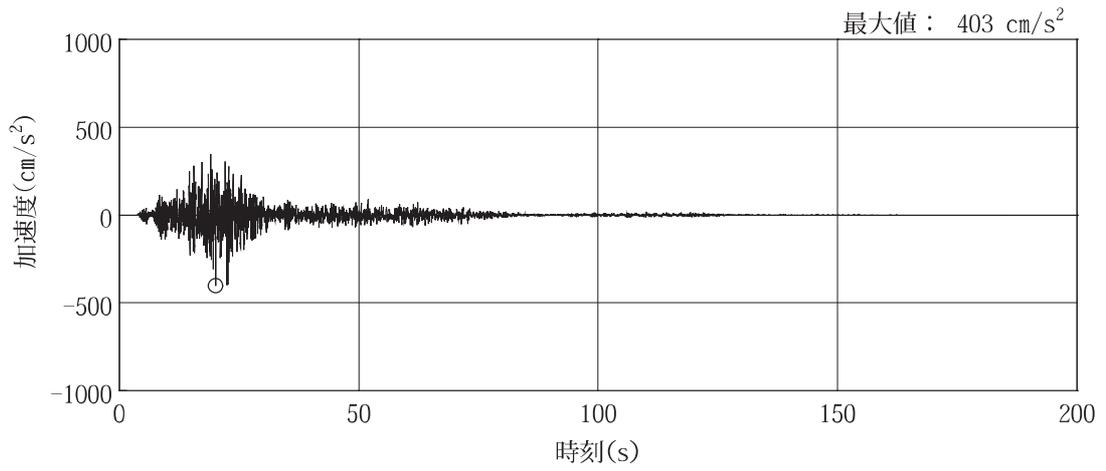


(b) S d - D 2

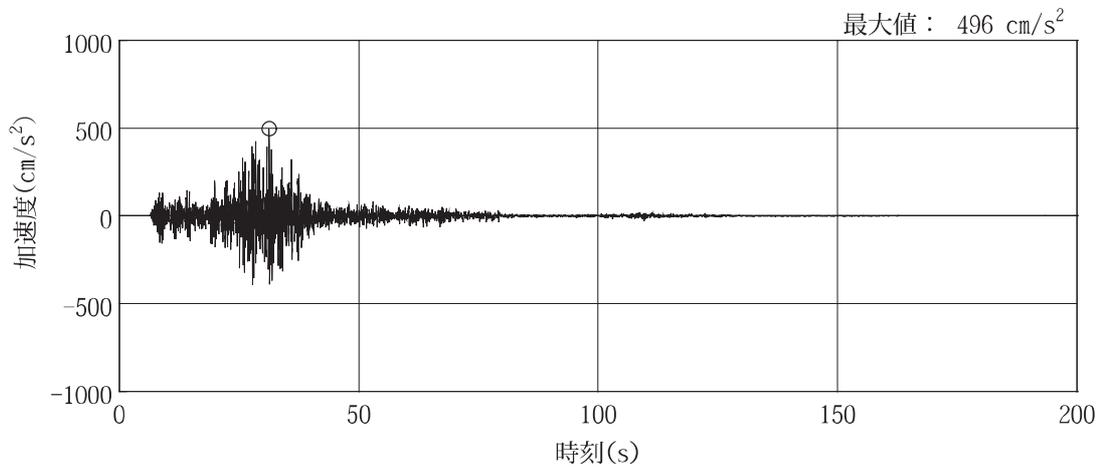


(c) S d - D 3

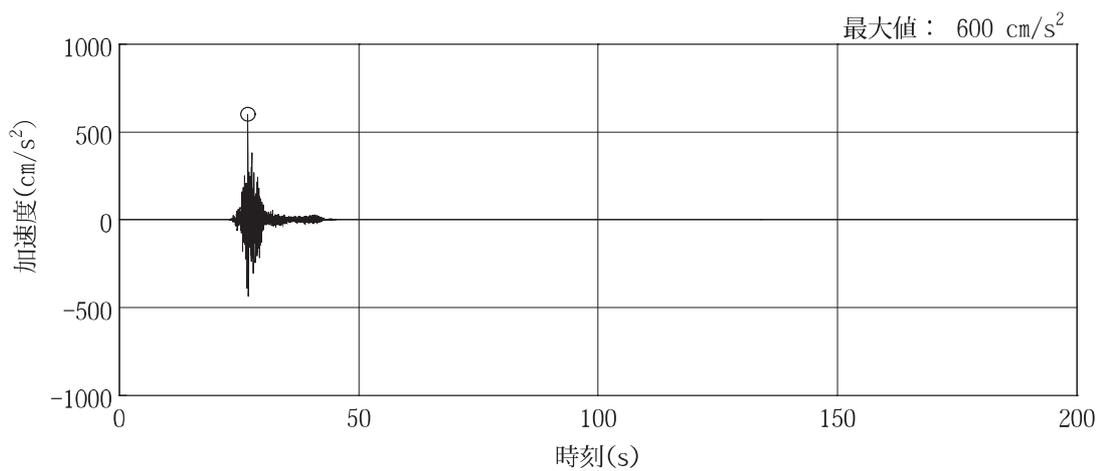
図 3-5(10) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）（1/3）



(d) S d - F 1



(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

図 3-5(11) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）(2/3)

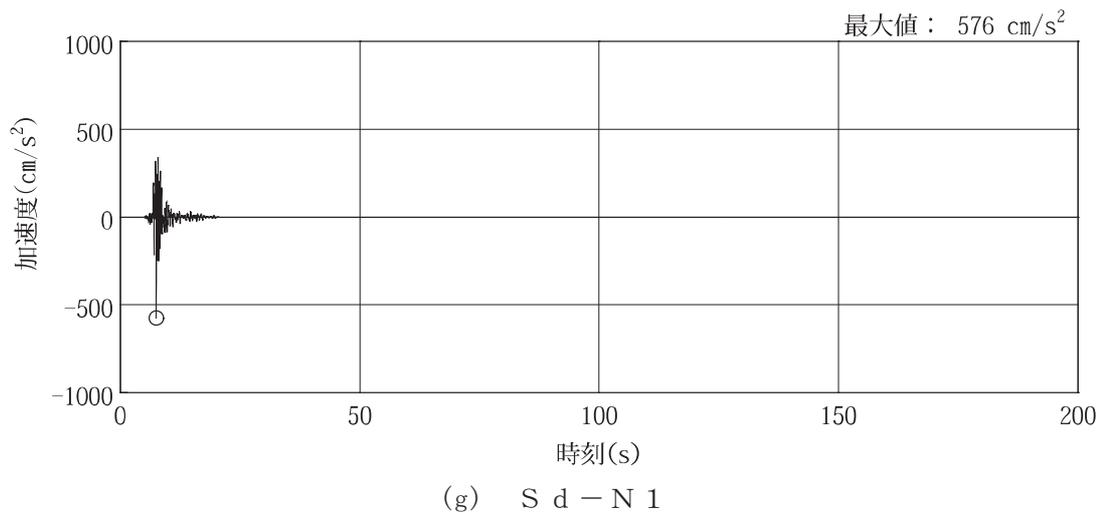
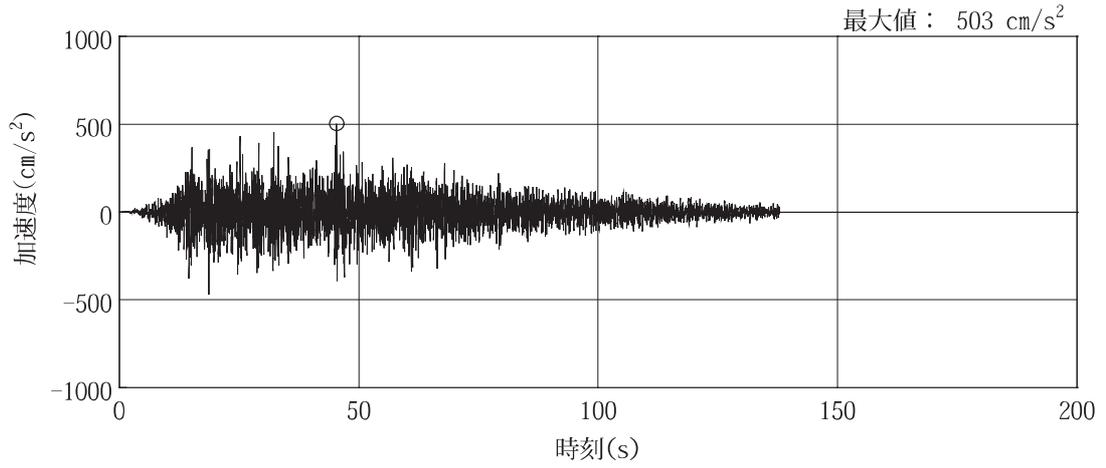
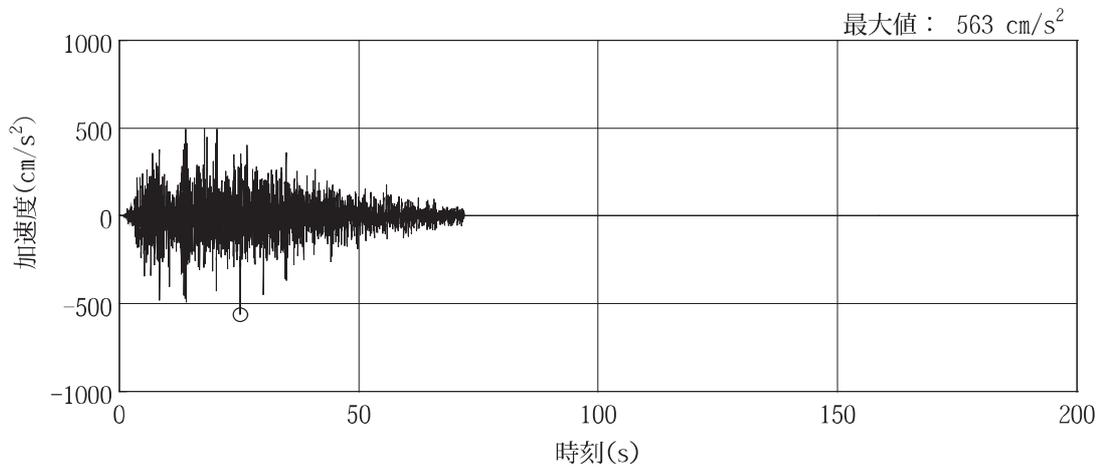


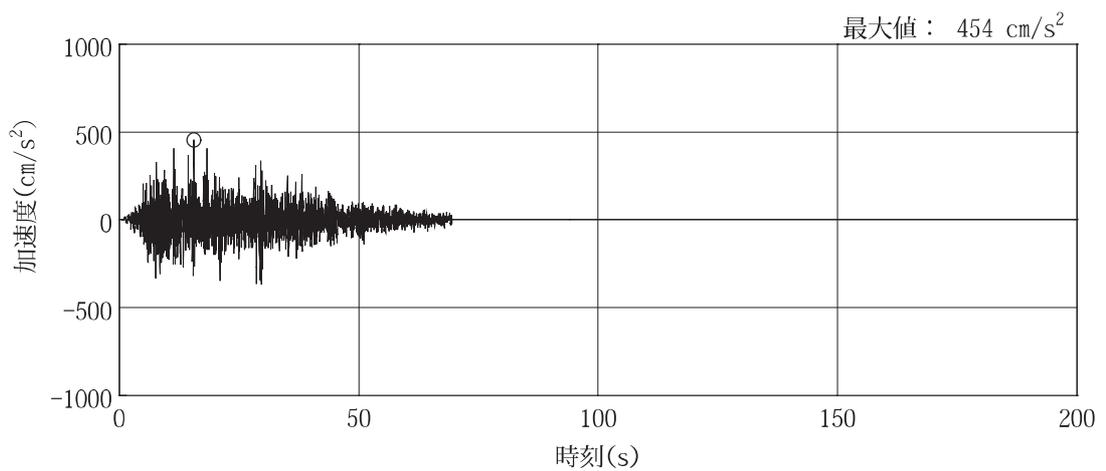
図 3-5(12) NS 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）（3/3）



(a) S d - D 1

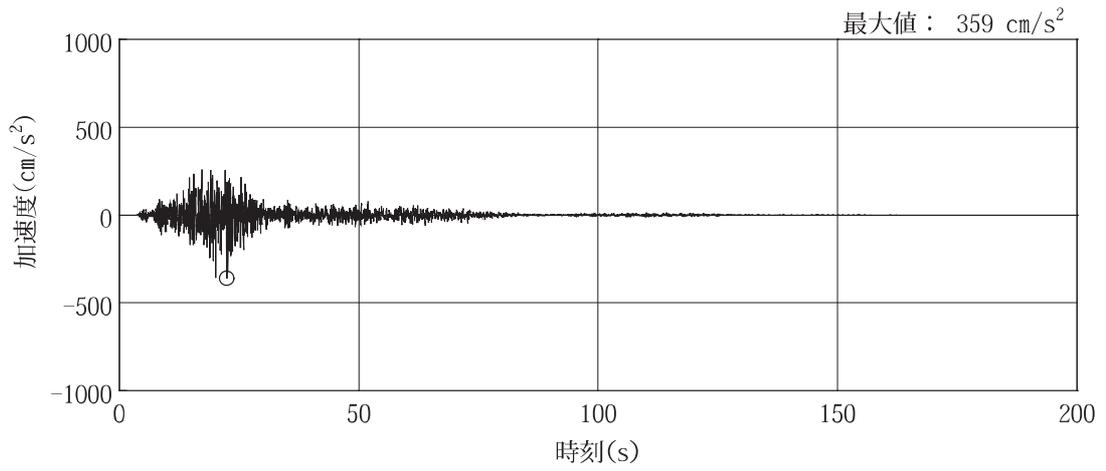


(b) S d - D 2

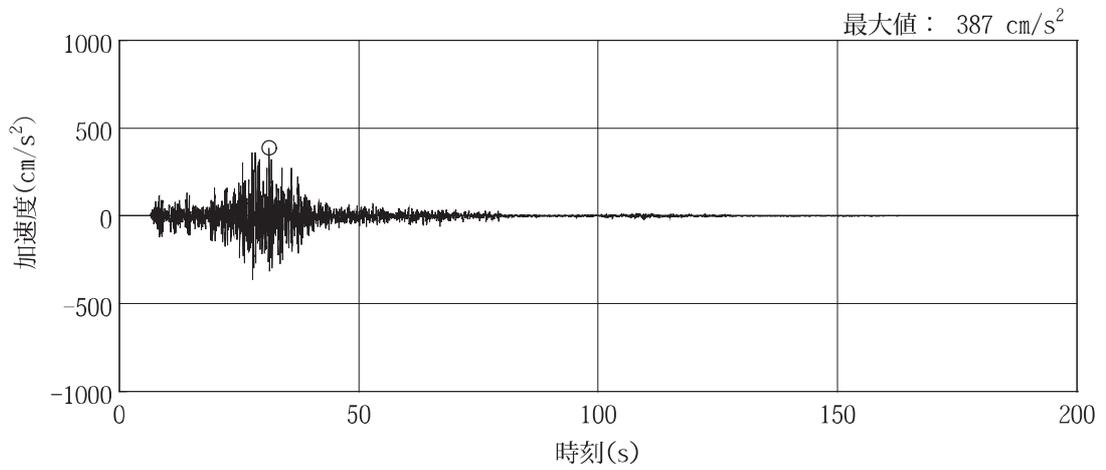


(c) S d - D 3

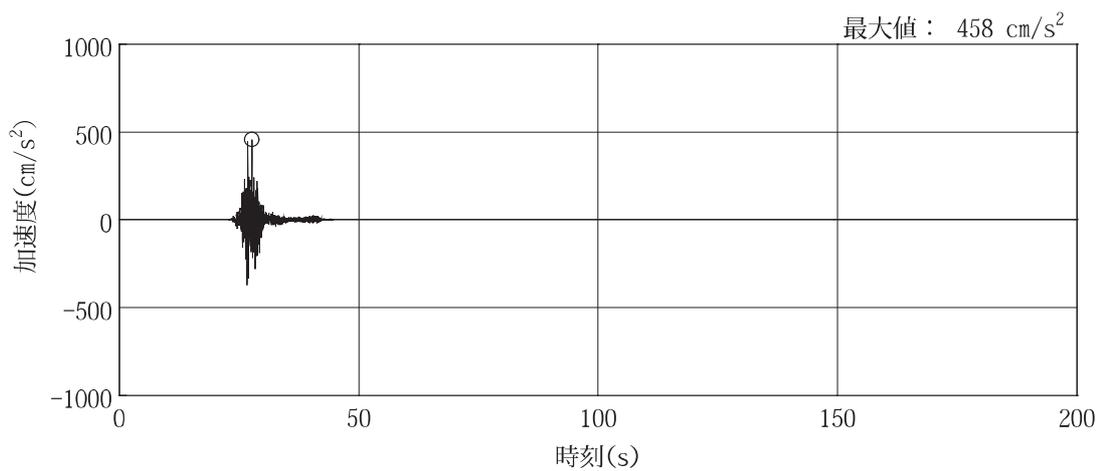
図 3-5(13) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）（1/3）



(d) S d - F 1



(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

図 3-5(14) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）(2/3)

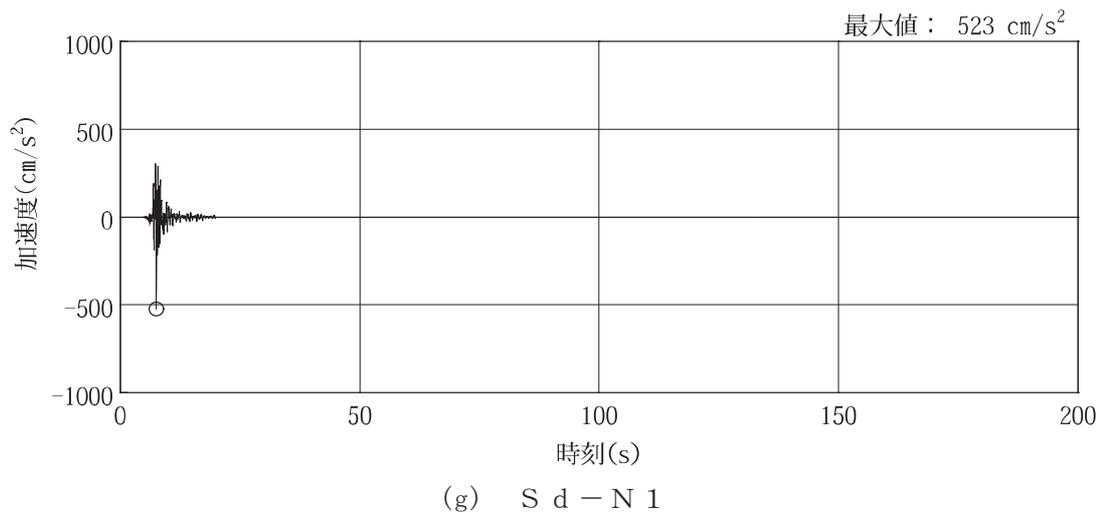
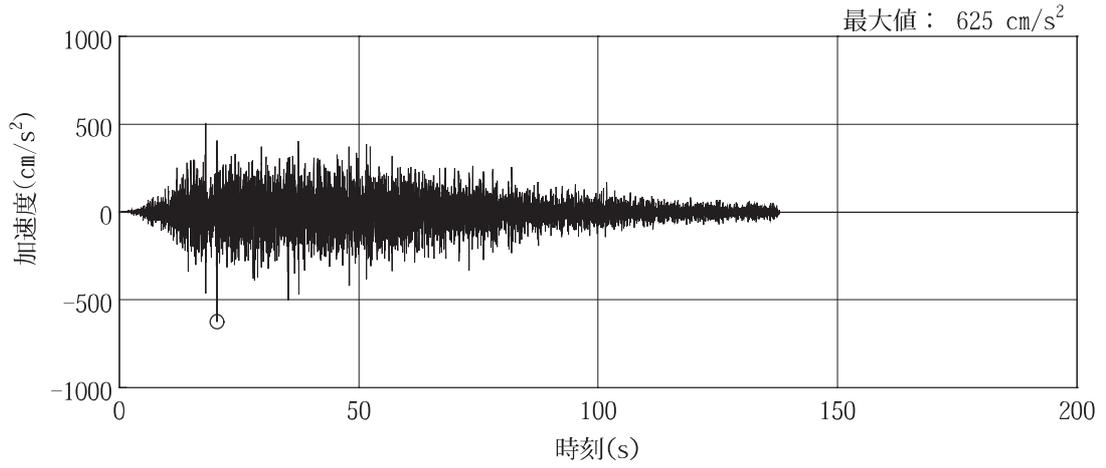
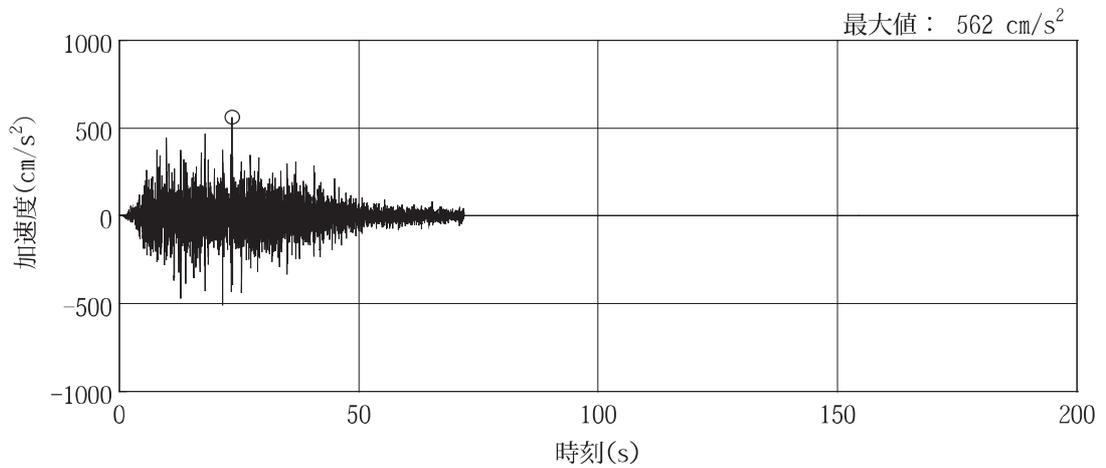


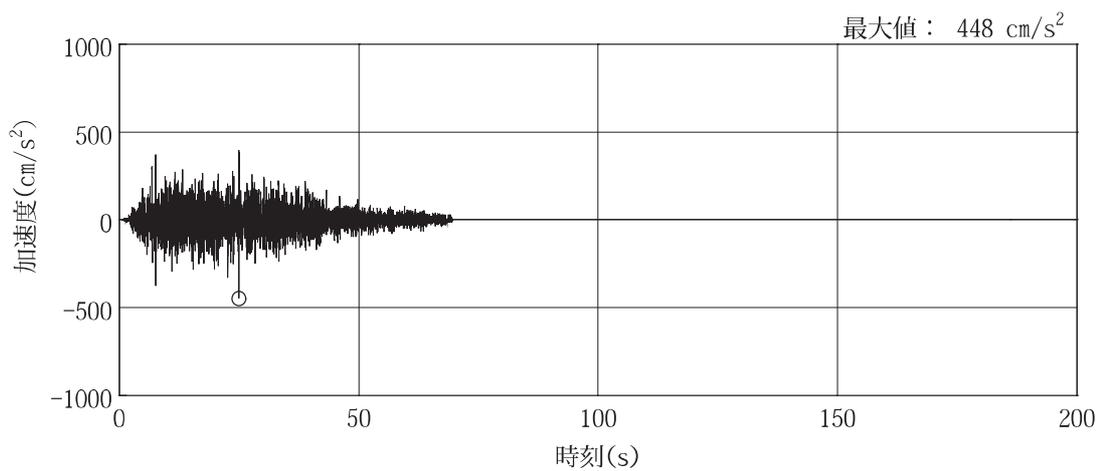
図 3-5(15) EW 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d) (3/3)



(a) S d - D 1

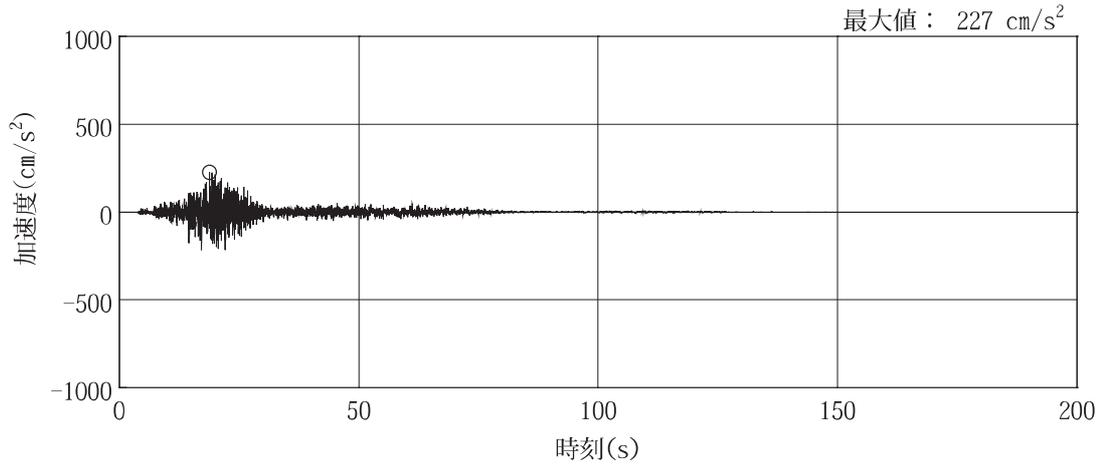


(b) S d - D 2

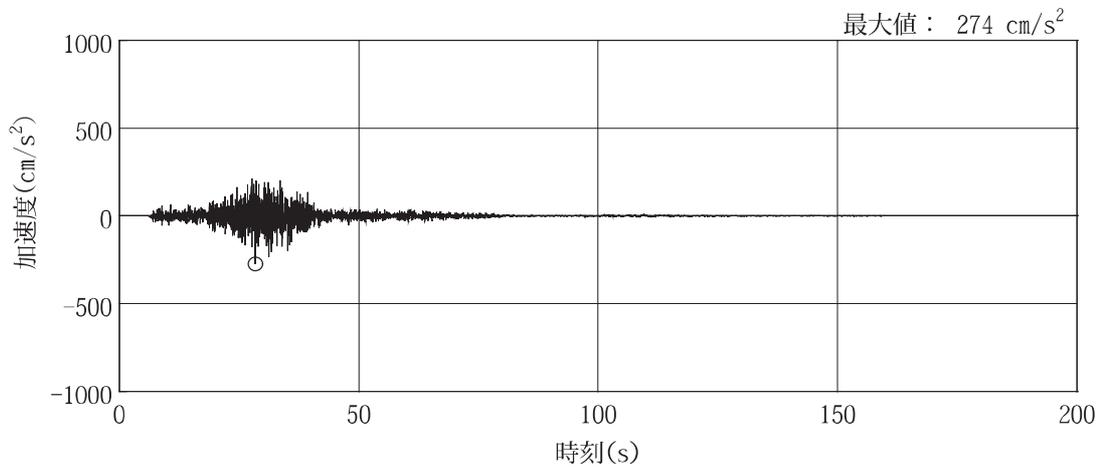


(c) S d - D 3

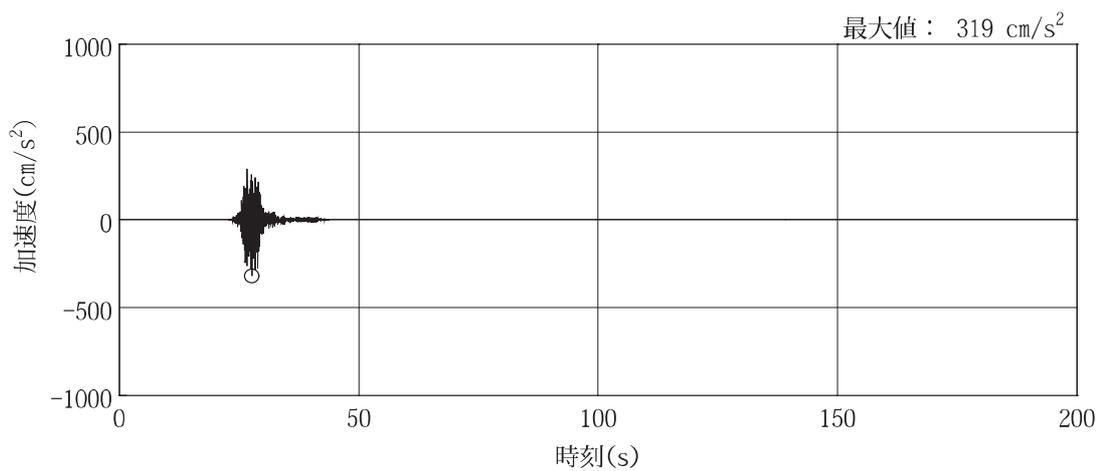
図 3-5(16) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d) (1/3)



(d) S d - F 1



(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

図 3-5(17) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形（弾性設計用地震動 S d）(2/3)

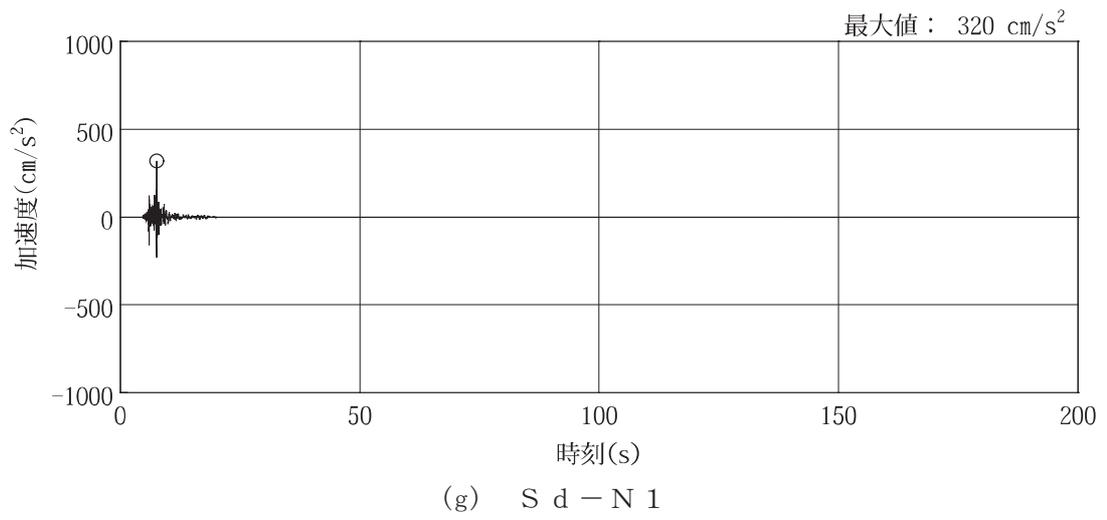


図 3-5(18) UD 方向の入力地震動の加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d) (3/3)

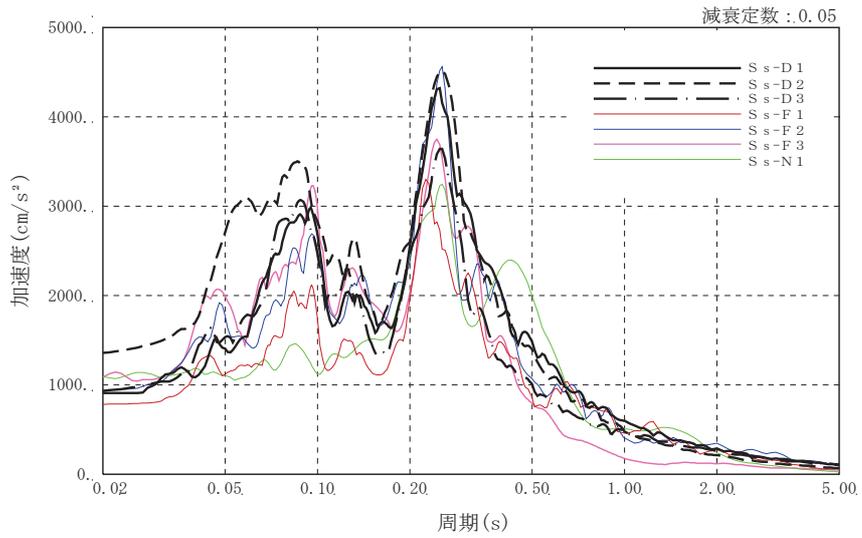


図 3-6(1) NS 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動  $S_s$ )

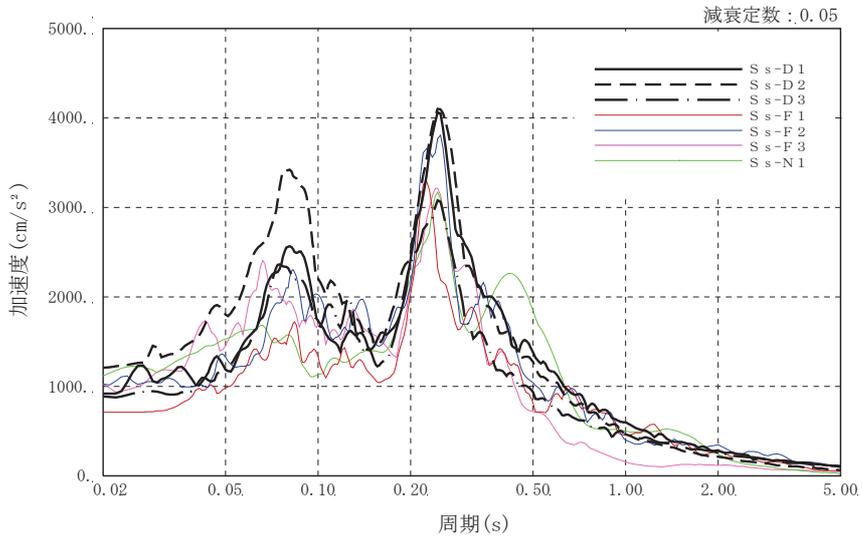


図 3-6(2) EW 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動  $S_s$ )

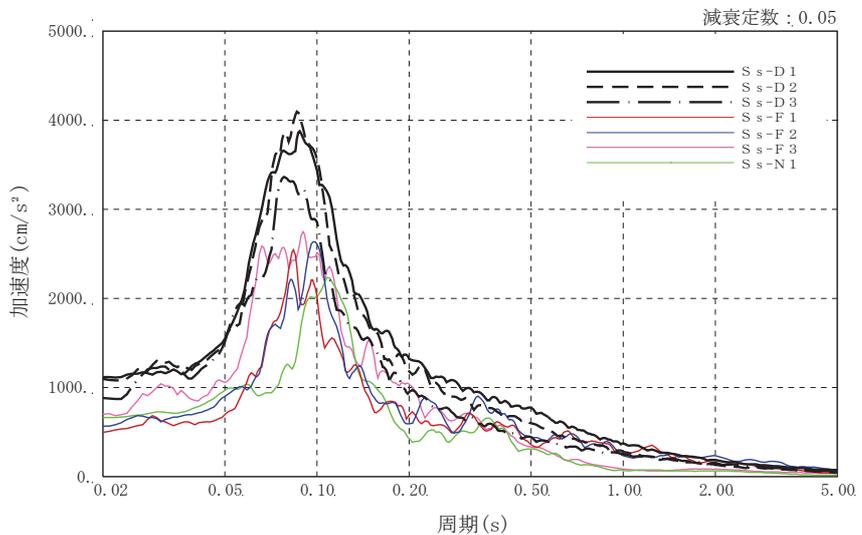


図 3-6(3) UD 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動  $S_s$ )

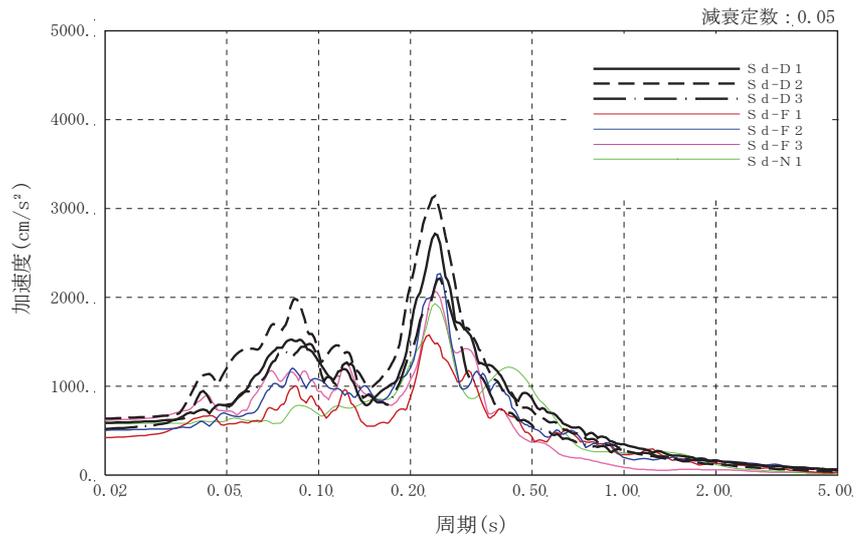


図 3-6(4) NS 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

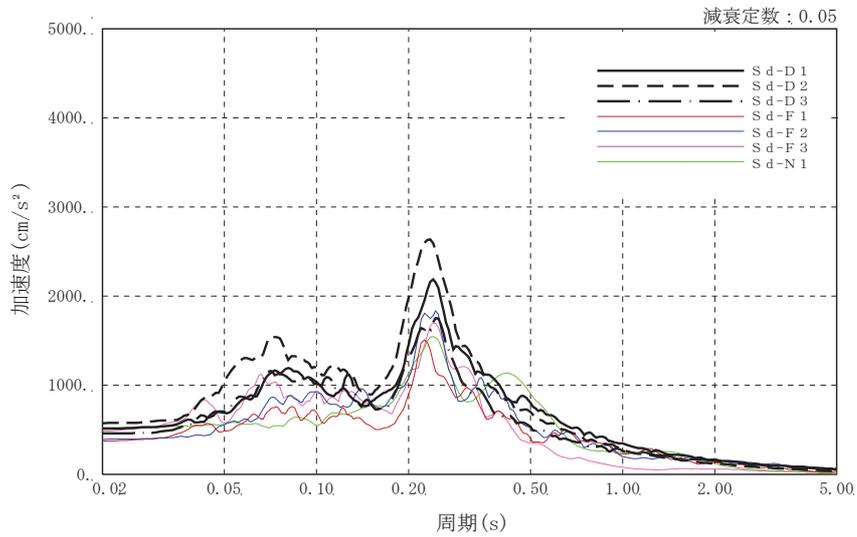


図 3-6(5) EW 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

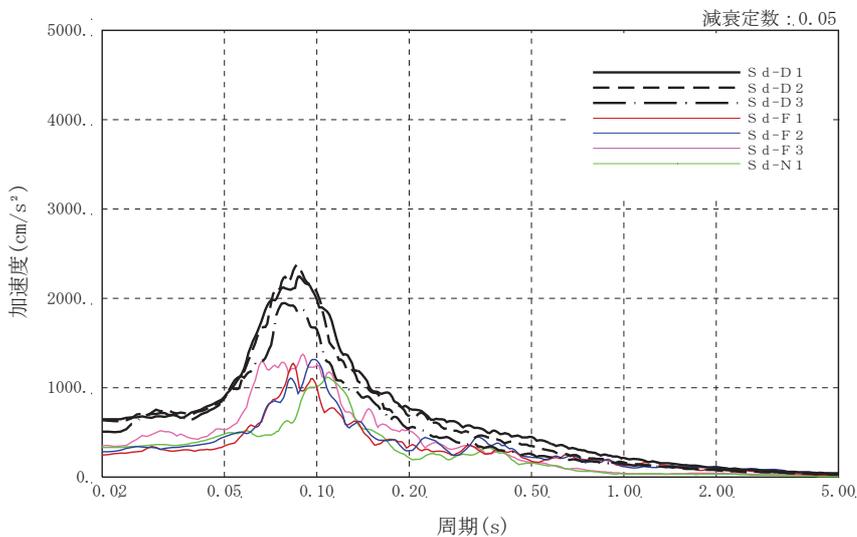


図 3-6(6) UD 方向の入力地震動の加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

### 3.4 解析方法

大物搬入口躯体の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.4.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。動的解析により建屋の応答値を算出する。

#### 3.4.2 静的解析

##### (1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は基礎スラブ上端位置（0.P.15.0m）とし、基準面より上の部分の地震力は、地震層せん断力係数を用いた次式にて算定する。

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.4)$$

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.5)$$

ここで、

$Q_i$  : 第  $i$  層に生じる水平地震力

$n$  : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)

$Z$  : 地震地域係数 (1.0)

$C_i$  : 第  $i$  層の地震層せん断力係数

$W_i$  : 第  $i$  層が支える重量

$R_t$  : 振動特性係数 (0.8)

$A_i$  : 第  $i$  層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

$C_0$  : 標準せん断力係数 (0.2)

### 3.4.3 必要保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力 $Q_{un}$ は、次式により算出する。

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud} \quad (3.8)$$

ここで、

$D_s$  : 各層の構造特性係数

$F_{es}$  : 各層の形状特性係数

$$F_{es} = F_s \cdot F_e$$

$F_s$  : 剛性率に応じた数値

$F_e$  : 偏心率に応じた数値

地震力によって各層に生じる水平力 $Q_{ud}$ は、次式により算出する。

$$Q_{ud} = n \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.9)$$

ここで、

$n$  : 施設の重要度分類に応じた係数 (1.0)

$C_i$  : 第  $i$  層の地震層せん断力係数

$W_i$  : 第  $i$  層が支える重量

地震層せん断力係数 $C_i$ は、次式により算出する。

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.10)$$

ここで、

$Z$  : 地震地域係数 (1.0)

$R_t$  : 振動特性係数 (0.8)

$A_i$  : 第  $i$  層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

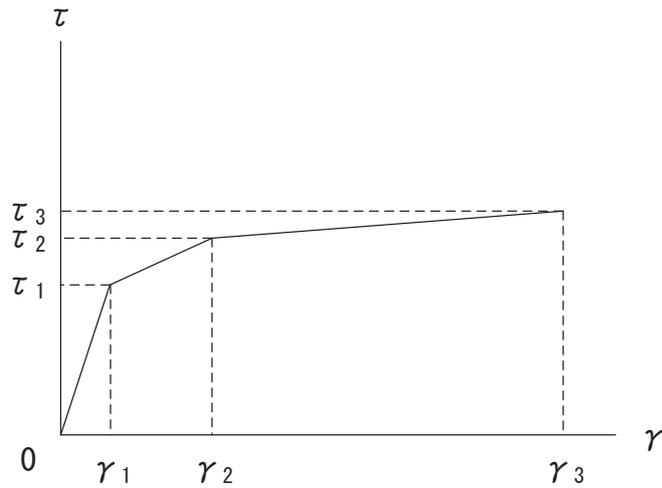
$C_0$  : 標準せん断力係数 (1.0)

### 3.5 解析条件

#### 3.5.1 建物・構築物の復元力特性

##### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

NS 方向モデルの耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-7 に示す。

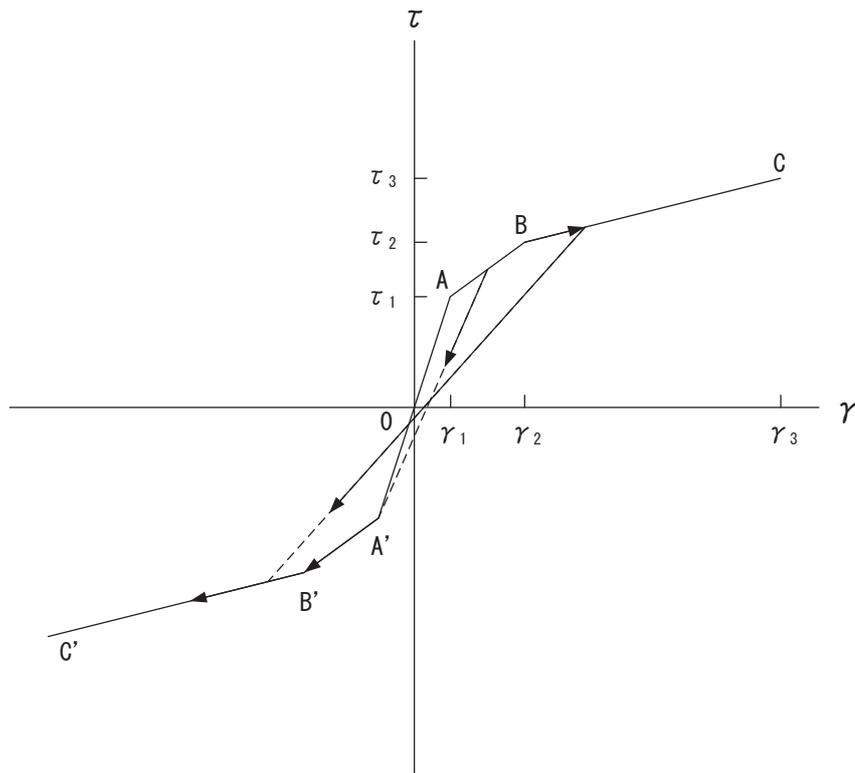


- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )

図 3-7 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

NS 方向モデルの耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-8 に示す。

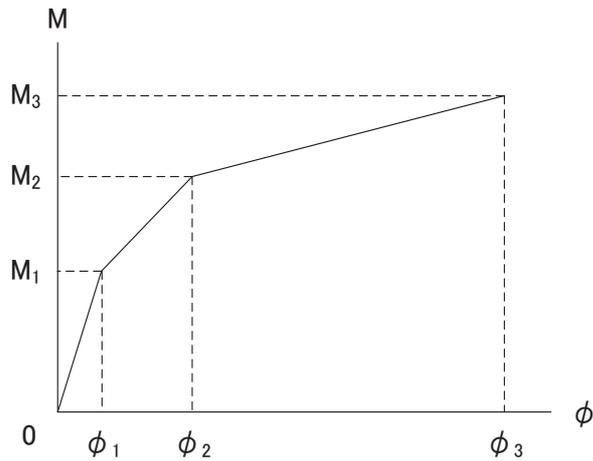


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点  
第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

NS 方向モデルの耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, 「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-9 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

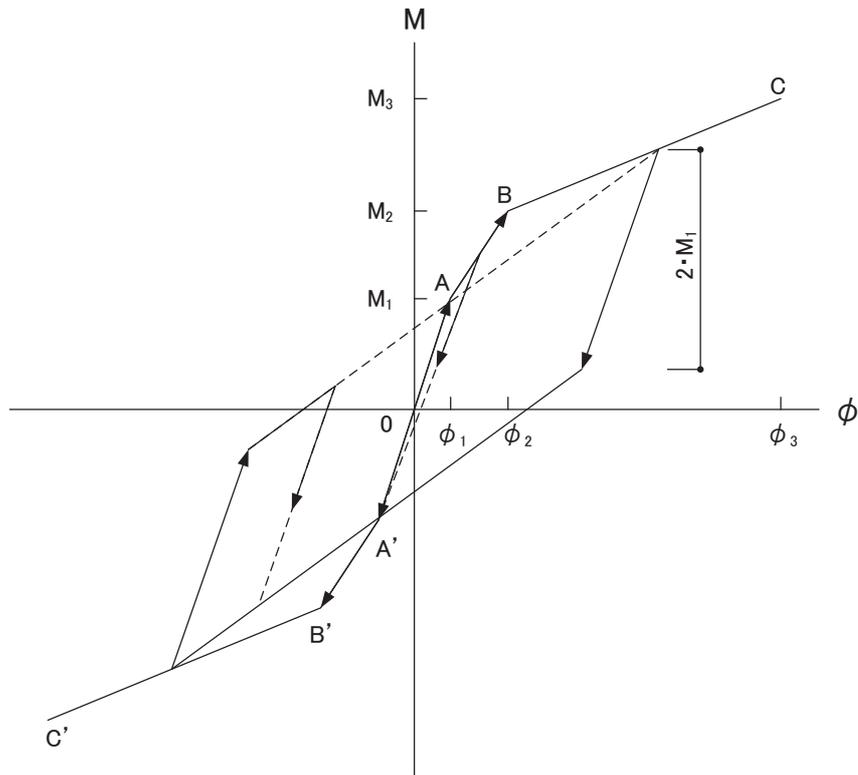
$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-9 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

NS 方向モデルの耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-10 に示す。



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) EW 方向フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ ）関係

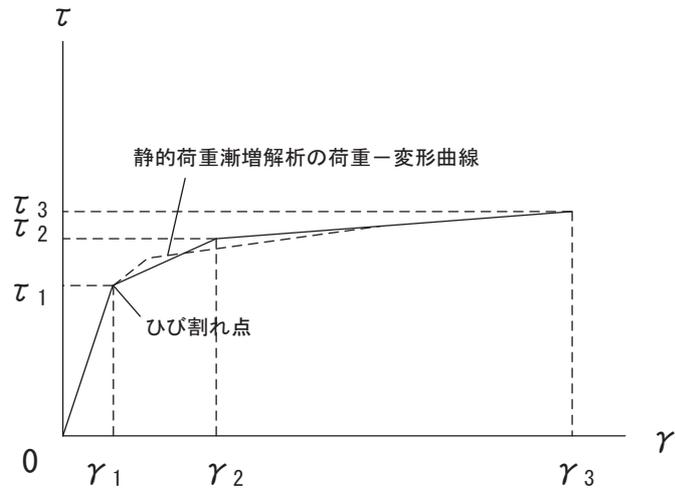
フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、耐震壁及び屋根スラブを単位幅で切り出し柱脚固定としたフレームモデルを用い、せん断変形及び曲げ変形を考慮した静的荷重漸増解析に基づき設定する。大物搬入口躯体の静的荷重増分解析には、解析コード「fappase」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

以下に静的荷重漸増解析の条件を示す。

- ・外力分布は、1層モデルのため屋根面のみに外力を考慮する。
- ・解析モデルは対称モデルであり、加力方向による違いは生じないため、正方向のみの加力を行う。
- ・加力方向における最大層間変形角が 1/150 を上回る変形角となるように外力の最大値を設定する。

以上の静的荷重漸増解析より求まる荷重－変形曲線にフィッティングするトリニア型のスケルトンカーブでフレーム構造部の非線形特性を評価する。第 1 折点はひび割れモーメント発生時、第 3 剛性は層間変形角 1/150 の増分解析時の接線剛性とし、第 1 折点から層間変形角 1/150 の範囲でエネルギー等価となるように設定する。

フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-11 に示す。



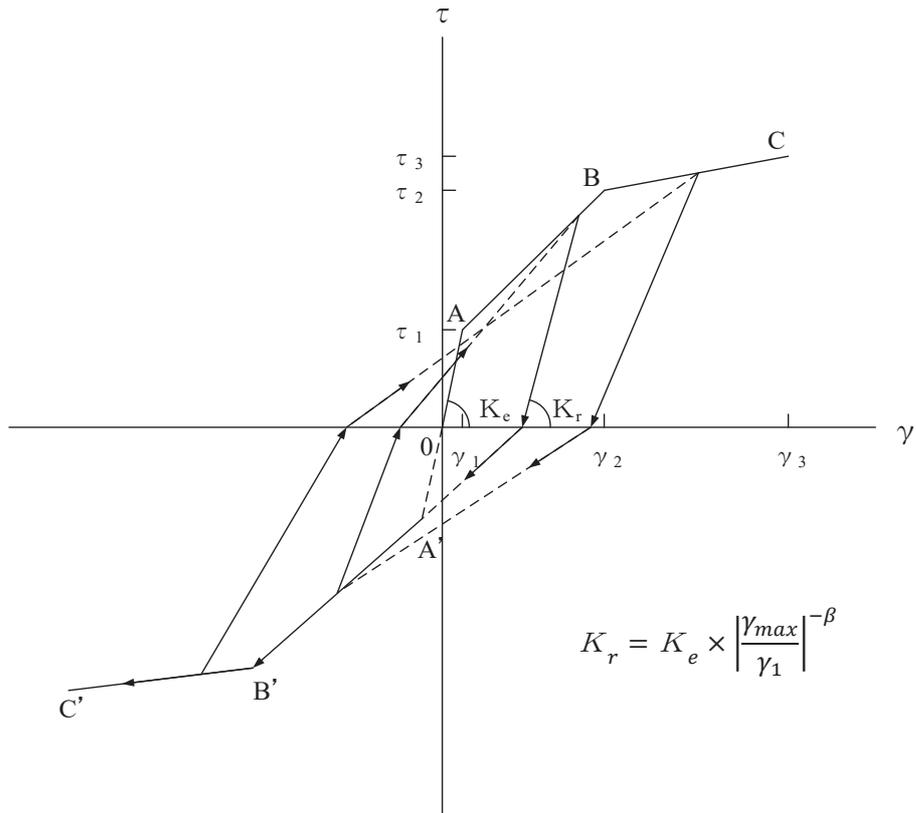
- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 層間変形角 1/150 のせん断ひずみ

注：静的荷重漸増解析の荷重-変形曲線に基づき設定しており，曲げ成分を含んだ等価な履歴特性として設定

図 3-11 フレーム構造部のせん断応力度-せん断ひずみ関係の履歴特性

(6) EW 方向フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「日本建築学会 1990 年 建築耐震設計における保有耐力と変形性能」に基づき、武田モデルとする。フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-12 に示す。



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：復元力が 0 になるまで勾配  $K_r$  で負側に向かい、復元力 0 から負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていなければ、負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：復元力が 0 になるまで勾配  $K_r$  で負側に向かい、復元力 0 から負側スケルトンが経験した最大点に向かう。
- d. 復元力 0 の点から最大点に向かう直線上から反対方向に戻る場合も復元力が 0 になるまで勾配  $K_r$  で戻り、その後反対側の今までの最大点に向かう。
- e. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-12 フレーム構造部のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(7) スケルトンカーブの諸数値

大物搬入口躯体の耐震壁（NS 方向）及びフレーム構造部（EW 方向）について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-5～表 3-7 に示す。

表 3-5 せん断力のスケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$  関係）

NS 方向

階	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
1 階	1.87	2.53	3.26	0.178	0.535	4.00

表 3-6 曲げモーメントのスケルトンカーブ（ $M - \phi$  関係）

NS 方向

階	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN·m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN·m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN·m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}$ /m)
1 階	0.0891	0.248	0.394	2.00	23.2	331

表 3-7 せん断力のスケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$  関係）

EW 方向

階	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
1 階	5.37	11.1	12.9	0.512	4.26	6.67

注：静的荷重漸増解析の荷重－変形曲線に基づき設定しており，曲げ成分を含んだ等価な履歴特性として設定していることから，曲げモーメントのスケルトンカーブは設定されない。

### 3.5.2 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  について、全ての地震動に対して実施する。

地盤剛性については、基礎固定としてモデルとしていることから不確かさを考慮しない。ただし、不確かさケースに用いる入力地震動について、原子炉建屋の地震応答解析における不確かさケースの1階床応答を用いることで地盤剛性の不確かさを考慮する。

建屋剛性については、原子炉建屋の地震応答解析と同様に建屋剛性の低下に関する不確かさを考慮するものとし、入力する地震動に対して最も剛性が低下するケースを考慮する。基準地震動  $S_s$  入力時は原子炉建屋の地震応答解析モデルで考慮している、基準地震動  $S_s$  入力後のさらなる剛性低下を考慮したケースについて検討する。弾性設計用地震動  $S_d$  入力に対しては、原子炉建屋の2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により設定した剛性補正係数による剛性低下を考慮したケースについて検討する。なお、建屋剛性の不確かさを考慮するケースにおけるコンクリート物性値は、原子炉建屋の地震応答解析における建屋剛性の不確かさを考慮するケースでの物性値と同一とする。

材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを表3-8に示す。

表 3-8(1) 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース (水平方向)

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	入力地震動 (原子炉建屋 1 階床応答) を算定する原子炉建屋の地震応答解析ケース
		初期剛性	終局耐力		
基準地震動 S s	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性*1	設計基準強度*1 を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	5%	ケース 1 (基本ケース)
	ケース 2	同上	同上	同上	ケース 2 (地盤物性+σ)
	ケース 3				ケース 3 (地盤物性-σ)
	ケース 4	剛性低下考慮*3 (原子炉建屋のケース 4~ケース 6 に相当)	設計基準強度*2 を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	同上	ケース 4 (建屋剛性考慮)
	ケース 5				ケース 5 (建屋剛性考慮, 地盤物性+σ)
	ケース 6				ケース 6 (建屋剛性考慮, 地盤物性-σ)
弾性設計用地震動 S d	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性*1	設計基準強度*1 を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	5%	ケース 1 (基本ケース)
	ケース 2	同上	同上	同上	ケース 2 (地盤物性+σ)
	ケース 3				ケース 3 (地盤物性-σ)
	ケース 4	剛性低下考慮*4 (原子炉建屋のケース 1~ケース 3 に相当)	設計基準強度*2 を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	同上	ケース 1 (基本ケース)
	ケース 5				ケース 2 (地盤物性+σ)
	ケース 6				ケース 3 (地盤物性-σ)

注記 \*1: 新設部の設計基準強度  $F_c=33\text{N/mm}^2$  より算定する。

\*2: 原子炉建屋の剛性を適用していることを踏まえ, 既設部の設計基準強度  $F_c=32.4\text{N/mm}^2$  ( $330\text{kg/cm}^2$ ) より算定する。

\*3: 原子炉建屋の建屋剛性の不確かさケースの剛性を適用する。

\*4: 原子炉建屋の基本ケース (2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により設定した剛性補正係数による剛性低下を考慮したケース) の物性値を適用する。

\*5: せん断終局耐力については, 耐震壁がボックス壁ではないことから, 「技術基準解説書」を参考に算出する。

\*6: 静的荷重漸増解析により求まる荷重-変形関係の層間変形角 1/150 時点での耐力を終局耐力として設定する。

表 3-8(2) 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース (鉛直方向)

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	入力地震動 (原子炉建屋1階床応答) を算定する原子炉建屋の地震応答解析ケース
		初期剛性	終局耐力		
基準地震動 S s 及び 弾性設計用地震動 S d	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性*	—	5%	ケース 1 (基本ケース)
	ケース 2	同上	—	同上	ケース 2 (地盤物性 + $\sigma$ )
	ケース 3				ケース 3 (地盤物性 - $\sigma$ )

注記\* : 新設部の設計基準強度  $F_c=33\text{N/mm}^2$  より算定する。

#### 4. 解析結果

##### 4.1 動的解析

本資料においては、代表として基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の基本ケースの地震応答解析結果を示す。

##### 4.1.1 固有値解析結果

基本ケースの地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有値及び固有振動数）を表 4-1～表 4-3 に示す。固有振動モードを図 4-1～図 4-3 に示す。

##### 4.1.2 応答解析結果

基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の基本ケースの地震応答解析結果を図 4-4～図 4-25 に示す。

表 4-1 固有値解析結果（NS 方向）

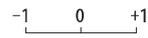
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.042	23.78	0.859

表 4-2 固有値解析結果（EW 方向）

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.142	7.02	1.204

表 4-3 固有値解析結果（UD 方向）

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.016	64.45	1.012



PERIOD 0.042 s  
FREQUENCY 23.78 Hz  
PERTI. COEFF 0.859

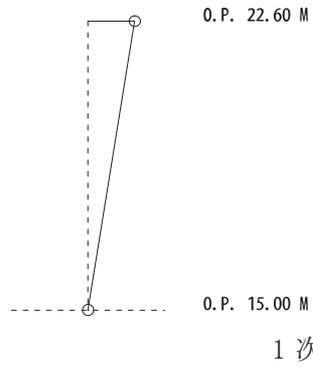
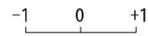


図 4-1 固有振動モード(NS方向)



PERIOD 0.142 s  
FREQUENCY 7.02 Hz  
PERTI. COEFF 1.204

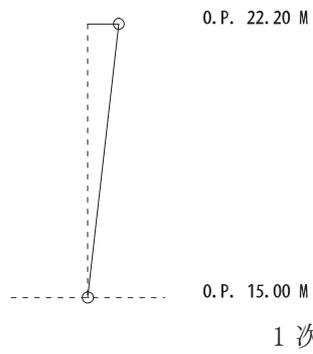
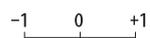


図 4-2 固有振動モード(EW方向)



PERIOD 0.016 s  
 FREQUENCY 64.45 Hz  
 PERTI. COEFF 1.012

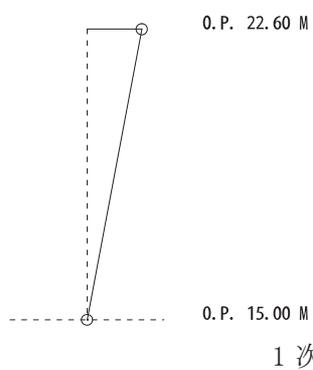
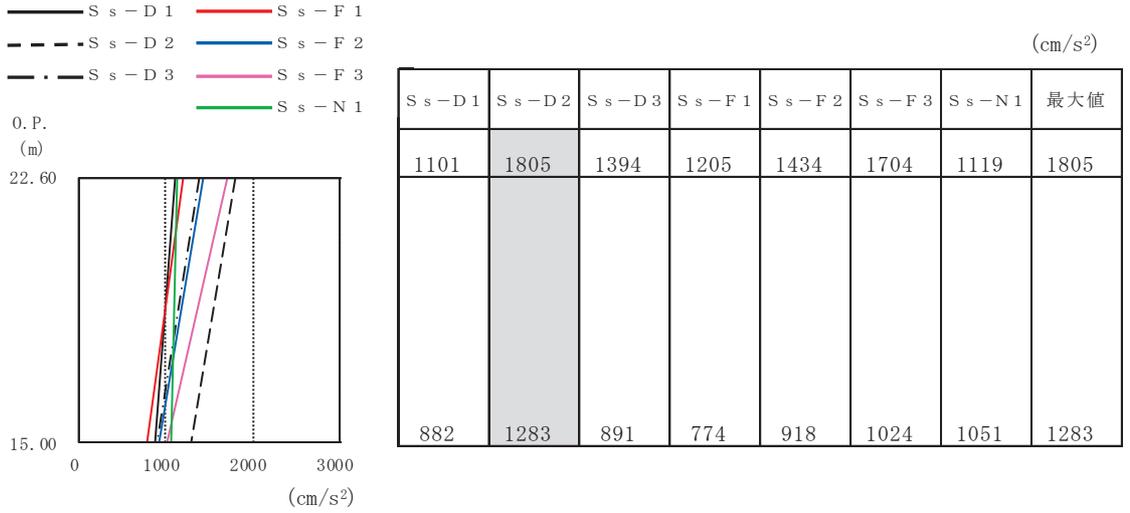
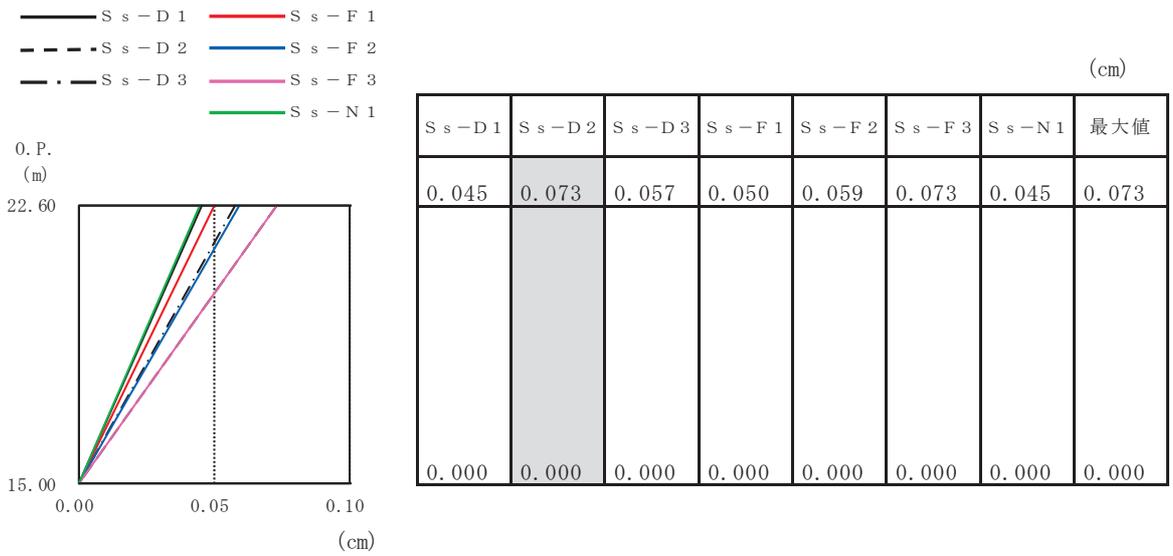


図 4-3 固有振動モード (UD 方向)



注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

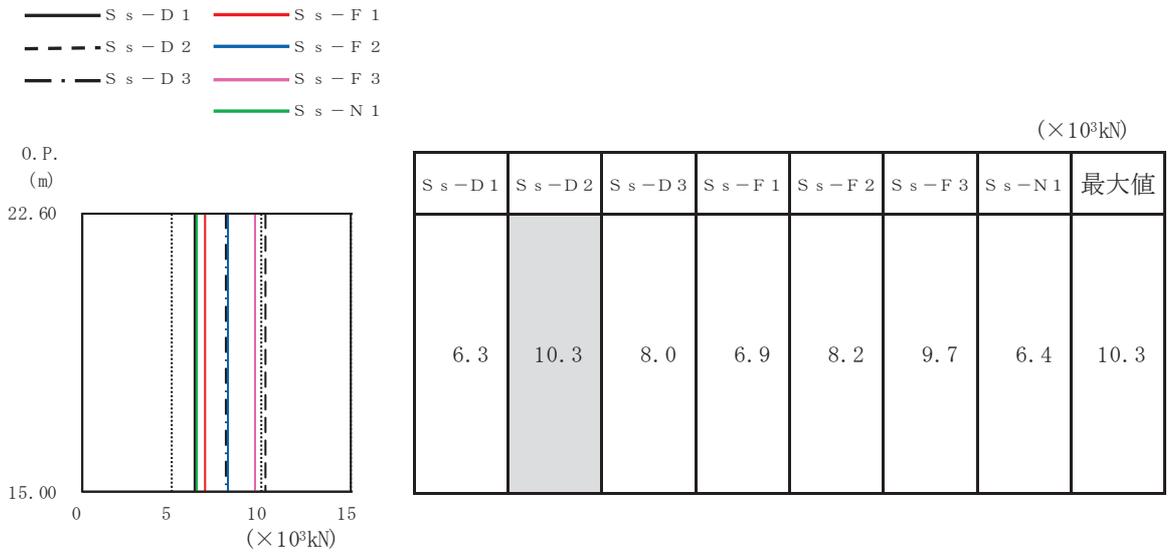
図 4-4 最大応答加速度（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）



注 1：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

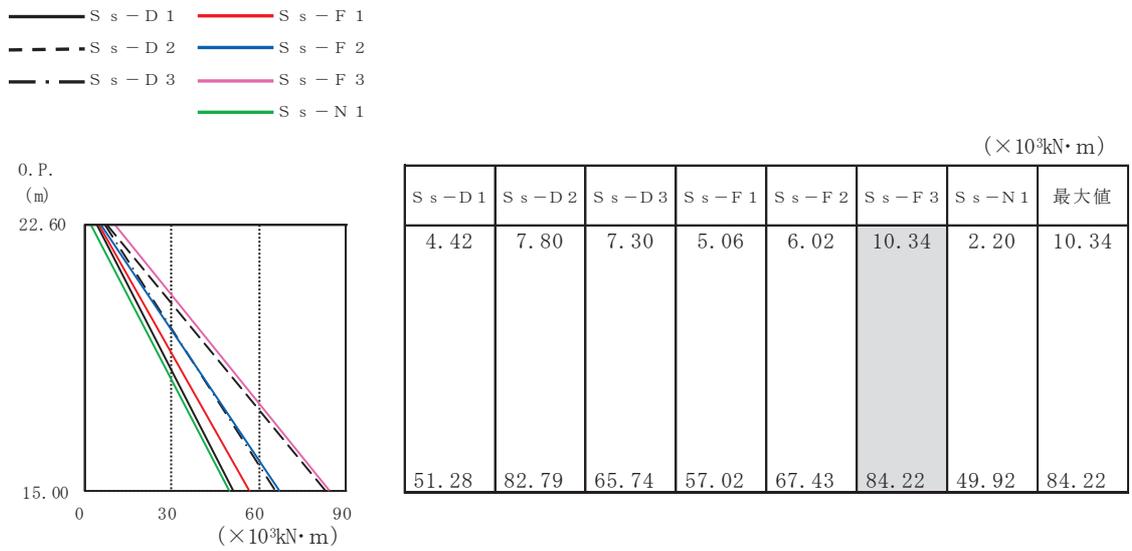
注 2：基礎固定モデルのため O.P. 15.0m に対する相対変位を表示。

図 4-5 最大応答変位（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）



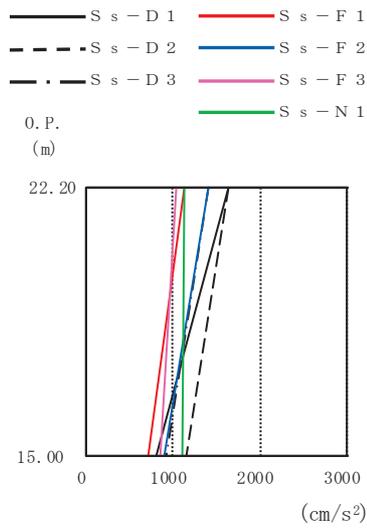
注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-6 最大応答せん断力（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）



注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

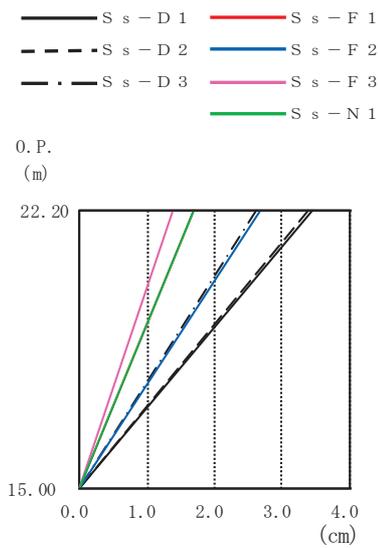
図 4-7 最大応答曲げモーメント（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）



							(cm/s <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -D 2	S <sub>s</sub> -D 3	S <sub>s</sub> -F 1	S <sub>s</sub> -F 2	S <sub>s</sub> -F 3	S <sub>s</sub> -N 1	最大値
1628	1628	1400	1124	1417	1040	1116	1628
815	1143	926	703	903	850	1106	1143

注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

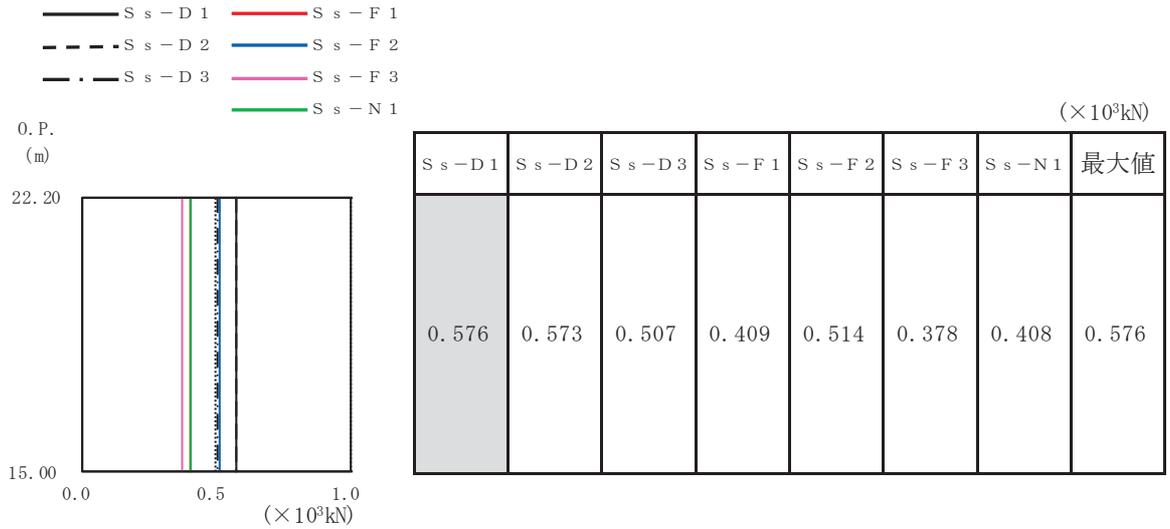
図 4-8 最大応答加速度（基準地震動 S<sub>s</sub>，EW 方向）



							(cm)
S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -D 2	S <sub>s</sub> -D 3	S <sub>s</sub> -F 1	S <sub>s</sub> -F 2	S <sub>s</sub> -F 3	S <sub>s</sub> -N 1	最大値
3.440	3.391	2.611	1.688	2.676	1.387	1.678	3.440
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

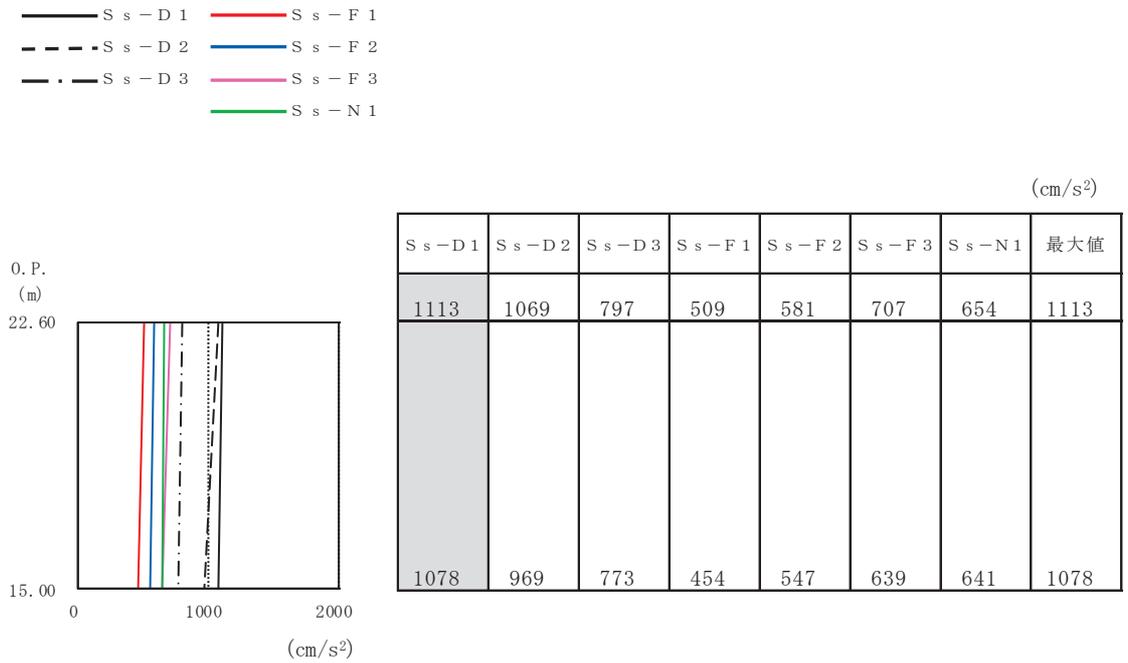
注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-9 最大応答変位（基準地震動 S<sub>s</sub>，EW 方向）



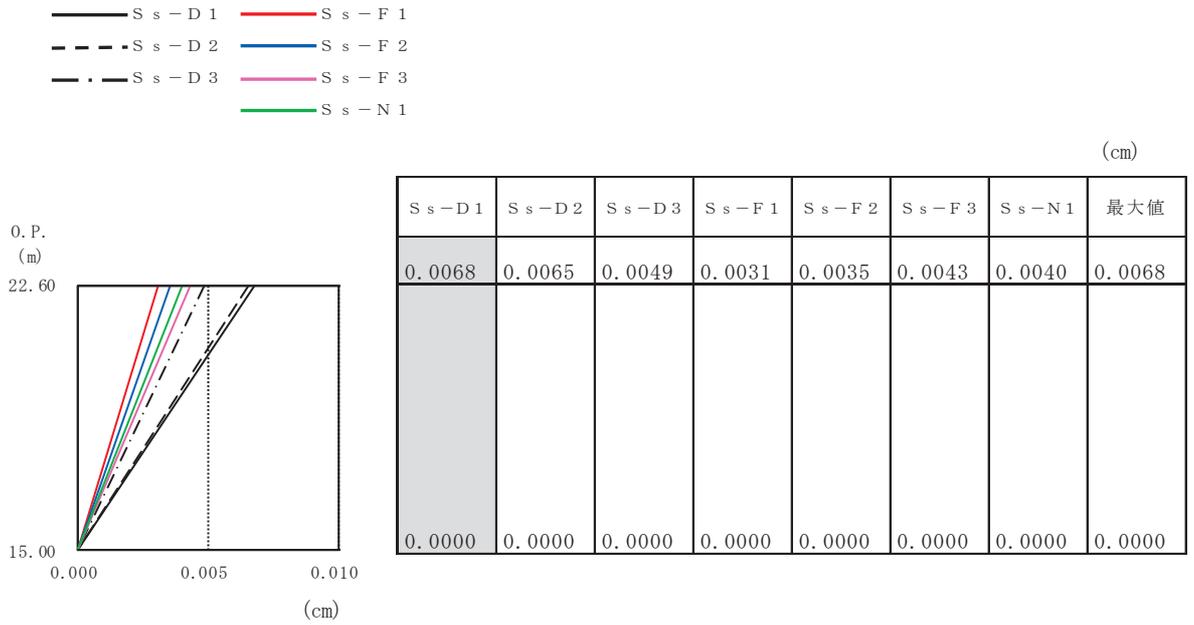
注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-10 最大応答せん断力（基準地震動 S<sub>s</sub>，EW 方向）



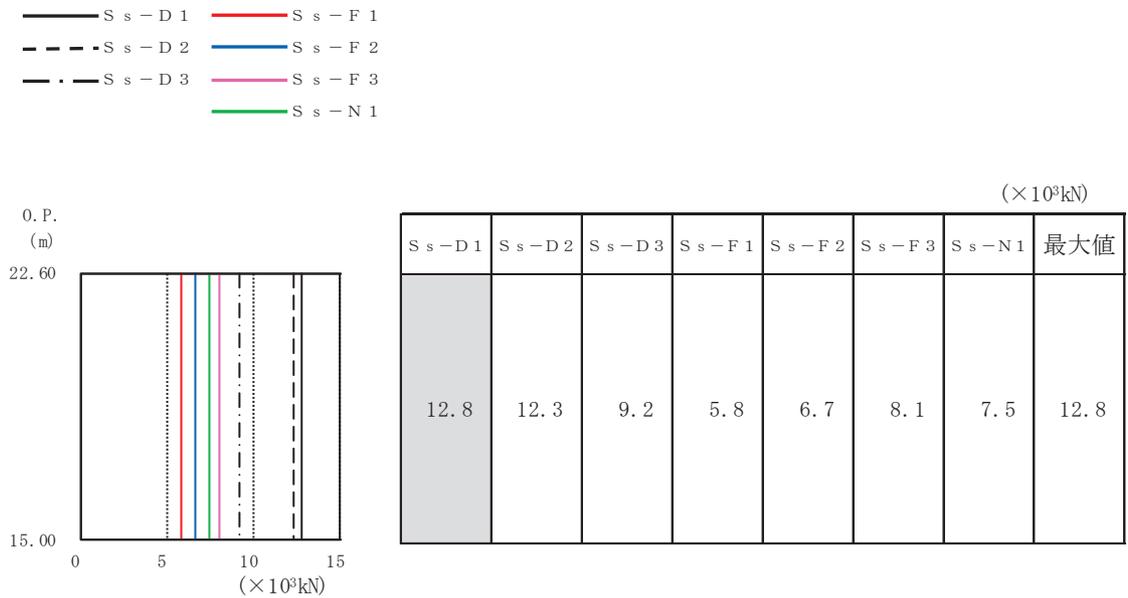
注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-11 最大応答加速度（基準地震動 S<sub>s</sub>，UD 方向）



注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-12 最大応答変位（基準地震動 S<sub>s</sub>，UD 方向）



注：ハッチングはS<sub>s</sub>7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-13 最大応答軸力（基準地震動 S<sub>s</sub>，UD 方向）

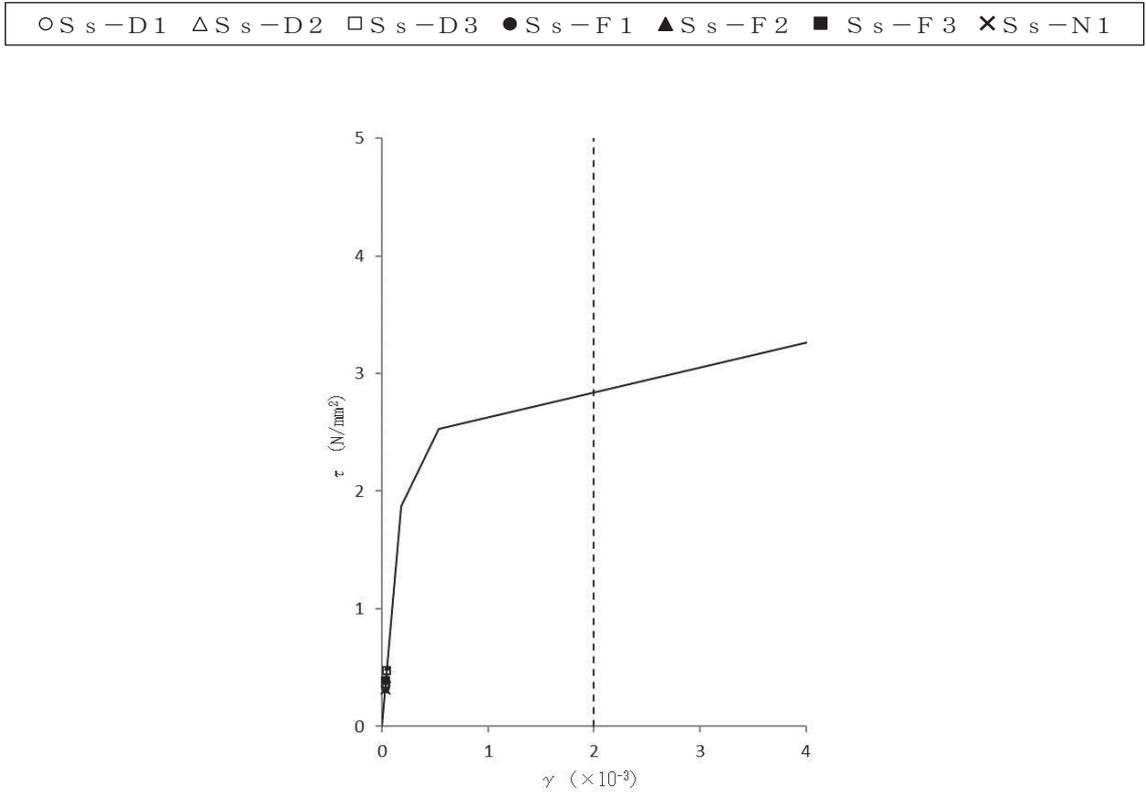
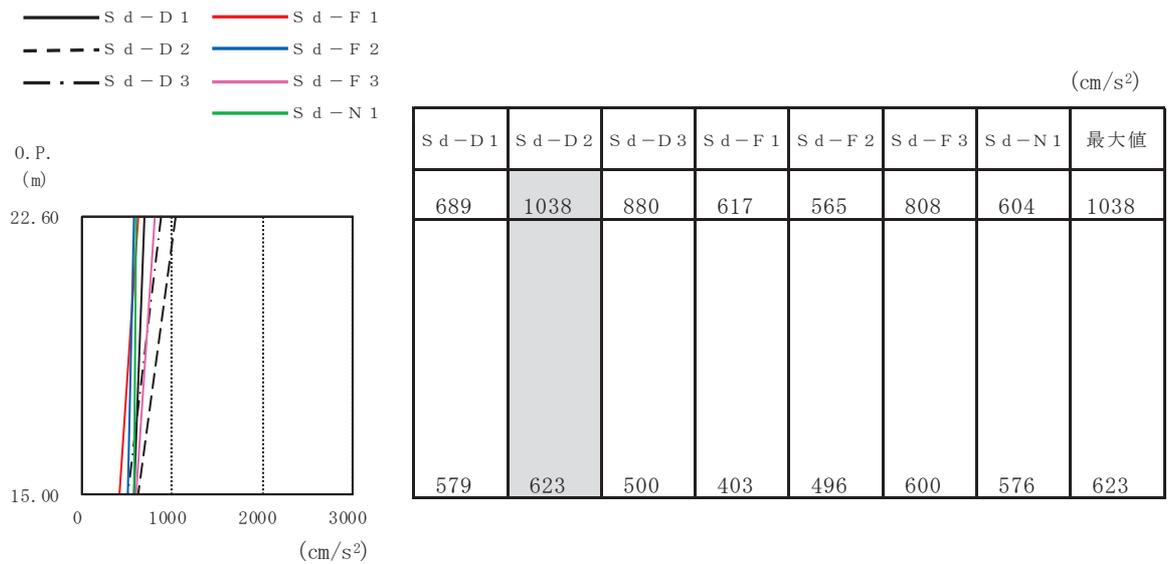
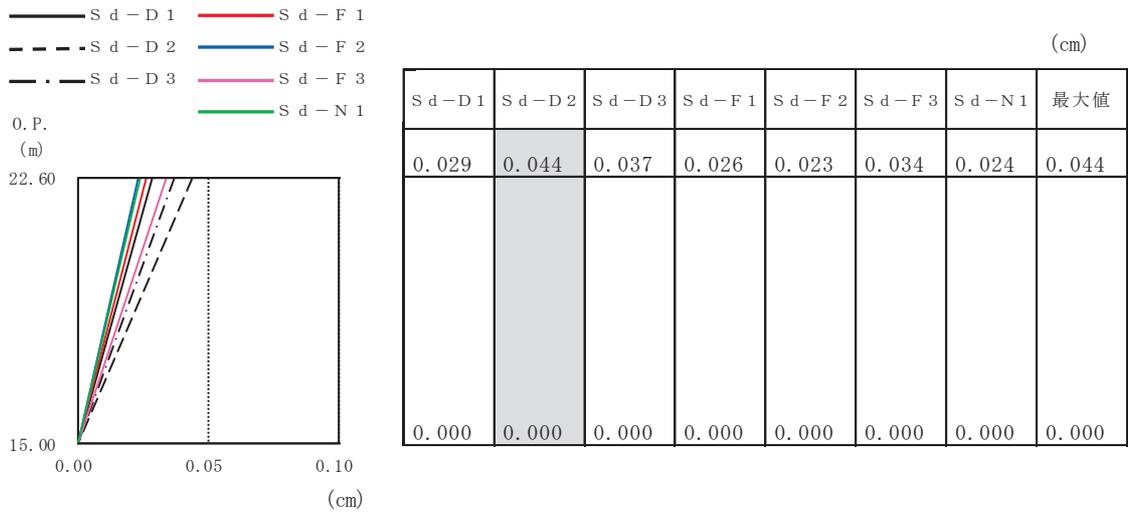


図 4-14 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)



注：ハッチングは S<sub>d</sub>7 波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

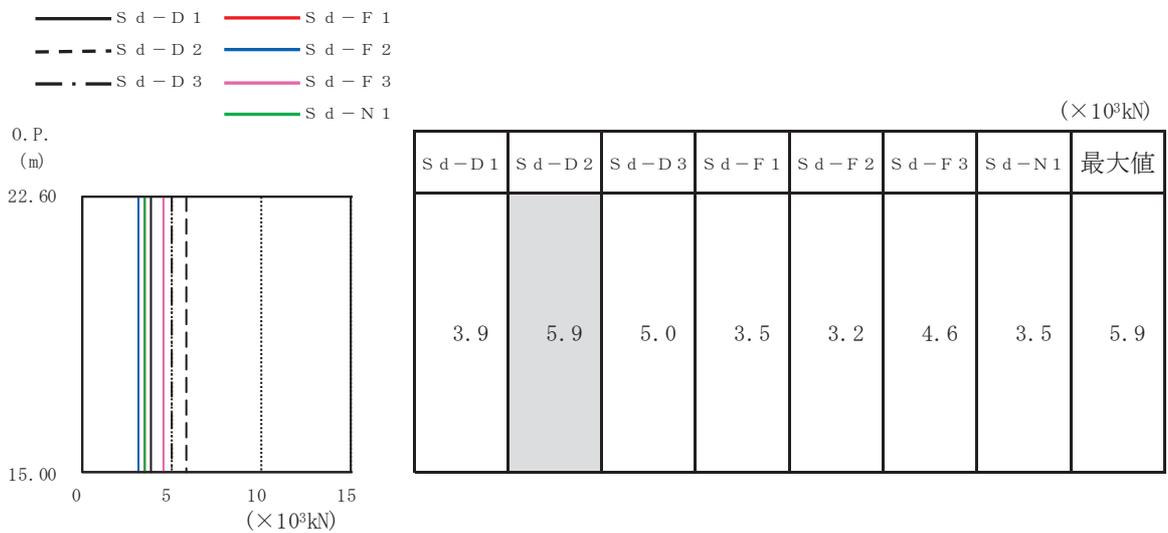
図 4-15 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>, NS 方向)



注 1 : ハッチングは S d 7 波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

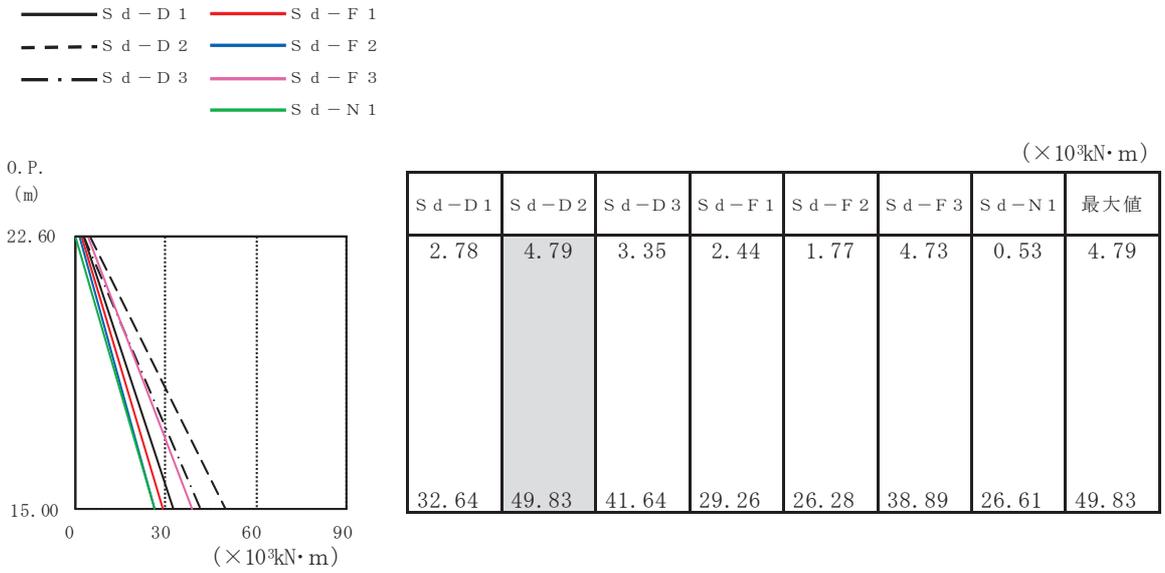
注 2 : 基礎固定モデルのため O.P. 15.0m に対する相対変位を表示。

図 4-16 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)



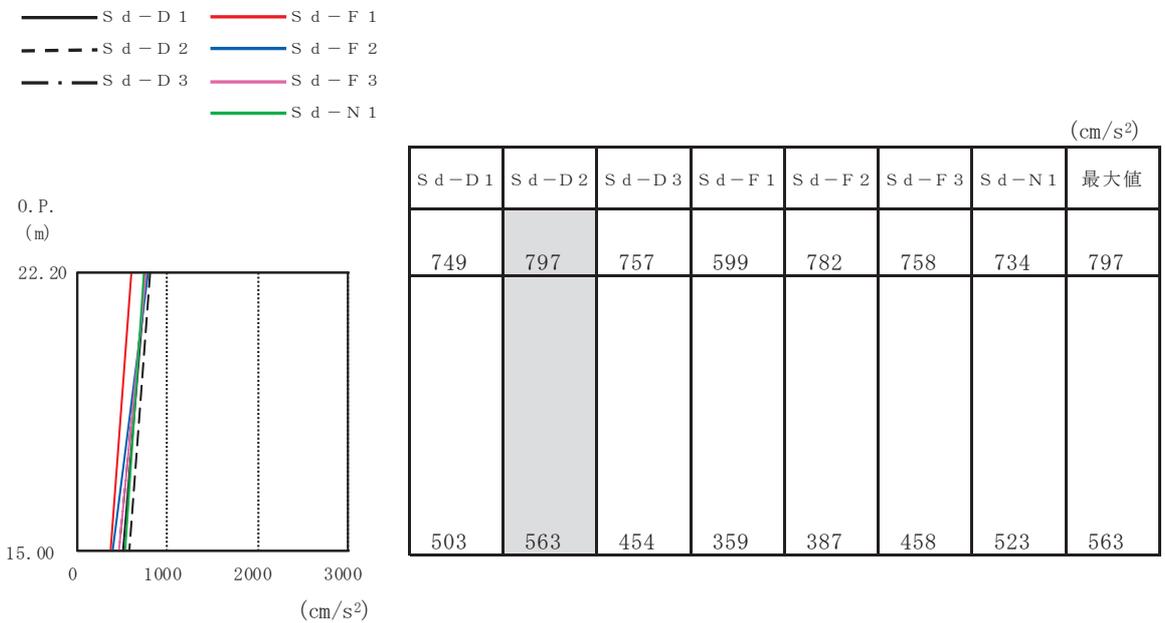
注 : ハッチングは S d 7 波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-17 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)



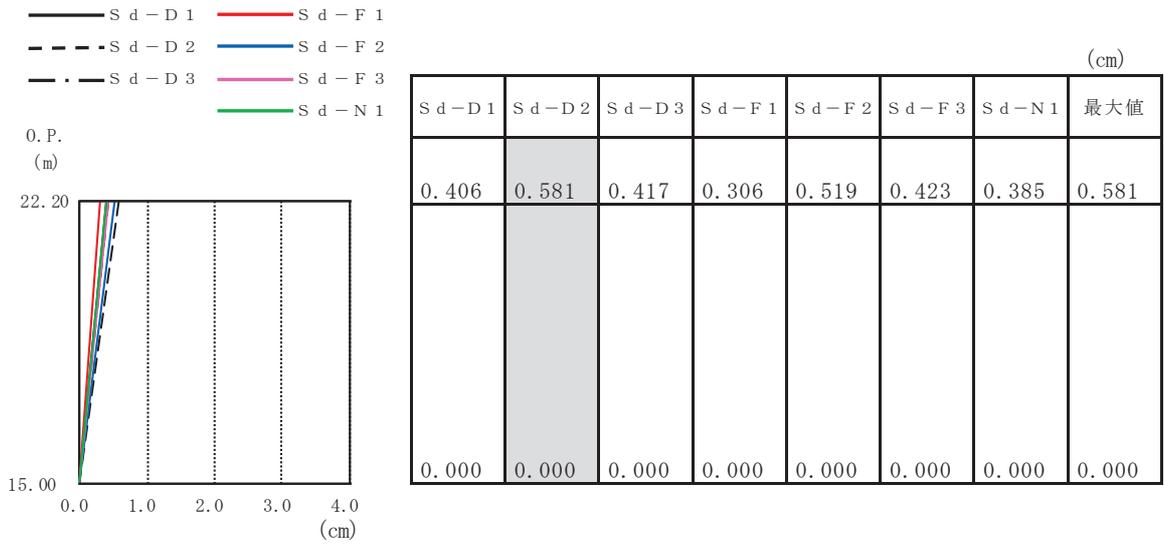
注：ハッチングはS d 7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-18 最大応答曲げモーメント（弾性設計用地震動 S d , NS 方向）



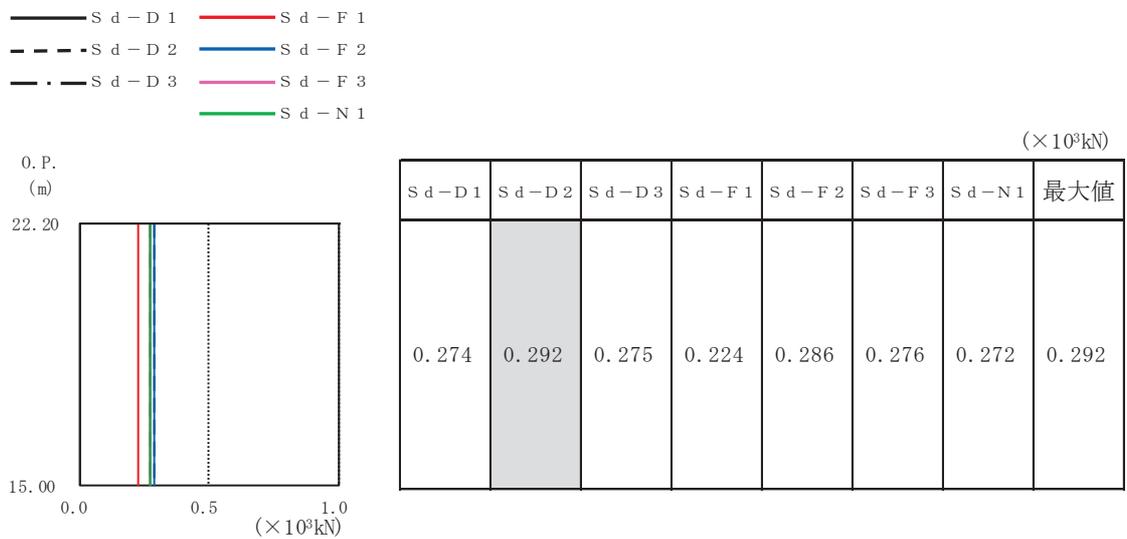
注：ハッチングはS d 7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-19 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S d , EW 方向）



注：ハッチングはSd7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

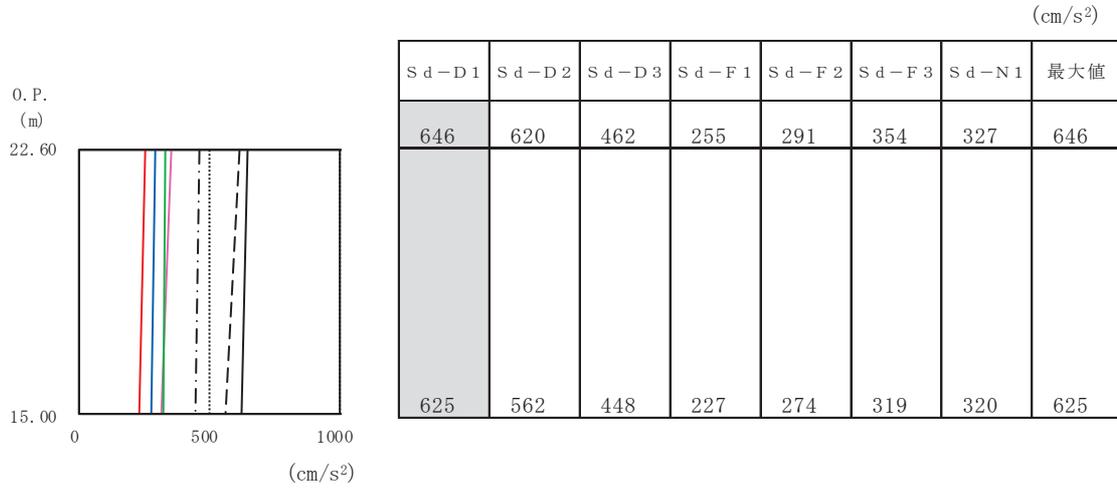
図 4-20 最大応答変位（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）



注：ハッチングはSd7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-21 最大応答せん断力（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）

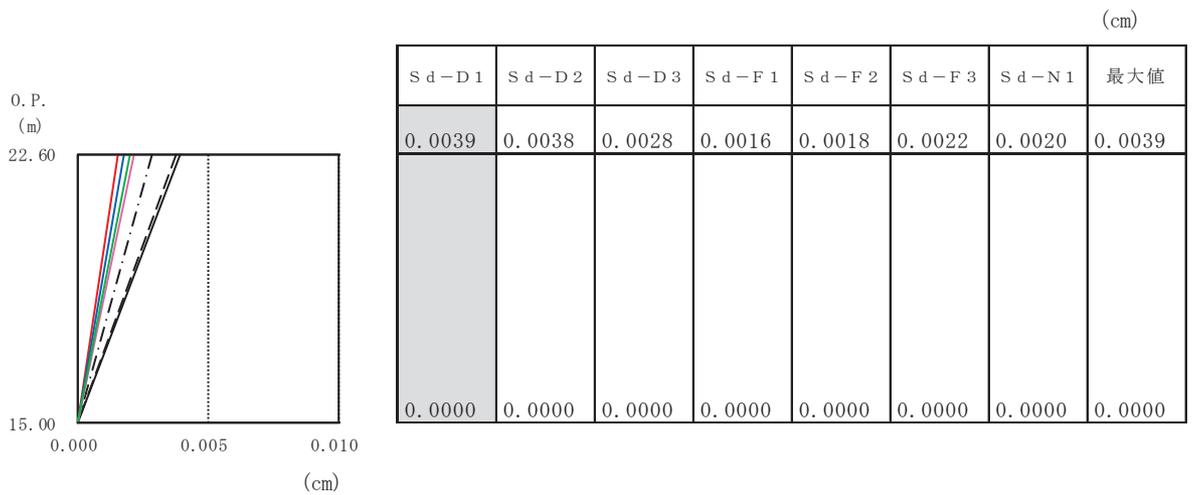
— S d - D 1    — S d - F 1  
- - - S d - D 2    — S d - F 2  
- · - S d - D 3    — S d - F 3  
— S d - N 1



注：ハッチングはS d 7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

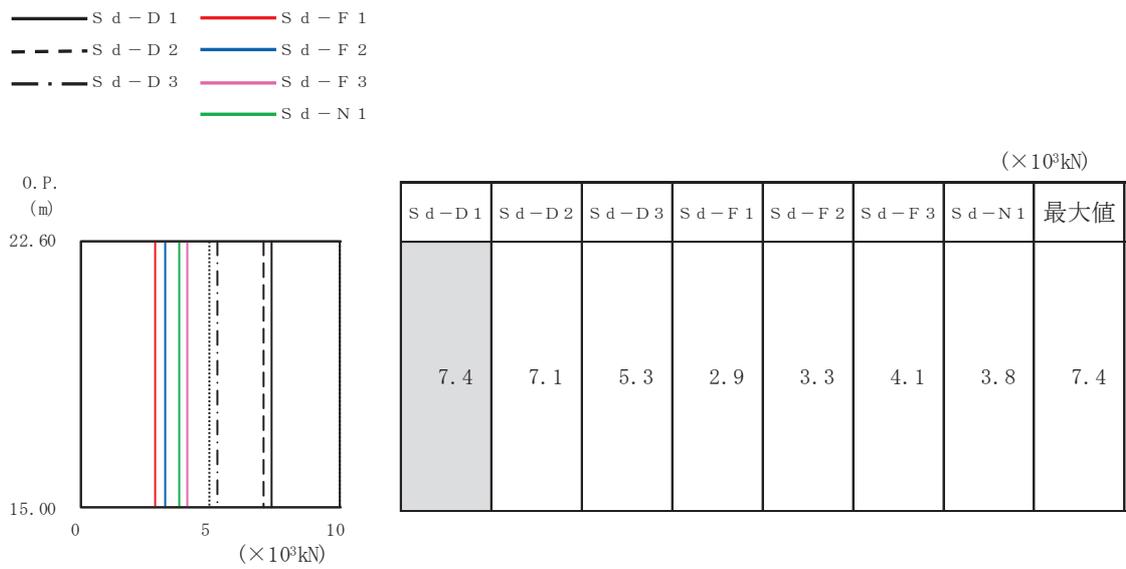
図 4-22 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S d，UD 方向）

— S d - D 1    — S d - F 1  
- - - S d - D 2    — S d - F 2  
- · - S d - D 3    — S d - F 3  
— S d - N 1



注：ハッチングはS d 7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-23 最大応答変位（弾性設計用地震動 S d，UD 方向）



注：ハッチングはS d 7波の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

図 4-24 最大応答軸力（弾性設計用地震動 S d，UD 方向）

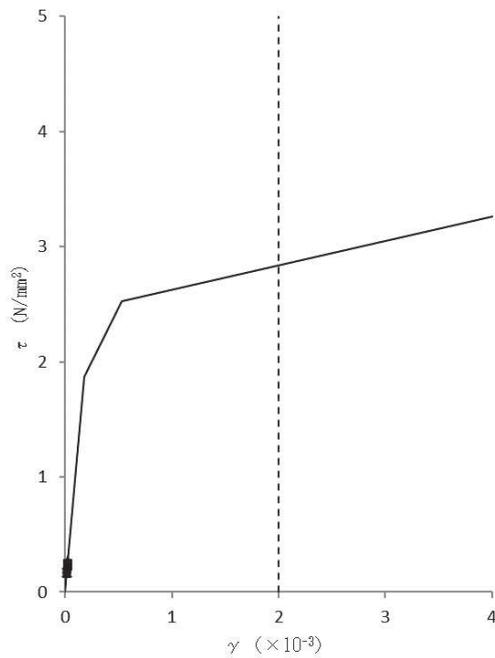
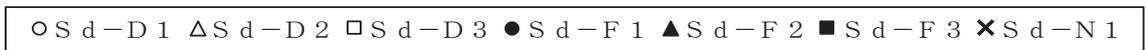


図 4-25 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）

#### 4.2 静的解析

静的地震力については、「3.4 解析方法」に示す方法にて算出する。地震層せん断力係数  $3.0C_i$  及び静的地震力（水平地震力）を表 4-4 及び表 4-5 に示す。EW 方向については単位幅の値を示す。

表 4-4 地震層せん断力係数 ( $3.0C_i$ ) 及び水平地震力 (NS 方向)

O.P. (m)	層せん断力係数	水平地震力 ( $\times 10^3\text{kN}$ )
15.0 ~ 22.6	0.48	2.71

表 4-5 地震層せん断力係数 ( $3.0C_i$ ) 及び水平地震力 (EW 方向)

O.P. (m)	層せん断力係数	水平地震力 ( $\times 10^3\text{kN/m}$ )
15.0 ~ 22.2	0.48	0.18

#### 4.3 必要保有水平耐力

必要保有水平耐力については、「3.4 解析方法」に示す方法にて算出する。必要保有水平耐力  $Q_{un}$  を表 4-6 及び表 4-7 に示す。EW 方向の形状特性係数  $F_{es}$  は、大物搬入口周囲の柱・はりフレームによる偏心の影響を考慮し、「技術基準解説書」に基づき上限値の 1.50 に設定した。

表 4-6 必要保有水平耐力  $Q_{un}$  (NS 方向)

0. P. (m)	構造特性係数 $D_s$	形状特性係数 $F_{es}$	必要保有水平耐力 $Q_{un} (\times 10^3 \text{kN})$
15.0 ~ 22.6	0.55	1.00	2.48

表 4-7 必要保有水平耐力  $Q_{un}$  (EW 方向)

0. P. (m)	構造特性係数 $D_s$	形状特性係数 $F_{es}$	必要保有水平耐力 $Q_{un} (\times 10^3 \text{kN})$
15.0 ~ 22.2	0.45	1.50	3.04

(Ⅱ) 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋の一部を構成する大物搬入口躯体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。

大物搬入口躯体のうち、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、大物搬入口躯体を構成する壁は2次しゃへい壁に該当し、その2次しゃへい壁は、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以外の常設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、大物搬入口躯体のうち、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の「Sクラスの施設」及び「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価並びに2次しゃへい壁の「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

大物搬入口躯体は、原子炉建屋の一部を構成している。大物搬入口躯体を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に、原子炉建屋における大物搬入口躯体の設置位置を図 2-2 に示す。

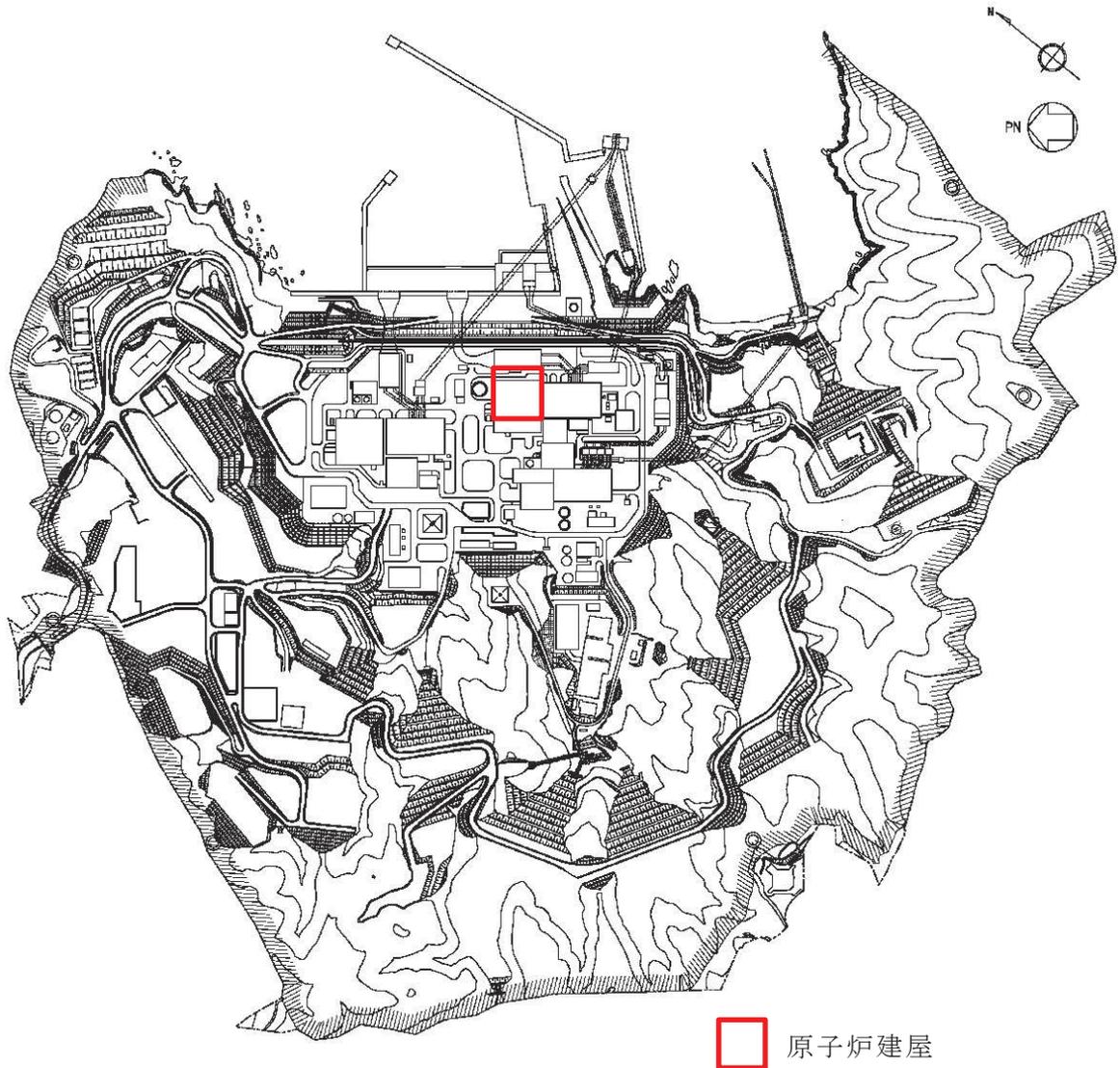
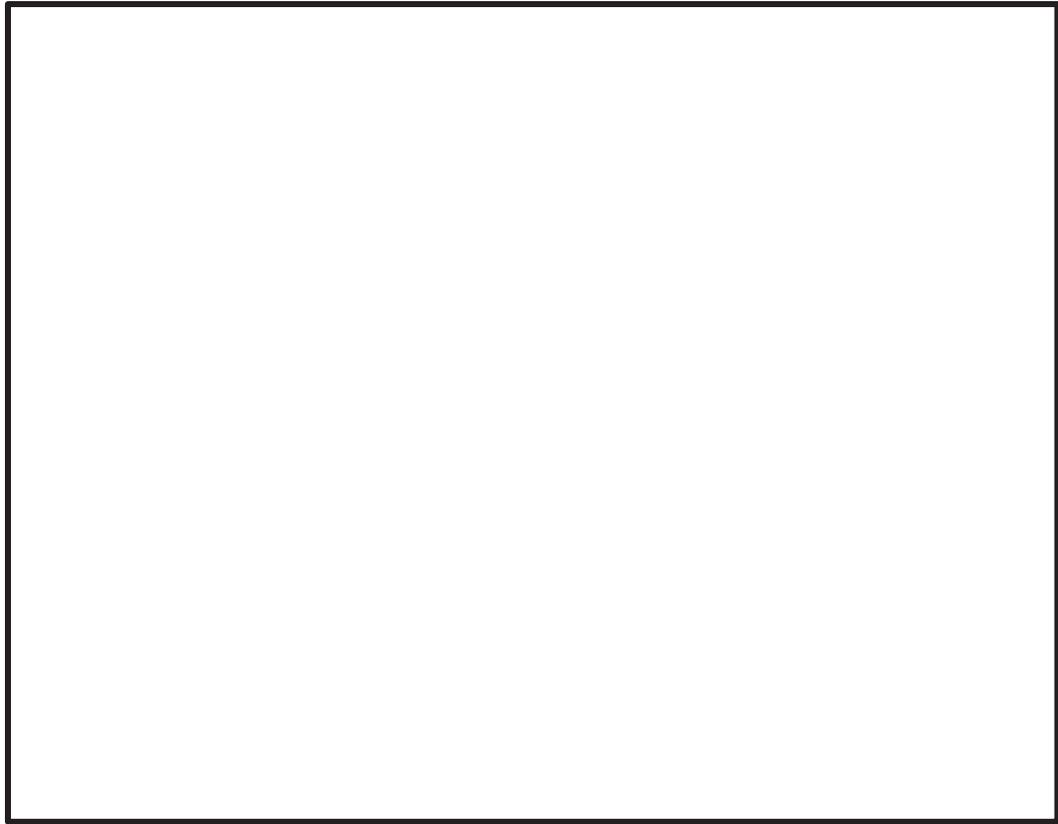


図 2-1 原子炉建屋の設置位置



O. P. 15. 0m

図 2-2 大物搬入口躯体の設置位置

## 2.2 構造概要

大物搬入口躯体は、原子炉建屋1階の北側に位置し、基礎スラブ、耐震壁及び屋根スラブからなる箱型の鉄筋コンクリート構造物である。地上高さは8.1mであり、平面は長さ12.2m（NS方向）×幅11.5m（EW方向）\*である。

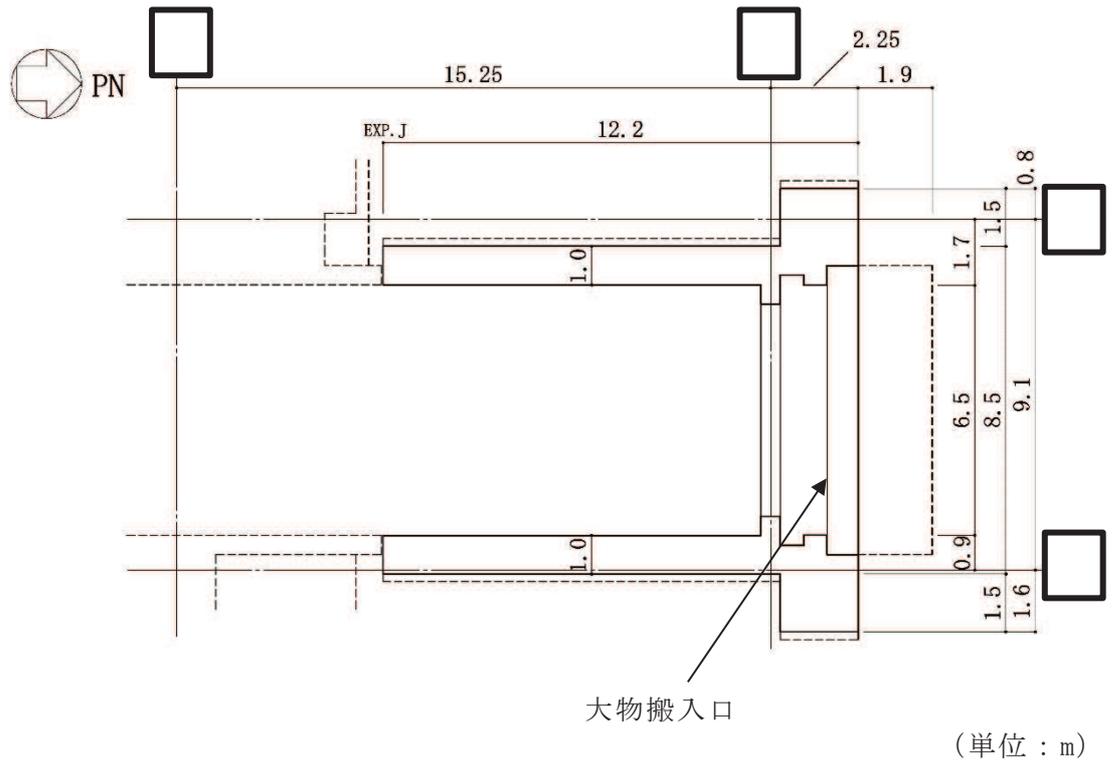
建屋の構造は鉄筋コンクリート造であり、その主たる耐震要素は耐震壁である。

大物搬入口躯体の基礎は、厚さ2.0mのべた基礎で、原子炉建屋の支持地盤上に配置されたマンメイドロック上に設置されており、原子炉建屋と一体化している。また、耐震壁及び屋根スラブは原子炉建屋とエキスパンションジョイント（以下「EXP.J」という。）を介して接続しており、構造的に分離している。なお、大物搬入口躯体については、耐震性向上の観点から、耐震補強を行うこととし、耐震補強を考慮した評価を行う。耐震補強は、既存耐震壁及び屋根スラブの増厚、大物搬入口周囲の柱・はりフレームの構築により行う。

地震力に対しては、NS方向では東西に設置されている耐震壁（面内方向）を主な耐震要素として、EW方向では同耐震壁（面外方向）及び屋根スラブで構成されるフレームを主な耐震要素として設計している。また、大物搬入口取付部は、柱及びはりによるフレーム構造としている。（以下、耐震壁と屋根スラブで構成されるEW方向のフレームを「フレーム構造部（一般部）」、大物搬入口が取付く柱及びはりによるフレームを「フレーム構造部（扉部）」という。）

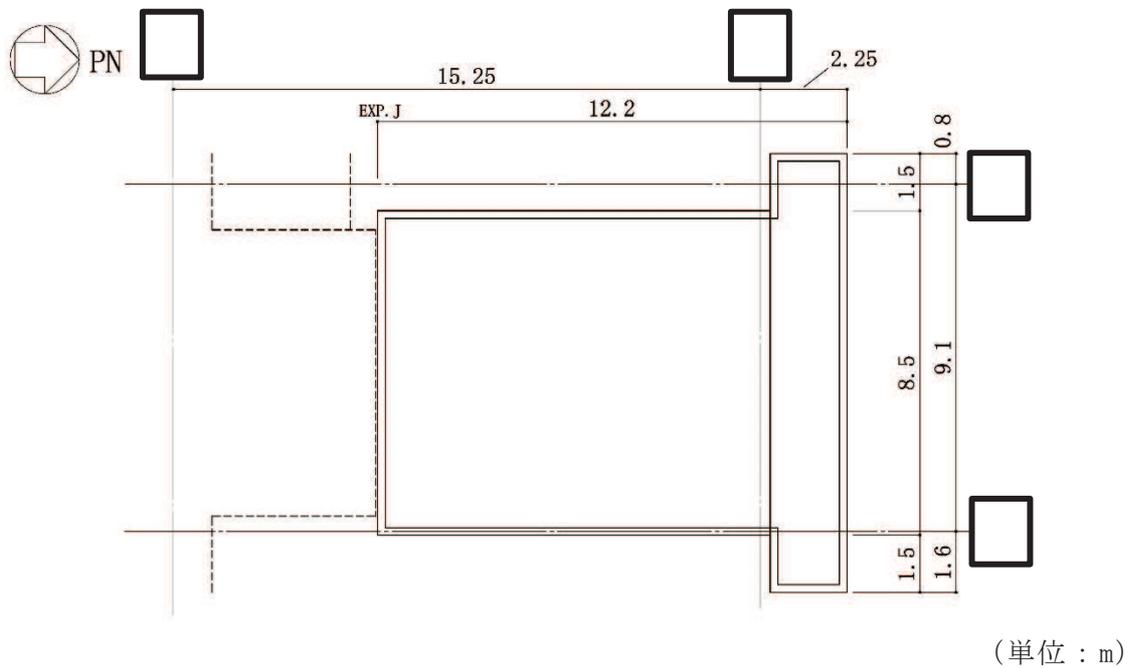
大物搬入口躯体の概略平面図及び概略断面図を図2-3及び図2-4に、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図及び断面図を図2-5及び図2-6に示す。また、2次しゃへい壁の範囲の平面図及び断面図を図2-7及び図2-8に示す。

注記\*：建屋寸法は壁外面押えとする。



注：破線は基礎スラブ及び原子炉建屋の外形を示す。

図 2-3(1) 大物搬入口躯体の概略平面図 (1F, O.P. \* 15.0m)

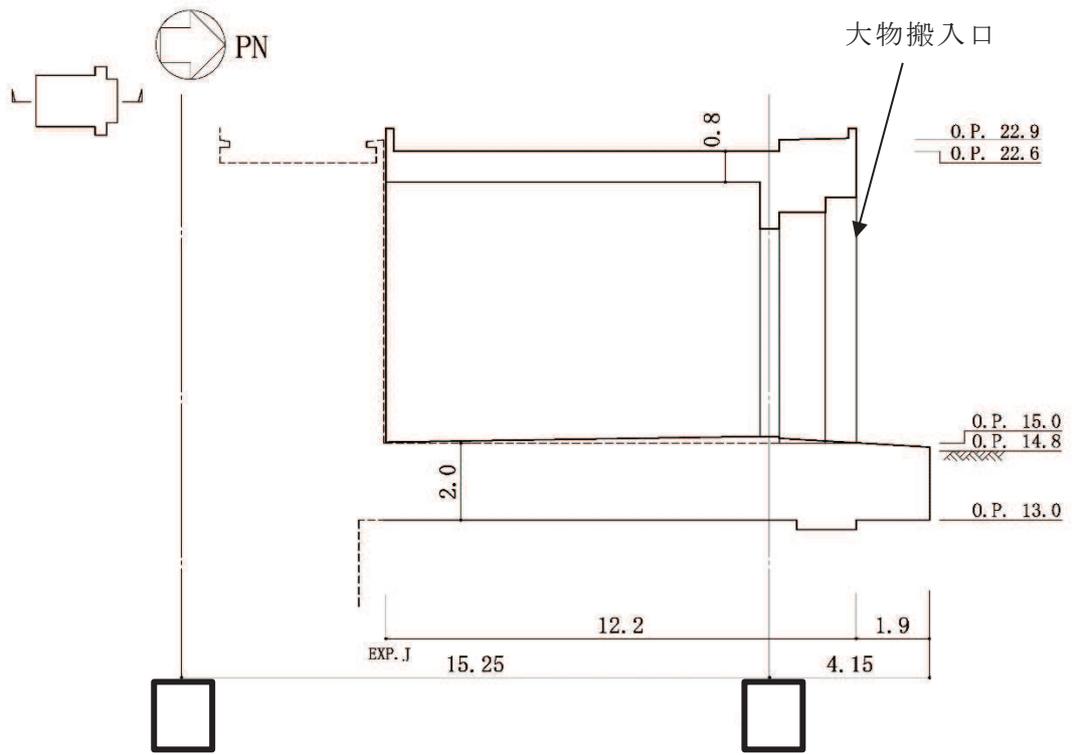


注：破線は基礎スラブ及び原子炉建屋の外形を示す。

図 2-3(2) 大物搬入口躯体の概略平面図 (RF, O.P. \* 22.6m)

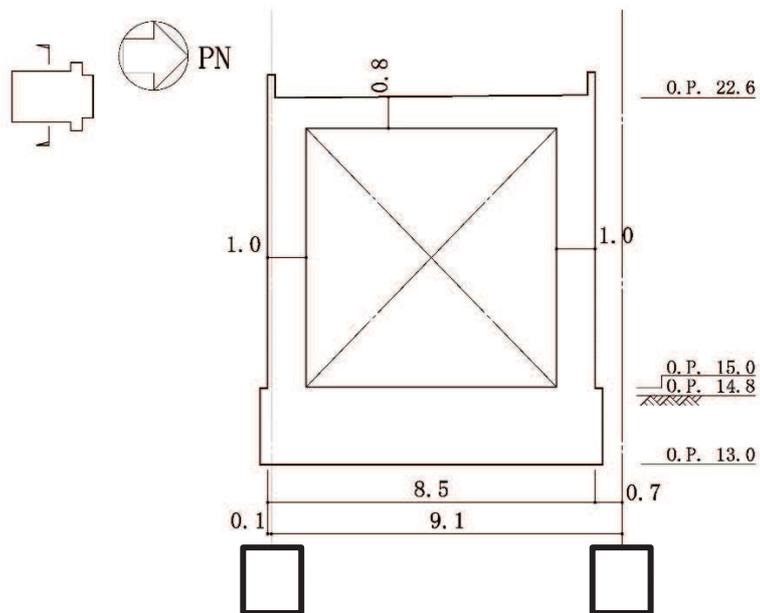
注記\*：O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)  
-0.74mである。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位：m)

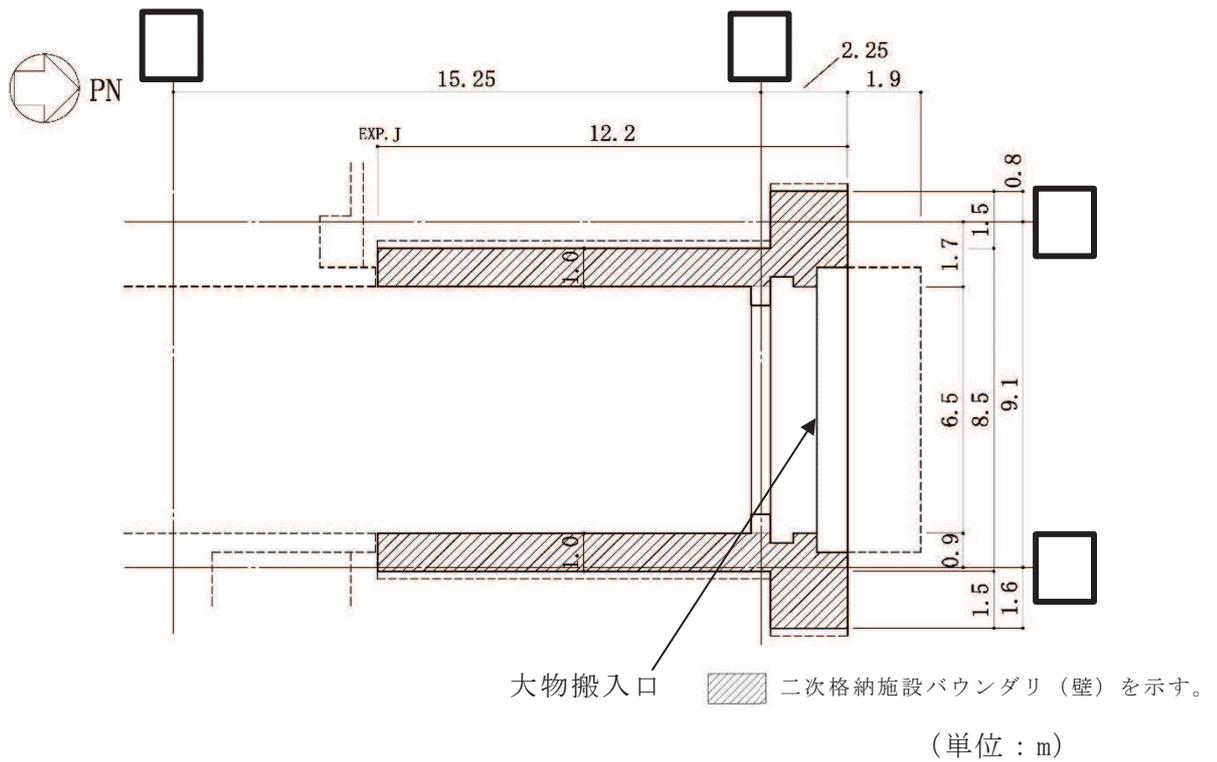
図 2-4(1) 大物搬入口躯体の概略断面図 (NS 方向)



(単位：m)

図 2-4(2) 大物搬入口躯体の概略断面図 (EW 方向)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：破線は基礎スラブ及び原子炉建屋の外形を示す。

図 2-5(1) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(1F, O.P. 15.0m) (1/2)

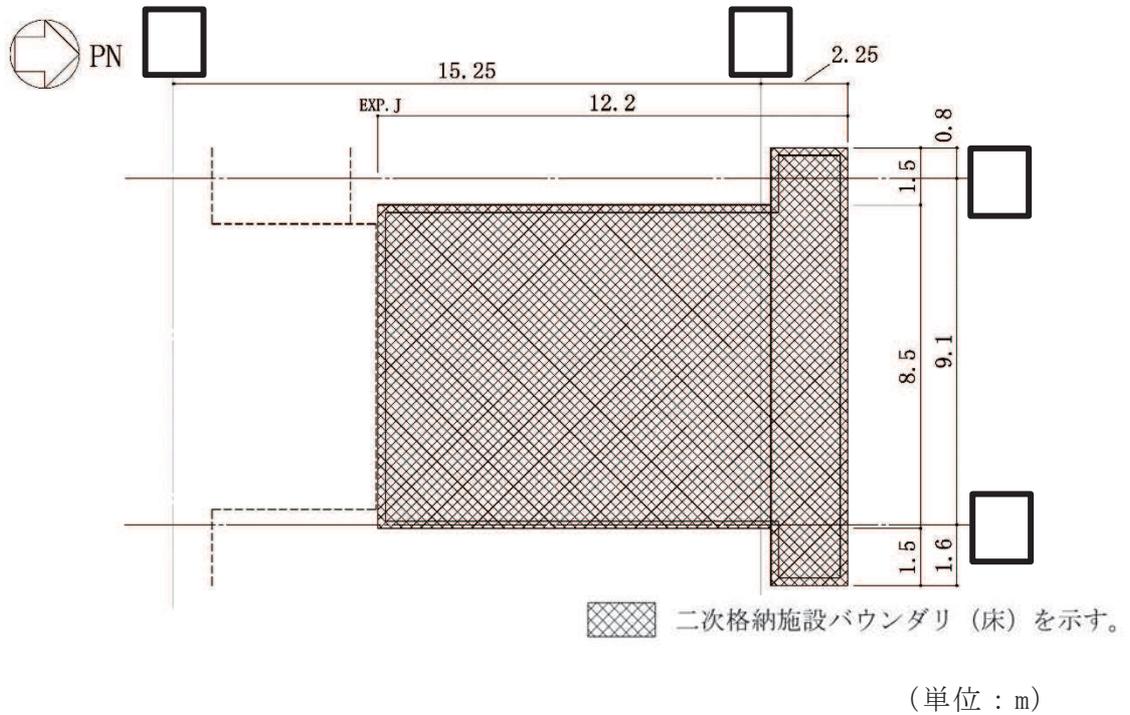
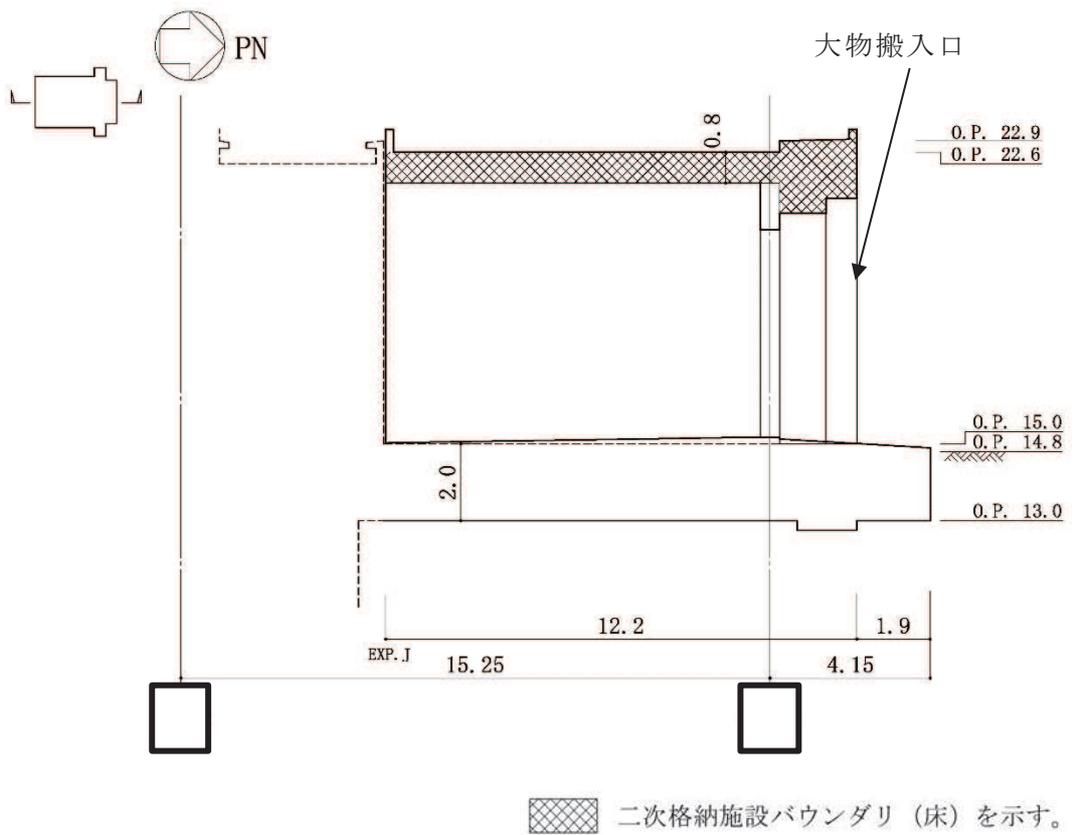


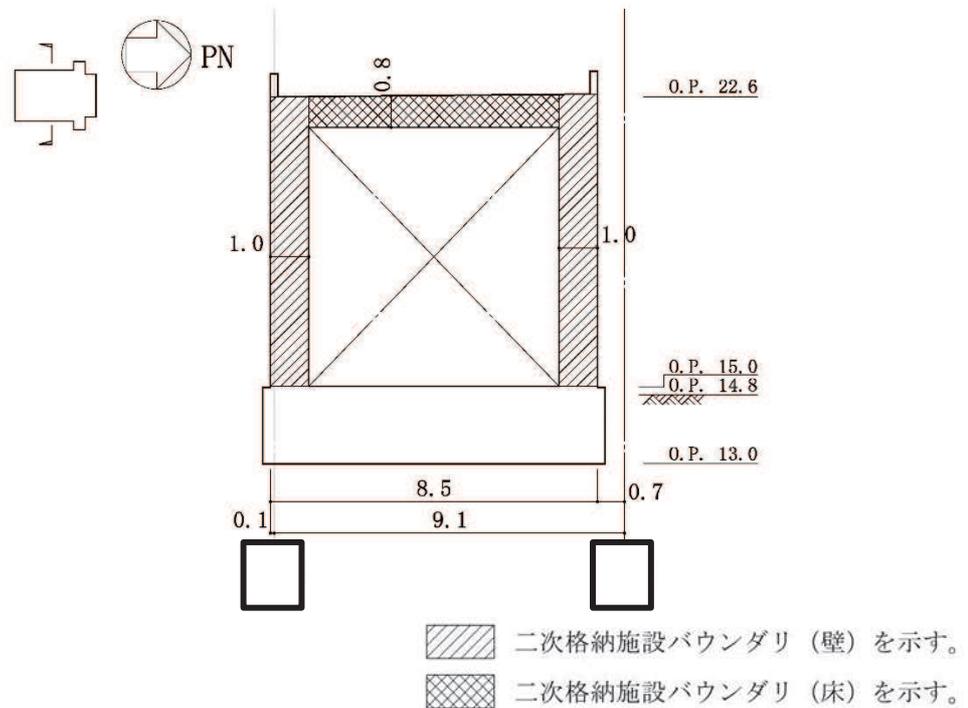
図 2-5(2) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図  
(RF, O.P. 22.6m) (2/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位：m)

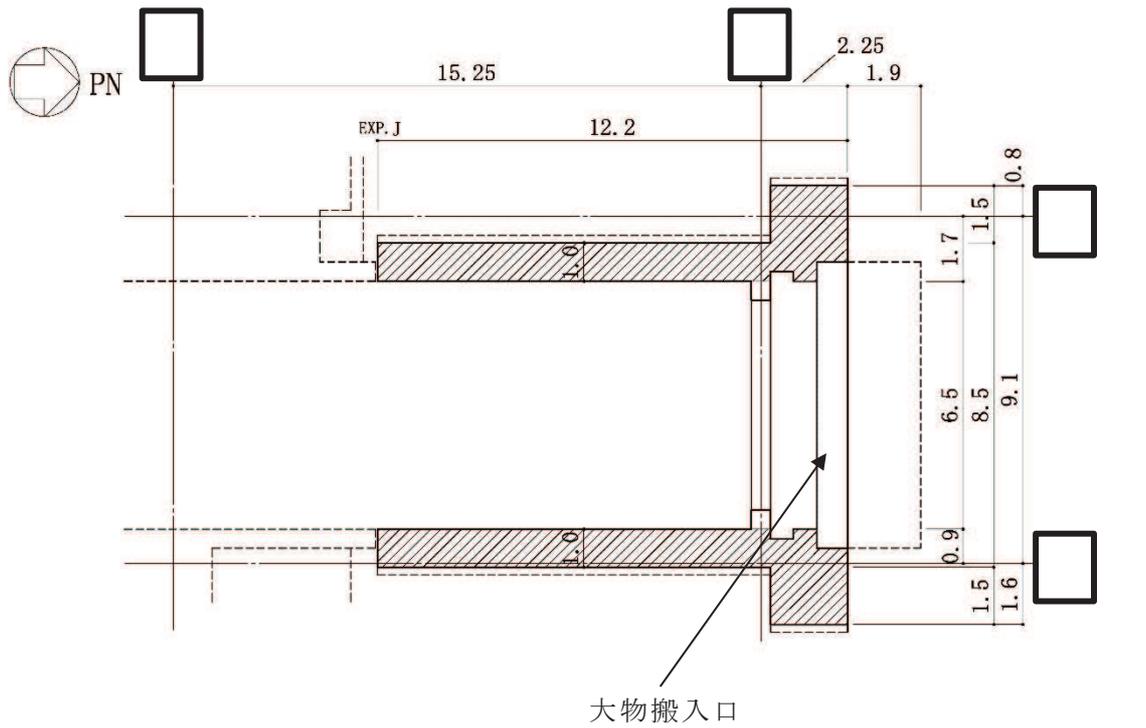
図 2-6(1) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の断面図（NS 方向）



(単位：m)

図 2-6(2) 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の範囲の断面図（EW 方向）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

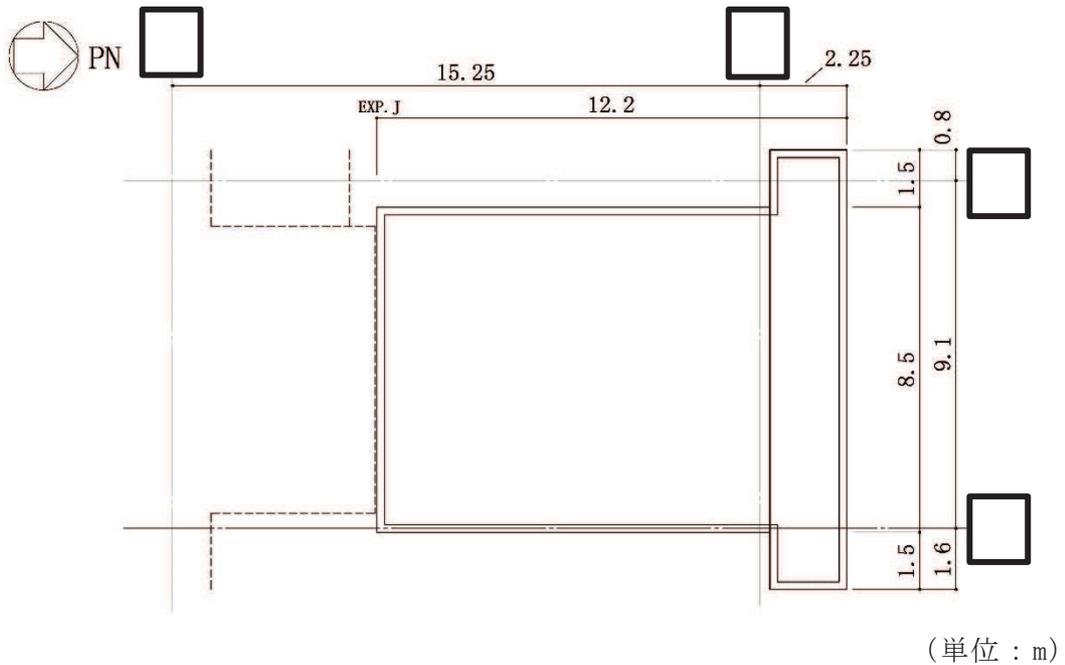


 2次しゃへい壁（壁）を示す。

(単位：m)

注：破線は基礎スラブを示す。

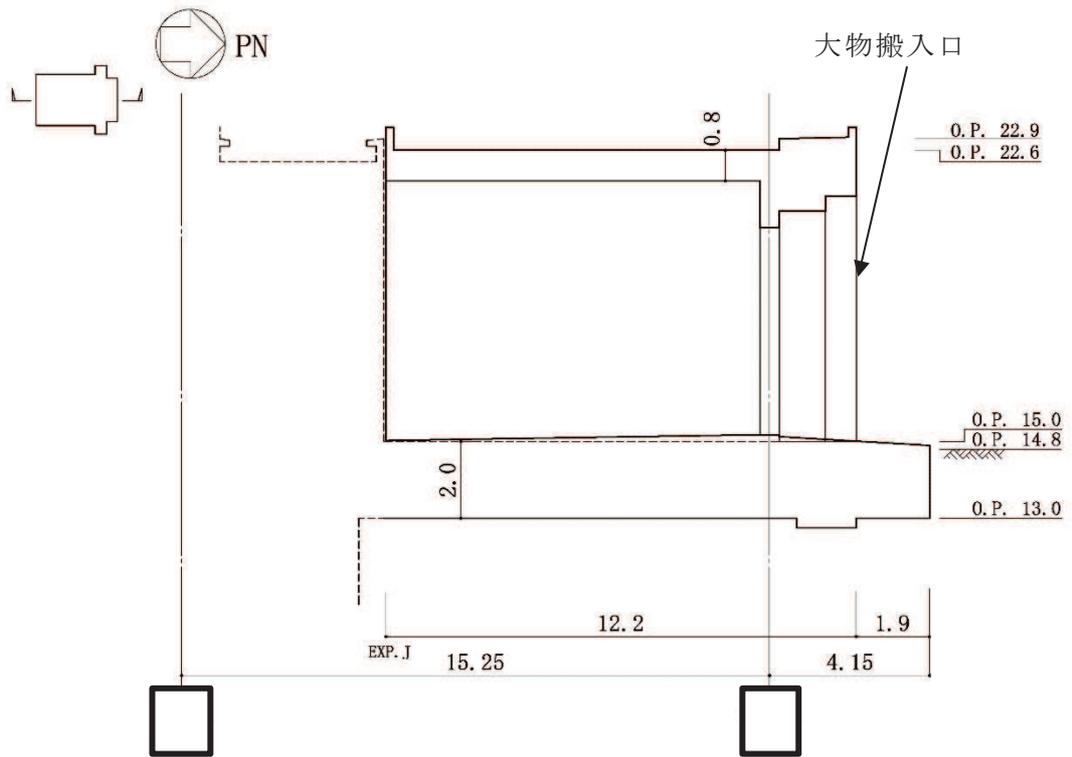
図 2-7(1) 2次しゃへい壁の範囲の平面図 (1F, 0.P. 15.0m)



(単位：m)

図 2-7(2) 2次しゃへい壁の範囲の平面図 (RF, 0.P. 22.6m)

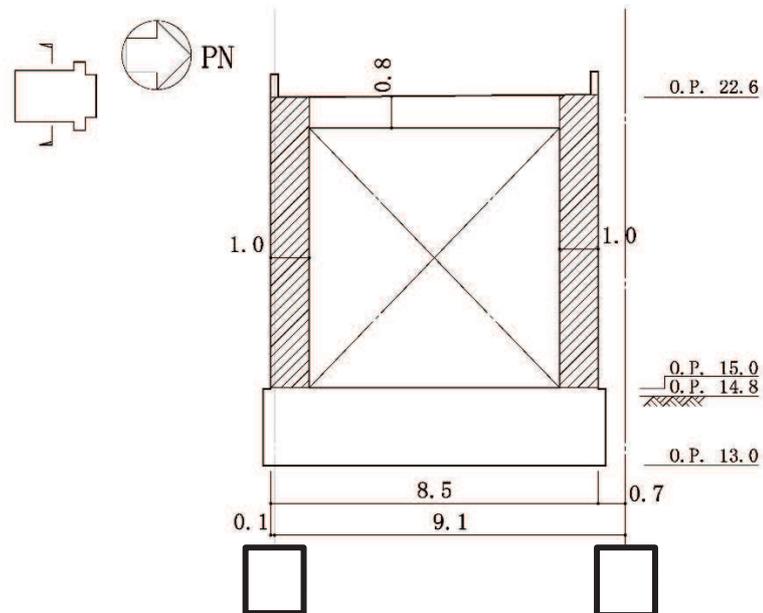
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：屋根面及び床面には遮蔽要求無し

(単位：m)

図 2-8(1) 2次しゃへい壁の範囲の断面図 (NS 方向)



2次しゃへい壁(壁)を示す。

(単位：m)

図 2-8(2) 2次しゃへい壁の範囲の断面図 (EW 方向)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

大物搬入口躯体のうち、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、大物搬入口躯体を構成する壁の一部は、2次しゃへい壁に該当し、その2次しゃへい壁は、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以外の常設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。

大物搬入口躯体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に対する評価（以下「 $S_d$ 地震時に対する評価」という。）、基準地震動  $S_s$  による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は「(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。大物搬入口躯体の評価は、添付書類「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耐震壁のせん断ひずみ、フレーム構造部（一般部）の層間変形角及び保有水平耐力の評価を、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、大物搬入口躯体の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に大物搬入口躯体の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及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、大物搬入口躯体では、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しての評価と同一となる。

大物搬入口躯体の評価フローを図 2-9 に示す。

表 2-1(1) 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース (水平方向)

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	入力地震動(原子炉建屋1階床応答)を算定する原子炉建屋の地震応答解析ケース
		初期剛性	終局耐力		
基準地震動 S s	ケース1 (基本ケース)	設計剛性*1	設計基準強度*1を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	5%	ケース1 (基本ケース)
	ケース2	同上	同上	同上	ケース2 (地盤物性+σ)
	ケース3				ケース3 (地盤物性-σ)
	ケース4	剛性低下考慮*3 (原子炉建屋のケース4 ~ケース6に相当)	設計基準強度*2を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	同上	ケース4 (建屋剛性考慮)
	ケース5				ケース5 (建屋剛性考慮, 地盤物性+σ)
	ケース6				ケース6 (建屋剛性考慮, 地盤物性-σ)
弾性設計用地震動 S d	ケース1 (基本ケース)	設計剛性*1	設計基準強度*1を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	5%	ケース1 (基本ケース)
	ケース2	同上	同上	同上	ケース2 (地盤物性+σ)
	ケース3				ケース3 (地盤物性-σ)
	ケース4	剛性低下考慮*4 (原子炉建屋のケース1 ~ケース3に相当)	設計基準強度*2を用いて方向別に設定 NS 方向: JEAG 式で評価*5 EW 方向: 静的荷重漸増解析で評価*6	同上	ケース1 (基本ケース)
	ケース5				ケース2 (地盤物性+σ)
	ケース6				ケース3 (地盤物性-σ)

注記\*1: 新設部の設計基準強度  $F_c=33\text{N/mm}^2$  より算定する。

\*2: 原子炉建屋の剛性を適用していることを踏まえ、既設部の設計基準強度  $F_c=32.4\text{N/mm}^2$  ( $330\text{kg/cm}^2$ ) より算定する。

\*3: 原子炉建屋の建屋剛性の不確かさケースの剛性を適用する。

\*4: 原子炉建屋の基本ケース (2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により設定した剛性補正係数による剛性低下を考慮したケース) の物性値を適用する。

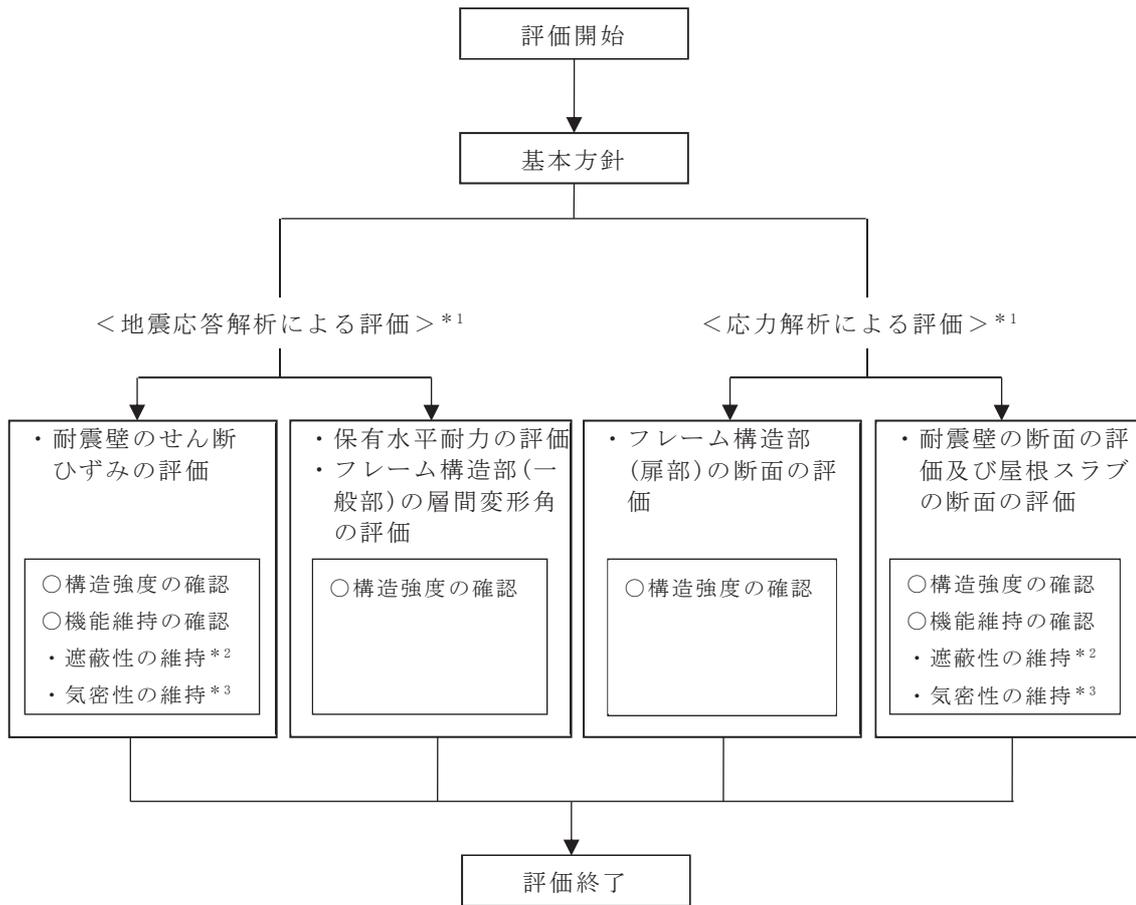
\*5: せん断終局耐力については、耐震壁がボックス壁ではないことから、「技術基準解説書」を参考に算出する。

\*6: 静的荷重漸増解析により求まる荷重-変形関係の層間変形角 1/150 時点での耐力を終局耐力として設定する。

表 2-1(2) 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース (鉛直方向)

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	入力地震動(原子炉建屋 1 階床応答)を算定する原子炉建屋の地震応答解析ケース
		初期剛性	終局耐力		
基準地震動 S <sub>s</sub> 及び 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性*	—	5%	ケース 1 (基本ケース)
	ケース 2	同上	—	同上	ケース 2 (地盤物性 + $\sigma$ )
	ケース 3				ケース 3 (地盤物性 - $\sigma$ )

注記\* : 新設部の設計基準強度  $F_c=33\text{N/mm}^2$  より算定する。



注記\*1：「(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

\*2：2次しゃへい壁について実施する。

\*3：原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）について実施する。

図 2-9 大物搬入口躯体の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

大物搬入口躯体の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（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）
- ・ 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

### 3. 地震応答解析による評価方法

大物搬入口躯体の構造強度については、「(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ、フレーム構造部（一般部）の最大層間変形角\*が許容限界を超えないこと及び保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、「(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ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大物搬入口躯体の許容限界は、添付書類「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方針に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

注記\*：EW 方向の地震応答解析により算出した最大応答せん断ひずみ（曲げ変形成分を含む等価なせん断ひずみ）

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	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁	最大応答せん断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	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
			フレーム構造部 (一般部)	最大層間変形角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	層間変形角 1/120* <sup>1</sup>
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁 (原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>

注記\*1:「技術基準解説書」により設定。

\*2: 気密性に対する許容限界の適用性は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書 別紙2 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の気密性についての計算書」に示す。

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 <sub>s</sub>	耐震壁	最大応答せん断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	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
			フレーム構造部 (一般部)	最大層間変形角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	層間変形角 1/120* <sup>1</sup>
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁 (2次しゃへい壁)	最大応答せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁 (原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>

注記\*1:「技術基準解説書」により設定。

\*2: 気密性に対する許容限界の適用性は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書 別紙2 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の気密性についての計算書」に示す。

#### 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

大物搬入口躯体の応力解析による評価対象部位は、耐震壁、屋根スラブ及びフレーム構造部(扉部)とし、応力解析により評価を行う。応力解析にあたっては、添付書類「(I)大物搬入口躯体の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

弾性設計用の水平地震荷重は、弾性設計用地震動 S d による地震応答解析により算定される動的地震力又は層せん断係数 3.0 C i より算定される静的地震力より設定する。なお、水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとす。表 4-1 に水平地震荷重を示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力は静的地震力を上回るため、弾性設計用地震動 S d による地震力により評価を行う。

表 4-1 水平地震荷重 (弾性設計用地震動 S d による地震力及び静的地震力)

O.P. (m)	NS 方向		EW 方向	
	弾性設計用地震動 S d による地震力 ( $\times 10^3$ kN)	静的地震力 ( $\times 10^3$ kN)	弾性設計用地震動 S d による地震力 ( $\times 10^3$ kN/m)	静的地震力 ( $\times 10^3$ kN/m)
22.6~15.0	6.39	2.71	0.38	0.18

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

弾性設計用の鉛直地震荷重は、弾性設計用地震動 S d による地震応答解析により算定される動的地震力又は鉛直震度 0.3 より算定される静的地震力より設定する。なお、鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとす。表 4-2 に鉛直地震荷重を示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力は静的地震力を上回るため、弾性設計用地震動 S d による地震力により評価を行う。

表 4-2 鉛直地震荷重 (弾性設計用地震動 S d による地震力及び静的地震力)

O.P. (m)	UD 方向	
	弾性設計用地震動 S d による鉛直震度	静的地震力による鉛直震度
22.6	0.69	0.24
15.0	0.67	0.24

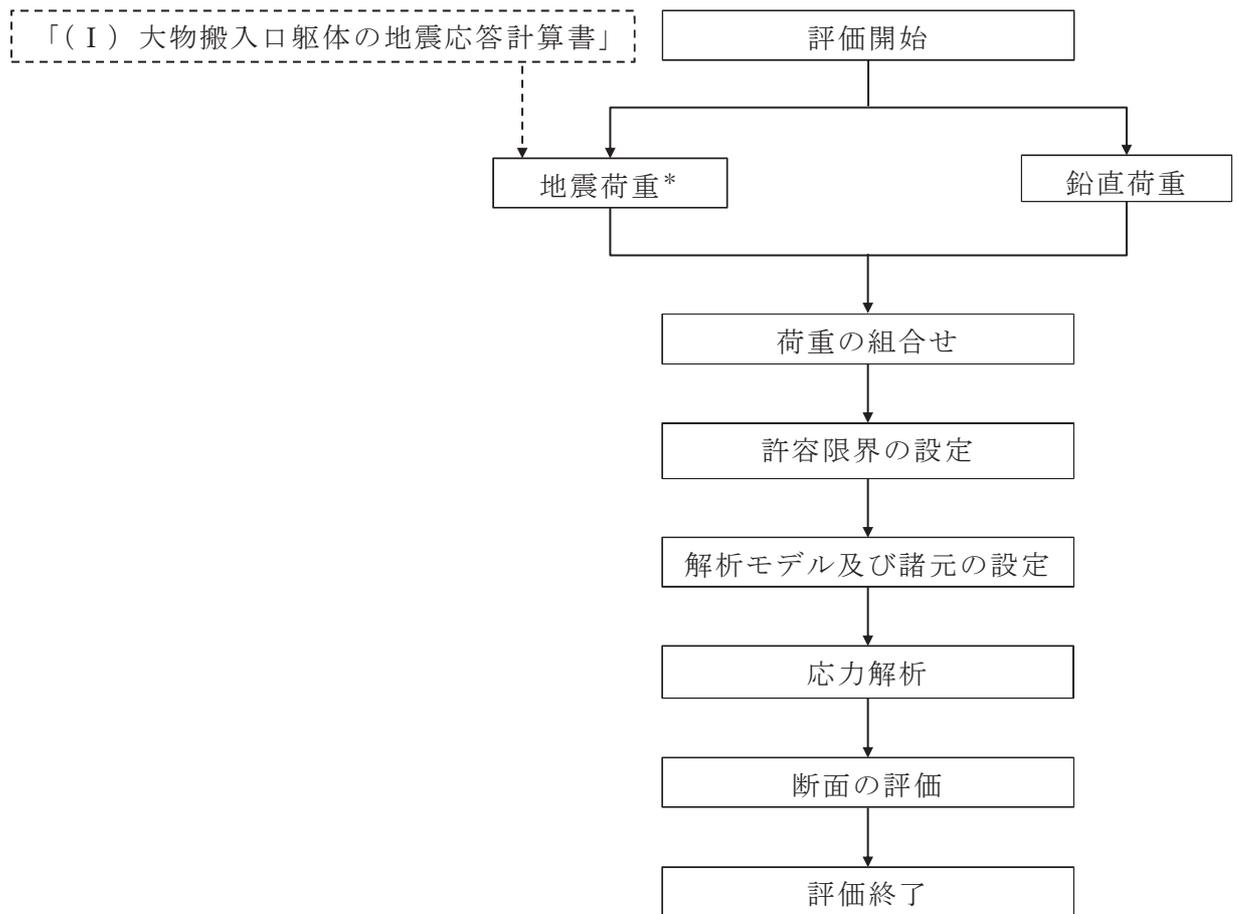
注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

#### 4.1.1 耐震壁

##### (1) S d 地震時に対する評価

耐震壁の S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「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。

図 4-1 に耐震壁の応力解析による評価フローを示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 耐震壁の応力解析によるフロー

#### 4.1.2 屋根スラブ

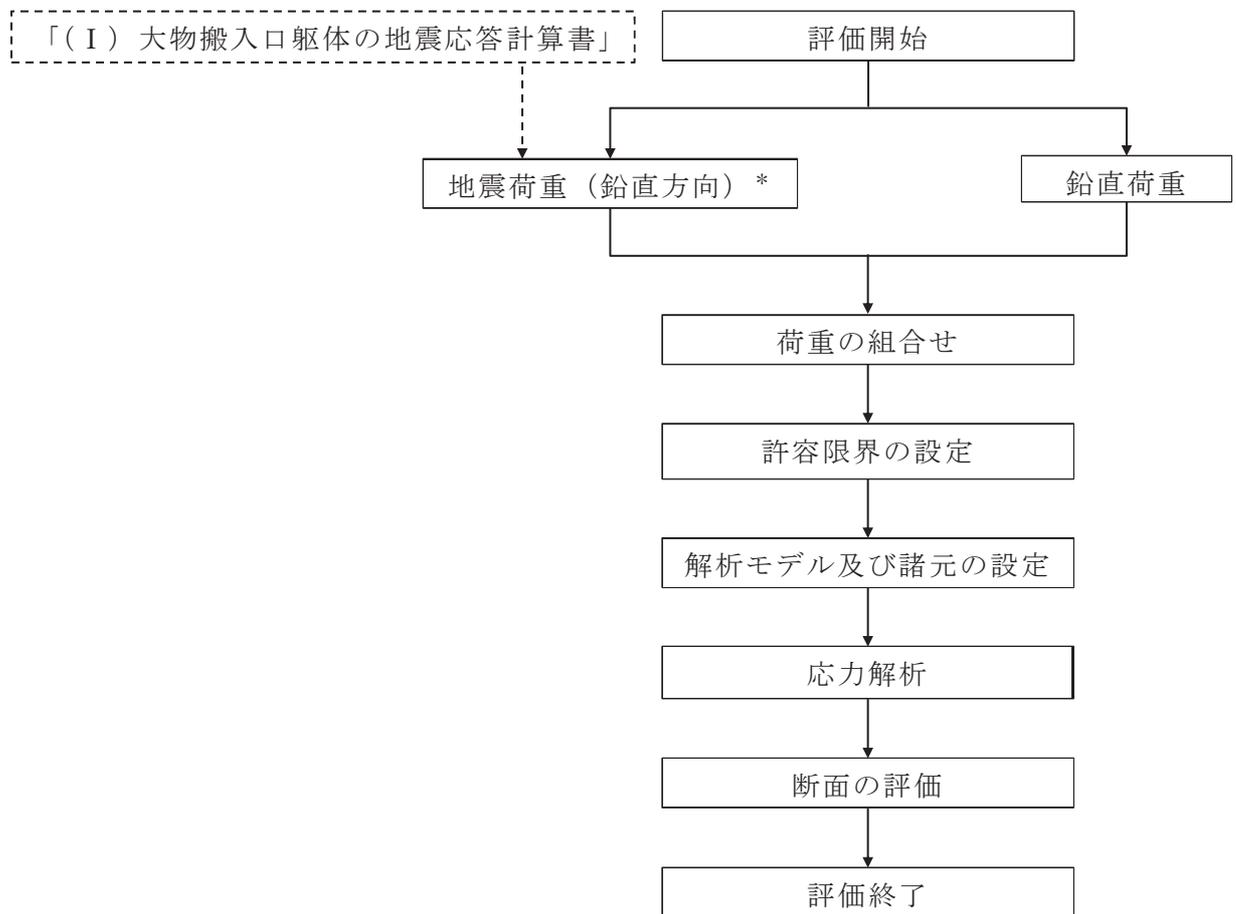
##### (1) S d 地震時に対する評価

屋根スラブの S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した鉛直方向の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

屋根スラブの S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した鉛直方向の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。

図 4-2 に屋根スラブの応力解析による評価フローを示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

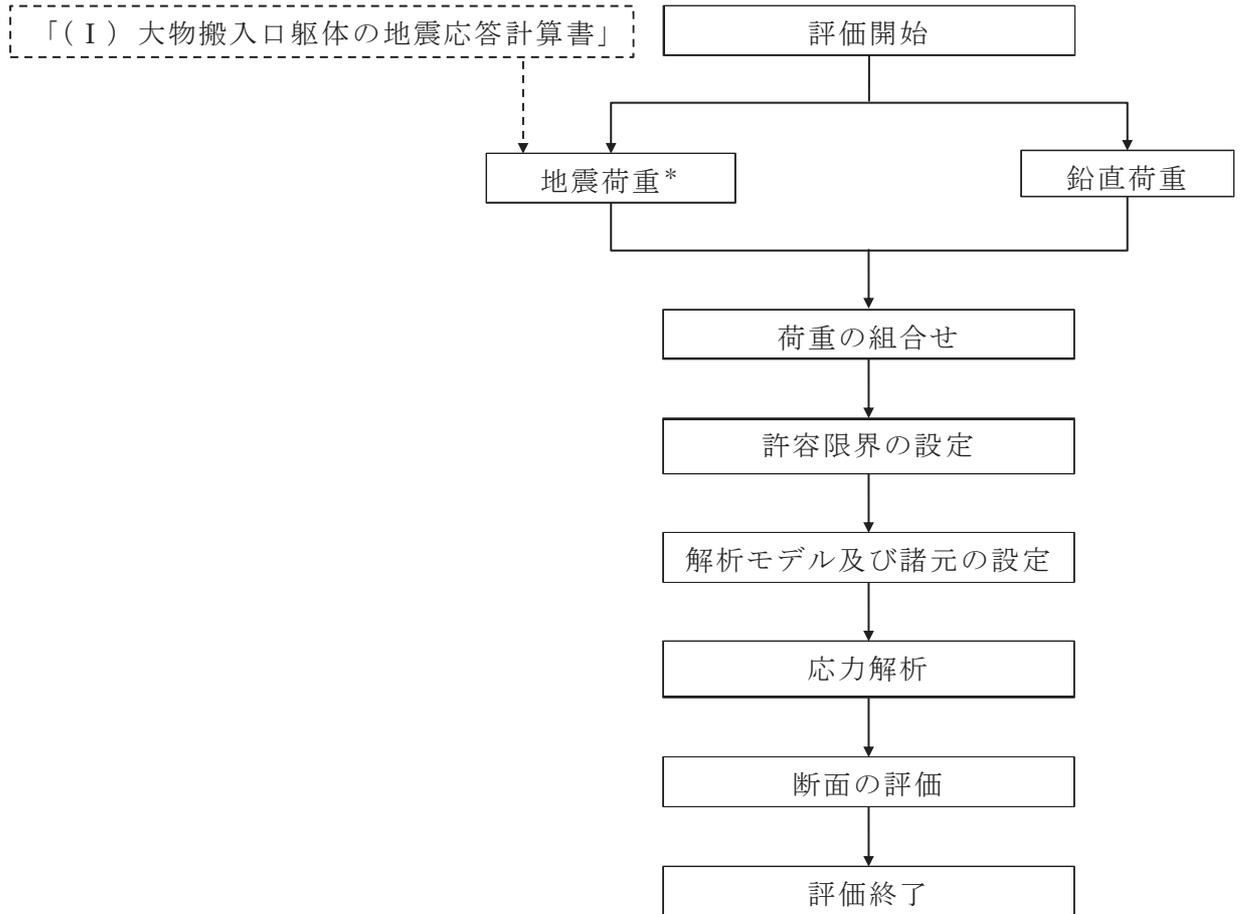
図 4-2 屋根スラブの応力解析による評価フロー

#### 4.1.3 フレーム構造部（扉部）

##### (1) S d 地震時に対する評価

フレーム構造部（扉部）のS d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した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。

図4-3にフレーム構造部（扉部）の応力解析による評価フローを示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図4-3 フレーム構造部（扉部）の応力解析によるフロー

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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 耐震壁

#### (1) 荷重

##### a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重及び積載荷重とする。

##### b. 水平地震荷重

水平地震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

##### c. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

#### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_d$ 地震時	$G + P + S_d$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_d$  :  $S_d$  地震荷重

#### 4.2.2 屋根スラブ

##### (1) 荷重

###### a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重及び積載荷重とする。

###### b. 地震荷重

鉛直地震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

##### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_d$ 地震時	$G + P + S_d$
$S_s$ 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_d$  :  $S_d$  地震荷重 (鉛直)

$S_s$  :  $S_s$  地震荷重 (鉛直)

#### 4.2.3 フレーム構造部（扉部）

##### (1) 荷重

###### a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重及び積載荷重とする。

###### b. 水平地震荷重

水平地震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

###### c. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

##### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_d$ 地震時	$G + P + S_d$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_d$  :  $S_d$  地震荷重（水平・鉛直）

#### 4.3 許容限界

応力解析による評価における大物搬入口躯体の許容限界は、添付書類「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基本方針に基づき、表 4-6 及び表 4-7 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 4-8 及び表 4-9 に示す。

表 4-6 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)
一	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力	耐震壁 (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))	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
			屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		
			フレーム構造部 (扉部) (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		
		基準地震動 $S_s$	屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密性能を有すること	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力	耐震壁 (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))	部材に生じる応力が気密性を維持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
			屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		
			フレーム構造部 (扉部) (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		
		基準地震動 $S_s$	屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))		「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>2</sup>

注記\*1: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-7 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 <sub>s</sub>	屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))	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*1
気密性	換気性能とあいまって気密性能を有すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	屋根スラブ (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設))	部材に生じる応力が気密性を維持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*2

注記\*1：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-8 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部位	設計基準強度 F <sub>c</sub>	短期	
		圧縮	せん断
屋根スラブ 耐震壁	32.4*	21.6*	1.21*
フレーム構造部 (扉部)	33	22.0	1.23

注記\*：既設部と新設部が混在するが保守的に既設部の値とする。

表 4-9 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部位	種別	短期	
		引張及び圧縮	せん断
屋根スラブ 耐震壁 (既設部)	SD35 (SD345 相当)	345	345
屋根スラブ 耐震壁 (新設脚部以外) フレーム構造部 (扉部) (新設部)	SD345	345	345
耐震壁 (新設脚部)	SD490	490	490

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 耐震壁

###### (1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は、NS 方向は「(I) 大物搬入口躯体の地震応答計算書」に基づき評価する。

EW 方向は耐震壁及び屋根スラブの 2 次元フレームとしてモデル化して評価する。

2 次元フレームモデルは耐震壁及び屋根スラブを単位幅で切り出し、部材芯でモデル化するものとし、耐震壁及び屋根スラブは線材でモデル化する。フレーム脚部については固定とする。

解析には、解析コード「KANSAS2」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

耐震壁及び屋根スラブのモデル図を図 4-4 に示す。

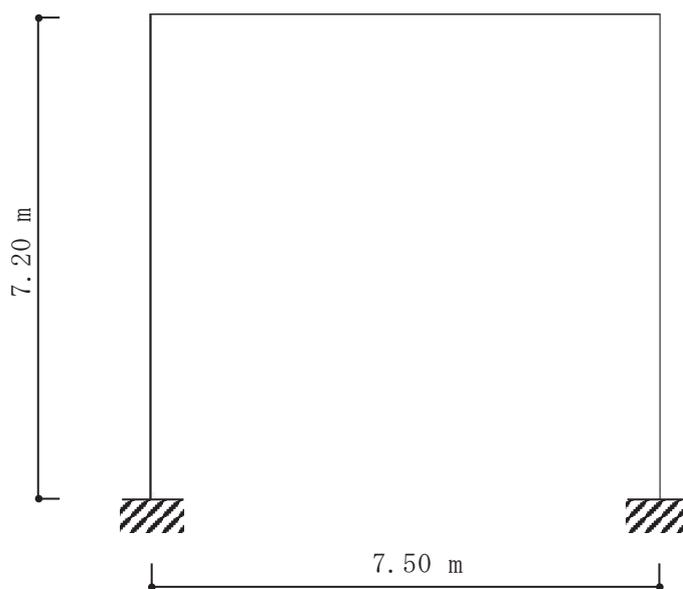


図 4-4 耐震壁及び屋根スラブのモデル図

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

表 4-10 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性は新設部のコンクリートの設計基準強度（ $33.0 \text{ N/mm}^2$ ）に基づく。

表 4-11 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD35 (SD345 相当)
	SD345
	SD490
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

#### 4.4.2 屋根スラブ

##### (1) モデル化の基本方針

屋根スラブは、4.4.1(1)の耐震壁及び屋根スラブの2次元フレームモデルにより評価する。

#### 4.4.3 フレーム構造部（扉部）

##### (1) モデル化の基本方針

フレーム構造部（扉部）の応力は2次元フレームモデルを用いて評価する。

2次元フレームモデルは部材芯でモデル化するものとし、はり及び柱は線材でモデル化する。フレーム脚部についてはピン支持とし浮上りは考慮しない。基礎スラブは仮想はりとしてモデル化する。

解析には、解析コード「KANSAS2」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

フレーム構造部（扉部）のモデル図を図4-5に示す。

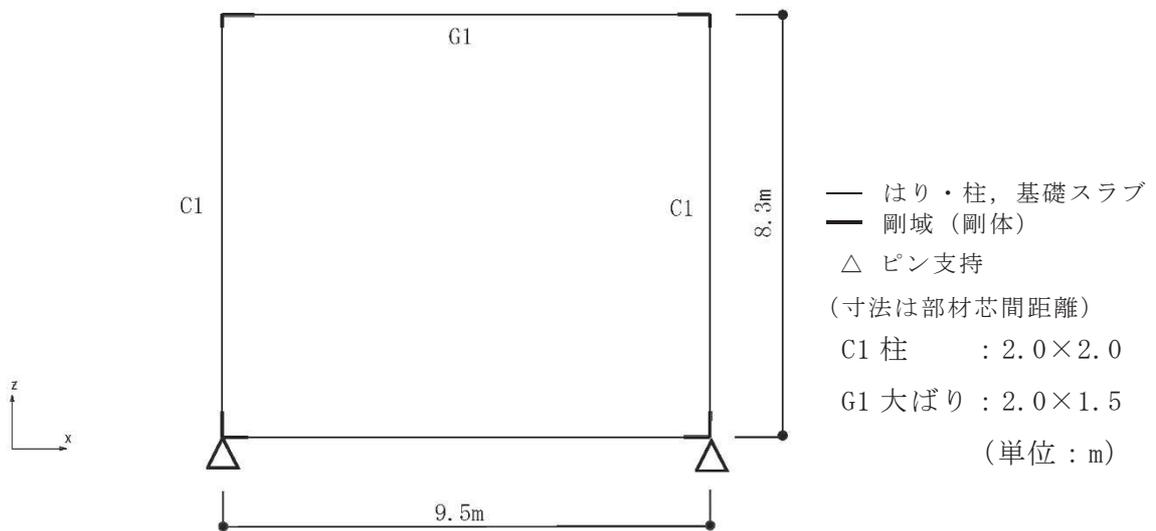


図4-5 フレーム構造部（扉部）の解析モデル図

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-12 及び表 4-13 に示す。

表 4-12 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの設計基準強度 ( $33.0 \text{ N/mm}^2$ ) に基づく。

表 4-13 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD345
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

#### 4.5 評価方法

##### 4.5.1 応力解析方法

###### (1) 耐震壁

###### a. 荷重ケース

S d 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S d<sub>NS</sub> : S d 地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)
- S d<sub>EW</sub> : S d 地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)
- K v<sub>d</sub> : 鉛直震度 (S d 地震時)

表 4-14 及び表 4-15 に S d 地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表 4-14 水平地震荷重 (S d 地震時)

(a) NS 方向

O. P. (m)	方向	層せん断力 (×10 <sup>2</sup> kN)
22.6~15.0	NS	63.9

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

(b) EW 方向

O. P. (m)	方向	震度
22.2~15.0	EW	1.06

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-15 鉛直地震荷重 (S d 地震時)

O. P. (m)	方向	震度
22.6	UD	0.69

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-16 及び表 4-17 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1 -2015）」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 4-16 荷重の組合せケース（S d 地震時 NS 方向）

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{NS}$
1-2			$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{NS}$
1-3		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{NS}$
1-4			$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{NS}$

表 4-17 荷重の組合せケース（S d 地震時 EW 方向）

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
2-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{EW}$
2-2			$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{EW}$
2-3		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{EW}$
2-4			$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{EW}$
2-5	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + 1.0K_{v_d})(G + P) + 0.4S d_{EW}$
2-6			$(1.0 + 1.0K_{v_d})(G + P) - 0.4S d_{EW}$
2-7		上向き	$(1.0 - 1.0K_{v_d})(G + P) + 0.4S d_{EW}$
2-8			$(1.0 - 1.0K_{v_d})(G + P) - 0.4S d_{EW}$

## (2) 屋根スラブ

## a. 荷重ケース

S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の鉛直地震荷重を表4-18及び表4-19示す。

- G : 固定荷重  
 P : 積載荷重  
 K<sub>v<sub>d</sub></sub> : 鉛直震度 (S<sub>d</sub>地震時)  
 K<sub>v<sub>s</sub></sub> : 鉛直震度 (S<sub>s</sub>地震時)

表4-18 鉛直地震荷重 (S<sub>d</sub>地震時)

0. P. (m)	鉛直震度
22. 6	0. 69

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表4-19 鉛直地震荷重 (S<sub>s</sub>地震時)

0. P. (m)	鉛直震度
22. 6	1. 18

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-20 及び表 4-21 に示す。

表 4-20 荷重の組合せケース (S<sub>d</sub>地震時)

ケース No.	鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_d})(G + P)$
1-2		上向き	$(1.0 - K_{v_d})(G + P)$

表 4-21 荷重の組合せケース (S<sub>s</sub>地震時)

ケース No.	鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
2-1	1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_s})(G + P)$
2-2		上向き	$(1.0 - K_{v_s})(G + P)$

## (3) フレーム構造部（扉部）

## a. 荷重ケース

S d 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- G : 固定荷重（扉重量を含む）  
 P : 積載荷重  
 S d<sub>EW</sub> : E→W 方向 S d 地震荷重（扉の慣性力を含む）  
 K<sub>v d</sub> : 鉛直震度（S d 地震時）

表 4-22 及び表 4-23 に S d 地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表 4-22 水平地震荷重（S d 地震時）

O. P. (m)	EW 方向震度
22. 2	1. 06
15. 0	0. 59

表 4-23 鉛直地震荷重（S d 地震時）

O. P. (m)	鉛直震度
22. 6	0. 69
15. 0	0. 67

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-24 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1 -2015）」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 4-24 荷重の組合せケース（S d 地震時）

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{EW}$
1-2			$(1.0 + 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{EW}$
1-3		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) + S d_{EW}$
1-4			$(1.0 - 0.4K_{v_d})(G + P) - S d_{EW}$
1-5	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + 1.0K_{v_d})(G + P) + 0.4S d_{EW}$
1-6			$(1.0 + 1.0K_{v_d})(G + P) - 0.4S d_{EW}$
1-7		上向き	$(1.0 - 1.0K_{v_d})(G + P) + 0.4S d_{EW}$
1-8			$(1.0 - 1.0K_{v_d})(G + P) - 0.4S d_{EW}$

#### 4.5.2 断面の評価方法

##### (1) 耐震壁

###### a. NS 方向に対する断面の評価方法

S d 地震時について、せん断力による応力は全て鉄筋で負担し、また、曲げモーメントにより生じる引張応力についても、鉄筋で負担することとし、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

###### b. EW 方向に対する断面の評価方法

EW 方向については、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

##### ① 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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。

S d 地震時において、軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。

##### ② 面外せん断力に対する断面評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

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)

$\alpha$  : 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。)

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

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$x$  : 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。

(なお、耐震壁には、面外せん断補強筋は入っていない。)

## (2) 屋根スラブ

屋根スラブの評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

### a. 曲げモーメント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、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

$j$  : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

### b. 面外せん断力に対する断面評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

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)

$\alpha$  : 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。)

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

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)

f<sub>s</sub> : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

w f<sub>t</sub> : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

p<sub>w</sub> : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a<sub>w</sub> : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

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。

(なお、屋根スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

(3) フレーム構造部 (扉部)

フレーム構造部 (扉部) の評価は以下の方法で行う。

フレーム構造部 (扉部) については、S d 地震時について、発生応力に対する必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認する。

## 5. 地震応答解析による評価結果

### 5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

#### 5.1.1 S s 地震時

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時の最大応答せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した S s 地震時の最大応答せん断ひずみは、 $0.111 \times 10^{-3}$  (要素番号(1), NS 方向, S s - D 2, ケース 5) であり、許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。耐震壁の最大応答せん断ひずみをせん断スケルトンカーブにプロットした図を図 5-1 に示す。

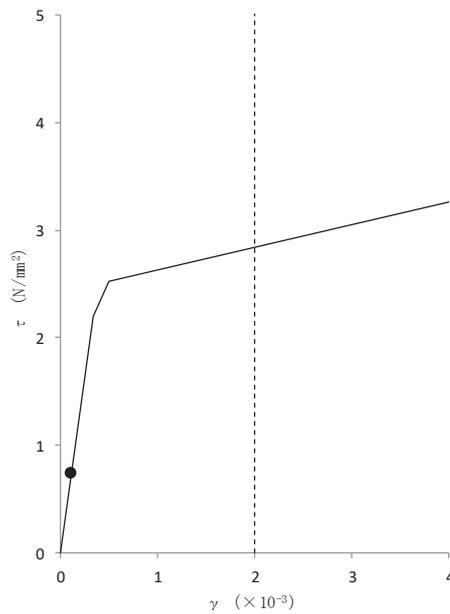


図 5-1 せん断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ  
(NS 方向, S s - D 2, ケース 5)

## 5.2 フレーム構造部（一般部）

### 5.2.1 S s 地震時

フレーム構造部（一般部）について、S s 地震時の最大層間変形角が許容限界（1/120）を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮したS s 地震時の最大層間変形角は、1/172（EW 方向，S s -D 1，ケース 5）であり，許容限界（1/120）を超えないことを確認した。

### 5.3 保有水平耐力

必要保有水平耐力  $Q_{un}$  と保有水平耐力  $Q_u$  の比較結果を表5-1及び表5-2に示す。EW方向については単位幅の値を示す。保有水平耐力  $Q_u$  が必要保有水平耐力  $Q_{un}$  に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力  $Q_{un}$  に対する保有水平耐力  $Q_u$  の比は最小で2.18である。

表 5-1 必要保有水平耐力  $Q_{un}$  と保有水平耐力  $Q_u$  の比較結果 (NS 方向)

O.P. (m)	$Q_{un}$ ( $\times 10^3$ kN)	$Q_u$ ( $\times 10^3$ kN)	$Q_u / Q_{un}$
15.0~22.6	2.48	52.3	21.1

表 5-2 必要保有水平耐力  $Q_{un}$  と保有水平耐力  $Q_u$  の比較結果 (EW 方向)

O.P. (m)	$Q_{un}$ ( $\times 10^3$ kN)	$Q_u$ ( $\times 10^3$ kN)	$Q_u / Q_{un}$
15.0~22.2	3.04	6.63	2.18

6. 応力解析による評価結果

6.1 耐震壁の評価結果

評価対象とする耐震壁を示したものを図 6-1 に示す。また、「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

S d 地震時において、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。

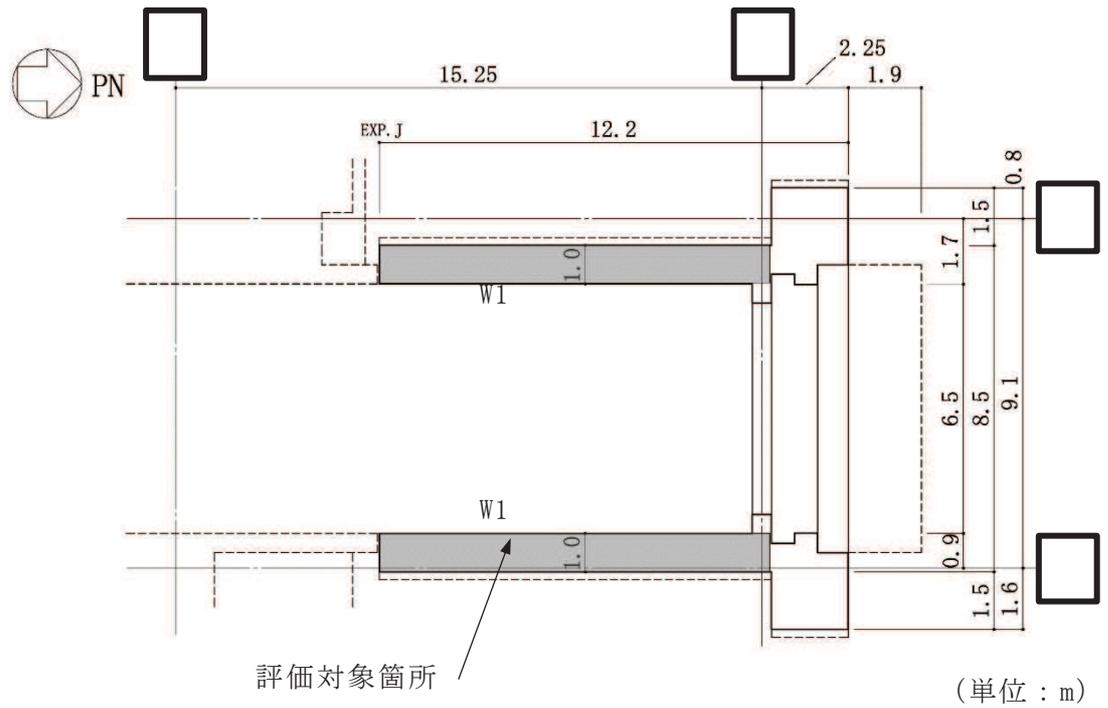


図 6-1 評価対象とする耐震壁 (1F, O.P. 15.0m)

表 6-1 耐震壁の評価結果 (S d 地震時 NS 方向)

O. P. (m)		15.0~22.6	
壁位置 (通り)		RE	RD
壁記号		W1	W1
断面積(m <sup>2</sup> )		10.2	10.2
壁厚(mm)		1000	1000
配筋	縦筋配筋	外側(新設) : D32@200(SD345)(上部)/D41@200(SD490)(下部) 内側(既設) : 2-D32@200(SD345)(上部・下部共)	
	縦筋 設計鉄筋比 P <sub>g</sub> (%)	1.19	1.19
	横筋配筋	外側(新設) : D16@200(SD345)(上部・下部共) 内側(既設) : 2-D25@200(SD345)(上部・下部共)	
	横筋 設計鉄筋比 P <sub>g</sub> (%)	0.61	0.61
せん断に対する検討	せん断力 Q(×10 <sup>3</sup> kN)	3.19	3.19
	せん断応力度 τ(N/mm <sup>2</sup> )	0.31	0.31
	必要鉄筋比 P <sub>Q</sub> (%)	0.09	0.09
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M(×10 <sup>3</sup> kN・m)	2.86	2.86
	軸力 N(×10 <sup>3</sup> kN)	1.37	1.37
		2.41	2.41
	必要鉄筋比 P <sub>M</sub> (%)	0.01	0.01
縦筋 : (P <sub>Q</sub> +P <sub>M</sub> )/P <sub>g</sub>		0.09	0.09
横筋 : P <sub>Q</sub> /P <sub>g</sub>		0.15	0.15

表 6-2 耐震壁の評価結果 (S d 地震時 EW 方向)

O. P. (m)		15.0~22.2
厚さ t (mm)		1000
有効せい d (mm)		909
配筋 (鉄筋断面積)	縦筋 配筋	D32@200 (SD345) (3970mm <sup>2</sup> /m)
	縦筋 設計鉄筋比 P <sub>t</sub> (%)	0.40
軸力・ 曲げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	1046.4
	発生軸力 N (kN/m)	260.3
	必要鉄筋比 P <sub>M</sub> (%)	0.33
	P <sub>M</sub> /P <sub>t</sub>	0.83
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	325.7
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00
	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN/m)	962
	検定値 Q/Q <sub>A</sub>	0.34

## 6.2 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 6-4 に示す。また、「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 6-3 に示す。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。

S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時において、曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。なお、基準地震動S<sub>s</sub>による地震力は弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による地震力を上回るため、基準地震動S<sub>s</sub>による地震力により屋根スラブの評価を行う。

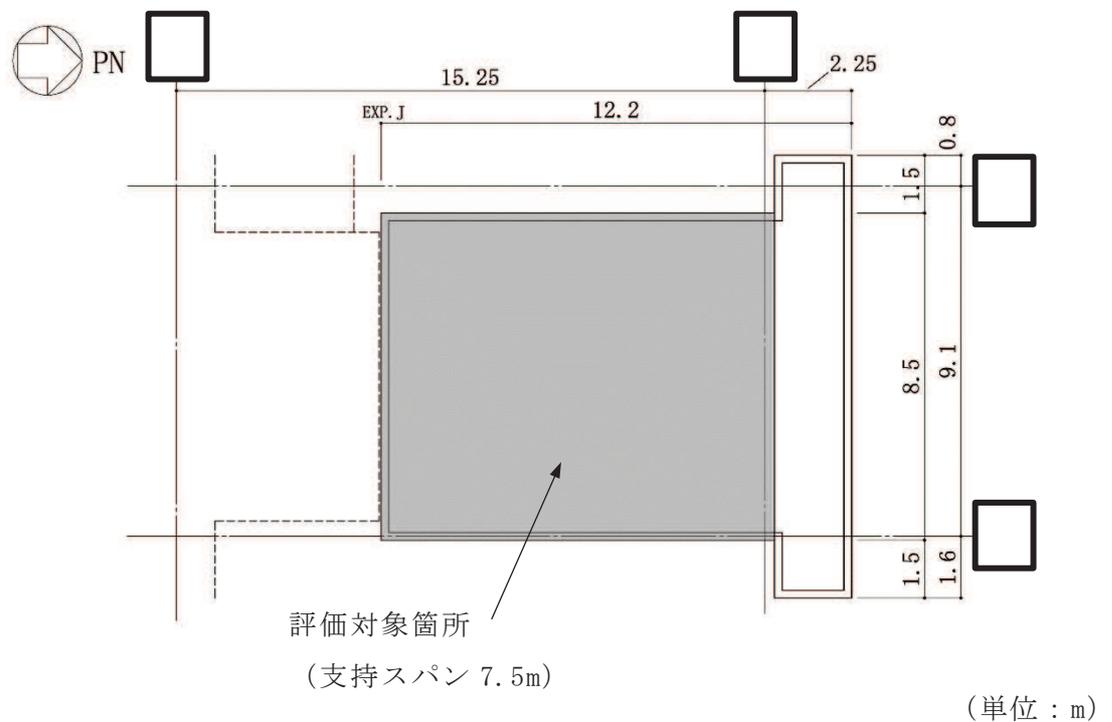


図 6-4 屋根スラブの評価対象箇所 (RF, O.P. 22.6m)

表 6-3 屋根スラブの評価結果 (S s 地震時)

O. P. (m)		22.6
厚さ t (mm)		800
有効せい d (mm)		734
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D32@200 (3970mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D32@200 (3970mm <sup>2</sup> /m)
曲げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	213.9
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	84
	鉄筋の許容引張応力度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値 $\sigma_t / f_t$	0.25
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	215.3
	せん断スパン比による割 増し係数 $\alpha$	1.70
	許容限界 $Q_A$ (kN/m)	1320
	検定値 $Q / Q_A$	0.17

### 6.3 フレーム構造部（扉部）の評価結果

フレーム構造部（扉部）の評価対象箇所を図 6-5 に示す。また評価結果を表 6-4 及び表 6-5 に示す。

フレーム構造部（扉部）については、S d 地震時において、柱及びはりの必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。

#### 柱及びはりの各断面の検定に用いる記号の説明

- b : 断面の幅 (mm)
- D : 断面のせい (mm)
- d : 断面の有効せい (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)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- N : 軸力 (N)
- Q : せん断力 (N)
- $p_t$  : 引張鉄筋比 (%)
- $a_t$  : 引張鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $p_w$  : 必要あばら筋比又は帯筋比 (%)
- $f_t$  : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\alpha$  : 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。)

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

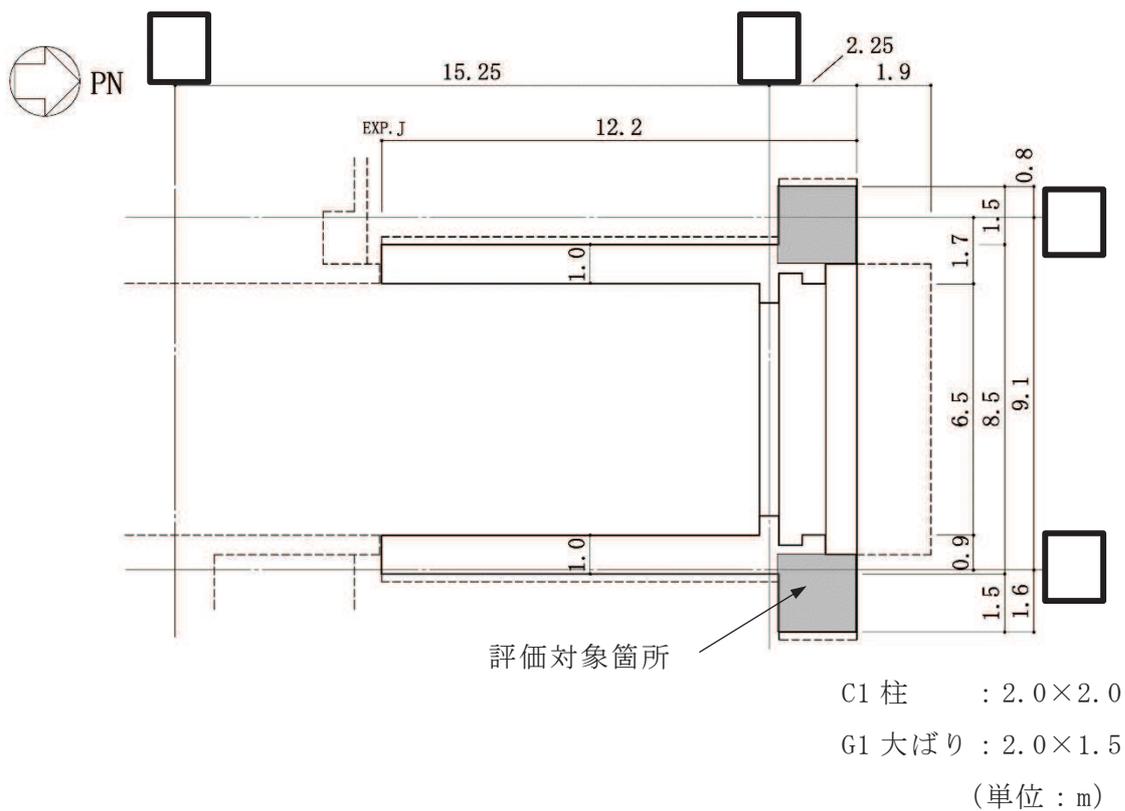


図 6-5(1) フレーム構造部 (扉部) の評価対象箇所 (1F, O.P. 15.0m)

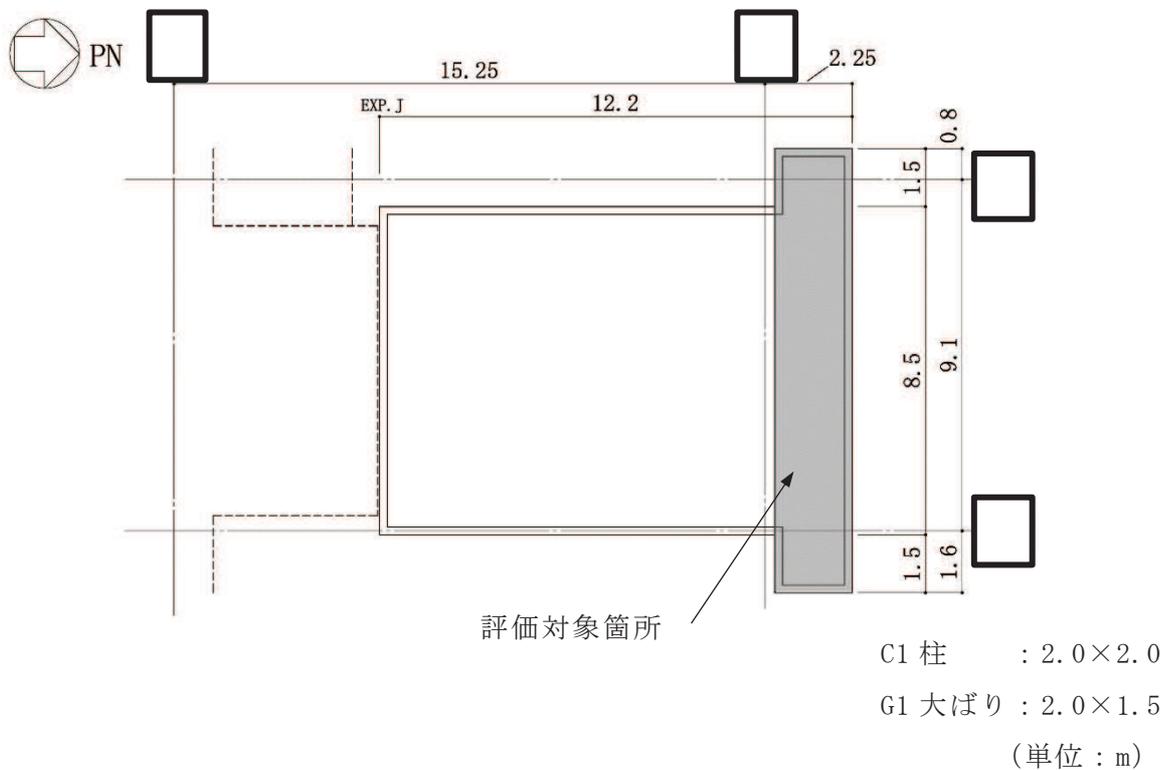
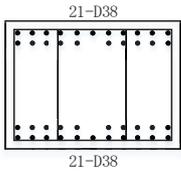
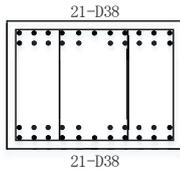
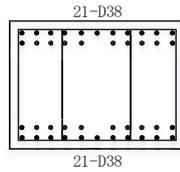


図 6-5(2) フレーム構造部 (扉部) の評価対象箇所 (2F, O.P. 22.9m)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

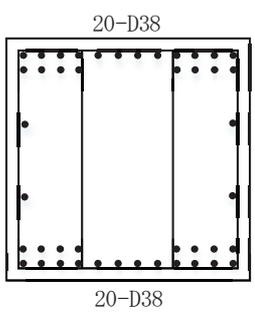
表 6-4 はりの評価結果 (S d地震時)

O.P. (m)		22.9			
通り記号		R12			
はり記号		G1			
位 置		RE 端	中央	RD 端	
断面形状	b × D (mm)	2000 × 1500			
	d (mm)	1350			
	j (mm)	1181			
設計応力	長期	M (kN・m)	125	380	856
		Q (kN)	365	89	543
	短期	M (kN・m)	2806	654	3789
		荷重ケース	1-2	1-6	1-1
		Q (kN)	1114	760	1340
荷重ケース	1-2	1-1	1-1		
長期	$M / (b \cdot d^2)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.03	0.10	0.23	
	$p_t^{*1}$ (%)	0.03	0.07	0.14	
短期	$M / (b \cdot d^2)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.77	0.18	1.04	
	$p_t^{*1}$ (%)	0.26	0.06	0.35	
必要鉄筋量 $a_t^{*1}$ (mm <sup>2</sup> )		7020	1890	9450	
設計配筋	上ば筋	21-D38			
	下ば筋	21-D38			
	断面積*2 (mm <sup>2</sup> )	23940			
せん断力検討	$\alpha$	1.29			
	許容せん断力 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ (kN)	3747	3747	3747	
	$p_w^{*1}$ (%)	0.20	0.20	0.20	
	あばら筋	4-D13@100			
	あばら筋比*2 (%)	0.25			
配筋図		RE 端	中央	RD 端	
					

注記\*1：応力から決められる必要鉄筋断面積，必要鉄筋比。

\*2：設計配筋の鉄筋断面積，鉄筋比。

表 6-5 柱の評価結果 (S d 地震時)

O.P. (m)		15.0~22.9		
通り記号		R12		
柱記号		C1		
位置		柱脚	柱頭	
断面形状	b × D (mm)	2000 × 2000		
	d (mm)	1800		
	j (mm)	1575		
設計応力	長期	N (kN)	575	575
		M (kN・m)	1187	1117
		Q (kN)	311	311
	短期	N (kN)	1380	1380
		M (kN・m)	5655	4290
		荷重ケース	1-1	1-1
		Q (kN)	1344	1344
		荷重ケース	1-1	1-1
長期	$N / (b \cdot D)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.14	0.14	
	$M / (b \cdot D^2)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.15	0.14	
	$p_t^{*1}$ (%)	0.06	0.05	
短期	$N / (b \cdot D)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.35	0.35	
	$M / (b \cdot D^2)$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.71	0.54	
	$p_t^{*1}$ (%)	0.20	0.14	
必要鉄筋量 $a_t^{*1}$ (mm <sup>2</sup> )		8000	5600	
設計配筋	引張側鉄筋	20-D38	20-D38	
	断面積*2 (mm <sup>2</sup> )	22800	22800	
せ対んす断る力検に討	$\alpha$	1.00	1.00	
	許容せん断力 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ (kN)	3874	3874	
	$p_w^{*1}$ (%)	0.20	0.20	
	帯筋	4-D13@100		
	帯筋比*2 (%)	0.25		
配筋図				

注記\*1：応力から決められる必要鉄筋断面積，必要鉄筋比。

\*2：設計配筋の鉄筋断面積，鉄筋比。

別紙 2 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の気密性についての  
計算書

## 目 次

1. 概要.....	別紙 2- 1
2. 既往の知見等の整理.....	別紙 2- 1
3. 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量に対する 影響検討.....	別紙 2- 3
3.1 検討方針.....	別紙 2- 3
3.2 空気漏えい量の算定結果.....	別紙 2- 8
3.2.1 壁面からの漏えい量.....	別紙 2- 8
3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較.....	別紙 2-10
3.4 検討結果.....	別紙 2-10
4. まとめ.....	別紙 2-10

## 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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）では、S1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。

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の検討方針」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、おおむね弾性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で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せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ 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棟（二次格納施設）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せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ 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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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<sup>\*1</sup>」において、「J E A G 4 6 0 1 -1987」による許容限界の目安値（S2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<sup>\*2</sup>」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棟（二次格納施設）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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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。

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

ここで,

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m<sup>2</sup>)

C : 定数

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

$\gamma$  : 最大応答せん断ひずみ

$\Delta P$  : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (cm)

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

ここで,

$\Delta_Q$  : 通気量割増率

$\alpha$  : 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)

$\beta$  : 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」

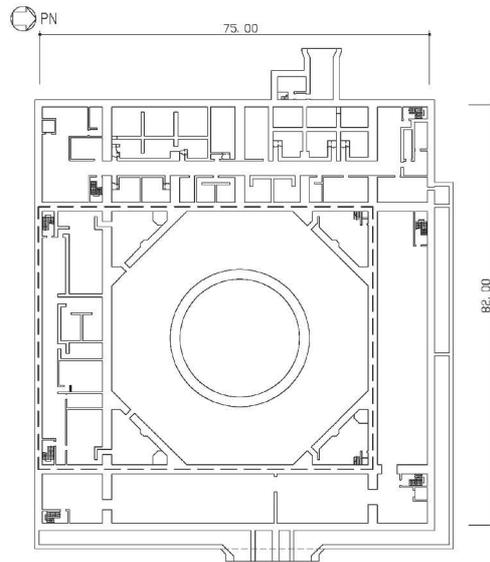
\*2: 財団法人原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

### 3. 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量に対する影響検討

#### 3.1 検討方針

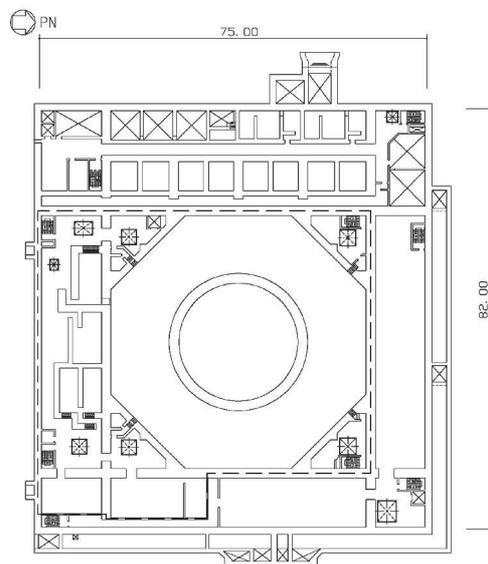
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき，式（2. 1）及び式（2. 2）により気密バウンダリを構成する壁の最大応答せん断ひずみが許容限界（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）に達したときの空気漏えい量を算定し，非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認する。

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の概略図を図 3-1 に示す。原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）（O.P. -8.1m～O.P. 50.5m）を構成する壁の壁厚は約  cm から約  cm である。



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

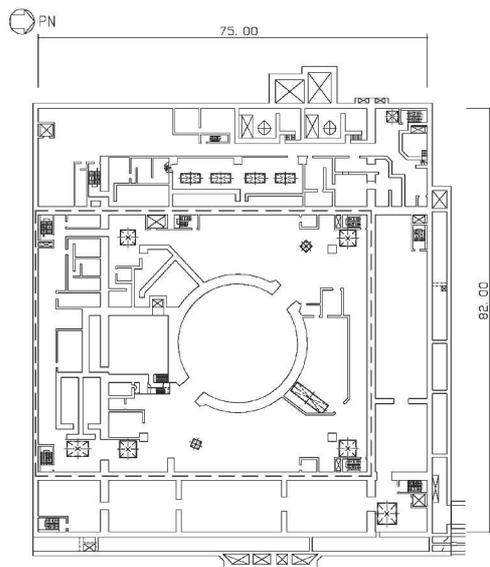
(a) 平面図 (O.P. -8.1m)



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

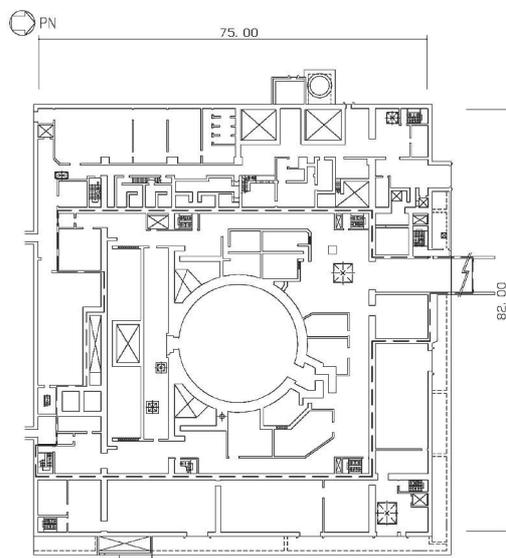
(b) 平面図 (O.P. -0.8m)

図 3-1(1) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の概略図 (1/4)



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

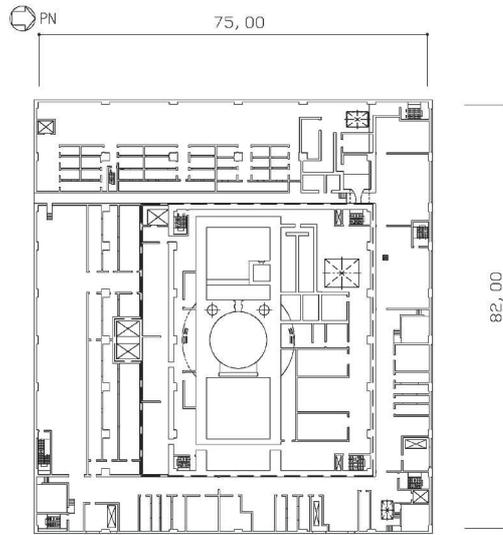
(c) 平面図 (O.P. 6.0m)



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

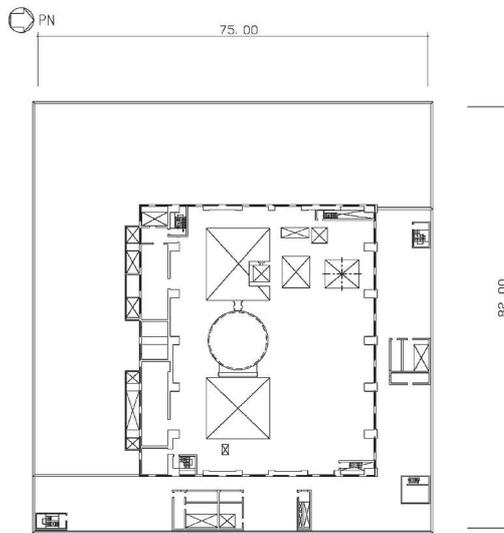
(d) 平面図 (O.P. 15.0m)

図 3-1(2) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の概略図 (2/4)



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

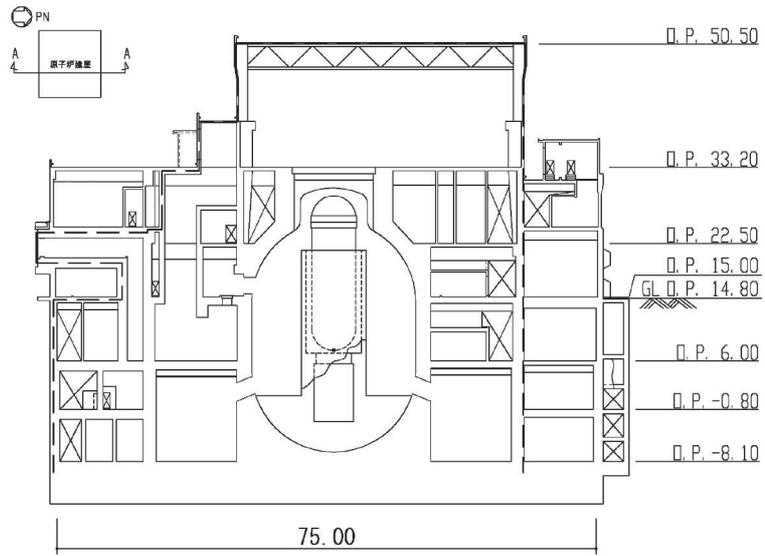
(e) 平面図 (O.P. 22.5m)



----- : 気密バウンダリ  
(単位 : m)

(f) 平面図 (O.P. 33.2m)

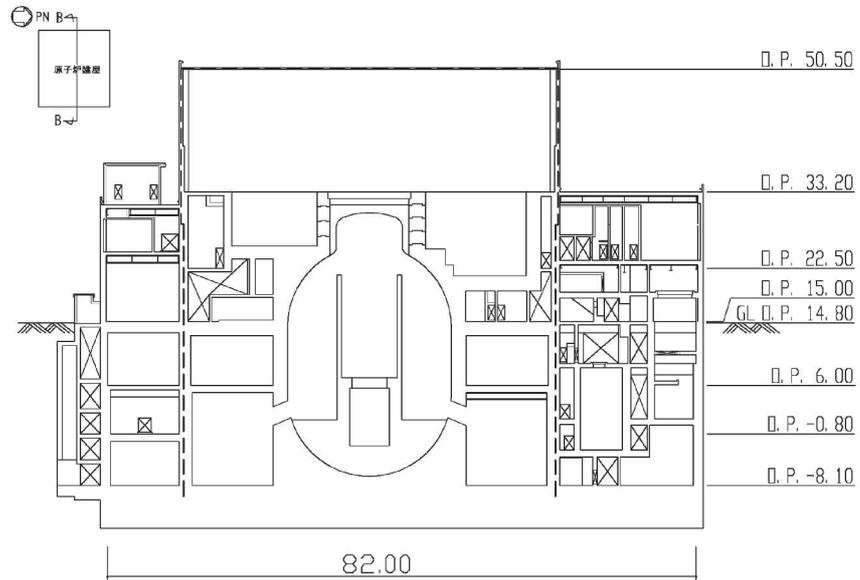
図 3-1(3) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の概略図 (3/4)



----- : 気密バウンダリ

(単位 : m)

(g) 断面図 (A-A 断面 NS 方向)



----- : 気密バウンダリ

(単位 : m)

(h) 断面図 (B-B 断面 EW 方向)

図 3-1(4) 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) の概略図 (4/4)

### 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

原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析における耐震壁の許容限界としてせん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  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(1) 算定結果 (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設)) (1/2)

O.P. (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大応答 せん断 ひずみ $\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	*2 差圧 $\Delta P$ (mmAq)	*3 壁の 面積 A ( $m^2$ )	漏えい量 Q (l/min/ $m^2$ )	壁の見付面積 に対する開口 総面積の比 $\beta$	通気量 割増率 $\Delta Q$	総漏えい 量 $Q \times A \times \Delta Q$ (l/min)	
		C ( $\times 10^7$ )	$Q'/Q_0$								
33.2	NS	[Redacted]	1.18	7.41	2.00	6.40	871	0.35	0.000	1.00	304
			1.18	7.41	2.00	6.40	583	0.22	0.000	1.00	127
	EW		1.18	7.41	2.00	6.40	1140	0.35	0.000	1.00	399
			1.18	7.41	2.00	6.40	512	0.22	0.000	1.00	112
			1.18	7.41	2.00	6.40	188	0.17	0.107	6.36	209
22.5	NS	1.18	7.41	2.00	6.40	96	0.22	0.000	1.00	21	
		1.18	7.41	2.00	6.40	25	0.17	0.002	1.08	5	
		1.18	7.41	2.00	6.40	102	0.11	0.000	1.00	11	
		1.18	7.41	2.00	6.40	745	0.07	0.007	1.34	73	
	EW	1.18	7.41	2.00	6.40	391	0.17	0.000	1.01	69	
		1.18	7.41	2.00	6.40	57	0.11	0.000	1.00	6	
		1.18	7.41	2.00	6.40	469	0.09	0.011	1.54	63	

注記\*1：保守的に各壁の最大応答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。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1(2) 算定結果 (原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設)) (2/2)

O.P. (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大応答 せん断 ひずみ $\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	*2 差圧 $\Delta P$ (mmAq)	*3 壁の 面積 A ( $m^2$ )	漏えい量 Q (l/min/ $m^2$ )	壁の見付面積 に対する開口 総面積の比 $\beta$	通気量 割増率 $\Delta Q$	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (l/min)	
		C ( $\times 10^7$ )	$Q' / Q_0$								
15.0	NS		1.18	7.41	2.00	6.40	7	0.29	0.000	1.00	2
			1.18	7.41	2.00	6.40	340	0.17	0.005	1.27	75
			1.18	7.41	2.00	6.40	95	0.09	0.001	1.04	9
			1.18	7.41	2.00	6.40	991	0.07	0.007	1.37	99
			1.18	7.41	2.00	6.40	9	0.06	0.000	1.00	1
			1.18	7.41	2.00	6.40	7	0.05	0.000	1.00	0
	EW		1.18	7.41	2.00	6.40	152	0.29	0.033	2.66	118
			1.18	7.41	2.00	6.40	9	0.22	0.000	1.00	2
			1.18	7.41	2.00	6.40	40	0.17	0.000	1.00	7
			1.18	7.41	2.00	6.40	20	0.15	0.921	47.29	140
			1.18	7.41	2.00	6.40	129	0.11	0.302	16.19	229
			1.18	7.41	2.00	6.40	359	0.07	0.001	1.06	28
			1.18	7.41	2.00	6.40	92	0.06	0.000	1.00	5
		6.0	NS		1.18	7.41	2.00	6.40	1110	0.05	0.005
EW			1.18	7.41	2.00	6.40	448	0.09	0.001	1.04	41
			1.18	7.41	2.00	6.40	423	0.05	0.009	1.44	33
			1.18	7.41	2.00	6.40	161	0.29	0.053	3.68	173
-0.8	NS		1.18	7.41	2.00	6.40	26	0.06	0.034	2.71	4
			1.18	7.41	2.00	6.40	617	0.05	0.007	1.35	41
			1.18	7.41	2.00	6.40	57	0.29	0.042	3.10	52
	EW		1.18	7.41	2.00	6.40	395	0.06	0.002	1.09	27
			1.18	7.41	2.00	6.40	308	0.05	0.013	1.66	25
			1.18	7.41	2.00	6.40	854	0.05	0.004	1.19	49
-8.1	NS		1.18	7.41	2.00	6.40	361	0.06	0.022	2.09	47
	EW		1.18	7.41	2.00	6.40	311	0.05	0.007	1.36	21
			1.18	7.41	2.00	6.40					
									合計	2701	

注記\*1: 保守的に各壁の最大応答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。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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 <sup>3</sup> /min)	非常用ガス処理設備放出流量 (m <sup>3</sup> /min)
2.8	41.6*

注記\*：非常用ガス処理設備容量とする。

### 3.4 検討結果

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は、耐震壁の許容限界をせん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  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

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）は、耐震壁の許容限界としてせん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  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、せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を用いることの適用性を確認した。

## 別紙 3 剛性低下を考慮した影響検討

## 目 次

1. 検討概要.....	別紙 3- 1
2. 建屋剛性の設定.....	別紙 3- 4
3. 入力地震動.....	別紙 3- 7
4. 固有値解析結果.....	別紙 3-10
5. 検討結果.....	別紙 3-14

## 1. 検討概要

3.11 地震に対する原子炉建屋の質点系モデルを用いたシミュレーション解析では、耐震壁の初期剛性を低下させることにより観測記録との整合性が図られている。これを踏まえ、地震応答解析モデルの耐震壁の初期剛性を低減している（以下「基本ケースの初期剛性」という。）。

一方、地震応答解析の不確かさケースのうち、建屋剛性の不確かさについて、水平方向については、基準地震動  $S_s$  入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動  $S_s$  について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮することとしている（以下「不確かさケースの初期剛性」という。）。

添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」における屋根トラスの地震応答解析では、解析モデルにおいてモデル化した耐震壁の剛性については、基本ケースの初期剛性として評価を行っている（以下「工認ケース」という。）。ここでは、剛性低下を考慮した影響検討として、不確かさケースの初期剛性に基づき評価を実施する（以下「影響検討ケース」という。）。

影響検討ケースにおける屋根スラブの剛性については、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」における屋根トラスの地震応答解析のうち屋根スラブの応答結果を踏まえて剛性低下量を設定する。

地震応答解析モデルの概要を図 1-1 に、部材断面を表 1-1、図 1-2 に示す。

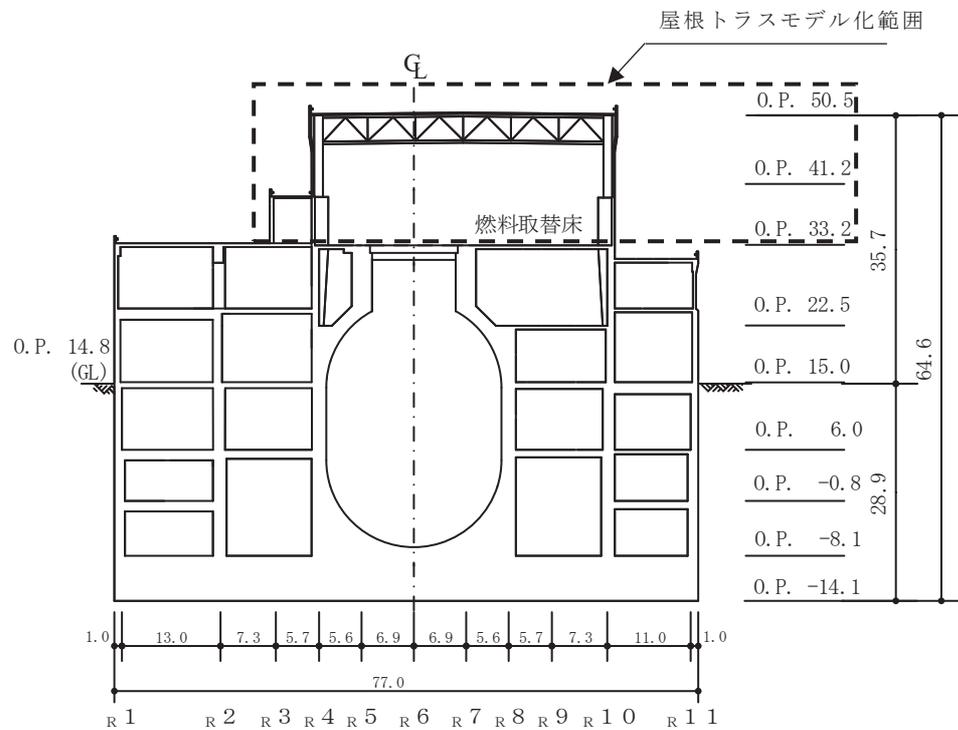
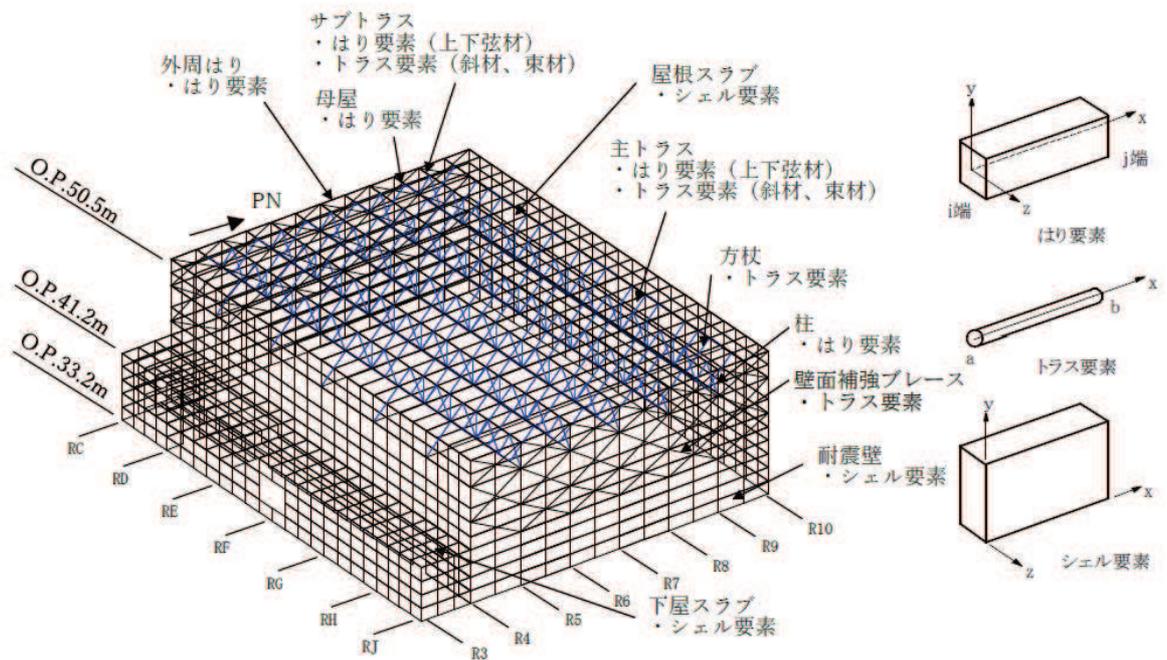


図 1-1 解析モデルの概要

表 1-1 部材リスト

部位		使用部材	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-350×350×12×19	SM50A (SM490A相当)	173.9	40300
	下弦材	H-350×350×12×19	SM50A (SM490A相当)	173.9	40300
	斜材	2CTs-175×350×12×19 2CTs-150×300×10×15	SM50A (SM490A相当)	173.9 119.8	—
	束材	2CTs-100×200×8×12	SM50A (SM490A相当)	63.54	—
サブ トラス	上弦材	H-250×250×9×14	SS41 (SS400相当)	92.18	10800
	下弦材	(d1) PL-19×601+PL-25×550 +2PLs-16×344	SN490B	361.8	94790
		(d2) PL-19×601+PL-25×550 +2PLs-19×344 (図2-2参照)		382.4	96860
		(d3) CT-170×250×9×14 +BT-280×250×9×12 +2PLs-16×350 (図2-2参照)	SS41 (SS400相当) SN400B	216.9	48830
	斜材	2Ls-130×130×9 +2Ls-150×90×12	SS41 (SS400相当)	100.2	—
		2Ls-130×130×9 +2Ls-150×150×15		131.0	
2Ls-130×130×9 +2Ls-250×90×12×16		131.4			
2Ls-90×90×10 +2Ls-250×90×10×15		SS400	108.9		
2Ls-90×90×10 +2Ls-300×90×11×16			126.4		
束材	4Ls-90×90×6	SS400	42.20	—	
母屋	上弦面	H-390×300×10×16	SS41 (SS400相当)	136.0	38700
方杖	—	2Ls-130×130×9 2Ls-90×90×10	SS400	45.48 34.00	—

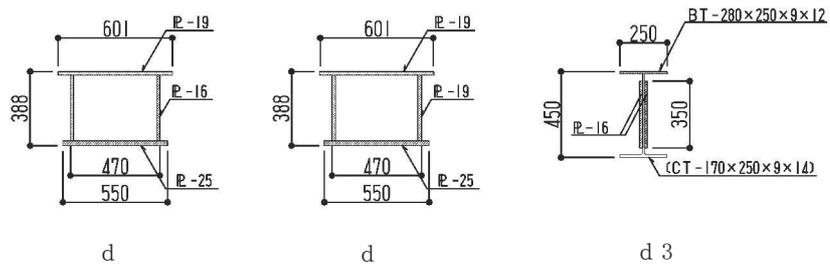


図 1-2 サブトラス下弦材断面

## 2. 建屋剛性の設定

影響検討ケースのコンクリートの物性値を表 2-1 に、工認ケースのコンクリートの物性値を表 2-2 に示す。

表 2-1 コンクリートの物性値（影響検討ケース）

部位		ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	剛性補正係数
既設部	屋根スラブ	$1.64 \times 10^4$	$7.02 \times 10^3$	0.62
	NS 方向壁	$6.09 \times 10^3$	$2.62 \times 10^3$	0.23
	EW 方向壁	$1.03 \times 10^4$	$4.44 \times 10^3$	0.39
追設耐震壁		$1.97 \times 10^4$	$8.19 \times 10^3$	0.78

表 2-2 コンクリートの物性値（工認ケース）

部位		ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	剛性補正係数
既設部	屋根スラブ	$2.65 \times 10^4$	$1.14 \times 10^4$	—
	NS 方向壁	$7.94 \times 10^3$	$3.41 \times 10^3$	0.30
	EW 方向壁	$1.32 \times 10^4$	$5.69 \times 10^3$	0.50
追設耐震壁		$2.52 \times 10^4$	$1.05 \times 10^4$	—

影響検討ケースの屋根スラブの剛性は、図 2-1 に示すように、工認ケースの屋根トラスの地震応答解析により得られた屋根スラブの面内せん断応力度  $\tau$  とせん断ひずみ  $\gamma$  から求まる三角形の面積  $E_0$  が、屋根スラブの面内せん断応力度-せん断ひずみ関係をトリリニア型のスケルトンカーブに設定した場合に得られる黒斜線部分 ( $E_1$ ) と等しくなる  $\tau_e$ 、 $\gamma_e$  を算定し、原点と結ぶ直線の勾配とする。

工認ケースの屋根スラブの面内せん断応力度は、屋根トラスの地震応答解析により屋根スラブに発生するせん断応力をスラブのメッシュサイズで重みづけした平均値とし、表 2-1 に示すケース 2 で、最大の面内せん断応力度を採用する。

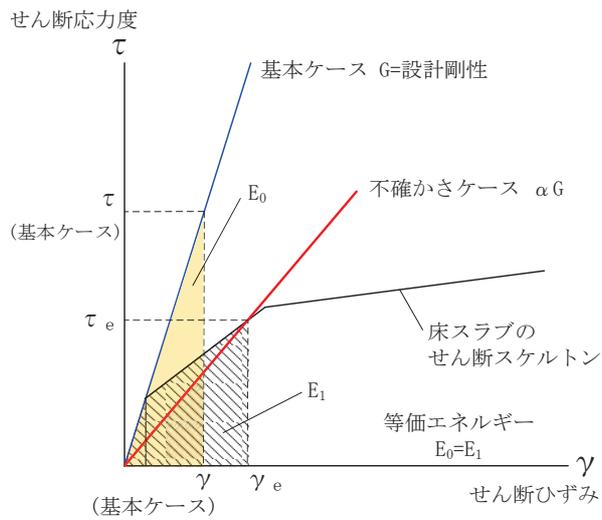


図 2-1 屋根スラブの影響検討ケースにおける剛性の設定方法

屋根スラブの面内せん断応力度－せん断ひずみ関係は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」によるものとし、以下とする。

$$\begin{aligned}
 \text{第 1 折点} & \left\{ \begin{aligned} \tau_1 &= \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \\ \gamma_1 &= \tau_1/G \end{aligned} \right. \\
 \text{第 2 折点} & \left\{ \begin{aligned} \tau_2 &= 1.35\tau_1 \\ \gamma_2 &= 3\gamma_1 \end{aligned} \right. \\
 \text{終局点} & \left\{ \begin{aligned} \tau_3 &= \left(1 - \frac{\tau_s}{1.4\sqrt{F_c}}\right)\tau_0 + \tau_s & \tau_s \leq 1.4\sqrt{F_c} \\ &= 1.4\sqrt{F_c} & \tau_s > 1.4\sqrt{F_c} \\ \gamma_3 &= 4.00 \times 10^{-4} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

$$\tau_0 = (0.94 - 0.56M/(QD))\sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/(QD) > 1$  のとき  $M/(QD) = 1$

$$\tau_s = (P_V + P_H)_s \sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_H) / 2$$

ここに、

- $F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (= 32.4 N/mm<sup>2</sup>)
- $G$  : コンクリートのせん断弾性係数 (=  $1.14 \times 10^4$  N/mm<sup>2</sup>)
- $P_V, P_H$  : 縦, 横筋比 (実数)
- $\sigma_v, \sigma_H$  : 縦, 横軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>) で「0」(ゼロ)とする
- $\sigma_y$  : 鉄筋降伏応力度 (= 345 N/mm<sup>2</sup>)

$M/(QD)$  : シアスパン比 ( $0 < M/(QD) \leq 1$ )

安全側に  $\tau_3$  が最小となるよう  $M/(QD)=1$  とする。

$D$  : 引張・圧縮フランジの芯々間距離 (mm)

工認ケースでは

$$\tau = 2.99 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma = 0.262 \times 10^{-3}$$

となることから、図 2-1 の三角形の面積  $E_0$  と等価になるせん断スケルトンカーブ上のせん断応力度  $\tau_e$ 、せん断ひずみ  $\gamma_e$  は

$$\tau_e = 2.03 \text{ N/mm}^2$$

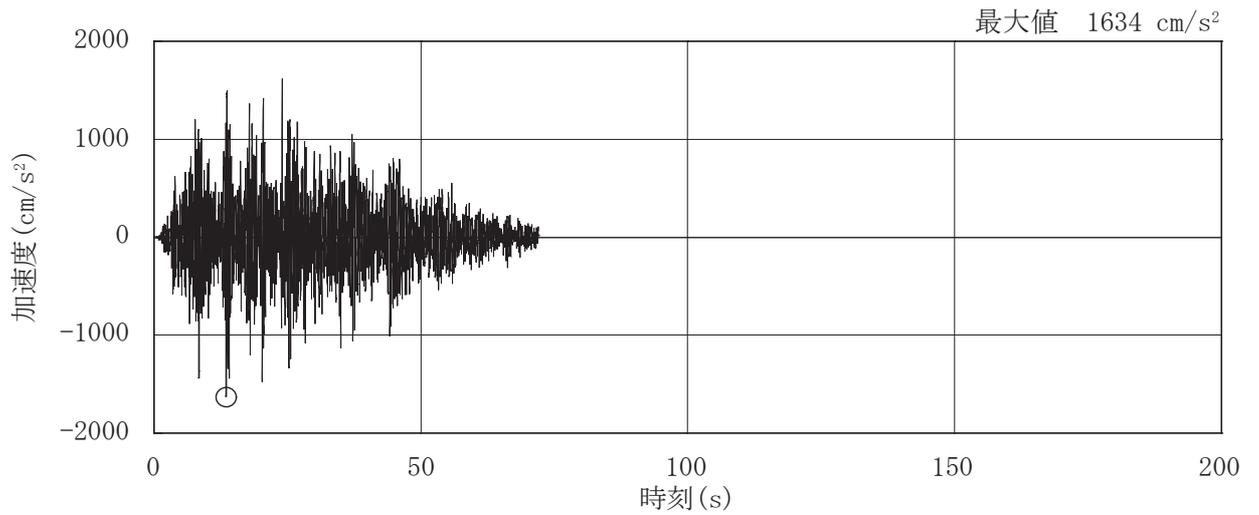
$$\gamma_e = 0.289 \times 10^{-3}$$

となり、影響検討ケースのせん断弾性係数  $G = 7.02 \times 10^3 \text{ (N/mm}^2)$ 、剛性補正係数は 0.62 となる。

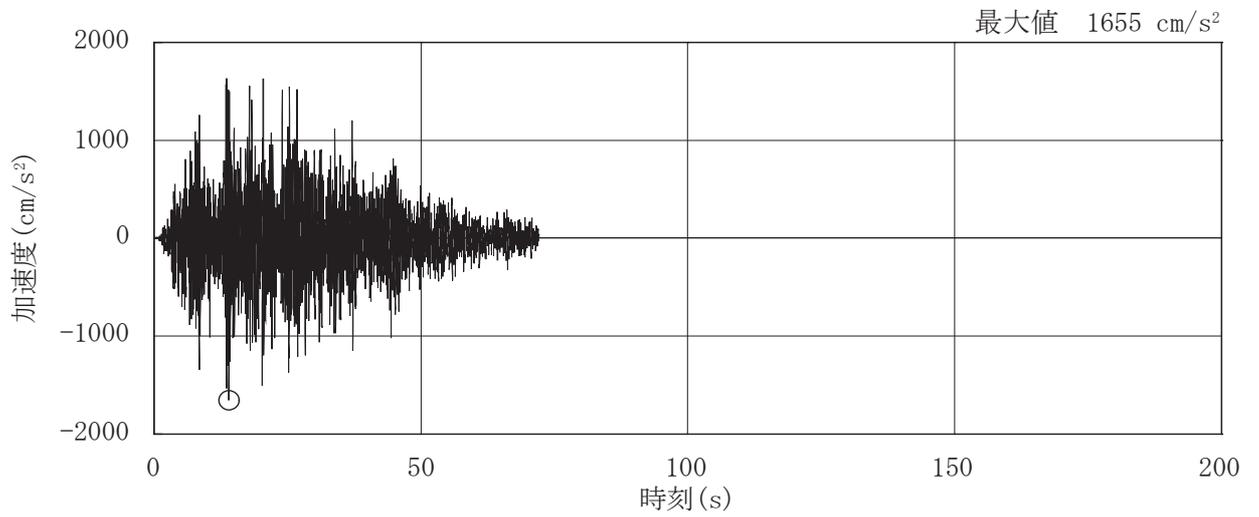
### 3. 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる燃料取替床レベル（3F, 0.P. 33.2m）の時刻歴応答加速度のうち、基準地震動  $S_s - D_2$ ，ケース 5（建屋剛性の不確かさを考慮，地盤物性  $+\sigma$ ）とする。

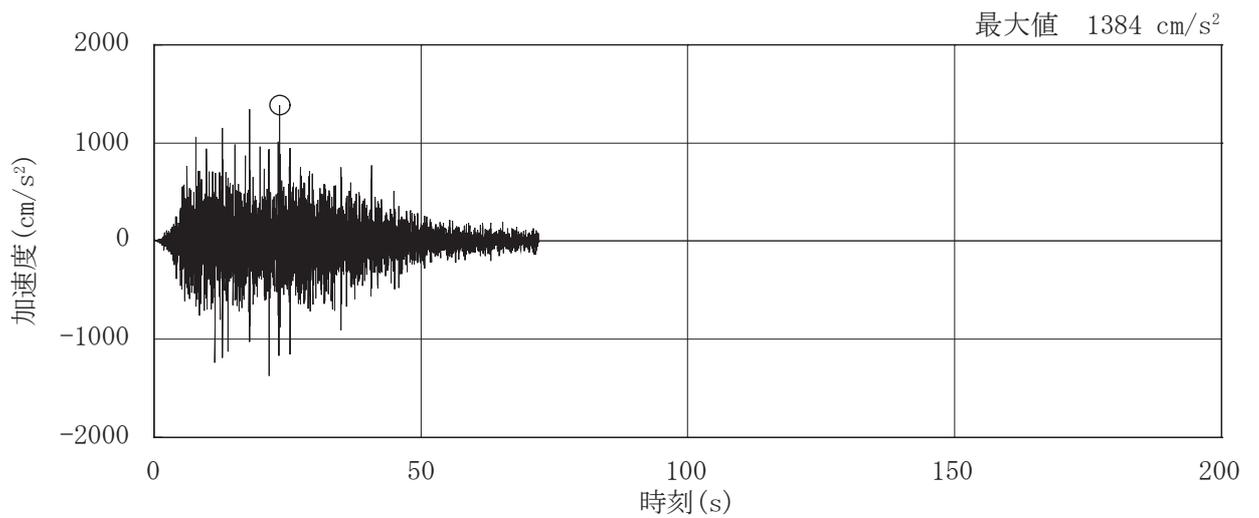
図 3-1 及び図 3-2 に燃料取替床レベル（3F, 0.P. 33.2m）の水平成分，鉛直成分及び回転成分の加速度時刻歴波形を示す。



(a) NS 方向

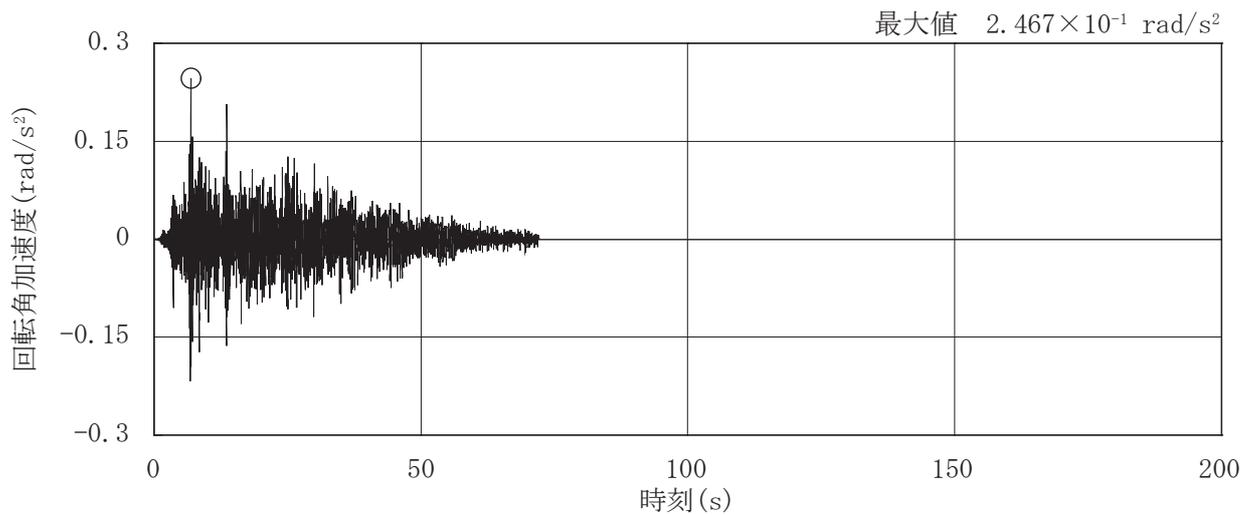


(b) EW 方向

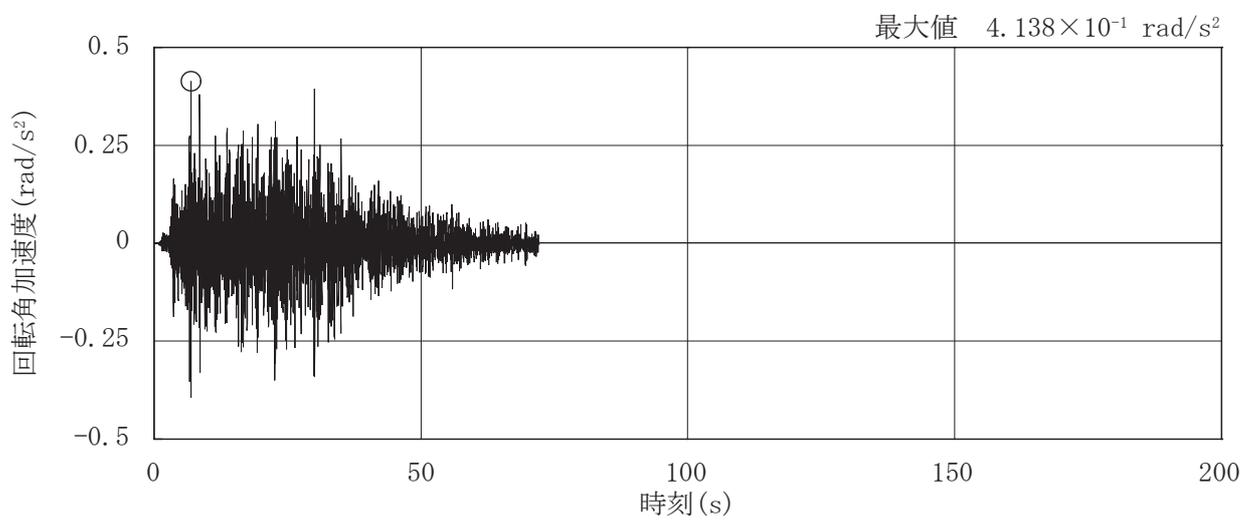


(c) UD 方向

図 3-1 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 2, ケース 5, 水平, 鉛直成分)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-2 燃料取替床レベル (3F, O.P. 33.2m) の加速度時刻歴波形  
(S s - D 2, ケース 5, 回転成分)

## 4. 固有値解析結果

影響検討ケースと工認ケースの屋根トラスの固有値解析結果を比較して、表 4-1 及び表 4-2 に示す。また、ケース 5 の代表的な固有モード図を図 4-1 に示す。

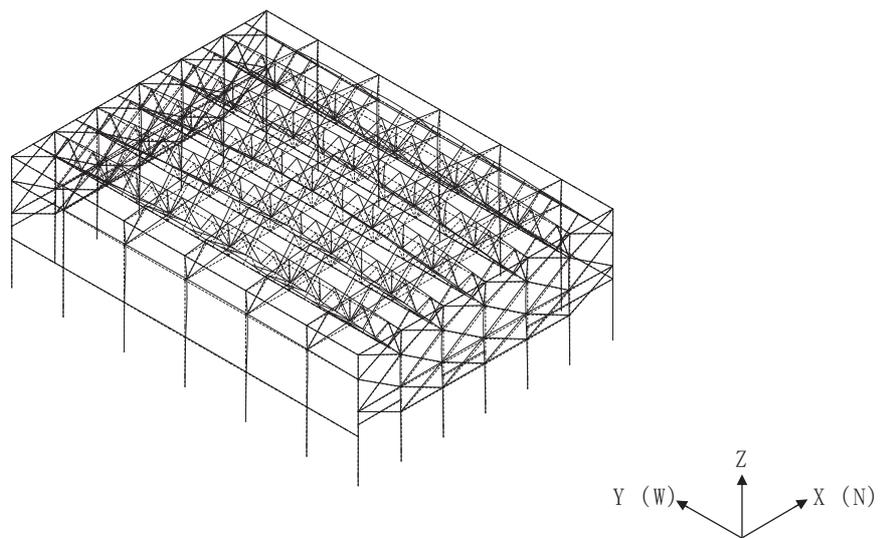
工認ケースに対して、影響検討ケースの固有振動数は、鉛直方向で 2%、NS 方向で 11%、EW 方向で 4% 低振動数側にシフトした。

表 4-1 固有値解析結果（影響検討ケース）

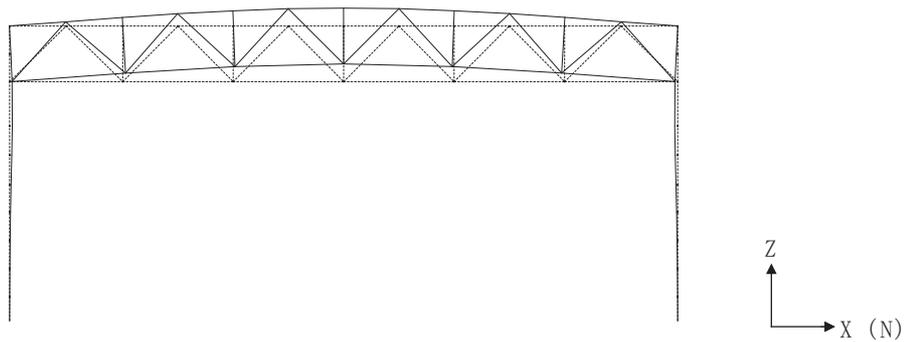
次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			水平方向 (NS)	水平方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	
1	3.53	0.283	0.012	0.006	1.564	鉛直方向1次
2	5.04	0.198	0.064	-0.092	0.004	
3	5.42	0.184	0.768	0.018	0.028	
4	5.71	0.175	-0.218	0.345	0.031	
5	5.90	0.170	0.597	1.840	-0.008	EW方向1次
6	5.94	0.168	4.844	0.056	0.055	NS方向1次
7	6.02	0.166	-0.455	1.884	-0.028	
8	6.24	0.160	-0.037	-0.199	-0.157	
9	6.31	0.159	-0.568	-0.524	-0.023	
10	6.36	0.157	0.082	0.630	0.034	

表 4-2 固有値解析結果（工認ケース）

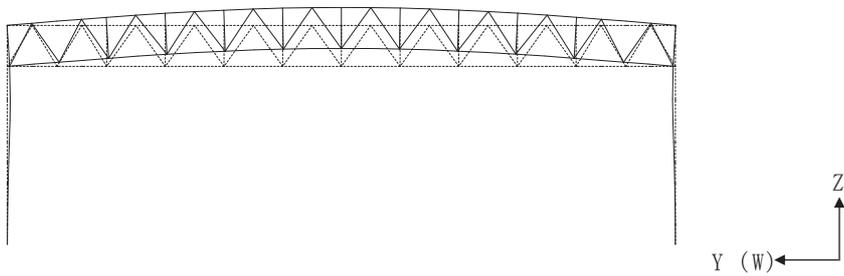
次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			水平方向 (NS)	水平方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	
1	3.60	0.278	0.011	0.005	1.567	鉛直方向1次
2	5.65	0.177	0.101	-0.148	0.005	
3	6.07	0.165	0.953	-0.008	0.028	
4	6.16	0.162	-0.055	-1.527	0.012	EW方向1次
5	6.40	0.156	-0.150	-0.366	-0.051	
6	6.43	0.156	-0.096	-0.023	0.151	
7	6.58	0.152	0.458	-1.190	-0.016	
8	6.61	0.151	-1.606	-0.733	-0.042	
9	6.64	0.151	-3.310	0.227	-0.036	NS方向1次
10	6.71	0.149	-1.515	-0.121	-0.019	



(a) 鳥瞰図

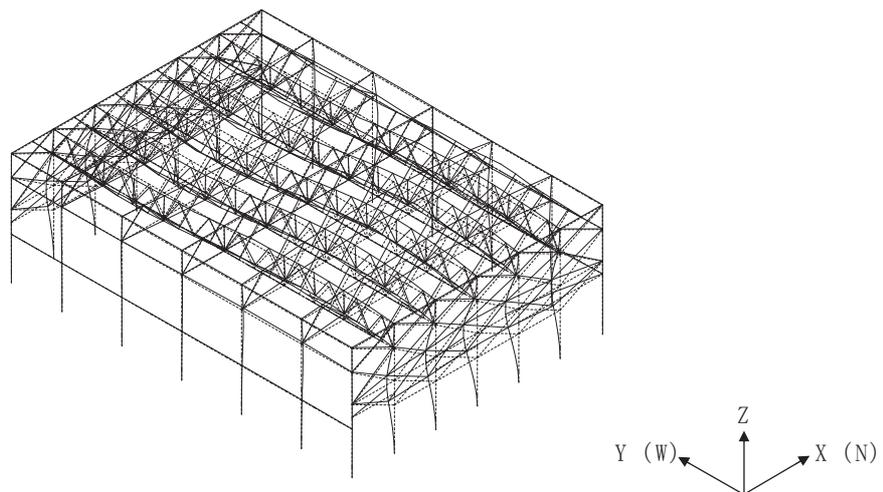


(b) XZ 面

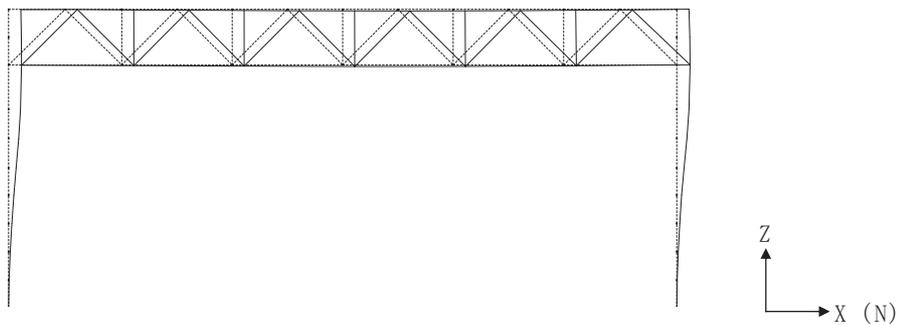


(c) YZ 面

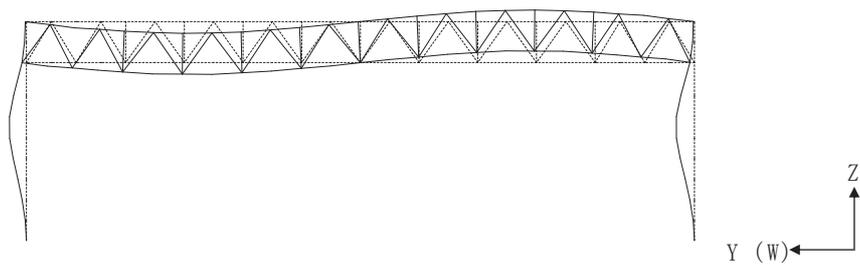
図 4-1(1) 固有モード図  
(鉛直方向 1 次 (影響検討ケース))



(a) 鳥瞰図

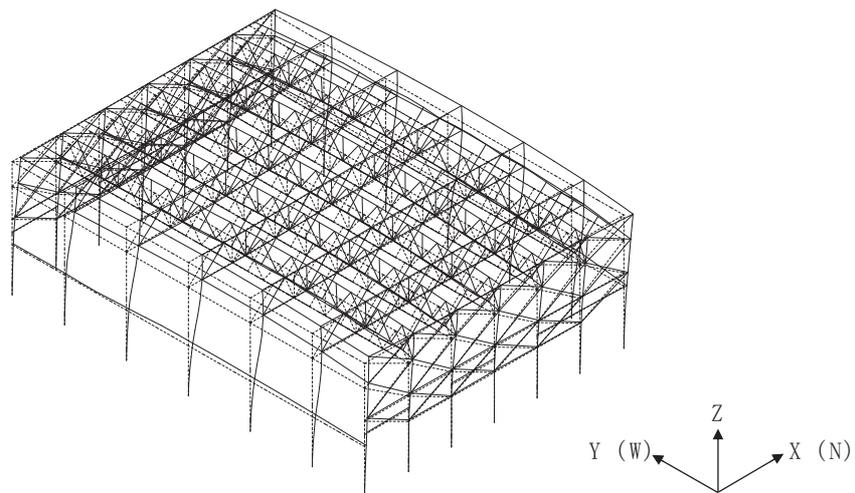


(b) XZ 面

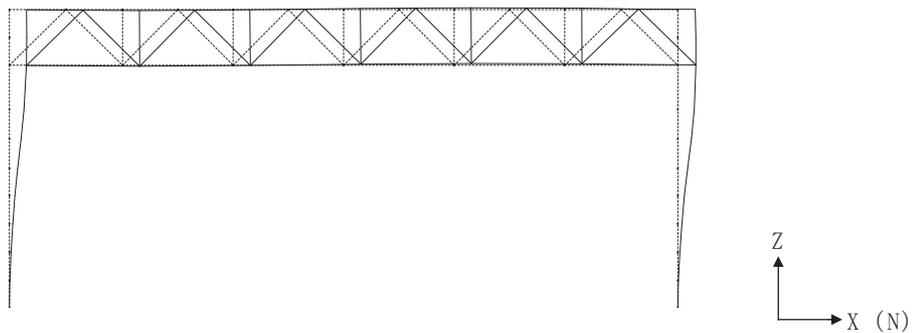


(c) YZ 面

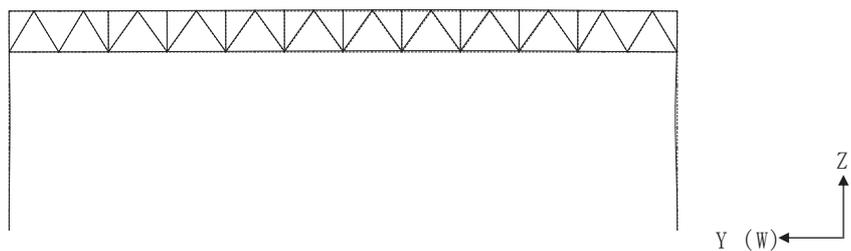
図 4-1(2) 固有モード図  
(EW 方向 1 次 (影響検討ケース))



(a) 鳥瞰図



(b) XZ 面



(c) YZ 面

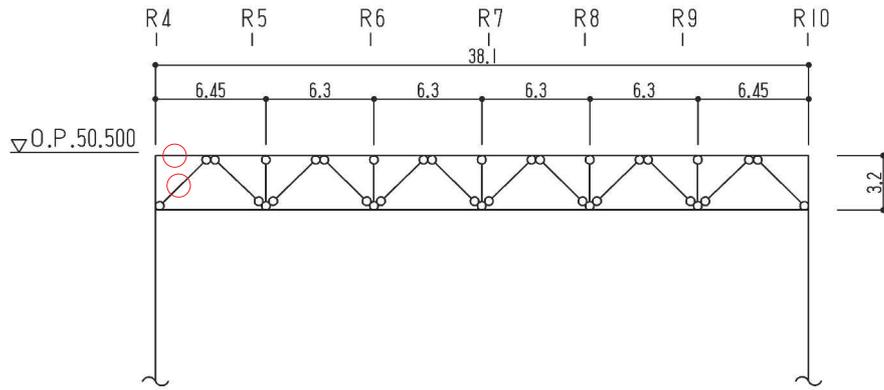
図 4-1(3) 固有モード図  
(NS 方向 1 次 (影響検討ケース))

## 5. 検討結果

影響検討ケースの地震応答解析結果から各部材の断面の評価を実施した。なお、断面の評価方法については、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」で示した方法と同じである。

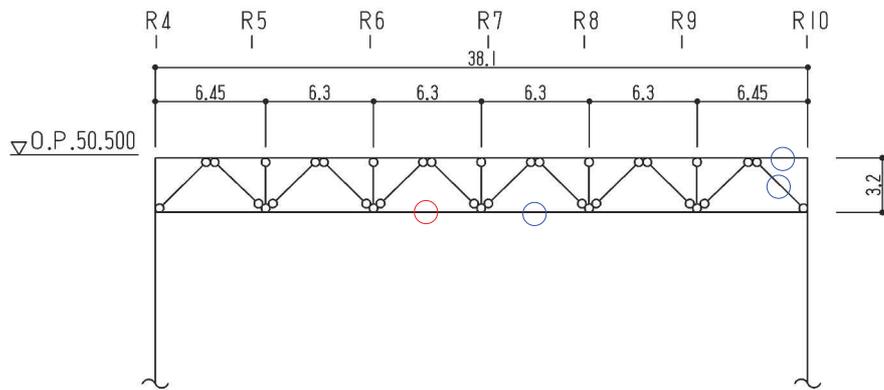
評価対象箇所は、各部材の検定値が最も大きい箇所とする。評価対象箇所を図 5-1～図 5-4 に示す。また、断面算定結果を工認ケースの結果と合わせて表 5-1～表 5-4 に示す。

屋根トラスの各部材における断面算定の検定比は、影響検討ケースの評価結果が工認ケースの評価結果を上回る部分があるものの、建屋剛性の不確かさを考慮しても耐震安全性に影響を与えないことを確認した。



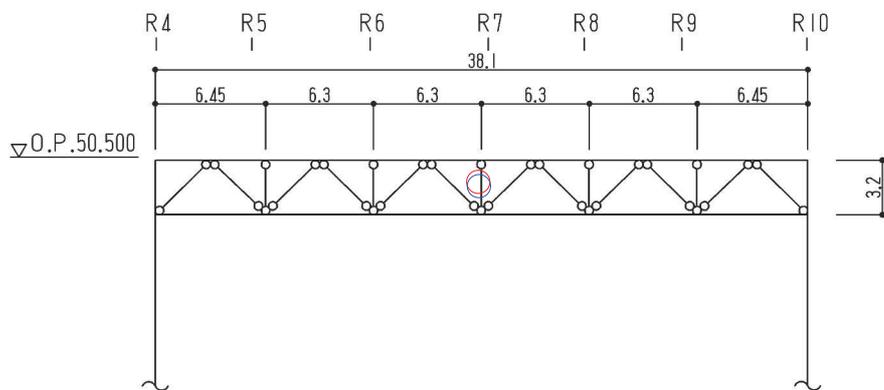
- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

(a) 主トラス : RE 通り



- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

(b) 主トラス : RF 通り



- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

(c) 主トラス : RG 通り

図 5-1 評価対象箇所 (主トラス)

表 5-1(1) 断面算定結果 (主トラス)

部材 (種類)		上弦材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-1 参照		図 5-1 参照	
鉄骨断面	部材	H-350×350×12×19		H-350×350×12×19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)		SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		765	78.7	880	73.1
M (kN・m)		120	120	147	147
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	44.0	—	50.6	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	4.53	—	4.20
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	52.2	52.2	63.9	63.9
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	357	—	357
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.28 (<1.0)	—	0.33 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.17 (<1.0)	—	0.20 (<1.0)

表 5-1(2) 断面算定結果 (主トラス)

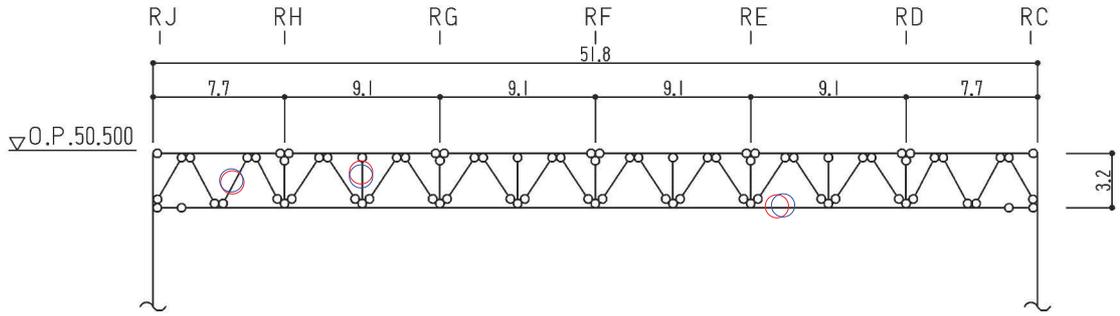
部材 (種類)		下弦材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-1 参照		図 5-1 参照	
鉄骨断面	部材	H-350×350×12×19		H-350×350×12×19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)		SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		4350	981	4170	847
M (kN・m)		58.2	58.2	55.0	55.0
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	250	—	240	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	56.4	—	48.7
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	25.3	25.3	23.9	23.9
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	280	—	280
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.79 (<1.0)	—	0.75 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.29 (<1.0)	—	0.25 (<1.0)

表 5-1(3) 断面算定結果 (主トラス)

部材 (種類)		斜材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-1 参照		図 5-1 参照	
鉄骨断面	部材	2CTs-175×350×12×19		2CTs-175×350×12×19	
	種別	SM50A (SM490A 相当)		SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		126	3170	113	3460
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	7.25	—	6.50	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	182	—	199
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	300	—	300
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.03 (<1.0)	—	0.02 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.61 (<1.0)	—	0.67 (<1.0)

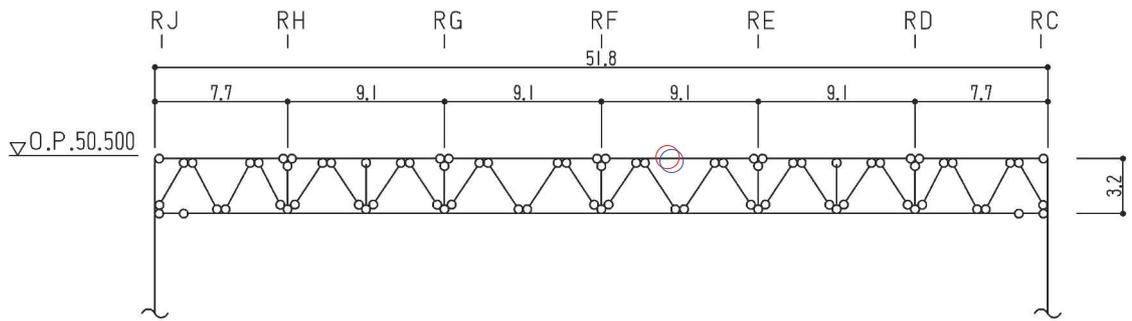
表 5-1(4) 断面算定結果 (主トラス)

部材 (種類)		束材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-1 参照		図 5-1 参照	
鉄骨断面	部材	2CTs-100×200×8×12		2CTs-100×200×8×12	
	種別	SM50A (SM490A 相当)		SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		132	290	120	272
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	20.8	—	18.9	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	45.6	—	42.8
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	262	—	262
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.06 (<1.0)	—	0.06 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.18 (<1.0)	—	0.17 (<1.0)



- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

(a) サブトラス : R6 通り R7 通り間



- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

(b) サブトラス : R9 通り R10 通り間

図 5-2 評価対象箇所 (サブトラス)

表 5-2(1) 断面算定結果 (サブトラス)

部材 (種類)		上弦材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-2 参照		図 5-2 参照	
鉄骨断面	部材	H-250×250×9×14		H-250×250×9×14	
	種別	SS41 (SS400 相当)		SS41 (SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		35.9	174	199	374
M (kN・m)		117	117	114	114
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.89	—	21.6	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	18.9	—	40.6
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	135	135	131	131
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	258	—	258
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	258	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.55 (<1.0)	—	0.60 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.61 (<1.0)	—	0.67 (<1.0)

表 5-2(2) 断面算定結果 (サブトラス)

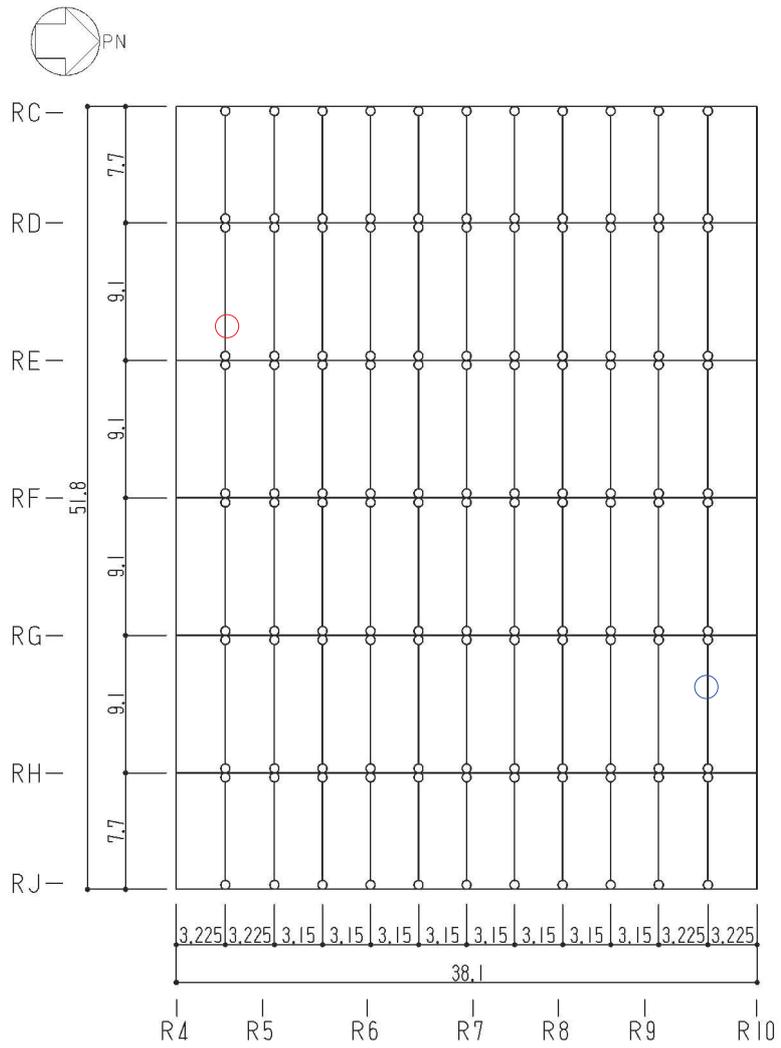
部材 (種類)		下弦材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-2 参照		図 5-2 参照	
鉄骨断面	部材	PL-19×601+PL-25×550 +2PL-19×344		PL-19×601+PL-25×550 +2PL-19×344	
	種別	SN490B		SN490B	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		6170	2350	6020	2500
M (kN・m)		341	341	321	321
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	180	—	176	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	68.6	—	73.0
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	84.6	84.6	79.7	79.7
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	—	357	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	353	—	353
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	357	357	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.75 (<1.0)	—	0.73 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.44 (<1.0)	—	0.44 (<1.0)

表 5-2(3) 断面算定結果 (サブトラス)

部材 (種類)		斜材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-2 参照		図 5-2 参照	
鉄骨断面	部材	2Ls-90×90×10 + 2Ls-250×90×10×15		2Ls-90×90×10 + 2Ls-250×90×10×15	
	種別	SS41 (SS400 相当), SS400		SS41 (SS400 相当), SS400	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		577	1950	501	1740
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	53.0	—	46.0	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	179	—	160
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	226	—	226
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.21 (<1.0)	—	0.18 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.80 (<1.0)	—	0.71 (<1.0)

表 5-2(4) 断面算定結果 (サブトラス)

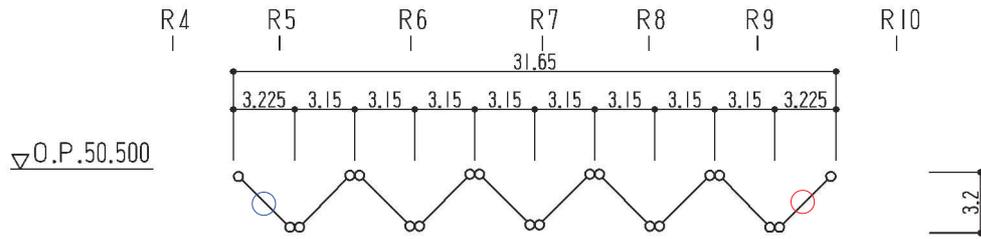
部材 (種類)		束材			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-2 参照		図 5-2 参照	
鉄骨断面	部材	4Ls-90×90×6		4Ls-90×90×6	
	種別	SS400		SS400	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		117	209	99.5	197
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	27.7	—	23.6	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	49.5	—	46.7
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	219	—	219
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.11 (<1.0)	—	0.10 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.23 (<1.0)	—	0.22 (<1.0)



○ : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。  
 ○ : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。  
 図 5-3 評価対象箇所 (母屋)

表 5-3 断面算定結果 (母屋)

部材 (種類)		母屋			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-3 参照		図 5-3 参照	
鉄骨断面	部材	H-390×300×10×16		H-390×300×10×16	
	種別	SS41 (SS400 相当)		SS41 (SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		274	361	482	495
M (kN・m)		310	310	327	327
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	20.1	—	35.4	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	26.5	—	36.4
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	157	157	165	165
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	258	—	258
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	258	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.69 (<1.0)	—	0.78 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.72 (<1.0)	—	0.79 (<1.0)	



- : 工認ケースの最大応力発生箇所を示す。
- : 影響検討ケースの最大応力発生箇所を示す。

図 5-4 評価対象箇所（方杖：RH 通り RJ 通り間）

表 5-4 断面算定結果（方杖）

部材（種類）		方杖			
ケース		工認ケース		影響検討ケース	
位置		図 5-4 参照		図 5-4 参照	
鉄骨断面	部材	2Ls-130×130×9		2Ls-130×130×9	
	種別	SS400		SS400	
応力状態		引張	圧縮	引張	圧縮
N (kN)		274	472	250	451
断面算定	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	60.2	—	55.0	—
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	104	—	99.2
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258	—	258	—
	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	156	—	156
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.24 (<1.0)	—	0.22 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.67 (<1.0)	—	0.64 (<1.0)

VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋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	6
3.	S d 閉機能維持評価	7
3.1	固有周期の確認方法	7
3.1.1	水平方向	7
3.1.2	鉛直方向	7
3.2	固有周期の確認結果	7
3.3	設計用地震力	8
3.4	評価方法	9
3.4.1	地震荷重	9
3.4.2	開放荷重	9
3.5	評価結果	9
4.	S s 開機能維持評価	10
4.1	取付状況	10
4.2	層間変位の算定	11
4.3	評価結果	11

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6-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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）に設置されている原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 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  $S_s$  による地震力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。

原子炉建屋 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

原子炉建屋 BOP の設置位置を図 2-1 に示す。

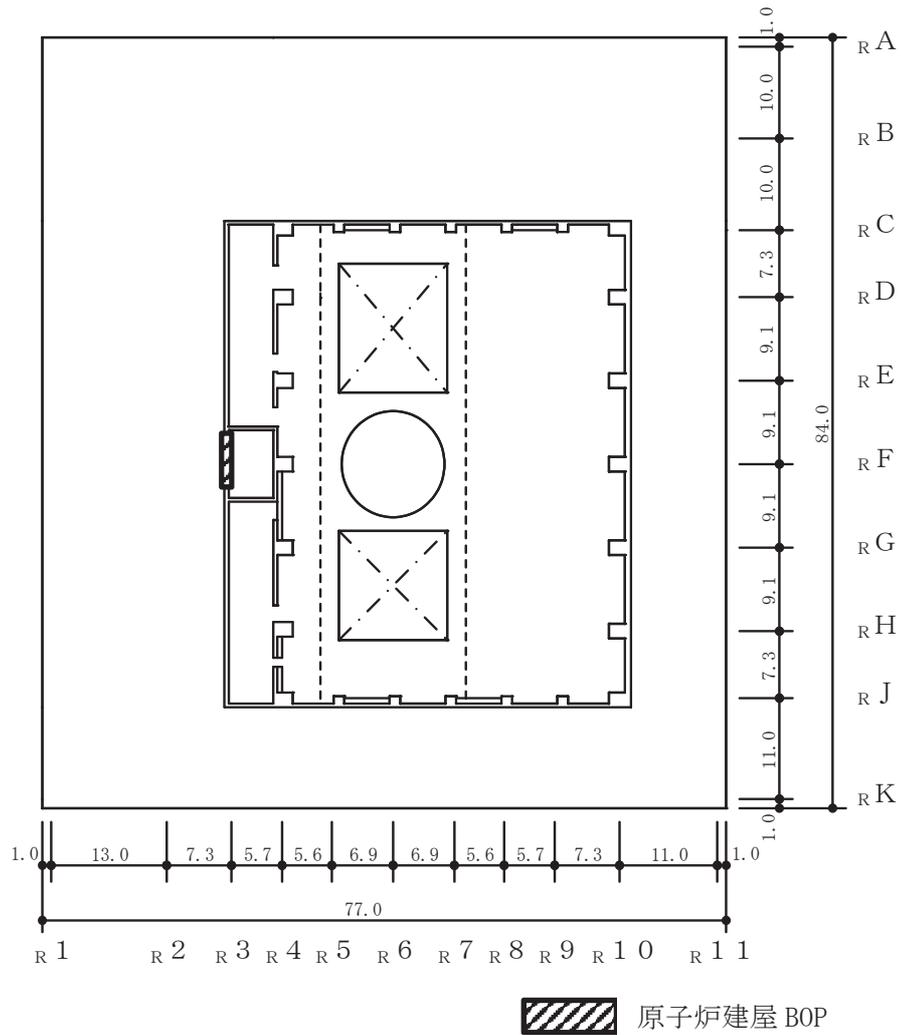


図 2-1 原子炉建屋 BOP の設置位置図 (単位 : m)

(O.P. \*33.2m)

注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事事業用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

## 2.2 構造概要

原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の一部（地上 3 階）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部及び差圧により変形する止め板より構成される設備である。

原子炉建屋 BOP の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 原子炉建屋 BOP 構造計画

計画の概要	
主体構造	支持構造
<ul style="list-style-type: none"> <li>・パネル本体部</li> <li>・枠部</li> </ul> <p>原子炉建屋 BOP は、パネル本体部、パネルを原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の壁に設置する枠部より構成される設備である。</p>	<p>原子炉建屋 BOP は、十分な強度を有する構造とし、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の壁に枠と止め板により据付けられる。</p>
材料	SS400
作動方式	止め板式（48 個）
止め板仕様	材質 SS400
概略構造図（単位：m）	
<p>The diagram illustrates the structural details of the BOP. It features two cross-sections: A-A (vertical) and B-B (horizontal). The A-A section shows a panel with a total height of 4.20m and a width of 4.10m. The B-B section shows a panel with a total width of 5.20m and a height of 5.10m. Key components labeled include the 'パネル本体部' (Panel Main Body), '止め板' (Stop Plate), and '枠部' (Frame Part). Elevation markers O.P. 38.50 and O.P. 34.30 are indicated on the left side. Section lines A-A and B-B are shown with arrows pointing to the respective views.</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.3 評価方針

原子炉建屋 BOP の地震時の構造強度及び機能維持評価は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6 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。

原子炉建屋 BOP の耐震評価フローを図 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 による地震力に相当する荷重で原子炉建屋 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、原子炉建屋 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、設定圧力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定圧力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 による地震力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（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 による地震力に対し、設置個所の原子炉建屋原子炉棟（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いことを確認することにより、パネル本体には支持躯体の変形に伴う地震時応力が生じず、パネル本体が開放機能を維持できることを確認する。

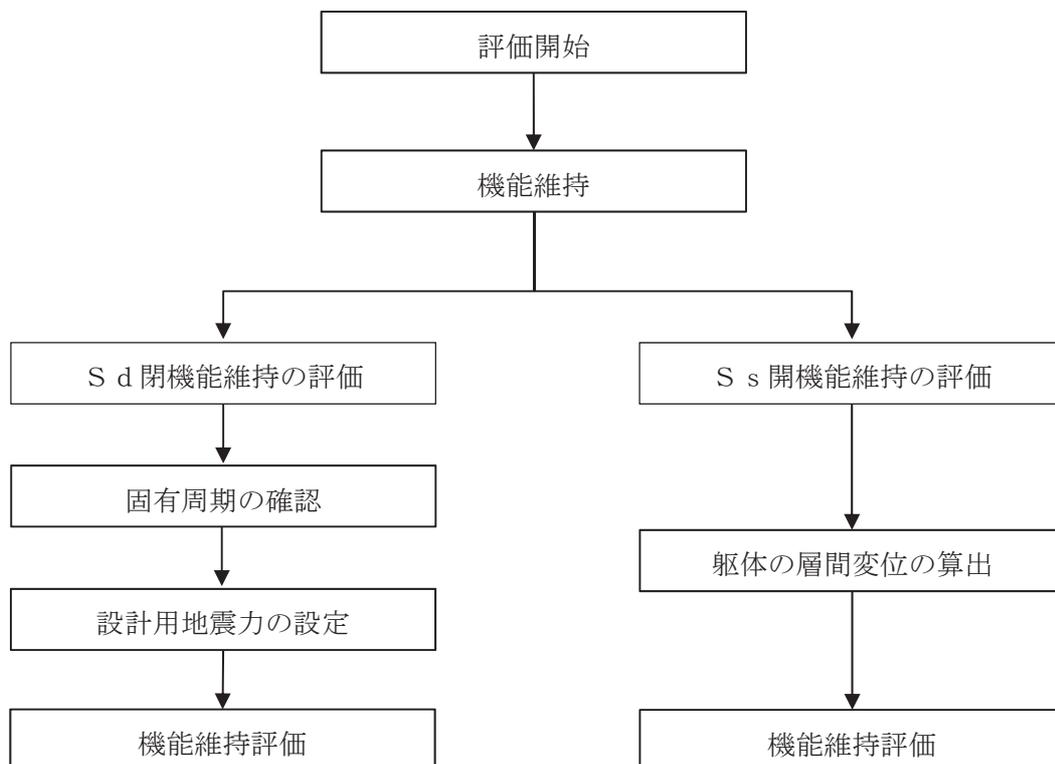


図 2-2 原子炉建屋 BOP の耐震評価フロー

## 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（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2005 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 （J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）

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

原子炉建屋 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、原子炉建屋 BOP 試験体の振動試験にて、インパクト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 ( Hz) であり、20Hz を下回ることを確認した。そのため、「3.3 設計用地震力」では、応答増幅を考慮して検討する。

表 3-1 固有周期の確認結果

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 固有振動数の測定結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 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 による地震力及び静的震度による地震力は、添付書類「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。弾性設計用地震動 S d による地震力は、基本ケース及び地盤物性の不確かさを考慮したケースの応答震度を用いることで、地盤物性の不確かさを設計用地震力として考慮する。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数 2% (鉄骨) を用いる。評価に用いる震度は、原子炉建屋 BOP 頂部 (O.P. 38.5m) の値とする。

なお、原子炉建屋 BOP を閉止する止め板は、枠部に作用する弾性設計用地震動 S d の鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、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)		原子炉建屋 O.P. 38.5		
固有周期 (s)		NS 方向 : <input type="text"/> *1 EW 方向 : 0.05 以下 鉛直 : 0.05 以下		
減衰定数 (%)		NS 方向 : 2.0 EW 方向 : — 鉛直 : —		
地震力		弾性設計用地震動 S d または静的震度		
モード	固有周期*5 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	3.39*2	—	—
2 次	0.048	—	—	—
動的地震力*3		1.41	—	0.90
静的地震力*4		1.53	—	0.24

注記\*1 : 1 次固有周期について記載。

\*2 : 各モードの固有周期に対し、弾性設計用地震動 S d に基づく加速度応答スペクトルより得られる震度を示す。

\*3 : 弾性設計用地震動 S d に基づく最大応答加速度より定めた震度を示す。

\*4 : 静的震度 (3.0・C<sub>i</sub> 及び 1.0・C<sub>v</sub>) を示す。

\*5 : 固有周期は原子炉建屋 BOP 試験体の振動試験にて測定した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 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。

$$F_H = M \cdot C_H \cdot g$$

$F_H$  : 弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (N)

$M$  : 原子炉建屋 BOP の質量 (=1800 kg)

$C_H$  : 水平震度 (=3.39)

$g$  : 重力加速度 (=9.80665m/s<sup>2</sup>)

#### 3.4.2 開放荷重

原子炉建屋 BOP の開放荷重は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6-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

原子炉建屋 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。

原子炉建屋 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)
試験体 1	□	59.9	○
試験体 2	□		○
試験体 3	□		○

#### 4. S s 開機能維持評価

##### 4.1 取付状況

原子炉建屋 BOP は、止め板により枠部に取り付けられている。パネル本体と枠部の取付状況を図 4-1 に示す。パネル本体と枠部とは左右及び上下に 50 mm の間隙がある。

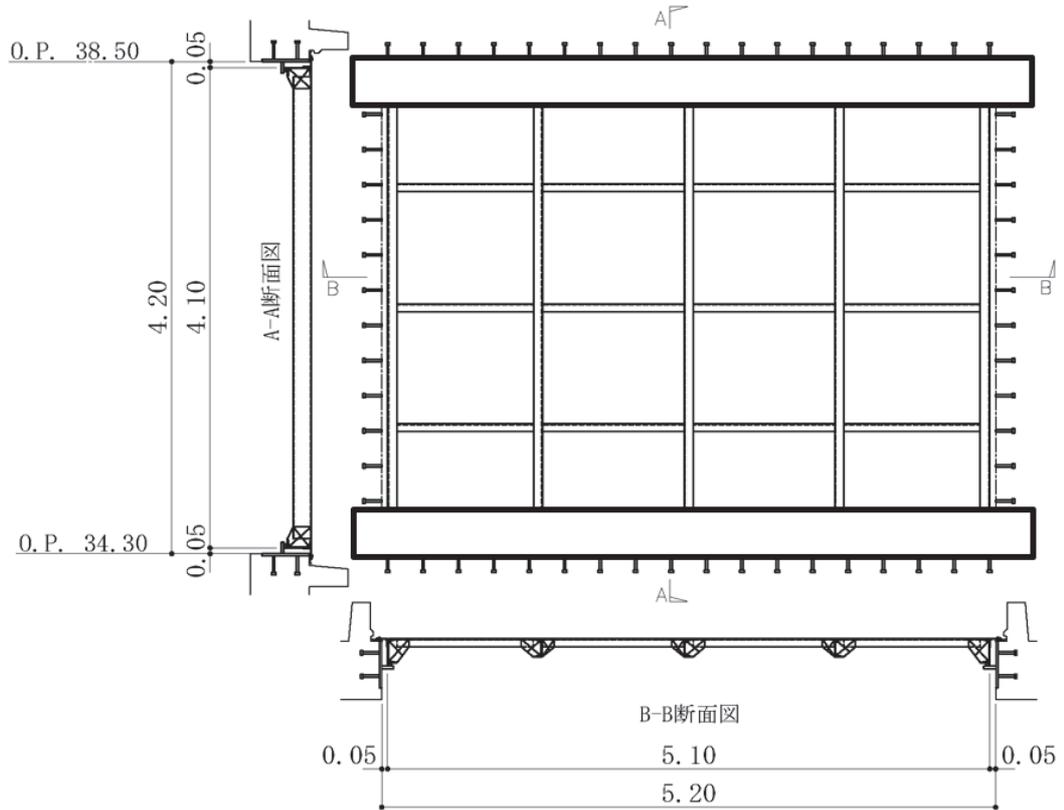


図 4-1 パネル本体と枠部の取付け状況 (単位 : m)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（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。

$$\delta = h \times \theta$$

h : 開口高さ (=4.2m)  
 $\theta$  : 層間変形角 (=2.0×10<sup>-3</sup>rad)

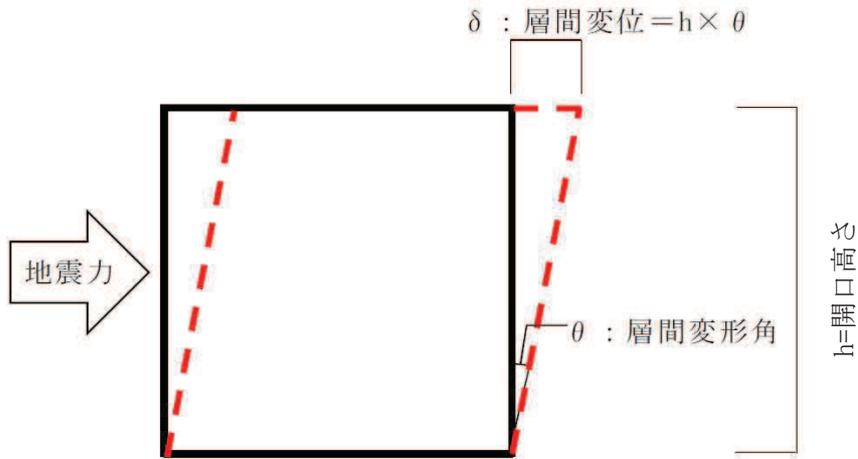


図 4-2 層間変位

#### 4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。枠部の層間変位は 8.4mm であり、原子炉建屋 BOP 本体側面と枠部と 50mm の隙間があることから変形に対し追従できる。以上のことから、原子炉建屋 BOP は、基準地震動 S<sub>s</sub> 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

層間変位 (mm)	間隙 (mm)	判定
8.4	50	○

VI-2-9-3-2 原子炉建屋大物搬入口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	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	固有周期	8
3.1	固有周期の計算方法	8
3.1.1	水平方向	8
3.1.2	鉛直方向	9
3.2	固有周期の計算条件	10
3.3	固有周期の計算結果	11
4.	構造強度評価	12
4.1	評価対象部位	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.2.1	耐震評価上考慮する荷重	15
4.2.2	荷重の設定	16
4.3	許容限界	18
4.3.1	使用材料	18
4.3.2	許容限界	19
4.4	計算方法	20
4.4.1	荷重計算方法	20
4.4.2	応力評価	32
4.5	計算条件	34
5.	評価結果	35

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、原子炉建屋大物搬入口（以下「大物搬入口」という。）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。

大物搬入口は原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

大物搬入口の設置位置を図 2-1 に示す。

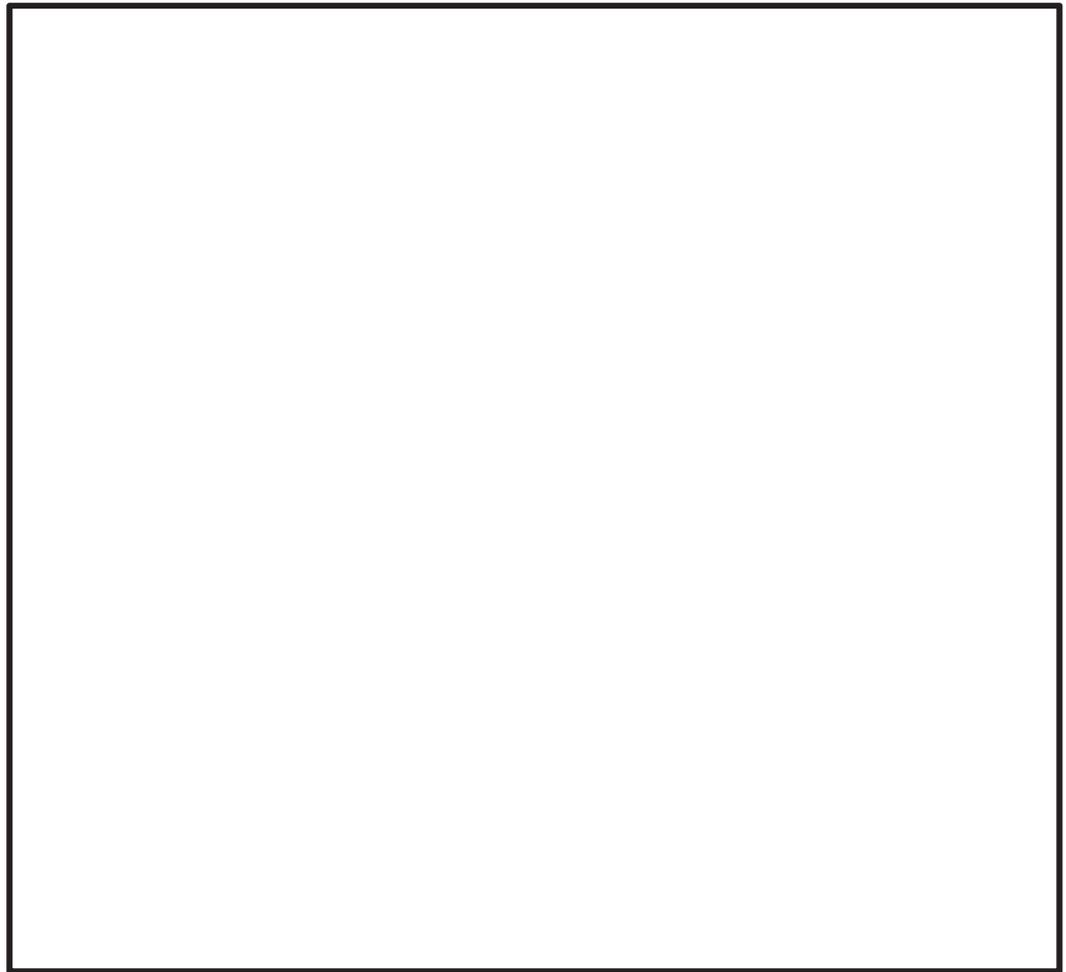


図 2-1 設置位置図 (O.P. \*15.0m)

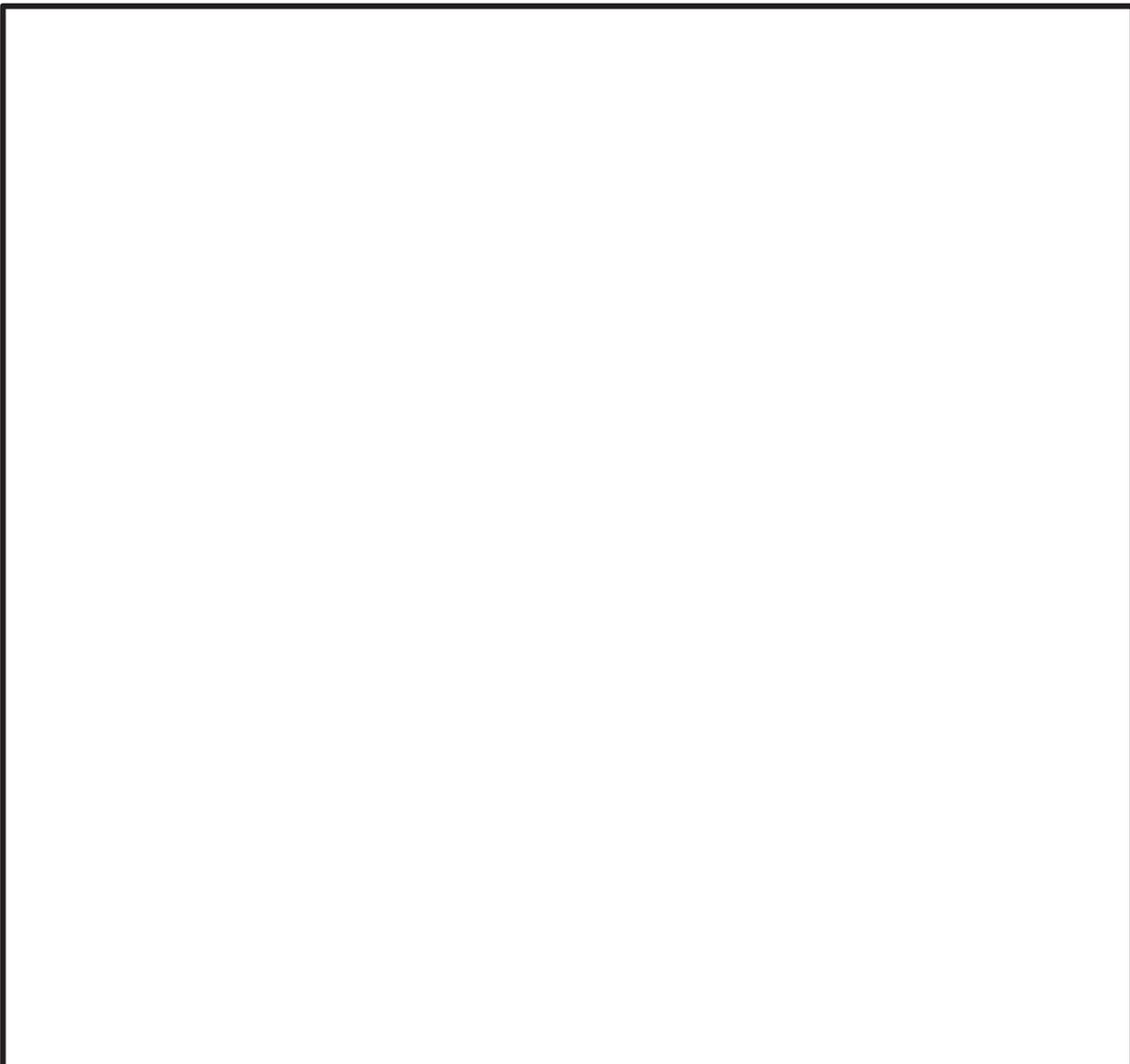
注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造概要

大物搬入口の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画構造	
支持構造	主体構造
扉開放時は、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を一体化する構造とする。また、扉枠は周辺躯体に埋設した金物にボルトで固定する構造とする。	片開型の鋼製扉とし、扉板に芯材を取り付け、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を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。
概略構造図	
	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

大物搬入口の耐震評価は、添付書類「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 構造概要」にて示す大物搬入口の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、設計用地震力により生じる応力度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。

大物搬入口の耐震評価は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書」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。

大物搬入口の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

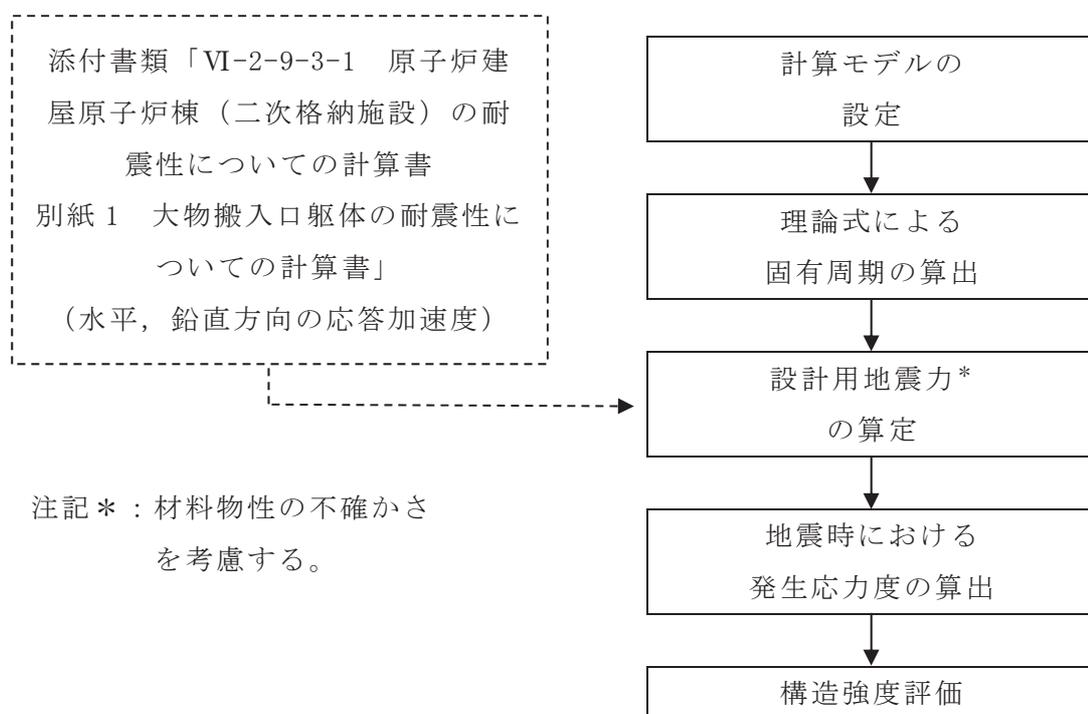


図 2-2 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）  
建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（以下「S 規準」という。）
- ・ J I S G 3 1 0 1 -2015 一般構造用圧延鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 1 -2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 3 -2016 機械構造用合金鋼鋼材
- ・ J I S G 4 3 0 3 -2012 ステンレス鋼棒
- ・ J I S B 1 0 5 1 -2014 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質-強度区分を規定したボルト，小ねじ及び植込みボルト-並目ねじ及び細目ねじ

## 2.5 記号の説明

大物搬入口の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m <sup>2</sup>	
	F <sub>H</sub>	水平地震力	N	
	F <sub>V</sub>	鉛直地震力	N	
	f	大物搬入口の 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	
	ℓ	モデル化に用いる芯材の長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C <sub>H</sub>	水平震度	—	
	C <sub>V</sub>	鉛直震度	—	
	W <sub>X</sub>	扉体自重	kN	
	W <sub>1</sub>	扉体幅	mm	
	H <sub>1</sub>	扉体高	mm	
	P <sub>1</sub>	圧力荷重 (内圧)	kN/m <sup>2</sup>	
	P <sub>2</sub>	圧力荷重 (外圧)	kN/m <sup>2</sup>	
ヒンジ部	共通	L <sub>j</sub>	ヒンジ間距離	mm
		L <sub>r</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L <sub>t</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R <sub>r</sub>	扉体幅方向自重反力	N
		R <sub>t</sub>	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ板	A <sub>1</sub>	ヒンジ板の断面積	mm <sup>2</sup>
		T <sub>1</sub>	ヒンジ板の引張力	N
		L <sub>1</sub>	ヒンジ板の作用点間距離	mm
		M <sub>1</sub>	ヒンジ板の曲げモーメント	N・mm
		Q <sub>1</sub>	ヒンジ板のせん断力	N
		Z <sub>1</sub>	ヒンジ板の断面係数	mm <sup>3</sup>
		σ <sub>t1</sub>	ヒンジ板の引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>b1</sub>	ヒンジ板の曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>x1</sub>	ヒンジ板の組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		τ <sub>1</sub>	ヒンジ板のせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジピン	$A_2$	ヒンジピンの断面積	$\text{mm}^2$
		$A_2'$	ヒンジピンの受圧面積	$\text{mm}^2$
		$L_2$	ヒンジピンの軸支持間距離	mm
		$M_2$	ヒンジピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$N_2$	ヒンジピンの圧縮力	N
		$Q_2$	ヒンジピンのせん断力	N
		$Z_2$	ヒンジピンの断面係数	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{c2}$	ヒンジピンの圧縮応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{b2}$	ヒンジピンの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{x2}$	ヒンジピンの組合せ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
	$\tau_2$	ヒンジピンのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$	
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	ヒンジボルトの断面積	$\text{mm}^2$
		$n_{b3}$	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
		$\sigma_{t3}$	ヒンジボルトの引張応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_3$	ヒンジボルトのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
カンヌキ部	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	$\text{mm}^2$
		$L_4$	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	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$n$	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	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{b4}$	カンヌキの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{x4}$	カンヌキの組合せ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_4$	カンヌキのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
	カンヌキ受けピン	$A_5$	カンヌキ受けピンの断面積	$\text{mm}^2$
		$L_5$	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
		$M_5$	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$Q_5$	カンヌキ受けピンのせん断力	N
		$Z_5$	カンヌキ受けピンの断面係数	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{b5}$	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_5$	カンヌキ受けピンのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$

### 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。

大物搬入口は、カンヌキにより扉枠に固定される構造であることから、端部の境界条件を扉閉止時は両端固定ばりとして、扉開放時は片側ヒンジ、片側自由端のばりとしてモデル化する。

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、扉体面外方向について算出する。

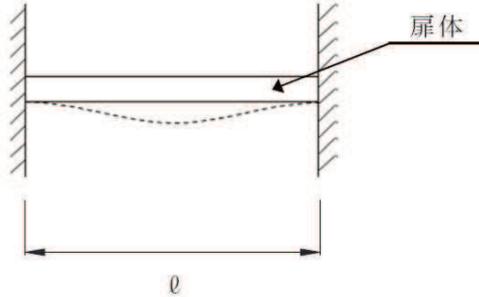
$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{4.7300^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$


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。

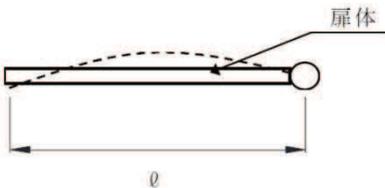
$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{3.9266^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$


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

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	$\varnothing$	mm	6920
ヤング率	E	N/m <sup>2</sup>	2.05×10 <sup>11</sup>
断面二次モーメント	I	mm <sup>4</sup>	2.027×10 <sup>9</sup>
質量分布	m	kg/m	963

### 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

扉名称	扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
大物搬入口	閉止時	48.84	0.02
	開放時	33.65	0.03

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 評価対象部位

大物搬入口の評価対象部位は、「2.2 構造概要」に示す大物搬入口の構造を踏まえ、大物搬入口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。

大物搬入口に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン）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。

なお、扉枠についてはボルト、アンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落は生じないことから評価対象としないこととする。

大物搬入口の地震荷重の作用イメージと評価部位を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

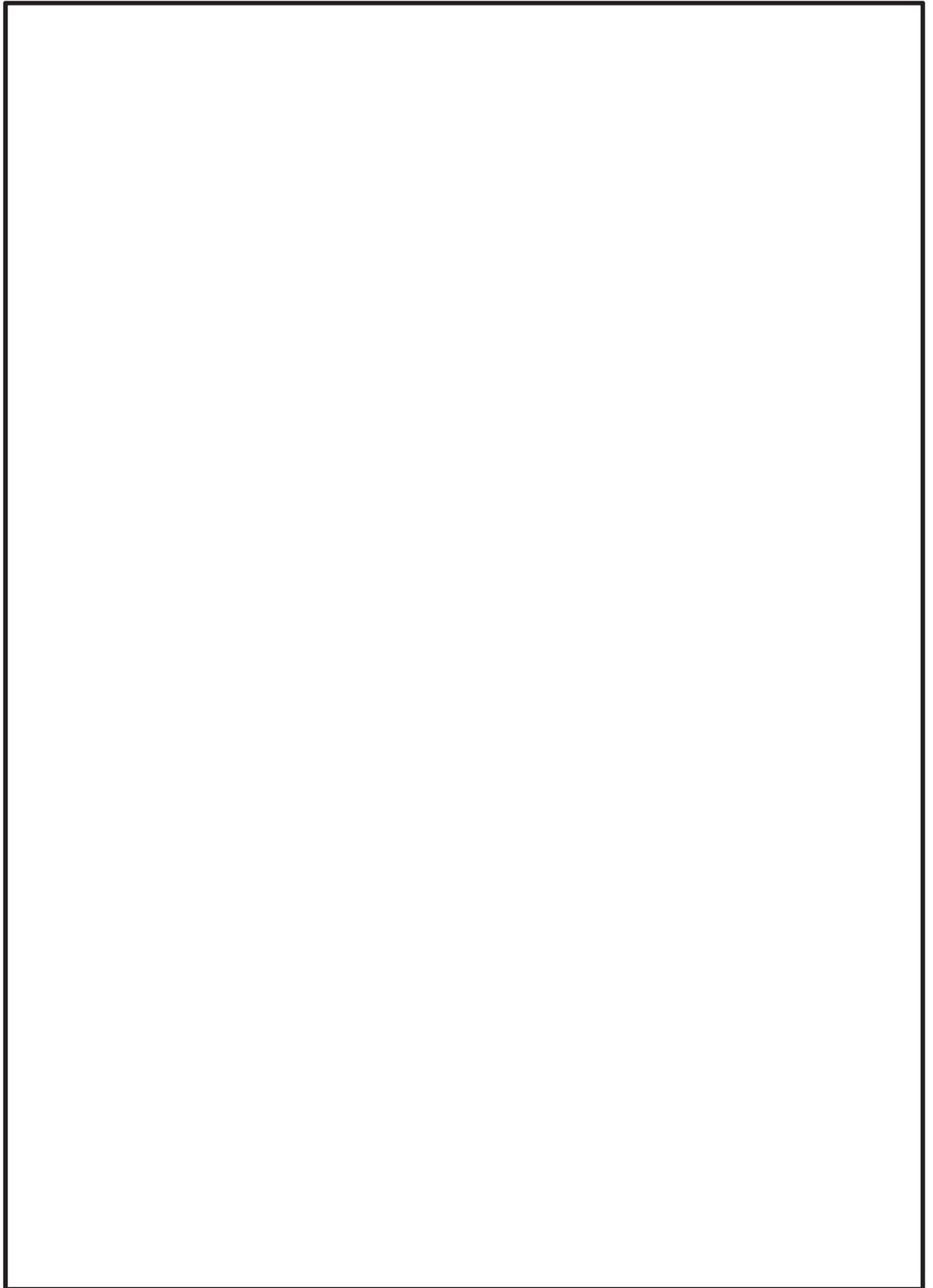


図 4-1 扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

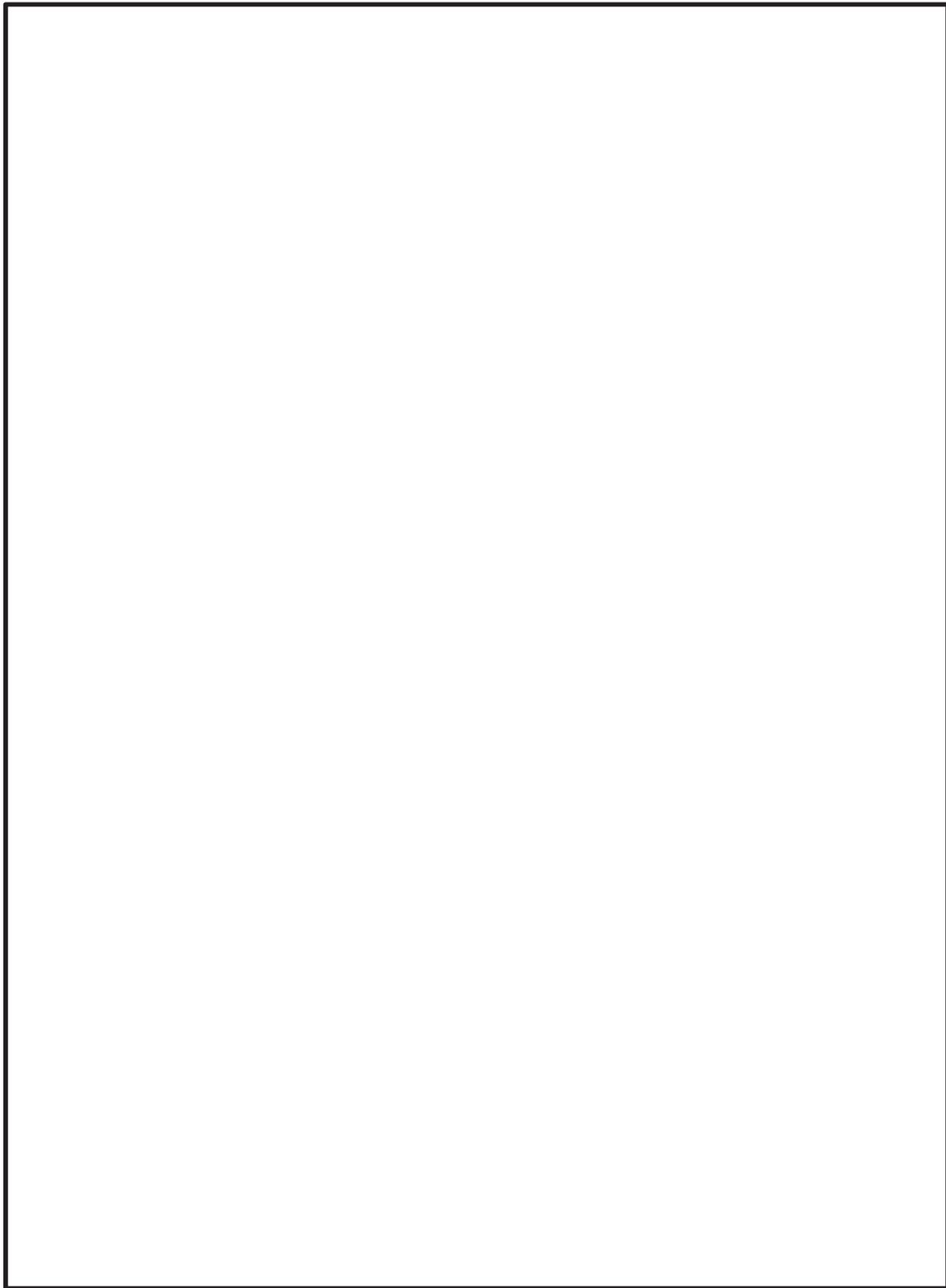


図 4-2 扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処設備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

大物搬入口の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- G : 扉の固定荷重
- P : 通常時の圧力荷重
- $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震力

#### 4.2.2 荷重の設定

##### (1) 固定荷重 (G)

大物搬入口の固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

扉名称	固定荷重(kN)
大物搬入口	588.4

##### (2) 圧力荷重 (P)

大物搬入口に作用する圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は大物搬入口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）は大物搬入口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 <sup>2</sup> )
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.295

##### (3) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> 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添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書」によることとし、大物搬入口の屋根スラブ位置の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> 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

扉 名 称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
大物搬入口	O. P. 15. 0m (O. P. 22. 6m)	2. 72	1. 18

#### 4.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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

大物搬入口を構成するヒンジ部，カンヌキ部の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

	部位	材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	250×560
	ヒンジピン	SCM440	φ 240
	ヒンジボルト	強度区分 10.9 (SCM435)	M42
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304N2	φ 120
	カンヌキ受けピン	S45C	φ 70

#### 4.3.2 許容限界

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「S規準」及びJIS規格に基づき設定する。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部の許容限界

材質	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		
	曲げ	引張	せん断
SS400	205	205	118
SCM440	686	686	396
SUS304N2	345	345	199
S45C	345	345	199
強度区分 10.9 (SCM435)	—	728	420

#### 4.4 計算方法

大物搬入口の耐震評価は、地震により生じる応力度が、「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 荷重計算方法

###### (1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、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。なお、圧力荷重はヒンジ部に作用しない構造である。ヒンジ部に生じる荷重を図4-3に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

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

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

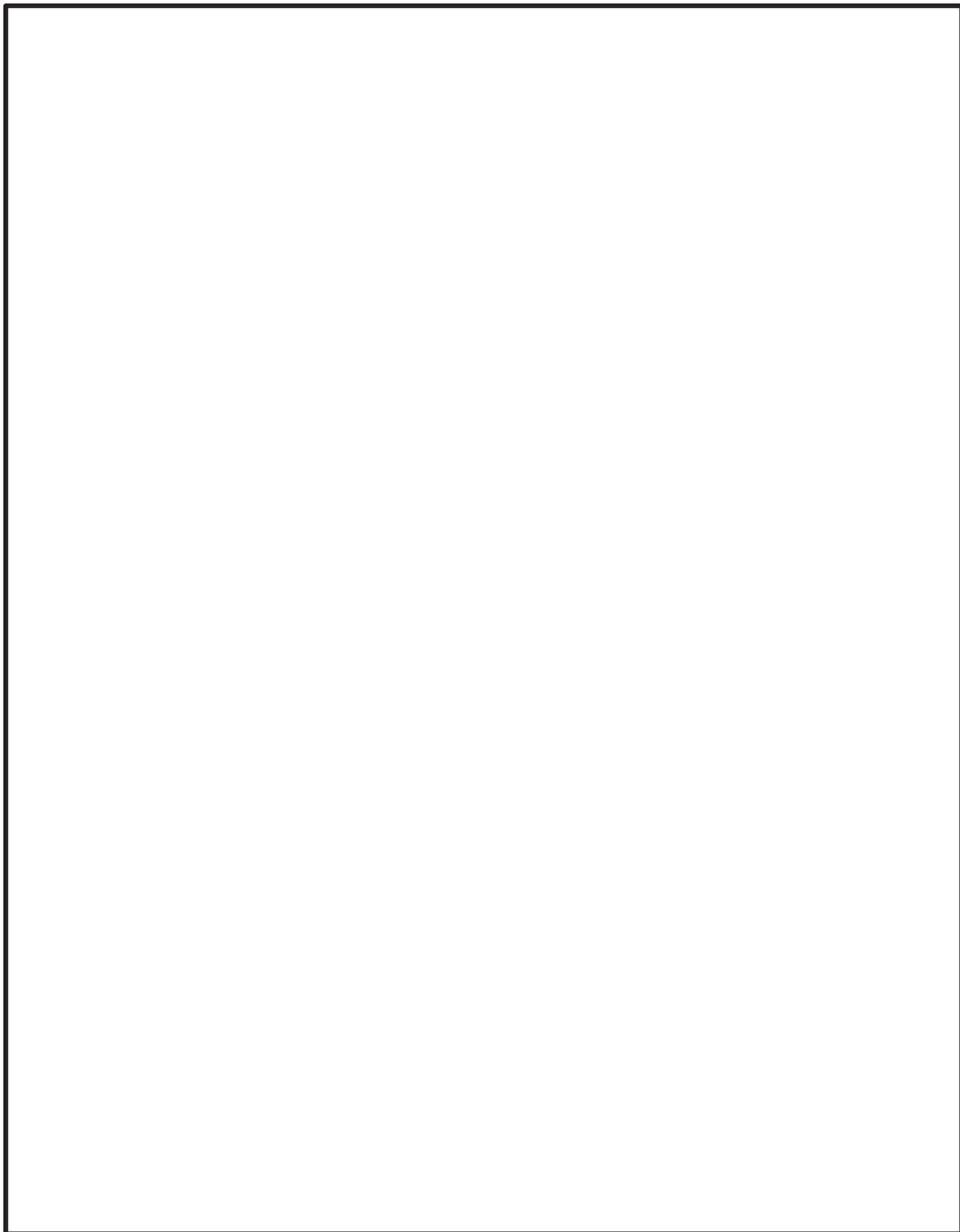


図 4-3 ヒンジ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. ヒンジ板

ヒンジ板は、引張応力度及び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 にヒンジ板に生じる荷重を示す。

(a) 引張力

ヒンジ板に生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_1 = R_r$$

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジ板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。

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

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

(c) せん断力

ヒンジ板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。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

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

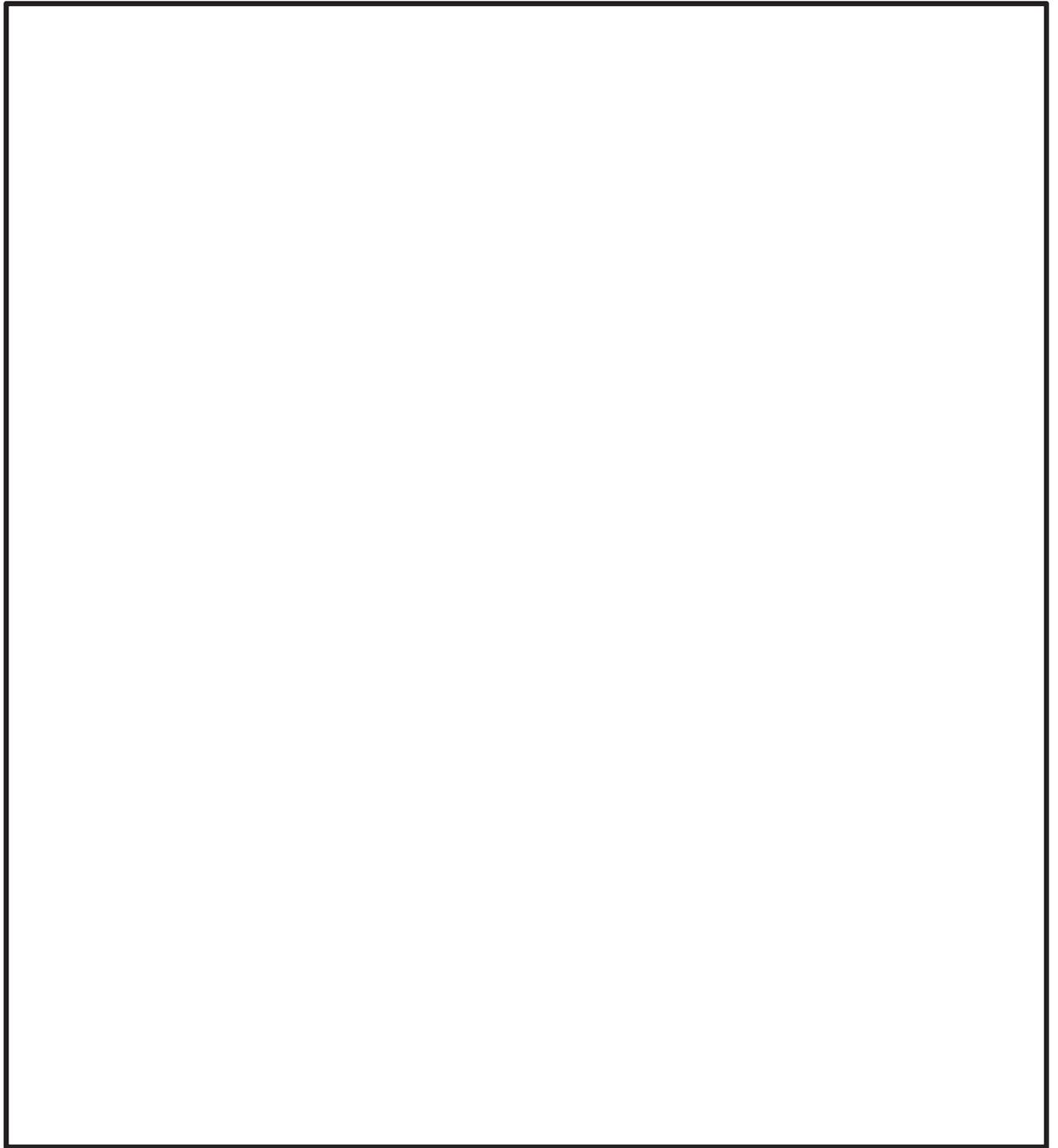


図 4-4 ヒンジ板に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ヒンジピン

ヒンジピンは、圧縮応力度及び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 4-5 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

(a) 圧縮力

ヒンジピンに生じる圧縮力及び圧縮応力度を次式により算定する。

$$N_2 = W_x + F_v$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

(b) 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。

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

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

(c) 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。

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

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

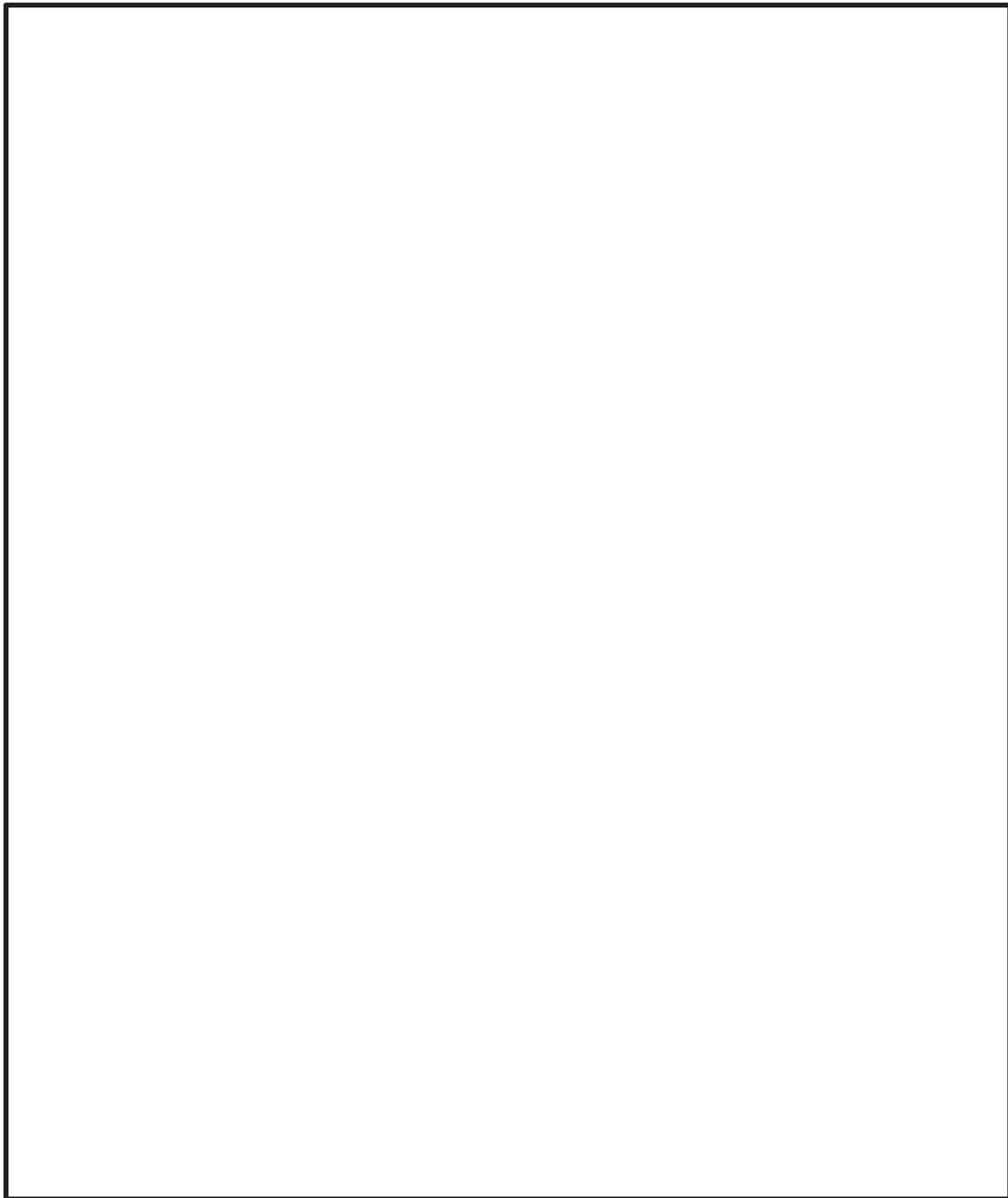


図 4-5 ヒンジピンに生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。なお、扉付ヒンジボルトと枠付ヒンジボルトの呼び径は同じであることから、保守的に枠付ヒンジボルトについて評価する。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 0° 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、0° 開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は 90° と 0° を想定するものとする。また、2 か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 4-6 にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

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

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

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

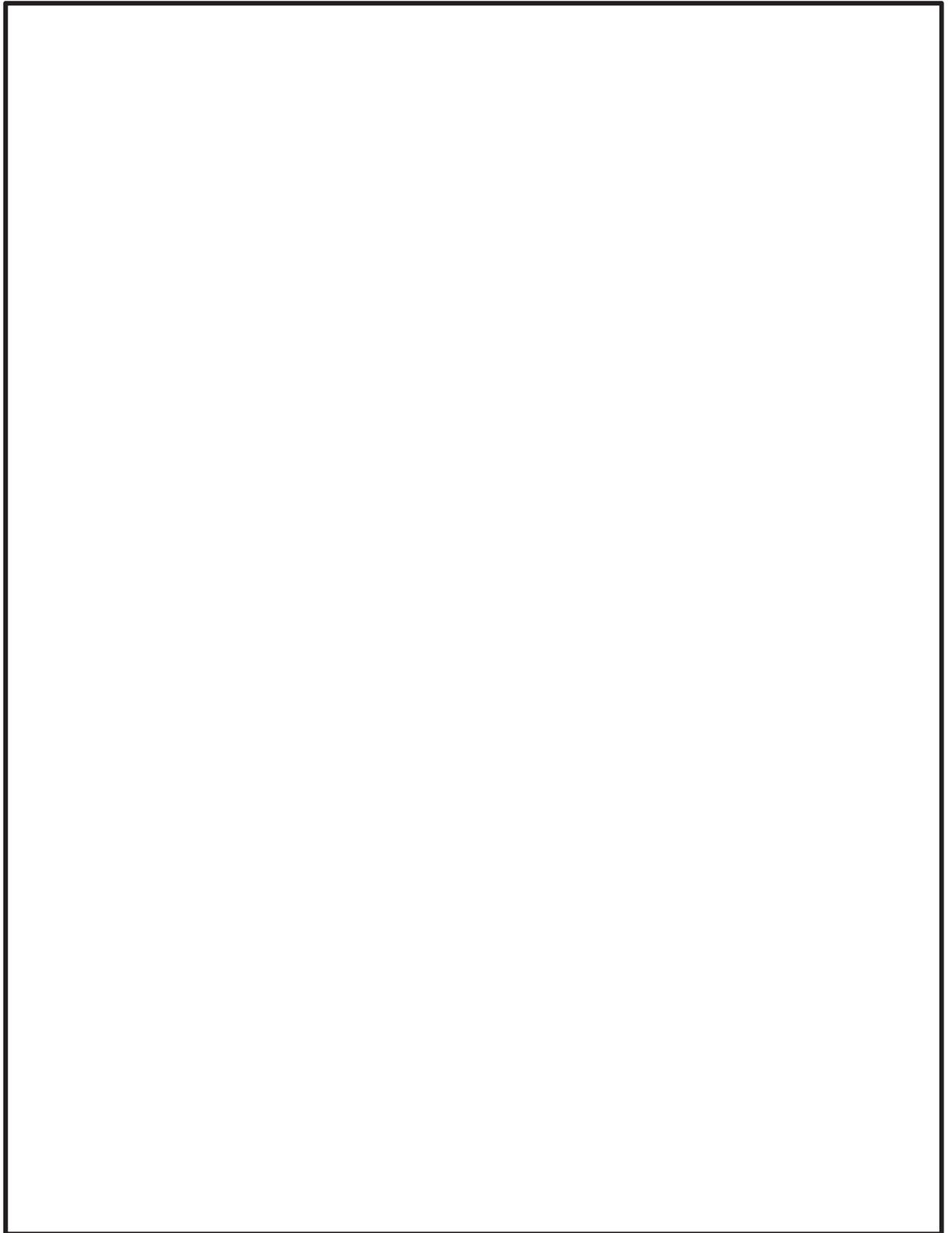


図 4-6 ヒンジボルトに生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピンで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（内圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図 4-7 に、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-8 に示す。なお、圧力荷重（外圧）は扉体から扉枠に直接伝達され、カンヌキ部には作用しない構造である。

$$F_H' = W_x \cdot C_H + P_N \cdot W_1 \cdot H_1$$

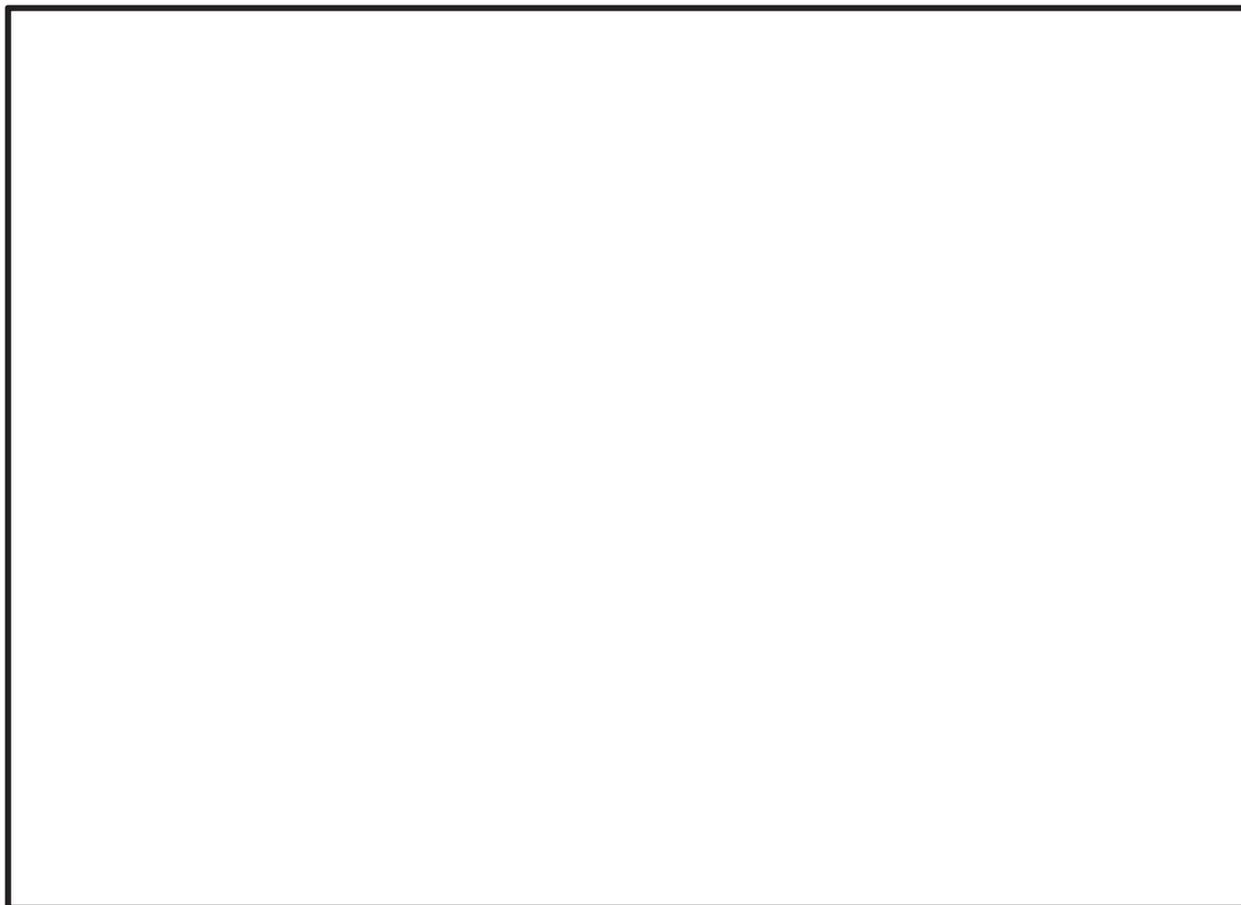


図 4-7 扉体に生じる荷重



図 4-8 カンヌキ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

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。

(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。

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

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

(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。

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

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

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンは、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。なお、端部を単純支持として評価するため、曲げとせん断の組合せについては評価を行わないものとする。

(a) 曲げモーメント

カンヌキ受け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。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{n} \cdot L_5$$

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

(b) せん断力

カンヌキ受け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。

$$Q_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H'}{n}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

#### 4.4.2 応力評価

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。

##### (1) ヒンジ部

###### a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる引張応力度、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、ヒンジ板に生じる引張応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$
$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

###### b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる圧縮応力度、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圧縮応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$
$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

###### 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、ヒンジボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$
$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

(2) カンヌキ部

a. 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。

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

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

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

#### 4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6 耐震評価に用いる計算条件

評価部位	記号	単位	定義	数値	
共通	$C_H$	—	水平震度	2.72	
	$C_V$	—	鉛直震度	1.18	
	$W_X$	kN	扉体自重	588.4	
	$W_1$	mm	扉体幅	6920	
	$H_1$	mm	扉体高	6230	
	$P_1$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000	
	$P_2$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.295	
ヒンジ部	共通	$L_j$	mm	ヒンジ中心間距離	5198
		$L_r$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離(扉体幅方向)	4160
		$L_t$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離(扉体厚さ方向)	780
	ヒンジ板	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積	140000
		$L_1$	mm	作用点間距離	796
		$Z_1$	mm <sup>3</sup>	断面係数	13070000
	ヒンジピン	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	45240
		$A_2'$	mm <sup>2</sup>	受圧面積	33930
		$L_2$	mm	軸支持間距離	129
		$Z_2$	mm <sup>3</sup>	断面係数	1357000
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	mm <sup>2</sup>	断面積	1120
		$n_{b3}$	本	本数	10
	カンヌキ部	カンヌキ	$A_4$	mm <sup>2</sup>	断面積
$L_4$			mm	作用点間距離	195
$n$			本	本数	14
$Z_4$			mm <sup>3</sup>	断面係数	169600
カンヌキ受けピン		$A_5$	mm <sup>2</sup>	断面積	3848
		$L_5$	mm	作用点間距離	162
		$Z_5$	mm <sup>3</sup>	断面係数	33670

5. 評価結果

大物搬入口の評価結果を表 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

評価部位		分類	発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	判定
ヒンジ部	ヒンジ板	引張	8	205	OK
		曲げ	79	205	OK
		せん断	10	118	OK
		組合せ	81	205	OK
	ヒンジピン	圧縮	38	686	OK
		曲げ	175	686	OK
		せん断	41	396	OK
		組合せ	189	686	OK
	ヒンジボルト	引張	200	728	OK
		せん断	200	420	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	132	345	OK
		せん断	11	199	OK
		組合せ	134	345	OK
	カンヌキ受けピン	曲げ	138	345	OK
		せん断	15	199	OK

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.....	3
2.3 評価方針.....	4
2.4 適用規格・基準等.....	5
2.5 記号の説明.....	6
3. 固有周期.....	8
3.1 固有周期の計算方法.....	8
3.1.1 水平方向.....	8
3.1.2 鉛直方向.....	9
3.2 固有周期の計算条件.....	10
3.3 固有周期の計算結果.....	11
4. 構造強度評価.....	12
4.1 評価部位.....	12
4.2 荷重及び荷重の組合せ.....	14
4.2.1 耐震評価上考慮する荷重.....	14
4.2.2 荷重の設定.....	15
4.3 許容限界.....	17
4.3.1 使用材料.....	17
4.3.2 許容限界.....	18
4.4 計算方法.....	19
4.5 計算条件.....	28
5. 評価結果.....	29

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）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。

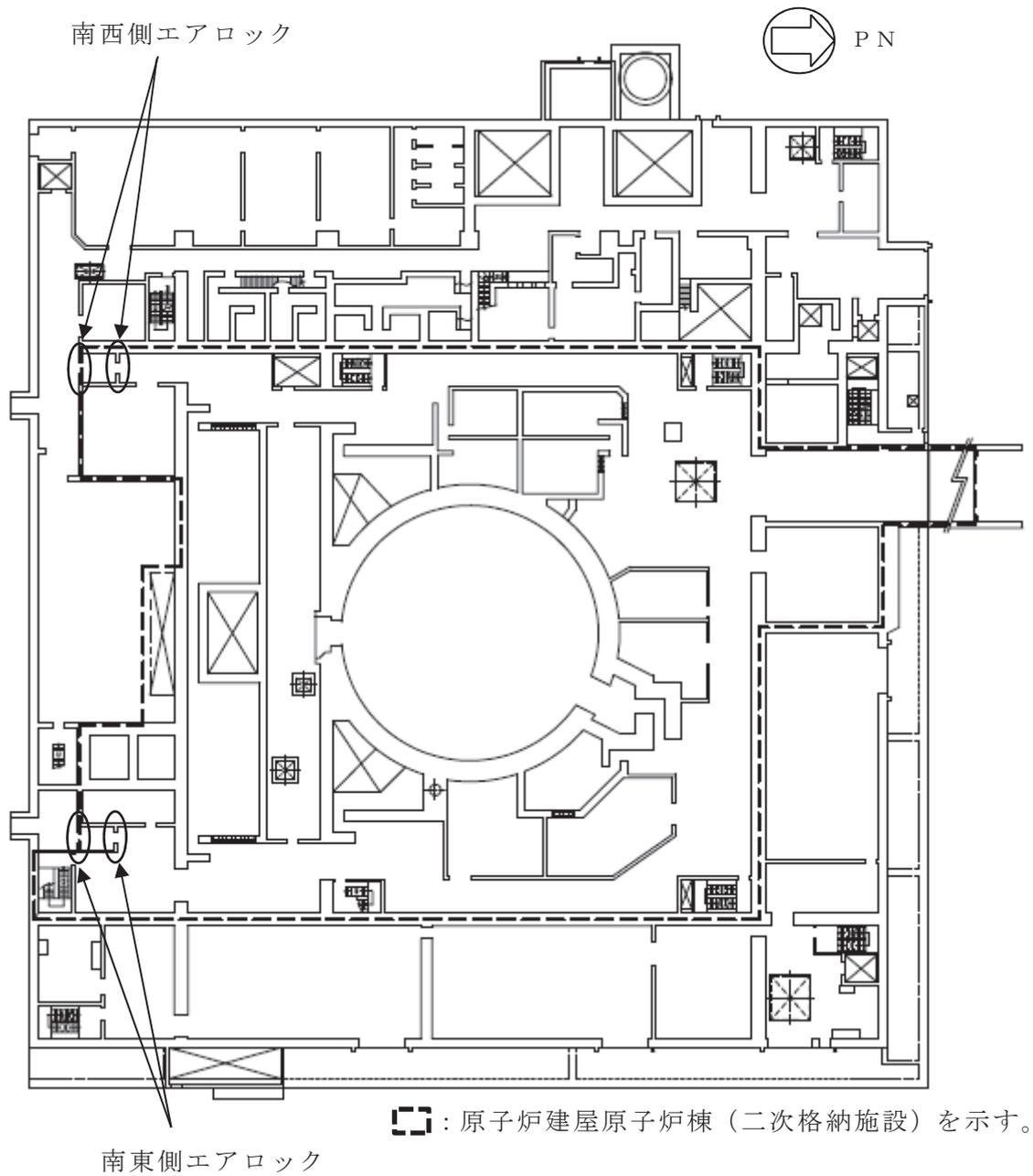


図 2-1 設置位置図 (O.P. \*15.0m)

注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

## 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、概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要	
基礎・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。

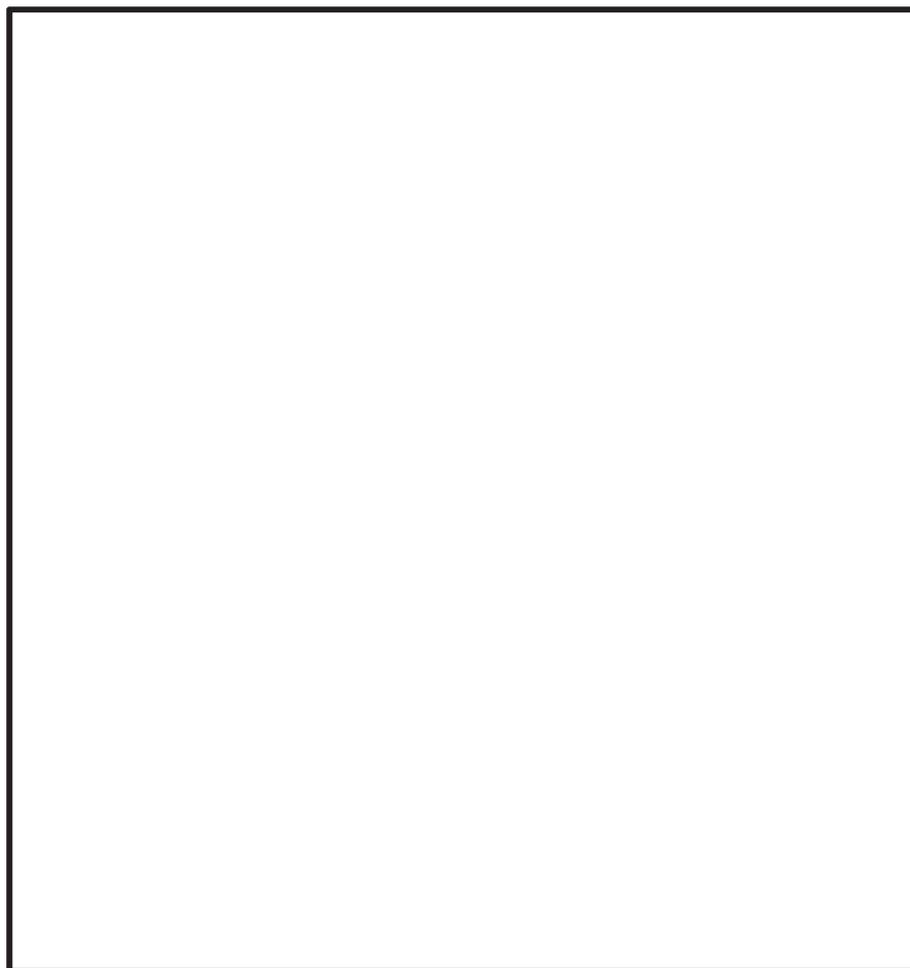


図 2-2 概略構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、添付書類「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、添付書類「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。

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が 4 箇所あるが、いずれも同一構造の扉であることから、開き戸形式のエアロック扉 1 箇所について評価を実施する。

原子炉建屋エアロックの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

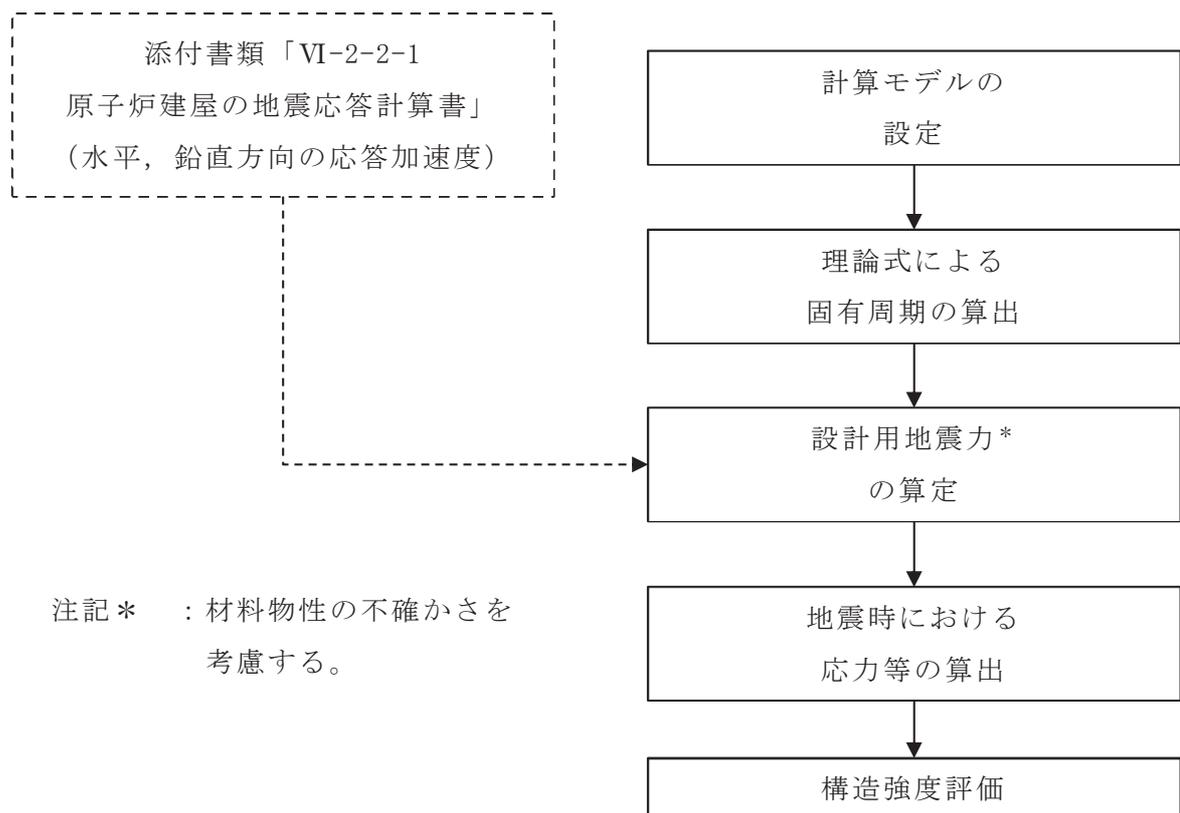


図 2-3 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）  
建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ J I S G 3 1 0 1 -2015 一般構造用圧延鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 1 -2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 3 -2016 機械構造用合金鋼鋼材
- ・ J I S G 4 3 0 4 -2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯

## 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 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m <sup>2</sup>	
	F <sub>H</sub>	水平地震力	N	
	F <sub>V</sub>	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	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	
	ℓ	はり長さ	m	
	m	質量分布	kg/m	
	C <sub>H</sub>	水平震度	—	
	C <sub>V</sub>	鉛直震度	—	
	W <sub>X</sub>	扉体自重	kN	
	W <sub>1</sub>	扉体幅	mm	
	H <sub>1</sub>	扉体高	mm	
	P <sub>E1</sub>	圧力荷重 (内圧)	kN/m <sup>2</sup>	
P <sub>E2</sub>	圧力荷重 (外圧)	kN/m <sup>2</sup>		
ヒンジ部	共通	L <sub>j</sub>	ヒンジ中心間距離	mm
		L <sub>r</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L <sub>t</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R <sub>r</sub>	扉体幅方向自重反力	N
		R <sub>t</sub>	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ アーム	A <sub>1</sub>	ヒンジアームの断面積	mm <sup>2</sup>
		L <sub>1</sub>	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M <sub>1</sub>	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q <sub>1</sub>	ヒンジアームのせん断力	N
		Z <sub>1</sub>	ヒンジアームの断面係数	mm <sup>3</sup>
		σ <sub>b1</sub>	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>x1</sub>	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
	τ <sub>1</sub>	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>	
	ヒンジ ピン	A <sub>2</sub>	ヒンジピンの断面積	mm <sup>2</sup>
L <sub>2</sub>		ヒンジピンの軸支持間距離	mm	

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (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	$mm^3$
		$\sigma_{b2}$	ヒンジピンの曲げ応力度	$N/mm^2$
		$\sigma_{x2}$	ヒンジピンの組合せ応力度	$N/mm^2$
		$\tau_2$	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
		$\sigma_{t3}$	ヒンジボルトの引張応力度	$N/mm^2$
		$\tau_3$	ヒンジボルトのせん断応力度	$N/mm^2$
カンヌキ部	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	$mm^3$
		$\sigma_{b4}$	カンヌキの曲げ応力度	$N/mm^2$
		$\sigma_{x4}$	カンヌキの組合せ応力度	$N/mm^2$
		$\tau_4$	カンヌキのせん断応力度	$N/mm^2$
	カンヌキ受けピン	$A_5$	カンヌキ受けピンの断面積	$mm^2$
		$L_5$	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
		$M_5$	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		$Q_5$	カンヌキ受けピンのせん断力	N
		$Z_5$	カンヌキ受けピンの断面係数	$mm^3$
		$\sigma_{b5}$	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	$N/mm^2$
		$\tau_5$	カンヌキ受けピンのせん断応力度	$N/mm^2$
	カンヌキ受けボルト	$A_{b6}$	カンヌキ受けボルトの断面積	$mm^2$
		$n_{b6}$	カンヌキ受けボルトの本数	本
		$T_6$	カンヌキ受けボルトの引張力	N
$\sigma_{t6}$		カンヌキ受けボルトの引張応力度	$N/mm^2$	

### 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、扉体面外方向について算出する。

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

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

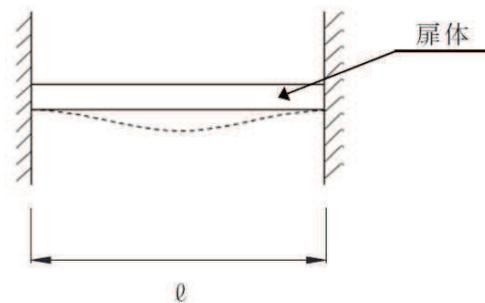


図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

###### (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。

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

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

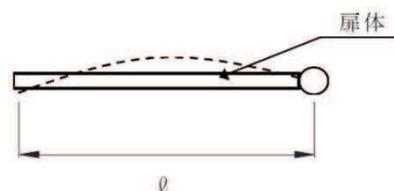


図 3-2 固有値計算モデル（扉開放時）

### 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

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	$l$	m	
ヤング率	E	N/m <sup>2</sup>	
断面二次モーメント	I	mm <sup>4</sup>	
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

エアロック名称	扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
南東側エアロック	閉止時	[Redacted]	[Redacted]
南西側エアロック	開放時		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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。

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



図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処設備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<sup>2</sup>)

$S_s$  : 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)
南東側エアロック 南西側エアロック	□

##### (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 <sup>2</sup> )
内圧 (P <sub>E1</sub> )	0.000
外圧 (P <sub>E2</sub> )	0.295

##### (3) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> 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であるとして添付書類「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<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震力 (kN)  
 G : 固定荷重 (kN)  
 K : 設計震度

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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
南東側エアロック	0. P. 15. 0m	1. 77	1. 30
南西側エアロック	(0. P. 22. 5m)		

### 4.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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及びカンヌキ部の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム	[Redacted]	
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		
	カンヌキ受けピン		
	カンヌキ受けボルト		

#### 4.3.2 許容限界

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」（以下「S規準」という。）及び J I S規格に基づき設定する。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部の許容限界

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

#### 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。ヒンジ部は水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）を負担し、カンヌキ部は水平地震力及び圧力荷重（外圧）を負担する。

##### (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。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

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

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

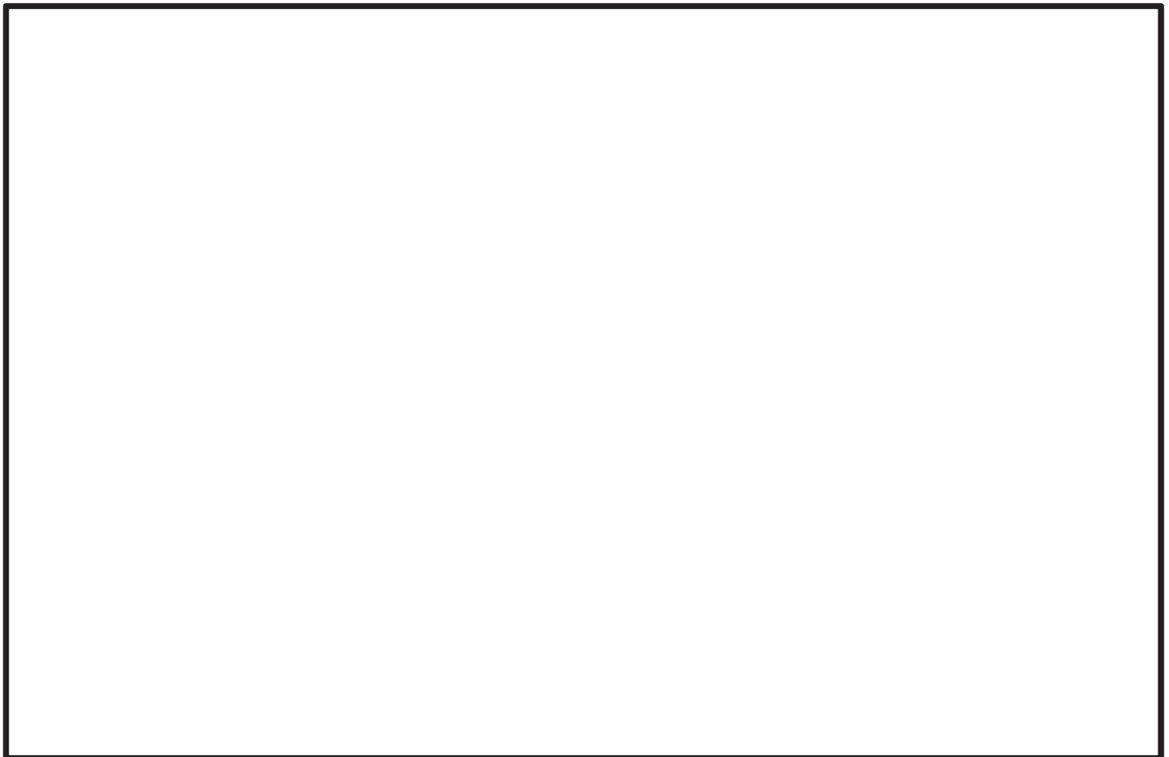


図 4-2 ヒンジ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## (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。

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

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

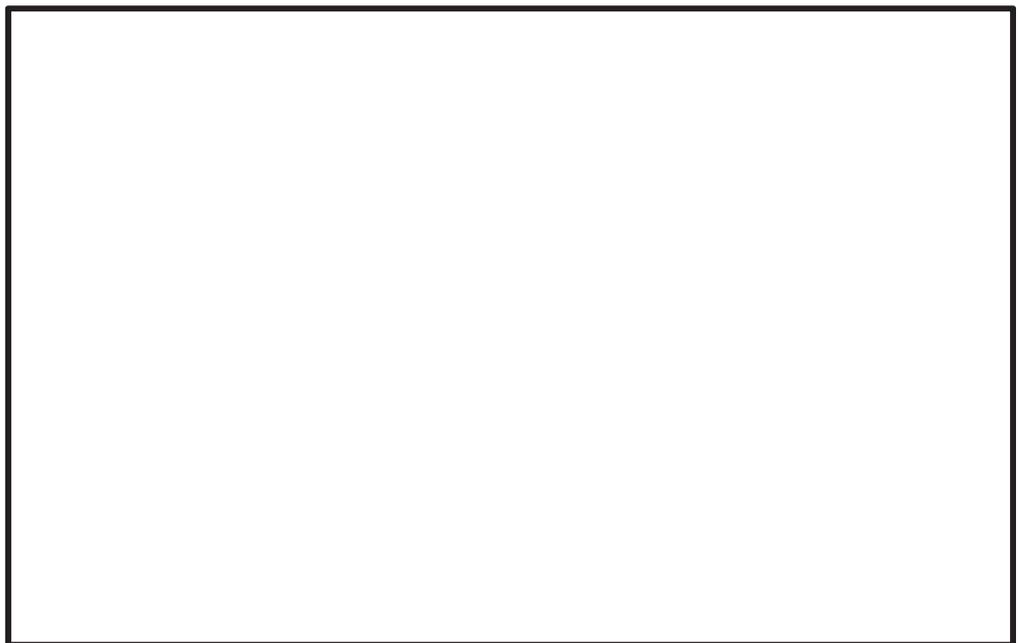


図 4-4 ヒンジピンに生じる荷重

(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 か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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

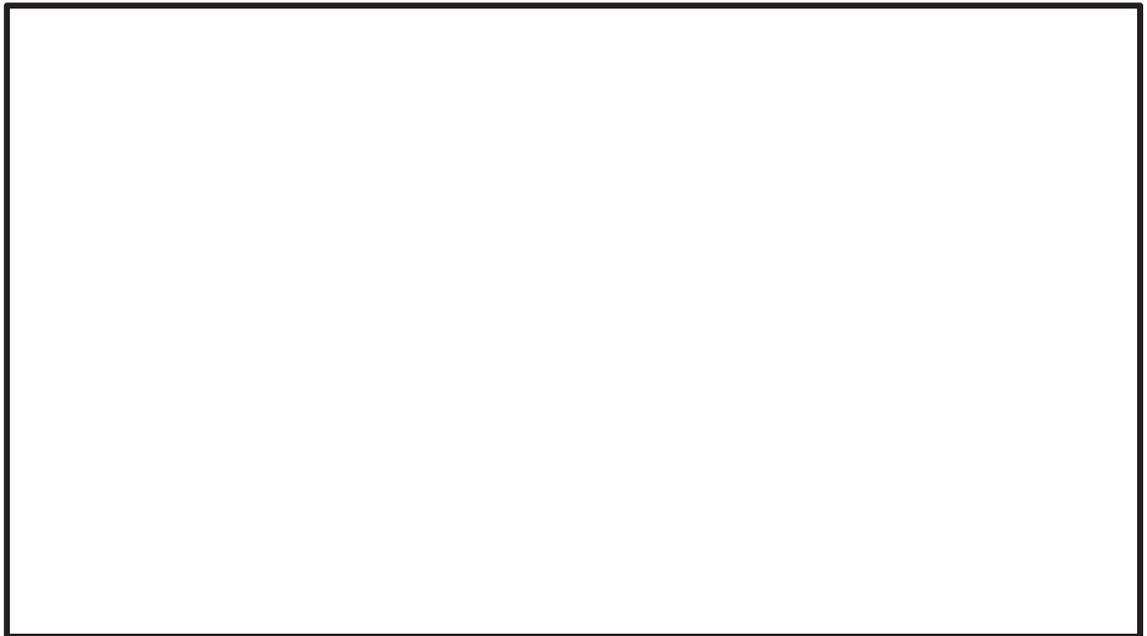
b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受け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圧力荷重（外圧）から、各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、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-7 に示す。

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



図 4-6 扉体に生じる荷重



(a) 平面図

(b) A-A 断面図

図 4-7 カンヌキ部に生じる荷重

(a) カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。

イ. 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。

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

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

ロ. 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。

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

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

## (b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンは，曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。なお，端部を単純支持として評価するため，曲げとせん断の組合せについては評価を行わないものとする。

## イ. 曲げモーメント

カンヌキ受け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。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_5$$

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

## ロ. せん断力

カンヌキ受け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。

$$Q_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

## (c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトは，引張応力度について評価する。カンヌキ受けボルトに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_6 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

## (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. カンヌキ部

(a) 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。

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，カンヌキ受けピンの許容限界以下であることを確認する。

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

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張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。

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

#### 4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 耐震評価に用いる計算条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		$C_H$	—	水平震度	1.77
		$C_V$	—	鉛直震度	1.30
		$W_X$	kN	扉体自重	
		$W_1$	mm	扉体幅	
		$H_1$	mm	扉体高	
		$P_{E1}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000
		$P_{E2}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.295
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 <sup>2</sup>	断面積	
		$L_1$	mm	作用点間距離	
		$Z_1$	mm <sup>3</sup>	断面係数	
	ヒンジピン	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_2$	mm	軸支持間距離	
		$Z_2$	mm <sup>3</sup>	断面係数	
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$n_{b3}$	本	本数	
	カンヌキ部	カンヌキ	$A_4$	mm <sup>2</sup>	
$L_4$			mm	作用点間距離	
$n$			本	本数	
$Z_4$			mm <sup>3</sup>	断面係数	
カンヌキ受け ピン		$A_5$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_5$	mm	作用点間距離	
		$Z_5$	mm <sup>3</sup>	断面係数	
カンヌキ受け ボルト		$A_{b6}$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$n_{b6}$	本	本数	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 評価結果

原子炉建屋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

評価部位		分類	発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	曲げ	28	215	OK
		せん断	3	124	OK
		組合せ	28	215	OK
	ヒンジ ピン	曲げ	182	345	OK
		せん断	17	199	OK
		組合せ	184	345	OK
	ヒンジ ボルト	引張	39	651	OK
		せん断	39	375	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	7	205	OK
		せん断	2	118	OK
		組合せ	7	205	OK
	カンヌキ受け ピン	曲げ	42	205	OK
		せん断	4	118	OK
	カンヌキ受け ボルト	引張	19	651	OK

VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版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.....	9
3. 地震応答解析による評価方法.....	10
4. 応力解析による評価方法.....	11
4.1 評価方針.....	11
4.2 荷重及び荷重の組合せ.....	13
4.2.1 荷重.....	13
4.2.2 荷重の組合せ.....	18
4.3 許容限界.....	19
4.4 解析モデル及び諸元.....	22
4.4.1 モデル化の基本方針.....	22
4.4.2 解析諸元.....	22
4.4.3 材料構成則.....	25
4.5 評価方法.....	27
4.5.1 応力解析方法.....	27
4.5.2 断面の評価方法.....	30
5. 評価結果.....	32
5.1 地震応答解析による評価結果.....	32
5.2 応力解析による評価結果.....	34
6. 引用文献.....	39

別紙 1 剛性低下を考慮した影響検討

## 1. 概要

原子炉建屋基礎版は、二次格納施設にあたる原子炉建屋原子炉棟の基礎（以下「原子炉棟基礎」という。）及び原子炉建屋付属棟の基礎（以下「付属棟基礎」という。）で構成される。

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋基礎版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。

原子炉建屋基礎版は、設計基準対象施設においては「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

原子炉建屋基礎版を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

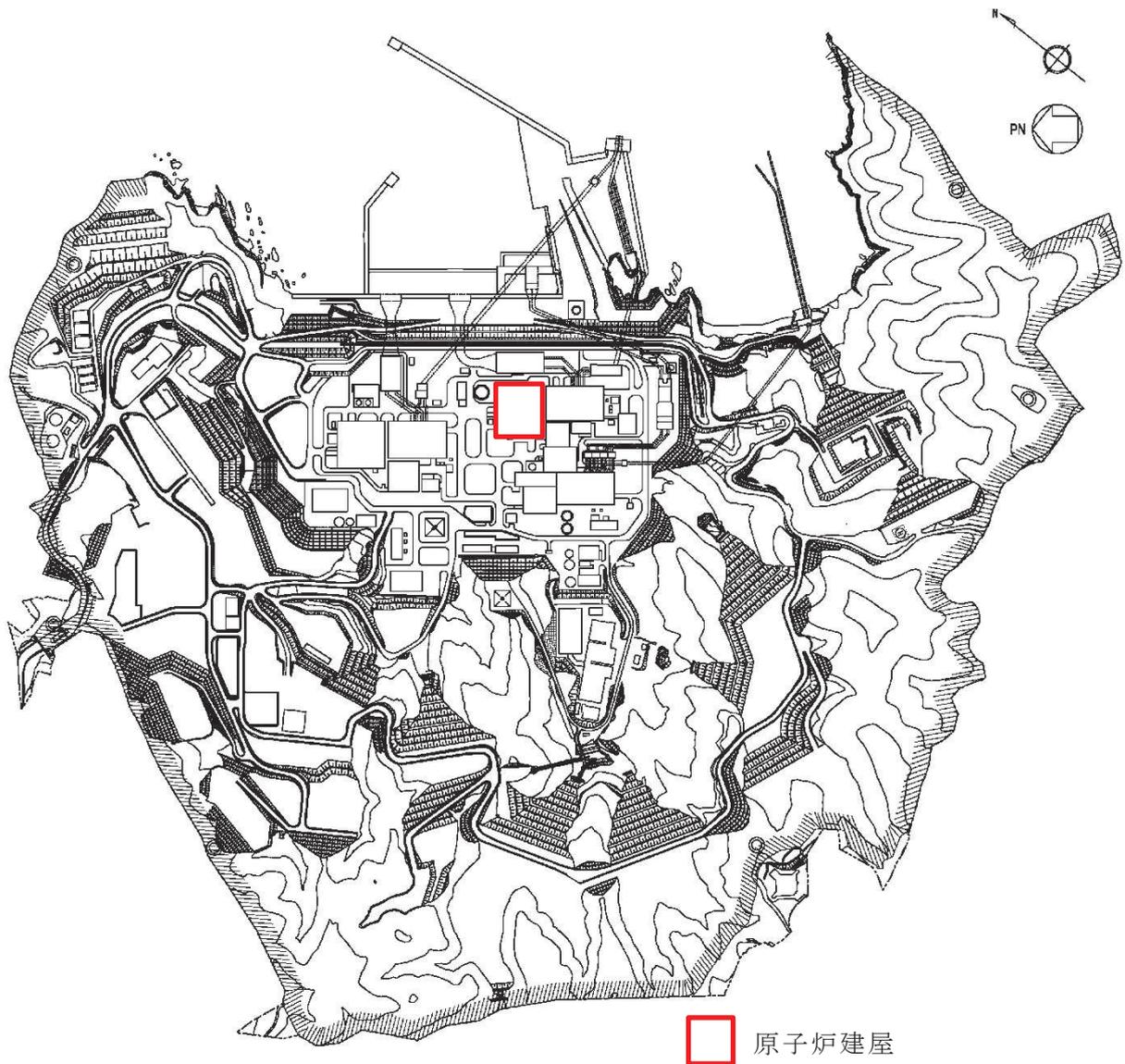


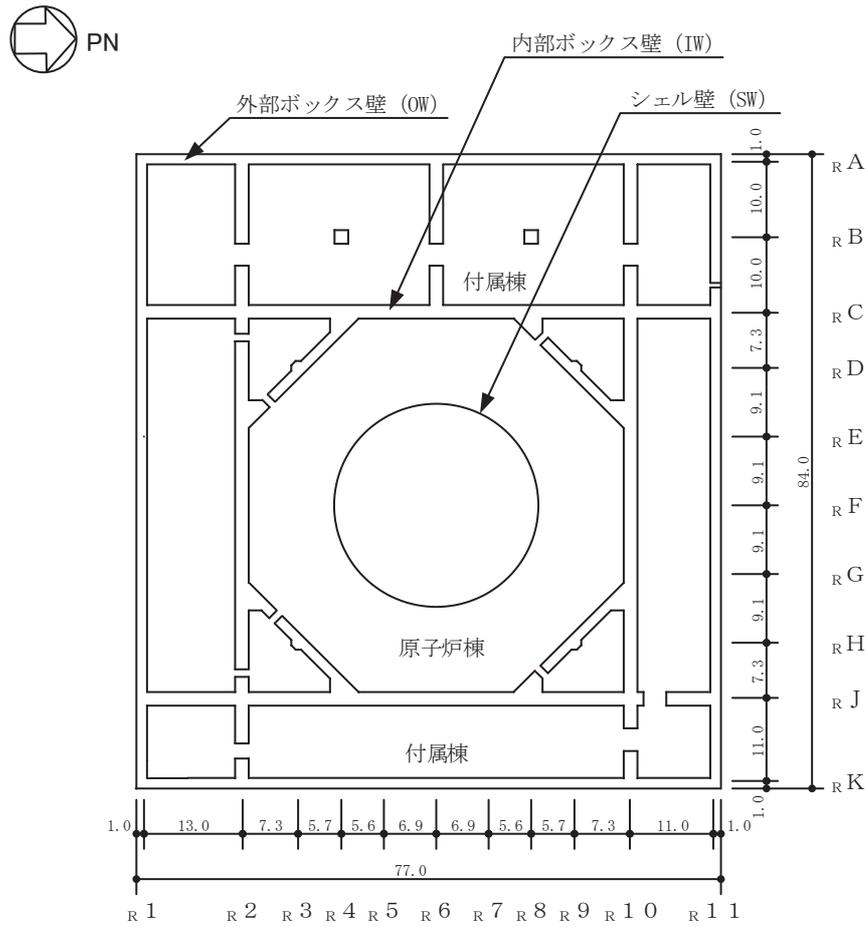
図 2-1 原子炉建屋基礎版を含む原子炉建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

原子炉建屋基礎版は、その上部構造である原子炉本体の基礎（以下「RPV 基礎」という。）、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、その周囲の壁（以下「シェル壁：SW」という。）、原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁：IW」という。）及び付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁：OW」という。）を支持する鉄筋コンクリート造の基礎版である。

原子炉建屋基礎版の平面規模は、南北方向 77.0m、東西方向 84.0m、厚さは 6.0m で、支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されている。

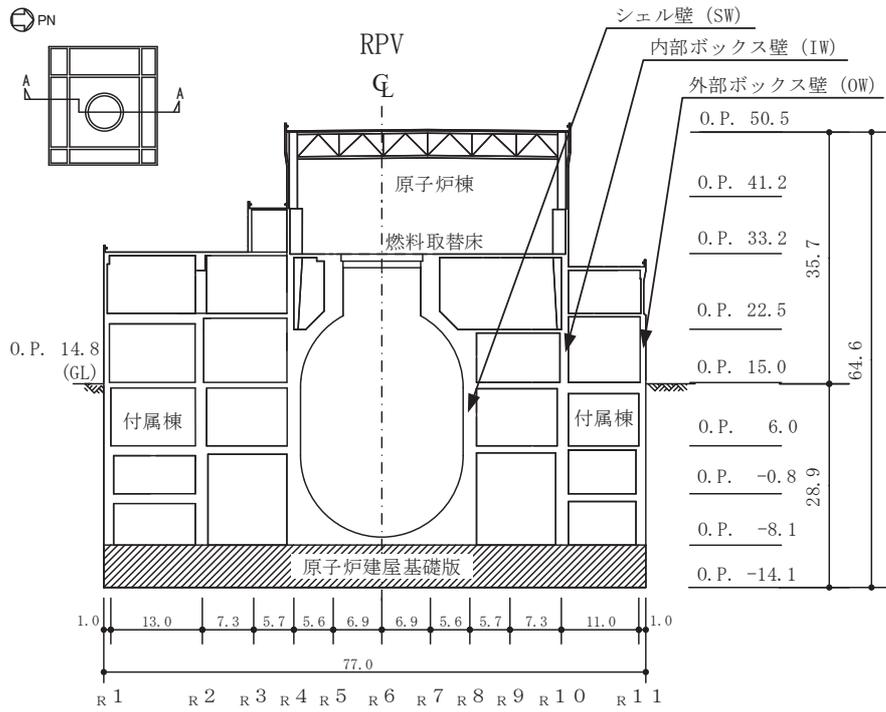
原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。



(単位：m)

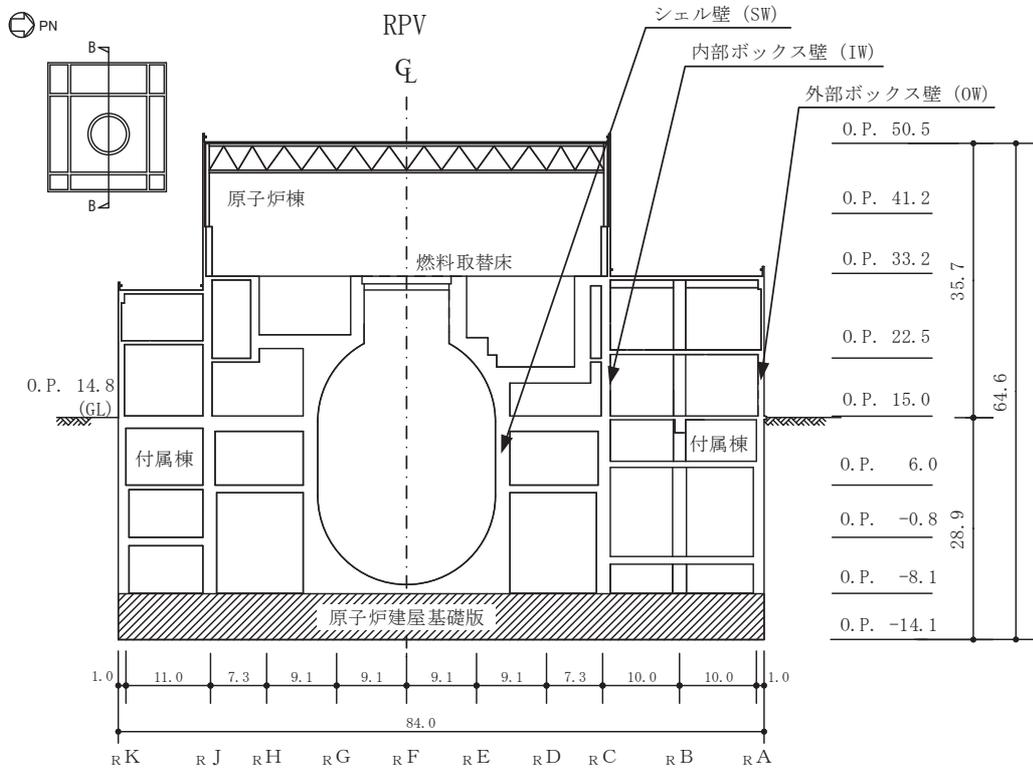
図 2-2 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (O.P.\*-8.1 m)

注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。



(単位 : m)

図 2-3(1) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

### 2.3 評価方針

原子炉建屋基礎版は、設計基準対象施設においては「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の間接支持構造物」に分類される。

原子炉建屋基礎版の設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、評価は添付書類「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。

原子炉建屋基礎版の評価は、添付書類「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、原子炉建屋基礎版の地震時の構造強度及び支持機能の確認を行う。評価にあたっては、添付書類「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。

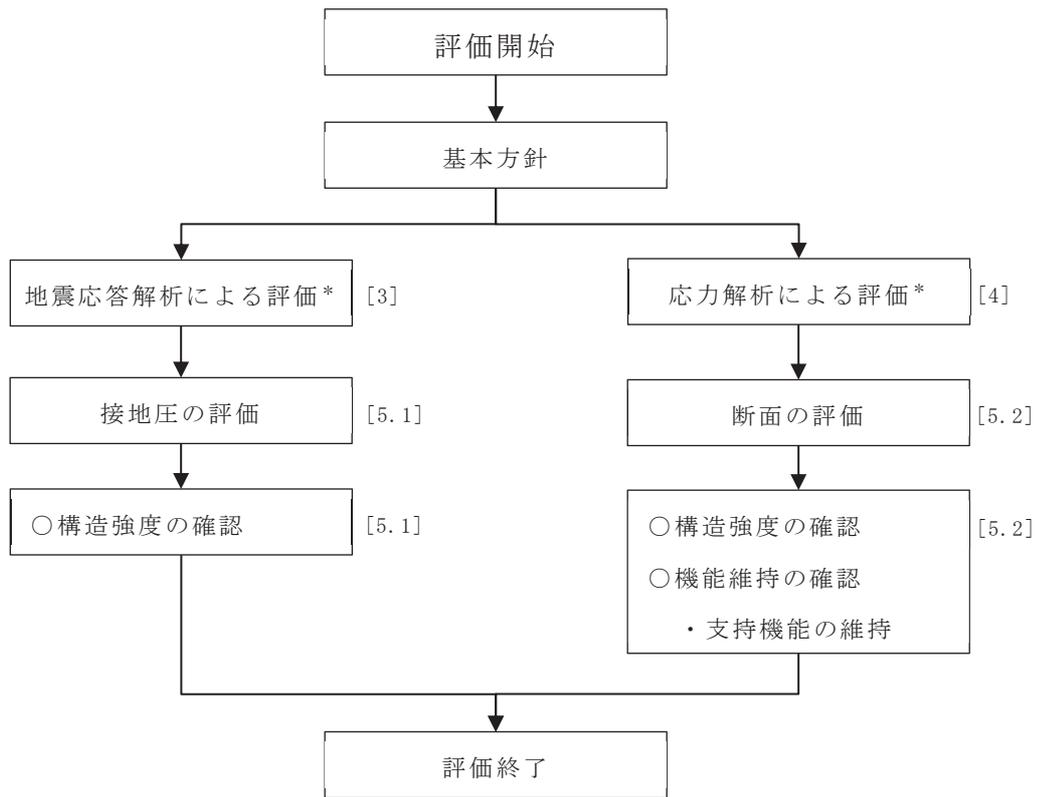
また、重大事故等対処施設としての評価においては、 $S_s$ 地震時に対する評価を行うこととする。ここで、原子炉建屋基礎版では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設と同一となる。

原子炉建屋基礎版の評価フローを図 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

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S <sub>s</sub> (水平)	ケース 1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用い、JEAG 式で評価	5%	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース 3				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
	ケース 4	基本ケースの 0.78 倍*	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 5				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース 6				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
基準地震動 S <sub>s</sub> (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 +σ
	ケース 3					標準地盤 -σ

注記\*：建屋剛性（初期剛性）の不確かさについて、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S<sub>s</sub> について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。具体的には、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力前後の 1 次固有振動数の比 ( $f_{S_s \text{ 入力後}}/f_{S_s \text{ 入力前}}$ ) から算定した剛性比を基本ケースの初期剛性に掛けることによって算定する。



注：[ ]内は、本資料における章番号を示す。

注記\*：添付書類「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 原子炉建屋基礎版の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

原子炉建屋基礎版の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）  
建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ JSME S NE 1-2003 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（以下「CCV規格」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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-（以下「RC規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

### 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、原子炉建屋基礎版の構造強度については、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、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原子炉建屋基礎版の許容限界は、添付書類「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 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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	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* 13700kN/m <sup>2</sup>

注記\*：添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	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* 13700kN/m <sup>2</sup>

注記\*：添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。

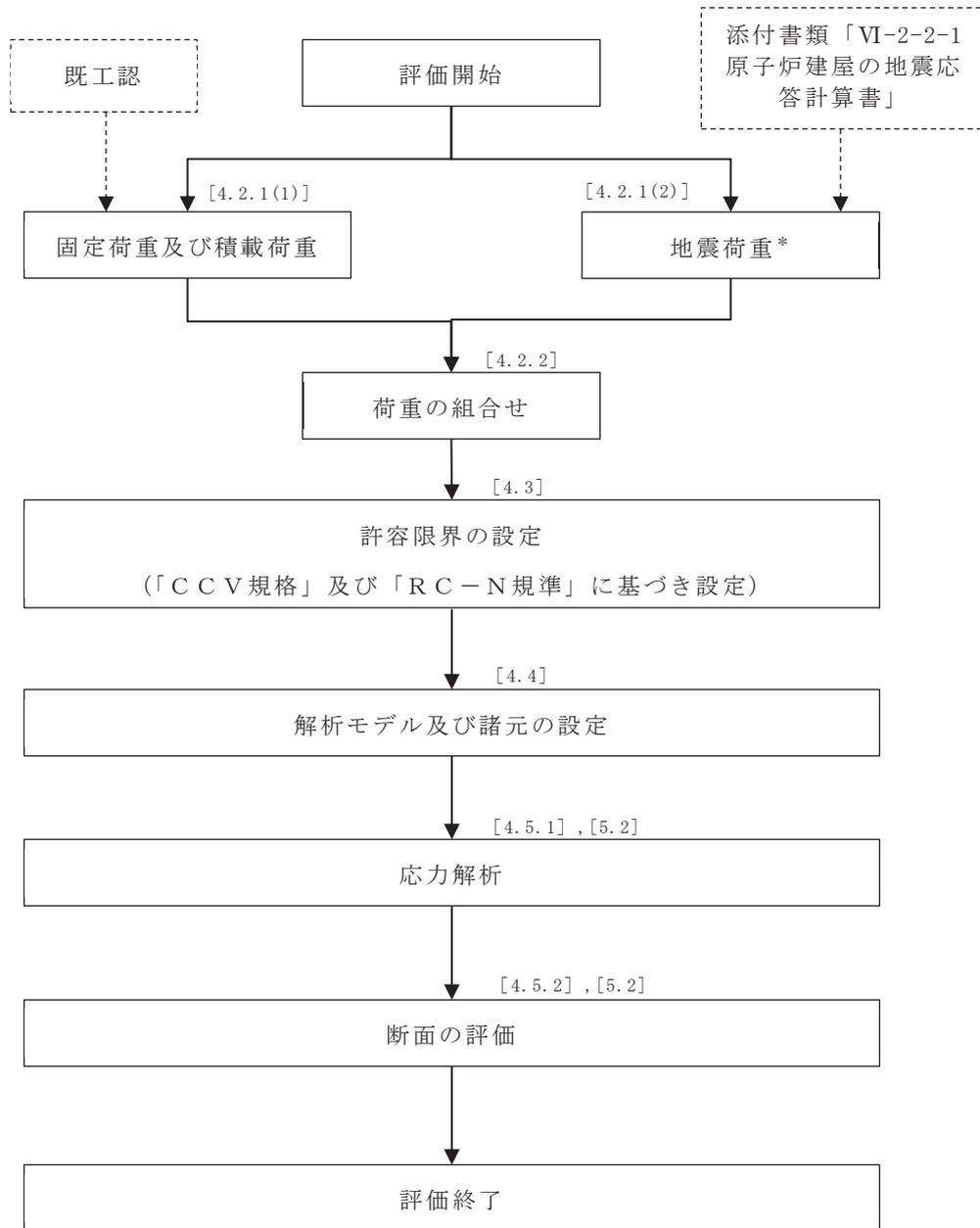
#### 4. 応力解析による評価方法

##### 4.1 評価方針

原子炉建屋基礎版の応力解析による評価は、3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析により評価を行う。3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析に当たっては、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び平成元年6月8日付け元資庁第2015号にて認可された工事計画の添付書類「IV-1-4 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。

S s 地震時に対する評価は、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、「CCV規格」又は「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。

なお、断面の評価については、材料物性の不確かさを考慮した断面力に対して行うこととする。



注：[ ]内は、本資料における章番号を示す。

注記\*：材料物性の不確かさについては、添付書類「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，添付書類「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) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は，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・・・ $24\text{kN/m}^3$
- ・ボックス壁，シェル壁，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
- ・基礎版上の機器，配管等の重量
- ・逃がし安全弁作動時荷重  
逃がし安全弁作動時において，サプレッションチェンバを支持するトールサポートから基礎版に伝わる1脚当たりの荷重で，次の値とする。  
・・・ $1295\text{kN}$ （最大上向き）， $1647\text{kN}$ （最大下向き）
- ・浮力・・・ $29.4\text{kN/m}^2$

(2) 地震荷重

a. 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、添付書類「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て設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 地震荷重 (せん断力)

(a) NS 方向

部 位	せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN}$ )
	S s
OW (RA 通り)	365
OW (RK 通り)	354
IW (RC 通り)	587
IW (RJ 通り)	526
SW	315

(b) EW 方向

部 位	せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN}$ )
	S s
OW (R1 通り)	382
OW (R11 通り)	387
IW (R2 通り)	565
IW (R10 通り)	557
SW	312

表 4-2 地震荷重（曲げモーメント）

(a) NS 方向

部 位	曲げモーメント（ $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ ）
	S s
OW（ <sub>R</sub> A 通り）	1008.3
OW（ <sub>R</sub> K 通り）	924.8
IW（ <sub>R</sub> C 通り）	1938.4
IW（ <sub>R</sub> J 通り）	1733.6
SW	757.2

(b) EW 方向

部 位	曲げモーメント（ $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ ）
	S s
OW（ <sub>R</sub> 1 通り）	1066.6
OW（ <sub>R</sub> 11 通り）	972.9
IW（ <sub>R</sub> 2 通り）	2011.9
IW（ <sub>R</sub> 10 通り）	2090.2
SW	681.7

表 4-3 地震荷重（軸力係数）

部 位	軸力係数
	S s
上部構造物	1.064
基礎版	0.380

b. 地震時土圧荷重

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」に基づき有限要素モデルより算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。地震時土圧荷重を表 4-4 に、地震時土圧による荷重分布を図 4-2 に示す。なお、南側はタービン建屋及び制御建屋が隣接しているため、地震時土圧荷重を考慮しない。

表 4-4 地震時土圧荷重

O. P. (m)	地震時土圧荷重 (kN/m <sup>2</sup> )		
	東側	西側	北側
14.8	125	117	133
10.5	165	157	173
10.5	290	174	229
2.6	363	247	303
2.6	479	254	277
-4.45	544	320	343
-4.45	830	488	517
-8.1	864	522	551

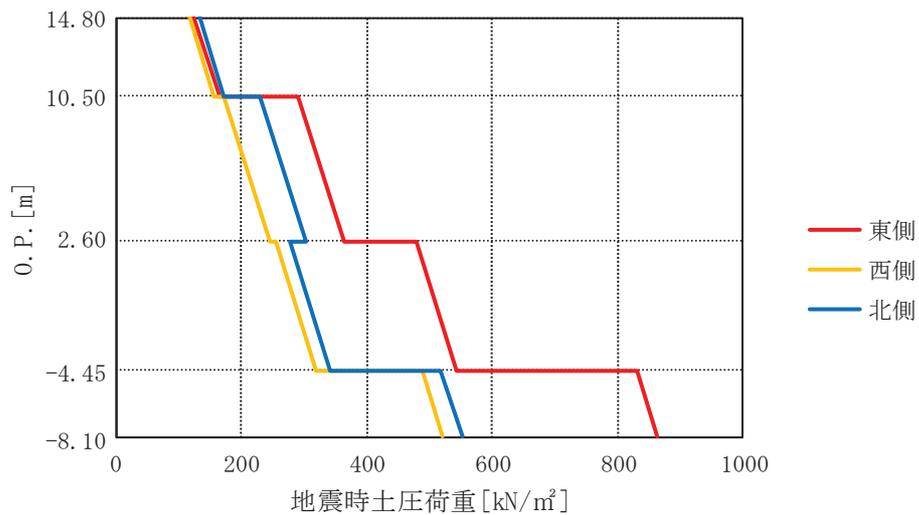


図 4-2 地震時土圧による荷重分布

#### 4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (常時土圧を含む)

S<sub>s</sub> : 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む)

### 4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉建屋基礎版の許容限界は、添付書類「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 4-6 及び表 4-7 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 4-8 及び表 4-9 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-10 に示す。

表 4-6 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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	原子炉建屋 基礎版	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"> <li>ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート 3.0×10<sup>-3</sup>（圧縮） 鉄筋 5.0×10<sup>-3</sup></li> <li>面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>
支持機能* <sup>4</sup>	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 <sub>s</sub>	原子炉建屋 基礎版	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"> <li>ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート 3.0×10<sup>-3</sup>（圧縮） 鉄筋 5.0×10<sup>-3</sup></li> <li>面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>

注記\*1：「CCV規格」に基づく。

\*2：「RC-N規準」に基づく。

\*3：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

\*4：「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 4-7 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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S s	原子炉建屋 基礎版	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"> <li>• ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math>（圧縮） 鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math></li> <li>• 面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>
支持機能* <sup>4</sup>	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	原子炉建屋 基礎版	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"> <li>• ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math>（圧縮） 鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math></li> <li>• 面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>

注記\*1：「CCV規格」に基づく。

\*2：「RC-N規準」に基づく。

\*3：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

\*4：「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 4-8 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	短期	
	圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断 ( $N/mm^2$ )
32.4	21.6	1.21

表 4-9 鉄筋の許容応力度

種別	引張及び圧縮 ( $N/mm^2$ )	面外せん断補強 ( $N/mm^2$ )
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 4-10 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

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等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

基礎版については、O.P. -14.1m～O.P. -8.1m をモデル化する。上部構造については、O.P. -8.1m～O.P. 33.2m をモデル化し、剛性を考慮する。応力解析における評価対象部位は、基礎版であるが、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。解析モデルを図 4-3 に示す。

###### (2) 使用要素

解析モデルに使用する FEM 要素は、基礎版については積層シェル要素とする。上部構造として、基礎版より立ち上がっている耐震壁については、O.P. -8.1m～O.P. 15.0m を積層シェル要素、O.P. 15.0m～O.P. 33.2m をはり要素として剛性を考慮する。また、O.P. -0.8m 及び O.P. 6.0m の床スラブについては、積層シェル要素として剛性を考慮する。積層シェル要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

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 6642、要素数は 7080 である。

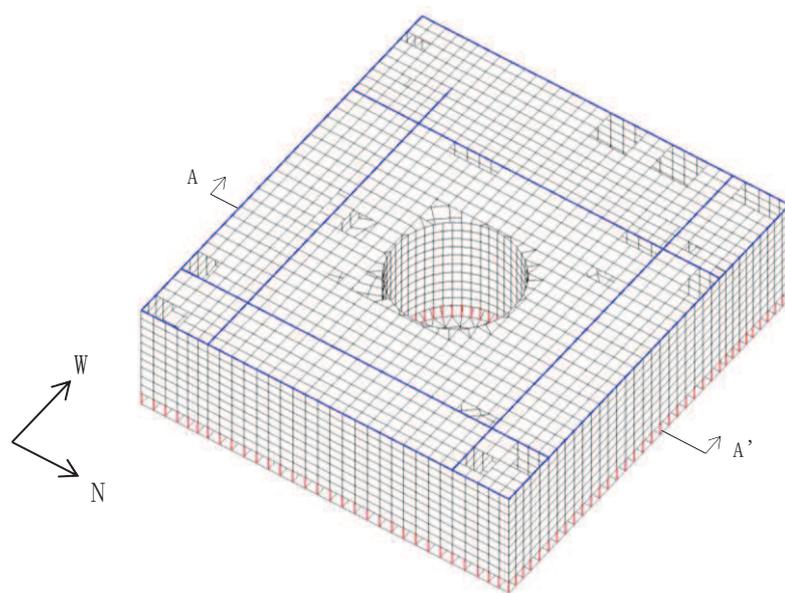
###### (3) 境界条件

3次元 FEM モデルの基礎版底面に、添付書類「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を基に設定を行う。

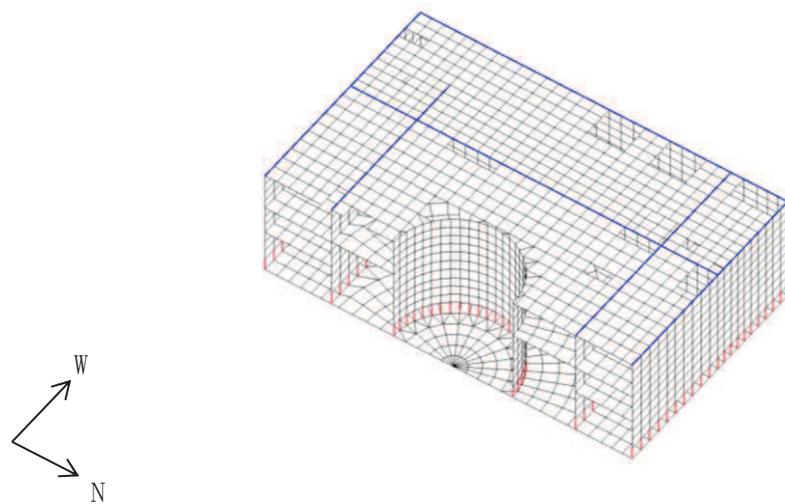
なお、基礎版底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

##### 4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

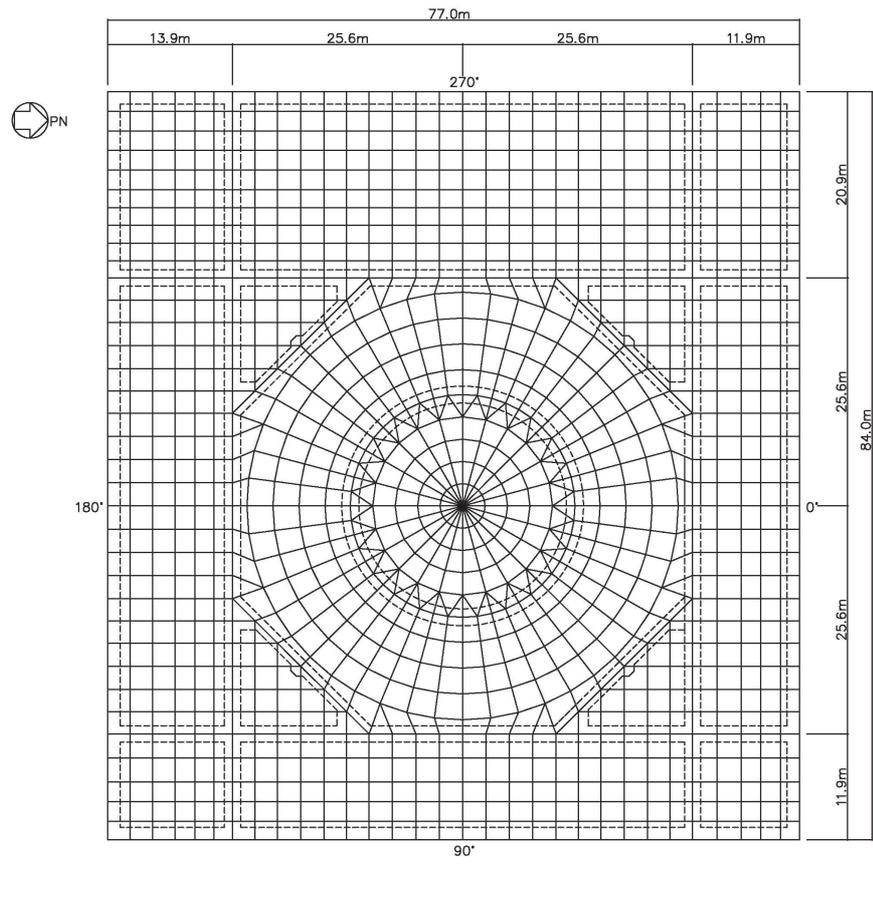


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 4-3(1) 解析モデル (1/2)



(c) 基礎版要素分割図

図 4-3(2) 解析モデル (2/2)

表 4-11 コンクリートの物性値

部 位	設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	ポアソン比 $\nu$
基礎版・床スラブ	32.4	$2.51 \times 10^4$	0.2
耐震壁 (NS 方向)		$1.88 \times 10^4$	
耐震壁 (EW 方向)		$2.01 \times 10^4$	
耐震壁 (シェル壁)		$1.945 \times 10^4$	

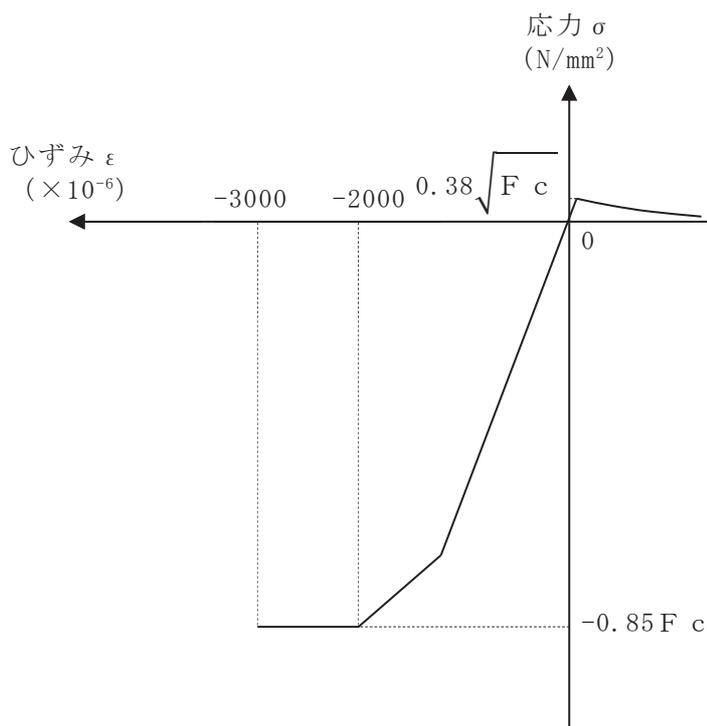
表 4-12 鉄筋の物性値

部 位	鉄筋の種類	降伏強度 $\sigma_y$ ( $N/mm^2$ )	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )
基礎版・耐震壁・床スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	$2.05 \times 10^5$

#### 4.4.3 材料構成則

材料構成則を図 4-4 に示す。

コンクリートのヤング係数については、設計基準強度に基づき算定した値とする。また、耐震壁部分の初期剛性低下については、地震応答解析モデルと同様に地震観測記録の分析等を踏まえて、その影響を考慮する。なお、基礎版及び床スラブについては、地震観測記録の分析等を踏まえて、剛性低下を考慮しない。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

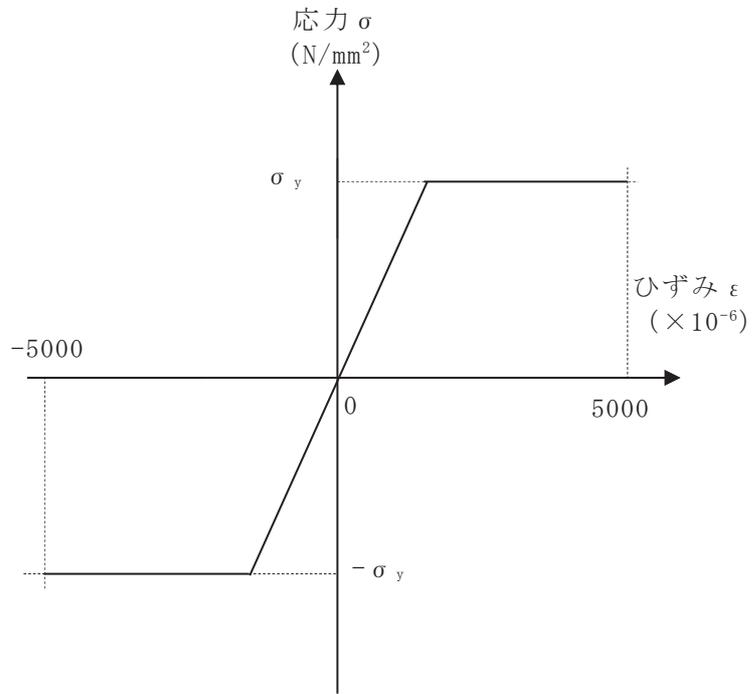
項目	設定
圧縮強度	$-0.85 \cdot F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	$-3000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか(1987)による式 ( $c = 0.4$ ) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \cdot \sqrt{F_c}$ (「RC規準」)

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(1) 材料構成則 (1/2)

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



$\sigma_y$ ：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(2) 材料構成則 (2/2)

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 応力解析方法

原子炉建屋基礎版について、 $S_s$ 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

$S_s$ 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
$S_{S_{SN}}$	: S→N方向 $S_s$ 地震荷重 (地震時土圧を含む)
$S_{S_{NS}}$	: N→S方向 $S_s$ 地震荷重 (地震時土圧を含む)
$S_{S_{EW}}$	: E→W方向 $S_s$ 地震荷重 (地震時土圧を含む)
$S_{S_{WE}}$	: W→E方向 $S_s$ 地震荷重 (地震時土圧を含む)
$S_{S_{UD}}$	: 鉛直方向 (下向き) $S_s$ 地震荷重
$S_{S_{DU}}$	: 鉛直方向 (上向き) $S_s$ 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-13 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 - 2015）」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 4-13 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	1	$G + P + 1.0 S_{s_{SN}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2	$G + P + 1.0 S_{s_{SN}} + 0.4 S_{s_{DU}}$
	3	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	4	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{DU}}$
	5	$G + P + 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	6	$G + P + 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{DU}}$
	7	$G + P + 1.0 S_{s_{WE}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	8	$G + P + 1.0 S_{s_{WE}} + 0.4 S_{s_{DU}}$
	9	$G + P + 0.4 S_{s_{SN}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	10	$G + P + 0.4 S_{s_{SN}} + 1.0 S_{s_{DU}}$
	11	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	12	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{DU}}$
	13	$G + P + 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	14	$G + P + 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{DU}}$
	15	$G + P + 0.4 S_{s_{WE}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	16	$G + P + 0.4 S_{s_{WE}} + 1.0 S_{s_{DU}}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎版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版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。

基礎版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荷重として入力する。

基礎版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版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。

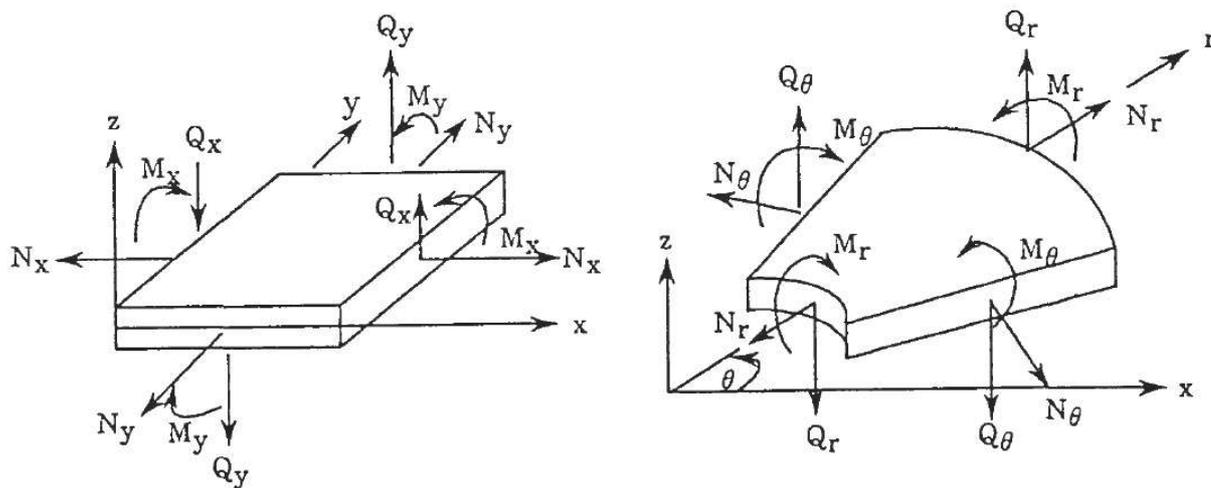
b. 地震荷重以外の荷重

地震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

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。断面力成分を図4-5に示す。

なお、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。



$M_x, M_y$ : 曲げモーメント	kN・m/m	$M_r, M_\theta$ : 曲げモーメント	kN・m/m
$Q_x, Q_y$ : せん断力	kN/m	$Q_r, Q_\theta$ : せん断力	kN/m
$N_x, N_y$ : 軸力	kN/m	$N_r, N_\theta$ : 軸力	kN/m

応力の符号 (矢印の方向を正とする。)

図4-5 断面力成分

## (1) 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」に基づき、表4-10に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

## (2) 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。

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

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)

$\alpha$  : 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 $2\text{N/mm}^2$ を超える場合は1とする。)

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

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表4-8に示す値 ( $\text{N/mm}^2$ )

$w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表4-9に示す値 ( $\text{N/mm}^2$ )

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$x$  : 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。

## 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。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が  $3500\text{kN/m}^2$  (S<sub>s</sub>-D1, NS 方向) 以下であることから、地盤の極限支持力度 ( $13700\text{kN/m}^2$ ) を超えないことを確認した。

S<sub>s</sub>地震時の最大接地圧を表 5-1 に示す。

表 5-1 S s 地震時の最大接地圧

	NS 方向	EW 方向
検討ケース	S s - D 1 , ケース 5	S s - D 1 , ケース 2
鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN )	29.1	29.1
転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN · m )	75.1	78.6
最大接地圧 ( kN/m <sup>2</sup> )	3500	2770

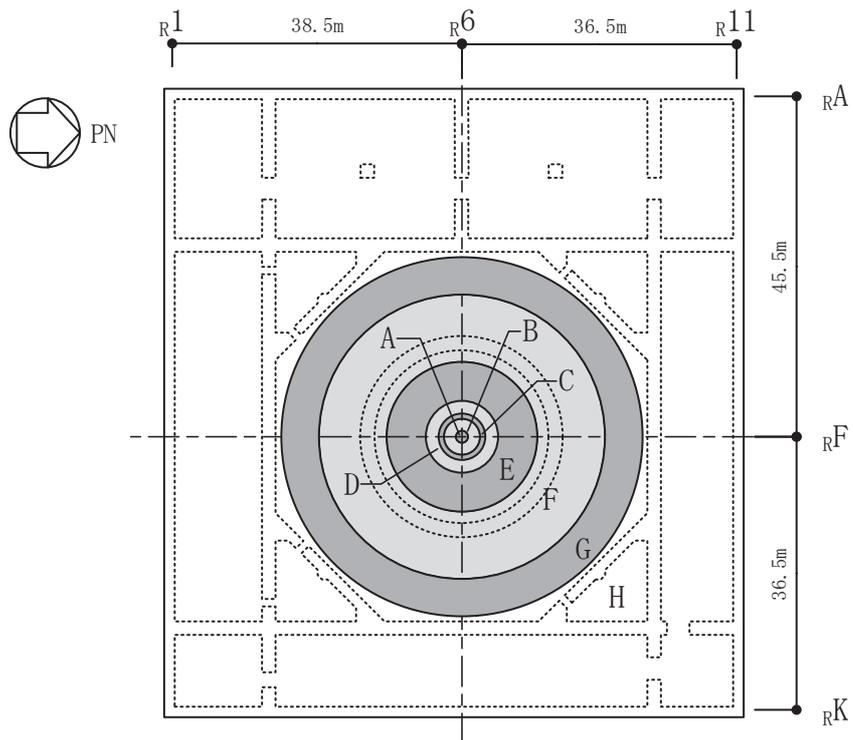
## 5.2 応力解析による評価結果

「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5-2に示す。

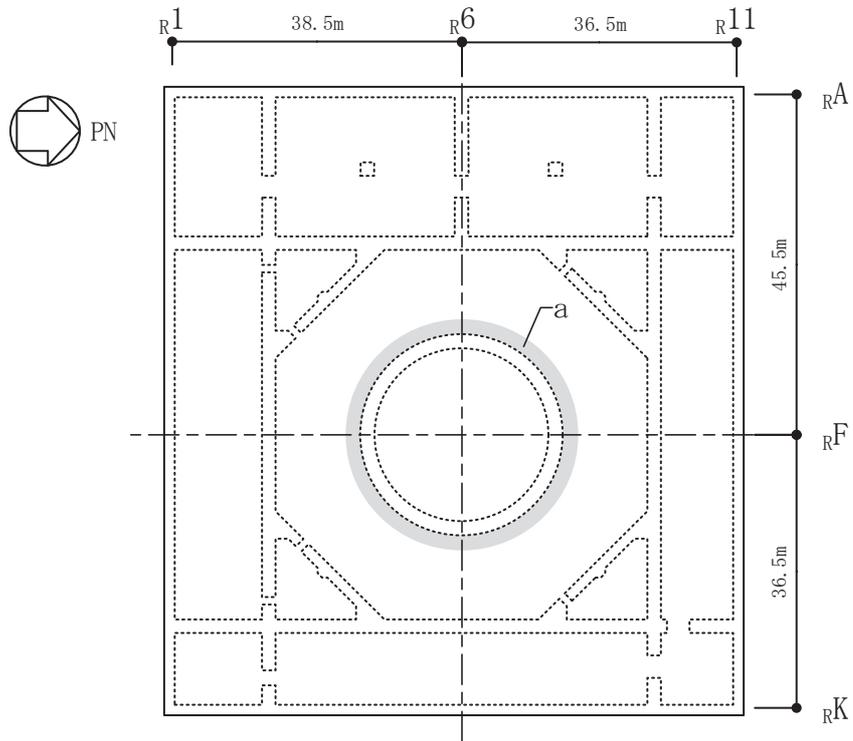
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-2に、評価結果を表5-3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力が、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

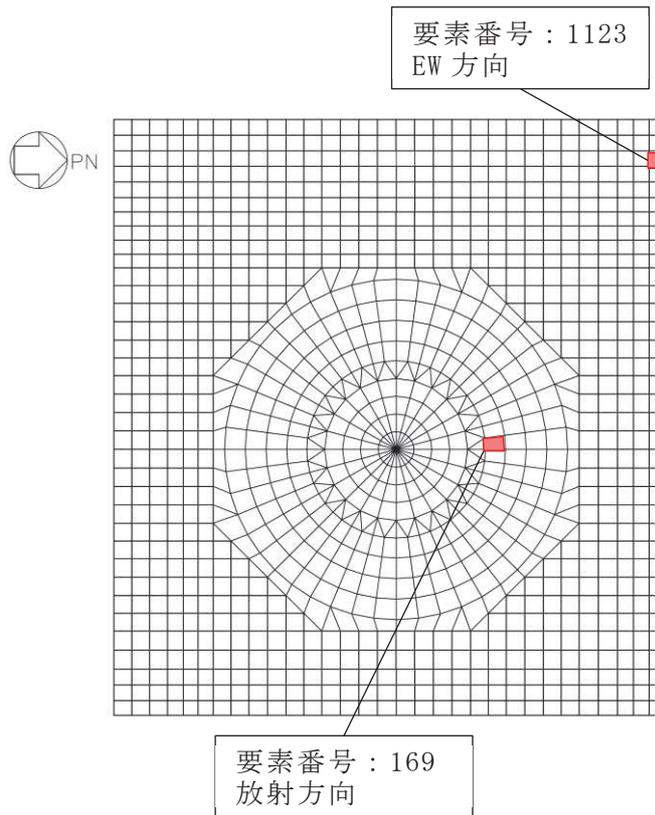
表 5-2 配筋一覧

(a) 主筋

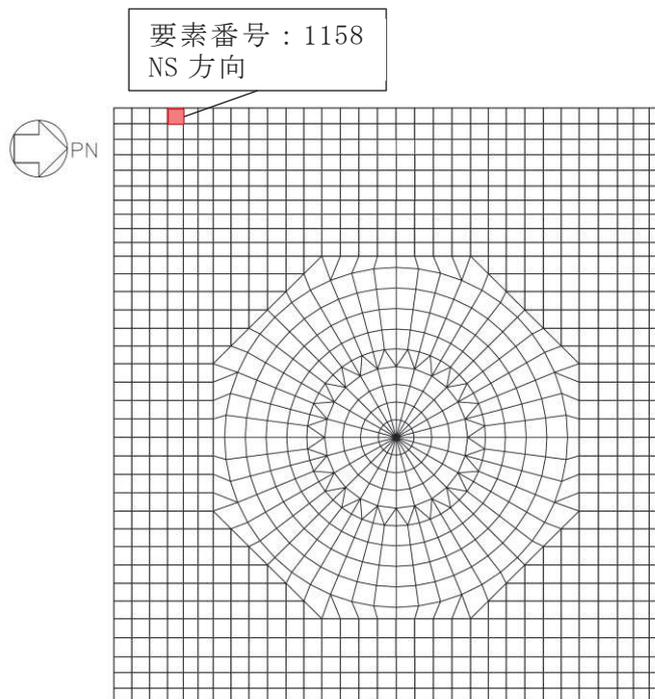
領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
B	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
C	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
D	放射	3×108-D38	放射	5×108-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
E	放射	3×216-D38	放射	5×216-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
F	放射	3×432-D38	放射	5×432-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
G	放射	3×864-D38	放射	5×864-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
H	NS	2-D38@200	NS	3-D38@200 + D38@400
	EW	2-D38@200	EW	3-D38@200 + D38@400

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D32@400×108/周



(a) 軸力+曲げモーメント



(b) 面外せん断力

図 5-2 設定した要素の位置

表 5-3 評価結果

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 ( $\times 10^{-3}$ )	EW	1123	6	0.766	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	169	2	0.488	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	NS	1158	4	2.36	2.42

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

## 別紙 1 剛性低下を考慮した影響検討

## 目 次

1. 検討の概要 .....	別紙 1- 1
2. 検討方針 .....	別紙 1- 4
3. 荷重及び荷重の組合せ .....	別紙 1- 4
4. 使用材料の許容限界 .....	別紙 1- 4
5. 応力解析 .....	別紙 1- 5
6. 評価方法 .....	別紙 1- 9
7. 評価結果 .....	別紙 1- 9
8. 検討のまとめ .....	別紙 1-14

## 1. 検討の概要

3.11 地震に対する原子炉建屋の質点系モデルを用いたシミュレーション解析では、耐震壁の初期剛性を低下させることにより観測記録との整合性が図られている。これを踏まえ、地震応答解析モデルの耐震壁の初期剛性を低減している（以下「基本ケースの初期剛性」という）。

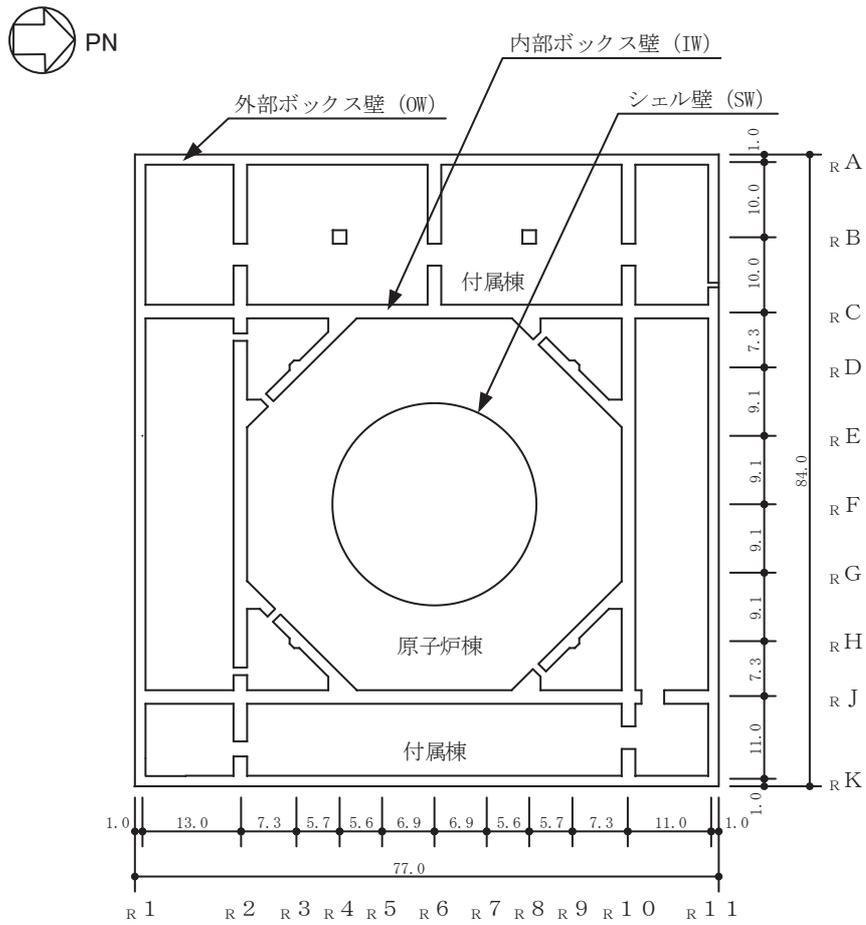
一方、地震応答解析の不確かさケースのうち、建屋剛性の不確かさについて、水平方向については、全ての基準地震動  $S_s$  入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動  $S_s$  について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮することとしている（以下「不確かさケースの初期剛性」という）。

添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の耐震計算書」という。）では、解析モデルにおいてモデル化した耐震壁の剛性については、基本ケースの初期剛性として評価を行っている。ここでは、剛性低下を考慮した影響検討として、不確かさケースの初期剛性にに基づき評価を実施する。

なお、基礎版部分については、観測記録に基づく分析の結果、剛性低下は認められないことを踏まえ、基礎版の耐震計算書と同様にコンクリート設計基準強度に基づく剛性を設定する。

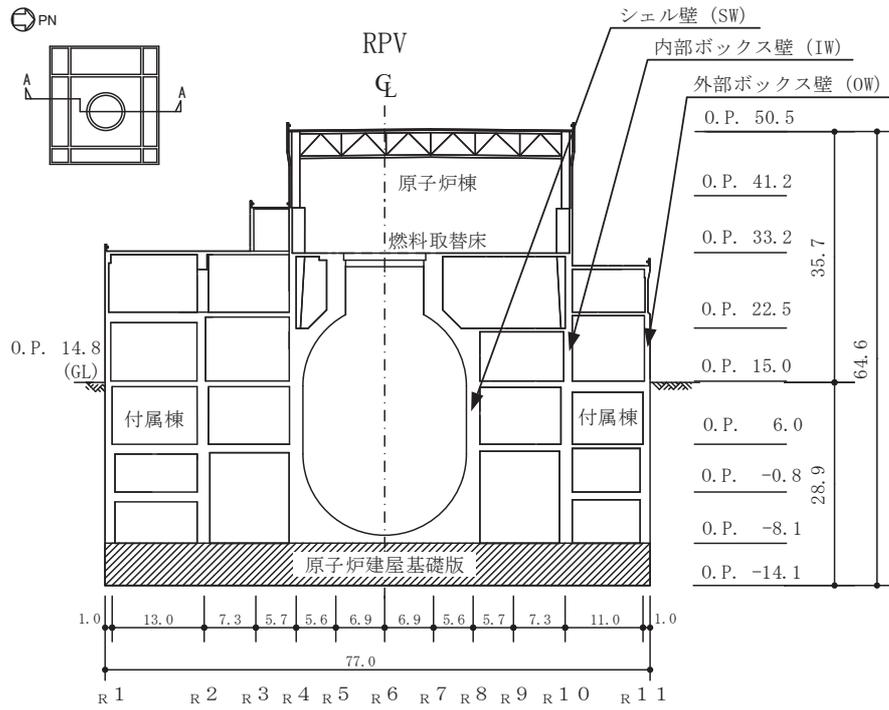
原子炉建屋基礎版の平面形状は、南北方向 77.0m、東西方向 84.0m の矩形であり、厚さは 6.0m である。

原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。



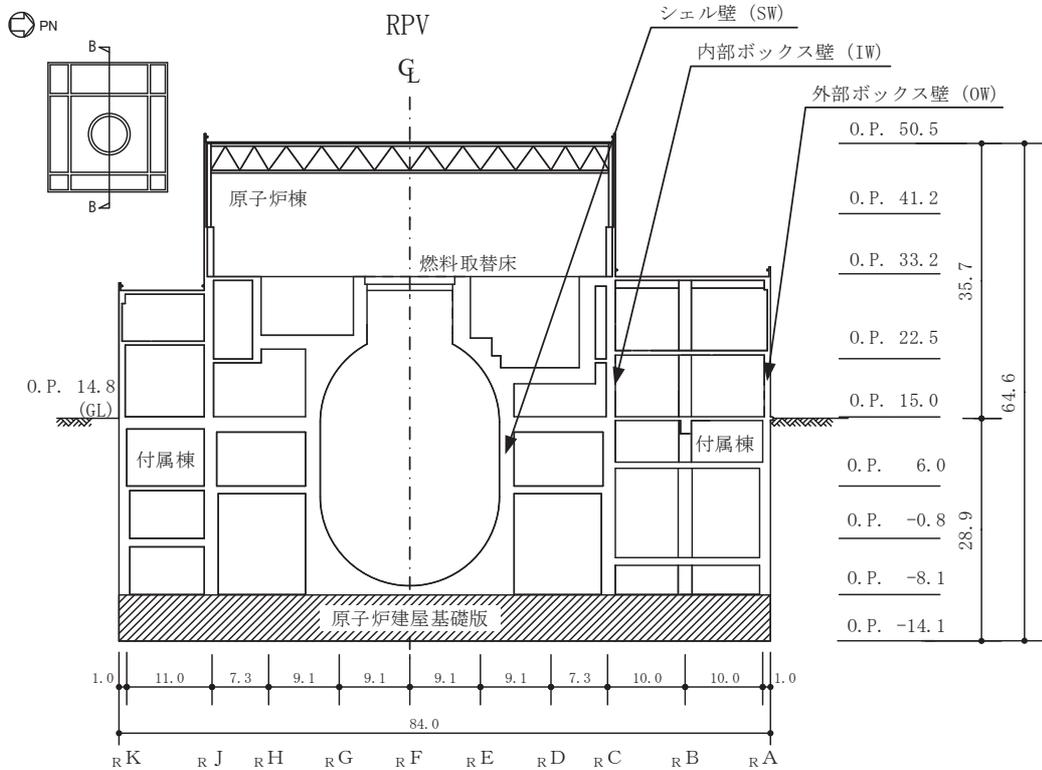
(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (0.P. -8.1 m)



(単位 : m)

図 1-2(1) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

図 1-2(2) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

## 2. 検討方針

剛性低下を考慮した影響検討として、耐震壁部分の剛性を不確かさケースの初期剛性とした場合の原子炉建屋基礎版の評価を行う。

評価に当たっては、 $S_s$ 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、基礎版の耐震計算書に示すものと同一である。

## 3. 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。また、荷重の組合せを表3-1に示す。荷重の詳細は、基礎版の耐震計算書に示す固定荷重(G)、積載荷重(P)及び地震荷重( $S_s$ )と同一である。

表3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_s$  : 地震荷重 (地震時土圧, トーラスサポート地震時反力を含む)

## 4. 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎版の耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

## 5. 応力解析

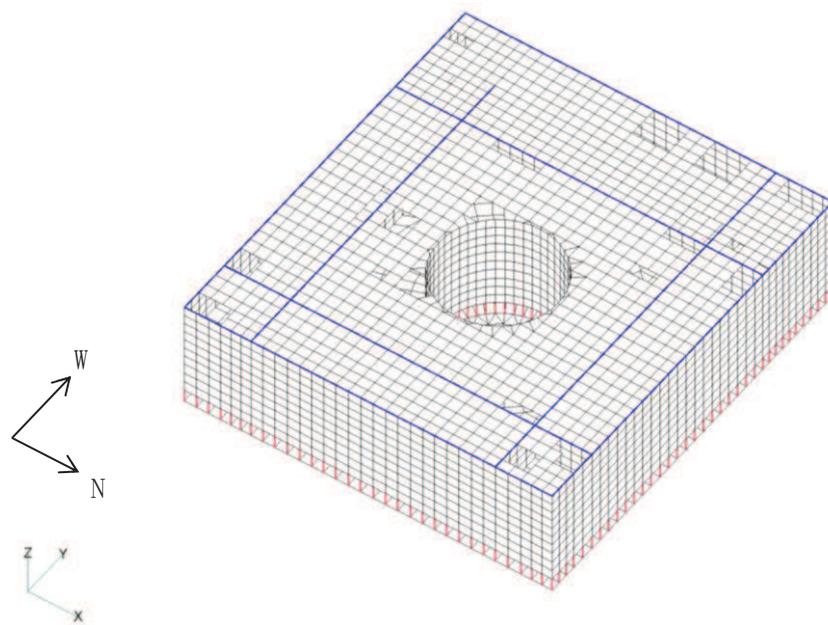
解析モデル図を図 5-1 に示す。解析モデルの詳細は、コンクリートの剛性を除き基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

材料構成則への反映方法は、コンクリートの材料構成則の初期剛性を低下させることとし、圧縮側も引張側も同じ値で低下させることとする。不確かさケースの初期剛性に基づく解析モデルのコンクリートの物性値を表 5-1 に、基本ケースの初期剛性に基づく解析モデル（設計ケース）のコンクリートの物性値を表 5-2 に示す。

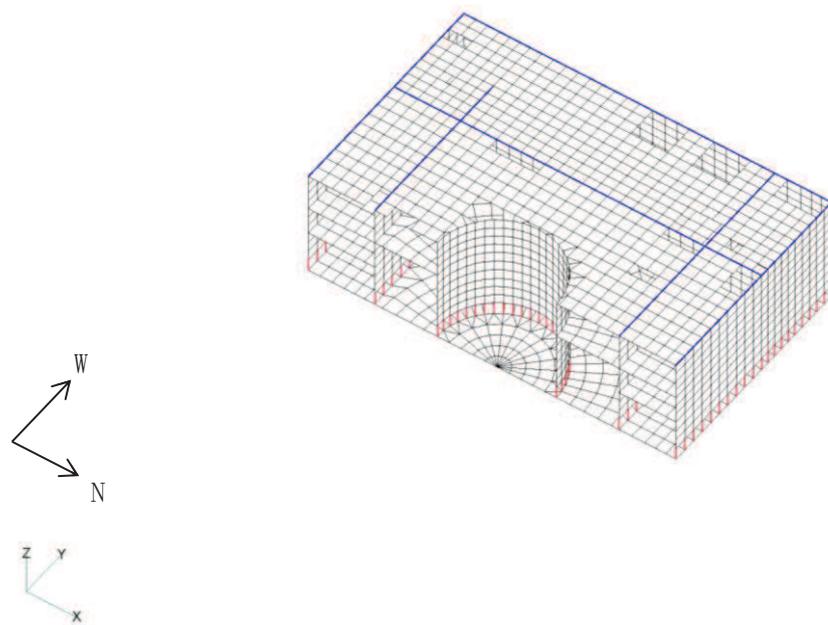
S s 地震時の応力は、基礎版の耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重を組み合わせて求める。

G	:	固定荷重	
P	:	積載荷重	
S s s N	:	S→N 方向	S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s s N S	:	N→S 方向	S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s s E W	:	E→W 方向	S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s s W E	:	W→E 方向	S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s s U D	:	鉛直方向（下向き）	S s 地震荷重
S s s D U	:	鉛直方向（上向き）	S s 地震荷重

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 - 2015）」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。荷重の組合せケースを表 5-3 に示す。

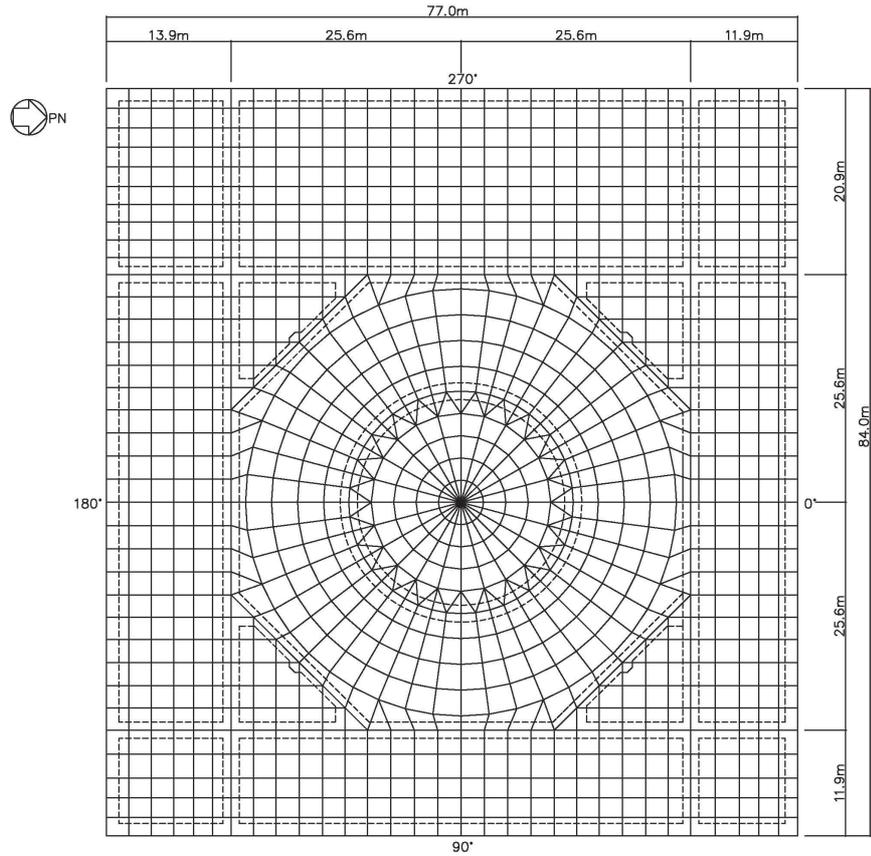


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図

図 5-1(1) 解析モデル (1/2)



(c) 基礎版要素分割図

図 5-1(2) 解析モデル (2/2)

表 5-1 コンクリートの物性値 (不確かさケースの初期剛性に基づく解析モデル)

部 位	設計基準強度 F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
基礎版・床スラブ	32.4	2.51×10 <sup>4</sup>	0.2
耐震壁 (NS 方向)		1.48×10 <sup>4</sup>	
耐震壁 (EW 方向)		1.56×10 <sup>4</sup>	
耐震壁 (シェル壁)		1.52×10 <sup>4</sup>	

表 5-2 コンクリートの物性値 (基本ケースの初期剛性に基づく解析モデル)

部 位	設計基準強度 F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
基礎版・床スラブ	32.4	2.51×10 <sup>4</sup>	0.2
耐震壁 (NS 方向)		1.88×10 <sup>4</sup>	
耐震壁 (EW 方向)		2.01×10 <sup>4</sup>	
耐震壁 (シェル壁)		1.945×10 <sup>4</sup>	

表 5-3 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	2	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ DU}$
	3	$G + P + 1.0 S_{s\ NS} + 0.4 S_{s\ UD}$
	4	$G + P + 1.0 S_{s\ NS} + 0.4 S_{s\ DU}$
	5	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	6	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ DU}$
	7	$G + P + 1.0 S_{s\ WE} + 0.4 S_{s\ UD}$
	8	$G + P + 1.0 S_{s\ WE} + 0.4 S_{s\ DU}$
	9	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	10	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ DU}$
	11	$G + P + 0.4 S_{s\ NS} + 1.0 S_{s\ UD}$
	12	$G + P + 0.4 S_{s\ NS} + 1.0 S_{s\ DU}$
	13	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	14	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ DU}$
	15	$G + P + 0.4 S_{s\ WE} + 1.0 S_{s\ UD}$
	16	$G + P + 0.4 S_{s\ WE} + 1.0 S_{s\ DU}$

## 6. 評価方法

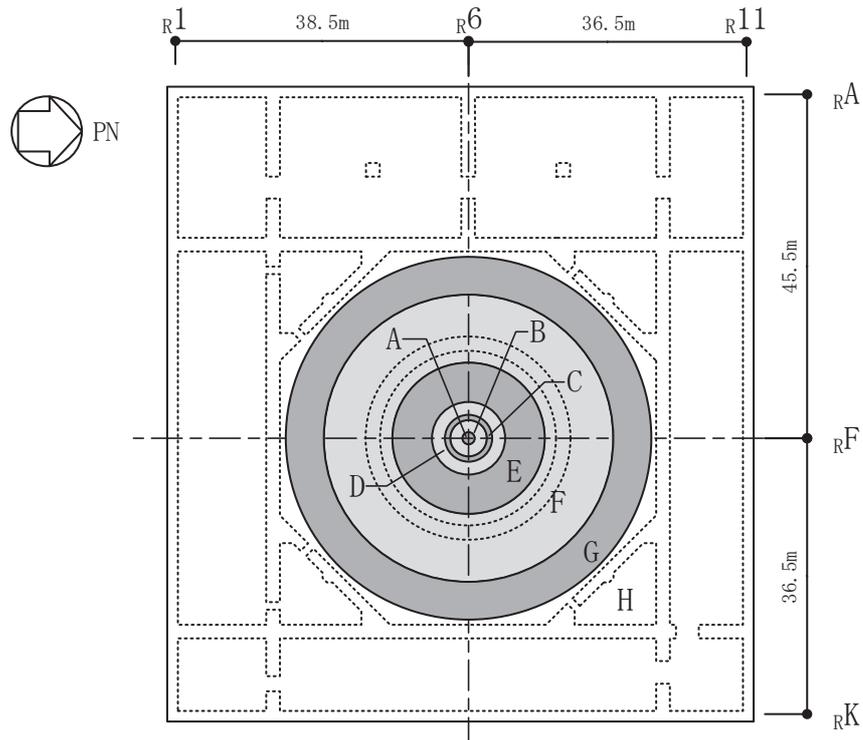
基礎の断面の評価は、基礎版の耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

## 7. 評価結果

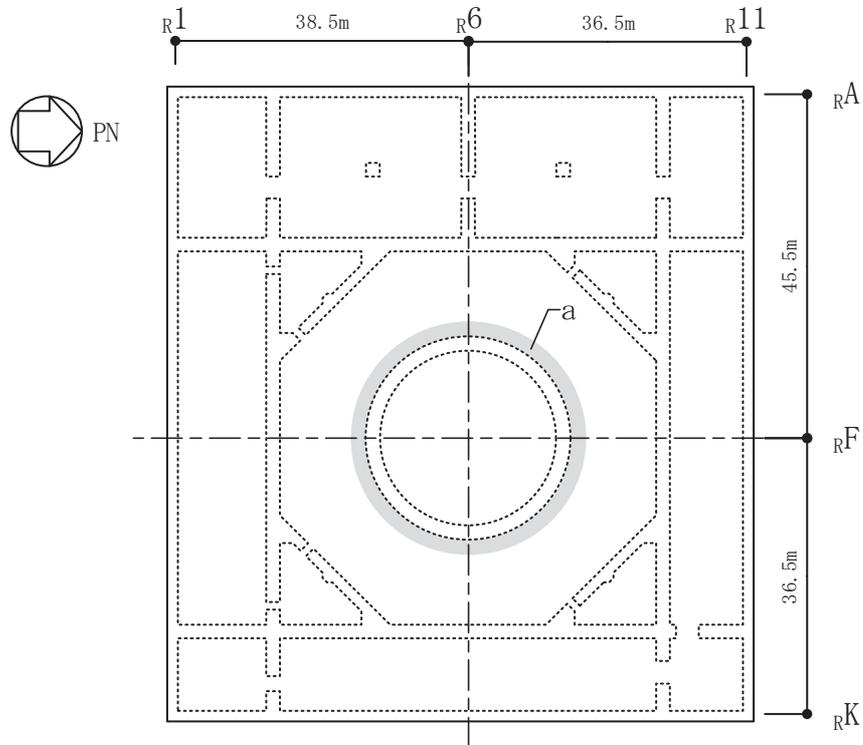
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 7-1 及び表 7-1 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 7-2 に、評価結果を表 7-2 に示す。

S s 地震時における剛性低下を考慮した影響検討結果と、設計ケースの評価結果とを比較すると、剛性低下の影響により発生値は増加傾向にあるが、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 7-1 配筋領域図

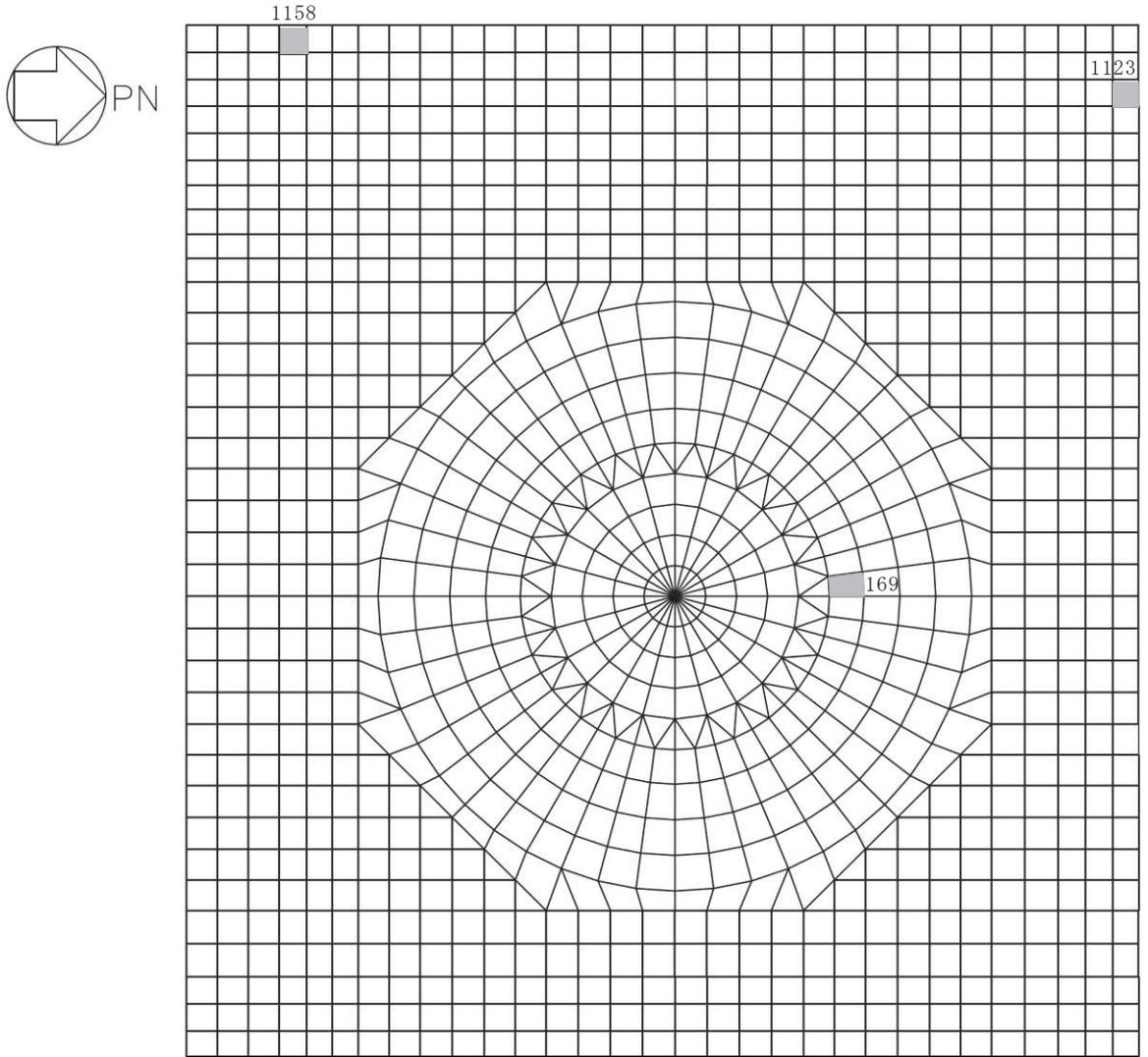
表 7-1 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
B	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
C	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
D	放射	3×108-D38	放射	5×108-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
E	放射	3×216-D38	放射	5×216-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
F	放射	3×432-D38	放射	5×432-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
G	放射	3×864-D38	放射	5×864-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
H	NS	2-D38@200	NS	3-D38@200 + D38@400
	EW	2-D38@200	EW	3-D38@200 + D38@400

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D32@400×108/周



注：数字は要素番号を示す。

図7-2 選定した要素の位置 S s 地震時

表 7-2 原子炉建屋基礎版の評価結果 S s 地震時

(a) 不確かさケースの初期剛性に基づく解析モデル

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 ( $\times 10^{-3}$ )	EW	1123	6	0.815	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	169	2	0.512	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	NS	1158	4	2.41 (1.57*)	2.42

注記\*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

(b) 基本ケースの初期剛性に基づく解析モデル

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 ( $\times 10^{-3}$ )	EW	1123	6	0.766	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	169	2	0.488	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	NS	1158	4	2.36 (1.52*)	2.42

注記\*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

## 8. 検討のまとめ

原子炉建屋基礎版の耐震評価にあたり，剛性低下を考慮した影響検討を実施した。

検討の結果，剛性低下を考慮した影響検討結果と設計ケースによる評価結果とを比較すると，剛性低下の影響により発生値は増加傾向にあるが，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。

以上のことから，剛性低下を考慮した影響検討の結果，原子炉建屋基礎版が有する耐震性への影響はないことを確認した。

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

## 目 次

- VI-2-9-4-1 ダウンカマの耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-3 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-5 原子炉格納容器調気設備の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-6 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-1 ダウンカマ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	11
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.2.4 設計荷重	20
4.3 解析モデル及び諸元	23
4.4 固有周期	23
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	24
4.6.1 応力評価点	24
4.6.2 応力計算方法	27
4.7 計算条件	28
4.8 応力の評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	37
6. 参照図書	45

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、ダウンコマ及びベントヘッダ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。

ダウンコマ及びベントヘッダは、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、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重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ウンコマ及びベントヘッダの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)及び(2)）による（以下「既工認」という。）。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ダウンコマ及びベントヘッダの構造計画を表 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>ダウンカマ及びベントヘッドは、サプレッションチェンバ内に設置され、ベント管及びベントノズルを介してドライウエルに支持される。ベントヘッドサポートはピン接合によりサプレッションチェンバ強め輪に支持される。</p> <p>鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ベント管、ベントノズル及びドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ダウンカマは、外径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の鋼製管状構造物であり、ベントヘッドに接続する。</p> <p>ベントヘッドは、内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物を円環状に 16 本接合した構造物である。各接合部近傍にはベントヘッドサポートを備える。</p>	<p>概略構造図</p> <p>ドライウエル A-Aから見る</p> <p>ベントヘッドサポート</p> <p>ベント管</p> <p>B B C部詳細</p> <p>B-Bから見る D部詳細</p> <p>サプレッションチェンバ (単位: mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

ダウンカマ及びベントヘッダの応力評価は、添付書類「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。

ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

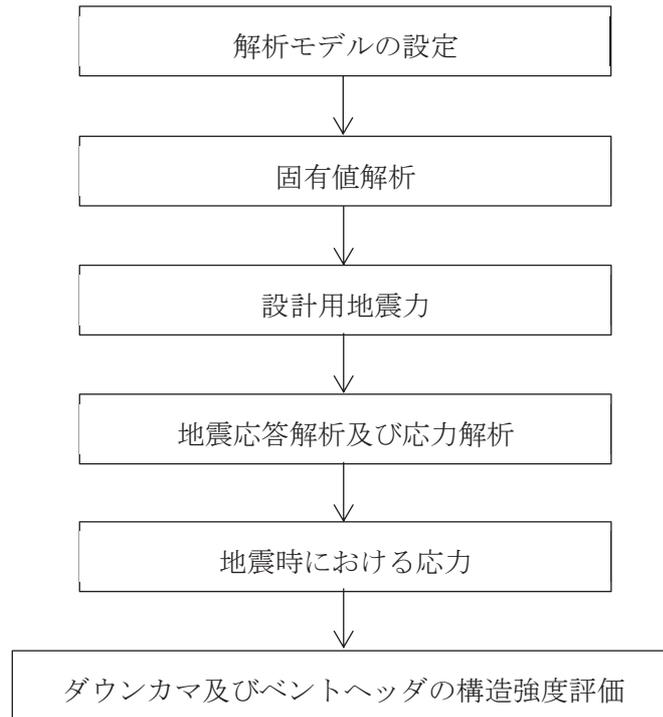


図 2-1 ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補－1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) 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
$C_i$	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 ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$f_b$	許容曲げ応力度	MPa
$f_c$	許容圧縮応力度	MPa
$f_p$	許容支圧応力度	MPa
$f_s$	許容せん断応力度	MPa
$f_t$	許容引張応力度	MPa
$F$	許容応力度の基準値	MPa
$K_e$	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
$l_i$	長さ ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
$M$	機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm
$M_{SAL}$	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
$M_{SALL}$	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
$N_a$	地震時の許容繰返し回数	—
$N_c$	地震時の実際の繰返し回数	—
$P$	圧力, 軸力	—, N
$P_{SAL}$	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
$P_{SALL}$	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
$S$	許容引張応力	MPa
$S_d$	弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力	—
$S_d^*$	弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
$S_\ell$	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S'_\ell$	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_n$	地震動による応力振幅	MPa
$S_p$	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	—
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40℃における設計降伏点	MPa
$t_i$	厚さ ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
$T$	温度	℃

記号	記号の説明	単位
T <sub>SAL</sub>	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T <sub>SALL</sub>	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
$\nu$	ポアソン比	—
A S S	オーステナイト系ステンレス鋼	—
H N A	高ニッケル合金	—

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

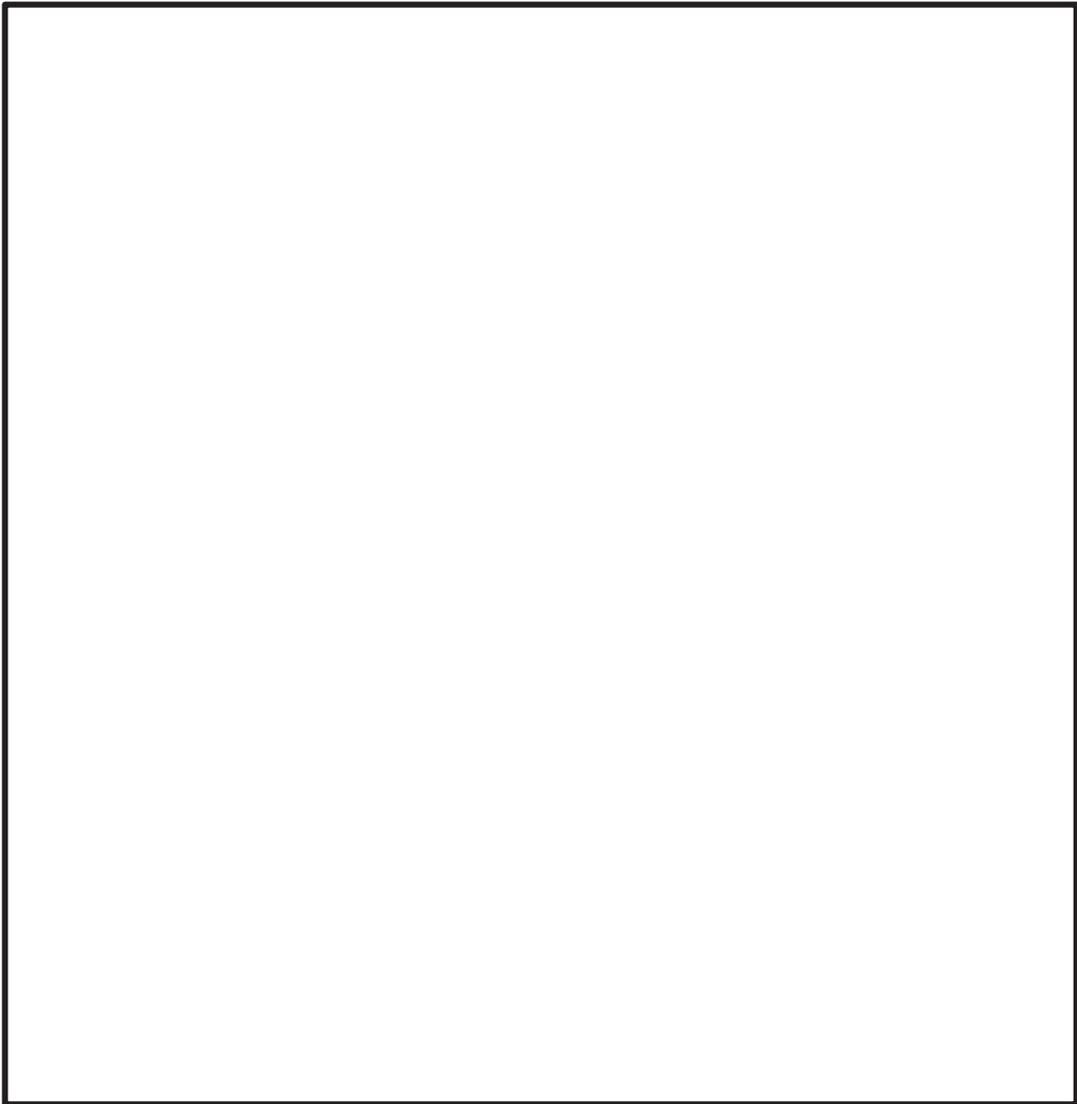
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
温度	°C	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
許容応力 <sup>*2</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
刺激係数	—	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
質量	kg	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁

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

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

3. 評価部位

ダウンカマ及びベントヘッダの形状及び主要寸法を図 3-1～図 3-4 に，評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



① ダウンカマ

② ベントヘッダ

③ ベントヘッダリング

④ ダウンカマリング

$D_1 =$

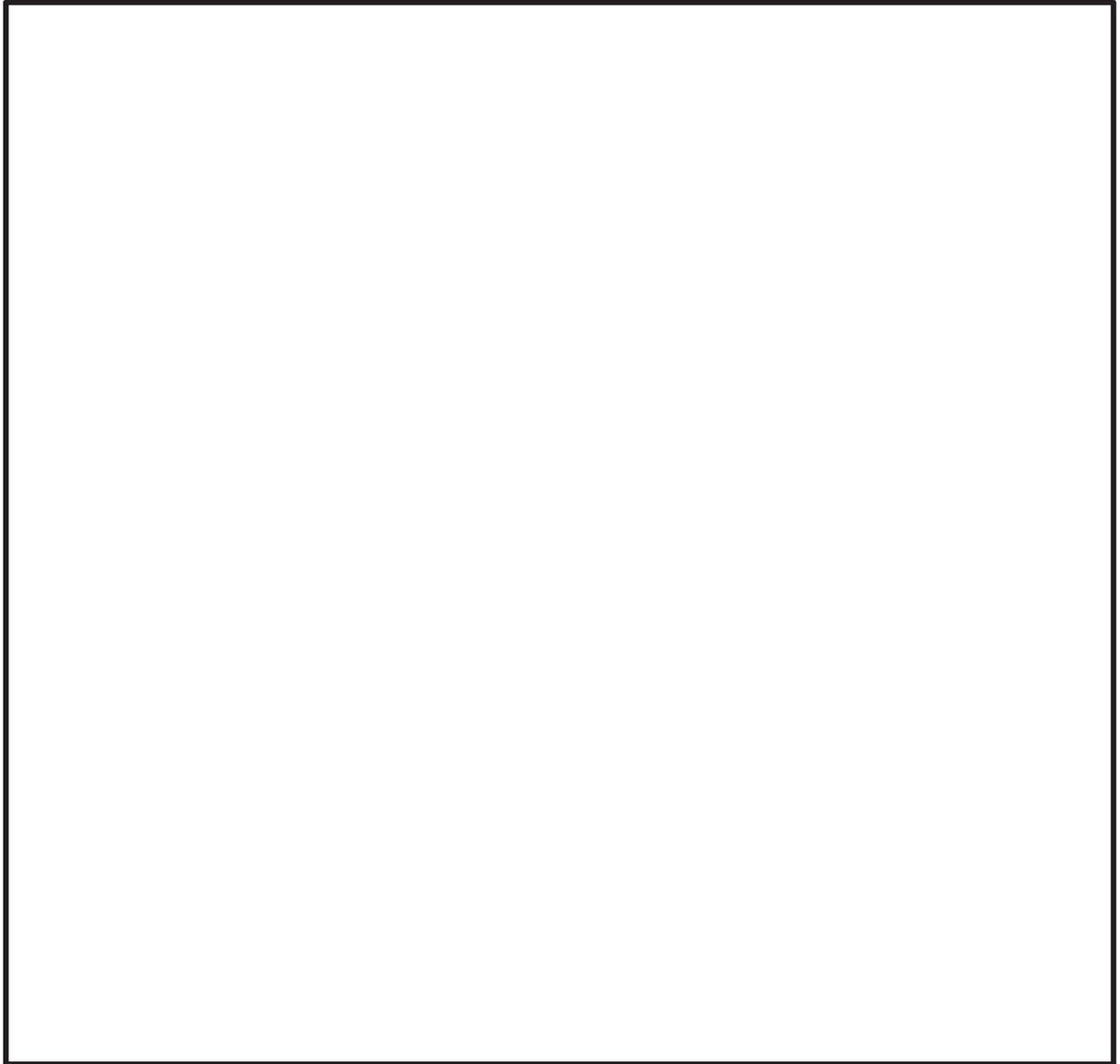
$t_1 =$

$\ell_1 =$

$\ell_2 =$

(単位：mm)

図 3-1 ダウンカマの形状及び主要寸法



$D_2 =$

$t_2 =$

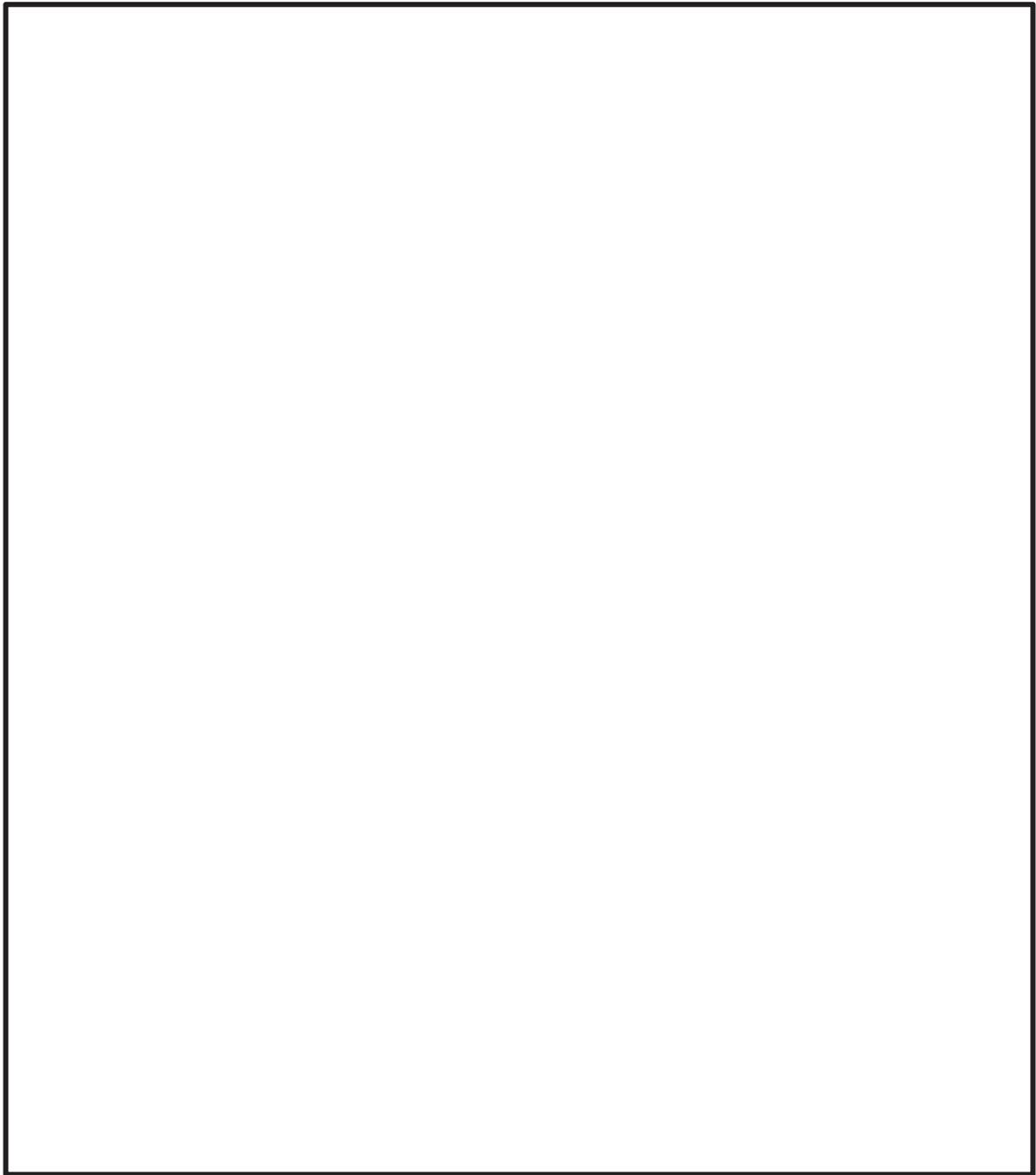
$l_3 =$

$l_4 =$

$l_5 =$

(単位：mm)

図 3-2 ベントヘッダの形状及び主要寸法



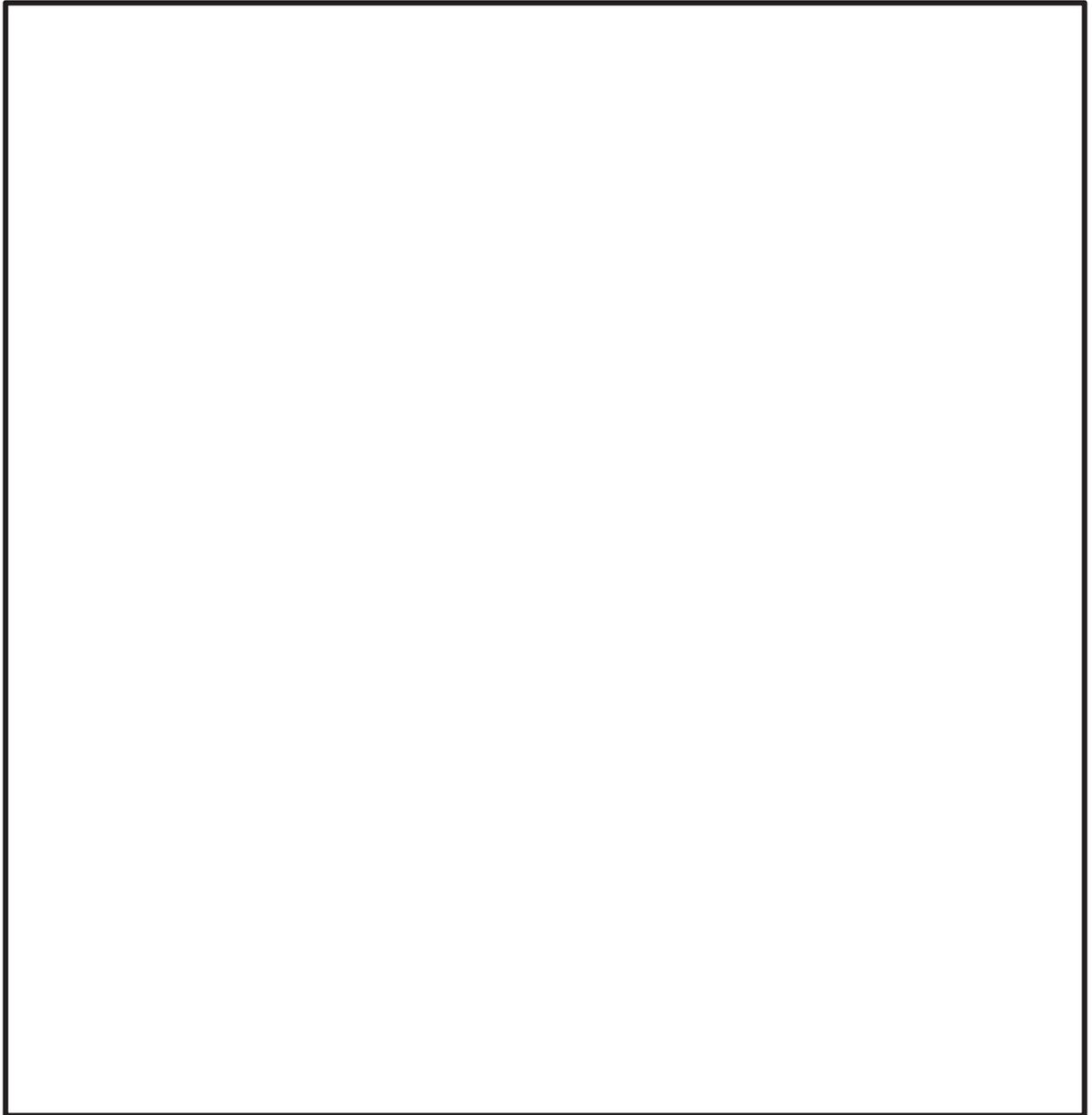
$D_3 =$

$t_3 =$

$l_6 =$    
 $l_7 =$    
 $l_8 =$    
 $l_{14} =$    
 $l_{15} =$

(単位：mm)

図 3-3 ベントヘッダサポートの形状及び主要寸法



$D_4 =$    
 $D_5 =$    
 $D_6 =$    
 $D_7 =$

$t_4 =$    
 $t_5 =$

$l_9 =$    
 $l_{10} =$    
 $l_{11} =$    
 $l_{12} =$    
 $l_{13} =$    
 $l_{16} =$

(単位：mm)

図 3-4 ベントヘッダサポートのピン及びエンドプレート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
ダウンカメラ	SGV480
ベントヘッダ	SGV480
ベントヘッダサポート（下側）	
ベントヘッダサポート（上側）	
ピン（下側）	
ピン（上側）	
エンドプレート（下側）	
エンドプレート（上側）	

#### 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) ダウンカマ及びベントヘッダは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管及びベントノズルを介してドライウエルに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重はベント管、ベントノズル及びドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。

ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。

- (2) 構造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

ダウンカマ及びベントヘッダ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、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容応力

ダウンカマ及びベントヘッダの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3～表 4-5 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

ダウンカマ及びベントヘッダ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 4-6 及び表 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ <sup>*1</sup>		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	ダウンカマ	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S d^*$	(9)	Ⅲ <sub>A</sub> S		
						(10) <sup>*2</sup>			
		(13)							
		(15)							
							$D + P_D + M_D + S s$	(11)	Ⅳ <sub>A</sub> S
								(12)	
							$D + P_D + M_D + S d^*$	(13)	Ⅲ <sub>A</sub> S
								(15)	
					$D + P_D + M_D + S s$	(11)	Ⅳ <sub>A</sub> S		
						(12)			
		ベントヘッダサポ ート, ピン及びエンド プレート	— <sup>*3</sup>	建物・ 構築物	$D + P_D + M_D + S d^*$	(9)	Ⅲ <sub>A</sub> S <短期> <sup>*4</sup>		
						(10) <sup>*2</sup>			
					$D + P_D + M_D + S s$	(13)	Ⅳ <sub>A</sub> S <短期> <sup>*4</sup>		
						(15)			
					$D + P_D + M_D + S s$	(11)	Ⅳ <sub>A</sub> S <短期> <sup>*4</sup>		
						(12)			
					$D + P_D + M_D + S s$	(14)	Ⅳ <sub>A</sub> S <短期> <sup>*4</sup>		
						(14)			

注記\*1：( ) 内は添付書類「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 3-6 の荷重の組合せの No. を示す。

\*2：運転状態 I による燃料交換時の活荷重はダウンカメラ及びベントヘッダに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

\*3：S クラス相当として評価する。

\*4：鋼構造設計規準によるため、< >内の許容応力状態を適用する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 <sup>*1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ <sup>*2</sup>		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	ダウンカマ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	$(V(L) - 1)^{*4}$	$V_{AS}^{*3}$
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	$(V(LL) - 1)^{*5}$	$V_{AS}^{*3}$
		ベントヘッダ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	$(V(L) - 1)^{*4}$	$V_{AS}^{*3}$
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	$(V(LL) - 1)^{*5}$	$V_{AS}^{*3}$
		ベントヘッダサポ ート, ピン及びエ ンドプレート	— <sup>*6</sup>	建物・ 構築物	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	$(V(L) - 1)^{*4}$	$V_{AS}^{*3}$ <短期> <sup>*7</sup>
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	$(V(LL) - 1)^{*5}$	$V_{AS}^{*3}$ <短期> <sup>*7</sup>

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: ( ) 内は添付書類「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 3-7 の荷重の組合せの No. を示す。

\*3:  $V_{AS}$  として  $IV_{AS}$  の許容限界を用いる。

\*4: SA 後長期 (L) の最高内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

\*5: SA 後長期 (LL) の内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

\*6: S クラス相当として評価する。

\*7: 鋼構造設計規準によるため, < > 内の許容応力状態を適用する。

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	一次一般膜応力	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 <sub>AS</sub>	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 <sup>*1</sup> ただし、ASS及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	$S_y$ ただし、ASS及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	<sup>*2</sup> $S_d$ 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。	
Ⅳ <sub>AS</sub>	$0.6 \cdot S_u$ <sup>*1</sup>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>AS</sub> <sup>*3</sup>				

注記\*1：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>の一次一般膜応力の許容値（ $S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、ASS及びHNAについては上記値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方）の0.8倍の値とする。

\*2： $2 \cdot S_y$ 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-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、 $S_m$ は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

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

表4-4 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 <sub>AS</sub>	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。 ただし、ASS及びHNAについては上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*1 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
IV <sub>AS</sub>	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>AS</sub> *2				

91 注記\*1: 2・S<sub>y</sub>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<sub>m</sub>は2/3・S<sub>y</sub>と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

\*2: V<sub>AS</sub>としてIV<sub>AS</sub>の許容限界を用いる。

表4-5 ベントヘッダサポート、ピン及びエンドプレートの許容応力度

許容応力状態	引張／ 組合せ	せん断	圧縮	曲げ	支圧
短期	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$

表 4-6 ダウンカム及びベントヘッダの使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ダウンカム	SGV480	周囲環境 温度	171	—	229	423	—
ベントヘッダ	SGV480	周囲環境 温度	171	—	229	423	—

表 4-7 ベントヘッダサポート、ピン及びエンドプレートの使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	F (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)
ベントヘッダサポート				
ピン				
エンドプレート				

表 4-8 ダウンカマ及びベントヘッド使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		ダウンカマ	SGV480	周囲環境 温度	178 <sup>*1</sup>	—	228
周囲環境 温度	111 <sup>*2</sup>			—	236	429	—
ベントヘッド	SGV480	周囲環境 温度	178 <sup>*1</sup>	—	228	422	—
		周囲環境 温度	111 <sup>*2</sup>	—	236	429	—

61 注記\*1：SA 後長期 (L) のドライウエル温度を考慮する。

\*2：SA 後長期 (LL) のドライウエル温度を考慮する。

表 4-9 ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	F (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)
ベントヘッドサポート				
ピン				
エンドプレート				

#### 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，最高使用圧力及び最高使用温度は，既工認（参照図書(1)及び(2)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

また，ベントヘッドサポート反力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。なお，最高使用圧力（内圧）による荷重として，ダウンカマ下端が開口しており下向きの内圧が作用しないことから，ベント系に内圧が作用する際にはベント系全体としては下向き荷重より上向き荷重が大きくなる。このため，下側ベントヘッドサポートは引張荷重，上側ベントヘッドサポートは圧縮荷重を受ける挙動となる。

##### a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

##### b. 死荷重

ベント管，ベントヘッド，ダウンカマ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とする。

死荷重  kg

##### c. サプレッションチェンバ水位

水位 O.P. -3800mm

##### (2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

##### a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「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） $P_{SAL}$	35kPa（SA 後長期（L））
内圧（差圧） $P_{SALL}$	35kPa（SA 後長期（LL））
温度 $T_{SAL}$	178℃（SA 後長期（L））
温度 $T_{SALL}$	111℃（SA 後長期（LL））

##### b. 死荷重

ベント管，ベントヘッド，ダウンカマ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とし，設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，「4.2.4 設計荷重」の(1)に示すとおりである。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. 水力的動荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は  N となり，設計基準対象施設としての荷重に包絡されるため，以下のとおりとする。

横方向荷重  N

d. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備におけるサプレッションチェンバ水位は，以下のとおりとする。

水位 O.P. -1514mm

e. ベントヘッドサポート反力

重大事故等対処設備としてのベントヘッドサポート反力を表 4-12 及び表 4-13 に示す。

表 4-10 ベントヘッドサポート（下側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 <sup>5</sup> N)	曲げモーメント M (×10 <sup>5</sup> N・mm)
最高使用圧力（内圧）		
ベント系死荷重		
ベント系 S <sub>d</sub> * 地震荷重		
ベント系 S <sub>s</sub> 地震荷重		

注記\*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-11 ベントヘッドサポート（上側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 <sup>5</sup> N)	曲げモーメント M (×10 <sup>5</sup> N・mm)
最高使用圧力（内圧）		
ベント系死荷重		
ベント系 S <sub>d</sub> * 地震荷重		
ベント系 S <sub>s</sub> 地震荷重		

注記\*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-12 ベントヘッドサポート（下側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称	成分	軸力* P (×10 <sup>5</sup> N)	曲げモーメント M (×10 <sup>5</sup> N・mm)
内圧（差圧）（SA 後長期（L））			
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））			
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））			
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））			
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））			
チャギング荷重（SA 後長期（L））			

注記\*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-13 ベントヘッドサポート（上側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称	成分	軸力* P (×10 <sup>5</sup> N)	曲げモーメント M (×10 <sup>5</sup> N・mm)
内圧（差圧）（SA 後長期（L））			
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））			
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））			
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））			
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））			
チャギング荷重（SA 後長期（L））			

注記\*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

#### 4.3 解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

#### 4.4 固有周期

固有周期は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力評価点

ダウンカマ及びベントヘッドの応力評価点を表 4-14、図 4-1 及び図 4-2 に示す。応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルを用いて計算する。応力評価点 P5～P10 の応力は、ベントヘッドサポート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。

表 4-14 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ダウンカマ（一般部）
P2 <sup>*1</sup>	ダウンカマ（一般部以外）
P3	ベントヘッド（一般部）
P4 <sup>*2</sup>	ベントヘッド（一般部以外）
P5	ベントヘッドサポート（下側）
P6	ピン（下側）
P7	エンドプレート（下側）
P8	ベントヘッドサポート（上側）
P9	ピン（上側）
P10	エンドプレート（上側）

注記\*1：既工認（参照図書（1））の応力評価点 P1～P3 を包絡する。ベントヘッドとダウンカマの接続部及びダウンカマとダウンカマリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

\*2：既工認（参照図書（2））の応力評価点 P2～P5 を包絡する。ベントヘッドとダウンカマの接続部、ベントヘッドとベントヘッドサポートリングの接続部及びベントヘッドとベントヘッドリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

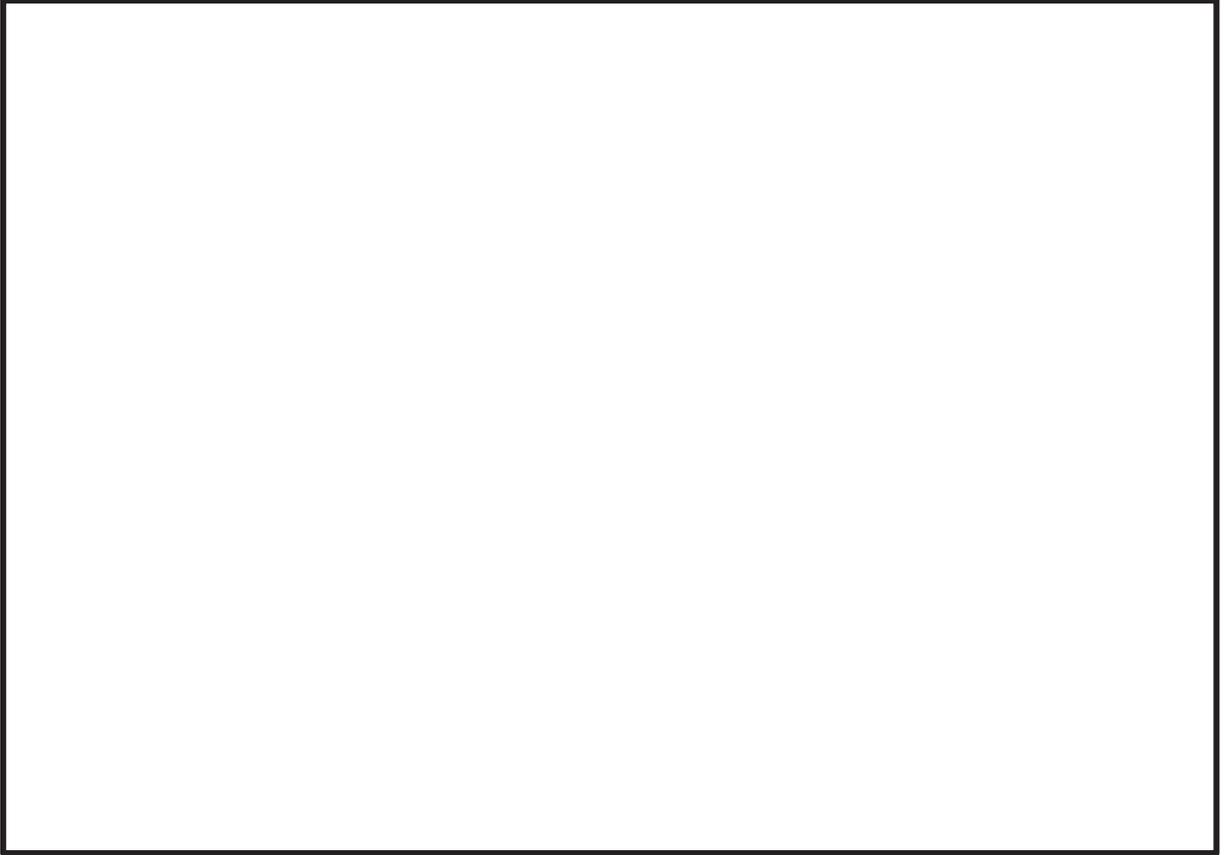


図 4-1 ダウンカマの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

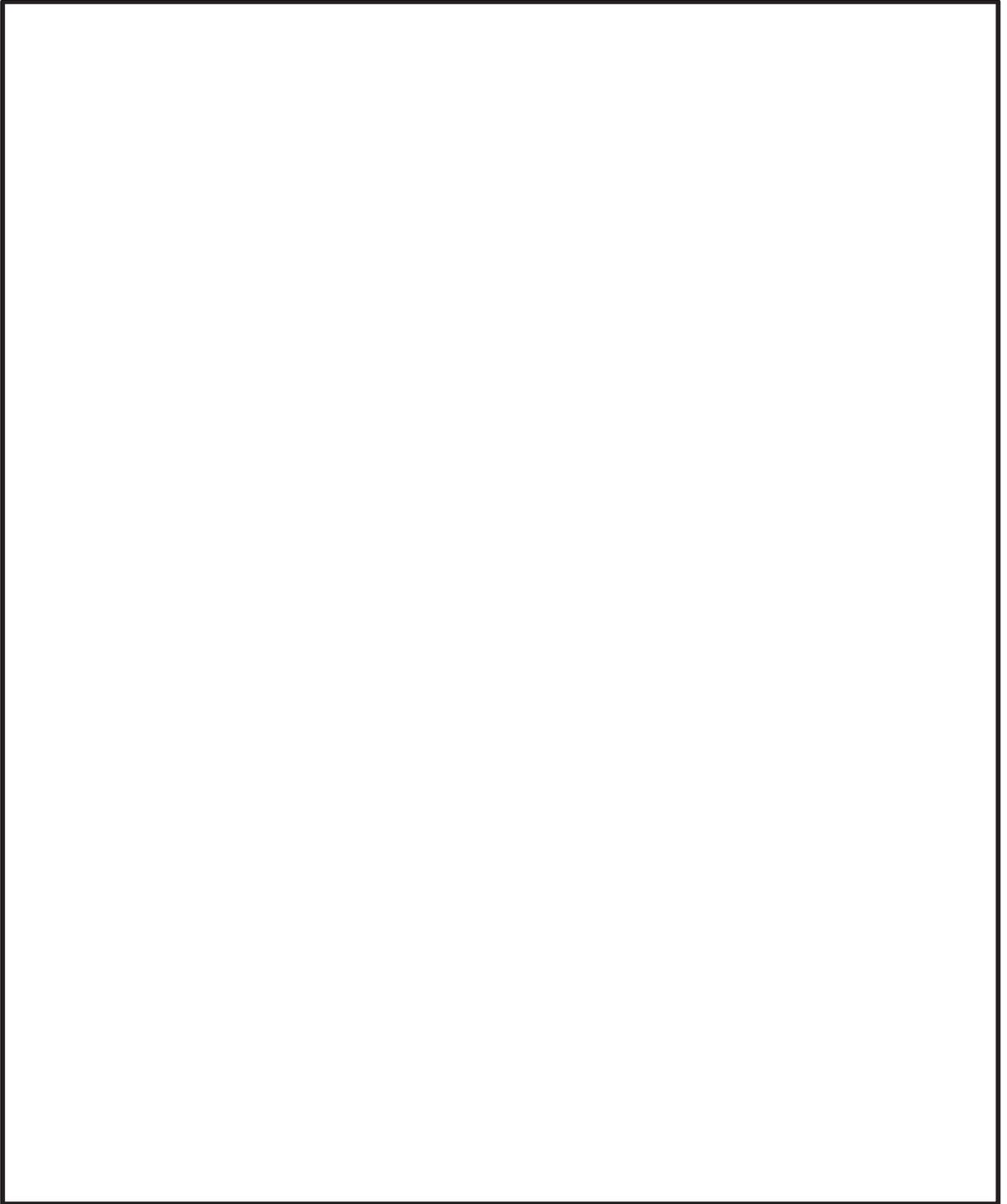


図 4-2 ベントヘッダ及びベントヘッダサポートの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.2 応力計算方法

ダウンコマ及びベントヘッダの応力計算方法について以下に示す。

##### (1) 設計基準対象施設としての応力計算

設計基準対象施設としての応力評価の概要を以下に示す。

###### a. 応力評価点 P1～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

###### b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（下側）、ピン（下側）及びエンドプレート（下側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

###### c. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（上側）、ピン（上側）及びエンドプレート（上側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力評価の概要を以下に示す。

###### a. 応力評価点 P1～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

###### b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（下側）、ピン（下側）及びエンドプレート（下側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

###### c. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（上側）、ピン（上側）及びエンドプレート（上側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

#### 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」で求めた各応力が、表 4-3～表 4-5 で定める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 または 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。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダウンカマ及びベントヘッダ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。

なお、クラス 2 管であるダウンカマ及びクラス 2 容器であるベントヘッダの算出応力は、FEM モデルを用いた応力解析により求めた応力を示している。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

#### (2) 疲労評価結果

表 5-2 の応力評価点 P2 及び P4 の一次＋二次応力が許容値である  $3 \cdot S$  を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d<sup>\*</sup>) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカメラ及び ベントヘッド	P1	ダウンカメラ (一般部)	一次一般膜応力	62	229	○	(9)	
			一次膜+一次曲げ応力	62	229	○	(9)	
			一次+二次応力	120	458	○	(9)	
	P2	ダウンカメラ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	129	229	○	(9)	
			一次+二次応力	311	458	○	(9)	
	P3	ベントヘッド (一般部)	一次一般膜応力	149	229	○	(9)	
			一次膜+一次曲げ応力	149	344	○	(9)	
			一次+二次応力	224	458	○	(9)	
	P4	ベントヘッド (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	167	344	○	(9)	
			一次+二次応力	347	458	○	(9)	

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d<sup>\*</sup>) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント ヘッド	P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	57		○	(9)	
			圧縮応力	40		○	(9)	
			曲げ応力	10		○	(9)	
			組合せ応力	67		○	(9)	
	P6	ピン (下側)	曲げ応力	95		○	(9)	
			せん断応力	33		○	(9)	
			支圧応力	139		○	(9)	
			組合せ応力	111		○	(9)	
	P7	エンドプレート (下側)	引張応力	38		○	(9)	
			圧縮応力	27		○	(9)	
			曲げ応力	47		○	(9)	
			せん断応力	70		○	(9)	
			組合せ応力	148		○	(9)	

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d<sup>\*</sup>) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント ヘッダ	P8	ベントヘッダサポート (上側)	引張応力	35		○	(9)	
			圧縮応力	50		○	(9)	
			曲げ応力	28		○	(9)	
			組合せ応力	78		○	(9)	
	P9	ピン (上側)	曲げ応力	82		○	(9)	
			せん断応力	30		○	(9)	
			支圧応力	120		○	(9)	
			組合せ応力	97		○	(9)	
	P10	エンドプレート (上側)	引張応力	21		○	(9)	
			圧縮応力	30		○	(9)	
			曲げ応力	117		○	(9)	
			せん断応力	61		○	(9)	
			組合せ応力	181		○	(9)	

表 5-2 許容応力状態IV<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウncama及び ベントヘッダ	P1	ダウncama (一般部)	一次一般膜応力	82	253	○	(11)	
			一次膜+一次曲げ応力	82	380	○	(11)	
			一次+二次応力	178	458	○	(11)	
	P2	ダウncama (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	180	380	○	(11)	
			一次+二次応力	461	458	×*	(11)	
	P3	ベントヘッダ (一般部)	一次一般膜応力	201	253	○	(11)	
			一次膜+一次曲げ応力	201	380	○	(11)	
			一次+二次応力	333	458	○	(11)	
	P4	ベントヘッダ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	230	380	○	(11)	
			一次+二次応力	517	458	×*	(11)	

注記\* : P2 及び P4 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント ヘッド	P5	ベントヘッドサポート (下側)	引張応力	74		○	(11)	
			圧縮応力	57		○	(11)	
			曲げ応力	16		○	(11)	
			組合せ応力	90		○	(11)	
	P6	ピン (下側)	曲げ応力	119		○	(11)	
			せん断応力	42		○	(11)	
			支圧応力	175		○	(11)	
			組合せ応力	140		○	(11)	
	P7	エンドプレート (下側)	引張応力	49		○	(11)	
			圧縮応力	38		○	(11)	
			曲げ応力	74		○	(11)	
			せん断応力	88		○	(11)	
			組合せ応力	196		○	(11)	

表 5-2 許容応力状態IV<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント ヘッド	P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	49	[Redacted]	○	(11)	
			圧縮応力	64		○	(11)	
			曲げ応力	41		○	(11)	
			組合せ応力	105		○	(11)	
	P9	ピン (上側)	曲げ応力	103		○	(11)	
			せん断応力	37		○	(11)	
			支圧応力	151		○	(11)	
			組合せ応力	122		○	(11)	
	P10	エンドプレート (上側)	引張応力	29		○	(11)	
			圧縮応力	38		○	(11)	
			曲げ応力	172		○	(11)	
			せん断応力	76		○	(11)	
			組合せ応力	248		○	(11)	

35

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3 許容応力状態IV<sub>A</sub>S に対する疲労評価結果

応力評価点	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P2	[Redacted]						340	0.264
P4							340	0.286

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に ( [Redacted] / E ) を乗じた値である。

E = [Redacted] MPa

## 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ダウンカム及びベントヘッダ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。

なお、重大事故等クラス 2 管であるダウンカム及び重大事故等クラス 2 容器であるベントヘッダの算出応力は、FEM モデルを用いた応力解析により求めた応力を示している。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

### (2) 疲労評価結果

表 5-5 の応力評価点 P2 及び P4 の一次＋二次応力が許容値である  $3 \cdot S$  を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 5-6 に示す。

表 5-4 許容応力状態  $V_{AS}$  に対する評価結果 ( $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ ) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ダウンカメラ及び ベントヘッダ	P1	ダウンカメラ (一般部)	一次一般膜応力	32	253	○	
			一次膜+一次曲げ応力	32	380	○	
			一次+二次応力	79	457	○	
	P2	ダウンカメラ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	82	380	○	
			一次+二次応力	224	457	○	
	P3	ベントヘッダ (一般部)	一次一般膜応力	89	253	○	
			一次膜+一次曲げ応力	89	380	○	
			一次+二次応力	177	457	○	
	P4	ベントヘッダ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	112	380	○	
			一次+二次応力	276	457	○	

表 5-4 許容応力状態  $V_{AS}$  に対する評価結果 ( $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ ) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント ヘッダ	P5	ベントヘッダサポート (下側)	引張応力	31		○	
			圧縮応力	35		○	
			曲げ応力	10		○	
			組合せ応力	45		○	
	P6	ピン (下側)	曲げ応力	55		○	
			せん断応力	20		○	
			支圧応力	80		○	
			組合せ応力	65		○	
	P7	エンドプレート (下側)	引張応力	21		○	
			圧縮応力	23		○	
			曲げ応力	44		○	
			せん断応力	41		○	
			組合せ応力	98		○	

表 5-4 許容応力状態  $V_{AS}$  に対する評価結果 ( $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ ) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント ヘッダ	P8	ベントヘッダサポート (上側)	引張応力	30		○	
			圧縮応力	27		○	
			曲げ応力	29		○	
			組合せ応力	59		○	
	P9	ピン (上側)	曲げ応力	47		○	
			せん断応力	17		○	
			支圧応力	69		○	
			組合せ応力	56		○	
	P10	エンドプレート (上側)	引張応力	18		○	
			圧縮応力	16		○	
			曲げ応力	125		○	
			せん断応力	35		○	
			組合せ応力	156		○	

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ダウンカメラ及び ベントヘッダ	P1	ダウンカメラ (一般部)	一次一般膜応力	64	257	○	
			一次膜+一次曲げ応力	64	386	○	
			一次+二次応力	169	473	○	
	P2	ダウンカメラ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	159	386	○	
			一次+二次応力	480	473	×*	
	P3	ベントヘッダ (一般部)	一次一般膜応力	188	257	○	
			一次膜+一次曲げ応力	188	386	○	
			一次+二次応力	380	473	○	
	P4	ベントヘッダ (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	225	386	○	
			一次+二次応力	591	473	×*	

注記\* : P2 及び P4 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント ヘッダ	P5	ベントヘッダサポート (下側)	引張応力	59		○	
			圧縮応力	63		○	
			曲げ応力	16		○	
			組合せ応力	79		○	
	P6	ピン (下側)	曲げ応力	98		○	
			せん断応力	35		○	
			支圧応力	144		○	
			組合せ応力	116		○	
	P7	エンドプレート (下側)	引張応力	40		○	
			圧縮応力	42		○	
			曲げ応力	74		○	
			せん断応力	73		○	
			組合せ応力	172		○	

表 5-5 許容応力状態  $V_{AS}$  に対する評価結果 ( $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ ) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント ヘッド	P8	ベントヘッドサポート (上側)	引張応力	54		○	
			圧縮応力	51		○	
			曲げ応力	44		○	
			組合せ応力	98		○	
	P9	ピン (上側)	曲げ応力	83		○	
			せん断応力	30		○	
			支圧応力	123		○	
			組合せ応力	98		○	
	P10	エンドプレート (上側)	引張応力	32		○	
			圧縮応力	30		○	
			曲げ応力	191		○	
			せん断応力	61		○	
			組合せ応力	247		○	

表 5-6 許容応力状態 V<sub>AS</sub> に対する疲労評価結果

応力評価点	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P2	[Redacted]						340	0.311
P4							340	0.547

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に ([Redacted]/E) を乗じた値である。

E = [Redacted] MPa

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
添付書類「IV-3-1-3-5 ダウンカマの強度計算書」
- (2) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
添付書類「IV-3-1-3-4 ベントヘッドの強度計算書」

VI-2-9-4-2 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	12
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	28
4.6 計算方法	37
4.6.1 応力評価点	37
4.6.2 応力計算方法	38
4.7 計算条件	38
4.8 応力の評価	38
5. 評価結果	39
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	39
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	43
6. 参照図書	47

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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。

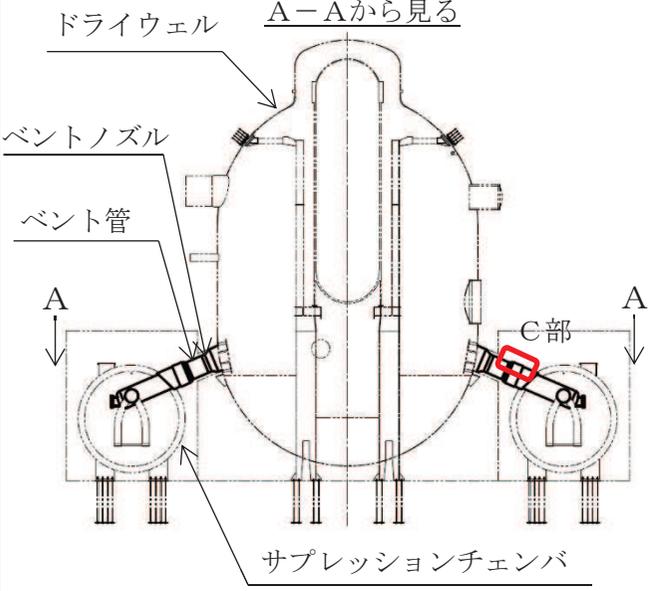
なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるベント管の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

## 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、ベントノズルを介してドライウェルに支持され、ベントヘッド及びダウンコマを支持する。</p> <p>鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。</p> <p>ベント管は、サプレッションチェンバとベント管のベローズを介して接続されているが、ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による揺れは、ドライウェルからベント管に入力される。</p>	<p>ベント管は、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm 及び <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物である。</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
		 <p>ドライウェル</p> <p>ベントノズル</p> <p>ベント管</p> <p>A-Aから見る</p> <p>サプレッションチェンバ</p> <p>C部</p>	<p>B部詳細</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p>C部詳細</p>
			(単位：mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

ベント管の応力評価は、添付書類「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を実施する。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。

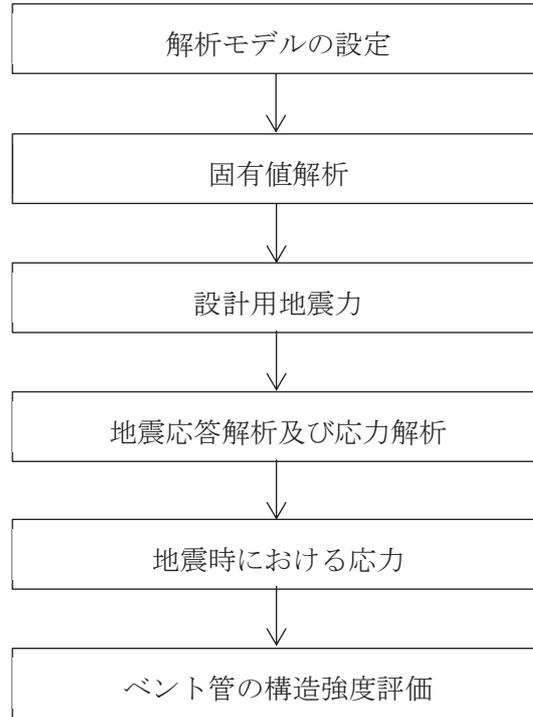


図 2-1 ベント管の耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
$K_e$	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
$M$	機械的荷重	—
$M_L$	地震と組み合わせる機械的荷重	—
$M_{SAL}$	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
$M_{SALL}$	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
$N_a$	地震時の許容繰返し回数	—
$N_c$	地震時の実際の繰返し回数	—
$P$	圧力	—
$P_L$	地震と組み合わせる圧力	—
$P_{SAL}$	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
$P_{SALL}$	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
$S$	許容引張応力	MPa
$S_d$	弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力	—
$S_d^*$	弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
$S_\ell$	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_{\ell'}$	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_n$	地震動による応力振幅	MPa
$S_p$	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	—
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40℃における設計降伏点	MPa
$t_i$	厚さ ( $i = 1, 2, 3$ )	mm
$T$	温度	℃
$T_{SAL}$	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	℃
$T_{SALL}$	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	℃
$\nu$	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
温度	℃	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
許容応力 <sup>*2</sup>	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
長さ	mm	—	—	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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
質量	kg	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁

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

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

3. 評価部位

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 ベント管  | ② ベントヘッド  |
| ③ 真空破壊装置スリーブ  | ④ 補強リブ  |
| $D_1 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> | $D_2 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> |
| $t_1 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> | $t_2 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> |
|   | $D_3 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> |
|   | $t_3 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> |

(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
ベント管	SGV480
真空破壊装置スリーブ	

#### 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、ベントノズルを介してドライウエルに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。

ベント管に作用する地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」から求められる水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき、スペクトルモーダル解析を用いて算出する。ベント管の耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。

(2) 構造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、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容応力

ベント管の許容応力は、添付書類「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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ <sup>*1</sup>		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MC容器	D + P + M + S <sub>d</sub> <sup>*</sup>	(9) (10) <sup>*2</sup> (13) (15)	Ⅲ <sub>A</sub> S
						D + P + M + S <sub>s</sub>	(11) (12) <sup>*2</sup> (14)
					D + P <sub>L</sub> + M <sub>L</sub> + S <sub>d</sub> <sup>*</sup>	(16) <sup>*3</sup>	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*1：（ ）内は添付書類「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3-6の荷重の組合せのNo.を示す。

\*2：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、ベント管に作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

\*3：冷却材喪失事故後の最大内圧を考慮する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 <sup>*1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ <sup>*2</sup>		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容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ <sup>*3</sup>	(V(L)-1)	$V_{AS}$ <sup>*4</sup>
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	$V_{AS}$ <sup>*4</sup>

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：（ ）内は添付書類「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 3-7 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最高温度との組合せを考慮する。

\*4： $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器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 <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、ASS及びHNAについては、1.2・Sとする。	左欄のα倍の値 <sup>*4</sup>		
IV <sub>A</sub> S	構造上の連続な部分は0.6・S <sub>u</sub> 、不連続な部分はS <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、ASS及びHNAについては、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S <sub>u</sub> の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄のα倍の値 <sup>*4</sup>	3・S <sup>*1</sup> S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*2, *3 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
V <sub>A</sub> S <sup>*5</sup>				

注記\*1：3・Sを超えるとき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。また、S<sub>m</sub>はSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

\*2：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S<sub>d</sub>又はS<sub>s</sub>地震動による応力の全振幅」と読み替える。

\*3：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

\*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ベント管	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ベント管	SGV480	周囲環境 温度	178 <sup>*1</sup>	131	228	422	—
		周囲環境 温度	111 <sup>*2</sup>	131	236	429	—

注記\*1 : SA 後長期 (L) のドライウエル温度を考慮する。

\*2 : SA 後長期 (LL) のドライウエル温度を考慮する。

## 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，最高使用圧力及び最高使用温度は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

## a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

## b. 死荷重

ベント管，ベントヘッド，ダウンカメラ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とする。

死荷重  kg

## c. ベント管ベローズ反力

ベント管ベローズ反力は微少なため無視する。

## d. 冷却材喪失事故時荷重

## (a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

サプレッションチェンバ内のベント管内圧	157kPa
サプレッションチェンバ外のベント管内圧	324kPa

## e. サプレッションチェンバ水位

水位 O.P. -3800mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故対処設備としての評価圧力及び温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、以下のとおりとする。

内圧 $P_{SAL}$	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 $P_{SALL}$	427kPa (SA 後長期 (LL))
内圧 (差圧) $P_{SAL}$	35kPa (SA 後長期 (L))
内圧 (差圧) $P_{SALL}$	35kPa (SA 後長期 (LL))
温度 $T_{SAL}$	178°C (SA 後長期 (L))
温度 $T_{SALL}$	111°C (SA 後長期 (LL))

b. 死荷重

ベント管、ベントヘッド、ダウンコマ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とし、設計基準対象施設としての荷重と同じであるため、「4.2.4 設計荷重」の(1)に示すとおりである。

c. ベント管ベローズ反力

ベント管ベローズ反力は微少なため無視する。

d. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備におけるサプレッションチェンバ水位は、以下のとおりとする。

水位	O.P.	-1514mm
----	------	---------

#### 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、ベントヘッド及びダウンカマ質量並びにサブプレッションチェンバ内部水の影響を考慮して固有値解析及び地震応答解析（スペクトルモーダル解析）を実施する。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ベント管、ベントヘッド及びダウンカマは、その径に対して板厚が比較的薄く、また、各機器の挙動が相互に影響し合うことを考慮し、各部位の発生応力を詳細にみるため、ベント系全体をシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。また、各所の補強部材のうち、ベント管ガセット、ベントヘッドリング及びダウンカマリング等の板材はシェル要素によりモデル化し、筋交い、下部支持サポート及びベントヘッドサポート等の棒材は、はり要素によりモデル化する。解析モデルを図 4-1 に、機器の諸元を表 4-6 に示す。
- b. 拘束条件は、ベントヘッドサポートとサブプレッションチェンバ強め輪の結合部の   
 なお、ベントヘッドサポートとサブプレッションチェンバ強め輪は  また、ベント管とドライウエルの結合部の   
 各結合部のばね定数は、結合部の形状に応じて算出する。算出したばね定数を表 4-7 及び表 4-8 に示す。
- c. サプレッションチェンバ内部水の影響を考慮するため、ダウンカマの内包する水の質量及び水中振動に伴い各部に作用する付加質量を没水部範囲に付加する。水中振動に伴い各部に作用する付加質量は、没水する各部の形状を考慮して算出する。なお、ベント系に蒸気が流入した際、ダウンカマ水位は低下するものの、水位低下を考慮せず、保守的にサブプレッションチェンバの水位をダウンカマ内水位として設定する。
- d. 解析コードは「ANSYS」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての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、ベントヘッド及びダウンカマ質量並びにサブプレッションチェンバ内部水の影響を考慮して固有値解析及び地震応答解析（スペクトルモーダル解析）を実施する。重大事故等時の解析モデルは、設計基準対象施設と同じとする。機器の諸元を表 4-6 に示す。

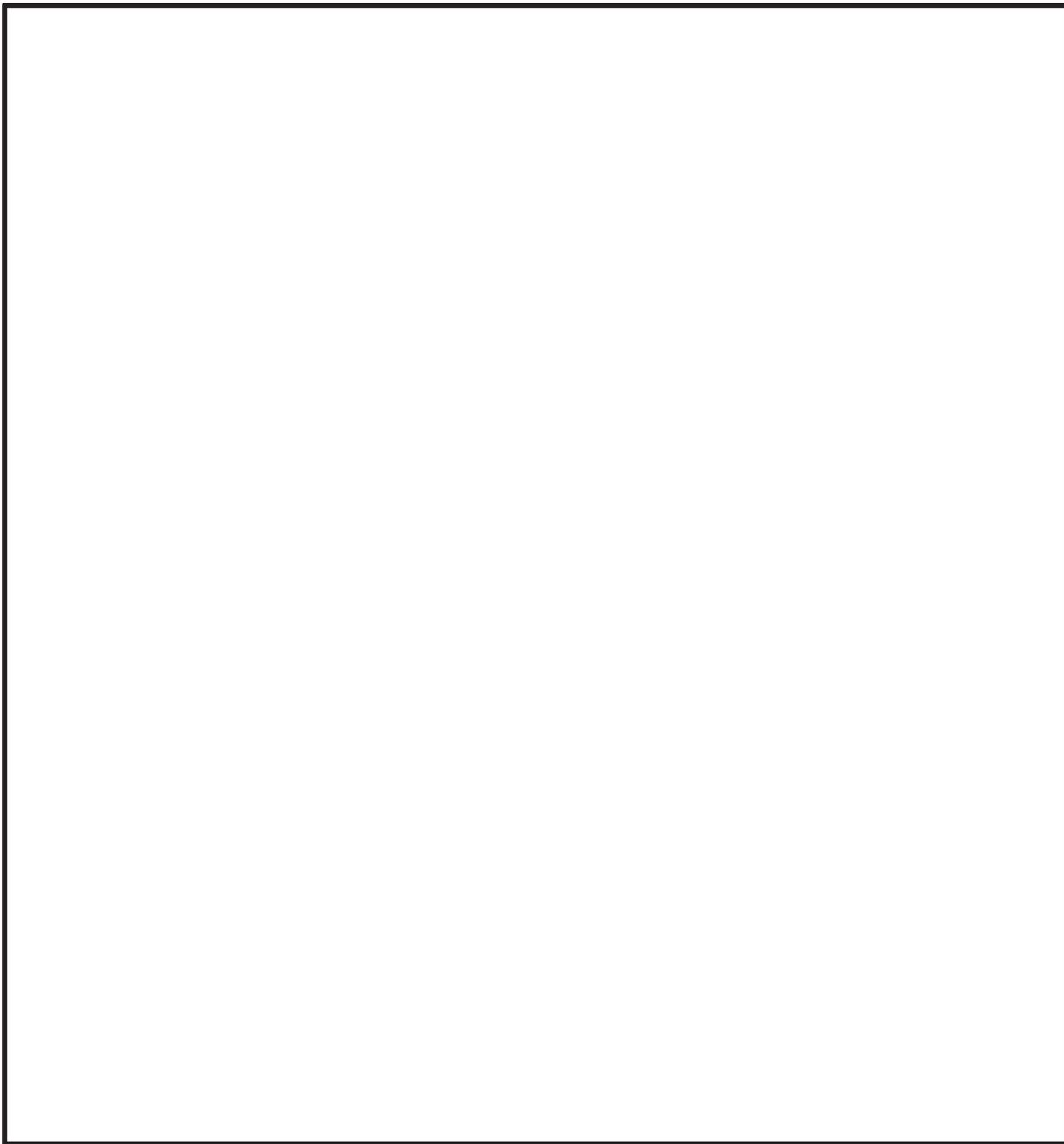


図 4-1 解析モデル

表 4-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値	
			設計基準対象施設	重大事故等対処設備
材質	—	—	SGV480	
機器質量 <sup>*1</sup>	—	kg		
水密度	—	ton/m <sup>3</sup>		
水位 <sup>*2</sup>	—	mm	O. P. -3800	O. P. -1514
温度条件 <sup>*3</sup>	T	℃		
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	$\nu$	—		
要素数	—	—		
節点数	—	—		

注記\*1：解析モデルでは質量密度として考慮する。

\*2：サプレッションチェンバ水位を示す。

\*3：ドライウェルの通常運転時温度と評価温度の平均値を示す。

表 4-7 結合部のばね定数 (ベントノズル)

	半径 (R) 方向 並進ばね定数 (N/mm)	周 ( $\theta$ ) 方向周り 回転ばね定数 (N・mm/rad)	鉛直 (Z) 方向周り 回転ばね定数 (N・mm/rad)
設計基準対象施設			
重大事故等対処設備			

表 4-8 結合部のばね定数 (ベントヘッドサポート)

	位置	各軸方向並進ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)	
		R	Z	$\theta$	R	Z
設計基準 対象施設	下部内側					
	下部外側					
	上部内側					
	上部外側					
重大事故等 対処設備	下部内側					
	下部外側					
	上部内側					
	上部外側					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

##### (1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設の固有周期は、「4.2.4 評価荷重」に示す最高使用温度及びサブプレッションチェンバ内部水の影響を考慮し、図 4-1 に示す解析モデルにより算出する。固有周期を表 4-9 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-2 にそれぞれ示す。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 4-9 固有周期 (設計基準対象施設) (その 1)

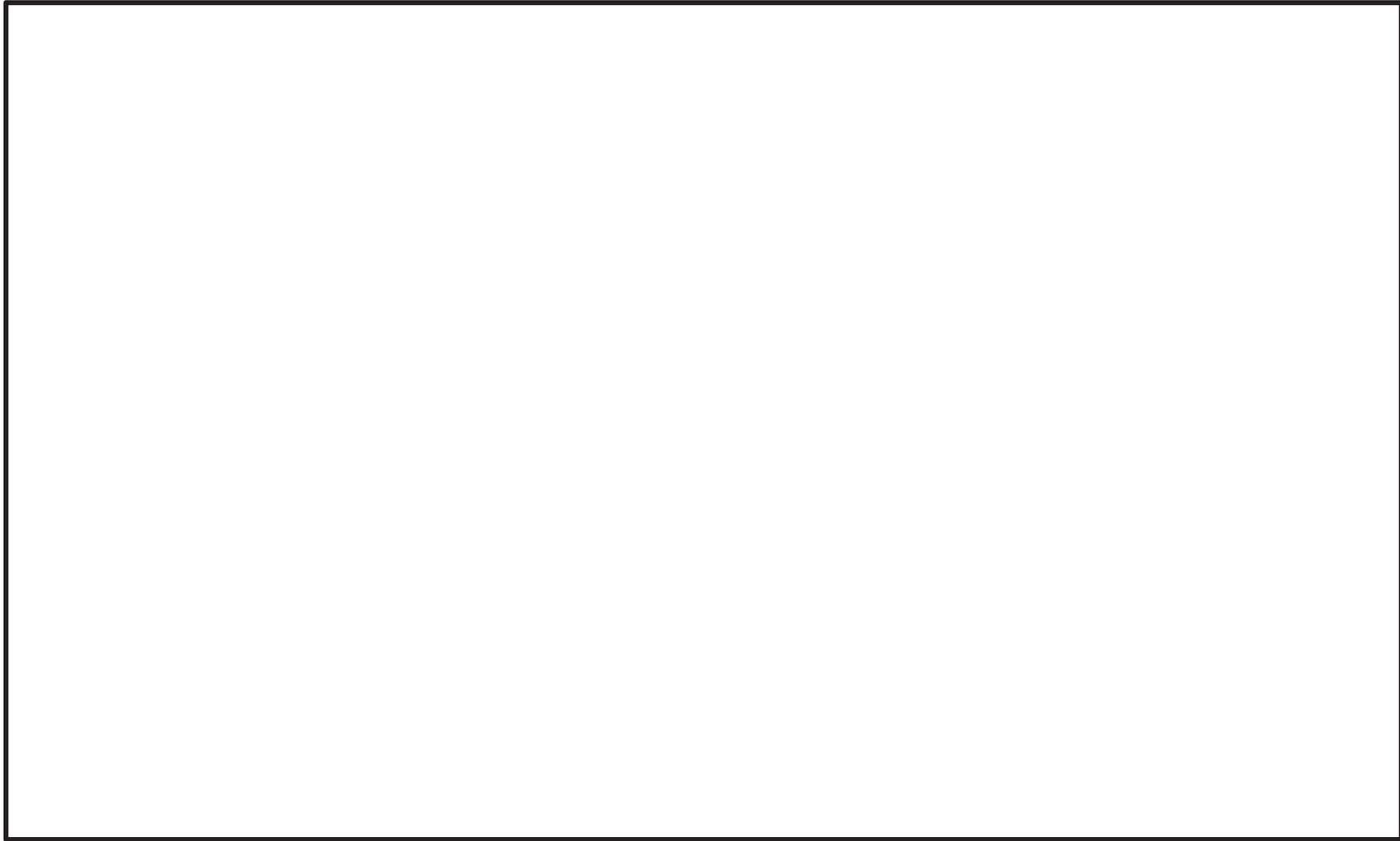
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
9次				
13次				
14次				
17次				
18次				
21次				
29次				
30次				
31次				
32次				
39次				
40次				
45次				
46次				
53次				
54次				
55次				
62次				
63次				
64次				
70次				
71次				

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。刺激係数が全方向 0 のものは記載を省略する。

表 4-9 固有周期 (設計基準対象施設) (その 2)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
72 次				
78 次				
79 次				
80 次				
81 次				
82 次				
83 次				
85 次				
86 次				
87 次				
88 次				
89 次				
90 次				
97 次				
98 次				
99 次				
100 次				
101 次				
102 次				
115 次				
116 次				
117 次				
118 次				
119 次				
120 次				
131 次				
132 次				
133 次				
136 次				

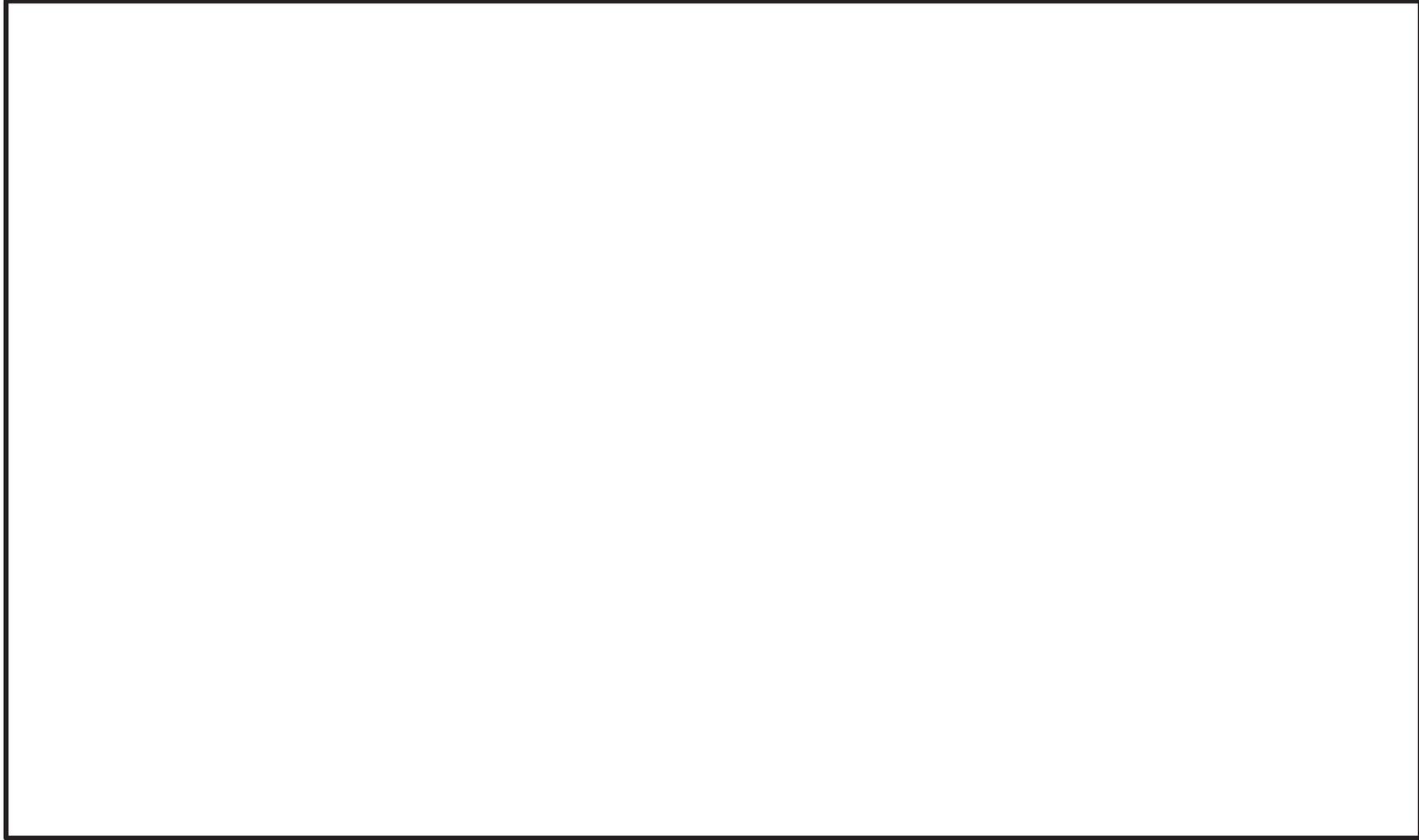
注記\* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。刺激係数が全方向 0 のものは記載を省略する。



1次モード

図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）（その 1）

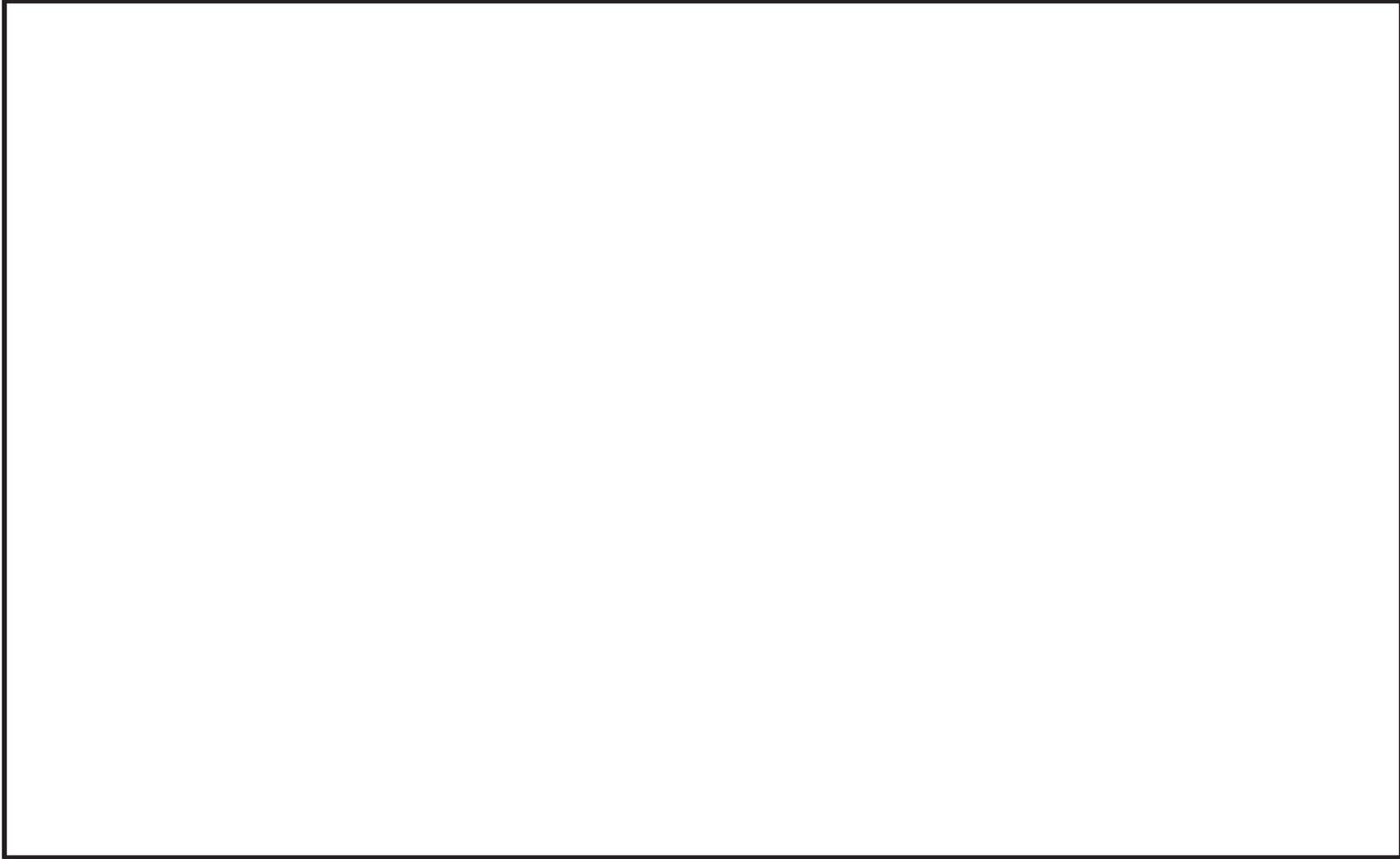
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2次モード

図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）（その 2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



3次モード

図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）（その 3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(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の固有周期は、「4.2.4 評価荷重」に示す評価温度及びサプレッションチェンバ内部水の影響を考慮し、図 4-1 に示す解析モデルにより算出する。固有周期を表 4-10 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-3 にそれぞれ示す。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 4-10 固有周期（重大事故等対処設備）（その 1）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
9 次				
13 次				
14 次				
17 次				
18 次				
21 次				
22 次				
29 次				
30 次				
31 次				
32 次				
33 次				
34 次				
41 次				
42 次				
49 次				
50 次				
53 次				
62 次				
63 次				
64 次				
65 次				

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。刺激係数が全方向 0 のものは記載を省略する。

表 4-10 固有周期（重大事故等対処設備）（その 2）

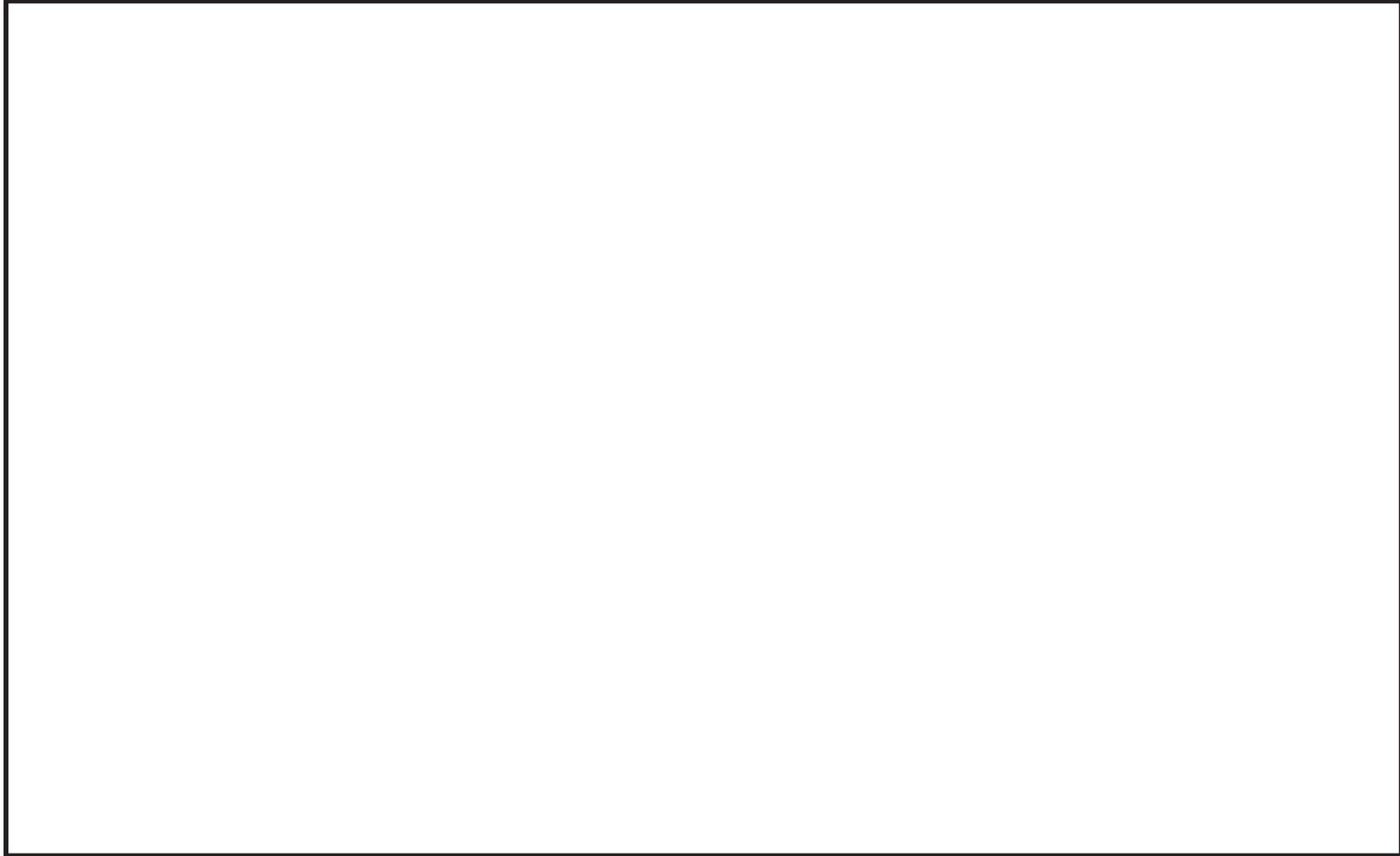
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
66 次				
72 次				
73 次				
74 次				
80 次				
81 次				
82 次				
83 次				
85 次				
86 次				
87 次				
88 次				
97 次				
98 次				
99 次				
102 次				
103 次				
104 次				
115 次				
116 次				
117 次				
120 次				
122 次				
123 次				
131 次				
132 次				
133 次				
137 次				
138 次				
139 次				

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。刺激係数が全方向 0 のものは記載を省略する。

表 4-10 固有周期（重大事故等対処設備）（その 3）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
145 次				
146 次				
147 次				
148 次				
149 次				

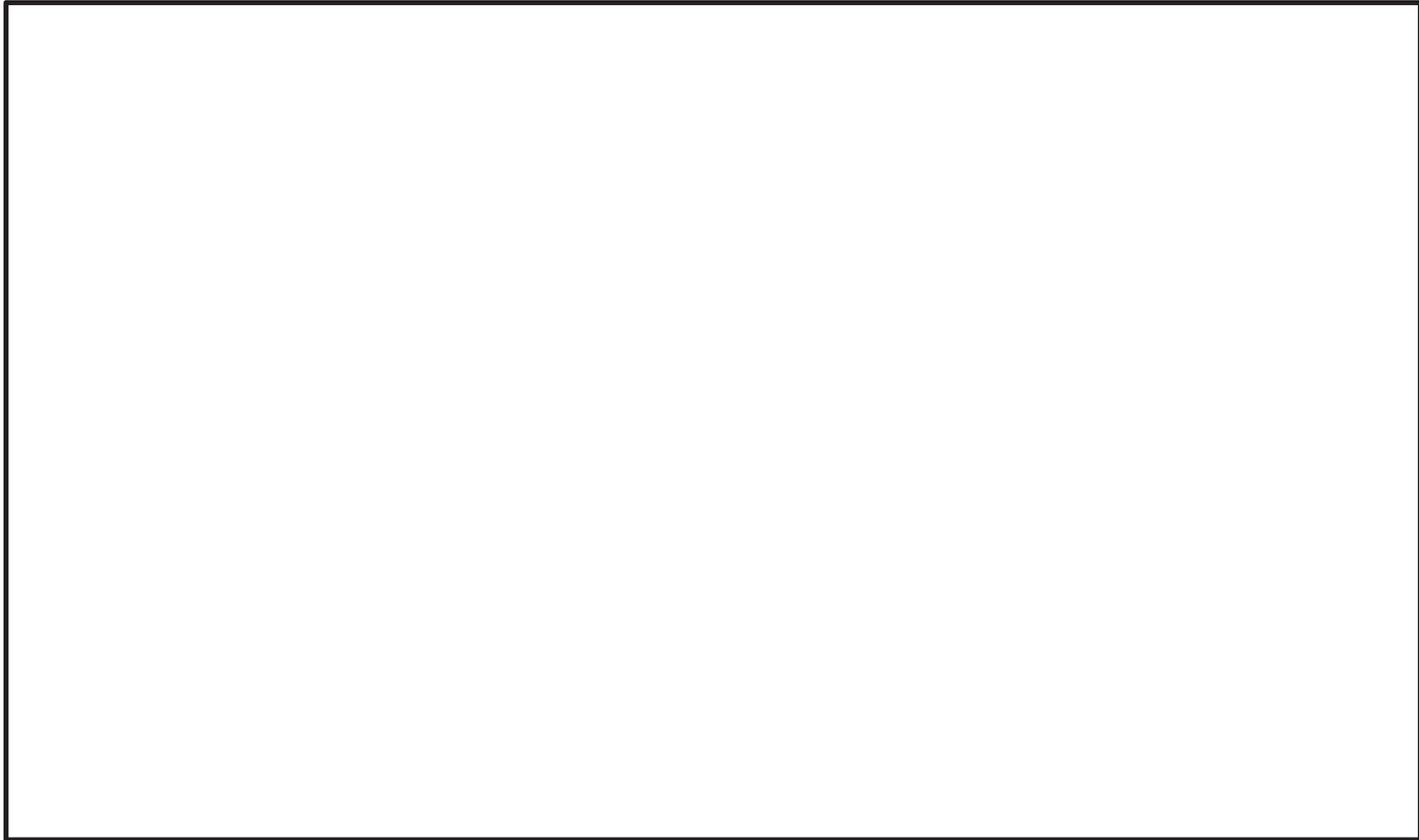
注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。刺激係数が全方向 0 のものは記載を省略する。



1次モード

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）（その 1）

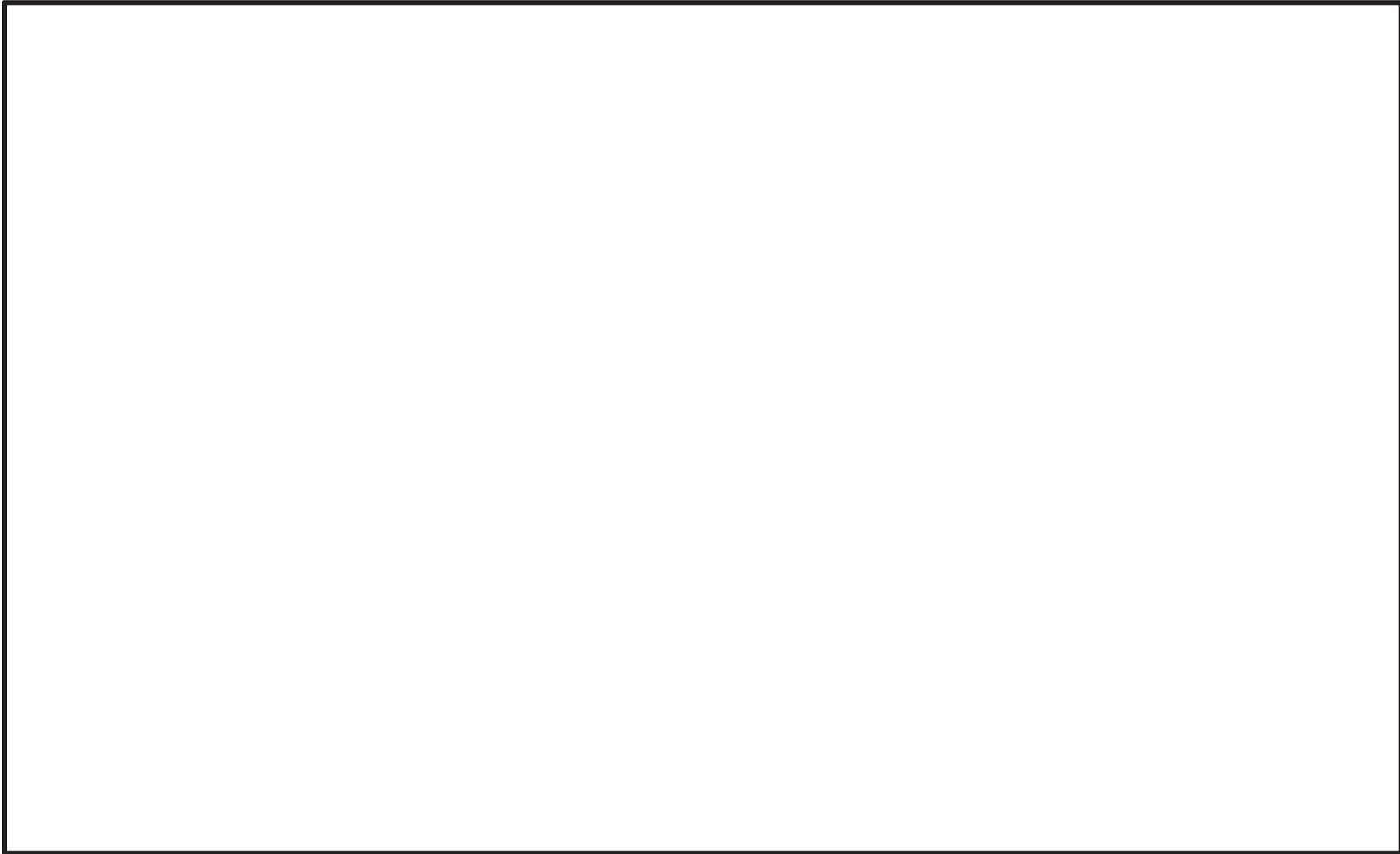
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2次モード

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）（その 2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



3次モード

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）（その 3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-11 及び表 4-12 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、添付書類「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、減衰定数は添付書類「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 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 1）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.293						
2次	0.145						
3次	0.145						
9次	0.113						
13次	0.086						
14次	0.086						
17次	0.079						
18次	0.079						
21次	0.079						
29次	0.079						
30次	0.079						
31次	0.079						
32次	0.079						
39次	0.079						
40次	0.079						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0.P.2.60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 2）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
45次	0.078						
46次	0.078						
53次	0.074						
54次	0.074						
55次	0.074						
62次	0.074						
63次	0.074						
64次	0.074						
70次	0.074						
71次	0.074						
72次	0.074						
78次	0.073						
79次	0.073						
80次	0.073						
81次	0.070						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0.P.2.60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 3）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
82次	0.070						
83次	0.068						
85次	0.064						
86次	0.064						
87次	0.064						
88次	0.064						
89次	0.064						
90次	0.064						
97次	0.064						
98次	0.064						
99次	0.064						
100次	0.063						
101次	0.063						
102次	0.063						
115次	0.061						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0.P.2.60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 4）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
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		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
116次	0.061						
117次	0.060						
118次	0.058						
119次	0.058						
120次	0.058						
131次	0.054						
132次	0.054						
133次	0.053						
136次 <sup>*4</sup>	0.049	—	—	—	—	—	—
動的地震力 <sup>*5</sup>		0.49	0.49	0.37	1.13	1.13	0.63
静的地震力 <sup>*6</sup>		0.57	0.57	0.24	—	—	—

注記\*1：ドライウエルと取合うドライウエルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0. P. 2. 60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッダ及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

\*4：135次までは固有周期が0.050sより長いモード，136次は固有周期0.050s以下のモー  
ドを示す。

\*5：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。

\*6：静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 1）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.364						
2次	0.173						
3次	0.173						
9次	0.125						
13次	0.098						
14次	0.098						
17次	0.086						
18次	0.086						
21次	0.086						
22次	0.086						
29次	0.085						
30次	0.085						
31次	0.085						
32次	0.085						
33次	0.085						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0.P.2.60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 2）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
34次	0.085						
41次	0.085						
42次	0.085						
49次	0.081						
50次	0.081						
53次	0.080						
62次	0.080						
63次	0.080						
64次	0.080						
65次	0.080						
66次	0.080						
72次	0.080						
73次	0.080						
74次	0.080						
80次	0.079						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 3）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 <sup>*2</sup> 鉛直 : 1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
81次	0.079						
82次	0.079						
83次	0.079						
85次	0.074						
86次	0.074						
87次	0.074						
88次	0.074						
97次	0.074						
98次	0.074						
99次	0.074						
102次	0.072						
103次	0.072						
104次	0.072						
115次	0.070						
116次	0.070						

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器  
0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類  
「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 4）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 <sup>*1</sup>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 <sup>*2</sup> 鉛直：1.0 <sup>*2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
117次	0.070						
120次	0.067						
122次	0.067						
123次	0.067						
131次	0.064						
132次	0.064						
133次	0.063						
137次	0.058						
138次	0.057						
139次	0.057						
145次	0.052						
146次	0.051						
147次	0.051						
148次	0.050						
149次 <sup>*4</sup>	0.049	—	—	—	—	—	—
動的地震力 <sup>*5</sup>		0.49	0.49	0.37	1.13	1.13	0.63

注記\*1：ドライウェルと取合うドライウェルベント開口部が設置される原子炉格納容器

0.P.2.60mの床応答スペクトルを適用する。

\*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，添付書類

「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

\*4：148次までは固有周期が0.050sより長いモード，149次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

\*5：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。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力評価点

ベント管の応力評価点を表 4-13 及び図 4-4 に示す。各応力評価点の応力は、図 4-1 に示す解析モデルを用いて計算する。

表 4-13 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ベント管（一般部）
P2 <sup>*</sup>	ベント管（一般部以外）
P3	真空破壊装置スリーブ

注記\*：既工認の応力評価点 P1～P10 を包絡する。ベント管頂部，ベント管底部，ベント管 T 継手部，ベント管とベントヘッドの接続部，ベント管と真空破壊装置の接続部及びベント管と補強リブの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

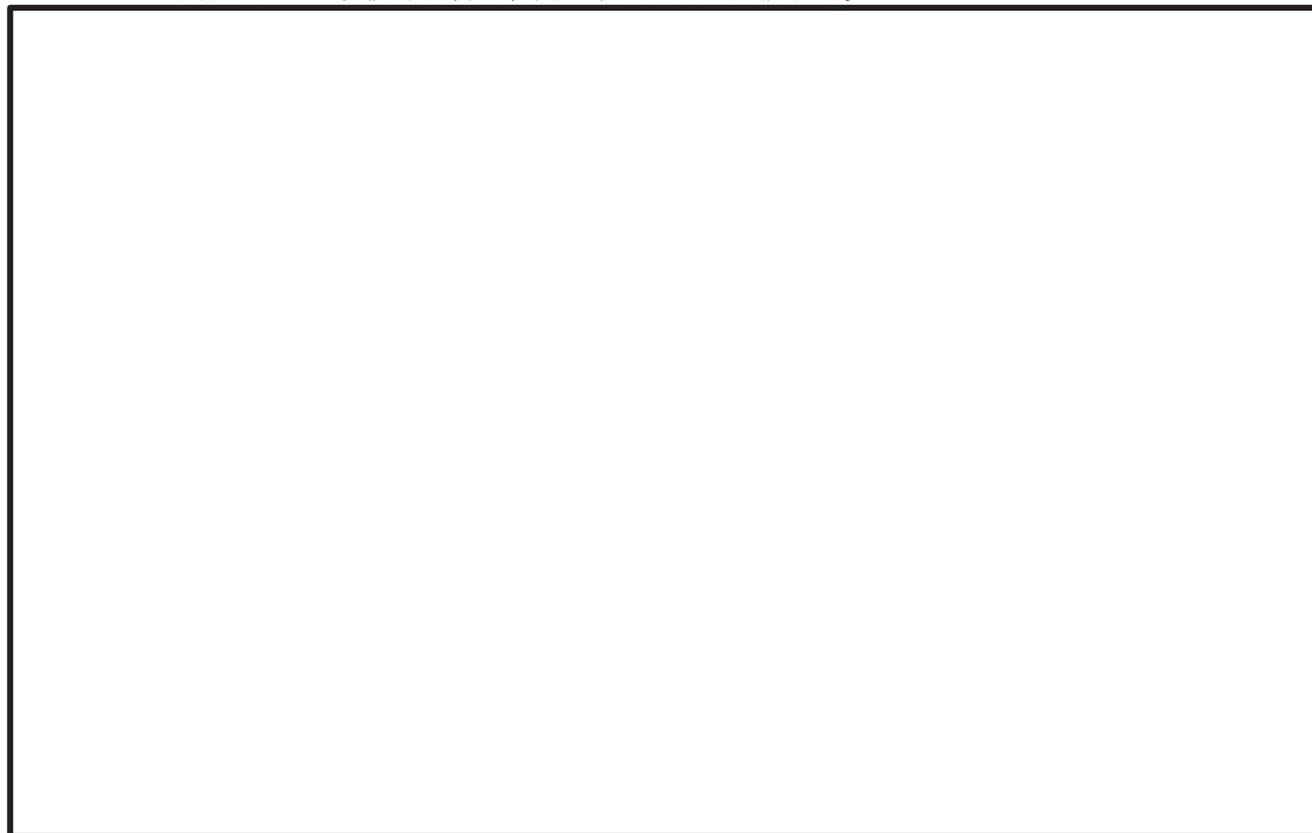


図 4-4 ベント管の応力評価点

#### 4.6.2 応力計算方法

ベント管の応力計算方法について以下に示す。

##### (1) 設計基準対象施設としての応力計算

設計基準対象施設としての応力は、応力評価点 P1～P3 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより算出する。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力は、応力評価点 P1～P3 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより算出する。

#### 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」で求めた各応力が、表 4-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 $S_m$ はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表5-1から表5-3に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P + M + S d<sup>\*</sup>)

評価対象 設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次一般膜応力	76	229	○	(9)	
			一次膜+一次曲げ応力	76	344	○	(9)	
			一次+二次応力	158	393	○	(9)	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	117	344	○	(9)	
			一次+二次応力	251	393	○	(9)	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜+一次曲げ応力	44	344	○	(9)	
一次+二次応力			186	393	○	(9)		

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

評価対象 設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次一般膜応力	111	253	○	(11)	
			一次膜+一次曲げ応力	111	380	○	(11)	
			一次+二次応力	233	393	○	(11)	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	172	380	○	(11)	
			一次+二次応力	371	393	○	(11)	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜+一次曲げ応力	64	380	○	(11)	
一次+二次応力			275	393	○	(11)		

表 5-3 許容応力状態IV<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>L</sub> + M<sub>L</sub> + S d<sup>\*</sup>)

評価対象 設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次一般膜応力	92	253	○	(16)	
			一次膜+一次曲げ応力	92	380	○	(16)	
			一次+二次応力	158	393	○	(16)	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	127	380	○	(16)	
			一次+二次応力	251	393	○	(16)	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜+一次曲げ応力	55	380	○	(16)	
一次+二次応力			186	393	○	(16)		

## 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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

### (2) 疲労評価結果

表 5-5 の応力評価点 P2 の一次+二次応力が許容値である  $3 \cdot S$  を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 5-6 に示す。

表 5-4 許容応力状態  $V_{AS}$  に対する評価結果 ( $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ )

評価対象 設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次一般膜応力	66	253	○	
			一次膜+一次曲げ応力	66	380	○	
			一次+二次応力	124	393	○	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	144	380	○	
			一次+二次応力	194	393	○	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜+一次曲げ応力	35	380	○	
			一次+二次応力	144	393	○	

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

評価対象 設備	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ベント管	P1	ベント管 (一般部)	一次一般膜応力	128	257	○	
			一次膜+一次曲げ応力	128	386	○	
			一次+二次応力	265	393	○	
	P2	ベント管 (一般部以外)	一次膜+一次曲げ応力	193	386	○	
			一次+二次応力	417	393	×*	
	P3	真空破壊装置スリーブ	一次膜+一次曲げ応力	72	386	○	
一次+二次応力			309	393	○		

注記\* : P2 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 V<sub>A</sub>S に対する疲労評価結果

応力評価点	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> ' * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P2							340	0.483

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

E =  MPa

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
添付書類「IV-3-1-1-14 ベント管の強度計算書」

VI-2-9-4-3 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-3-1 原子炉格納容器スプレイ冷却系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-3-2 原子炉格納容器下部注水系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-3-3 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-3-4 代替循環冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-3-1 原子炉格納容器スプレイ冷却系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-3-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器スプレイ冷却系）

VI-2-9-4-3-1-1 管の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器スプレイ冷却系)

## 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	12
4.3	解析モデル及び諸元	13
4.4	固有周期	17
4.5	設計用地震力	21
4.6	計算方法	25
4.7	計算条件	27
4.8	応力の評価	27
5.	評価結果	28
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	33
6.	参照図書	36

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウェルスプレイ管及びサブプレッションチェンバスプレイ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。

ドライウェルスプレイ管及びサブプレッションチェンバスプレイ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。

本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバスプレイ管の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類 (6. 参照図書(1)) による (以下「既工認」という。)

なお、ドライウェルスプレイ管はドライウェル及びスプレイ管サポートと一体の構造であり、ドライウェルスプレイ管の設計用地震力に対する評価はジェット荷重に対する評価に包絡されることから既工認同様、評価は省略するものとする。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

サブプレッションチェンバスプレイ管の構造計画を表 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>サブプレッションチェンバ スプレイ管の配管サポ ートは、サブプレッショ ンチェンバ強め輪に支持され る。 スプレイ管案内管はサブ プレッションチェンバ貫通 部に支持される。 鉛直方向荷重及び水平方 向荷重は、サブプレッショ ンチェンバ及びボックス サポートを介して原子炉 建屋に伝達させる。</p>	<p>サブプレッションチェン バスプレイ管及びビスプ レイ管案内管は、外径 114.3 mm 及び板厚 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;"> </span> mm の鋼製パイプを直 径 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;"> </span>mm の円環状に 接合した構造物であ る。</p>	<p>スプレイ管案内管</p> <p>原子炉格納容器内側</p> <p>C~C断面</p> <p>サブプレッ ション チェンバ スプレイ管</p> <p>B部詳細図</p> <p>ドライウェル</p> <p>AAから見る</p> <p>配管サポート詳細図</p> <p>サブプレッションチェンバ (単位: mm)</p>

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

サブプレッションチェンバスプレイ管の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计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おいて、「4.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく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。

サブプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

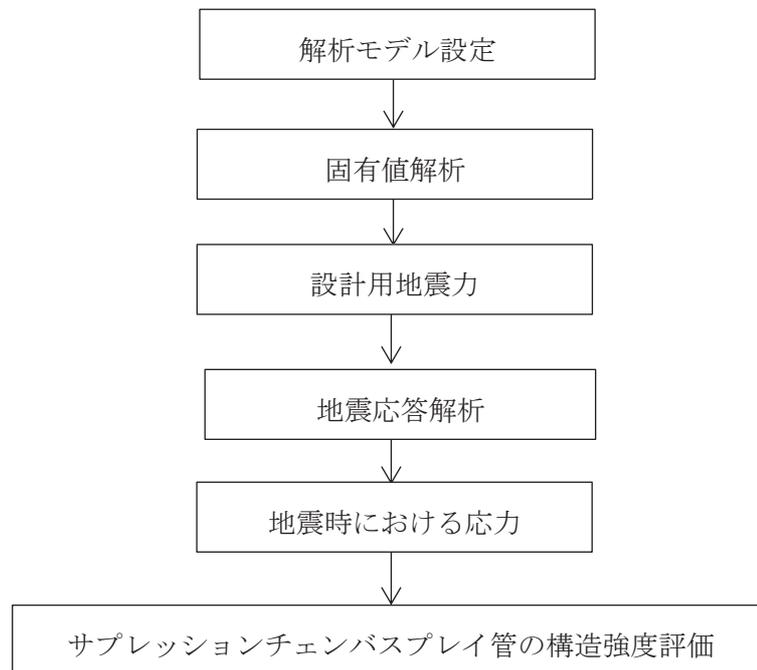


図 2-1 サブプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フロー

## 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>i</sub>	水平方向設計震度（静的震度）	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重，直径	—， mm
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力	MPa
f <sub>p</sub>	許容支圧応力	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	許容引張応力	MPa
F <sub>x</sub>	管軸方向の反力	kN
F <sub>y</sub>	管軸直角方向の反力	kN
F <sub>z</sub>	鉛直方向の反力	kN
M <sub>D</sub>	機械的荷重	—
M <sub>SAD</sub>	機械的荷重（SA時）	—
M <sub>x</sub>	管軸回りのモーメント	kN・m
M <sub>y</sub>	管軸直角回りのモーメント	kN・m
M <sub>z</sub>	鉛直軸回りのモーメント	kN・m
P <sub>D</sub>	圧力	—
P <sub>SAD</sub>	圧力（SA時）	—
S <sub>h</sub>	許容引張応力	MPa
S <sub>d</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> により定まる地震力	—
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 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 <sub>m</sub>	設計応力強さ	MPa
S <sub>s</sub>	基準地震動S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>u</sub>	設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa
t	厚さ	mm
τ	せん断応力	MPa

## 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。

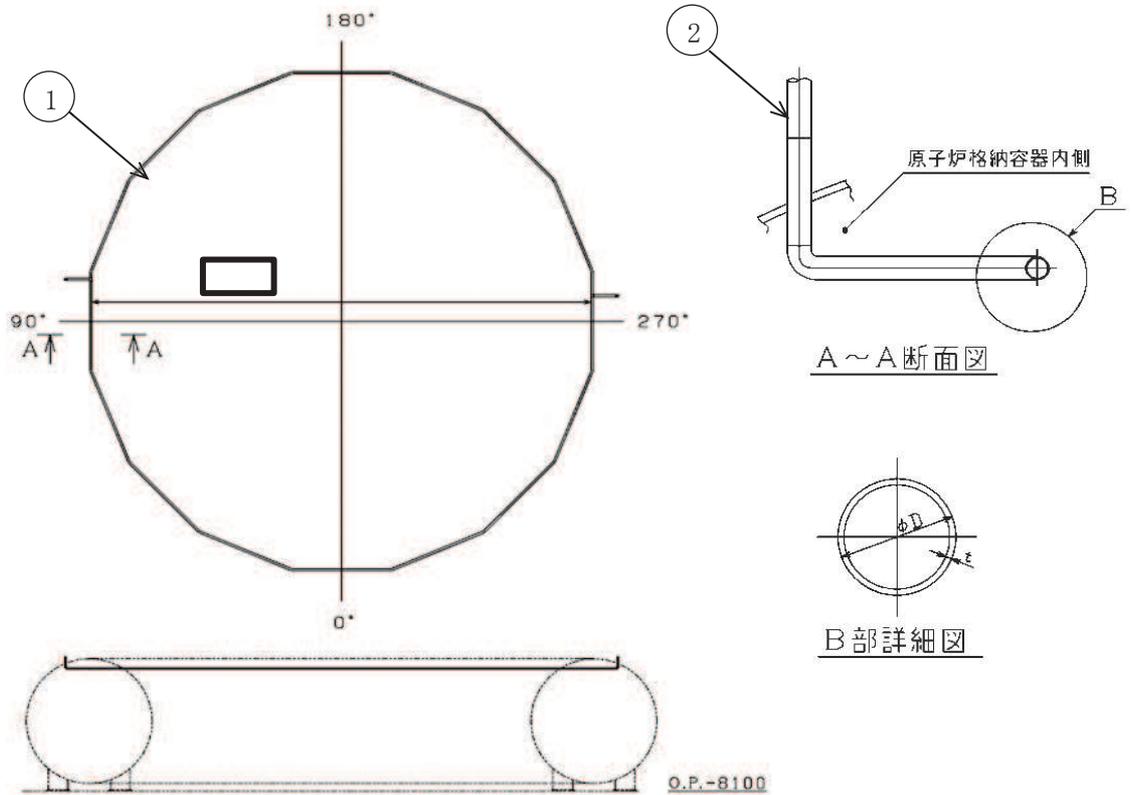
表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
温度	℃	—	—	整数位
許容応力	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
長さ	mm	—	—	小数点以下第1位

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

3. 評価部位

サプレッションチェンバスプレイ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 サプレッションチェンバスプレイ管      ② スプレイ管案内管

D = 114.3      t =

(単位：mm)

図 3-1 サプレッションチェンバスプレイ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
サプレッションチェンバスプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS410
レストレイント	SS400

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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) サプレッションチェンバスプレイ管に作用する地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」から求められる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。サプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に示す計算方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

サプレッションチェンバスプレイ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

サプレッションチェンバスプレイ管の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 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

サプレッションチェンバスプレイ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 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 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		設備名称	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	サプレッション チェンバスプレイ管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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*	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	サプレッション チェンバスプレイ管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容限界 を用いる。)

注記\*：「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。

表4-3 許容応力（クラス2管及び重大事故等クラス2管）

許容応力状態	許容限界* <sup>1</sup>		
	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 <sub>AS</sub>	$S_y$ 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、 $1.2 \cdot S$ としてもよい。	$S_d$ 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。	*2
Ⅳ <sub>AS</sub>	$0.9 \cdot S_u$		
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてⅣ <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

注記\*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*2： $2 \cdot S_y$ 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。)

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)									
	一次応力					一次+二次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
Ⅲ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ <sup>*3</sup>	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
Ⅳ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[ \begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみ} \\ \text{による応力範囲について} \\ \text{評価する} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$	
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてⅣ <sub>AS</sub> の許容限界を用いる)										

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*3：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
		最高使用 温度					
サプレッションチェンバ スプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS410	最高使用 温度	104	—	219	404	—
レストレイント	SS400	周囲環境 温度	104	—	192	373	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
		最高使用 温度					
サプレッションチェンバ スプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS410	最高使用 温度	200	—	207	404	—
レストレイント	SS400	周囲環境 温度	200	—	170	373	—

#### 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，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

##### a. 最高使用圧力及び最高使用温度

最高使用圧力	3.73MPa
最高使用温度	104℃

##### b. 死荷重

管内保有水及びノズルを含めた自重を死荷重とする。

死荷重  kg/m

##### (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評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。死荷重は，設計基準対象施設と同じとする。

評価圧力	3.73MPa
評価温度	200℃

注：評価圧力はサプレッションチェンバスペイ管の最高使用圧力（3.73MPa）を使用し，評価温度は原子炉格納容器の限界温度（200℃）を使用して評価する。

#### 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、サプレッションチェンバスプレイ管質量及び内部水質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。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. サプレッションチェンバスプレイ管は、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、機器の諸元を表4-7に示す。
- b. サプレッションチェンバスプレイ管及びスプレイ管案内管をモデル化し、固有値解析及び構造強度評価を実施する。

c.



- d. 解析コードは「ISAP」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等時のサプレッションチェンバスプレイ管の解析モデルは、設計基準対象施設と同じとする。機器の諸元を表4-9に示す。

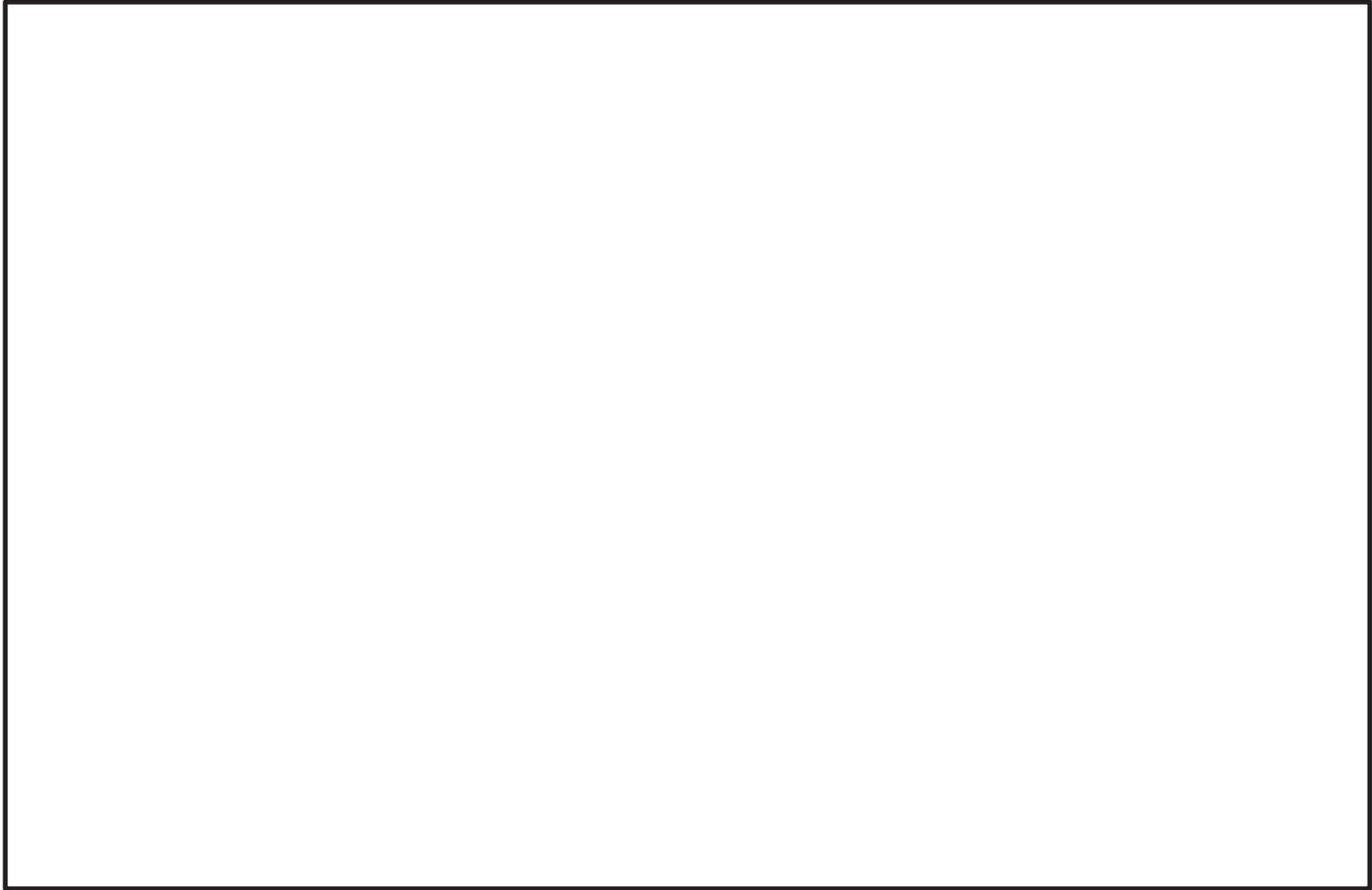


図 4-1 サプレッションチェンバスプレイ管の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7 機器諸元 (設計基準対象施設)

項目		単位	入力値
質量*	サプレッションチェンバースプレイ管	kg/m	
	スプレイ管案内管	kg/m	
温度条件		℃	
縦弾性係数		MPa	
ポアソン比		—	
要素数		—	
節点数		—	

注記\* : サプレッションチェンバースプレイ管には, 管内保有水及びノズルの質量を含む。スプレイ管案内管には, 管内保有水の質量を含む。

表 4-8 拘束方法一覧表

拘束方法	拘束点番号*

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-9 機器諸元（重大事故等対処設備）

項目		単位	入力値
質量*	サプレッションチェンバースプレイ管	kg/m	
	スプレイ管案内管	kg/m	
温度条件		℃	
縦弾性係数		MPa	
ポアソン比		—	
要素数		—	
節点数		—	

注記\*：サプレッションチェンバースプレイ管には，管内保有水及びノズルの質量を含む。スプレイ管案内管には，管内保有水の質量を含む。

#### 4.4 固有周期

設計基準対象施設及び重大事故等対処設備における固有周期を表 4-10 及び表 4-11 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-2 及び図 4-3 にそれぞれ示す。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 4-10 固有周期（設計基準対象施設）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.262	0.279	0.000	0.367
2次	0.260	0.286	0.001	0.363
3次	0.179	0.002	0.508	0.001
4次	0.174	0.003	0.395	0.002
5次	0.161	0.191	0.001	0.332
6次	0.157	0.001	0.043	0.005
7次	0.153	0.301	0.000	0.264
8次	0.152	0.045	0.058	0.082
9次	0.152	0.203	0.014	0.322
10次	0.146	0.063	0.122	0.059
11次	0.146	0.286	0.018	0.266
12次	0.144	0.014	0.150	0.013
13次	0.137	0.004	0.187	0.003
14次	0.136	0.010	0.201	0.007
15次	0.133	0.205	0.003	0.044
16次	0.131	0.132	0.007	0.064
17次	0.115	0.188	0.000	0.058
18次	0.113	0.195	0.004	0.042
19次	0.045	0.007	0.001	0.193

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。

表 4-11 固有周期（重大事故等対処設備）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.267	0.279	0.000	0.367
2次	0.265	0.286	0.001	0.363
3次	0.183	0.002	0.508	0.001
4次	0.177	0.003	0.395	0.002
5次	0.164	0.190	0.001	0.332
6次	0.160	0.001	0.043	0.005
7次	0.156	0.301	0.000	0.263
8次	0.155	0.045	0.058	0.081
9次	0.154	0.204	0.014	0.322
10次	0.148	0.061	0.122	0.057
11次	0.148	0.286	0.017	0.266
12次	0.146	0.014	0.150	0.013
13次	0.139	0.004	0.187	0.003
14次	0.138	0.010	0.201	0.007
15次	0.136	0.205	0.003	0.044
16次	0.133	0.132	0.007	0.064
17次	0.117	0.188	0.000	0.058
18次	0.115	0.195	0.004	0.042
19次	0.046	0.007	0.001	0.193

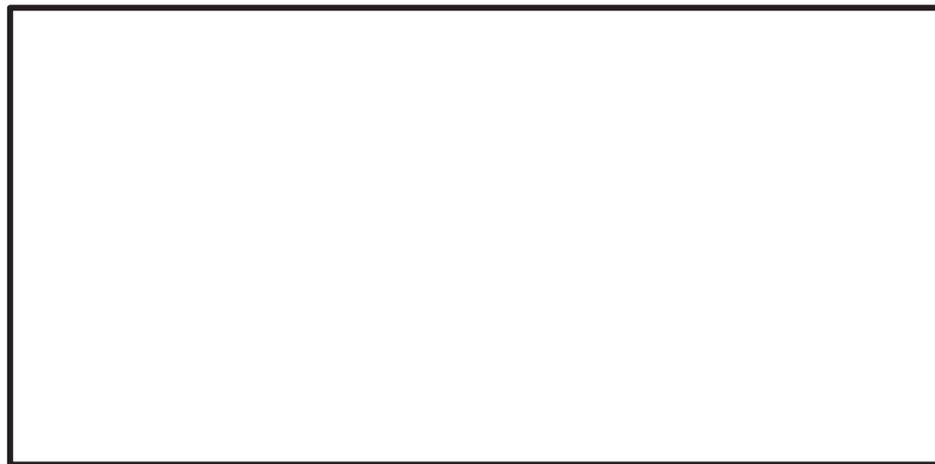
注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



1次モード



2次モード



3次モード

図 4-2 振動モード図 (設計基準対象施設)

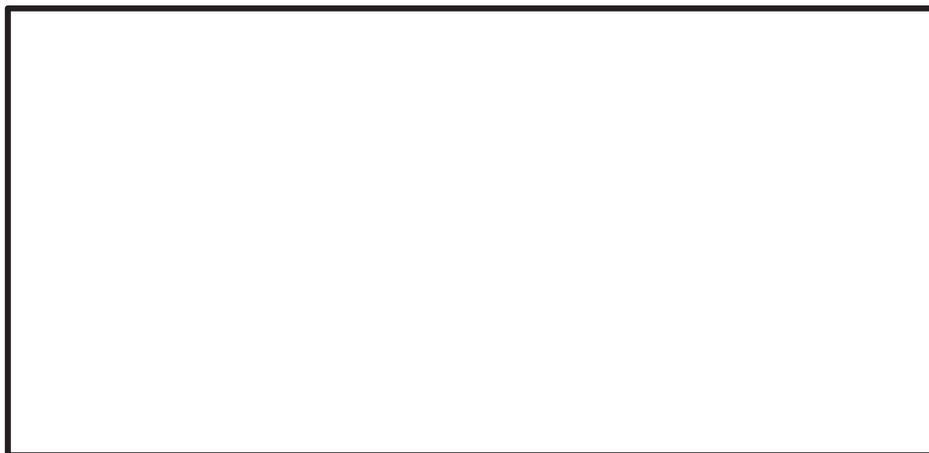
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1次モード



2次モード



3次モード

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-12 及び表 4-13 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、添付書類「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、減衰定数は添付書類「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 4-12 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)		原子炉格納容器 O.P. -7.40~2.00* <sup>1</sup> (O.P. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> )					
減衰定数 (%)		水平 : 2.0* <sup>2</sup> 鉛直 : 2.0* <sup>2</sup>					
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		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>	応答水平震度* <sup>4</sup>		応答鉛直 震度* <sup>4</sup>
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.262	1.38	1.38	0.97	2.22	2.22	1.68
2次	0.260	1.39	1.39	0.97	2.23	2.23	1.68
3次	0.179	1.62	1.62	1.46	2.99	2.99	2.48
4次	0.174	1.71	1.71	1.50	3.06	3.06	2.57
5次	0.161	2.27	2.27	1.70	4.07	4.07	2.94
6次	0.157	2.37	2.37	1.82	4.07	4.07	3.09
7次	0.153	2.42	2.42	1.83	4.07	4.07	3.11
8次	0.152	2.42	2.42	1.83	4.07	4.07	3.11
9次	0.152	2.42	2.42	1.83	4.07	4.07	3.11
10次	0.146	2.42	2.42	1.96	4.07	4.07	3.35
11次	0.146	2.42	2.42	1.97	4.07	4.07	3.36
12次	0.144	2.42	2.42	2.05	4.07	4.07	3.51
13次	0.137	2.56	2.56	2.29	4.07	4.07	3.91
14次	0.136	2.56	2.56	2.32	4.07	4.07	3.96
15次	0.133	2.56	2.56	2.32	4.17	4.17	3.96
16次	0.131	2.56	2.56	2.32	4.31	4.31	3.96
17次	0.115	3.30	3.30	3.15	5.67	5.67	5.55
18次	0.113	3.37	3.37	3.23	6.15	6.15	5.68
19次	0.045	—	—	—	—	—	—
動的地震力* <sup>5</sup>		2.33	2.33	2.58	4.04	4.04	4.58
静的地震力* <sup>6</sup>		0.68	0.68	0.29	—	—	—

注記\*1 : 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すサプレッションチェンバ  
の設計用床応答曲線を適用する。

\*2 : サプレッションチェンバスプレイ管は配管に区分されるため、添付書類「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。

\*3 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S d) より得られる震度を示す。

\*4 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S s) より得られる震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

\*5 :  $S_s$  又は  $S_d$  に基づく設計用最大応答加速度 ( $1.2 \cdot ZPA$ ) より定めた震度を示す。

\*6 : 静的震度 ( $3.6C_i$  及び  $1.2C_v$ ) を示す。

表 4-13 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 O.P. -7.40~2.00* <sup>1</sup> (O.P. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> )					
減衰定数 (%)		水平：2.0* <sup>2</sup> 鉛直：2.0* <sup>2</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.267	—	—	—	2.59	2.59	1.87
2次	0.265	—	—	—	2.59	2.59	1.93
3次	0.183	—	—	—	4.16	4.16	3.33
4次	0.177	—	—	—	4.42	4.42	3.66
5次	0.164	—	—	—	6.21	6.21	4.18
6次	0.159	—	—	—	6.21	6.21	4.49
7次	0.155	—	—	—	6.21	6.21	4.76
8次	0.155	—	—	—	6.21	6.21	4.81
9次	0.154	—	—	—	6.21	6.21	4.83
10次	0.148	—	—	—	6.39	6.39	5.32
11次	0.148	—	—	—	6.37	6.37	5.33
12次	0.146	—	—	—	6.43	6.43	5.47
13次	0.139	—	—	—	7.20	7.20	6.04
14次	0.138	—	—	—	7.20	7.20	6.20
15次	0.136	—	—	—	7.20	7.20	6.75
16次	0.133	—	—	—	7.79	7.79	7.14
17次	0.117	—	—	—	18.95	18.95	16.26
18次	0.115	—	—	—	21.56	21.56	18.11
19次	0.046	—	—	—	—	—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		—	—	—	4.36	4.36	6.38
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記\*1：添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すサプレッションチェンバ  
の設計用床応答曲線を適用する。

\*2：サプレッションチェンバスペイ管は配管に区分されるため、添付書類「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。

\*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S<sub>s</sub>）より得られる震度を示す。

\*4：S<sub>s</sub>に基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6 計算方法

サブプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点は、サブプレッションチェンバスプレイ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 4-14 に示す。

サブプレッションチェンバスプレイ管に関する応力計算方法は既工認から変更はなく、6. 参照図書(1)に示すとおりである。

表 4-14 応力評価点

応力評価点番号*	応力評価点
4, 26	ティー部
15, 47	スプレイ管 (拘束点)
22J	コーナ部
23	スプレイ管 (一般部)
24	レストレイント (溶接部)

注記\* : 応力評価点番号については、図 4-1 参照。

レストレイントの応力評価点は、評価点として最も裕度が厳しくなるレストレイントの溶接部に関して評価を行なう。□接部は脚長 mm のすみ肉溶接部である。溶接部の断面積は安全側に図 4-4 に示す部分のみを考慮する。

断面積

$$A = \boxed{\phantom{000000}} \text{ mm}^2$$

応力計算方法

せん断応力

$$\tau = \frac{F_y + F_z}{A}$$

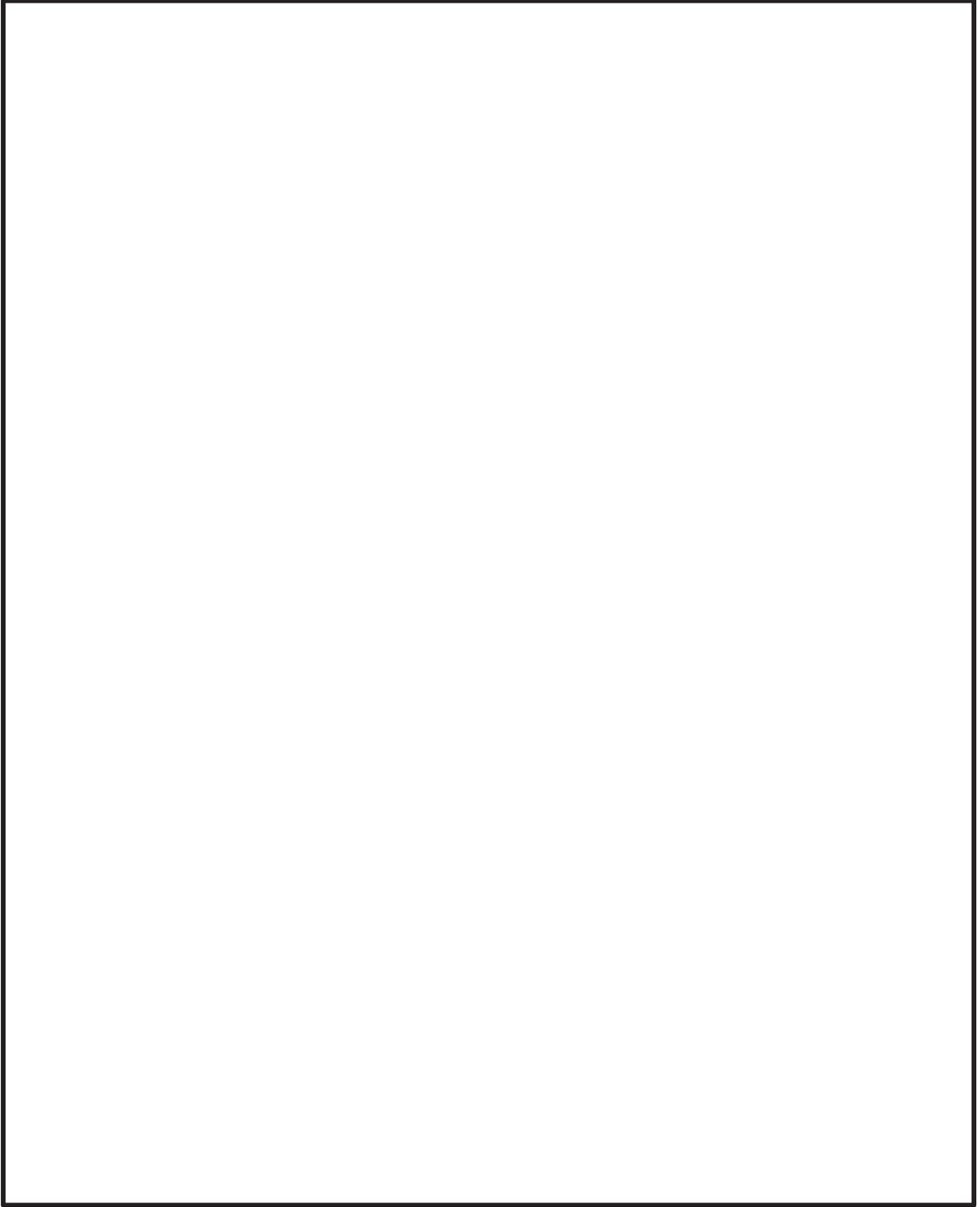


図 4-4 応力評価点 レストレイント (溶接部)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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。

レストレイントの溶接部の評価に用いる設計荷重を表 4-15 に示す。設計荷重は「4.5 設計用地震力」により求めた配管反力を元に、裕度を考慮して設定した。

表 4-15 レストレイントの設計荷重

荷重	設計基準対象施設				重大事故等対処設備	
	地震荷重 $S_d$ *作用時		地震荷重 $S_s$ 作用時		地震荷重 $S_s$ 作用時	
	水平方向 荷重	鉛直方向 荷重	水平方向 荷重	鉛直方向 荷重	水平方向 荷重	鉛直方向 荷重
	$F_Y$	$F_Z$	$F_Y$	$F_Z$	$F_Y$	$F_Z$
死荷重 (kN)						
地震荷重 (kN)						
設計荷重 $W$ (kN)						

#### 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

サブレーションチェンバスプレイ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，表 5-2，表 5-3 及び表 5-4 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d \*)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェンバ スプレイ管	4	ティー部	一次応力	116	219	○	
			一次+二次応力	144	439	○	
	15	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	78	219	○	
			一次+二次応力	104	439	○	
	22J	コーナ部	一次応力	102	219	○	
			一次+二次応力	154	439	○	
	23	スプレイ管 (一般部)	一次応力	97	219	○	
			一次+二次応力	122	439	○	
	26	ティー部	一次応力	114	219	○	
			一次+二次応力	138	439	○	
	47	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	118	219	○	
			一次+二次応力	184	439	○	

表 5-2 支持構造物評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d \*)

応力評価点		型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>X</sub> *	F <sub>Y</sub>	F <sub>Z</sub>	M <sub>X</sub>	M <sub>Y</sub>	M <sub>Z</sub>			
24	レストレイント	プレート	SS400	104							せん断	37	109

注記\* : 周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

表 5-3 許容応力状態IV<sub>AS</sub> に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV <sub>AS</sub>		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェンバ スプレイ管	4	ティー部	一次応力	171	364	○	
			一次+二次応力	254	439	○	
	15	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	117	364	○	
			一次+二次応力	182	439	○	
	22J	コーナ部	一次応力	158	364	○	
			一次+二次応力	266	439	○	
	23	スプレイ管 (一般部)	一次応力	143	364	○	
			一次+二次応力	214	439	○	
	26	ティー部	一次応力	167	364	○	
			一次+二次応力	244	439	○	
	47	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	185	364	○	
			一次+二次応力	318	439	○	

表 5-4 支持構造物評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>)

応力評価点		型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>X</sub> *	F <sub>Y</sub>	F <sub>Z</sub>	M <sub>X</sub>	M <sub>Y</sub>	M <sub>Z</sub>			
24	レストレイント	プレート	SS400	104							せん断	62	109

注記\* : 周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

## 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバスプレイ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

構造強度評価の結果を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

表 5-5 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	応力評価点		応力分類	$V_{AS}$		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェンバ スプレイ管	4	ティー部	一次応力	216	363	○	
			一次+二次応力	344	414	○	
	15	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	129	363	○	
			一次+二次応力	206	414	○	
	22J	コーナ部	一次応力	196	363	○	
			一次+二次応力	342	414	○	
	23	スプレイ管 (一般部)	一次応力	240	363	○	
			一次+二次応力	408	414	○	
	26	ティー部	一次応力	214	363	○	
			一次+二次応力	338	414	○	
	47	スプレイ管 (拘束点)	一次応力	201	363	○	
			一次+二次応力	350	414	○	

表 5-6 支持構造物評価結果 (D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>S</sub>)

応力評価点		型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>X</sub> *	F <sub>Y</sub>	F <sub>Z</sub>	M <sub>X</sub>	M <sub>Y</sub>	M <sub>Z</sub>			
24	レストレイント	プレート	SS400	200							せん断	70	97

注記\* : 周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
添付書類「IV-3-1-3-7 サプレッションチェンバस्पレイ管の強度計算書」

VI-2-9-4-3-2 原子炉格納容器下部注水系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）

VI-2-9-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器下部注水系)

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力評価条件	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	29
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	30

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉格納容器下部注水系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

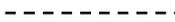
### (3) 弁

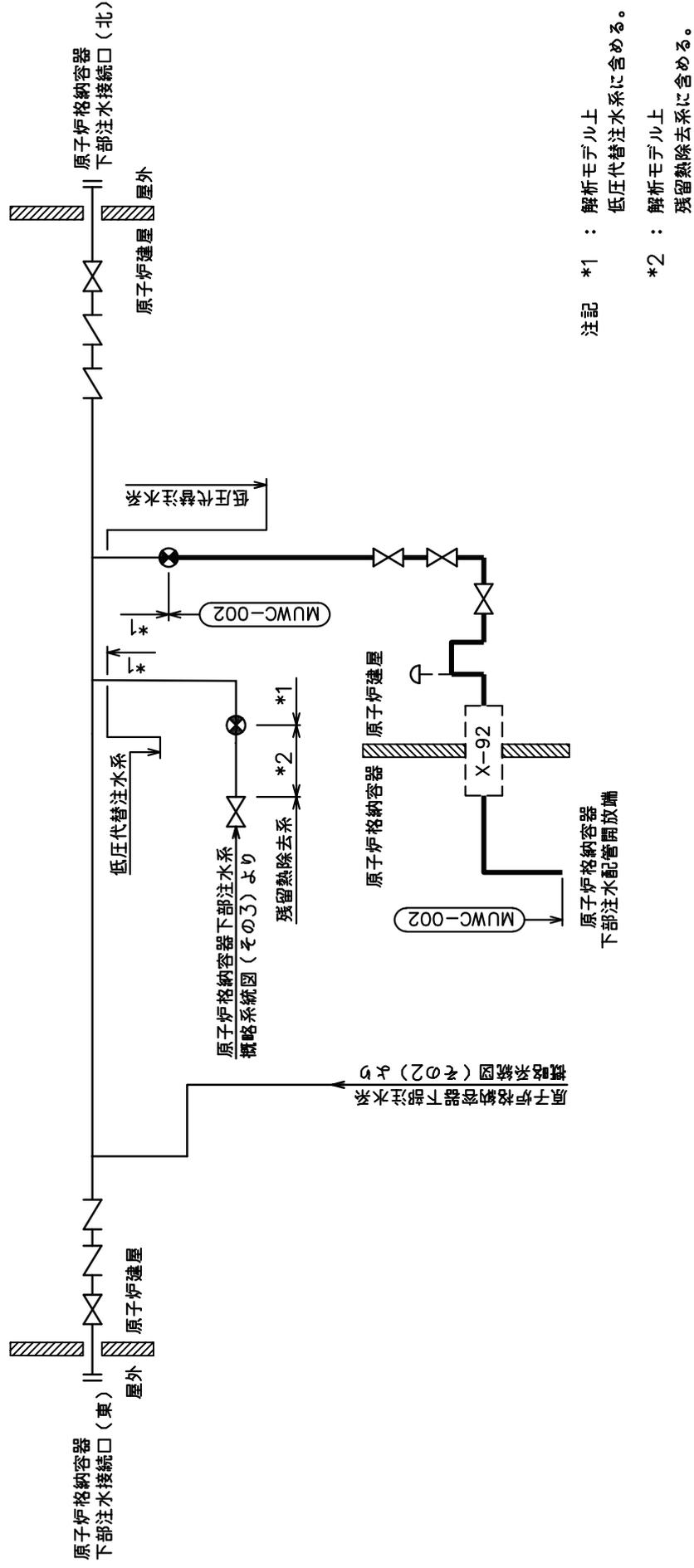
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

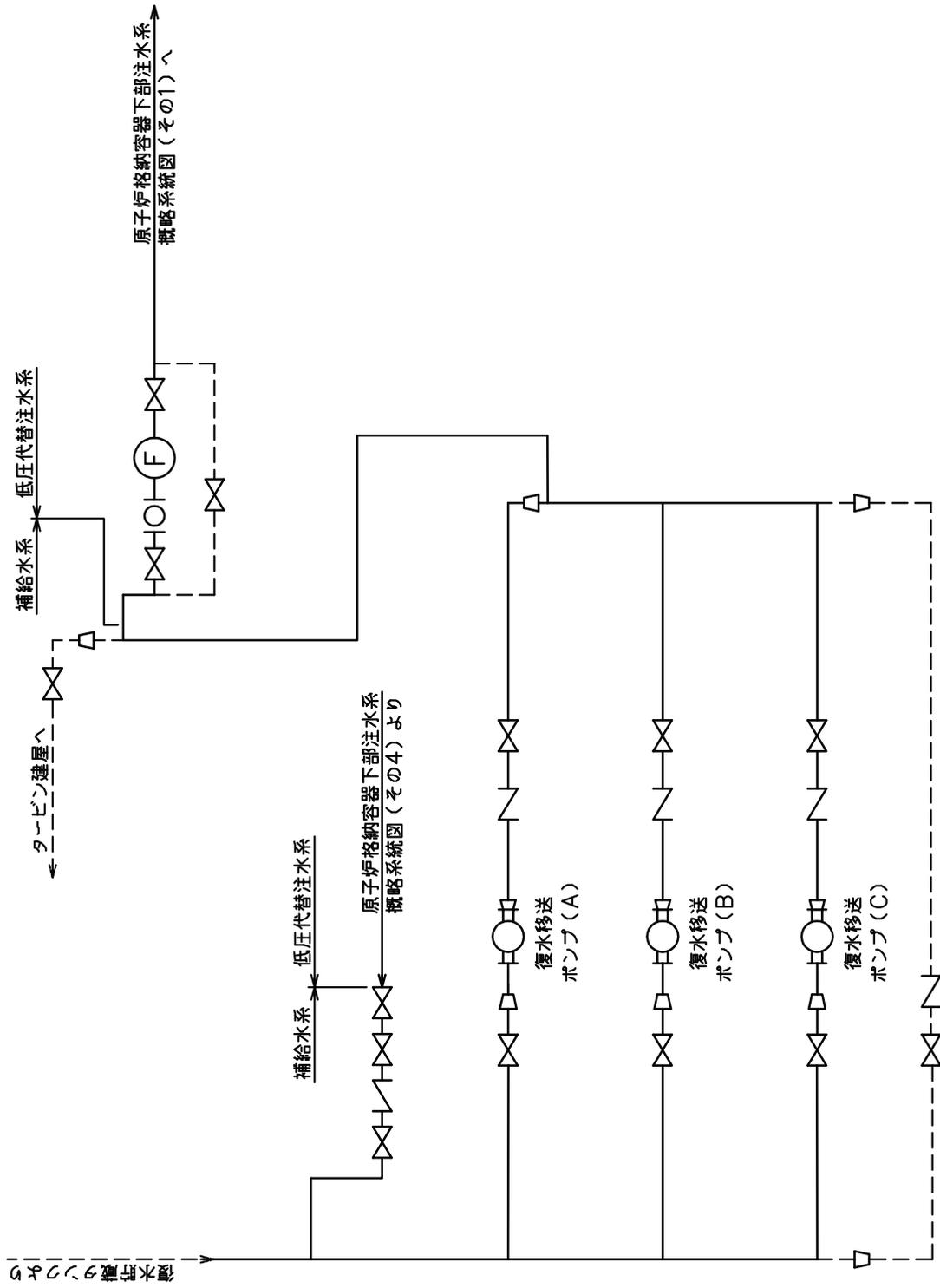
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

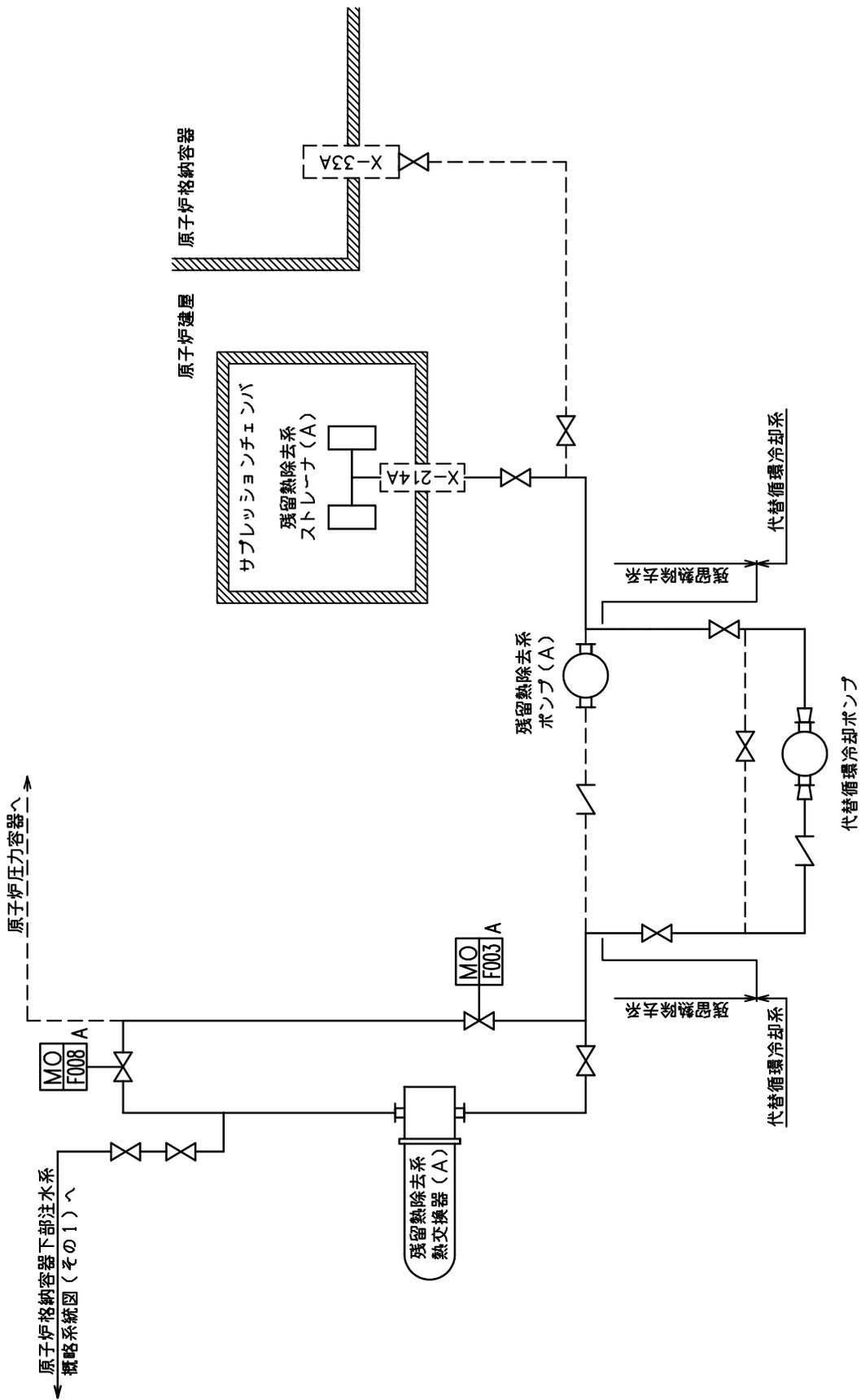


注記 \*1 : 解析モデル上  
低圧代替注水系に含める。  
\*2 : 解析モデル上  
残留熱除去系に含める。

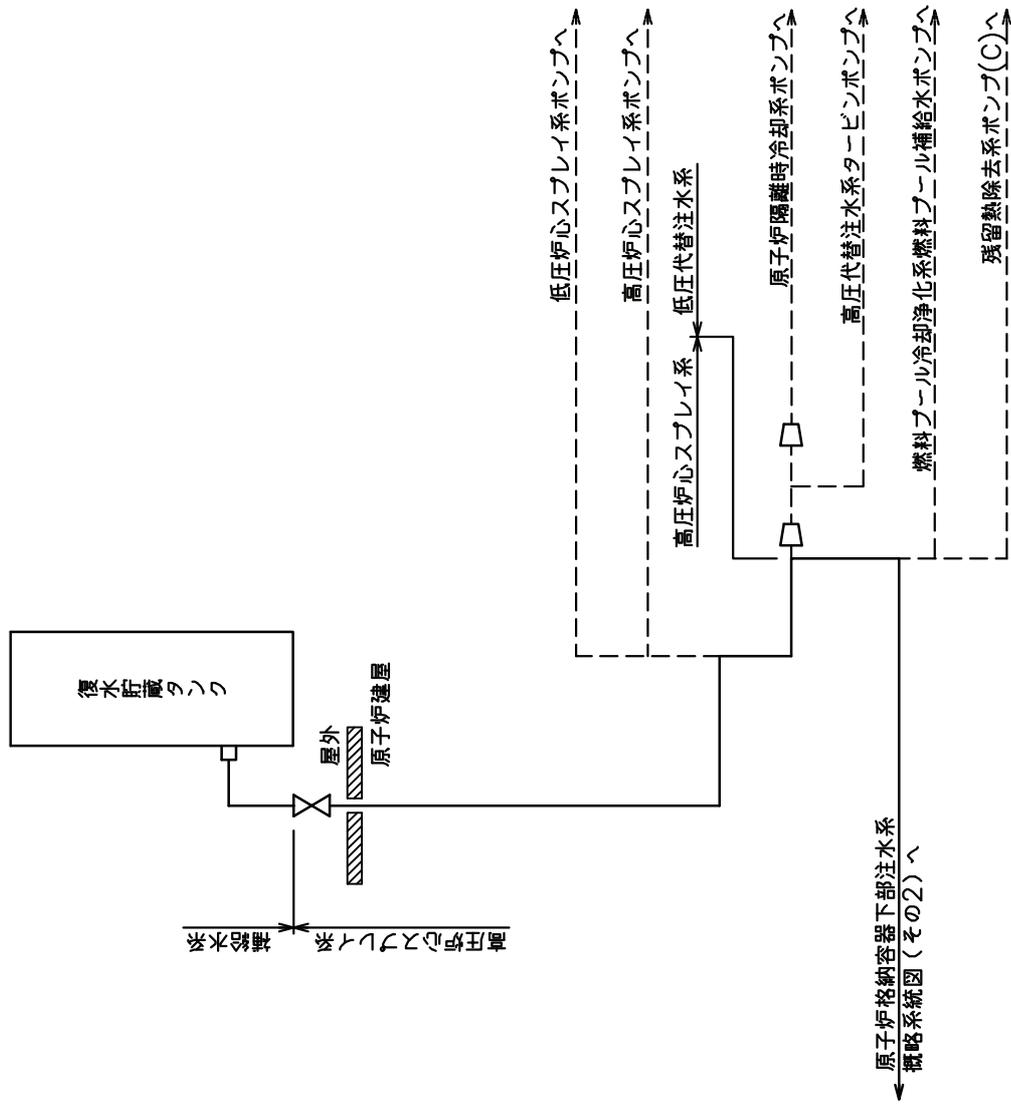
原子炉格納容器下部注水系概略系統図(その1)



原子炉格納容器下部注水系概略系統図(その2)



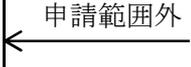
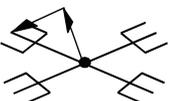
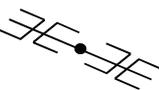
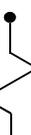
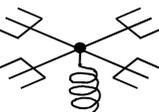
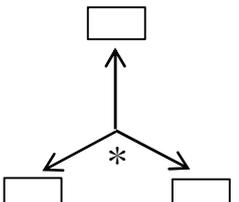
原子炉格納容器下部注水系概略系統図(その3)

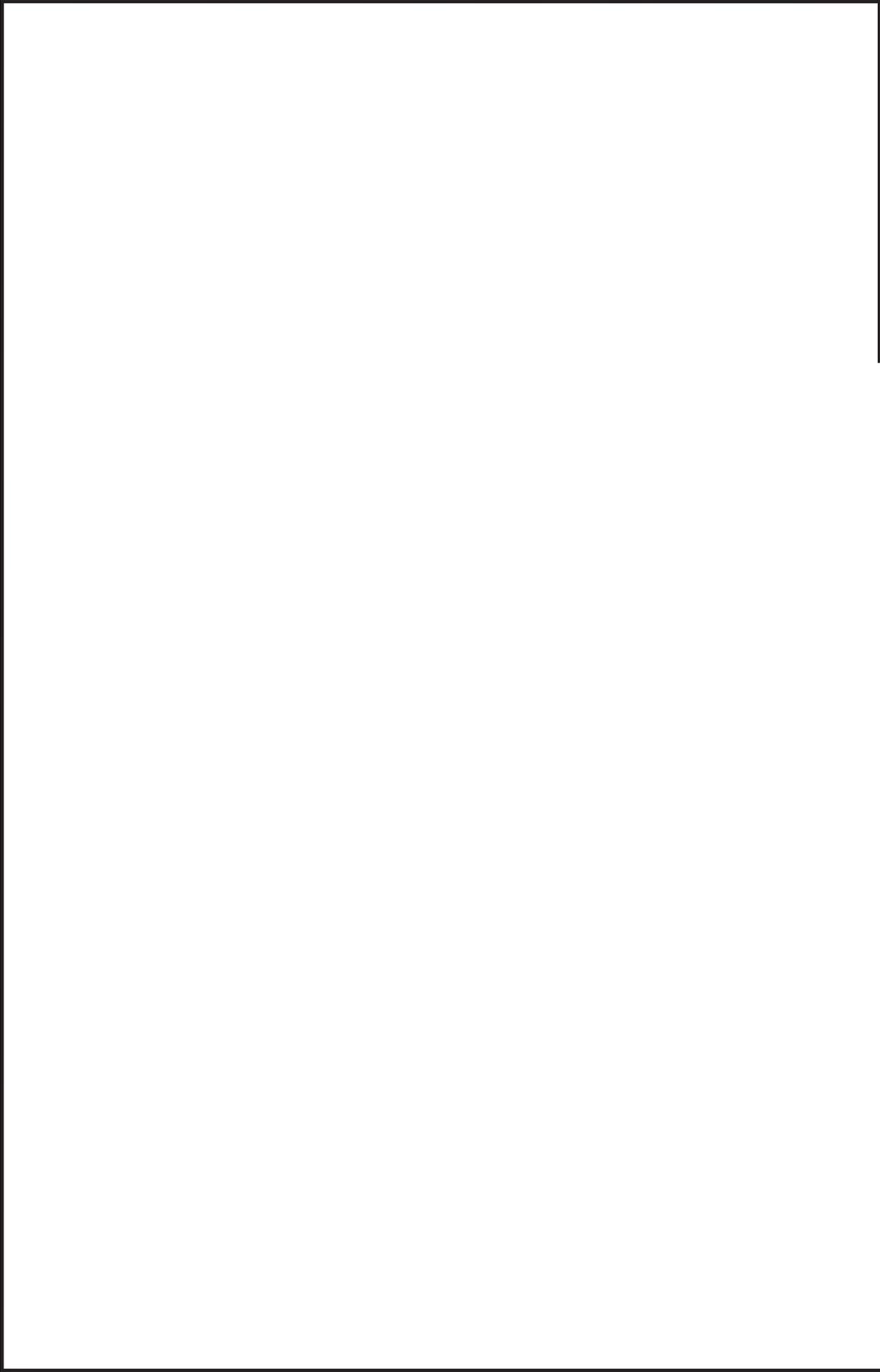


原子炉格納容器下部注水系概略系統図(その4)

2.2 鳥瞰図

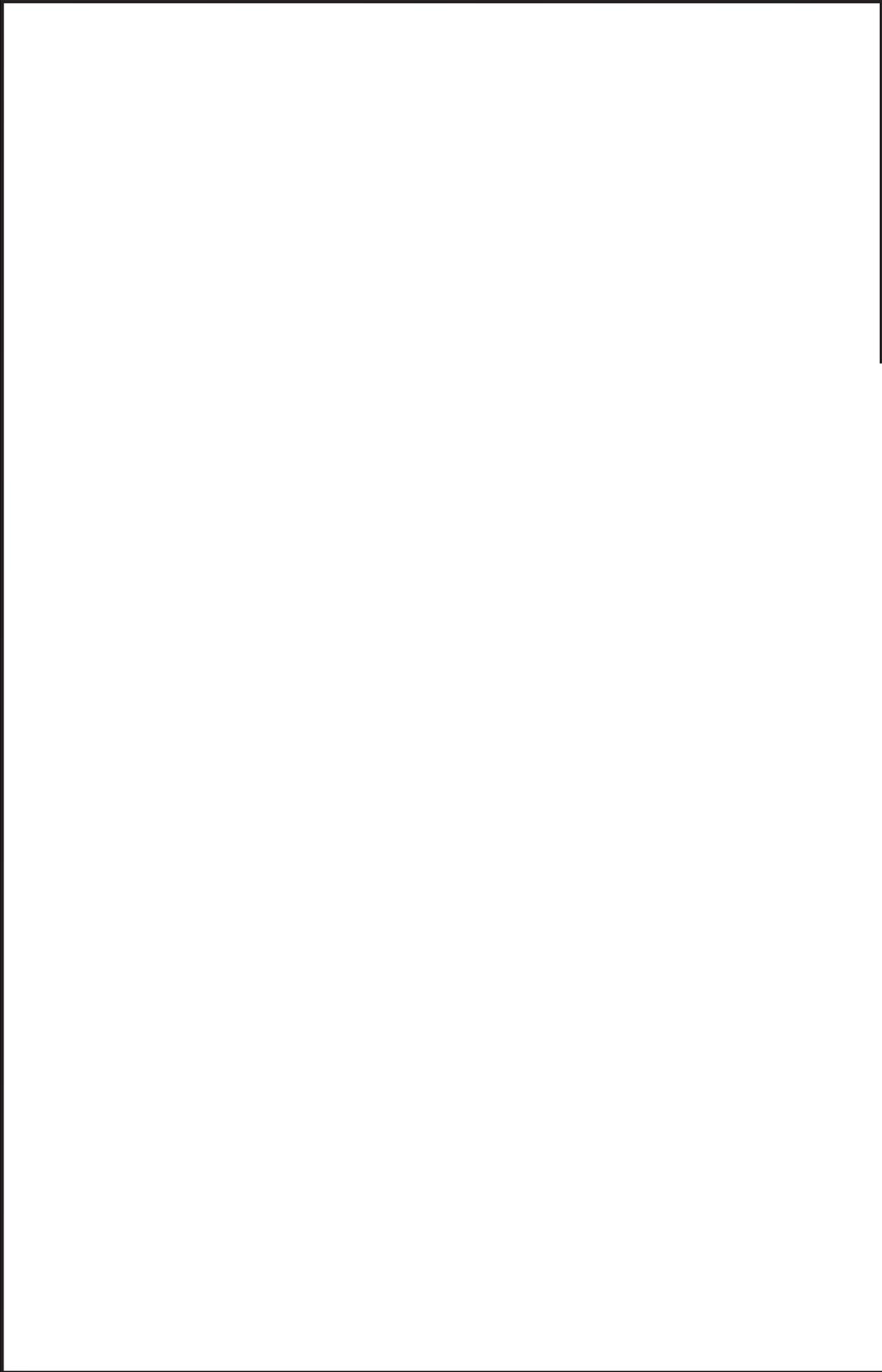
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント                      (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm)                      (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)</p>



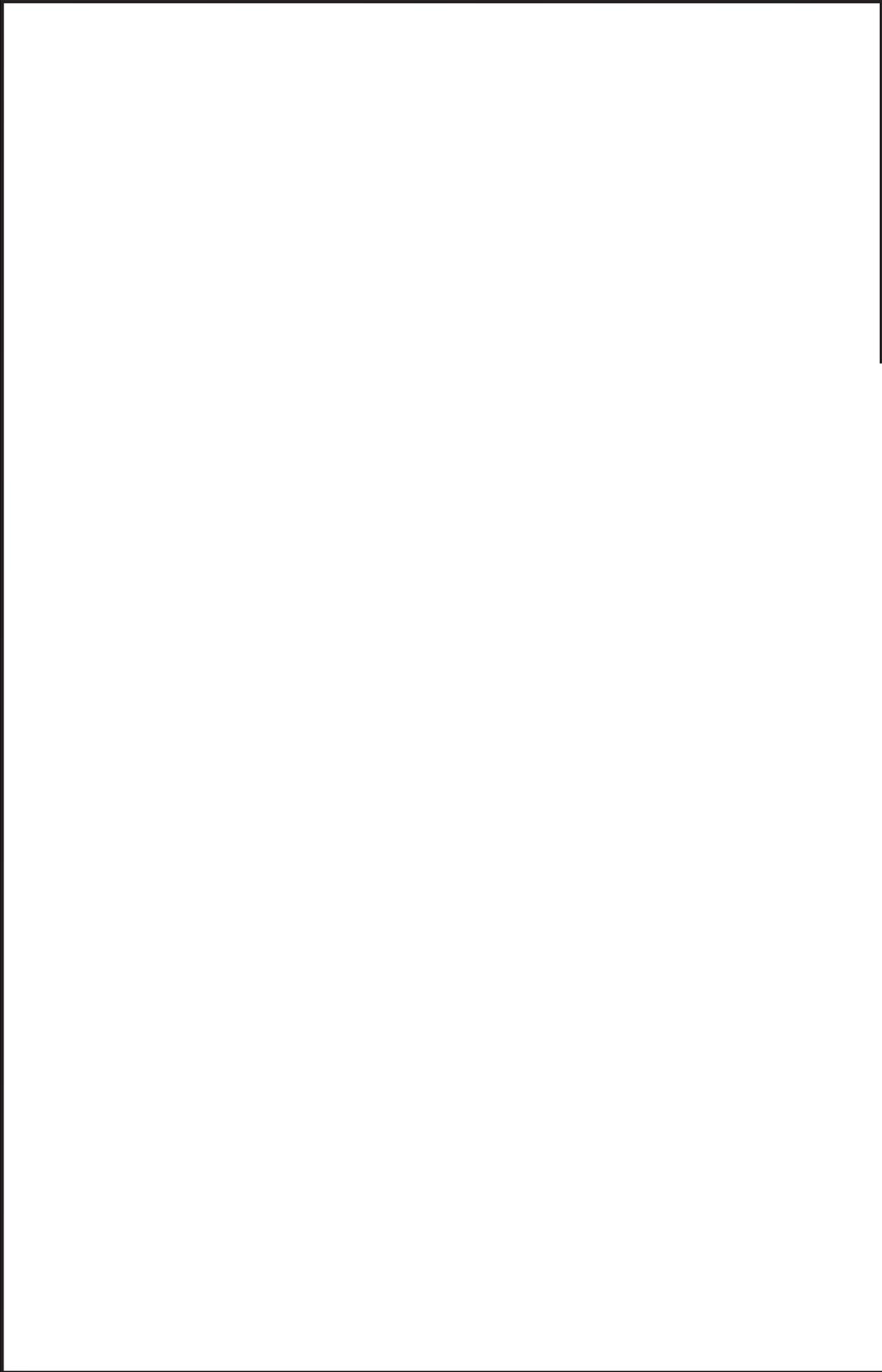
鳥瞰図 MUWC-002-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



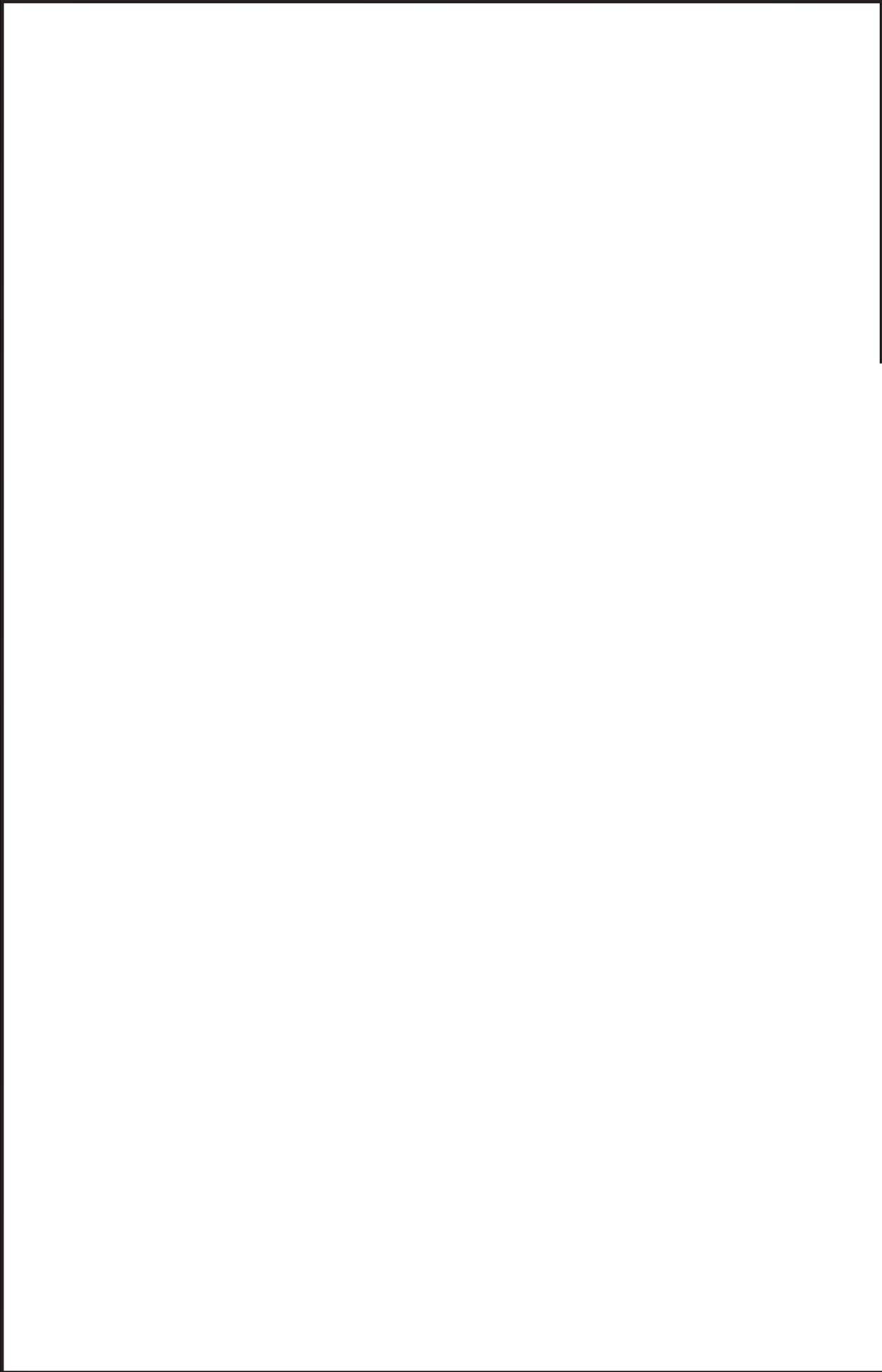
鳥瞰図 MUWC-002-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



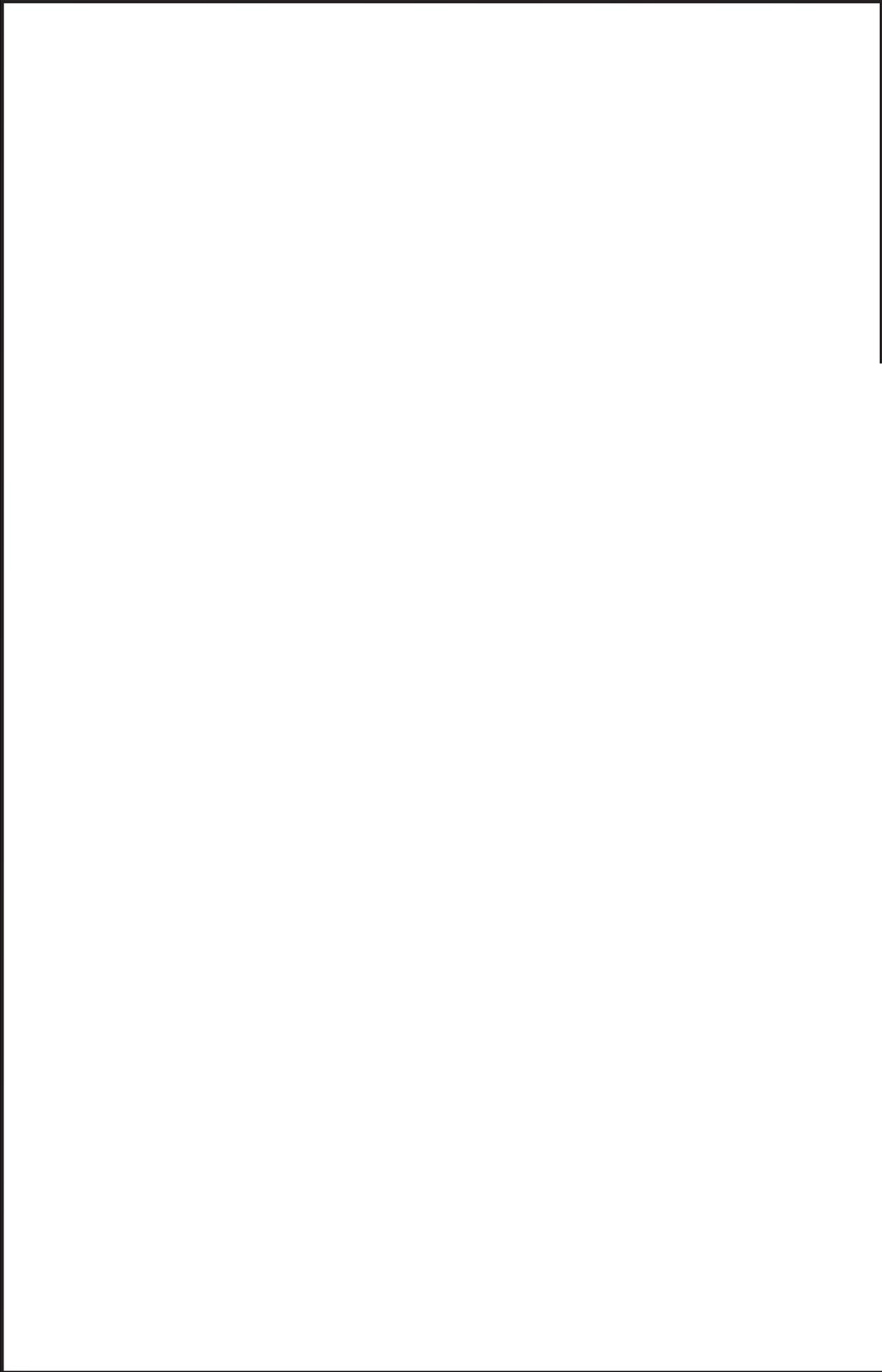
鳥瞰図 MUWC-002-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



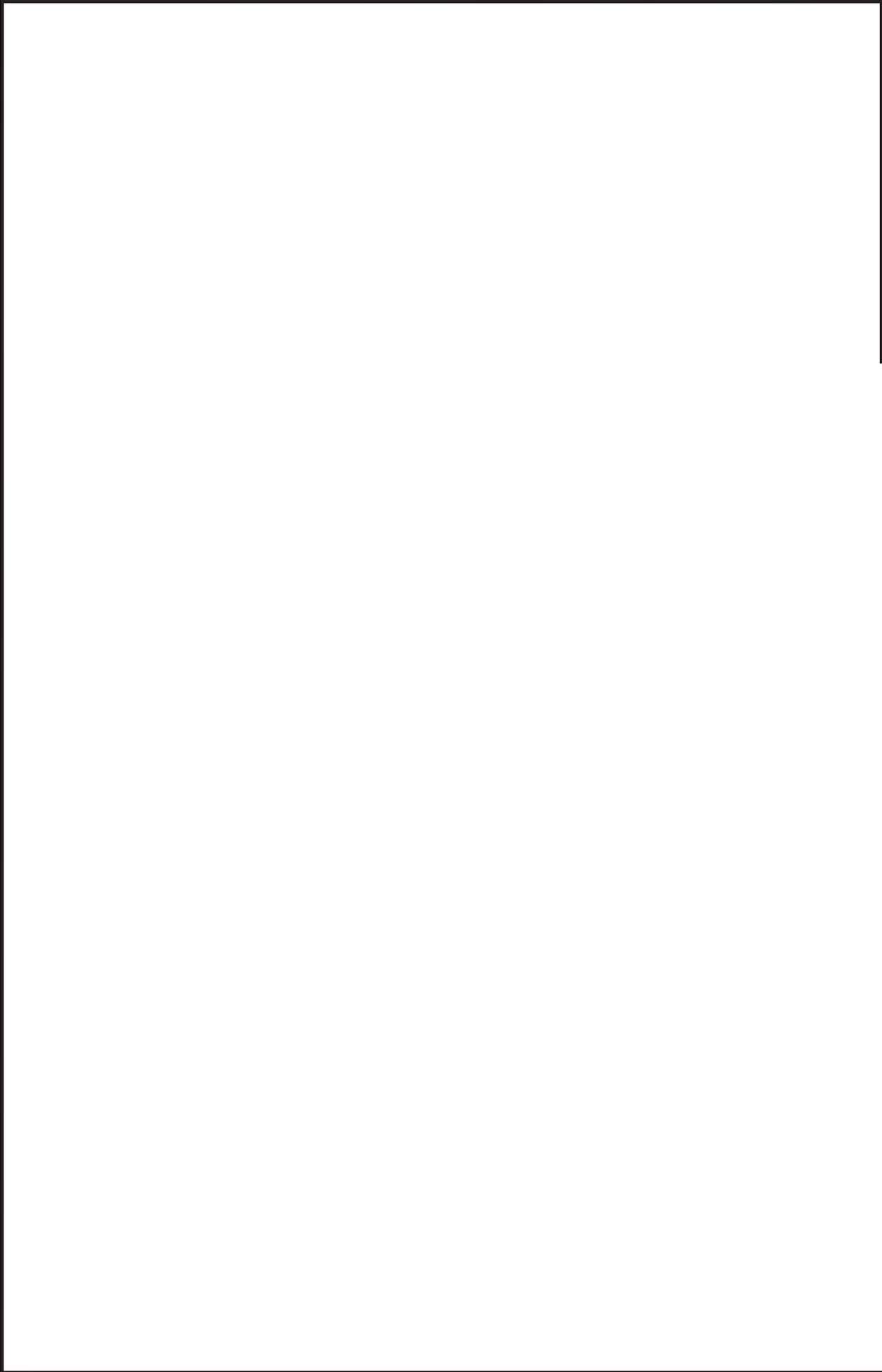
鳥瞰図 MUWC-002-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 MUWC-002-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | MUWC-002-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	原子炉格納容器 下部注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L(L) + S d$ $V_L(LL) + S s$ $V_L + S s$	$V_A S$

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し，許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MUWC-002

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360
2	1.37	200	114.3	6.0	STS410	—	191000
3	854kPa (0.854MPa)	200	114.3	6.0	STS410	—	191000
4	854kPa (0.854MPa)	200	114.3	6.0	STS410	—	191000
5	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MUWC-002

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
	47	48	49	50	51	52	53									
2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69						
3	71	72	73	76	77	78	79	80	215	216	217					
4	80	81	82	83	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	
	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	
	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	
	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	
	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	
	159	160	161	162	163	164	165	166	167	174						
5	53	54	55	56	57	58										

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MUWC-002

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		36		76		112		144	
2		37		77		113		145	
3		38		78		114		146	
4		39		79		115		147	
5		40		80		116		148	
6		41		81		117		149	
7		42		82		118		150	
11		43		83		119		151	
12		44		88		120		152	
13		45		89		121		153	
14		46		90		122		154	
15		47		91		123		155	
16		48		92		124		156	
17		49		93		125		157	
18		50		94		126		158	
19		51		95		127		159	
20		52		96		128		160	
21		53		97		129		161	
22		54		98		130		162	
23		55		99		131		163	
24		56		100		132		164	
25		57		101		133		165	
26		61		102		134		166	
27		62		103		135		167	
28		63		104		136		174	
29		64		105		137		215	
30		65		106		138		216	
31		66		107		139		217	
32		67		108		140			
33		68		109		141			
34		72		110		142			
35		73		111		143			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
8		58		69	
9		59		70	
10		60		71	
		168		170	
		169		171	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	9			
弁2	59			
弁3	70			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MUWC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
4						
6						
11						
** 11 **						
17						
** 17 **						
** 20 **						
25						
28						
33						
38						
43						
46						
48						
53						
61						
64						
** 68 **						
73						
77						
89						
99						
** 99 **						
103						
** 103 **						
105						
** 105 **						
109						
** 109 **						



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MUWC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
112						
** 112 **						
115						
** 115 **						
120						
** 120 **						
123						
** 123 **						
131						
** 131 **						
138						
** 138 **						
140						
** 140 **						
143						
** 143 **						
** 146 **						
149						
** 152 **						
** 154 **						
157						
** 157 **						



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MUWC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 160 **						
163						
** 163 **						
165						
** 165 **						
** 169 **						
** 171 **						
** 172 **						
172						
** 172 **						
174						
** 174 **						

[Empty rectangular box]

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-2-1(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	200	—	207	404	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。  
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
MUWC-002	原子炉しゃへい壁		
	原子炉本体基礎		
	原子炉格納容器		
	原子炉建屋		

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-2-1(重) R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MUWC-002

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答水平震度*1	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	
モード	固有周期 (s)	X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次*2	<input type="text"/>						
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定めた震度を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、1次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

鳥瞰図 MUWC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
MUWC-002	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	64 83	Spr m(S s) S n(S s)	45 —	363 —	— 158	— 414	— — U S s

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
MUWC-002-068S	メカニカルスナッパ	SMS-1-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	温度 (°C)	5	15
MUWC-002-171SB	メカニカルスナッパ	SMS-06-100			5	9
MUWC-002-025B	ロッドレストレイント	RTS-1			1	15

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重								評価結果	
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
MUWC-002-073R	レストレイント	Uプレート	SS400	66	0	9	31	—	—	—	—	せん断	121	135
MUWC-002-001A	アンカ	ラゲ	SGV410	66	3	9	30	3	1	2	—	曲げ	168	490

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	MUWC-002	64	45	363	8.06	○	83	158	414	2.62	○	—	—	—

VI-2-9-4-3-3 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-3-3-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）

VI-2-9-4-3-3-1 管の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器代替スプレイ冷却系)

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	25
4.1 固有周期及び設計震度	25
4.2 評価結果	31
4.2.1 管の応力評価結果	31
4.2.2 支持構造物評価結果	33
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	34
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	35

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉格納容器代替スプレイ冷却系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

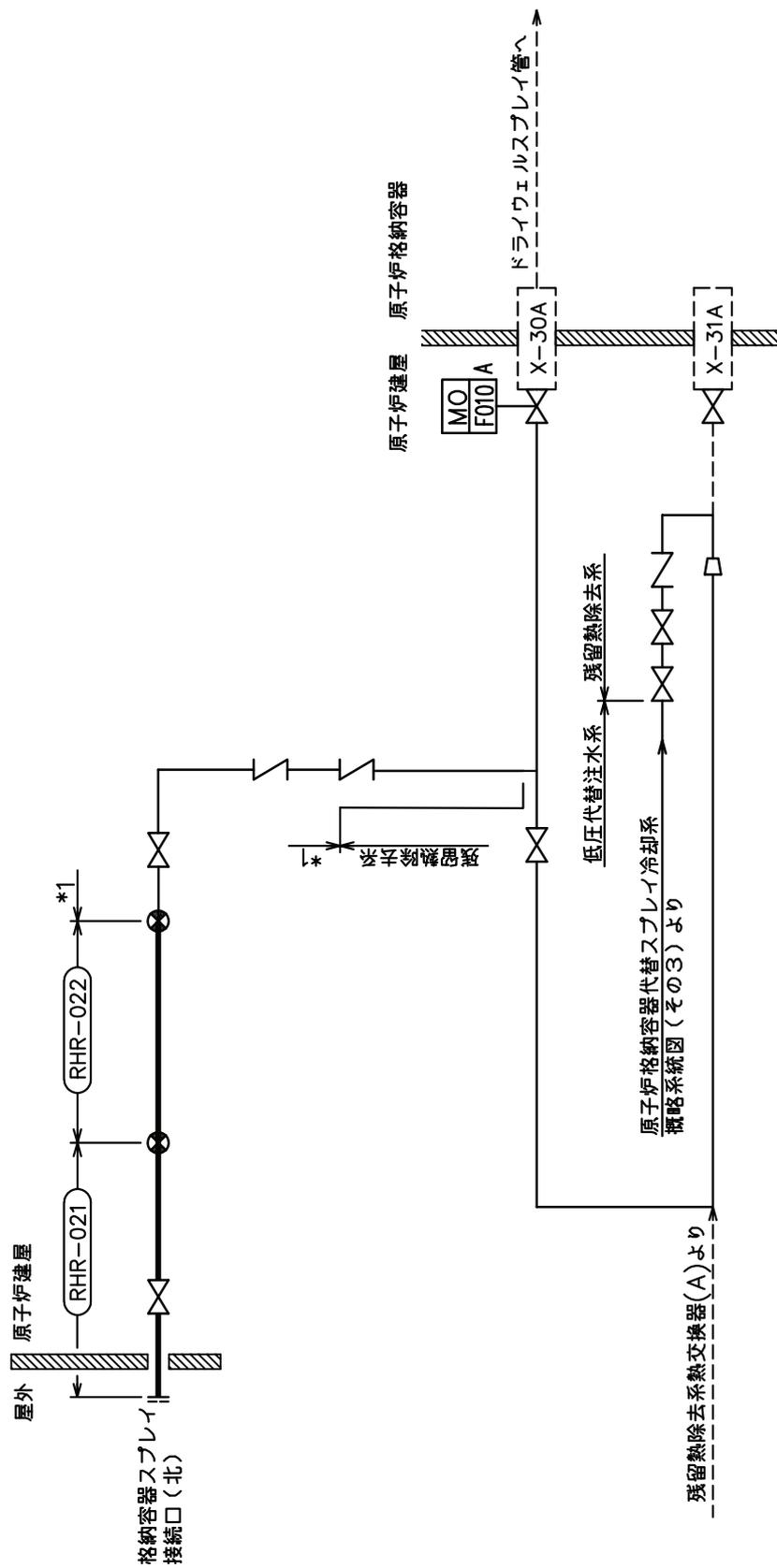
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

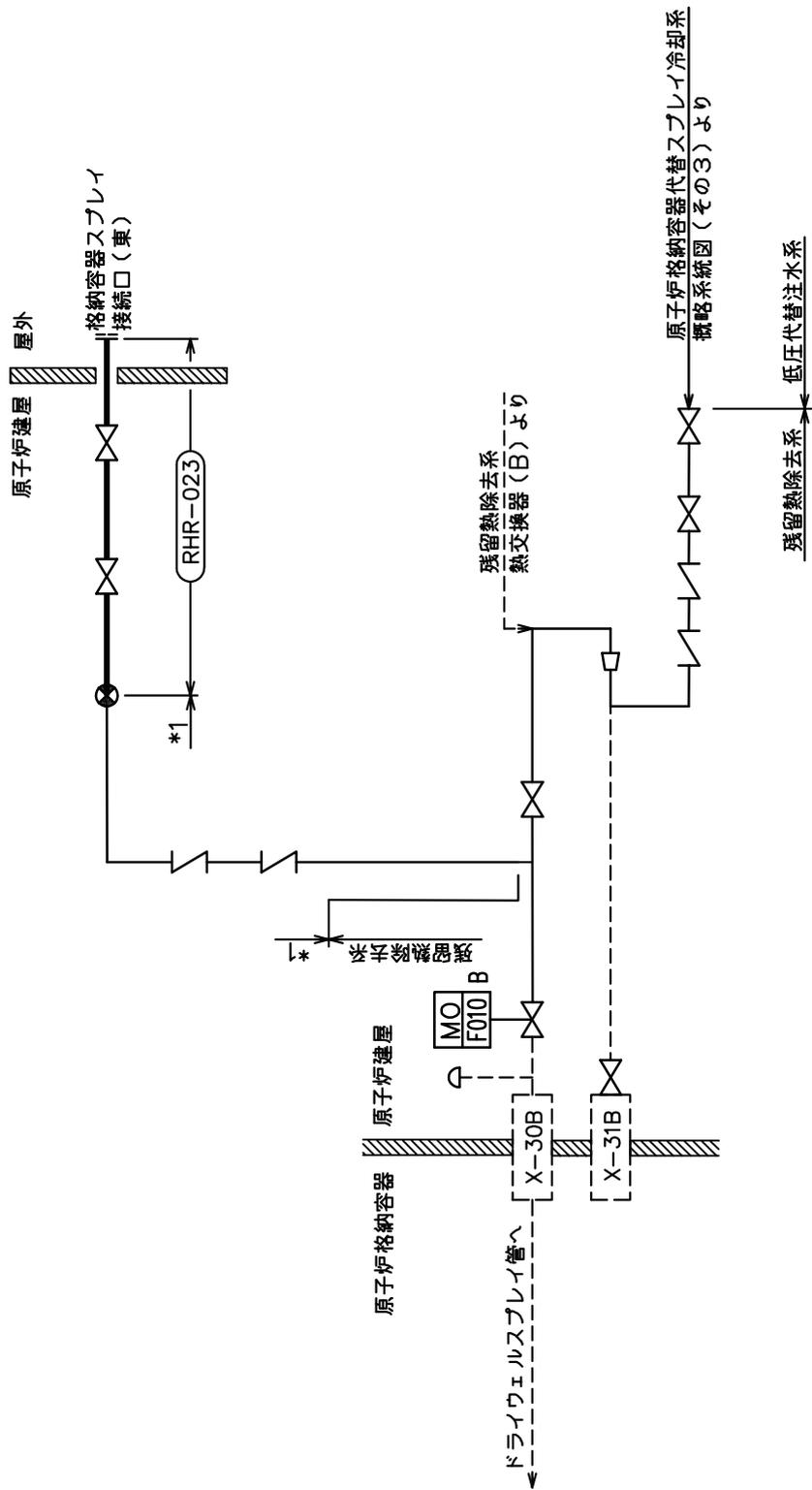
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



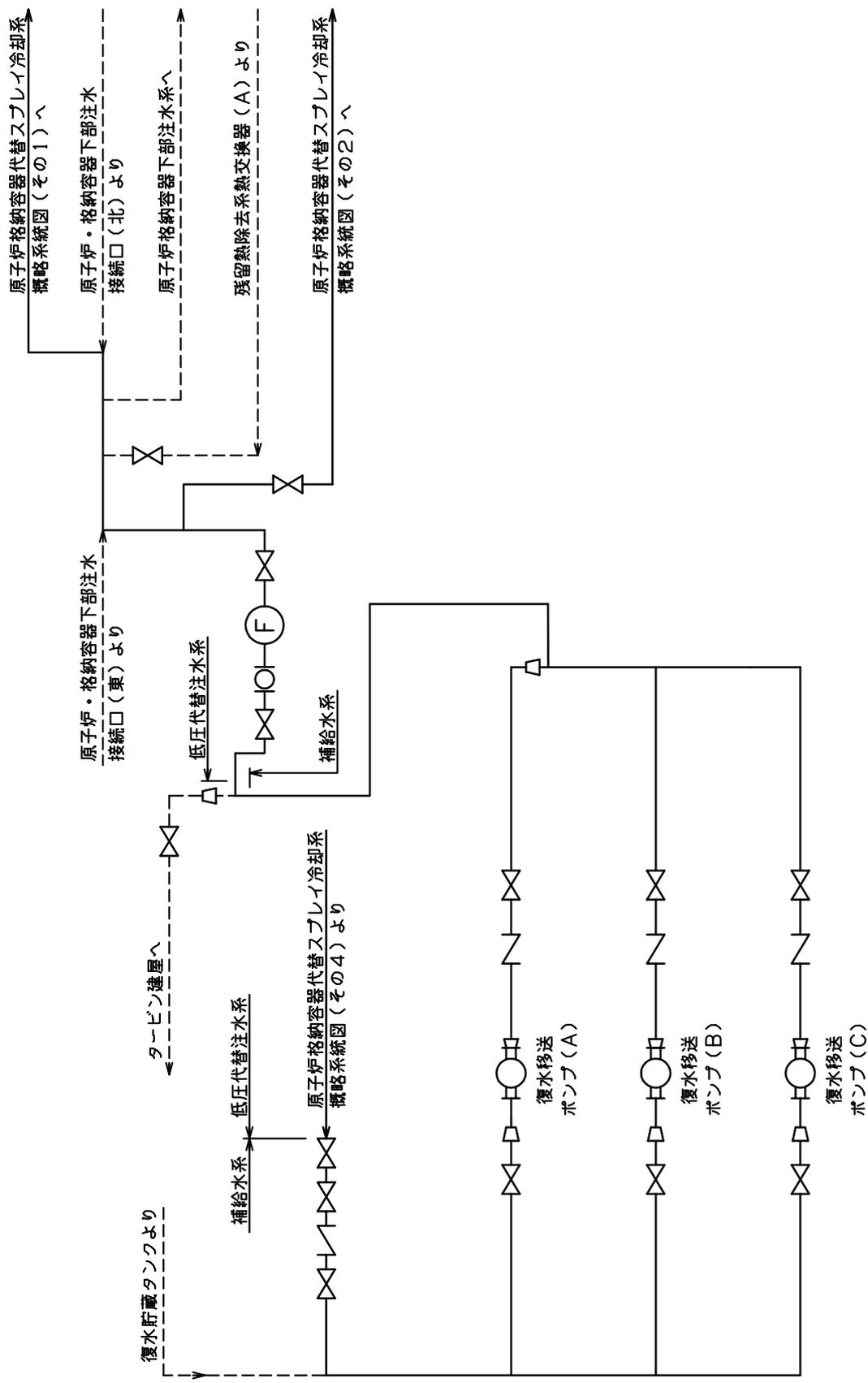
注記 \*1: 解析モデル上  
残留熱除去系に含める。

原子炉格納容器代替スプレー冷却系概略系統図(その1)

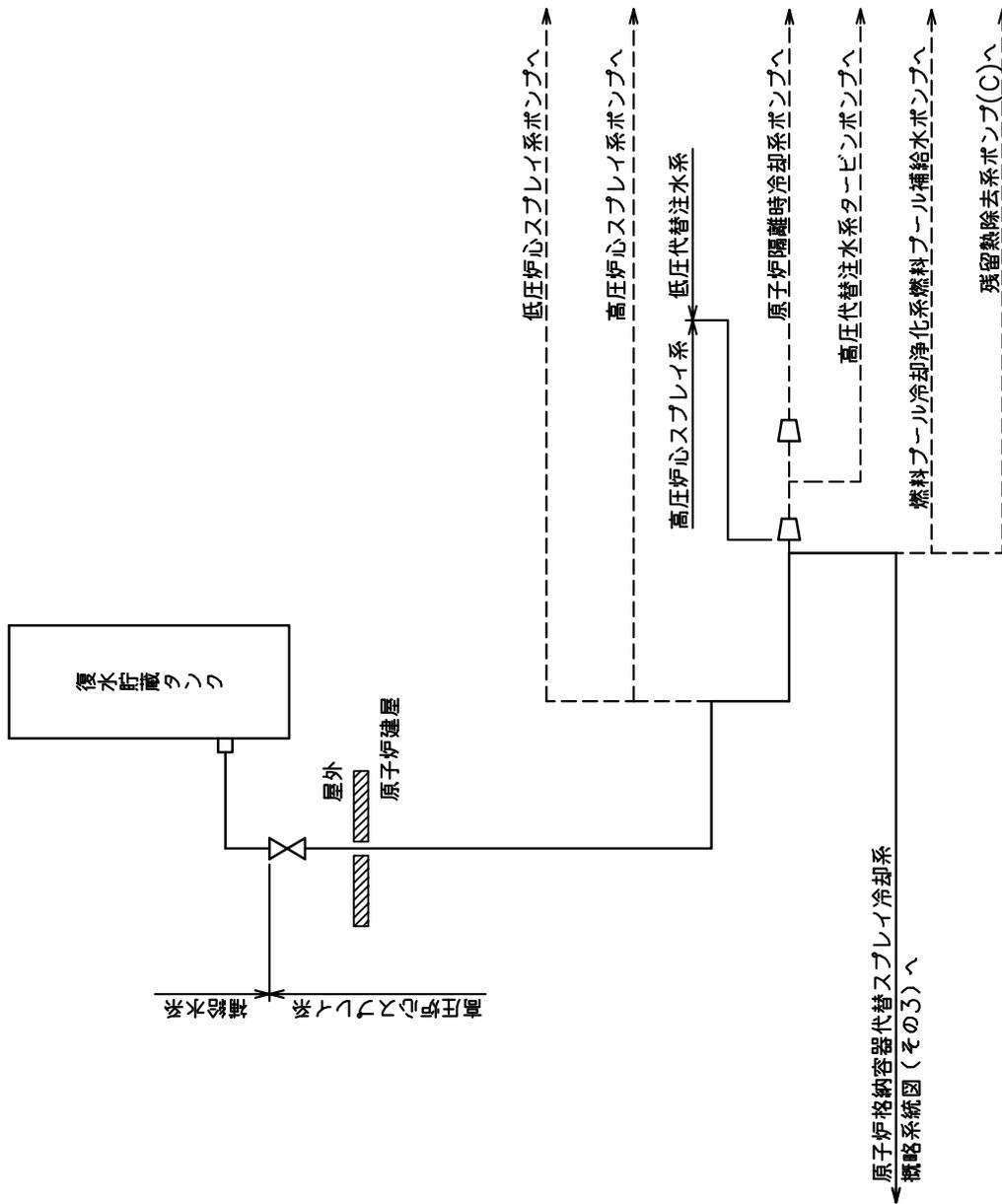


注記 \*1: 解析モデル上  
残留熱除去系に含める。

原子炉格納容器代替スプレイ冷却系概略系統図(その2)



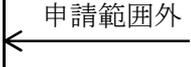
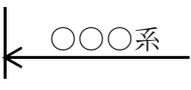
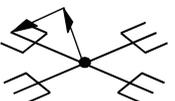
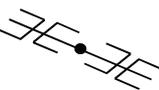
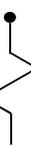
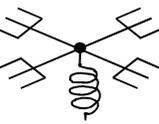
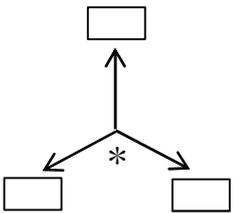
原子炉格納容器代替スプレイ冷却系概略系統図(その3)

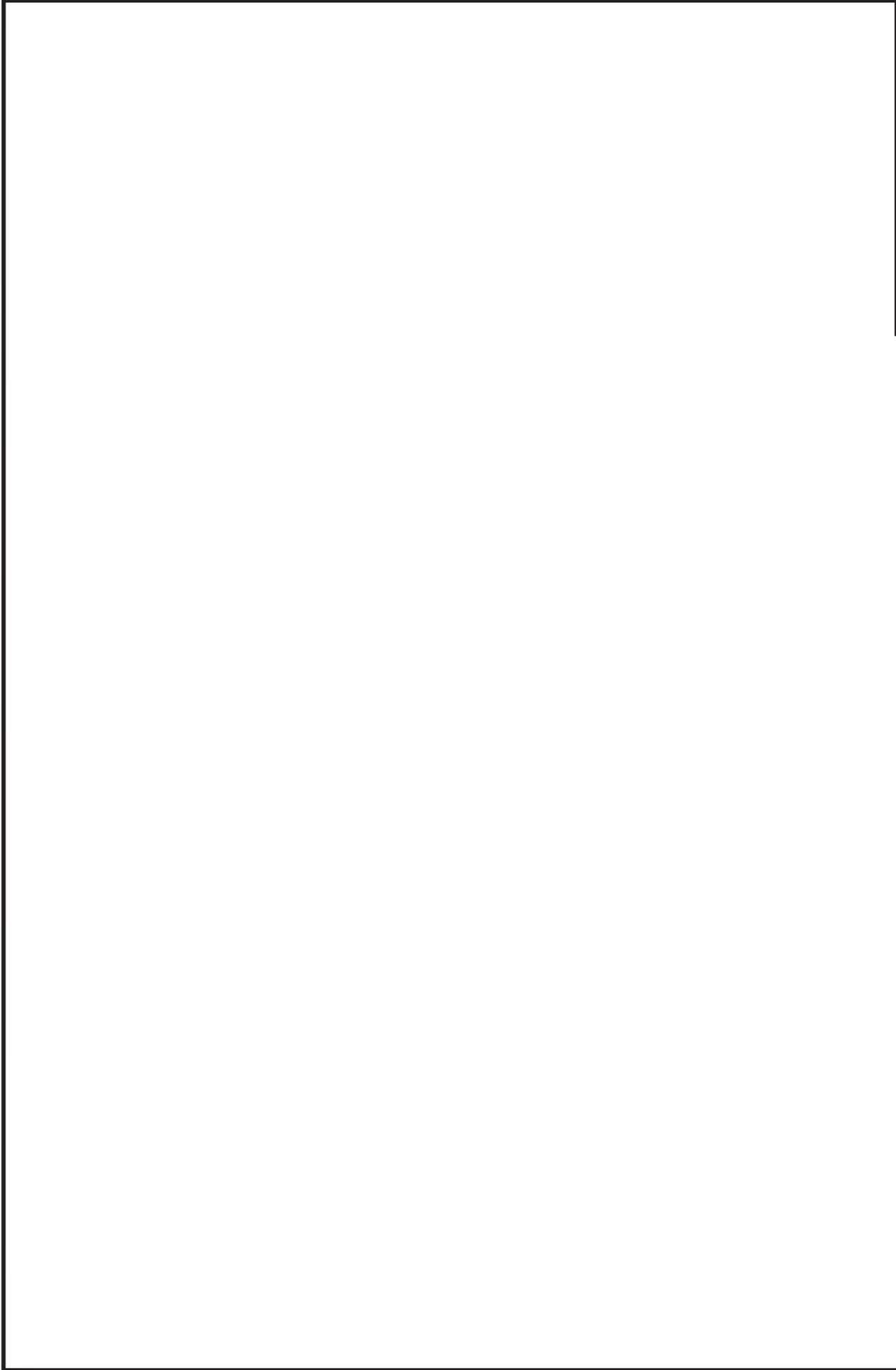


原子炉格納容器代替スプレイ冷却系概略系統図(その4)

2.2 鳥瞰図

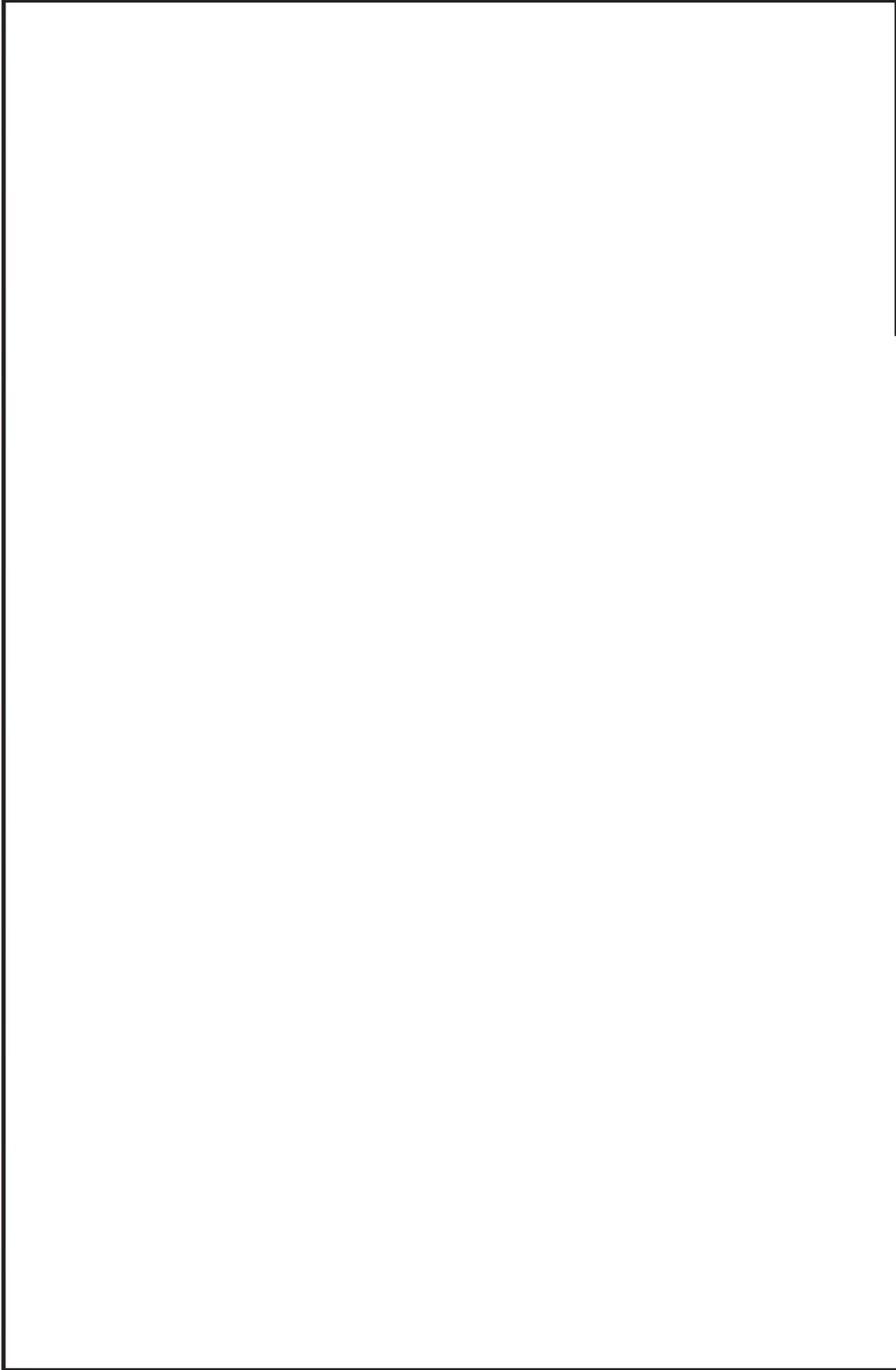
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



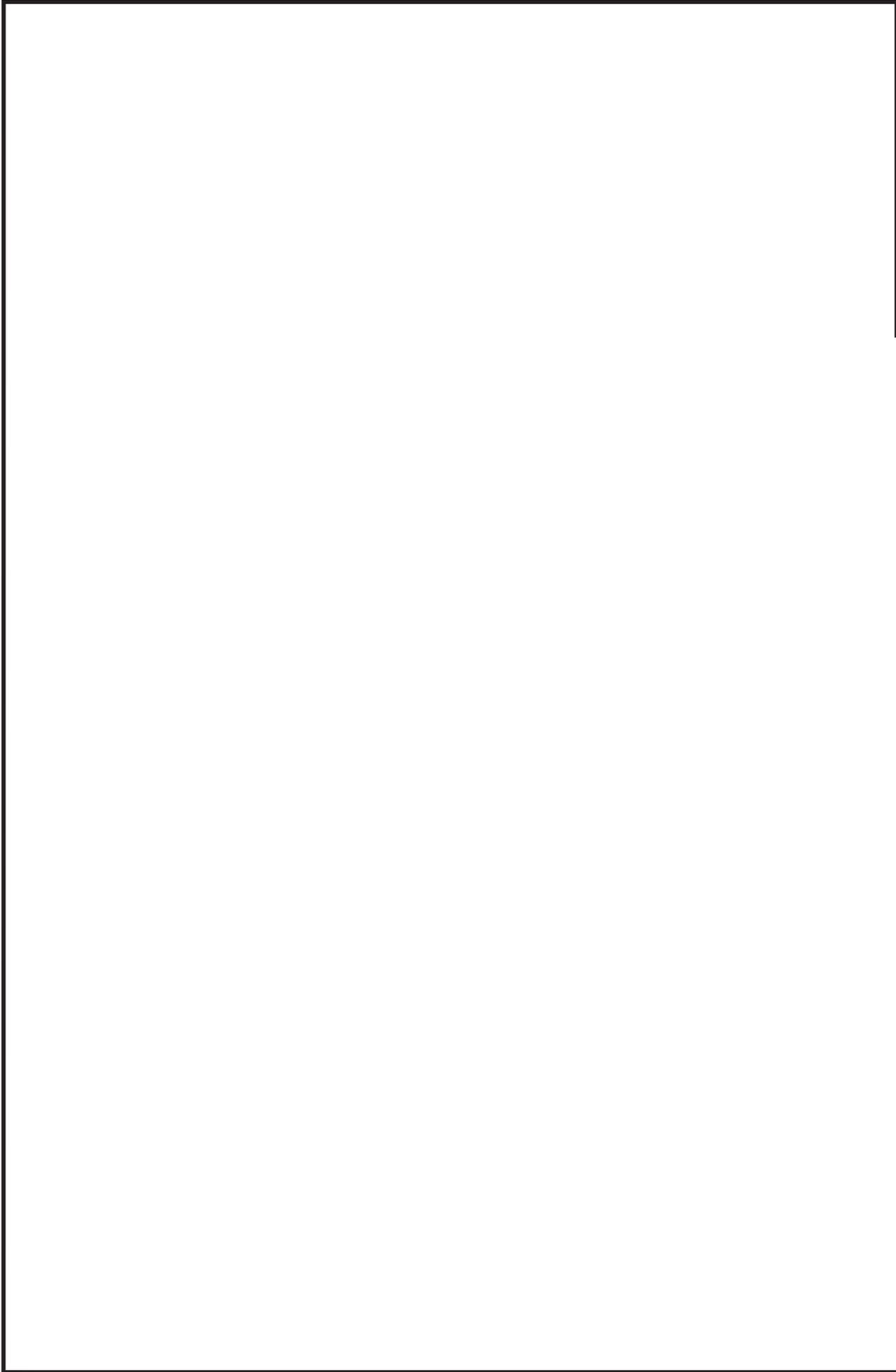
鳥瞰図 RHR-022-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



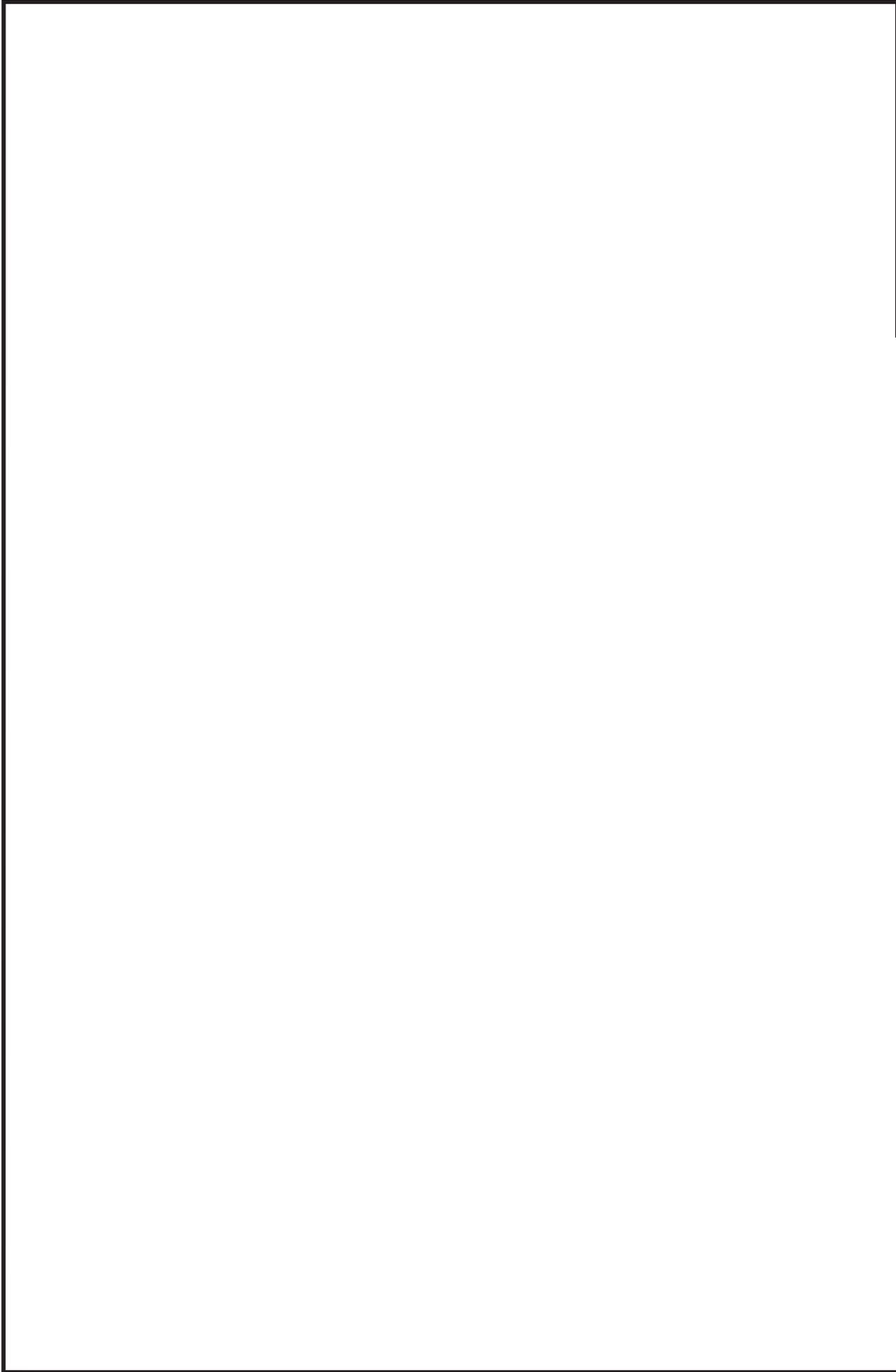
鳥瞰図 RHR-022-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



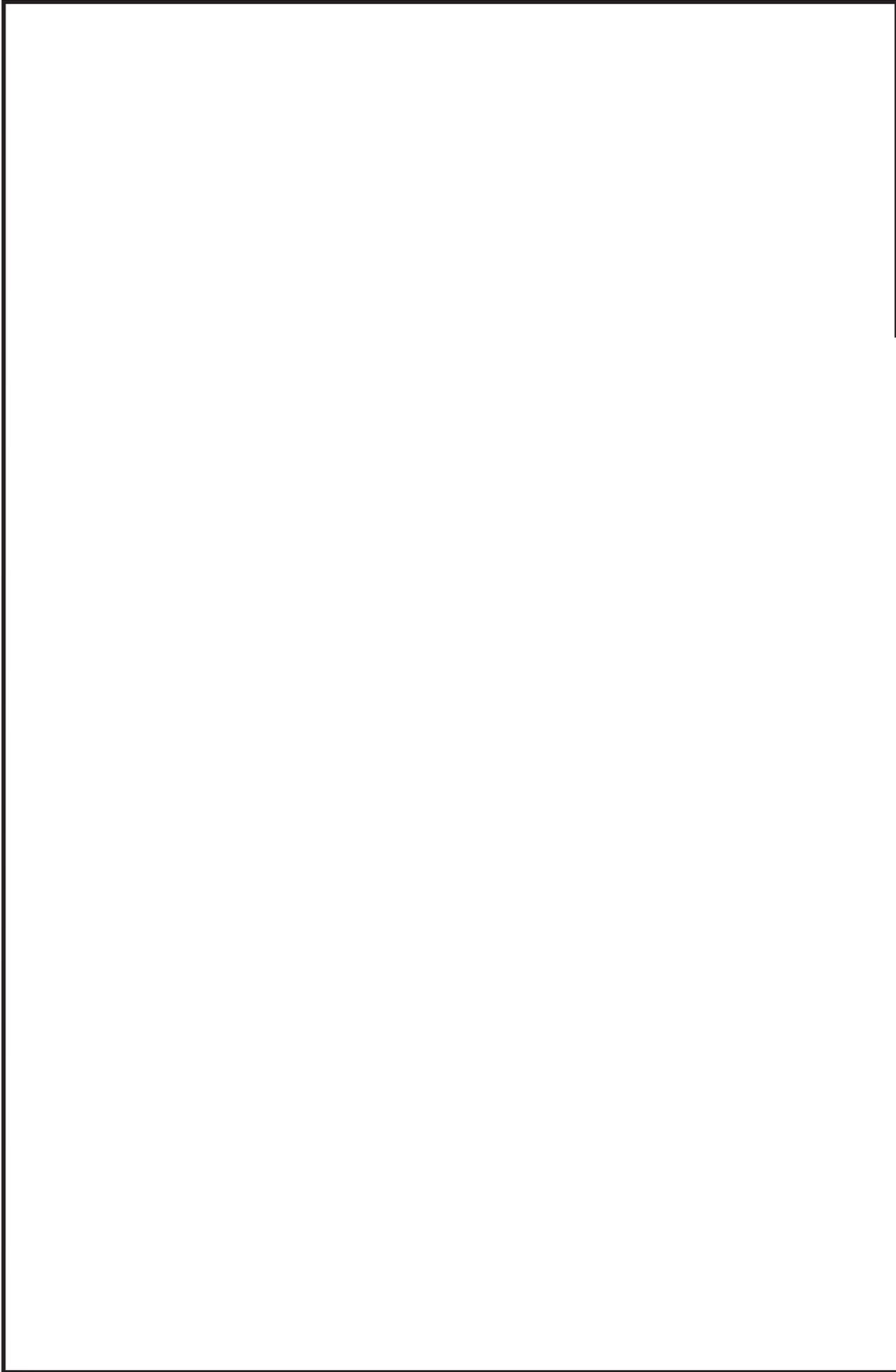
鳥瞰図 RHR-023-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RHR-023-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RHR-023-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	原子炉格納容器代替スプレィ冷却系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V <sub>L</sub> + S s	V <sub>A</sub> S

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「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。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-022

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	60	165.2	7.1	STS410	—	200600

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-022

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57			

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		13		25		37		49	
2		14		26		38		50	
3		15		27		39		51	
4		16		28		40		52	
5		17		29		41		53	
6		18		30		42		54	
7		19		31		43		55	
8		20		32		44		56	
9		21		33		45		57	
10		22		34		46			
11		23		35		47			
12		24		36		48			

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-3-1(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-022

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
4						
** 4 **						
7						
9						
12						
16						
18						
20						
22						
26						
31						
33						
36						
40						
42						
45						
** 45 **						
48						
54						
57						

[Redacted box]

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-3-1 (重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-023

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	60	165.2	7.1	STS410	—	200600
2	1.37	60	165.2	7.1	STS410	—	200600

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-023

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2														
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	104	105	106	107	108	
	109	201	202													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 RHR-023

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		25		46		67		88	
2		26		47		68		89	
3		27		48		69		90	
4		28		49		70		91	
5		29		50		71		92	
6		30		51		72		93	
7		31		52		73		94	
8		32		53		74		95	
9		33		54		75		96	
10		34		55		76		97	
11		35		56		77		98	
12		36		57		78		99	
13		37		58		79		100	
17		38		59		80		101	
18		39		60		81		105	
19		40		61		82		106	
20		41		62		83		107	
21		42		63		84		108	
22		43		64		85		109	
23		44		65		86		201	
24		45		66		87		202	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1                      弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
14		102	
15		103	
16		104	
110			
111			

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	15			
弁2	103			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-023

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2						
4						
10						
12						
18						
20						
23						
** 23 **						
28						
31						
33						
38						
41						
45						
53						
57						
60						
63						
66						
70						
75						
78						
80						
83						
88						
90						
93						
95						
99						
109						
** 111 **						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STS410	60	—	234	408	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 2 2	原子炉建屋		

設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 2 3	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-022

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答水平震度*1	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答鉛直震度*1
モード	固有周期 (s)	X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次*2	<input type="text"/>						
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

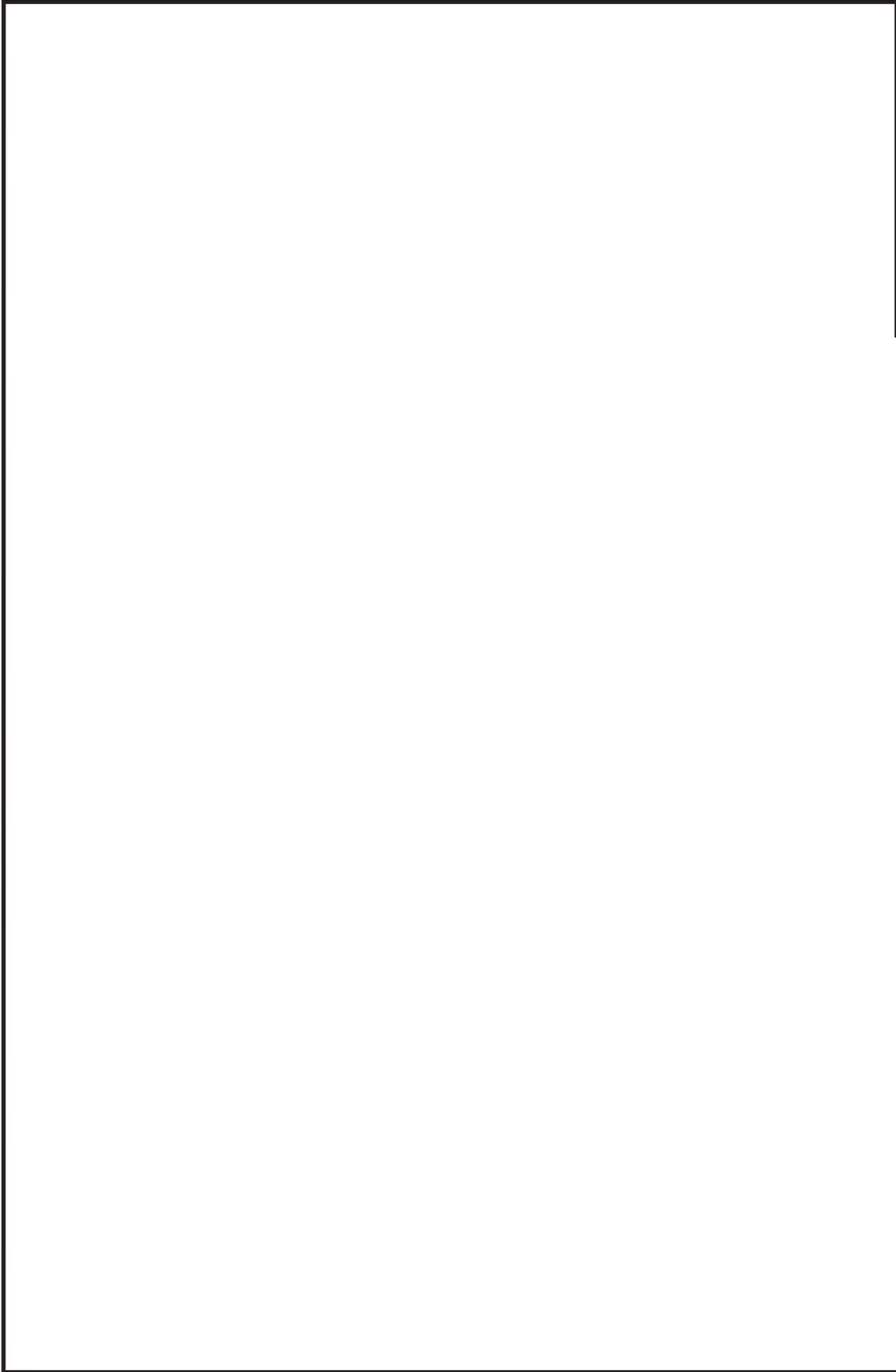
\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定められた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定められた震度を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、1次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図 RHR-022

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RHR-023

モード	適用する地震動等	S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1 X 方向	応答水平震度*1 Z 方向	応答鉛直震度*1 Y 方向	応答水平震度*1 X 方向	応答水平震度*1 Z 方向	応答鉛直震度*1 Y 方向
1 次*2	<input type="text"/>						
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

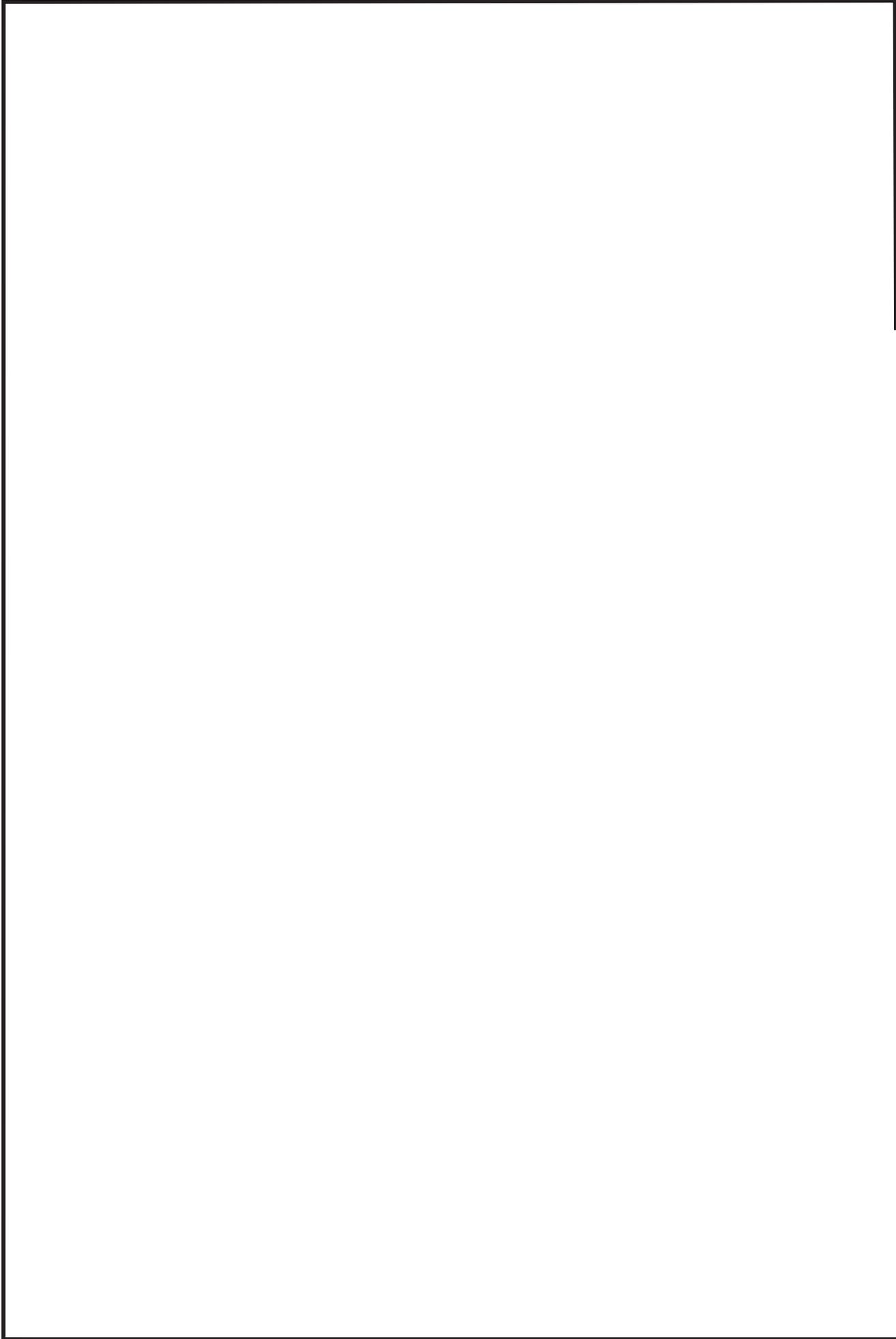
\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定められた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定められた震度を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、1次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図 RHR-023

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(SS)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(SS)	許容応力 2・Sy	
RHR-022	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	22 1	Spr m(SS) S n(SS)	37 —	367 —	— 266	— 468	— — U S s

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0 . 9 ・ S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	
RHR-023	V <sub>A</sub> S	109	S p r m ( S s )	53	367	—	—	—
	V <sub>A</sub> S	109	S n ( S s )	—	—	223	468	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RHR-021-149B	ロッドレストレイント	RSA-1	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		4	15

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RHR-022-022R	レストレイント	ラグ	SGV410	60	4	5	21	-	-	-	組合せ	99	258
RHR-022-057A	アソカ	ラグ	SGV410	60	45	18	11	8	9	12	曲げ	155	496
RHR-023-109A	アソカ	架構	STKR400	66	35	49	25	27	3	33	曲げ	126	433

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS														
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表		
1	RHR-021	15	44	367	8.34	—	147	147	468	3.18	—	—	—	—		
2	RHR-022	22	37	367	9.91	—	1	266	468	1.75	○	—	—	—		
3	RHR-023	109	53	367	6.92	○	109	223	468	2.09	—	—	—	—		

VI-2-9-4-3-4 代替循環冷却系の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-3-4-1 代替循環冷却ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-3-4-2 管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）

VI-2-9-4-3-4-1 代替循環冷却ポンプ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
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、代替循環冷却ポンプ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。

代替循環冷却ポンプは、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。以下、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。

なお、代替循環冷却ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

代替循環冷却ポンプの構造計画を表 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>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

### 3. 構造強度評価

#### 3.1 構造強度評価方法

代替循環冷却ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

#### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

##### 3.2.2 許容応力

代替循環冷却ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

##### 3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

#### 3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【代替循環冷却ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 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 代替循環冷却系	代替循環冷却 ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S として IV <sub>A</sub> S の許容限界 を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備 その他原子 炉注水設備	代替循環冷却 ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S として IV <sub>A</sub> S の許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備 原子炉格納容器 下部注水系	代替循環冷却 ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S として IV <sub>A</sub> S の許容限界 を用いる。)

注記\*1：「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ポンプの支持構造物を含む。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S としてIV <sub>A</sub> S の許容限界を用いる。)		

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	60			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	186			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	60			—

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

代替循環冷却ポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

代替循環冷却ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「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。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度	
ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	水平方向	軸直角方向	3.2
			軸方向	1.4
		鉛直方向	1.0	
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7	
		鉛直方向	1.0	

## 5. 評価結果

### 5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却ポンプ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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
代替循環冷却ポンプ	常設/緩和	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	—*2	—*2	—	—	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.69		186	60

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
ポンプ取付ボルト (i=2)								2
原動機取付ボルト (i=3)							2	
							4	2
							4	2

部 材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸直角	5.730×10 <sup>5</sup>

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	σ <sub>b1</sub> =13	f <sub>ts1</sub> =204*
		せん断	—	—	τ <sub>b1</sub> =14	f <sub>sb1</sub> =157
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	—	f <sub>ts2</sub> =444*
		せん断	—	—	τ <sub>b2</sub> =7	f <sub>sb2</sub> =342
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	σ <sub>b3</sub> =13	f <sub>ts3</sub> =344*
		せん断	—	—	τ <sub>b3</sub> =11	f <sub>sb3</sub> =265

すべて許容応力以下である。

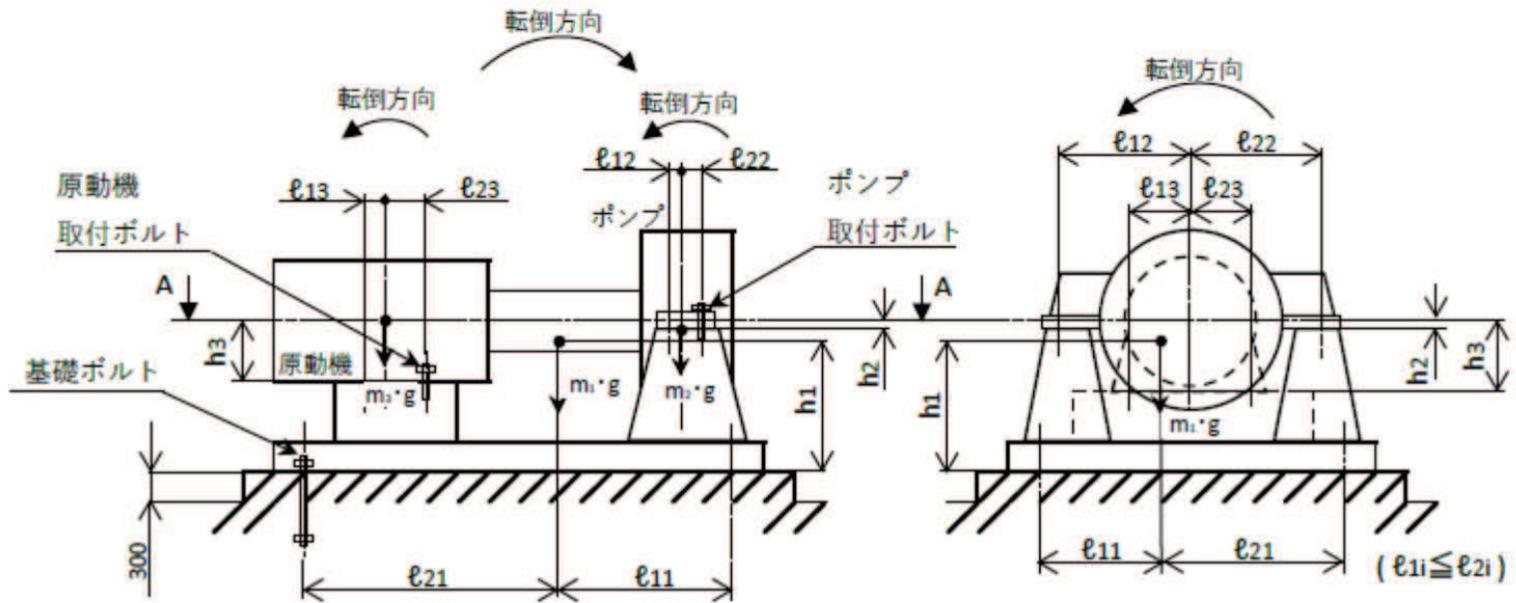
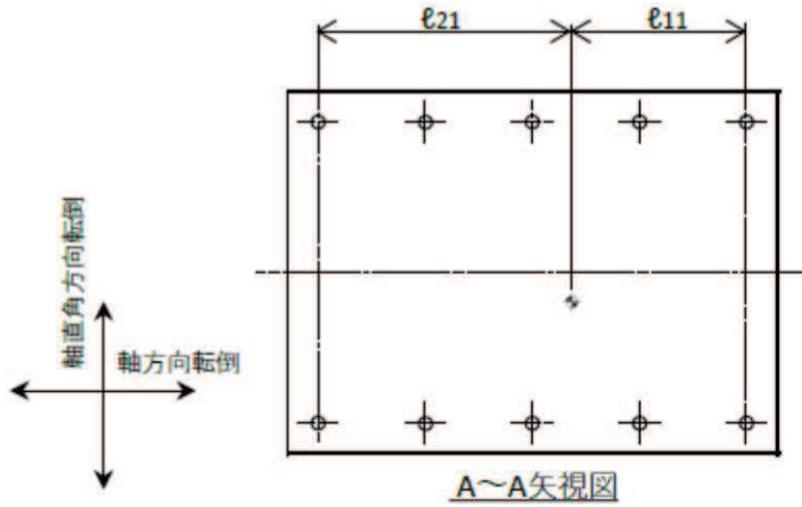
注記\*：f<sub>tsi</sub>=Min[1.4・f<sub>toi</sub>-1.6・τ<sub>bi</sub>, f<sub>toi</sub>]より算出

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	3.2(軸直角)
			1.4(軸)
原動機	鉛直方向	0.57	1.0
	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向	0.57	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-9-4-3-4-2 管の耐震性についての計算書  
(代替循環冷却系)

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、代替循環冷却系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

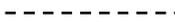
### (3) 弁

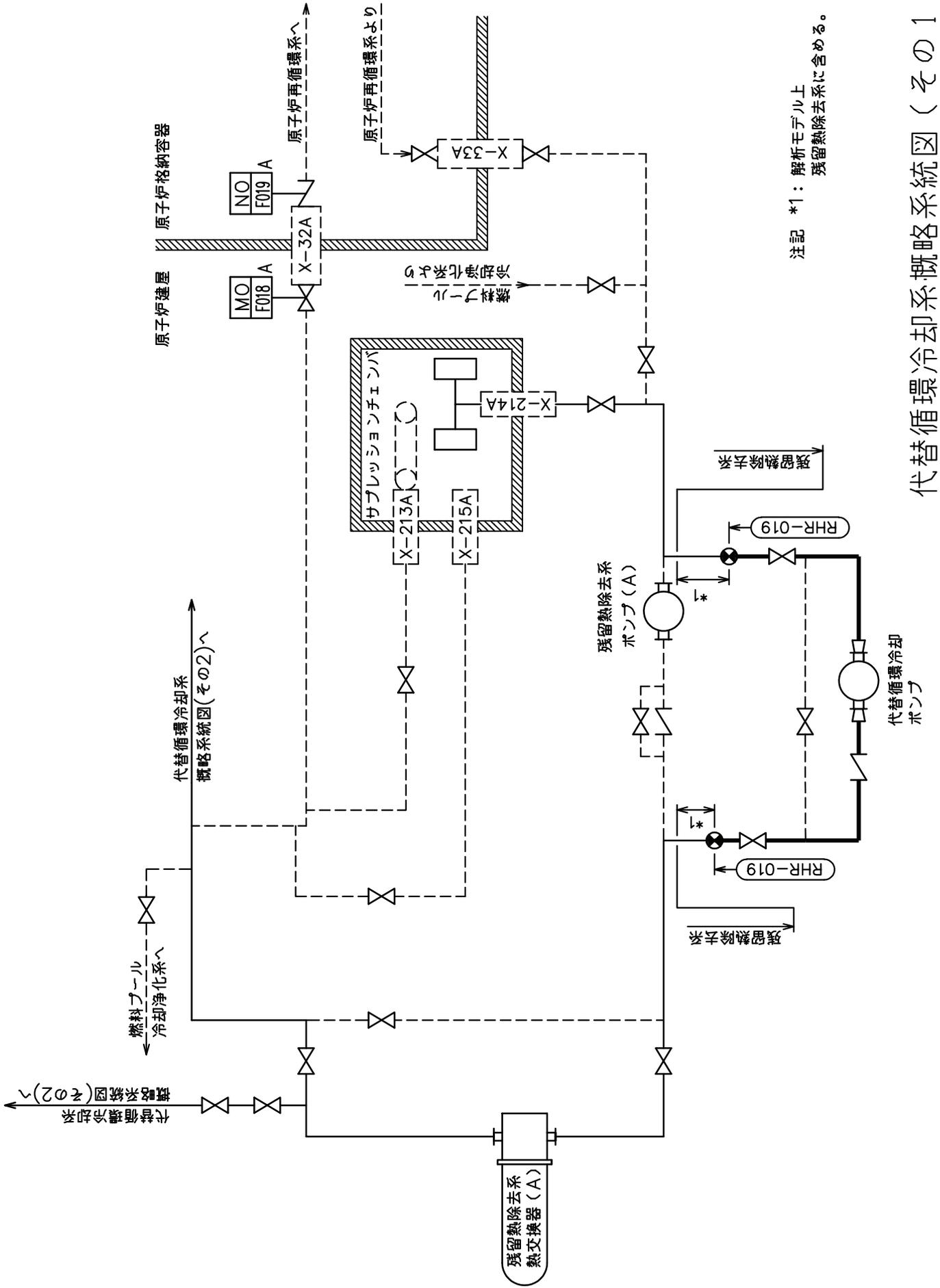
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

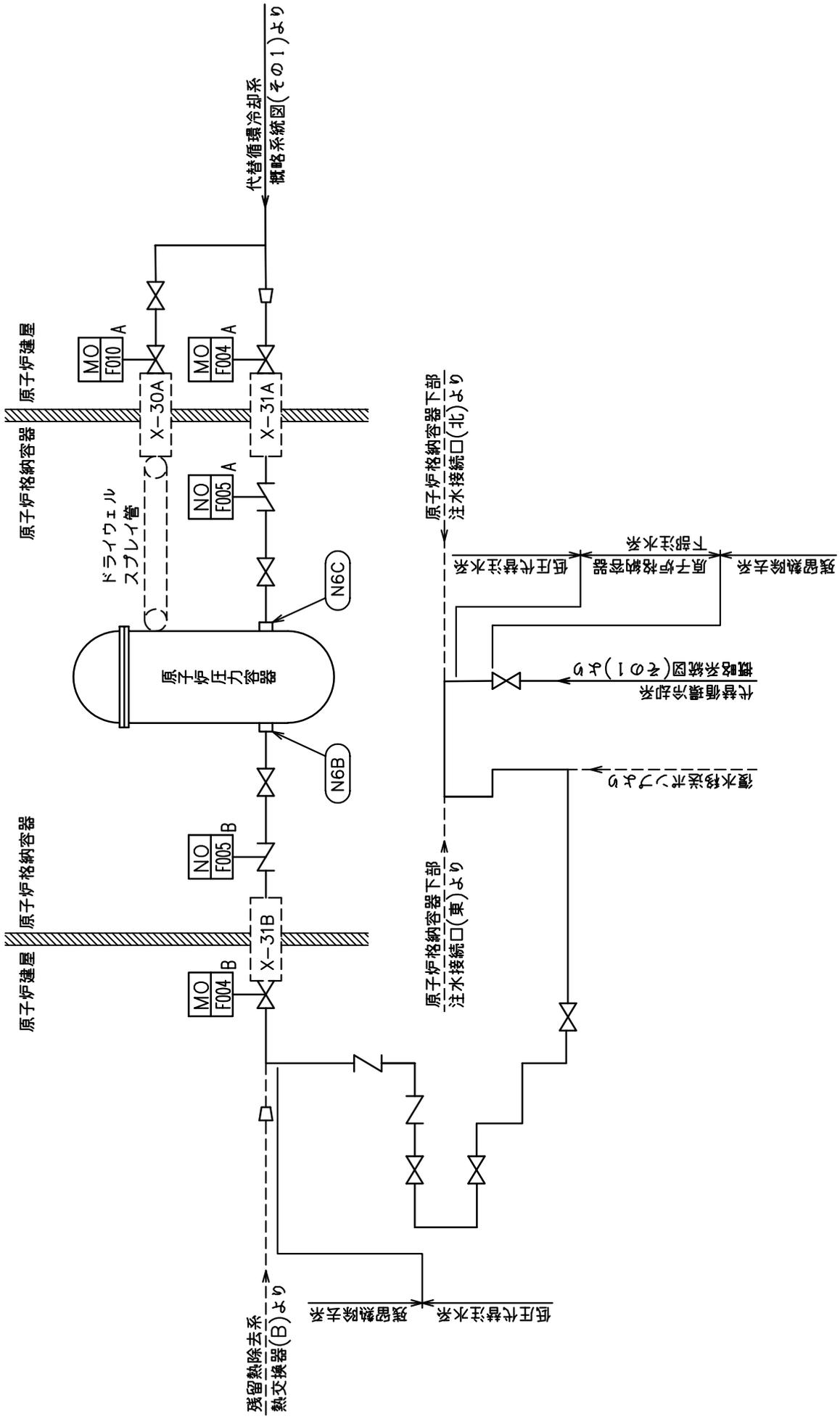
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



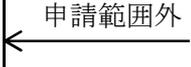
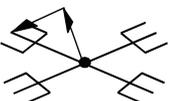
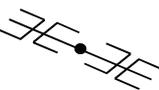
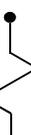
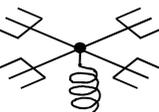
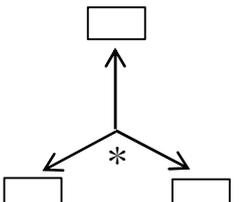
代替循環冷却系概略系統図(その1)

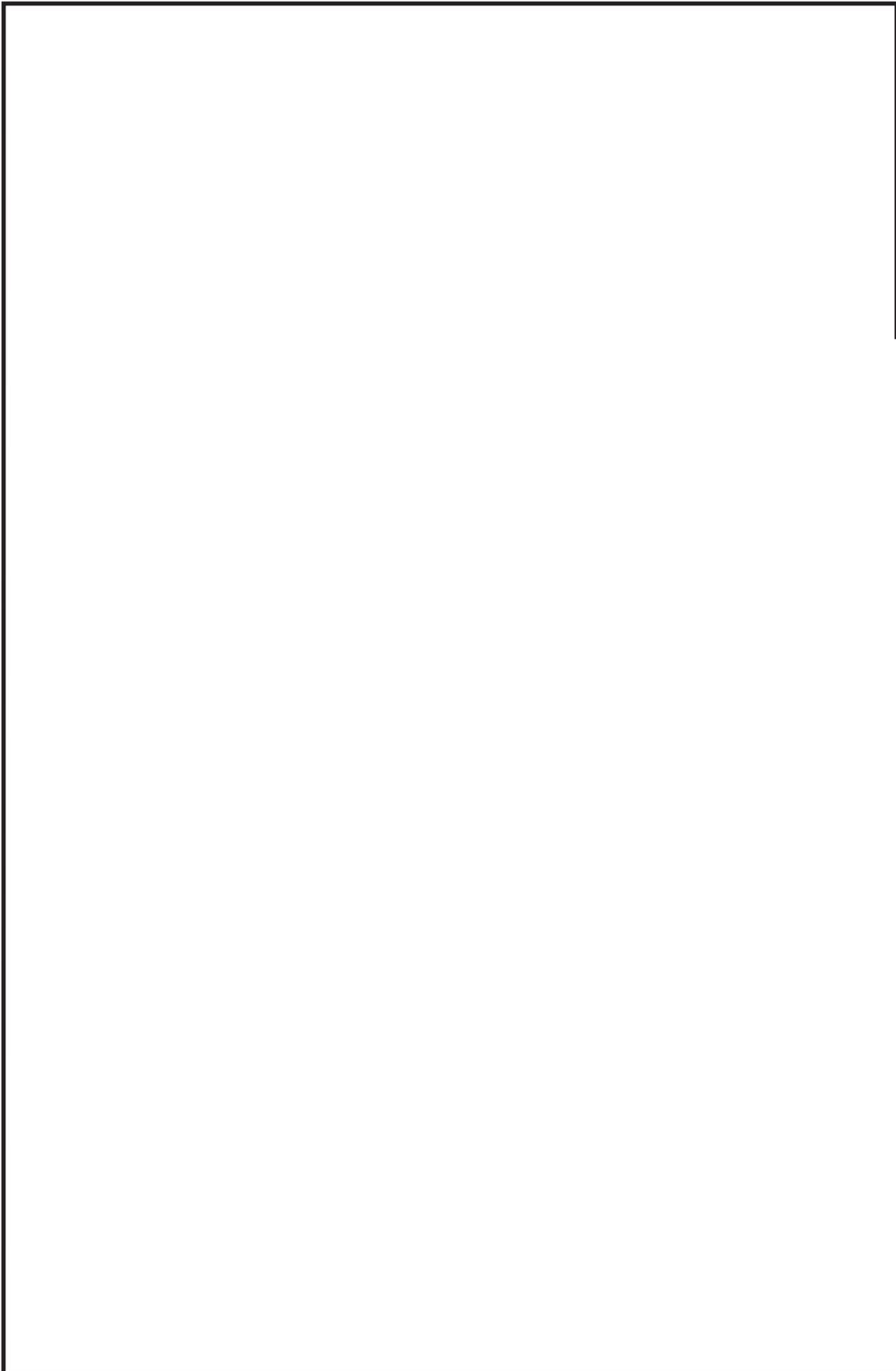


代替循環冷却系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

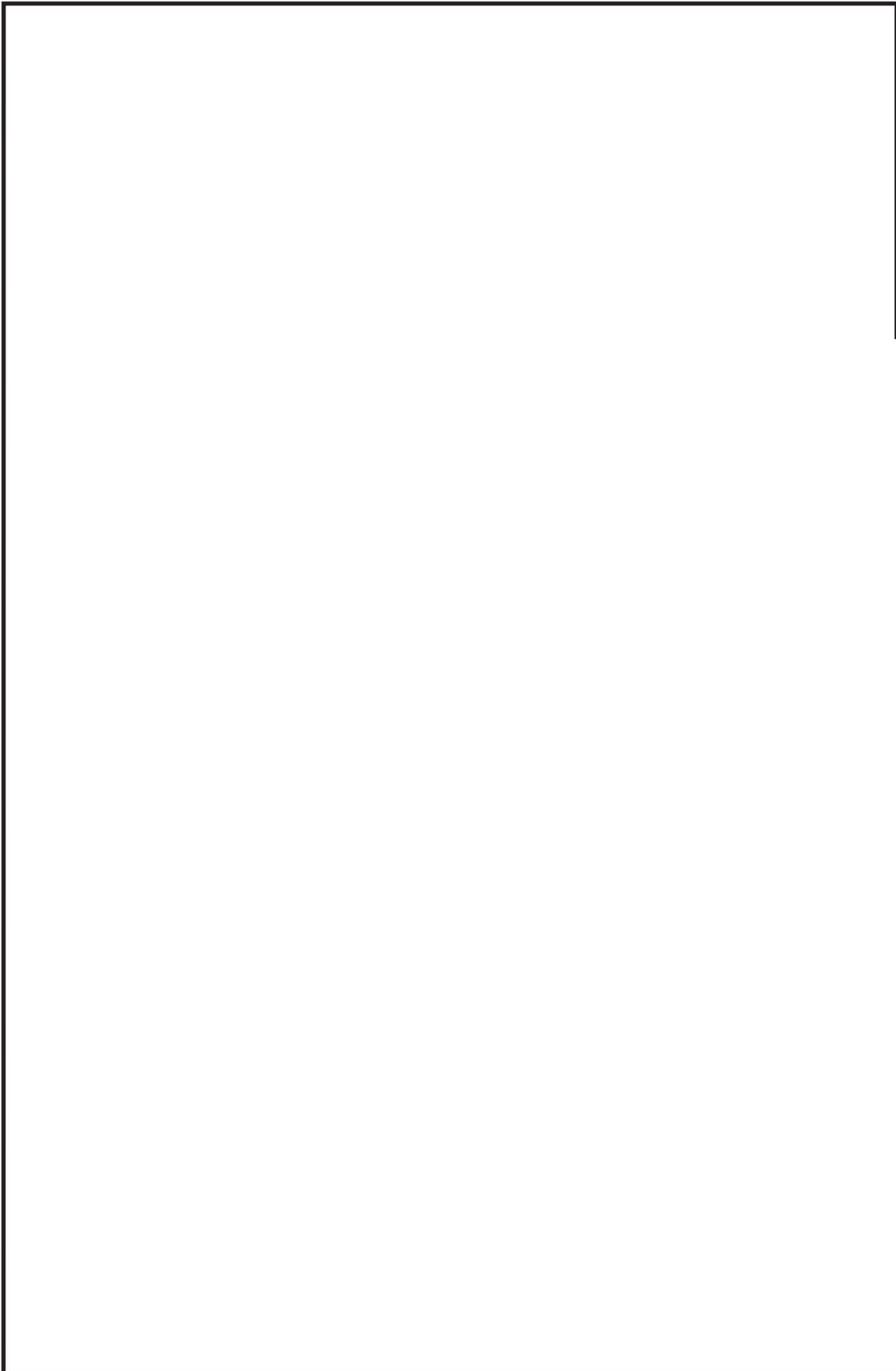
記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



鳥瞰図

RHR-019-1/3

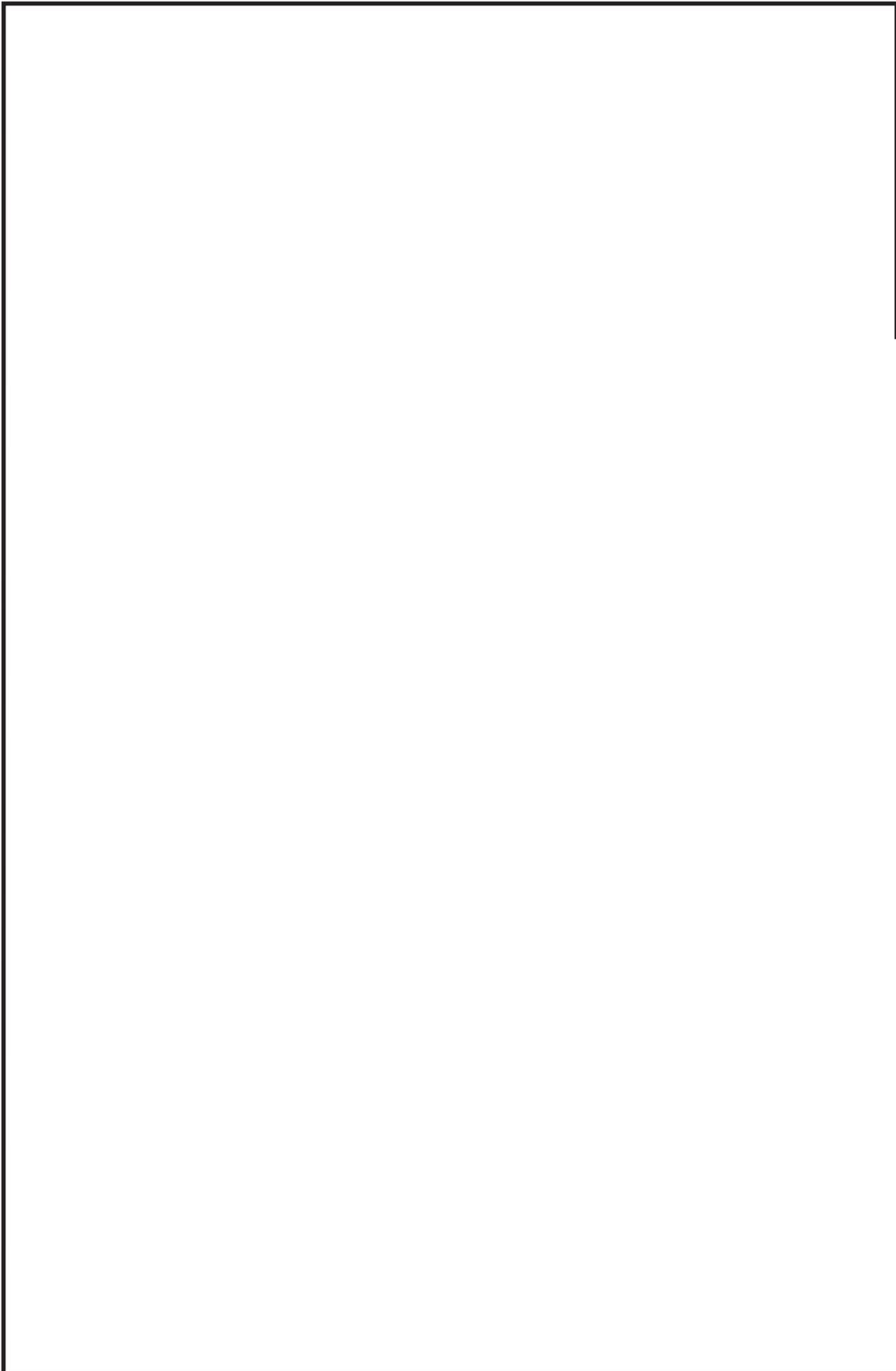
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

RHR-019-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RHR-019-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,*4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	代替循環冷却系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S$	$V_A S$
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	代替循環冷却系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	原子炉格納容器下 部注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S$	$V_A S$

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し，許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-019

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	186	267.4	9.3	STS410	—	192120
2	1.37	186	267.4	9.3	STS410	—	192120
3	1.37	186	165.2	7.1	STS410	—	192120
4	3.73	186	114.3	6.0	STS410	—	192120
5	3.73	186	165.2	7.1	STS410	—	192120
6	3.73	186	165.2	7.1	STS410	—	192120

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-019

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6									
2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29								
3	29	30	100												
4	33	34	101												
5	34	35	36	37	38	39	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
	65	66	67	68	69	70	71	72	73						
6	75	76	77	78	79	80	81								

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 RHR-019

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		19		36		54		69	
2		20		37		55		70	
3		21		38		56		71	
4		22		42		57		72	
5		23		43		58		76	
9		24		44		59		77	
10		25		45		60		78	
11		26		46		61		79	
12		27		47		62		80	
13		28		48		63		81	
14		29		49		64		100	
15		30		50		65		101	
16		33		51		66			
17		34		52		67			
18		35		53		68			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
6		39		73	
7		40		74	
8		41		75	
31				82	
32				83	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	7			
弁2	40			
弁3	74			

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-4-2(重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-019

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
** 5 **						
15						
18						
25						
30						
32						
33						
42						
47						
50						
60						
63						
70						
72						
** 72 **						
76						
** 76 **						
81						
** 83 **						

[Redacted area]

O2 ⑥ VI-2-9-4-3-4-2(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STS410	186	—	208	404	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 9	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-019

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答水平震度*1	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	
モード	固有周期 (s)	X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	[Redacted]						
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 RHR-019

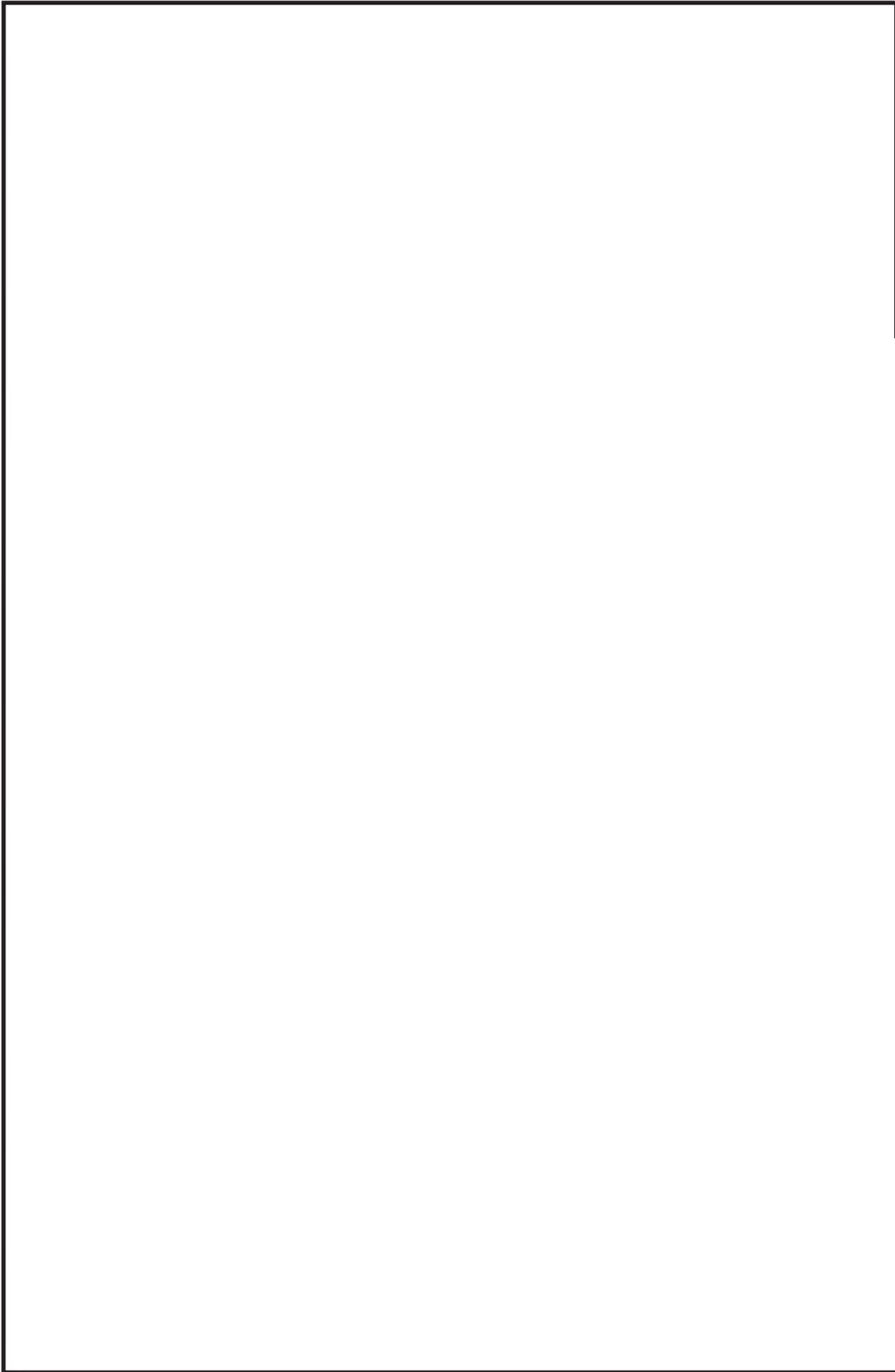
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

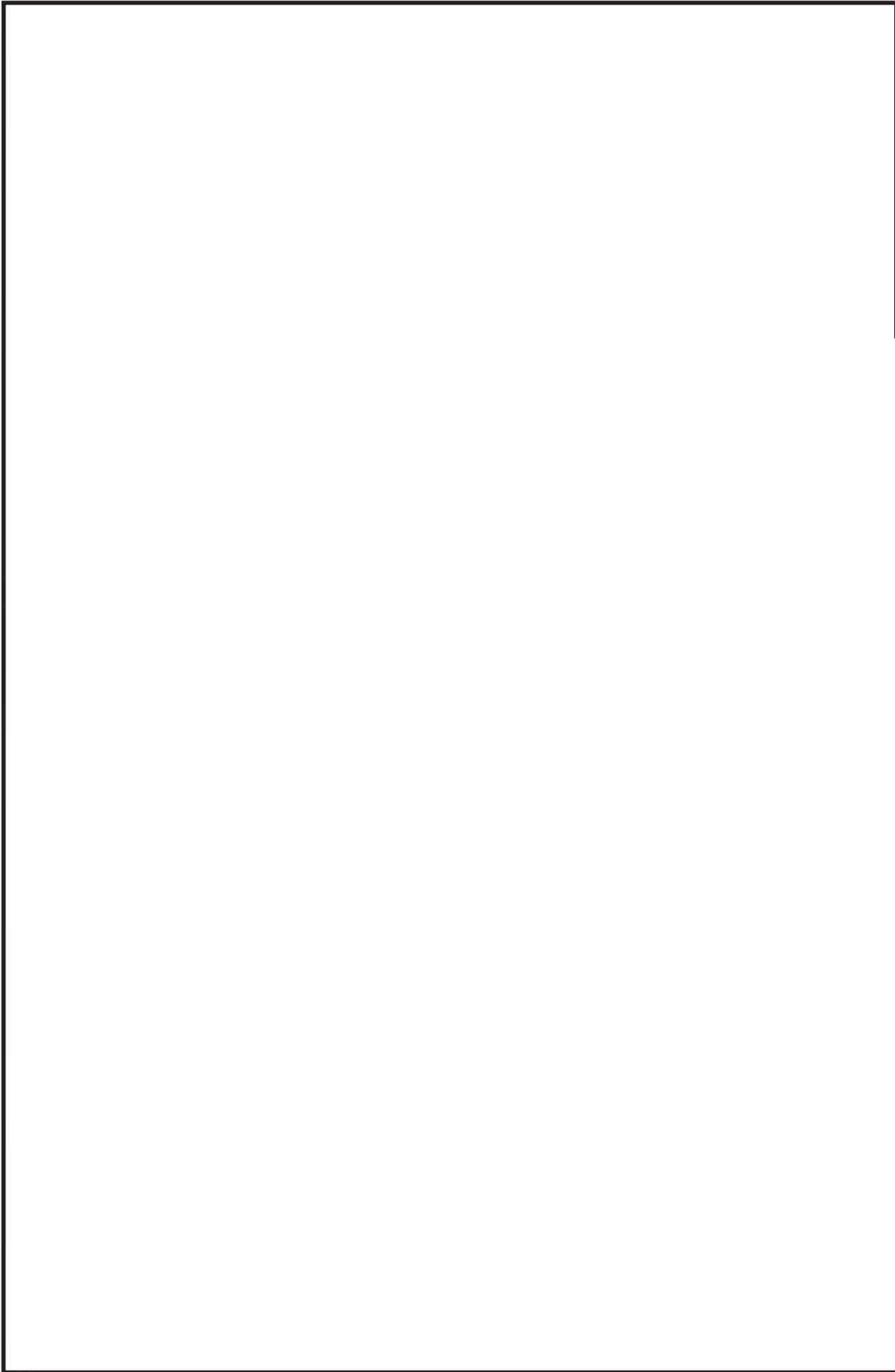
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



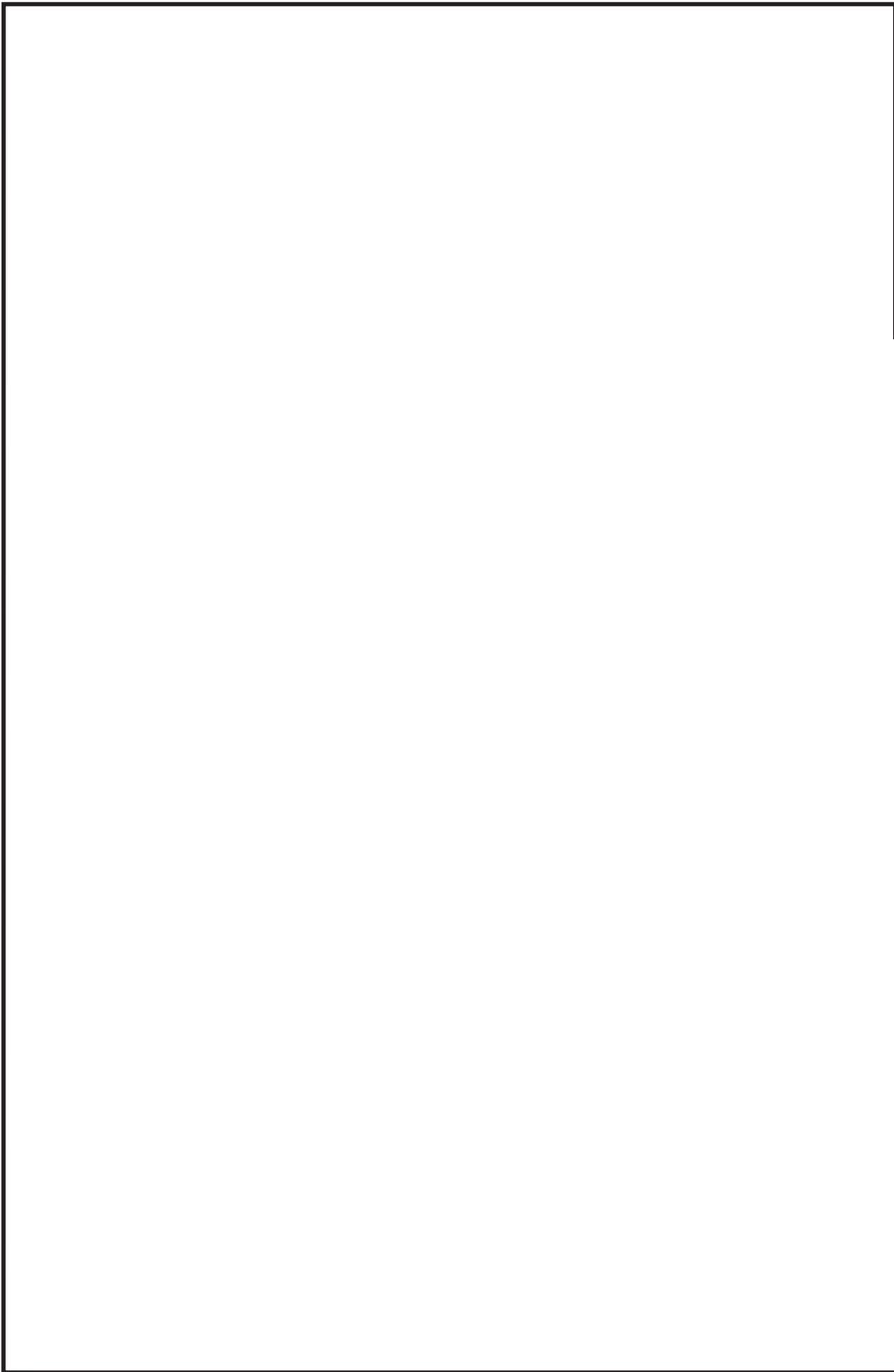
鳥瞰図 RHR-019

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RHR-019

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RHR-019

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0 . 9 ・ S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	
RHR-019	V <sub>A</sub> S	33	S p r m ( S s )	138	363	—	—	—
	V <sub>A</sub> S	33	S n ( S s )	—	—	249	416	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RHR-019-083SA	メカニカルスナッパ	SMS-1-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		5	15
RHR-019-032BB	ロッドレストレイント	RSA-3			8	45

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
RHR-019-005R	レストレイント	架構	STKR400	130	17	38	17	-	-	-	-	組合せ	48	225
RHR-019-001A	アンカ	架構	STKR400	130	65	31	50	26	38	18	18	曲げ	151	375

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	型式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と余裕を算出し、応力分類ごとに余裕が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力				一次+二次応力				疲労評価				
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	余裕 裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	余裕 裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RHR-019	33	138	363	2.63	○	33	249	416	1.67	○	—	—	—

VI-2-9-4-4 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに  
格納容器再循環設備の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-4-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-2 可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-3 原子炉建屋水素濃度制御系の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-4 可搬型窒素ガス供給系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-4-1-1 非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）
- VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-1-4 非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-1-1 非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性  
についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ガス処理系空気乾燥装置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。

非常用ガス処理系空気乾燥装置は、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重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

非常用ガス処理系空気乾燥装置の構造計画を表 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>非常用ガス処理系空気乾燥装置は架台にスライドボルトで固定され、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>電気式（デミスタ、電気ヒータを内蔵した乾燥装置、角形ダクト式）</p>	<p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

非常用ガス処理系空気乾燥装置の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示す非常用ガス処理系空気乾燥装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく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。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

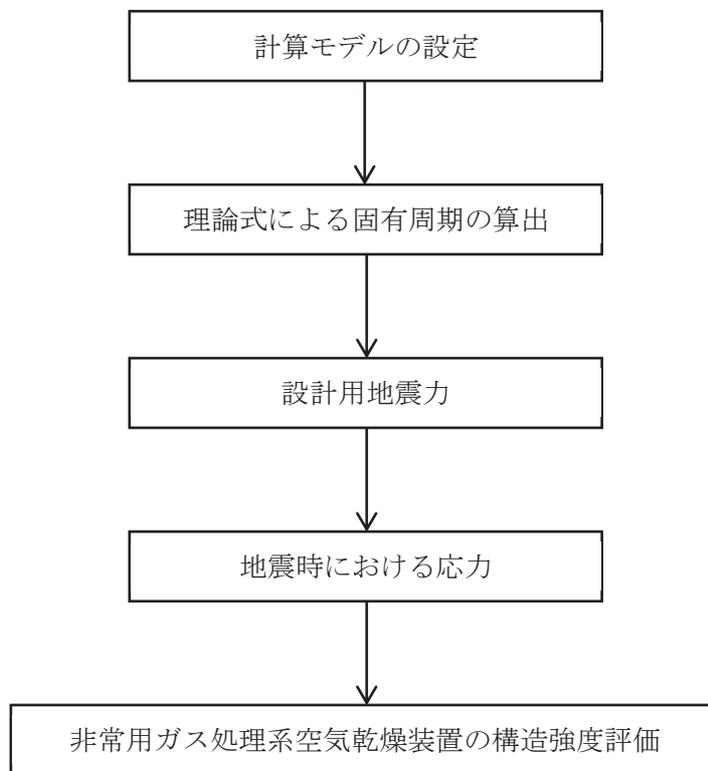


図 2-1 非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震評価フロー

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（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
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$A_e$	有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$G$	せん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	架台上面，固定面又は据付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$I$	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$K_H$	水平方向ばね定数	N/m
$K_V$	鉛直方向ばね定数	N/m
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{qi}$	せん断力を受けるボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1 :  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $n_i$ ,  
 $n_{fi}$ ,  $n_{qi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi}(RT)$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意  
味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : スライドボルト

$i = 2$  : 固定ボルト

$i = 3$  : 基礎ボルト

\*2 :  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 架台上面

$i = 2$  : 固定面

$i = 3$  : 据付面

\*3 :  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2 : 絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、固定ボルト及びスライドボルトについて実施する。非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系空気乾燥装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

###### (1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系空気乾燥装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 変形は非常用ガス処理系空気乾燥装置をはりと考えたときの曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- c. 非常用ガス処理系空気乾燥装置は架台上にあり、架台は固定ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

非常用ガス処理系空気乾燥装置は、図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

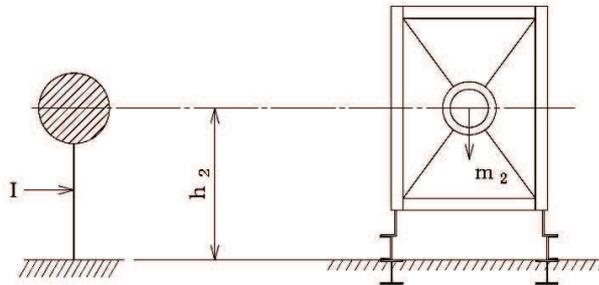


図 4-1 固有周期の計算モデル

###### (2) 水平方向固有周期

曲げ及びびせん断変形によるばね定数 $K_H$ は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{G \cdot A_e}} \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

したがって、水平方向固有周期 $T_H$ は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2}{K_H}} \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 $K_v$ は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_2}{E \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって、鉛直方向固有周期 $T_v$ は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平		
鉛直		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は非常用ガス処理系空気乾燥装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 基礎ボルト及び固定ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとする。  
また、スライドボルトに対するせん断力は、長辺方向にスライドできるものとし、固定部（2 本）のボルト本数のみで受けるものとする。

### 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

非常用ガス処理系空気乾燥装置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。

#### 5.2.2 許容応力

非常用ガス処理系空気乾燥装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系空気乾燥装置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	非常用ガス処理系 空気乾燥装置	S	—*1	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub> *	III <sub>A</sub> S
				D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S

注記\*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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	非常用ガス処理系 空気乾燥装置	常設／緩和	重大事故等 クラス2管*2	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub> *3	IV <sub>A</sub> S
				D + P <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許 容限界を用いる。)

注記\*1：「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管の支持構造物を含む。

\*3：「D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>s</sub>」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
スライドボルト	[Redacted]	最高使用温度	[Redacted]	[Redacted]	—
固定ボルト		最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	225	386	—

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
スライドボルト	[Redacted]	最高使用温度	[Redacted]	[Redacted]	—
固定ボルト		最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	225	386	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 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<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O. P. 22. 50*			C <sub>H</sub> =1. 13	C <sub>V</sub> =0. 91	C <sub>H</sub> =2. 12	C <sub>V</sub> =1. 56

注記\*：基準床レベルを示す。

表 5-7 設計用地震力（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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O. P. 22. 50*			—	—	C <sub>H</sub> =2. 12	C <sub>V</sub> =1. 56

注記\*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルト、固定ボルト及びスライドボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

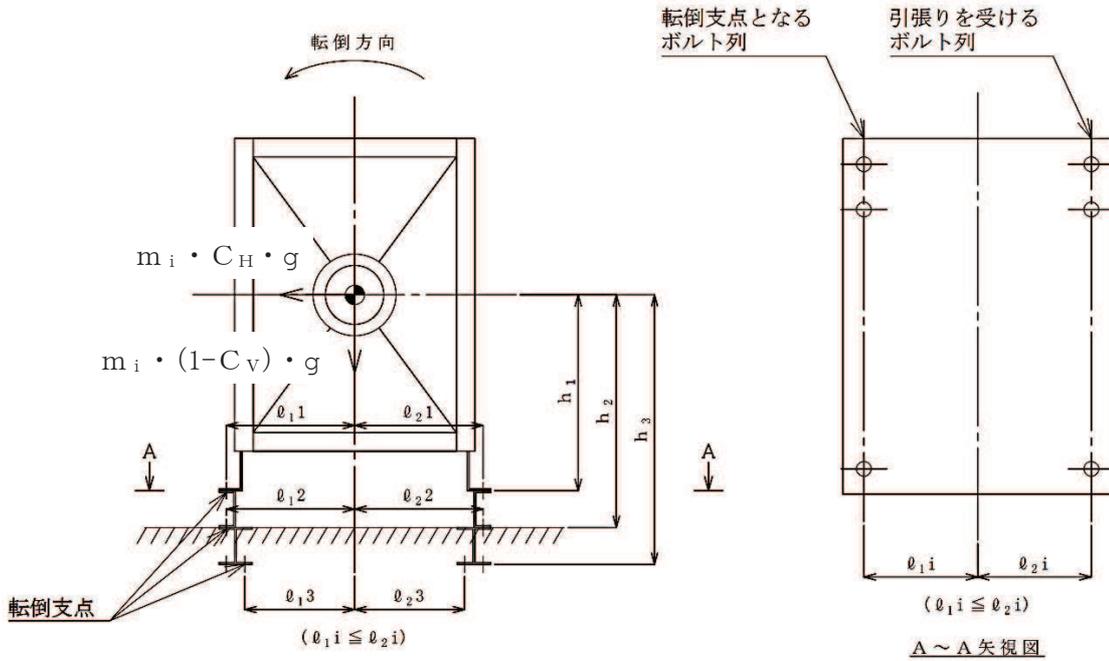


図 5-1(1) 計算モデル  
(短辺方向転倒-1  $(1-C_V) \geq 0$  の場合)

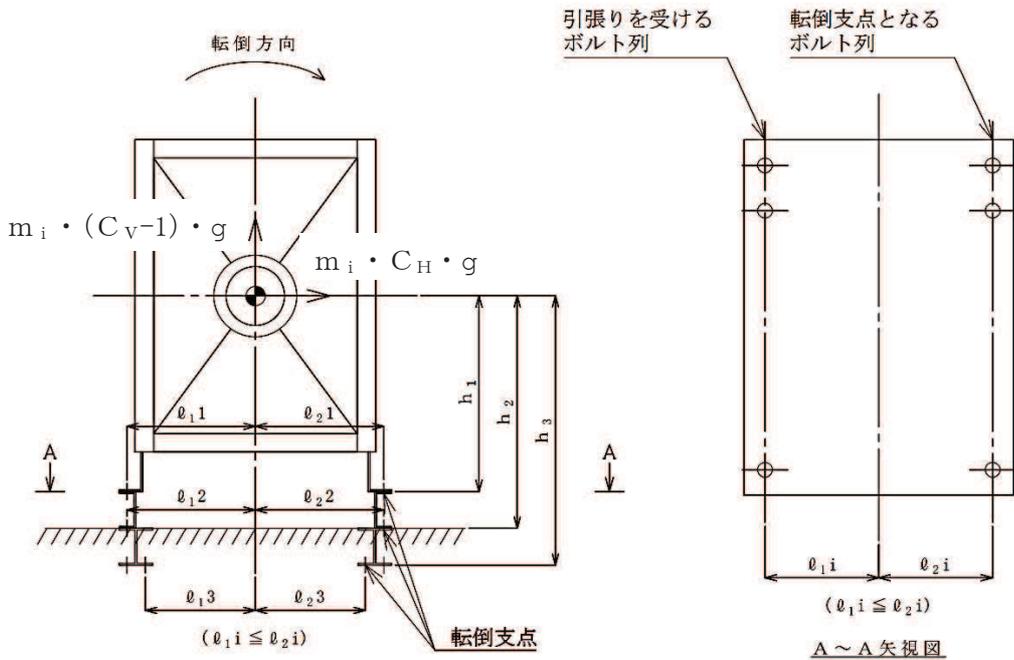


図 5-1(2) 計算モデル  
(短辺方向転倒-2  $(1-C_V) < 0$  の場合)

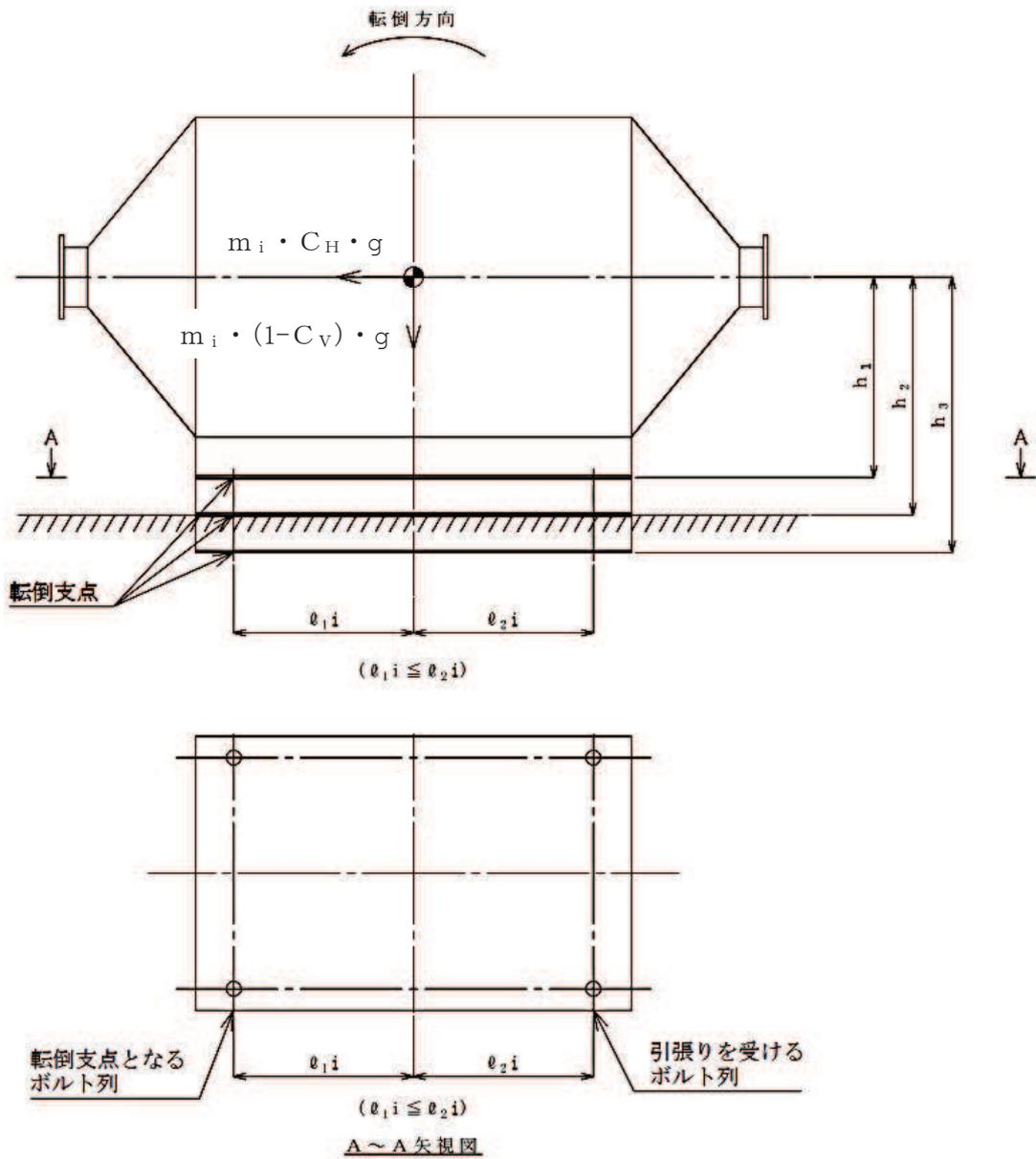


図 5-2(1) 計算モデル  
 (長辺方向転倒-1  $(1 - C_V) \geq 0$  の場合)

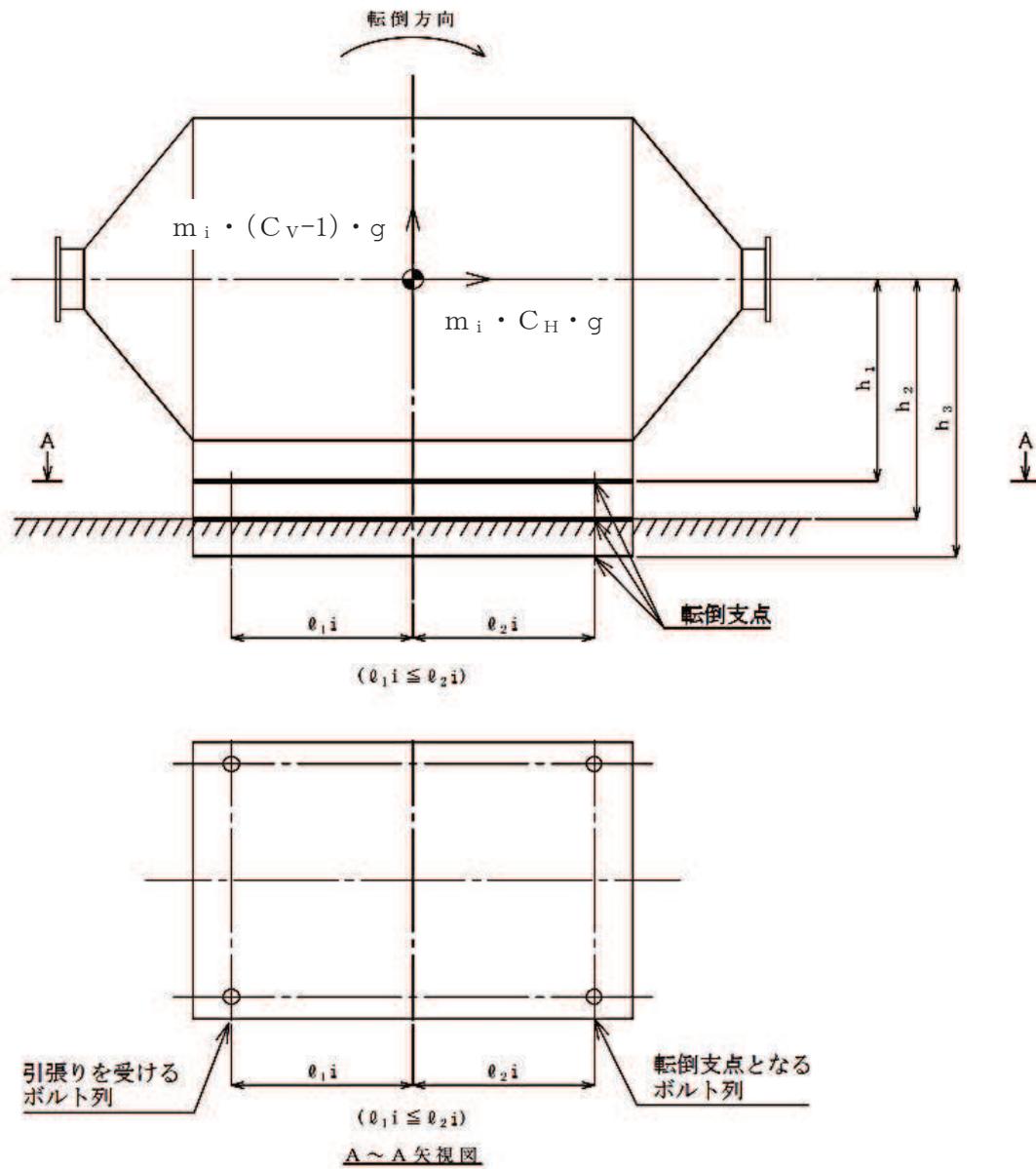


図 5-2(2) 計算モデル  
 (長辺方向転倒-2  $(1 - C_V) < 0$  の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図 5-1(1) 及び図 5-2(1) の場合の引張力  $((1 - C_v) \geq 0$  の場合)

$$F_{bi} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot g \cdot h_i - (1 - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2) 及び図 5-2(2) の場合の引張力  $((1 - C_v) < 0$  の場合)

$$F_{bi} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot g \cdot h_i - (1 - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{bi}$  は次式より求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト及び固定ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

また、スライドボルトに対するせん断力は固定部 (2 本) のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{bi} = C_H \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_{qi} \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{t si}$  以下であること。ただし、 $f_{t oi}$  は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力  $f_{s bi}$  以下であること。

ただし、 $f_{s bi}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系空気乾燥装置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次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系空気乾燥装置の重大事故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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
非常用ガス処理系 空気乾燥装置	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> = 1.13	C <sub>V</sub> = 0.91	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56	140	65

注記\*：基準レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	l <sub>1i</sub> *1 (mm)	l <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1	n <sub>qi</sub>
スライトボルト (i=1)							6	3 2	2
固定ボルト (i=2)							6	3 2	6
基礎ボルト (i=3)							12	6 4	12

部材	S <sub>vi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
スライトボルト (i=1)					長辺	長辺
固定ボルト (i=2)					長辺	長辺
基礎ボルト (i=3)	225*3 (16mm<径≦40mm)	386*3	225	270	短辺	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )
		1.594×10 <sup>10</sup>	1.820×10 <sup>4</sup>

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値  
 1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
スライドボルト (i = 1)				
固定ボルト (i = 2)				
基礎ボルト (i = 3)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スライドボルト (i = 1)		引張り	$\sigma_{b1} = 19$	$f_{ts1} = 444^*$	$\sigma_{b1} = 48$	$f_{ts1} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 38$	$f_{sb1} = 342$	$\tau_{b1} = 72$	$f_{sb1} = 342$
固定ボルト (i = 2)		引張り	$\sigma_{b2} = 25$	$f_{ts2} = 444^*$	$\sigma_{b2} = 60$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 14$	$f_{sb2} = 342$	$\tau_{b2} = 26$	$f_{sb2} = 342$
基礎ボルト (i = 3)	SS400	引張り	$\sigma_{b3} = 17$	$f_{ts3} = 169^*$	$\sigma_{b3} = 37$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 8$	$f_{sb3} = 130$	$\tau_{b3} = 14$	$f_{sb3} = 156$

すべて許容応力以下である。  
 注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【非常用ガス処理系空気乾燥装置の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
非常用ガス処理系 空気乾燥装置	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 22.50*			—	—	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56	140	65

注記\*：基準レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	ℓ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>	n <sub>qi</sub>
スライドボルト (i=1)							6	3 2	2
固定ボルト (i=2)							6	3 2	6
基礎ボルト (i=3)							12	6 4	12

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
スライドボルト (i=1)			—		—	長辺
固定ボルト (i=2)			—		—	長辺
基礎ボルト (i=3)	225 <sup>*3</sup> (16mm<径 ≤40mm)	386 <sup>*3</sup>	—	270	—	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )
		1.594×10 <sup>10</sup>	1.820×10 <sup>4</sup>

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
スライドボルト (i = 1)	—		—	
固定ボルト (i = 2)	—		—	
基礎ボルト (i = 3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

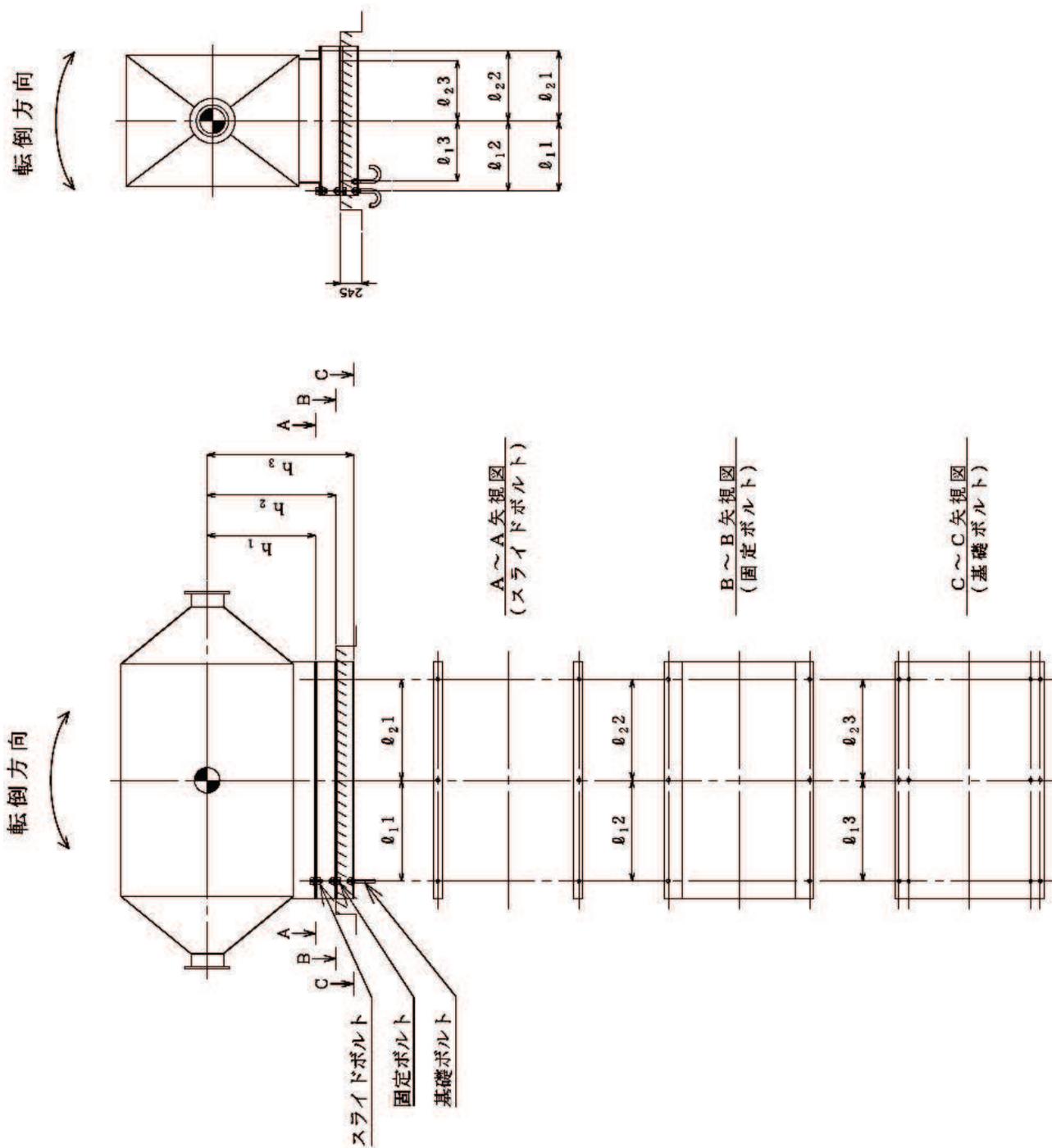
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スライドボルト (i = 1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 48$	$f_{ts1} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 72$	$f_{sb1} = 342$
固定ボルト (i = 2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 60$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 26$	$f_{sb2} = 342$
基礎ボルト (i = 3)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 37$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 14$	$f_{sb3} = 156$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書  
(非常用ガス処理系)

## 設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、非常用ガス処理系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

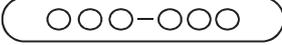
### (3) 弁

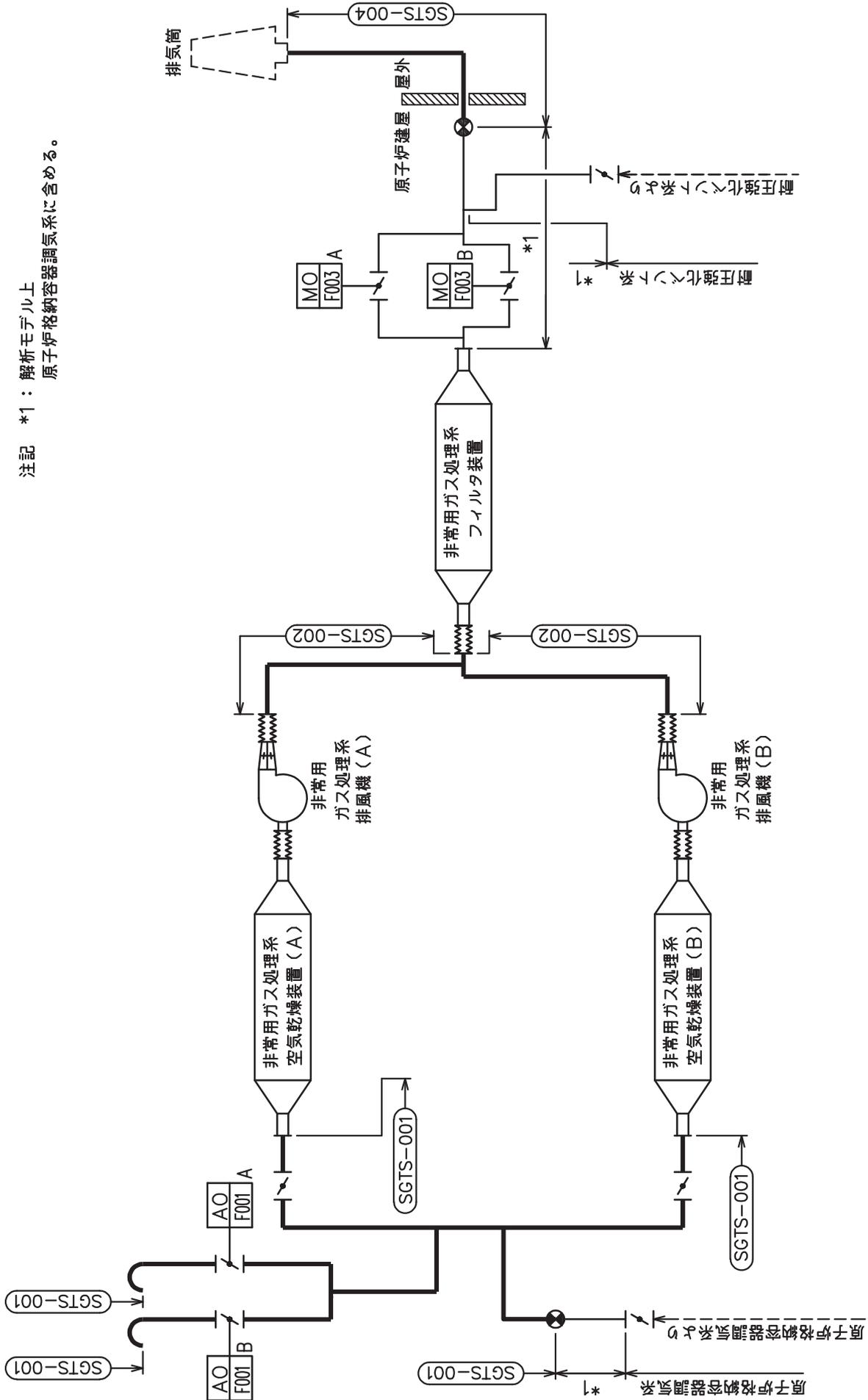
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

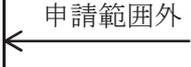
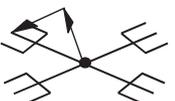
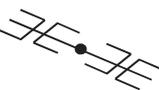
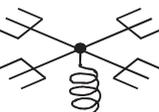
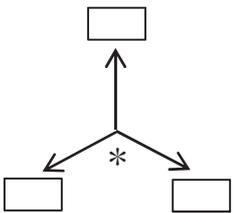


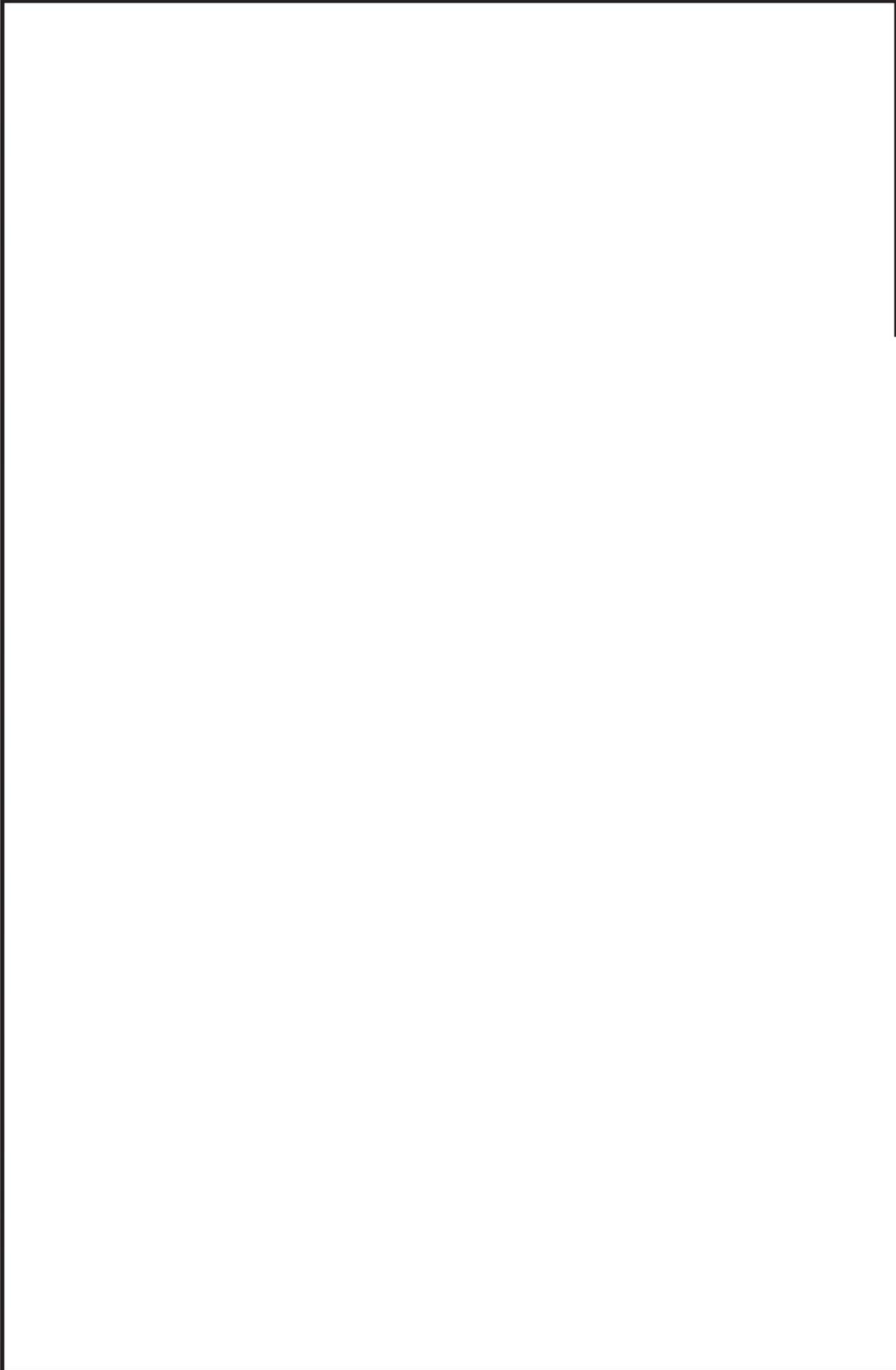
注記 \*1：解析モデル上  
原子炉格納容器調気系に含める。

非常用ガス処理系概略系統図

2.2 鳥瞰図

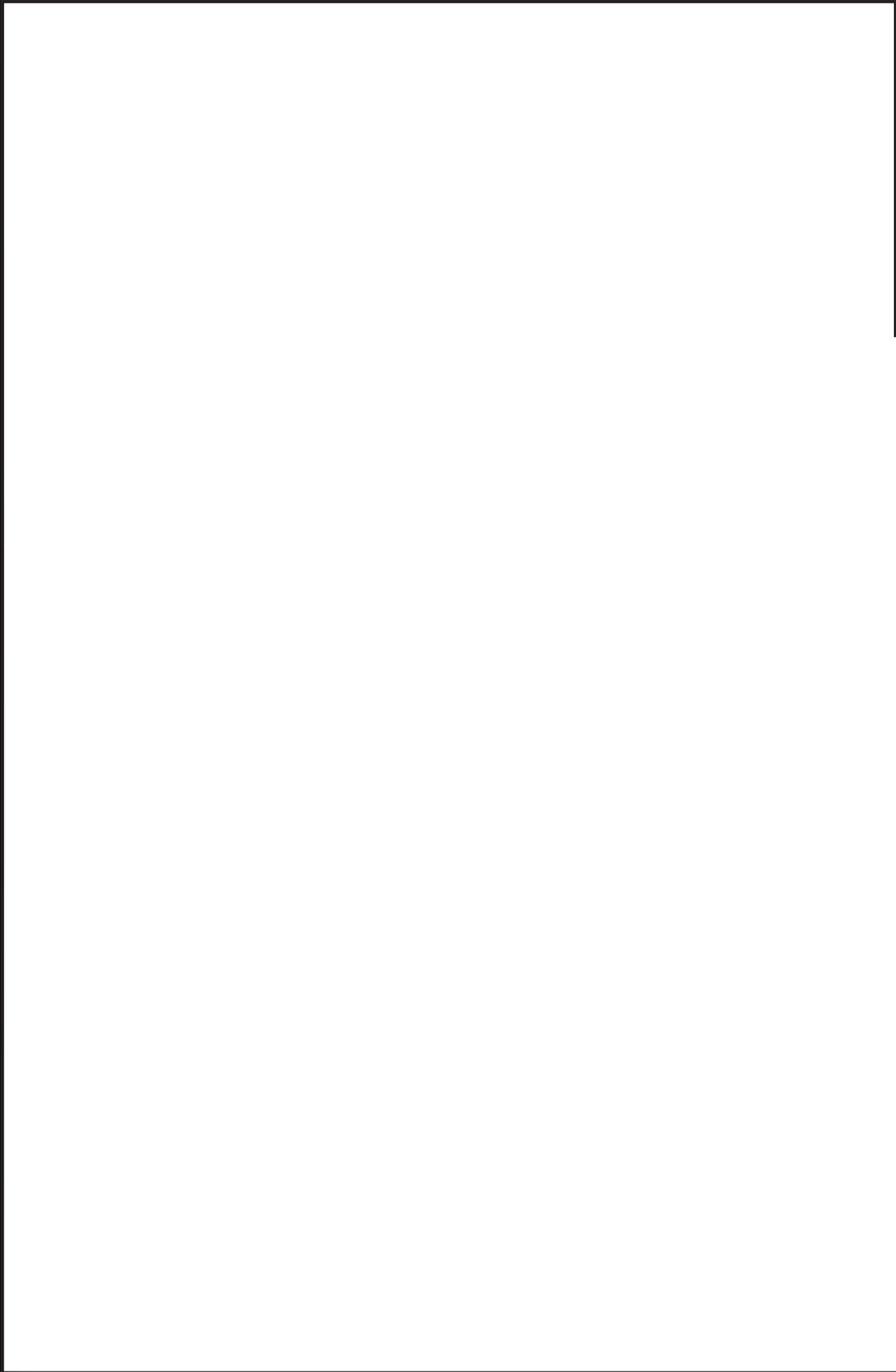
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



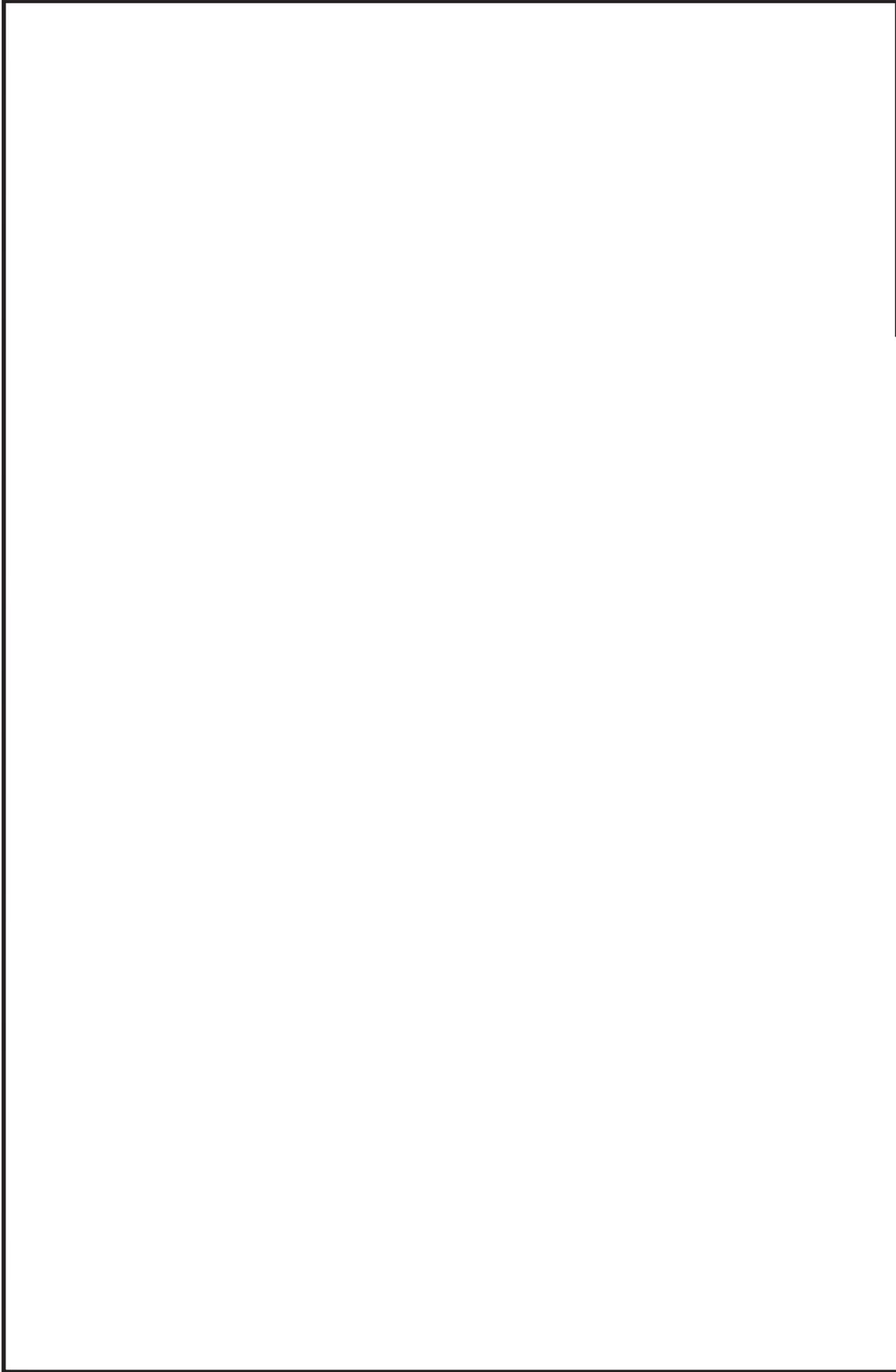
鳥瞰図 | SGTS-004-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | SGTS-004-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | SGTS-004-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *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	非常用ガス処理系	DB	—	クラス4管	S	I <sub>L</sub> +S d	III <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> +S d	
							I <sub>L</sub> +S s	
							II <sub>L</sub> +S s	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            S G T S - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	23.5kPa (0.0235MPa)	140	318.5	10.3	STS410	S	195400

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
	121	122	123	300	301	800	901	902	903	904	905	906			

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		28		55		82		109	
2		29		56		83		110	
3		30		57		84		111	
4		31		58		85		112	
5		32		59		86		113	
6		33		60		87		114	
7		34		61		88		115	
8		35		62		89		116	
9		36		63		90		117	
10		37		64		91		118	
11		38		65		92		119	
12		39		66		93		120	
13		40		67		94		121	
14		41		68		95		122	
15		42		69		96		123	
16		43		70		97		300	
17		44		71		98		301	
18		45		72		99		800	
19		46		73		100		901	
20		47		74		101		902	
21		48		75		102		903	
22		49		76		103		904	
23		50		77		104		905	
24		51		78		105		906	
25		52		79		106			
26		53		80		107			
27		54		81		108			

O 2 ⑥ VI-2-9-4-4-1-2(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
8						
13						
16						
20						
** 27 **						
28						
** 33 **						
34						
37						
** 37 **						
41						
** 41 **						
** 46 **						
** 53 **						
** 57 **						
** 61 **						
** 65 **						
** 69 **						



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 73 **						
** 77 **						
** 81 **						
** 84 **						
** 87 **						
** 89 **						
** 91 **						
** 93 **						
** 95 **						
103						
107						
111						
114						
119						
122						
901						
902						
** 903 **						

[Redacted area]

O 2 ⑥ VI-2-9-4-4-1-2(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
904						
** 904 **						
905						
906						

[Redacted box]

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STS410	140	—	215	404	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
S G T S - 0 0 4	原子炉建屋		
	排気筒連絡ダクト		
	排気筒基礎		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 SGT S-004

適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s	
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
49 次							
50 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定められた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定められた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

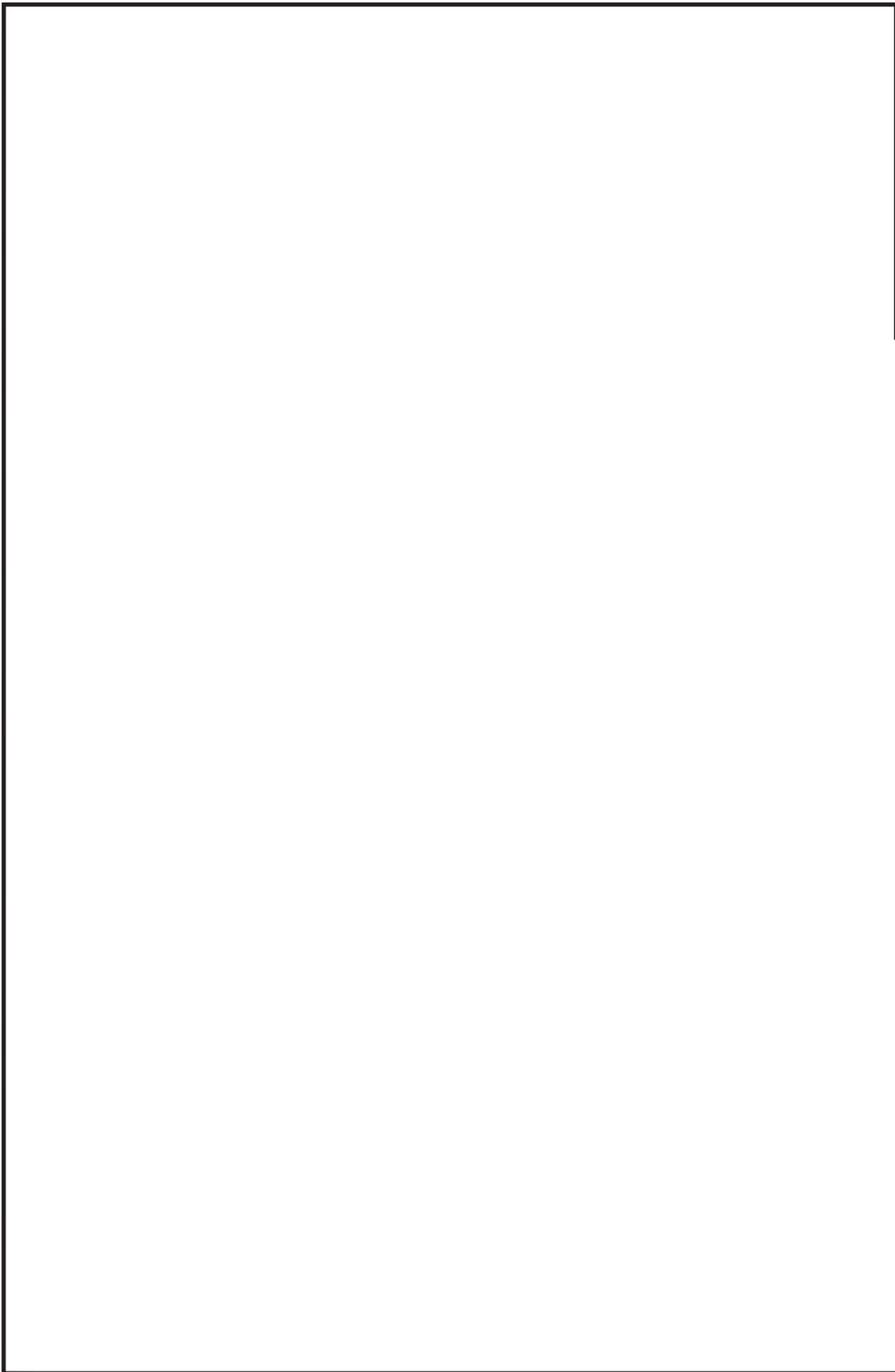
鳥瞰図 SGT S-004

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
49 次				

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。

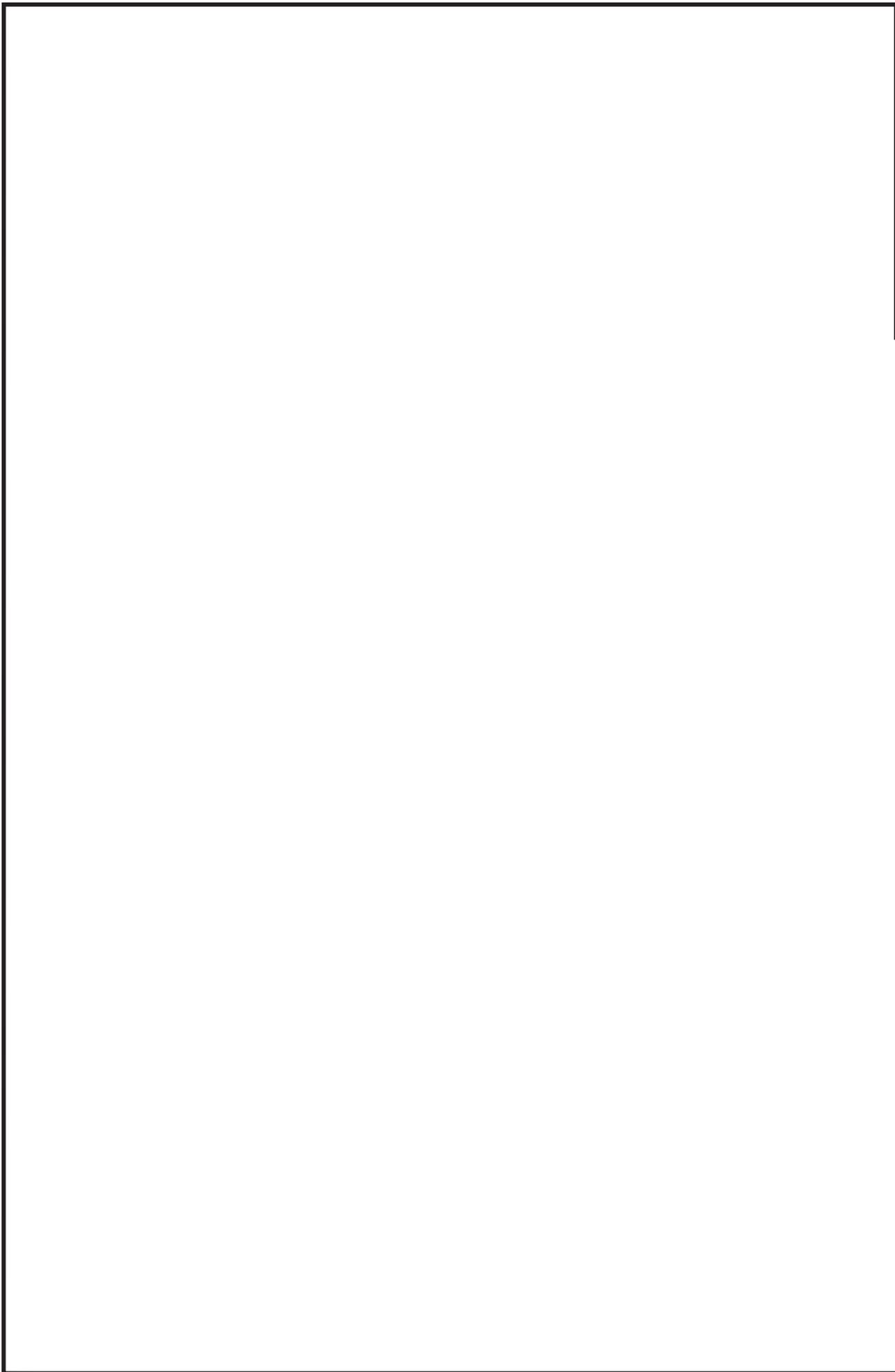
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



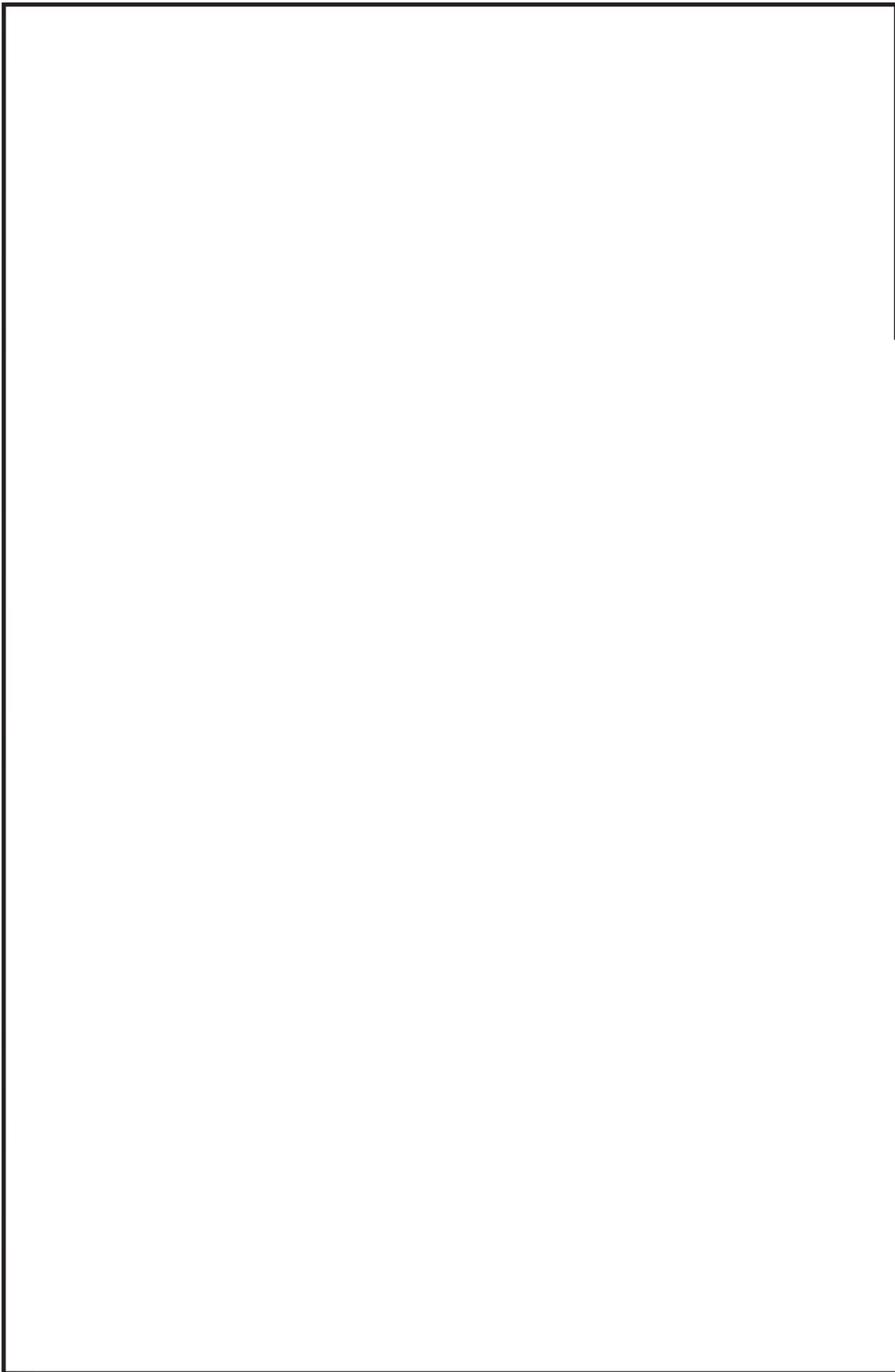
鳥瞰図 SGT S-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 SGT S-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 SGT S-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
SGTS-004	III <sub>A</sub> S	30	Spr m(Sd)	105	215	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	30	Spr m(Ss)	175	363	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	30	Sn(Ss)	—	—	387	430	USs

注記 \*1: 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、Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
SGTS-002-012B	ロッドレストレイント	RST-2	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	56	33	56
SGTS-004-033S	メカニカルスナツバ	SMS-6-250			114*	90

注記\*：当該メカニカルスナツバの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
SGTS-004-903R	レストレイント	架構	STKR400	40	970	114	655	-	-	-	-	曲げ	356	490
SGTS-004-001A	アンカ	架構	STKR400	40	38	208	37	84	17	85	85	曲げ	194	490

メカニカルスナツバの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価			機能確認		
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
SGTS-004-033S	SMS-6-250	コネクティング チューブ	圧縮	75	90	114	170

注記\*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
T46-F001A	バタフライ弁	$\beta$ (S d)	5.2	5.5	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz とし計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III <sub>A</sub> S						許容応力状態 IV <sub>A</sub> S										
		一次応力			一次応力			一次+二次応力*			疲労評価							
		評価点	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労係数	代表	
1	SGTS-001	12	70	220	3.14	—	12	109	364	3.33	—	12	192	440	2.29	—	—	—
2	SGTS-002	9	42	215	5.11	—	9	69	363	5.26	—	10	140	430	3.07	—	—	—
3	SGTS-004	30	105	215	2.04	○	30	175	363	2.07	○	30	387	430	1.11	○	—	—

注記\* : III<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はIV<sub>A</sub>Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、非常用ガス処理系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

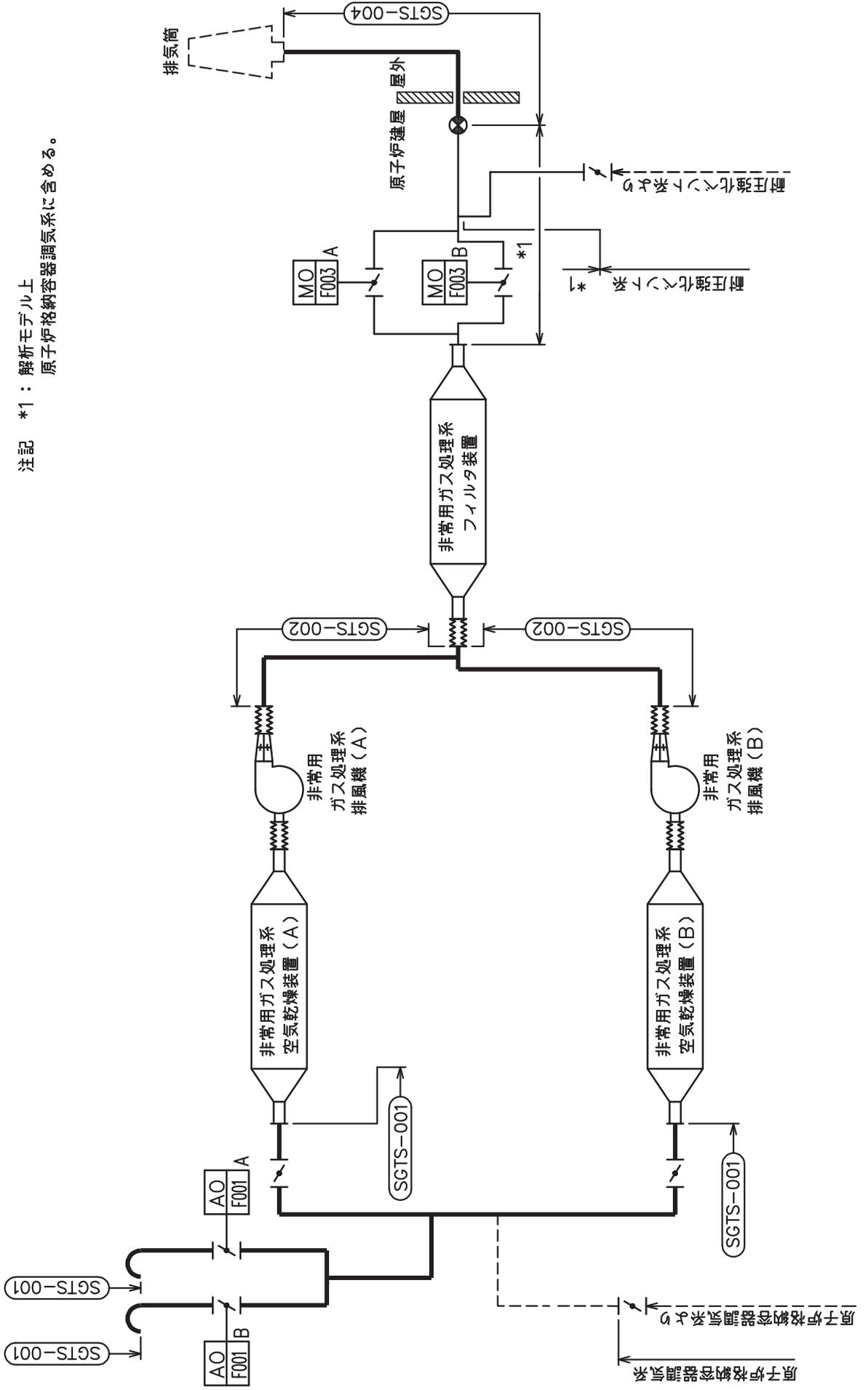
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

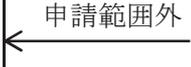
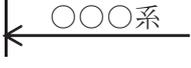
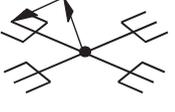
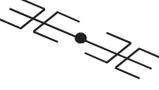
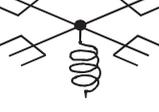
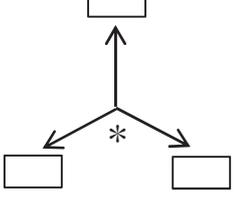
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

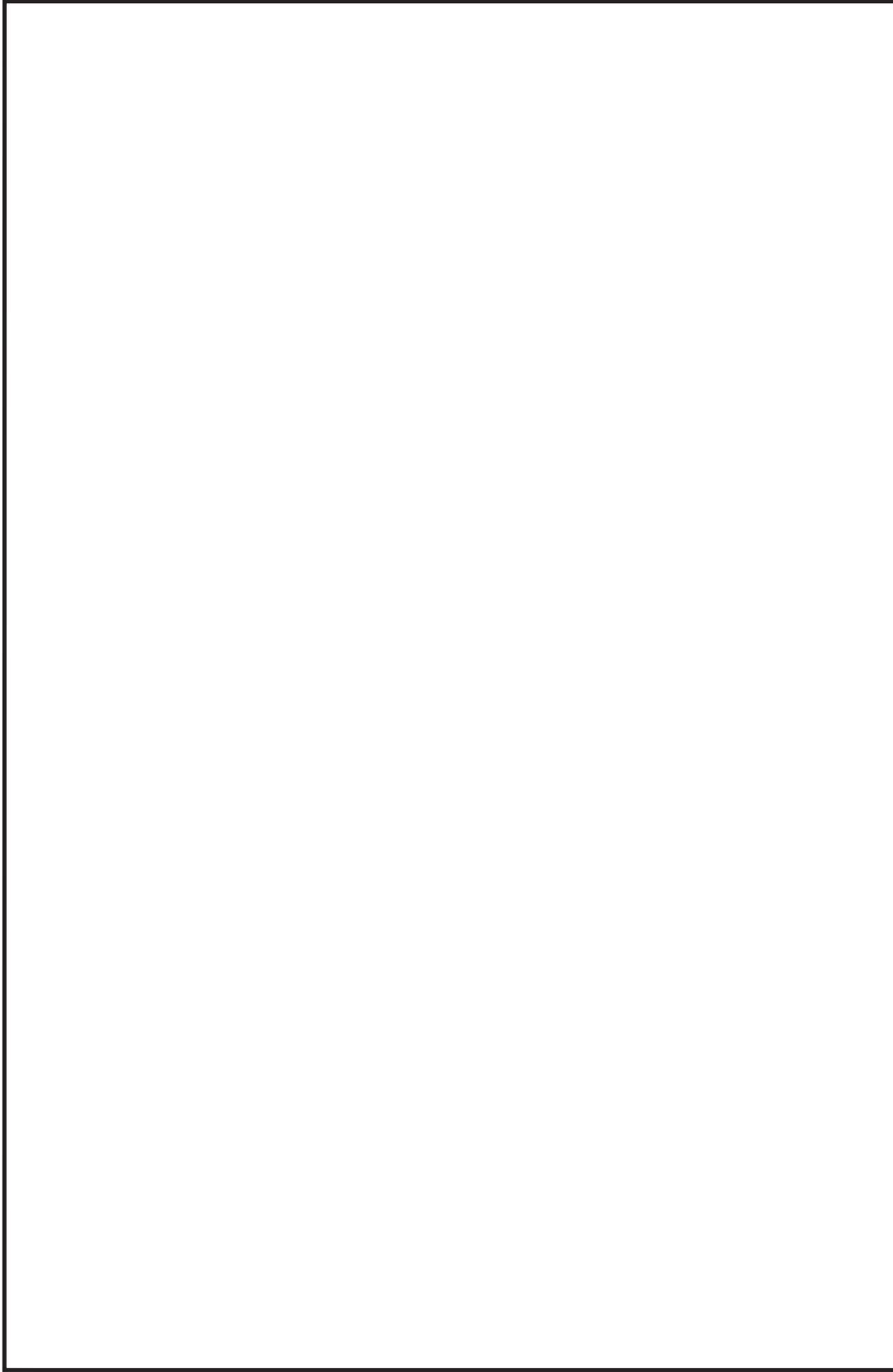


注記 \*1：解析モデル上  
原子炉格納容器調気系に含める。

2.2 鳥瞰図

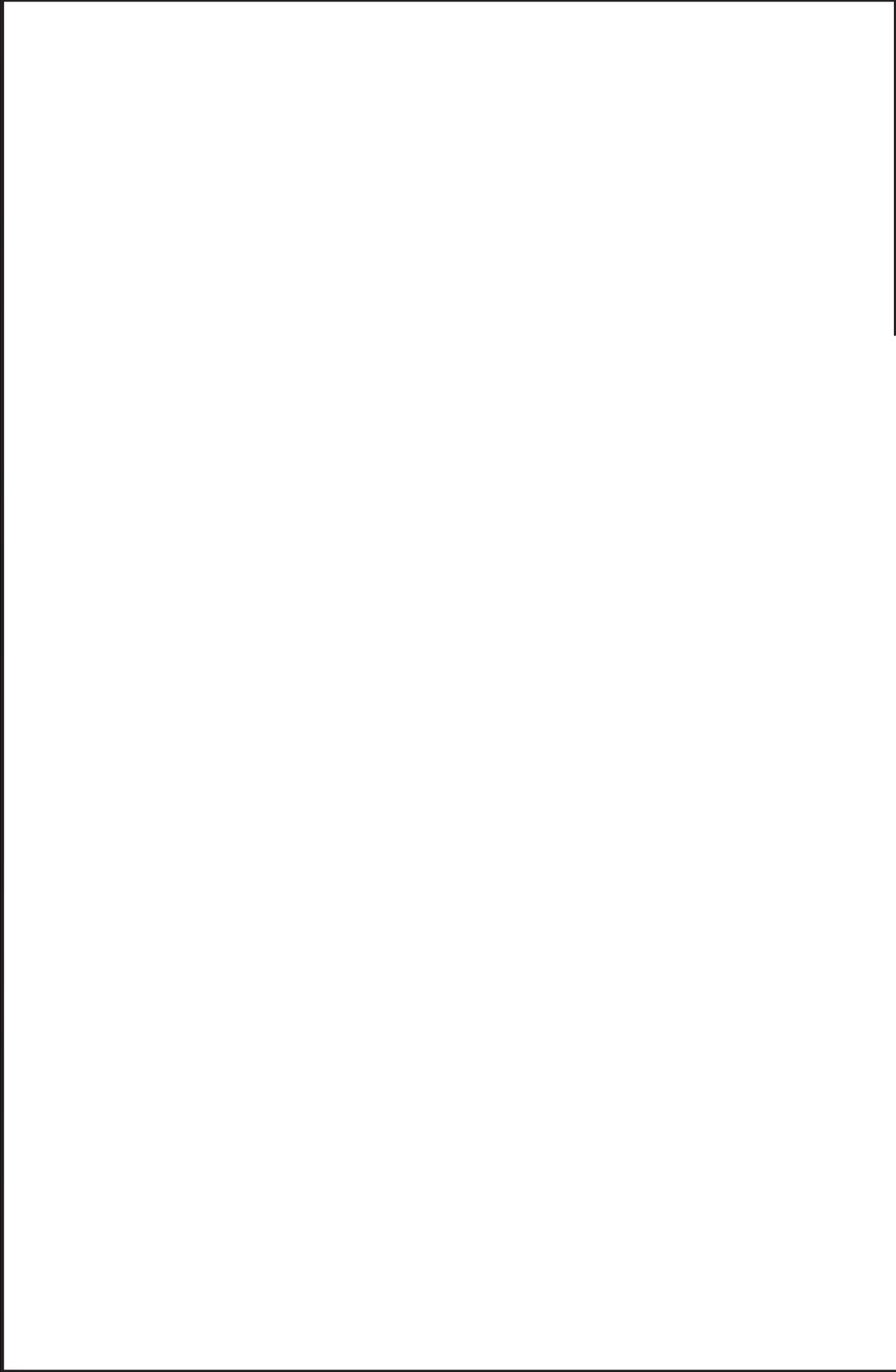
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)</p>



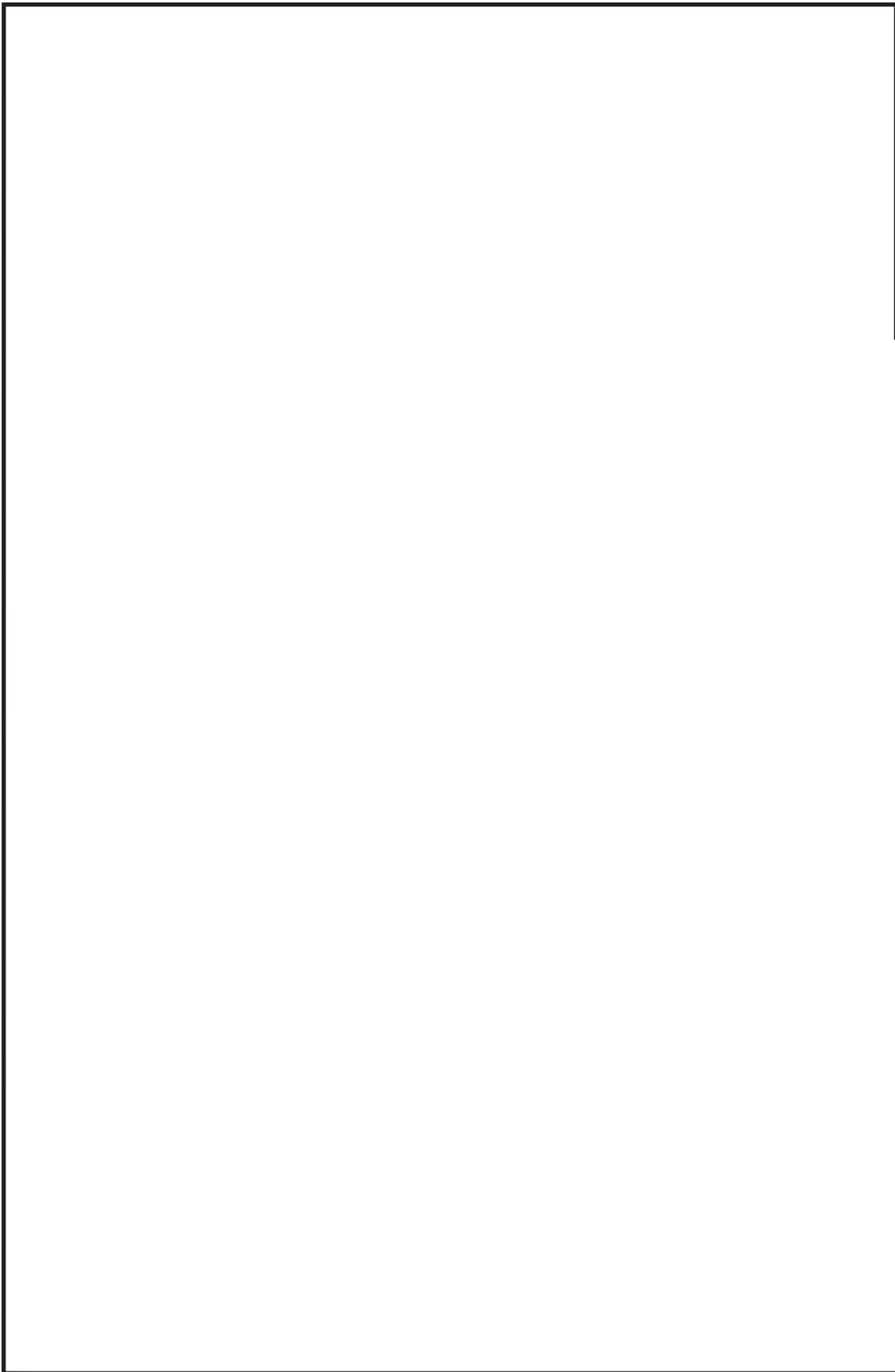
鳥瞰図 | SGTS-004-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | SGTS-004-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | SGTS-004-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,*4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	非常用ガス処理系	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V <sub>L</sub> +S s	V <sub>A</sub> S
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	V <sub>L</sub> +S s	V <sub>A</sub> S

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「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。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	854kPa (0.854MPa)	171	318.5	10.3	STS410	—	193320

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
	121	122	123	300	301	800	901	902	903	904	905	906			

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		28		55		82		109	
2		29		56		83		110	
3		30		57		84		111	
4		31		58		85		112	
5		32		59		86		113	
6		33		60		87		114	
7		34		61		88		115	
8		35		62		89		116	
9		36		63		90		117	
10		37		64		91		118	
11		38		65		92		119	
12		39		66		93		120	
13		40		67		94		121	
14		41		68		95		122	
15		42		69		96		123	
16		43		70		97		300	
17		44		71		98		301	
18		45		72		99		800	
19		46		73		100		901	
20		47		74		101		902	
21		48		75		102		903	
22		49		76		103		904	
23		50		77		104		905	
24		51		78		105		906	
25		52		79		106			
26		53		80		107			
27		54		81		108			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
8						
13						
16						
20						
** 27 **						
28						
** 33 **						
34						
37						
** 37 **						
41						
** 41 **						
** 46 **						
** 53 **						
** 57 **						
** 61 **						
** 65 **						
** 69 **						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 73 **						
** 77 **						
** 81 **						
** 84 **						
** 87 **						
** 89 **						
** 91 **						
** 93 **						
** 95 **						
103						
107						
111						
114						
119						
122						
901						
902						
** 903 **						

[Redacted area]

O 2 ⑥ VI-2-9-4-4-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
904						
** 904 **						
905						
906						

--

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
STS410	171	—	211	404	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
S G T S - 0 0 4	原子炉建屋		
	排気筒連絡ダクト		
	排気筒基礎		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 SGT S-004

適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s	
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
49 次							
50 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

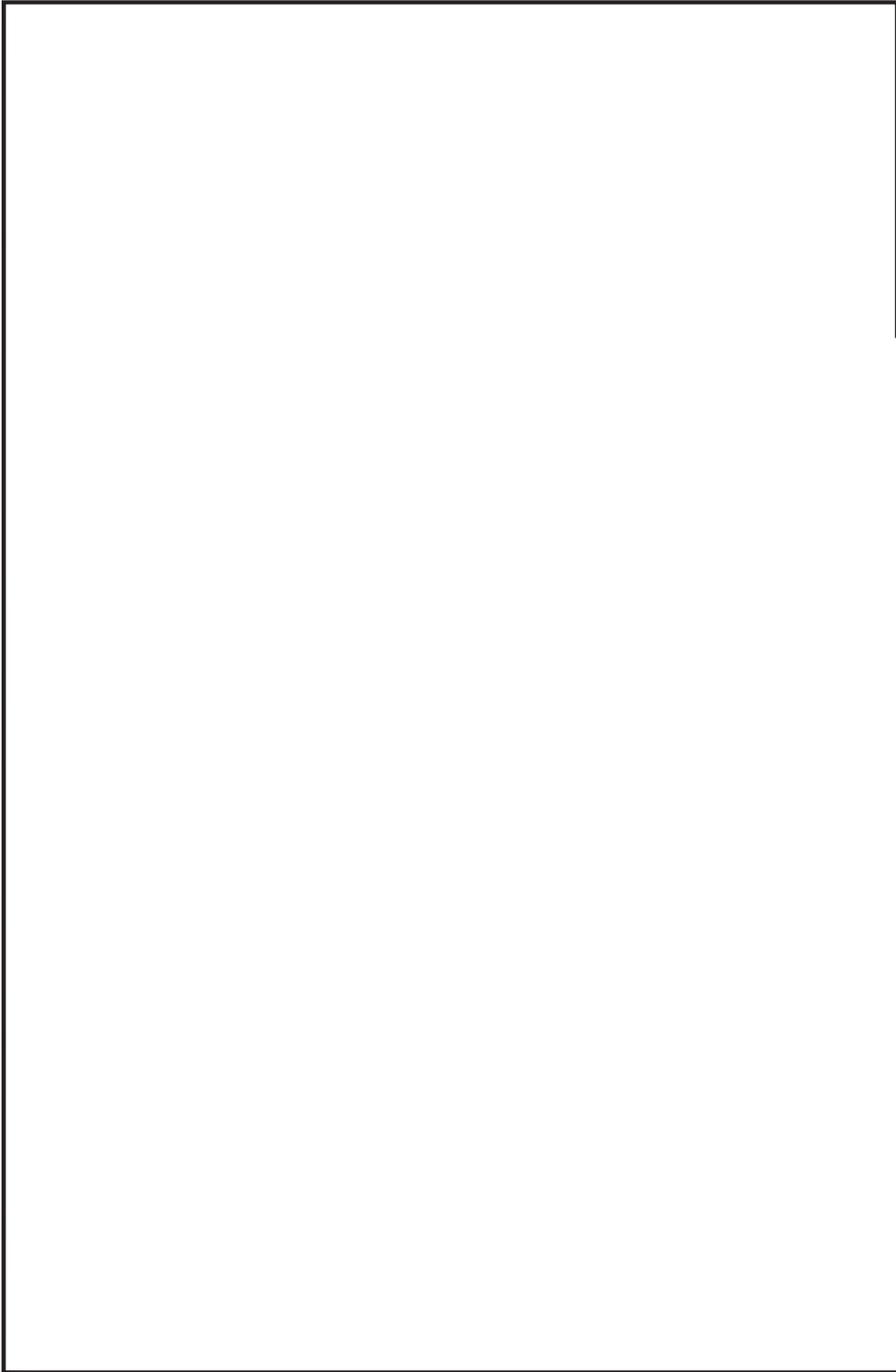
鳥瞰図 SGT S-004

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
49 次				

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。

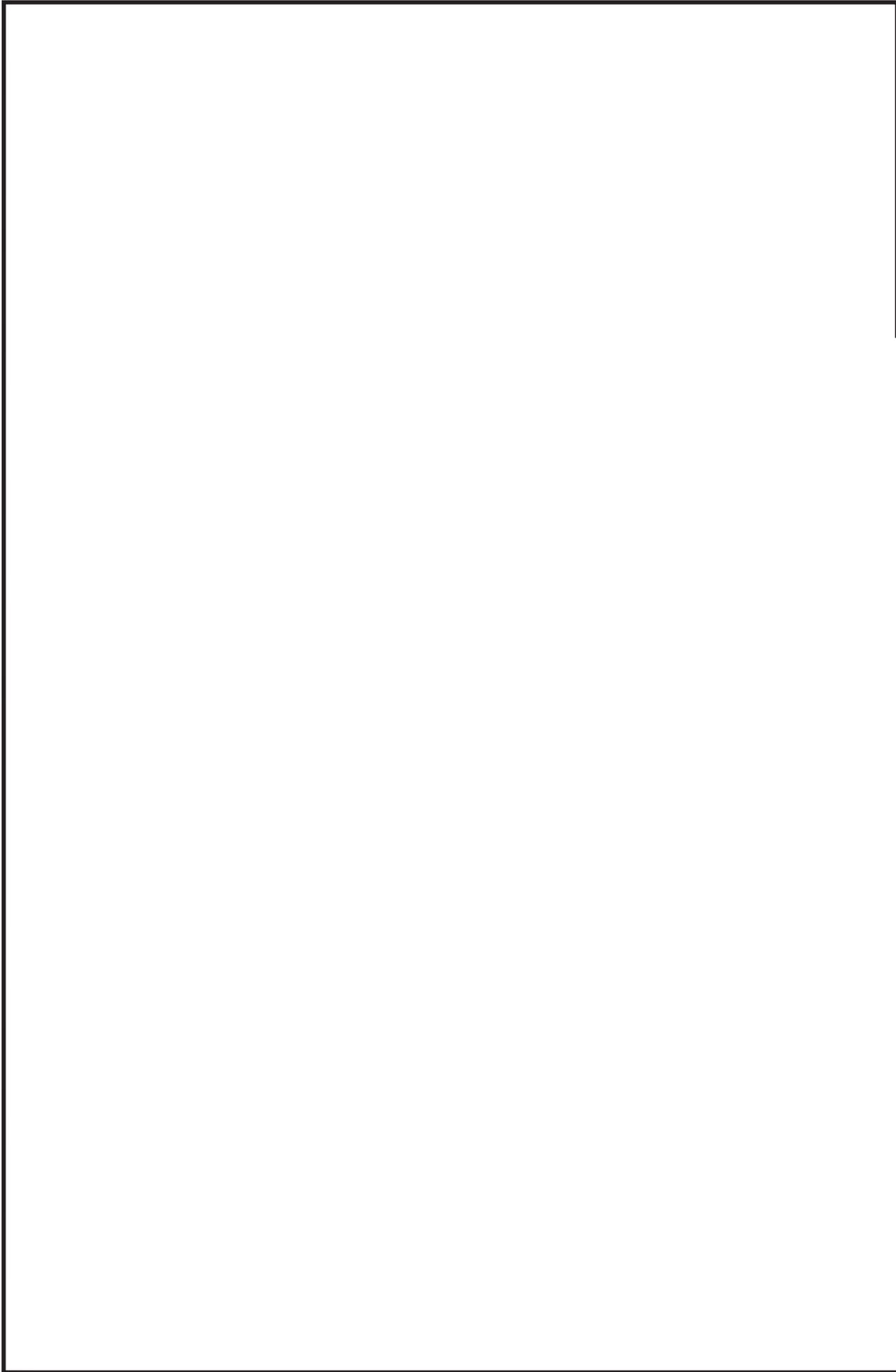
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



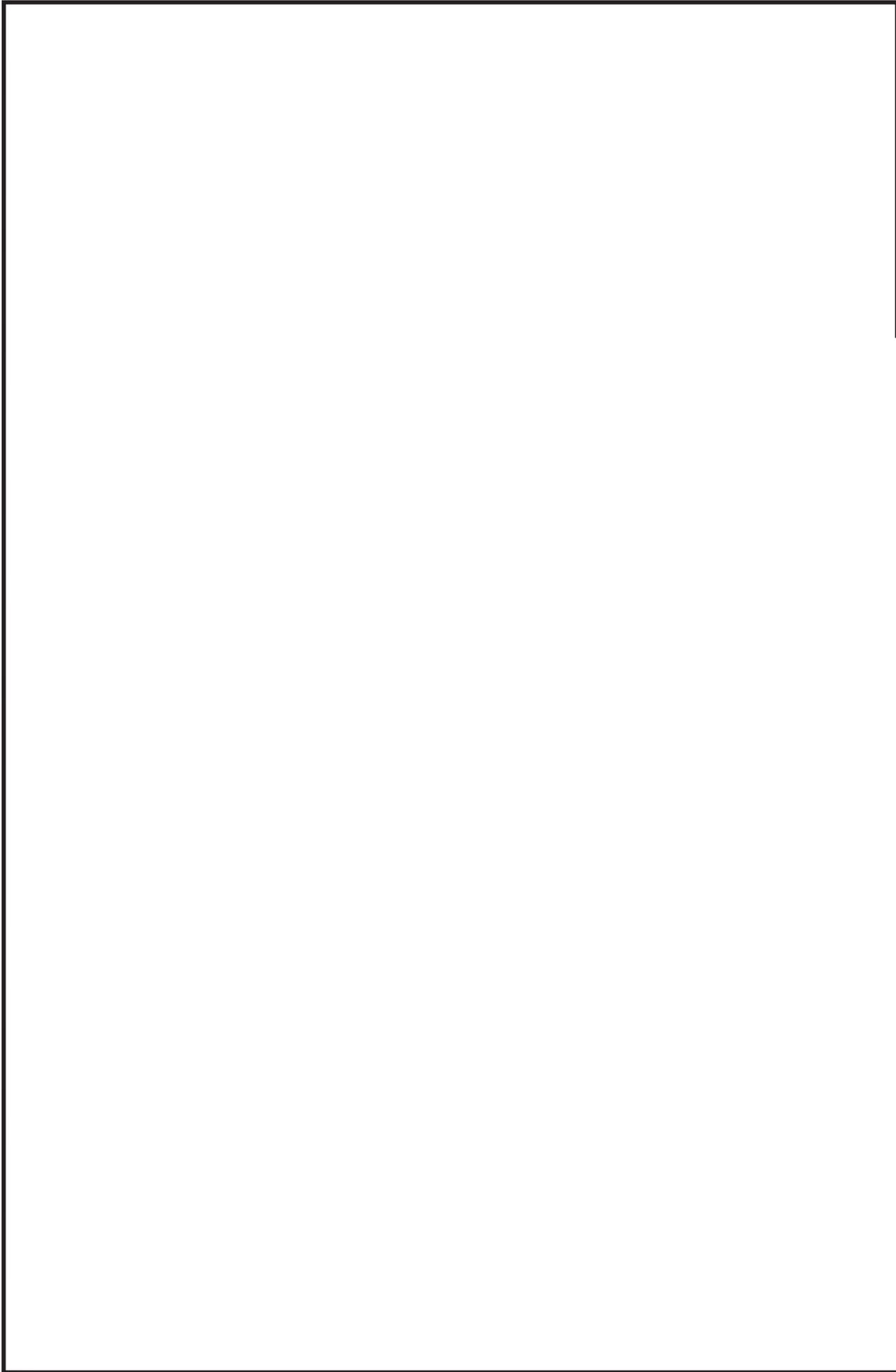
鳥瞰図 SGT S-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 SPTS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 SGT S-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0 . 9 ・ S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	
S G T S - 0 0 4	V <sub>A</sub> S	30	S p r m ( S s )	180	363	—	—	—
	V <sub>A</sub> S	30	S n ( S s )	—	—	385	422	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
SGTS-002-012B	ロッドレストレイント	RST-2	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	56	33	56
SGTS-004-033S	メカニカルスナッパ	SMS-6-250			114*	90

注記\*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
SGTS-004-903R	レストレイント	架構	STKR400	40	966	113	653	—	—	—	—	354	490
SGTS-004-001A	アンカ	架構	STKR400	40	38	203	37	84	16	85	—	214	490

メカニカルスナッパの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価			機能確認		
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
SGTS-004-033S	SMS-6-250	コネクティング チューブ	圧縮	75	90	114	170

注記\*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力				一次+二次応力				疲労評価				
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	SGTS-001	12	109	364	3.33	—	12	192	440	2.29	—	—	—	—
2	SGTS-002	9	69	363	5.26	—	10	140	430	3.07	—	—	—	—
3	SGTS-004	30	180	363	2.01	○	30	385	422	1.09	○	—	—	—

VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機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
3. 固有周期	3
3.1 記号の説明	3
3.2 固有周期の計算方法	3
3.3 固有周期の計算条件	4
3.4 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.2.2 許容応力	5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 動的機能維持評価方法	9
5.2 ファンの動的機能維持評価	9
5.2.1 評価対象部位	9
5.2.2 許容値	10
5.2.3 記号の説明	10
5.2.4 評価方法	11
5.3 原動機の動的機能維持評価	16
5.3.1 評価対象部位	16
5.3.2 許容値	16
5.3.3 記号の説明	17
5.3.4 評価方法	19
6. 評価結果	24
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ガス処理系排風機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。

非常用ガス処理系排風機は、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。

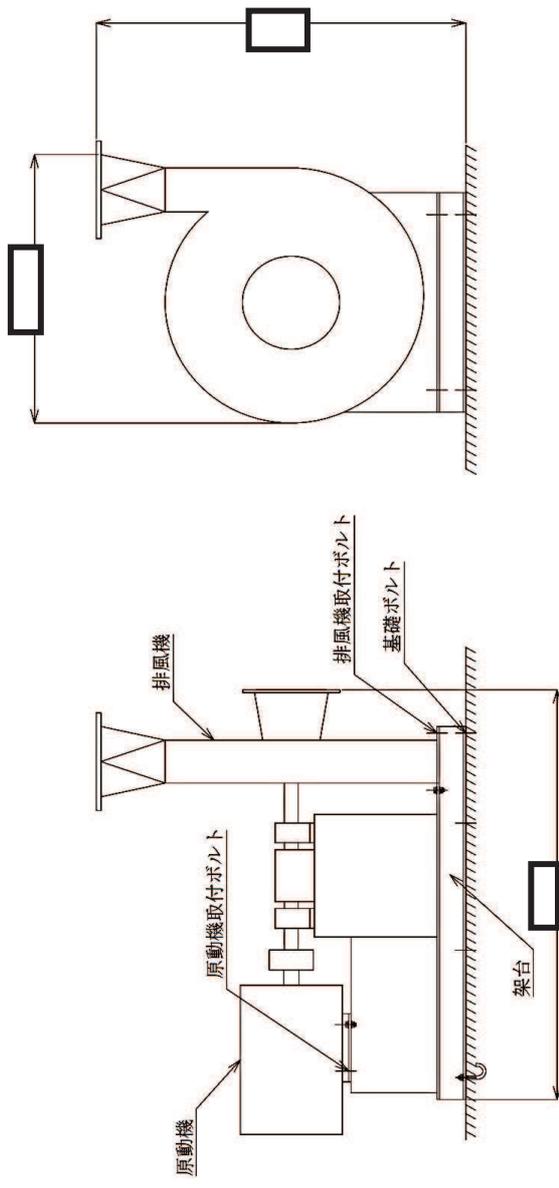
なお、非常用ガス処理系排風機は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

非常用ガス処理系排風機の構造計画を表 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>排風機及び原動機は 架台に取付ボルトに より固定され、架台 は基礎ボルトで基礎 に据え付ける。</p>	<p>遠心式（遠心直結型 ファン）</p>	 <p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 固有周期

#### 3.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_e$	有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$E$	縦弾性係数	MPa
$G$	せん断弾性係数	MPa
$h$	据付面から重心までの距離	mm
$I$	断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$K_H$	水平方向ばね定数	N/m
$K_V$	鉛直方向ばね定数	N/m
$m$	運転時質量	kg
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s

#### 3.2 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系排風機の固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系排風機の質量は重心に集中するものとする。
- b. 非常用ガス処理系排風機は基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 非常用ガス処理系排風機をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

非常用ガス処理系排風機は、図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

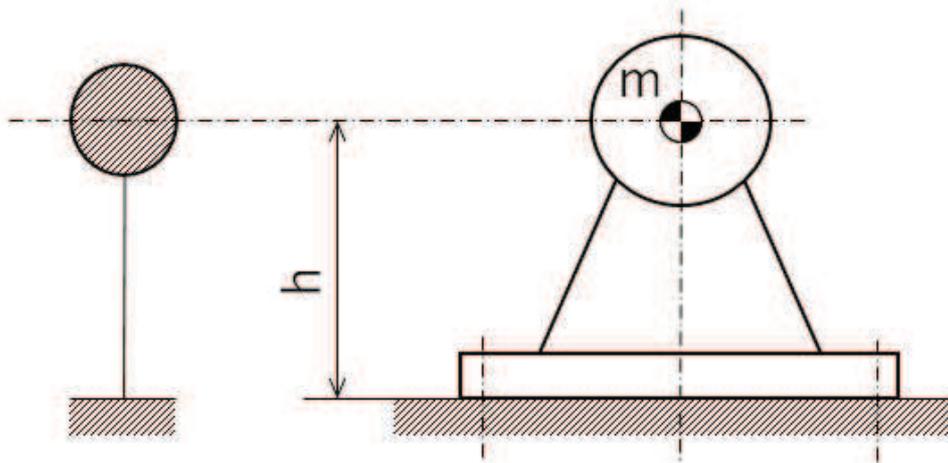


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 $K_H$ は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

したがって、固有周期 $T_H$ は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 $K_V$ は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{E \cdot A_e} * \dots\dots\dots (3.2.3)$$

注記\*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 $A_e$ を用いる。

したがって、固有周期 $T_V$ は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

3.3 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

非常用ガス処理系排風機の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

##### 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

非常用ガス処理系排風機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。

###### 4.2.2 許容応力

非常用ガス処理系排風機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系排風機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。

##### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	非常用ガス処理系 排風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III <sub>AS</sub>
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>AS</sub>

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	非常用ガス処理系 排風機	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV <sub>AS</sub>
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許 容限界を用いる。)

注記\*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等) 一次応力	
	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	65		225	386	—
排風機取付 ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)		140	200	373	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	65		225	386	—

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	66		225	385	—
排風機取付 ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)		140	200	373	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	66		225	385	—

## 5. 機能維持評価

### 5.1 動的機能維持評価方法

非常用ガス処理系排風機及び原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の遠心直結型ファン及び横形転がり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「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 $S_s$ により定まる設計用最大応答加速度（1.0ZPA）を設定する。

### 5.2 ファンの動的機能維持評価

#### 5.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1に記載の遠心直結型ファンの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. 電動機との軸継手
- e. ファンケーシング
- f. メカニカルシール
- g. 軸系架台
- h. ファンケーシング固定ボルト
- i. 電動機固定ボルト
- j. 基礎ボルト

このうち「h. ファンケーシング固定ボルト」、「i. 電動機固定ボルト」及び「j. 基礎ボルト」については、「4. 構造強度評価」に従い評価を行った「6. 評価結果」にて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ている。なお、非常用ガス処理系排風機においては、ファンケーシング固定ボルトに相当する部材として排風機取付ボルト、電動機固定ボルトに相当する部材として原動機取付ボルトが該当する。

「e. ファンケーシング」は、共通架台上にファンケーシング取付ボルトを用いて固定されており、地震時にファンケーシング取付ボルトに最も荷重が作用することから、ファンケーシングの評価は対象外とする。

「g. 軸系架台」は、軸受の耐力を超えるように設計されており、軸受の評価を代表とし、軸受固定ボルトの評価は対象外とする。「f. メカニカルシール」は、構造上存在しないことから、評価項目からは除外する。「d. 電動機との軸継手」は、高い剛性を有しており、軸継手部では有意な変位は生じない設計としていることから評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受及びインペラとファンケーシング間のクリアランスを評価対象部位とする。

## 5.2.2 許容値

軸の許容値は、クラス2ポンプの許容応力状態Ⅲ<sub>LS</sub>に準拠し設定する。また、軸受についてはメーカー規定の許容値を、インペラとファンケーシング間のクリアランスについては、変位可能寸法を許容値として設定する。

## 5.2.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機の動的機能維持評価に使用する記号を表5-1に示す。

表5-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$m/s^2$
$d$	軸有効径	mm
$K_{\theta r}$	ケーシング回転剛性(軸直方向)	$kg \cdot mm/rad$
$K_{\theta t}$	ケーシング回転剛性(軸方向)	$kg \cdot mm/rad$
$L$	軸受スパン長さ	mm
$l_4$	荷重位置	mm
$l_5$	インペラ代表長さ	mm
$l_6$	ケーシング代表長さ	mm
$h_2$	ケーシング重心高さ	mm
$M_{max}$	モーメント	$N \cdot mm$
$m_2$	ケーシング質量	kg
$m_4$	インペラ質量	kg
$P$	合成荷重	N
$P_H$	水平荷重	N
$P_V$	鉛直荷重	N
$R$	軸受荷重	N
$Z_2$	軸断面係数	$mm^3$
$\delta_1$	インペラ変位量	mm
$\delta_2$	ケーシング変位量	mm
$\delta_{sx}$	軸系並進変位(X軸方向)	mm
$\delta_{sy}$	軸系並進変位(Y軸方向)	mm
$\theta_{cx}$	ケーシング回転変位(X軸廻り)	rad
$\theta_{cz}$	ケーシング回転変位(Z軸廻り)	rad
$\theta_{sx}$	軸系回転変位(X軸廻り)	rad
$\theta_{sy}$	軸系回転変位(Y軸廻り)	rad
$\theta_r$	ケーシング回転変位(軸直方向)	rad
$\theta_t$	ケーシング回転変位(軸方向)	rad
$\sigma_1$	発生応力(曲げ)	MPa

5.2.4 評価方法

(1) 軸

材料力学等の公式により，インペラ軸の発生応力(曲げ)を算出し，許容応力以下であることを確認する。

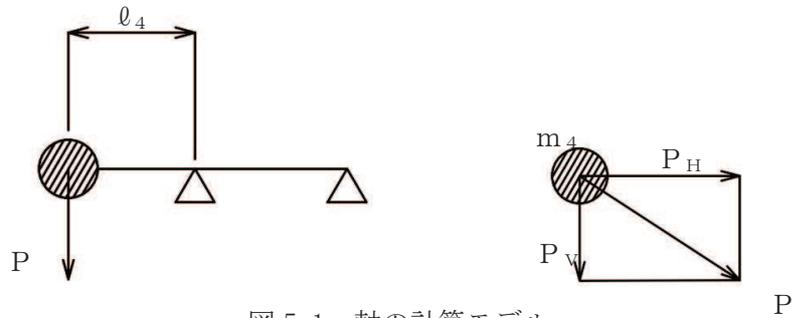


図 5-1 軸の計算モデル

インペラ軸の発生応力は次式で求める。

発生応力(曲げ)  $\sigma_1 = M_{\text{max}} / Z_2$  ..... (5.2.4.1)

モーメント  $M_{\text{max}} = P \cdot l_4$  ..... (5.2.4.2)

断面係数  $Z_2 = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$  ..... (5.2.4.3)

合成荷重  $P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2}$  ..... (5.2.4.4)

水平荷重  $P_H = m_4 \cdot g \cdot C_H$  ..... (5.2.4.5)

鉛直荷重  $P_V = m_4 \cdot g \cdot (1 + C_V)$  ..... (5.2.4.6)

(2) 軸受

材料力学等の公式により，軸受の発生荷重を算出し，メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

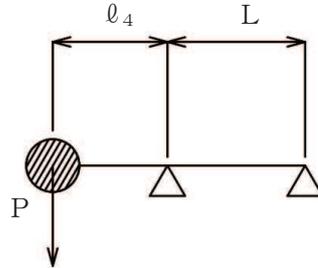


図 5-2 軸受の計算モデル

軸受の発生荷重は次式で求める。

発生荷重(負荷側)  $R = \frac{\ell_4 + L}{L} \cdot P \dots\dots\dots (5.2.4.7)$

発生荷重(反負荷側)  $R = \frac{\ell_4}{L} \cdot P \dots\dots\dots (5.2.4.8)$

## (3) インペラとファンケーシング間のクリアランス

材料力学等の公式により、インペラ軸の変形量を算出し、インペラとケーシングの接触有無を確認する。

なお、地震による震度及び自重により生じるインペラ軸の変形量は、3次元有限要素法による解析により確認する。

非常用ガス処理系排風機の解析モデル（2次元はりモデル）を図5-3に、解析モデルの概要を以下に示す。機器の諸元を表5-2に示す。

- a. 解析モデルは、各部材をはり要素でモデル化する。各要素の荷重は要素荷重として各々の要素で考慮し、インペラおよびインペラ軸は集中荷重として考慮する。
- b. 図5-3中の  ははり要素、 はばね要素を示す。
- c. 拘束条件として、基礎ボルトを完全拘束する。
- d. 解析コードは「SAP-IV」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- e. 解析に用いる寸法は公称値を使用する。

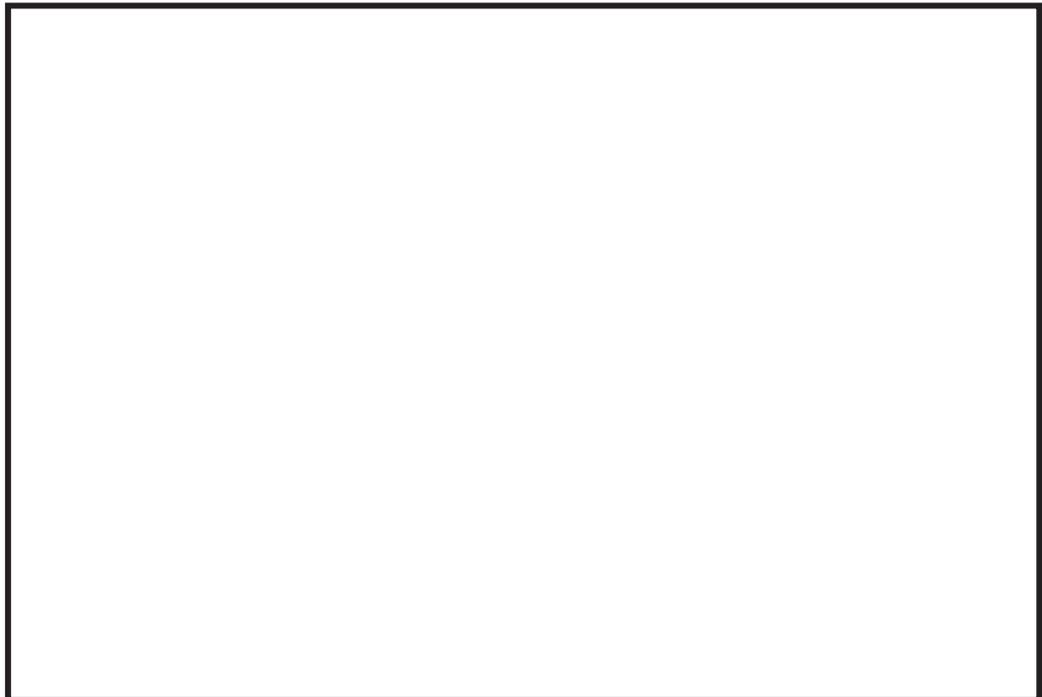


図 5-3 排風機解析モデル

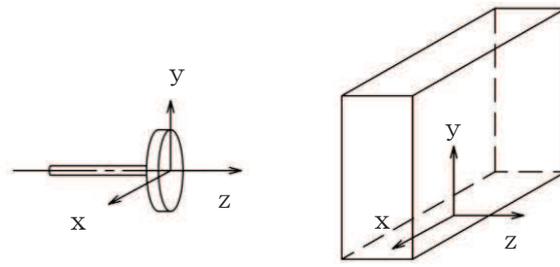


図 5-4 排風機構造図

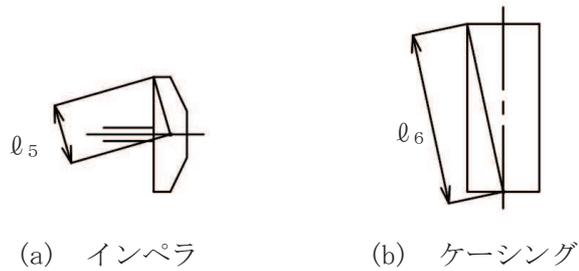
表 5-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div> (原動機軸) (インペラ軸) SS400 (架台)
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	設計基準対象施設 : 65 重大事故等対処設備 : 66
縦弾性係数	E	MPa	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div> (原動機軸, インペラ軸, 架台)
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div>
節点数	—	個	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) インペラ (b) ケーシング  
 図 5-5 インペラ及びケーシング変位量の計算モデル



(a) インペラ (b) ケーシング  
 図 5-6 インペラ及びケーシング代表寸法

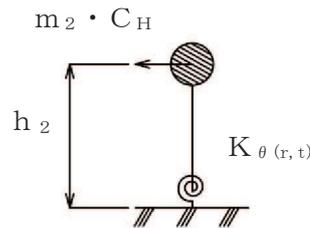


図 5-7 ケーシング回転変位の計算モデル

インペラ及びケーシング変位量は次式で求める。

インペラ変位量

$$\delta_1 = \sqrt{\delta_{sx}^2 + \delta_{sy}^2} + \sqrt{(\ell_5 \cdot \theta_{sx})^2 + (\ell_5 \cdot \theta_{sy})^2} \dots\dots (5.2.4.9)$$

ケーシング変位量  $\delta_2 = \sqrt{(\ell_6 \cdot \theta_{cx})^2 + (\ell_6 \cdot \theta_{cz})^2} \dots\dots (5.2.4.10)$

ケーシング回転変位(軸直方向)  $\theta_r = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2}{K_{\theta r}} \dots\dots (5.2.4.11)$

ケーシング回転変位(軸方向)  $\theta_t = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2}{K_{\theta t}} \dots\dots (5.2.4.12)$

### 5.3 原動機の動的機能維持評価

#### 5.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「4. 構造強度評価」に従い評価を行った「6. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお、軸継手においては、ファンの動的機能維持評価に含まれている。

#### 5.3.2 許容値

モータフレーム及び端子箱の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S に準拠し設定する。軸（回転子）の許容値は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に準拠し設定する。固定子の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に準拠し設定する。

また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を許容値として設定する。

### 5.3.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表5-3に示す。

表5-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_p$	ピンの断面積	$\text{mm}^2$
$A_{tb}$	端子箱取付ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	脚部の断面積	$\text{mm}^2$
$C_P$	ファン振動による震度	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_f$	フレームの内径	mm
$d_s$	軸の直径	mm
$E$	軸の縦弾性係数	MPa
$F$	ピンにはたらく合成荷重	N
$F_{tb, a}$	端子箱取付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する引張力	N
$F_{tb, b}$	端子箱取付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する引張力	N
$F_{tb}$	ボルトに作用する引張力	N
$F_1$	電動機の回転によりピンにはたらく荷重	N
$F_2$	水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重	N
$F_a$	アキシアル荷重	N
$F_{R1}$	地震力により軸に作用する荷重	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h_c$	電動機取付面から電動機重心までの高さ	mm
$h_f$	電動機取付面から脚取付部までの高さ	mm
$h_t$	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
$I$	軸の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$L_{1, y}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（y方向）	mm
$L_{2, y}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（y方向）	mm
$L_{1, z}$	端子箱重心と取付ボルトの鉛直方向距離（z方向）	mm
$L_{2, z}$	端子箱重心と取付ボルトの鉛直方向距離（z方向）	mm
$\ell$	電動機脚部中心間距離	mm
$\ell_c$	脚中心から電動機重心までの水平方向距離	mm
$\ell_{b, L}$	反軸継手側・軸継手側（反負荷側・負荷側）軸受間距離	mm
$\ell_{r, C}$	軸（回転子）の重心位置	mm
$M_{\theta 1}$	水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{max}$	軸に生じる最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_P$	軸の回転によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$m$	脚部重量を除いた電動機重量	kg
$m_r$	軸・回転子の重量	kg
$m_s$	固定子重量	kg
$m_{s1}$	脚部の重量	kg

記号	記号の説明	単位
$m_t$	端子箱重量	kg
$N$	電動機定格回転速度	$\text{min}^{-1}$
$n_p$	ピンの本数	—
$n_t$	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{t1, y}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (y 方向)	—
$n_{t1, z}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (z 方向)	—
$P$	電動機定格出力	kW
$P_1$	静等価ラジアル荷重	N
$P_2$	静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 1}$	反軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 2}$	軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_\ell$	水平方向地震力 (横方向) により脚取付部に作用する鉛直方向荷重	N
$Q_{tb, a}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{tb, b}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{tb}$	ボルトに作用するせん断力	N
$R_1$	脚部が受ける荷重	N
$R_L$	軸継手側軸受が受ける荷重	N
$R_O$	反軸継手側軸受が受ける荷重	N
$T_M$	電動機最大トルク	$\text{N}\cdot\text{m}$
$T_S$	電動機最大トルク	%
$X_O$	軸受ラジアル荷重に対する係数	—
$Y_O$	軸受アキシアル荷重に対する係数	—
$y_{max}$	軸の最大たわみ	mm
$Z_S$	軸の断面係数	$\text{mm}^3$
$Z_{sy}$	脚部の長手方向軸に対する断面係数	$\text{mm}^3$
$\sigma_b$	軸にはたらく最大曲げ応力	MPa
$\sigma_{tb}$	ボルト 1 本あたりにはたらく引張応力	MPa
$\sigma_s$	軸にはたらく組合せ応力	MPa
$\sigma_S$	鉛直方向と水平方向 (横方向) 地震力が作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_{S1}$	電動機重量による応力	MPa
$\sigma_{S2}$	水平方向地震力 (横方向) による曲げ応力および圧縮応力	MPa
$\sigma_{S4}$	鉛直方向地震力による応力	MPa
$\tau_{tb}$	ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力	MPa
$\tau_p$	ピンにはたらくせん断応力	MPa
$\tau_t$	軸に生じるねじり応力	MPa
$\tau_{S2}$	水平方向地震力 (横方向) によるせん断応力	MPa
$\theta$	端子箱取付角度	°

5.3.4 評価方法

(1) 固定子

a. 電動機の回転による荷重

電動機の最大トルクは

$$T_M = \frac{P \cdot 1000000}{2\pi \cdot N/60} \cdot \frac{T_S}{100} \dots \dots \dots (5.3.4.1)$$

電動機の回転によりピンにはたらく荷重は

$$F_1 = \frac{T_M}{1/2 \cdot D_f} \dots \dots \dots (5.3.4.2)$$

b. 水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重

$$F_2 = m_s \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots \dots \dots (5.3.4.3)$$

c. ピンにはたらくせん断応力

a. , b. の合成荷重は

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \dots \dots \dots (5.3.4.4)$$

ピンにはたらくせん断応力は

$$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p} \dots \dots \dots (5.3.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

a. 各部にはたらく荷重

地震力により軸に作用する荷重は

$$F_{R1} = \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \cdot m_r \cdot g \dots \dots (5.3.4.6)$$

軸継手側軸受が受ける荷重および反軸継手側軸受が受ける荷重は

$$R_L = F_{R1} \cdot \frac{\ell_{r,C}}{\ell_{b,L}} \dots \dots \dots (5.3.4.7)$$

$$R_O = F_{R1} \cdot \left(1 - \frac{\ell_{r,C}}{\ell_{b,L}}\right) \dots \dots \dots (5.3.4.8)$$

b. 曲げ応力

軸に生じる最大曲げモーメントは

$$M_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,C} \cdot (\ell_{b,L} - \ell_{r,C})}{\ell_{b,L}} \dots \dots \dots (5.3.4.9)$$

軸にはたらく最大曲げ応力は

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_s} \dots \dots \dots (5.3.4.10)$$

c. ねじり応力

軸の回転によるモーメントは

$$M_P = \frac{60}{2\pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P \dots \dots \dots (5.3.4.11)$$

軸に生じるねじり応力は

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_P}{\pi \cdot d_s^3} \dots \dots \dots (5.3.4.12)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \dots \dots \dots (5.3.4.13)$$

(3) 端子箱

a. 端子箱取付ボルトに生じる引張力

$$F_{tb, a} = \frac{m_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \cos \theta \cdot h_t \cdot g - m_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \sin \theta \cdot L_{1, z} \cdot g}{n_{t1, z} \cdot (L_{1, z} + L_{2, z})} + \frac{m_t \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, y} \cdot (L_{1, y} + L_{2, y})} \dots \dots \dots (5.3.4.14)$$

$$F_{tb, b} = \frac{m_t \cdot \{(1 + C_V + C_P) \cdot \cos \theta + (C_H + C_P) \cdot \sin \theta\} \cdot h_t \cdot g + m_t \cdot \{(C_H + C_P) \cdot \cos \theta - (1 + C_V + C_P) \cdot \sin \theta\} \cdot L_{1, z} \cdot g}{n_{t1, z} \cdot (L_{1, z} + L_{2, z})} \dots \dots \dots (5.3.4.15)$$

$$F_{tb} = \text{Max} [F_{tb, a}, F_{tb, b}] \dots \dots \dots (5.3.4.16)$$

b. 端子箱取付ボルト 1 本あたりにはたらく引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_{tb}} \dots \dots \dots (5.3.4.17)$$

c. 端子箱取付ボルトに生じるせん断力

$$Q_{tb, a} = m_t \cdot \{(1 + C_V + C_P) \cdot \cos \theta + (C_H + C_P) \cdot \sin \theta\} \cdot g \dots \dots \dots (5.3.4.18)$$

$$Q_{tb, b} = m_t \cdot \{(1 + C_V + C_P) \cdot \cos \theta + (C_H + C_P)\} \cdot g \dots \dots \dots (5.3.4.19)$$

$$Q_{tb} = \sqrt{Q_{tb, a}^2 + Q_{tb, b}^2} \dots \dots \dots (5.3.4.20)$$

d. 端子箱取付ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力

$$\tau_{tb} = \frac{Q_{tb}}{n_t \cdot A_{tb}} \dots \dots \dots (5.3.4.21)$$

(4) 軸受

a. 反軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重

$$P_1 = X_O \cdot R_O + Y_O \cdot F_a \dots \dots \dots (5.3.4.22)$$

$$P_2 = R_O \dots \dots \dots (5.3.4.23)$$

$$P_{or,1} = \text{Max} [P_1, P_2] \dots \dots \dots (5.3.4.24)$$

b. 軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重

$$P_1 = X_O \cdot R_L + Y_O \cdot F_a \dots \dots \dots (5.3.4.25)$$

$$P_2 = R_L \dots \dots \dots (5.3.4.26)$$

$$P_{or,2} = \text{Max} [P_1, P_2] \dots \dots \dots (5.3.4.27)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

a. 軸の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \dots \dots \dots (5.3.4.28)$$

b. 軸の最大たわみ

$$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot (\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \left\{ \ell_{b,L}^2 - (\ell_{b,L} - \ell_{r,C})^2 \right\}^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \ell_{b,L}} \dots \dots \dots (5.3.4.29)$$

(6) モータフレーム

a. 電動機重量による応力

脚部が受ける荷重は

$$R_1 = m \cdot g \cdot \frac{\ell - \ell_c}{\ell} \dots \dots \dots (5.3.4.30)$$

電動機重量による応力は

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (5.3.4.31)$$

b. 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot (C_V + C_P) \dots \dots \dots (5.3.4.32)$$

c. 水平方向地震力（横方向）による応力

水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメントは

$$M_{\ell 1} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h_f \dots \dots \dots (5.3.4.33)$$

水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重は

$$P_{\ell} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot \frac{h_c}{\ell} \dots \dots \dots (5.3.4.34)$$

曲げ応力および圧縮応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots \dots \dots (5.3.4.35)$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (5.3.4.36)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots \dots \dots (5.3.4.37)$$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系排風機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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系排風機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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
非常用ガス処理系排風機	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*1 (O.P. 23.255)			C <sub>H</sub> = 1.17	C <sub>V</sub> = 0.92	C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	65

注記\*1：基準床レベルを示す。

1.1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	φ <sub>1i</sub> *1 (mm)	φ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
排風機取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S <sub>vi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		Mp (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	225*2 (16mm<径≤40mm)	386*2	225	270	軸直角	軸	—
排風機取付ボルト (i=2)	200*3 (16mm<径≤40mm)	373*3	200	240	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	225*2 (16mm<径≤40mm)	386*2	225	270	軸直角	軸直角	7.003×10 <sup>4</sup>

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：周囲環境温度で算出

\*3：最高使用温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)				
排風機取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.1.4 結論

1.1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 169^*$	$\sigma_{b1} = 53$	$f_{ts1} = 202^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 12$	$f_{sb1} = 130$	$\tau_{b1} = 20$	$f_{sb1} = 156$
排風機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2} = 45$	$f_{ts2} = 150^*$	$\sigma_{b2} = 80$	$f_{ts2} = 180^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 6$	$f_{sb2} = 115$	$\tau_{b2} = 11$	$f_{sb2} = 139$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張り	$\sigma_{b3} = 9$	$f_{ts3} = 169^*$	$\sigma_{b3} = 17$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 6$	$f_{sb3} = 130$	$\tau_{b3} = 10$	$f_{sb3} = 156$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 動的機箱共振評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	2500	原子炉建屋 O.P.22.50*1 (O.P.23.255)			C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	65

注記\*1：基準床レベルを示す。

機器名称	形式	定格容量 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建屋 O.P.22.50*1 (O.P.23.255)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	65

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

(1) 遠心直結型ファンの軸系

部材	m <sub>4</sub> (kg)	l <sub>4</sub> (mm)	d (mm)	L (mm)
軸				
軸受				

(2) インペラとファンケーシング間のクリアランス

部材	m <sub>2</sub> (kg)	h <sub>2</sub> (mm)	K <sub>θr</sub> (kg・mm/rad)	K <sub>θt</sub> (kg・mm/rad)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	δ <sub>sx</sub> (mm)	δ <sub>sy</sub> (mm)	θ <sub>sx</sub> (rad)	θ <sub>syx</sub> (rad)	θ <sub>cx</sub> (rad)	θ <sub>cz</sub> (rad)
インペラとファンケーシング 間のクリアランス												

(3) 固定子

部材	A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>f</sub> (mm)	m <sub>s</sub> (kg)	N (min <sup>-1</sup> )	n <sub>p</sub>	P (kW)	T <sub>s</sub> (%)
固定子				3000		22	

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 軸 (回転子)

部材	$d_s$ (mm)	$\phi_{b,L}$ (mm)	$\phi_{r,C}$ (mm)	$m_r$ (kg)	N ( $\text{min}^{-1}$ )	P (kW)	$Z_s$ ( $\text{mm}^2$ )
軸 (回転子)					3000	22	

(5) 端子箱

部材	$A_{tb}$ ( $\text{mm}^2$ )	$h_t$ (mm)	$L_{1,y}$ (mm)	$L_{2,y}$ (mm)	$L_{1,z}$ (mm)	$L_{2,z}$ (mm)	$m_t$ (kg)	$n_t$	$n_{t1,y}$	$n_{t1,z}$	$\theta$ ( $^\circ$ )
端子箱											

(6) 軸受

部材	$F_a$ (N)	$X_o$	$Y_o$
軸受			

(7) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	$d_s$ (mm)	E (MPa)	$\phi_{b,L}$ (mm)	$\phi_{r,C}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(8) モーターフレーム

部材	$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$h_c$ (mm)	$h_f$ (mm)	$\phi$ (mm)	$\phi_c$ (mm)	m (kg)	$m_{s1}$ (kg)	$Z_{sy}$ ( $\text{mm}^2$ )
モーターフレーム								

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能耐震認識加速度との比較

		機能耐震認識加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
		機能耐震評価用加速度*	機能耐震認識加速度
ファン	水平方向	1.81	2.3
	鉛直方向	1.32	1.0
原動機	水平方向	1.81	4.7
	鉛直方向	1.32	1.0

注記\*：基準地震動 $S_s$ により定まる応答加速度とする。

ファンは、鉛直方向の機能耐震評価用加速度が機能耐震認識加速度を超えるため、以下の項目について評価する。  
原動機は、鉛直方向の機能耐震評価用加速度が機能耐震認識加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- 1.2.3.2 遠心直結型ファンの動的機軸維持評価
- 1.2.3.2.1 代表評価項目の評価  
基礎ボルト、排風機取付ボルト、原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。
- 1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価
- 1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)	
評価部位	発生応力
軸	76
	許容応力
	483

すべて許容応力以下である。

(単位：N)	
評価部位	発生荷重
軸受	15760
	許容荷重
	60000

すべて許容荷重以下である。

(単位：mm)		
評価部位	変位量	許容変位量
インペラ〜ケーシング間		

すべて許容変位量以下である。

- 1.2.3.3 原動機の動的機軸維持評価
- 1.2.3.3.1 代表評価項目の評価  
原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

- 1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価
- 1.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)		
評価部位	応力	発生応力
固定子	せん断	11
		許容応力
		129

すべて許容応力以下である。

- 1.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価

(単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸 (回転子)	16	457

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	4	202
	せん断	2	155

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	1033	
反軸継手側	1031	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.05	1.00

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モーターフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モーターフレーム	25	40

すべて許容応力以下である。

【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
非常用ガス処理系排風機	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 22.50 <sup>*1</sup> (O.P. 23.255)			—	—	C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	66

注記\*1：基準床レベルを示す。

2.1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	φ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	φ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>
基礎ボルト (i=1)							8	4
排風機機取付ボルト (i=2)							4	2
原動機機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	軸倒方向		Mp (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	225 <sup>*2</sup> (16mm<径≤40mm)	385 <sup>*2</sup>	—	270	—	軸	—
排風機機取付ボルト (i=2)	200 <sup>*3</sup> (16mm<径≤40mm)	373 <sup>*3</sup>	—	240	—	軸	—
原動機機取付ボルト (i=3)	225 <sup>*2</sup> (16mm<径≤40mm)	385 <sup>*2</sup>	—	270	—	軸直角	7.003×10 <sup>4</sup>

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向軸倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向軸倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：周囲環境温度で算出

\*3：最高使用温度で算出

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )

2.1.3 計算数値  
2.1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i = 1)	—		—	
排風機取付ボルト (i = 2)	—		—	
原動機取付ボルト (i = 3)	—		—	

2.1.4 結論 (単位：s)

2.1.4.1 固有周期

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.1.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i = 1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 53$	$f_{ts1} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 20$	$f_{sb1} = 155$
排風機取付ボルト (i = 2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 80$	$f_{ts2} = 180^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 11$	$f_{sb2} = 139$
原動機取付ボルト (i = 3)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 17$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 10$	$f_{sb3} = 155$

すべて許容応力以下である。 注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 動的機箱共振評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	2500	原子炉建屋 O.P.22.50*1 (O.P.23.255)			C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	66

注記\*1：基準床レベルを示す。

機器名称	形式	定格容量 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S <sub>s</sub>		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建屋 O.P.22.50*1 (O.P.23.255)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> = 2.16	C <sub>V</sub> = 1.58		140	66

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

(1) 遠心直結型ファンの軸系

部材	m <sub>4</sub> (kg)	l <sub>4</sub> (mm)	d (mm)	L (mm)
軸				
軸受				

(2) インペラとファンケーシング間のクリアランス

部材	m <sub>2</sub> (kg)	h <sub>2</sub> (mm)	K <sub>θr</sub> (kg・mm/rad)	K <sub>θt</sub> (kg・mm/rad)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	δ <sub>sx</sub> (mm)	δ <sub>sy</sub> (mm)	θ <sub>sx</sub> (rad)	θ <sub>syx</sub> (rad)	θ <sub>cx</sub> (rad)	θ <sub>cz</sub> (rad)
インペラとファンケーシング 間のクリアランス												

(3) 固定子

部材	A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>f</sub> (mm)	m <sub>s</sub> (kg)	N (min <sup>-1</sup> )	n <sub>p</sub>	P (kW)	T <sub>s</sub> (%)
固定子				3000		22	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 軸 (回転子)

部材	$d_s$ (mm)	$\ell_{b, L}$ (mm)	$\ell_{r, C}$ (mm)	$m_r$ (kg)	N ( $\text{min}^{-1}$ )	P (kW)	$Z_s$ ( $\text{mm}^3$ )
軸 (回転子)					3000	22	

(5) 端子箱

部材	$A_{tb}$ ( $\text{mm}^2$ )	$h_t$ (mm)	$L_{1, y}$ (mm)	$L_{2, y}$ (mm)	$L_{1, z}$ (mm)	$L_{2, z}$ (mm)	$m_t$ (kg)	$n_t$	$n_{t1, y}$	$n_{t1, z}$	$\theta$ ( $^\circ$ )
端子箱											

(6) 軸受

部材	$F^a$ (N)	$X_o$	$Y_o$
軸受			

(7) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	$d_s$ (mm)	E (MPa)	$\ell_{b, L}$ (mm)	$\ell_{r, C}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(8) モータフレーム

部材	$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$h_c$ (mm)	$h_f$ (mm)	$\ell$ (mm)	$\ell_c$ (mm)	m (kg)	$m_{s1}$ (kg)	$Z_{sy}$ ( $\text{mm}^3$ )
モータフレーム								

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能維持許容加速度との比較

		機能維持許容加速度との比較 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
		機能維持許容用加速度*	機能維持許容加速度
ファン	水平方向	1.81	2.3
	鉛直方向	1.32	1.0
原動機	水平方向	1.81	4.7
	鉛直方向	1.32	1.0

注記\*: 基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

ファンは、鉛直方向の機能維持許容用加速度が機能維持許容用加速度を超えるため、以下の項目について評価する。  
原動機は、鉛直方向の機能維持許容用加速度が機能維持許容用加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.3.2 遠心直結型ファンの動作的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、排風機取付ボルト、原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)	
評価部位	発生応力
軸	76
	許容応力
	482

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：N)	
評価部位	発生荷重
軸受	15760
	許容荷重
	60000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.3 インペラとファンケーシング間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
インペラ～ケーシング間		

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3 原動機の動作的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)		
評価部位	応力	発生応力
固定子	せん断	11
		許容応力
		129

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価

(単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸 (回転子)	16	456

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	4	201
	せん断	2	155

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	1033	
反軸継手側	1031	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

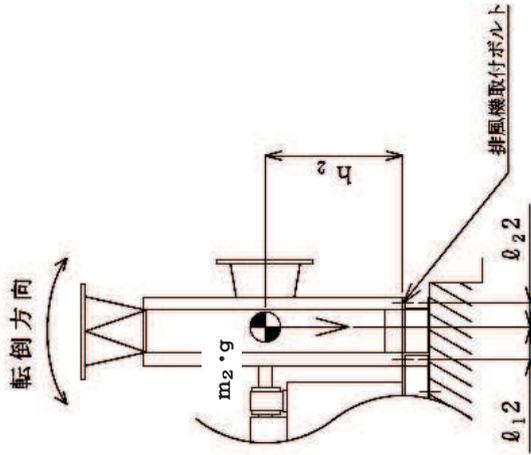
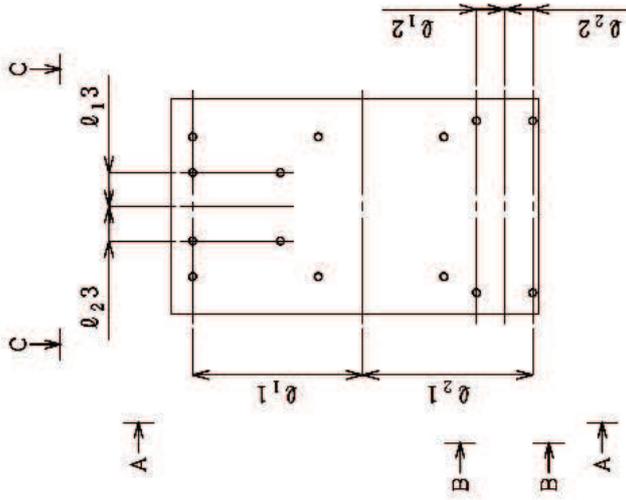
評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.05	1.00

すべて許容変位量以下である。

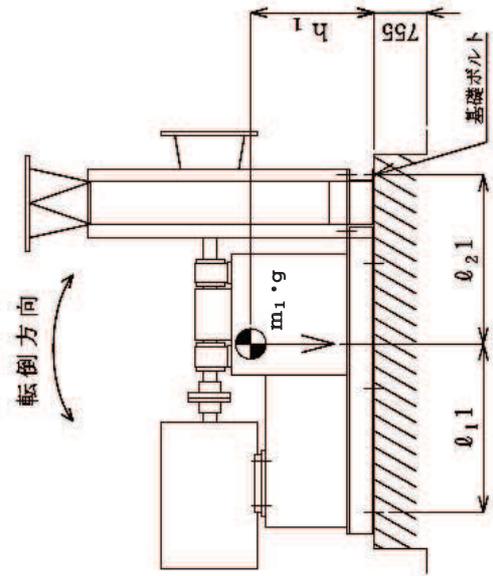
2.2.3.3.2.6 モーターフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モーターフレーム	25	40

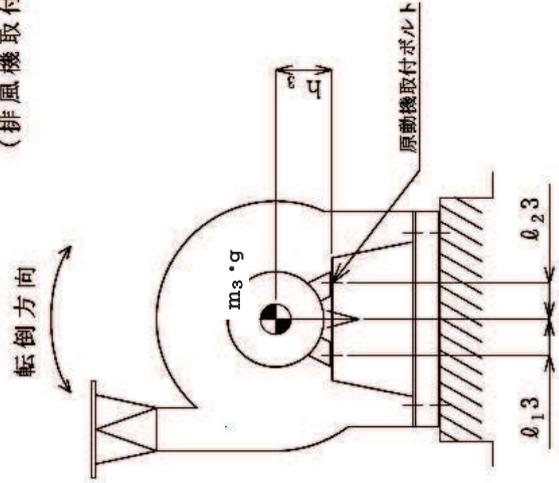
すべて許容応力以下である。



B~B 矢視図  
(排風機取付ボルト)



A~A 矢視図  
(基礎ボルト)



C~C 矢視図  
(原動機取付ボルト)

VI-2-9-4-4-1-4 非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性  
についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ガス処理系フィルタ装置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。

非常用ガス処理系フィルタ装置は、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重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

非常用ガス処理系フィルタ装置の構造計画を表 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>非常用ガス処理系フィルタ装置は架台にスライドボルトで固定され、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>高性能エアフィルタ イルタ及びびチャコールエアフィルタ (角形ダクト式)</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

非常用ガス処理系フィルタ装置の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示す非常用ガス処理系フィルタ装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく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を実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

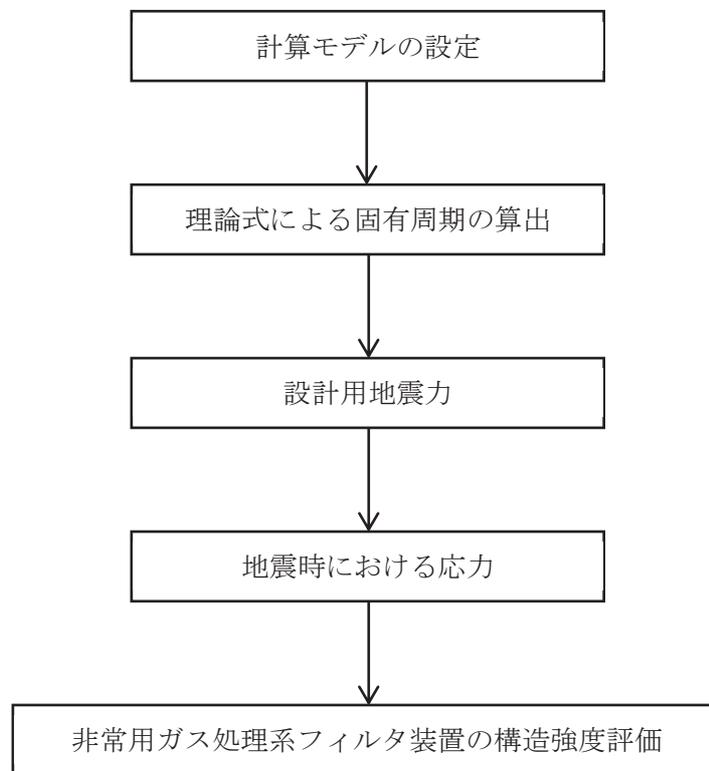


図 2-1 非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価フロー

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（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
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$A_e$	有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$G$	せん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	架台上面，固定面又は据付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$I$	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$K_H$	水平方向ばね定数	N/m
$K_V$	鉛直方向ばね定数	N/m
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{qi}$	せん断力を受けるボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1 :  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $n_i$ ,  
 $n_{fi}$ ,  $n_{qi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi}(RT)$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意  
味は、以下のとおりとする。

$i=1$  : スライドボルト

$i=2$  : 固定ボルト

$i=3$  : 基礎ボルト

\*2 :  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$  : 架台上面

$i=2$  : 固定面

$i=3$  : 据付面

\*3 :  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、固定ボルト及びスライドボルトについて実施する。非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系フィルタ装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 変形は非常用ガス処理系フィルタ装置をはりと考えたときの曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- c. 非常用ガス処理系フィルタ装置は架台上にあり、架台は固定ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

非常用ガス処理系フィルタ装置は、図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

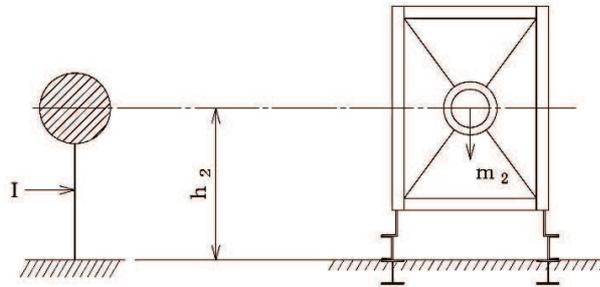


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びびせん断変形によるばね定数 $K_H$ は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、水平方向固有周期 $T_H$ は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 $K_v$ は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_2}{E \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって、鉛直方向固有周期 $T_v$ は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は非常用ガス処理系フィルタ装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 基礎ボルト及び固定ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとする。  
また、スライドボルトに対するせん断力は、長辺方向にスライドできるものとし、固定部（2 本）のボルト本数のみで受けるものとする。

### 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

非常用ガス処理系フィルタ装置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。

#### 5.2.2 許容応力

非常用ガス処理系フィルタ装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系フィルタ装置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	非常用ガス処理系 フィルタ装置	S	—*	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub> *	III <sub>A</sub> S
				D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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	非常用ガス処理系 フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管*2	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub> *3	IV <sub>A</sub> S
				D + P <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許 容限界を用いる。)

注記\*1：「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 管の支持構造物を含む。

\*3：「D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>s</sub>」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
スライドボルト	[Redacted]	最高使用温度	[Redacted]	[Redacted]	—
固定ボルト		最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	225	386	—

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
スライドボルト	[Redacted]	最高使用温度	[Redacted]	[Redacted]	—
固定ボルト		最高使用温度			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	225	386	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 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<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> =1.13	C <sub>V</sub> =0.91	C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56

注記\*：基準床レベルを示す。

表 5-7 設計用地震力（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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 22.50*			—	—	C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルト、固定ボルト及びスライドボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

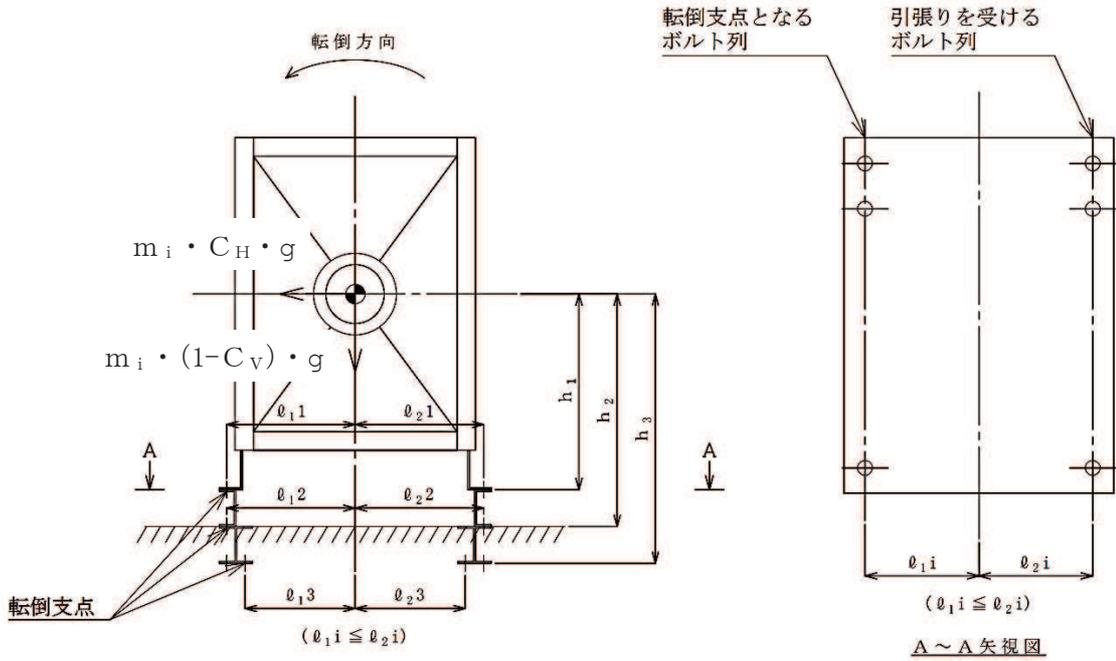


図 5-1(1) 計算モデル  
(短辺方向転倒-1  $(1-C_V) \geq 0$  の場合)

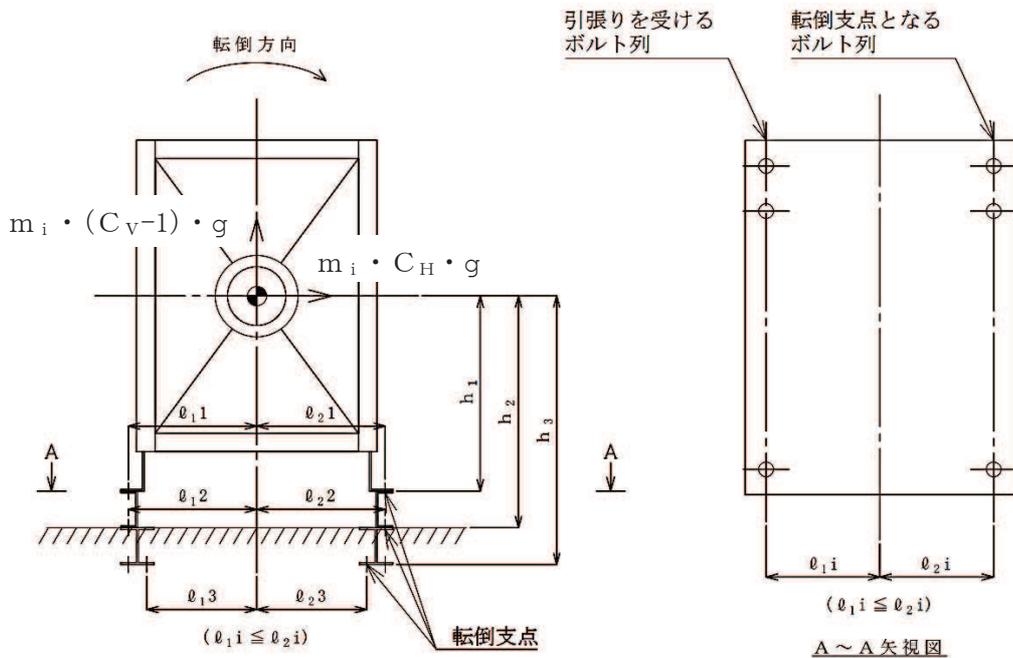


図 5-1(2) 計算モデル  
(短辺方向転倒-2  $(1-C_V) < 0$  の場合)

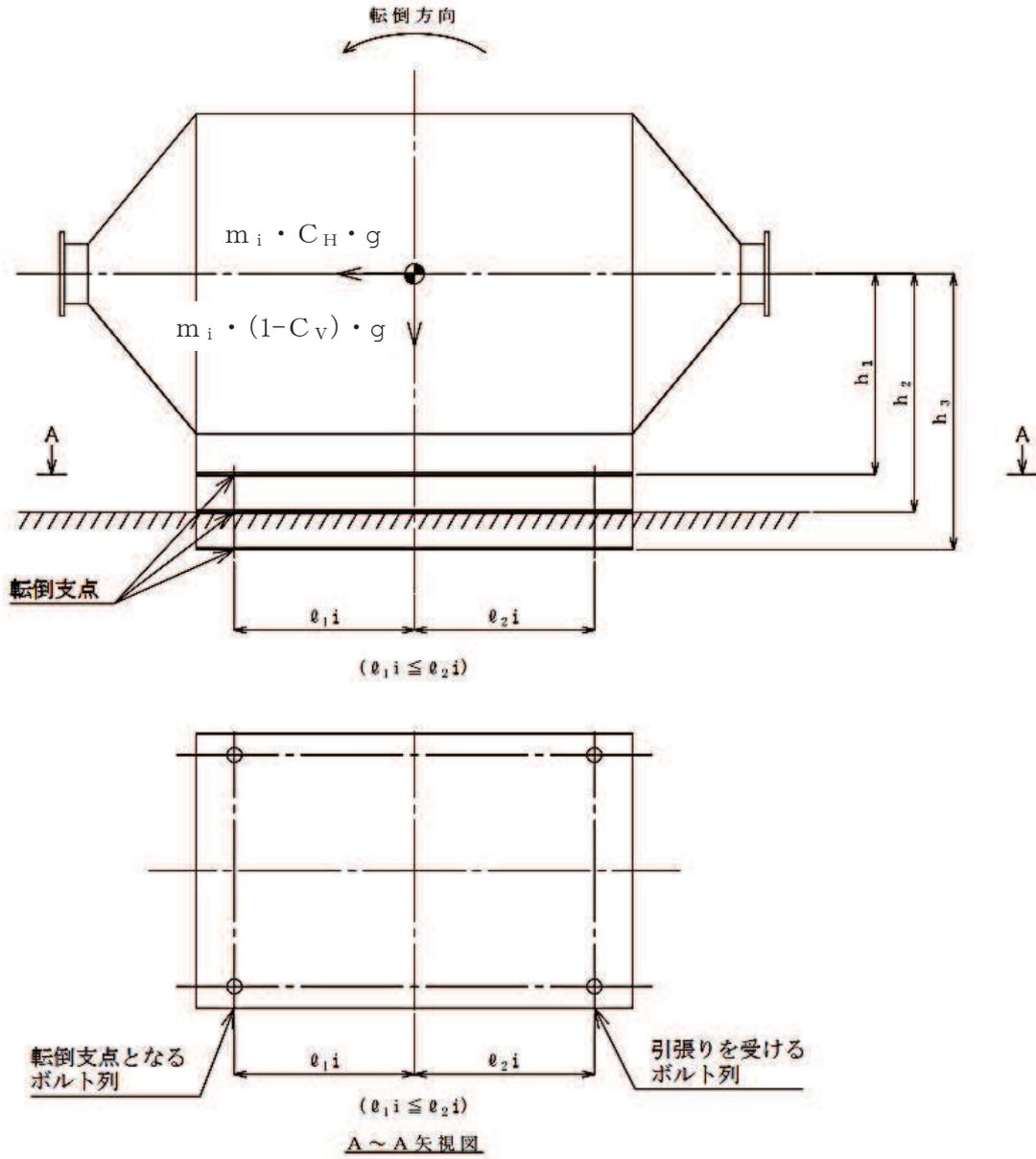


図 5-2(1) 計算モデル  
 (長辺方向転倒-1  $(1 - C_V) \geq 0$  の場合)

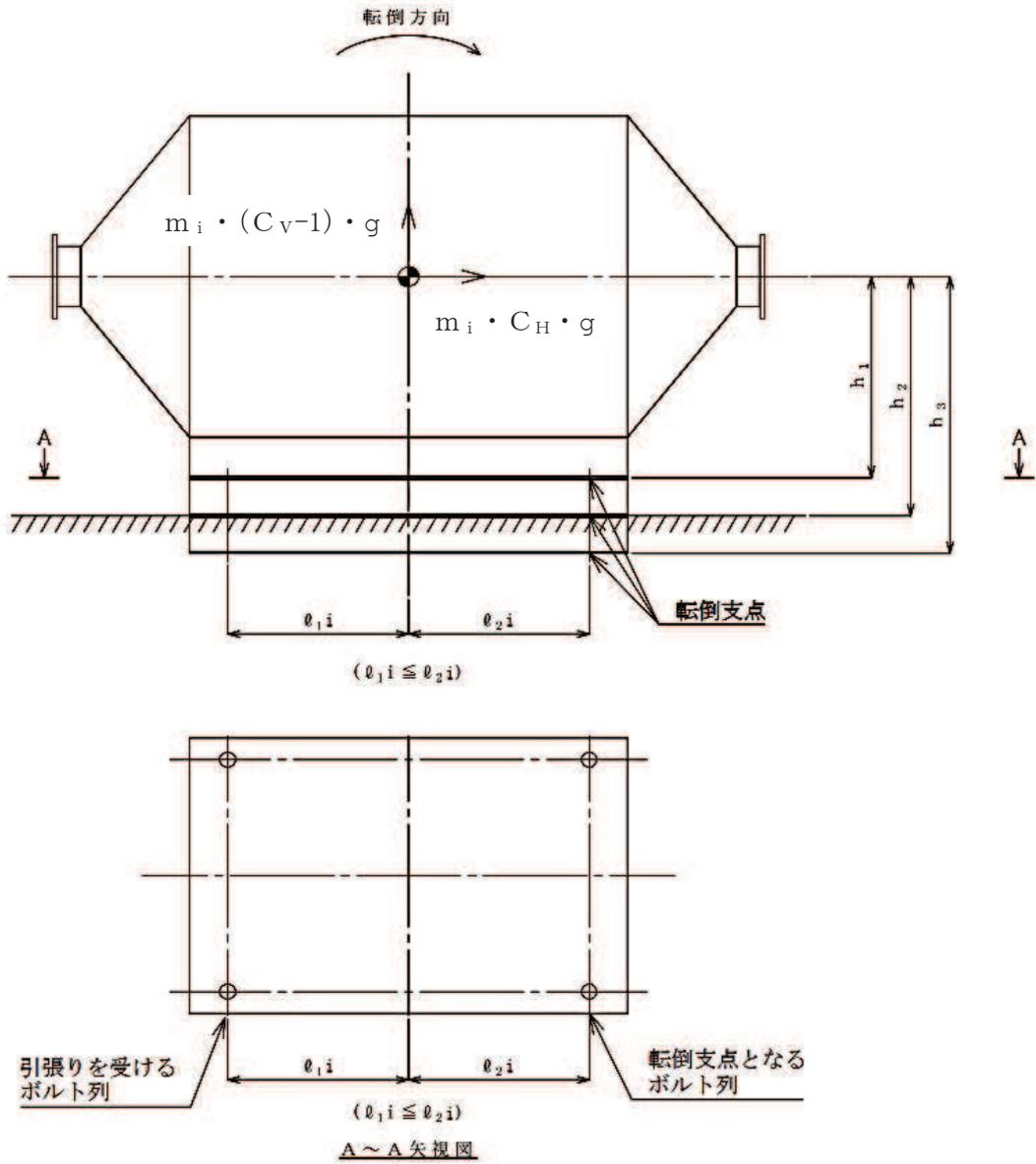


図 5-2(2) 計算モデル  
 (長辺方向転倒-2  $(1 - C_V) < 0$  の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図 5-1(1) 及び図 5-2(1) の場合の引張力  $((1 - C_v) \geq 0$  の場合)

$$F_{bi} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot g \cdot h_i - (1 - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2) 及び図 5-2(2) の場合の引張力  $((1 - C_v) < 0$  の場合)

$$F_{bi} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot g \cdot h_i - (1 - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{bi}$  は次式より求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト及び固定ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

また、スライドボルトに対するせん断力は固定部 (2 本) のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{bi} = C_H \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_{qi} \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{tsi}$  以下であること。ただし、 $f_{toi}$  は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sbi}$  以下であること。

ただし、 $f_{sbi}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 $f_{toi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系フィルタ装置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次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系フィルタ装置の重大事故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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
非常用ガス処理系フィルタ装置	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> = 1.13	C <sub>V</sub> = 0.91	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56	140	65

注記\*：基準レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	l <sub>1,i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	l <sub>2,i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b,i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f,i</sub> <sup>*1</sup>	n <sub>q,i</sub>
スライトボルト (i=1)							20	10 2	2
固定ボルト (i=2)							20	10 2	20
基礎ボルト (i=3)							40	20 4	40

部材	S <sub>y,i</sub> (MPa)	S <sub>u,i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
スライトボルト (i=1)					短辺	長辺
固定ボルト (i=2)					短辺	長辺
基礎ボルト (i=3)	225 <sup>*3</sup> (16mm<径≦40mm)	386 <sup>*3</sup>	225	270	短辺	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )
		8.015×10 <sup>10</sup>	2.240×10 <sup>4</sup>

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b,i</sub>		Q <sub>b,i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
スライドボルト (i=1)				
固定ボルト (i=2)				
基礎ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スライドボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} = 17$	$f_{ts1} = 401^*$	$\sigma_{b1} = 70$	$f_{ts1} = 208^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 138$	$f_{sb1} = 342$	$\tau_{b1} = 259$	$f_{sb1} = 342$
固定ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} = 22$	$f_{ts2} = 444^*$	$\sigma_{b2} = 82$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 15$	$f_{sb2} = 342$	$\tau_{b2} = 28$	$f_{sb2} = 342$
基礎ボルト (i=3)	SS400	引張り	$\sigma_{b3} = 15$	$f_{ts3} = 169^*$	$\sigma_{b3} = 47$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 8$	$f_{sb3} = 130$	$\tau_{b3} = 15$	$f_{sb3} = 156$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ により算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度		
非常用ガス処理系 フィルタ装置	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 22.50*			—	—	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56	140	65	

注記\*：基準レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ρ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	ρ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>	n <sub>qi</sub>
スライドボルト (i=1)							20	10 2	2
固定ボルト (i=2)							20	10 2	20
基礎ボルト (i=3)							40	20 4	40

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
スライドボルト (i=1)			—		—	長辺
固定ボルト (i=2)			—		—	長辺
基礎ボルト (i=3)	225 <sup>*3</sup> (16mm<径≤40mm)	386 <sup>*3</sup>	—	270	—	長辺

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

E (MPa)	G (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )
		8.015×10 <sup>10</sup>	2.240×10 <sup>4</sup>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
スライドボルト (i=1)	—		—	
固定ボルト (i=2)	—		—	
基礎ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

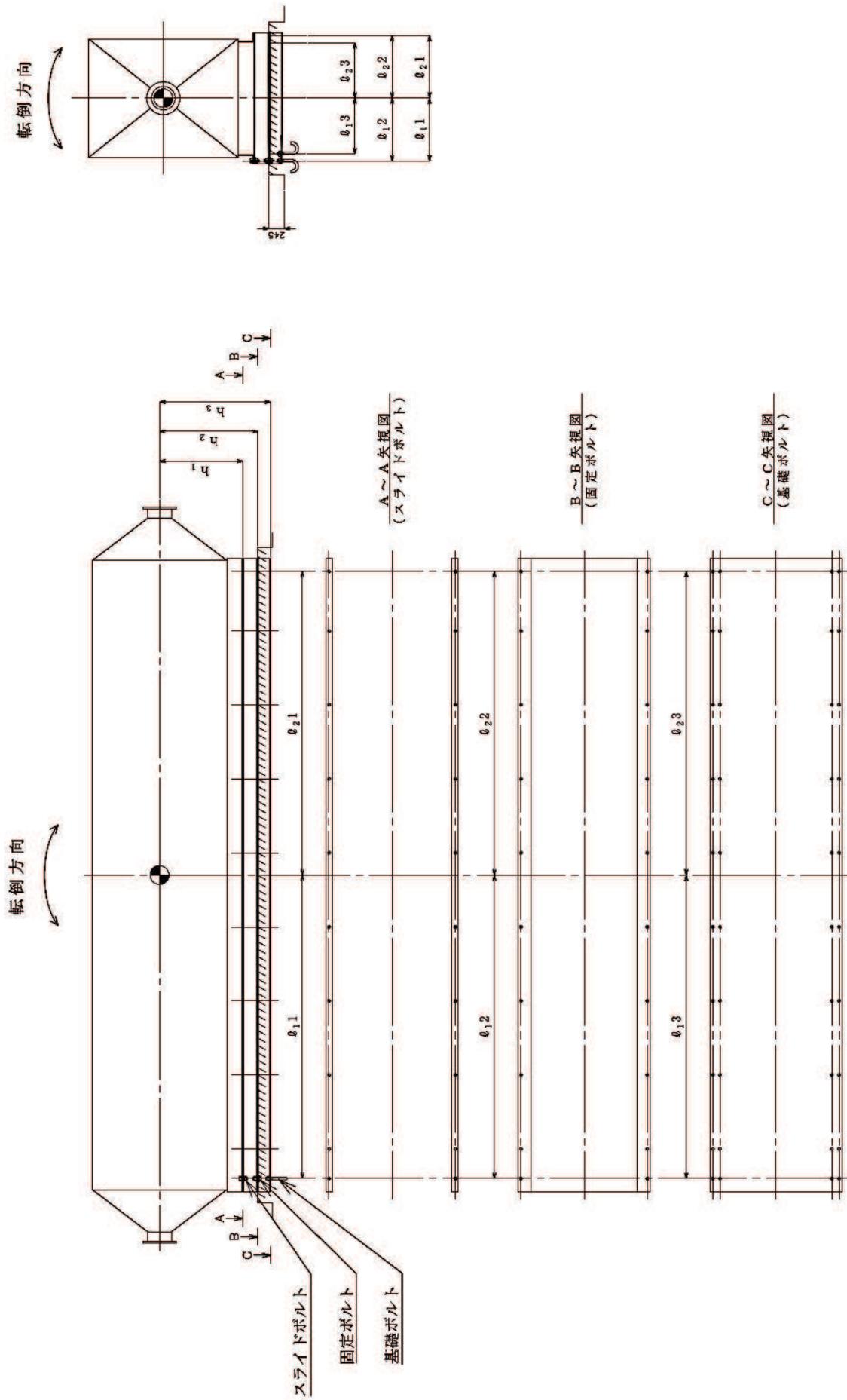
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スライドボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 70$	$f_{ts1} = 208^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 259$	$f_{sb1} = 342$
固定ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 82$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 28$	$f_{sb2} = 342$
基礎ボルト (i=3)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 47$	$f_{ts3} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 15$	$f_{sb3} = 156$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の  
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	4
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.1.1 扉の構造強度評価方法	9
4.1.2 支持部材の構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.7 計算条件	22
4.8 応力の評価	22
4.8.1 扉及び支持部材の応力評価	22
5. 機能維持評価	23
5.1 機能維持評価用加速度	23
5.2 機能確認済加速度	23
6. 評価結果	24
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	24
7. 引用文献	24

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-1-6-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、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）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。

BOP 閉止装置は、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。以下、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。

BOP 閉止装置は、装置取付架台を介して 1 式（24 台）設置しており、BOP 閉止装置 24 台と装置取付架台から構成される全体構造が剛構造であることを確認している。そのため、全体構造における BOP 閉止装置の振動特性と BOP 閉止装置 1 台の振動特性に差異はないため、以下では BOP 閉止装置 1 台に着目して、構造強度評価及び動的機能維持評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

BOP 閉止装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

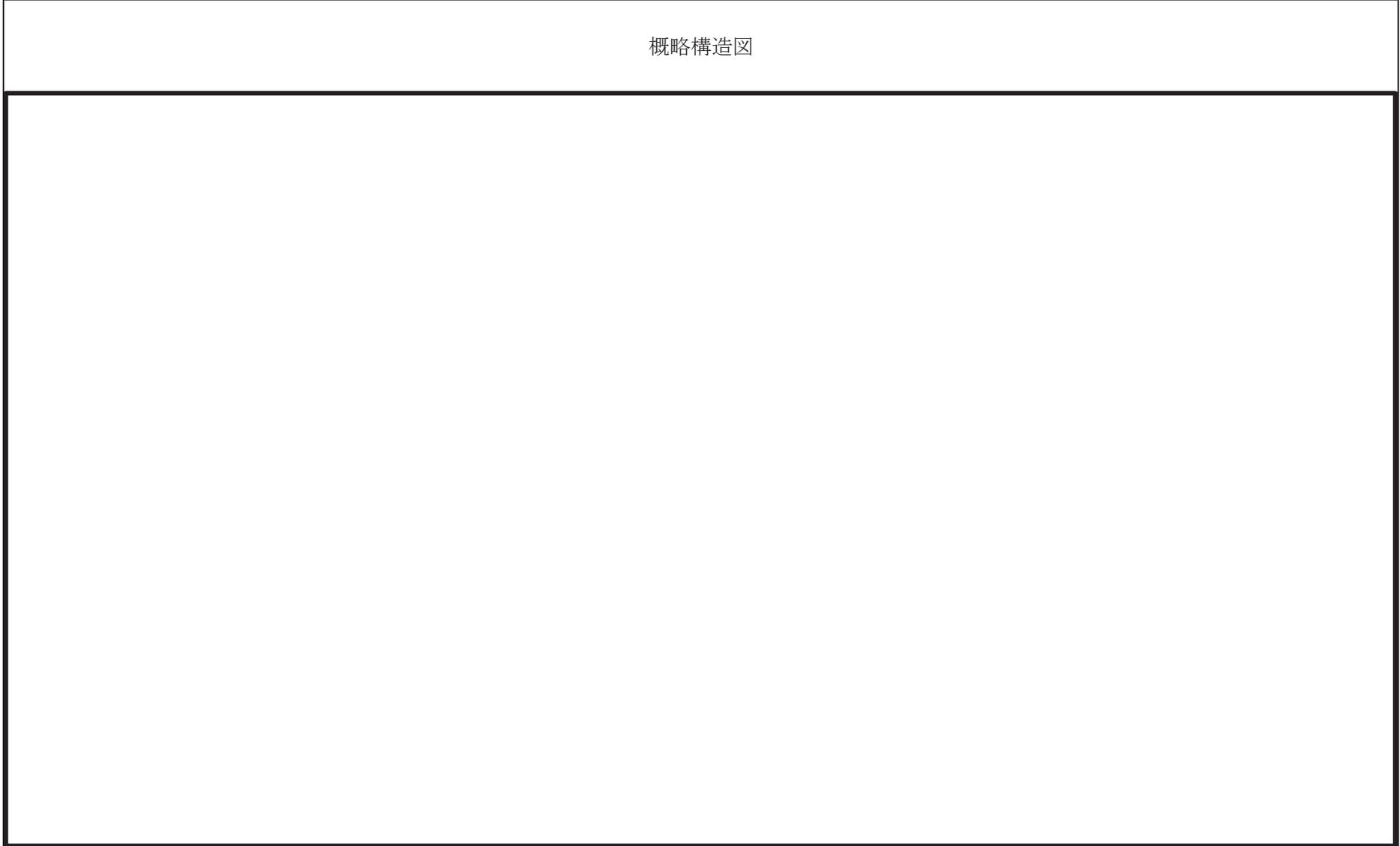
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟に剛構造である装置取付架台を介して1式 (24台) 設置しており、杵板は、据付ボルトにより装置取付架台に固定される。</p> <p>扉開状態及び扉閉状態では、門部は門ブラケットに門ピンを挿入することで拘束され、丁番部は丁番軸を支持する丁番ブロックによって拘束される。扉はそれらの部材を介して杵板に支持される。</p>	<p>BOP 閉止装置は、扉、門、丁番、杵板及び扉を駆動する駆動部から構成される。なお、扉は外梁、内梁及び面板から構成される。</p>	

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-1 構造計画 (2/2)

概略構造図



## 2.2 評価方針

BOP 閉止装置の応力評価は、添付書類「VI-1-1-6-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、「2.1 構造計画」にて示す BOP 閉止装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく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。また、BOP 閉止装置の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の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、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

BOP 閉止装置の構造強度評価フローを図 2-1 に、機能維持評価フローを図 2-2 に示す。

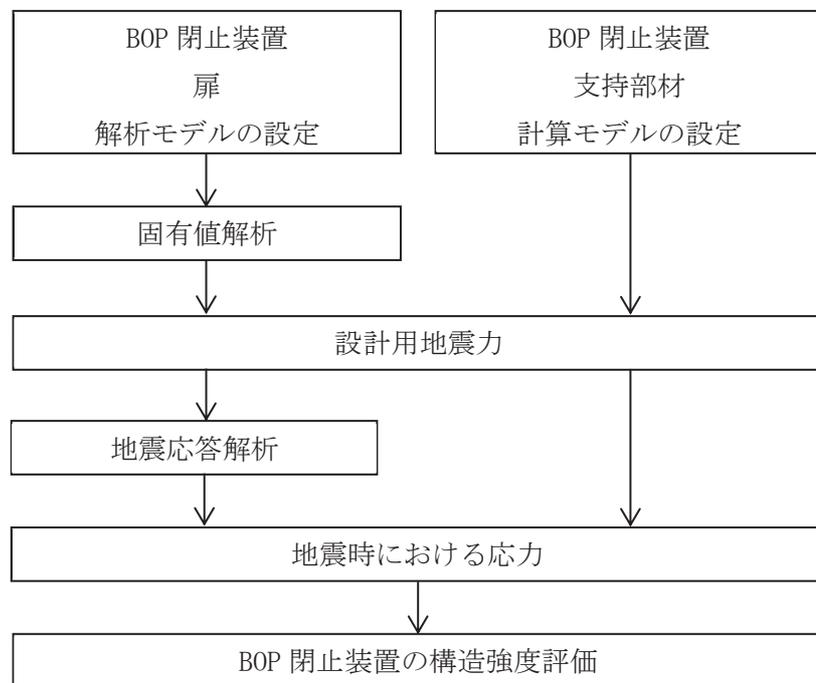


図 2-1 BOP 閉止装置の構造強度評価フロー

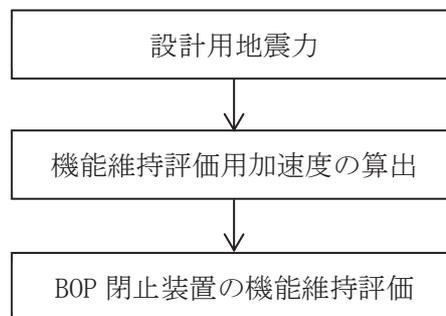


図 2-2 BOP 閉止装置の機能維持評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補－1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（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
$A_H$	丁番ブラケットの断面積	$\text{mm}^2$
$A_P$	門ピンの断面積	$\text{mm}^2$
$A$	内梁の断面積	$\text{mm}^2$
$E$	扉の縦弾性係数	MPa
$C_{H1}$	BOP閉止装置の面外方向設計震度	—
$C_{H2}$	BOP閉止装置の面内方向設計震度	—
$C_V$	BOP閉止装置の鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_P$	門ピンに作用する引張力	N
$F_x$	内梁に作用する力 (x 方向)	N
$F_y$	内梁に作用する力 (y 方向)	N
$F_z$	内梁に作用する力 (z 方向)	N
$F_{XH}$	丁番ブラケットに作用する力 (X方向)	N
$F_{YH}$	丁番ブラケットに作用する力 (Y方向)	N
$F_{ZH}$	丁番ブラケットに作用する力 (Z方向)	N
$f_s$	許容せん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$L_H$	丁番ブラケットの長さ	mm
$L_P$	門ピンの長さ	mm
$m$	扉の質量	kg
$M_P$	門ピンに作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_x$	内梁に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_y$	内梁に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_z$	内梁に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{XH}$	丁番ブラケットに作用するモーメント (X軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{ZH}$	丁番ブラケットに作用するモーメント (Z軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$N_{YH}$	丁番ブラケットに作用する垂直力 (Y方向)	N
$P$	原子炉建屋内外差圧条件	Pa
$P_W$	風圧力条件	Pa
$Q_P$	門ピンに作用するせん断力	N
$Q_{XH}$	丁番ブラケットに作用するせん断力 (X方向)	N
$Q_{ZH}$	丁番ブラケットに作用するせん断力 (Z方向)	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
$S_y$ (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
$Z_P$	門ピンの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_x$	内梁のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	内梁の y 軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	内梁の z 軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{XH}$	丁番ブラケットのX軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{ZH}$	丁番ブラケットのZ軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_{cH}$	丁番ブラケットに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{tH}$	丁番ブラケットに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{cP}$	門ピンに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{tP}$	門ピンに生じる引張応力	MPa
$\sigma_c$	内梁に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	内梁に生じる引張応力	MPa
$\sigma_x$	内梁に生じる引張応力 (x 方向)	MPa
$\sigma_y$	内梁に生じる引張応力 (y 方向)	MPa
$\sigma_z$	内梁に生じる引張応力 (z 方向)	MPa
$\tau_H$	丁番ブラケットに生じるせん断応力	MPa
$\tau_P$	門ピンに生じるせん断応力	MPa
$\tau$	内梁に生じるせん断応力	MPa
$\tau_x$	内梁に生じるせん断応力 (x 方向)	MPa
$\tau_y$	内梁に生じるせん断応力 (y 方向)	MPa
$\tau_z$	内梁に生じるせん断応力 (z 方向)	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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

\*2 : 絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

BOP 閉止装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、扉開状態及び扉閉状態それぞれの場合において、扉のうち耐震評価上厳しくなる内梁、支持部材のうち門ピン及び丁番ブラケットについて実施する。

評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.1.1 扉の構造強度評価方法

- (1) 扉は門及び丁番により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (2) 地震力は扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向の3方向から作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。
- (3) 扉閉状態において原子炉建屋内外差圧及び風圧力は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価において4辺を面外方向に拘束するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせるものとする。

#### 4.1.2 支持部材の構造強度評価方法

- (1) 門ピン
  - a. 扉からの地震荷重は、面外方向に作用するものとする。
  - b. 扉閉状態において扉からの原子炉建屋内外差圧及び風圧力は、面外方向に作用するものとする。
  - c. 門ピンの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。
- (2) 丁番ブラケット
  - a. 扉からの地震荷重は、面外方向、面内方向及び鉛直方向に作用するものとする。
  - b. 扉閉状態において扉からの原子炉建屋内外差圧及び風圧力は、面外方向に作用するものとする。
  - c. 丁番ブラケットの構造強度評価は、集中荷重による引張応力、せん断応力及び組合せ応力を評価する。

## 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

BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

### 4.2.2 許容応力

BOP 閉止装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-2 に示す。

### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

BOP 閉止装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3（扉開状態）及び表 4-4（扉閉状態）に示す。

表 4-1 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	その他	BOP 閉止装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}^{*3}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}^{*3}$ ( $V_{AS}$ として、 $IV_{AS}$ の許容限界を 用いる。)

注記\*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：門ピンについては、基準地震動  $S_s$  により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を  $III_{AS}$  とする。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ <sub>A</sub> S*3	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S としてⅣ <sub>A</sub> S の許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*3 : 門ピンについては、基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ<sub>A</sub>S とする。

表 4-3 扉開状態における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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
内梁	<input type="text"/>	周囲環境温度	55	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	55	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
丁番ブラケット	<input type="text"/>	周囲環境温度	55	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 4-4 扉閉状態における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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
内梁	<input type="text"/>	周囲環境温度	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
丁番ブラケット	<input type="text"/>	周囲環境温度	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

#### 4.3 解析モデル及び諸元

BOP 閉止装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) BOP 閉止装置の外梁及び内梁を三次元のはり要素及び面板を三次元のシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。なお、丁番は扉開状態及び扉閉状態で扉を固定する部材の位置が同じであり、門については扉開状態と扉閉状態で扉を固定する部材の位置が異なるが、扉から見た門の位置は同じであるために、解析モデルは扉開状態及び扉閉状態で共通とする。
- (2) 解析モデルの質量は、扉を構成する内梁、外梁及び面板等の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件として、門は面外方向の並進拘束及び丁番は面外、面内及び鉛直方向の並進拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

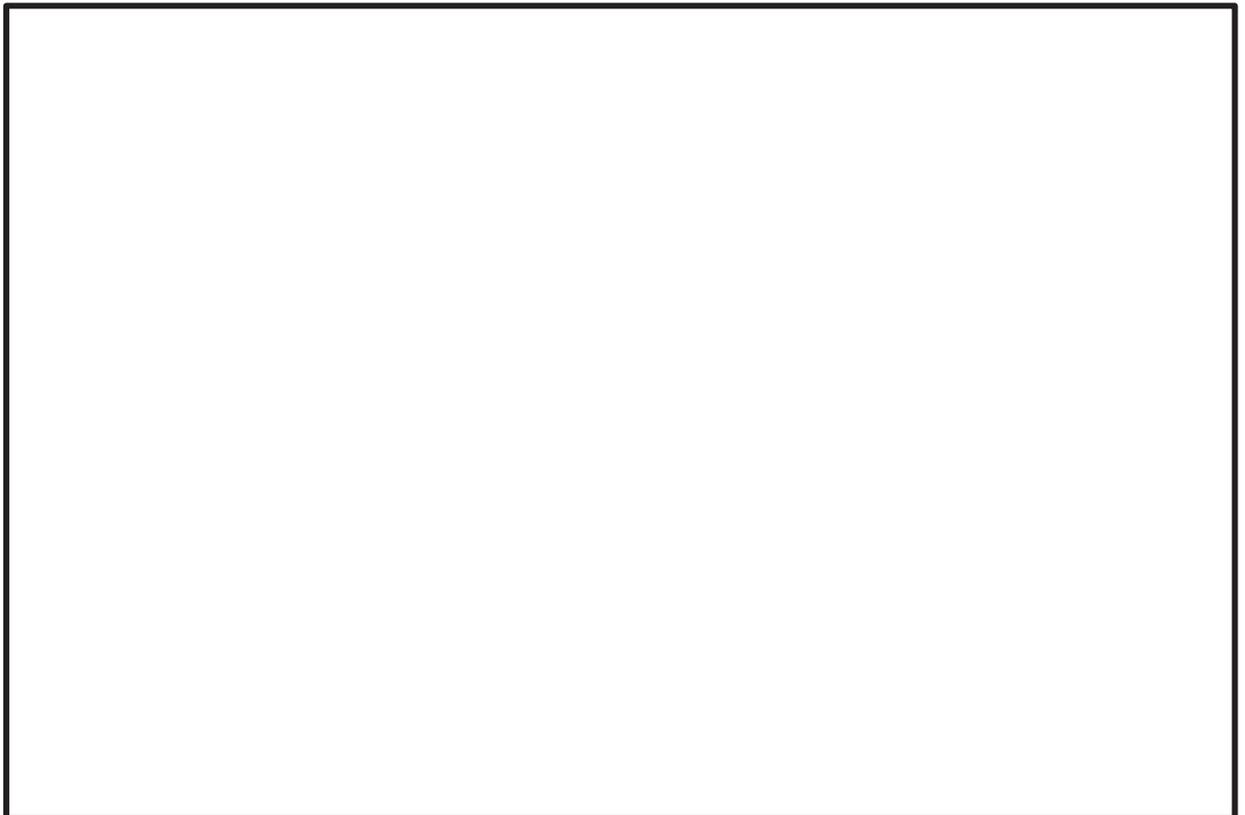


図 4-1 解析モデル

#### 4.4 固有周期

扉開状態における固有値解析結果を表 4-5 に、扉閉状態における固有値解析結果を表 4-6 に、振動モード図を図 4-2 に示す。扉開状態及び扉閉状態において、面外方向、面内方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-5 扉開状態の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			面外方向	面内方向	
1 次	面外	0.027	—	—	—

表 4-6 扉閉状態の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			面外方向	面内方向	
1 次	面外	0.027	—	—	—



図 4-2 振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力

扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に、扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 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、添付書類「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 4-7 扉閉状態の設計用地震力（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		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	$C_{H1}$ =3.15	$C_{H2}$ =3.15	$C_V$ =1.85

注記\*：基準床レベルを示す。

表 4-8 扉閉状態の設計用地震力（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		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	$C_{H1}$ =3.15	$C_{H2}$ =3.15	$C_V$ =1.85

注記\*：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 扉の計算方法

##### a. 内梁

内梁に加わる荷重は、解析による計算で得られる値を使用し、応力を図 4-3 を用いて計算する。負担力は、並進力  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , モーメント力  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  とする。ただし、添字  $x$ ,  $y$ ,  $z$  は要素に与えられた座標軸で、 $x$  軸は常に要素の長手方向にとる。応力は、「7. 引用文献」より、下記の計算式にて求める。

##### (a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

##### (b) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

##### (c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

##### (d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

内梁の最大応力発生部位を図 4-1 の ㉑ に示す。

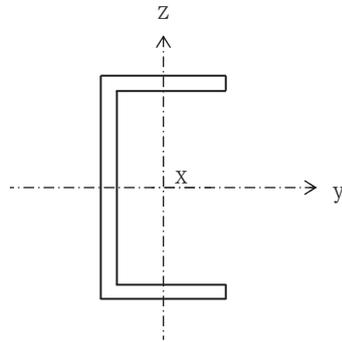


図 4-3 扉内梁の部材断面

(2) 支持部材の計算方法

a. 門ピン

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、門ピンに生じる応力を計算する。計算モデルは図 4-4 に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。



図 4-4 門ピン計算モデル

(a) 引張応力

門ピンに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_P = F_P \cdot L_P \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

門ピンに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tP} = \frac{M_P}{Z_P} \dots\dots\dots (4.6.1.7)$$

(b) せん断応力

門ピンに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_P = F_P \dots\dots\dots (4.6.1.8)$$

門ピンに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_P} \dots\dots\dots (4.6.1.9)$$

(c) 組合せ応力

門ピンに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cP} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4.6.1.10)$$

b. 丁番ブラケット

丁番ブラケットに作用する荷重による垂直力，せん断力及び曲げモーメントを算出し，丁番ブラケットに生じる応力を計算する。計算モデルは図 4-5 に示すとおりとする。



図 4-5 丁番ブラケット計算モデル

(a) 引張応力

丁番ブラケットに作用する垂直力は次式により求める。

$$N_{YH} = F_{YH} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.11)$$

丁番ブラケットに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{XH} = F_{ZH} \cdot L_H \quad \dots\dots\dots (4.6.1.12)$$

$$M_{ZH} = F_{XH} \cdot L_H \quad \dots\dots\dots (4.6.1.13)$$

丁番ブラケットに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tH} = \frac{N_{YH}}{A_H} + \frac{M_{XH}}{Z_{XH}} + \frac{M_{ZH}}{Z_{ZH}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.14)$$

(b) せん断応力

丁番ブラケットに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{XH} = F_{XH} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.15)$$

$$Q_{ZH} = F_{ZH} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.16)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

丁番ブラケットに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_H = \sqrt{\left(\frac{Q_{XH}}{A_H}\right)^2 + \left(\frac{Q_{ZH}}{A_H}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.17)$$

(c) 組合せ応力

丁番ブラケットに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cH} = \sqrt{\sigma_{tH}^2 + 3 \cdot \tau_H^2} \dots\dots\dots (4.6.1.18)$$

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（扉）及び荷重（地震荷重，原子炉建屋内外差圧及び風圧力）は，本計算書の【BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 扉及び支持部材の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S <sub>s</sub> による 荷重との組合せの場合*
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 $f_t$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

注記\*：門ピンについては，基準地震動 S<sub>s</sub>により定まる地震力が作用した後においても，扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を III<sub>A</sub>S とする。

5. 機能維持評価

BOP 閉止装置の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価用加速度

BOP 閉止装置は原子炉建屋原子炉棟に取り付けられることから、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す原子炉建屋の地震応答解析で評価した、BOP 閉止装置の重心位置に生じる加速度とする。機能維持評価用加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持 評価用加速度
BOP 閉止装置	原子炉建屋 O.P. 38.25	面外	2.62
		面内	2.62
		鉛直	1.54

5.2 機能確認済加速度

BOP 閉止装置について、実機の据付状態を模擬し、加振台上に架台を設置し、架台に BOP 閉止装置を取り付けた上で、設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。BOP 閉止装置の機能確認済加速度には、水平 2 方向と鉛直方向の 3 方向同時加振試験において、BOP 閉止装置の作動性及び気密性を保持できることを確認した最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-2 に示す。

表 5-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
BOP 閉止装置	面外	□
	面内	□
	鉛直	□

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

BOP 閉止装置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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

## 7. 引用文献

引用文献を以下に示す。

- ・機械工学便覧（改訂第6版）（日本機械学会編 1987年4月）（(社)日本機械学会）

【BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

1.1.1 扉開状態の設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			周囲環境温度 (℃)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
BOP 閉止装置	常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C <sub>H1</sub> =3.15	C <sub>H2</sub> =3.15	C <sub>V</sub> =1.85	55

注記\*：基準床レベルを示す。

1.1.2 扉閉状態の設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			周囲環境温度 (℃)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
BOP 閉止装置	常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C <sub>H1</sub> =3.15	C <sub>H2</sub> =3.15	C <sub>V</sub> =1.85	66

注記\*：基準床レベルを示す。

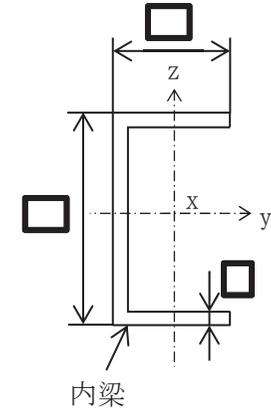
1.2 機器要目

1.2.1 内梁

(1) 扉開状態

m (kg)	A (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )
□	□	□	□	□

材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	—	□	□	□



(2) 扉閉状態

m (kg)	A (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	P <sub>w</sub> (Pa)	P (Pa)
□	□	□	□	□	□	□

材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	—	□	□	□

1.2.2 門ピン

(1) 扉開状態

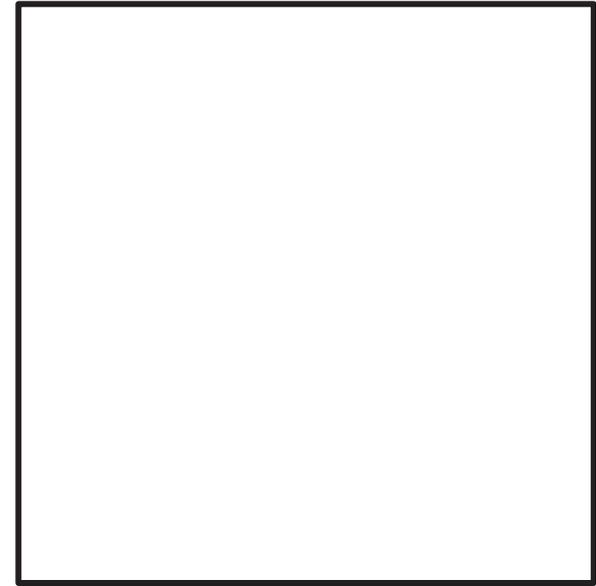
$L_P$ (mm)	$A_P$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_P$ (mm <sup>3</sup> )
□	□	□

材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
□	□	□	□	□	—

(2) 扉閉状態

$L_P$ (mm)	$A_P$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_P$ (mm <sup>3</sup> )	$P_w$ (Pa)	P (Pa)
□	□	□	□	□

材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
□	□	□	□	□	—



1.2.3 丁番ブラケット

(1) 扉開状態

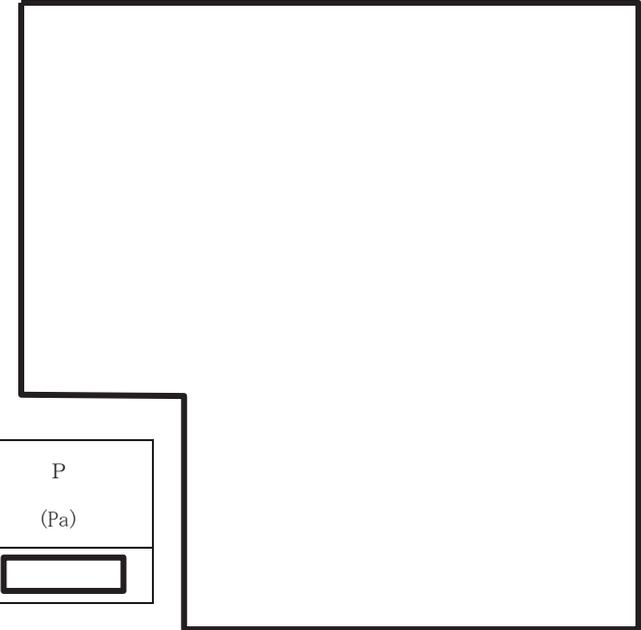
$L_H$ (mm)	$A_H$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{XH}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{ZH}$ (mm <sup>3</sup> )
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

$L_H$ (mm)	$A_H$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{XH}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{ZH}$ (mm <sup>3</sup> )	$P_w$ (Pa)	P (Pa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>



1.3 計算数値

1.3.1 内梁の荷重

(1) 扉開状態

(単位 : N)

F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	28.31	—	8.994×10 <sup>-2</sup>	—	8.923

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(2) 扉閉状態

(単位 : N)

F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	28.31	—	8.994×10 <sup>-2</sup>	—	11.67

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 内梁のモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	3.055	—	1.944×10 <sup>5</sup>	—	95.38

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	3.886	—	2.577×10 <sup>5</sup>	—	95.38

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 門ピンの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F <sub>P</sub>		Q <sub>P</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	1.158×10 <sup>3</sup>	—	1.158×10 <sup>3</sup>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F <sub>P</sub>		Q <sub>P</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	1.546×10 <sup>3</sup>	—	1.546×10 <sup>3</sup>

1.3.4 門ピンのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M <sub>P</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	8.109×10 <sup>4</sup>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M <sub>P</sub>	
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
—	1.082×10 <sup>5</sup>

1.3.5 丁番ブラケットの荷重

(1) 扉開状態

(単位 : N)

$F_{XH}$		$F_{YH}$		$F_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$1.158 \times 10^3$	—	$2.317 \times 10^3$	—	$4.192 \times 10^3$

(2) 扉閉状態

(単位 : N)

$F_{XH}$		$F_{YH}$		$F_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$1.546 \times 10^3$	—	$2.317 \times 10^3$	—	$4.192 \times 10^3$

1.3.6 丁番ブラケットに作用する力

(1) 扉開状態

(単位 : N)

$N_{YH}$		$Q_{XH}$		$Q_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$2.317 \times 10^3$	—	$1.158 \times 10^3$	—	$4.192 \times 10^3$

(単位 : N・mm)

$M_{XH}$		$M_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$5.660 \times 10^5$	—	$1.564 \times 10^5$

(2) 扉閉状態

(単位 : N)

$N_{YH}$		$Q_{XH}$		$Q_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$2.317 \times 10^3$	—	$1.546 \times 10^3$	—	$4.192 \times 10^3$

(単位 : N・mm)

$M_{XH}$		$M_{ZH}$	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	$5.660 \times 10^5$	—	$2.087 \times 10^5$

## 1.4 結論

## 1.4.1 固有周期

## (1) 扉開状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.027

## (2) 扉閉状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.027

1.4.2 応力  
 (1) 扉開状態

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
内梁	□	引張り	—	—	$\sigma_t = 29$	□
		せん断	—	—	$\tau = 0$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 29$	□
門ピン	□	引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 38$	□
		せん断	—	—	$\tau_P = 2$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 38$	□
丁番ブラケット	□	引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 22$	□
		せん断	—	—	$\tau_H = 2$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 22$	□

すべて許容応力以下である。

(2) 扉閉状態

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
内梁	□	引張り	—	—	$\sigma_t=38$	□
		せん断	—	—	$\tau=0$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_c=38$	□
門ピン	□	引張り	—	—	$\sigma_{tP}=51$	□
		せん断	—	—	$\tau_P=3$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP}=51$	□
丁番ブラケット	□	引張り	—	—	$\sigma_{tH}=24$	□
		せん断	—	—	$\tau_H=2$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH}=25$	□

すべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
BOP 閉止装置	面外方向	2.62	□
	面内方向	2.62	□
	鉛直方向	1.54	□

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-9-4-4-2 可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）
- VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-4-2-3 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書  
(可燃性ガス濃度制御系)

## 設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力評価条件	13
3.5 設計用地震力	14
4. 解析結果及び評価	15
4.1 固有周期及び設計震度	15
4.2 評価結果	21
4.2.1 管の応力評価結果	21
4.2.2 支持構造物評価結果	22
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	23
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

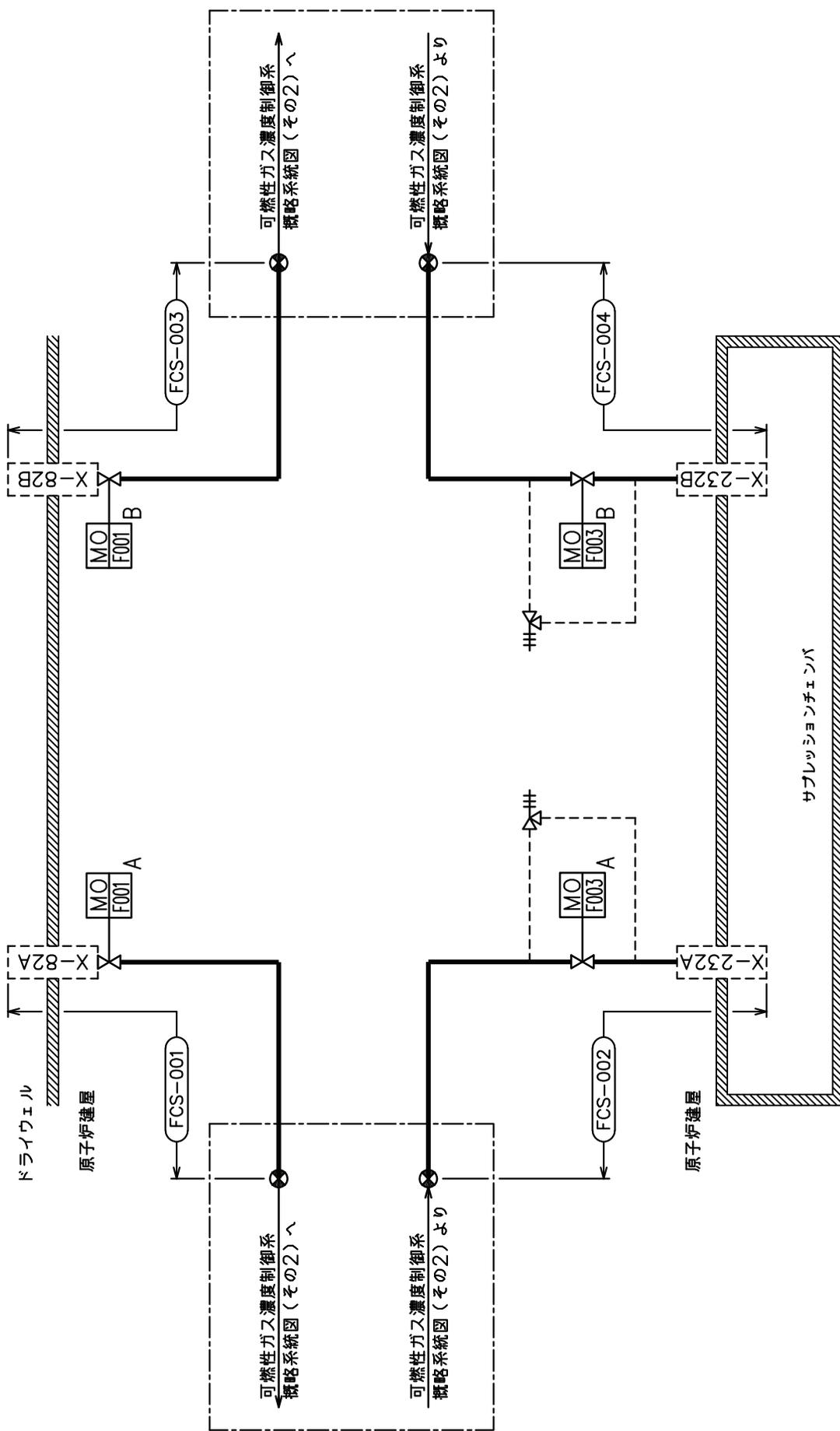
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

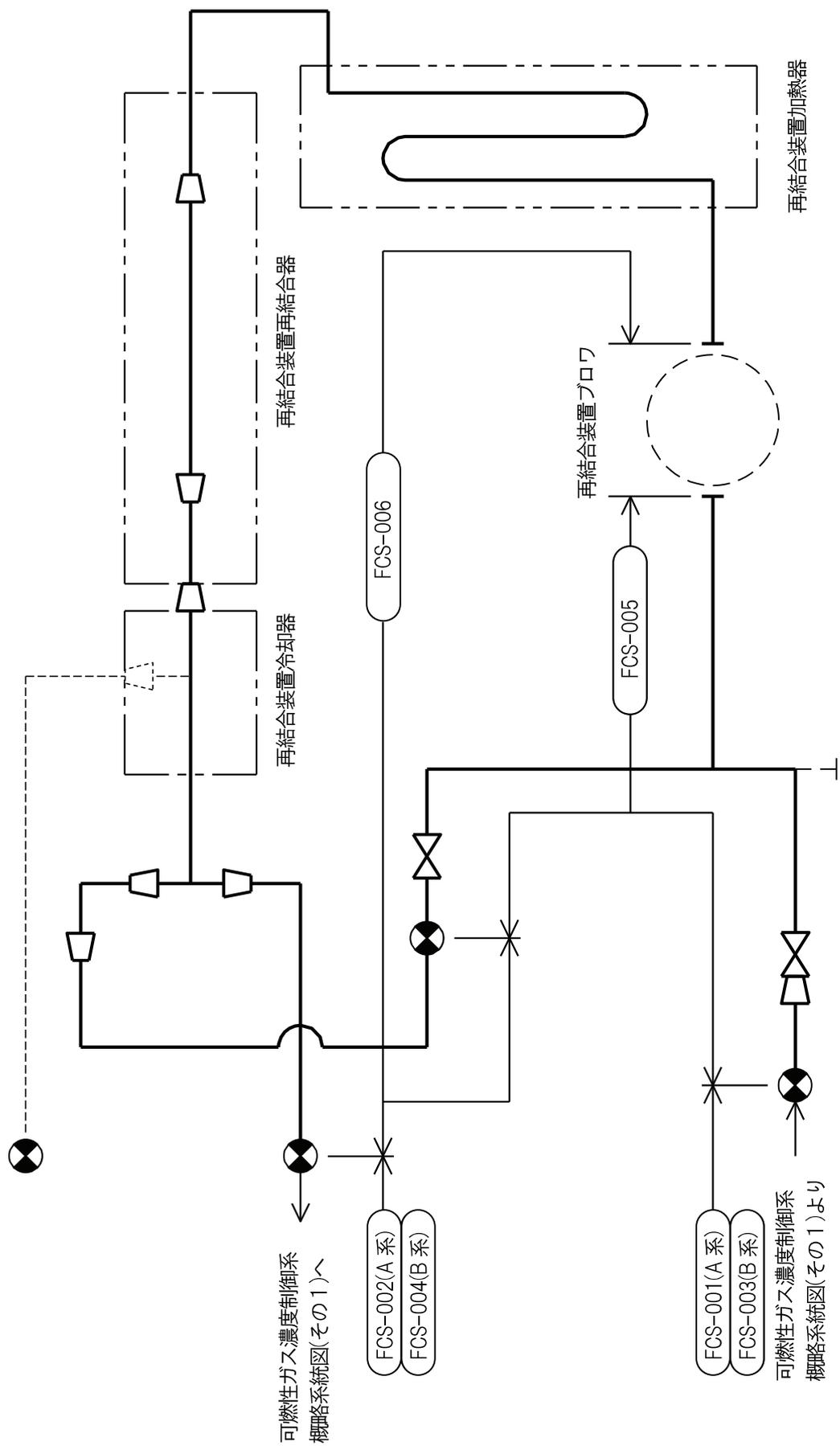
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



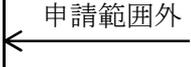
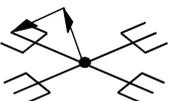
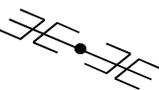
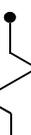
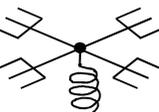
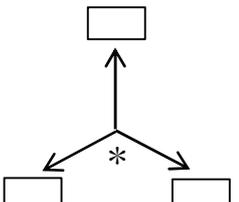
可燃性ガス濃度制御系概略系統図 (その1)

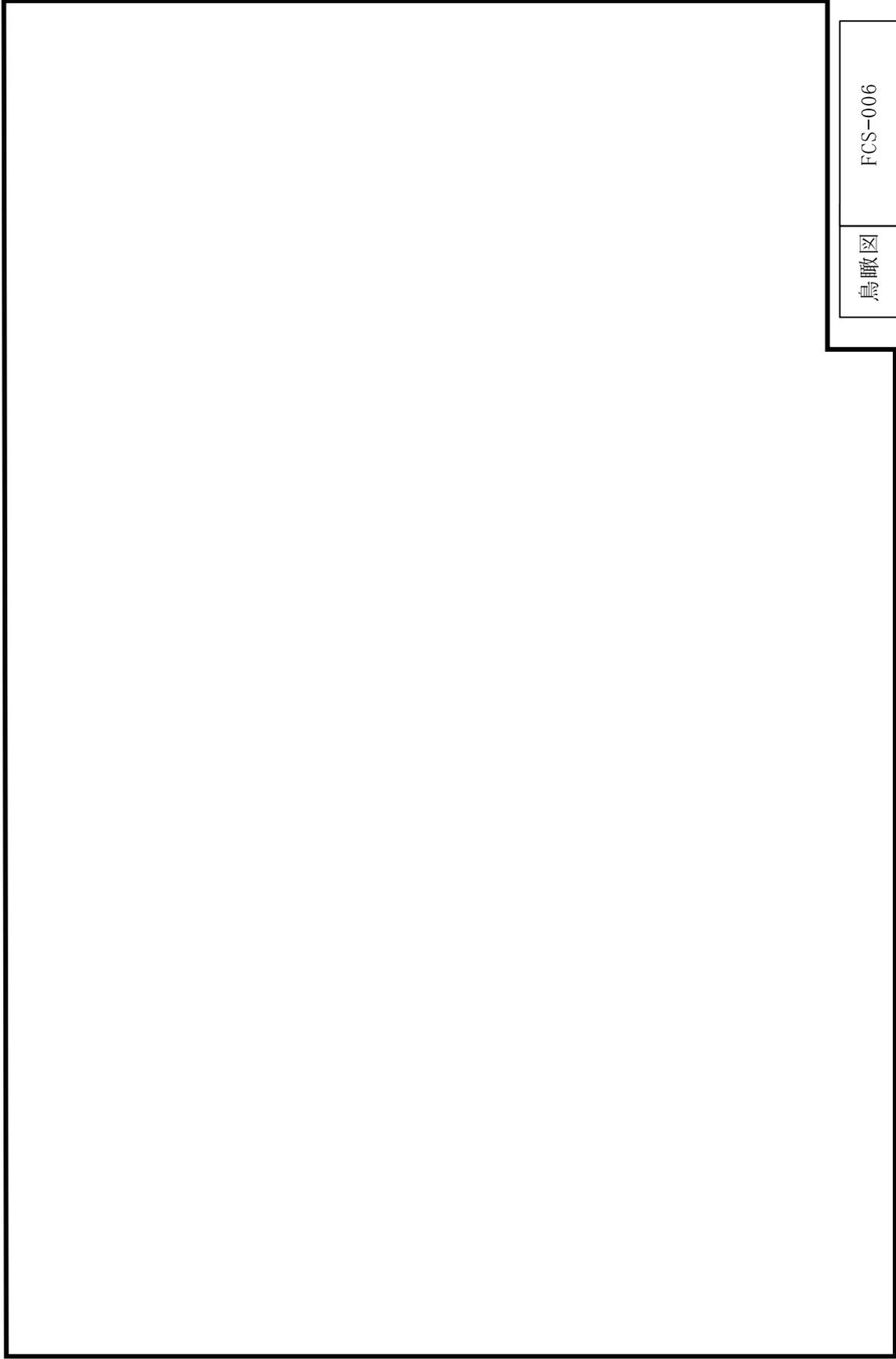


可燃性ガス濃度制御系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,  
「SAP-V」及び「KSAP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添  
付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *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	可燃性ガス濃度 制御系	DB	-	クラス3管	S	I <sub>L</sub> + S <sub>d</sub>	III <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> + S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	
							II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-006

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.427	171	89.1	5.5	SUSF304	S	184320
2	0.427	777	89.1	5.5	SUS304TP	S	130680
3	0.427	777	89.1	6.5	SUS304TP	S	130680
4	0.427	777	406.4	8.0	SUSF304	S	130680
5	0.427	777	114.3	6.0	SUS304TP	S	130680
6	0.427	777	165.2	7.1	SUS304TP	S	130680
7	0.427	171	165.2	7.1	SUSF304	S	184320
8	0.427	171	165.2	7.1	SUS304TP	S	184320
9	0.427	171	267.4	9.3	SUS304TP	S	184320
10	0.427	171	114.3	6.0	SUS304TP	S	184320
11	0.427	171	89.1	5.5	SUS304TP	S	184320

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 FCS-006

管名称	対応する評価点													
1	1	2												
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	41	42												
3	42	43	44											
4	46	47	48	49	50									
5	52	53	54											
6	56	57	75	76	77									
7	77	78	79											
8	79	80	93	94	95	96								
9	80	81	92											
10	82	83												
11	84	85	86	87	88	89	90	91						

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		23		46		87	
2		24		47		88	
3		25		48		89	
4		26		49		90	
5		27		50		91	
6		28		52		92	
7		29		53		93	
8		30		54		94	
9		31		56		95	
10		32		57		96	
11		33		75			
12		34		76			
13		35		77			
14		36		78			
15		37		79			
16		38		80			
17		39		81			
18		40		82			
19		41		83			
20		42		84			
21		43		85			
22		44		86			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-006

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
12, 16, 20						
24, 28, 32						
13, 17, 21						
25, 29, 33						
14, 18, 22						
26, 30, 34						
15, 19, 23						
27, 31, 35						
43						
53						
77						
91						
93						
96						

O2 © VI-2-9-4-4-2-1 (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
SUS304TP	171	—	150	413	—
SUSF304	777	—	75	182	—

### 3.5 設計用地震力

本計画書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「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。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数 174 回(S s)で実施する。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
FCS-006	原子炉建屋	22.50	

4. 解析結果及び評価  
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 FCS-006

適用する地震動等 モード	S d 及び静的震度		S s	
	固有周期	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答鉛直震度*1
1 次				
2 次				
3 次				
4 次*2				
動的震度*3				
静的震度*4				

注記\*1：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。

\*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

\*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub> 及び 1.2C<sub>V</sub> より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 FCS-006

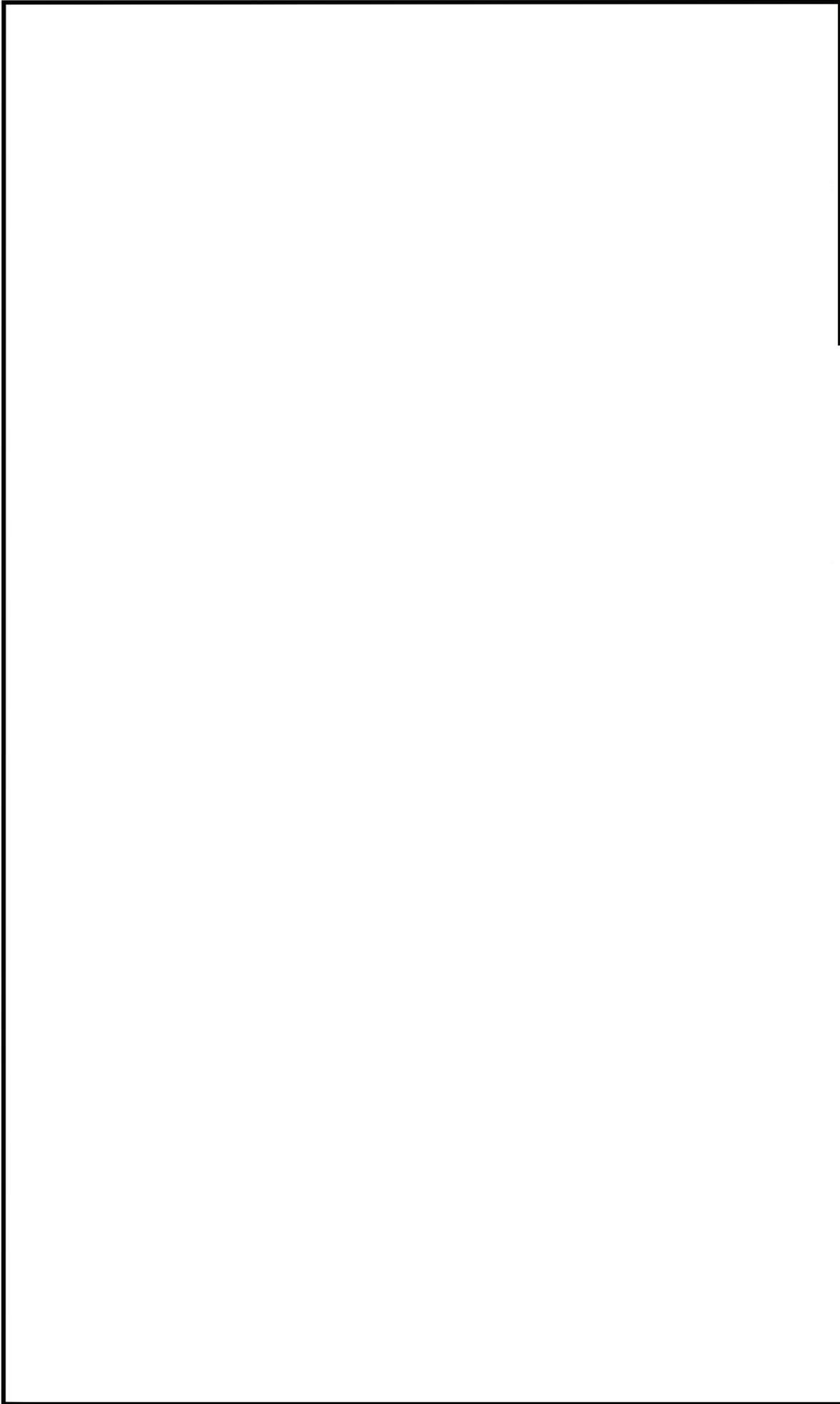
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記\*：刺激係数は、モード質量で正規化し、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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

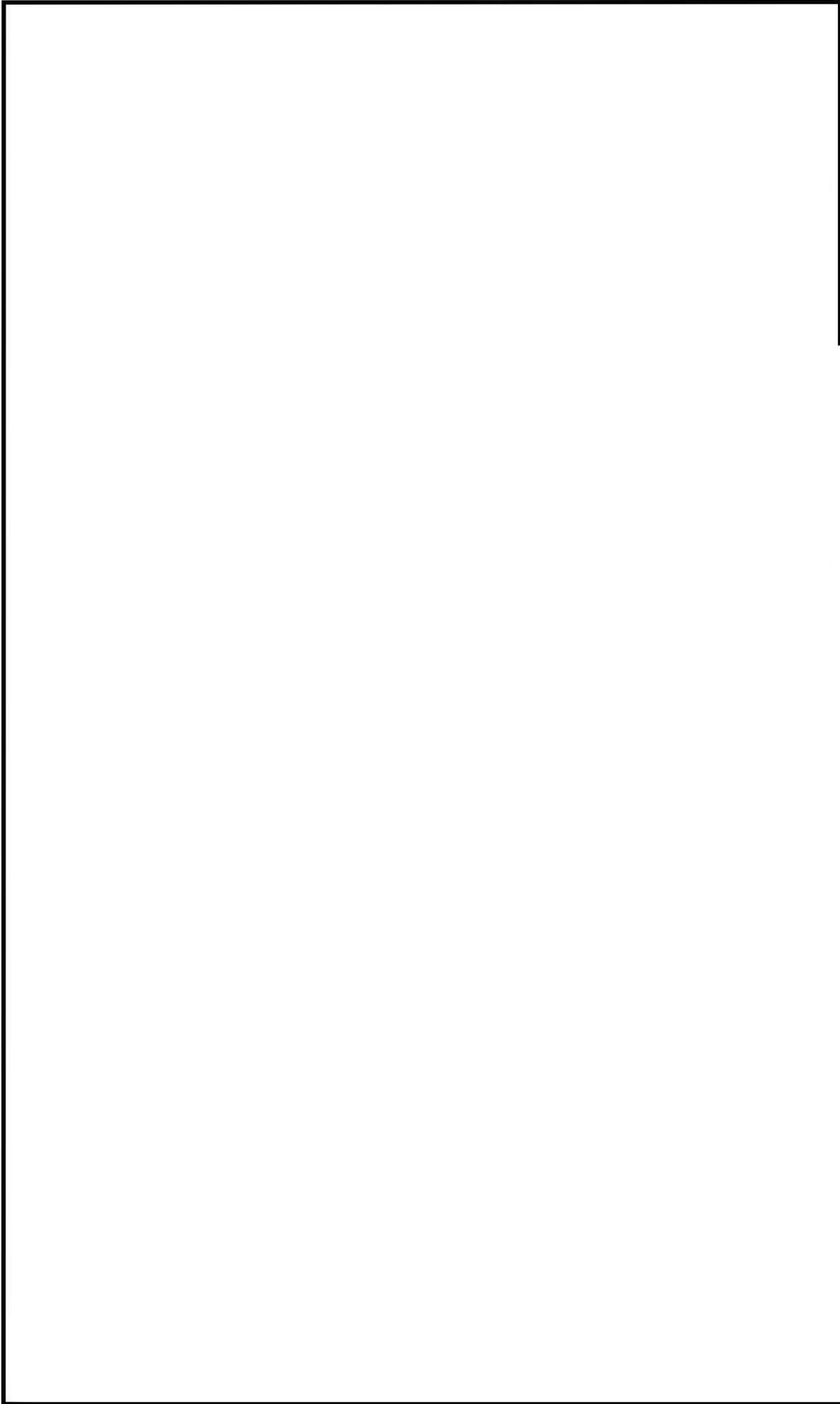
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



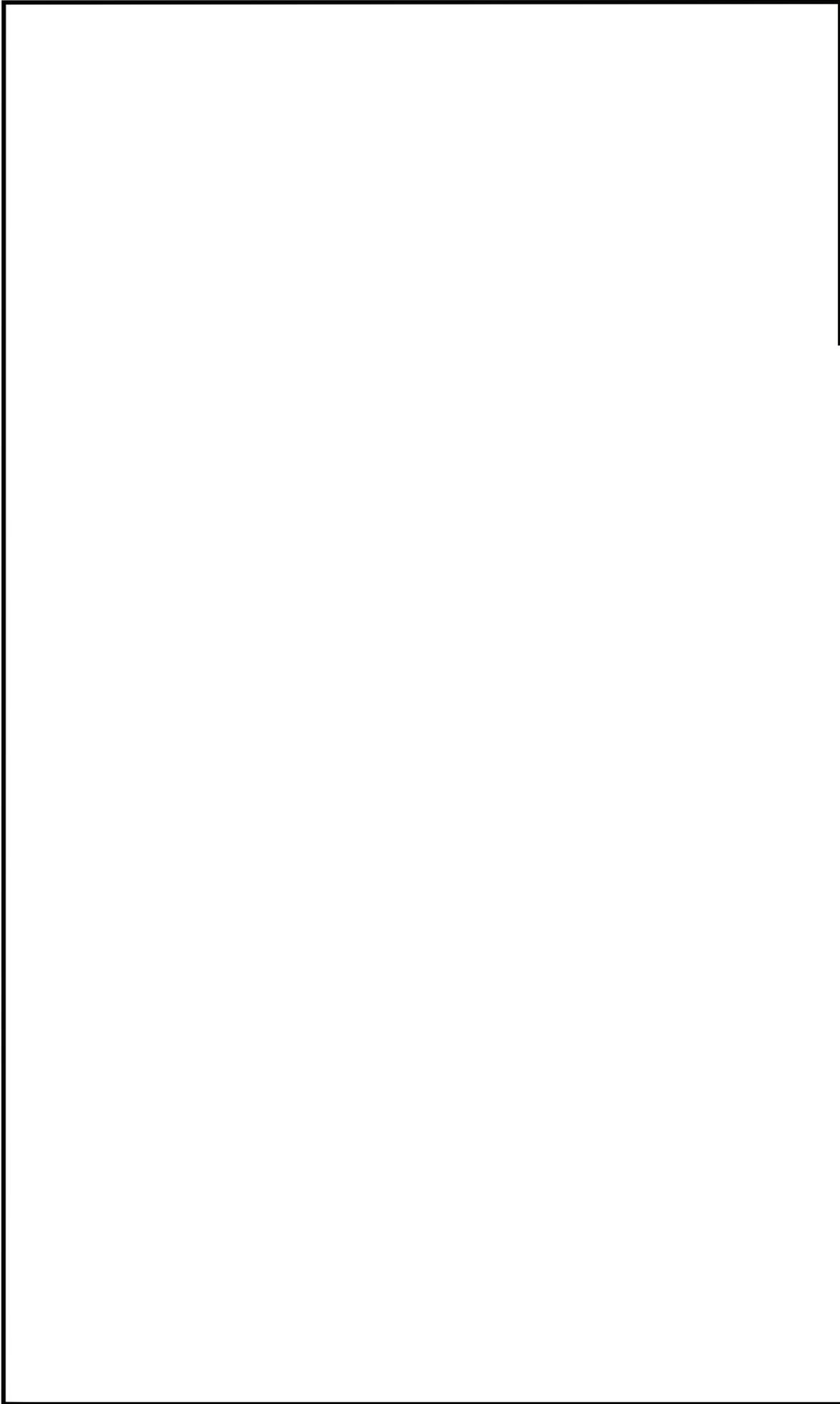
鳥瞰図 FCS-006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCS-006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCS-006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	最大 応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m} (S d)$ $S_{pr m} (S s)$	許容応力 $S_{y * 1}$ $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n (S d)$ $S_n (S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$ $2 \cdot S_y$	
FCS-006	III <sub>A</sub> S	11	$S_{pr m} (S d)$	52	75	—	—	—
	III <sub>A</sub> S	11	$S_n (S d)$	—	—	96	150	—
	IV <sub>A</sub> S	11	$S_{pr m} (S s)$	104	163	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	11	$S_n (S s)$	—	—	200 **	150	0.5717

\*\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

注記\*1：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、 $S_y$ と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれ許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FCS-002-902S	メカニカルスナッパ	SMS-1-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	40	5	[Redacted]
FCS-003-026B	ロッドレストレイント	RST-S1			7	

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
FCS-002-022R	レストレイント	架構	[Redacted]	40	4	18	0	-	-	-	-	組合せ	130	[Redacted]
FCS-002-073R	レストレイント	Uプレート	[Redacted]	40	5	0	34	-	-	-	-	せん断	43	
FCS-006-S-7	アンカ	—	[Redacted]	171	9	9	9	5	7	4	4	組合せ	57	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
T49-F001B	ゲート弁	$\beta$ (S d)	4.8	6.1*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz とし計算した結果を示す。

注記\*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		駆動部の動作機能確認済 加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*	応力分類	計算応力	許容応力
T49-F001B	ゲート弁	$\beta$ (S d)	4.8	6.1	20.0	20.0	ヨーク	曲げ	196	354

注記\*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と余裕を算出し、応力分類ごとに余裕が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III <sub>A</sub> S										許容応力状態 IV <sub>A</sub> S													
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					一次+二次応力*								
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	疲労係数	評価点	代表	
1	FCS-001	18	73	211	2.89	—	18	102	363	3.55	—	18	184	422	2.29	—	18	184	422	2.29	—	—	—	—	—
2	FCS-002	801	44	211	4.79	—	801	75	363	4.84	—	23	148	422	2.85	—	23	148	422	2.85	—	—	—	—	—
3	FCS-003	7	77	211	2.74	—	7	123	363	2.95	—	7	252	422	1.67	—	7	252	422	1.67	—	—	—	—	—
4	FCS-004	28	34	211	6.20	—	28	52	363	6.98	—	67	101	300	2.97	—	67	101	300	2.97	—	—	—	—	—
5	FCS-005	61	46	150	3.26	—	61	69	371	5.38	—	61	110	300	2.73	—	61	110	300	2.73	—	—	—	—	—
6	FCS-006	11	52	75	1.44	○	11	104	163	1.57	○	11	200	150	0.75	○	11	200	150	0.75	○	11	0.5717	○	

注記\*：III<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はIV<sub>A</sub>Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV<sub>A</sub>Sの一次+二次応力余裕最小を代表とする。

VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ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	4
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	18
5.4.1 応力の計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.5.1 ブレースの応力計算条件	20
5.5.2 ベース取付溶接部の応力計算条件	20
5.6 応力の評価	21
5.6.1 ブレースの応力評価	21
5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価	21
6. 機能維持評価	22
6.1 基本方針	22
6.2 ブロワの動的機能維持評価	23
6.2.1 評価対象部位	23
6.2.2 許容値	24
6.2.3 記号の説明	24
6.2.4 評価方法	26

6.3	原動機の動的機能維持評価	40
6.3.1	評価対象部位	40
6.3.2	許容値	40
6.3.3	記号の説明	41
6.3.4	評価方法	43
7.	評価結果	47
7.1	設計基準対象施設としての評価結果	47

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ（以下「ブロワ」という。）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。

ブロワは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設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

ブロワの構造計画を表 2-1, 2-2 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	
遠心式ブロワと原動機は、キヤンの内部に格納され、キヤンはサポートプレートに固定される。サポートプレートはスキッドベース上に溶接にて固定され、ベース及びブレースにより支持される構造となっている。よって、キヤン及びその内側の遠心式ブロワと原動機の荷重は、サポートプレート、ベース取付溶接部を経てスキッドベースに伝達する。また、サポートプレートからはブレース、ベースを経てスキッドベースに荷重が伝達される。	キヤン形遠心式（キヤンに遠心式ブロワと原動機を収めた構造）	<p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 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>キヤンは、サポートプレートにキヤン取付ボルトにて固定される。</p> <p>原動機は、サポートプレートにブラケット取付ボルトで取り付けられたブラケット上に原動機取付ボルトにより据付ける。</p> <p>インペラは原動機軸に直接取付けられ、インペラを覆うブロワケージングはブロワケージング取付ボルトにより原動機ケージングに固定される。</p>	<p>キヤンド形遠心式（キヤンに遠心式ブロワと原動機を収めた構造）</p>	

## 2.2 評価方針

ブロワの応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示すブロワの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく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、ブロワの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン及び横形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

ブロワの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

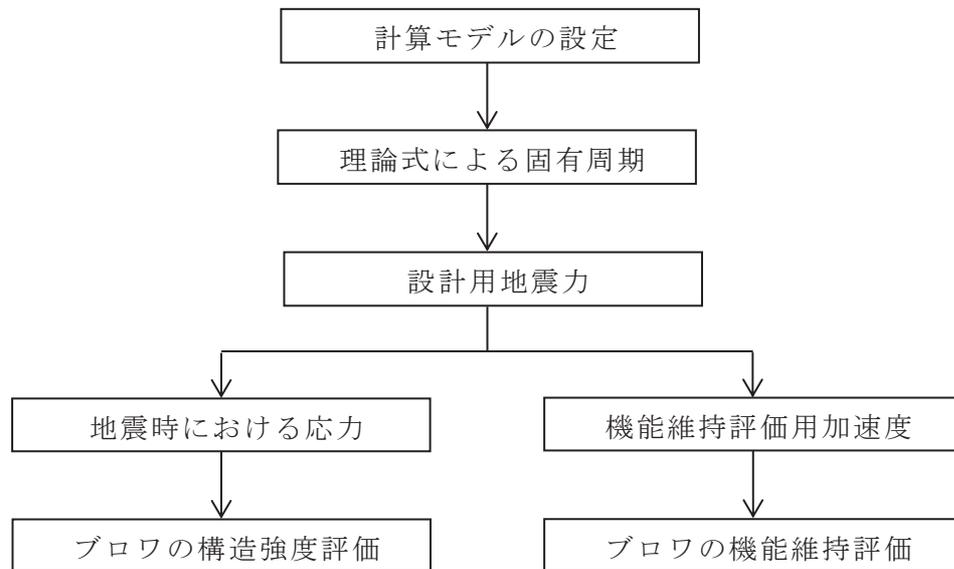


図 2-1 ブロワの耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(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	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	ブレースの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s b</sub>	ブレースの有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s s</sub>	サポートプレートの有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>HW</sub>	水平方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>VW</sub>	鉛直方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
C <sub>P</sub>	ブロワ振動による震度	—
E	支持構造物の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F <sub>C</sub>	ブレースに作用する圧縮力	N
F <sub>H</sub>	ブレースに作用する水平方向反力	N
F <sub>HW</sub>	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断荷重	N
F <sub>V</sub>	ブレースに作用する鉛直方向反力	N
F <sub>VW</sub>	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断荷重	N
f <sub>bc</sub>	ブレースの許容圧縮応力	MPa
f <sub>ws</sub>	ベース取付溶接部の許容せん断応力	MPa
G	支持構造物のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H <sub>P</sub>	予想最大両振幅	μm
h	ブロワ水平方向重心位置	mm
I <sub>H</sub>	水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>b</sub>	ブレースの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>V</sub>	サポートプレート (鉛直方向荷重を受ける支持構造物)の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
K <sub>H</sub>	水平方向ばね定数	N/m
K <sub>V</sub>	鉛直方向ばね定数	N/m
L	ブロワ中心高さおよび重心高さ	mm
ℓ	ブロワベース長さ	mm
ℓ <sub>b</sub>	ブレース水平方向投影長さ	mm
ℓ <sub>k</sub>	ブレース長さ	mm
m	ブロワ質量	kg

記号	記号の説明	単位
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
P	ブレースに作用する水平方向荷重	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\tau_w$	ベース取付溶接部に作用する最大せん断応力	MPa
$\tau_{w1}$	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断応力	MPa
$\tau_{w2}$	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断応力	MPa
$\sigma_c$	ブレースに生じる圧縮応力	MPa
$\Lambda$	圧縮材の限界細長比	—
$\lambda$	圧縮材の有効細長比	—
$\nu$	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	—
$\pi$	円周率	—

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
縦弾性係数 <sup>*1</sup>	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 <sup>*2</sup>
せん断弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 <sup>*2</sup>
断面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*3</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*4</sup>

注記\*1：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における縦弾性係数は、比例法により補間した値の有効数字 4 桁目を四捨五入し、有効数字 3 桁までの値とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

ブロワの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるブレース及びベース取付溶接部について実施する。ブロワの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

ブロワの固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

- a. ブロワ(キャン及び内部構造物を含む。)の質量は重心に集中するものとする。
- b. ブロワはキャン(内部構造物を含む。)がキャン取付ボルトによりサポートプレートに固定された片持ち構造で、サポートプレートは溶接によりスキッドベースに固定されている。また、サポートプレートはブレースにも支持されている。鉛直方向荷重に対して、ブロワ水平方向重心位置を考慮する。ここで、スキッドベースについて剛となるよう設計する。
- c. 支持構造物をはりと考え、水平方向の変形モードは曲げ及びせん断変形を、鉛直方向は曲げ及び圧縮変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

ブロワは、図 4-1 及び図 4-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

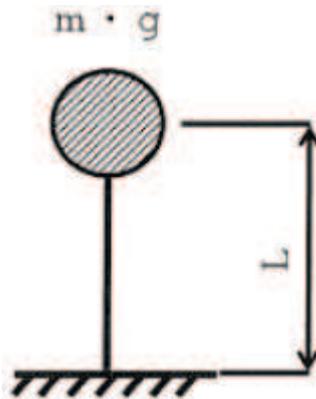


図 4-1 水平方向固有周期の計算モデル

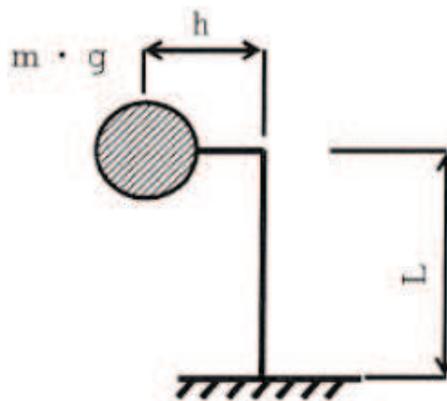


図 4-2 鉛直方向固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数  $K_H$  は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I_H} + \frac{L}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、水平方向固有周期  $T_H$  は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ここで、水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメントは、

$$I_H = I_V + 2 \cdot I_b \dots\dots\dots (4.1.3)$$

水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積は、

$$A_S = A_{S_S} + 2 \cdot A_{S_b} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

曲げ及び圧縮変形によるばね定数  $K_V$  は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{L \cdot h^2}{E \cdot I_V} + \frac{L}{E \cdot A}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

したがって、鉛直方向固有周期  $T_V$  は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブロワの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～ c. のほか、次の条件で評価する。

(1) 地震力はブローに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) ブレース

- a. ブローの質量は、2本のブレースに均等にかかるため、1本のブレースについて計算する。
- b. 荷重方向はブレースの応力が最も厳しい方向として図 5-1 の方向を計算する。

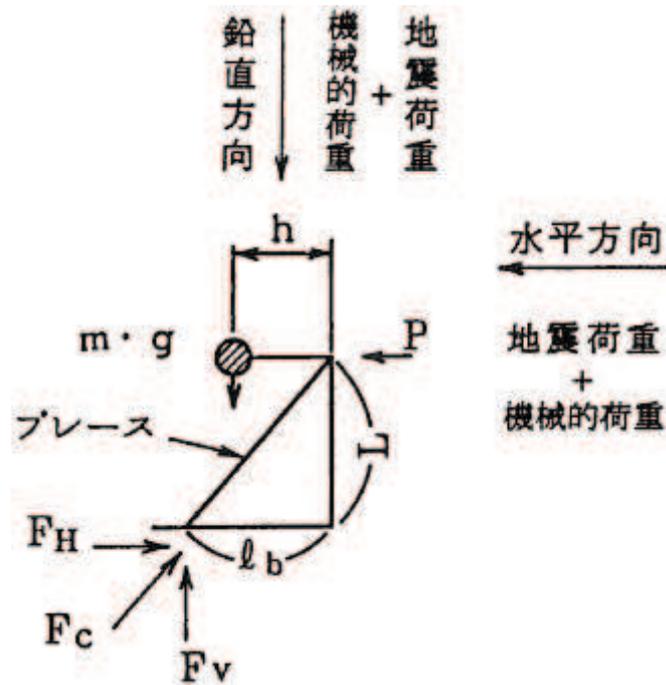


図 5-1 ブレースに作用する荷重

(3) ベース取付溶接部

- a. 荷重がベース取付溶接部に水平方向せん断荷重として作用する場合と、転倒モーメントによる鉛直方向せん断荷重として作用する場合について計算する。
- b. 転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図 5-2 の転倒支点を支点とする方向を計算する。

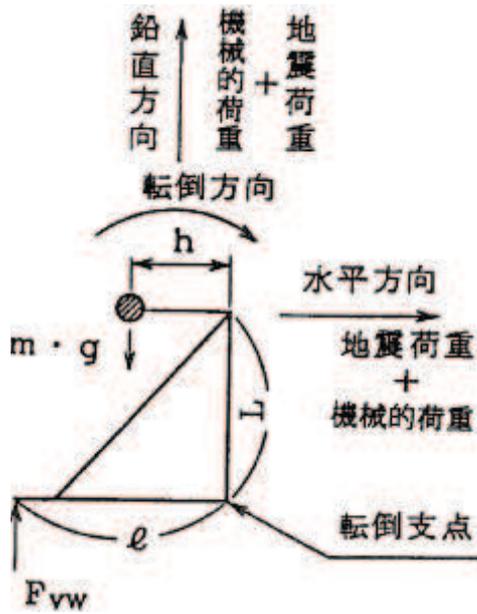


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

## 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

ブロワ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 に示す。

### 5.2.2 許容応力

ブロワの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ブロワ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 5-3 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	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	S	—*	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S d *	III <sub>AS</sub>
				D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S s	IV <sub>AS</sub>

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 5-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	
	一次応力	
	圧縮	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度	171			
ブレース		最高使用温度	171	201	373	—
ベース取付溶接部		最高使用温度	171	201	373	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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 5-4 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> = 1.13	C <sub>V</sub> = 0.91	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

#### 5.4.1.1 ブレースの応力

##### (1) 圧縮応力

ブレースに作用する水平方向反力は

$$F_H = P = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 $C_P$ はブロワ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値である。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_V = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{l_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_C = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_C}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ベース取付溶接部の応力

(1) 水平方向せん断応力

水平方向せん断荷重はベース取付溶接部に作用するものとして計算する。

水平方向せん断荷重

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向せん断応力

転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図 5-2 の転倒支点を支点とする方向を計算する。

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m \cdot g \cdot h + (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{W2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

(3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_W = \text{Max} [\text{水平方向せん断力} (\tau_{W1}), \text{鉛直方向せん断力} (\tau_{W2})] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 ブレースの応力計算条件

ブレースの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

### 5.5.2 ベース取付溶接部の応力計算条件

ベース取付溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ブレースの応力評価

5.4.1.1 項で求めたブレースの圧縮応力  $\sigma_c$  は許容圧縮応力  $f_{bc}$  以下であること。ただし、 $f_{bc}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容圧縮 応力 $f_{bc}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

ここで、 $\lambda$  は、圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

$\Lambda$  は、圧縮材の限界細長比で、次の計算式による。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

注：基準地震動 S s 評価の場合は、F を F \* に置き換える

$\nu$  は、次の計算式による。

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価

5.4.1.2 項で求めたベース取付溶接部に作用するせん断応力  $\tau_w$  は許容せん断応力  $f_{ws}$  以下であること。ただし、 $f_{ws}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容せん断 応力 $f_{ws}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 基本方針

ブロワ及び原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン及び横形ころがり軸受電動機と同等の構造であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「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  $S_s$  により定まる設計用最大応答加速度(1.0ZPA)を設定する。

## 6.2 ブロワの動的機能維持評価

### 6.2.1 評価対象部位

ブロワは、横置型の原動機にインペラを直接取り付けた遠心式ブロワであり、J E A G 4 6 0 1 に示される遠心直動型ファンと同等の構造であるため、J E A G 4 6 0 1 に記載のファンの動的機能維持評価項目を基に、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. ファンケーシング
- e. 軸シール
- f. 軸系架台
- g. ファンケーシング固定ボルト
- h. 電動機固定ボルト
- i. 基礎ボルト

「a. 軸」および「b. 軸受」は、「6.3 原動機の動的機能維持評価」に含まれる。

「d. ファンケーシング」は、キャン及びブロワケーシングが該当するが、これらは十分な剛性を有しており、地震時にはこれらの固定ボルトに最も荷重が作用することから、キャン及びブロワケーシングは評価対象外とする。

「e. 軸シール」及び「f. 軸系架台」は、ブロワの構成部材にはないため、評価対象外とする。

「i. 基礎ボルト」は、基礎ボルトに相当するブレース及びベース取付溶接部が「5. 構造強度評価」に従い評価を行った「7. 評価結果」にて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ている。

また、原動機の評価対象部位である端子箱はブロワのサポートプレートに取付けられているためブロワ側の評価対象部位としているが、端子箱は箱状の構造物で十分な剛性を有しており、軽量であること、及び当該機器に掛かる荷重は原動機取付ボルトで代表されることから、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、インペラとファンケーシング間のクリアランスに相当する部位としてインペラとブロワケーシングとのクリアランス、ファンケーシング固定ボルトに相当する部材としてキャン取付ボルト及びブロワケーシング取付ボルト、電動機固定ボルトに相当する部材として原動機取付ボルト及びブラケット取付ボルトを評価対象部位とする。

### 6.2.2 許容値

原動機取付ボルト，ブラケット取付ボルト，キャン取付ボルト，ブロワケーシング取付ボルトの許容値は，その他支持構造物の許容応力状態IV<sub>AS</sub>に準拠し設定する。

インペラとブロワケーシング間のクリアランスは設計許容隙間を許容値として設定する。

### 6.2.3 記号の説明

ブロワの動的機能維持評価に使用する記号を表 6-1 に示す。

表6-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}^{*1}$	ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$C_P$	ブロワ振動による震度	—
$D_{cb}$	キャン取付ボルト位置直径	mm
$D_{ci}$	キャン内径	mm
$D_{fb}$	ブロワケーシング取付ボルト位置直径	mm
$d_i^{*1}$	ボルトの呼び径	mm
$F_{bi}^{*1}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$H_P$	予想最大両振幅	μm
$h_{1i} \sim h_{3i}^{*1}$	ボルト位置を示す鉛直距離	mm
$l_{1i} \sim l_{5i}^{*1}$	ボルト位置を示す水平距離	mm
$M_P$	原動機回転により作用するモーメント	N・mm
$m_{1i}, m_{2i}^{*1}$	運転時質量	kg
$N$	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
$n_i$	ボルト本数	—
$n_{f1i}, n_{f2i}^{*1}$	引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$P_d$	原動機出力	kW
$P_0$	最高使用圧力	MPa
$Q_{bi}^{*1}$	ボルトに作用するせん断力	N
$\sigma_{bi}^{*1}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_{bi}^{*1}$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\pi$	円周率	—
$\Delta$	インペラとブロワケーシングとの相対変位	mm

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $h_{1i} \sim h_{3i}$ ,  $l_{1i} \sim l_{5i}$ ,  $m_{1i}$ ,  $m_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{f1i}$ ,  $n_{f2i}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $\sigma_{bi}$  及び  $\tau_{bi}$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 原動機取付ボルト

$i = 2$ : ブラケット取付ボルト

$i = 3$ : キャン取付ボルト

$i = 4$ : ブロワケーシング取付ボルト

\*2:  $h_{1i} \sim h_{3i}$  及び  $l_{1i} \sim l_{5i}$  の寸法は図 6-1 から図 6-4 に詳細な位置を示す。

## 6.2.4 評価方法

### 6.2.4.1 計算条件

- (1) 評価対象機器の質量は各々の重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は機器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、応力計算において組み合わせる。
- (3) ブロワは運転状態とする。
- (4) 地震力を加える方向は、作用する引張力が厳しくなる方向とする。
- (5) 荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に従い、動的地震力は二乗和平方根（SRSS）、その他の荷重については代数和とする。
- (6) 原動機はブラケットを固定端としてボルトにより固定されている。ブラケット及びキャンはサポートプレートで固定端としてボルトにより固定されている。ブロワケーシングは原動機を固定端としてボルトにより固定されている。

### 6.2.4.2 引張応力

- (1) 矩形配置のボルトの場合、ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 6-1 及び図 6-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。  
 円形配置のボルトの場合、ボルトに対する引張力は支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として支点から最も離れたボルトについて計算する。（図 6-3 及び図 6-4）

### 6.2.4.3 せん断応力

- (1) ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

6.2.4.4 応力の計算方法

(1) 原動機取付ボルト（矩形配置）

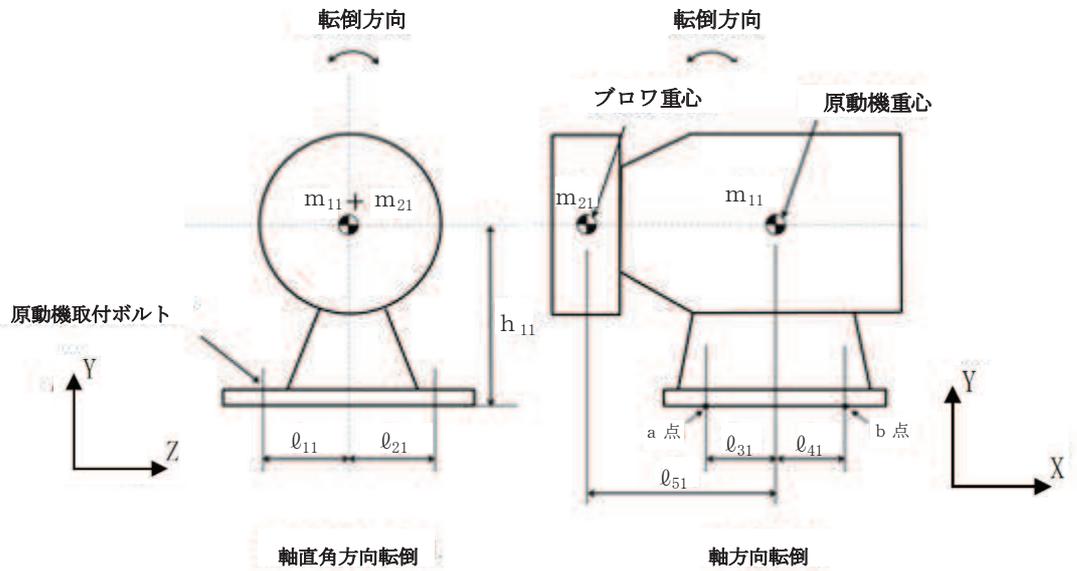


図 6-1 原動機取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に水平荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b1\_α\_Z} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_H \cdot h_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.1)$$

その他の荷重

$$F_{b1\_β\_Z} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_P \cdot h_{11} + M_P}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.2)$$

ロ. X 方向に水平荷重が作用し、a 点及び b 点を支点に軸方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b1\_α\_X} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_H \cdot h_{11}}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.3)$$

その他の荷重

$$F_{b1\_β\_X} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_P \cdot h_{11}}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.4)$$

ハ. Y 方向に鉛直荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合 ( $\ell_{11} = \ell_{21}$ )

地震荷重

$$F_{b1\alpha Y1} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.5)$$

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y1} = \frac{(m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{11}}{n_{f11} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.6)$$

原動機取付ボルトに作用する荷重  $F_{b1Y1}$  は、

$$F_{b1Y1} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y1}^2 + F_{b1\alpha Z}^2 + F_{b1\beta X}^2 + F_{b1\beta Y1}^2 + F_{b1\beta Z}^2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.7)$$

二. Y 方向に鉛直荷重が作用し、a 点を支点に軸方向に転倒する場合

鉛直上向きの場合

地震荷重

$$F_{b1\alpha Y2up} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{31} - m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.8)$$

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y2up} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{31} - m_{21} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})} \dots\dots\dots (6.2.4.4.9)$$

原動機取付ボルトに作用する荷重  $F_{b1Y2up}$  は、

$$F_{b1Y2up} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y2up}^2 + F_{b1\alpha Z}^2 + F_{b1\beta X}^2 + F_{b1\beta Y2up}^2 + F_{b1\beta Z}^2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.10)$$

鉛直下向きの場合  
地震荷重

$$F_{b1\alpha Y2\text{down}} = \frac{-m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{31} + m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.4.11)

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y2\text{down}} = \frac{-m_{11} \cdot g \cdot (C_P + 1) \cdot \ell_{31} + m_{21} \cdot g \cdot (C_P + 1) \cdot (\ell_{51} - \ell_{31})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.4.12)

原動機取付ボルトに作用する荷重  $F_{b1Y2\text{down}}$  は,

$$F_{b1Y2\text{down}} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y2\text{down}}^2 + F_{b1\alpha Z}^2 + F_{b1\beta X} + F_{b1\beta Y2\text{down}} + F_{b1\beta Z}}$$

..... (6.2.4.4.13)

ホ. Y方向に鉛直荷重が作用し, b点を支点に軸方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b1\alpha Y3} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{41} + m_{21} \cdot g \cdot C_V \cdot (\ell_{41} + \ell_{51})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.4.14)

その他の荷重

$$F_{b1\beta Y3} = \frac{m_{11} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot \ell_{41} + m_{21} \cdot g \cdot (C_P - 1) \cdot (\ell_{41} + \ell_{51})}{n_{f21} \cdot (\ell_{31} + \ell_{41})}$$

..... (6.2.4.4.15)

原動機取付ボルトに作用する荷重  $F_{b1Y3}$  は,

$$F_{b1Y3} = \sqrt{F_{b1\alpha X}^2 + F_{b1\alpha Y3}^2 + F_{b1\alpha Z}^2 + F_{b1\beta X} + F_{b1\beta Y3} + F_{b1\beta Z}}$$

..... (6.2.4.4.16)

X, Y, Z 方向に荷重が作用した場合にボルトが受ける荷重を求め、各々の場合において組合せ荷重を計算し、一番大きくなった組合せ荷重を評価に用いる。

$$F_{b1} = \text{Max}(F_{b1Y1}, F_{b1Y2\_up}, F_{b1Y2\_down}, F_{b1Y3}) \dots\dots\dots (6.2.4.4.17)$$

ここで、 $C_P$ はブロー振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値であり、 $M_P$ は原動機回転により作用するモーメントで軸直角方向のみ考慮する。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (6.2.4.4.18)$$

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P_d \dots\dots\dots (6.2.4.4.19)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.20)$$

ここで、ボルトの軸断面  $A_{b1}$  は

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (6.2.4.4.21)$$

b. せん断力

原動機取付ボルトに作用する荷重  $Q_{b1}$  は、

$$\tau_{b1} = (m_{11} + m_{21}) \cdot g \cdot \left( \sqrt{C_H^2 + C_H^2} + \sqrt{C_P^2 + C_P^2} \right) \dots\dots\dots (6.2.4.4.22)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.23)$$

(2) ブラケット取付ボルト (矩形配置)

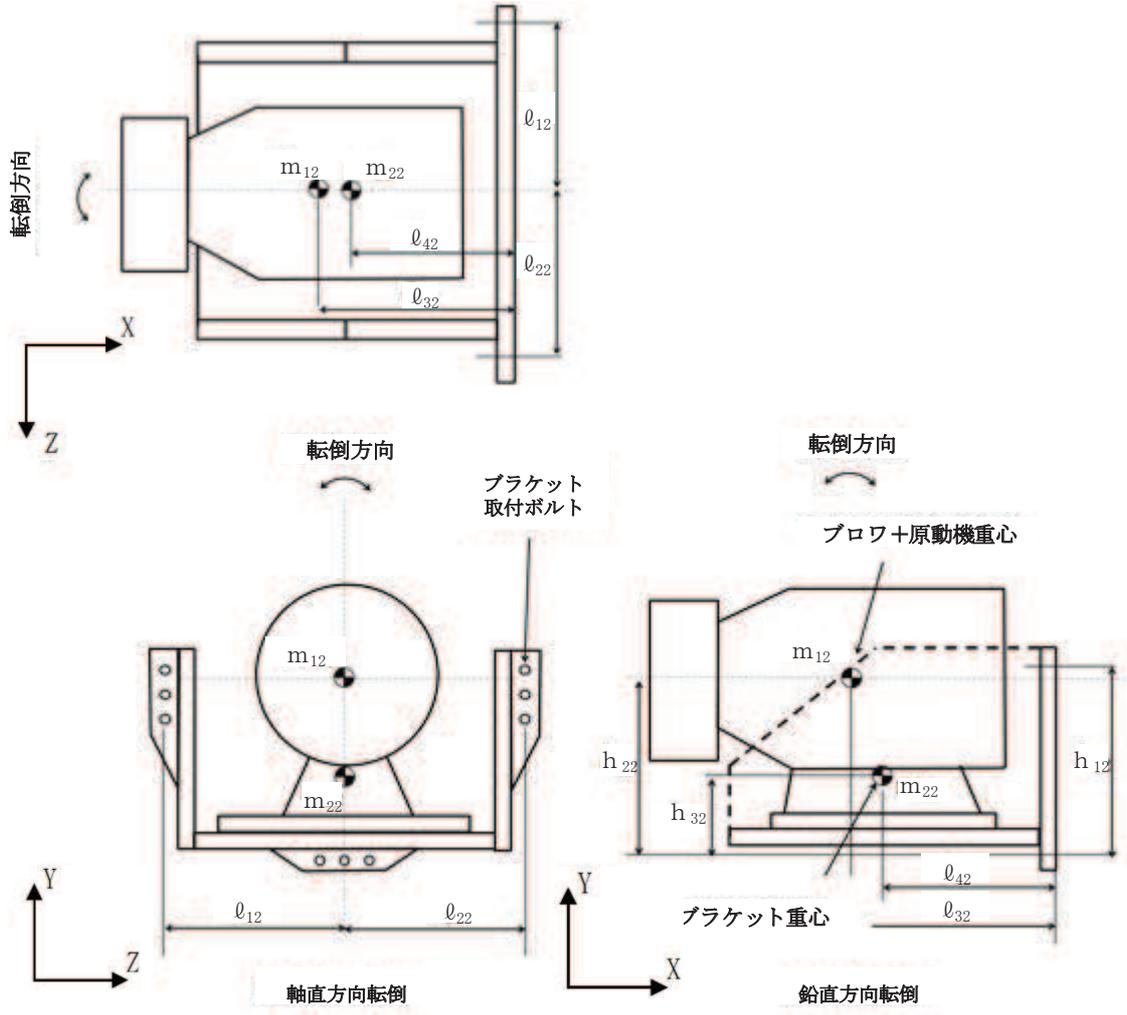


図 6-2 ブラケット取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に水平荷重が作用し、軸直角方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b2\_α\_Z} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_{42}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})}$$

..... (6.2.4.4.24)

その他の荷重

$$F_{b2\_β\_Z} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_P \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_P \cdot \ell_{42}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})}$$

..... (6.2.4.4.25)

ロ. X 方向に水平荷重が作用し、鉛直方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b2\_α\_X} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{22} + m_{22} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}}$$

..... (6.2.4.4.26)

その他の荷重

$$F_{b2\_β\_X} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{22} + m_{22} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}}$$

..... (6.2.4.4.27)

ハ. Y 方向に鉛直荷重が作用し、鉛直方向に転倒する場合  
地震荷重

$$F_{b2\_α\_Y} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot C_V \cdot \ell_{42}}{n_{f22} \cdot h_{12}}$$

..... (6.2.4.4.28)

その他の荷重

$$F_{b2\beta Y} = \frac{m_{12} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot \ell_{32} + m_{22} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot \ell_{42}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.29)$$

ブラケット取付ボルトに作用する荷重  $F_{b2}$  は

$$F_{b2} = \sqrt{F_{b2\alpha X}^2 + F_{b2\alpha Y}^2 + F_{b2\alpha Z}^2 + F_{b2\beta X}^2 + F_{b2\beta Y}^2 + F_{b2\beta Z}^2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.30)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.31)$$

ここで、ボルトの軸断面  $A_{b2}$  は

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (6.2.4.4.32)$$

b. せん断力

ブラケット取付ボルトに作用する荷重  $Q_{b2}$  は、

$$Q_{b2} = (m_{12} + m_{22}) \cdot g \cdot \left( \sqrt{C_H^2 + C_V^2} + \sqrt{C_P^2 + (1 + C_P)^2} \right) + \frac{M_P}{h_{22}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.33)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.34)$$

(3) キャン取付ボルト (円形配置)

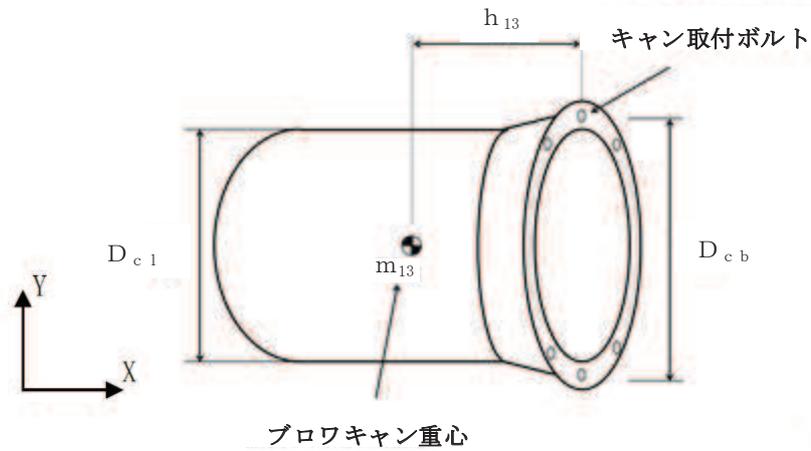


図 6-3 キャン取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z方向に荷重が作用する場合 (Y軸回り)

地震荷重

$$F_{b3-y-cz} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.35)$$

ロ. Y方向に荷重が作用する場合 (Z軸回り)

地震荷重

$$F_{b3-z-cv} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot C_V \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.36)$$

その他の荷重

$$F_{b3-z} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (m_{13} \cdot g \cdot h_{13}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.37)$$

ハ. X方向に荷重が作用する場合 (YZ平面上は常に一定)

地震荷重

$$F_{b3-y-z-c hx} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot \left( m_{13} \cdot g \cdot C_H \cdot \frac{D_{cb}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.38)$$

その他の荷重

$$F_{b3-y-z} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot \left( \frac{\pi}{4} \cdot D_{c1}^2 \cdot P_0 \cdot \frac{D_{cb}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.39)$$

キャン取付ボルトに作用する荷重  $F_{b3}$  は、

$$F_{b3} = \sqrt{F_{b3\_y\_c\_h\_z}^2 + F_{b3\_z\_c\_v}^2 + F_{b3\_y\_z\_c\_h\_x}^2 + F_{b3\_z} + F_{b3\_y\_z}} \dots \dots \dots (6.2.4.4.40)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{n_{f13} \cdot A_{b3}} \dots \dots \dots (6.2.4.4.41)$$

ここで、ボルトの軸断面  $A_{b3}$  は

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots \dots \dots (6.2.4.4.42)$$

b. せん断力

キャン取付ボルトに作用する荷重  $Q_{b3}$  は、

$$Q_{b3} = m_{13} \cdot g \cdot \left( \sqrt{C_H^2 + C_V^2} + 1 \right) \dots \dots \dots (6.2.4.4.43)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots \dots \dots (6.2.4.4.44)$$

(4)ブロワーケーシング取付ボルト（円形配置）

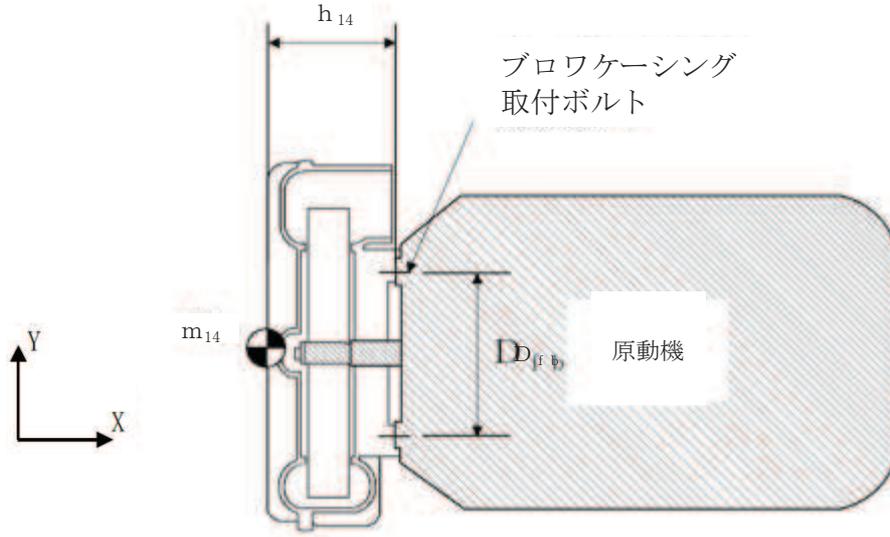


図 6-4 ブロワーケーシング取付ボルト評価概要

a. 引張力

イ. Z 方向に荷重が作用する場合（Y 軸回り）

地震荷重

$$F_{b4\_y\_c h z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_H \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.45)$$

その他の荷重

$$F_{b4\_y} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_P \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.46)$$

ロ. Y 方向に荷重が作用する場合（Z 軸回り）

地震荷重

$$F_{b4\_z\_c v} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_V \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.47)$$

その他の荷重

$$F_{b4\_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot (1 + C_P) \cdot h_{14} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4.48)$$

ハ. X方向に荷重が作用する場合 (YZ平面上は常に一定)

地震荷重

$$F_{b4\_y\_z\_c\_h\_x} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_H \cdot \frac{D_{fb}}{2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.49)$$

その他の荷重

$$F_{b4\_y\_z} = \frac{8}{3 \cdot D_{fb}} \cdot m_{14} \cdot g \cdot C_P \cdot \frac{D_{fb}}{2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.50)$$

ブロッキング取付ボルトに作用する荷重  $F_{b4}$  は,

$$F_{b4} = \sqrt{F_{b4\_y\_c\_h\_z}^2 + F_{b4\_z\_c\_v}^2 + F_{b4\_y\_z\_c\_h\_x}^2} + \sqrt{F_{b4\_y}^2 + F_{b4\_z}^2 + F_{b4\_y\_z}^2} \dots\dots\dots (6.2.4.4.51)$$

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{n_{f14} \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.52)$$

ここで, ボルトの軸断面  $A_{b4}$  は

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots\dots\dots (6.2.4.4.53)$$

b. せん断力

ブロッキング取付ボルトに作用する荷重  $Q_{b4}$  は,

$$Q_{b4} = m_{14} \cdot g \cdot \left( \sqrt{C_H^2 + C_V^2} + \sqrt{C_P^2 + (1 + C_P)^2} \right) \dots\dots\dots (6.2.4.4.54)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (6.2.4.4.55)$$

(5) インペラとブロワケーシングとのクリアランス

FEM 解析により，地震による震度及び自重により生じるインペラとブロワケーシングとのクリアランスが設計許容隙間を下回ることを確認する。

ブロワの解析モデル（2次元はりモデル）を図 6-5 に，解析モデルの概要を以下に示す。機器の諸元を表 6-2 に示す。

- a. 解析モデルは，各部材をはり要素でモデル化する。各要素の荷重は要素荷重として各々の要素で考慮し，インペラ，原動機軸，キャン，キャンフランジ及び内装品等は集中重量として考慮する。
- b. 図 6-5 中の  ははり要素， はばね要素を示す。
- c. 拘束条件として，サポートプレートとスキッドベース，およびブレースとスキッドベース溶接接合部の並進方向，X 軸回転方向を拘束し，原動機取付ボルト，ブロワケーシング取付ボルトを完全拘束する。溶接部及び取付ボルトは剛体として評価する。
- d. 解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- e. 解析に用いる寸法は公称値を使用する。

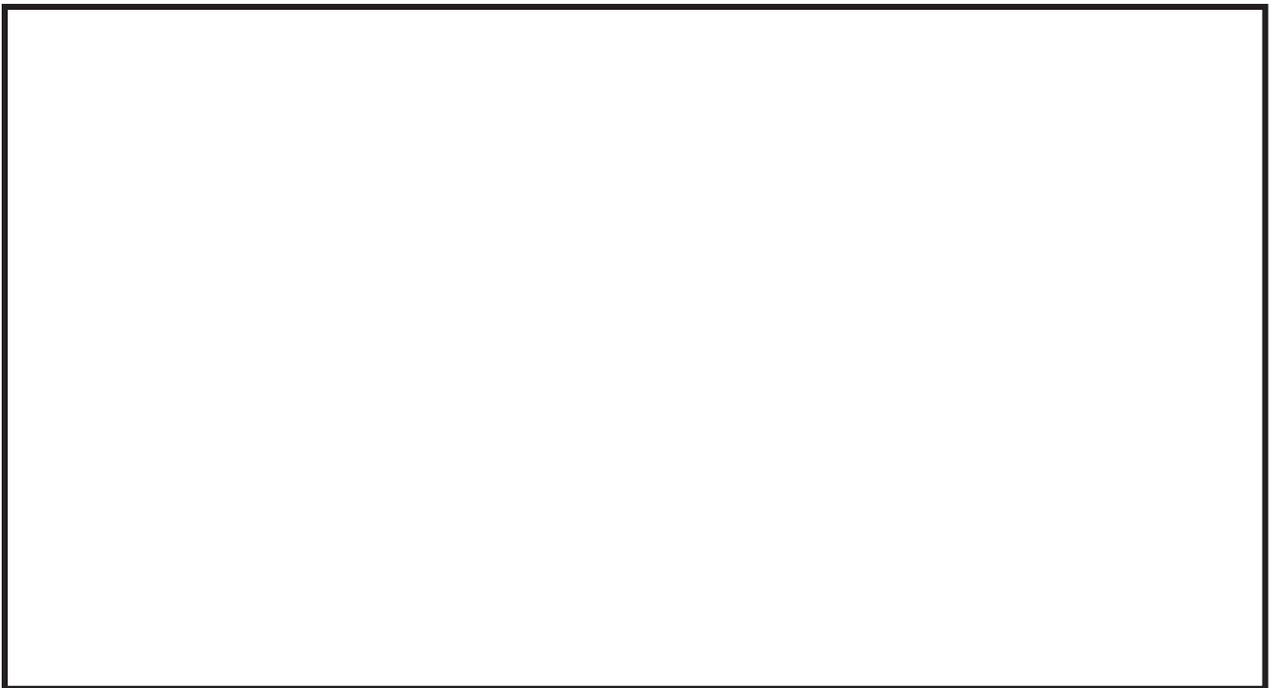


図 6-5 ブロワ解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

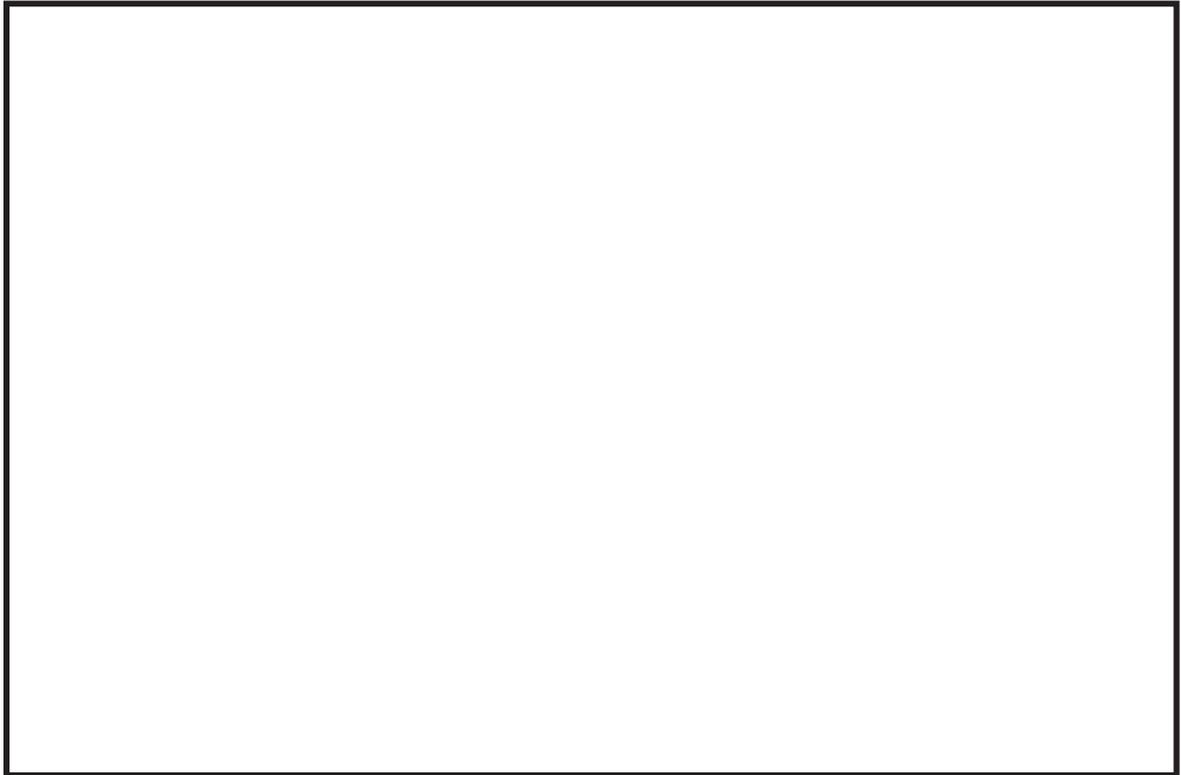


図 6-6 ブロワ構造図

表 6-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	171
縦弾性係数	E	MPa	1.93×10 <sup>5</sup> (キャン, ブラケット, サポートプレート)
			1.92×10 <sup>5</sup> (原動機軸, ブロワケーシング)
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 6.3 原動機の動的機能維持評価

#### 6.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。なお、取付ボルトおよび端子箱はブロワのサポートプレートに取付けられており、ブロワの動的機能維持評価に含まれているため、評価対象外とする。また、軸継手は遠心直動型ファンのため、評価対象外とする。

#### 6.3.2 許容値

モータフレームの許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub>に準拠し設定する。軸（回転子）の許容値は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>に準拠し設定する。固定子の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>に準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を許容値として設定する。

### 6.3.3 記号の説明

可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 6-4 に示す。

表6-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_p$	ピンの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	脚部の断面積	$\text{mm}^2$
$C_P$	ブロワ振動による震度	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_f$	フレームの内径	mm
$d_s$	軸の直径	mm
$E$	軸の縦弾性係数	MPa
$F$	ピンにはたらく合成荷重	N
$F_1$	原動機の回転によりピンにはたらく荷重	N
$F_2$	水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重	N
$F_a$	アキシアル荷重	N
$F_{R1}$	地震力により軸に作用する荷重	N
$F_{R2}$	ラジアル荷重	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h_c$	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
$h_f$	原動機取付面から脚取付部までの高さ	mm
$I$	軸の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$l$	原動機脚部中心間距離	mm
$l_c$	脚中心から原動機重心までの水平方向距離	mm
$l_{b, L}$	反負荷側・負荷側軸受間距離	mm
$l_f$	ラジアル荷重の作用位置	mm
$l_{r, C}$	軸（回転子）の重心位置	mm
$M_1$	反負荷側軸受から軸（回転子）の重心位置の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_2$	反負荷側軸受から負荷側軸受の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{11}$	水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{max}$	軸に生じる最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_P$	軸の回転によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$m_3$	脚部重量を除いた原動機重量	kg
$m_r$	軸・回転子の重量	kg
$m_s$	固定子重量	kg
$m_{s1}$	脚部の重量	kg
$N$	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
$n_p$	ピンの本数	—
$P_d$	原動機出力	kW

記号	記号の説明	単位
$P_1$	静等価ラジアル荷重	N
$P_2$	静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 1}$	反負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 2}$	負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_1$	水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重	N
$R_1$	脚部が受ける荷重	N
$R_L$	負荷側軸受が受ける荷重	N
$R_O$	反負荷側軸受が受ける荷重	N
$T_M$	原動機最大トルク	N・m
$T_S$	原動機最大トルク	%
$X_O$	軸受ラジアル荷重に対する係数	—
$Y_O$	軸受アキシアル荷重に対する係数	—
$y_{max}$	軸の最大たわみ	mm
$Z_S$	軸の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sy}$	脚部の長手方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_b$	軸にはたらく最大曲げ応力	MPa
$\sigma_s$	軸にはたらく組合せ応力	MPa
$\sigma_s$	鉛直方向と水平方向（横方向）地震力が作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_{s1}$	原動機重量による応力	MPa
$\sigma_{s2}$	水平方向地震力（横方向）による曲げ応力および圧縮応力	MPa
$\sigma_{s4}$	鉛直方向地震力による応力	MPa
$\tau_p$	ピンにはたらくせん断応力	MPa
$\tau_t$	軸に生じるねじり応力	MPa
$\tau_{s2}$	水平方向地震力（横方向）によるせん断応力	MPa

6.3.4 評価方法

(1) 固定子

a. 原動機の回転による荷重

原動機の最大トルクは

$$T_M = \frac{P_d \cdot 1000000}{2\pi \cdot N / 60} \cdot \frac{T_S}{100} \dots\dots\dots (6.3.4.1)$$

原動機の回転によりピンにはたらく荷重は

$$F_1 = \frac{T_M}{l/2 \cdot D_f} \dots\dots\dots (6.3.4.2)$$

b. 水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重

$$F_2 = m_S \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (6.3.4.3)$$

c. ピンにはたらくせん断応力

a. , b. の合成荷重は

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \dots\dots\dots (6.3.4.4)$$

ピンにはたらくせん断応力は

$$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p} \dots\dots\dots (6.3.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

a. 各部にはたらく荷重

地震力により軸に作用する荷重は

$$F_{R1} = \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \cdot m_r \cdot g \dots\dots\dots (6.3.4.6)$$

負荷側軸受が受ける荷重および反負荷側軸受が受ける荷重は

$$R_L = \frac{F_{R1} \cdot l_{r,c} + F_{R2} \cdot l_f}{l_{b,L}} \dots\dots\dots (6.3.4.7)$$

$$R_O = \frac{(l_{b,L} - l_{r,c}) \cdot F_{R1} + (l_f - l_{b,L}) \cdot F_{R2}}{l_{b,L}} \dots\dots\dots (6.3.4.8)$$

b. 曲げ応力

軸に生じる最大曲げモーメントは

$$M_1 = \frac{(l_{b,L} - l_{r,C}) \cdot l_{r,C} \cdot F_{R1} + (l_f - l_{b,L}) \cdot l_{r,C} \cdot F_{R2}}{l_{b,L}} \dots\dots\dots (6.3.4.9)$$

$$M_2 = F_{R2} \cdot (l_{b,L} - l_f) \dots\dots\dots (6.3.4.10)$$

$$M_{max} = \text{Max} \left[ |M_1|, |M_2| \right] \dots\dots\dots (6.3.4.11)$$

軸にはたらく最大曲げ応力は

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_s} \dots\dots\dots (6.3.4.12)$$

c. ねじり応力

軸の回転によるモーメントは

$$M_P = \frac{60}{2\pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P_d \dots\dots\dots (6.3.4.13)$$

軸に生じるねじり応力は

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_P}{\pi \cdot d_s^3} \cdot 10^6 \cdot P_d \dots\dots\dots (6.3.4.14)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \dots\dots\dots (6.3.4.15)$$

(3) 軸受

a. 反負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_O + Y_O \cdot F_a \quad \dots\dots\dots (6.3.4.16)$$

$$P_2 = R_O \quad \dots\dots\dots (6.3.4.17)$$

$$P_{or, 1} = \text{M a x} [P_1, P_2] \quad \dots\dots\dots (6.3.4.18)$$

b. 負荷側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_L + Y_O \cdot F_a \quad \dots\dots\dots (6.3.4.19)$$

$$P_2 = R_L \quad \dots\dots\dots (6.3.4.20)$$

$$P_{or, 2} = \text{M a x} [P_1, P_2] \quad \dots\dots\dots (6.3.4.21)$$

(4) 固定子と回転子間のクリアランス

a. 軸の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.22)$$

b. 軸の最大たわみ

$$y_{\text{max}} = \frac{F_{R1} \cdot l_{r, c} \cdot (l_{b, L}^2 - l_{r, c}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot l_{b, L}} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.23)$$

(5) モータフレーム

a. 原動機重量による応力

脚部が受ける荷重は

$$R_1 = m_3 \cdot g \cdot \frac{l - l_c}{l} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.24)$$

原動機重量による応力は

$$\sigma_{S1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.25)$$

b. 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{S4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot (C_V + C_P) \dots\dots\dots (6.3.4.26)$$

c. 水平方向地震力（横方向）による応力

水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメントは

$$M_{11} = (C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_f \dots\dots\dots (6.3.4.27)$$

水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重は

$$P_1 = (C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot \frac{h_c}{1} \dots\dots\dots (6.3.4.28)$$

曲げ応力および圧縮応力は

$$\sigma_{S2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \dots\dots\dots (6.3.4.29)$$

せん断応力は

$$\tau_{S2} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (6.3.4.30)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_S = \sqrt{(\sigma_{S1} + \sigma_{S2} + \sigma_{S4})^2 + 3 \cdot \tau_{S2}^2} \dots\dots\dots (6.3.4.31)$$

## 7. 評価結果

### 7.1 設計基準対象施設としての評価結果

ブロワ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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【プロアの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		プロア振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロア	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> =1.13	C <sub>V</sub> =0.91	C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56		171	—

注記\*：基準床レベルを示す。

1.1.2 機器要目

部材	m (kg)	L (mm)	h (mm)	ℓ (mm)	ℓ <sub>b</sub> (mm)	ℓ <sub>k</sub> (mm)	A <sub>s,s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s,b</sub> (mm <sup>2</sup> )
ブレース及びベース取付溶接部								

部材	A <sub>HW</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>VW</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	i (mm)	E (MPa)	G (MPa)	I <sub>b</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>v</sub> (mm <sup>4</sup> )
ブレース及びベース取付溶接部								

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
ブレース及びベース取付溶接部	201*1	373*1	201	241	軸	軸

注記\*1：最高使用温度で算出。

H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)
---------------------	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.1.3 計算数値  
1.1.3.1 ブレースに作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>H</sub>		F <sub>V</sub>		F <sub>C</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
ブレース						

1.1.3.2 ベース取付溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>HW</sub>		F <sub>VW</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
ベース取付溶接部				

1.1.4 結論 (単位：s)

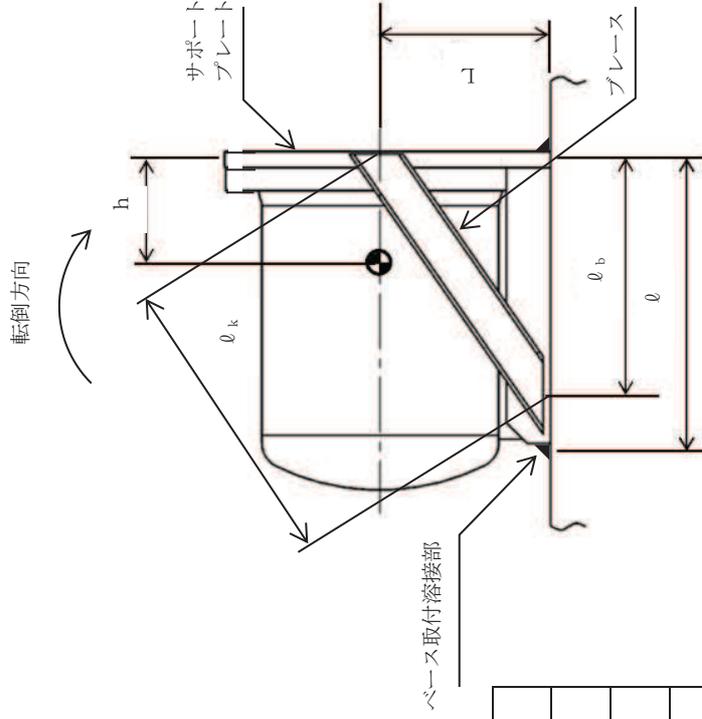
1.1.4.1 固有周期

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ブレース		圧縮	$\sigma_c = 6$	$f_{bc} = 179$	$\sigma_c = 10$	$f_{bc} = 210$
ベース取付溶接部		せん断	$\tau_w = 20$	$f_{ws} = 116$	$\tau_w = 40$	$f_{ws} = 139$

すべて許容応力以下である。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 動的機能維持時評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (Nm <sup>3</sup> /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>d</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>		プロロフ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				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			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置プロロフ	遠心直動型 ファン		原子炉建屋 0.P. 22.50*1								171	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：構造強度評価にて算出した結果を記載。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>d</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>		プロロフ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				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			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置 プロロフ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	11	原子炉建屋 0.P. 22.50*1								171	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

(1) プロロフ共通

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)	P <sub>d</sub> (kW)	P <sub>o</sub> (MPa)
		11	0.427

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 原動機取付ボルト, ブラケット取付ボルト, キャン取付ボルト, プロクレーシング取付ボルト

部材	$m_{1,i}$ (kg)	$m_{2,i}$ (kg)	$h_{1,i}$ (mm)	$h_{2,i}$ (mm)	$h_{3,i}$ (mm)	$l_{1,i}$ (mm)	$l_{2,i}$ (mm)	$l_{3,i}$ (mm)	$l_{4,i}$ (mm)	$l_{5,i}$ (mm)	$D_{c,b}$ (mm)	$D_{c,t}$ (mm)	$D_{f,b}$ (mm)	$A_{b,i}$ (mm <sup>2</sup> )	$d_i$ (mm)	$n_i$	$n_{f1,i}$	$n_{f2,i}$
原動機 取付ボルト ( $i=1$ )																		
ブラケット 取付ボルト ( $i=2$ )																		
キャン 取付ボルト ( $i=3$ )																		
プロクレーシング 取付ボルト ( $i=4$ )																		

(3) 固定子

部材	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	$D_f$ (mm)	$m_s$ (kg)	$N$ (rpm)	$n_p$	$P_d$ (kW)	$T_s$ (%)
固定子	121.7	350	121	3000	2	11	200

(4) 軸 (回転子)

部材	$d_s$ (mm)	$F_{R2}$ (N)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_f$ (mm)	$l_{r,c}$ (mm)	$m_r$ (kg)	$N$ (rpm)	$P_d$ (kW)	$Z_s$ (mm <sup>3</sup> )
軸 (回転子)	30	213.8	475.8	631.1	234.3	66	3000	11	2651

(5) 軸受

部材	$F_a$ (N)	$X_o$	$Y_o$
軸受	0	0.6	0.5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(6) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	$d_s$ (mm)	E (MPa)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_{r,C}$ (mm)
固定子と回転子間の クリアランス	30	206000	475.8	234.3

(7) モーターフレーム

部材	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$h_c$ (mm)	$h_f$ (mm)	$l$ (mm)	$l_c$ (mm)	$m_3$ (kg)	$m_{s1}$ (kg)	$Z_{s,y}$ (mm <sup>3</sup> )
モーターフレーム	5490	225	74	256	128	310	10	13730

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

		機能維持評価用加速度* ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
プロロ	水平方向	1.77	2.6
	鉛直方向	1.30	1.0
原動機	水平方向	1.77	4.7
	鉛直方向	1.30	1.0

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

プロロは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。  
原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

- 1.2.3.2 ブロワの動的機能維持評価
- 1.2.3.2.1 代表評価項目の評価
  - ブレース、ベース取付溶接部については、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 取付ボルトの評価 (単位：MPa)

評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力
原動機取付ボルト		引張	20	158
		せん断	14	122
ブラケット取付ボルト		引張	45	158
		せん断	7	122
キャン取付ボルト		引張	18	275
		せん断	1	211
プロワーキング取付ボルト		引張	11	152
		せん断	5	117

すべて許容応力以下である。

- 1.2.3.2.2.2 インペラとプロワーキングとのクリアランスの評価

(単位：mm)

変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- 1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価
  - 1.2.3.3.1 代表評価項目の評価
    - 原動機取付ボルトについては、プロワの動的機能維持評価にて確認しているため、計算は省略する。

- 1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価
  - 1.2.3.3.2.1 固定子の評価

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	110

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

- 1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	100	412

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

- 1.2.3.3.2.3 軸受の評価

評価部位	発生荷重	許容荷重
負荷側	1302	
反負荷側	1120	

(単位：N)

すべて許容荷重以下である。

- 1.2.3.3.2.4 固定子と回転子間のクリアランスの評価

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.57	1.00

(単位：mm)

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.5 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	36	40

すべて許容応力以下である。

VI-2-9-4-4-2-3 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の  
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	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	5
4.	固有周期	6
4.1	固有値解析方法	6
4.2	解析モデル及び諸元	6
4.3	固有値解析結果	8
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.3	設計用地震力	13
5.4	計算方法	14
5.4.1	応力の計算方法	14
5.5	計算条件	17
5.5.1	基礎ボルトの応力計算条件	17
5.6	応力の評価	17
5.6.1	ボルトの応力評価	17
6.	評価結果	18
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	18

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、可燃性ガス濃度制御系再結合装置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。

可燃性ガス濃度制御系再結合装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p><b>基礎・支持構造</b></p> <p>可燃性ガス濃度制御系再結合装置は、基礎に基礎ボルトにより据付ける。</p>	<p><b>主体構造</b></p> <p>熱反応式 (スキッドベース上にプロワ及びヒータボックスを取付けた構造)</p>		

(単位：mm)

## 2.2 評価方針

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「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、「2.1 構造計画」にて示す可燃性ガス濃度制御系再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「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。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

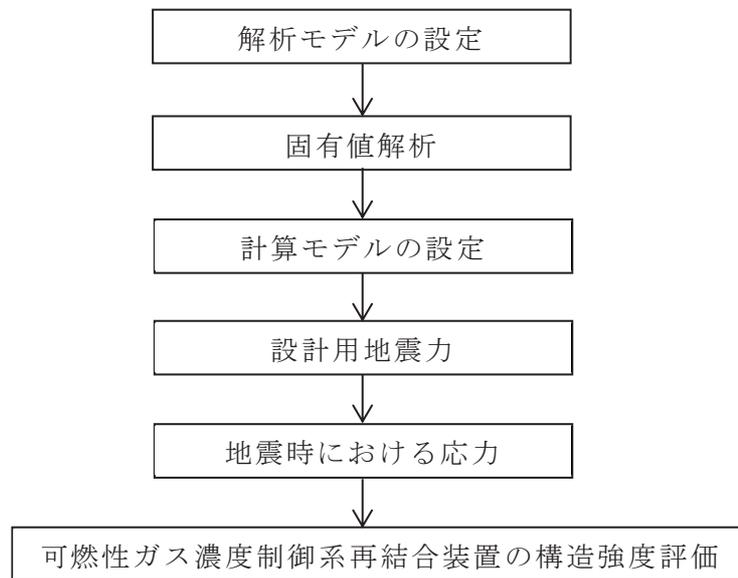


図 2-1 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	基礎ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 ( $f_s$ を1.5倍した値又は $f_{s^*}$ を1.5倍した値)	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力 ( $f_t$ を1.5倍した値又は $f_{t^*}$ を1.5倍した値)	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h$	取付面から重心までの距離	mm
$l_1$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
$l_2$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
$m$	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の荷重	kg
$n$	せん断力を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記\*1:  $l_1 \leq l_2$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
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
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
断面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有値解析方法

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の固有値解析方法を「4.2 解析モデル及び諸元」に示す。また、機器の諸元を本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

##### 4.2 解析モデル及び諸元

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の解析モデルを3次元はり及び板モデルとして図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) 解析モデルは、はり部材をはり要素、板部材を板要素でモデル化し、各要素の自重は要素荷重として各々の要素で考慮し、配管等の荷重は集中荷重として該当する節点に作用させる。
- (2) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置は基礎ボルトで基礎に固定する。拘束条件として、基礎ボルトによりスキッドベースの並進を拘束する。なお、基礎ボルトは、剛体として評価する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は公称値を使用する。
- (4) 解析コードは、「KSAP」を使用し、固有値を求める。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4-1(1) 解析モデル（鳥瞰図）

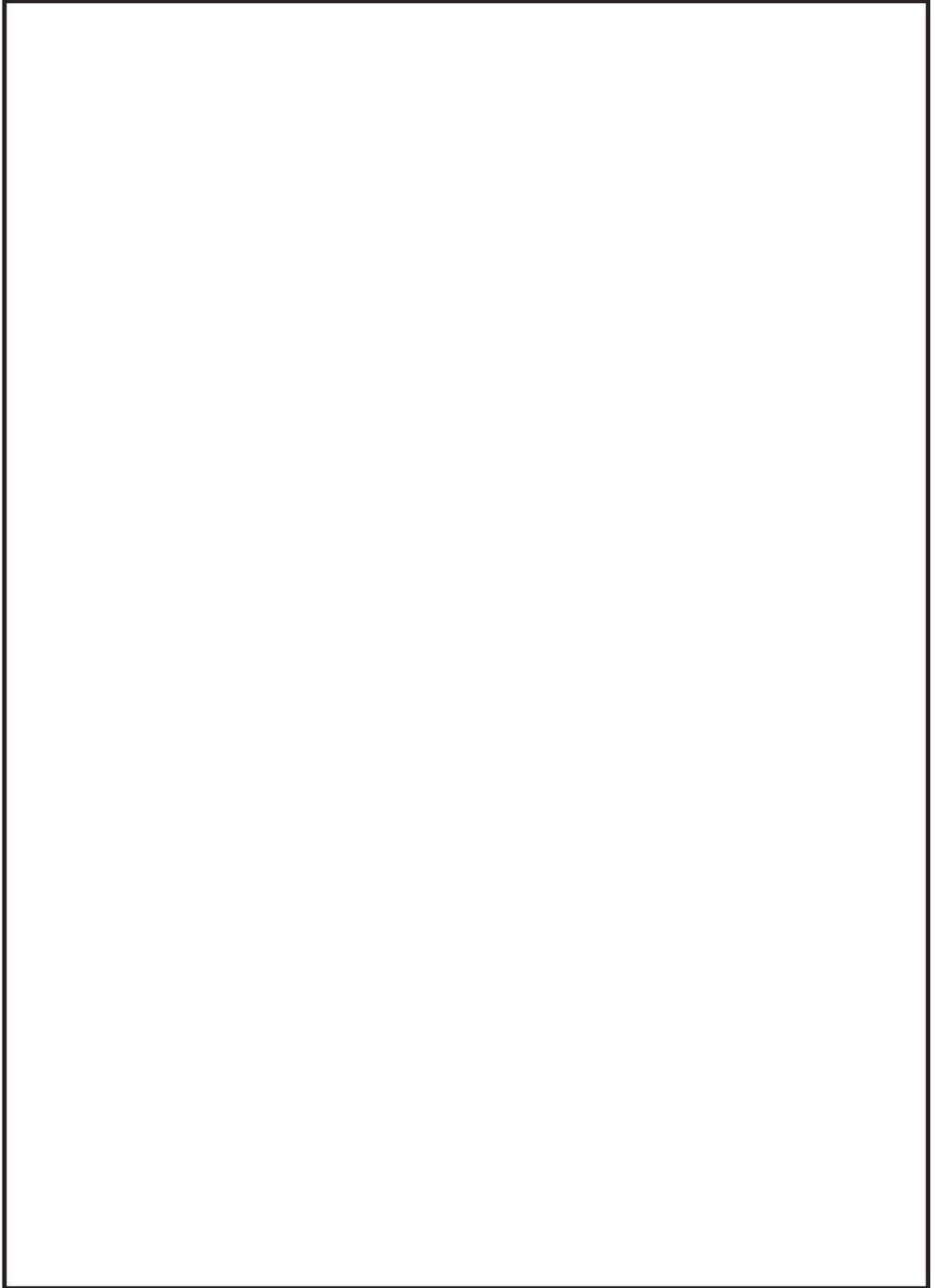


図 4-1(2) 解析モデル (説明図)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

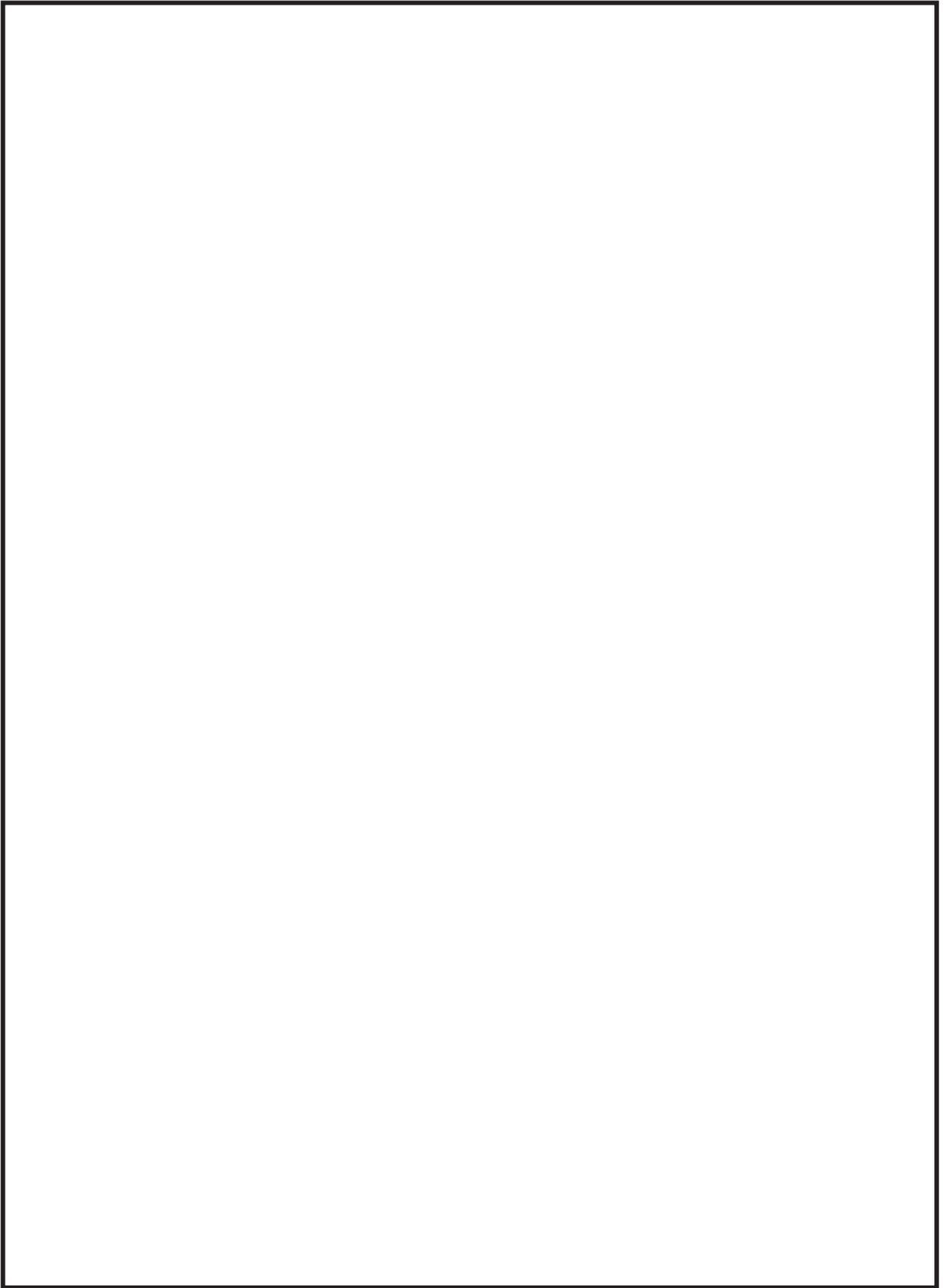
### 4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。

固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平方向		—	—	—
3次	鉛直方向		—	—	—



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は、可燃性ガス濃度制御系再結合装置に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置全体の構造強度評価に対するブロワの運転による影響は微小であるため、ブロワの振動は考慮しないものとする。
- (4) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置は基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるように設定する。
- (5) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

### 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

可燃性ガス濃度制御系再結合装置基礎ボルト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 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

可燃性ガス濃度制御系再結合装置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 5-3 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	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III <sub>AS</sub>
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>AS</sub>

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	引張り	せん断
III <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	730	868	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 5.3 設計用地震力

「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、添付書類「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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4 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 O. P. 22.50*			$C_H=1.13$	$C_V=0.91$	$C_H=2.12$	$C_V=1.56$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

#### 5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

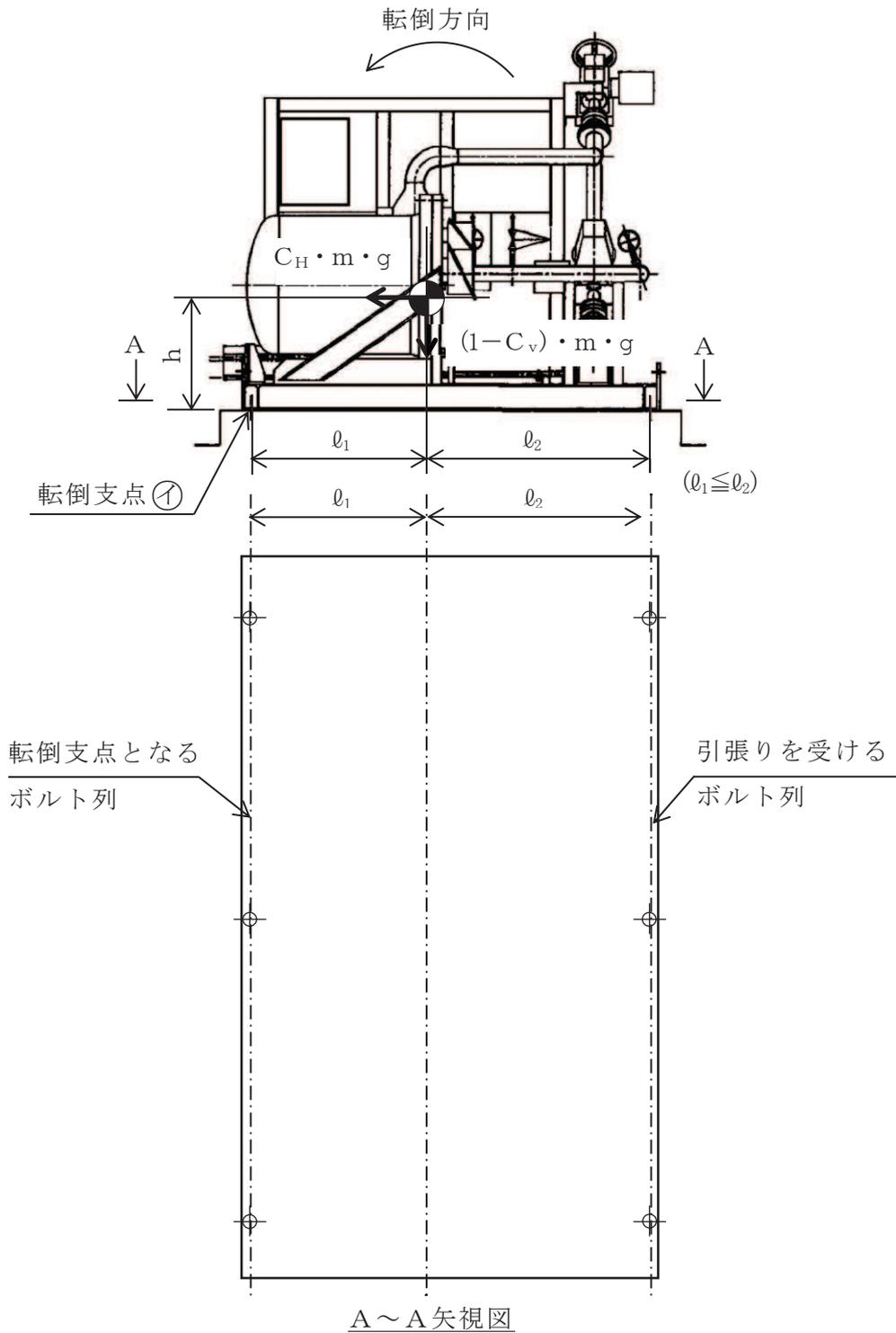


図 5-1 計算モデル（短辺方向転倒  $C_v \leq 1$  の場合）

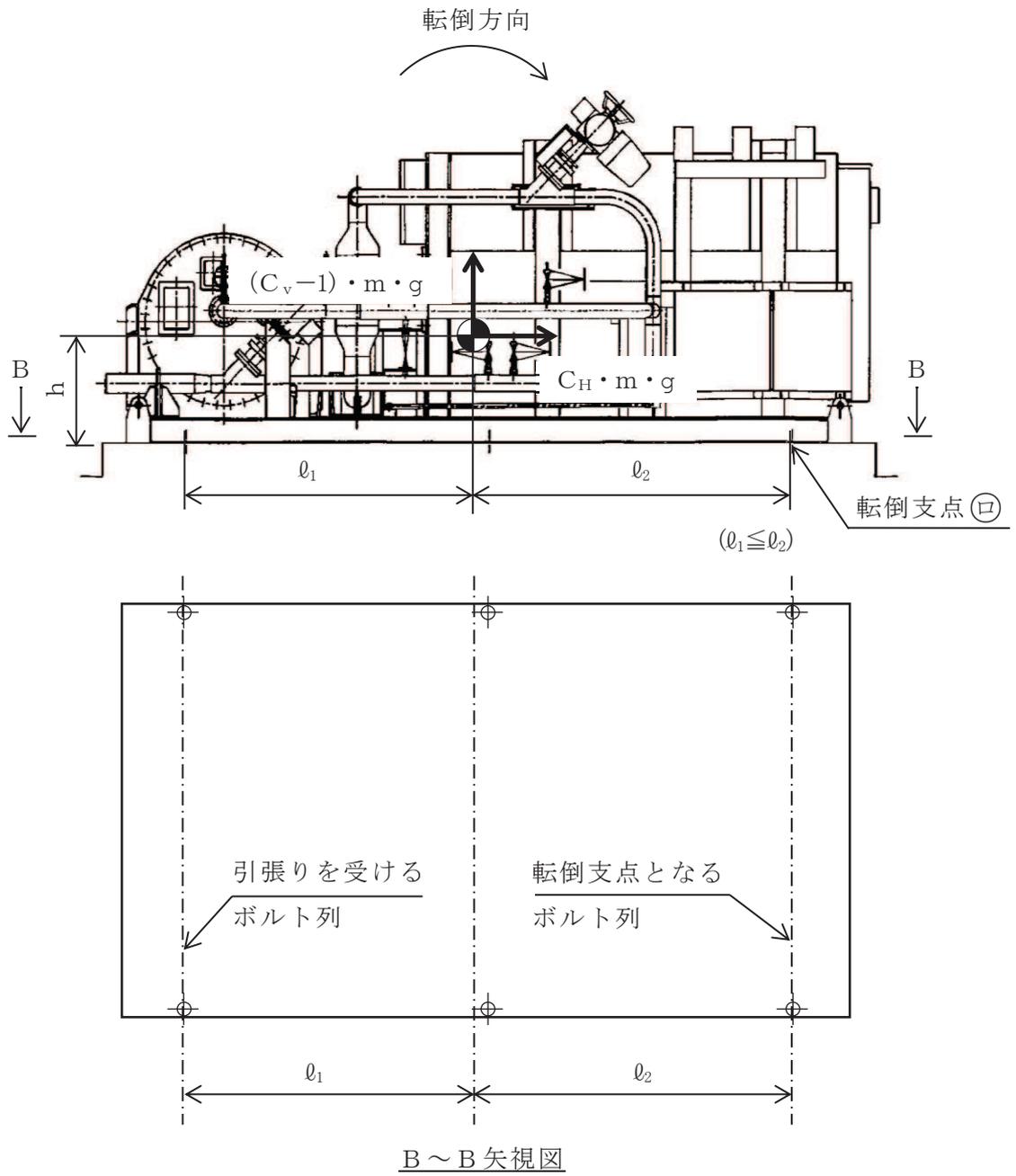


図 5-2 計算モデル (長辺方向転倒  $C_v > 1$  の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 に示すモデルにより ㊶点 ( $C_v \leq 1$ ) 及び ㊷点 ( $C_v > 1$ ) を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

( $C_v \leq 1$ )

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

( $C_v > 1$ )

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 $F_b$  が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

可燃性ガス濃度制御系再結合装置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次頁以降の表に示す。

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*			C <sub>H</sub> = 1.13	C <sub>V</sub> = 0.91	C <sub>H</sub> = 2.12	C <sub>V</sub> = 1.56	—	

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	h (mm)	$\phi_1^{*1}$ (mm)	$\phi_2^{*1}$ (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub> *1
基礎ボルト							

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	730	868	607	607	短辺方向	長辺方向

注記\*1：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 固有値解析

部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 E(MPa)	ポアソン比	要素数	節点数
スキッドベース	SS400		$2.00 \times 10^5$	0.3		
	ヒータボックス		$2.00 \times 10^5$			
プロワ	サポートプレート		$2.00 \times 10^5$			
	キャン		$2.00 \times 10^5$			
	ブレース		$2.00 \times 10^5$			

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

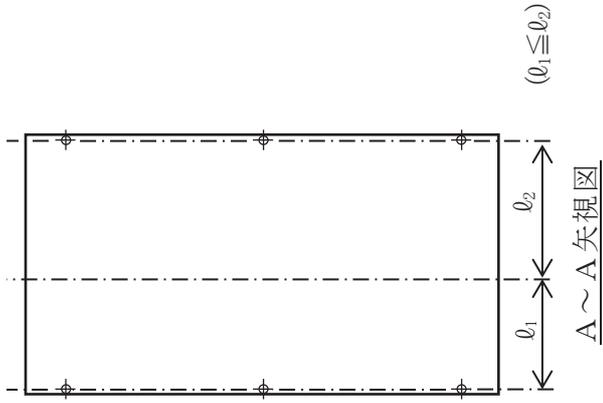
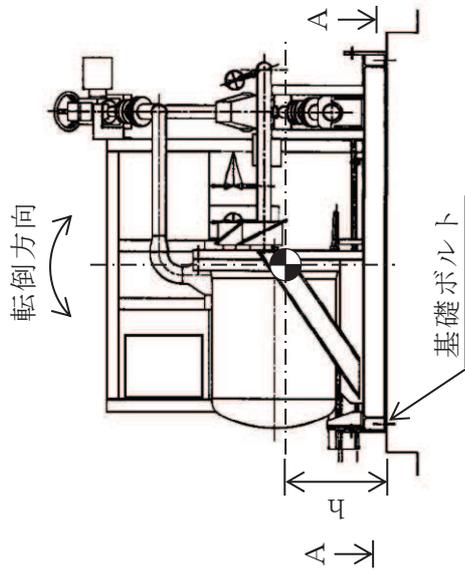
(単位：MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		応力	算出応力	許容応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b = 22$	$f_{ts} = 455^*$	$f_{ts} = 455^*$
		せん断	$\tau_b = 45$	$f_{sb} = 350$	$f_{sb} = 350$

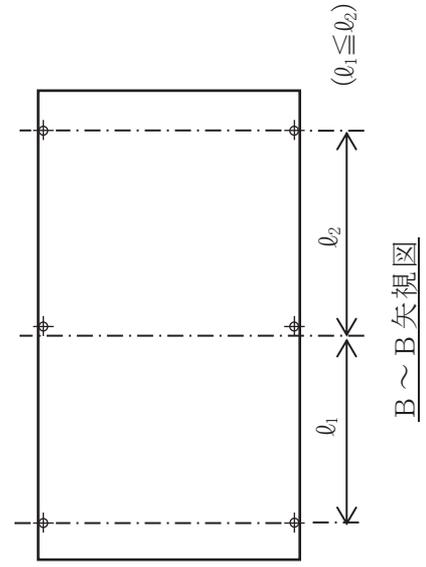
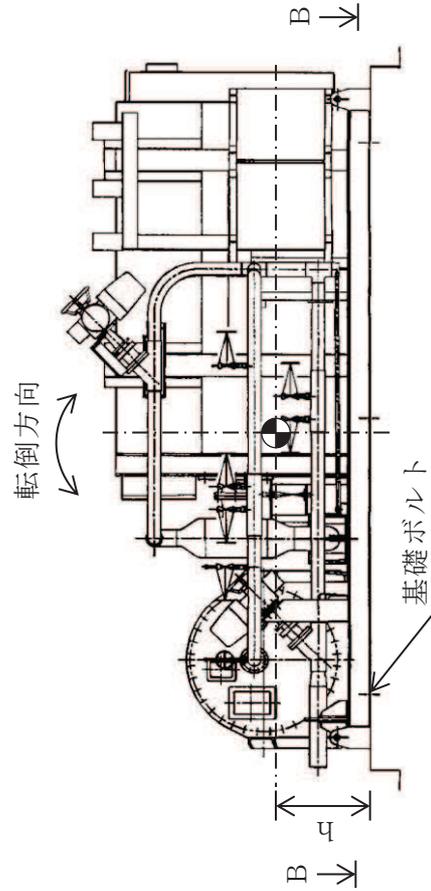
すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)

VI-2-9-4-4-3 原子炉建屋水素濃度制御系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-4-3-1 静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-3-1 静的触媒式水素再結合装置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	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
4.3	解析モデル及び諸元	14
4.4	固有周期	17
4.5	設計用地震力	19
4.6	計算方法	20
4.6.1	静的触媒式水素再結合装置本体	20
4.6.2	架台	20
4.6.3	取付ボルト	20
4.6.4	基礎ボルト	25
4.7	計算条件	28
4.8	応力の評価	28
4.8.1	静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の応力評価	28
4.8.2	取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	28
5.	評価結果	29
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	29

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、静的触媒式水素再結合装置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。

静的触媒式水素再結合装置は、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。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合装置は、固定方法により床面固定と壁面固定の2種類があるため、床面固定（以下、「その1」という。）の構造計画を表2-1に、壁面固定（以下、「その2」という。）の構造計画を表2-2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>静的触媒式水素再結合装置本体はそれぞれ取付ボルト 4 本で架台に固定する。 取付ボルト部は熱膨張を逃がす構造となっている。 架台はプレートを通じて基礎ボルトにて床面に固定する。 1 つの架台につき静的触媒式水素再結合装置本体 1 台を取付ける。</p>	<p>静的触媒式水素再結合装置本体は、鋼板を角形に組み立てたハウジングの内部に触媒カートリッジを装荷した構造である。</p>	<p>静的触媒式水素再結合装置 (その 1)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 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>静的触媒式水素再結合装置本体はそれぞれ取付ボルト 4 本で架台に固定する。 取付ボルト部は熱膨張を逃がす構造となっている。 架台はプレートを通じて基礎ボルトにて壁面に固定する。 1 つの架台につき静的触媒式水素再結合装置本体 1 台を取付ける。</p>	<p>静的触媒式水素再結合装置本体は、鋼板を角形に組み立てたハウジングの内部に触媒カートリッジを装荷した構造である。</p>	<p style="text-align: center;">静的触媒式水素再結合装置 (その 2)</p> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

## 2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合装置の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく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。

静的触媒式水素再結合装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

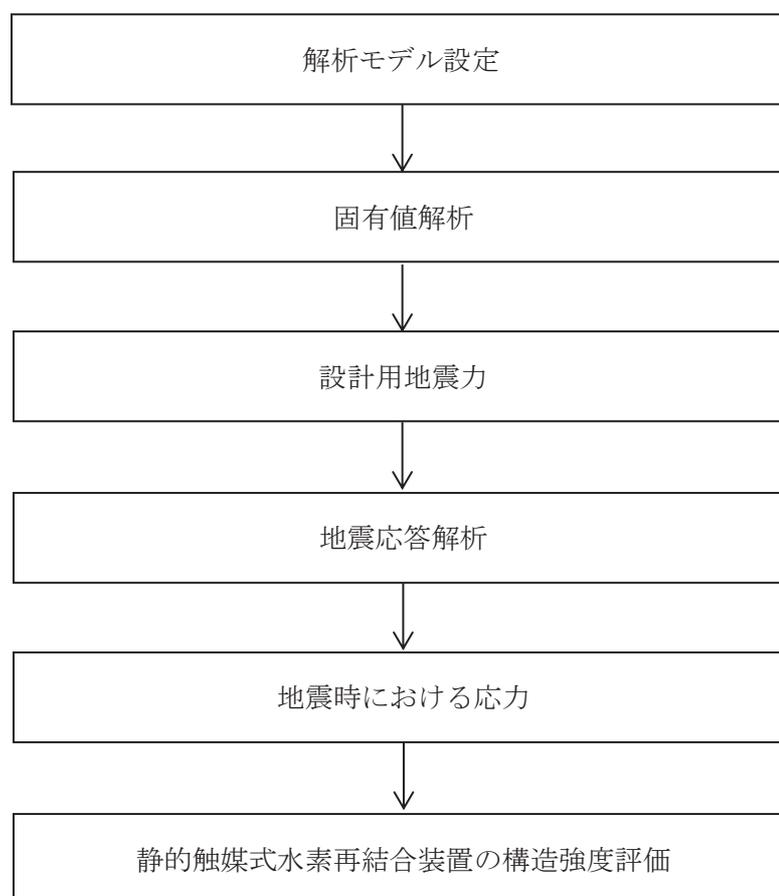


図 2-1 静的触媒式水素再結合装置の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(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
$A_{b1}$	取付ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A_{b2}$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_1$	取付ボルトの呼び径	mm
$d_2$	基礎ボルトの呼び径	mm
$E$	静的触媒式水素再結合装置本体の縦弾性係数	MPa
$E_S$	架台の縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_{bp}$	取付ボルトに作用する引張力	N
$F_x$	架台に作用する力 (X方向)	N
$F_y$	架台に作用する力 (Y方向)	N
$F_z$	架台に作用する力 (Z方向)	N
$f_{sb}$	ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_t$	静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の許容引張応力	MPa
$f_{t0}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$m_0$	静的触媒式水素再結合装置本体 1 台あたりの質量	kg
$m_{01}$	架台を含めた全体の質量	kg
$\ell$	基礎ボルト間距離	mm
$M_x$	架台に作用するモーメント (X軸周り)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_y$	架台に作用するモーメント (Y軸周り)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_z$	架台に作用するモーメント (Z軸周り)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$n_1$	せん断力を受ける取付ボルトの本数	—
$n_2$	せん断力を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_{f1}$	引張力を受ける取付ボルトの本数	—
$n_{f2}$	架台に作用する力 ( $F_x$ , $F_z$ ) により引張力を受ける 基礎ボルトの本数	—
$n_{f3}$	架台に作用するモーメント ( $M_y$ ) により引張力を受ける 基礎ボルトの本数	—
$Q_{bp}$	取付ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa

記号	記号の説明	単位
T	温度条件	°C
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_{b a}$	基礎ボルトに作用する引張応力	MPa
$\sigma_{b p}$	取付ボルトに作用する引張応力	MPa
$\sigma_p$	静的触媒式水素再結合装置本体に作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_s$	架台に作用する組合せ応力	MPa
$\tau_{b a}$	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa
$\tau_{b p}$	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

静的触媒式水素再結合装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる静的触媒式水素再結合装置本体、架台、取付ボルト、基礎ボルトについて実施する。

静的触媒式水素再結合装置の耐震評価部位については、表 2-1 及び表 2-2 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、静的触媒式水素再結合装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、原則として、強度評価において組み合わせるものとする。なお、取付ボルト及び基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (2) 触媒カートリッジは、静的触媒式水素再結合装置本体と一体として評価する。なお、解析モデルでは触媒カートリッジが補強材として作用しないよう、静的触媒式水素再結合装置本体に質量のみを付加する。
- (3) 静的触媒式水素再結合装置本体は、床又は壁に設置した架台に熱膨脹を逃がすために設置したベアリングを介して、それぞれ 4 本の取付ボルトで取り付けられており、  
そのため、解析モデルでは取付ボルト部 4 箇所全てを剛体として評価する。なお、取付ボルトの強度評価については、解析結果で得られた 4 本の引張力及びせん断力の合計を、保守的に 1 本で受けるものとして理論式により応力を算出する。
- (4) 架台は、床又は壁に基礎ボルトで取り付ける。
- (5) 基礎ボルト部及び取付ボルト部は、剛体として評価する。
- (6) 静的触媒式水素再結合装置本体及び架台は、三次元のシェル要素を用いてモデル化する。
- (7) 基礎ボルトの強度評価については、解析結果で得られた荷重を用いて、理論式により応力を算出する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 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

静的触媒式水素再結合装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 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	静的触媒式 水素再結合装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3	IV <sub>AS</sub>
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> として IV <sub>AS</sub> の許容限界を 用いる。)

注記\*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	1.5・f <sub>t</sub> *  1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
静的触媒式水素 再結合装置本体	<span style="border: 2px solid black; padding: 2px;">                    </span> *1	最高使用温度	300	127	391	205
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	300	170	373	—
	STKR400	最高使用温度	300	145	373	—
取付ボルト	SUS316	最高使用温度	300	131	427	205
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	66 (300*2)	150	373	—

注記\*1：SUS304 相当

\*2：周囲環境温度は 66°C であるが，保守的に機器の最高使用温度である 300°C を使用する。

#### 4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合装置の解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合装置本体及び架台を三次元のシェル要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件として、架台は床又は壁への取付部を固定端とする。また、静的触媒式水素再結合装置本体は、架台に取付ボルトで固定する。なお、基礎ボルト部及び取付ボルト部は、剛体として評価する。
- (3) 静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の質量は、密度にて与えるものとする。ただし、触媒カートリッジの質量は、静的触媒式水素再結合装置本体の前後面に分布荷重として与える。
- (4) 取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重（反力，モーメント）を用いて理論式により算出する。
- (5) 計算機コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値，静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

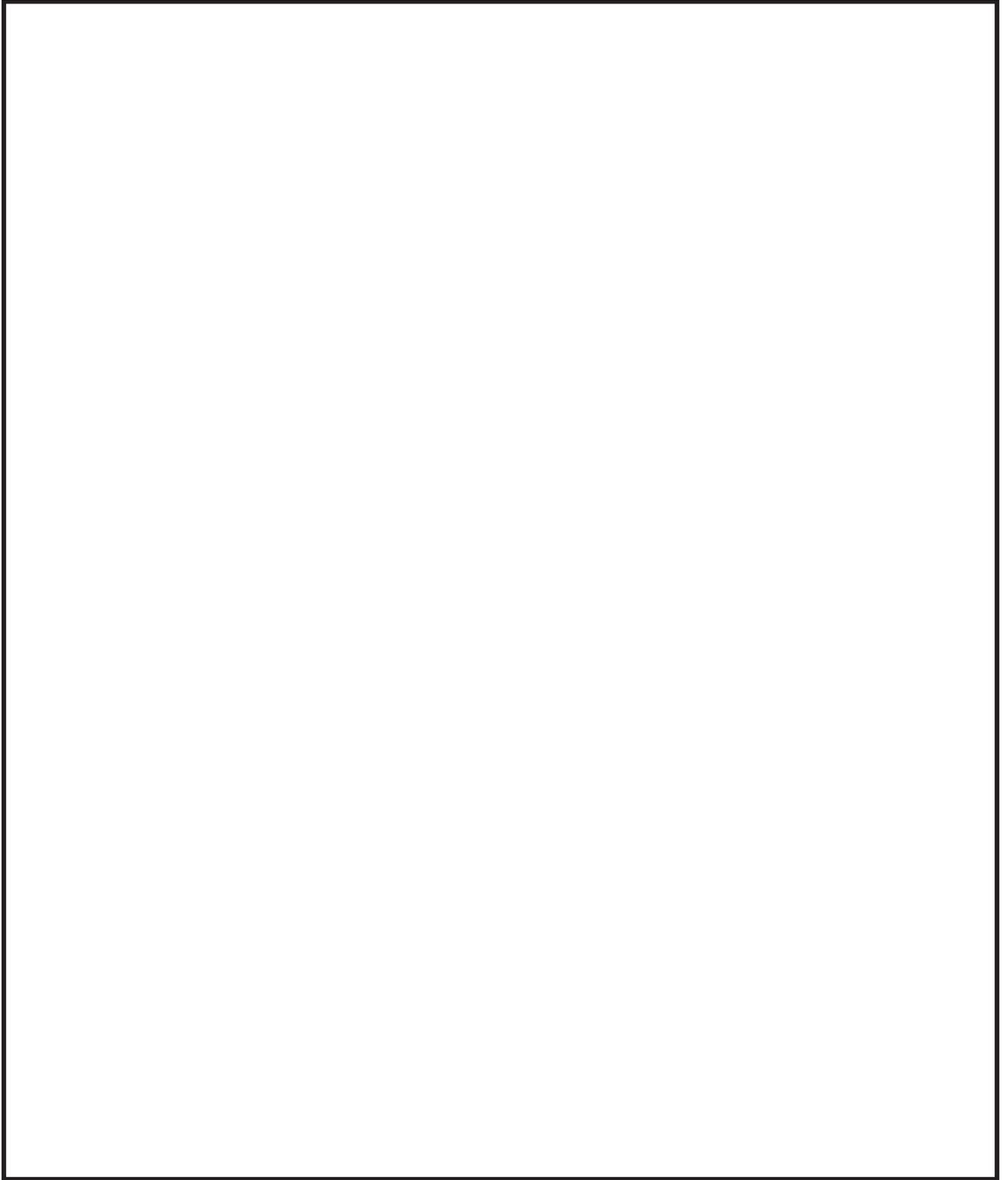


図 4-1 解析モデル（静的触媒式水素再結合装置（その1））

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

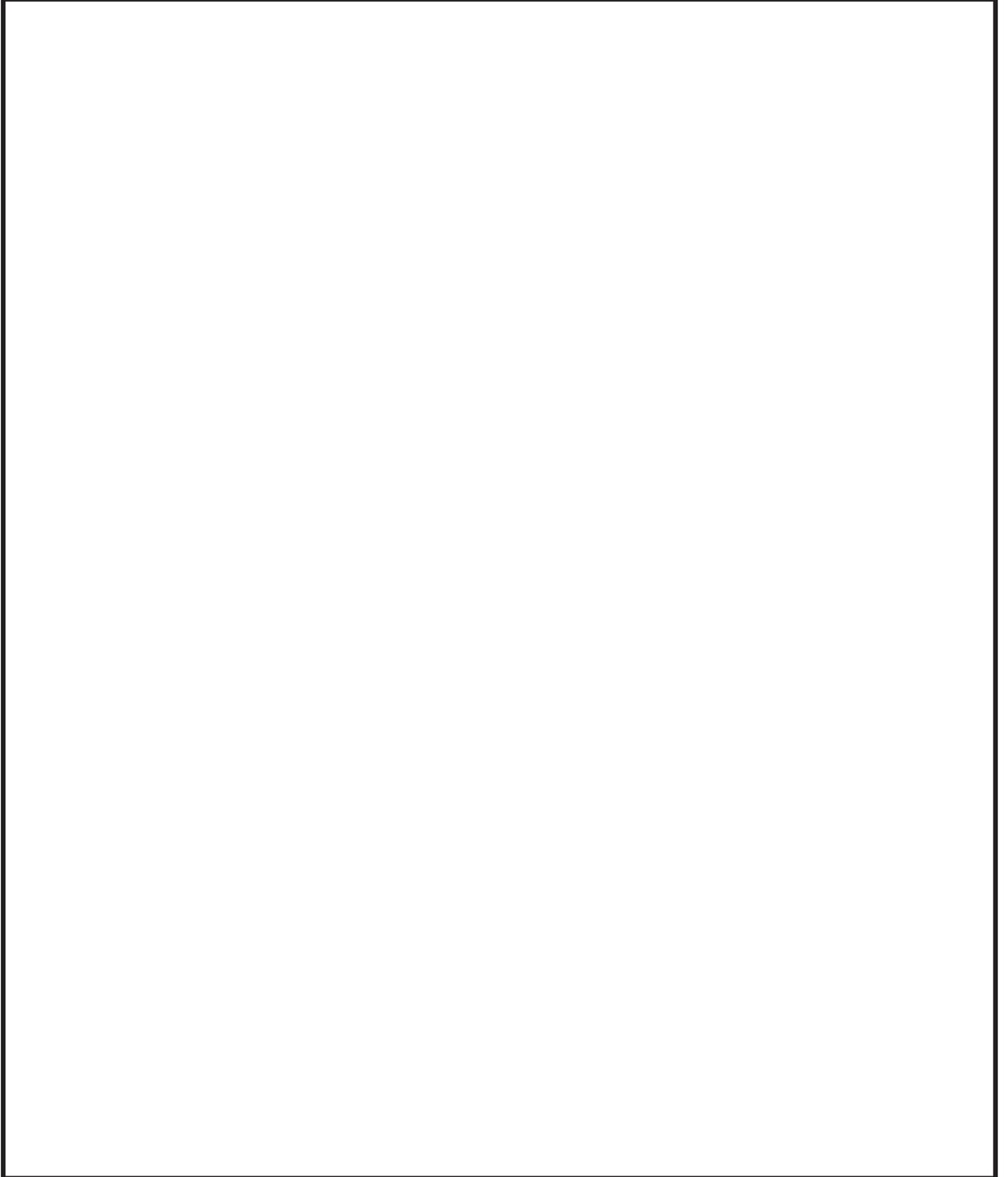


図 4-2 解析モデル（静的触媒式水素再結合装置（その 2））

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

計算機コード「MSC NASTRAN」により求めた固有値解析の結果を表 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-4 固有周期

形状	モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
				水平方向		鉛直方向
				X方向	Y方向	
その 1	1 次	鉛直方向	0.040	—	—	—
	2 次	水平方向	0.031	—	—	—
その 2	1 次	鉛直方向	0.040	—	—	—
	2 次	水平方向	0.027	—	—	—

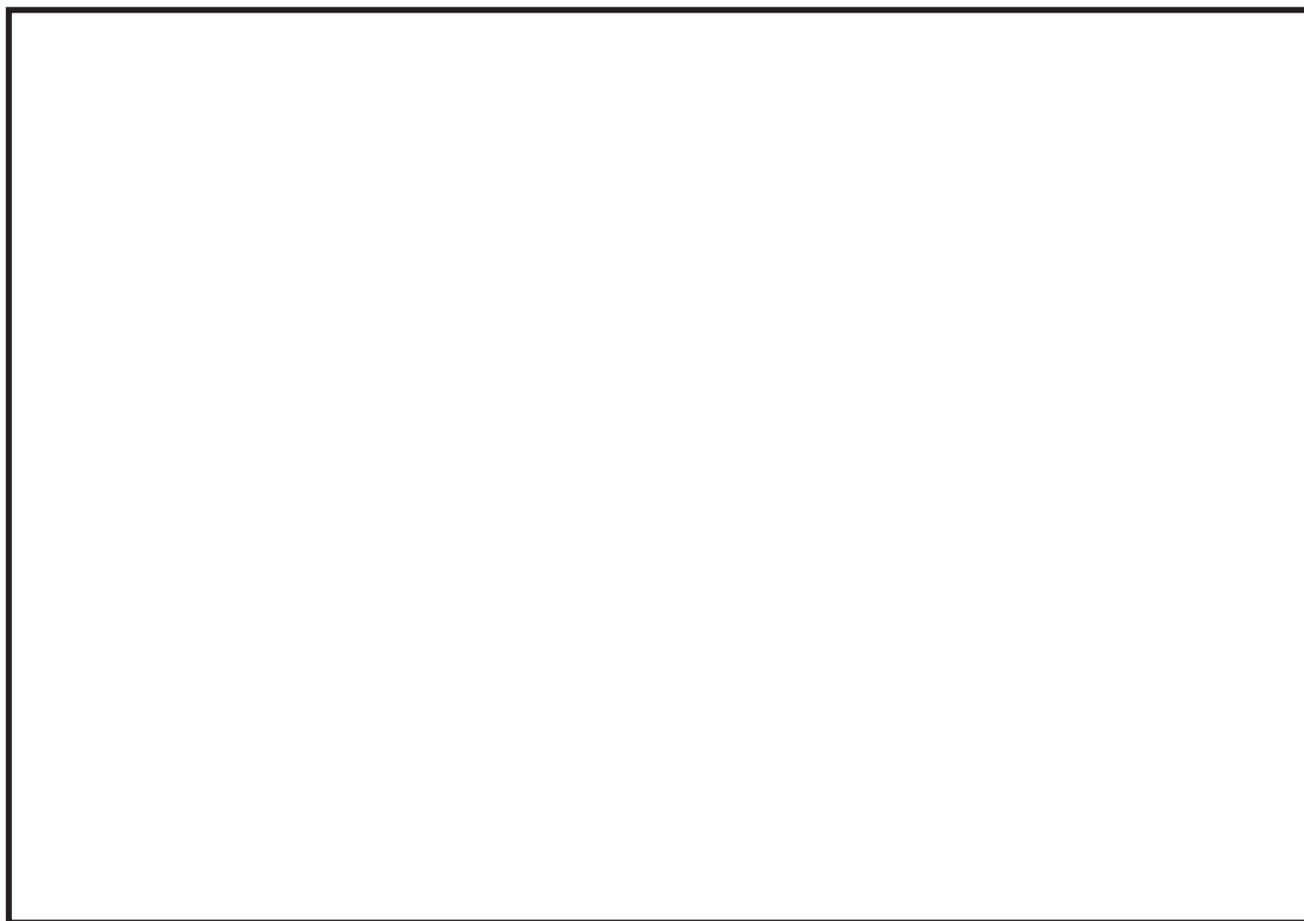


図 4-3 その 1 振動モード (1 次モード 鉛直方向 0.040 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

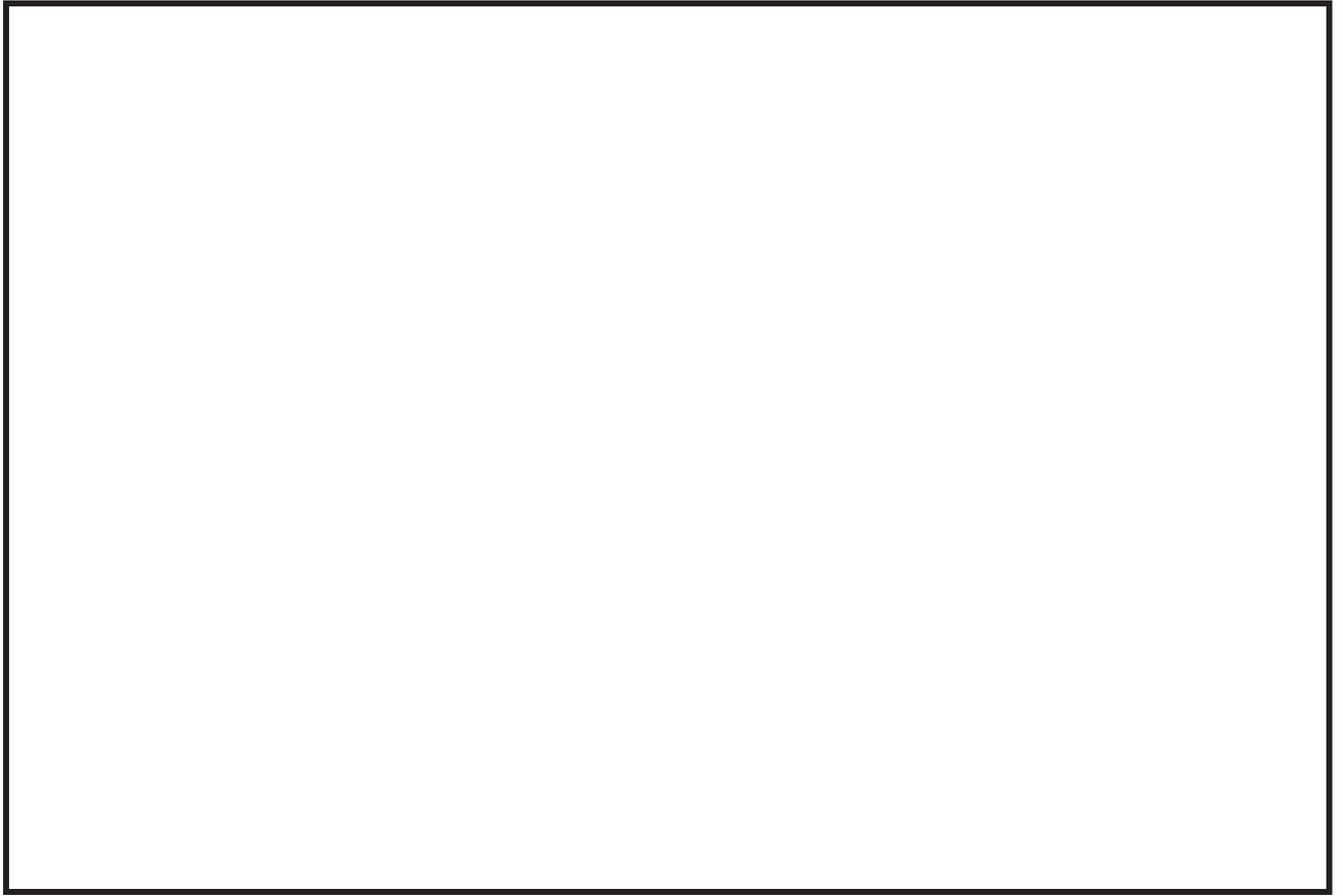


図 4-4 その2 振動モード (1次モード 鉛直方向 0.040 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「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 4-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

形状	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震力 $S_d$ 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
その 1	原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 33.81)	0.031	0.040	—	—	$C_H=2.71$	$C_V=1.78$
その 2	原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 41.911)	0.027	0.040	—	—	$C_H=3.73$	$C_V=1.91$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 静的触媒式水素再結合装置本体

静的触媒式水素再結合装置本体の応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X，Y）を考慮し、三次元シェル要素による解析結果を用いる。ここで、応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$

### 4.6.2 架台

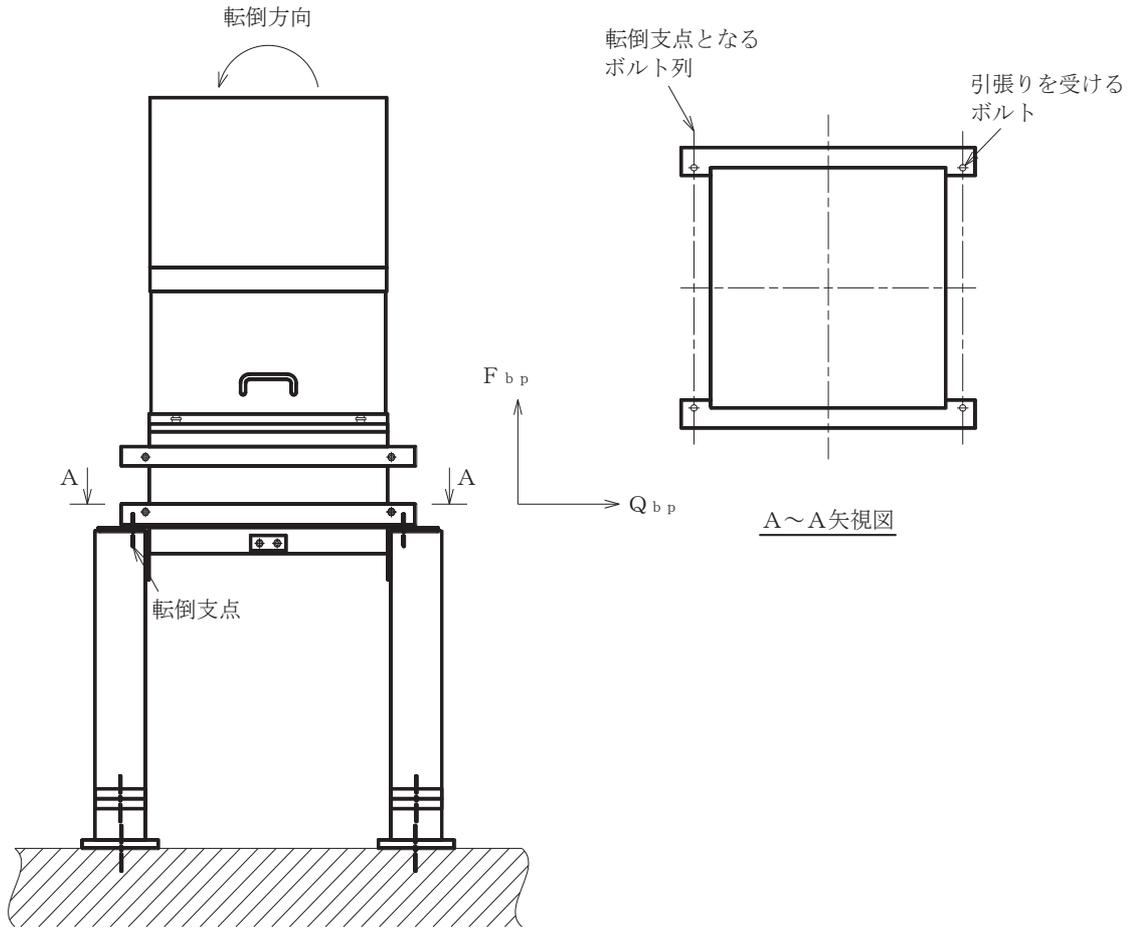
架台の応力は、静的触媒式水素再結合装置本体と同様に、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X，Y）を考慮し、三次元シェル要素による解析結果を用いる。応力の算出式は静的触媒式水素再結合装置本体と同様である。

### 4.6.3 取付ボルト

取付ボルトの応力は、解析結果で得られた反力から理論式により引張応力及びせん断応力を算出する。

解析で得られた取付ボルトの反力を表 4-6 に示す。

その 1



その 2

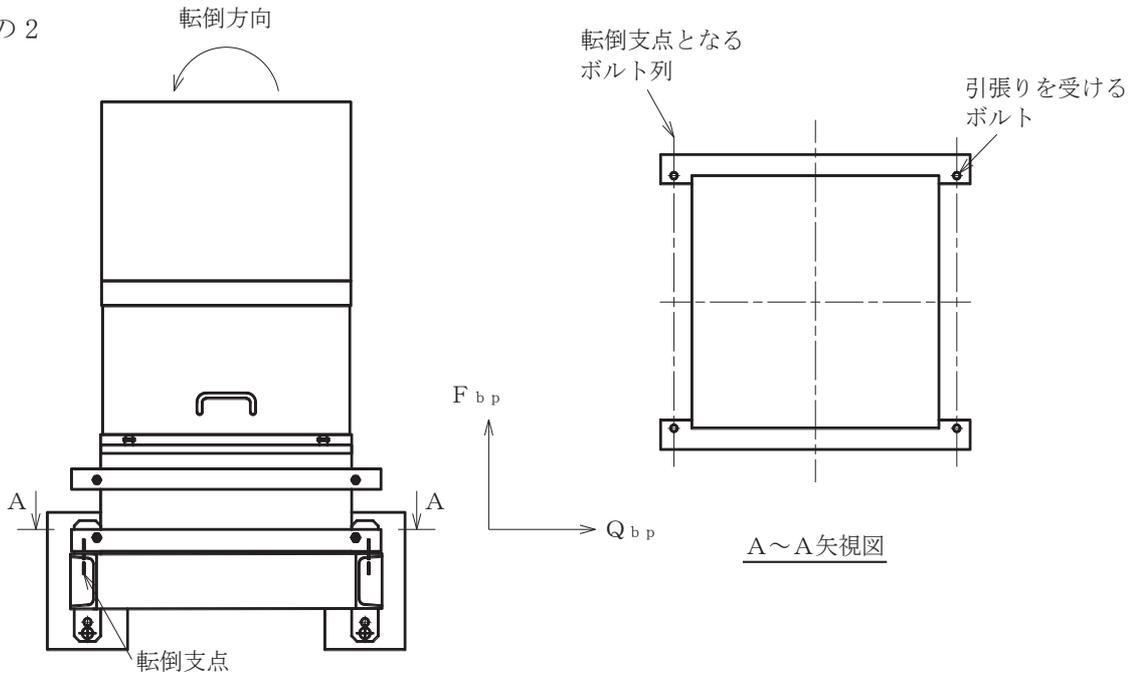
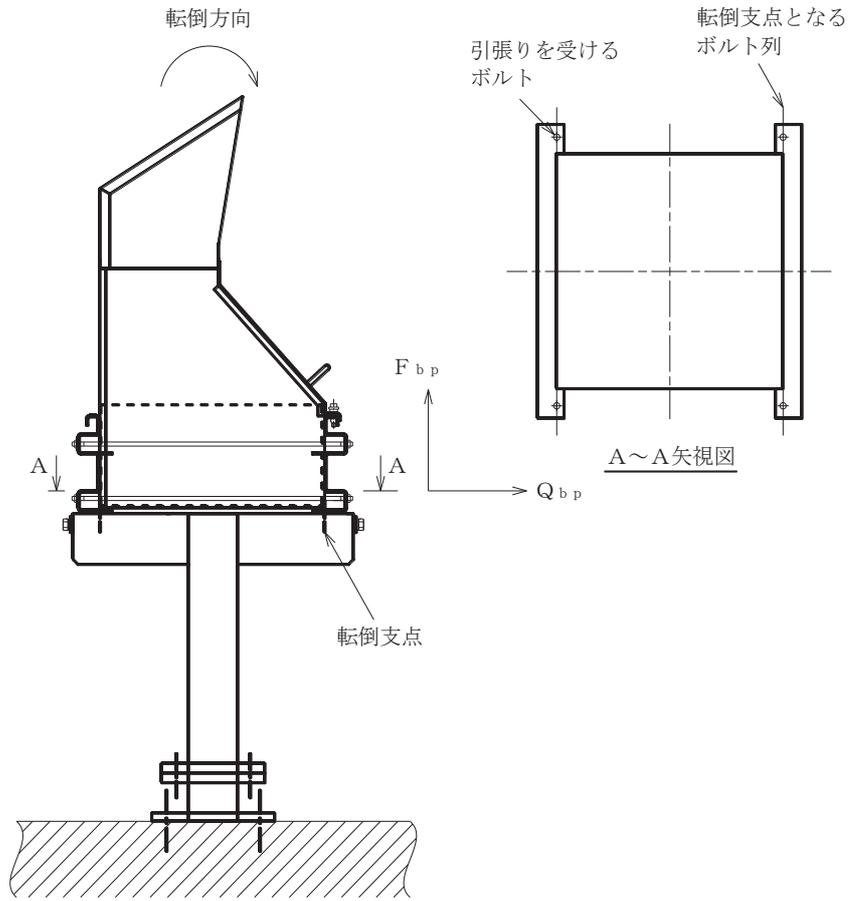


図 4-5 計算モデル（長辺方向転倒）

その1



その2

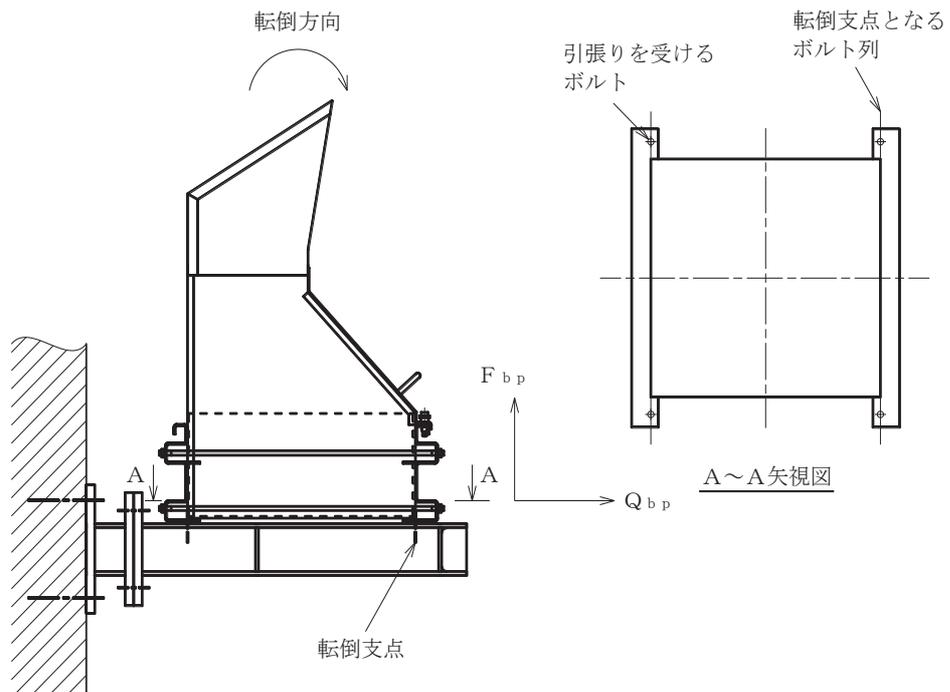


図 4-6 計算モデル (短辺方向転倒)

表 4-6 取付ボルトの発生反力 (単位 : N)

形状	対象機器	反力	
		$F_{b p}$	$Q_{b p}$
その 1	静的触媒式 水素再結合装置	$1.858 \times 10^3$	$1.841 \times 10^3$
その 2	静的触媒式 水素再結合装置	$2.201 \times 10^3$	$2.401 \times 10^3$

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は図 4-5 及び図 4-6 で取付ボルトを支点とする転倒を考え、この片側の取付ボルト 1 本で受けるものとして計算する。

引張応力

$$\sigma_{b p} = \frac{F_{b p}}{A_{b 1}} \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

取付ボルトの軸断面積  $A_{b 1}$  は、次式により求める。

$$A_{b 1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト 1 本で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_{b p} = \frac{Q_{b p}}{A_{b 1}} \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

#### 4.6.4 基礎ボルト

基礎ボルトの応力は、解析で得られた反力及びモーメントから理論式により、引張応力及びせん断応力を算出する。

解析で得られた架台基礎ボルト部の反力及びモーメントを表 4-7 に示す。

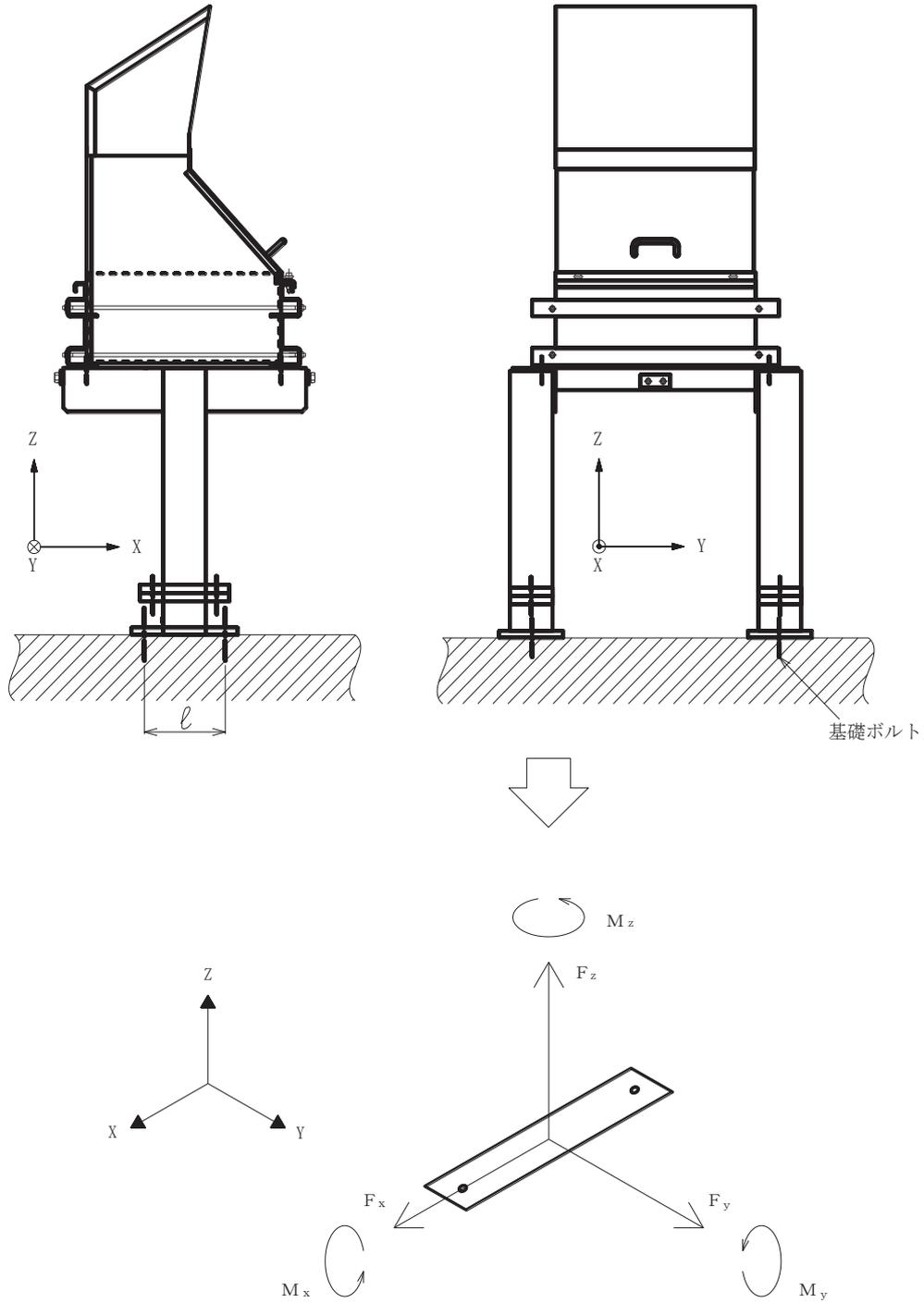


図 4-7 計算モデル (架台基礎ボルト部 (その 1))

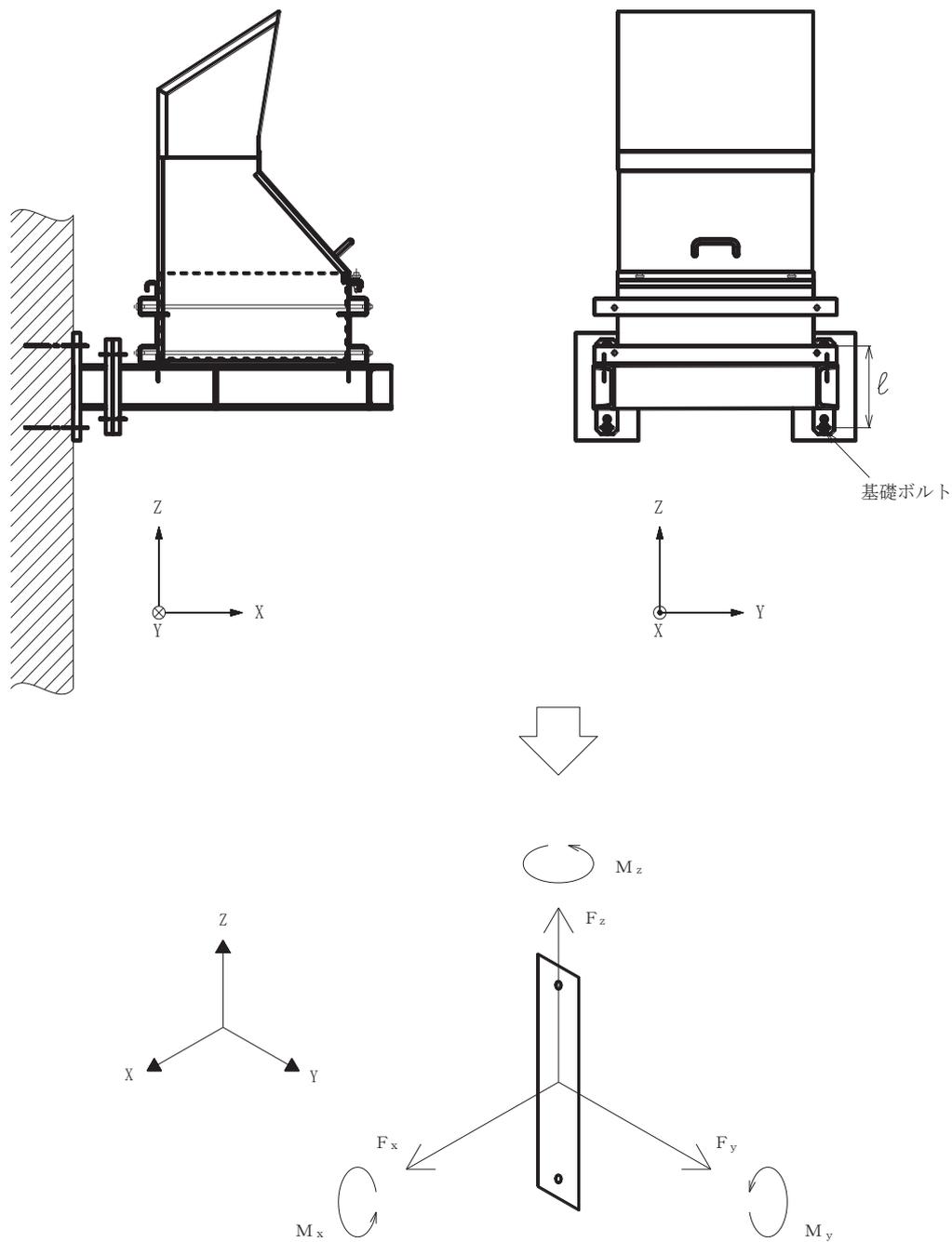


図 4-8 計算モデル (架台基礎ボルト部 (その 2))

表 4-7 基礎ボルトの発生反力, モーメント

形状	対象機器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
		$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
その 1	静的触媒式水素再結合装置	$1.382 \times 10^3$	53.95	$1.418 \times 10^3$	$8.904 \times 10^3$	$7.099 \times 10^5$	$8.796 \times 10^3$
その 2	静的触媒式水素再結合装置	$1.519 \times 10^3$	28.67	$1.185 \times 10^3$	$3.860 \times 10^4$	$4.642 \times 10^5$	$2.484 \times 10^4$

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、次式により求める。

引張応力（その 1）

$$\sigma_{ba} = \frac{F_z}{n_{f2} \cdot A_{b2}} + \frac{M_y}{n_{f3} \cdot \ell \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.4.1)$$

引張応力（その 2）

$$\sigma_{ba} = \frac{F_x}{n_{f2} \cdot A_{b2}} + \frac{M_y}{n_{f3} \cdot \ell \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.4.2)$$

基礎ボルトの軸断面積 $A_{b2}$ は、次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (4.6.4.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、次式により求める。

せん断応力（その 1）

$$\tau_{ba} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n_2 \cdot A_{b2}} + \frac{M_z}{n_2 \cdot \frac{\ell}{2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.4.4)$$

せん断応力（その 2）

$$\tau_{ba} = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n_2 \cdot A_{b2}} + \frac{M_x}{n_2 \cdot \frac{\ell}{2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.4.5)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（静的触媒式水素再結合装置本体及び架台）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の応力評価

4.6.1 項及び 4.6.2 項で求めた静的触媒式水素再結合装置本体及び架台の組合せ応力が許容応力  $f_t$  以下であること。

ただし、 $f_t$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.3 項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma_{bp}$  及び 4.6.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_{ba}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

ただし、 $f_{ts}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力  $\tau_{bp}$  及び  $\tau_{ba}$  はせん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合装置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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合装置（その1）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
静的触媒式水素再結合装置 (その1)	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* <sup>1</sup> (O.P. 33.81)	0.031	0.040	—	—	C <sub>H</sub> =2.71	C <sub>V</sub> =1.78	300	66 (300* <sup>2</sup> )

注記\*1: 基準床レベルを示す。

\*2: 周囲環境温度は66°Cであるが、保守的に機器の最高使用温度である300°Cを使用する。

1.2 機器要目

m <sub>o</sub> (kg)	m <sub>o1</sub> (kg)	ℓ (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	ν	d <sub>1</sub> (mm)	A <sub>b1</sub> (mm <sup>2</sup> )	d <sub>2</sub> (mm)	A <sub>b2</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub>	n <sub>f1</sub> * <sup>1</sup>	n <sub>2</sub>	n <sub>f2</sub>	n <sub>f3</sub>
					0.3	12 (M12)	113.1	12 (M12)	113.1	1	1	2	2	1
											1			

注記\*: 上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
静的触媒式水素再結合装置本体	*1	127	391	171
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	170 (厚さ ≤ 16mm)	373	204
	STKR400	145	373	174
取付ボルト	SUS316	131	427	176
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	150 (40mm < 径 ≤ 100mm)	373	180

注記\*1: SUS304 相当

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b p}$		$Q_{b p}$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト	—	$1.858 \times 10^3$	—	$1.841 \times 10^3$

1.3.2 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—	$1.382 \times 10^3$	—	53.95	—	$1.418 \times 10^3$

1.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—	$8.904 \times 10^3$	—	$7.099 \times 10^5$	—	$8.796 \times 10^3$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	鉛直方向	0.040

1.4.2 応力及び許容荷重 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
静的触媒式 水素再結合装置本体	*	組合せ	—	—	$\sigma_p = 121$	$f_t = 171$
架台	STKR400* <sup>2</sup>	組合せ	—	—	$\sigma_s = 32$	$f_t = 174$
取付ボルト	SUS316	引張り	—	—	$\sigma_{bp} = 17$	$f_{ts} = 132^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 17$	$f_{sb} = 102$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{ba} = 40$	$f_{ts} = 108^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 7$	$f_{sb} = 83$

すべて許容応力以下である。

注記\*1：SUS304 相当

\*2：最大応力発生部の材料を示す。

\*3： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ にて算出

【静的触媒式水素再結合装置（その2）の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
静的触媒式 水素再結合装置 (その2)	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1 (O.P. 41.911)	0.027	0.040	—	—	C <sub>H</sub> =3.73	C <sub>V</sub> =1.91	300	66 (300*2)

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：周囲環境温度は66°Cであるが、保守的に機器の最高使用温度である300°Cを使用する。

2.2 機器要目

m <sub>o</sub> (kg)	m <sub>o1</sub> (kg)	ℓ (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	ν	d <sub>1</sub> (mm)	A <sub>b1</sub> (mm <sup>2</sup> )	d <sub>2</sub> (mm)	A <sub>b2</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub>	n <sub>f1</sub> * 1	n <sub>2</sub>	n <sub>f2</sub>	n <sub>f3</sub>
					0.3	12 (M12)	113.1	12 (M12)	113.1	1	1	2	2	1
											1			

注記\*：上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
静的触媒式 水素再結合装置本体	*1	127	391	171
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	170 (厚さ ≤ 16mm)	373	204
取付ボルト	SUS316	131	427	176
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	150 (40mm < 径 ≤ 100mm)	373	180

注記\*1：SUS304相当

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 計算数値

2.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{bp}$		$Q_{bp}$	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト	—	$2.201 \times 10^3$	—	$2.401 \times 10^3$

2.3.2 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—	$1.519 \times 10^3$	—	28.67	—	$1.185 \times 10^3$

2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—	$3.860 \times 10^4$	—	$4.642 \times 10^5$	—	$2.484 \times 10^4$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	鉛直方向	0.040

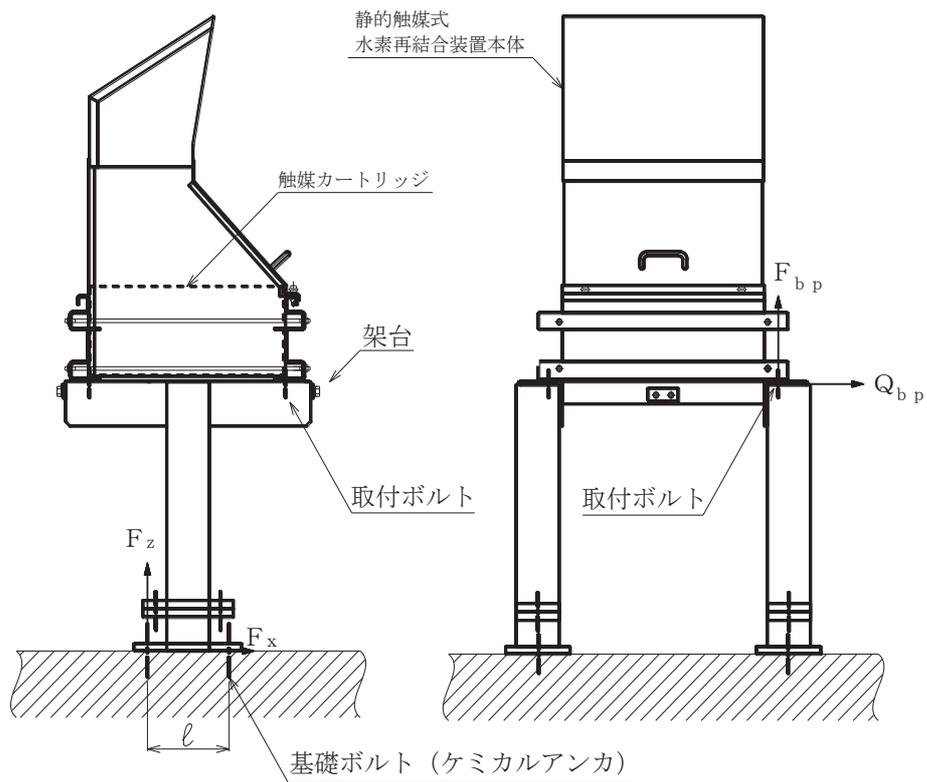
2.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
静的触媒式 水素再結合装置本体	[ ] <sup>*1</sup>	組合せ	—	—	$\sigma_p = 141$	$f_t = 171$
架台	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 46$	$f_t = 204$
取付ボルト	SUS316	引張り	—	—	$\sigma_{bp} = 20$	$f_{ts} = 132^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 22$	$f_{sb} = 102$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{ba} = 29$	$f_{ts} = 108^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 7$	$f_{sb} = 83$

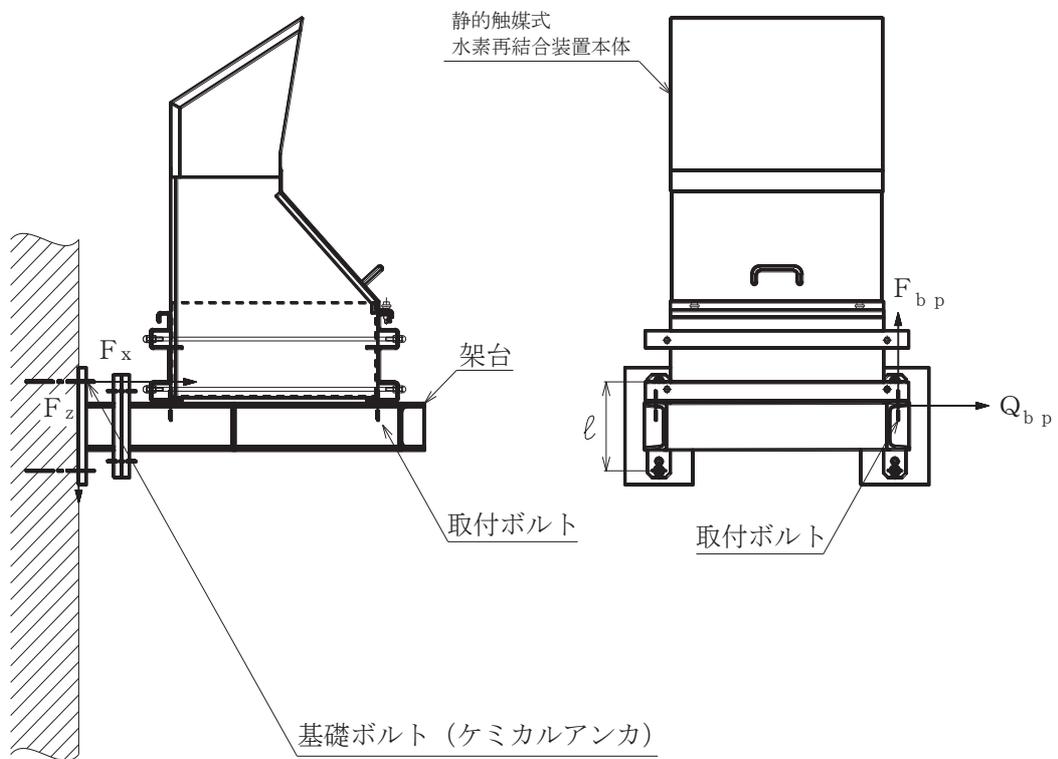
すべて許容応力以下である。

注記\*1：SUS304 相当

\*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$  にて算出



静的触媒式水素再結合装置 (その 1)



静的触媒式水素再結合装置 (その 2)

VI-2-9-4-4-4 可搬型窒素ガス供給系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-4-4-1 管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）

VI-2-9-4-4-4-1 管の耐震性についての計算書  
(可搬型窒素ガス供給系)

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力評価条件	18
3.5 設計用地震力	19
4. 解析結果及び評価	20
4.1 固有周期及び設計震度	20
4.2 評価結果	26
4.2.1 管の応力評価結果	26
4.2.2 支持構造物評価結果	27
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	28
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	29

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可搬型窒素ガス供給系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

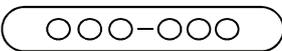
### (3) 弁

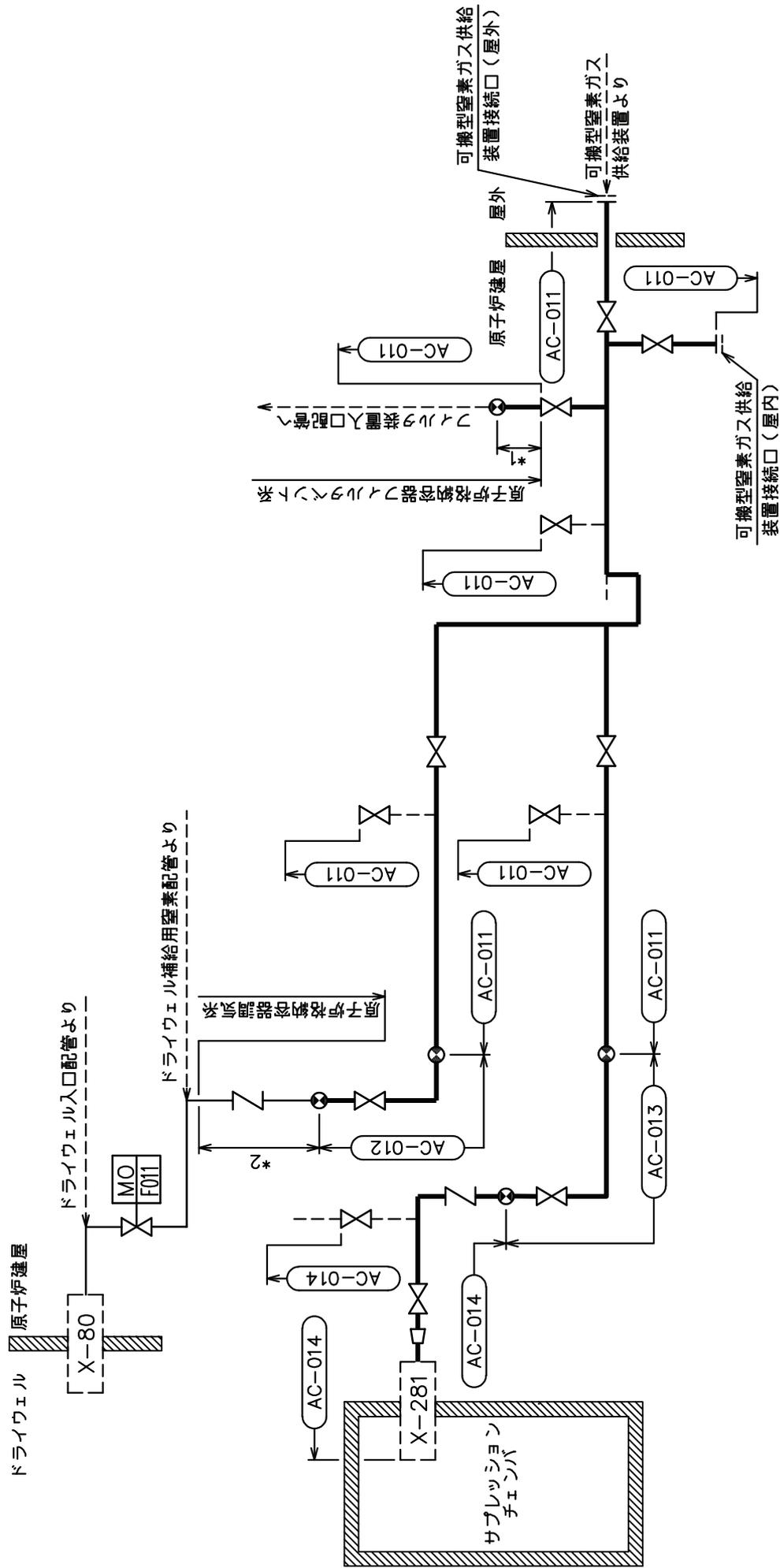
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

### 2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

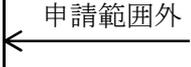
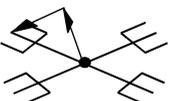
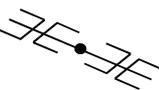
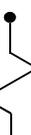
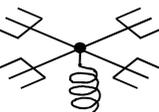
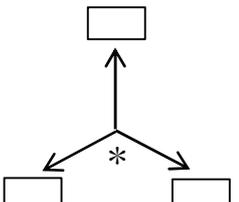


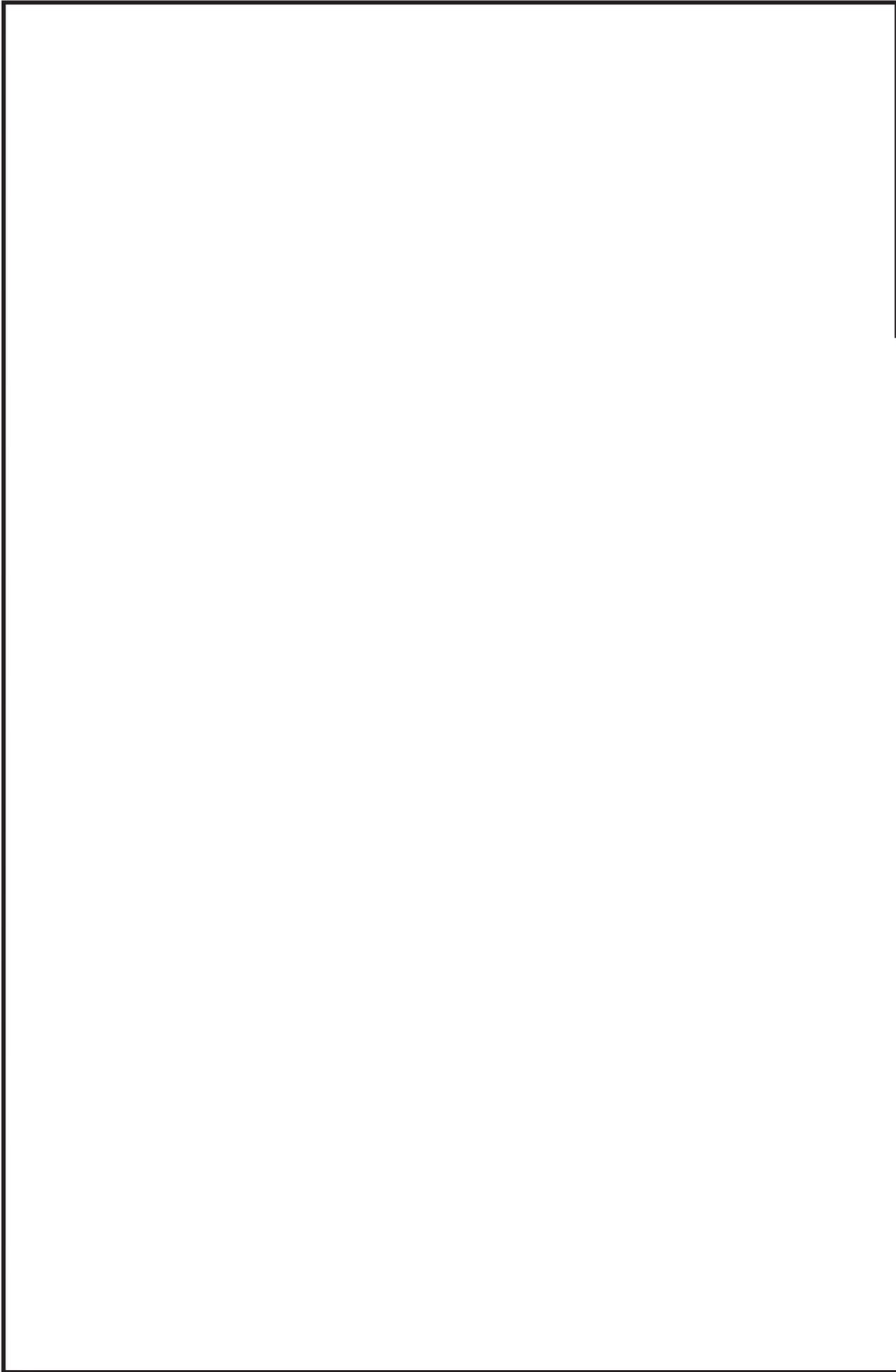
注記 \*1：原子炉格納容器フィルタベント系  
解析モデル上本系統に含める。  
\*2：解析モデル上  
原子炉格納容器調気系に含める。

可搬型窒素ガス供給系概略系統図

2.2 鳥瞰図

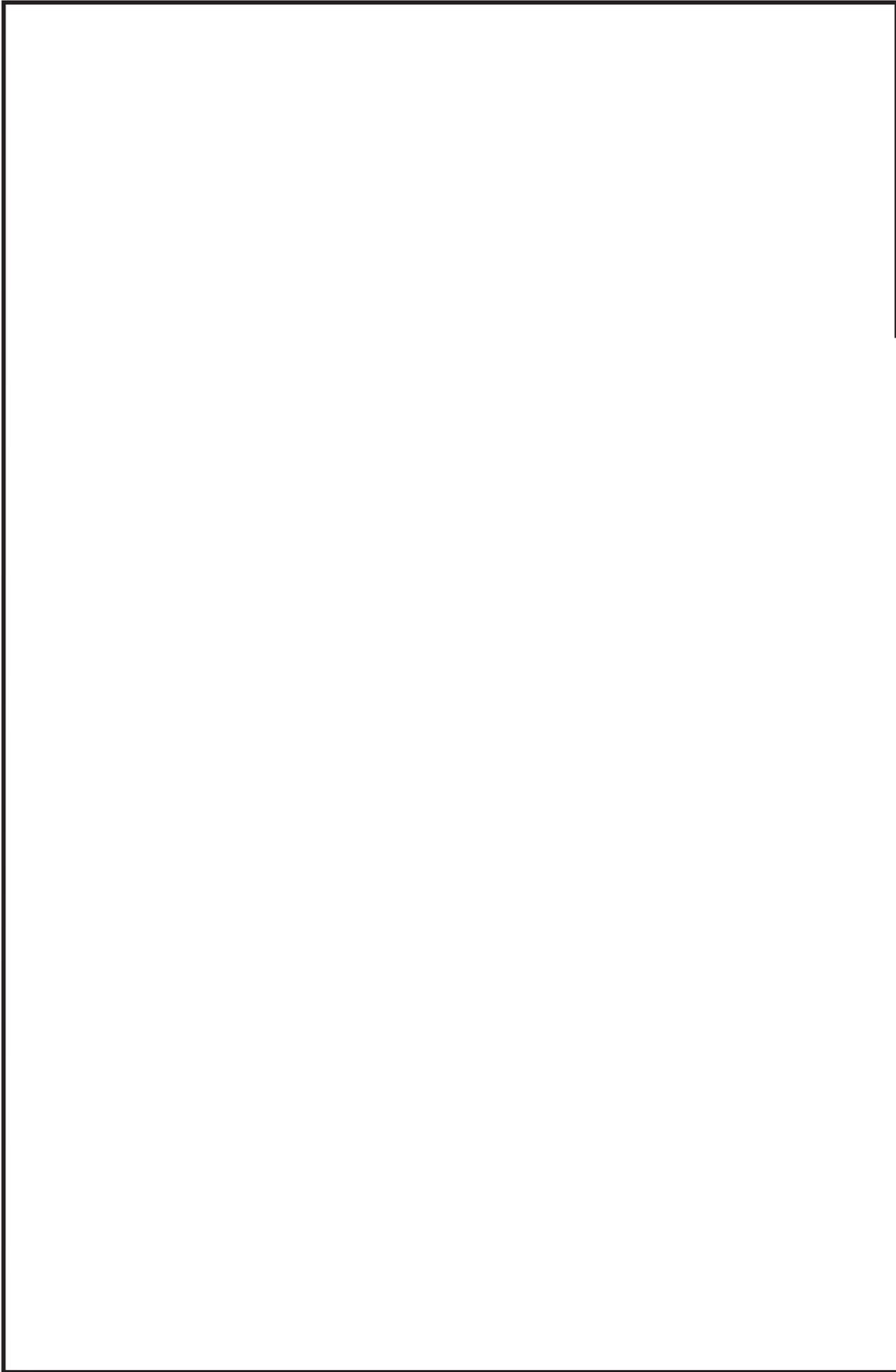
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



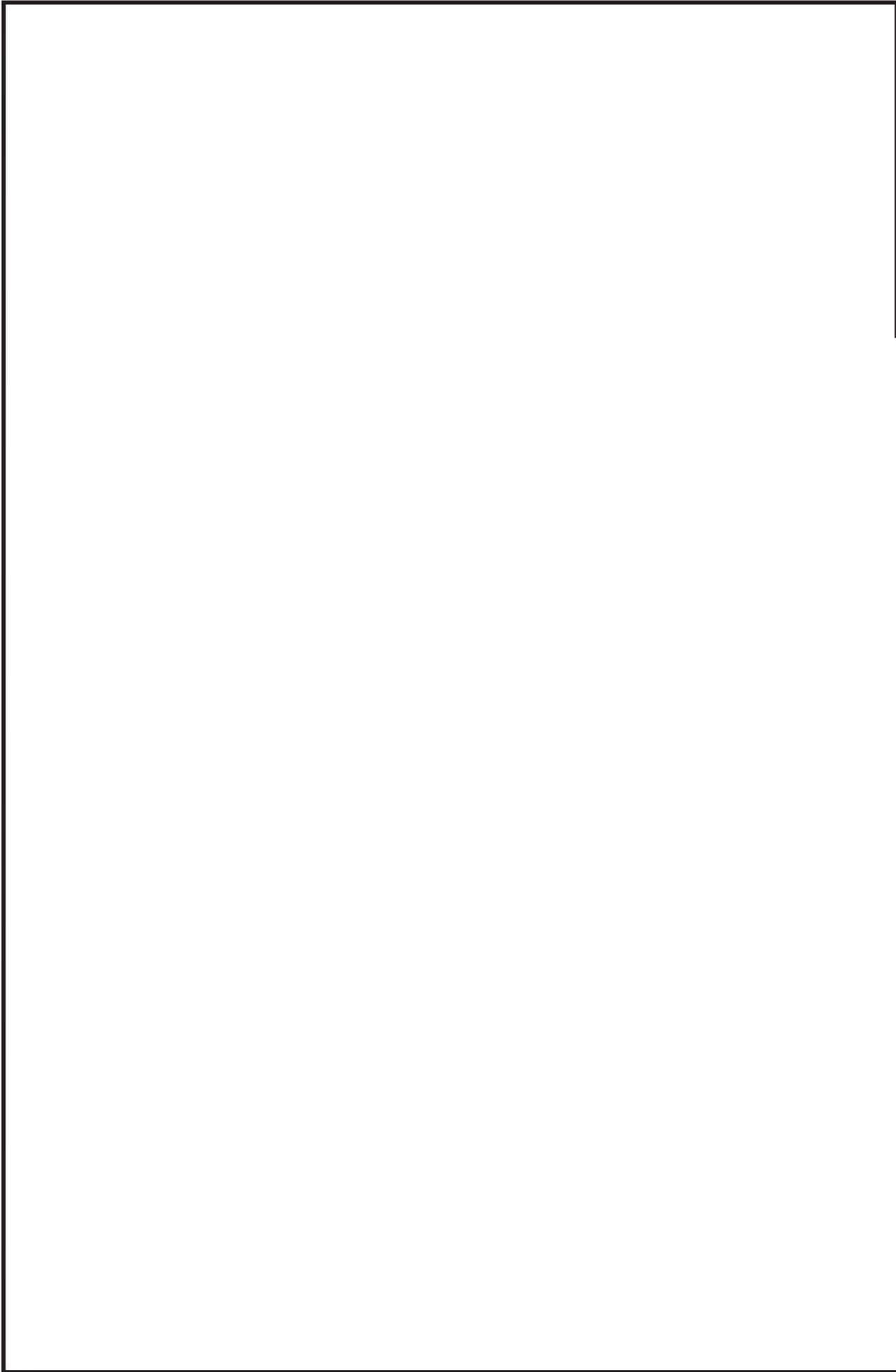
鳥瞰図 AC-014-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-014-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

AC-014-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	可搬型窒素ガス供給系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	原子炉格納容器フィルタバベント系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	原子炉格納容器フィルタバベント系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器フィルタバベント系	SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し，許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 1 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	854kPa (0.854MPa)	66	60.5	5.5	STS410	—	200360
2	854kPa (0.854MPa)	200	60.5	5.5	STS410	—	191000
3	854kPa (0.854MPa)	200	34.0	4.5	STS410	—	191000
4	854kPa (0.854MPa)	200	34.0	3.4	SUS316LTP	—	183000

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図                      A C - 0 1 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
2	143														
	107	108	109	110	111	112	114	115	116	117	118	119	120	121	122
3	123	124	125	142											
	125	126	127	128	129										
4	129	130	131	132											

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 AC-014

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		27		53		79		108	
2		28		54		80		109	
3		29		55		81		110	
4		30		56		82		111	
5		31		57		83		115	
6		32		58		84		116	
7		33		59		85		117	
8		34		60		86		118	
9		35		61		87		119	
10		36		62		88		120	
11		37		63		89		121	
12		38		64		90		122	
13		39		65		91		123	
14		40		66		92		124	
15		41		67		93		125	
16		42		68		94		126	
17		43		69		95		127	
18		44		70		96		128	
19		45		71		97		129	
20		46		72		98		130	
21		47		73		99		131	
22		48		74		100		132	
23		49		75		101		142	
24		50		76		102		143	
25		51		77		103			
26		52		78		104			

O2 ⑥ VI-2-9-4-4-4-1(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 AC-014

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
105		112	
106		113	
107		114	
	135		
	136		

鳥 瞰 図 AC-014

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	106			
弁2	113			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
** 8 **						
10						
** 10 **						
12						
** 12 **						
17						
** 17 **						
24						
** 24 **						
31						
** 31 **						
33						
** 33 **						
35						
** 35 **						
44						
46						
48						
50						
53						
62						
** 62 **						
64						
** 64 **						
66						
** 66 **						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 69 **						
76						
** 76 **						
78						
** 78 **						
80						
** 80 **						
82						
** 82 **						
** 89 **						
92						
** 92 **						
94						
** 94 **						
** 96 **						
111						
115						
120						
** 120 **						
122						
** 122 **						
** 133 **						

[Redacted area]

O2 ⑥ VI-2-9-4-4-1(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
136						
142						
143						

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	200	—	207	404	—
SUS316LTP	200	—	120	407	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
A C - 0 1 4	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 AC-014

モード	適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
	固有周期 (s)	応答水平 震度*1	応答水平 震度*1	応答鉛直震度*1		応答水平 震度*1	応答鉛直震度*1	
				X 方向	Z 方向		X 方向	Z 方向
1 次		Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	
2 次		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
3 次								
4 次								
5 次								
6 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>I</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

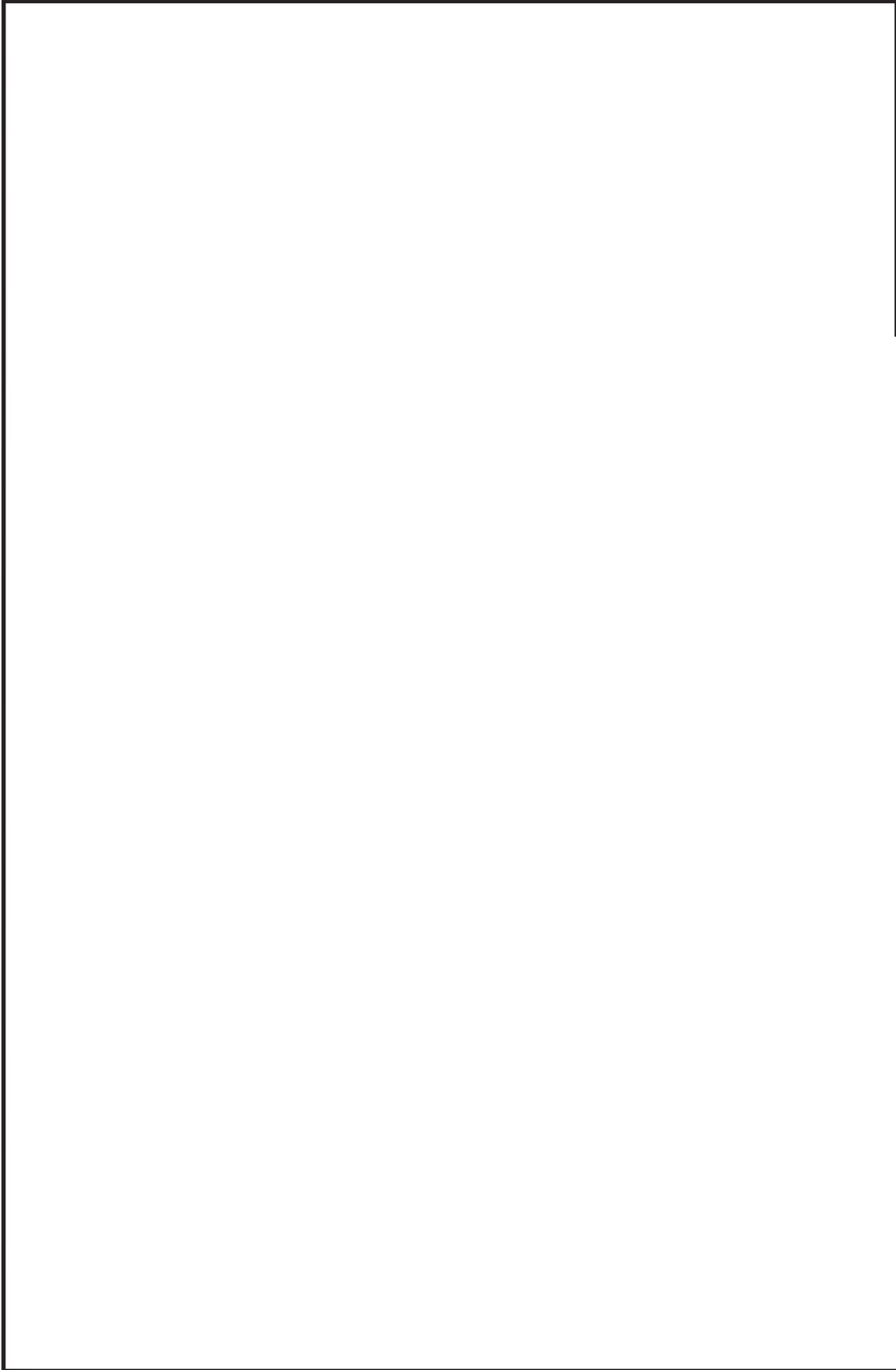
鳥瞰図 AC-014

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

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。

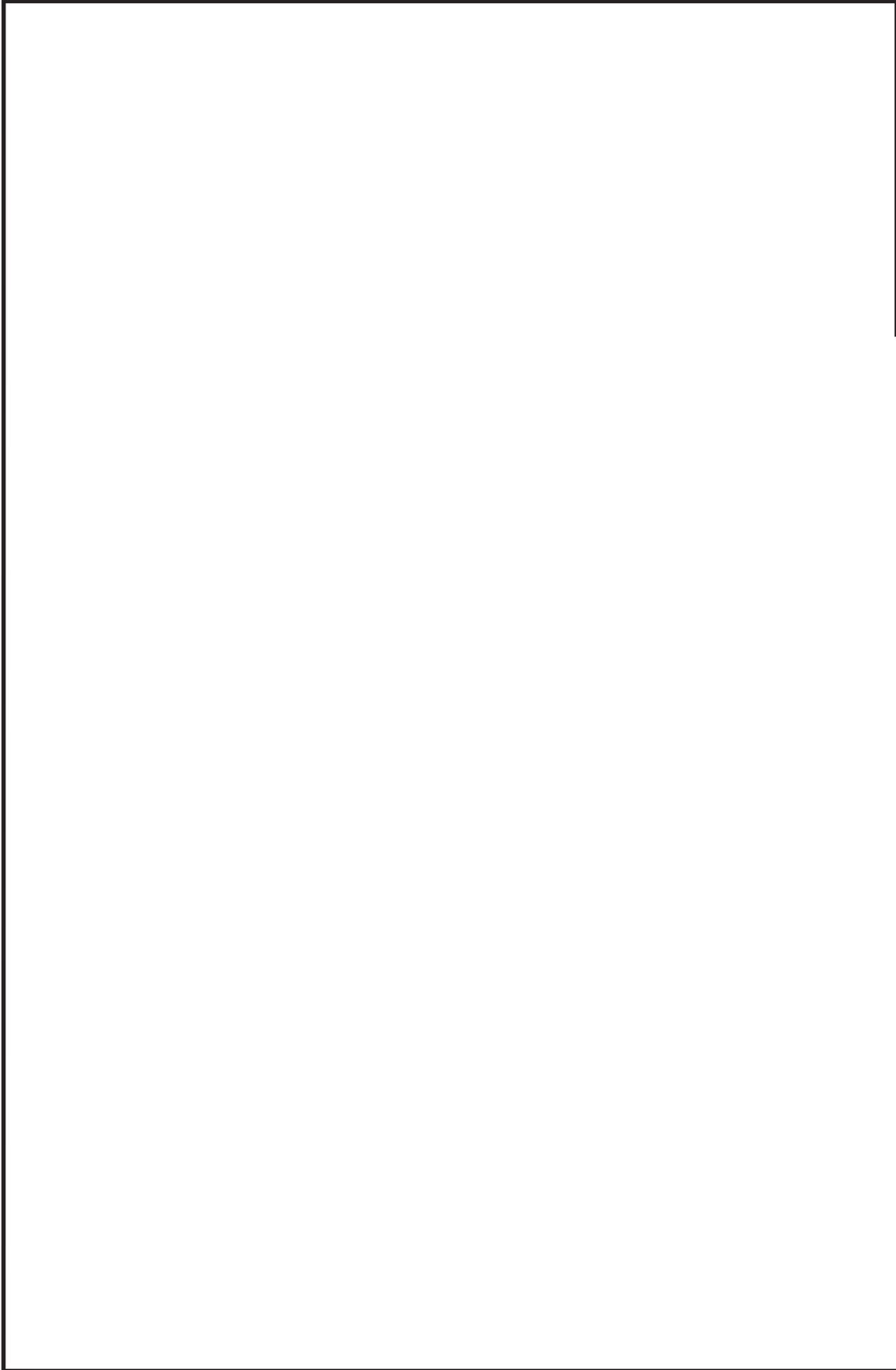
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



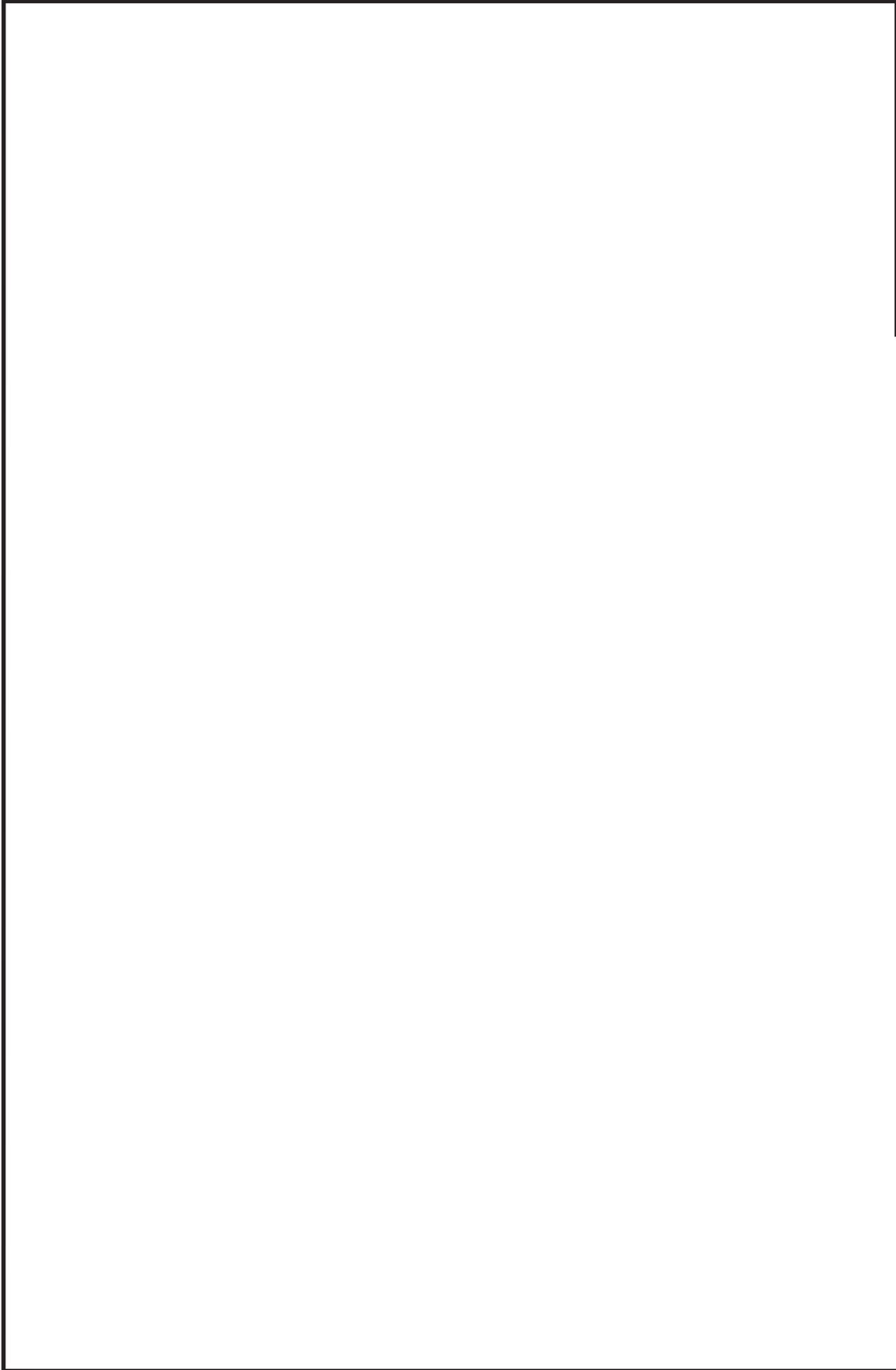
鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
AC-014	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	40 40	Spr m(S s) S n(S s)	146 —	366 —	— 291	— 462	— — U S s

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
AC-011-051B	ロッドレストレイント	RTS-06	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		2	9
AC-014-136SA	メカニカルスナツバ	SMS-06-100			2	9
AC-014-136SB	メカニカルスナツバ	SMS-06-100			3	9

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
AC-013-070A	アソカ	ラダ	SGV410	66	4	5	11	2	2	1	曲げ	154	490	
AC-014-053R	レストレイント	Uボルト	SS400	130	2	0	5	—	—	—	せん断	77	147	

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS														
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表		
1	AC-011	134	82	366	4.46	—	134	179	462	2.58	—	—	—	—		
2	AC-012	71	26	366	14.07	—	1	101	462	4.57	—	—	—	—		
3	AC-013	13	29	366	12.62	—	11	71	462	6.50	—	—	—	—		
4	AC-014	40	146	366	2.50	○	40	291	462	1.58	○	—	—	—		

VI-2-9-4-5 原子炉格納容器調気設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-5-1 原子炉格納容器調気系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1 原子炉格納容器調気系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）

VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器調気系)

## 設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力評価条件	23
3.5 設計用地震力	24
4. 解析結果及び評価	25
4.1 固有周期及び設計震度	25
4.2 評価結果	31
4.2.1 管の応力評価結果	31
4.2.2 支持構造物評価結果	32
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	33
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	34

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉格納容器調気系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

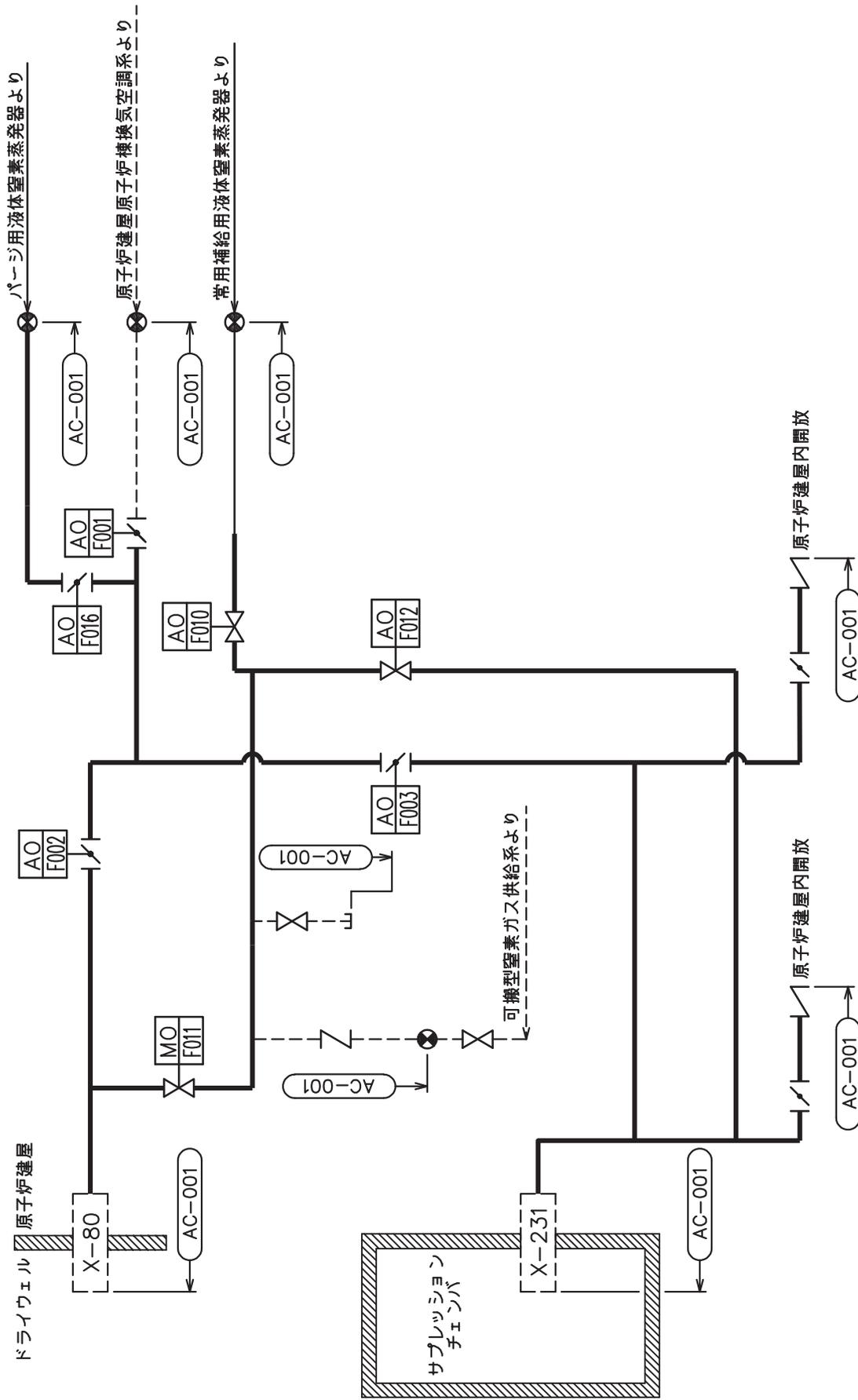
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

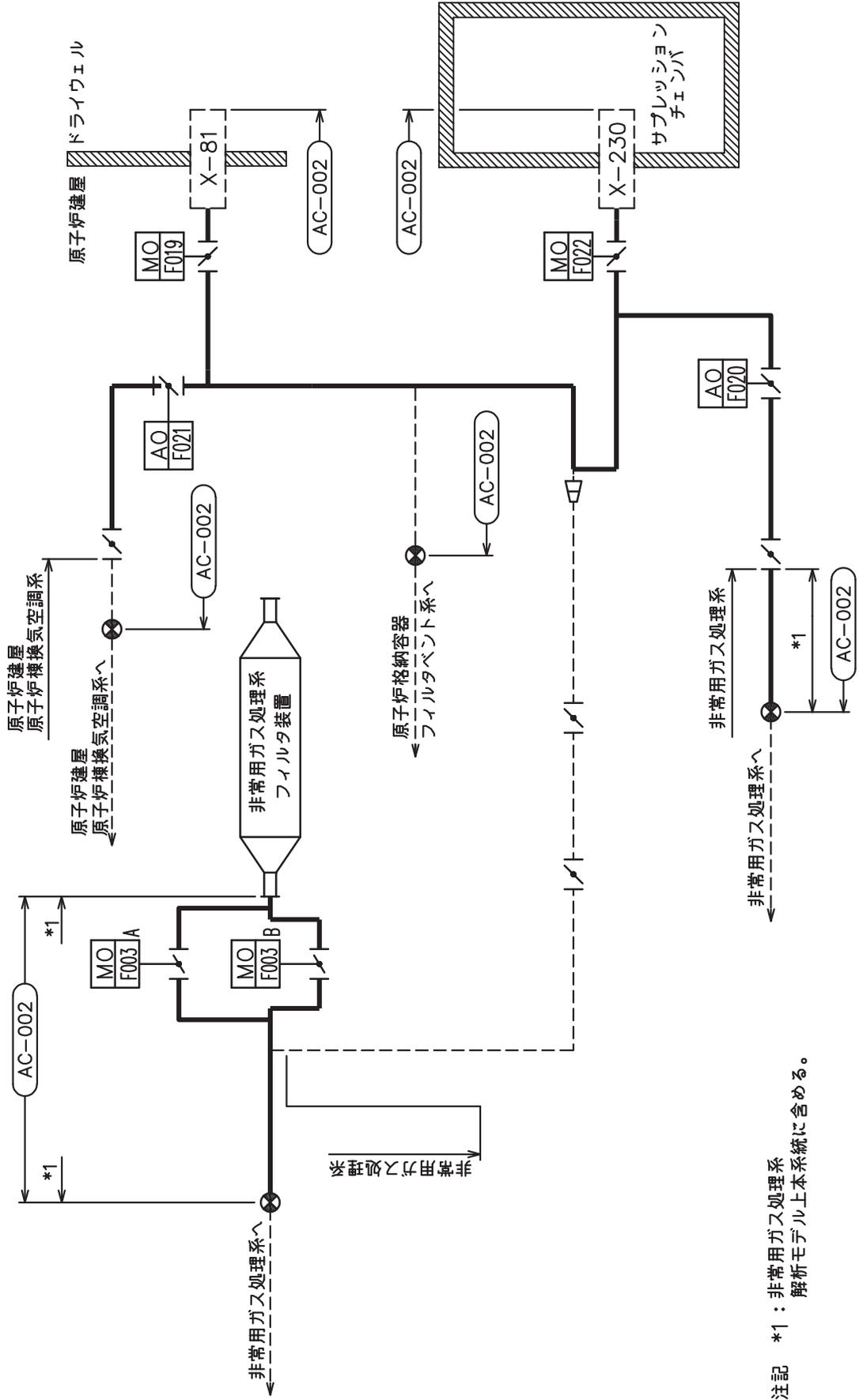
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



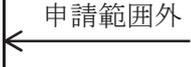
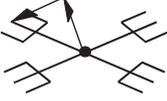
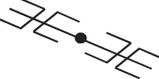
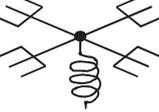
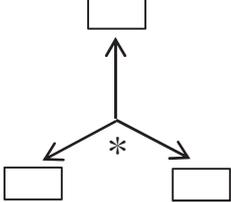


注記 \*1: 非常用ガス処理系  
解析モデル上本系統に含める。

原子炉格納容器調気系概略系統図 (その2)

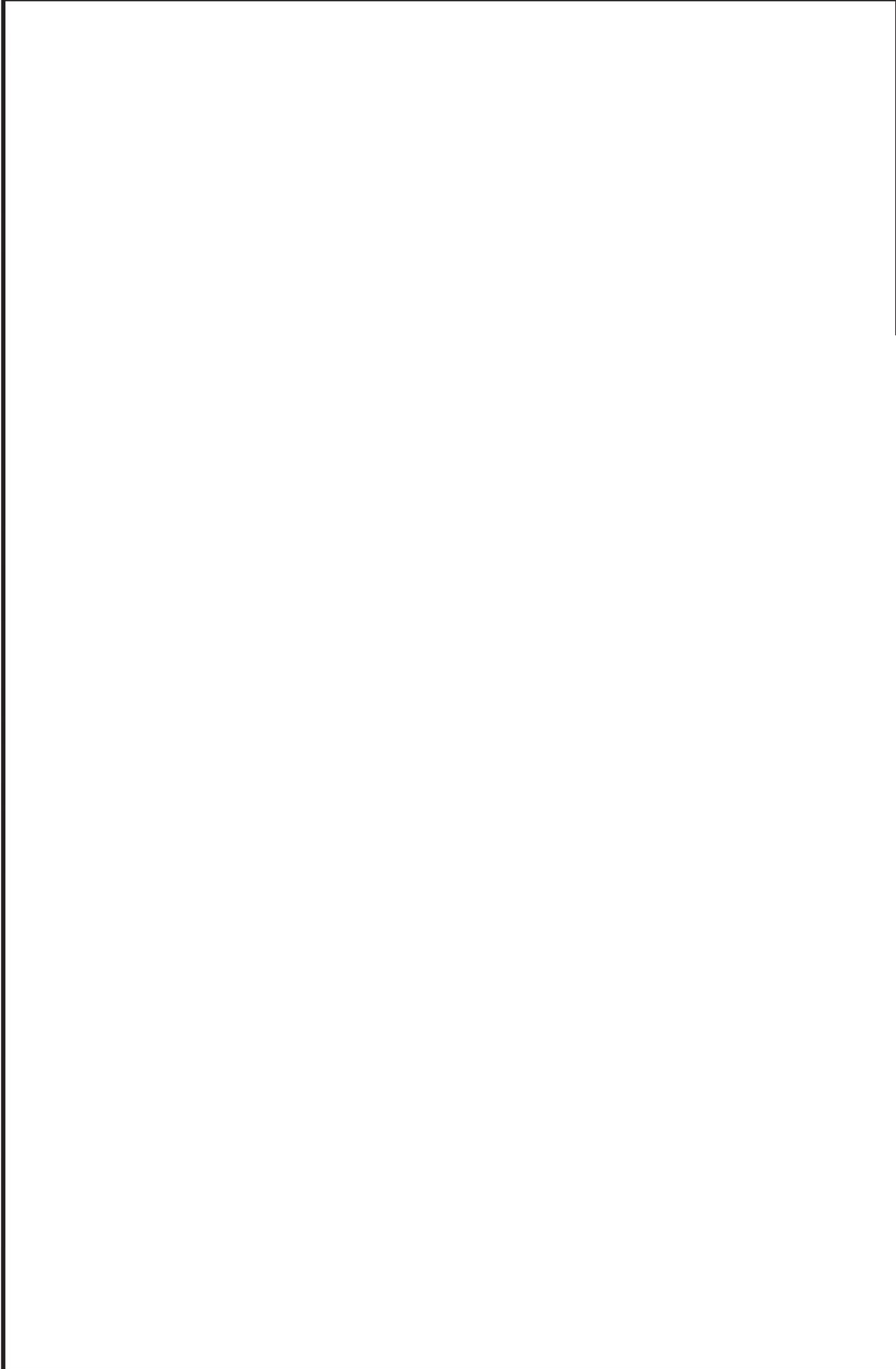
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)</p>

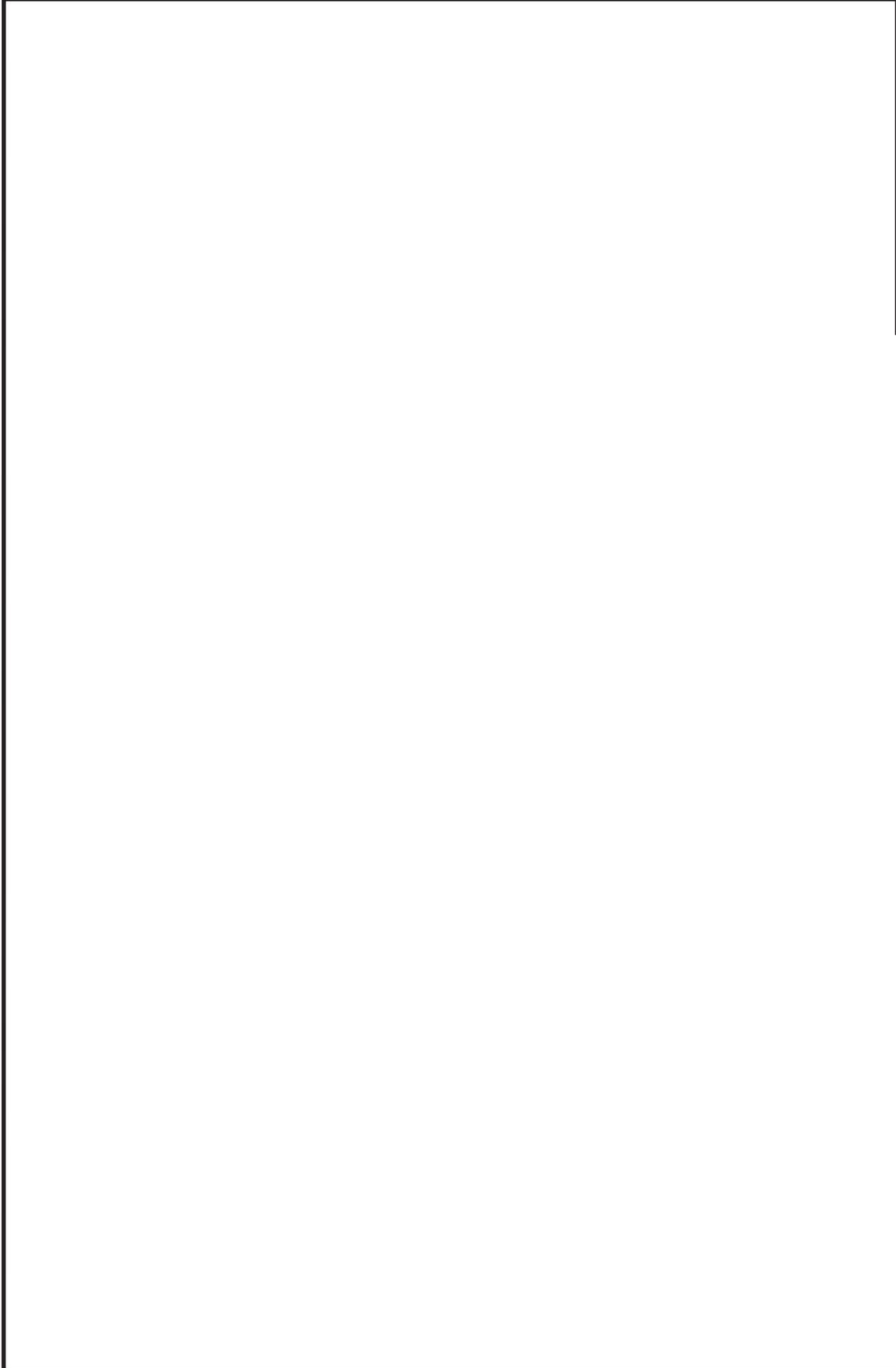
鳥瞰図 AC-001-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



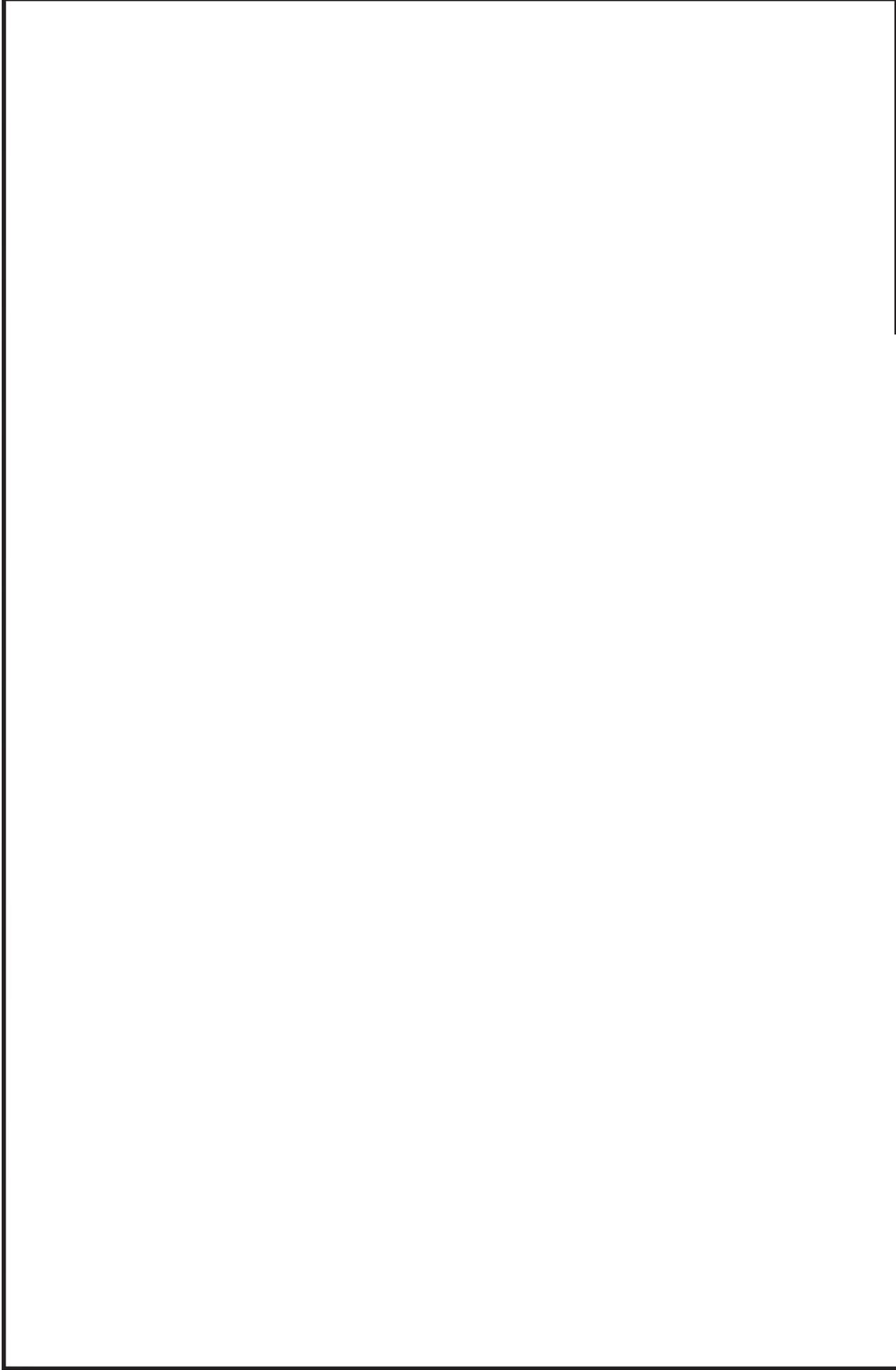
鳥瞰図 AC-001-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



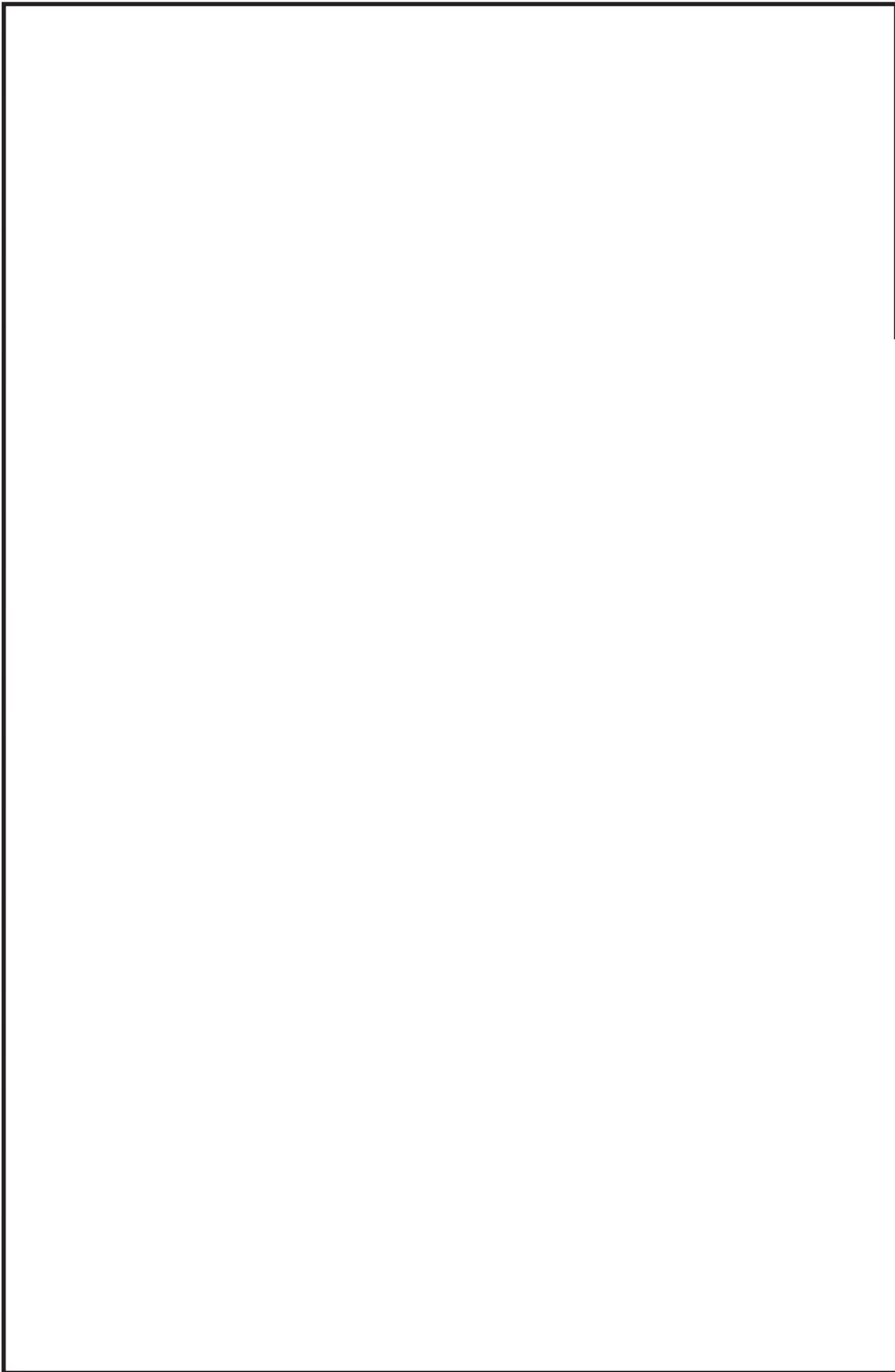
鳥瞰図 AC-001-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



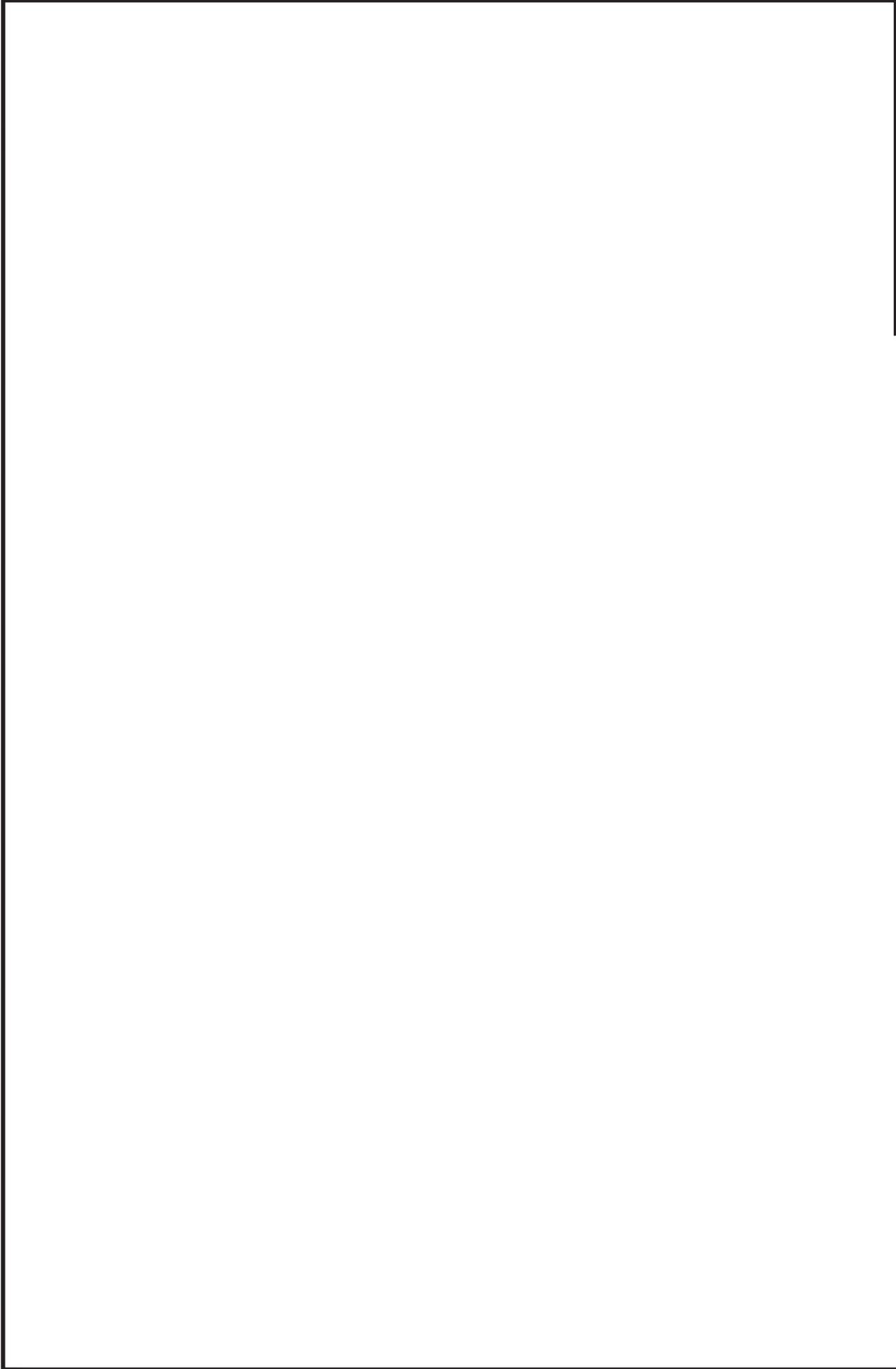
鳥瞰図 AC-001-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-001-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図	AC-001-6/6
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *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	原子炉格納容器調気系	DB	—	クラス2管	S	I <sub>L</sub> +S d	III <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> +S d	
							I <sub>L</sub> +S s	
							II <sub>L</sub> +S s	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	非常用ガス処理系	DB	—	クラス4管	S	I <sub>L</sub> +S d	III <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> +S d	
							I <sub>L</sub> +S s	
							II <sub>L</sub> +S s	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	427kPa (0.427MPa)	171	609.6	9.5	SM400C	S	193320
2	427kPa (0.427MPa)	66	457.2	9.5	SM400C	S	200360
3	427kPa (0.427MPa)	171	457.2	9.5	SM400C	S	193320
4	427kPa (0.427MPa)	171	60.5	5.5	S25C	S	193320
5	427kPa (0.427MPa)	104	609.6	31.0	SM400C	S	197680
6	427kPa (0.427MPa)	104	609.6	9.5	SM400C	S	197680
7	427kPa (0.427MPa)	66	60.5	5.5	STPT370	S	200360
8	427kPa (0.427MPa)	171	60.5	5.5	STS410	S	193320
9	427kPa (0.427MPa)	104	60.5	5.5	STS410	S	197680

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
10	427kPa (0.427MPa)	104	60.5	5.5	S25C	S	197680

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	18	20	21	29	30	31	32	33	34	120	150	151	159	160	167	
	801	802	806	807	905	906	915	917	918	930						
2	23	24	168													
3	4	26	27	28	808	937	938									
4	154	157	167													
5	36	37	38	39	40	41	49	56	69	108	155	156	161	162	163	
	501	521	561	641	830	901	919	964								
6	45	46	47	52	53	54	803	804	904							
7	75	965														
8	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	
	104	154	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	
	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	439	440	441	442	443	
	444	445	832	903	907	908	910	911	912	913						
9	106	107	158	177	933											
10	108	158	202													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図            A C - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
4		40		156		429		832	
5		41		157		430		901	
6		46		158		431		903	
7		53		159		432		904	
8		69		160		433		905	
9		78		161		434		906	
10		79		162		435		907	
11		80		163		436		908	
12		81		167		440		910	
13		82		168		441		911	
14		83		177		442		912	
15		84		202		443		913	
16		85		415		444		915	
17		86		416		445		917	
21		87		417		501		918	
23		88		418		521		919	
27		89		419		561		930	
28		90		420		641		933	
29		91		421		801		937	
30		107		422		802		938	
31		108		423		803		964	
32		120		424		804		965	
33		150		425		806			
37		151		426		807			
38		154		427		808			
39		155		428		830			

O 2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1 (設) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 AC-001

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)								
1		18		75		34		24	
2		19		76		35		25	
3		20		77		36		26	
57		59		109		63		61	
121		124		110		127		136	
58		60				64		62	
122		125				128		137	
123		126				129		138	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 10	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
104		43		47		50		54	
105		44		48		51		55	
106		45		49		52		56	
113				65				67	
114				130				133	
				66				68	
		131		134					
		132		135					

弁 11	
評価点	質量(kg)
437	
438	
439	
446	
447	

鳥 瞰 図 AC-001

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	2			
弁2	19			
弁3	76			
弁4	35			
弁5	25			
弁6	105			
弁7	44			
弁8	48			
弁9	51			
弁10	55			
弁11	438			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
9						
** 9 **						
17						
** 17 **						
** 22 **						
23						
** 33 **						
** 42 **						
46						
** 46 **						
53						
** 53 **						
85						
** 85 **						
91						
** 91 **						
** 120 **						
** 420 **						
427						
** 427 **						

[Redacted area]

O2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(設) R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
431						
** 431 **						
436						
** 436 **						
441						
** 441 **						
447						
** 901 **						
** 903 **						
** 904 **						
** 905 **						
906						
** 913 **						
915						
** 917 **						
918						
** 919 **						
** 930 **						
** 937 **						
** 938 **						
** 964 **						

[Redacted area]

O2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(設) R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
78						
** 78 **						
102						
** 102 **						
110						
** 110 **						
114						
** 114 **						
933						
** 933 **						
965						
** 965 **						

O2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(設) R0

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
S25C	104	—	242	406	—
	171	—	224	406	—
SM400C*1	66	—	234	385	—
	104	—	219	373	—
	171	—	201	373	—
SM400C*2	104	—	210	373	—
STPT370	66	—	199	360	—
STS410	104	—	219	404	—
	171	—	211	404	—

\*1：板厚が 16mm以下

\*2：板厚が 16mmを超えかつ 40mm以下

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
A C - 0 0 1	原子炉格納容器		
	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 AC-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
9 次							
10 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定められた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定められた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

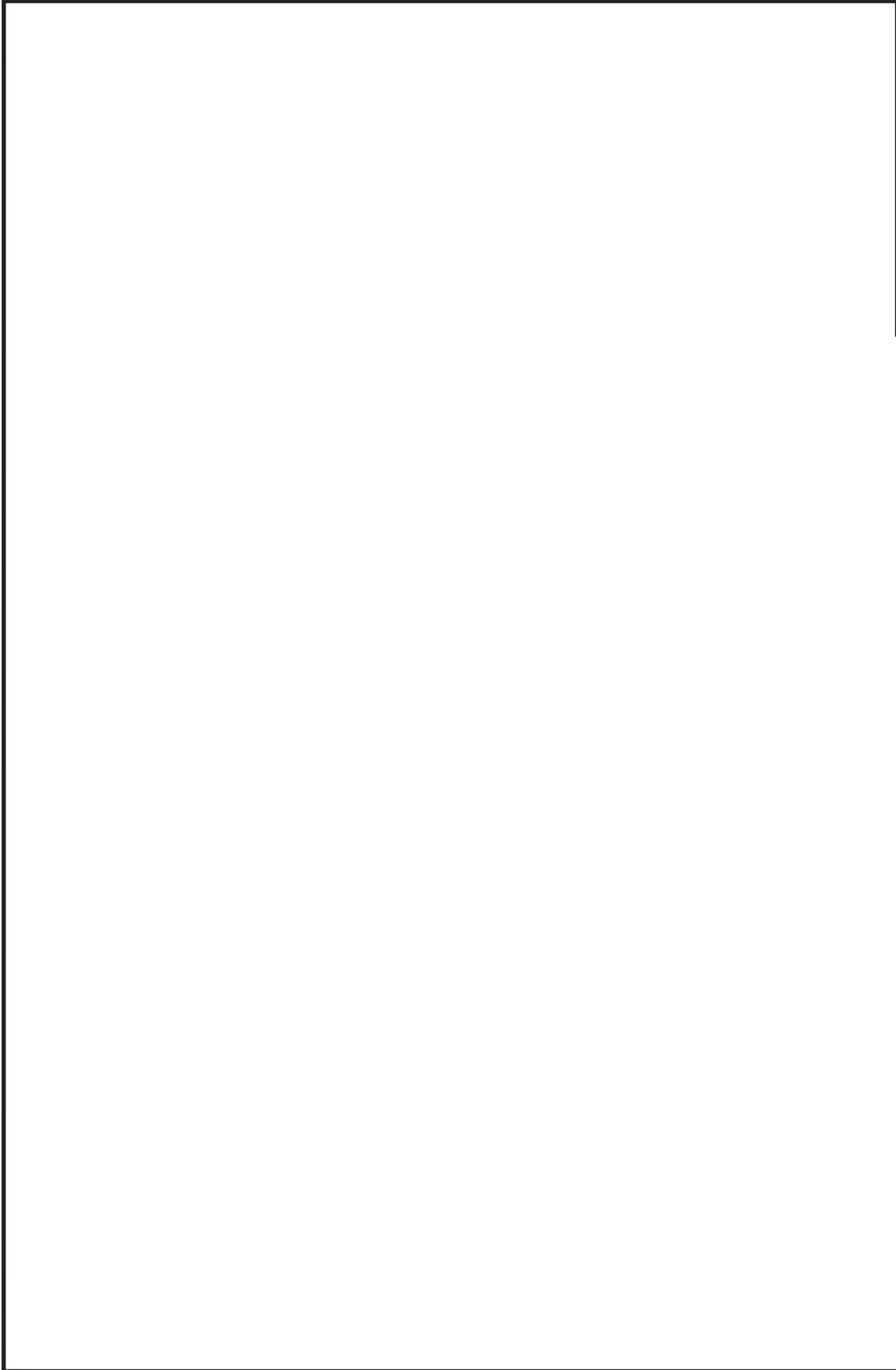
鳥瞰図 AC-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

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。

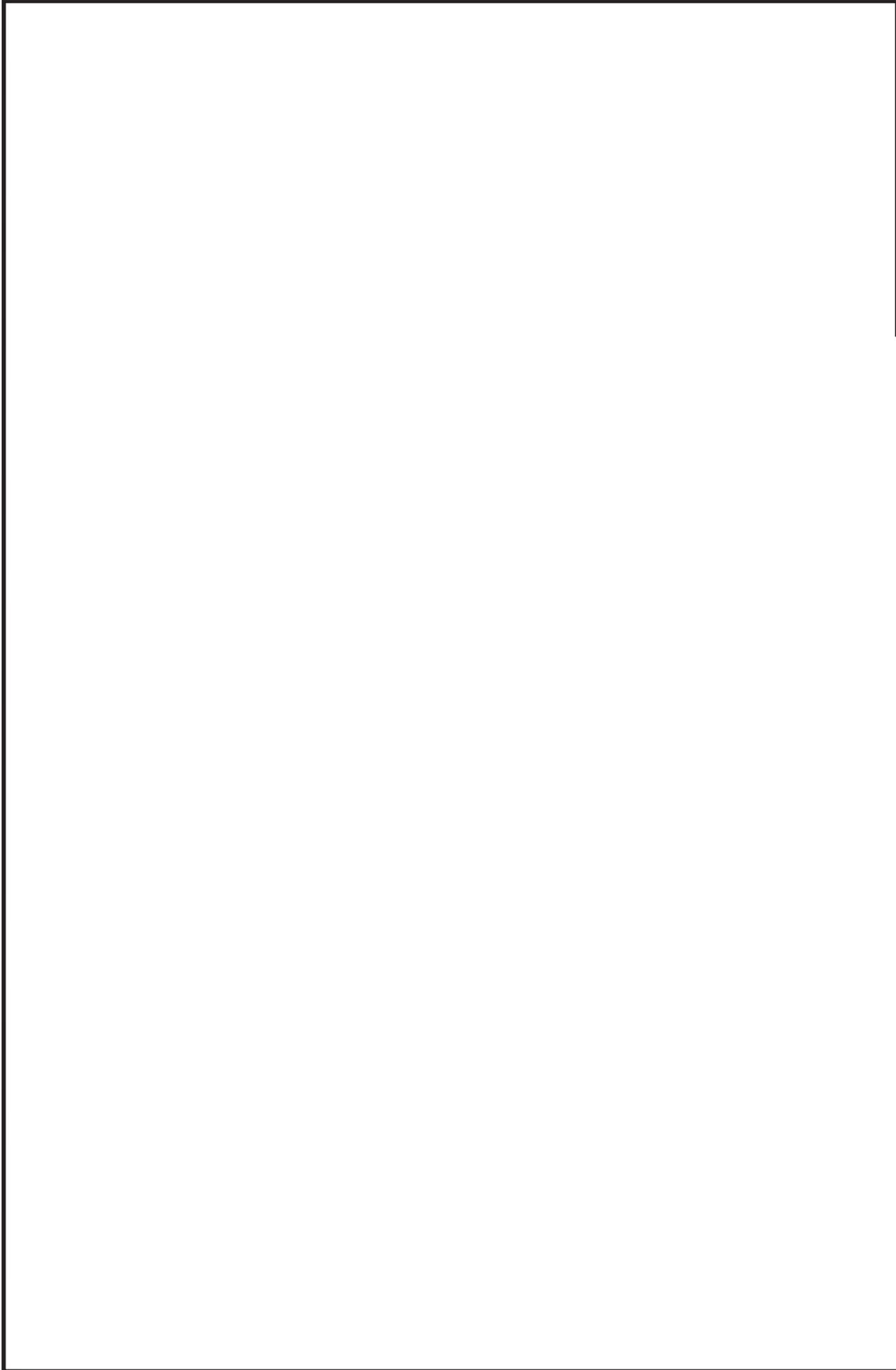
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



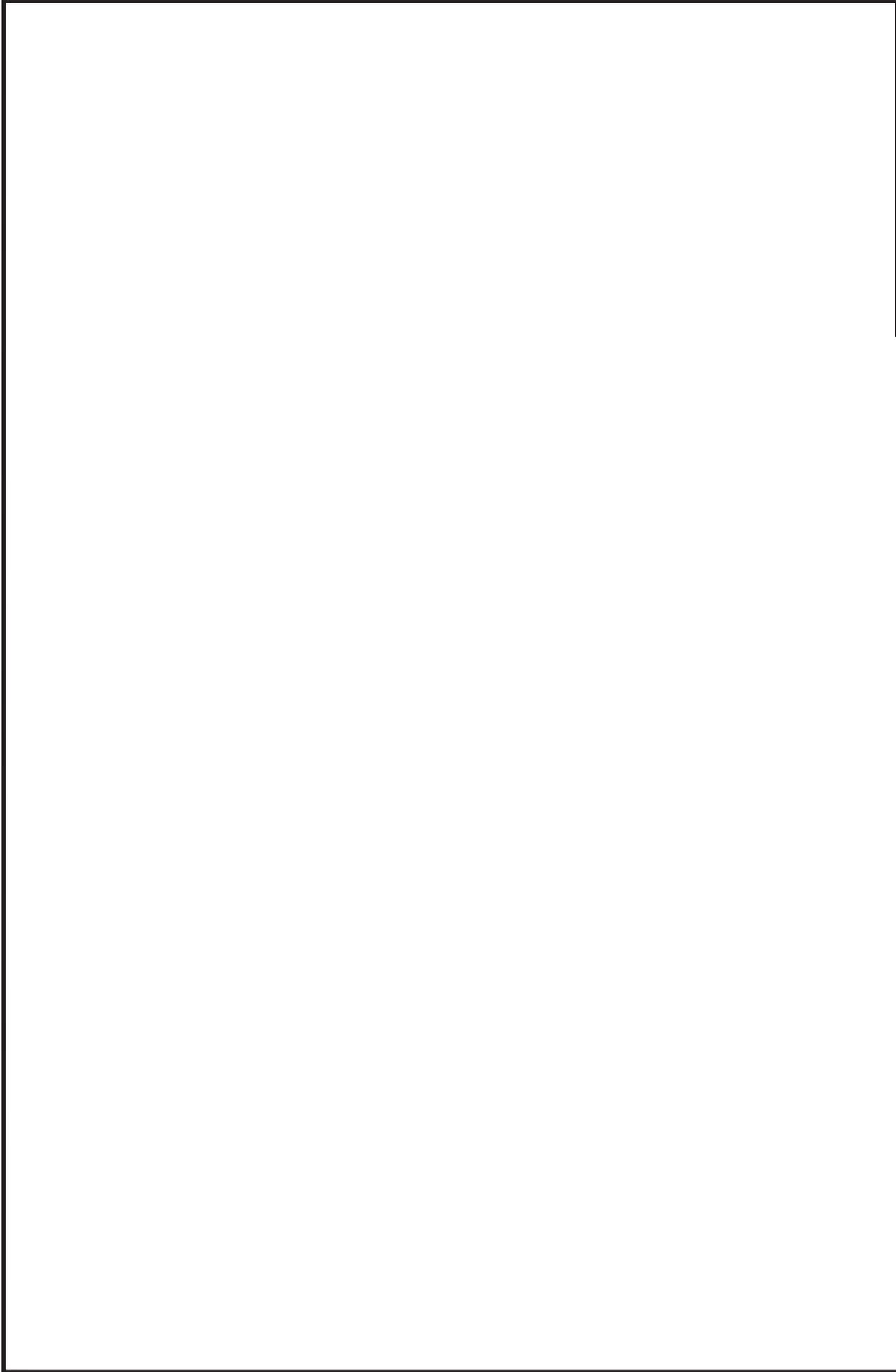
鳥瞰図 AC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
AC-001	III <sub>A</sub> S	85	Spr m(Sd)	70	211	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	13	Spr m(Ss)	107	335	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	34	Sn(Ss)	—	—	242	402	USs

注記 \*1: 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、Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
AC-001-046BA	ロッドレストレイント	RST-5	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		178	235
AC-002-924SA	メカニカルスナッパ	SMS-25-100			195	375

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
AC-002-028R	レストレイント	架構	STKR400	40	199	155	199	-	-	-	-	曲げ	115	490
AC-002-253A	アンカ	架構	STKR400	40	38	208	37	84	17	85	曲げ	194	490	

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
T46-F003A	バタフライ弁	$\beta$ (S d)	5.9	2.1	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 IV <sub>A</sub> S																
		許容応力状態 III <sub>A</sub> S				一次応力				一次+二次応力*				疲労評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労係数
1	AC-001	85	70	211	3.01	○	13	107	335	3.13	○	34	242	402	1.66	○	—	—
2	AC-002	15	66	201	3.04	—	221	115	363	3.15	—	33	230	402	1.74	—	—	—

注記\* : III<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はIV<sub>A</sub>Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	18
3.4 材料及び許容応力評価条件	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	35
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	36
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉格納容器調気系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

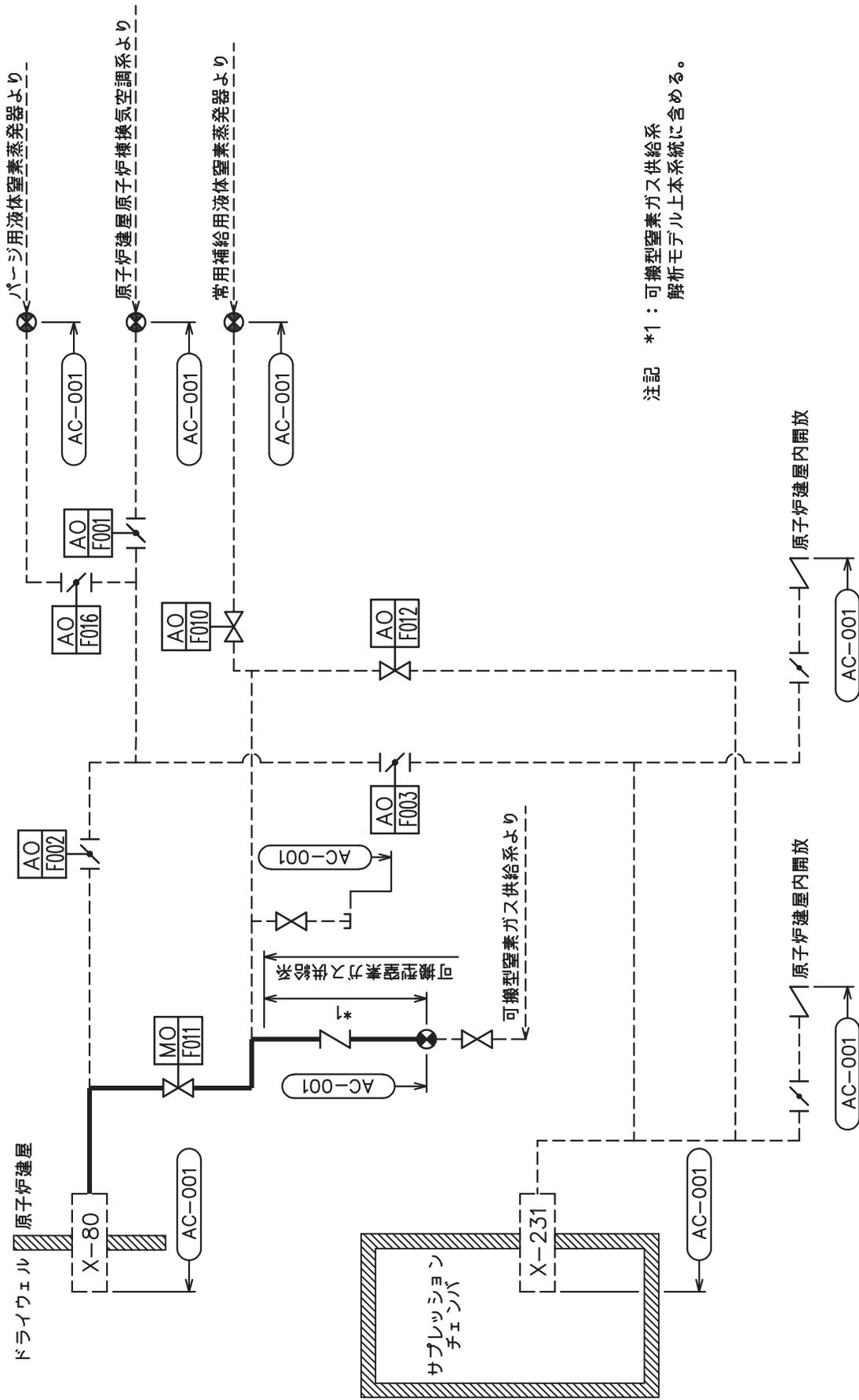
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

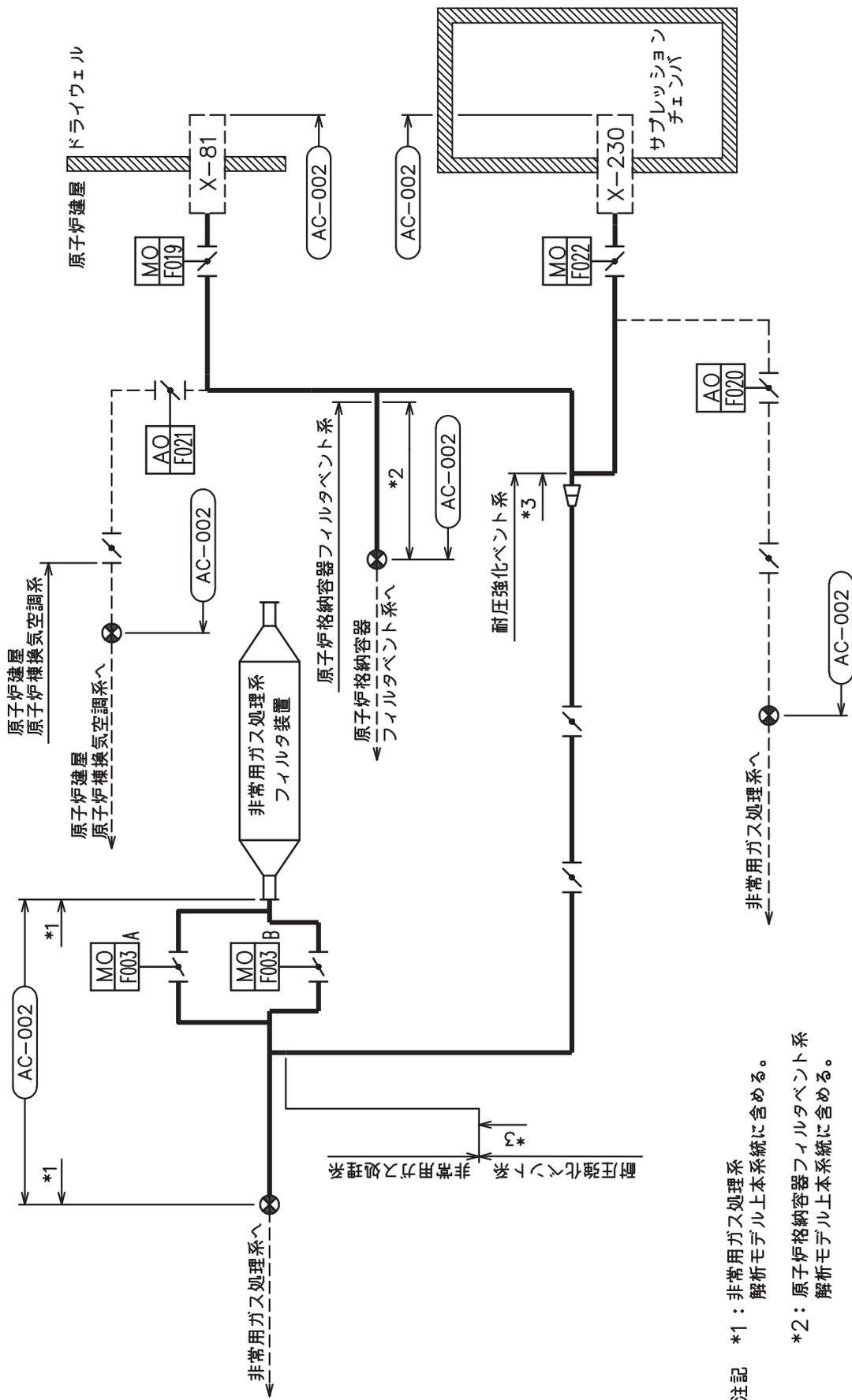
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



注記 \*1：可搬型窒素ガス供給系  
解析モデル上本系統に含める。

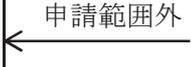
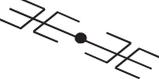
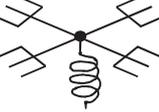
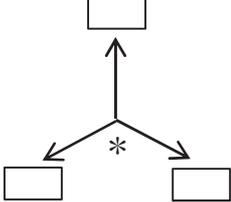


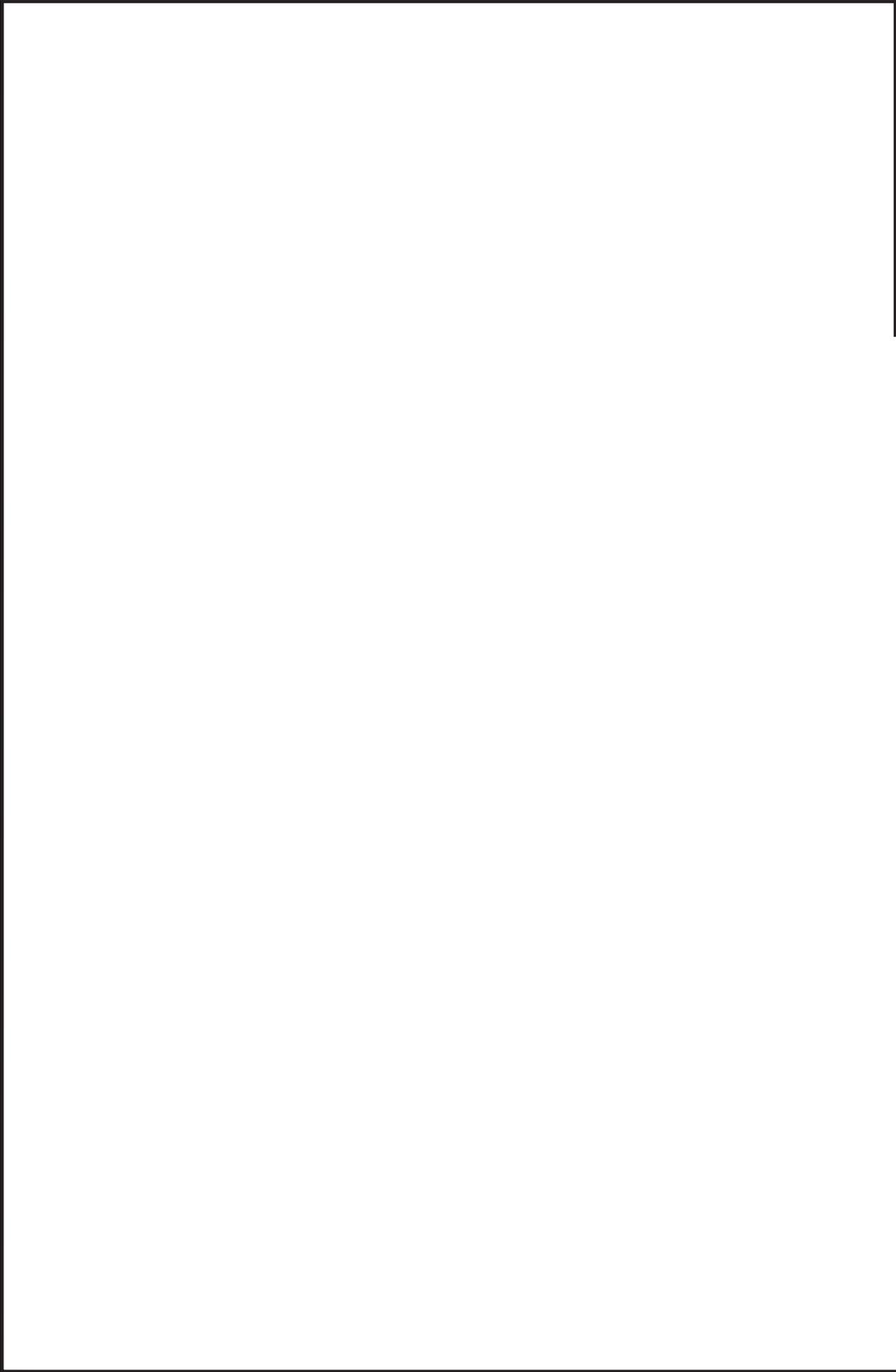
- 注記
- \*1: 非常用ガス処理系  
解析モデル上本系統に含める。
  - \*2: 原子炉格納容器フィルタベント系  
解析モデル上本系統に含める。
  - \*3: 耐圧強化ベント系  
解析モデル上本系統に含める。

原子炉格納容器調気系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)</p>



鳥瞰図 AC-002-1/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

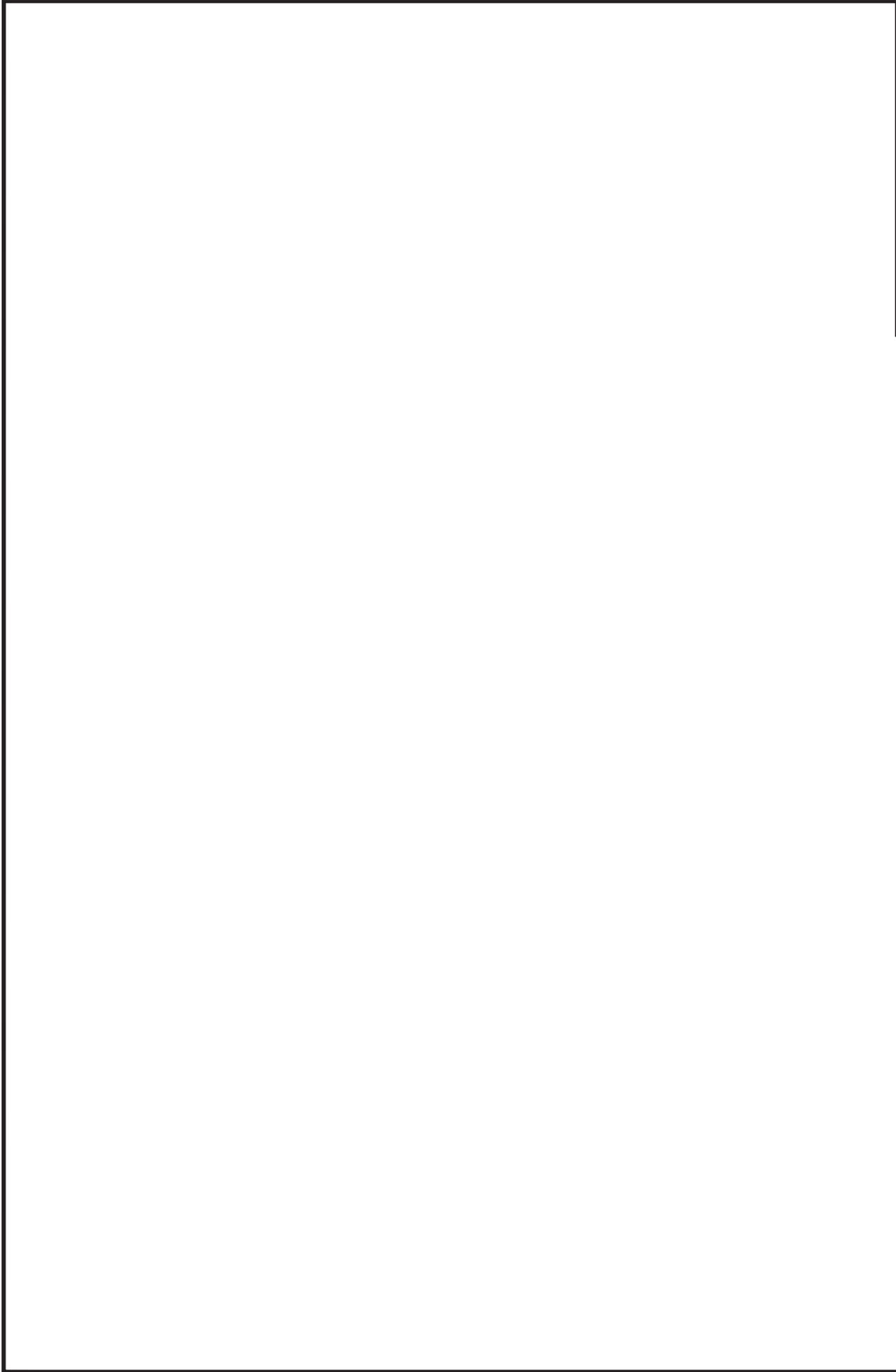
鳥瞰図 AC-002-2/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



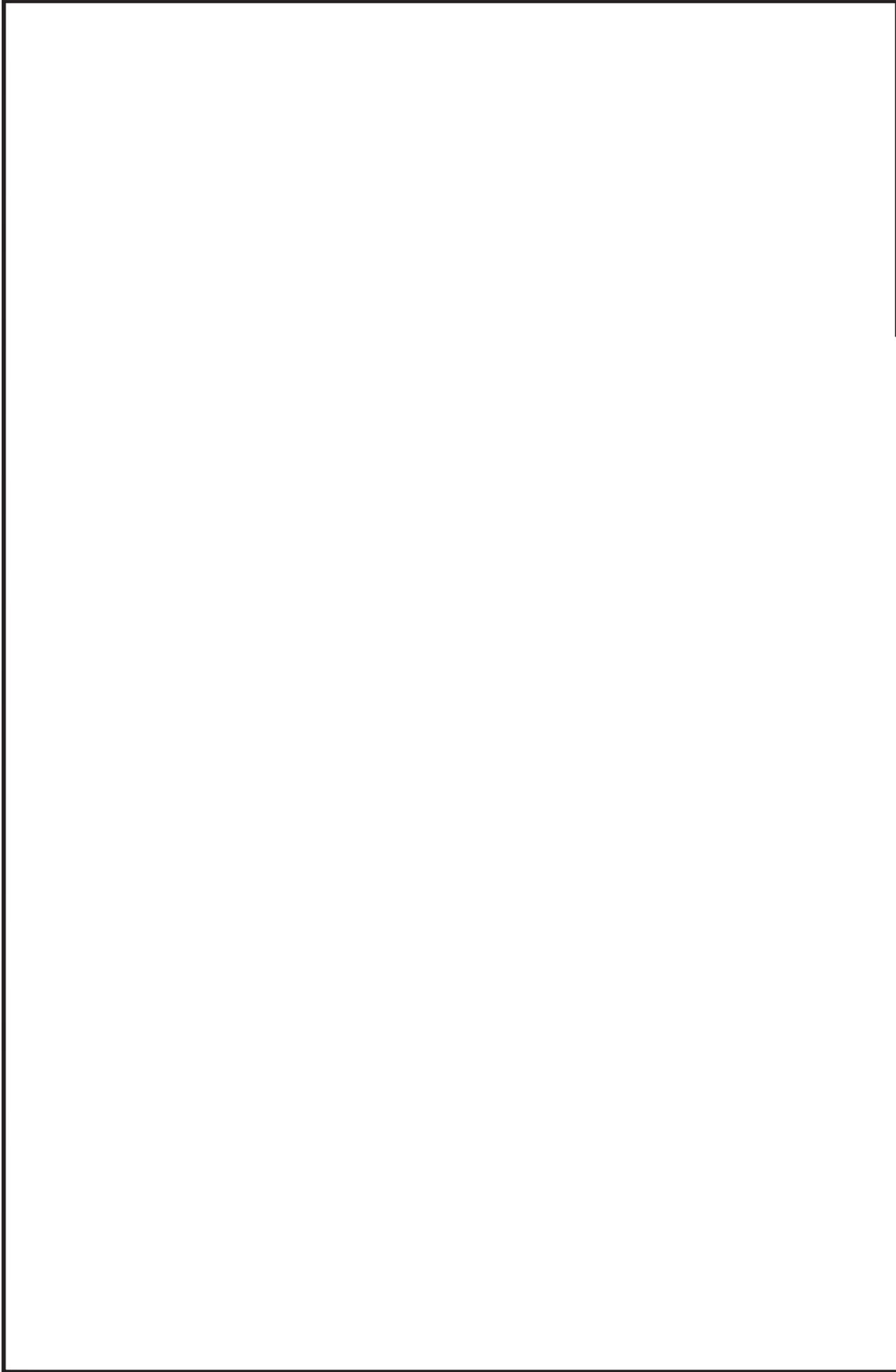
鳥瞰図 AC-002-3/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



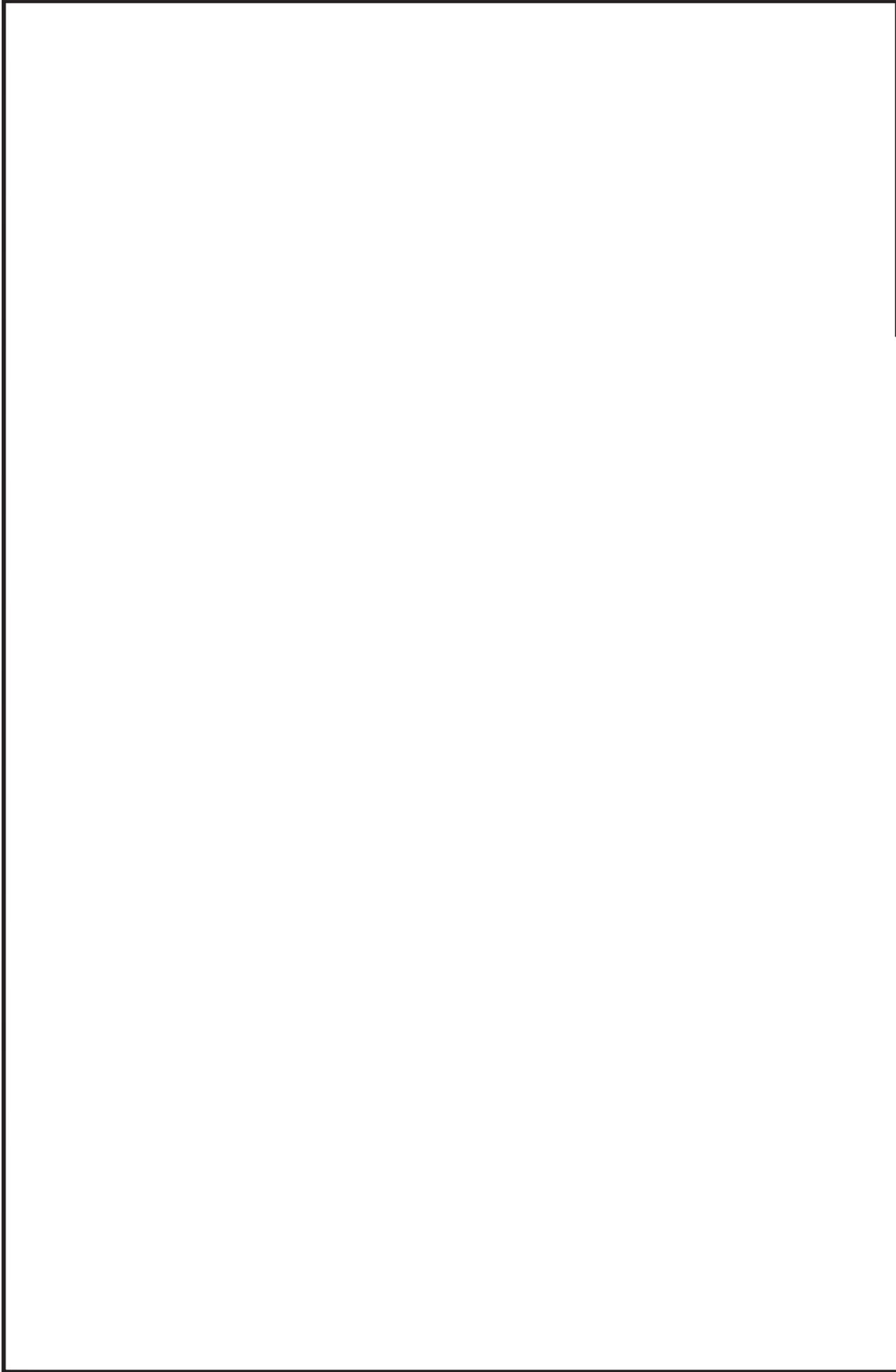
鳥瞰図 AC-002-4/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



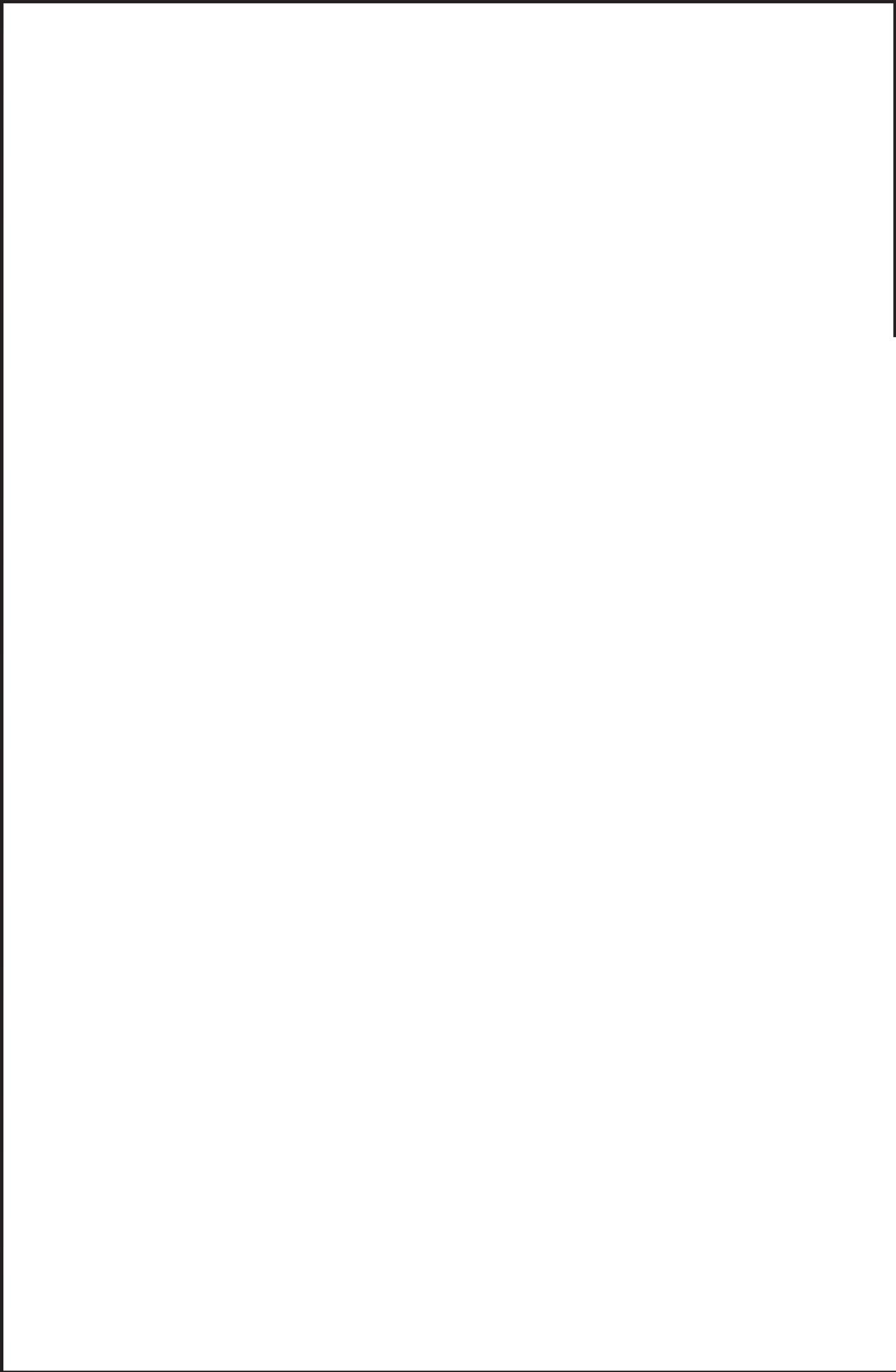
鳥瞰図 AC-002-5/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



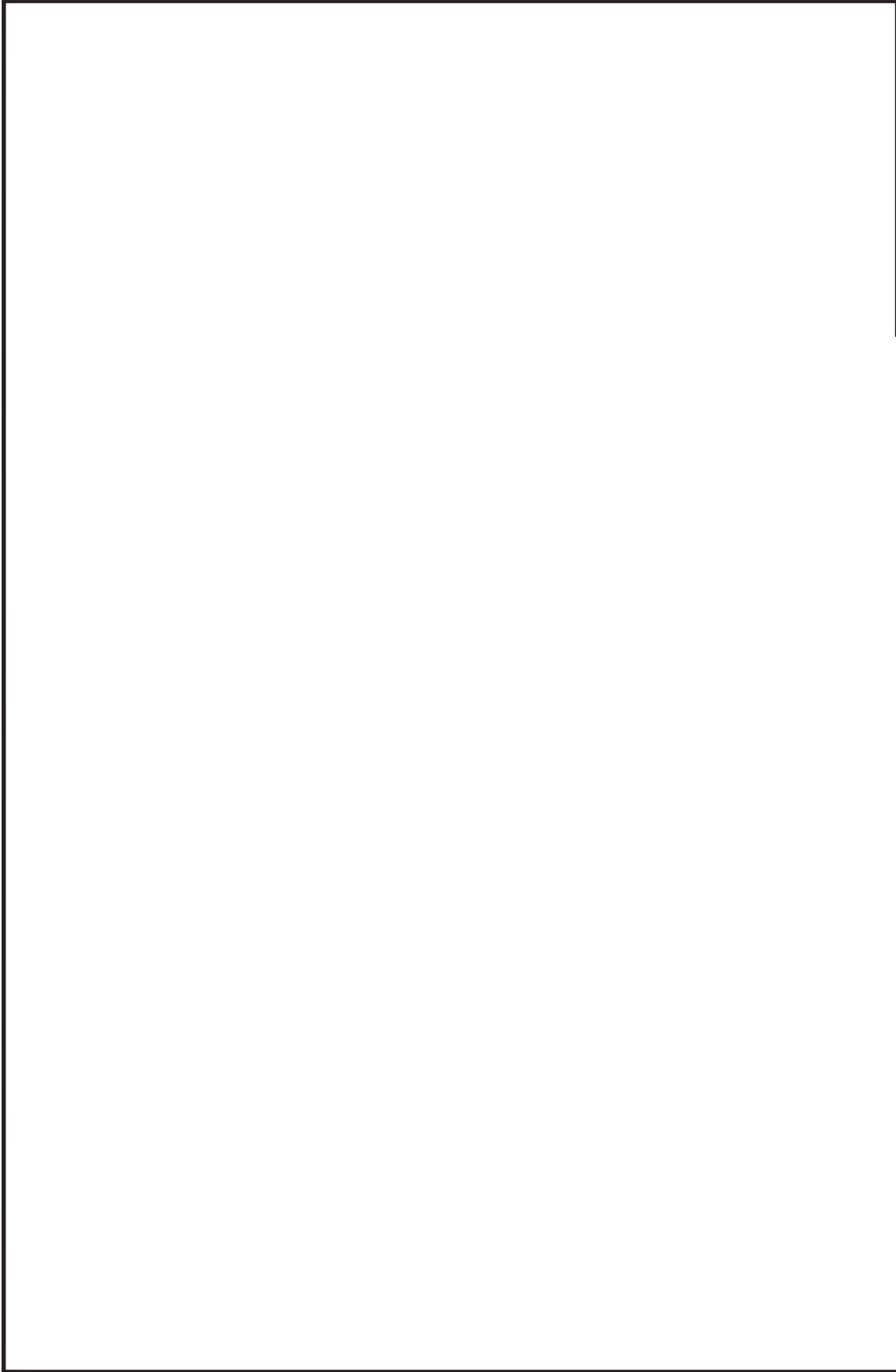
鳥瞰図 AC-002-6/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



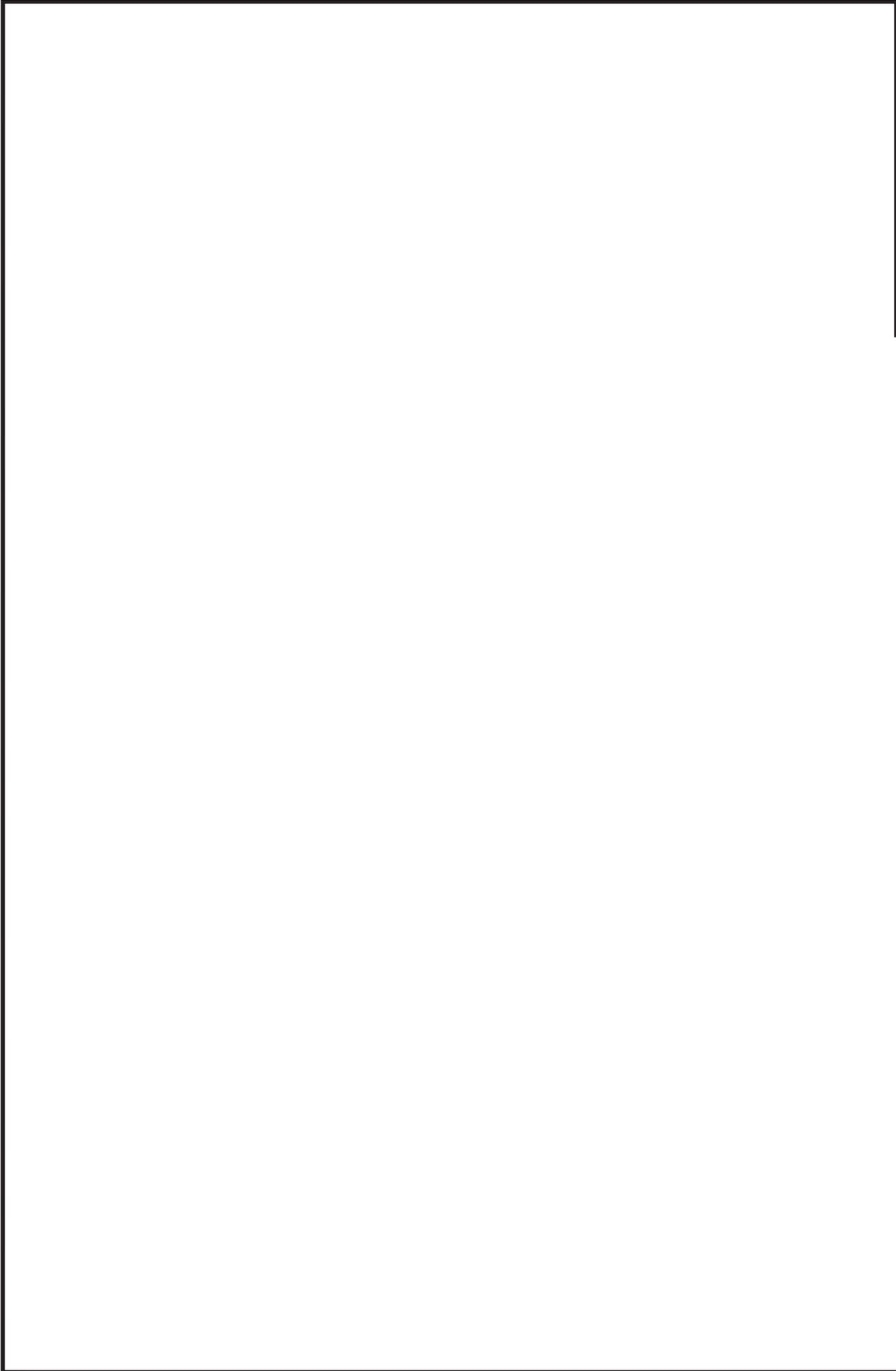
鳥瞰図 AC-002-7/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-002-8/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-002-9/9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器 フィルタバント系	SA	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化バント系	SA	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の 安全設備	非常用ガス処理系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	原子炉格納容器 フィルタバント系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	原子炉格納容器 フィルタバベント 系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d V <sub>L</sub> (LL) + S s V <sub>L</sub> + S s	V <sub>A</sub> S

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「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。

\*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	23.5kPa (0.0235MPa)	140	318.5	10.3	STS410	—	195400
2	854kPa (0.854MPa)	171	318.5	10.3	STS410	—	193320
3	854kPa (0.854MPa)	200	609.6	31.0	SM400C	—	191000
4	854kPa (0.854MPa)	200	609.6	17.5	SM400C	—	191000
5	854kPa (0.854MPa)	200	609.6	9.5	SM400C	—	191000
6	854kPa (0.854MPa)	200	457.2	9.5	SM400C	—	191000
7	854kPa (0.854MPa)	200	457.2	14.3	STS410	—	191000
8	854kPa (0.854MPa)	200	318.5	10.3	STS410	—	191000
9	854kPa (0.854MPa)	200	318.5	10.3	STS410	—	191000

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
10	854kPa (0.854MPa)	171	318.5	10.3	STS410	—	193320
11	854kPa (0.854MPa)	200	609.6	17.5	STS410	—	191000
12	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	12.7	STS410	—	191000
13	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	12.7	STS410	—	191000
14	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	21.4	SF490A	—	191000

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            A C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	201	202	203	204	205	261	312	313	314						
2	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
	153	154	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219
	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234
	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249
	250	252	253	254	255	256	257	258	259	306	307	308	309	310	311
	350	351	352	801	802	810	823	824	825	900	904	920			
3	20	21	22	24	25	804	805	808	813	902	903	924			
4	25	26	27	28	39	323	324	826							
5	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	40	41	42	43	44	45	46
	47	48	100	315	318	319	320	322	323	324	439	803	806	807	809
	811	812	815	826	901	905	908	916	918						
6	100	316													
7	101	316													
8	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
	317	354	355	356	357										
9	132	133	414												
10	136	137	353	416	900										
11	48	438	439												
12	438	440													
13	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454
	455	456	457	458	459	460	814	817							
14	460	461													

O 2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(重) R 1

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 AC-002

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
2		108		204		253		451	
6		109		208		254		452	
7		110		209		255		453	
8		111		210		256		454	
9		112		211		257		455	
10		113		212		258		456	
11		114		213		306		457	
12		115		214		307		458	
13		116		215		308		459	
14		117		216		309		460	
15		118		217		310		461	
20		119		218		311		801	
21		120		219		312		802	
25		121		220		313		803	
26		122		221		314		804	
27		123		222		315		805	
28		124		223		316		806	
29		125		224		317		807	
30		126		225		318		808	
31		127		226		319		809	
32		128		227		320		810	
33		129		228		322		811	
34		133		229		323		812	
35		136		230		324		813	
36		137		231		350		814	
37		138		232		351		815	
38		139		233		352		817	
39		140		234		353		823	
40		141		235		354		824	
41		142		236		355		825	
42		143		237		356		826	
43		144		238		357		900	
44		145		239		438		901	
45		146		240		439		902	
46		147		241		440		903	
47		148		242		441		904	
48		149		243		442		905	
100		150		244		443		908	
101		151		245		444		916	
102		152		246		445		918	
103		153		247		446		920	
104		154		248		447		924	
105		201		249		448			
106		202		250		449			
107		203		252		450			

O 2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 AC-002

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)								
130		414		205		261		3	
131		415		206		260		4	
132		416		207		259		5	
303		417		262		264		56	
304		418		301		302		57	
305		419		263		265		71	

弁 6

評価点	質量(kg)
22	
23	
24	
60	
61	
77	

鳥 瞰 図 AC-002

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	131			
弁2	415			
弁3	206			
弁4	260			
弁5	4			
弁6	23			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 1 **						
** 6 **						
11						
** 19 **						
28						
** 28 **						
** 33 **						
36						
44						
103						
105						
113						
122						
126						
133						
140						
147						
153						
201						
208						
213						
217						
221						
224						
228						

[Redacted area]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
234						
238						
242						
246						
249						
253						
258						
443						
446						
450						
455						
461						
900						
** 901 **						
** 902 **						
** 903 **						
904						
905						
908						
** 916 **						
918						
920						
** 924 **						

O 2 ⑥ VI-2-9-4-5-1-1(重) R 0

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
SF490A	200	—	213	438	—
SM400C* <sup>1</sup>	200	—	193	373	—
SM400C* <sup>2</sup>	200	—	185	373	—
STS410	140	—	215	404	—
	171	—	211	404	—
	200	—	207	404	—

\*1：板厚が 16mm 以下

\*2：板厚が 16mm を超えかつ 40mm 以下

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
A C - 0 0 2	原子炉格納容器		
	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 AC-002

モード	適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s	
	固有周期 (s)	応答水 平震度*1	応答鉛直震度*1		応答水 平震度*1		応答鉛直震度*1	
			X 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	X 方 向	Y 方 向
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
19 次								
20 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記\*1：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。  
 \*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。  
 \*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

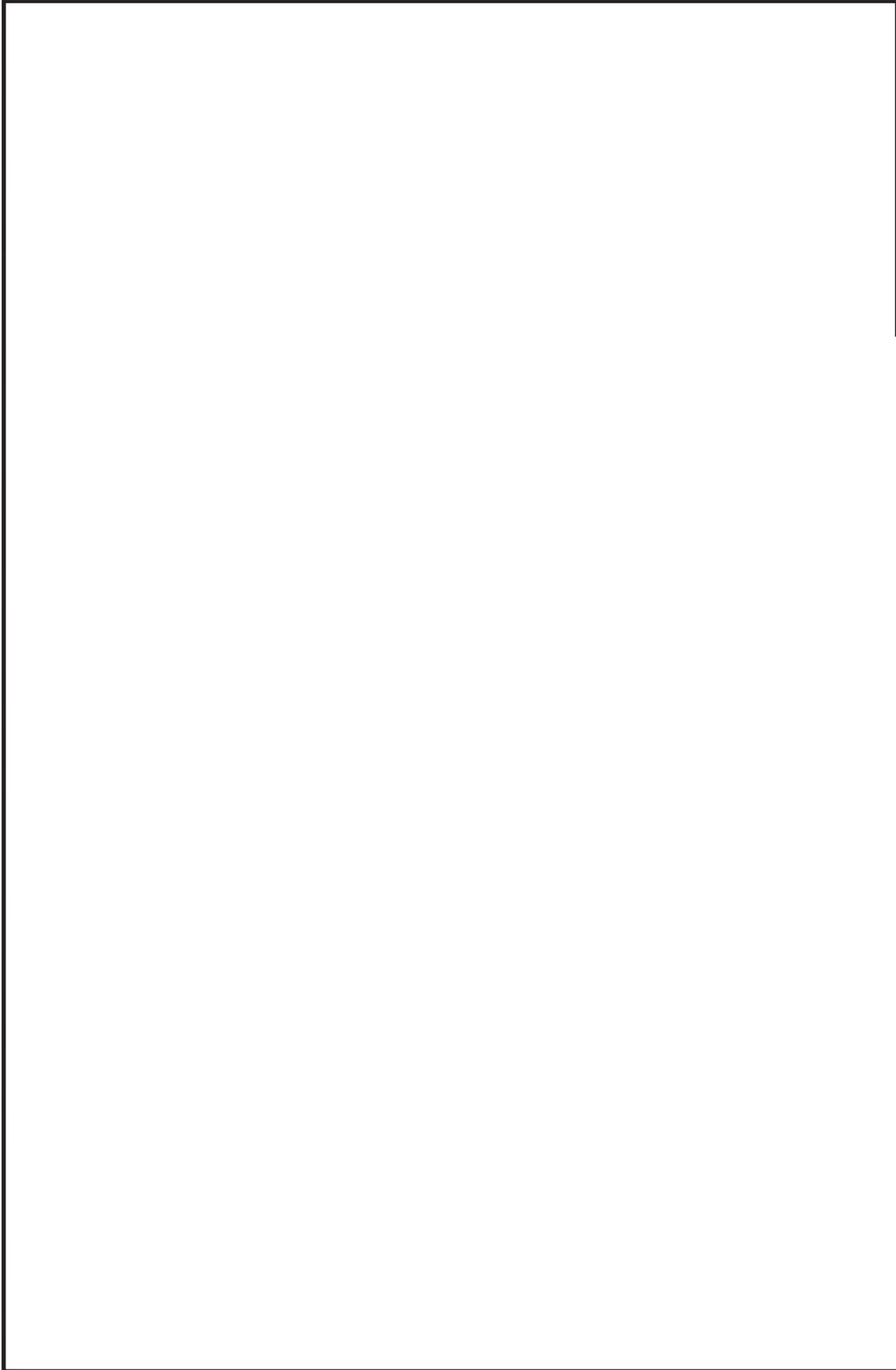
鳥瞰図 AC-002

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				

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。

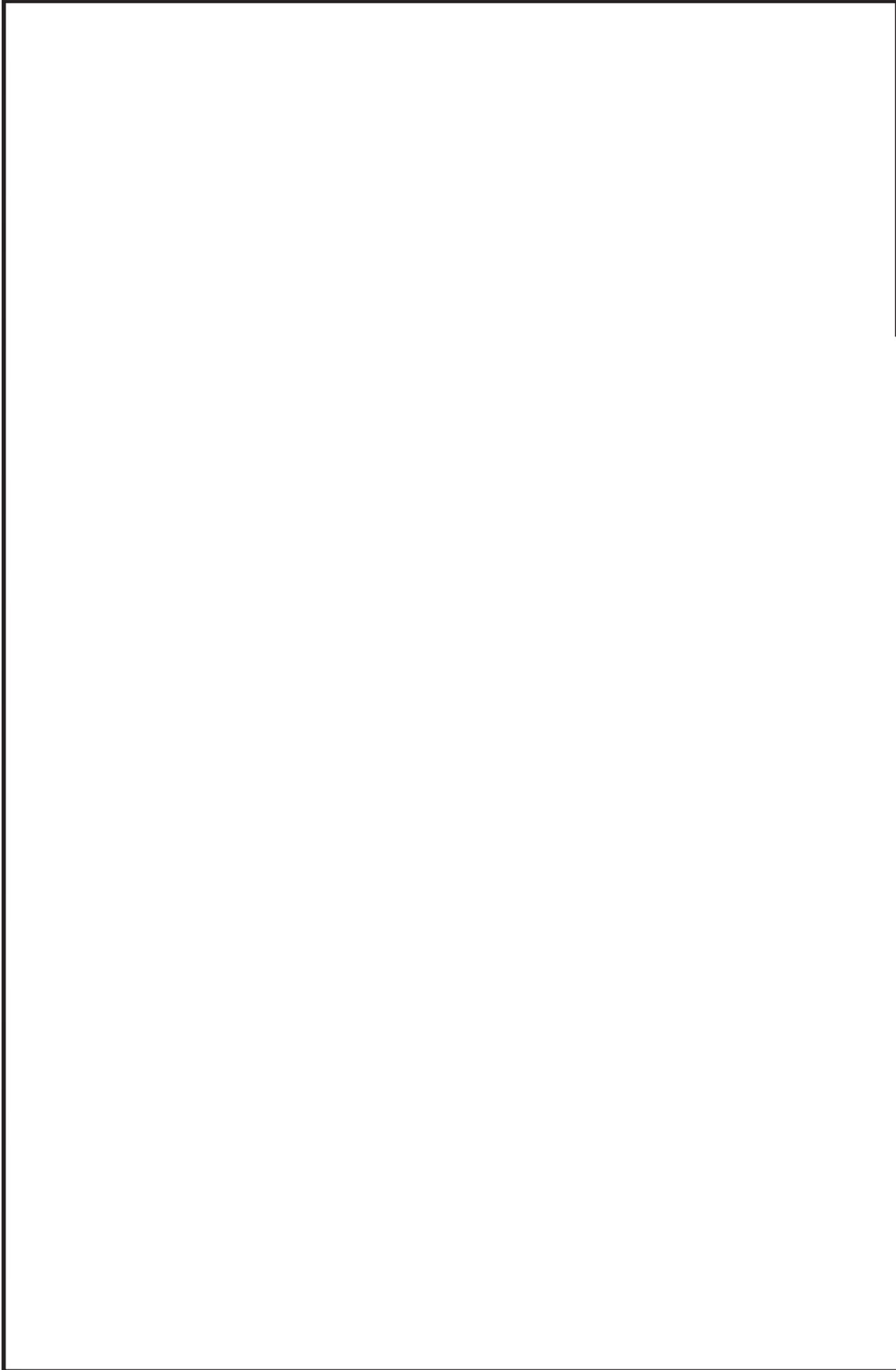
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



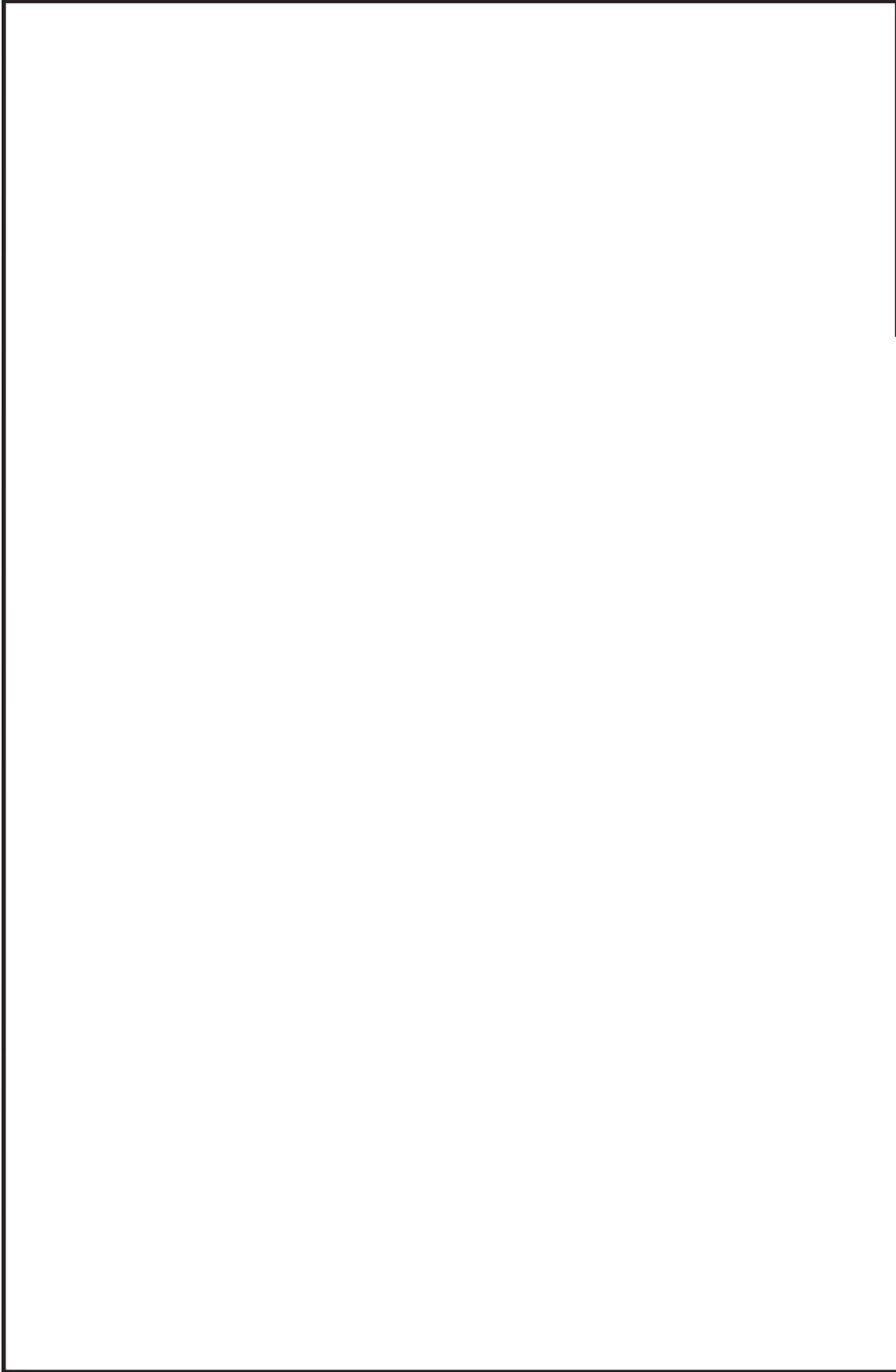
鳥瞰図 AC-002

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 AC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0.9・S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2・S y	
A C - 0 0 2	V <sub>A</sub> S	221	S p r m ( S s ) S n ( S s )	122	363	—	—	—
	V <sub>A</sub> S	33		—	—	280	386	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
AC-002-924SA	メカニカルスナップ	SMS-25-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		231	375
AC-002-033BA	ロッドレストレイント	RTS-25			54	375
AC-002-033BB	ロッドレストレイント	RTS-16			76	240

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
AC-002-028R	レストレイント	架構	STKR400	130	256	193	256	-	-	-	曲げ	147	375
AC-002-461A	アンカ	架構	STKR400	66	106	78	342	106	130	66	せん断	52	250

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS														
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表		
1	AC-001	437	78	363	4.65	—	437	175	414	2.36	—	—	—	—		
2	AC-002	221	122	363	2.97	○	33	280	386	1.37	○	—	—	—		

VI-2-9-4-6 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-4-6-1 原子炉格納容器フィルタベント系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1 原子炉格納容器フィルタベント系の耐震性についての  
計算書

## 目 次

- VI-2-9-4-6-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-2-9-4-6-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-2-9-4-6-1-3 遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4-6-1-4 遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1-1 管の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器フィルタベント系)

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉格納容器フィルタベント系の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 10 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

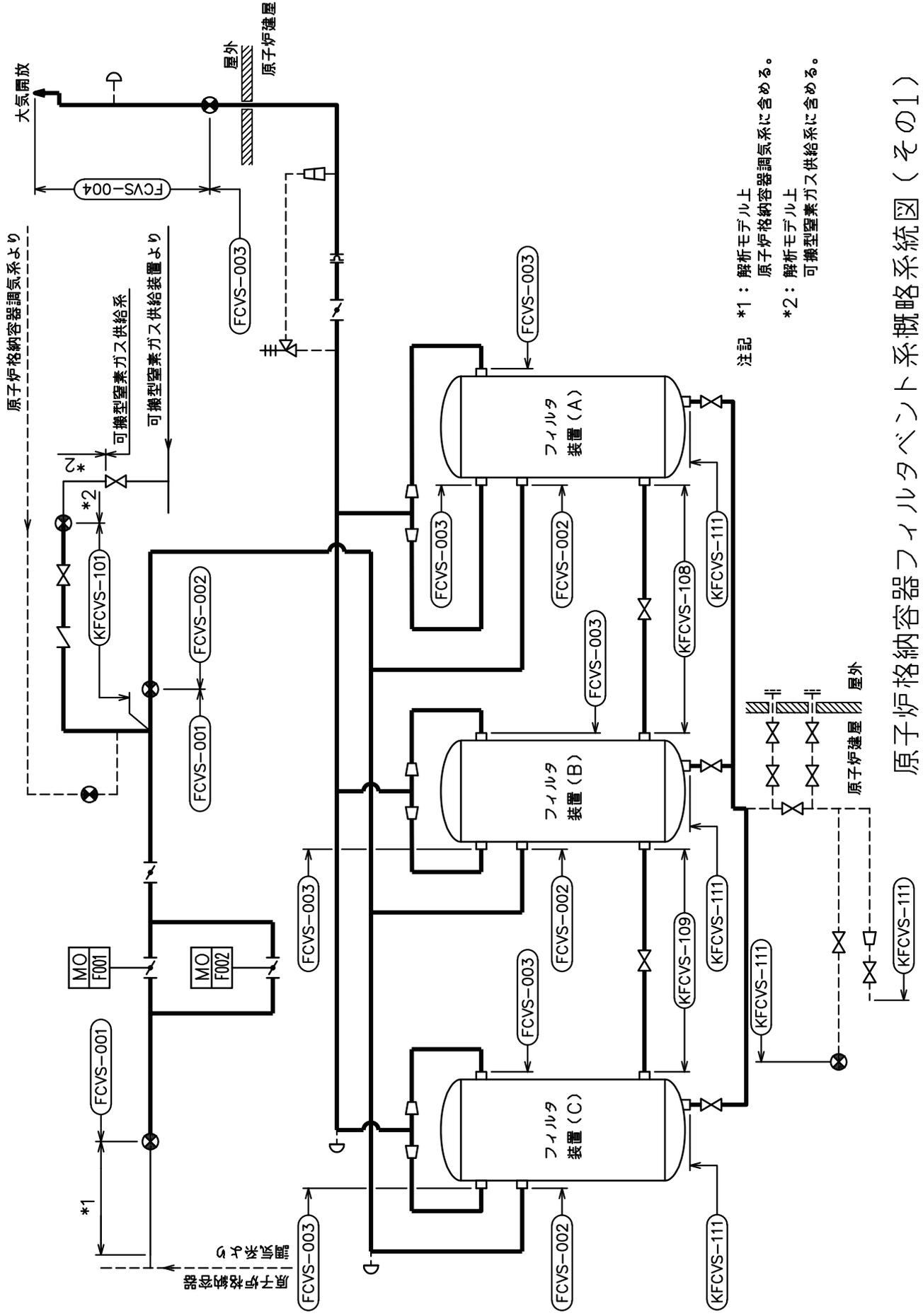
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

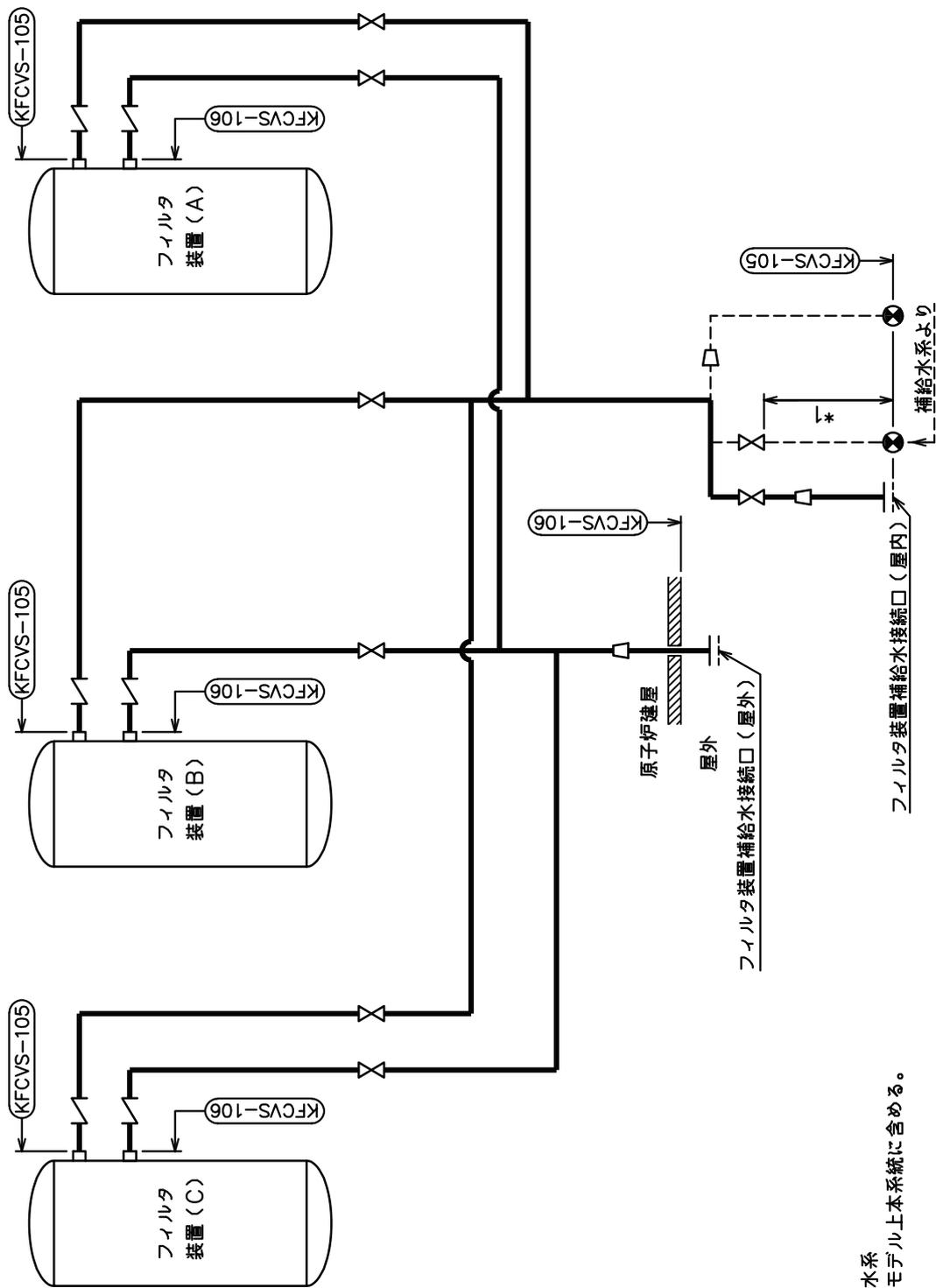
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



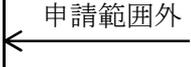
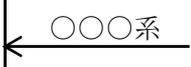
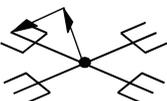
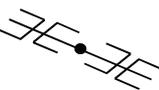
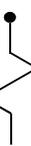
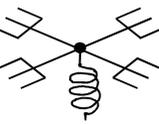
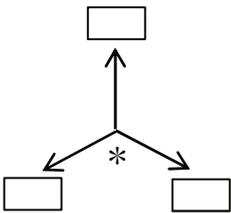


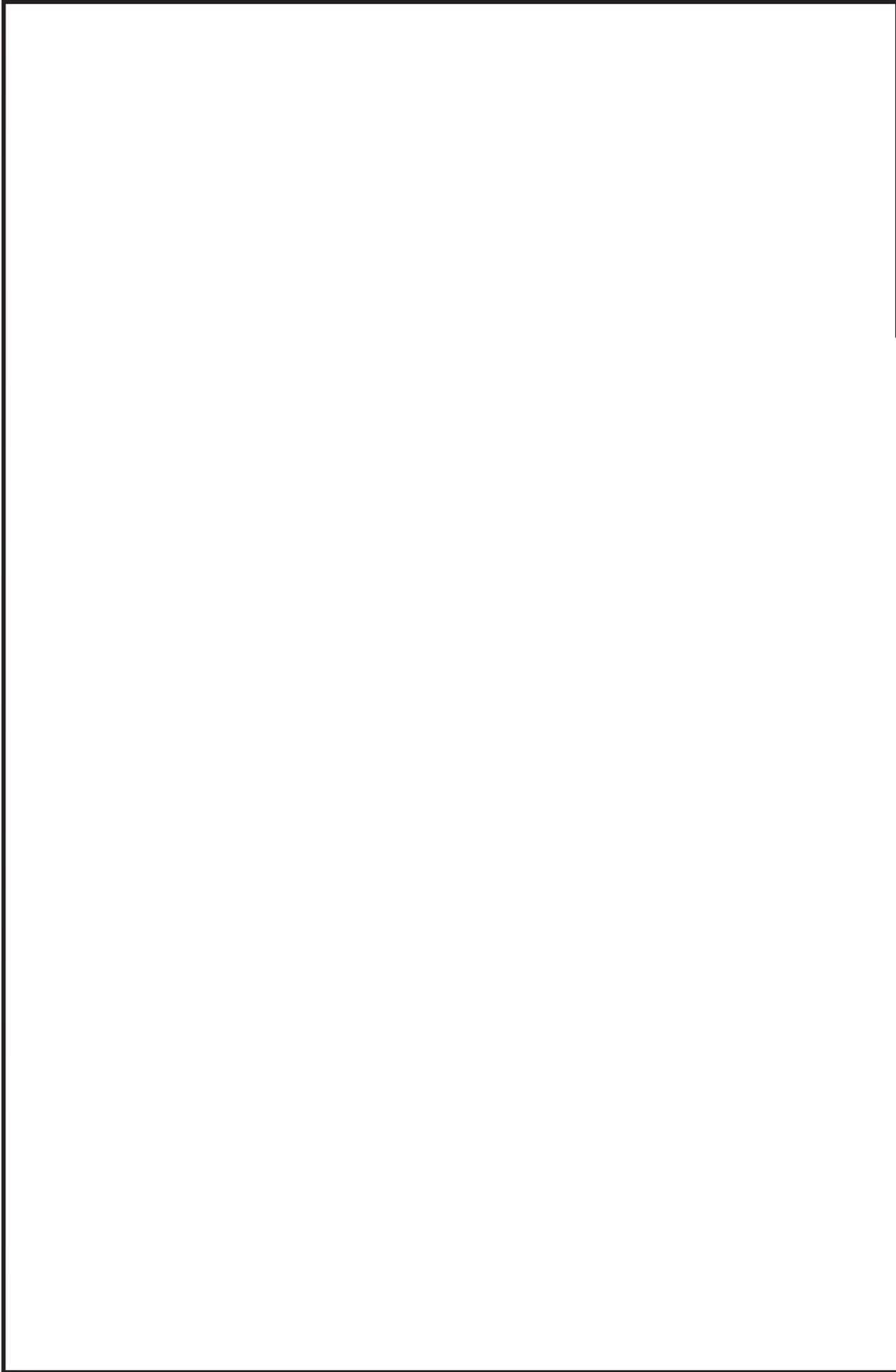
注記 \*1: 補給水系  
解析モデル上本系統に含める。

原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

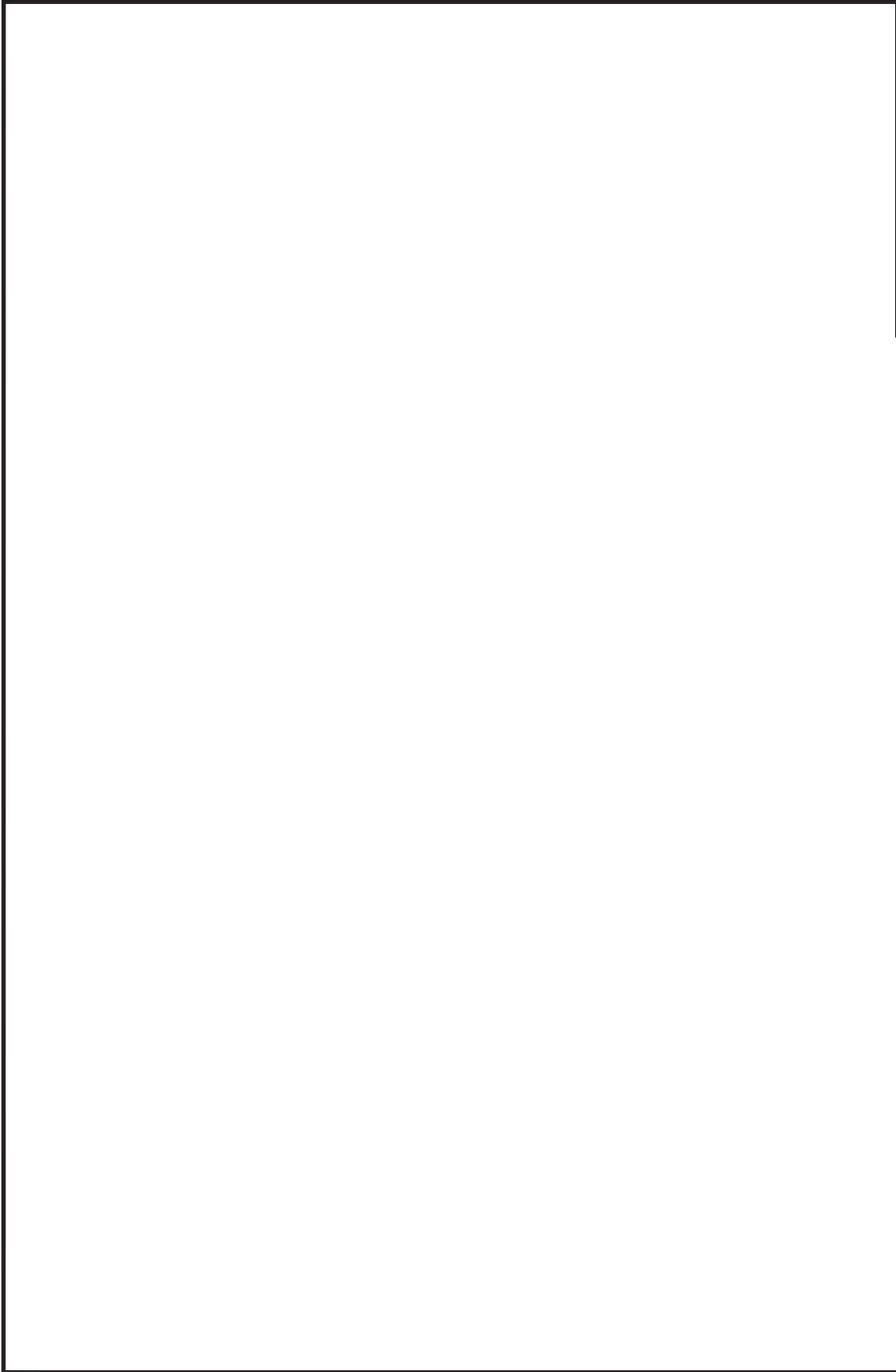
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)



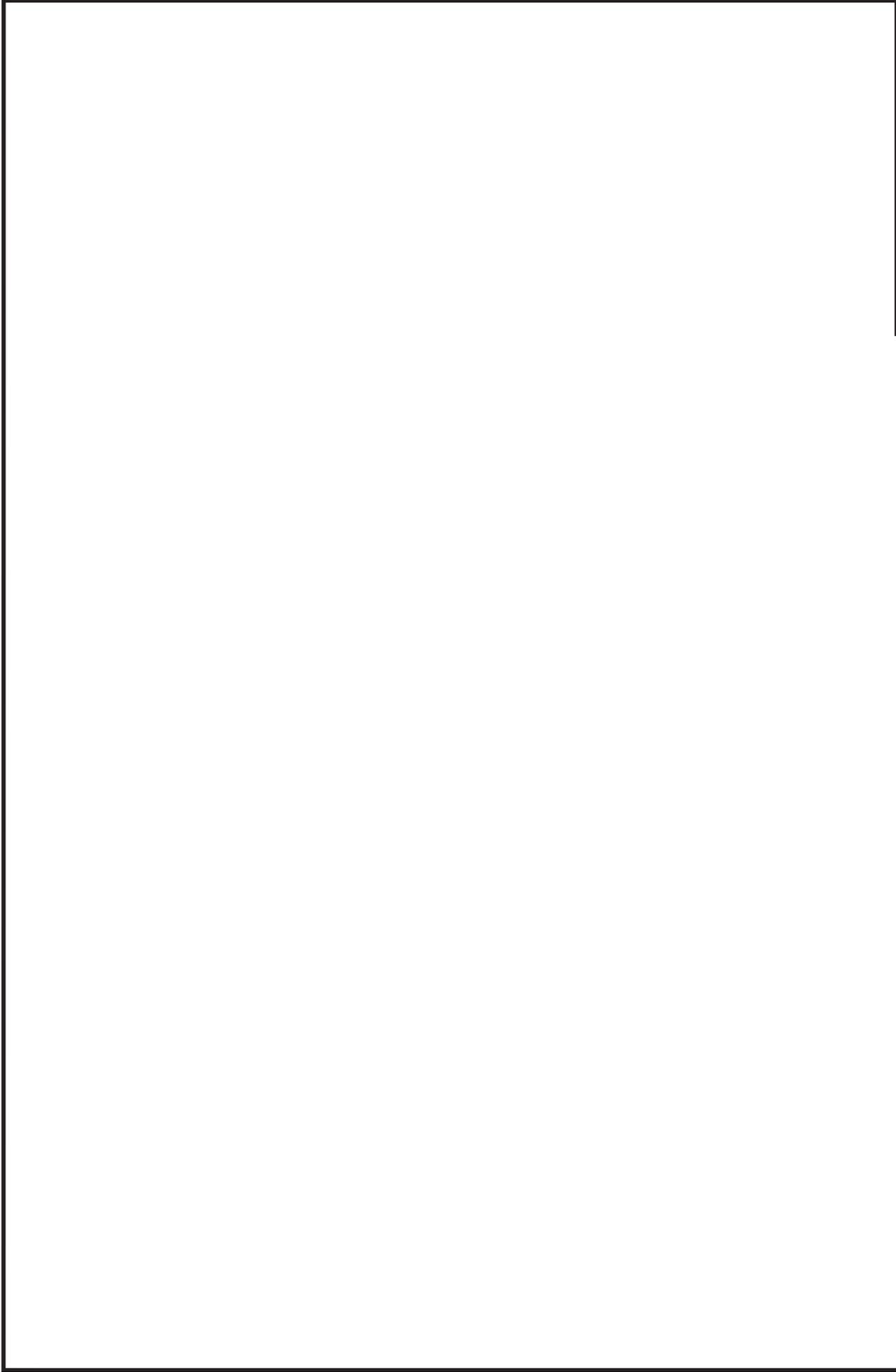
鳥瞰図 FCVS-003-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCVS-003-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCVS-003-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,*4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	原子炉格納容器 フィルタベント 系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
	V <sub>L</sub> + S s							
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	原子炉格納容器 フィルタベント 系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器 フィルタベント 系	SA	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> (L) + S d	V <sub>A</sub> S
							V <sub>L</sub> (LL) + S s	
							V <sub>L</sub> + S s	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	12.7	SUS316L	—	183000
2	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	12.7	STS410	—	191000
3	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	15.1	STS410	—	191000
4	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	15.1	SM400C	—	191000
5	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	15.1	SUS316L	—	183000
6	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	26.2	SUSF316L	—	183000

設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	10	11	22	23	31	32	42	43	51	52			
2	2	3	4	5	6	7	11	12	13	14	15	16	23	24	25
	26	27	28	32	33	34	35	36	37	43	44	45	46	47	48
	52	53	54	55	56	57									
3	7	8	9	16	17	18	20	21	28	29	30	37	38	39	40
	41	48	49	50	57	58	59	60	61	62	63	64	65	67	69
	70	71	72	76	77	79	80	81	82	83	84	86	87	89	90
	92	93													
4	18	19	20	39	40	59	60	61	62	63	64	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	84	85	86	87
	88	89	90	91	92	93	94	95	97	98	131				
5	100	101	102	103	104	105	106	107	108	132					
6	108	109													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		23		45		68		90	
2		24		46		69		91	
3		25		47		70		92	
4		26		48		71		93	
5		27		49		72		94	
6		28		50		73		98	
7		29		51		74		100	
8		30		52		75		101	
9		31		53		76		102	
10		32		54		77		103	
11		33		55		78		104	
12		34		56		79		105	
13		35		57		80		106	
14		36		58		81		107	
15		37		59		82		108	
16		38		60		83		109	
17		39		61		84		131	
18		40		62		85		132	
19		41		63		86			
20		42		64		87			
21		43		65		88			
22		44		67		89			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
95	
96	
97	
128	
129	
130	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	96			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
10						
22						
31						
42						
51						
68						
** 73 **						
** 75 **						
** 78 **						
85						
** 88 **						
91						
98						
104						
106						
109						

[Empty rectangular box]

O 2 ⑥ VI-2-9-4-6-1-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
SM400C	200	—	193	373	—
STS410	200	—	207	404	—
SUS316L	200	—	120	407	—
SUSF316L	200	—	120	382	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数182回(S s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F C V S - 0 0 3	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 FCVS-003

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub>及び1.2C<sub>V</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

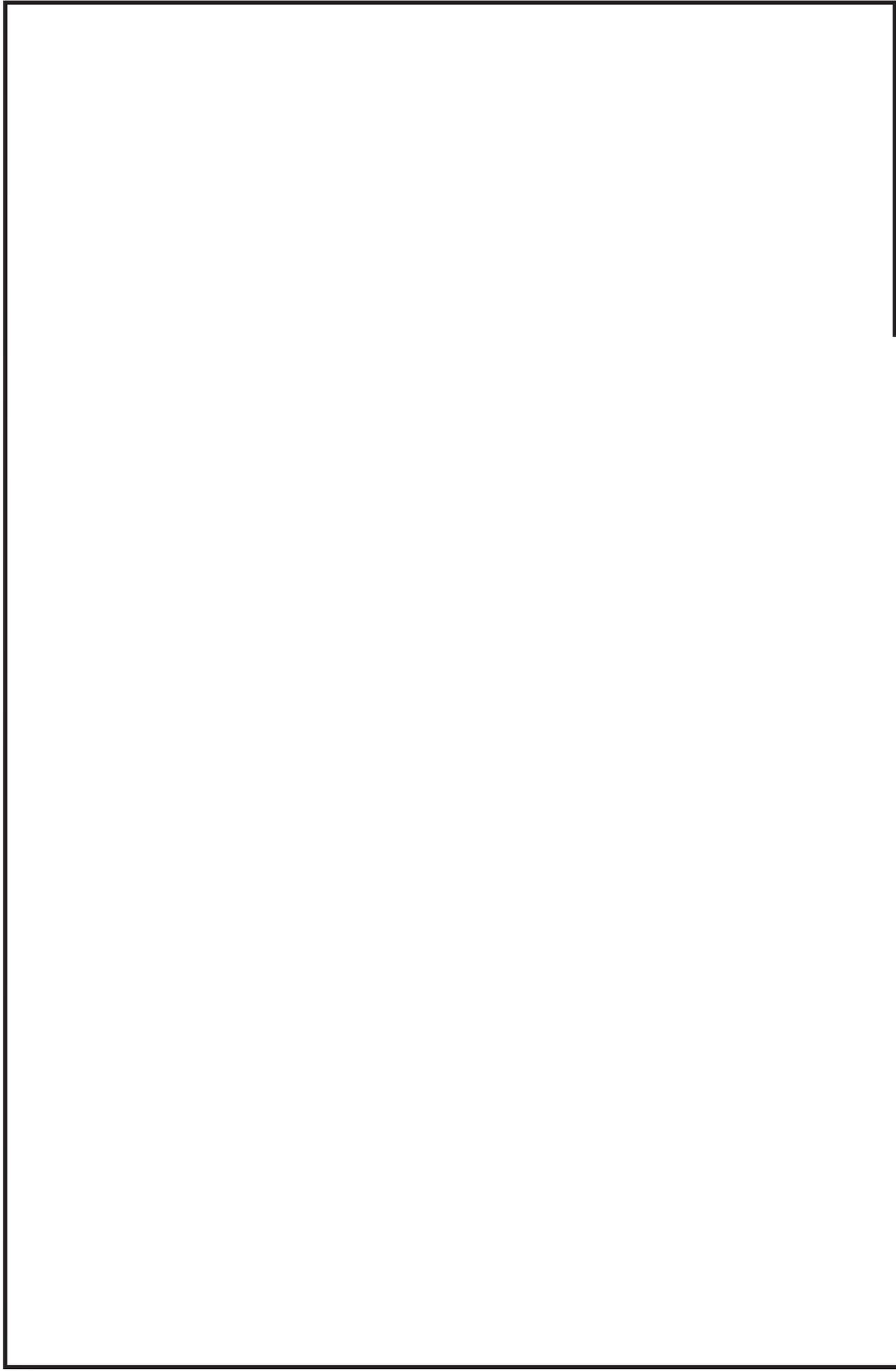
鳥瞰図 FCVS-003

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

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。

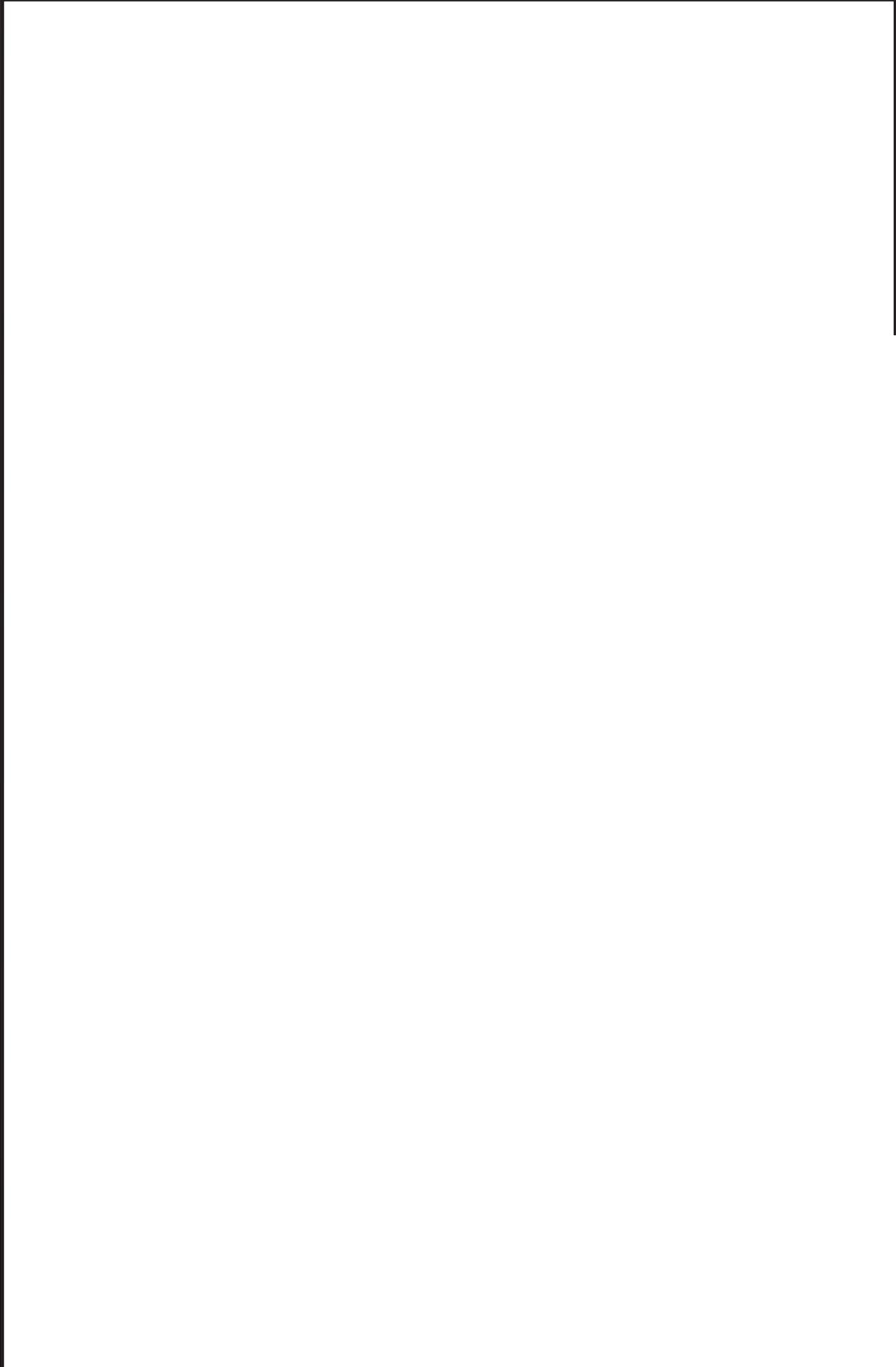
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



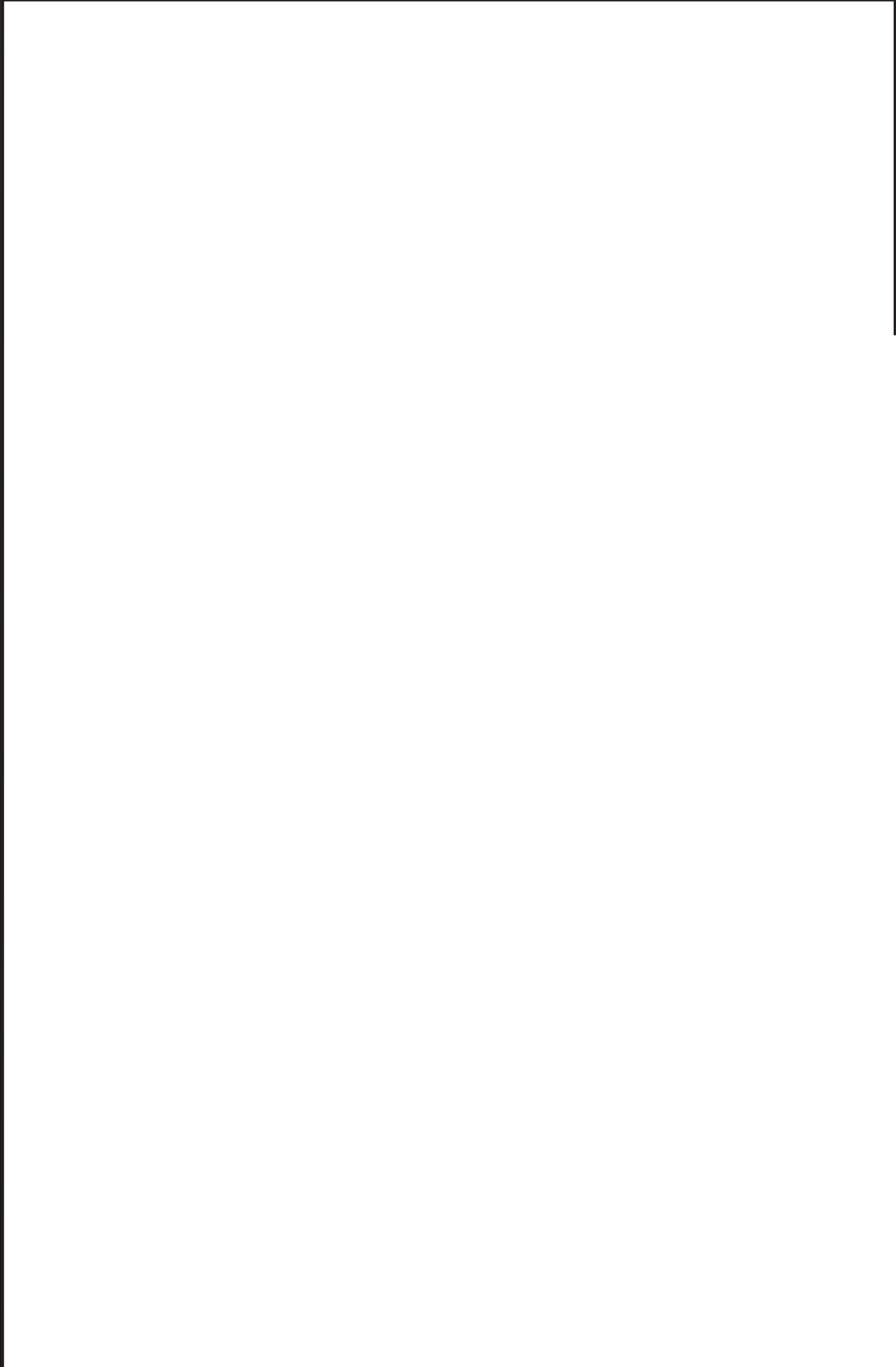
鳥瞰図 FCVS-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCVS-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 FCVS-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
FCVS-003	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	10 1	Spr m(Ss) Sn(Ss)	136 —	366 —	— 302*	— 240	— 0.3849

\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FCVS-003-078S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		110	150
FCVS-003-073B	ロッドレストレイント	RTS-16			125	240

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>				
FCVS-003-104R	レストレイント	架構	STKR400	66	364	0	258	—	—	—	—	—	106	433
FCVS-003-109A	アンカ	架構	STKR400	40	460	507	301	725	65	1095	せん断	102	282	
FCVS-004-008R	レストレイント	架構	STKR400	40	196	0	95	—	—	—	組合せ	71	280	

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と余裕を算出し、応力分類ごとに余裕が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS														
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	余裕 裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	余裕 裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表		
1	FCVS-001	31	114	363	3.18	—	31	218	414	1.89	—	—	—	—		
2	FCVS-002	73	127	363	2.85	—	70	226	414	1.83	—	—	—	—		
3	FCVS-003	10	136	366	2.69	○	1	302	240	0.79	○	1	0.3849	○		
4	FCVS-004	3	132	366	2.77	—	3	274	240	0.87	—	3	0.3833	—		
5	KFCVS-101	37	113	363	3.21	—	35	204	414	2.02	—	—	—	—		
6	KFCVS-105	59	70	366	5.22	—	84	213	240	1.12	—	—	—	—		
7	KFCVS-106	6	90	413	4.58	—	60	236	318	1.34	—	—	—	—		
8	KFCVS-108	10	41	366	8.92	—	1	90	240	2.66	—	—	—	—		
9	KFCVS-109	8	93	366	3.93	—	8	171	240	1.40	—	—	—	—		
10	KFCVS-111	11	91	366	4.02	—	11	163	240	1.47	—	—	—	—		

VI-2-9-4-6-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書  
(原子炉格納容器フィルタベント系)

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	4
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	14
3.	評価部位	14
4.	固有周期	15
4.1	固有周期の計算方法	15
4.2	固有周期の計算条件	27
4.3	固有周期の計算結果	27
5.	構造強度評価	27
5.1	構造強度評価方法	27
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	27
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	27
5.2.2	許容応力	28
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	28
5.3	設計用地震力	33
5.4	計算方法	34
5.4.1	胴の応力	34
5.4.2	ラグの応力	49
5.4.3	取付ボルトの応力	52
5.5	計算条件	53
5.6	応力の評価	54
5.6.1	胴の応力評価	54
5.6.2	ラグの応力評価	54
5.6.3	取付ボルトの応力評価	54
6.	評価結果	55
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	55
7.	引用文献	68

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、フィルタ装置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。

フィルタ装置は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

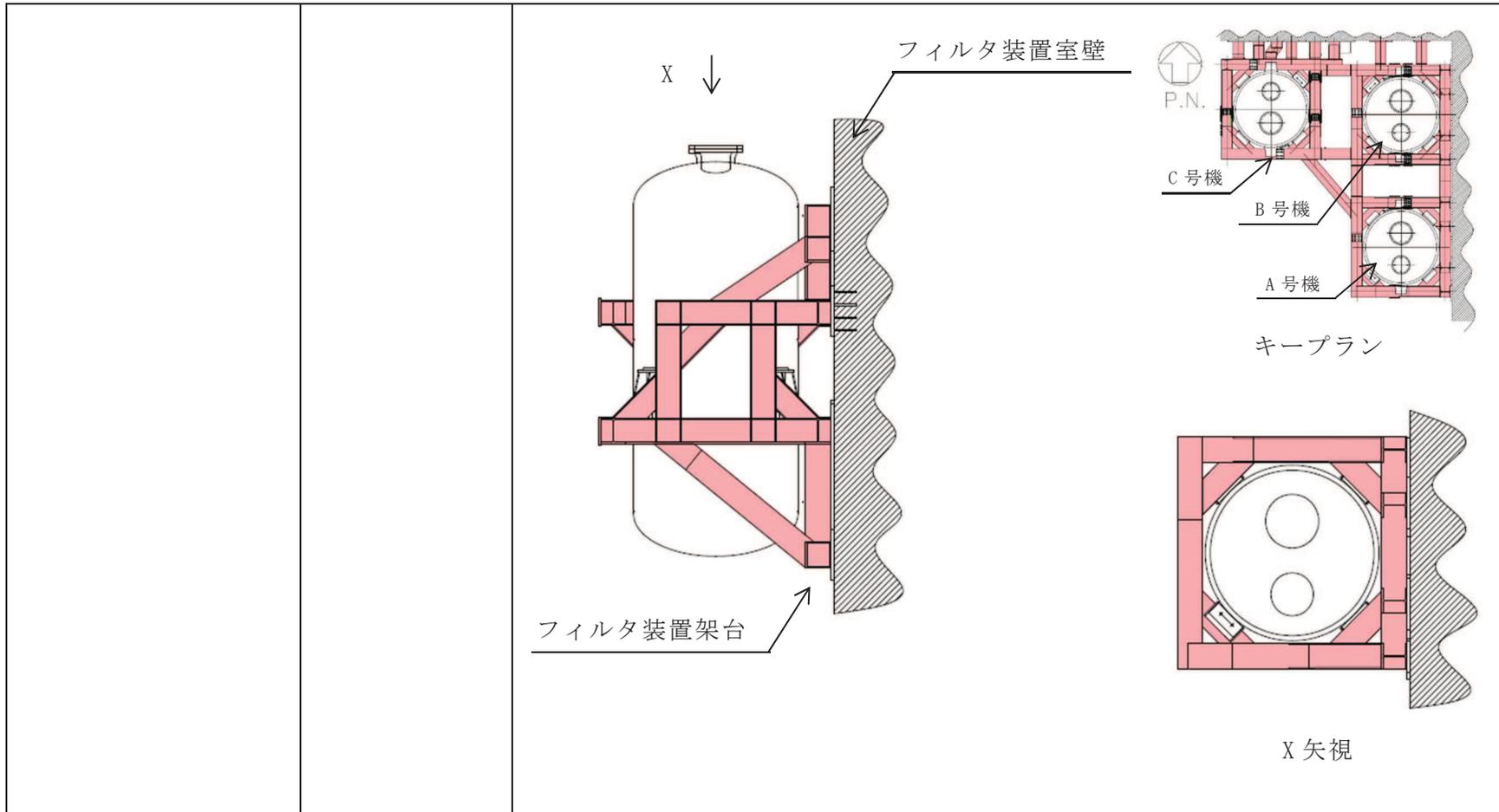
## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		構造計画図*
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 4 個のラグで支持し、ラグをフィルタ装置室壁に固定されたフィルタ装置架台に取付ボルトで固定する。</p>	<p>たて置円筒形（胴を有するラグ支持たて置円筒形容器）</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>



注記\* : フィルタ装置は3台並列に設置されており、各フィルタ装置は同様の耐震評価になる。代表としてA号機の構造計画を示す。

## 2.2 評価方針

フィルタ装置の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示すフィルタ装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「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。

フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

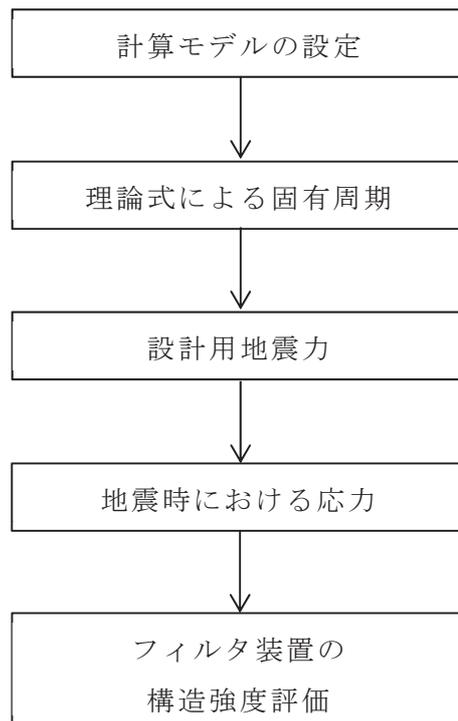


図 2-1 フィルタ装置の耐震評価フロー

## 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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	胴の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b e</sub>	ボルトの有効断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>e</sub>	胴の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 1</sub>	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 2</sub>	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm <sup>2</sup>
a	ラグの半径方向端面から胴板の厚さの中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面からボルト中心までの距離	mm
C <sub>1</sub>	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1(胴の周方向)	mm
C <sub>2</sub>	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1(胴の軸方向)	mm
C <sub>c j</sub>	周方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(1)より得られる値)(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
C <sub>ℓ j</sub>	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(1)より得られる値)(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
c	基礎又は架台端面からボルト中心までの距離	mm
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
d	ボルト中心間の距離	mm
d <sub>0</sub>	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E <sub>b</sub>	ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の2分の1	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>V</sub>	単位鉛直力	N
F <sub>0</sub>	振動モデル系における水平力	N
F <sub>0V</sub>	振動モデル系における鉛直力	N
F <sub>1</sub>	振動モデル系の上部重心における水平力	N
F <sub>2</sub>	振動モデル系の下部重心における水平力	N
F <sub>01</sub>	運転時質量によりボルトに作用する鉛直方向反力	N

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$F_{01D}$	鉛直下向き地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
$F_{01U}$	鉛直上向き地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
$F_{01V}$	鉛直方向地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
$F_{02}$	運転時質量により基礎又は架台端面に作用する鉛直方向反力	N
$F_{02U}$	鉛直上向き地震力によりラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
$F_{11}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ により第1ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
$F_{12}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ により第1ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
$F_{21}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による第3ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
$F_{22}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による第3ラグの基礎又は架台端面に作用する鉛直方向反力	N
$F_{31}, F_{32}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による第2ラグ及び第4ラグのボルトに作用する鉛直方向反力 (図4-4に示す鉛直方向反力)	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_t$	ラグの許容引張応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H	水頭	mm
$H_1$	ラグのアタッチメント中心より上部重心までの距離	mm
$H_2$	ラグのアタッチメント中心より下部重心までの距離	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$K_c$	胴のラグつけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(2)より得られる値)	—
$K_\ell$	胴のラグつけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(2)より得られる値)	—
$k_c, k_\ell$	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
$k_1$	胴の中心軸の傾きに対するばね定数	N・mm/rad
$k_2$	胴の中心軸の水平移動に対するばね定数	N/mm

記号	記号の説明	単位
$k_3$	上部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
$k_4$	下部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
$k_5$	鉛直方向変位に対するばね定数	N/mm
$k_6$	鉛直荷重による上部胴の伸び変位に対するばね定数	N/mm
$k_7$	鉛直荷重による下部胴の伸び変位に対するばね定数	N/mm
$L_b$	ボルトの有効長さ	mm
$M_0$	鉛直方向荷重による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_1, M_2$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_3$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴のラグつけ根部のねじりモーメント	N・mm
$M_c$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴のラグつけ根部の周方向モーメント	N・mm
$M_\ell$	運転時質量による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell V}$	鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_x$	胴に生じる軸方向の曲げモーメント (引用文献 (1) の図表より)	N・mm
$M_\phi$	胴に生じる周方向の曲げモーメント (引用文献 (1) の図表より)	N・mm
$m_0$	容器の運転時質量	kg
$m_1$	ラグのアタッチメント中心より上部の運転時質量	kg
$m_2$	ラグのアタッチメント中心より下部の運転時質量	kg
$N_x$	胴に生じる軸方向の膜力 (引用文献 (1) の図表より)	N/mm
$N_\phi$	胴に生じる周方向の膜力 (引用文献 (1) の図表より)	N/mm
$n$	ラグ1個当たりのボルトの本数	—
$P_r$	最高使用圧力	MPa
$Q$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴のラグつけ根部の周方向荷重	N
$R$	運転時質量によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
$R_0$	鉛直方向荷重によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
$R_1$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
$R_D$	鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向反力	N
$R_U$	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向反力	N
$R_V$	鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向反力	N
$r_m$	胴の平均半径	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_a$	胴の許容応力	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$T$	水平方向固有周期	s
$T_v$	鉛直方向固有周期	s
$t$	胴板の厚さ	mm
$Z_{sp}$	ラグのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sl}$	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{st}$	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\Delta_{x1}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴の中心軸の水平方向変位量	mm
$\Delta_{x2}$	水平力 $F_1$ による上部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
$\Delta_{x3}$	水平力 $F_2$ による下部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
$\beta, \beta_1, \beta_2, \beta_c, \beta_l$	引用文献 (1), (2) によるアタッチメントパラメータ	—
$\gamma$	引用文献 (1), (2) によるシェルパラメータ	—
$\delta_{11}$	上部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
$\delta_{12}$	下部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
$\delta_{21}$	上部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm
$\delta_{22}$	下部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\delta_{11v}$	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
$\delta_{12v}$	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
$\delta_{21v}$	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
$\delta_{22v}$	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
$\varepsilon$	拘束係数 (ラグの回転を拘束する場合: 1, ラグの回転を拘束しない場合: 0)	—
$\theta$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴の中心軸の傾き角	rad
$\theta_0$	運転時質量による胴のラグつけ根部の局部傾き角	rad
$\theta_{0U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の局部傾き角	rad
$\theta_1$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴の第1ラグつけ根部の局部傾き角	rad
$\theta_2$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴の第3ラグつけ根部の局部傾き角	rad
$\theta_3$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による胴の第2ラグ及び第4ラグの周方向ねじれ角	rad
$\theta_{s0}$	運転時質量によるラグの基礎又は架台に対する傾き角	rad
$\theta_{s0U}$	鉛直上向き地震力によるラグの基礎又は架台に対する傾き角	rad
$\theta_{s1}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による第1ラグの基礎又は架台に対する傾き角	rad
$\theta_{s2}$	水平力 $F_1$ 及び $F_2$ による第3ラグの基礎又は架台に対する傾き角	rad
$\pi$	円周率	—
$\rho'$	液体の密度 (= 比重 $\times 10^{-6}$ )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_0$	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0x}$	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_1$	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_2$	胴の一次+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{11}, \sigma_{12}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{13}, \sigma_{14}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{15}, \sigma_{16}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{17}, \sigma_{18}$	X方向地震が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{19}, \sigma_{110}$	X方向地震が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{26}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{27} \sim \sigma_{210}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1}$	Z方向地震により第1ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b2}$	Z方向地震により第2ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b3}$	Z方向地震により第3ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b4}$	X方向地震により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b5}$	X方向地震により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{1s}$	Z方向地震が作用した場合の第1ラグの組合せ応力	MPa
$\sigma_{2s}$	Z方向地震が作用した場合の第2ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
$\sigma_{3s}$	Z方向地震が作用した場合の第3ラグの組合せ応力	MPa
$\sigma_{4s}$	X方向地震が作用した場合の第1ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
$\sigma_{5s}$	X方向地震が作用した場合の第2ラグ及び第3ラグの組合せ応力	MPa
$\sigma_s$	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{s1}$	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s2}$	Z方向地震による第1ラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s3}$	Z方向地震による第2ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s4}$	Z方向地震による第3ラグの曲げ応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{s5}$	X方向地震による第1ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s6}$	X方向地震による第2ラグ及び第3ラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s7}$	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x2}$	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4}$	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x5}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x5}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x6}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x6}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x7}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x7}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x8}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x9}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10}, \sigma_{2x10}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{x11}$	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{xx1} \sim \sigma_{xx6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1} \sim \sigma_{\phi x6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z5},$ $\sigma_{\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xx1} \sim$ $\sigma_{2xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2xz1} \sim$ $\sigma_{2xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi x1} \sim$ $\sigma_{2\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi z1} \sim$ $\sigma_{2\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12D},$ $\sigma_{x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12U},$ $\sigma_{x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12D},$ $\sigma_{2x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12U},$ $\sigma_{2x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12},$ $\sigma_{2x12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\tau_3$	Z方向地震により胴のラグつけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\tau_6$	X方向地震により胴のラグつけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b2}$	Z方向地震によりボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b4}$	X方向地震により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b5}$	X方向地震により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{c1}$	Z方向地震により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{c4}$	X方向地震により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 1}$	運転時質量により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 2}$	Z方向地震により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 5}$	X方向地震により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6D}$	鉛直下向き地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6U}$	鉛直上向き地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6}$	鉛直方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{s1}$	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s2}$	Z方向地震による第1ラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s3}$	Z方向地震による第2ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s4}$	Z方向地震による第3ラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s5}$	X方向地震による第1ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s6}$	X方向地震による第2ラグ及び第3ラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s7}$	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
$\omega$	水平方向振動系の角速度	rad/s
$\omega_v$	鉛直方向振動系の角速度	rad/s

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

フィルタ装置の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、ラグ及び取付ボルトについて実施する。フィルタ装置の耐震評価部位については、表 2-1 の構造計画図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

###### (1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は、ラグのアタッチメントの中心を基準にして、上部側、下部側に分け、それぞれの全質量が、それぞれの重心に集中するものとする。
- b. ラグの基礎への取付けは、ボルトで行っているが、ラグと基礎との取付部でボルトの伸びを考慮する。又は鉛直方向荷重に対しては、ラグと基礎との取付部でボルトの伸びを考慮する。
- c. ラグは、胴の半径方向にスライド可能とし、半径方向の荷重は受けもたないものとする。
- d. ラグは、円周方向の荷重に対し、基礎台にピン構造で支持されているものとし、ボルト間の中心を軸に回転し得るものとする。ただし、ラグが外部サポートの支持により回転しない構造となっている場合は、ラグの回転を無視することができるものとする。
- e. 水平方向は、胴を梁と考え、水平方向の変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を、鉛直方向は胴の伸び変形を考慮する。
- f. 胴板とラグとの取付部において胴板の局部変形を考慮する。
- g. 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において安全側に絶対値で組合せるものとする。なお、取付ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- h. 本評価式は鉛直方向反力  $F_{11}$ ,  $F_{12}$ ,  $F_{21}$ ,  $F_{22}$  が全て正の値の場合のみ適用する。
- i. 本評価式は、ラグ一つに対し、ボルトが 2 本取付けられる場合のみ適用する。
- j. 容器の胴は 4 個のラグで支持され、ラグはそれぞれ基礎にボルトで取付けられるものとする。
- k. 架台は剛構造とする。
- l. 耐震計算に用いる寸法は公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図 4-1 に示す下中間部でばね支持をされた 2 質点系振動モデルとして考える。

(2) 水平方向固有周期

水平方向の 2 質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、振動系における角速度  $\omega$  は下記に示す 2 質点系の自由振動の式より求める。

$$\frac{1}{10^6} m_1 m_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}) \omega^4 - \frac{1}{10^3} (\delta_{11} m_1 + \delta_{22} m_2) \omega^2 + 1 = 0 \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$\delta_{11}$  及び  $\delta_{21}$  は容器上部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量であり、 $\delta_{12}$  及び  $\delta_{22}$  は容器下部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量である。

これらは、次式で求める。

$$\delta_{11} = \frac{H_1^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} = \frac{1}{k_2} - \frac{H_1 H_2}{k_1} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$\delta_{22} = \frac{H_2^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_4} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

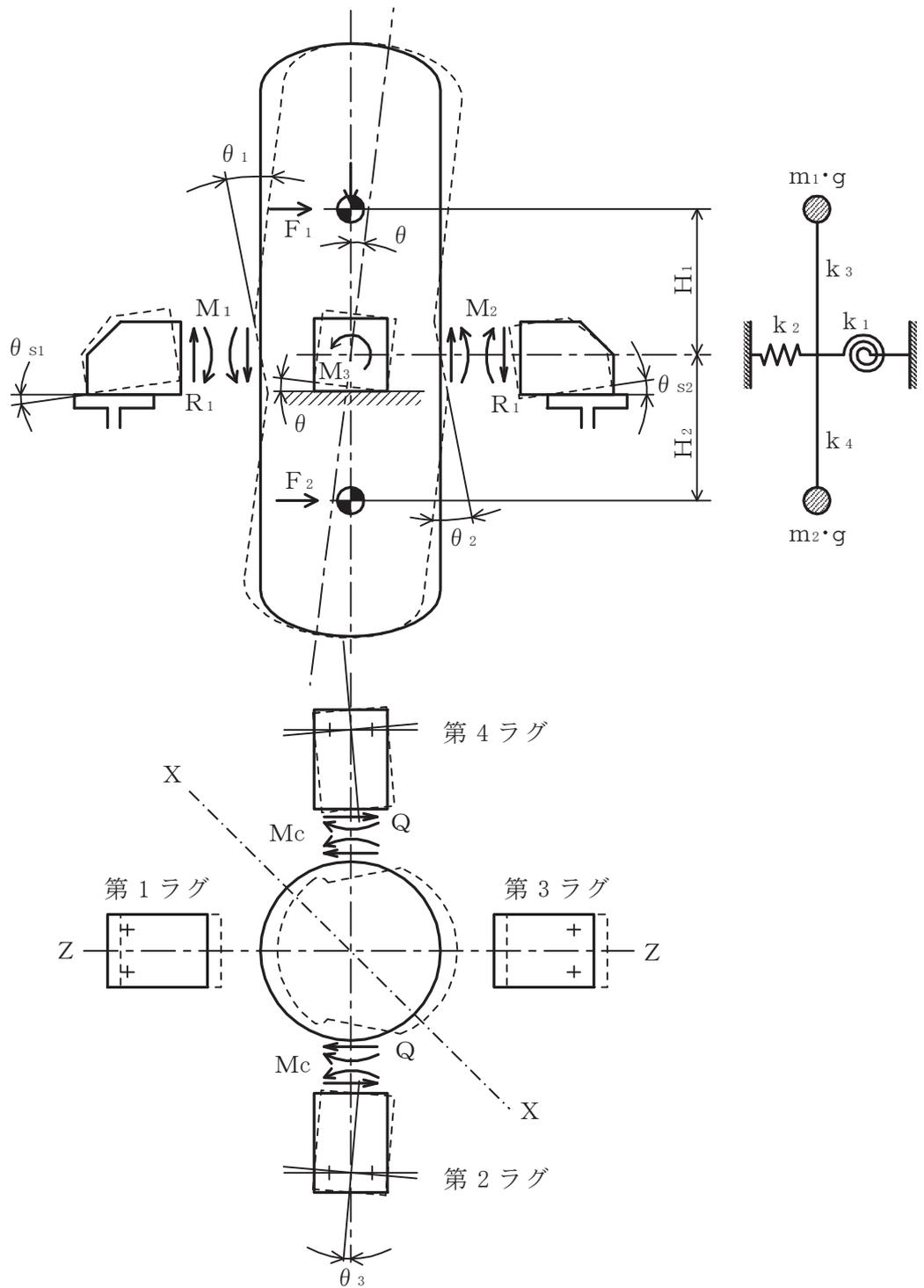


図4-1 固有周期の計算モデル

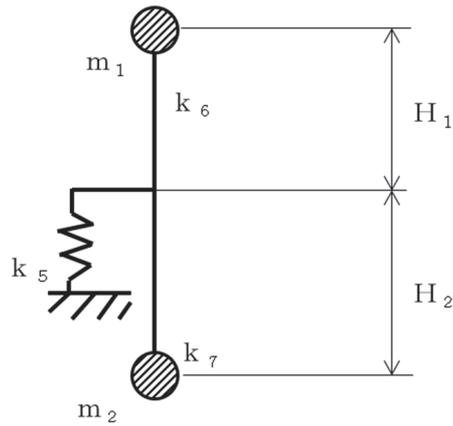


図4-2 鉛直方向固有周期の計算モデル

ばね定数  $k_1, k_2, k_3$  及び  $k_4$  は以下により求める。

- a. 胴の中心軸の傾きに対するばね定数  $k_1$  は次式で求める。

$$k_1 = \frac{|F_1 H_1 - F_2 H_2|}{\theta} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 $\theta$  はそれぞれのラグ、ボルト及び胴について荷重、モーメント及び変位量の釣合い条件の方程式を作ることにより、以下により求める。

胴への荷重、モーメント及び胴の変位量について水平力の釣合いより

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2Q \dots\dots\dots (4.1.7)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$F_1 H_1 - F_2 H_2 - M_1 - M_2 - 2M_3 - 2R_1 r_m = 0 \dots\dots\dots (4.1.8)$$

ここで、 $r_m$  は次式による。

$$r_m = \frac{D_i + t}{2} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴のつけ根部の局部傾き角は

$$\theta_1 = \frac{M_1 K_\ell}{r_m \beta_\ell E} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\theta_2 = \frac{M_2 K_\ell}{r_m \beta_\ell E} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$  の場合は  $M_1$  を  $-M_1$  及び  $M_2$  を  $-M_2$  に置き換える。

ここで、 $K_\ell$  は引用文献 (2) に基づく胴のラグつけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数であり、シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメン

トパラメータ  $\beta$  は，以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.14)$$

$$\beta_\ell = k_\ell \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.1.15)$$

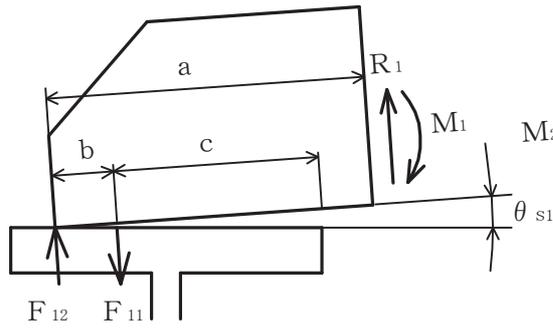


図4-3 第1ラグに作用する  
モーメントと力

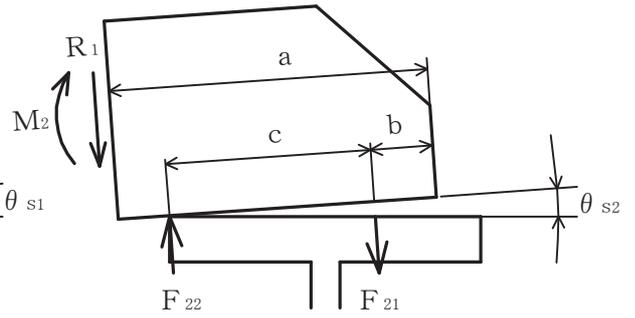


図4-4 第3ラグに作用する  
モーメントと力

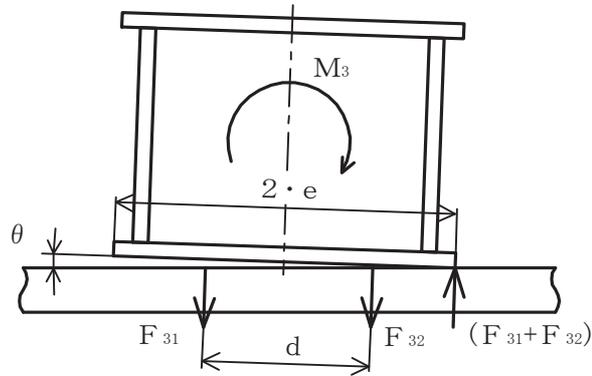


図4-5 第2ラグ及び第4ラグに作用するモーメントと力

第1ラグについて図4-3のように傾いたとき、モーメントの釣合いより

$$F_{12} a - F_{11} (a - b) + M_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.16)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$  の場合は  $a$  を  $(a - b - c)$  に置き換える。

鉛直力の平衡条件より

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.17)$$

第3ラグについて図4-4のように傾いたとき、モーメントの釣合いより

$$F_{21} (a - b) - F_{22} (a - b - c) + M_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.18)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$  の場合は  $(a - b - c)$  を  $a$  に置き換える。

鉛直力の平衡条件より

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.19)$$

第2ラグ及び第4ラグについて図4-5のように傾いたとき、モーメントの釣合いより

$$-F_{31} \frac{d}{2} + F_{32} \frac{d}{2} - (F_{31} + F_{32}) e + M_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.20)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺第3項の「 $-(F_{31} + F_{32})$ 」を「 $+(F_{31} + F_{32})$ 」に置き換える。

ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e + \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e - \frac{d}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.1.21)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺分母の「 $e + \frac{d}{2}$ 」を「 $e - \frac{d}{2}$ 」及び右辺分母の「 $e - \frac{d}{2}$ 」を「 $e + \frac{d}{2}$ 」に置き換える。

ラグの基礎又は架台に対する傾き角はボルトの伸びと力の平衡条件により求める。

第1ラグについて

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} L_b}{n A_{be} E_b b} \quad \dots\dots\dots (4.1.22)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は  $b$  を  $c$  に置き換える。

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} L_b}{n A_{be} E_b c} \quad \dots\dots\dots (4.1.23)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は  $c$  を  $b$  に置き換える。

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\theta = \frac{F_{31} L_b}{A_{be} E_b \left( e + \frac{d}{2} \right)} \quad \dots\dots\dots (4.1.24)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は  $F_{31}$  を  $F_{32}$  に置き換える。

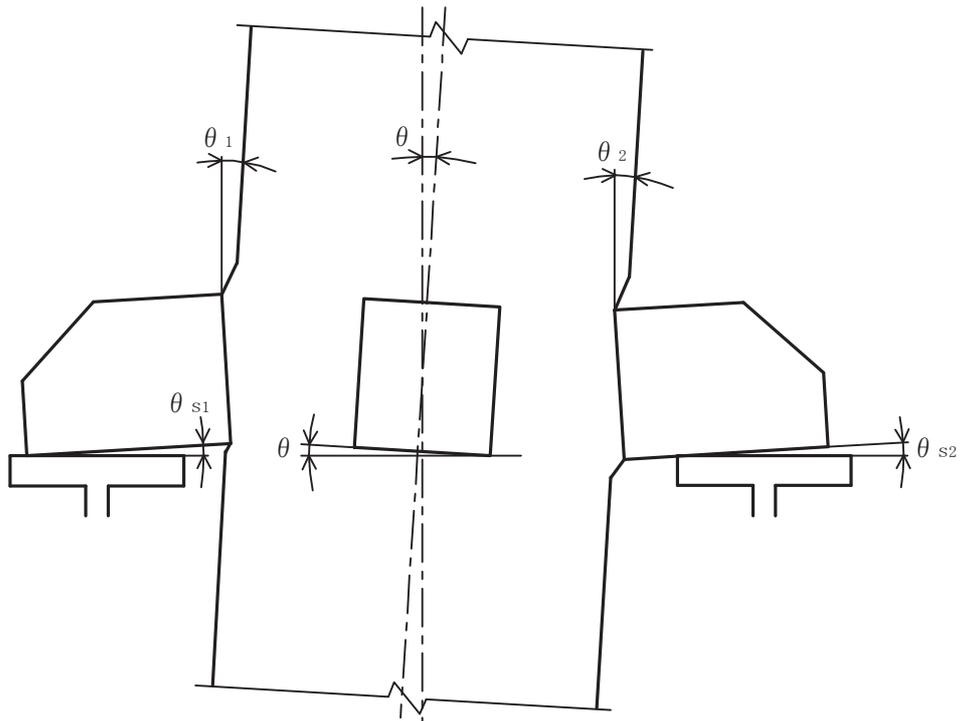


図4-6 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

胴中心軸の傾き角  $\theta$ ，ラグつけ根部の局部傾き角  $\theta_1$  及び  $\theta_2$  並びにラグの基礎又は架台に対する傾き角  $\theta_{s1}$  及び  $\theta_{s2}$  の間には次の関係が成立する。

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.25)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.26)$$

$$a \theta_{s1} - 2r_m \theta + (a - b - c) \theta_{s2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.27)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$  の場合は  $a$  を  $(a - b - c)$  及び  $(a - b - c)$  を  $a$  に置き換える。

したがって、15 変数  $M_1, M_2, M_3, R_1, \theta_1, \theta_2, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}, F_{31}, F_{32}, \theta_{s1}, \theta_{s2}$  及び  $\theta$  に対して (4.1.10) 式、(4.1.11) 式及び (4.1.16) 式～(4.1.27) 式を連立させ、胴中心軸の傾き角  $\theta$  が求められ、(4.1.6) 式に  $\theta$  を代入することによりばね定数  $k_1$  が求まる。

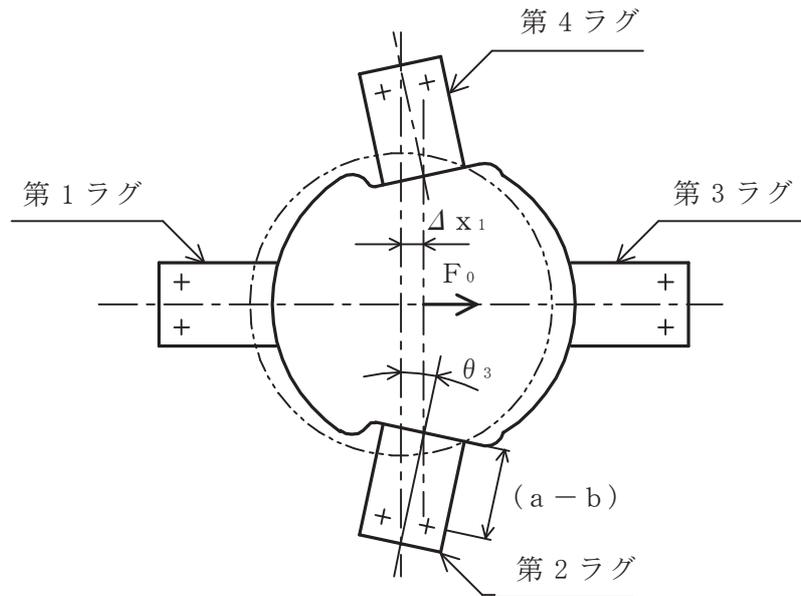


図4-7 水平力による胴の中心軸の変位量

b. 胴の水平方向移動に対するばね定数 \$k\_2\$ は次式で求める。

$$k_2 = F_0 / \Delta x_1 \quad \dots\dots\dots (4.1.28)$$

ここで、\$F\_0\$ は(4.1.7)式で求められる値を用い、\$\Delta x\_1\$ は

$$\Delta x_1 = (a - b) \theta_3 \quad \dots\dots\dots (4.1.29)$$

\$\theta\_3\$ は(4.1.7)式で求められる \$Q\$ の値を用いることにより以下により求める。

第2ラグ及び第4ラグの曲げモーメントの釣合いにより

$$M_c = Q (a - b) (1 - \varepsilon) \quad \dots\dots\dots (4.1.30)$$

水平力による第2ラグ及び第4ラグの胴のつけ根部の局部傾き角は、(4.1.10)式の \$\theta\_1\$ 又は(4.1.11)式の \$\theta\_2\$ と同様にして、シェルパラメータ \$\gamma\$ 及びアタッチメントパラメータ \$\beta\$ によって引用文献(2)の表より値を求めることにより次式で求める。

$$\theta_3 = \frac{M_c K_c}{r_m \beta_c^2 E} \quad \dots\dots\dots (4.1.31)$$

ここで、\$\beta\$ は次式による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \quad \dots\dots\dots (4.1.32)$$

- c. 水平力による上部側の胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数  $k_3$  は次式で求める。

$$k_3 = F_1 / \Delta_{x2} \quad \dots\dots\dots (4.1.33)$$

ここで、 $\Delta_{x2}$  は次式による。

$$\Delta_{x2} = \frac{F_1 H_1^3}{3EI} + \frac{F_1 H_1}{GA_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.34)$$

胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t \quad \dots\dots\dots (4.1.35)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (D_i + t) t \quad \dots\dots\dots (4.1.36)$$

- d. 水平力による下部側の胴の曲げ及びせん断変形によるばね定数  $k_4$  は次式で求める。

$$k_4 = F_2 / \Delta_{x3} \quad \dots\dots\dots (4.1.37)$$

ここで、 $\Delta_{x3}$  は次式で求める。

$$\Delta_{x3} = \frac{F_2 H_2^3}{3EI} + \frac{F_2 H_2}{GA_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.38)$$

以上より振動系の角速度  $\omega$  が求められ、(4.1.1)式に  $\omega$  を代入することにより固有周期  $T$  が求まる。

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向の 2 質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T_v = \frac{2\pi}{\omega_v} \quad \dots\dots\dots (4.1.39)$$

ここで、振動系における角速度  $\omega_v$  は下記に示す 2 質点系の自由振動の式より求める。

$$\frac{1}{10^6} m_1 m_2 (\delta_{11v} \delta_{22v} - \delta_{12v} \delta_{21v}) \omega_v^4 - \frac{1}{10^3} (\delta_{11v} m_1 + \delta_{22v} m_2) \omega_v^2 + 1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.40)$$

$\delta_{11v}$  及び  $\delta_{21v}$  は容器上部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量であり、 $\delta_{12v}$  及び  $\delta_{22v}$  は容器下部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量である。

これらは、次式で求める。

$$\delta_{11v} = \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_6} \dots\dots\dots (4.1.41)$$

$$\delta_{21v} = \delta_{12v} = \frac{1}{k_5} \dots\dots\dots (4.1.42)$$

$$\delta_{22v} = \frac{1}{k_5} - \frac{1}{k_7} \dots\dots\dots (4.1.43)$$

ばね定数  $k_5$ ,  $k_6$  及び  $k_7$  は以下により求める。

a. 鉛直方向変位に対するばね定数  $k_5$  は、鉛直方向の力の釣合より

$$4R_0 - F_v = 0 \dots\dots\dots (4.1.44)$$

ラグについて、図4-8のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件により

$$(a - b - c)F_{02} - (a - b)F_{01} - M_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.45)$$

$$F_{02} - F_{01} - R_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.46)$$

ラグつけ根部の局部傾き角  $\theta_0$  及びラグの架台に対する傾き角  $\theta_{s0}$  は、4.1(2)a 項の  $\theta_2$  及び  $\theta_{s2}$  と同様の方法で求められる。

$$\theta_0 = \frac{M_0 K_\ell}{r_m \beta_\ell E} \dots\dots\dots (4.1.47)$$

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} L_b}{n A_{be} E_b c} \dots\dots\dots (4.1.48)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角  $\theta_0$  とラグの架台に対する傾き角  $\theta_{s0}$  は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \dots\dots\dots (4.1.49)$$

以上の式を連立させて解くことにより  $\theta_{s0}$  が得られ、これより鉛直方向変位量  $(a - b - c) \theta_{s0}$  が求まる。従って、鉛直方向変位に対するばね定数  $k_5$  は次式で求められる。

$$k_5 = \frac{F_v}{(a - b - c) \theta_{s0}} \dots\dots\dots (4. 1. 50)$$

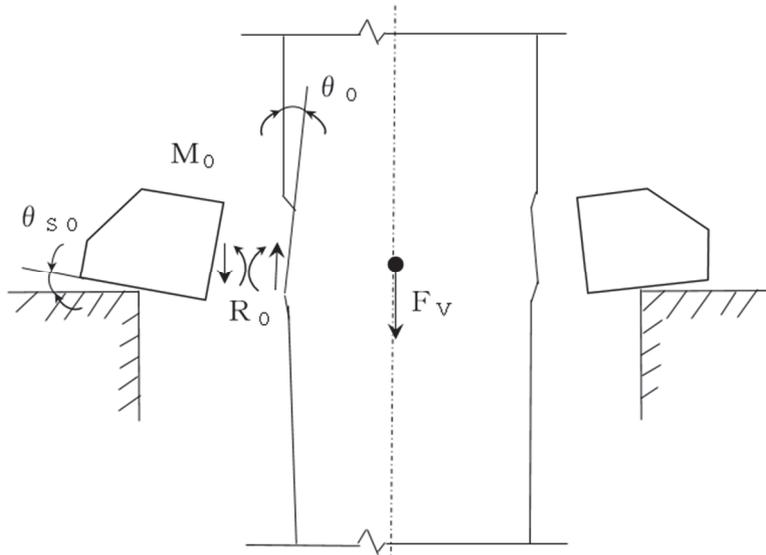


図4-8 鉛直下向き荷重により胴に生じるモーメントと力

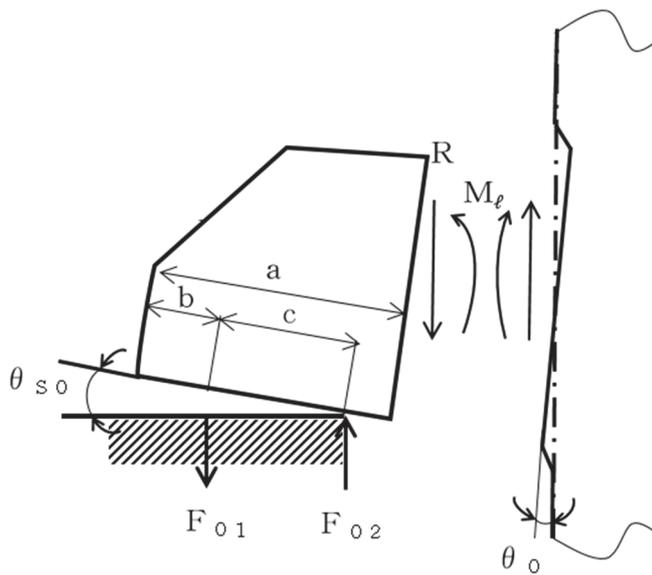


図4-9 鉛直下向き荷重によりラグに作用するモーメントと力

b. 鉛直荷重による上部胴の伸び変形に対するばね定数  $k_6$  は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_6} = \frac{H_1}{AE} \dots\dots\dots (4.1.51)$$

c. 鉛直荷重による下部胴の伸び変形に対するばね定数  $k_7$  は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_7} = \frac{H_2}{AE} \dots\dots\dots (4.1.52)$$

#### 4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

#### 4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

### 5. 構造強度評価

#### 5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～1.の条件で計算する。

#### 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

フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 5.2.2 許容応力

フィルタ装置の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表5-2及び表5-3のとおりとする。

### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4に示す。

表5-1 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	フィルタ装置	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	放射性物質濃度制御設 備及び可燃性ガス濃度 制御設備並びに格納容 器再循環設備	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス2容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他 の安全設備	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス2容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界 を用いる。)

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

\*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, 2</sup>			
	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
IV <sub>AS</sub>	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の 1.5 倍の値	<sup>*3</sup> 基準地震動 S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば，疲労解析は不要。	
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> として IV <sub>AS</sub> の 許容限界を用いる。)				

注記\*1：座屈による評価が必要な場合には，クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*3：2・S<sub>y</sub> を超えるとき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<sub>m</sub> は 2/3・S<sub>y</sub> と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)			

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
胴	SUS316L	最高使用温度	200	107	120	407	—
ラグ	SUS316L	周囲環境温度	66	—	159	459	175
取付ボルト	SUS630 	周囲環境温度	66	—			

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「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 5-5 設計用地震力（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 OP. 15.00* (OP. 22.50)	□	□	—	—	$C_H = 2.12$	$C_V = 1.56$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 胴の応力

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、本評価においては絶対値和法を用いる。

#### (1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震動を含む）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' g H D_i}{2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' g H D_i C_V}{2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r (D_i + 1.2 t)}{2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r (D_i + 1.2 t)}{4 t} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

#### (2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 g}{\pi t (D_i + t)} \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

#### (3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

$$\sigma_{x11} = \frac{m_0 g C_V}{\pi t (D_i + t)} \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

(4) 運転時質量による胴のラグつけ根部の応力

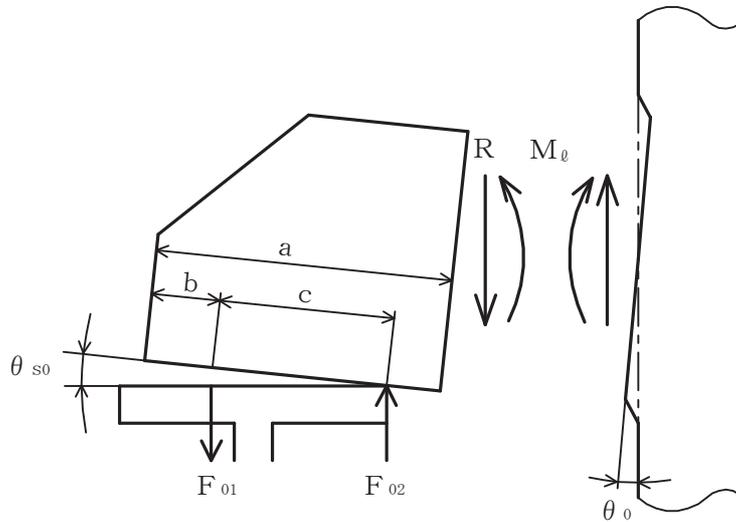


図5-1 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量 $m_0$ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4R - m_0 g = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

上式を変形して

$$R = m_0 g / 4 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

また、ラグについて図5-1のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02} (a - b - c) - F_{01} (a - b) - M_l = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$F_{02} - F_{01} - R = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

(5.3.1.11) 式へ (5.3.1.12) 式を代入して

$$F_{01} = \frac{R (a - b - c) - M_l}{c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.13)$$

運転時質量によるラグの局部傾き角 $\theta_0$ を(4.1.10)式の $\theta_1$ 又は(4.1.11)式の $\theta_2$ と同様にして、次式で求める。

$$\theta_0 = \frac{M_l K_l}{r_m \beta_l^2 E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.14)$$

運転時質量によるラグの基礎又は架台に対する傾き角 $\theta_{s0}$ は、(4.1.22)式の $\theta_{s1}$ 又は(4.1.23)式の $\theta_{s2}$ と同様にして求める。

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} L_b}{n A_{be} E_b c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.15)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角  $\theta_0$  とラグの傾き角  $\theta_{s0}$  は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.16)$$

(5.4.1.16)式へ(5.4.1.14)式及び(5.4.1.15)式を代入して得られる  $F_{01}$  の式と(5.4.1.13)式より、胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメントを次式で求める。

$$M_\ell = \frac{R(a-b-c)}{1 + \frac{n A_{be} E_b K_\ell c}{r_m \beta_\ell^2 E L_b}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.17)$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_\ell$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(1)、(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメントパラメータ  $\beta$  は、以下のように定義する。

$$r_m = \frac{D_i + t}{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.18)$$

$$r = r_m / t \quad \dots\dots\dots (5.4.1.19)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.20)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.21)$$

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.22)$$

シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメントパラメータ  $\beta_\ell$  によって引用文献(1)の図より値を求める(以下、\*を付記する)ことにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left[ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m \beta_\ell)} \right]^* \left( \frac{M_\ell}{r_m \beta_\ell t} \right) C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.23)$$

$$\sigma_{x 3} = \left[ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m \beta_\ell)} \right]^* \left( \frac{M_\ell}{r_m \beta_\ell t} \right) C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.24)$$

反力  $R$  によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4C_2 t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.25)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力は、下記a及びb項より得られる  $\sigma_{\phi 12D}$ ,  $\sigma_{\phi 12U}$ ,  $\sigma_{x 12D}$ ,  $\sigma_{x 12U}$ ,  $\sigma_{2\phi 12D}$ ,  $\sigma_{2\phi 12U}$ ,  $\sigma_{2x 12D}$ ,  $\sigma_{2x 12U}$ ,  $\tau_{\ell 6D}$  及び  $\tau_{\ell 6U}$  を用いて下記のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2} = \max[ |\sigma_{\phi 1 2 D}|, |\sigma_{\phi 1 2 U}| ] \dots\dots\dots (5.4.1.26)$$

$$\sigma_{x 1 2} = \max[ |\sigma_{x 1 2 D}|, |\sigma_{x 1 2 U}| ] \dots\dots\dots (5.4.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 1 2} = \max[ |\sigma_{2\phi 1 2 D}|, |\sigma_{2\phi 1 2 U}| ] \dots\dots\dots (5.4.1.28)$$

$$\sigma_{2x 1 2} = \max[ |\sigma_{2x 1 2 D}|, |\sigma_{2x 1 2 U}| ] \dots\dots\dots (5.4.1.29)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \max[ \tau_{\ell 6 D}, \tau_{\ell 6 U} ] \dots\dots\dots (5.4.1.30)$$

a. 鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直下向き地震荷重により生じる応力は(4)で与えられた連立方程式において、 $m_0g$ を $m_0gC_V$ に置き換えて解くことにより求められる。

$$R_D = m_0gC_V/4 \dots\dots\dots (5.4.1.31)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D (a - b - c)}{1 + \frac{n A_{be} E_b K_{\ell} c}{r_m^3 \beta_{\ell}^2 E L_b}} \dots\dots\dots (5.4.1.32)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \dots\dots\dots (5.4.1.33)$$

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータ $\gamma$ 及びアタッチメントパラメータ $\beta_{\ell}$ によって引用文献(1)の表より値を求める(以下、\*を付記する)ことによって次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 D} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \beta_{\ell} t} \right) C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.34)$$

$$\sigma_{x 1 2 D} = \left[ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \beta_{\ell} t} \right) C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.35)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 1 2 D} = \left[ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_{\ell D}}{r_m \beta_{\ell} t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.36)$$

$$\sigma_{2 \times 1 2 D} = \left[ \frac{M_x}{M_{\ell D} / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 M_{\ell D}}{r_m \beta_{\ell} t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.37)$$

ここでアタッチメントパラメータ  $\beta_{\ell}$  は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に  $k_{\ell}$  を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.38)$$

反力  $R_D$  によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 D} = \frac{R_D}{4 C_2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.39)$$

b. 鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直上向き地震力  $(C_V - 1) m_0 g$  による鉛直方向の力の均衡条件より

$$4 R_U - (C_V - 1) m_0 g = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.40)$$

また、ラグについて図5-2のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} a - F_{01U} (a - b) + M_{\ell U} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.41)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.42)$$

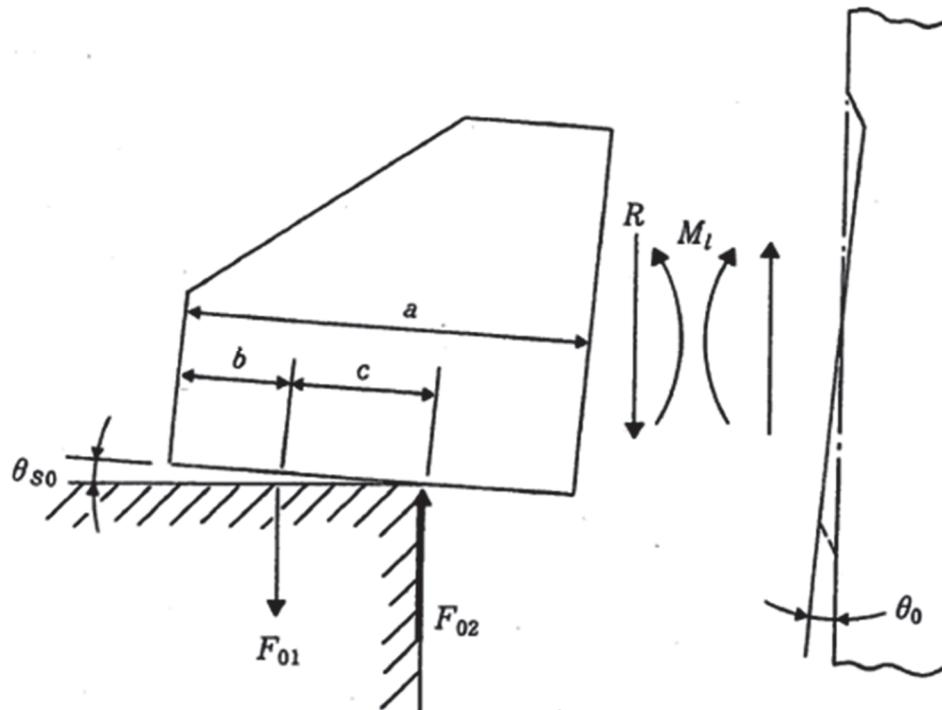


図5-2 鉛直上向き荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグつけ根部の局部傾き角  $\theta_{0U}$  は、4.1(2)a項の  $\theta_1$  又は  $\theta_2$  と同様に次式で求める。

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} K_{\ell}}{r_m^3 \beta_{\ell}^2 E} \dots\dots\dots (5.4.1.43)$$

ラグの基礎に対する傾き角  $\theta_{s0U}$  は、4.1(2)a項の  $\theta_{s1}$  又は  $\theta_{s2}$  と同様に次式で求める。

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} L_b}{n A_{be} E_b b} \dots\dots\dots (5.4.1.44)$$

ここで、ラグつけ根布の局部傾き角  $\theta_{0U}$  とラグの基礎に対する傾き角  $\theta_{s0U}$  は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \dots\dots\dots (5.4.1.45)$$

以上の式を連立させて解くことにより  $R_U$ ,  $M_{\ell U}$ ,  $F_{01U}$  は次式で求められる。

$$R_U = (C_V - 1) m_0 g / 4 \dots\dots\dots (5.4.1.46)$$

$$M_{\ell U} = \frac{R_U a}{1 + \frac{n A_{be} E_b K_{\ell} b^2}{r_m^3 \beta_{\ell}^2 E L_b}} \dots\dots\dots (5.4.1.47)$$

$$F_{01U} = \frac{-R_U a + M_{\ell U}}{b} \dots\dots\dots (5.4.1.48)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント  $M_{\ell U}$  により生じる周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメントパラメータ  $\beta_{\ell}$  によって引用文献(1)の表より値を求める（以下、\*を付記する）ことによって、次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12U} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \beta_{\ell} t} \right) C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.49)$$

$$\sigma_{x 12U} = \left[ \frac{N_x}{M_{\ell U} / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \beta_{\ell} t} \right) C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.50)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 1 2U} = \left[ \frac{M_\phi}{M_{\ell U} / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_{\ell U}}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.51)$$

$$\sigma_{2x 1 2U} = \left[ \frac{M_x}{M_{\ell U} / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_{\ell U}}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.52)$$

ここでアタッチメントパラメータ  $\beta_\ell$  は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に  $k_\ell$  を乗じた値とする。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.53)$$

反力  $R_U$  によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6U} = \frac{R_U}{4C_2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.54)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x4} = \frac{C_H m_1 g H_1 (D_i + 2t)}{2I} \dots\dots\dots (5.4.1.55)$$

ただし、 $m_1 \cdot g \cdot H_1 < m_2 \cdot g \cdot H_2$  の場合は  $m_1 \cdot g \cdot H_1$  を  $m_2 \cdot g \cdot H_2$  に置き換える。

(7) Z方向地震による胴のラグつけ根部の応力

水平力  $F_1$  を  $C_H \cdot m_1 \cdot g$  及び  $F_2$  を  $C_H \cdot m_2 \cdot g$  に置き換えて得られる  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $R_1$  及び  $M_3$  の値を使用する。

鉛直方向モーメント  $M_1$  及び  $M_2$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は  $\sigma_{\phi 3}$  及び  $\sigma_{x3}$  と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left[ \frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_1|}{r_m^2 \beta_\ell t} \right) C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.56)$$

$$\sigma_{x5} = \left[ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_1|}{r_m^2 \beta_\ell t} \right) C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.57)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left[ \frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_1|}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.58)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left[ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_1|}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.59)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left[ \frac{N_\phi}{M_2 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_2|}{r_m \beta_\ell t} \right) C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.60)$$

$$\sigma_{x 6} = \left[ \frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_2|}{r_m \beta_\ell t} \right) C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.61)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left[ \frac{M_\phi}{M_2 / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_2|}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.62)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left[ \frac{M_x}{M_2 / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_2|}{r_m \beta_\ell t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.63)$$

ここでアタッチメントパラメータ  $\beta_\ell$  は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に  $k_\ell$  を乗じた値とする。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.64)$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は一次応力

$$\sigma_{\phi 7} = \left[ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_c|}{r_m \beta_c t} \right) C_{c 1} \dots\dots\dots (5.4.1.65)$$

$$\sigma_{x 7} = \left[ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left( \frac{|M_c|}{r_m \beta_c t} \right) C_{c 2} \dots\dots\dots (5.4.1.66)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left[ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_c|}{r_m \beta_c t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.67)$$

$$\sigma_{2x 7} = \left[ \frac{M_x}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left( \frac{6 |M_c|}{r_m \beta_c t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.68)$$

ここでアタッチメントパラメータ  $\beta_c$  は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に  $k_c$  を乗じた値とする。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \dots\dots\dots (5.4.1.69)$$

(4.1.7)式より求まる周方向せん断力  $Q$  によるせん断応力は

$$\tau_{c 1} = \frac{|Q|}{4C_1 t} \dots\dots\dots (5.4.1.70)$$

鉛直方向せん断力  $R_1$  によるせん断応力

$$\tau_{\ell 2} = \frac{|R_1|}{4C_2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.71)$$

ねじりモーメント  $M_3$  により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2\pi C_1^2 t} \dots\dots\dots (5.4.1.72)$$

ただし、 $C_1 > C_2$  の場合は  $C_1$  を  $C_2$  に置き換える。

(8) X方向地震による胴のラグつけ根部の応力

(5.4.1.56)式～(5.4.1.59)式、(5.4.1.60)式～(5.4.1.63)式及び(5.4.1.65)式～(5.4.1.68)式までの右辺に  $1/\sqrt{2}$  を乗じて得られる値を使用し、鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  による場合には  $\sigma_{\phi 8}$ 、 $\sigma_{x 8}$ 、 $\sigma_{2\phi 8}$  及び  $\sigma_{2x 8}$ 、鉛直方向曲げモーメント  $M_2$  による場合には  $\sigma_{\phi 9}$ 、 $\sigma_{x 9}$ 、 $\sigma_{2\phi 9}$  及び  $\sigma_{2x 9}$ 、並びに周方向曲げモーメント  $M_c$  による場合には  $\sigma_{\phi 10}$ 、 $\sigma_{x 10}$ 、 $\sigma_{2\phi 10}$  及び  $\sigma_{2x 10}$  とする。

また、(5.4.1.70)式～(5.4.1.72)式の右辺に  $1/\sqrt{2}$  を乗じて得られる値を使用し、周方向せん断力  $Q$  による場合には  $\tau_{c 4}$ 、鉛直方向せん断力  $R_1$  による場合は  $\tau_{\ell 5}$  及びねじりモーメント  $M_3$  による場合には  $\tau_6$  とする。

(9) 組合せ応力

(1)～(8)によって算出される胴のラグつけ根部に生じる応力は以下により組合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \dots\dots\dots (5.4.1.73)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.74)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots (5.4.1.75)$$

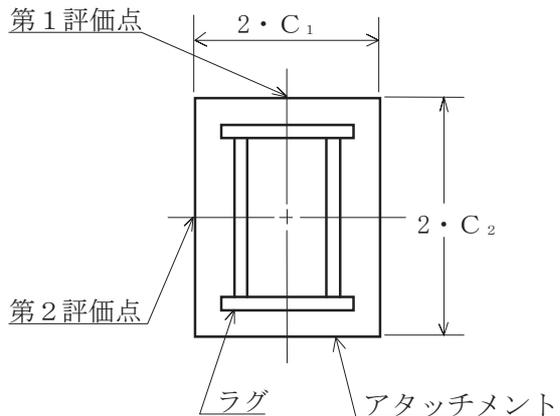


図5-3 胴の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}] \dots\dots\dots (5.4.1.76)$$

(a) 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.77)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.78)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.79)$$

第 2 評価点については

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4(\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.80)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.81)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 11} \dots\dots\dots (5.4.1.82)$$

ロ. 第 2 及び第 4 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.83)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (5.4.1.84)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots\dots\dots (5.4.1.85)$$

第 2 評価点については

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4(\tau_{\ell 1} + \tau_3 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.86)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.87)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 11} \dots\dots\dots (5.4.1.88)$$

ハ. 第 3 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \right\} \dots\dots (5.4.1.89)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (5.4.1.90)$$

$$\sigma_{xz5} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} \dots\dots\dots (5.4.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{xz6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{xz6})^2 + 4(\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.92)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.93)$$

$$\sigma_{xz6} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x11} \dots\dots\dots (5.4.1.94)$$

(b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の組合せ一次応力

イ. 第1及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{xx1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{xx1})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.95)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (5.4.1.96)$$

$$\sigma_{xx1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x8} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} \dots\dots\dots (5.4.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{xx2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{xx2})^2 + 4(\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.98)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.99)$$

$$\sigma_{xx2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x10} + \sigma_{x11} \dots\dots\dots (5.4.1.100)$$

ロ. 第2及び第3ラグのつけ根部  
第1評価点については

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.101)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (5.4.1.102)$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots\dots\dots (5.4.1.103)$$

第2評価点については

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.104)$$

ここで,

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.105)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \dots\dots\dots (5.4.1.106)$$

c. 一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}] \dots\dots\dots (5.4.1.107)$$

(a) 水平方向地震力(Z方向)及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2x z 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2x z 1})^2} \dots (5.4.1.108)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 1} = \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12} \dots (5.4.1.109)$$

$$\sigma_{2x z 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 5} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12} \dots\dots\dots (5.4.1.110)$$

第 2 評価点については

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2xz 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2xz 2})^2 + 4(\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.111)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.112)$$

$$\sigma_{2xz 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 1} \dots\dots\dots (5.4.1.113)$$

ロ. 第 2 及び第 4 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2xz 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2xz 3})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.114)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.115)$$

$$\sigma_{2xz 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.116)$$

第 2 評価点については

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2xz 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2xz 4})^2 + 4(\tau_{\ell 6} + \tau_3)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.117)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.118)$$

$$\sigma_{2xz 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7} + \sigma_{x 1 1} \dots\dots\dots (5.4.1.119)$$

ハ. 第 3 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \dots (5.4.1.120)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots (5.4.1.121)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{2x 6} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.122)$$

第 2 評価点については

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4(\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.123)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.124)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 1} \dots\dots\dots (5.4.1.125)$$

(b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値

イ. 第 1 ラグ及び第 4 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.126)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots (5.4.1.127)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2x 8} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.128)$$

第 2 評価点について

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4(\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.129)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.130)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0} + \sigma_{x 1 1} \dots\dots\dots (5.4.1.131)$$

ロ. 第 2 及び第 3 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{29} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.132)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots (5.4.1.133)$$

$$\sigma_{2xx3} = \sigma_{x4} + \sigma_{x9} + \sigma_{2x9} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} + \sigma_{2x12} \dots\dots\dots (5.4.1.134)$$

第2評価点については

$$\sigma_{210} = \sigma_{2\phi x4} + \sigma_{2xx4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x4} - \sigma_{2xx4})^2 + 4(\tau_6 + \tau_{\ell5} + \tau_{\ell6})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.135)$$

ここで,

$$\sigma_{2\phi x4} = \sigma_{\phi10} + \sigma_{2\phi10} + \sigma_{\phi2} \dots\dots\dots (5.4.1.136)$$

$$\sigma_{2xx4} = \sigma_{x4} + \sigma_{x10} + \sigma_{2x10} + \sigma_{x11} \dots\dots\dots (5.4.1.137)$$

### 5.4.2 ラグの応力

#### (1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

$$\tau_{s1} = \frac{R}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

#### (2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

$$\tau_{s7} = \frac{R_V}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 $R_V$ は $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 $R_D$ 、 $R_U$ を用いて下式で求める。

$$M_{\ell V} = \max[|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|] \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

$$R_V = \max[|R_D|, |R_U|] \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

(3) Z方向地震による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_c|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \tau_{s2} \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

(4) X方向地震による応力

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2}Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2}Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2}A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2}Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2}A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.2.14)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2}Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2}Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \tau_{s5} \dots\dots\dots (5.4.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で求める。

a. Z方向地震が作用した場合

第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (5.4.2.17)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s3} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (5.4.2.18)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s4} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (5.4.2.19)$$

b. X方向地震が作用した場合

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s5} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s5} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (5.4.2.20)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s6} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s6} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (5.4.2.21)$$

c. 組合せ応力の最大値

ここで、a項及びb項により組み合わせた組合せ応力のうち最大のものを $\sigma_s$ とする。

$$\sigma_s = \max[\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}] \dots\dots\dots (5.4.2.22)$$

### 5.4.3 取付ボルトの応力

取付ボルトにかかる応力の大きい方について計算する。

(1) Z方向地震が作用した場合

第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{|F_{11}| + F_{01} + F_{01V}}{n A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.2)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q|(1-\varepsilon)}{n A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.3)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b3} = \frac{|F_{21}| + F_{01} + F_{01V}}{n A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.4)$$

ここで、 $F_{01V}$ は $F_{01D}$ 、 $F_{01U}$ を用いて下式で求める。

$$F_{01V} = \max[F_{01D}, F_{01U}] \dots\dots\dots (5.4.3.5)$$

(2) X方向地震が作用した場合

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} n A_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.6)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q|(1-\varepsilon)}{\sqrt{2}nA_b} \dots\dots\dots (5.4.3.7)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \frac{|F_{21}|}{\sqrt{2}nA_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2}A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{nA_b} \dots (5.4.3.8)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q|(1-\varepsilon)}{\sqrt{2}nA_b} \dots\dots\dots (5.4.3.9)$$

(3) ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)により求められたボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_b$ 及び $\tau_b$ とする。

a. ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}] \dots\dots\dots (5.4.3.10)$$

b. ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}] \dots\dots\dots (5.4.3.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1(9)項で求めた組合せ応力は胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。

ただし、 $S_a$ は5.2.2項の表5-2による。

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.2(5)項で求めた組合せ応力は許容引張応力  $f_t$  以下であること。

ただし、 $f_t$ は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 取付ボルトの応力評価

5.4.3項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma_b$ は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

ただし、 $f_{ts}$ は次表による。

$$f_{ts} = \min[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力  $\tau_b$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$ 以下であること。

ただし、 $f_{sb}$ は次表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
フィルタ装置	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 15.00* (O.P. 22.50)			—	—	C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56	0.854	200	66

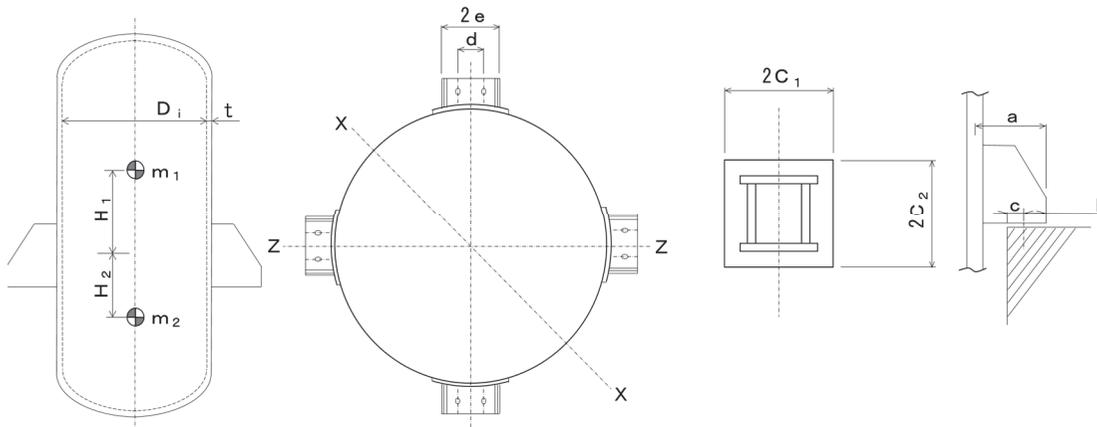
注記\* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	E <sub>b</sub> (MPa)	G (MPa)	H <sub>1</sub> (mm)	H <sub>2</sub> (mm)	C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	e (mm)	K <sub>c</sub> (—)	K <sub>θ</sub> (—)	ε (—)
			2550	25.0	183000*1	191720*2	70385*1	1682	1672	350	350	275	—		1

A <sub>s1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>sp</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sθ</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>st</sub> (mm <sup>3</sup> )	k <sub>c</sub> (—)	k <sub>θ</sub> (—)	C <sub>θ1</sub> (—)	C <sub>θ2</sub> (—)	C <sub>c1</sub> (—)	C <sub>c2</sub> (—)
2.535×10 <sup>4</sup>	3.221×10 <sup>4</sup>	1.409×10 <sup>7</sup>	9.400×10 <sup>6</sup>	1.053×10 <sup>7</sup>	1.04	1.07				

n (—)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L <sub>b</sub> (mm)	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>b,e</sub> (mm <sup>2</sup> )
2	312.5	125	95	246	126	30 (M30)	706.8	603.8



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S (MPa)
胴板	120*1	407*1	107*1

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
ラグ	159*2	459*2	—	210

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト				

注記\*1 : 最高使用温度で算出

\*2 : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位 : MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
		Z 方向		X 方向		Z 方向		X 方向	
	地震の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭又は内圧による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	$\sigma_{x 1}=23$	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	$\sigma_{x 1}=23$
静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$
鉛直方向地震力により 胴断面に生じる引張応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 1 1}=3$	—	$\sigma_{x 1 1}=3$
水平方向地震による転倒モーメントによる胴の曲げ応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=5$	—	$\sigma_{x 4}=5$
組合せ応力		—		—		$\sigma_0=45$			

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		地震による応力					組合せ 一次応力
							弾性設計用地震動 S d 又は静的震度					
					水平方向地震			鉛直方向地震				
					自重による 応力	曲げモーメントによる 応力	転倒モーメントによる 応力	鉛直方向モーメントによる 応力	周方向モーメントによる 応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる 応力	
Z方向	第1ラゲ側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第2及び第4ラゲ側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	せん断	—	—	—		—		—				
第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	せん断	—	—	—		—		—				

(単位：MPa)

地震の方向	評価点	応力	内圧による 応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		地震による応力					組合せ 一次応力		
					基準地震動 S <sub>s</sub>									
									水平方向地震				鉛直方向地震	
					自重による 応力	曲げモーメントによる 応力	転倒モーメントによる 応力	鉛直方向モーメントによる 応力	周方向モーメントによる 応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる 応力			
Z方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	—	$\sigma_{\phi 5}=2$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$	$\sigma_{11}=50$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	$\sigma_{x3}=1$	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x5}=1$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$			
		せん断	—	—	—	—	—	—	—					
	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12}=47$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	—	$\sigma_{x4}=5$	—	—	$\sigma_{x11}=3$	—			
		せん断	—	—	$\tau_{\theta 1}=2$	—	$\tau_{\theta 2}=1$	—	$\tau_{\theta 6}=4$					
	第2及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$	$\sigma_{13}=52$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	$\sigma_{x3}=1$	—	—	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$			
		せん断	—	—	—	—	$\tau_3=0$	$\tau_{c1}=9$	—					
	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7}=0$	—	—	—	$\sigma_{14}=46$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	—	—	—	$\sigma_{x7}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—			
		せん断	—	—	$\tau_{\theta 1}=2$	—	$\tau_3=0$	—	$\tau_{\theta 6}=4$					
第3ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	—	$\sigma_{\phi 6}=1$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$	$\sigma_{15}=49$		
	軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	$\sigma_{x3}=1$	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$				
	せん断	—	—	—	—	—	—	—						
第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16}=47$		
	軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	—	$\sigma_{x4}=5$	—	—	$\sigma_{x11}=3$	—				
	せん断	—	—	$\tau_{\theta 1}=2$	—	$\tau_{\theta 2}=1$	—	$\tau_{\theta 6}=4$						

(単位：MPa)

地震の方向	評価点	応力	内圧による 応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		地震による応力					組合せ 一次応力
							弾性設計用地震動 S d 又は静的震度					
							水平方向地震			鉛直方向地震		
							自重による 応力	曲げモーメントによる 応力	転倒モーメントによる 応力	鉛直方向モーメントによる 応力	周方向モーメントによる 応力	
X方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—	—	—		—		—			

(単位：MPa)

地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		地震による応力					組合せ一次応力			
					基準地震動 S <sub>s</sub>										
					自重による応力			曲げモーメントによる応力		水平方向地震			鉛直方向地震		
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる応力				
X方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	—	$\sigma_{\phi 8}=2$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$	$\sigma_{17}=52$		
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	$\sigma_{x3}=1$	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x8}=1$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$				
		せん断	—	—	—	—	$\tau_{c4}=6$	$\tau_6=0$	—						
	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10}=0$	—	—	$\sigma_{18}=47$			
		軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	—	$\sigma_{x4}=5$	—	$\sigma_{x10}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—				
		せん断	—	—	$\tau_{\ell 1}=2$	—	$\tau_{\ell 5}=1$	$\tau_6=0$	$\tau_{\ell 6}=4$						
	第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	—	$\sigma_{\phi 9}=1$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$	$\sigma_{19}=51$		
			軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	$\sigma_{x3}=1$	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x9}=1$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$			
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c4}=6$	$\tau_6=0$	—					
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=45$ $\sigma_{\phi 2}=0$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10}=0$	—	—	$\sigma_{110}=47$		
			軸方向	$\sigma_{x1}=23$	—	$\sigma_{x2}=2$	—	$\sigma_{x4}=5$	—	$\sigma_{x10}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—			
			せん断	—	—	$\tau_{\ell 1}=2$	—	$\tau_{\ell 5}=1$	$\tau_6=0$	$\tau_{\ell 6}=4$					

(3) 地震動のみによる一次+二次

(単位：MPa)

地震の方向	評価点	応力	地震による応力					組合せ応力		
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度							
			水平方向地震			鉛直方向地震				
			転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる応力			
Z方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—			—				
	第2評価点	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—			—				
	第2及び第4ラゲ側	第1評価点	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—			—			
		第2評価点	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—			—			
第3ラゲ側	第1評価点	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—			—				
	第2評価点	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—			—				

(単位 : MPa)

地震の方向	評価点	応力	地震による応力					組合せ 応力	
			基準地震動 S s						
			水平方向地震			鉛直方向地震			
			転倒モーメントによる 応力	鉛直方向モーメントによる 応力	周方向モーメントによる 応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる 応力		
Z 方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 5}=2$ $\sigma_{2\phi 5}=2$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$ $\sigma_{2\phi 12}=4$	$\sigma_{21}=33$
		軸方向	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x5}=1$ $\sigma_{2x5}=3$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$ $\sigma_{2x12}=5$		
		せん断	—			—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{22}=17$	
		軸方向	$\sigma_{x4}=5$	—	—	$\sigma_{x11}=3$	—		
		せん断	$\tau_{\theta 2}=1$			$\tau_{\theta 6}=4$			
	第2及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$ $\sigma_{2\phi 12}=4$	$\sigma_{23}=32$
			軸方向	—	—	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$ $\sigma_{2x12}=5$	
			せん断	$\tau_3=0$ $\tau_{c1}=9$			—		
		第2評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 7}=0$ $\sigma_{2\phi 7}=0$	—	—	$\sigma_{24}=9$
			軸方向	—	—	$\sigma_{x7}=0$ $\sigma_{2x7}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—	
			せん断	$\tau_3=0$			$\tau_{\theta 6}=4$		
第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 6}=1$ $\sigma_{2\phi 6}=1$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$ $\sigma_{2\phi 12}=4$	$\sigma_{25}=28$	
		軸方向	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x6}=1$ $\sigma_{2x6}=2$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$ $\sigma_{2x12}=5$		
		せん断	—			—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{26}=17$	
		軸方向	$\sigma_{x4}=5$	—	—	$\sigma_{x11}=3$	—		
		せん断	$\tau_{\theta 2}=1$			$\tau_{\theta 6}=4$			

(単位：MPa)

地震の方向	評価点		地震による応力					組合せ 応力	
			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度						
			水平方向地震			鉛直方向地震			
			転倒モーメントによる 応力	鉛直方向モーメントによる 応力	周方向モーメントによる 応力	引張応力	鉛直方向モーメントによる 応力		
X 方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—		
		せん断	—			—			
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—		
		せん断	—			—			
	第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—		

(単位：MPa)

地震の方向	評価点		地震による応力					組合せ 応力		
			基準地震動 S s							
			水平方向地震			鉛直方向地震				
			転倒 モーメント による応力	鉛直方向 モーメント による応力	周方向 モーメント による応力	引張応力	鉛直方向 モーメント による応力			
X 方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=2$ $\sigma_{2\phi 8}=2$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$ $\sigma_{2\phi 12}=4$	$\sigma_{27}=37$	
			軸方向	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x8}=1$ $\sigma_{2x8}=3$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$ $\sigma_{2x12}=5$		
			せん断	$\tau_{c4}=6$ $\tau_6=0$		—				
		第2評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 10}=0$ $\sigma_{2\phi 10}=0$	—	—		$\sigma_{28}=16$
			軸方向	$\sigma_{x4}=5$	—	$\sigma_{x10}=0$ $\sigma_{2x10}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—		
			せん断	$\tau_{\theta 5}=1$ $\tau_6=0$		$\tau_{\theta 6}=4$				
	第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 9}=1$ $\sigma_{2\phi 9}=1$	—	—	$\sigma_{\phi 12}=3$ $\sigma_{2\phi 12}=4$	$\sigma_{29}=34$	
			軸方向	$\sigma_{x4}=5$	$\sigma_{x9}=1$ $\sigma_{2x9}=1$	—	$\sigma_{x11}=3$	$\sigma_{x12}=2$ $\sigma_{2x12}=5$		
			せん断	$\tau_{c4}=6$ $\tau_6=0$		—				
		第2評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 10}=0$ $\sigma_{2\phi 10}=0$	—	—		$\sigma_{210}=16$
			軸方向	$\sigma_{x4}=5$	—	$\sigma_{x10}=0$ $\sigma_{2x10}=0$	$\sigma_{x11}=3$	—		
			せん断	$\tau_{\theta 5}=1$ $\tau_6=0$		$\tau_{\theta 6}=4$				

1.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震の方向		運転時質量による応力		地震による応力								組合せ応力
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
				水平方向地震		鉛直方向地震		水平方向地震		鉛直方向地震		
				曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
Z 方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{s1}=1$	$\tau_{s1}=3$	—	—	—	—	$\sigma_{s2}=1$	$\tau_{s2}=1$	$\sigma_{s7}=1$	$\tau_{s7}=5$	$\sigma_{1s}=14$
	第 2 及び第 4 ラグ側			—	—	—	—	$\sigma_{s3}=0$	$\tau_{s3}=10$			$\sigma_{2s}=29$
	第 3 ラグ側			—	—	—	—	$\sigma_{s4}=1$	$\tau_{s4}=1$			$\sigma_{3s}=14$
X 方向	第 1 及び第 4 ラグ側			—	—	—	—	$\sigma_{s5}=1$	$\tau_{s5}=8$			$\sigma_{4s}=25$
	第 2 及び第 4 ラグ側			—	—	—	—	$\sigma_{s6}=1$	$\tau_{s6}=8$			$\sigma_{5s}=25$

1.3.3 取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	—	—	$\sigma_{b1}=44$	—
	第 2 及び第 4 ラグ側	—	—	$\sigma_{b2}=36$	$\tau_{b2}=210$
	第 3 ラグ側	—	—	$\sigma_{b3}=33$	—
X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	—	—	$\sigma_{b4}=44$	$\tau_{b4}=149$
	第 2 及び第 3 ラグ側	—	—	$\sigma_{b5}=36$	$\tau_{b5}=149$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 45$	$S_a = 244$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 366$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 37$	$S_a = 240$
ラグ	SUS316L	組合せ	—	—	$\sigma_s = 29$	$f_t = 210$
取付ボルト	SUS630	引張	—	—	$\sigma_b = 44$	
		せん断	—	—	$\tau_b = 210$	

すべて許容応力以下である。

注記\*:  $f_{ts} = \min[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{td}]$  により算出

7. 引用文献

- (1) K. R. Wichman et al., Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 107, August 1965.
- (2) P. P. Bijlaard, Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, Weld. J., 1955. (Research Suppl.)

VI-2-9-4-6-1-3 遠隔手動弁操作設備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	6
2.3 適用規格・基準等	7
2.4 記号の説明	8
2.5 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2 許容応力	12
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.6.1 取付ボルト	19
4.6.2 基礎ボルト	21
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
4.8.1 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	23
5. 機能維持評価	24
5.1 動的機能維持評価方法	24
5.1.1 機能確認済加速度	24
6. 評価結果	25
6.1 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、添付書類「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、遠隔手動弁操作設備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。

遠隔手動弁操作設備は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、遠隔手動弁操作設備は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない設備であるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備の構造計画を表 2-1 から表 2-4 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を經由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、貫通シャフト、フレキシブルシャフト（フレキシブルシャフト連結部を含む。）、中間ギア及び支持構造物から構成される。</p>	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備（その1）</p>

2

表 2-2 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、貫通シャフト、L型ジョイント、フレキシブルシャフト（フレキシブルシャフト連結部を含む）、中間ギア及び支持構造物から構成される。</p>	<p>平面図</p> <p>A-A 矢視図</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その2)</p> <p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-3 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを介して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、貫通シャフト、L型ジョイント、フレキシブルシャフト、中間ギア及び支持構造物から構成される。</p>	<p>平面図</p> <p>A-A 矢視図</p>
		(単位：mm)
		遠隔手動弁操作設備 (その3)

4

表 2-4 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、貫通シャフト、L型ジョイント、フレキシブルシャフト、中間ギア及び支持構造物から構成される。</p>	<p>(単位：mm)</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その 4)</p>

## 2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示す遠隔手動弁操作設備の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計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。

また、遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の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、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

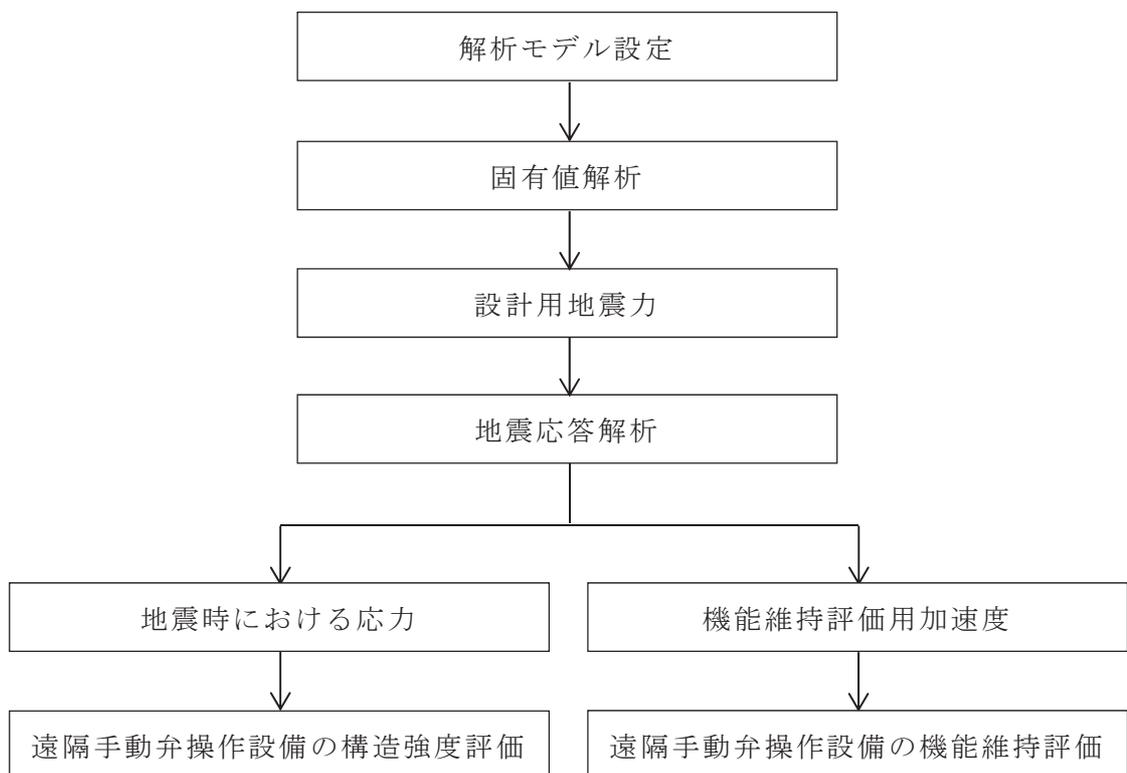


図 2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（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
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$B_P$	アンカープレートのボルト間距離	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{t si}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$F_x$	サポート材の軸力(x方向)	N
$F_y$	サポート材のせん断力(y方向)	N
$F_z$	サポート材のせん断力(z方向)	N
$M_x$	サポート材に作用するモーメント (x軸廻り)	N・m
$M_y$	サポート材に作用するモーメント (y軸廻り)	N・m
$M_z$	サポート材に作用するモーメント (z軸廻り)	N・m
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力* <sup>1</sup>	N
$P_{1max}$	$M_y$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$P_{2max}$	$M_z$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$Q_{max}$	$M_x$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大せん断力	N
$r_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さ	mm
$n_i$	せん断力を受けるボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$y_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのy方向長さ	mm
$z_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのz方向長さ	mm

記号	記号の説明	単位
$\nu$	ポアソン比	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{t oi}$ ,  $f_{t si}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $\sigma_{bi}$ ,  $\tau_{bi}$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 基礎ボルト

$i = 2$  : 取付ボルト

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 2-5 に示すとおりである。

表 2-5 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・m	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4, *5</sup>
力		N	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4, *5</sup>
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*6</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：べき数表示でない場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*6：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

遠隔手動弁操作設備の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

今回の評価では、遠隔手動操作設備の支持構造物のうち最も高所に設置され、また、1つの支持構造物に対して複数のフレキシブルシャフトの支持点を持つため反力が大きくなり、評価上最も厳しくなる支持構造物を代表とした。当該の支持構造物は、遠隔手動弁操作設備（その3）に含まれる。なお、支持構造物自体は、構造物として十分な剛性を有しており、取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば支持機能を維持できるため、取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価部位については、図 3-1 に示す。

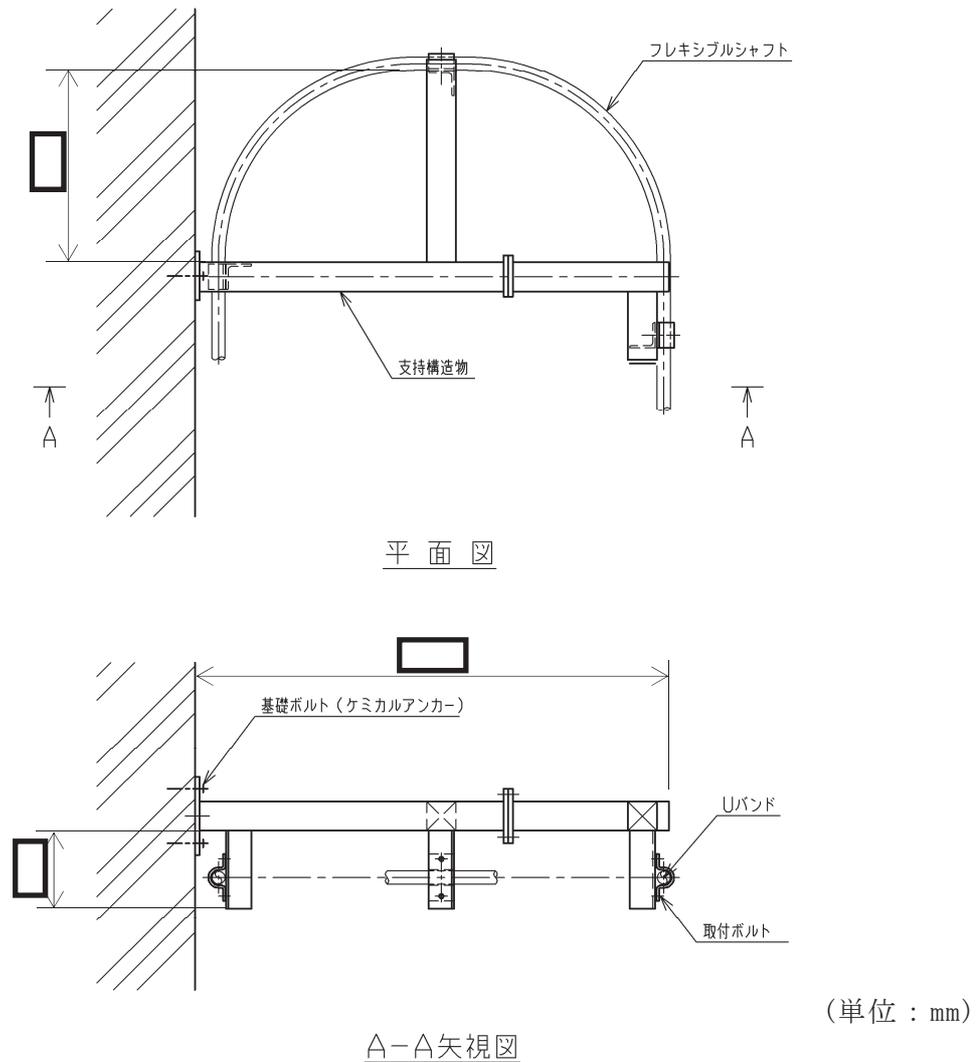


図 3-1 評価部位（取付ボルト，基礎ボルト）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、フレキシブルシャフトは十分剛なL型ジョイント，支持構造物及び中間ギアに接続されるものとする。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち，支持構造物は十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (3) 地震力は，遠隔手動弁操作設備に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

##### 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

遠隔手動弁操作設備の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

###### 4.2.2 許容応力

遠隔手動弁操作設備の許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

遠隔手動弁操作設備の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	遠隔手動弁操作 設備	常設耐震／防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	放射性物質濃度制御 設備及び可燃性ガス 濃度制御設備並びに 格納容器再循環設備	遠隔手動弁操作 設備	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他 の安全設備	遠隔手動弁操作 設備	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)

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

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)*	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)*	周囲環境温度	66	—	225	385	—

注記\*：評価対象のボルト径は 16 mm 以下だが，安全側に 16 mm < 径 ≤ 40 mm とした。

### 4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、アンカとなる貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアは、原子炉建屋と共振しないよう十分な剛性をもたせた設計であるため、剛体とする。
- (2) 解析モデルでは、支持構造物をはり要素でモデル化した地震応答解析を実施する。
- (3) フレキシブルシャフトから支持構造物への反力は、フレキシブルシャフトの重量と設計用床応答曲線を包絡する加速度を加味した反力として与える。
- (4) 拘束条件として、建屋躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (5) 支持構造物の取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重（反力、モーメント）を用いて理論式により算出する。
- (6) 解析コードは、「SAP-V」を使用し、固有値、遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち支持構造物に生じる荷重（反力、モーメント）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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

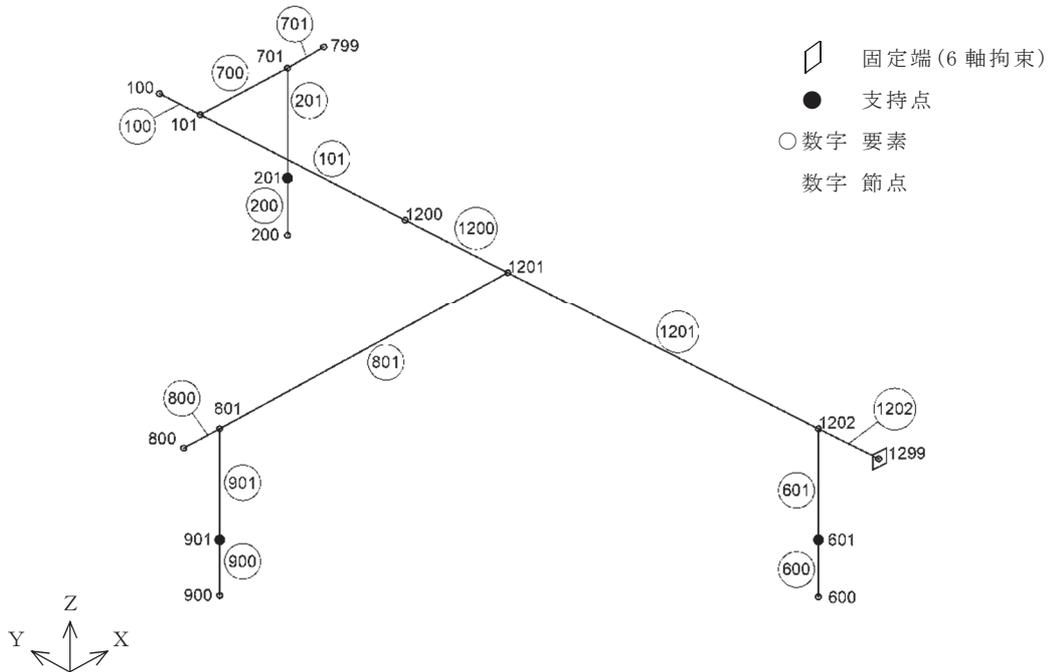


図 4-1 解析モデル

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に、モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	水平	0.044	—	—	—
2 次	鉛直	0.050 以下	—	—	—

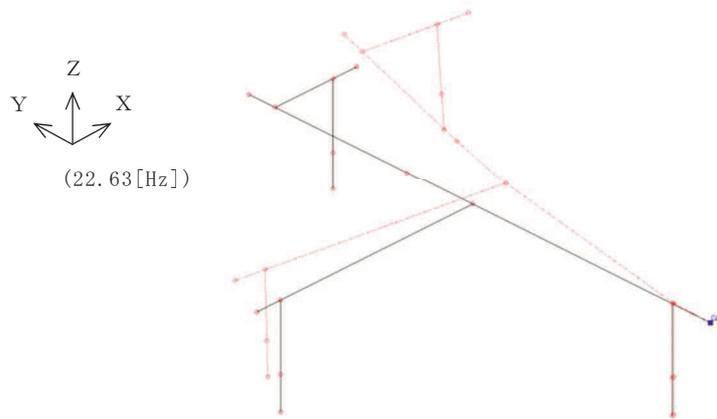


図 4-2 1 次モード図

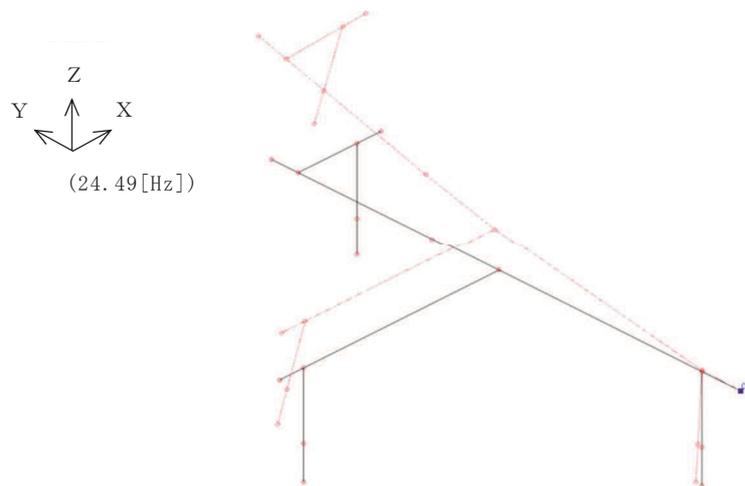


図 4-3 2 次モード図

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「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 4-5 設計用地震力（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 O.P. 30.054* (O.P. 33.200)	0.044	0.050 以下	—	—	$C_H = 2.65$	$C_V = 1.77$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 取付ボルト

取付ボルトの応力は、Uバンドから加わる荷重が、引張力及びせん断力として取付ボルトに作用するものとする。Uバンドから加わる荷重は、接続されるフレキシブルシャフトの長さの 1/2 の質量に対し、基準フロアにおける床応答スペクトル（減衰 3%）の最大値を応答加速度として荷重を算出する。なお、取付ボルトについては保守的に x, y, z 全方向の荷重を考慮するものとする。評価に用いる Uバンドに生じる荷重を表 4-6 に、基準フロアにおける最大応答加速度を表 4-7 に示す。また、Uバンド部の概要を図 4-4 に示す。

#### (1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-4 に示す 3 方向荷重を考慮し、これを 2 本の取付ボルトで受けるものとして計算する。

##### a. 引張力

$$F_{b i} = \frac{F_z}{n_{f i}} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

#### (2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

##### a. せん断力

$$Q_{b i} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n_i} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

##### b. せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

表 4-6 Uバンドに生じる荷重

対象機器	荷重 (N)		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$
遠隔手動弁操作設備	726.4	$1.324 \times 10^3$	$1.324 \times 10^3$

表 4-7 基準フロアにおける最大応答加速度

据付高さ及び基準床面高さ	応答加速度		
	水平*1		鉛直 UD
	NS	EW	
OP. 30.054 (OP. 33.200)	13.43	13.43	7.37

注記\*1：水平方向は NS, EW の包絡値を適用する。

O 2 ⑥ VI-2-9-4-6-1-3 R 3

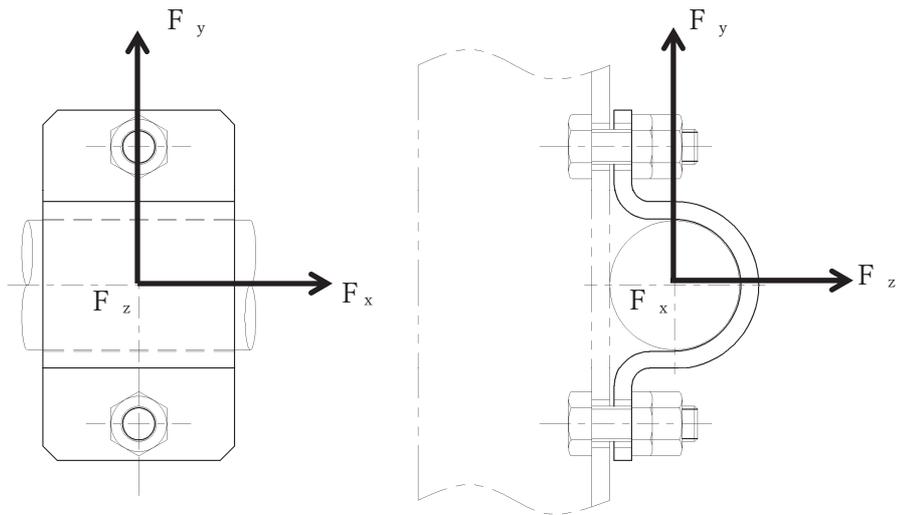


図 4-4 Uバンド部の概要

#### 4.6.2 基礎ボルト

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ 、せん断力  $F_y$ 、 $F_z$ 、ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。遠隔手動弁操作設備の基礎ボルト部の概要を図 4-5 に示す。また、表 4-8 に要素端での反力及びモーメントを示す。

##### (1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図 4-5 に示すサポート材の軸力  $F_x$  とモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートの中心に解析による計算で得られる軸力及びモーメントがかかるものとし、最も中心から遠い基礎ボルトが最大の引張力を受ける前提として、最大引張力から引張応力を計算する。

##### a. 引張力

$$F_{b i} = \frac{|F_x|}{n_{f i}} + P_{1 \max} + P_{2 \max} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

ここで、

$$P_{1 \max} = M_y / B_p / n_{f i}$$

$$P_{2 \max} = M_z / B_p / n_{f i}$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

##### (2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、図 4-5 に示すサポート材の軸力  $F_y$ 、 $F_z$  とモーメント  $M_x$  を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

##### a. せん断力

$$Q_{b i} = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n_i} + Q_{\max} \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

ここで、

$$Q_{\max} = M_x / (B_p / \sqrt{2}) / n_i$$

##### b. せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_{b i}} \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

表 4-8 解析で得られる要素端での反力，モーメント（基礎ボルト）

対象機器	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
遠隔手動弁操作 設備	0.0	$1.191 \times 10^3$	$2.172 \times 10^3$	263.2	$1.570 \times 10^3$	861.2

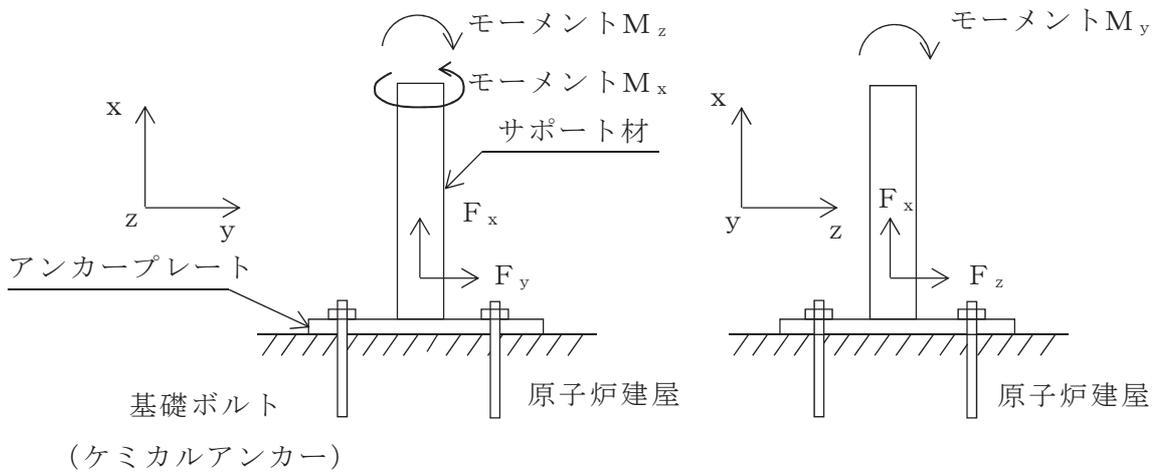


図 4-5 基礎ボルト部の概要

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件を、本計算書の【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_b$ 及び4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 $\sigma_b$ が、次式より求めた許容引張応力 $f_{t\ si}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t\ oi}$ は下表による。

$$f_{t\ si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t\ oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t\ oi}] \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{bi}$ は、せん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{s\ bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s\ bi}$ は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t\ oi}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s\ bi}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

遠隔手動弁操作設備の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の応答加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「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。

遠隔手動弁操作設備が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない設備であることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を機能確認済加速度とする。

5.1.1 機能確認済加速度

遠隔手動弁操作設備の機能確認済加速度として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における加速度以上での連続正弦波または、当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した加速度を用いる。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
貫通シャフト	水平		
	鉛直		
中間ギア	水平		
	鉛直		
L型ジョイント	水平		
	鉛直		
フレキシブルシャフト連結部	水平		
	鉛直		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

遠隔手動弁操作設備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下回り，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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

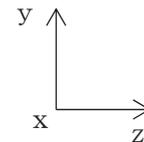
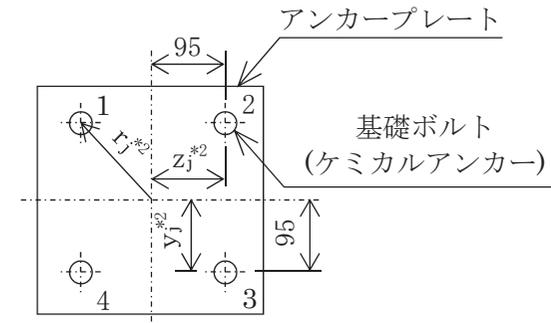
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
遠隔手動弁操作設備	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 30.054*1 (OP. 33.200)	0.044	0.050 以下	—	—	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	66

注記\*1：基準床レベルを示す

1.2 機器要目

d <sub>1</sub> (基礎ボルト) (mm)	A b <sub>1</sub> (基礎ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (基礎ボルト) (本)	y <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	z <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	r <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (取付ボルト) (mm)	A b <sub>2</sub> (取付ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n <sub>2</sub> (取付ボルト) (本)
16 (M16)	201.1	4	95	95	134.4	12 (M12)	113.1	2

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	225	385	225	269
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	225	385	225	269



注記\*2：jは基礎ボルト番号を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	1202	1299	—	0.000	—	1.191×10 <sup>3</sup>	—	2.172×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	1202	1299	—	263.2	—	1.570×10 <sup>3</sup>	—	861.2

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルト及び基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト ( i = 1 )	—	6.398×10 <sup>3</sup>	—	1.109×10 <sup>3</sup>
取付ボルト ( i = 2 )	—	662.1	—	755.1

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.044

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=32$	$f_{ts}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb}=124$
取付ボルト ( i = 2 )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts}=201^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 動的機能の評価結果

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
遠隔手動弁操作設備 (貫通シャフト)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	
遠隔手動弁操作設備 (中間ギア)	水平方向	7.06	
	鉛直方向	5.78	
遠隔手動弁操作設備 (L型ジョイント)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト連結部)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。  
機能維持評価用加速度は全て機能確認済加速度以下である。

VI-2-9-4-6-1-4 遠隔手動弁操作設備遮蔽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	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	9
3.	評価部位	10
4.	地震応答解析及び構造強度評価	11
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2	許容応力	11
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	11
4.3	解析モデル及び諸元	15
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	21
4.6	計算方法	22
4.6.1	架台	22
4.6.2	基礎ボルト(その1, 2)	24
4.6.3	基礎ボルト(その1, 2)及び取付ボルト(その1, 2)	27
4.7	計算条件	28
4.8	応力の評価	28
4.8.1	架台の応力評価	28
4.8.2	基礎ボルト及び取付ボルトの応力評価	29
5.	評価結果	30
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	30

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、遠隔手動弁操作設備遮蔽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。

遠隔手動弁操作設備遮蔽は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備遮蔽の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 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	
遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1)の遮蔽板は、取付ボルトで架台に固定され、架台は、十分剛な原子炉建屋の壁に基礎ボルトにより固定される。	遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1)は、角型に組み立てた架台に、遮蔽板(鋼製)を取り付けた構造である。	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その1) (単位 mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遠隔手動弁操作設備遮蔽(その2)の遮蔽板は、取付ボルトで架台に固定され、架台は、十分剛な原子炉建屋の壁と床に基礎ボルトにより固定される。	遠隔手動弁操作設備遮蔽(その2)は、角型に組み立てた架台に、遮蔽板(鋼製)を取り付けた構造である。	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2) (単位 mm)</p>

## 2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備遮蔽の応力評価は、添付書類「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、「2.1 構造計画」にて示す遠隔手動弁操作設備遮蔽の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく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。

遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

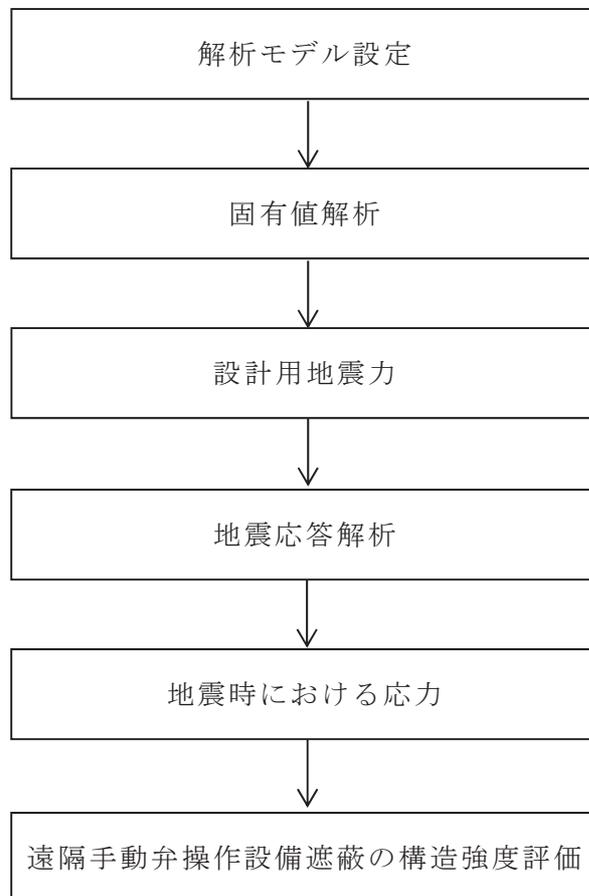


図 2-1 遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（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	架台の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルト又は取付ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	架台鋼材の y 軸方向有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	架台鋼材の z 軸方向有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d <sub>o</sub>	基礎ボルト又は取付ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	基礎ボルト又は取付ボルトに作用する引張力	N
F <sub>x</sub>	架台の軸力 (x 方向)	N
F <sub>y</sub>	架台のせん断力 (y 方向)	N
F <sub>z</sub>	架台のせん断力 (z 方向)	N
f <sub>b</sub>	架台の許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	架台の許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	架台の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	架台の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
I <sub>p</sub>	架台鋼材の極断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	架台鋼材の y 軸方向断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	架台鋼材の z 軸方向断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
i	座標軸についての断面二次半径	mm
ℓ <sub>k</sub>	座屈長さ	mm
M <sub>x</sub>	架台に作用するモーメント (x 軸周り)	N・m
M <sub>y</sub>	架台に作用するモーメント (y 軸周り)	N・m
M <sub>z</sub>	架台に作用するモーメント (z 軸周り)	N・m
m	遠隔手動弁操作設備遮蔽解析モデルの各節点の付加質量の合計(系の質量)	kg
n	基礎ボルト又は取付ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
$P_{1max}$	$M_y$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$P_{2max}$	$M_z$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$Q_{max}$	$M_x$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大せん断力	N
$Q_b$	基礎ボルト又は取付ボルトに作用するせん断力	N
$r_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さ	mm
$r_{max}$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さが最大となる値	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$W$	各モデルにおける遮蔽板の質量	kg
$X, Y, Z$	絶対(節点)座標軸	—
$x, y, z$	局所(要素)座標軸	—
$y_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのy方向長さ	mm
$y_{max}$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのy方向長さが最大となる値	mm
$Z_p$	架台のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	架台のy軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	架台のz軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$z_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのz方向長さ	mm
$z_{max}$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのz方向長さが最大となる値	mm
$\Lambda$	架台の限界細長比	—
$\lambda$	架台の有効細長比	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	架台に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	架台に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_f$	架台に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{fa}$	架台に生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_t$	架台に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	基礎ボルト又は取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\tau$	架台に生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルト又は取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

## 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 2-3 に示すとおりとする。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4,5</sup>
力		N	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4,5</sup>
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*6</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：べき数表示でない場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*6：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる架台、取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価部位については、表 2-1 から表 2-2 の概略構造図に示す。

#### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

##### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の架台は、十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の質量には、架台及び遮蔽板の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、遠隔手動弁操作設備遮蔽に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

##### 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

遠隔手動弁操作設備遮蔽の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

###### 4.2.2 許容応力

遠隔手動弁操作設備遮蔽の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

遠隔手動弁操作設備遮蔽の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	常設耐震／防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	放射性物質濃度制御 設備及び可燃性ガス 濃度制御設備並びに 格納容器再循環設備	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他 の安全設備	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)

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

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	1.5 · f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5 · f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5 · f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
架台	STKR400	周囲環境温度	40	—	245	400	—
	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	—	245	400	—
	SGP	周囲環境温度	40	—	147	290	—
	STPG370	周囲環境温度	40	—	215	370	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	—	235	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	—	235	400	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備遮蔽(その 1, 2)の解析モデルを図 4-1 から図 4-2 に, 解析モデルの概要を以下に示す。また, 機器の諸元を本計算書の【遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の架台をはり要素でモデル化する。
- (2) 解析モデル各要素の質量は, 遮蔽板の質量を, 取り付けられている鋼材の中間点に集中質量として付加する。
- (3) 架台は壁と床に基礎ボルトで固定され, 当該箇所の拘束条件は完全固定とする。
- (4) 解析コードは「SAP-V」を使用し, 固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。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, 添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

-  固定端 (6方向拘束)
-  遮蔽板重量入力要素
-  鋼材重量入力要素
-  遮蔽板剛性付与要素
- 数字 要素
- 数字 節点

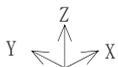
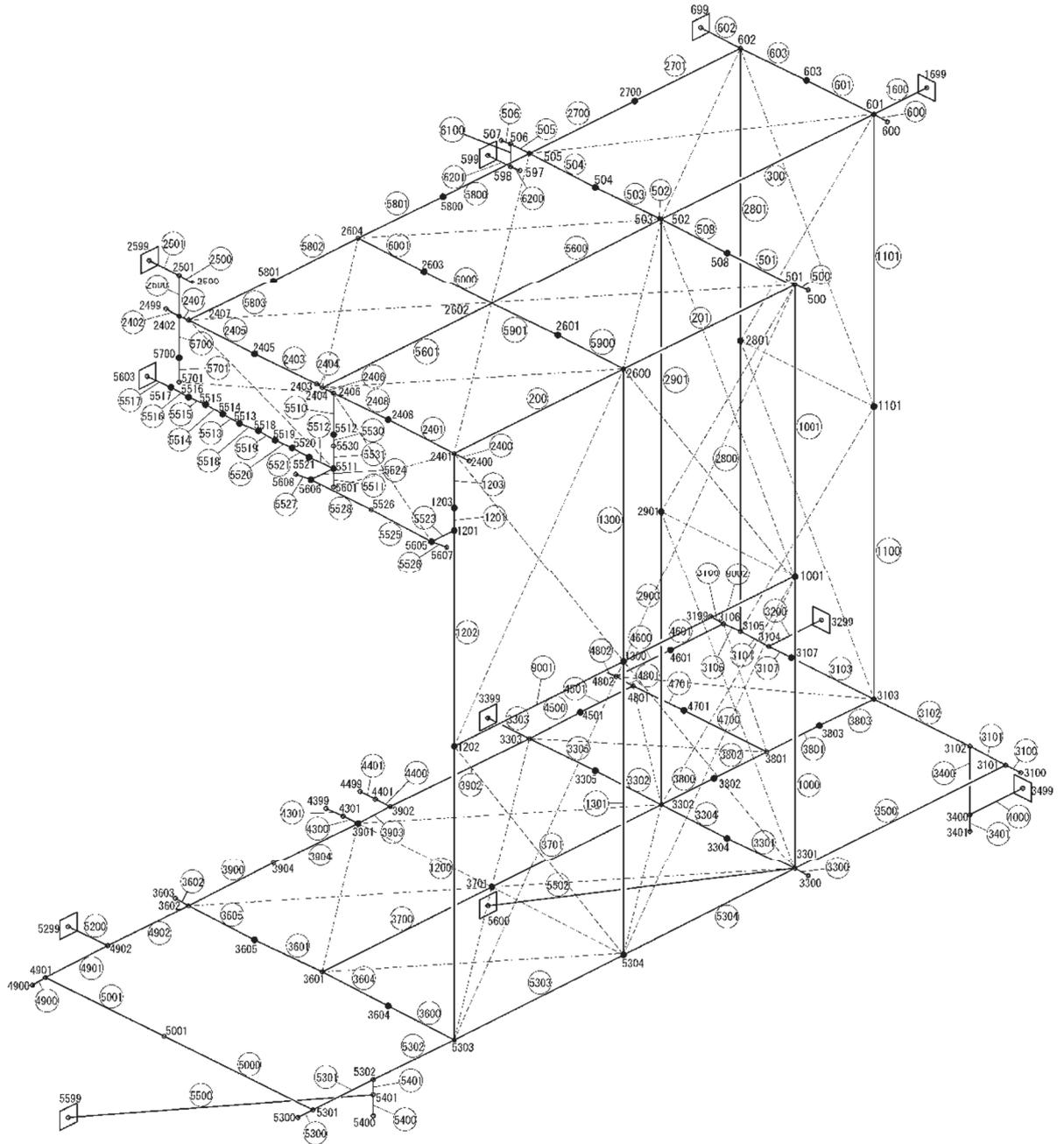


図 4-1 解析モデル (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その 1))

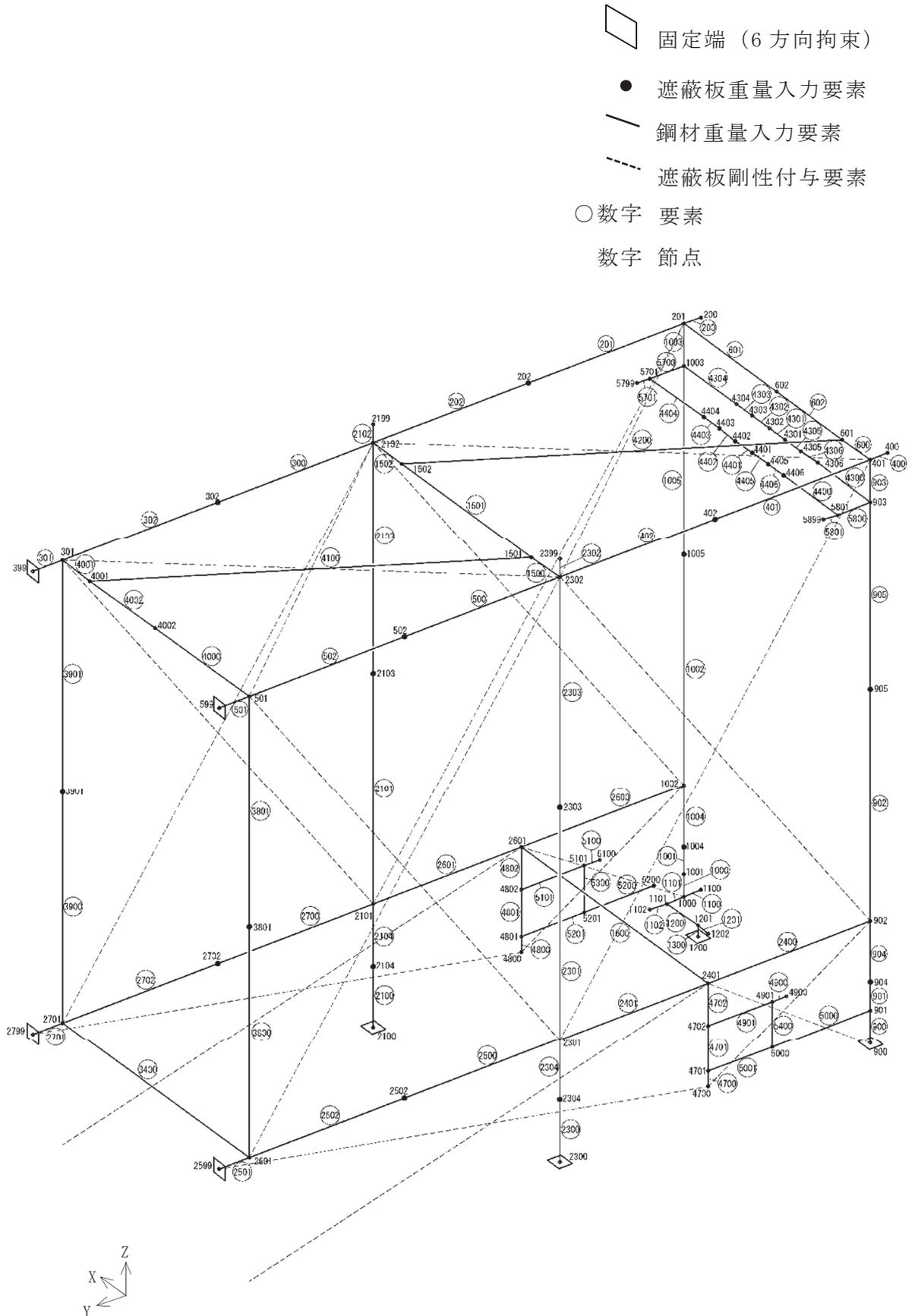


図 4-2 解析モデル (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その 2))

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に、モード図を図 4-3 から図 4-6 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有値解析結果

形状	モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Z方向	
その1	1次	水平	0.043	—	—	—
	3次	鉛直	0.050以下	—	—	—
その2	1次	水平	0.050	—	—	—
	3次	鉛直	0.050以下	—	—	—

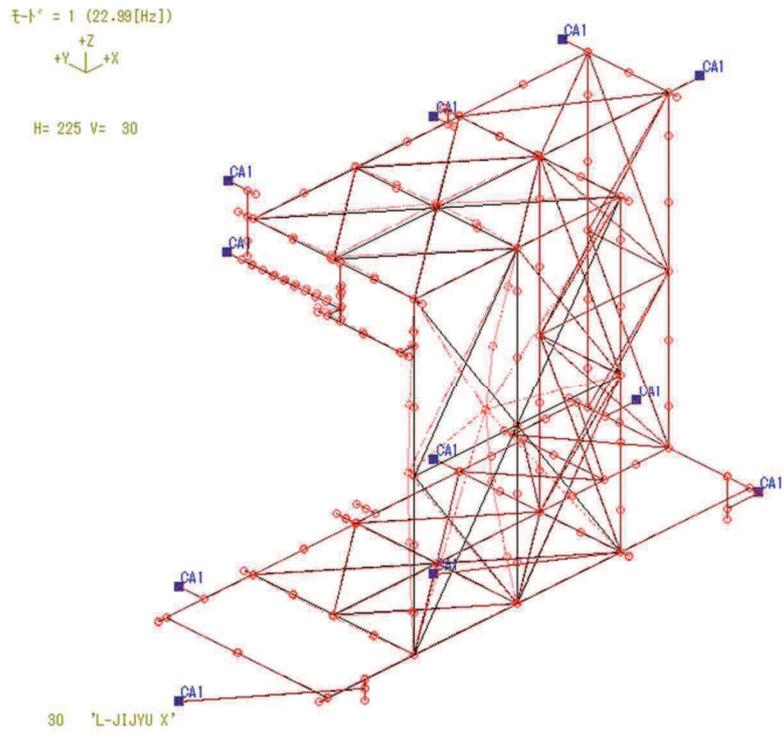


図 4-3 モード図 1次（遠隔手動弁操作設備遮蔽（その1））

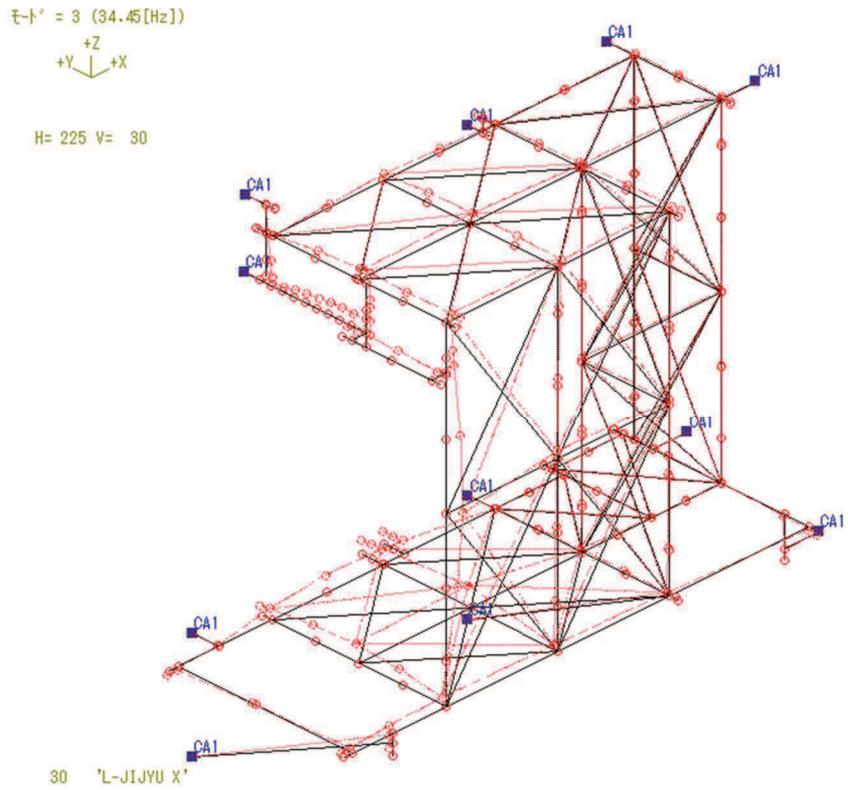
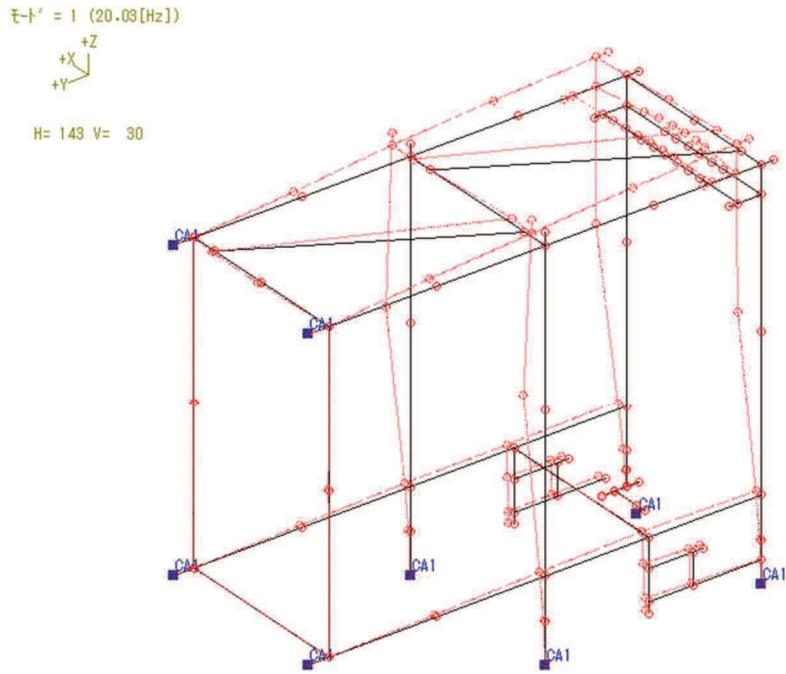
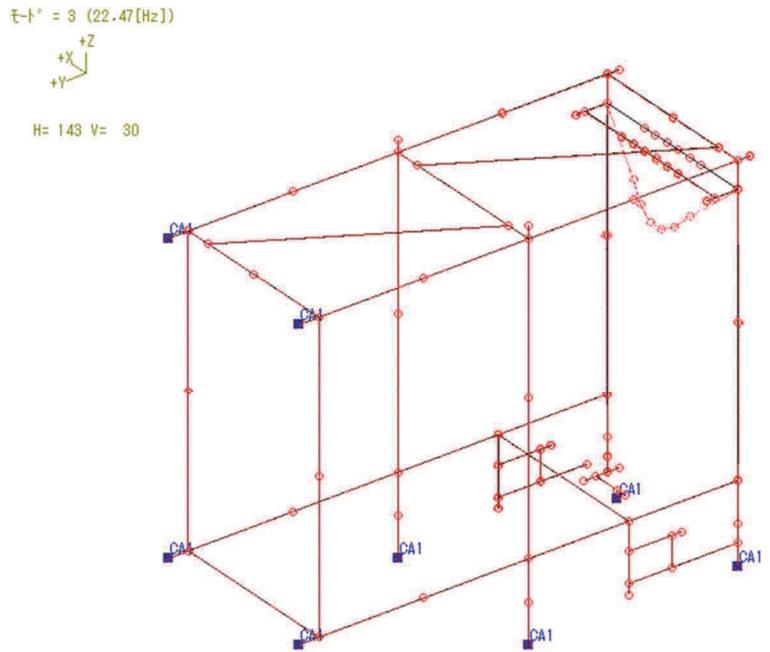


図 4-4 モード図 3次（遠隔手動弁操作設備遮蔽（その1））



30 'L-JIYU X'

図 4-5 モード図 1次 (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2))



30 'L-JIYU X'

図 4-6 モード図 3次 (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2))

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「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 4-5 設計用地震力（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 OP. 19.505* (OP. 22.500)	0.043	0.050 以下	—	—	$C_H = 2.12$	$C_V = 1.56$
原子炉建屋 OP. 6.000* (OP. 15.000)	0.050	0.050 以下	—	—	$C_H = 1.97$	$C_V = 1.37$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 架台

解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ ，せん断力  $F_y$ ， $F_z$ ，ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ， $M_z$  より各応力を次のように求める。架台部の概要を図 4-7 に示す。また，表 4-6 に要素端での反力及びモーメントを示す。

(1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left\{ \left( \frac{F_y}{A_y} \right)^2 + \left( \frac{F_z}{A_z} \right)^2 \right\}} + \frac{M_x}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

ここで，

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

表4-6 解析で得られる要素端での反力，モーメント(架台)

形状	対象機器	要素番号	節点番号	反力 (N)			モーメント (N・m)		
				$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
その1	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	1600	1699	$4.449 \times 10^4$	$2.037 \times 10^4$	922.1	76.2	184.2	$4.062 \times 10^3$
		5502	5600	$2.088 \times 10^4$	421.7	304.9	18.7	168.4	214.0
		602	699	$1.697 \times 10^4$	$2.242 \times 10^4$	$1.096 \times 10^4$	473.4	$1.779 \times 10^3$	$3.797 \times 10^3$
		5517	5603	$9.203 \times 10^3$	$1.414 \times 10^3$	$2.105 \times 10^3$	35.5	631.0	375.2
その2	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	4100	4001	$2.819 \times 10^4$	252.8	793.8	6.1	586.3	81.1
		1101	1000	768.3	$8.857 \times 10^3$	$2.841 \times 10^3$	$1.347 \times 10^3$	90.1	452.1
		4300	903	$3.257 \times 10^3$	961.2	785.4	0.3	204.4	254.5

O2 ⑥ VI-2-9-4-6-1-4 R2

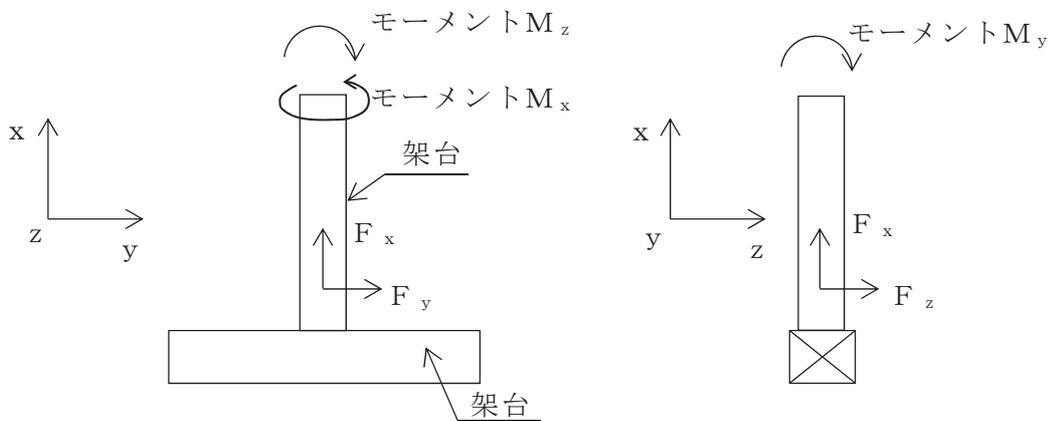


図 4-7 架台部の概要

#### 4.6.2 基礎ボルト(その 1, 2)

基礎ボルト(その 1, 2)に生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ 、せん断力  $F_y$ ,  $F_z$ 、ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ,  $M_z$  から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。遠隔手動弁操作設備遮蔽の基礎ボルト部の概要を図 4-8 に示す。また、表 4-7 に要素端での反力及びモーメントを示す。

##### (1) 引張応力

基礎ボルト(その 1, 2)に対する引張応力は、図 4-5 に示す架台の軸力  $F_x$  とモーメント  $M_y$ ,  $M_z$  を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートの中心に解析による計算で得られる軸力及びモーメントがかかるものとし、最も中心から遠い基礎ボルト(その 1, 2)が最大の引張力を受ける前提として、最大引張力から引張応力を計算する。

##### a. 引張力

$$F_b = \frac{|F_x|}{n} + P_{1max} + P_{2max} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

ここで、

$$P_{1max} = M_y \cdot z_{max} / \sum_{j=1}^n z_j^2$$

$$P_{2max} = M_z \cdot y_{max} / \sum_{j=1}^n y_j^2$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

なお、 $A_b$  は以下の式で求める。

$$A_b = d_o^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト(その 1, 2)に対するせん断応力は, 図 4-4 に示す架台の軸力  $F_y$ ,  $F_z$  とモーメント  $M_x$  を考え, これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートの中に解析による計算で得られる軸力及びモーメントがかかるものとし, 最も中心から遠い基礎ボルト(その 1, 2)が最大のせん断力を受ける前提として, 最大せん断力からせん断応力を計算する。

a. せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n} + Q_{max} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

ここで,

$$Q_{max} = M_x \cdot r_{max} / \sum_{j=1}^n r_j^2$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

表4-7 解析で得られる要素端での反力及びモーメント(基礎ボルト)

形状	対象機器	反力 (N)			モーメント (N・m)		
		$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
その1	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	$4.449 \times 10^4$	546.5	$2.037 \times 10^4$	43.4	$4.055 \times 10^3$	96.8
その2	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	$3.153 \times 10^4$	$6.137 \times 10^3$	$5.605 \times 10^3$	438.4	853.9	$1.941 \times 10^3$

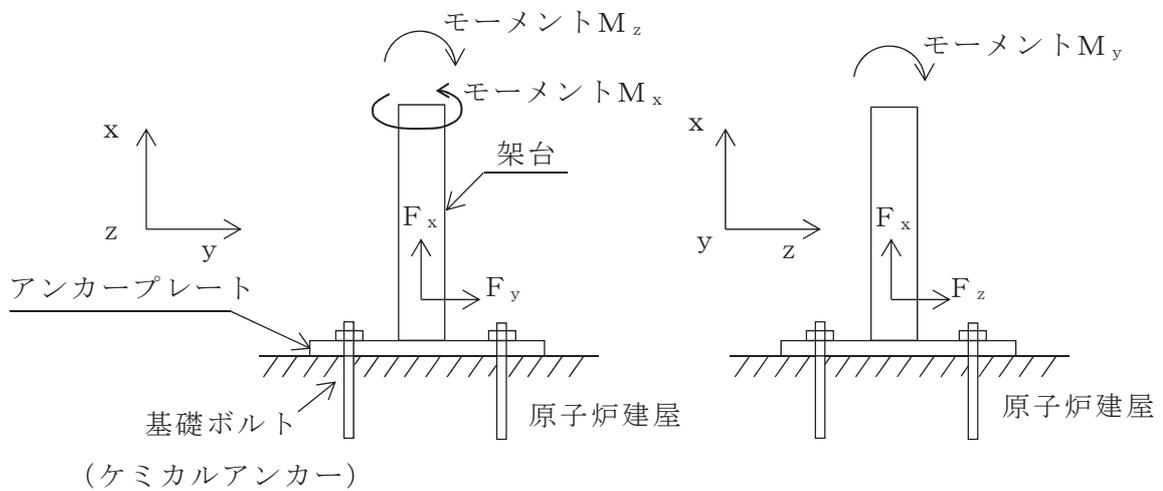


図4-8 基礎ボルト部の概要

4.6.3 基礎ボルト(その1, 2)及び取付ボルト(その1, 2)

解析モデルに含まない設備, 部品に関しては手計算で応力計算する。

基礎ボルト(その1, 2)又は取付ボルト(その1, 2)に生じる応力は, 遮蔽板にかかる加速度と遮蔽板質量の積によって求めた荷重を, 固定する全ての基礎ボルト(その1, 2)又は取付ボルト(その1, 2)で受けるものとして計算する。

なお, 各設備において最大荷重の基礎ボルト(その1, 2)又は取付ボルト(その1, 2)のみ評価を実施する。

(1) 引張応力

a. 引張力

基礎ボルト(その1, 2)又は取付ボルト(その1, 2)に対する引張力は水平方向の加速度によって生じる。

$$F_b = \frac{W \cdot g \cdot C_H}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

b. 引張応力

引張応力は(4.6.2.2)式による。

(2) せん断応力

a. せん断力

基礎ボルト(その1, 2)又は取付ボルト(その1, 2)に対するせん断力は鉛直方向加速度と水平方向加速度の合力によって生じる。

$$Q_b = \frac{W \cdot g \cdot \sqrt{(C_v + 1)^2 + C_H^2}}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

b. せん断応力

せん断応力は(4.6.2.5)式による。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（遠隔手動弁操作設備遮蔽）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 架台の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は  $f_t$  以下であること。

許容引張応力 $f_t$		基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$(\lambda \leq \Lambda)$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
	$(\lambda > \Lambda)$	$0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$		$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$		$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{Q_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 基礎ボルト及び取付ボルトの応力評価

4.6.2 項及び 4.6.3 項で求めた基礎ボルト及び取付ボルトの引張応力  $\sigma_{tb}$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

$f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

遠隔手動弁操作設備遮蔽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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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		
遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その1)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 19. 505*1 (OP. 22. 500)	0. 043	0. 050 以下	—	—	C <sub>H</sub> =2. 12	C <sub>V</sub> =1. 56	—	40

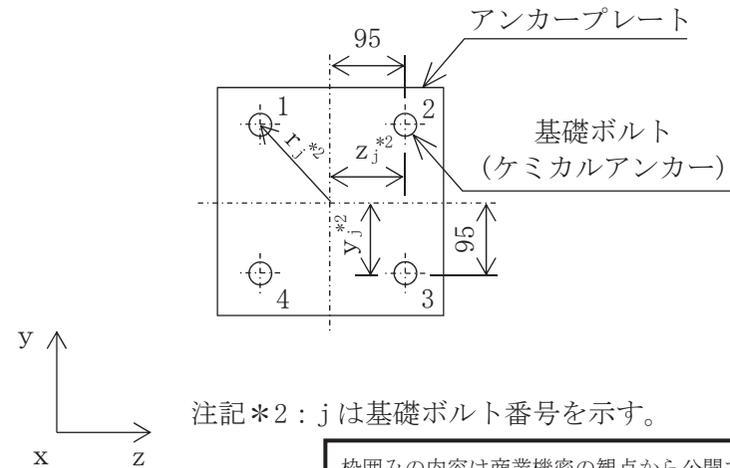
注記\*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	d <sub>o</sub> (基礎ボルト) (mm)	A <sub>b</sub> (基礎ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n(基礎ボルト) (本)	y <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	z <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	r <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	d <sub>o</sub> (取付ボルト) (mm)	A <sub>b</sub> (取付ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n(取付ボルト) (本)	W (kg)	遮蔽板取付 向き
	16 (M16)	201. 1	4	95	95	134. 4	16 (M16)	201. 1	4		鉛直

31

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架台	STKR400	245	400	245	280
	SS400	245 (厚さ ≤ 16mm)	400	245	280
	SGP	147	290	147	176
	STPG370	215	370	215	258
基礎ボルト	SS400	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400	235	280
取付ボルト	SS400	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400	235	280



注記\*2：j は基礎ボルト番号を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

材料	E (MPa)	$\nu$	$\ell_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$
STKR400	202000	0.3	1977.3	28.5	69.4

	要素番号				
	右記以外	2700, 2701 5500, 5502 5800~5803 5900, 5901 6000, 6001 9001, 9002	4300, 4301 4400, 4401 5700, 5701	5526, 5527	5512~5521 5525, 5528
材料	STKR400	STKR400	SS400	SGP	STPG370
A (mm <sup>2</sup> )	$2.163 \times 10^3$	$1.217 \times 10^3$	564.4	676.9	950.3
A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	$1.200 \times 10^3$	675.0	300.0	338.5	475.2
A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	$1.200 \times 10^3$	675.0	300.0	338.5	475.2
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	$6.230 \times 10^4$	$2.630 \times 10^4$	$3.550 \times 10^3$	$9.033 \times 10^3$	$1.200 \times 10^4$
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	$6.230 \times 10^4$	$2.630 \times 10^4$	$3.550 \times 10^3$	$9.033 \times 10^3$	$1.200 \times 10^4$
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )	$1.061 \times 10^5$	$4.474 \times 10^4$	$1.128 \times 10^3$	$1.807 \times 10^4$	$2.400 \times 10^4$
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	$3.110 \times 10^6$	$9.860 \times 10^5$	$1.260 \times 10^5$	$2.732 \times 10^5$	$3.629 \times 10^5$
I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	$3.110 \times 10^6$	$9.860 \times 10^5$	$1.260 \times 10^5$	$2.732 \times 10^5$	$3.629 \times 10^5$
I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	$4.984 \times 10^6$	$1.577 \times 10^6$	$6.768 \times 10^3$	$5.465 \times 10^5$	$7.259 \times 10^5$
断面形状					
寸法(mm)	100×100×6 (a×b×c)	75×75×4.5 (a×b×c)	50×50×6 (a×b×c)	50A SGP (φ a×b)	50A S80 (φ a×b)

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
架台	1600	1699	—	4.449×10 <sup>4</sup>	—	2.037×10 <sup>4</sup>	—	922.1
	5502	5600	—	2.088×10 <sup>4</sup>	—	421.7	—	304.9
	602	699	—	1.697×10 <sup>4</sup>	—	2.242×10 <sup>4</sup>	—	1.096×10 <sup>4</sup>
	5517	5603	—	9.203×10 <sup>3</sup>	—	1.414×10 <sup>3</sup>	—	2.105×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台のモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
架台	1600	1699	—	76.2	—	184.2	—	4.062×10 <sup>3</sup>
	5502	5600	—	18.7	—	168.4	—	214.0
	602	699	—	473.4	—	1.779×10 <sup>3</sup>	—	3.797×10 <sup>3</sup>
	5517	5603	—	35.5	—	631.0	—	375.2

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	1600	1699	—	4.449×10 <sup>4</sup>	—	546.5	—	2.037×10 <sup>4</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	1600	1699	—	43.4	—	4.055×10 <sup>3</sup>	—	96.8

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	1600	1699	—	2.266×10 <sup>4</sup>	—	5.181×10 <sup>3</sup>

1.3.6 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト	—	—	—	244.4	—	383.3

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.043

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
架台	STKR400	引張	1600	1699	—	—	$\sigma_t = 21$	$f_t = 280$
		圧縮	5502	5600	—	—	$\sigma_c = 18^{*1}$	$f_c = 198$
		せん断	602	699	—	—	$\tau = 24$	$f_s = 161$
	STPG370	曲げ	5517	5603	—	—	$\sigma_b = 84$	$f_b = 258$
	STKR400	組合せ	602	699	—	—	$\sigma_f = 106$	$f_t = 280$
基礎ボルト	SS400	引張	1600	1699	—	—	$\sigma_{tb} = 113$	$f_{ts} = 168^{*2}$
		せん断	1600	1699	—	—	$\tau_b = 26$	$f_{sb} = 129$
取付ボルト	SS400	引張	—	—	—	—	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 210^{*2}$
		せん断	—	—	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 161$

すべて許容応力以下である。

注記\*1：絶対値を記載

\*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

【遠隔手動弁操作設備遮蔽(その2)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

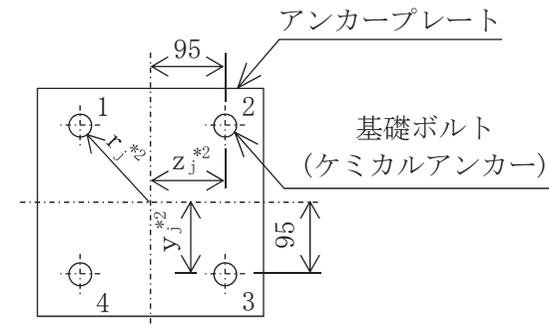
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 6.000*1 (OP. 15.000)	0.050	0.050 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	—	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	d <sub>o</sub> (基礎ボルト) (mm)	A <sub>b</sub> (基礎ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n(基礎ボルト) (本)	y <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	z <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	r <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	d <sub>o</sub> (取付ボルト) (mm)	A <sub>b</sub> (取付ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n(取付ボルト) (本)	W (kg)	遮蔽板取付 向き
	16 (M16)	201.1	4	95	95	134.4	16 (M16)	201.1	4		鉛直

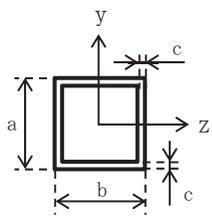
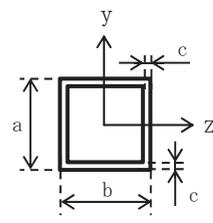
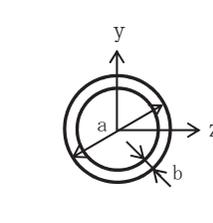
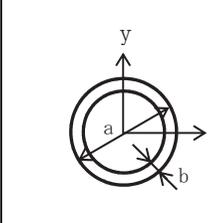
部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架台	STKR400	245	400	245	280
	SGP	147	290	147	176
	STPG370	215	370	215	258
基礎ボルト	SS400	235 (16mm<径≤40mm)	400	235	280
取付ボルト	SS400	235 (16mm<径≤40mm)	400	235	280



注記\*2：j は基礎ボルト番号を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

材料	E (MPa)	$\nu$	$\ell_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$
STKR400	202000	0.3	1616.6	28.5	56.7

	要素番号			
	200~4002 (欠番有)	4100, 4200 4700~5801 (欠番有)	4400~4406	4300~4306
材料	STKR400	STKR400	SGP	STPG370
A (mm <sup>2</sup> )	$2.163 \times 10^3$	$1.217 \times 10^3$	676.9	417.1
A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	$1.200 \times 10^3$	675.0	338.5	208.6
A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	$1.200 \times 10^3$	675.0	338.5	208.6
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	$6.230 \times 10^4$	$2.630 \times 10^4$	$9.033 \times 10^3$	$2.731 \times 10^3$
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	$6.230 \times 10^4$	$2.630 \times 10^4$	$9.033 \times 10^3$	$2.731 \times 10^3$
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )	$1.061 \times 10^5$	$4.474 \times 10^4$	$1.807 \times 10^4$	$5.462 \times 10^3$
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	$3.110 \times 10^6$	$9.860 \times 10^5$	$2.732 \times 10^5$	$4.642 \times 10^4$
I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	$3.110 \times 10^6$	$9.860 \times 10^5$	$2.732 \times 10^5$	$4.642 \times 10^4$
I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	$4.984 \times 10^6$	$1.577 \times 10^6$	$5.465 \times 10^5$	$9.290 \times 10^4$
断面形状				
寸法(mm)	100×100×6 (a×b×c)	75×75×4.5 (a×b×c)	50A SGP (a×b)	25A S80 (a×b)

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
架台	4100	4001	—	2.819×10 <sup>4</sup>	—	252.8	—	793.8
	1101	1000	—	768.3	—	8.857×10 <sup>3</sup>	—	2.841×10 <sup>3</sup>
	4300	903	—	3.257×10 <sup>3</sup>	—	961.2	—	785.4

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台のモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
架台	4100	4001	—	6.1	—	586.3	—	81.1
	1101	1000	—	1.347×10 <sup>3</sup>	—	90.1	—	452.1
	4300	903	—	0.3	—	204.4	—	254.5

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	501	599	—	3.153×10 <sup>4</sup>	—	6.137×10 <sup>3</sup>	—	5.605×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	501	599	—	438.4	—	853.9	—	1.941×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	501	599	—	1.524×10 <sup>4</sup>	—	2.894×10 <sup>3</sup>

1.3.6 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト	—	—	—	237.8	—	372.0

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.050

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
架台	STKR400	引張	4100	4001	—	—	$\sigma_t = 24$	$f_t = 280$
		圧縮	4100	4001	—	—	$\sigma_c = 24^{*1}$	$f_c = 222$
		せん断	1101	1000	—	—	$\tau = 21$	$f_s = 161$
	STPG370	曲げ	4300	903	—	—	$\sigma_b = 170$	$f_b = 258$
		組合せ	4300	903	—	—	$\sigma_f = 178$	$f_t = 258$
基礎ボルト	SS400	引張	501	599	—	—	$\sigma_{tb} = 76$	$f_{ts} = 168^{*2}$
		せん断	501	599	—	—	$\tau_b = 15$	$f_{sb} = 129$
取付ボルト	SS400	引張	—	—	—	—	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 210^{*2}$
		せん断	—	—	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 161$

すべて許容応力以下である。

注記\*1: 絶対値を記載

\*2:  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性についての計算書
- VI-2-10-3 補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-4 非常用取水設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-5 緊急時対策所の耐震性についての計算書

VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-10-1-1 非常用電源設備の耐震性についての計算結果
- VI-2-10-1-2 非常用電源装置の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-3 その他の電源装置の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-4 その他の非常用電源設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-1 非常用電源設備の耐震性についての計算結果

目 次

1. 概要 .....	1
2. 耐震評価条件整理 .....	1

## 1. 概要

本説明書は、非常用電源設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

## 2. 耐震評価条件整理

非常用電源設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類，重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

非常用電源設備の耐震計算は表 1 に示す計算書に記載することとする。

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (1/11)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
評価対象設備  非常用ディーゼル機 関*2  非常用ディーゼル発 電機  空気だめ*3  燃料ダイタンク  燃料移送ポンプ  非常用ディーゼル発 電設備軽油タンク	S	無	VI-2-10-1-2-1-1	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-1	
	S	無	VI-2-10-1-2-1-1	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-1	
	S	無	VI-2-10-1-2-1-2	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-2	
	S	無	VI-2-10-1-2-1-3	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-3	
	S	—*8	VI-2-10-1-2-1-4	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-1-4	
	S	—*8	VI-2-10-1-2-1-5	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-2-1-5	
	非常用ディーゼル発電設備  非常用電源設備  その他発電用原子炉の附属施設						

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (2/11)

評価対象設備		設計基準対象施設		重大事故等対処設備	
耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
S	—*8	VI-2-10-1-2-1-6	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-1-6
			常設耐震／防止 常設／緩和		
S	—*8	VI-2-10-1-2-1-7	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-1-7
S	無	VI-2-10-1-2-2-1	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-1
S	無	VI-2-10-1-2-2-1	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-1
S	無	VI-2-10-1-2-2-2	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-2
		その他発電用原子炉の附属施設			
		非常用電源設備			
		非常用ディーゼル 発電設備			
		高圧炉心スプレイ系 発電設備			
		高圧炉心スプレイ系 ディーゼル 発電設備			
		空気だめ*6			

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (3/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	S	無	VI-2-10-1-2-2-3	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-3
	S	—*8	VI-2-10-1-2-2-4	常設／防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-2-4
	S	—*8	VI-2-10-1-2-2-5	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-2-2-5
	S	—*8	VI-2-10-1-2-2-6	常設／防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-2-6
				常設耐震／防止 常設／緩和		
	S	—*8	VI-2-10-1-2-2-7	常設／防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-2-2-7

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (4/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備 ガスタービン発電設備	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-1
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-2
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-3
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-4
	S	—*8	VI-2-10-1-2-1-5	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-1-5
	S	—*8	VI-2-10-1-2-2-5	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-2-5
	—	—*8	VI-2-10-1-2-3-5	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-5
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-1
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-6
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-5

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (5/11)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉 の附属施設	緊急時対策所 軽油タンク	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-4-1
	緊急時対策所 ゼル発電設備	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-4-2
非常用電源設備	主配管	—	—	—	—	—	—
	無停電交流電源用 静止形無停電電源 装置	S	無	VI-2-10-1-3-1-1	—	—	—
非常用電源設備	125V 蓄電池 2A 及び 2B	S	有	VI-2-10-1-3-2-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-3-2-1
	125V 蓄電池 2H	S	無	VI-2-10-1-3-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-3-2-1
その他発電用原子炉の附属施設	125V 代替蓄電池	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-3-2-2
	250V 蓄電池	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-3-2-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (6/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備 その他	S	—*8	VI-2-10-1-4-1	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-1
	S	—*8	VI-2-10-1-4-2	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-2
	S	—*8	VI-2-10-1-4-3	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-3
	S	—*8	VI-2-10-1-4-4	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-4
	S	—*8	VI-2-10-1-4-5	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-5
	S	—*8	VI-2-10-1-4-6	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-6
	S	—*8	VI-2-10-1-4-7	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-7
	S	—*8	VI-2-10-1-4-8	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-8

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (7/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備 その他	S	—*8	VI-2-10-1-4-9	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-9	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-10	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-11	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-12	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-13	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-14	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-15	
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-16	
	中央制御室 120V 交 流分電盤 (非常用)						
	ガスタービン発電 機接続統盤						
	メタルクラッドス イッチギア (緊急 用)						
	動力変圧器 (緊急 用)						
	パワーセンタ (緊急 用)						
	モータコントロー ルセンタ (緊急用)						
	ガスタービン発電 設備燃料移送ポン プ接続統盤						
	460V 原子炉建屋交 流電源切替盤 (緊急 用)						

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (8/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
評価対象設備  その他発電用原子炉の附属施設  非常用電源設備  その他	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-17
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-18
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-19
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-20
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-21
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-22
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-23
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-24
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	—
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	—

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (9/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備 その他	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-25
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-26
	S	無	VI-2-10-1-4-27	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-27
	S	—*8	VI-2-10-1-4-28	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-28
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-29
	S	—*8	VI-2-10-1-4-30	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-30
	S	—*8	VI-2-10-1-4-31	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-31
	210V 交流分電盤 (緊急時対策所用)					
	125V 直流主母線盤 (緊急時対策所用)					
	125V 充電器 2A 及び 2B					
125V 直流主母線盤 2A 及び 2B						
125V 直流主母線盤 2A-1 及び 2B-1						
125V 直流分電盤 2A-1, 2A-2, 2A-3, 2B-1, 2B-2 及び 2B-3						
125V 直流電源切替盤 2A 及び 2B						

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (10/11)

評価対象設備	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
	耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
125V 直流 RCIC モータコントロール センタ  125V 充電器 2H  125V 直流主母線盤 2H  125V 直流分電盤 2H  125V 代替充電器	S	—*8	VI-2-10-1-4-32	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-32
	S	無	VI-2-10-1-4-33	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-4-33
	S	—*8	VI-2-10-1-4-34	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-34
	S	—*8	VI-2-10-1-4-35	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-10-1-4-35
	—	—*8	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-36
その他						
非常用電源設備						
その他発電用原子炉の附属施設						

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (11/11)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	—	—*8	—	常設耐震/防止	—	VI-2-10-1-4-37
	その他	—	—*8	—	常設耐震/防止	—	VI-2-10-1-4-38

注記\*1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設/緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*2: 非常用ディーゼル発電設備調速装置, 非常調速装置及び機関付清水ポンプはディーゼル機関付きであるため, ディーゼル機関の評価に包絡される。

\*3: 非常用ディーゼル発電設備空気だめの安全弁は空気だめ付きであるため, 空気だめの評価に包絡される。

\*4: 非常用ディーゼル発電設備の励磁装置及び保護継電装置は非常用ディーゼル発電設備制御盤付きであるため, 非常用ディーゼル発電設備制御盤の評価に包絡される。

\*5: 高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備調速装置, 非常調速装置及び機関付清水ポンプは高圧炉心スプレイス系ディーゼル機関付きであるため, 高圧炉心スプレイス系ディーゼル機関の評価に包絡される。

\*6: 高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備空気だめの安全弁は空気だめ付きであるため, 空気だめの評価に包絡される。

\*7: 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の励磁装置及び保護継電装置は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備制御御盤付きであるため、高圧炉心スプレイ系ディーゼル設備制御御盤の評価に包絡される。

\*8: 本工事計画で新規に申請する設備であることから、差異比較の対象外。

\*9: ガスタービン発電設備の励磁装置はガスタービン発電機付きであるため、ガスタービン発電機の評価に包絡される。

\*10: ガスタービン発電設備調速装置、非常調速装置及び保護継電装置はガスタービン発電設備制御御盤付きであるため、ガスタービン発電設備制御御盤の評価に包絡される。

VI-2-10-1-2 非常用電源装置の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-3 ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-2 非常用ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-3 非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-5 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-6 非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-7 非常用ディーゼル発電設備 制御盤の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備機関・発電機  
の耐震性についての計算書

## 目次

1.	非常用ディーゼル機関	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.2.2	評価方針	3
1.2.3	適用規格・基準等	4
1.2.4	記号の説明	5
1.2.5	計算精度と数値の丸め方	7
1.3	評価部位	8
1.4	固有周期	9
1.4.1	固有周期の計算方法	9
1.4.2	固有周期の計算条件	9
1.4.3	固有周期の計算結果	10
1.5	構造強度評価	10
1.5.1	構造強度評価方法	10
1.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
1.5.3	設計用地震力	14
1.5.4	計算方法	15
1.5.5	計算条件	20
1.5.6	応力の評価	20
1.6	機能維持評価	21
1.6.1	基本方針	21
1.6.2	動的機能維持評価	22
1.6.3	引用文献	25
1.7	評価結果	26
1.7.1	設計基準対象施設としての評価結果	26
1.7.2	重大事故等対処設備としての評価結果	26
2.	非常用ディーゼル発電機	38
2.1	概要	38
2.2	一般事項	38
2.2.1	構造計画	38
2.2.2	評価方針	40
2.2.3	適用規格・基準等	41
2.2.4	記号の説明	42

2.2.5	計算精度と数値の丸め方	44
2.3	評価部位	45
2.4	固有周期	46
2.4.1	固有周期の計算方法	46
2.4.2	固有周期の計算条件	46
2.4.3	固有周期の計算結果	47
2.5	構造強度評価	47
2.5.1	構造強度評価方法	47
2.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	47
2.5.3	設計用地震力	51
2.5.4	計算方法	52
2.5.5	計算条件	64
2.5.6	応力の評価	65
2.6	機能維持評価	66
2.6.1	基本方針	66
2.6.2	動的機能維持評価	67
2.7	評価結果	75
2.7.1	設計基準対象施設としての評価結果	75
2.7.2	重大事故等対処設備としての評価結果	75

## 1. 非常用ディーゼル機関

### 1.1 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル機関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。

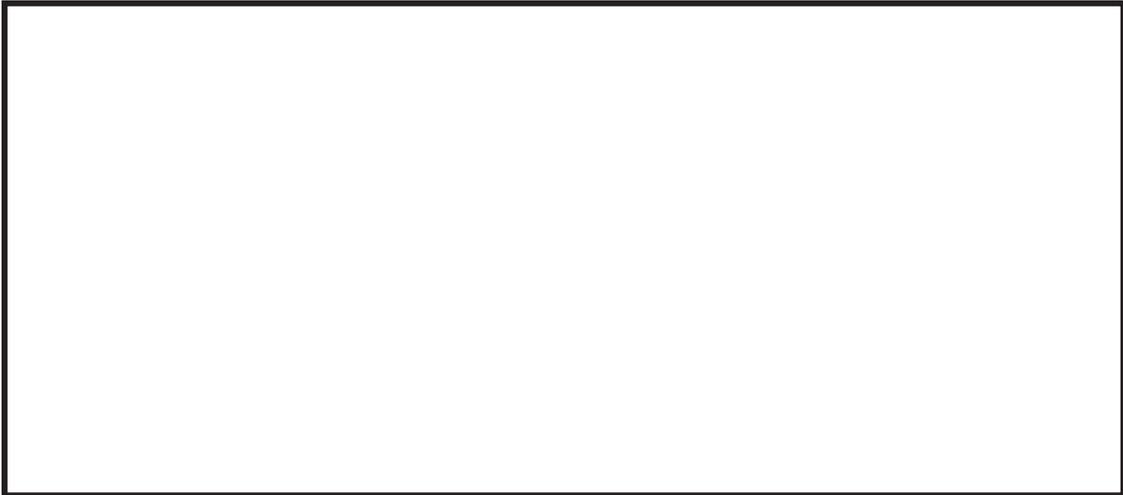
非常用ディーゼル機関は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

### 1.2 一般事項

#### 1.2.1 構造計画

非常用ディーゼル機関の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ディーゼル機関は据付台床を介して基礎ボルトで基礎に据付ける。	4 サイクルたて形 <input type="checkbox"/> 気筒ディーゼル機関	

### 1.2.2 評価方針

非常用ディーゼル機関の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「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、「1.2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル機関の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「1.5 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、非常用ディーゼル機関の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の中速形ディーゼル機関であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル機関の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

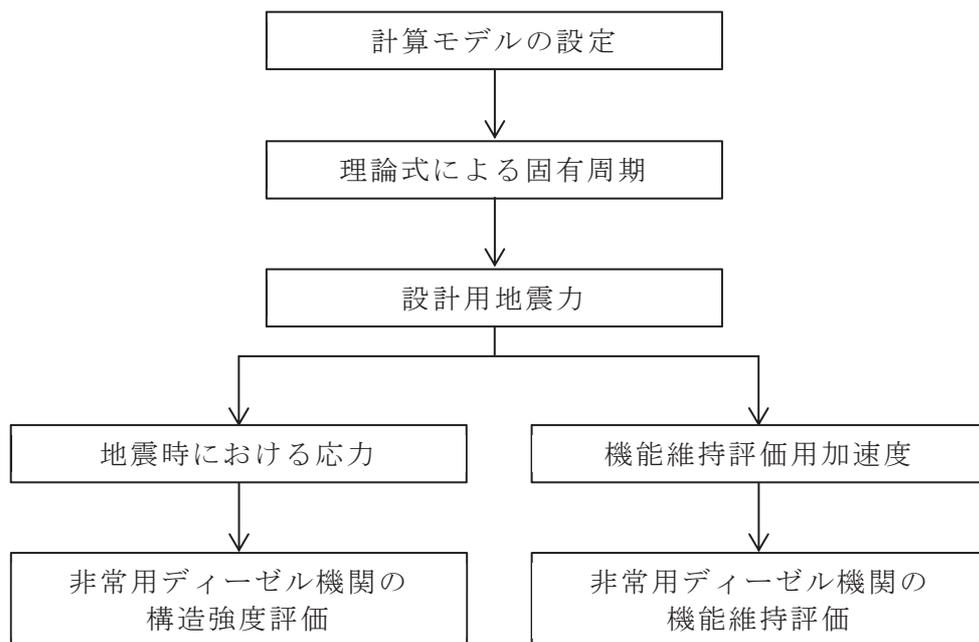


図 1-1 非常用ディーゼル機関の耐震評価フロー

### 1.2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(以下「設計・建設規格」という。)

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	最小断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>bi</sub>	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	最小有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>EH</sub>	ディーゼル機関往復運動による水平方向設計震度	—
C <sub>EV</sub>	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向設計震度	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d <sub>i</sub>	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
E	縦弾性係数	MPa
F <sub>i</sub>	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F <sub>i</sub> *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F <sub>bij</sub>	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
f <sub>sbi</sub>	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>toi</sub>	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>t si</sub>	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
h <sub>i</sub>	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
L <sub>ij</sub>	転倒支点となるボルトと評価対象となるボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup>	mm
ℓ <sub>1i</sub>	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
ℓ <sub>2i</sub>	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
M <sub>Ei</sub>	ディーゼル機関回転により作用するモーメント* <sup>1</sup>	N・mm
m <sub>i</sub>	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
N	回転速度（ディーゼル機関の定格回転速度）	min <sup>-1</sup>
n <sub>i</sub>	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
n <sub>fij</sub>	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
P	ディーゼル機関出力	kW
Q <sub>bi</sub>	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
S <sub>ui</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>yi</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>yi</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa

記号	記号の説明	単位
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bij}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $L_{ij}$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $M_{Ei}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fij}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi}$  (RT),  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  及び  $j$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$j = 1 \sim 20$ : 評価対象となるボルト列

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

\*3:  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

### 1.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 1-2 に示すとおりである。

表 1-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 1.3 評価部位

非常用ディーゼル機関の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

非常用ディーゼル機関の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

## 1.4 固有周期

### 1.4.1 固有周期の計算方法

非常用ディーゼル機関の固有周期の計算方法を以下に示す。

#### (1) 計算モデル

- a. ディーゼル機関の質量は、重心に集中するものとする。
- b. ディーゼル機関は据付台床上にあり、ディーゼル機関と据付台床は一体で基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

ディーゼル機関は、図 1-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

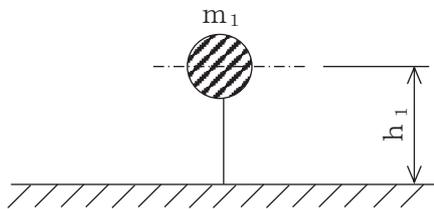


図 1-2 固有周期の計算モデル

#### (2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left( \frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots\dots\dots (1.4.1.1)$$

#### (3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \dots\dots\dots (1.4.1.2)$$

### 1.4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

### 1.4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

## 1.5 構造強度評価

### 1.5.1 構造強度評価方法

1.4.1 項(1)a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はディーゼル機関に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 1-3 及び図 1-4 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。
- (3) 水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

### 1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル機関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 1-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

#### 1.5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル機関の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-6 のとおりとする。

#### 1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル機関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 1-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1-4 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
非常用電源設備	非常用電源装置	非常用ディーゼル機関	S	- *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 1-5 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* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用電源装置	非常用ディーゼル機関	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	- * <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)

注記\*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 1-6 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてⅣ <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-7 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S45C (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	339	556	—

表 1-8 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S45C (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	339	556	—

### 1.5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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。

評価に用いる設計用地震力を表 1-9 及び表 1-10 に示す。

表 1-9 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 15.00* <sup>1</sup> (O.P. 15.88)	□		—* <sup>2</sup>	—* <sup>2</sup>	C <sub>H</sub> =1.99	C <sub>V</sub> =1.40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動 S<sub>s</sub> で評価する。

表 1-10 設計用地震力（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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 15.00* (O.P. 15.88)	□		—	—	C <sub>H</sub> =1.99	C <sub>V</sub> =1.40

注記\*：基準床レベルを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

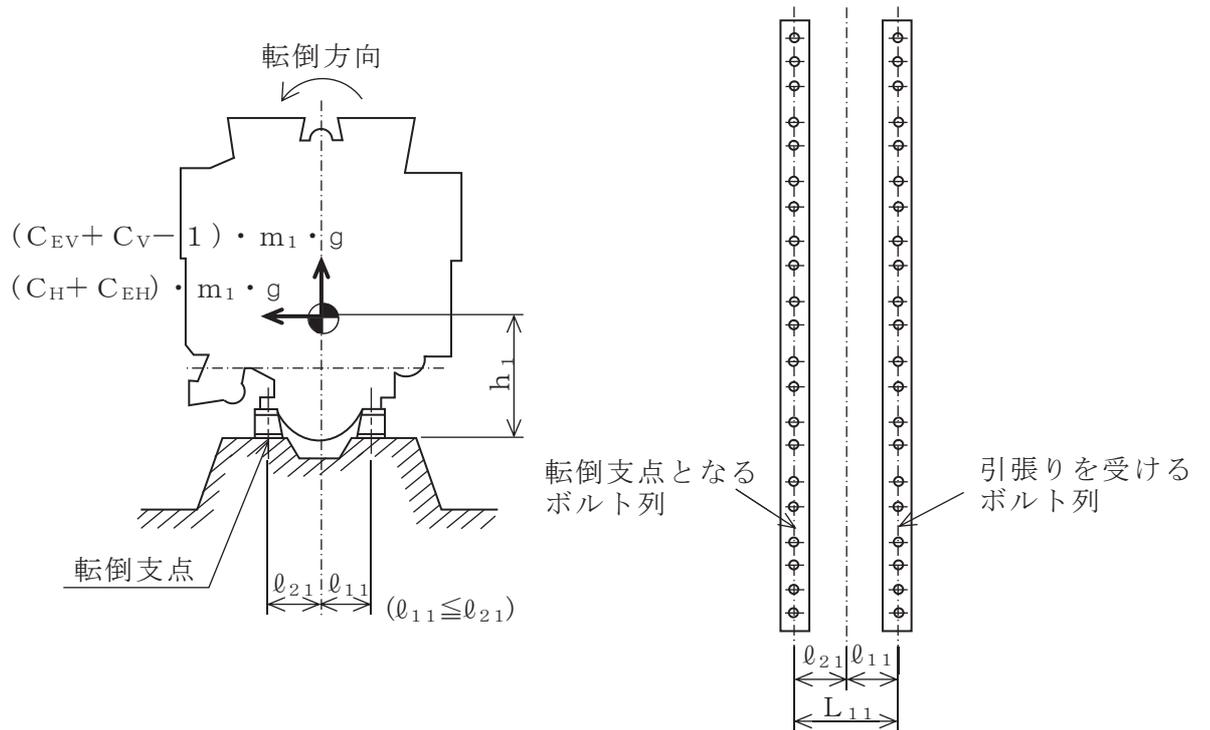


図 1-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

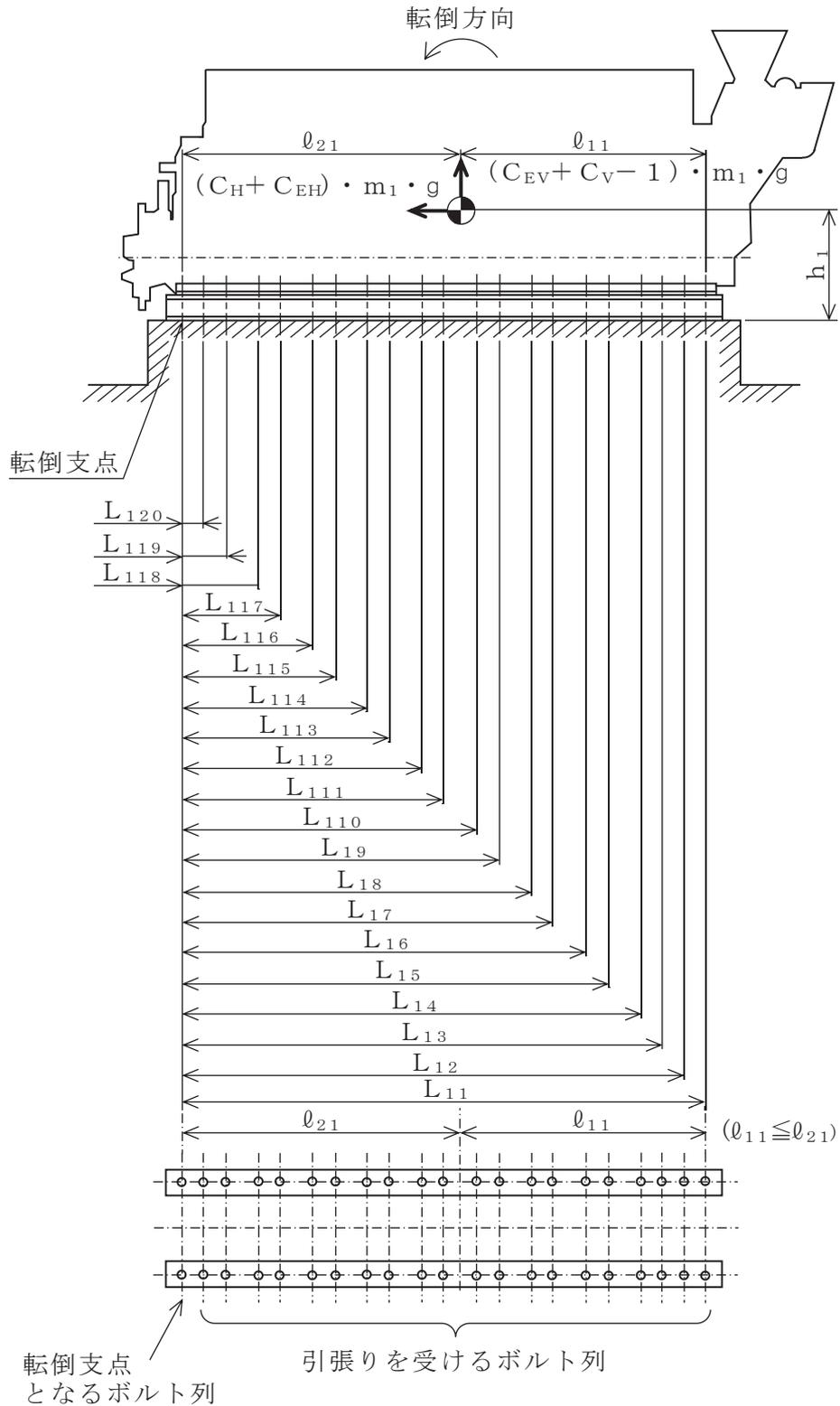


図 1-4 計算モデル (軸方向転倒)

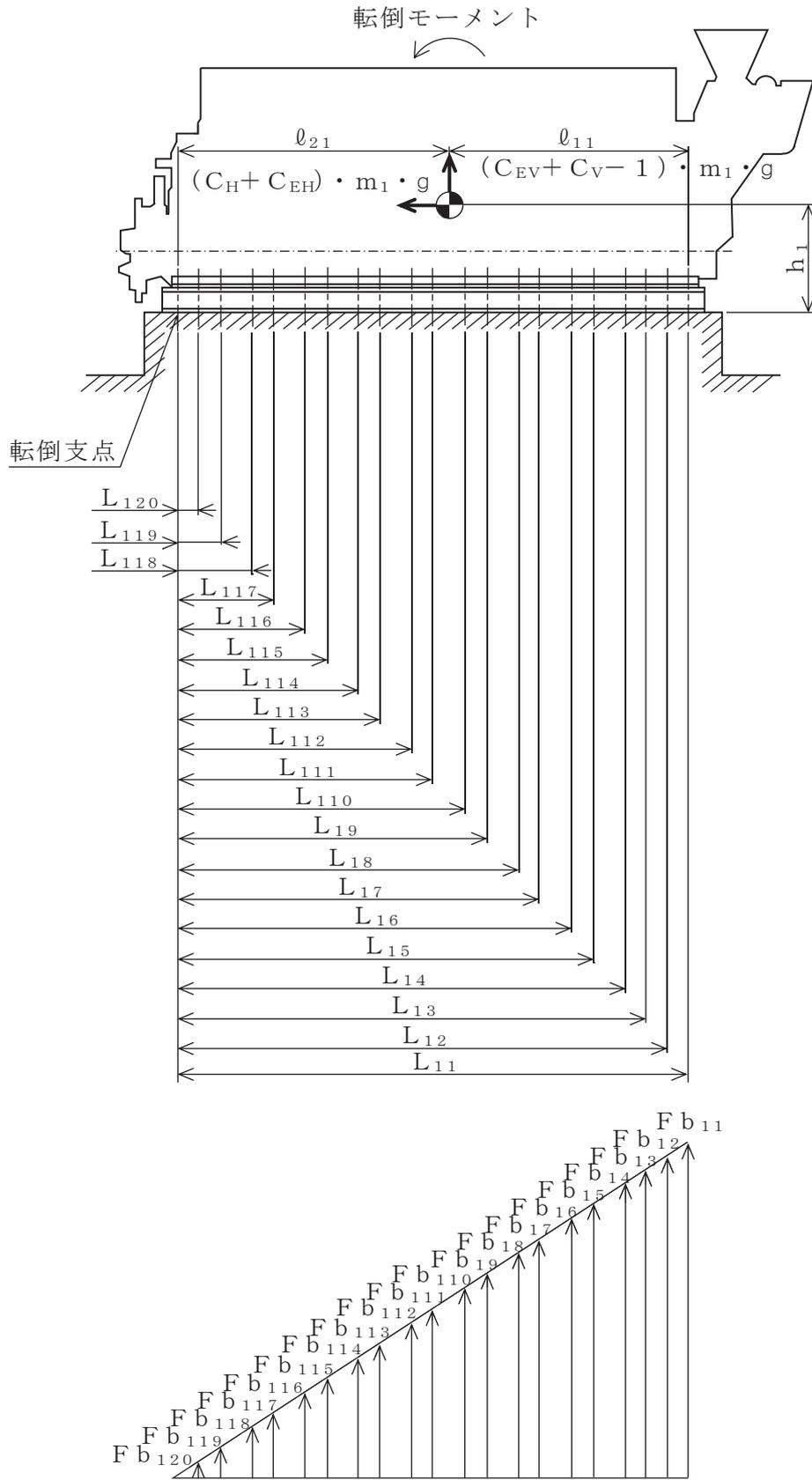


図 1-5 基礎ボルトの応力（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図 1-3 及び図 1-4 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを転倒支点となるボルト列を除く列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、図 1-4 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント\*1は作用しない。

a. 軸直角方向転倒の計算方法

引張力

$$F_{b11} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 + M_{E1}^{*1}}{n_{f11} \cdot L_{11}} - \frac{(1 - C_V - C_{EV}) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{21}^{*2}}{n_{f11} \cdot L_{11}} \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

ここで、 $C_{EH}$ 及び $C_{EV}$ はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

注記\*1：ディーゼル機関回転によるモーメント $M_{E1}$ は次式により求める。

$$M_{E1} = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad (1kW = 10^6 N \cdot mm / s)$$

\*2： $(1 - C_V - C_{EV}) \geq 0$  の場合は、 $\ell_{11}$ とする。

$(1 - C_V - C_{EV}) < 0$  の場合は、 $\ell_{21}$ とする。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b11}}{A_{b1}} \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_{b1}$ は次式より求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

ただし、 $F_{b11}$ が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

b. 軸方向転倒の計算方法

軸方向転倒においては、地震時にディーゼル機関に作用する転倒モーメントによる引張力が図 1-5 に示すように基礎ボルトに負荷されるものとして応力を計算する。

引張力

図 1-5 において転倒支点まわりのモーメントの釣合いにより基礎ボルト 1 本当たりの引張力  $F_{bij}$  を計算する。引張力  $F_{bij}$  は、転倒支点から各ボルト列までの距離に比例するので、最も距離が長いボルト列の  $F_{b11}$  のみを計算する。

$$F_{b11} = \frac{L_{11} \cdot \{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_V - C_{EV}) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{21}\}}{\sum_{j=1}^{20} n_{f1j} \cdot L_{1j}^2} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b11}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.7)$$

1.5.5 計算条件

基礎ボルトの応力の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{t si}$  以下であること。

ただし、 $f_{t oi}$  は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力  $f_{s bi}$  以下であること。

ただし、 $f_{s bi}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 1.6 機能維持評価

### 1.6.1 基本方針

非常用ディーゼル機関は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の中速形ディーゼル機関であるため、中速形ディーゼル機関の機能確認済加速度を用いて機能維持評価を行う。

機能維持評価において機能維持評価用加速度が表 1-11 に示す機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「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  $S_s$  により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) を設定する。

表 1-11 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
機関	中速形ディーゼル機関	水平方向	1.1
		鉛直方向	1.0
ガバナ		水平方向	1.8
		鉛直方向	1.0

## 1.6.2 動的機能維持評価

### 1.6.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の非常用ディーゼル発電機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

非常用ディーゼル発電機の発電機ロータの機関側の荷重は、非常用ディーゼル機関の基準軸受部のラジアル軸受（以下、「発電機軸受（機関側）」という。）で支持されるため機関で評価する。

- a. 基礎ボルト
- b. ガバナ
- c. 排気管ベローズ
- d. 潤滑油サンプタンク
- e. 発電機軸受（機関側）
- f. 基準軸受
- g. カム軸
- h. ピストン，クランク軸，連結棒
- i. ギアリング
- j. 動弁装置
- k. 始動弁
- l. ガバナリンク
- m. 機械式オーバースピードトリップ装置
- n. 燃料噴射ポンプ
- o. 冷却水ポンプ
- p. 潤滑油ポンプ
- q. 過給機

このうち、「a. 基礎ボルト」については、「1.5 構造強度評価」に従い評価を行った「1.7 評価結果」にて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ている。

また、「g. カム軸」～「q. 過給機」については、既往の研究（（財）原子力工学試験センター原子力発電耐震信頼性実証試験）で評価した限界加速度が機能維持評価用加速度に対して十分な裕度があることから、計算書の評価対象外とする。

### 1.6.2.2 評価基準値

ガバナは、既往の研究（独立行政法人 原子力安全基盤機構 耐震安全部「平成 22 年度耐震機能限界試験（非常用ディーゼル発電機）ガバナ振動台加振試験 JNES-SS レポート」）で確認された同形式のガバナの機能確認済加速度を評価基準値として設定する。排気管ベローズ及び潤滑油サンプルタンクは変位可能寸法を評価基準値として設定する。発電機軸受（機関側）の面圧は、メーカ規定の許容面圧を評価基準値として設定する。基準軸受の隔壁強度は、クラス 2 ポンプの評価応力状態Ⅲ<sub>S</sub>を準用し設定する。また、基準軸受（スラスト）面圧は既往の研究（（財）原子力工学試験センター原子力発電耐震信頼性実証試験）で確認されている許容面圧を評価基準値として設定する。

### 1.6.2.3 記号の説明

非常用ディーゼル機関の動的機能維持評価に使用する記号を表 1-12 に示す。

表 1-12 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{DG}$	発電機軸受の受圧面積	$\text{mm}^2$
$A_{TH}$	基準軸受（スラスト）の等価受圧面積	$\text{mm}^2$
$C_{DP}$	基準軸受隔壁応力の補正係数	MPa/N
$C_{EH}$	ディーゼル機関往復運動による水平方向設計震度	—
$C_{EV}$	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向設計震度	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$K_B$	排気管ベローズのばね定数	N/m
$l_1$	発電機軸受（機関側）中心から発電機ロータ重心までの距離	mm
$l_2$	発電機ロータを支持する軸受間の距離	mm
$m_B$	排気管ベローズの質量	kg
$m_D$	発電機軸受で支持するディーゼル機関クランク軸質量	kg
$m_G$	発電機ロータ質量	kg
$P_J$	発電機軸受面圧	MPa
$P_T$	基準軸受（スラスト）面圧	MPa
$W_T$	基準軸受のスラスト荷重	N
$\sigma_{DP}$	隔壁応力	MPa
$\delta_S$	排気管ベローズの伸び量	mm

1.6.2.4 評価方法

(1) ガバナ

機能維持評価用加速度と既往の研究（独立行政法人 原子力安全基盤機構 耐震安全部「平成 22 年度耐震機能限界試験（非常用ディーゼル発電機）ガバナ振動台加振試験 JNES-SS レポート」）で得られた同型式のガバナの機能確認済加速度を比較する。

(2) 排気管ベローズ

地震慣性力による排気管ベローズの伸び量を次式により算出する。

$$\delta_s = \frac{m_B \cdot g \cdot C_V}{2 \cdot K_B} \dots\dots\dots (1.6.2.4.1)$$

(3) 潤滑油サンプタンク

スロッシングによる液面変位は 3 次元流動解析により評価し、スロッシングによる液面変位を算出する。解析コードは「Fluent ver. 19.1」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(4) 発電機軸受（機関側）

発電機回転子および非常用ディーゼル機関クランク軸のうち、発電機軸受（機関側）で支持する軸受面圧を次式により算出する。

$$P_J = \frac{\sqrt{(1 + C_V + C_{EV})^2 + (C_H + C_{EH})^2} \cdot (m_G + m_D) \cdot g \cdot (\ell_2 - \ell_1)}{\ell_2 \cdot A_{DG}} \dots\dots\dots (1.6.2.4.2)$$

(5) 基準軸受隔壁

地震時の基準軸受のスラスト荷重による隔壁応力を次式により算出する。

$$\sigma_{DP} = C_{DP} \cdot W_T \dots\dots\dots (1.6.2.4.3)$$

(6) 基準軸受面圧（スラスト）

地震時の基準軸受のスラスト荷重による軸受面圧（スラスト）を次式により算出する。

$$P_T = \frac{W_T}{A_{TH}} \dots\dots\dots (1.6.2.4.4)$$

### 1.6.3 引用文献

本評価において適用する文献を以下に示す。

- (1) (財)原子力工学試験センター原子力発電耐震信頼性実証試験
- (2) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 耐震安全部「平成 22 年度耐震機能限界試験（非常用ディーゼル発電機）ガバナ振動台加振試験 JNES-SSレポート」

## 1.7 評価結果

### 1.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル機関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次頁以降の表に示す。

なお，弾性設計用地震動  $S_d$  による動的震度及び静的震度は基準地震動  $S_s$  を下回っており，基準地震動  $S_s$  による発生値が，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度による発生値の算出を省略した。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 1.7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル機関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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル機関	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*1 (O.P. 15.88)			—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.99	C <sub>V</sub> =1.40	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	70*3	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：Ⅲ,Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

\*3：機関冷却水最高運転温度。

1.1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	L <sub>ij</sub> * (mm)	ℓ <sub>1i</sub> * (mm)	ℓ <sub>2i</sub> * (mm)	n <sub>1</sub>	n <sub>fij</sub> *
基礎ボルト (i=1)		1575	1270	635	635	42	21
			下表に示す	3397	3707		下表に示す

注記\*：基礎ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

基礎ボルト (i=1)	L <sub>11</sub>	L <sub>12</sub>	L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>	L <sub>17</sub>	L <sub>18</sub>	L <sub>19</sub>	L <sub>110</sub>	L <sub>111</sub>	L <sub>112</sub>	L <sub>113</sub>	L <sub>114</sub>	L <sub>115</sub>	L <sub>116</sub>	L <sub>117</sub>	L <sub>118</sub>	L <sub>119</sub>	L <sub>120</sub>
	7104	6808	6512	6216	5772	5476	5032	4736	4292	3996	3552	3256	2812	2516	2072	1776	1332	1036	592	296
	n <sub>f11</sub>	n <sub>f12</sub>	n <sub>f13</sub>	n <sub>f14</sub>	n <sub>f15</sub>	n <sub>f16</sub>	n <sub>f17</sub>	n <sub>f18</sub>	n <sub>f19</sub>	n <sub>f110</sub>	n <sub>f111</sub>	n <sub>f112</sub>	n <sub>f113</sub>	n <sub>f114</sub>	n <sub>f115</sub>	n <sub>f116</sub>	n <sub>f117</sub>	n <sub>f118</sub>	n <sub>f119</sub>	n <sub>f120</sub>
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部 材	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向		M <sub>E1</sub> (N・mm)
						弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	962.1 (逃げ溝φ35)	339 <sup>*1</sup> (40mm<径≦100mm)	556 <sup>*1</sup> (40mm<径≦100mm)	339	389	—	軸直角	1.229×10 <sup>8</sup>

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min <sup>-1</sup> )	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	有効せん断断面積 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
6435	500	200000 <sup>*2</sup>	77000 <sup>*2</sup>	2.322×10 <sup>5</sup>	6.540×10 <sup>10</sup>	5.538×10 <sup>4</sup>

注記\*1：周囲環境温度で算出。

\*2：最高使用温度で算出。

28

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—*	<input type="text"/>	—*	<input type="text"/>

注記\*：III<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.1.4 結 論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S d又は静的震度		基準地震動S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i =1)	S45C	引張り	$\sigma_{b1}=147^{*2}$	$f_{ts1}=254^{*1}$	$\sigma_{b1}=147^{*2}$	$f_{ts1}=292^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=53^{*2}$	$f_{tb1}=195$	$\tau_{b1}=53^{*2}$	$f_{tb1}=225$

注記\*1 :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

注記\*2 : 基準地震動S sによる評価値

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル機関	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*1 (O.P. 15.88)			—	—	C <sub>H</sub> =1.67	C <sub>V</sub> =1.17	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	70*2	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：機関冷却水最高運転温度。

1.2.2 機器要目

(1) 排気管ベローズ

部材	m <sub>B</sub> (kg)	K <sub>B</sub> (N/mm)
排気管 ベローズ		

(2) 発電機軸受 (機関側)

部材	m <sub>G</sub> (kg)	m <sub>D</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	A <sub>DG</sub> (mm <sup>2</sup> )
発電機軸受 (機関側)					

(3) 基準軸受

部材	C <sub>DP</sub> (MPa/N)	W <sub>T</sub> (N)	A <sub>TH</sub> (mm <sup>2</sup> )
基準軸受			

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機 関	水平方向	1.67	1.1
	鉛直方向	1.17	1.0
ガバナ	水平方向	1.67	1.8
	鉛直方向	1.17	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

機関は、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

ガバナは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.3.2 非常用ディーゼル機関の動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.1.1 ガバナ (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ガバナ	水平方向	1.67	4.0
	鉛直方向	1.17	2.0

すべて機能確認済加速度以下である。

1.2.3.2.1.2 排気管ベローズ (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
排気管ベローズ		

許容変位量以下である。

1.2.3.2.1.3 潤滑油サンプタンク (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
潤滑油サンプタンク		

許容変位量以下である。

1.2.3.2.1.4 発電機軸受 (機関側) (単位: MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
発電機軸受 (機関側)		

許容面圧以下である。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 基準軸受 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
隔壁強度		

許容応力以下である。

(単位: MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
軸受面圧 (スラスト)		

許容面圧以下である。

【非常用ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル機関	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 15.00 <sup>*1</sup> (O.P. 15.88)			—	—	C <sub>H</sub> =1.99	C <sub>V</sub> =1.40	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	70 <sup>*2</sup>	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：機関冷却水最高運転温度。

2.1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	L <sub>ij</sub> * (mm)	ℓ <sub>1i</sub> * (mm)	ℓ <sub>2i</sub> * (mm)	n <sub>1</sub>	n <sub>fij</sub> *
基礎ボルト (i=1)		1575	1270	635	635	42	21
			下表に示す	3397	3707		下表に示す

注記\*：基礎ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

基礎ボルト (i=1)	L <sub>11</sub>	L <sub>12</sub>	L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>	L <sub>17</sub>	L <sub>18</sub>	L <sub>19</sub>	L <sub>110</sub>	L <sub>111</sub>	L <sub>112</sub>	L <sub>113</sub>	L <sub>114</sub>	L <sub>115</sub>	L <sub>116</sub>	L <sub>117</sub>	L <sub>118</sub>	L <sub>119</sub>	L <sub>120</sub>
	7104	6808	6512	6216	5772	5476	5032	4736	4292	3996	3552	3256	2812	2516	2072	1776	1332	1036	592	296
	n <sub>f11</sub>	n <sub>f12</sub>	n <sub>f13</sub>	n <sub>f14</sub>	n <sub>f15</sub>	n <sub>f16</sub>	n <sub>f17</sub>	n <sub>f18</sub>	n <sub>f19</sub>	n <sub>f110</sub>	n <sub>f111</sub>	n <sub>f112</sub>	n <sub>f113</sub>	n <sub>f114</sub>	n <sub>f115</sub>	n <sub>f116</sub>	n <sub>f117</sub>	n <sub>f118</sub>	n <sub>f119</sub>	n <sub>f120</sub>
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部 材	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向		M <sub>E1</sub> (N・mm)
						弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	962.1 (逃げ溝φ35)	339 <sup>*1</sup> (40mm<径≦100mm)	556 <sup>*1</sup> (40mm<径≦100mm)	—	389	—	軸直角	1.229×10 <sup>8</sup>

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min <sup>-1</sup> )	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	有効せん断断面積 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
6435	500	200000 <sup>*2</sup>	77000 <sup>*2</sup>	2.322×10 <sup>5</sup>	6.540×10 <sup>10</sup>	5.538×10 <sup>4</sup>

注記\*1：周囲環境温度で算出。

\*2：最高使用温度で算出。

33

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.1.4 結 論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S d又は静的震度		基準地震動S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	S45C	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=147$	$f_{ts1}=292^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=53$	$f_{tb1}=225$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$   
 すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル機関	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O. P. 15.00*1 (O. P. 15.88)			—	—	C <sub>H</sub> =1.67	C <sub>V</sub> =1.17	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	70*2	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：機関冷却水最高運転温度。

2.2.2 機器要目

(1) 排気管ベローズ

部材	m <sub>B</sub> (kg)	K <sub>B</sub> (N/mm)
排気管ベローズ		

(2) 発電機軸受 (機関側)

部材	m <sub>G</sub> (kg)	m <sub>D</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	A <sub>DG</sub> (mm <sup>2</sup> )
発電機軸受 (機関側)					

(3) 基準軸受

部材	C <sub>DP</sub> (MPa/N)	W <sub>T</sub> (N)	A <sub>TH</sub> (mm <sup>2</sup> )
基準軸受			

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機 関	水平方向	1.67	1.1
	鉛直方向	1.17	1.0
ガバナ	水平方向	1.67	1.8
	鉛直方向	1.17	1.0

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機関は、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

ガバナは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.3.2 非常用ディーゼル機関の動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.1.1 ガバナ

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ガバナ	水平方向	1.67	4.0
	鉛直方向	1.17	2.0

すべて機能確認済加速度以下である。

2.2.3.2.1.2 排気管ベローズ

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
排気管ベローズ		

許容変位量以下である。

2.2.3.2.1.3 潤滑油サンプタンク

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
潤滑油サンプタンク		

許容変位量以下である。

2.2.3.2.1.4 発電機軸受（機関側）

(単位：MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
発電機軸受（機関側）		

許容面圧以下である。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 基準軸受

(単位：MPa)

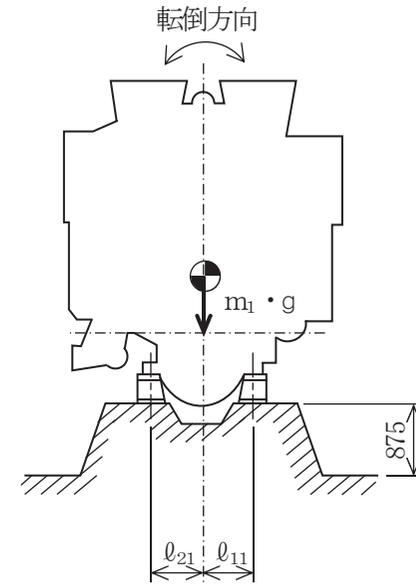
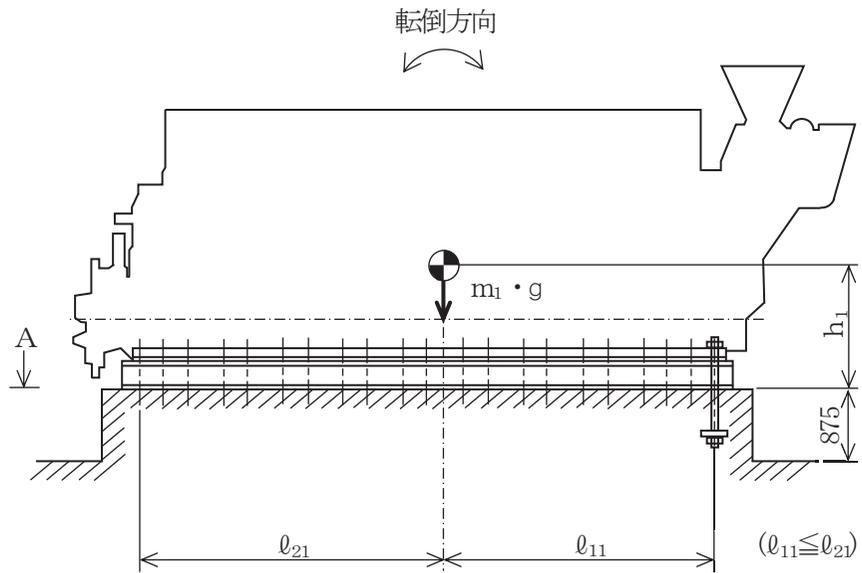
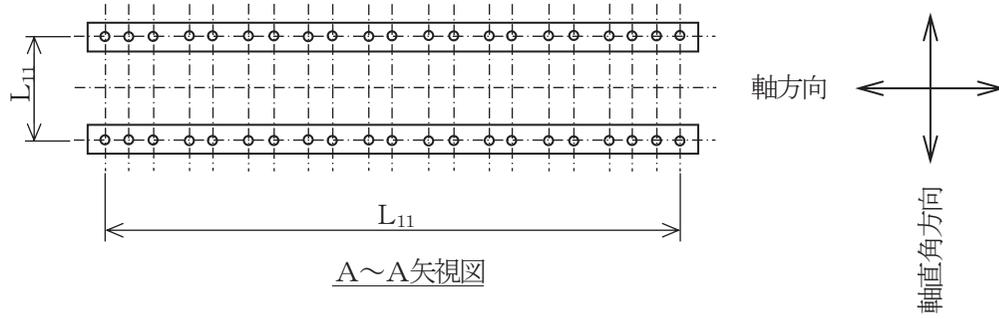
評価部位	算出応力	許容応力
隔壁強度		

許容応力以下である。

(単位：MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
軸受面圧（スラスト）		

許容面圧以下である。



## 2. 非常用ディーゼル発電機

### 2.1 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電機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。

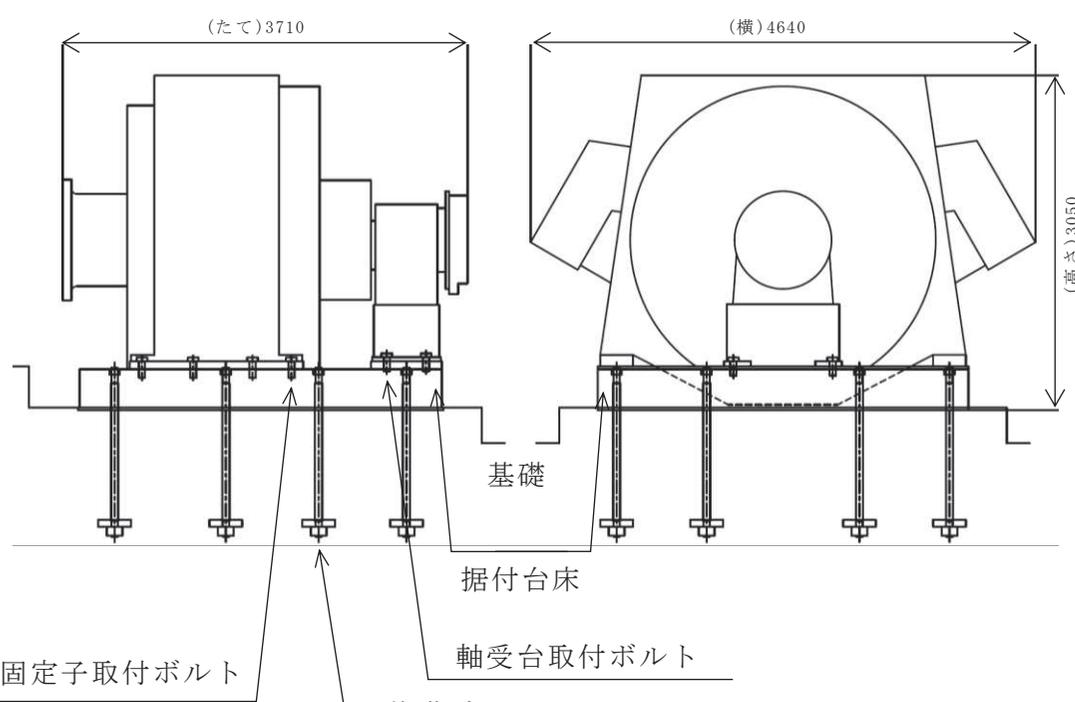
非常用ディーゼル発電機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

### 2.2 一般事項

#### 2.2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機の構造計画を表 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>発電機は軸受台取付ボルト及び固定子取付ボルトで直接据付台床に取り付ける。据付台床は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>軸受台部及び固定子部からなる横軸回転界磁三相交流発電機</p>	 <p>(たて)3710</p> <p>(横)4640</p> <p>(高さ)3050</p> <p>基礎</p> <p>据付台床</p> <p>固定子取付ボルト</p> <p>軸受台取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>(単位：mm)</p>

### 2.2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電機の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「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、「2.2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電機の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「2.5 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、非常用ディーゼル発電機の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の横形すべり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電機の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

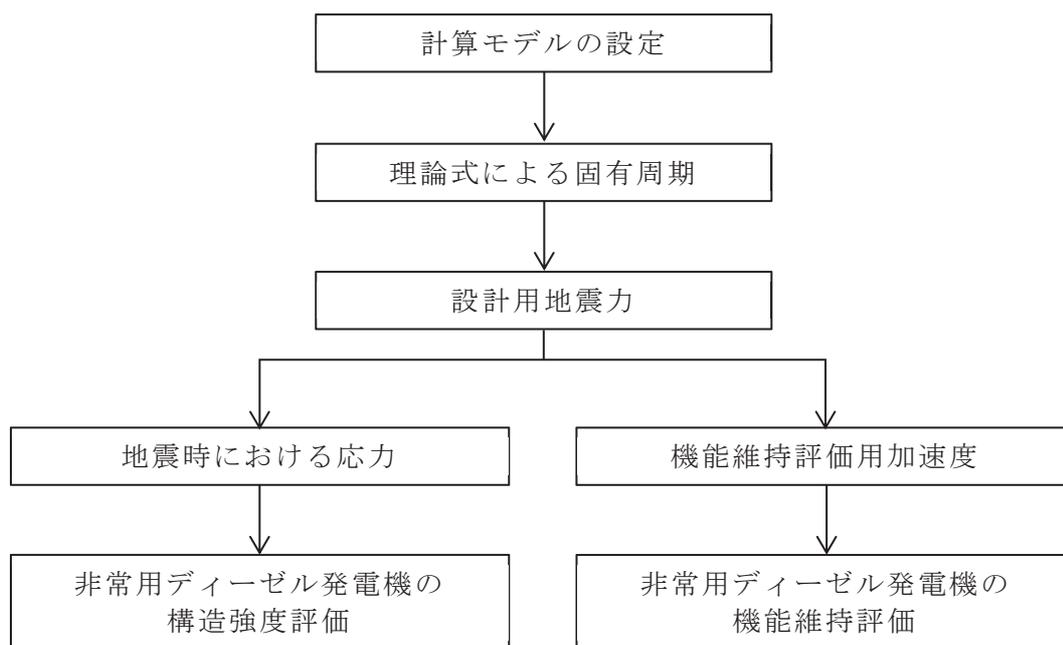


図 2-1 非常用ディーゼル発電機の耐震評価フロー

### 2.2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(以下「設計・建設規格」という。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	最小断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>bi</sub>	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	最小有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>P</sub>	機器振動による震度	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d <sub>i</sub>	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
E	縦弾性係数	MPa
F <sub>i</sub>	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F <sub>i</sub> *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F <sub>bi</sub>	ボルトに作用する引張力 (1本当たり) * <sup>1</sup>	N
f <sub>sbi</sub>	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>toi</sub>	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>t si</sub>	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
h <sub>i</sub>	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
L <sub>i</sub>	転倒支点となるボルトと評価対象となるボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup>	mm
ℓ <sub>1i</sub>	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
ℓ <sub>2i</sub>	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
M <sub>Gi</sub>	発電機回転により作用するモーメント* <sup>1</sup>	N・mm
m <sub>i</sub>	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
N	回転速度 (発電機の定格回転速度)	min <sup>-1</sup>
n <sub>i</sub>	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
n <sub>fi</sub>	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
P	発電機出力	kW
Q <sub>bi</sub>	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
S <sub>ui</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>vi</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>vi</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa

記号	記号の説明	単位
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $L_i$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $M_{Gi}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi}$  (RT),  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 固定子取付ボルト

$i = 3$ : 軸受台取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 固定子取付面

$i = 3$ : 軸受台取付面

\*3:  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

### 2.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 2.3 評価部位

非常用ディーゼル発電機の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

非常用ディーゼル発電機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 2.4 固有周期

### 2.4.1 固有周期の計算方法

非常用ディーゼル発電機の固有周期の計算方法を以下に示す。

#### (1) 計算モデル

- a. 発電機の質量は、重心に集中するものとする。
- b. 発電機は据付台床上にあり、据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されるものとする。また、軸受台及び固定子は、据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

発電機は、図 2-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

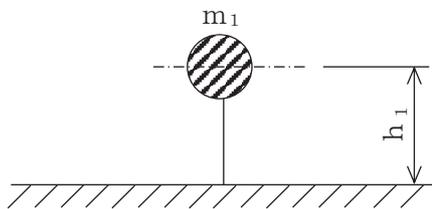


図 2-2 固有周期の計算モデル

#### (2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left( \frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots\dots\dots (2.4.1.1)$$

#### (3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \dots\dots\dots (2.4.1.2)$$

### 2.4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

### 2.4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 2-3 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-3 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

## 2.5 構造強度評価

### 2.5.1 構造強度評価方法

2.4.1 項(1)a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は発電機に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 2-3～図 2-8 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

### 2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機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 2-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

#### 2.5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-6 のとおりとする。

#### 2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電機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 2-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4 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
非常用電源設備	非常用電源装置	非常用ディーゼル発電機	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 2-5 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* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用電源装置	非常用ディーゼル発電機	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	- * <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)

注記\*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 2-6 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてⅣ <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-7 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50	339	556	—
固定子取付ボルト		周囲環境温度	50	241	391	—
軸受台取付ボルト		周囲環境温度	50	241	391	—

表 2-8 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50	339	556	—
固定子取付ボルト		周囲環境温度	50	241	391	—
軸受台取付ボルト		周囲環境温度	50	241	391	—

### 2.5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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。

評価に用いる設計用地震力を表 2-9 及び表 2-10 に示す。

表 2-9 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 15.00* (O.P. 15.125)	[Redacted]		C <sub>H</sub> =0.96	C <sub>V</sub> =0.80	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37

注記\*：基準床レベルを示す。

表 2-10 設計用地震力（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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 O.P. 15.00* (O.P. 15.125)	[Redacted]		-	-	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37

注記\*：基準床レベルを示す。

## 2.5.4 計算方法

### 2.5.4.1 応力の計算方法

#### 2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度，機器振動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

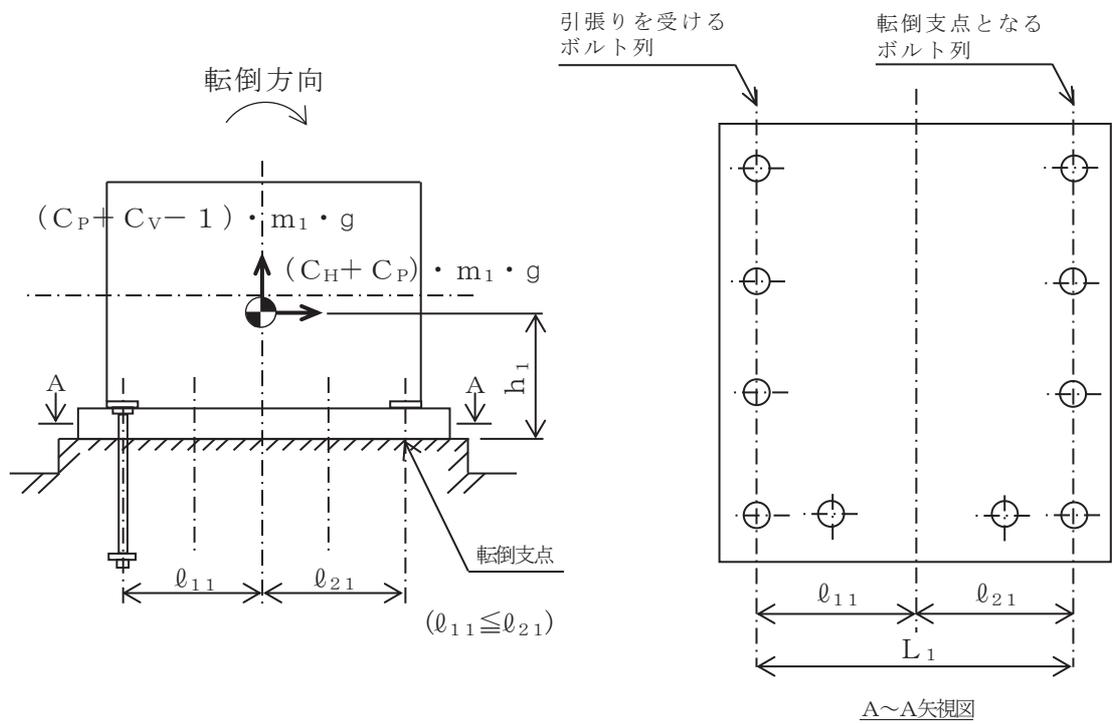


図 2-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

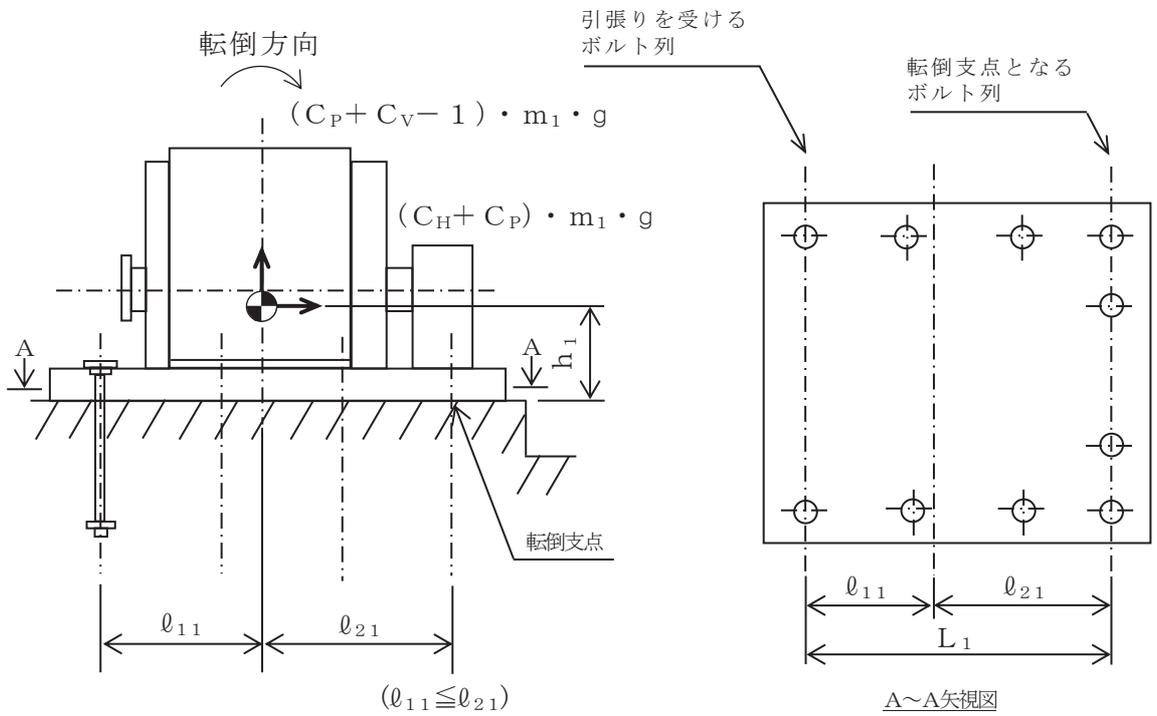


図 2-4 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図 2-3 及び図 2-4 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、図 2-4 の場合は、発電機回転によるモーメント\*1は作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 + M_{G1}^{*1}}{n_{f1} \cdot L_1} - \frac{(1 - C_V - C_P) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{21}^{*2}}{n_{f1} \cdot L_1} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

ここで、 $C_P$ は発電機の回転による機器振動を考慮して定める値である。

注記\*1：発電機回転によるモーメント $M_{G1}$ は次式により求める。

$$M_{G1} = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad (1kW = 10^6 N \cdot mm / s)$$

\*2： $(1 - C_V - C_P) \geq 0$  の場合は、 $\ell_{11}$ とする。

$(1 - C_V - C_P) < 0$  の場合は、 $\ell_{21}$ とする。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_{b1}$ は次式より求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

ただし、 $F_{b1}$ が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_P) \cdot m_1 \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

2.5.4.1.2 固定子取付ボルトの計算方法

固定子取付ボルトの応力は地震による震度，機器振動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

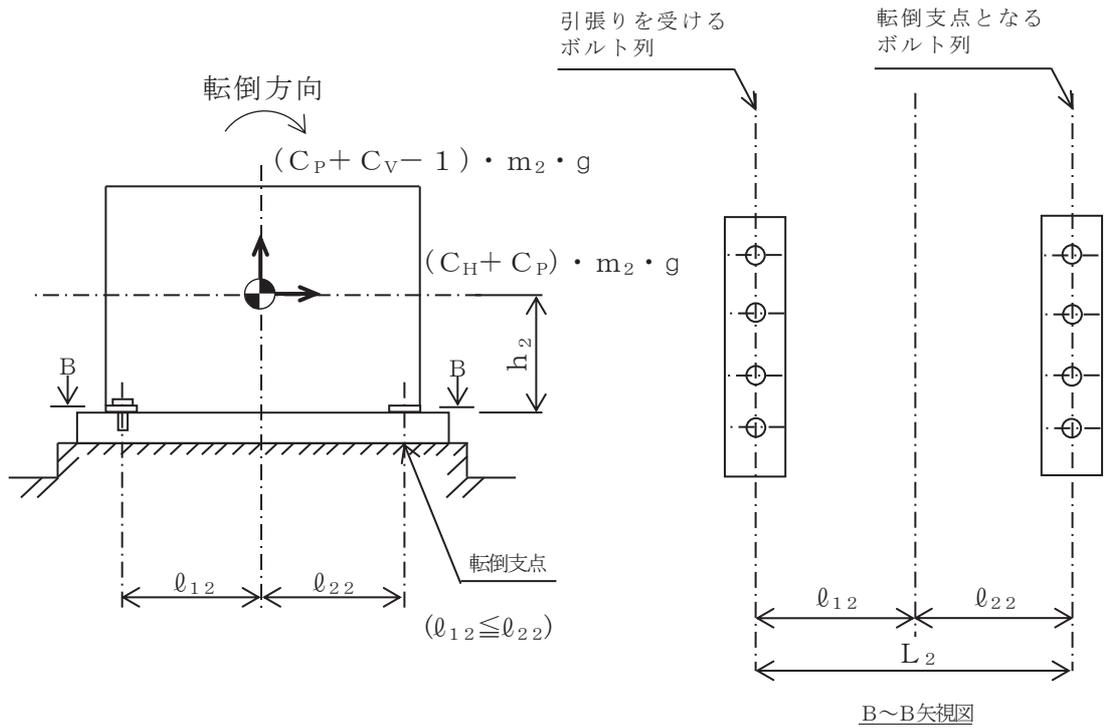


図 2-5 計算モデル（軸直角方向転倒）

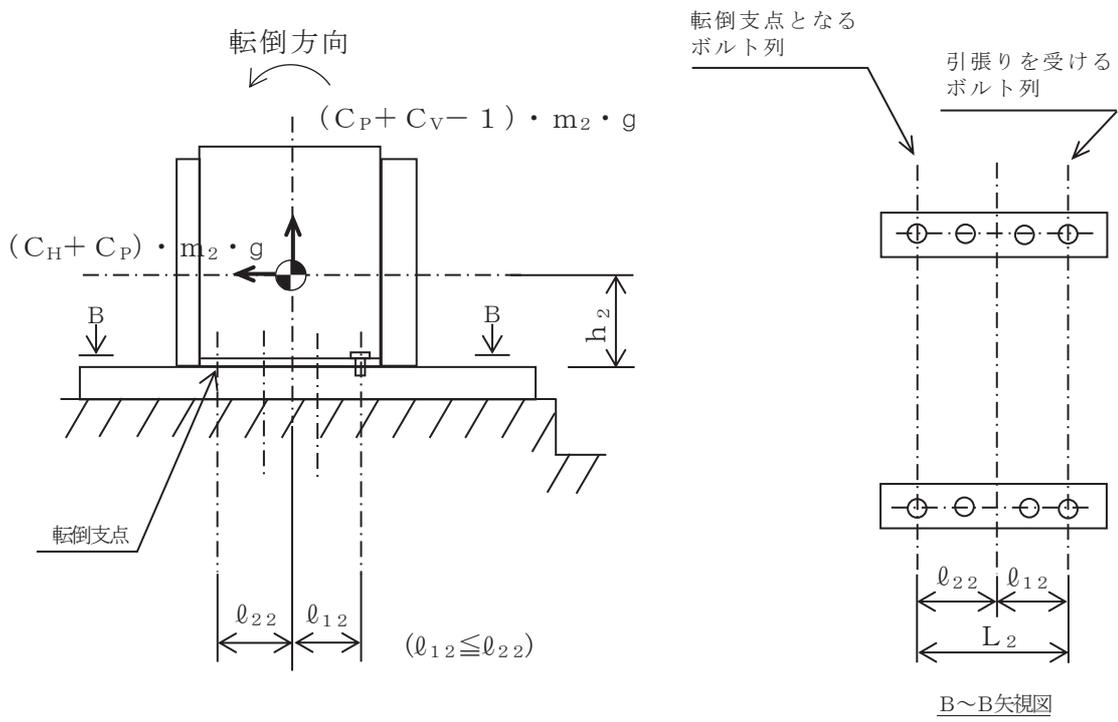


図 2-6 計算モデル (軸方向転倒)

(1) 引張応力

固定子取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 2-5 及び図 2-6 で固定子取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の固定子取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、図 2-6 の場合は、発電機回転によるモーメント\*1は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_{G2}^{*1}}{n_{f2} \cdot L_2} - \frac{(1 - C_V - C_P) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{22}^{*2}}{n_{f2} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.1)$$

ここで、 $C_P$ は発電機の回転による機器振動を考慮して定める値である。

注記\*1：発電機回転によるモーメント $M_{G2}$ は次式により求める。

$$M_{G2} = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad (1kW = 10^6 N \cdot mm / s)$$

\*2： $(1 - C_V - C_P) \geq 0$  の場合は、 $\ell_{12}$ とする。  
 $(1 - C_V - C_P) < 0$  の場合は、 $\ell_{22}$ とする。

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.2)$$

ここで、固定子取付ボルトの軸断面積 $A_{b2}$ は次式より求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.3)$$

ただし、 $F_{b2}$ が負のとき固定子取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

固定子取付ボルトに対するせん断力は固定子取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_P) \cdot m_2 \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.5)$$

2.5.4.1.3 軸受台取付ボルトの計算方法

軸受台取付ボルトの応力は地震による震度、機器振動による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

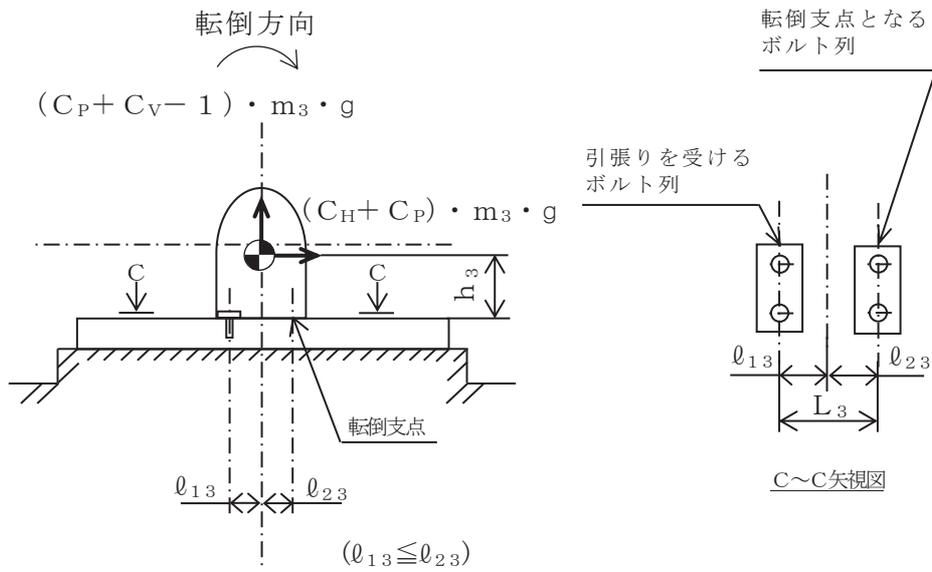


図 2-7 計算モデル（軸直角方向転倒）

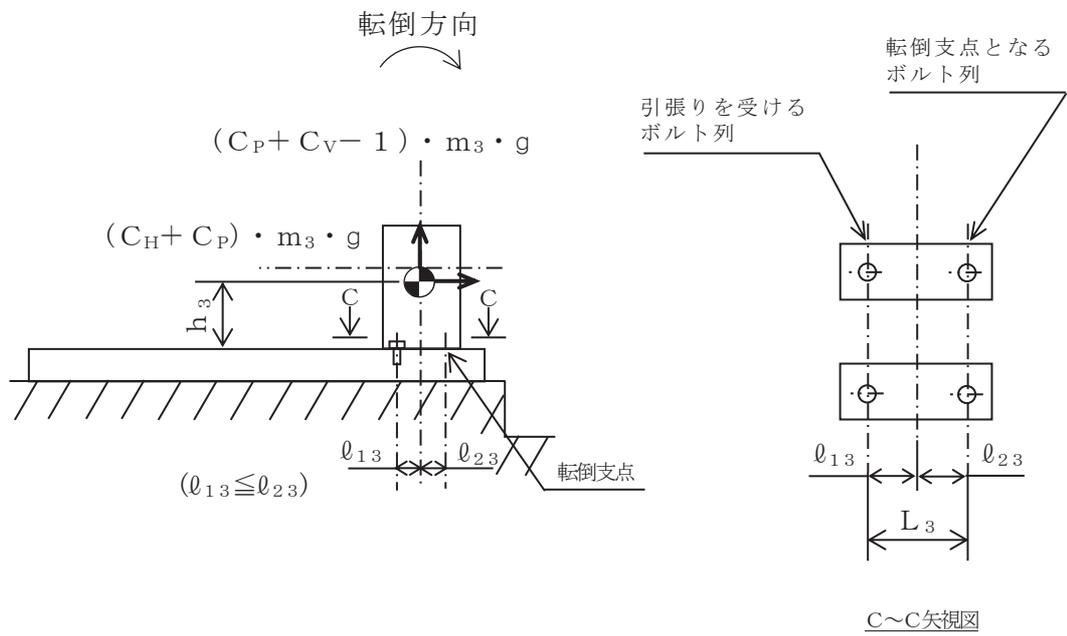


図 2-8 計算モデル (軸方向転倒)

(1) 引張応力

軸受台取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 2-7 及び図 2-8 で軸受台取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の軸受台取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_3}{n_{f3} \cdot L_3} - \frac{(1 - C_V - C_P) \cdot m_3 \cdot g \cdot \varrho_{23}^*}{n_{f3} \cdot L_3} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3.1)$$

ここで、 $C_P$ は発電機の回転による機器振動を考慮して定める値である。

注記\* :  $(1 - C_V - C_P) \geq 0$  の場合は、 $\varrho_{13}$ とする。  
 $(1 - C_V - C_P) < 0$  の場合は、 $\varrho_{23}$ とする。

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3.2)$$

ここで、軸受台取付ボルトの軸断面積 $A_{b3}$ は次式より求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3.3)$$

ただし、 $F_{b3}$ が負のとき軸受台取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

軸受台取付ボルトに対するせん断力は軸受台取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = (C_H + C_P) \cdot m_3 \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3.5)$$

## 2.5.5 計算条件

### 2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

### 2.5.5.2 固定子取付ボルトの応力計算条件

固定子取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

### 2.5.5.3 軸受台取付ボルトの応力計算条件

軸受台取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{tsi}$  以下であること。

ただし、 $f_{toi}$  は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sbi}$  以下であること。

ただし、 $f_{sbi}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{toi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 2.6 機能維持評価

### 2.6.1 基本方針

非常用ディーゼル発電機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の横形すべり軸受電動機と同等の構造であるため、横形すべり軸受電動機の機能確認済加速度を用いて機能維持評価を行う。

機能維持評価において機能維持評価用加速度が表 2-11 に示す機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「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  $S_s$  により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) を設定する。

表 2-11 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
発電機	横形すべり軸受	水平方向	2.6
		鉛直方向	1.0

## 2.6.2 動的機能維持評価

### 2.6.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の電動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト，取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子のクリアランス
- g. フレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト，取付ボルト」については、「2.5 構造強度評価」に従って評価を行った「2.7 評価結果」にて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ている。

また、「h. 軸継手」は機関軸と発電機軸をリジットに接続するタイプであり、相対変位が発生しないこと、および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、計算書の評価対象外とする。

### 2.6.2.2 評価基準値

軸（回転子）及びフレームの許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態 III<sub>A</sub>S に準拠し設定する。固定子の許容応力はクラス 2 支持構造物の許容応力状態 III<sub>A</sub>S に準拠し設定する。端子箱の許容応力はクラス 2 支持構造物の許容応力状態 IV<sub>A</sub>S に準拠し設定する。また軸受については、軸受の許容面圧荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

### 2.6.2.3 記号の説明

非常用ディーゼル発電機の動的機能維持評価に使用する記号を表 2-12 に示す。

表 2-12 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bti}$	端子箱取付ボルトの断面積 <sup>*1</sup>	$\text{mm}^2$
$A_{kp}$	固定子固定ピンの断面積	$\text{mm}^2$
$C_{EH}$	ディーゼル機関往復運動による水平方向設計震度	—
$C_{EV}$	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向設計震度	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D$	軸中心から固定子固定面までの距離	mm
$d_s$	軸の径	mm
$F_{bti}$	端子箱取付ボルトに作用する引張力 <sup>*1</sup>	N
$F_k$	固定子に生じる組合せ荷重	N
$F_{kg}$	水平方向地震力により固定子に生じる荷重	N
$F_{kt}$	発電機の回転により固定子に生じる荷重	N
$F_{kf}$	固定子取付ボルトに作用する引張力	N
$F_{bi}$	軸受に生じる荷重 <sup>*2</sup>	N
$F_s$	軸の重心位置に生じる荷重	N
$Q_{kf}$	固定子取付ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{bti}$	端子箱取付ボルトに作用するせん断力 <sup>*1</sup>	N
$Q_{bt1i}$	水平方向地震力により端子箱取付ボルトに作用するせん断力 <sup>*1</sup>	N
$Q_{bt2i}$	鉛直方向地震力により端子箱取付ボルトに作用するせん断力 <sup>*1</sup>	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$M_f$	フレーム取付脚に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_s$	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_t$	軸に作用するねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$N$	回転速度 (発電機の定格回転速度)	$\text{min}^{-1}$
$n_k$	固定子取付ボルトの本数	—
$n_{kf}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (フレーム)	—
$n_{kp}$	固定子固定ピンの本数	—
$n_{bti}$	端子箱取付ボルトの本数 <sup>*1</sup>	—
$n_{btHi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 <sup>*1</sup> (水平方向)(端子箱)	—
$n_{btVi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 <sup>*1</sup> (鉛直方向)(端子箱)	—
$P$	発電機出力	kW
$S_{bi}$	軸受の投影面積 <sup>*2</sup>	$\text{mm}^2$

記号	記号の説明	単位
$T_m$	発電機の回転による発生トルク	N・mm
$W_{bti}$	端子箱の質量* <sup>1</sup>	kg
$W_k$	固定子の質量	kg
$W_s$	軸の質量	kg
$E$	軸の縦弾性係数	MPa
$Z_s$	軸の断面係数	mm <sup>3</sup>
$I_s$	軸の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$Z_f$	フレーム取付脚の断面係数	mm <sup>3</sup>
$J$	フレーム取付脚の長さ	mm
$K$	フレーム取付脚の厚さ	mm
$L$	軸受間の距離	mm
$L_i$	軸受から軸重心までの距離* <sup>3</sup>	mm
$l_{f1}$	重心とボルト間の水平方向距離（フレーム）* <sup>4</sup>	mm
$l_{f2}$	重心とボルト間の水平方向距離（フレーム）* <sup>4</sup>	mm
$l_{ft}$	フレーム取付脚棚板から固定子取付ボルトまでの距離	mm
$h_k$	固定子取付面から重心までの距離	mm
$h_i$	端子箱取付面から重心までの距離* <sup>1</sup>	mm
$l_{bt1i}$	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離(端子箱)* <sup>1</sup>	mm
$l_{bt2i}$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離(端子箱)* <sup>1</sup>	mm
$l_{bt3i}$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離(端子箱)* <sup>1</sup>	mm
$\sigma_{bti}$	端子箱取付ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\sigma_{bi}$	軸受に生じる面圧* <sup>2</sup>	MPa
$\sigma_{fm}$	フレーム取付脚に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_f$	フレーム取付脚に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{sm}$	軸に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_s$	軸に生じる曲げ応力	MPa
$\tau_{bti}$	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_f$	フレーム取付脚に生じるせん断応力	MPa
$\tau_k$	固定子に生じるせん断応力	MPa
$\tau_s$	発電機の回転によるねじり応力	MPa
$t$	軸の最大変位量	mm

注記\*1:  $A_{bti}$ ,  $F_{bti}$ ,  $Q_{bti}$ ,  $Q_{bt1i}$ ,  $Q_{bt2i}$ ,  $n_{bti}$ ,  $n_{btHi}$ ,  $n_{btVi}$ ,  $W_{bti}$ ,  
 $h_i$ ,  $l_{bt1i}$ ,  $l_{bt2i}$ ,  $l_{bt3i}$ ,  $\sigma_{bti}$ 及び $\tau_{bti}$ の添字  $i$  の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$ : 界磁用端子箱取付ボルト

$i = 2$ : 線路用端子箱取付ボルト

$i = 3$ : 中性点用端子箱取付ボルト

$i = 4$ : 速度検出器用端子箱取付ボルト

\*2:  $F_{bi}$ ,  $S_{bi}$ 及び $\sigma_{bi}$ の添字  $i$  の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$ : 直結側軸受

$i = 2$ : 反直結側軸受

\*3:  $L_i$ の添字  $i$  の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$ : 直結側軸受から軸重心までの距離

$i = 2$ : 反直結側軸受から軸重心までの距離

\*4:  $l_{f1} \leq l_{f2}$

2.6.2.4 評価方法

(1) 固定子

発電機の回転によるトルクは次式で求める。

$$T_m = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.1)$$

発電機の回転による荷重は次式で求める。

$$F_{kt} = \frac{T_m}{D} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.2)$$

水平方向地震力により発生する荷重は次式で求める。

$$F_{kg} = W_k \cdot g \cdot (C_H + C_{EH}) \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$F_k = \sqrt{F_{kt}^2 + F_{kg}^2} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.4)$$

$$\tau_k = \frac{F_k}{n_{kp} \cdot A_{kp}} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

軸の重心位置に生じる荷重を次式で求める。

$$F_s = W_s \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_{EH})^2 + (1 + C_V + C_{EV})^2} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.6)$$

軸に生じる最大曲げモーメントは次式で求める。

$$M_s = \frac{F_s \cdot L_1 \cdot L_2}{L} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.7)$$

軸の断面係数を次式で求める。

$$Z_s = \frac{\pi \cdot d_s^3}{32} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.8)$$

軸に生じる曲げ応力を次式で求める。

$$\sigma_s = \frac{M_s}{Z_s} \dots\dots\dots (2.6.2.4.9)$$

軸の回転によるねじりモーメントは次式で求める。

$$M_t = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (2.6.2.4.10)$$

軸に生じるねじり応力を次式で求める。

$$\tau_s = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_s^3} \dots\dots\dots (2.6.2.4.11)$$

軸に生じる組合せ応力を次式で求める。

$$\sigma_{sm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_s + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (2.6.2.4.12)$$

(3) 端子箱

端子箱取付ボルトに生じる引張力は、次式のうち評価上より厳しい条件となる値を採用する。

$$F_{bti} = \frac{W_{bti} \cdot (1 + C_V + C_{EV}) \cdot h_i \cdot g}{n_{btVi} \cdot \ell_{bt2i}} + \frac{W_{bti} \cdot (C_H + C_{EH}) \cdot h_i \cdot g}{n_{btHi} \cdot \ell_{bt3i}} \dots\dots\dots (2.6.2.4.13)$$

$$F_{bti} = \frac{W_{bti} \cdot (1 + C_V + C_{EV}) \cdot h_i \cdot g}{n_{btVi} \cdot \ell_{bt2i}} + \frac{W_{bti} \cdot (C_H + C_{EH}) \cdot \ell_{bt1i} \cdot g}{n_{btVi} \cdot \ell_{bt2i}} \dots\dots\dots (2.6.2.4.14)$$

端子箱取付ボルトに生じる引張応力を次式で求める。

$$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}} \dots\dots\dots (2.6.2.4.15)$$

端子箱取付ボルトに生じるせん断力を次式で求める。

$$Q_{bt1i} = W_{bti} \cdot (C_H + C_{EH}) \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.16)$$

$$Q_{bt2i} = W_{bti} \cdot (1 + C_V + C_{EV}) \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.17)$$

$$Q_{bti} = \sqrt{Q_{bt1i}^2 + Q_{bt2i}^2} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.18)$$

端子箱取付ボルトに生じるせん断応力を次式で求める。

$$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.19)$$

(4) 軸受

軸受に生じる荷重を次式で求める。

$$F_{bi} = F_s \cdot \frac{L - L_i}{L} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.20)$$

軸受に生じる面圧を次式で求める。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{S_{bi}} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.21)$$

(5) 固定子と回転子のクリアランス

軸の断面二次モーメントを次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.22)$$

軸の最大変位量を次式で求める。

$$t = \frac{F_s \cdot L_2 \cdot \{L^2 - L_2^2\}^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I_s \cdot L} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.4.23)$$

(6) フレーム

固定子取付ボルトに生じる引張力を次式で求める。

$$F_{kf} = \frac{W_k \cdot g \cdot (C_H + C_{EH}) \cdot h_k - W_k \cdot g \cdot (1 - C_{EV} - C_V) \cdot \ell_{f2}}{n_{kf} \cdot (\ell_{f1} + \ell_{f2})} \dots \dots \dots (2.6.2.4.24)$$

フレーム取付脚に生じる曲げモーメントを次式で求める。

$$M_f = F_{kf} \cdot \ell_{ft} \dots \dots \dots (2.6.2.4.25)$$

フレーム取付脚の断面係数を次式で求める。

$$Z_f = \frac{J \cdot K^2}{6} \dots \dots \dots (2.6.2.4.26)$$

フレーム取付脚に生じる曲げ応力を次式で求める。

$$\sigma_f = \frac{M_f}{Z_f} \dots \dots \dots (2.6.2.4.27)$$

固定子取付ボルトに生じるせん断力を次式で求める。

$$Q_{kf} = W_k \cdot \sqrt{(C_H + C_{EH})^2 + (1 + C_{EV} + C_V)^2} \cdot g \dots \dots \dots (2.6.2.4.28)$$

フレーム取付脚に生じるせん断応力を次式で求める。

$$\tau_f = \frac{Q_{kf}}{n_k \cdot J \cdot K} \dots \dots \dots (2.6.2.4.29)$$

フレーム取付脚に生じる組合せ応力を次式で求める。

$$\sigma_{fm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_f + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_f^2 + 4 \cdot \tau_f^2} \dots \dots \dots (2.6.2.4.30)$$

## 2.7 評価結果

### 2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機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することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 2.7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機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することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
  - 1.1. 構造強度評価
    - 1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		機器振動に よる震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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			
非常用ディーゼル発電機	S	原子力建屋 O.P. 15.00* (O.P. 15.125)			C <sub>H</sub> =0.96	C <sub>V</sub> =0.80	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37		—	50

注記\*：基準床レベルを示す。

1.1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	l <sub>1i</sub> * (mm)		l <sub>2i</sub> * (mm)		n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *	
			弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>		弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)									
固定子取付 ボルト (i=2)									
軸受台取付 ボルト (i=3)									

注記\*：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部 材	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>G i</sub> (N・mm)	
				弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)		339*1	556*1	339	389	軸直角	軸		—
固定子取付ボルト (i=2)		241*1	391*1	241	273	軸	軸	—	—
軸受台取付ボルト (i=3)		241*1	391*1	241	273	軸	軸	—	—

発電機出力 P (kW)	回転速度 N (min <sup>-1</sup> )	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	有効せん断断面積 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
6100	500					

注記\*1：周囲環境温度で算出。

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)				
固定子取付ボルト (i=2)				
軸受台取付ボルト (i=3)				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.1.4 結 論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=16$	$f_{ts1}=254^*$	$\sigma_{b1}=90$	$f_{ts1}=291^*$
		せん断	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=195$	$\tau_{b1}=30$	$f_{sb1}=224$
固定子取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=22$	$f_{ts2}=180^*$	$\sigma_{b2}=57$	$f_{ts2}=204^*$
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=139$	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=157$
軸受台取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=63$	$f_{ts3}=180^*$	$\sigma_{b3}=136$	$f_{ts3}=204^*$
		せん断	$\tau_{b3}=12$	$f_{sb3}=139$	$\tau_{b3}=23$	$f_{sb3}=157$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル 発電機	S	原子力建屋 0.P. 15.00* (0.P. 15.125)			—	—	C <sub>H</sub> =1.67	C <sub>V</sub> =1.17	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	—	50

注記\* : 基準床レベルを示す。

1.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min <sup>-1</sup> )	T <sub>m</sub> (N·mm)	D (mm)	W <sub>k</sub> (kg)	n <sub>kP</sub>	A <sub>kP</sub> (mm <sup>2</sup> )	P (kW)
固定子	500						6100

(2) 軸

部 材	M <sub>s</sub> (N·mm)	M <sub>t</sub> (N·mm)	Z <sub>s</sub> (mm <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (kg)	N (min <sup>-1</sup> )	d <sub>s</sub> (mm)	P (kW)	L (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	E (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )
軸												

(3) 端子箱

部 材	$W_{bt1}$ (kg)	$n_{bt1}$	$n_{btH1}$	$n_{btV1}$	$\varnothing_{bt11}$ (mm)	$\varnothing_{bt21}$ (mm)	$\varnothing_{bt31}$ (mm)	$A_{bt1}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_1$ (mm)
界磁用端子箱	[Redacted]								

部 材	$W_{bt2}$ (kg)	$n_{bt2}$	$n_{btH2}$	$n_{btV2}$	$\varnothing_{bt12}$ (mm)	$\varnothing_{bt22}$ (mm)	$\varnothing_{bt32}$ (mm)	$A_{bt2}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_2$ (mm)
線路用端子箱	[Redacted]								

部 材	$W_{bt3}$ (kg)	$n_{bt3}$	$n_{btH3}$	$n_{btV3}$	$\varnothing_{bt13}$ (mm)	$\varnothing_{bt23}$ (mm)	$\varnothing_{bt33}$ (mm)	$A_{bt3}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_3$ (mm)
中性点用端子箱	[Redacted]								

部 材	$W_{bt4}$ (kg)	$n_{bt4}$	$n_{btH4}$	$n_{btV4}$	$\varnothing_{bt14}$ (mm)	$\varnothing_{bt24}$ (mm)	$\varnothing_{bt34}$ (mm)	$A_{bt4}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_4$ (mm)
速度検出器用端子箱	[Redacted]								

(4) 軸受

部 材	$S_{b2}$ (mm <sup>2</sup> )
軸受	[Redacted]

(5) フレーム

部 材	$M_f$ (N·mm)	$Z_f$ (mm <sup>3</sup> )	$W_k$ (kg)	$h_k$ (mm)	$n_k$	$n_{kf}$	$\varnothing_{f1}$ (mm)	$\varnothing_{f2}$ (mm)	$\varnothing_{ft}$ (mm)	J (mm)	K (mm)
フレーム	[Redacted]										

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発電機	水平方向	1.67	2.6
	鉛直方向	1.17	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

発電機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 非常用ディーゼル発電機の動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及び取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	14	172

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	155	316

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
界磁用端子箱	引張り	2	189
	せん断	1	146
線路用端子箱	引張り	18	189
	せん断	3	146
中性点用端子箱	引張り	18	189
	せん断	3	146
速度検出器用端子箱	引張り	2	189
	せん断	1	146

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位:MPa)

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受 (反直結側)	3	5

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.5 固定子と回転子のクリアランスの評価

(単位:mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子のクリアランス	5.11	<input type="text"/>

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.2.2.6 フレームの評価

(単位:MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
フレーム	90	316

すべて許容応力以下である。

【非常用ディーゼル発電機の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		機器振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
非常用ディーゼル発電機	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子力建屋 O.P. 15.00* (O.P. 15.125)			—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37		—	50

注記\* : 基準床レベルを示す。

2.1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> * (mm)		ℓ <sub>2i</sub> * (mm)		n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *	
			弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)									
固定子取付ボルト (i=2)									
軸受台取付ボルト (i=3)									

注記\* : 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部 材	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>G i</sub> (N・mm)	
				弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用 地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)		339*1	556*1	—	389	—	軸	—	—
固定子取付ボルト (i=2)		241*1	391*1	—	273	—	軸	—	—
軸受台取付ボルト (i=3)		241*1	391*1	—	273	—	軸	—	—

発電機出力 P (kW)	回転速度 N (min <sup>-1</sup> )	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	有効せん断断面積 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
6100	500					

注記\*1：周囲環境温度で算出。

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)				
固定子取付ボルト (i=2)				
軸受台取付ボルト (i=3)				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=90$	$f_{ts1}=291^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=30$	$f_{sb1}=224$
固定子取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=57$	$f_{ts2}=204^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=157$
軸受台取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=136$	$f_{ts3}=204^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=23$	$f_{sb3}=157$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最 高 使用温度 (°C)	周 囲 環境温度 (°C)
			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				
非常用ディーゼル発電機	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子力建屋 O.P. 15.00* (O.P. 15.125)			—	—	C <sub>H</sub> =1.67	C <sub>V</sub> =1.17	C <sub>EH</sub> =0.06	C <sub>EV</sub> =0.07	—	50

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min <sup>-1</sup> )	T <sub>m</sub> (N·mm)	D (mm)	W <sub>k</sub> (kg)	n <sub>kp</sub>	A <sub>kp</sub> (mm <sup>2</sup> )	P (kW)
固定子	500						6100

(2) 軸

部 材	M <sub>s</sub> (N·mm)	M <sub>t</sub> (N·mm)	Z <sub>s</sub> (mm <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (kg)	N (min <sup>-1</sup> )	d <sub>s</sub> (mm)	P (kW)	L (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	E (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )
軸					500		6100					

(3) 端子箱

部 材	$W_{bt1}$ (kg)	$n_{bt1}$	$n_{btH1}$	$n_{btV1}$	$\varnothing_{bt11}$ (mm)	$\varnothing_{bt21}$ (mm)	$\varnothing_{bt31}$ (mm)	$A_{bt1}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_1$ (mm)
界磁用端子箱									

部 材	$W_{bt2}$ (kg)	$n_{bt2}$	$n_{btH2}$	$n_{btV2}$	$\varnothing_{bt12}$ (mm)	$\varnothing_{bt22}$ (mm)	$\varnothing_{bt32}$ (mm)	$A_{bt2}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_2$ (mm)
線路用端子箱									

部 材	$W_{bt3}$ (kg)	$n_{bt3}$	$n_{btH3}$	$n_{btV3}$	$\varnothing_{bt13}$ (mm)	$\varnothing_{bt23}$ (mm)	$\varnothing_{bt33}$ (mm)	$A_{bt3}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_3$ (mm)
中性点用端子箱									

部 材	$W_{bt4}$ (kg)	$n_{bt4}$	$n_{btH4}$	$n_{btV4}$	$\varnothing_{bt14}$ (mm)	$\varnothing_{bt24}$ (mm)	$\varnothing_{bt34}$ (mm)	$A_{bt4}$ (mm <sup>2</sup> )	$h_4$ (mm)
速度検出器用端子箱									

(4) 軸受

部 材	$S_{b2}$ (mm <sup>2</sup> )
軸受	

(5) フレーム

部 材	$M_f$ (N·mm)	$Z_f$ (mm <sup>3</sup> )	$W_k$ (kg)	$h_k$ (mm)	$n_k$	$n_{kf}$	$\varnothing_{f1}$ (mm)	$\varnothing_{f2}$ (mm)	$\varnothing_{ft}$ (mm)	J (mm)	K (mm)
フレーム											

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発電機	水平方向	1.67	2.6
	鉛直方向	1.17	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

発電機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

2.2.3.2 発電機の動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及び取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	14	172

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	155	316

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
界磁用端子箱	引張り	2	189
	せん断	1	146
線路用端子箱	引張り	18	189
	せん断	3	146
中性点用端子箱	引張り	18	189
	せん断	3	146
速度検出器用端子箱	引張り	2	189
	せん断	1	146

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位:MPa)

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受 (反直結側)	3	5

すべて許容面圧以下である

2.2.3.2.2.5 固定子と回転子のクリアランスの評価

(単位:mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子のクリアランス	5.11	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>

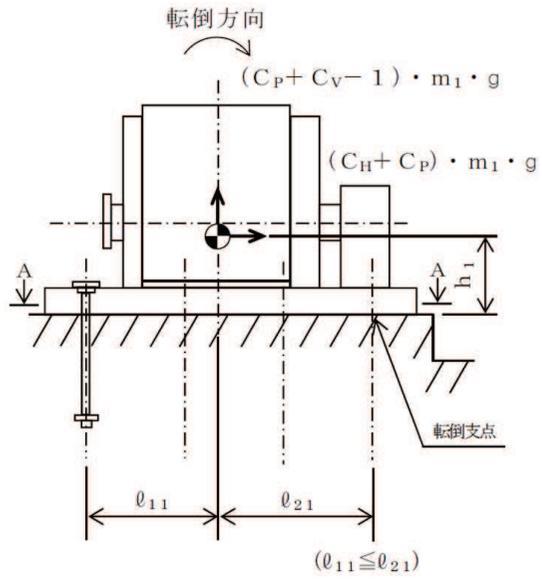
すべて許容変位量以下である。

2.2.3.2.2.6 フレームの評価

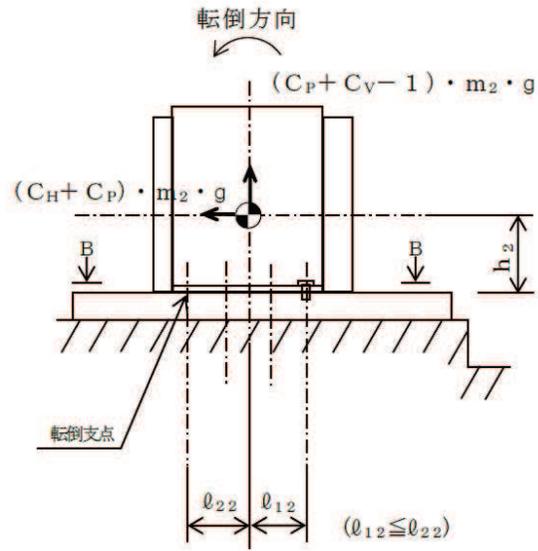
(単位:MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
フレーム	90	316

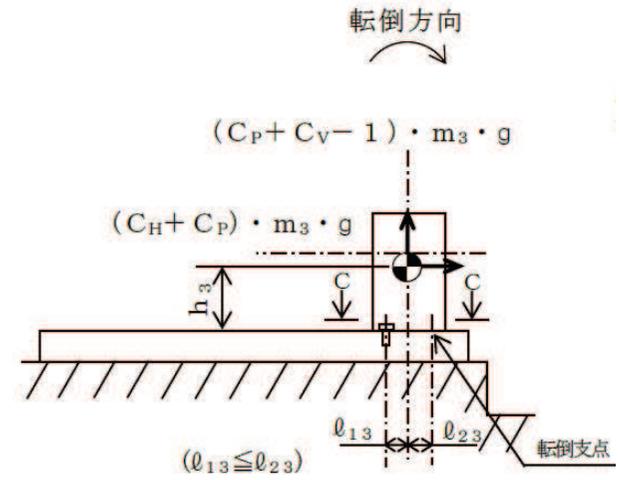
すべて許容応力以下である。



基礎ボルト



固定子取付ボルト



軸受台取付ボルト

VI-2-10-1-2-1-2 非常用ディーゼル発電設備  
空気だめ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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備の空気だめ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。

空気だめは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対象設備としての構造強度評価を示す。

なお、空気だめは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

空気だめの構造計画を表 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>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡 板を有するスカート 支持たて置円筒形容 器)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【空気だめの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位 : s)

水平方向	□
鉛直方向	□

### 4. 構造強度評価

#### 4.1 構造強度評価方法

空気だめの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

#### 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

空気だめ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。

##### 4.2.2 許容応力

空気だめの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

空気だめ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 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

#### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	空気だめ	S	クラス 3 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：クラス 3 容器の支持構造物を含む。

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* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	空気だめ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器* <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S として Ⅳ <sub>A</sub> S の許容限 界を用いる。)

注記\*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup>			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と 0.6・S <sub>u</sub> 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 合金については上記の値 と 1.2・Sのうち大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は基準地震動 S <sub>s</sub> のみによる疲 勞解析を行い、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 <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
IV <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の 1.5 倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S としてIV <sub>A</sub> S の許 容限界を用いる。)			基準地震動 S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記\*1：座屈による評価は、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2, *3 (ボルト等以外)	許容限界 *2, *3 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張り	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

注記 \*1 : 座屈による評価は, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*3 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	90	—	241	438	—
スカート	SGV480	周囲環境温度	50	—	259	471	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

7

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	90	—	241	438	—
スカート	SGV480	周囲環境温度	50	—	259	471	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

空気だめ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次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動  $S_d$  による動的震度及び静的震度は基準地震動  $S_s$  を下回っており、基準地震動  $S_s$  による発生値が、弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度による発生値の算出を省略した。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

空気だめ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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
空気だめ	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	3.24	90	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：ⅢSについては、基準地震動 S s で評価する。

1.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	D <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	G (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	1200	22.0	1245	22.0	199000*1	201000*2	76500*1	77300*2

ℓ (mm)	ℓ <sub>s</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>3</sub> (mm)	s	n	D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>bo</sub> (mm)
1132	520	102	102	102	15	6	1420	1500

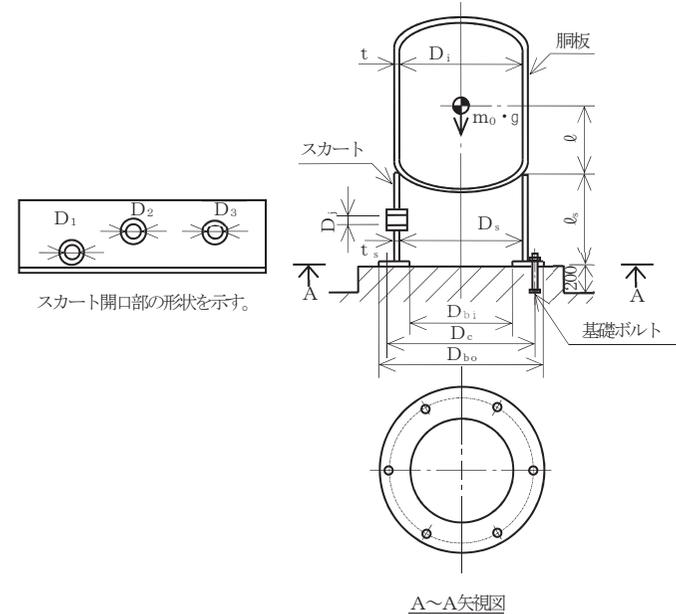
D <sub>bi</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	M <sub>s</sub> (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
1050	24 (M24)	452.4	306	—	9.255×10 <sup>7</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (スカート) (MPa)	S <sub>u</sub> (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
241*1	438*1	—	259*2	471*2	259	311

S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2 (16mm<径≤40mm)	231	276

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = -^*$	$\sigma_{x1} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 1} = 91$	$\sigma_{x1} = 46$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2} = -^*$	—	—	$\sigma_{x2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} = -^*$	$\sigma_{x5} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	$\sigma_{x5} = 1$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3} = -^*$	—	—	$\sigma_{x3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6} = -^*$	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = -^*$	$\tau = -^*$	—	$\sigma_{x4} = 3$	$\tau = 2$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} = -^*$	$\sigma_{xt} = -^*$	—	$\sigma_{xt} = 48$	—
	圧縮側	$\sigma_{\phi} = -^*$	$\sigma_{xc} = -^*$	—	$\sigma_{xc} = -43$	—
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0t} = -^*$			$\sigma_{0t} = 91$	
	圧縮	—			—	

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} = -^*$	$\sigma_{x5} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	$\sigma_{x5} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6} = -^*$	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = -^*$	$\tau = -^*$	—	$\sigma_{x4} = 3$	$\tau = 2$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} = -^*$	$\sigma_{2xt} = -^*$	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2xt} = 3$
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} = -^*$	$\sigma_{2xc} = -^*$	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2xc} = 3$
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} = -^*$			$\sigma_{2t} = 7$	
	圧縮	$\sigma_{2c} = -^*$			$\sigma_{2c} = 7$	

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} = -^*$	$\sigma_s = -^*$	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_s = 6$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3} = -^*$		$\sigma_{s3} = 1$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = -^*$		$\sigma_{s2} = 4$
	せん断		$\tau_s = -^*$		$\tau_s = 2$

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
引張応力	$\sigma_b = -^*$	$\sigma_b = 74$
せん断応力	$\tau_b = -^*$	$\tau_b = 21$

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = \square$
鉛直方向	$T_V = \square$

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S d 又は静的震度		基準地震動S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV480	一次一般膜	$\sigma_0 = 91^{*2}$	$S_a = 241^{*2}$	$\sigma_0 = 91$	$S_a = 262$
		一次+二次	$\sigma_2 = 7^{*2}$	$S_a = 482^{*2}$	$\sigma_2 = 7$	$S_a = 482$
スカート	SGV480	組合せ	$\sigma_s = 6^{*2}$	$f_t = 259^{*2}$	$\sigma_s = 6$	$f_t = 311$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.02 <sup>*2</sup> (無次元)		0.02 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 74^{*2}$	$f_{ts} = 173^{*1}$	$\sigma_b = 74$	$f_{ts} = 207^{*1}$
		せん断	$\tau_b = 21^{*2}$	$f_{sb} = 133^{*2}$	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 159$

注記 \*1:  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

\*2: 基準地震動S sによる算出値

すべて許容応力以下である。

【空気だめの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
空気だめ	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 15.00*			—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	3.24	90	50

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	D <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	G (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)
		1200	22.0	1245	22.0	199000*1	201000*2	76500*1	77300*2

ℓ (mm)	ℓ <sub>s</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>3</sub> (mm)	s	n	D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>bo</sub> (mm)
1132	520	102	102	102	15	6	1420	1500

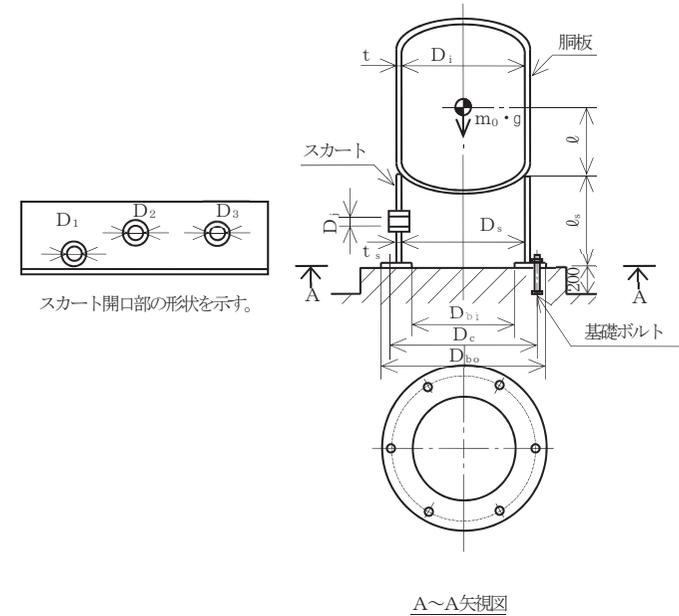
D <sub>bi</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	M <sub>s</sub> (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
1050	24 (M24)	452.4	306	—	9.255×10 <sup>7</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (スカート) (MPa)	S <sub>u</sub> (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
241*1	438*1	—	259*2	471*2	—	311

S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2 (16mm<径≤40mm)	—	276

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度			基準地震動S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=91$	$\sigma_{x1}=46$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	$\sigma_{x5}=1$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=3$	$\tau=2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=91$	$\sigma_{xt}=48$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-91$	$\sigma_{xc}=-43$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{0t}=91$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度			基準地震動S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	$\sigma_{x5}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=3$	$\tau=2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=3$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=3$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2t}=7$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c}=7$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度		基準地震動S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_s=6$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3}=1$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2}=4$	
	せん断		$\tau_s=2$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度	基準地震動S s
引張応力	—	$\sigma_b=74$
せん断応力	—	$\tau_b=21$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = \square$
鉛直方向	$T_V = \square$

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV480	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 91$	$S_a = 262$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 7$	$S_a = 482$
スカート	SGV480	組合せ	—	—	$\sigma_s = 6$	$f_t = 311$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.02 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 74$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 159$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

VI-2-10-1-2-1-3 非常用ディーゼル発電設備  
燃料デイトン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 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備の燃料デイトン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。

燃料デイトンクは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対象設備としての構造強度評価を示す。

なお、燃料デイトンクは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

燃料デイトンクの構造計画を表 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>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡 板を有するスカート 支持たて置円筒形容 器)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位 : s)

水平方向	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>

### 4. 構造強度評価

#### 4.1 構造強度評価方法

燃料デイトンクの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

#### 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

燃料デイトンク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。

##### 4.2.2 許容応力

燃料デイトンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料デイトンク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 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

#### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	燃料デイトンク	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	燃料デイトンク	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	— * <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S としてⅣ <sub>A</sub> S の許容限界を用 いる。)

注記\*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*2：重大事故等クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と 0.6・S <sub>u</sub> 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 合金については上記の値 と 1.2・Sのうち大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は基準地震動 S <sub>s</sub> のみによる疲 勞解析を行い、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 <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
IV <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の 1.5 倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> S としてIV <sub>A</sub> S の許 容限界を用いる。)			基準地震動 S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記\*1：座屈による評価は、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)	許容限界*2, *3 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張り	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

注記\*1：座屈による評価は，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*3：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
胴板	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
スカート	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
胴板	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
スカート	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料デイトンク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次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動  $S_d$  による動的震度及び静的震度は基準地震動  $S_s$  を下回っており、基準地震動  $S_s$  による発生値が、弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度による発生値の算出を省略した。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料デイトンク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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
燃料デイトンク	S	原子炉建屋 O.P. 24.80 (O.P. 33.20 <sup>*1</sup> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	静水頭	—	50	0.86

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：Ⅲ<sub>s</sub>Sについては、基準地震動 S<sub>s</sub> で評価する。

1.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	D <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	G (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2800	9.0	2800	9.0	201000 <sup>*1</sup>	201000 <sup>*1</sup>	77300 <sup>*1</sup>	77300 <sup>*1</sup>

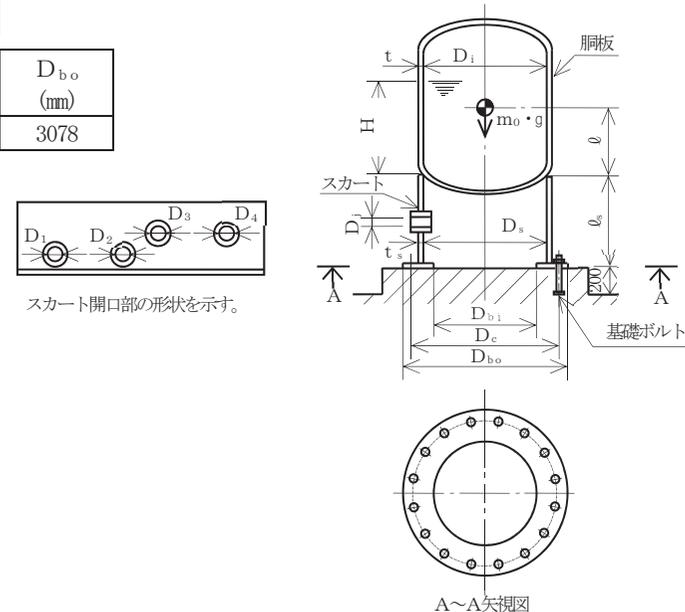
∅	∅ <sub>s</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	H	s	n	D <sub>c</sub>	D <sub>bo</sub>
1400	929	102	102	102	102	2868	15	16	2950	3078

D <sub>bi</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	M <sub>s</sub> (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
2738	42 (M42)	1385	408	—	1.362×10 <sup>9</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (スカート) (MPa)	S <sub>u</sub> (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
241 <sup>*1</sup> (厚さ ≤ 16mm)	394 <sup>*1</sup> (厚さ ≤ 16mm)	—	241 <sup>*1</sup> (厚さ ≤ 16mm)	394 <sup>*1</sup> (厚さ ≤ 16mm)	241	276

S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
211 <sup>*1</sup> (40mm < 径 ≤ 100mm)	394 <sup>*1</sup> (40mm < 径 ≤ 100mm)	211	253

注記\*1：周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = -^*$	$\sigma_{x1} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 1} = 4$	$\sigma_{x1} = 0$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2} = -^*$	—	—	$\sigma_{x2} = 3$	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} = -^*$	$\sigma_{x5} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x5} = 5$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3} = -^*$	—	—	$\sigma_{x3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6} = -^*$	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = -^*$	$\tau = -^*$	—	$\sigma_{x4} = 15$	$\tau = 15$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} = -^*$	$\sigma_{xt} = -^*$	—	$\sigma_{xt} = 22$	—
	圧縮側	$\sigma_{\phi} = -^*$	$\sigma_{xc} = -^*$	—	$\sigma_{xc} = 16$	—
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0t} = -^*$			$\sigma_{0t} = 32$	
	圧縮	$\sigma_{0c} = -^*$			$\sigma_{0c} = 23$	

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} = -^*$	$\sigma_{x5} = -^*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x5} = 5$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6} = -^*$	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = -^*$	$\tau = -^*$	—	$\sigma_{x4} = 15$	$\tau = 15$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} = -^*$	$\sigma_{2xt} = -^*$	—	$\sigma_{2xt} = 19$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} = -^*$	$\sigma_{2xc} = -^*$	—	$\sigma_{2xc} = 16$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} = -^*$			$\sigma_{2t} = 58$	
	圧縮	$\sigma_{2c} = -^*$			$\sigma_{2c} = 46$	

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} = -^*$	$\sigma_s = -^*$	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_s = 44$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3} = -^*$		$\sigma_{s3} = 6$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = -^*$		$\sigma_{s2} = 27$
	せん断		$\tau_s = -^*$		$\tau_s = 16$

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
引張応力	$\sigma_b = -^*$	$\sigma_b = 75$
せん断応力	$\tau_b = -^*$	$\tau_b = 27$

注記\*：Ⅲ<sub>A</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = \square$
鉛直方向	$T_V = \square$

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S d 又は静的震度		基準地震動S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	一次一般膜	$\sigma_0 = 32^{*2}$	$S_a = 236^{*2}$	$\sigma_0 = 32$	$S_a = 236$
		一次+二次	$\sigma_2 = 58^{*2}$	$S_a = 482^{*2}$	$\sigma_2 = 58$	$S_a = 482$
スカート	SS400	組合せ	$\sigma_s = 44^{*2}$	$f_t = 241^{*2}$	$\sigma_s = 44$	$f_t = 276$
		圧縮と曲げ の組合せ	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.20 <sup>*2</sup> (無次元)		0.20 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 75^{*2}$	$f_{ts} = 158^{*1}$	$\sigma_b = 75$	$f_{ts} = 190^{*1}$
		せん断	$\tau_b = 27^{*2}$	$f_{sb} = 122^{*2}$	$\tau_b = 27$	$f_{sb} = 146$

注記 \*1:  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

\*2: 基準地震動S<sub>s</sub>による算出値

すべて許容応力以下である。

【燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
燃料デイトンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 24.80 (O.P. 33.20*)	□	□	—	—	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	静水頭	—	50	0.86

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	D <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	G (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)
□	□	2800	9.0	2800	9.0	201000*1	201000*1	77300*1	77300*1

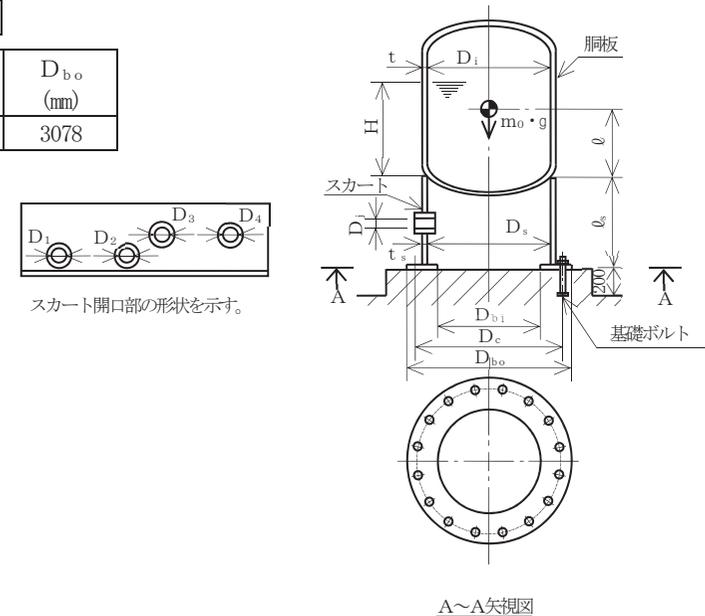
ℓ (mm)	ℓ <sub>s</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>3</sub> (mm)	D <sub>4</sub> (mm)	H (mm)	s	n	D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>b.o</sub> (mm)
1400	929	102	102	102	102	2868	15	16	2950	3078

D <sub>b.i</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	M <sub>s</sub> (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
2738	42 (M42)	1385	408	—	1.362×10 <sup>9</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (スカート) (MPa)	S <sub>u</sub> (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
241*1 (厚さ ≤ 16mm)	394*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	241*1 (厚さ ≤ 16mm)	394*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	276

S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
211*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	394*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	253

注記\*1：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。

A~A矢視図

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度			基準地震動S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x1}=0$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=3$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=7$	$\sigma_{x5}=5$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=15$	$\tau=15$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=11$	$\sigma_{xt}=22$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-11$	$\sigma_{xc}=16$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{0t}=32$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{0c}=23$		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度			基準地震動S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=7$	$\sigma_{x5}=5$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=15$	$\tau=15$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=7$	$\sigma_{2xt}=19$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=-7$	$\sigma_{2xc}=16$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2t}=58$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c}=46$		

13

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度		基準地震動S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_s=44$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3}=6$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2}=27$	
	せん断		$\tau_s=16$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度	基準地震動S s
引張応力	—	$\sigma_b=75$
せん断応力	—	$\tau_b=27$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = \square$
鉛直方向	$T_V = \square$

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 32$	$S_a = 236$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 58$	$S_a = 482$
スカート	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 44$	$f_t = 276$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.20 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 75$	$f_{ts} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 27$	$f_{sb} = 146$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備  
燃料移送ポンプ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
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2	許容応力	3
3.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
3.3	計算条件	3
4.	機能維持評価	7
4.1	基本方針	7
4.2	ポンプの動的機能維持評価	8
4.2.1	評価対象部位	8
4.2.2	許容値	8
4.2.3	記号の説明	9
4.2.4	評価方法	11
4.3	原動機の動的機能維持評価	14
5.	評価結果	15
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	15

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備の燃料移送ポンプ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。

燃料移送ポンプは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。また、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

燃料移送ポンプの構造計画を表 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>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>スクリー形 (スクリー形横軸ポンプ)</p>	

### 3. 構造強度評価

#### 3.1 構造強度評価方法

燃料移送ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

#### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料移送ポンプ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 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

##### 3.2.2 許容応力

燃料移送ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

##### 3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料移送ポンプ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 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

#### 3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 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
非常用電源 設備	非常用発電 装置	燃料移送ポンプ	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 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* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	燃料移送ポンプ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	— * <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容限 界を用いる。)

注記\*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

\*2：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)		

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

9

表 3-5 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 基本方針

燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであり、J E A G 4 6 0 1にて定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の種類から外れることから、新たに評価項目を検討し、評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

- (1) 燃料移送ポンプは地震後においてもその機能が維持されるよう、動的機能維持の評価を行う。なお、本ポンプは添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであり、機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の種類から外れることから、新たに評価項目を検討し、評価項目の健全性を確認することで動的機能維持の確認を行う。また、原動機については横形ころがり軸受電動機であるため、添付書類「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。
- (2) 本ポンプは横置きの機器であることから、J E A G 4 6 0 1に従い構造的に一つの剛体として取り扱う。

## 4.2 ポンプの動的機能維持評価

### 4.2.1 評価対象部位

燃料移送ポンプは、原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書（昭和 62 年 2 月）」及び電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）」における類似構造の既往知見を踏まえ、地震時異常要因分析に基づいて、評価項目を以下のとおり抽出して評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従って評価を行い、「5. 評価結果」にて十分な裕度を有していることを確認している。また、「g. 軸継手」は、軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

### 4.2.2 許容値

軸の許容値は、軸の変形等による回転機能への影響を考慮し、軸の変形を弾性範囲内に留めるよう、「その他のポンプ」の許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>に準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については、主ねじとスリーブの接触による、回転機能、移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を許容値とする。軸受は、回転機能確保の観点より面圧を、メカニカルシールは、流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を、許容値とする。

#### 4.2.3 記号の説明

燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離 ( $=\ell_2$ )	mm
$A_{R1}$	ラジアル荷重を受ける軸受Aの投影面積	mm <sup>2</sup>
$A_{R2}$	ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積	mm <sup>2</sup>
$A_S$	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm <sup>2</sup>
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
$C_H$	水平方向震度	—
$C_V$	鉛直方向震度	—
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 ( $=9.80665$ )	m/s <sup>2</sup>
$I_1$	軸最小径での断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_2$	シール面軸径での断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$\ell$	軸長さ	mm
$\ell_1$	支点間距離	mm
$\ell_2$	軸端から支点Aまでの距離 ( $=a$ )	mm
M	最大曲げモーメント ( $M_A, M_B$ の大なる方)	N・mm
$m_0$	軸系総質量	kg
$M_A$	支点Aの曲げモーメント	N・mm
$M_B$	支点Bの曲げモーメント	N・mm
$M_P$	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
N	回転数 (原動機の同期回転速度)	rpm
P	原動機出力	kW
$P_{R1}$	ラジアル荷重による軸受Aの面圧	MPa
$P_{R2}$	ラジアル荷重による軸受Bの面圧	MPa
$P_S$	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	N・mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
$W_1$	地震力を考慮した軸端部荷重	N
$W_2$	軸受にかかる通常運転時のスラスト荷重	N
$W_{R1}$	軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重	N

記号	記号の説明	単位
$W_{R2}$	軸受 B にかかる地震時のラジアル荷重	N
$W_S$	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
$x$	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
$\delta_1$	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
$\delta_2$	シール面における軸のたわみ量	mm
$\pi$	円周率	—
$\tau_{max}$	軸に生じる最大せん断応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

軸の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が、その許容応力値を下回ることを確認する。

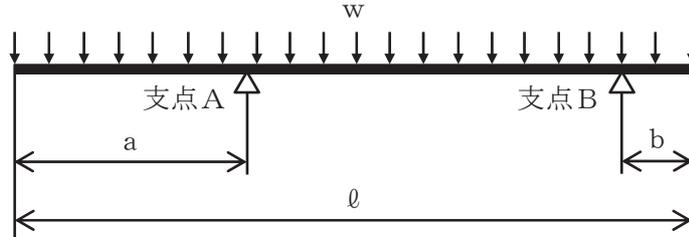


図 4-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力  $\tau_{max}$  は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left( \frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント  $M_P$  は

$$M_P = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

( 1 kW = 10<sup>6</sup> N・mm/s )

支点 A の曲げモーメント  $M_A$  は

$$M_A = \frac{w \cdot a^2}{2} \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

支点 B の曲げモーメント  $M_B$  は

$$M_B = \frac{w \cdot b^2}{2} \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

ここで、地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}}{l} \dots\dots\dots (4.2.4.6)$$

(2) 軸受

軸受の評価は、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Aの面圧は次式で求める。

$$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}} \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 $W_{R1}$ は

$$W_{R1} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Bの面圧は次式で求める。

$$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}} \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 $W_{R2}$ は

$$W_{R2} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

c. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 $W_S$ は

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot C_H + W_2 \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

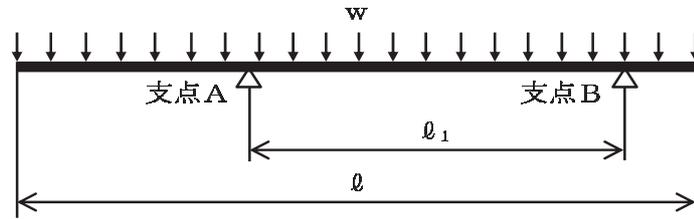


図 4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量  $\delta_1$  は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot l_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1} \dots \dots \dots (4.2.4.13)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

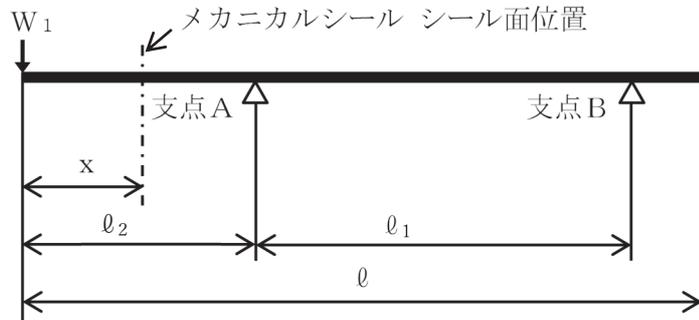


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量  $\delta_2$  は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot l_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[ \frac{x^3}{l_2^3} - \frac{3 \cdot (l_1 + l_2)}{l_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot l_1}{l_2} + 2 \right] \dots \dots \dots (4.2.4.14)$$

ここで、地震力を考慮した軸端部荷重  $W_1$  は

$$W_1 = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots \dots \dots (4.2.4.15)$$

#### 4.3 原動機の動的機能維持評価

燃料移送ポンプ用原動機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

燃料移送ポンプ用原動機は、地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「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。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料移送ポンプ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次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動  $S_d$  による動的震度及び静的震度は基準地震動  $S_s$  を下回っており，基準地震動  $S_s$  による発生値が，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度による発生値の算出を省略した。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料移送ポンプ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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
燃料移送ポンプ	S	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	—*3	—*3	C <sub>H</sub> =1.34	C <sub>V</sub> =0.92		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

\*3：Ⅲ<sub>s</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm)	n <sub>i</sub>	n <sub>fij</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)								2
原動機取付ボルト (i=3)							2	

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—*		—*	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—*		—*	
原動機取付ボルト (i=3)	—*		—*	

注記\*：III<sub>s</sub>Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

17

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト (i=3)		引張り				
		せん断				

注記\*1： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

\*2：基準地震動S<sub>s</sub>による算出値

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料移送ポンプ	スクリー形	4	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.12	C <sub>V</sub> =0.77		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.12	C <sub>V</sub> =0.77		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	ℓ (mm)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A <sub>R1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>R2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>S</sub> (mm <sup>2</sup> )	E (MPa)	I <sub>1</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>2</sub> (mm <sup>4</sup> )	N (rpm)	W <sub>2</sub> (N)

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.12	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.12	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定める応答加速度とする。

ポンプは、本文 4.2.1 項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の応力評価

(単位：MPa)

評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)

評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価

(単位：mm)

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

すべてスリーブ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

(単位：mm)

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
燃料移送ポンプ	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	—	—	C <sub>H</sub> =1.34	C <sub>V</sub> =0.92		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm)	n <sub>1</sub>	n <sub>fij</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)								2
原動機取付ボルト (i=3)							2	

部 材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸	—

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：最高使用温度で算出

\*3：周囲環境温度で算出

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—		
		せん断	—	—		
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—		
		せん断	—	—		
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—		
		せん断	—	—		

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料移送ポンプ	スクリー形	4	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.12	C <sub>V</sub> =0.77		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	燃料移送ポンプ室 O.P. 9.50*1 (O.P. 10.00)	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.12	C <sub>V</sub> =0.77		66	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	ℓ (mm)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A <sub>R1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>R2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>S</sub> (mm <sup>2</sup> )	E (MPa)	I <sub>1</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>2</sub> (mm <sup>4</sup> )	N (rpm)	W <sub>2</sub> (N)

23

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.12	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.12	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

ポンプは、本文 4.2.1 項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

2.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の応力評価

(単位：MPa)

評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)

評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価

(単位：mm)

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

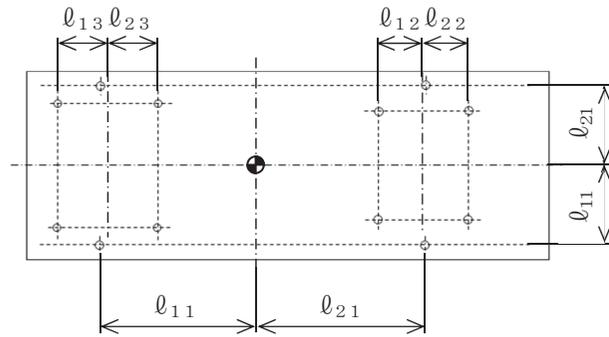
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

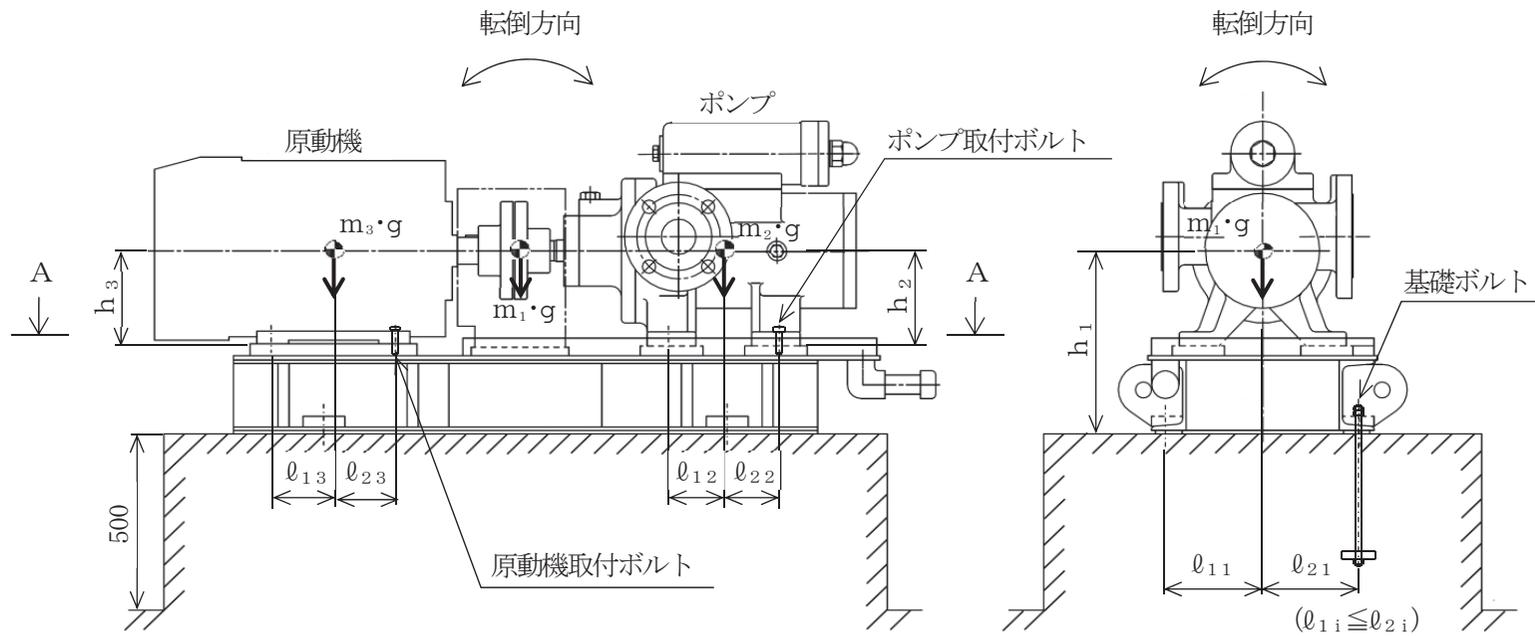
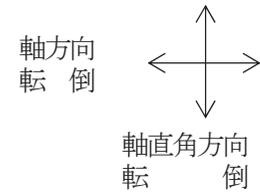
(単位：mm)

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。



A~A矢视图



VI-2-10-1-2-1-5 非常用ディーゼル発電設備  
軽油タン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 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備軽油タン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。

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクは、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、非常用ディーゼル発電設備軽油タンクは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの構造計画を表 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>胴を脚で支持し，脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには SRSS 法を適用する。

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

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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。

4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	常設耐震/防止 常設/緩和	— * <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容限 界を用い る。)

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

\*2：重大事故等クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> 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 ル合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は基準地震動S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	
IV <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> S の許容限界を用い る。)			基準地震動S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記\*1：座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張り	引張り	せん断
III <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)			

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	—	225	385	—
脚	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	—	715	838	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	—	225	385	—
脚	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	—	715	838	—

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動  $S_d$  による動的震度及び静的震度は基準地震動  $S_s$  を下回っており，基準地震動  $S_s$  による発生値が，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度による発生値の算出を省略した。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
非常用ディーゼル 発電設備軽油タンク	S	軽油タンク室 0. P. 9. 50*1			—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1. 31	C <sub>V</sub> =0. 99	静水頭	66	50	0. 86

注記\*1：基準床レベルを示す。

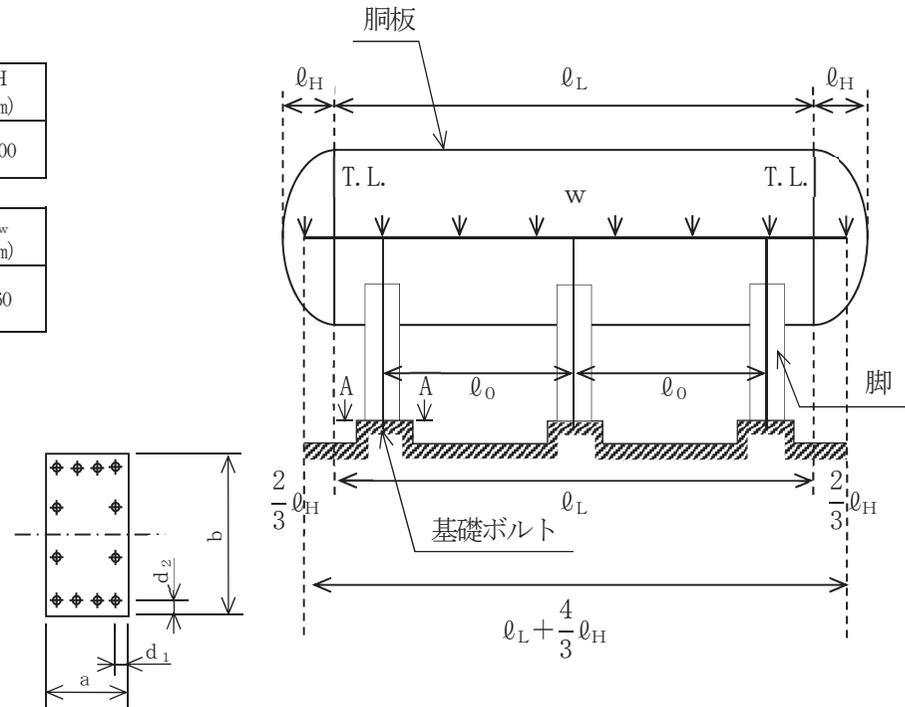
\*2：III<sub>s</sub>Sについては、基準地震動 S<sub>s</sub> で評価する。

1.2 機器要目

ℓ <sub>H</sub> (mm)	ℓ <sub>L</sub> (mm)	w (N/mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	M <sub>3</sub> (N・mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	R <sub>3</sub> (N)	H (mm)
903	11250	113. 4	2. 265×10 <sup>6</sup>	1. 401×10 <sup>6</sup>	2. 265×10 <sup>6</sup>	4. 868×10 <sup>5</sup>	4. 385×10 <sup>5</sup>	4. 868×10 <sup>5</sup>	3500

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s t</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	ℓ <sub>w</sub> (mm)
		3500	28. 0	56. 0*1	4228	972. 2	1978	0. 364	360

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>s x</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>s y</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>s x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>s y</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1500	650	2. 589×10 <sup>11</sup>	2. 051×10 <sup>10</sup>	1. 726×10 <sup>8</sup>	3. 155×10 <sup>7</sup>	2. 161	1. 340



A-A 矢視図

$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s3}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s4}$ (mm <sup>2</sup> )
$2.265 \times 10^5$	201000	77300	$1.263 \times 10^5$	$8.027 \times 10^4$	$9.714 \times 10^4$	$6.552 \times 10^4$

$K_{11}^{*2}$	$K_{12}^{*2}$	$K_{21}^{*2}$	$K_{22}^{*2}$	$K_{\phi 1}$	$K_{\phi 2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{\phi 1}$	$C_{\phi 2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
0.91	1.68	—	—	1.18	1.06	1.21	0.98	0.89	0.63	1.60	1.19
1.76	1.20	—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	12	4	4	2100	3400	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	100	100

$S_y$ (胴板) (MPa)	$S_u$ (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)
225 <sup>*3</sup> (16mm<厚さ≤40mm)	385 <sup>*3</sup> (16mm<厚さ≤40mm)	—	231 <sup>*4</sup> (16mm<厚さ≤40mm)	394 <sup>*4</sup> (16mm<厚さ≤40mm)	231	276	715 <sup>*4</sup> (径≤63mm)	838 <sup>*4</sup> (径≤63mm)	586	586

注記\*1：本計算においては当板を有効とした。

\*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

\*3：最高使用温度で算出

\*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} = -*$	$\sigma_{x 1} = -*$	$\sigma_{\phi 1} = -*$	$\sigma_{x 1} = -*$	$\sigma_{\phi 1} = 2$	$\sigma_{x 1} = 1$	$\sigma_{\phi 1} = 2$	$\sigma_{x 1} = 1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} = -*$	—	$\sigma_{x 2} = -*$	—	$\sigma_{x 2} = 5$	—	$\sigma_{x 2} = 5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = 5$	—	$\sigma_{x 6} = 5$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} = -*$	—	—	—	$\sigma_{x 413} = 7$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{00} = -*$		$\sigma_{0c} = -*$		$\sigma_{00} = 13$		$\sigma_{0c} = 10$	

注記\*：Ⅲ<sub>s</sub>については、基準地震動 S s で評価する。

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} = -*$	$\sigma_{x 1} = -*$	$\sigma_{\phi 1} = -*$	$\sigma_{x 1} = -*$	$\sigma_{\phi 1} = 2$	$\sigma_{x 1} = 1$	$\sigma_{\phi 1} = 2$	$\sigma_{x 1} = 1$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} = -*$	—	$\sigma_{x 2} = -*$	—	$\sigma_{x 2} = 5$	—	$\sigma_{x 2} = 5$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = 5$	—	$\sigma_{x 6} = 5$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} = -*$	$\sigma_{x 3} = -*$	$\sigma_{\phi 3} = -*$	$\sigma_{x 3} = -*$	$\sigma_{\phi 3} = 13$	$\sigma_{x 3} = 13$	$\sigma_{\phi 3} = 13$	$\sigma_{x 3} = 13$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} = -*$	$\sigma_{x 71} = -*$	$\sigma_{\phi 71} = -*$	$\sigma_{x 71} = -*$	$\sigma_{\phi 71} = 13$	$\sigma_{x 71} = 13$	$\sigma_{\phi 71} = 13$	$\sigma_{x 71} = 13$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411} = -*$	$\sigma_{x 411} = -*$	$\sigma_{\phi 51} = -*$	$\sigma_{x 51} = -*$	$\sigma_{\phi 411} = 5$	$\sigma_{x 411} = 2$	$\sigma_{\phi 51} = 14$	$\sigma_{x 51} = 39$
		$\sigma_{\phi 412} = -*$	$\sigma_{x 412} = -*$			$\sigma_{\phi 412} = 9$	$\sigma_{x 412} = 9$		
		$\sigma_{\phi 413} = -*$	$\sigma_{x 413} = -*$			$\sigma_{\phi 413} = 7$	$\sigma_{x 413} = 7$		
せん断		$\tau_{\phi} = -*$		$\tau_c = -*$		$\tau_{\phi} = 9$		$\tau_c = 4$	
		$\sigma_{\phi 41} = -*$		$\sigma_{x 41} = -*$		$\sigma_{\phi 41} = 13$		$\sigma_{x 41} = 17$	
組合せ応力		$\sigma_{10} = -*$		$\sigma_{1c} = -*$		$\sigma_{10} = 47$		$\sigma_{1c} = 60$	

注記\*：Ⅲ<sub>s</sub>については、基準地震動 S s で評価する。

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動S <sub>s</sub>			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = -*$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = -*$	—	$\sigma_{x 6} = 5$	—	$\sigma_{x 6} = 5$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 7 1} = -*$ $\sigma_{\phi 7 2} = -*$	$\sigma_{x 7 1} = -*$ $\sigma_{x 7 2} = -*$	$\sigma_{\phi 7 1} = -*$ $\sigma_{\phi 7 2} = -*$	$\sigma_{x 7 1} = -*$ $\sigma_{x 7 2} = -*$	$\sigma_{\phi 7 1} = 13$ $\sigma_{\phi 7 2} = 50$	$\sigma_{x 7 1} = 13$ $\sigma_{x 7 2} = 29$	$\sigma_{\phi 7 1} = 13$ $\sigma_{\phi 7 2} = 50$	$\sigma_{x 7 1} = 13$ $\sigma_{x 7 2} = 29$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 4 1} = -*$	$\sigma_{x 4 1} = -*$	$\sigma_{\phi 5 1} = -*$	$\sigma_{x 5 1} = -*$	$\sigma_{\phi 4 1} = 13$	$\sigma_{x 4 1} = 17$	$\sigma_{\phi 5 1} = 14$	$\sigma_{x 5 1} = 39$
		$\sigma_{\phi 4 2 1} = -*$ $\sigma_{\phi 4 2 2} = -*$	$\sigma_{x 4 2 1} = -*$ $\sigma_{x 4 2 2} = -*$	$\sigma_{\phi 5 2} = -*$	$\sigma_{x 5 2} = -*$	$\sigma_{\phi 4 2 1} = 6$ $\sigma_{\phi 4 2 2} = 35$	$\sigma_{x 4 2 1} = 13$ $\sigma_{x 4 2 2} = 20$	$\sigma_{\phi 5 2} = 103$	$\sigma_{x 5 2} = 54$
		$\sigma_{\phi 4 2} = -*$	$\sigma_{x 4 2} = -*$			$\sigma_{\phi 4 2} = 41$	$\sigma_{x 4 2} = 33$		
せん断	$\tau_{\phi} = -*$		$\tau_c = -*$		$\tau_{\phi} = 9$		$\tau_c = 4$		
組合せ応力		$\sigma_{2\phi} = -*$		$\sigma_{2c} = -*$		$\sigma_{2\phi} = 174$		$\sigma_{2c} = 266$	

注記\*：III,Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

12

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮 $\sigma_{s 1} = -*$	$\sigma_{s 1} = -*$	$\sigma_{s 1} = 3$	$\sigma_{s 1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮 $\sigma_{s 4} = -*$	$\sigma_{s 4} = -*$	$\sigma_{s 4} = 3$	$\sigma_{s 4} = 3$
水平方向地震による応力	曲げ $\sigma_{s 2} = -*$	$\sigma_{s 3} = -*$	$\sigma_{s 2} = 12$	$\sigma_{s 3} = 8$
	せん断 $\tau_{s 2} = -*$	$\tau_{s 3} = -*$	$\tau_{s 2} = 7$	$\tau_{s 3} = 11$
組合せ応力		$\sigma_{s\phi} = -*$	$\sigma_{s\phi} = 19$	$\sigma_{s c} = 21$

注記\*：III,Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り $\sigma_{b 1} = -*$	$\sigma_{b 2} = -*$	$\sigma_{b 1} = 30$	$\sigma_{b 2} = 59$
水平方向地震による応力	せん断 $\tau_{b 1} = -*$	$\tau_{b 2} = -*$	$\tau_{b 1} = 30$	$\tau_{b 2} = 31$

注記\*：III,Sについては、基準地震動S<sub>s</sub>で評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方 向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次一般膜	$\sigma_0=13^{*2}$	$S_a=225$	$\sigma_0=13$	$S_a=231$
		一次	$\sigma_1=60^{*2}$	$S_a=338$	$\sigma_1=60$	$S_a=347$
		一次+二次	$\sigma_2=266^{*2}$	$S_a=450$	$\sigma_2=266$	$S_a=450$
脚	SM400C	組合せ	$\sigma_s=21^{*2}$	$f_t=231$	$\sigma_s=21$	$f_t=276$
基礎ボルト	SNB7	引張り	$\sigma_b=59^{*2}$	$f_{ts}=440^{*1}$	$\sigma_b=59$	$f_{ts}=440^{*1}$
		せん断	$\tau_b=31^{*2}$	$f_{sb}=338$	$\tau_b=31$	$f_{sb}=338$

注記\*1:  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{tq}]$ より算出

\*2: 基準地震動S<sub>s</sub>による算出値

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対応設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
非常用ディーゼル発電設備軽油タンク	常設耐震/防止 常設/緩和	軽油タンク室 O.P. 9.50*			—	—	C <sub>H</sub> =1.31	C <sub>V</sub> =0.99	静水頭	66	50	0.86

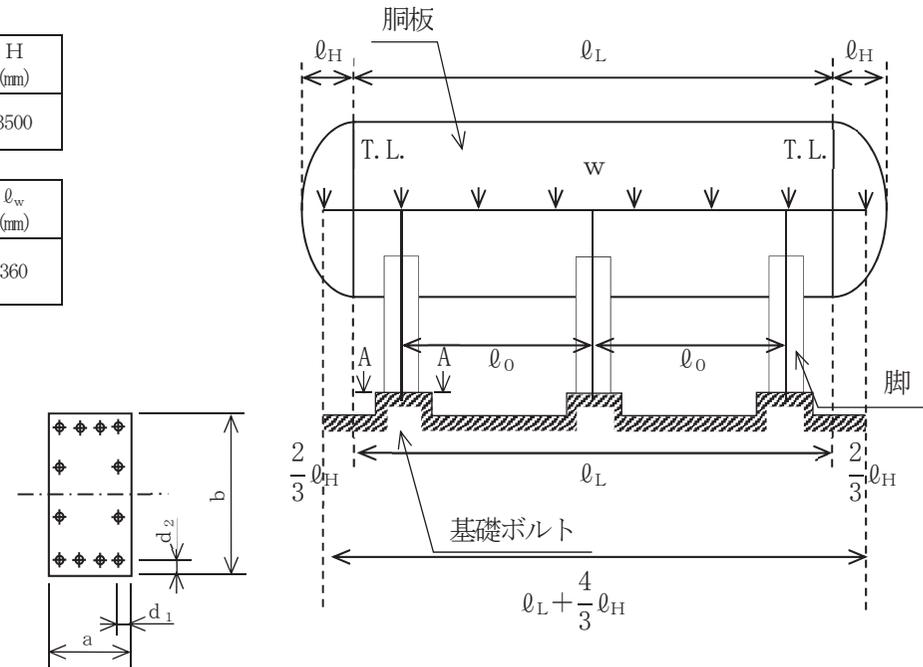
注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

ℓ <sub>H</sub> (mm)	ℓ <sub>L</sub> (mm)	w (N/mm)	M <sub>1</sub> (N·mm)	M <sub>2</sub> (N·mm)	M <sub>3</sub> (N·mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	R <sub>3</sub> (N)	H (mm)
903	11250	113.4	2.265×10 <sup>8</sup>	1.401×10 <sup>8</sup>	2.265×10 <sup>8</sup>	4.868×10 <sup>5</sup>	4.385×10 <sup>5</sup>	4.868×10 <sup>5</sup>	3500

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s t</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	ℓ <sub>w</sub> (mm)
		3500	28.0	56.0*1	4228	972.2	1978	0.364	360

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>s x</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>s y</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>s x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>s y</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1500	650	2.589×10 <sup>11</sup>	2.051×10 <sup>10</sup>	1.726×10 <sup>8</sup>	3.155×10 <sup>7</sup>	2.161	1.340



A-A 矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$2.265 \times 10^5$	201000	77300	$1.263 \times 10^5$	$8.027 \times 10^4$	$9.714 \times 10^4$	$6.552 \times 10^4$

$K_{11}^{*2}$	$K_{12}^{*2}$	$K_{21}^{*2}$	$K_{22}^{*2}$	$K_{\phi 1}$	$K_{\phi 2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{\phi 1}$	$C_{\phi 2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
0.91	1.68	—	—	1.18	1.06	1.21	0.98	0.89	0.63	1.60	1.19
1.76	1.20	—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	12	4	4	2100	3400	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	100	100

$S_y$ (胴板) (MPa)	$S_u$ (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)
$225^{*3}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	$385^{*3}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	—	$231^{*4}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	$394^{*4}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	—	276	$715^{*4}$ (径 $\leq 63\text{mm}$ )	$838^{*4}$ (径 $\leq 63\text{mm}$ )	—	586

注記\*1：本計算においては当板を有効とした。

\*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

\*3：最高使用温度で算出

\*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=5$	—	$\sigma_{x 6}=5$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=7$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\theta}=13$		$\sigma_{0c}=10$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=5$	—	$\sigma_{x 6}=5$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=14$	$\sigma_{x 51}=39$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 412}=9$	$\sigma_{x 412}=9$		
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 413}=7$	$\sigma_{x 413}=7$		
せん断	—	—		—		$\tau_{\theta}=9$		$\tau_c=4$	
		—		—		$\sigma_{1\theta}=47$		$\sigma_{1c}=60$	
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\theta}=47$		$\sigma_{1c}=60$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位: MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動S <sub>s</sub>				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=5$	—	$\sigma_{x6}=5$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=13$ $\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x71}=13$ $\sigma_{x72}=29$	$\sigma_{\phi 71}=13$ $\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x71}=13$ $\sigma_{x72}=29$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=17$	$\sigma_{\phi 51}=14$	$\sigma_{x51}=39$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=35$	$\sigma_{x421}=13$ $\sigma_{x422}=20$	$\sigma_{\phi 52}=103$	$\sigma_{x52}=54$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=41$	$\sigma_{x42}=33$		
せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta}=9$	—	$\tau_c=4$	—	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\theta}=174$	—	$\sigma_{2c}=266$	—	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{s2}=12$	$\sigma_{s3}=8$
	せん断	—	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=11$
組合せ応力	—	—	$\sigma_{s\theta}=19$	$\sigma_{sc}=21$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	$\sigma_{b1}=30$	$\sigma_{b2}=59$
水平方向地震による応力	せん断	—	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=31$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=13$	$S_a=231$
		一次	—	—	$\sigma_1=60$	$S_a=347$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=266$	$S_a=450$
脚	SM400C	組合せ	—	—	$\sigma_s=21$	$f_t=276$
基礎ボルト	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_b=59$	$f_{ts}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=31$	$f_{sb}=338$

注記\*:  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

VI-2-10-1-2-1-6 非常用ディーゼル発電設備  
管の耐震性についての計算書

## 設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力評価条件	29
3.5 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	32
4.1 固有周期及び設計震度	32
4.2 評価結果	44
4.2.1 管の応力評価結果	44
4.2.2 支持構造物評価結果	46
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	47
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	48

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、非常用ディーゼル発電設備の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全21モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

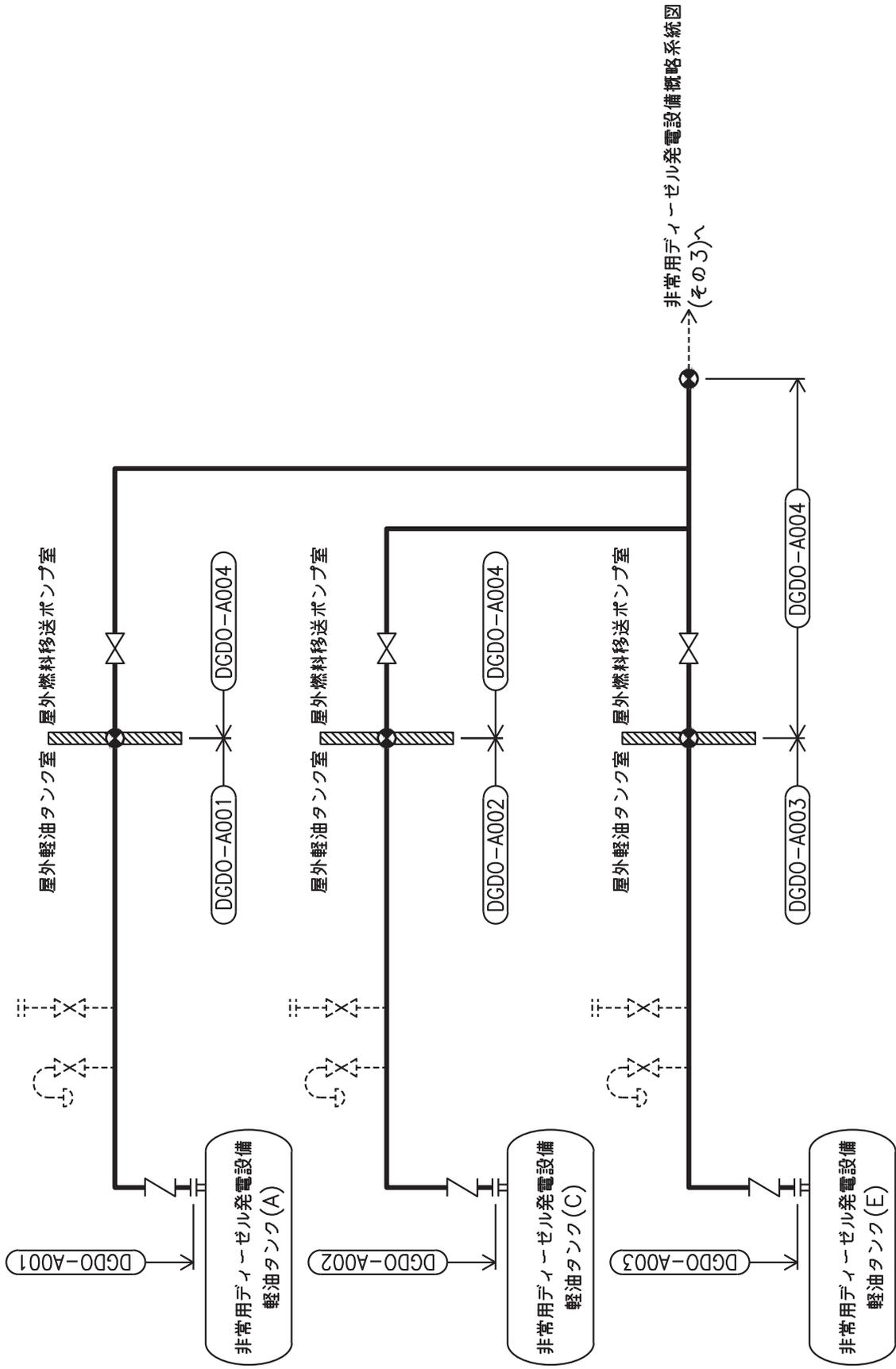
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

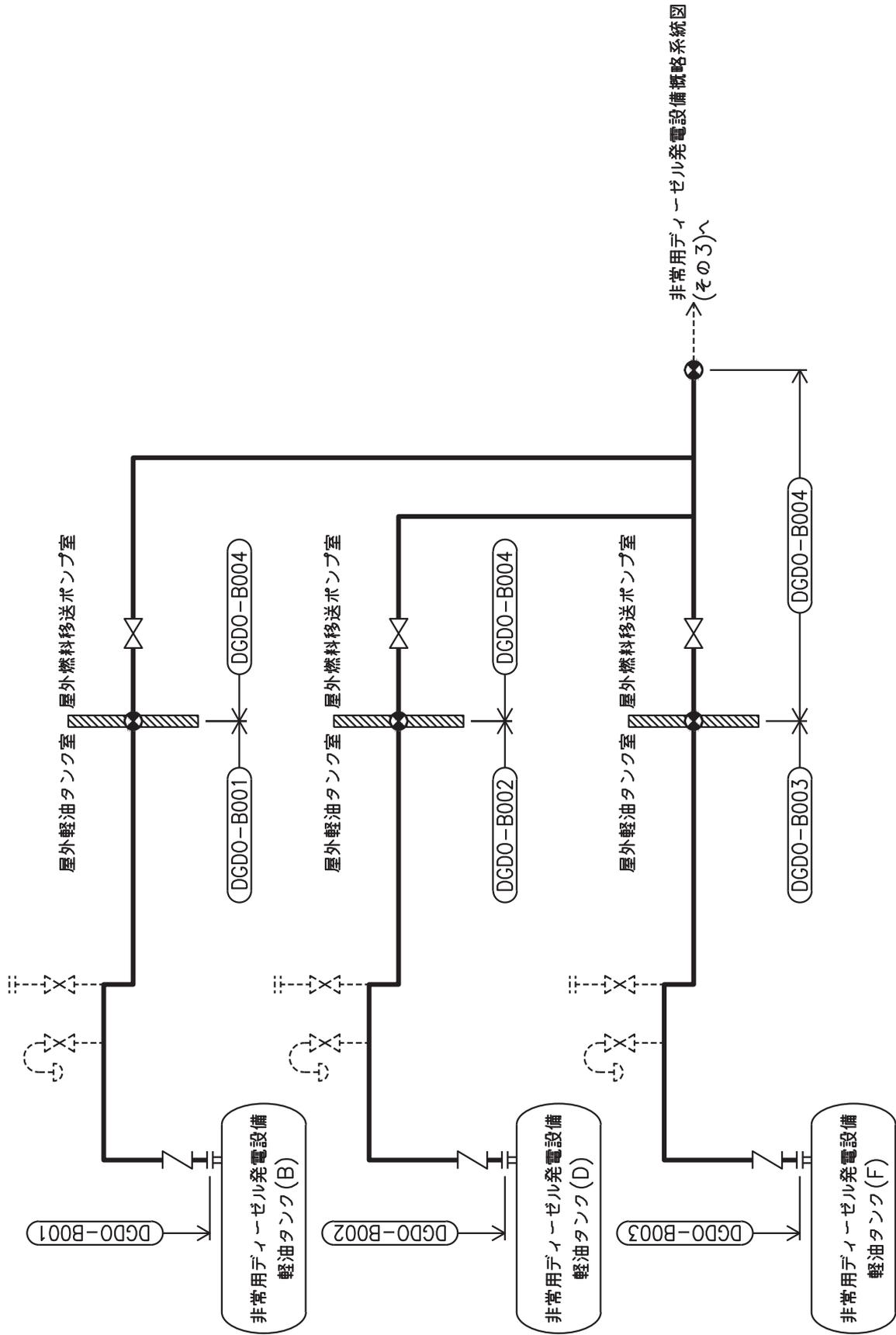
## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

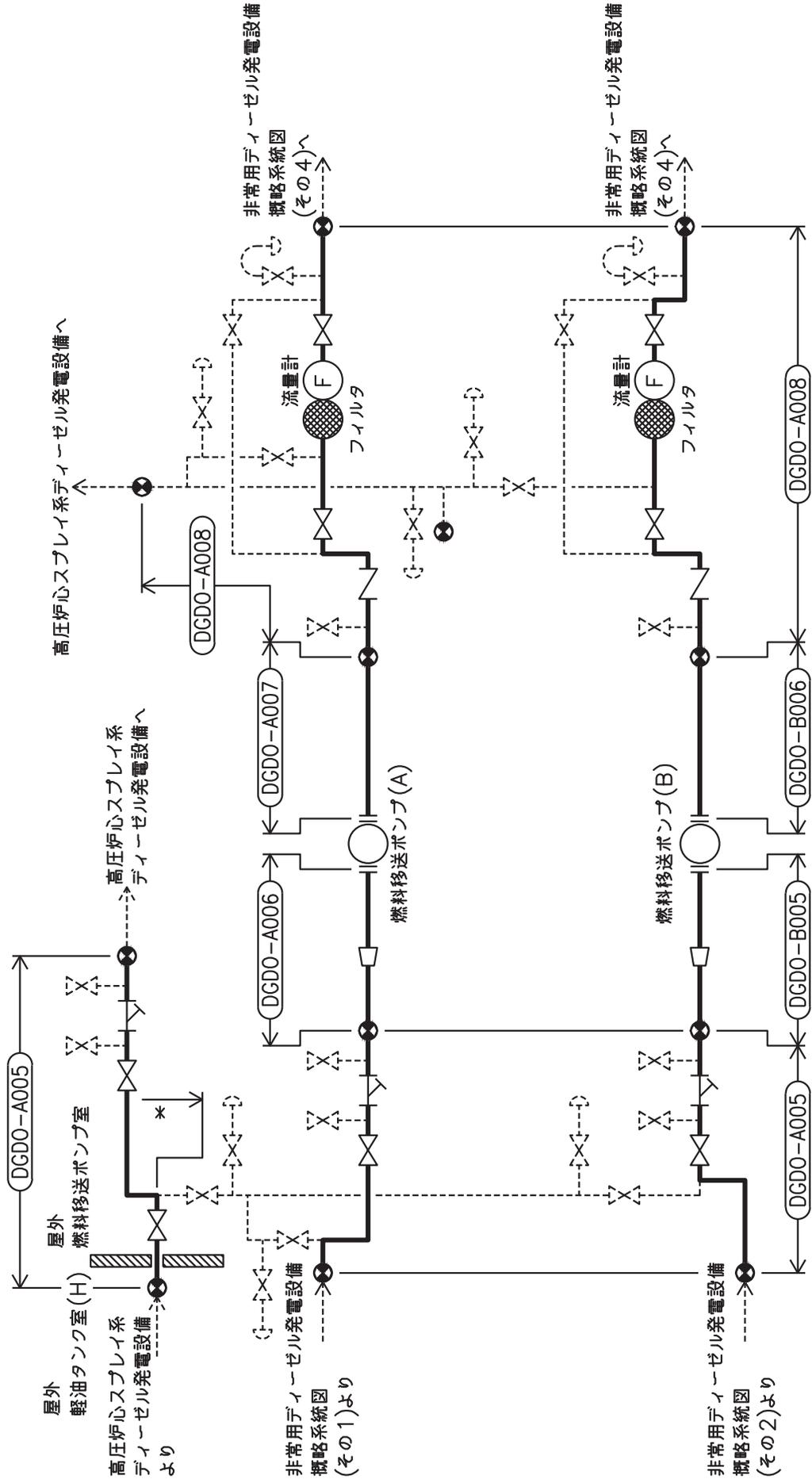
### 2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

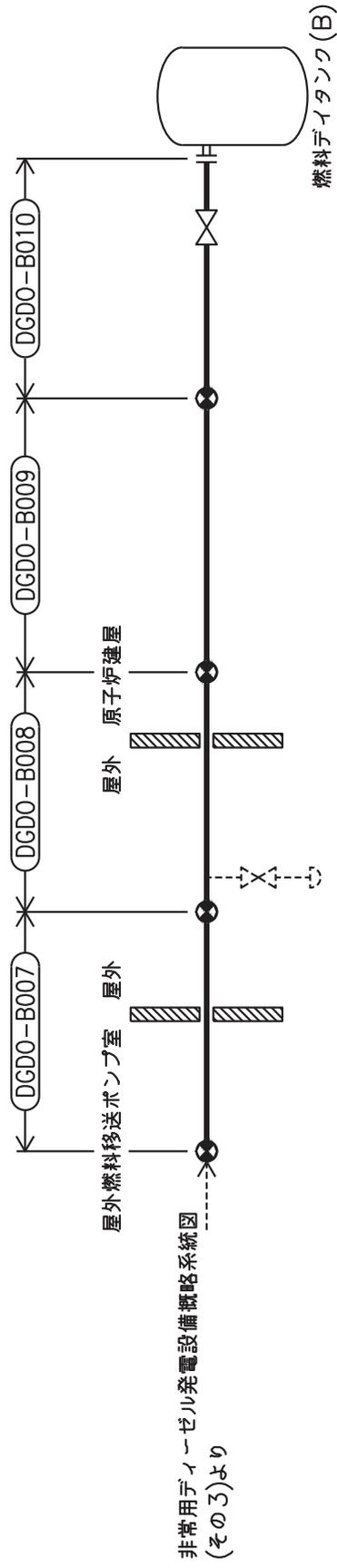
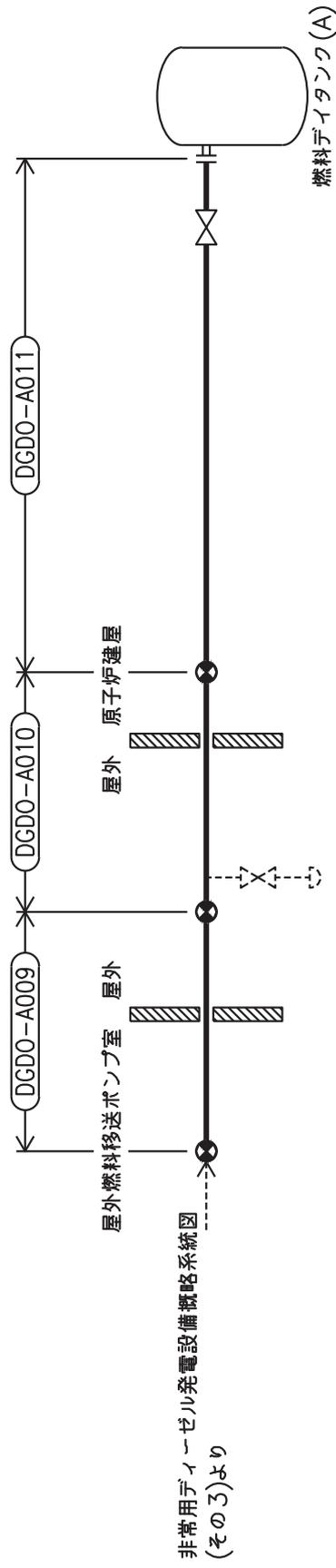






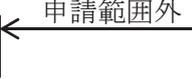
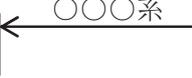
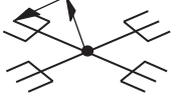
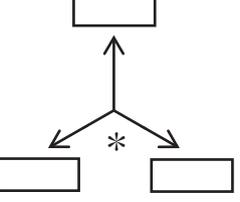
注記\*：高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電設備  
解析モデル上本系統に含める

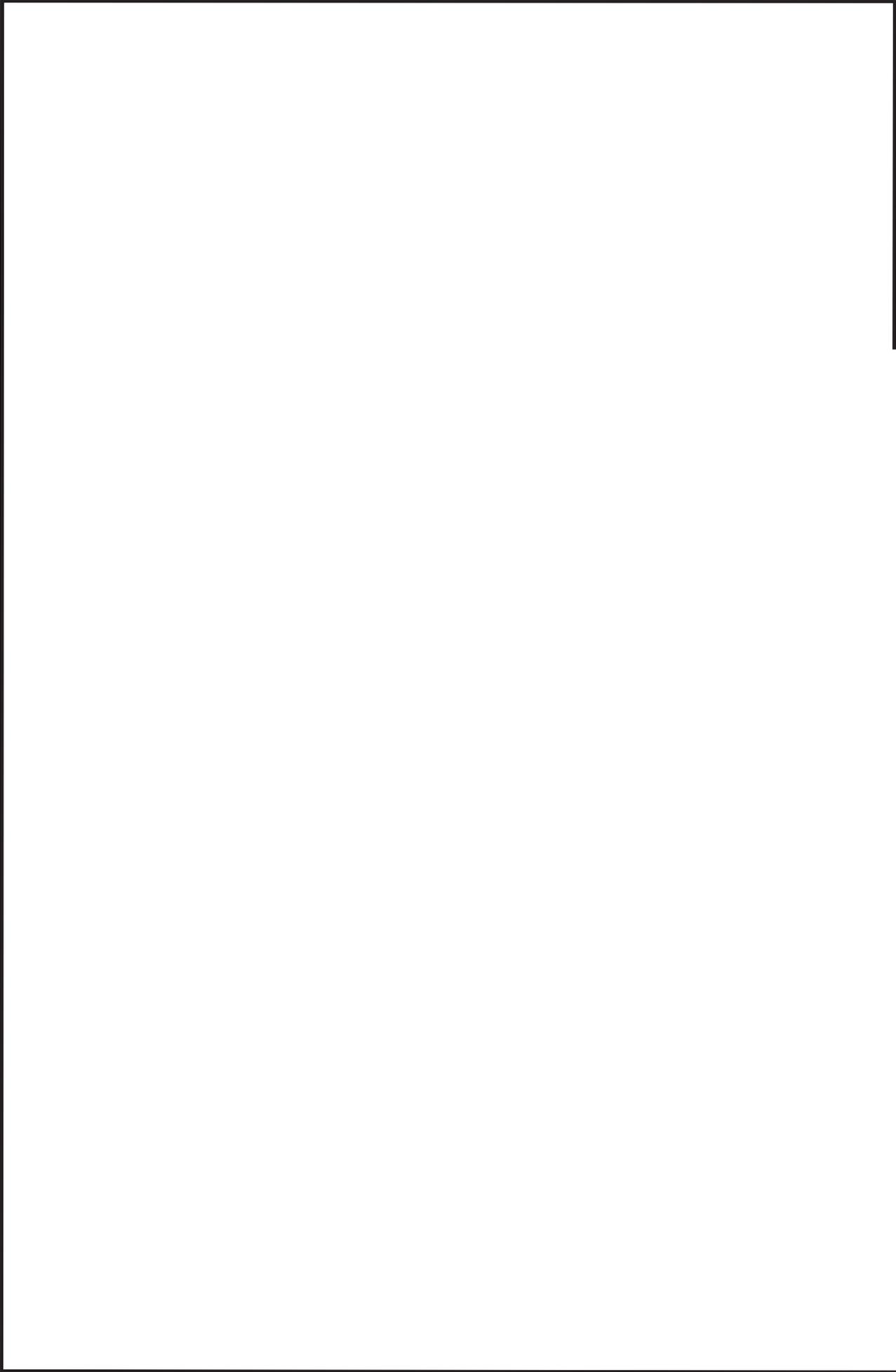
非常用ディーゼル発電設備概略系統図(その3)



2.2 鳥瞰図

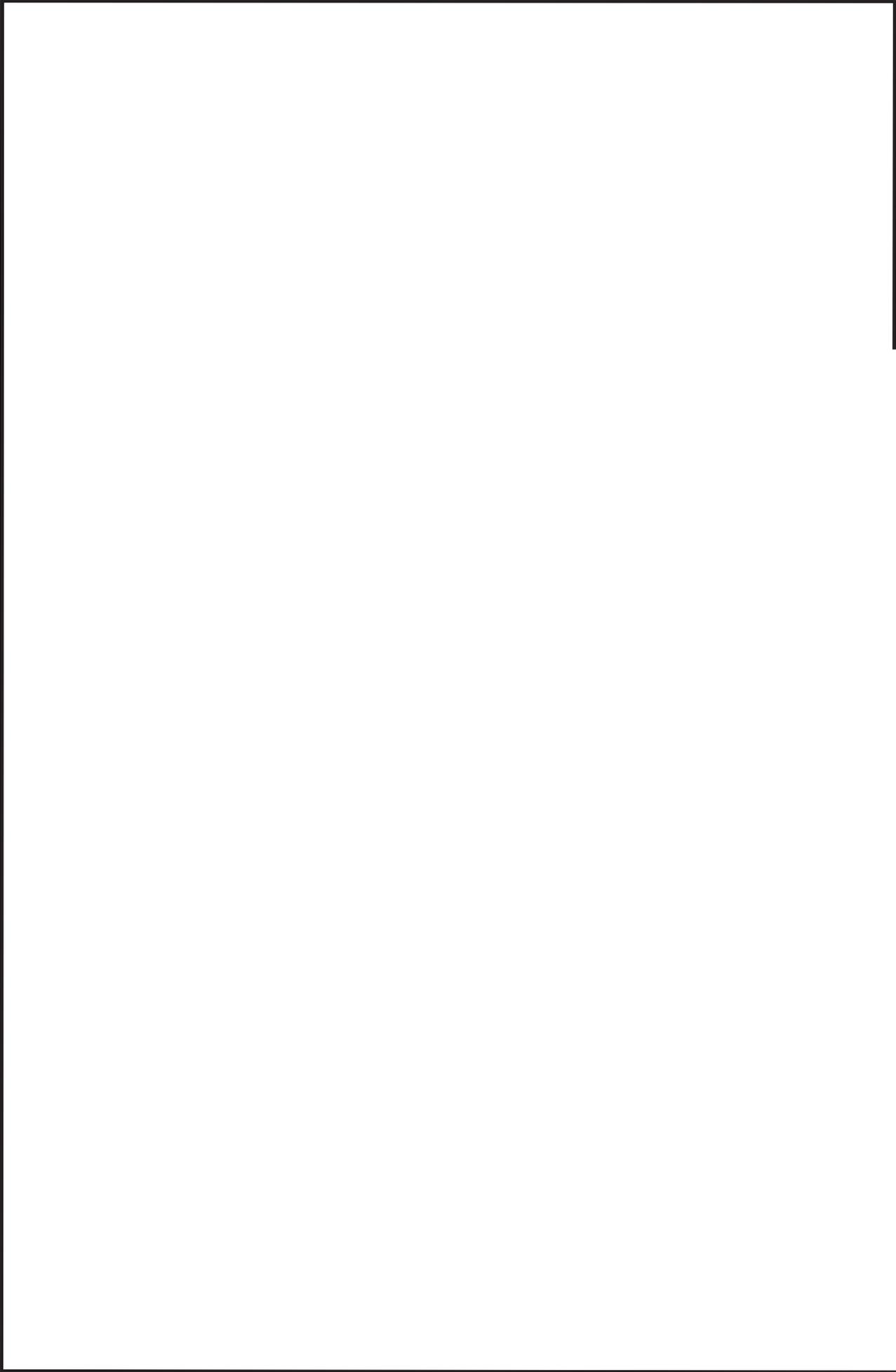
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <input type="text"/> 内に 変位量を記載する。)</p>



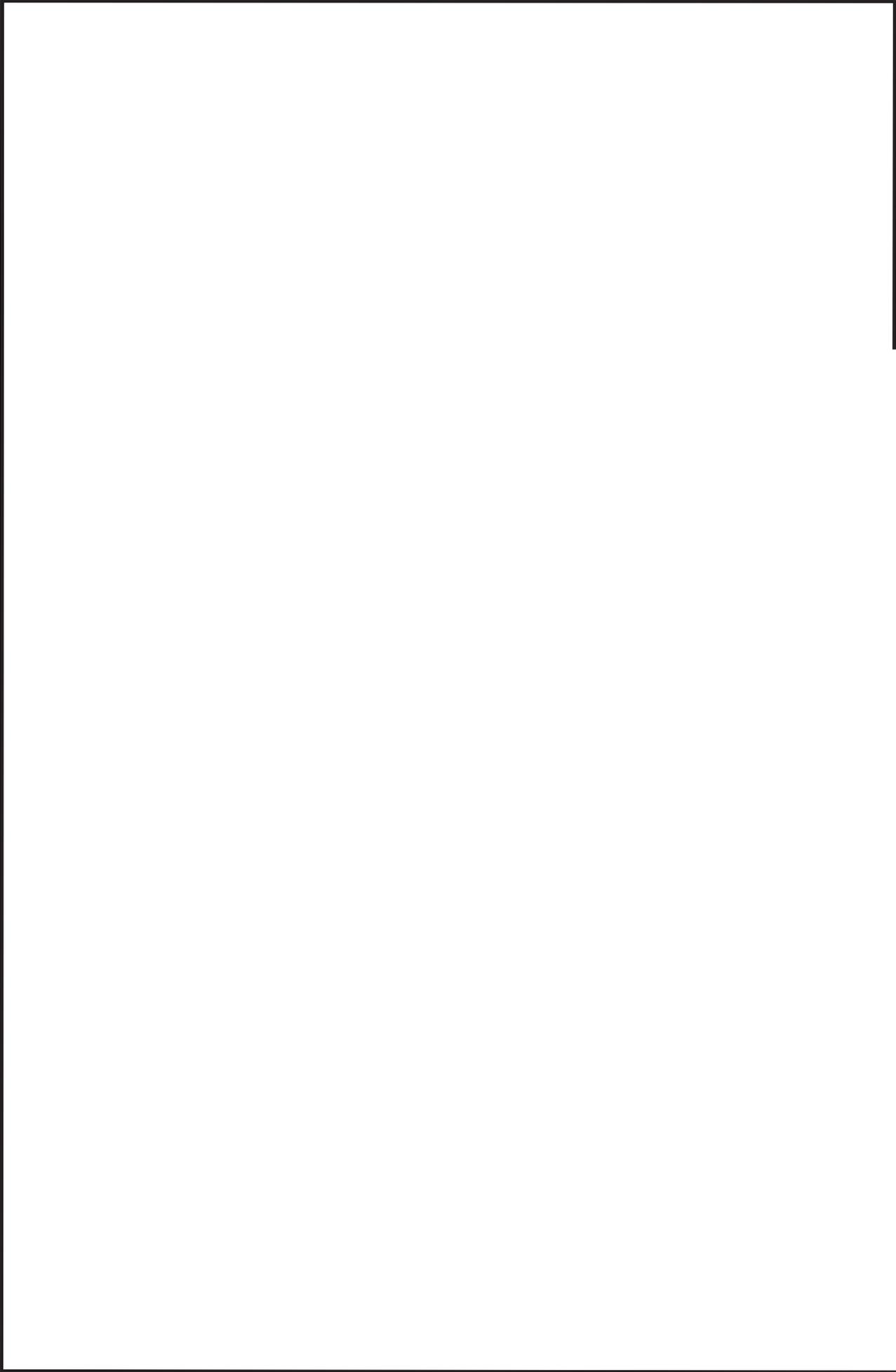
鳥瞰図 DGD0-B008<1/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B008<2/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



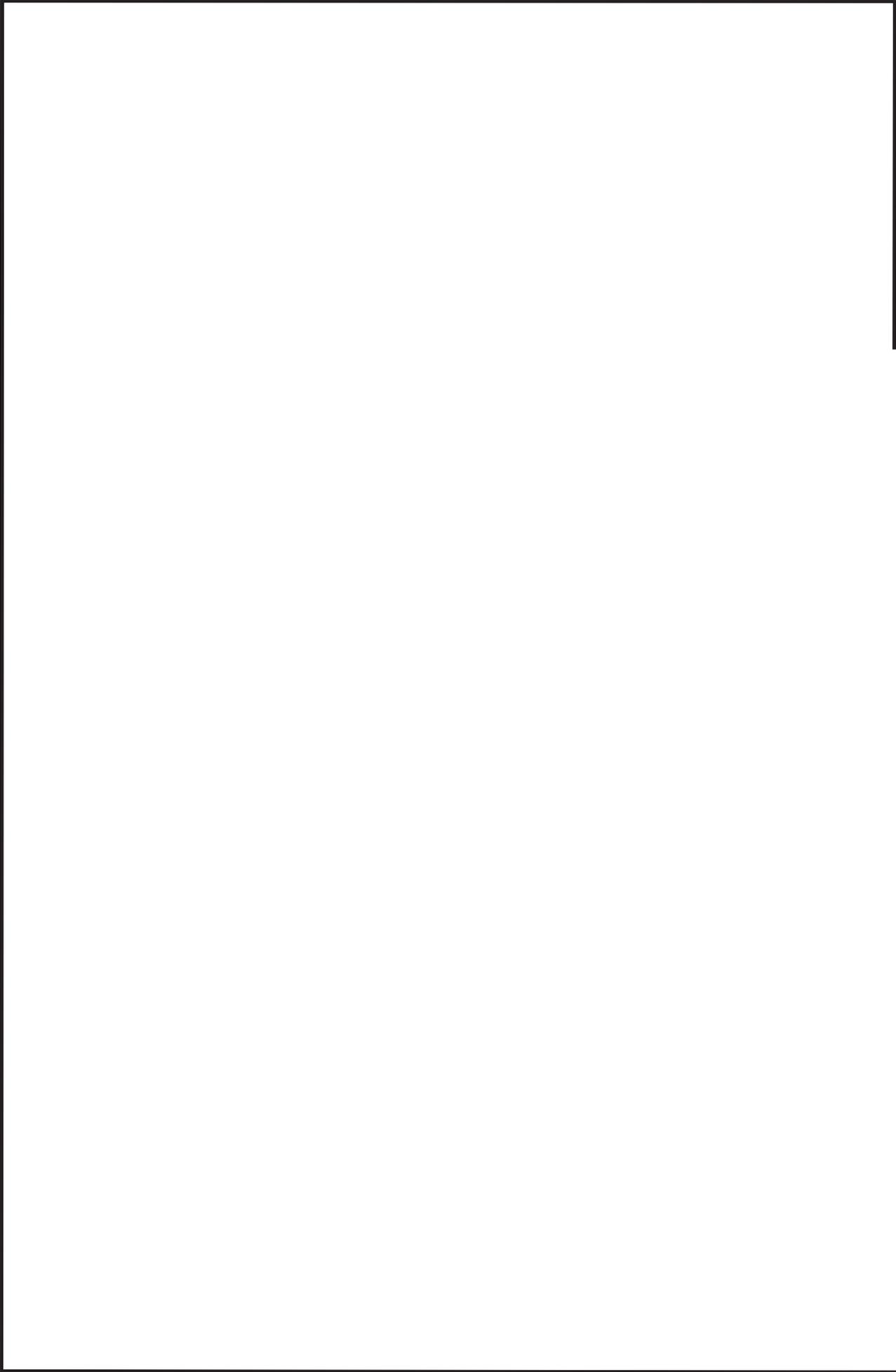
鳥瞰図 DGD0-B008<3/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



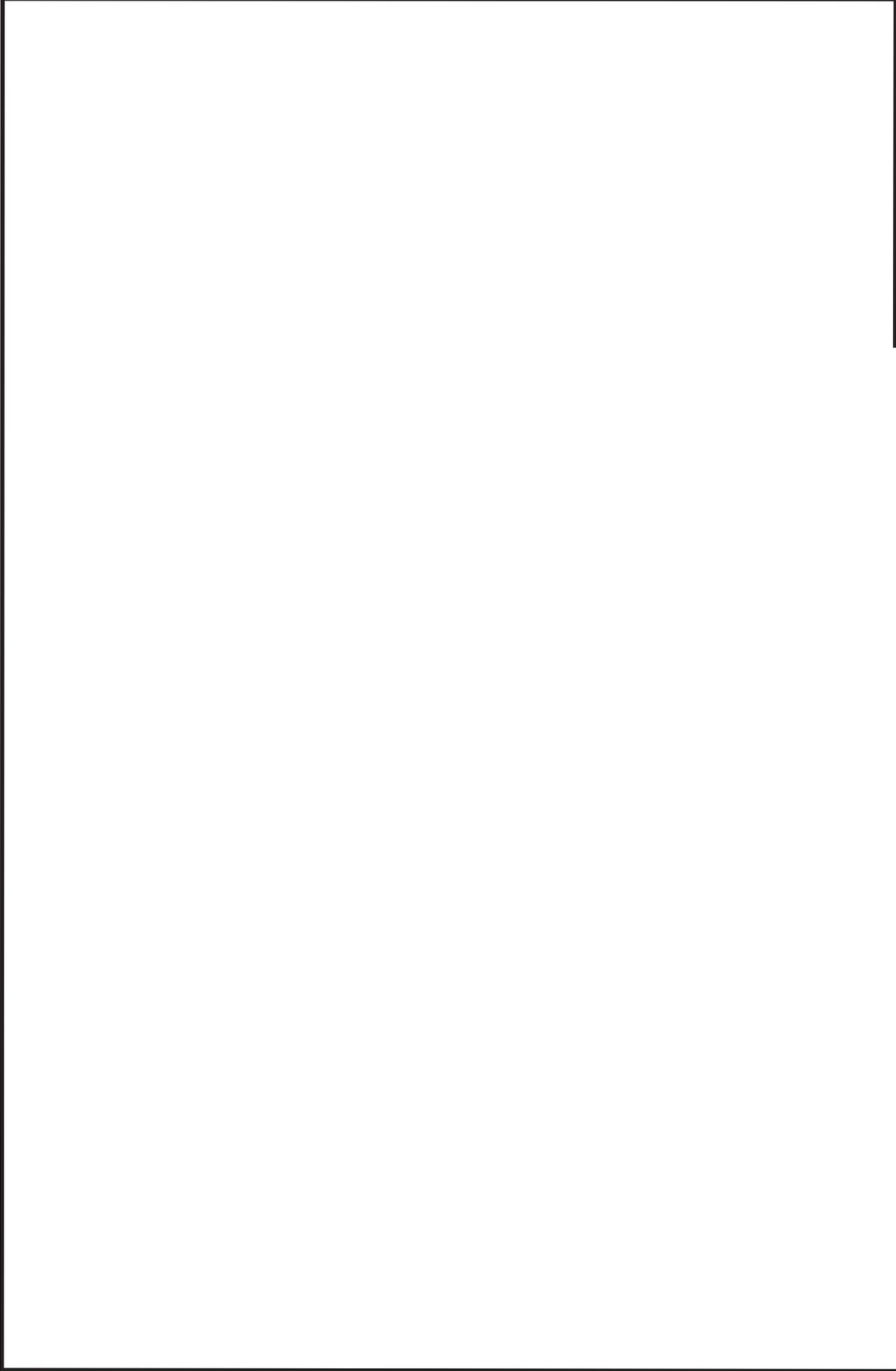
鳥瞰図 DGD0-B008<4/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



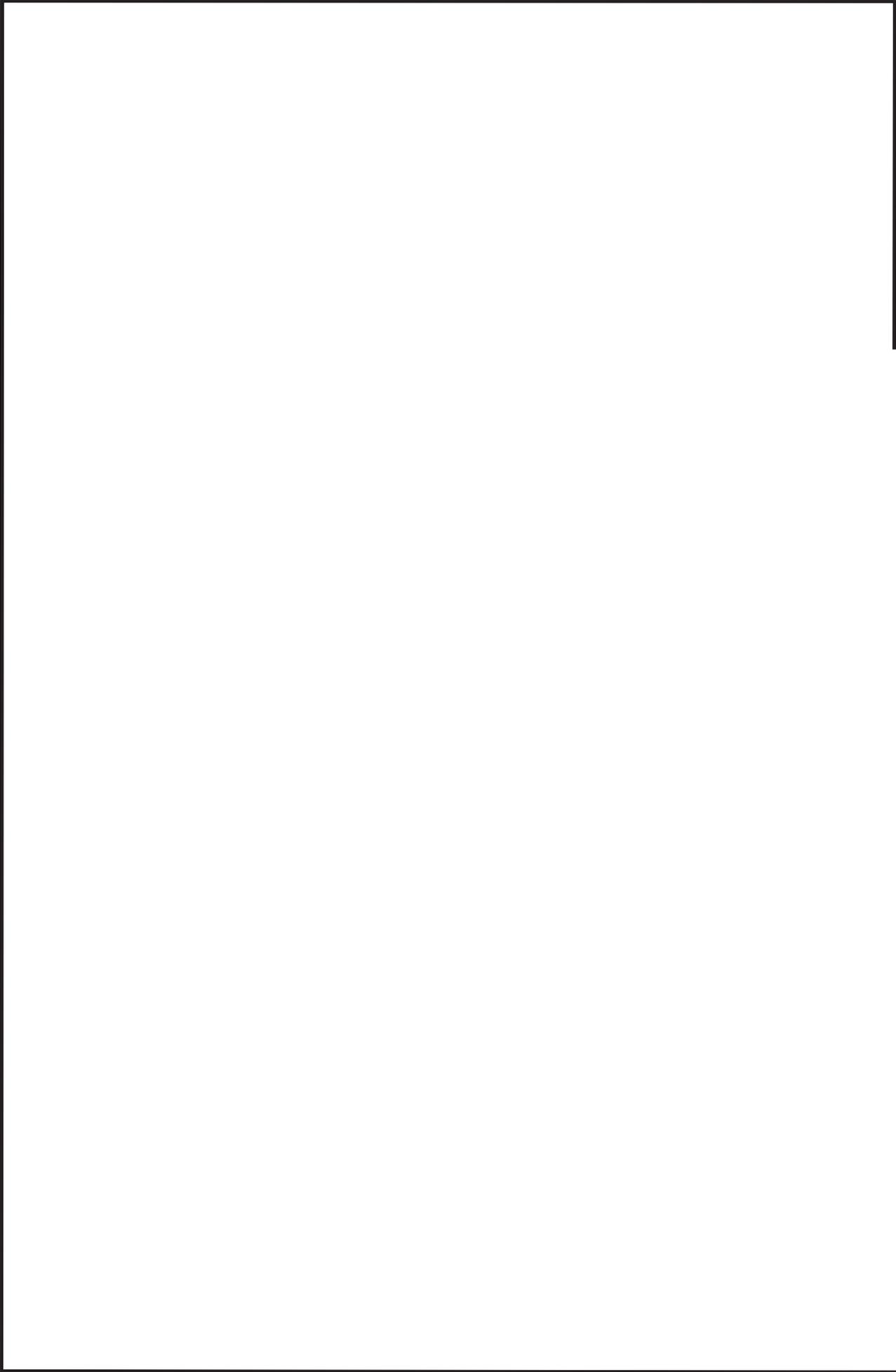
鳥瞰図 DGD0-B008<5/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B008<6/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



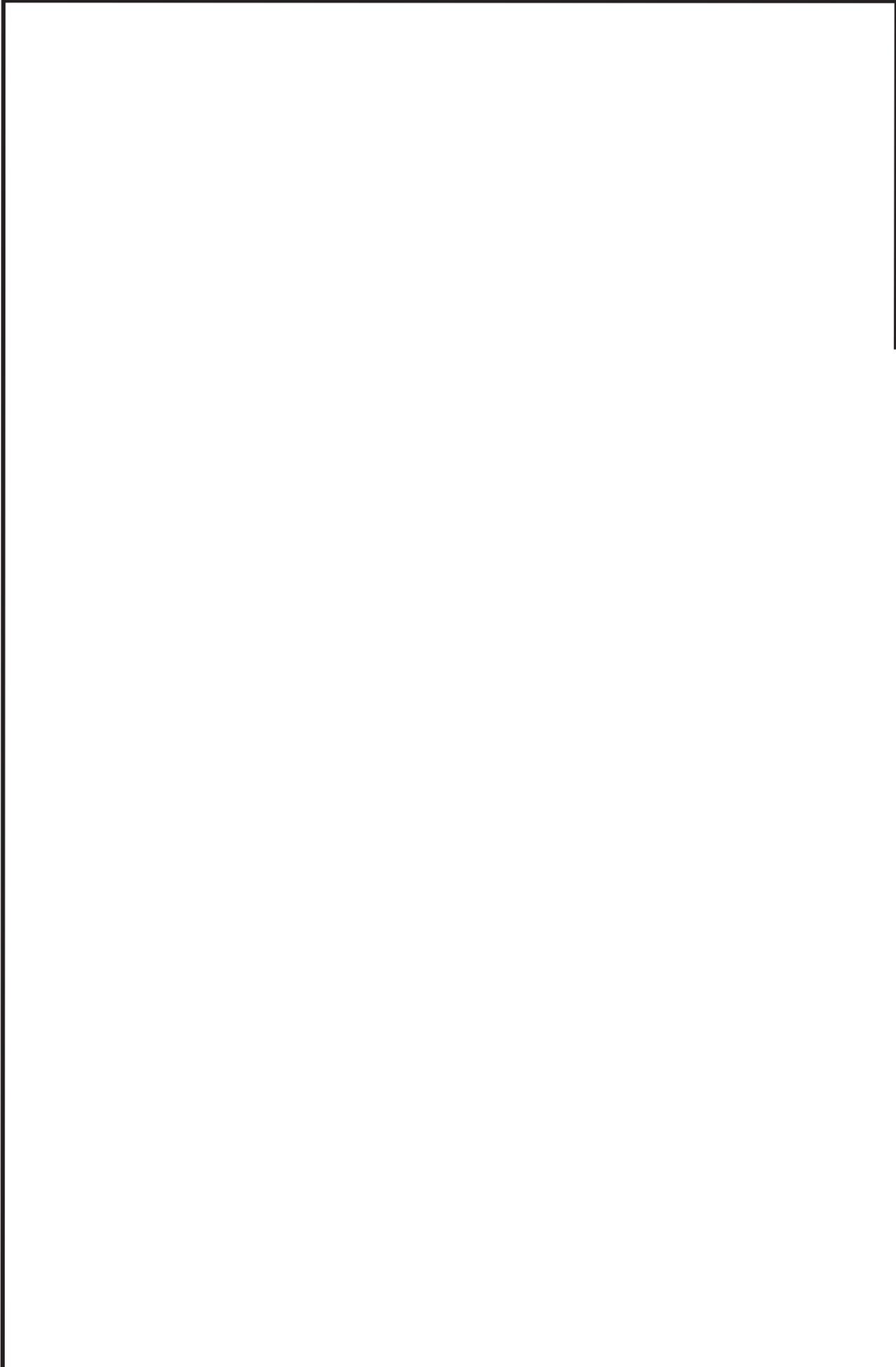
鳥瞰図 DGD0-B009<1/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



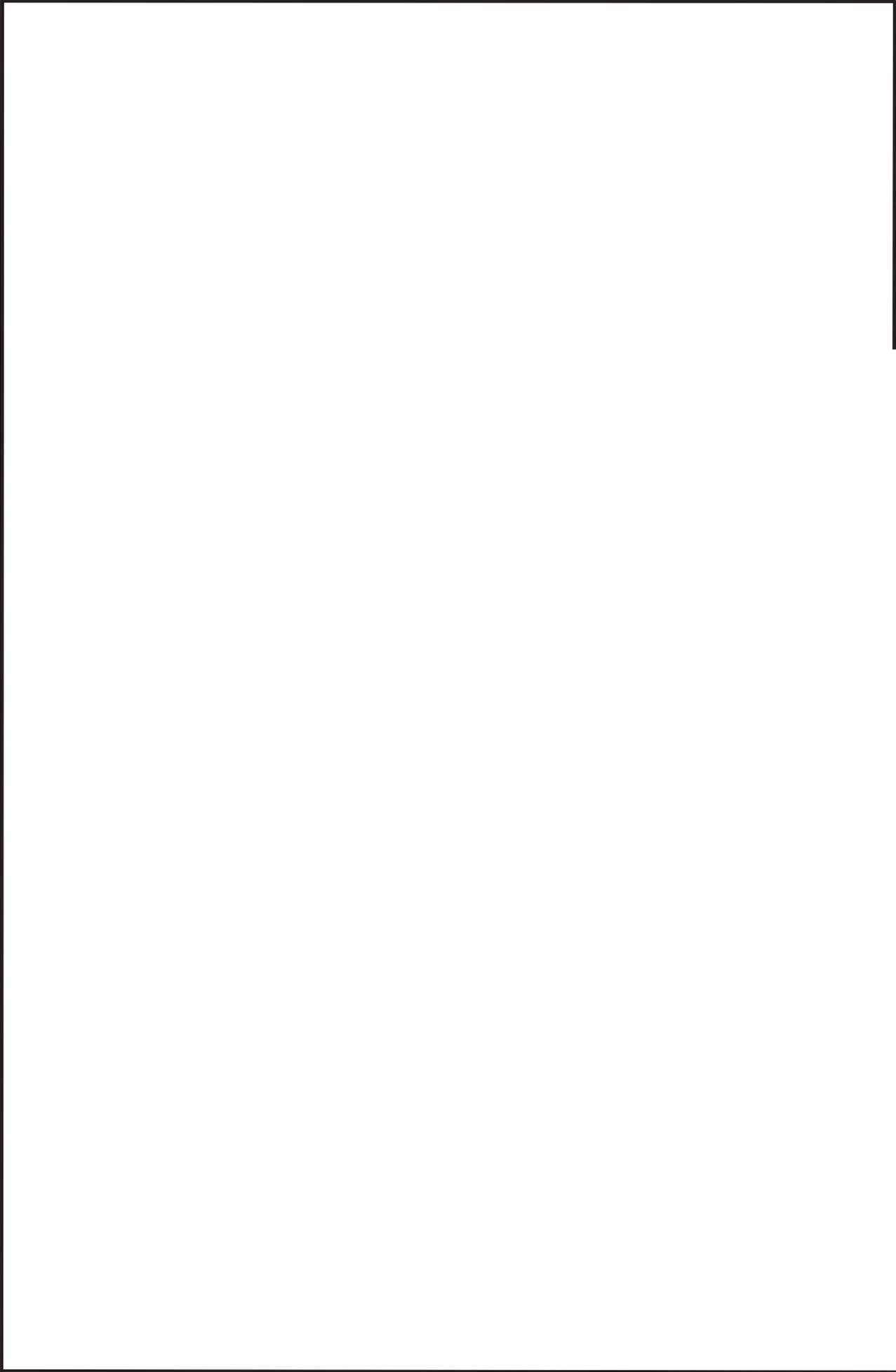
鳥瞰図 DGD0-B009<2/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B009<3/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B009<4/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備	DB	—	—*2	S	I <sub>L</sub> +S d	III <sub>AS</sub>
							II <sub>L</sub> +S d	
							I <sub>L</sub> +S s	
							II <sub>L</sub> +S s	

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：クラス2, 3管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 8

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図                    DGDO-B008

管名称	対応する評価点												
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
	131	132	133										

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 DGDO-B008

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		28		55		82		109	
2		29		56		83		110	
3		30		57		84		111	
4		31		58		85		112	
5		32		59		86		113	
6		33		60		87		114	
7		34		61		88		115	
8		35		62		89		116	
9		36		63		90		117	
10		37		64		91		118	
11		38		65		92		119	
12		39		66		93		120	
13		40		67		94		121	
14		41		68		95		122	
15		42		69		96		123	
16		43		70		97		124	
17		44		71		98		125	
18		45		72		99		126	
19		46		73		100		127	
20		47		74		101		128	
21		48		75		102		129	
22		49		76		103		130	
23		50		77		104		131	
24		51		78		105		132	
25		52		79		106		133	
26		53		80		107			
27		54		81		108			

O 2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B008

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
10						
12						
17						
22						
24						
28						
31						
35						
40						
44						
49						
53						
58						
60						
64						
66						
71						
75						
78						
80						
82						
84						
89						
93						
98						
102						
107						
111						

O2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B008

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
113						
115						
117						
119						
124						
129						
133						

O 2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (設) R 1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 9

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 9

管名称	対応する評価点												
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82									

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 DGDO-B009

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		18		35		52		69	
2		19		36		53		70	
3		20		37		54		71	
4		21		38		55		72	
5		22		39		56		73	
6		23		40		57		74	
7		24		41		58		75	
8		25		42		59		76	
9		26		43		60		77	
10		27		44		61		78	
11		28		45		62		79	
12		29		46		63		80	
13		30		47		64		81	
14		31		48		65		82	
15		32		49		66			
16		33		50		67			
17		34		51		68			

O2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (設) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B009

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
10						
14						
18						
21						
25						
31						
35						
38						
42						
47						
52						
57						
59						
62						
66						
69						
71						
74						
76						
82						

O 2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (設) R 0

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
STPT370	66	—	199	360	93

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数225回（S s）で実施する。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
DGDO-B008	軽油タンク室 連絡ダクト		
	原子炉建屋		

### 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
DGDO-B009	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価  
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 DGDO-B008

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
28 次							
29 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

\*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

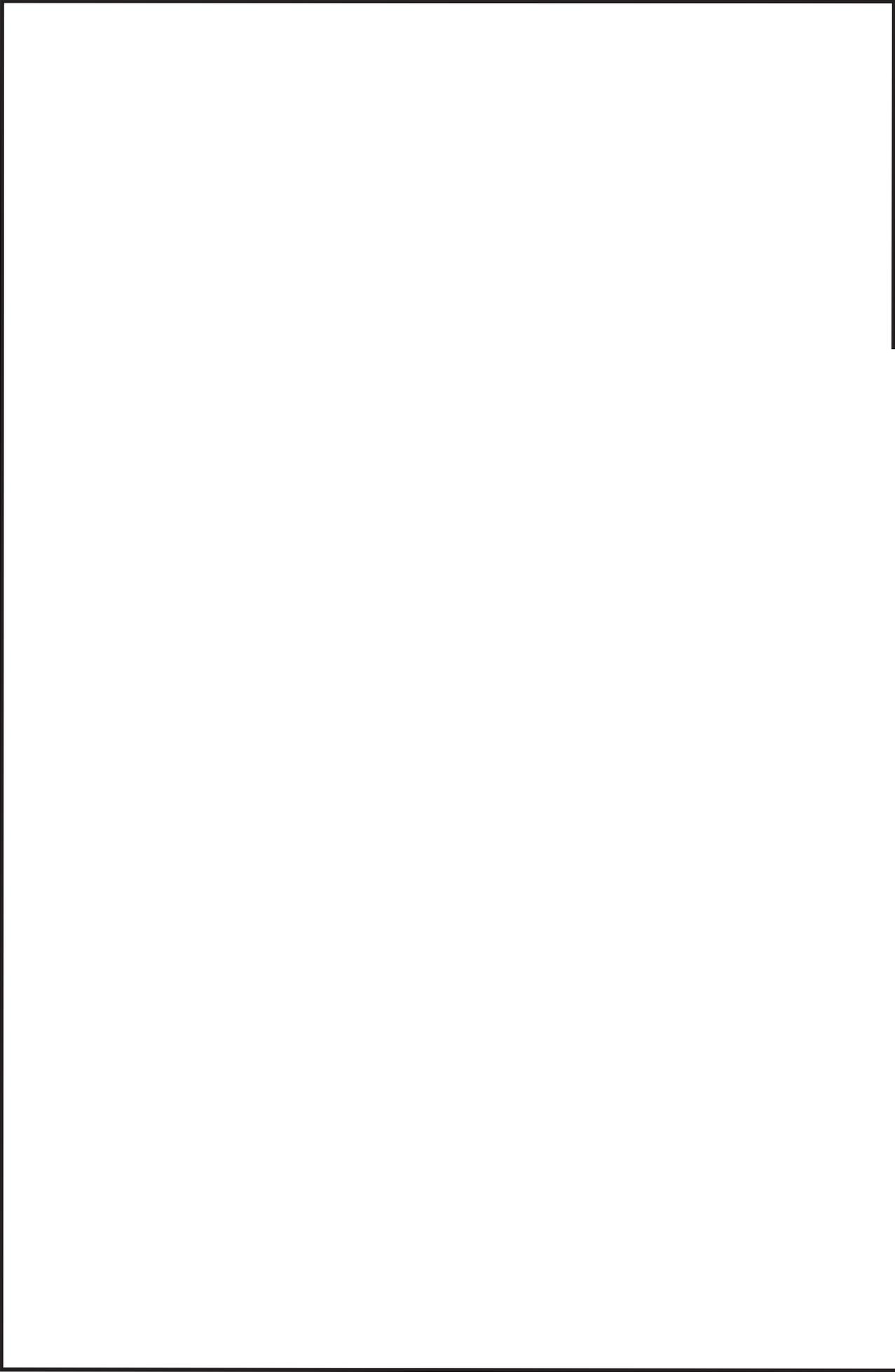
鳥瞰図 DGDO-B008

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
28次				

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。

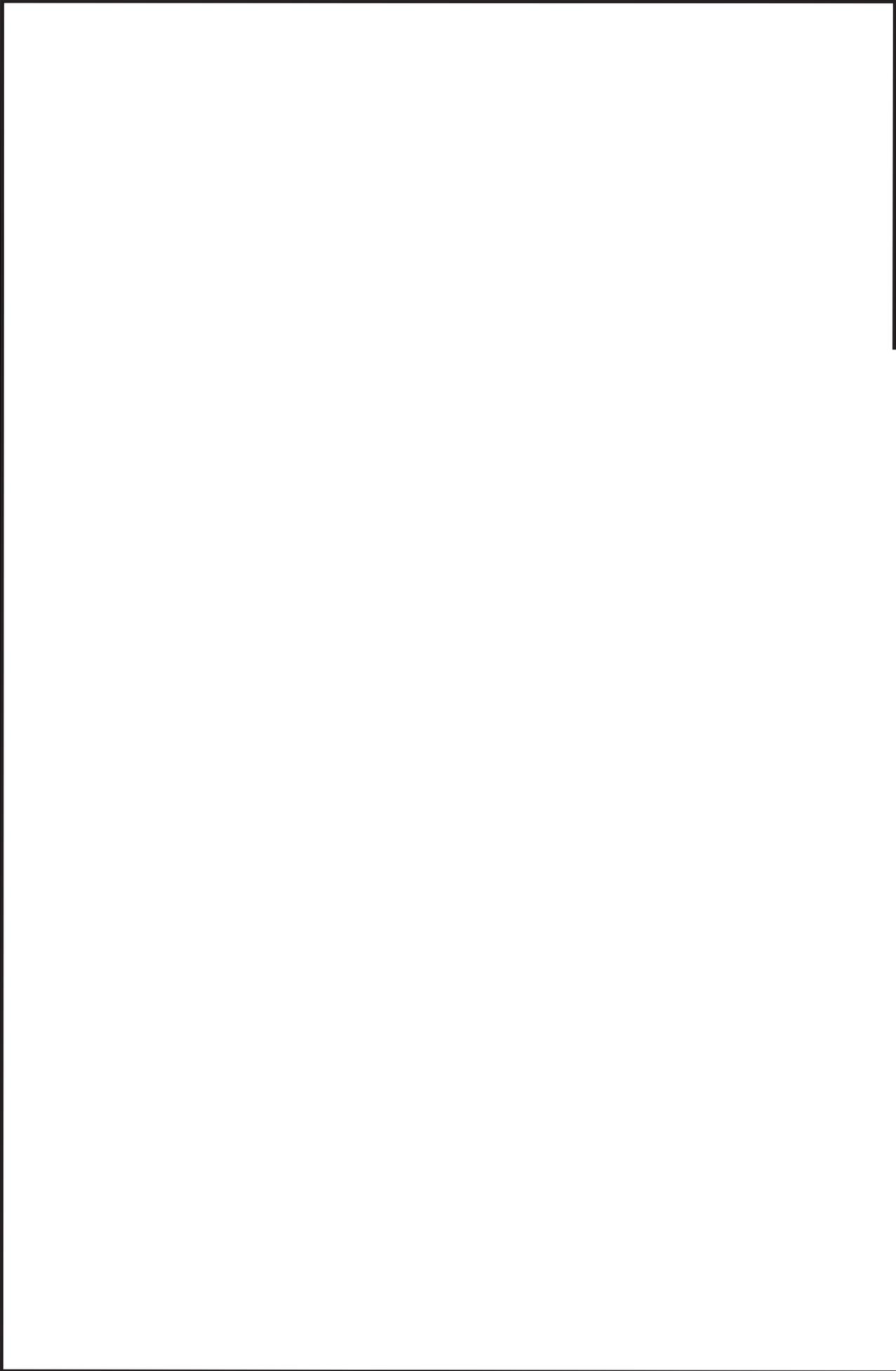
## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図 DGD0-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

DGDD-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

DGDD-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価  
固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DGDO-B009

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
16 次							
17 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

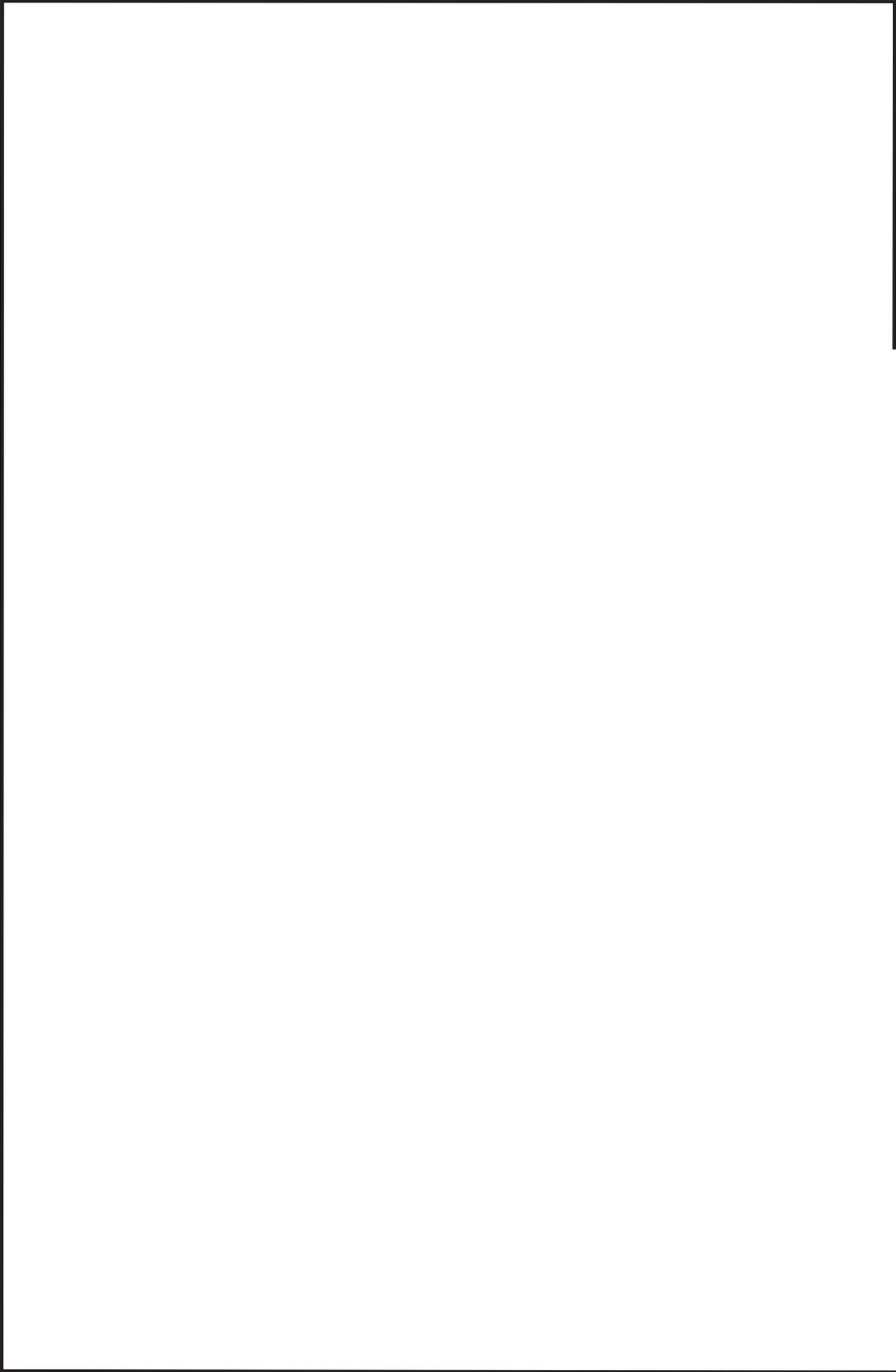
鳥瞰図 DGDO-B009

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
16次				

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。

## 代表的振動モード図

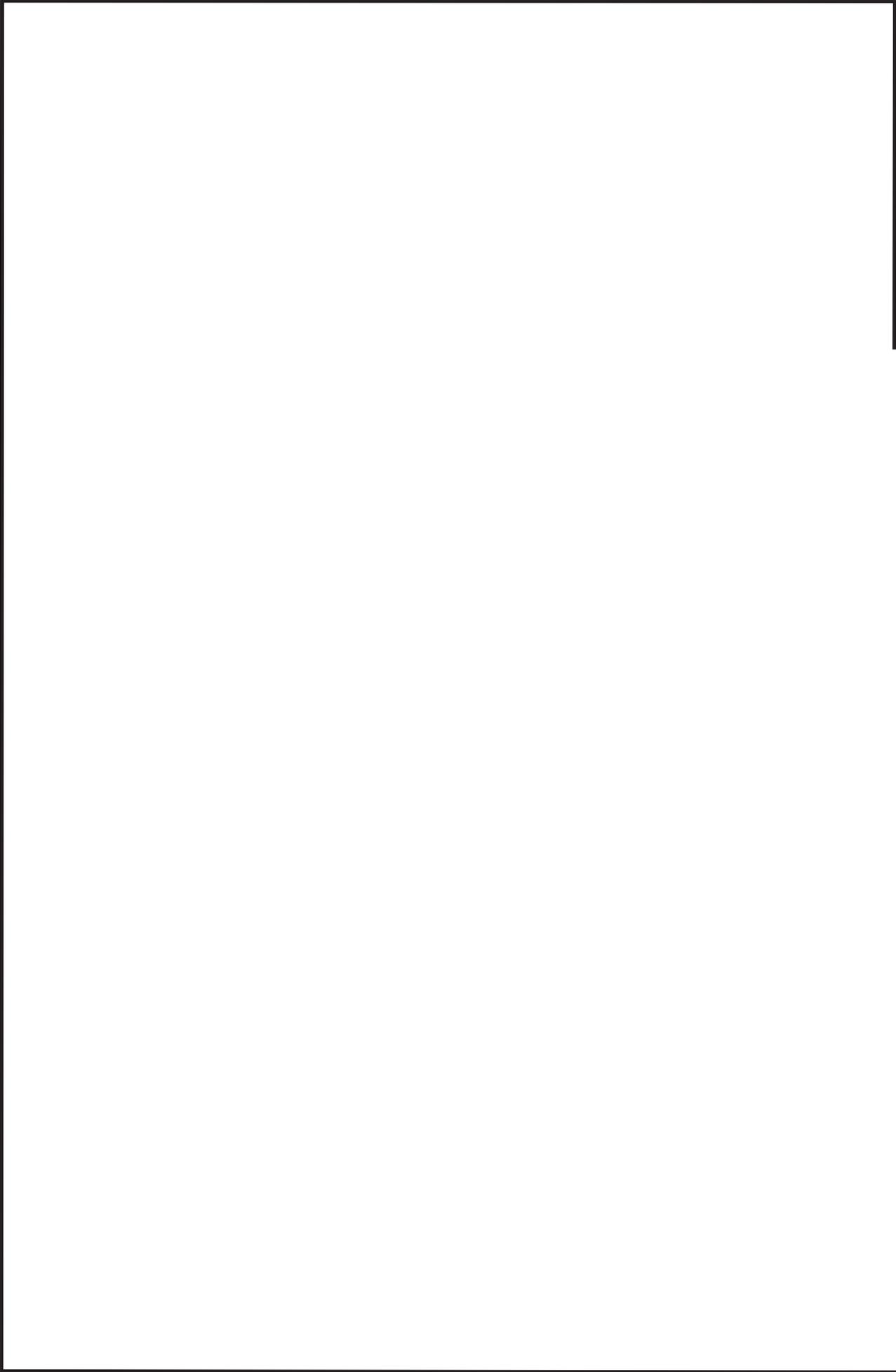
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図

DGDD-B009

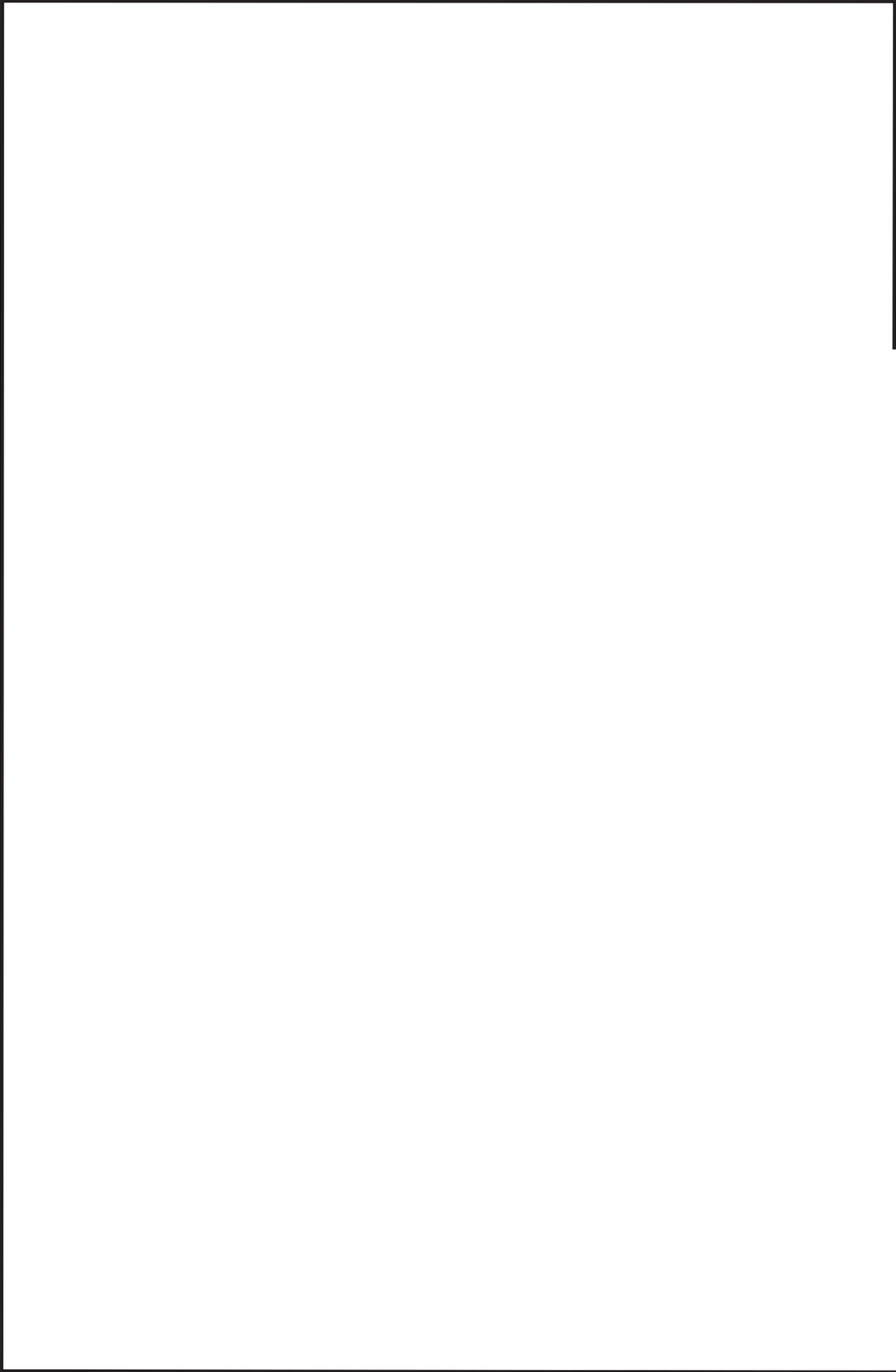
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

DGDD-B009

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B009

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U S d U S s
				計算応力 S p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 0.9 S u	計算応力 S n (S d) S n (S s)	許容応力 2 S y 2 S y	
D G D O - B 0 0 8	III <sub>A</sub> S	19	S p r m (S d)	61	199	—	—	—
	III <sub>A</sub> S	61	S n (S d)	—	—	228	398	—
	IV <sub>A</sub> S	19	S p r m (S s)	105	324	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	77	S n (S s)	—	—	439 *	398	0.3152

\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

注記 \*1：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 S y と 1.2・S h のうち大きいほうの値とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U S d U S s
				計算応力 S p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 0.9 S u	計算応力 S n (S d) S n (S s)	許容応力 2 S y 2 S y	
D G D O - B 0 0 9	III <sub>A</sub> S	47	S p r m (S d)	81	199	—	—	—
	III <sub>A</sub> S	47	S n (S d)	—	—	129	398	—
	IV <sub>A</sub> S	47	S p r m (S s)	125	324	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	47	S n (S s)	—	—	217	398	—

注記 \*1：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 S y と 1.2・S h のうち大きいほうの値とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
2T2C-014-01	レストレイント	ラグ	SM400B	66	2	2	11	—	—	—	組合せ	101	118
TH-006-01	アソカ	ラグ	SM400B	66	15	1	3	0	2	1	組合せ	101	129

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S												許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S										
		一次応力						一次応力						一次+二次応力*										
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	疲労係数	代表	
1	DGD0-A001	29	54	231	4.27	—	29	97	366	3.77	—	29	191	462	2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	DGD0-A002	12	30	231	7.70	—	12	39	366	9.38	—	12	47	462	9.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	DGD0-A003	12	30	231	7.70	—	12	39	366	9.38	—	12	47	462	9.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	DGD0-A004	12	19	231	12.15	—	12	23	366	15.91	—	36	35	398	11.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	DGD0-A005	65	32	199	6.21	—	65	48	324	6.75	—	190	386	462	1.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	DGD0-A006	6	6	199	33.16	—	6	6	324	54.00	—	6	2	398	199.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	DGD0-A007	1	5	199	39.80	—	1	5	324	64.80	—	1	2	398	199.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	DGD0-A008	83	65	199	3.06	—	83	115	324	2.81	—	83	223	398	1.78	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記\* : Ⅲ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はⅣ<sub>A</sub>Sと同様であることから、地震荷重が大きいⅣ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S												許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S											
		一次応力						一次応力						一次+二次応力*											
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表	
9	DGD0-A009	21	29	199	6.86	—	21	40	324	8.10	—	7	160	398	2.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	DGD0-A010	34	66	199	3.01	—	34	115	324	2.81	—	76	285	398	1.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	DGD0-A011	13	24	199	8.29	—	13	35	324	9.25	—	12	88	398	4.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	DGD0-B001	1	24	231	9.62	—	1	33	366	11.09	—	1	46	462	10.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	DGD0-B002	1	25	231	9.24	—	1	34	366	10.76	—	1	49	462	9.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	DGD0-B003	1	24	231	9.62	—	31	35	366	10.45	—	31	62	462	7.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	DGD0-B004	40	17	199	11.70	—	40	22	324	14.72	—	40	39	398	10.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	DGD0-B005	6	6	199	33.16	—	6	6	324	54.00	—	6	2	398	199.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	DGD0-B006	1	5	199	39.80	—	1	5	324	64.80	—	1	2	398	199.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記\* : Ⅲ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はⅣ<sub>A</sub>Sと同様であることから, 地震荷重が大きいⅣ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S																
		許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S						許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S*										
		一次応力			一次応力			一次応力			一次+二次応力*			疲労評価				
評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労係数	代表	
18	DGD0-B007	1	45	199	4.42	—	1	68	324	4.76	—	9	142	398	2.80	—	—	—
19	DGD0-B008	19	61	199	3.26	—	19	105	324	3.08	—	77	439	398	0.90	○	0.4011	○
20	DGD0-B009	47	81	199	2.45	○	47	125	324	2.59	○	47	217	398	1.83	—	—	—
21	DGD0-B010	18	32	199	6.21	—	18	43	324	7.53	—	18	79	398	5.03	—	—	—

注記\* : Ⅲ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はⅣ<sub>A</sub>Sと同様であることから, 地震荷重が大きいⅣ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力評価条件	29
3.5 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	32
4.1 固有周期及び設計震度	32
4.2 評価結果	44
4.2.1 管の応力評価結果	44
4.2.2 支持構造物評価結果	46
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	47
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	48

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、非常用ディーゼル発電設備の管、支持構造物及び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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位の記載する。また、全21モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

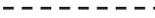
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

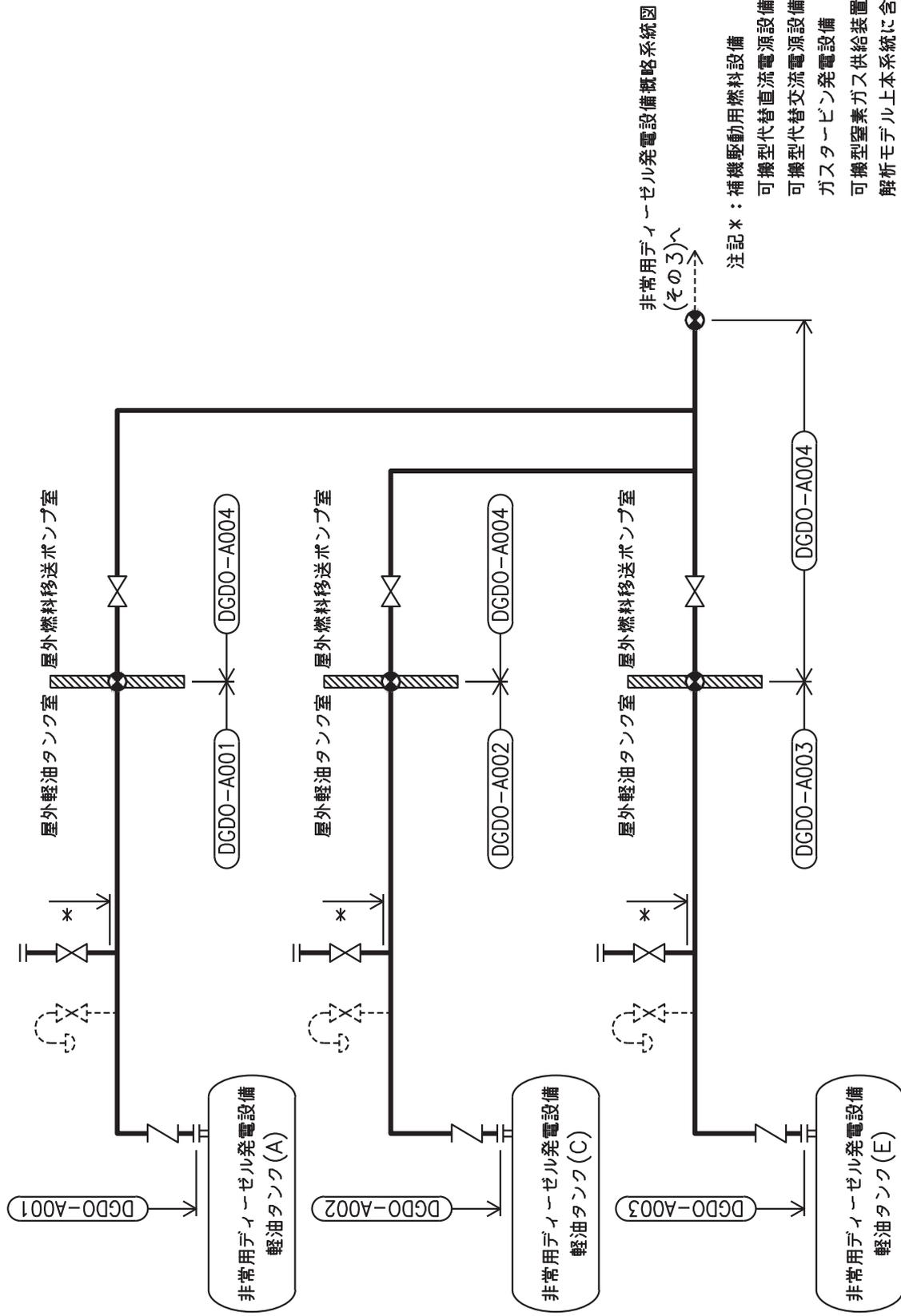
### (3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

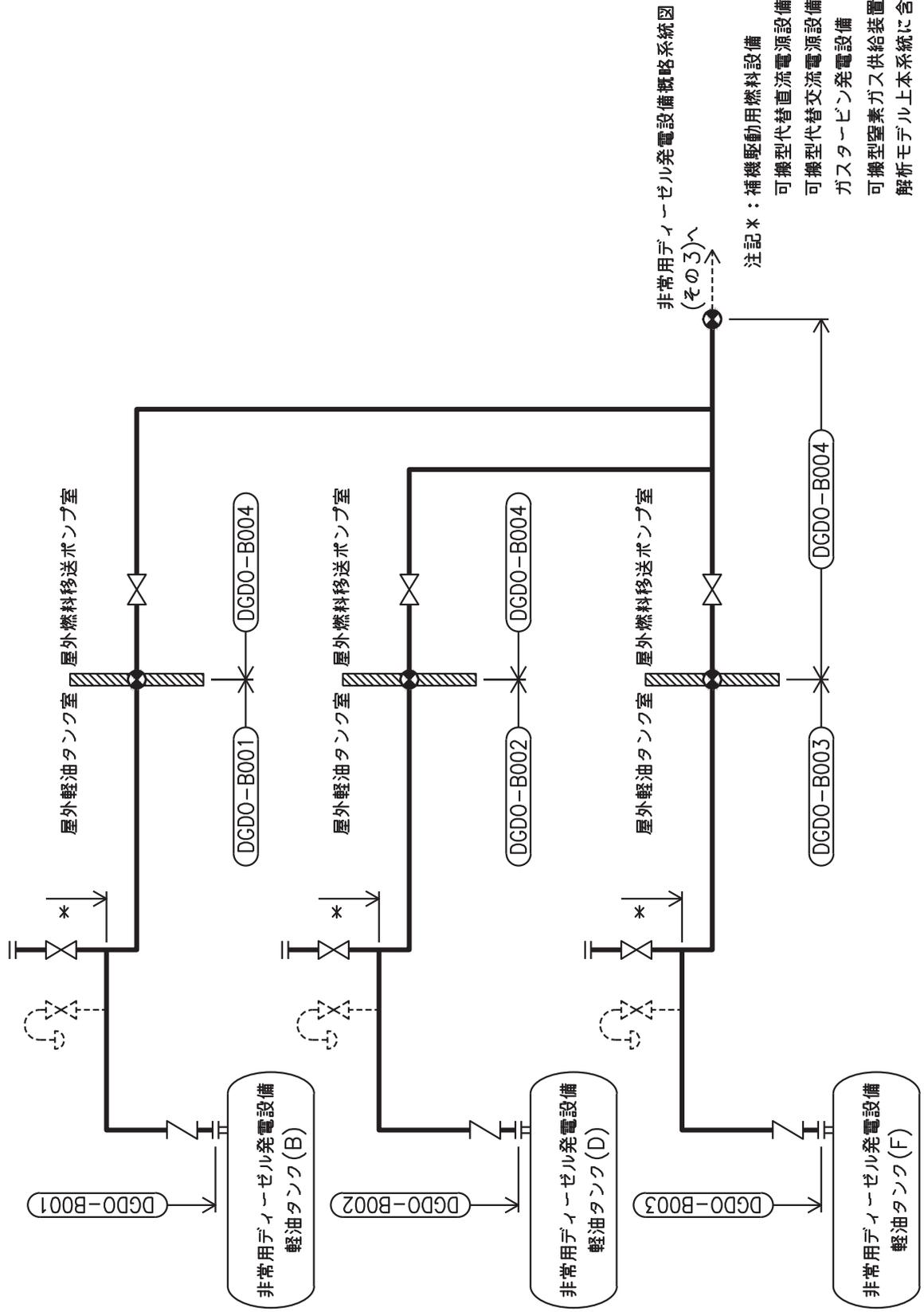
2. 概略系統図及び鳥瞰図  
 2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

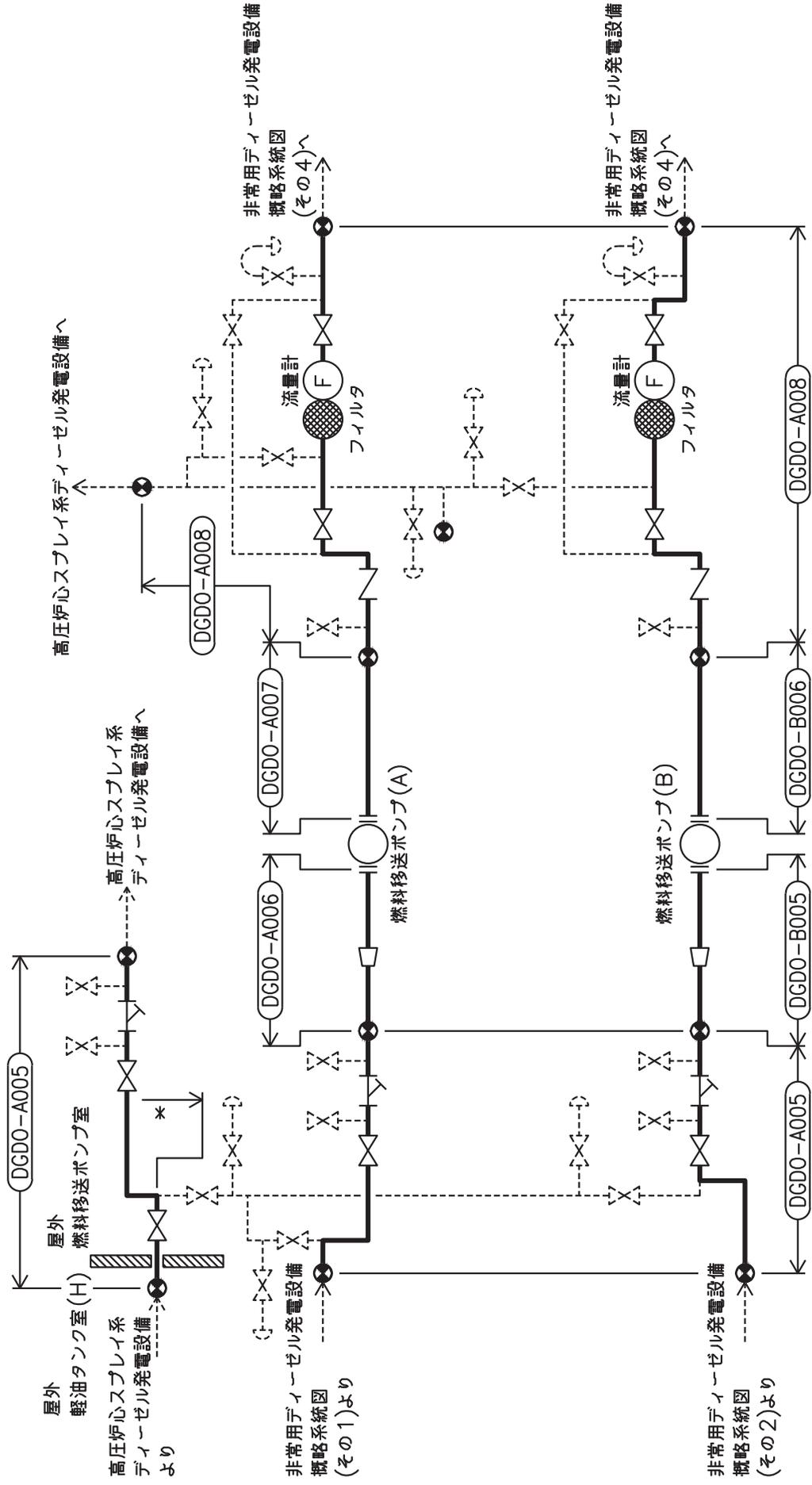
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



非常用ディーゼル発電設備概略系統図(その1)

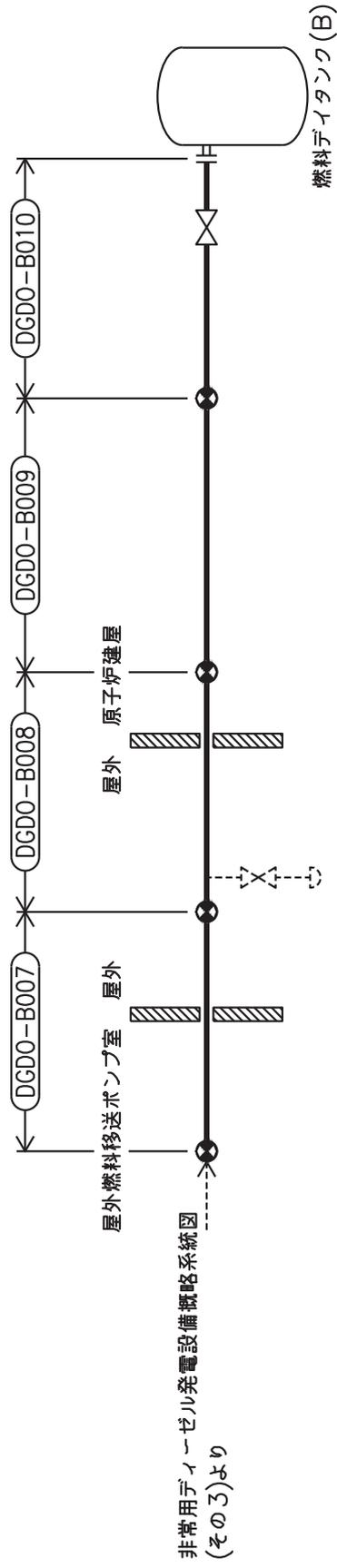
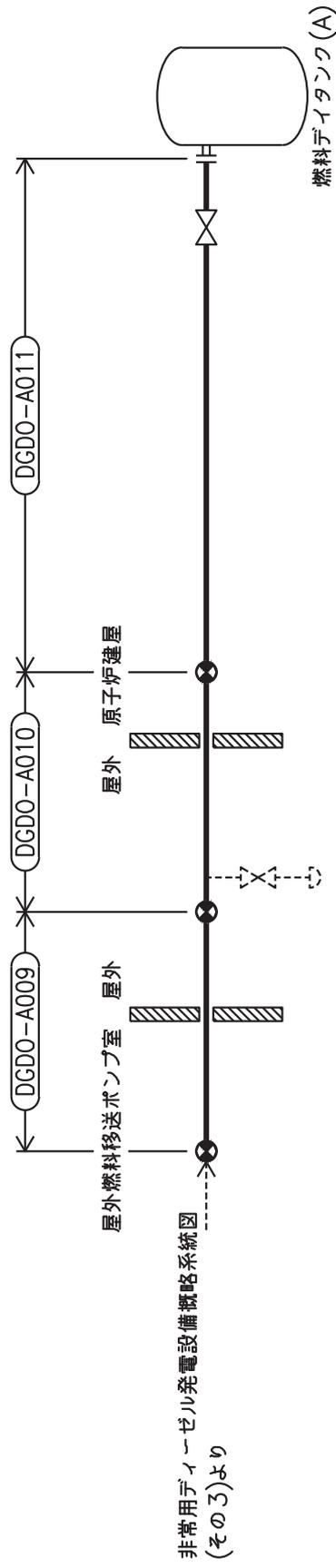


非常用ディーゼル発電設備概略系統図(その2)



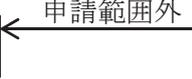
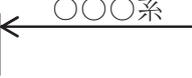
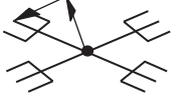
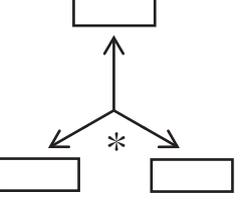
注記\*：高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備  
解析モデル上本系統に含める

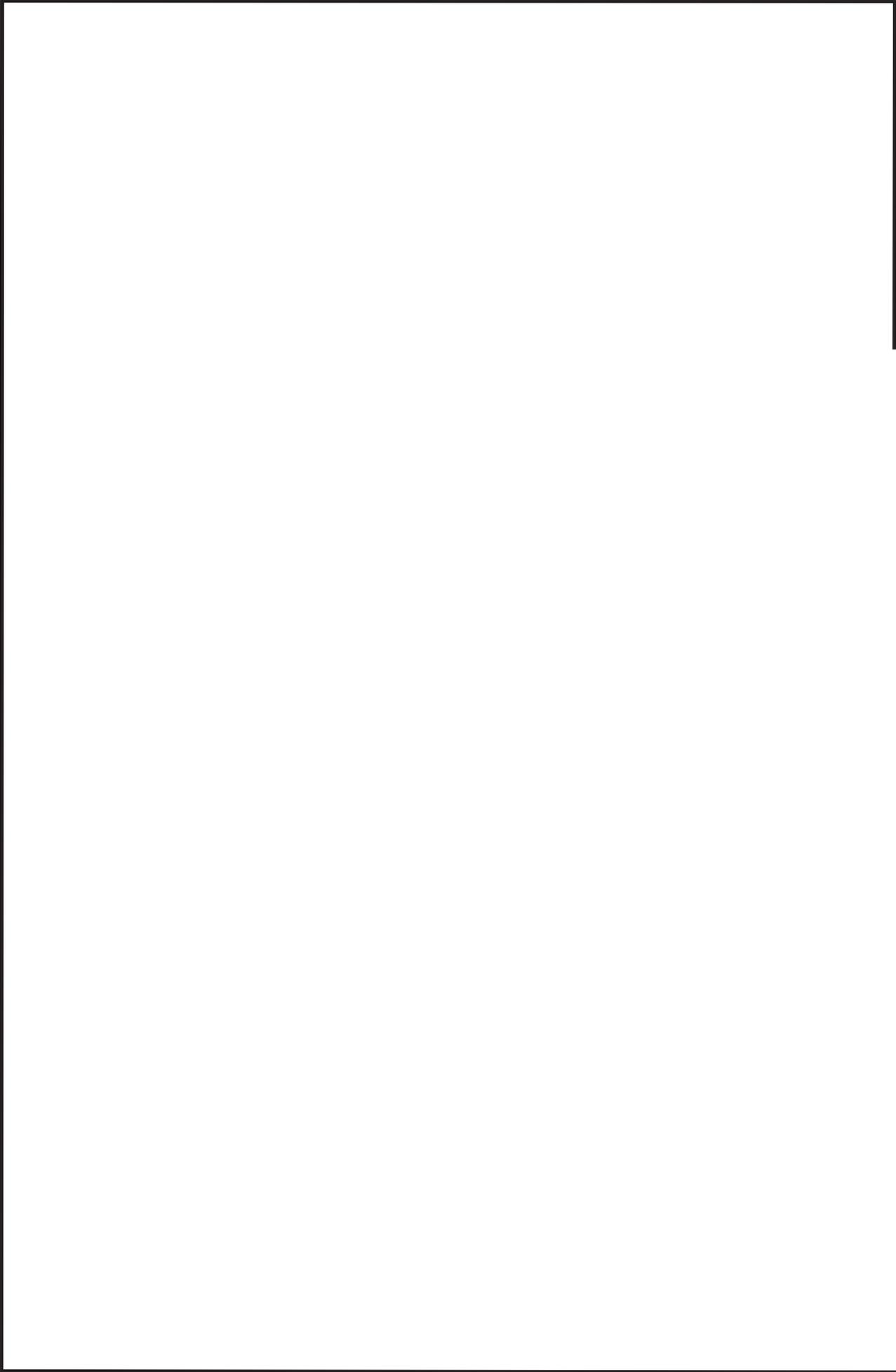
非常用ディーゼル発電設備概略系統図(その3)



2.2 鳥瞰図

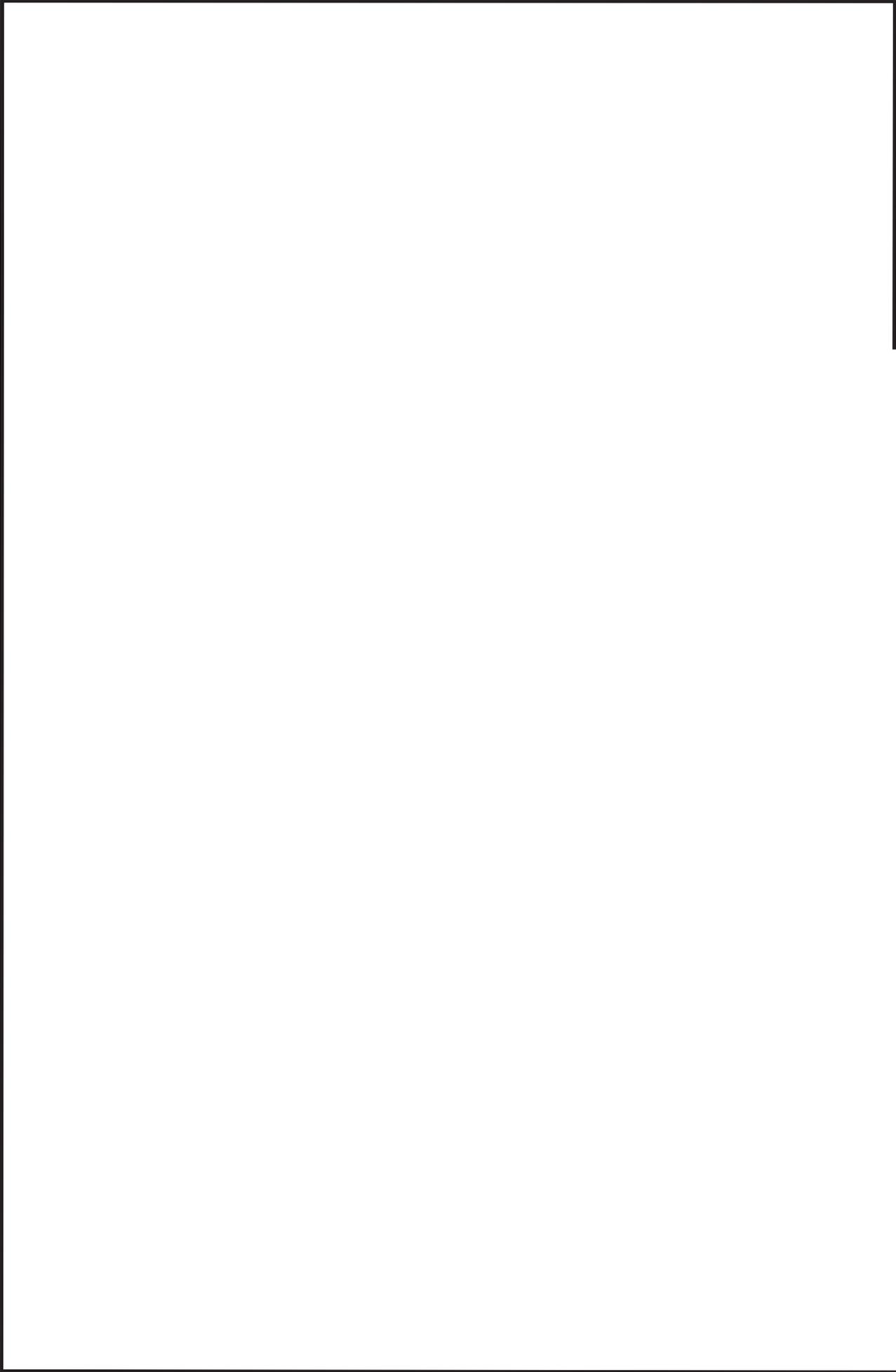
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に 変位量を記載する。)</p>



鳥瞰図 DGD0-B008<1/6>

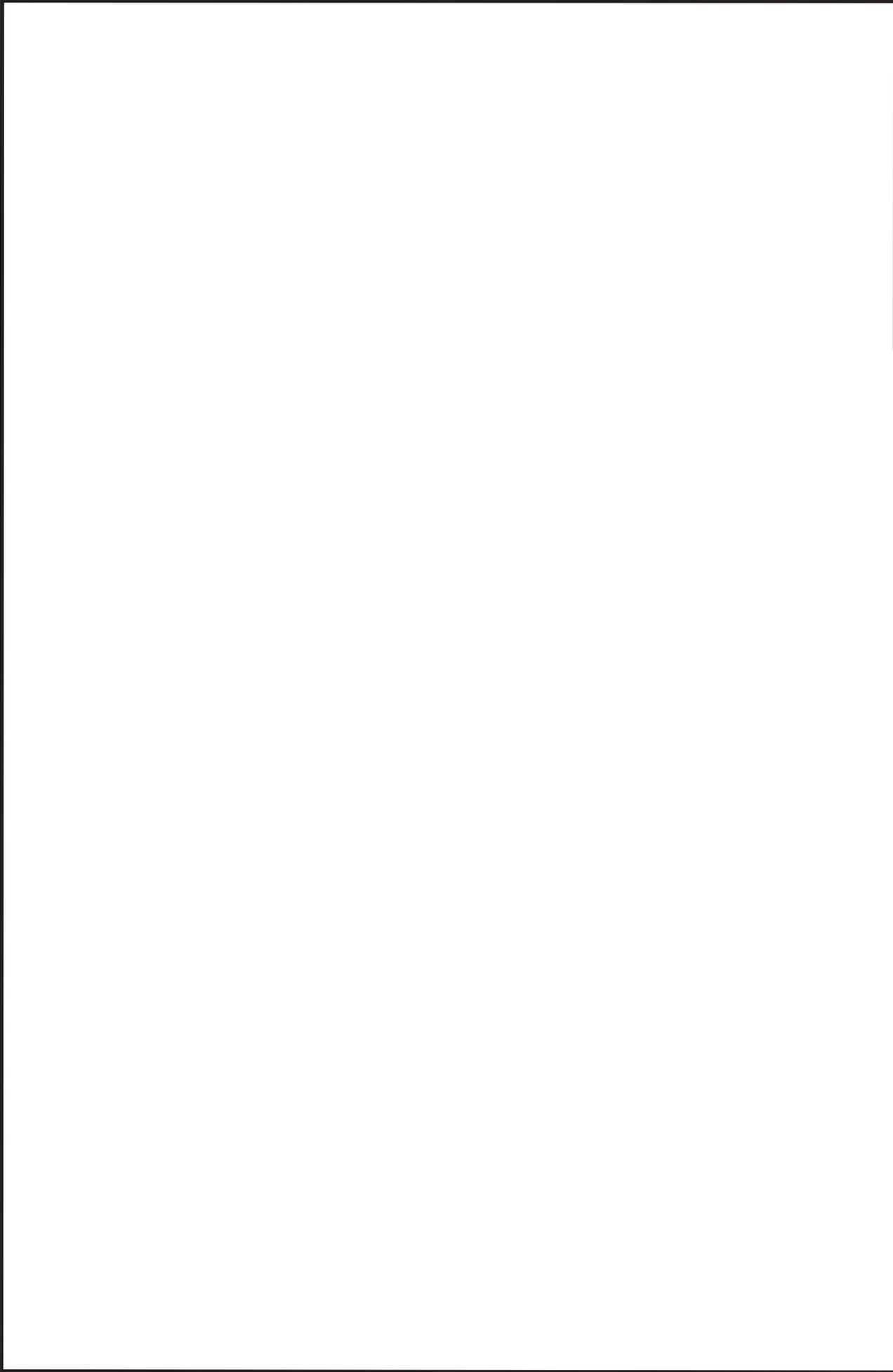
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

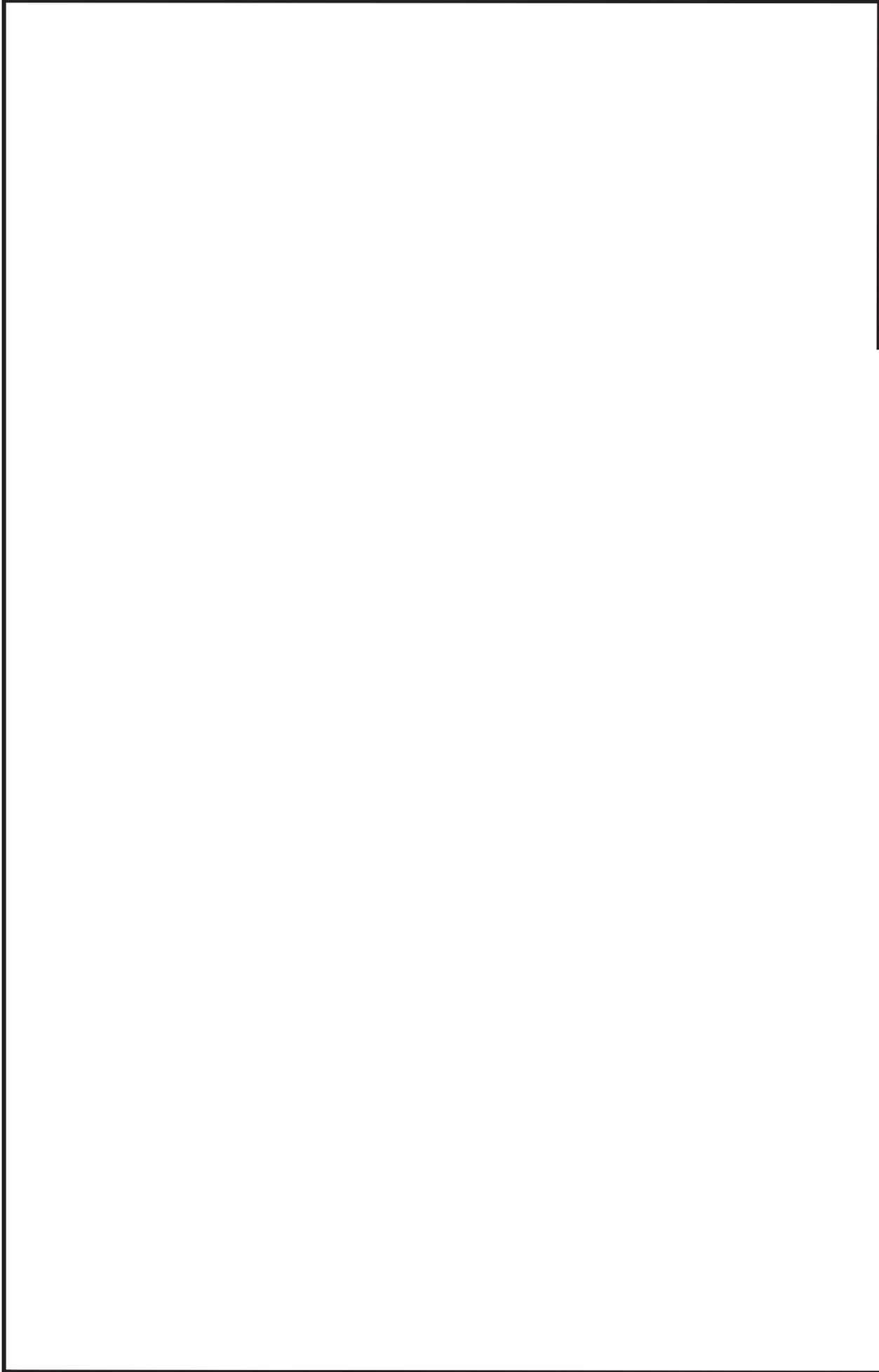
DGDD-B008<2/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



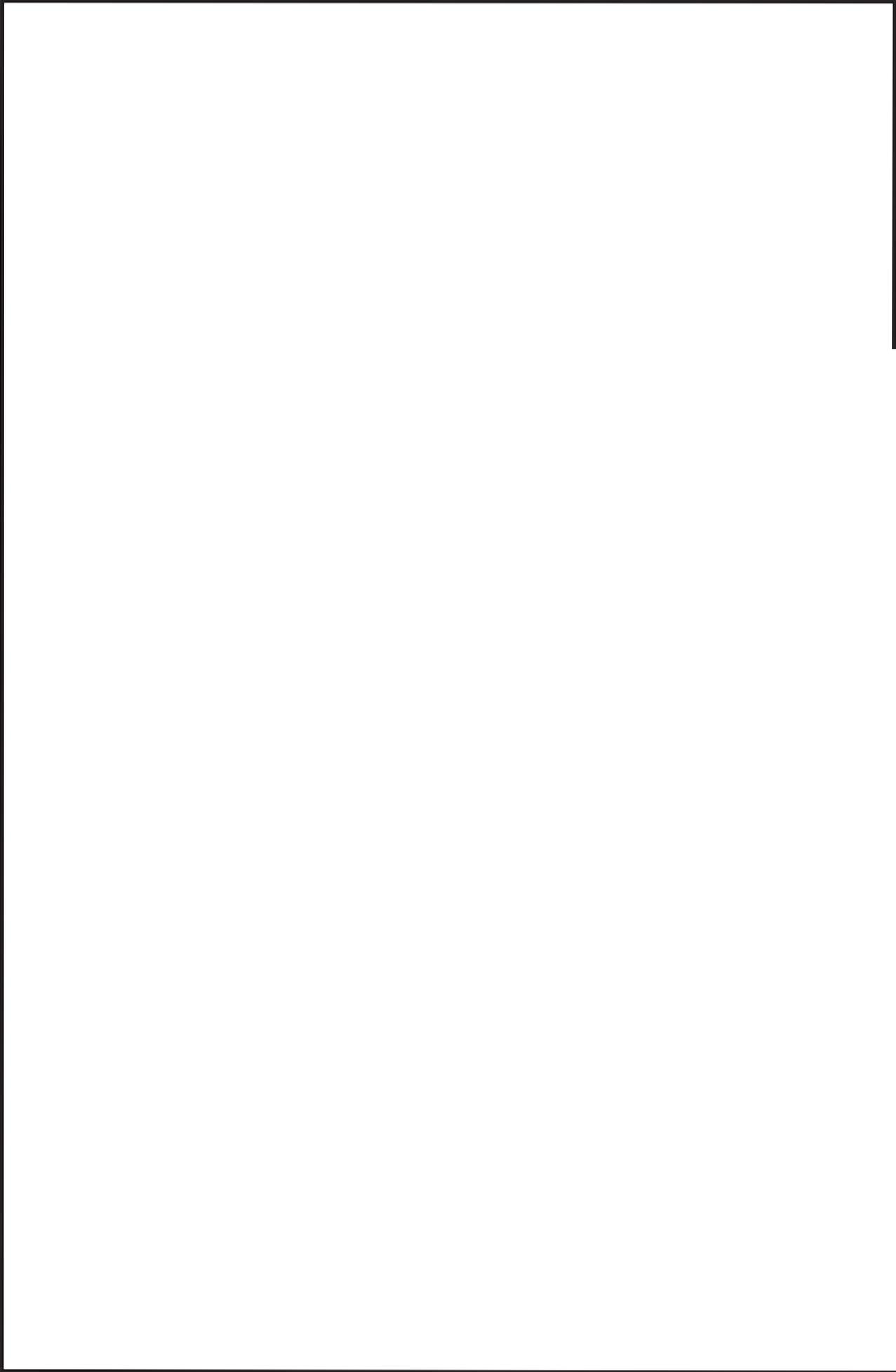
鳥瞰図 DGD0-B008<3/6>

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。



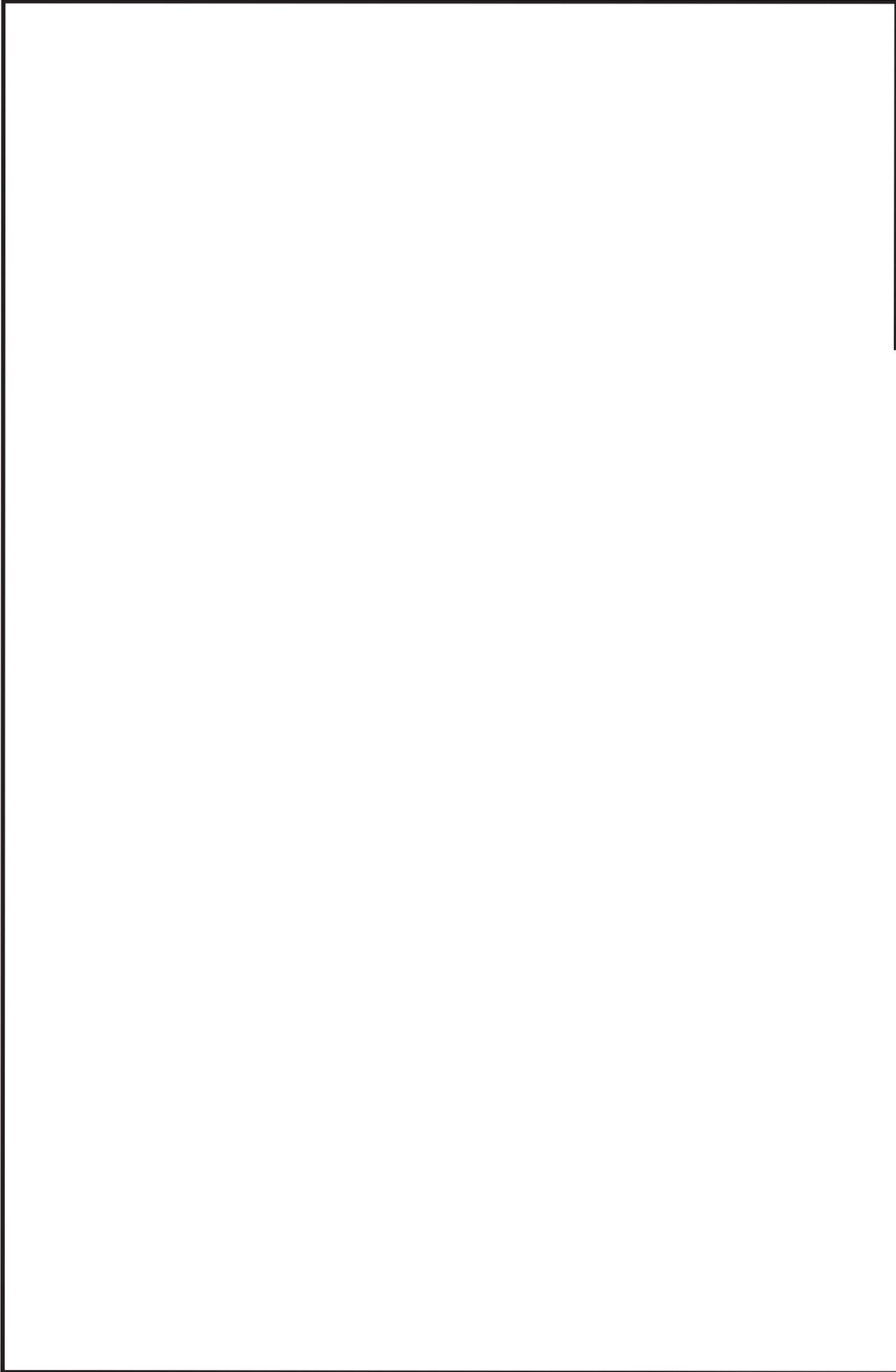
鳥瞰図 DGD0-B008<4/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



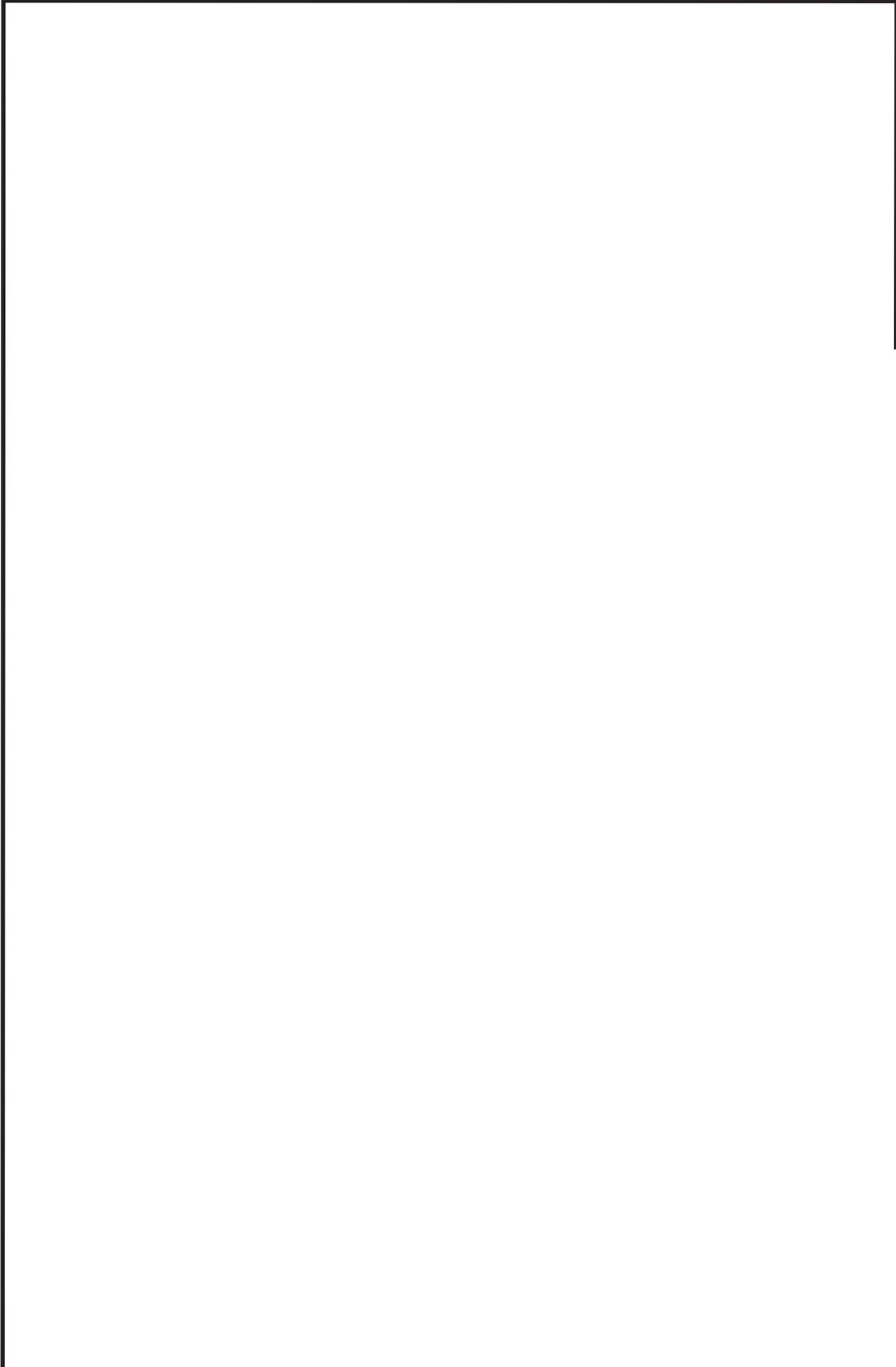
鳥瞰図 DGD0-B008<5/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



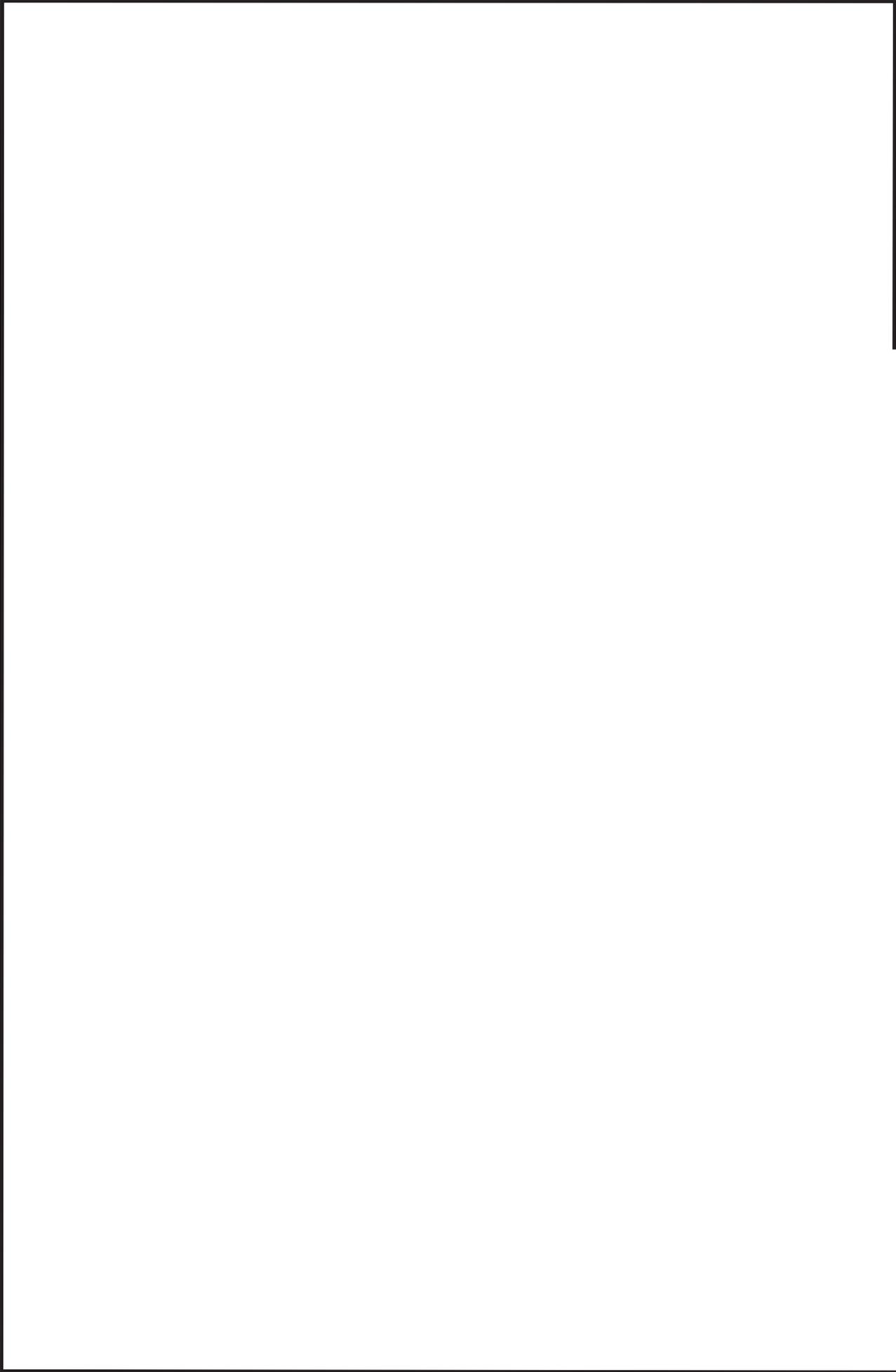
鳥瞰図 DGD0-B008<6/6>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



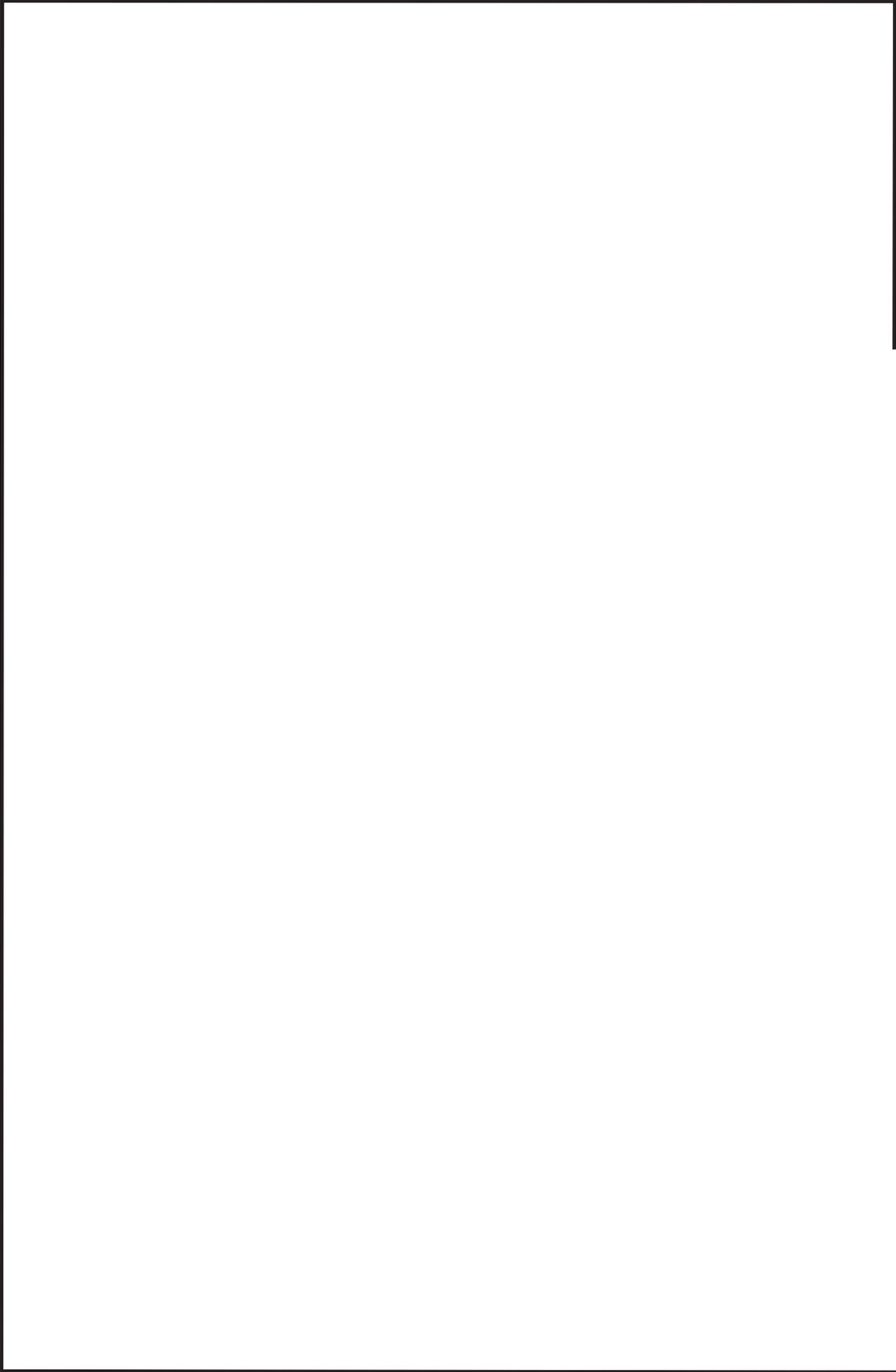
鳥瞰図 DGD0-B009<1/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



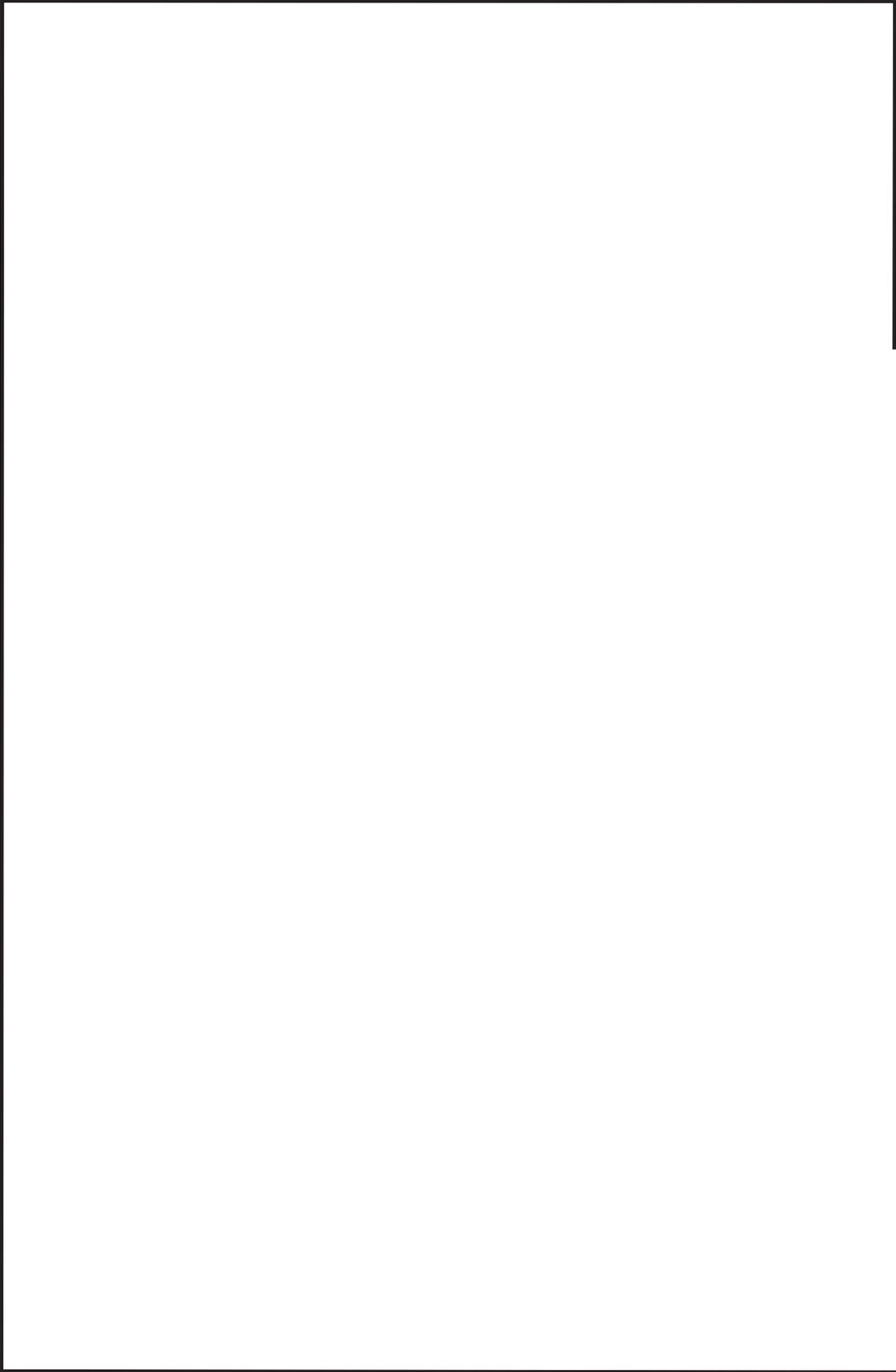
鳥瞰図 DGD0-B009<2/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B009<3/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B009<4/4>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*4,*5	許容応力状態*6
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備	SA	常設耐震/防止 常設/緩和 常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	—*3	—	V <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	V <sub>AS</sub>

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)，「常設/緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*3：重大事故等クラス2管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

\*4：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*5：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*6：許容応力状態V<sub>AS</sub>は許容応力状態IV<sub>AS</sub>の許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>AS</sub>として評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 8

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 8

管名称	対応する評価点												
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
	131	132	133										

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 DGDO-B008

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		28		55		82		109	
2		29		56		83		110	
3		30		57		84		111	
4		31		58		85		112	
5		32		59		86		113	
6		33		60		87		114	
7		34		61		88		115	
8		35		62		89		116	
9		36		63		90		117	
10		37		64		91		118	
11		38		65		92		119	
12		39		66		93		120	
13		40		67		94		121	
14		41		68		95		122	
15		42		69		96		123	
16		43		70		97		124	
17		44		71		98		125	
18		45		72		99		126	
19		46		73		100		127	
20		47		74		101		128	
21		48		75		102		129	
22		49		76		103		130	
23		50		77		104		131	
24		51		78		105		132	
25		52		79		106		133	
26		53		80		107			
27		54		81		108			

O2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B008

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
10						
12						
17						
22						
24						
28						
31						
35						
40						
44						
49						
53						
58						
60						
64						
66						
71						
75						
78						
80						
82						
84						
89						
93						
98						
102						
107						
111						

O 2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B008

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
113						
115						
117						
119						
124						
129						
133						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図                    D G D O - B 0 0 9

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図                    DGDO-B009

管名称	対応する評価点												
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82									

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 DGDO-B009

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1		18		35		52		69	
2		19		36		53		70	
3		20		37		54		71	
4		21		38		55		72	
5		22		39		56		73	
6		23		40		57		74	
7		24		41		58		75	
8		25		42		59		76	
9		26		43		60		77	
10		27		44		61		78	
11		28		45		62		79	
12		29		46		63		80	
13		30		47		64		81	
14		31		48		65		82	
15		32		49		66			
16		33		50		67			
17		34		51		68			

O2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            DGDO-B009

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
10						
14						
18						
21						
25						
31						
35						
38						
42						
47						
52						
57						
59						
62						
66						
69						
71						
74						
76						
82						

O 2 ⑥ VI-2-10-1-2-1-6 (重) R 0

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
STPT370	66	—	199	360	93

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数225回（S s）で実施する。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
DGDO-B008	軽油タンク室 連絡ダクト		
	原子炉建屋		

### 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
DGDO-B009	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価  
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 DGDO-B008

適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向		
1 次									
2 次									
3 次									
4 次									
5 次									
6 次									
7 次									
8 次									
28 次									
29 次*2									
動的震度*3									
静的震度*4									

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

\*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 DGDO-B008

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
28次				

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。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



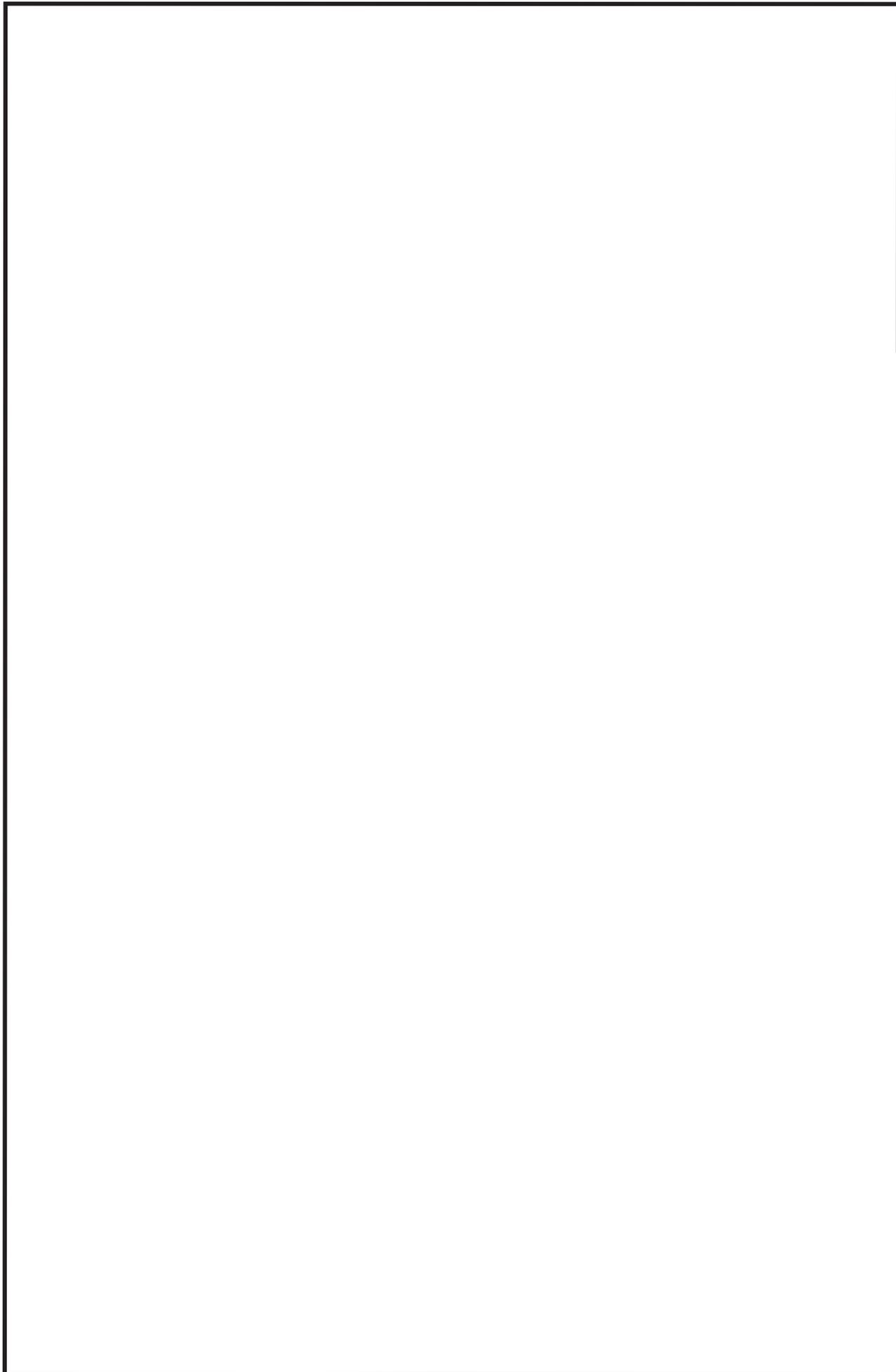
鳥瞰図 DGD0-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 DGD0-B008

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価  
固有周期及び設計震度

鳥瞰図 DGDO-B009

モード	適用する地震動等 固有周期 (s)	S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
16 次							
17 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記\*1：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。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>1</sub>及び1.2C<sub>v</sub>より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

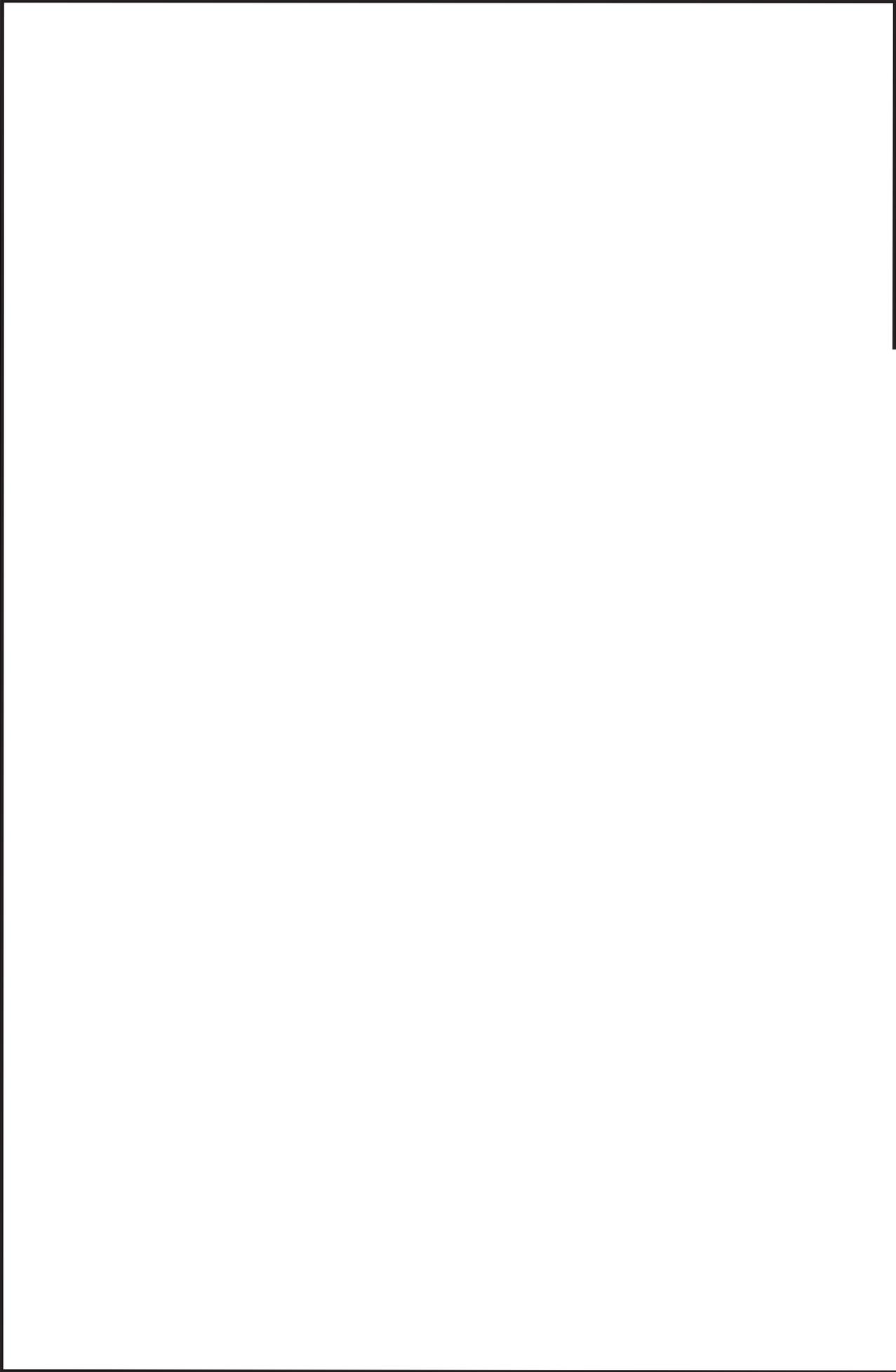
鳥瞰図 DGDO-B009

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
16次				

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。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図

DGDD-B009

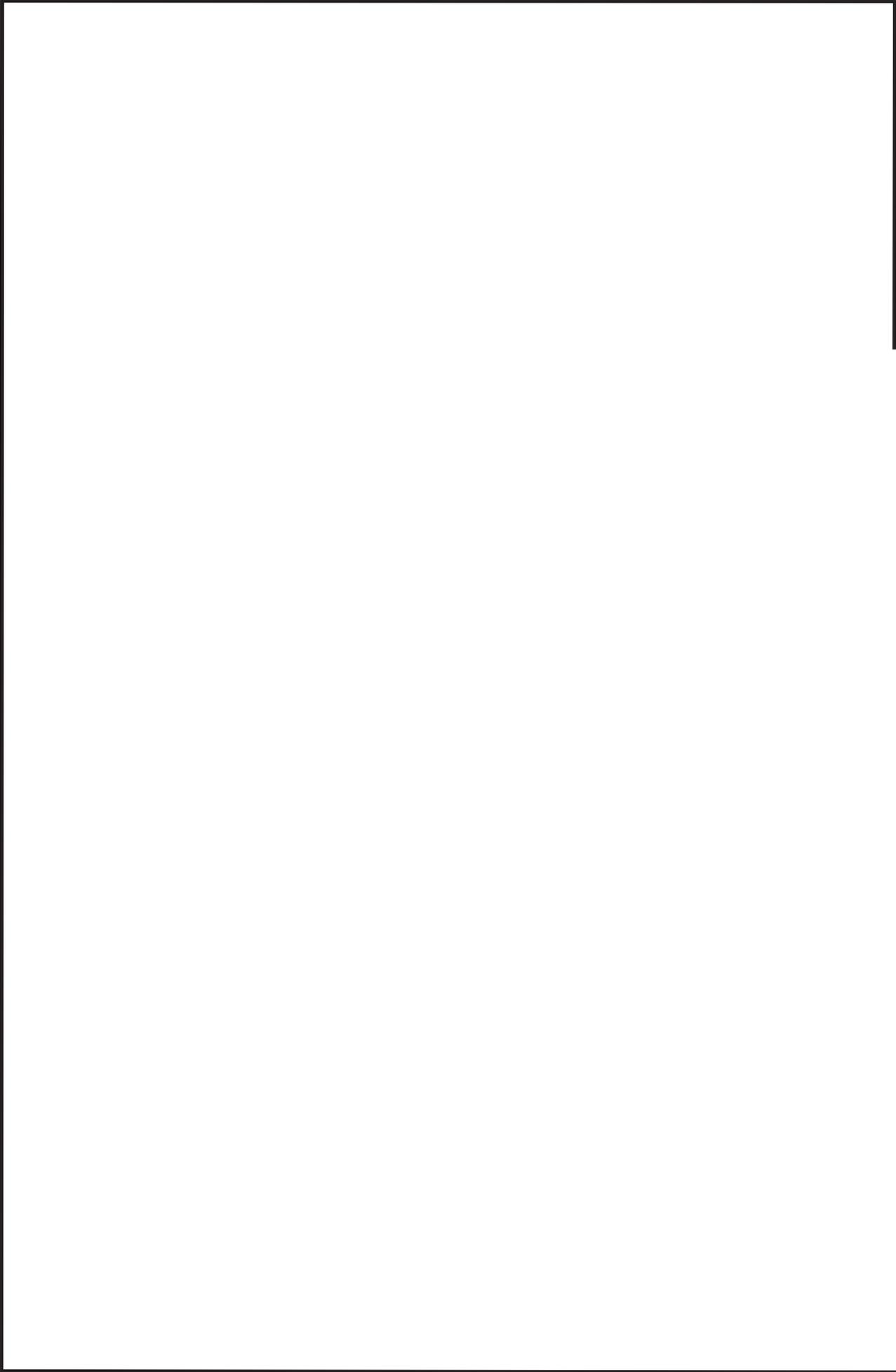
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

DGDD-B009

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

DGDD-B009

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0.9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 S y	
D G D O - B 0 0 8	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	19 77	S p r m ( S s ) S n ( S s )	105 —	324 —	— 439 *	— 398	— 0.3152

\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0.9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 S y	
D G D O - B 0 0 9	V <sub>A</sub> S V <sub>A</sub> S	47 47	S p r m ( S s ) S n ( S s )	125 —	324 —	— 217	— 398	— —

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
2T2C-014-01	レストレイント	ラグ	SM400B	66	2	2	11	—	—	—	組合せ	101	118
TH-006-01	アソカ	ラグ	SM400B	66	15	1	3	0	2	1	組合せ	101	129

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態 V <sub>A</sub> S												
		一次応力				一次+二次応力				疲労評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	DGD0-A001	29	97	366	3.77	—	29	191	462	2.41	—	—	—	—
2	DGD0-A002	46	85	366	4.30	—	46	167	462	2.76	—	—	—	—
3	DGD0-A003	40	64	366	5.71	—	40	116	462	3.98	—	—	—	—
4	DGD0-A004	12	23	366	15.91	—	36	35	398	11.37	—	—	—	—
5	DGD0-A005	65	48	324	6.75	—	190	386	462	1.19	—	—	—	—
6	DGD0-A006	6	6	324	54.00	—	6	2	398	199.00	—	—	—	—
7	DGD0-A007	1	5	324	64.80	—	1	2	398	199.00	—	—	—	—
8	DGD0-A008	83	115	324	2.81	—	83	223	398	1.78	—	—	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態V <sub>A</sub> S													
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価	
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表	
9	DGD0-A009	21	40	324	8.10	—	7	160	398	2.48	—	—	—	—	
10	DGD0-A010	34	115	324	2.81	—	76	285	398	1.39	—	—	—	—	
11	DGD0-A011	13	35	324	9.25	—	12	88	398	4.52	—	—	—	—	
12	DGD0-B001	36	66	366	5.54	—	36	120	462	3.85	—	—	—	—	
13	DGD0-B002	39	65	366	5.63	—	39	118	462	3.91	—	—	—	—	
14	DGD0-B003	49	84	366	4.35	—	49	165	462	2.80	—	—	—	—	
15	DGD0-B004	40	22	324	14.72	—	40	39	398	10.20	—	—	—	—	
16	DGD0-B005	6	6	324	54.00	—	6	2	398	199.0	—	—	—	—	
17	DGD0-B006	1	5	324	64.80	—	1	2	398	199.0	—	—	—	—	

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態V <sub>A</sub> S												
		一次応力				一次+二次応力				疲労評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
18	DGD0-B007	1	68	324	4.76	—	9	142	398	2.80	—	—	—	—
19	DGD0-B008	19	105	324	3.08	—	77	439	398	0.90	○	61	0.4011	○
20	DGD0-B009	47	125	324	2.59	○	47	217	398	1.83	—	—	—	—
21	DGD0-B010	18	43	324	7.53	—	18	79	398	5.03	—	—	—	—

VI-2-10-1-2-1-7 非常用ディーゼル発電設備  
制御盤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
3. 固有周期 .....	3
3.1 固有周期の算出方法 .....	3
4. 構造強度評価 .....	4
4.1 構造強度評価方法 .....	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 .....	4
5. 機能維持評価 .....	8
5.1 電氣的機能維持評価方法 .....	8
6. 評価結果 .....	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 .....	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 .....	9

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備制御盤は、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重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

非常用ディーゼル発電設備制御盤は、以下の表 1-1 に示す盤から構成される。本計算書においては、その各々の盤に対して耐震計算を行う。

表 1-1 非常用ディーゼル発電設備制御盤の構成

系統	盤名称	個数
非常用ディーゼル発電機 2A	非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤 (励磁装置及び保護継電装置を含む)	1
非常用ディーゼル発電機 2B	非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤 (励磁装置及び保護継電装置を含む)	1

## 2. 一般事項

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

### 2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備制御盤の構造計画を表 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													
非常用ディーゼル発電設備制御盤のうち非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤及び非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	<p>【非常用ディーゼル発電設備制御盤】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤*</th> <th>非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td> mm</td> <td> mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td> mm</td> <td> mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td> mm</td> <td> mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 * : シリコン整流器盤, 界磁調整器盤, 自動電圧調整器盤, 補機制御盤, 制御盤より構成する。</p>		非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤*	非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤*	たて	 mm	 mm	横	 mm	 mm	高さ	 mm	 mm
	非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤*	非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤*												
たて	 mm	 mm												
横	 mm	 mm												
高さ	 mm	 mm												

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の算出方法

非常用ディーゼル発電設備制御盤のうち非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤の固有周期は以下の通りとする。

水平方向の固有周期は、プラスチックハンマ等により当該装置に振動を与え、固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。鉛直方向の固有周期は、構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤の固有周期は、構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (s)

名称	方向	固有周期
非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤	水平	
	鉛直	0.05 以下
非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備制御盤の構造は直立形であるため、構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

##### 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

非常用ディーゼル発電設備制御盤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としての評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 4-2 に示す。

###### 4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備制御盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備制御盤の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設としての評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備として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
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	非常用ディーゼル 発電設備制御盤	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>AS</sub>
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>AS</sub>

注記 \*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	非常用ディーゼル 発電設備制御盤	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>AS</sub>
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> として Ⅳ <sub>AS</sub> の許容限 界を用いる。)

注記 \*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてⅣ <sub>AS</sub> の 許容限界を用いる。)		

注記 \*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	S <sub>y i</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト ( i = 2)	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

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 <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	S <sub>y i</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト ( i = 2)	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

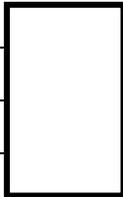
非常用ディーゼル発電設備制御盤の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤、2B 制御盤の機能確認済加速度には、同形式の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤	水平	
	鉛直	
非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤	水平	
	鉛直	

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備制御盤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電氣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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備制御盤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電氣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次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			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	
非常用ディーゼル 発電機 2A 制御盤	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*	□	0.05 以下	C <sub>H</sub> =0.96	C <sub>V</sub> =0.80	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b<i>i</i></sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f<i>i</i></sub> *1
取付ボルト (i=2)	□				16 (M16)	201.1	60	10
	4							

部 材	S <sub>y<i>i</i></sub> (MPa)	S <sub>u<i>i</i></sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	1.054×10 <sup>4</sup>	2.362×10 <sup>4</sup>	5.178×10 <sup>4</sup>	1.063×10 <sup>5</sup>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	σ <sub>b2</sub> =53	f <sub>ts2</sub> =176*	σ <sub>b2</sub> =118	f <sub>ts2</sub> =210*
		せん断	τ <sub>b2</sub> =5	f <sub>sb2</sub> =135	τ <sub>b2</sub> =9	f <sub>sb2</sub> =161

注記\*：f<sub>tsi</sub>=Min [1.4・f<sub>toi</sub>-1.6・τ<sub>bi</sub>, f<sub>toi</sub>] より算出

二 すべて許容応力以下である。

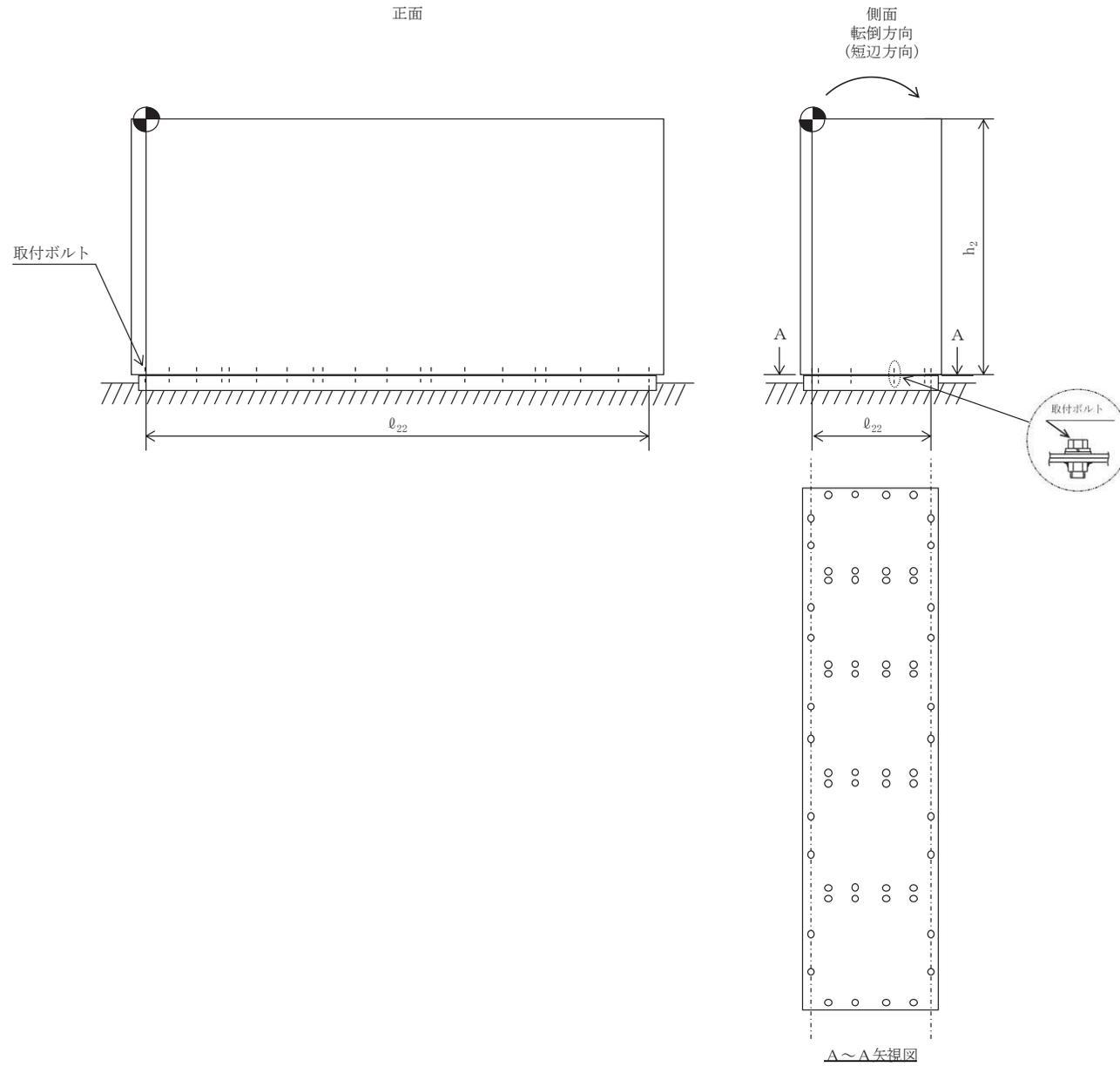
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
非常用ディーゼル 発電機 2A 制御盤	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



【非常用ディーゼル発電機 2A 制御盤の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			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	
非常用ディーゼル 発電機 2A 制御盤	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 15.00*	□	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b,i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f,i</sub> *1
取付ボルト (i=2)	□				16 (M16)	201.1	60	10 4

部 材	S <sub>y,i</sub> (MPa)	S <sub>u,i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	235	400	—	280	—	短辺方向

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
取付ボルト ( $i=2$ )	—	$2.362 \times 10^4$	—	$1.063 \times 10^5$

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト ( $i=2$ )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=118$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$  より算出  
すべて許容応力以下である。

14

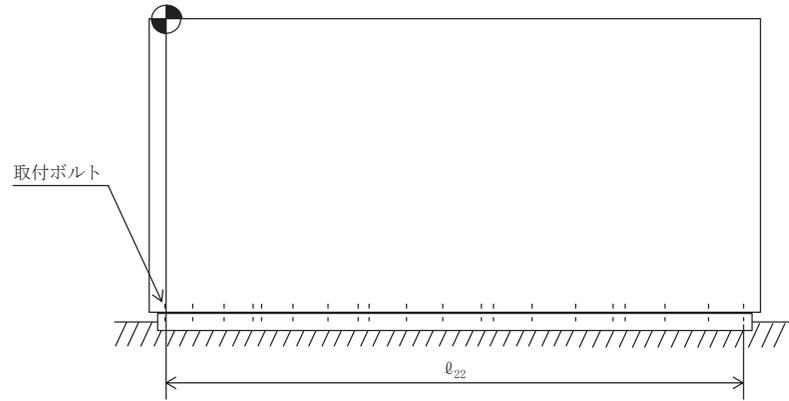
2.4.2 電気的機能維持の評価結果

( $\times 9.8 \text{m/s}^2$ )

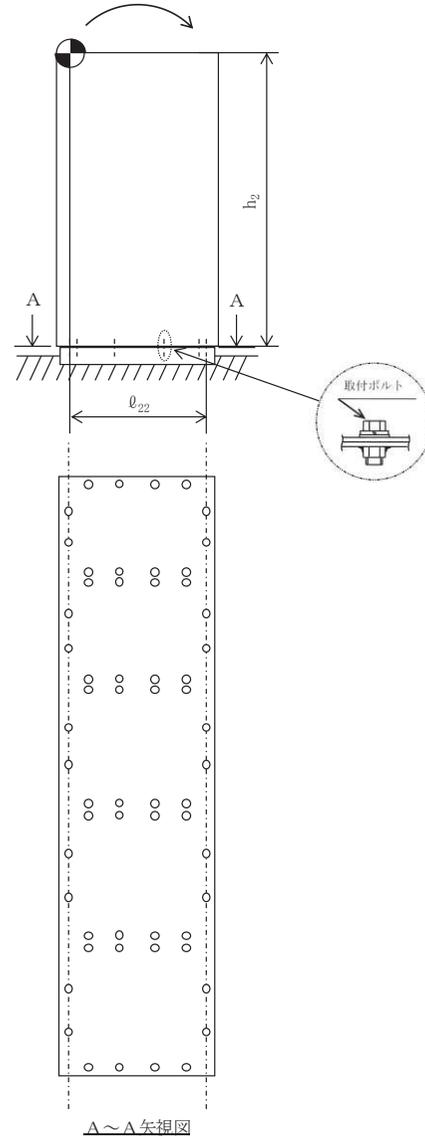
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
非常用ディーゼル 発電機 2A 制御盤	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。  
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

正面



側面  
転倒方向  
(短辺方向)



【非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			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	
非常用ディーゼル 発電機 2B 制御盤	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*	0.05 以下	0.05 以下	C <sub>H</sub> =0.96	C <sub>V</sub> =0.80	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b<sub>i</sub></sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f<sub>i</sub></sub> *1
取付ボルト (i=2)					16 (M16)	201.1	60	10 4

部 材	S <sub>y<sub>i</sub></sub> (MPa)	S <sub>u<sub>i</sub></sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	1.054×10 <sup>4</sup>	2.362×10 <sup>4</sup>	5.178×10 <sup>4</sup>	1.063×10 <sup>5</sup>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	σ <sub>b2</sub> =53	f <sub>ts2</sub> =176*	σ <sub>b2</sub> =118	f <sub>ts2</sub> =210*
		せん断	τ <sub>b2</sub> =5	f <sub>sb2</sub> =135	τ <sub>b2</sub> =9	f <sub>sb2</sub> =161

注記\*：f<sub>tsi</sub>=Min [1.4・f<sub>toi</sub>-1.6・τ<sub>bi</sub>, f<sub>toi</sub>] より算出

すべて許容応力以下である。

17

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

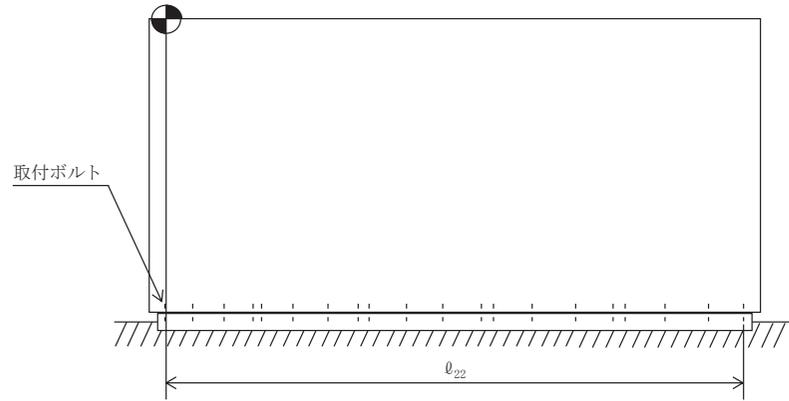
(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
非常用ディーゼル 発電機 2B 制御盤	水平方向	1.65	□
	鉛直方向	1.15	

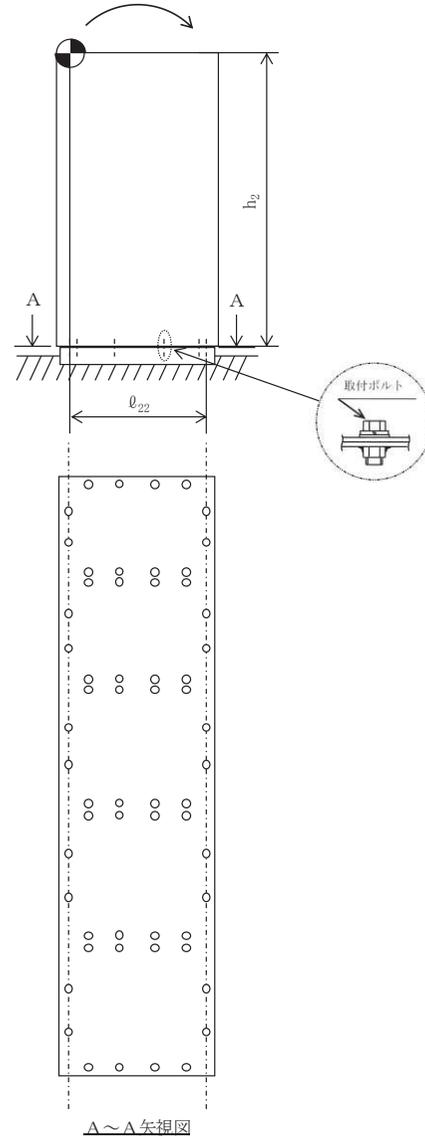
注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

正面



側面  
転倒方向  
(短辺方向)



【非常用ディーゼル発電機 2B 制御盤の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			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	
非常用ディーゼル 発電機 2B 制御盤	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 15.00*	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b,i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f,i</sub> *1
取付ボルト (i=2)					16 (M16)	201.1	60	10
								4

部 材	S <sub>y,i</sub> (MPa)	S <sub>u,i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	235	400	—	280	—	短辺方向

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
取付ボルト ( $i=2$ )	—	$2.362 \times 10^4$	—	$1.063 \times 10^5$

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト ( $i=2$ )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=118$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$  より算出  
すべて許容応力以下である。

20

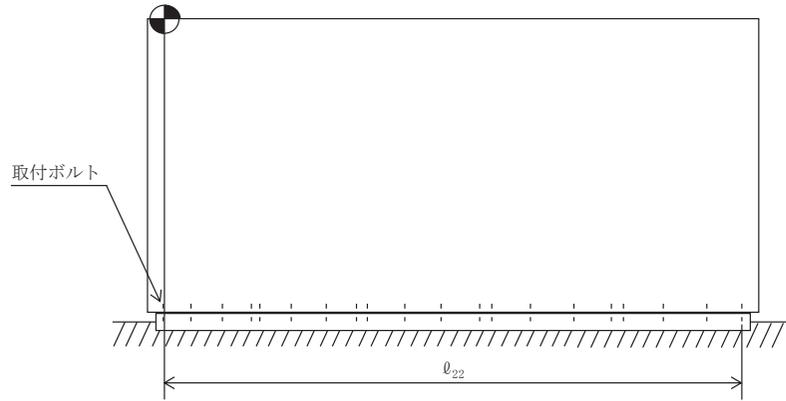
2.4.2 電気的機能維持の評価結果

( $\times 9.8 \text{m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
非常用ディーゼル 発電機 2B 制御盤	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。  
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

正面



側面  
転倒方向  
(短辺方向)

