

添付資料-6-2：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2 パターンの耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○発電機○○○機関の耐震性についての計算書

目次

1. ○○○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 適用基準	3
1.2.4 記号の説明	4
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	6
1.4 固有周期	7
1.4.1 固有周期の計算方法	7
1.4.2 固有周期の計算条件	7
1.4.3 固有周期の計算結果	8
1.5 構造強度評価	8
1.5.1 構造強度評価方法	8
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
1.5.3 設計用地震力	13
1.5.4 計算方法	14
1.5.5 計算条件	18
1.5.6 応力の評価	18
1.6 機能維持評価	19
1.6.1 機能維持評価方法	19
1.7 評価結果	19
1.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
1.7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20

↑

・ DB + SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. ○○○機関

1.1 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、○○○発電機○○○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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

○○○発電機○○○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耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

○○○発電機○○○機関の構造計画を表 1-1 に示す。

DB (Sクラス) + SAの場合

○○○は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。 ※下線部は別表第二記載機器のみ記載

DB (BCクラス) + SAの場合

○○○は、設計基準対象施設においてはB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、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。 ※下線部は該当クラスを記載

SAのみの場合

○○○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及び動的機能維持評価を示す。

下線部 _____ は、動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

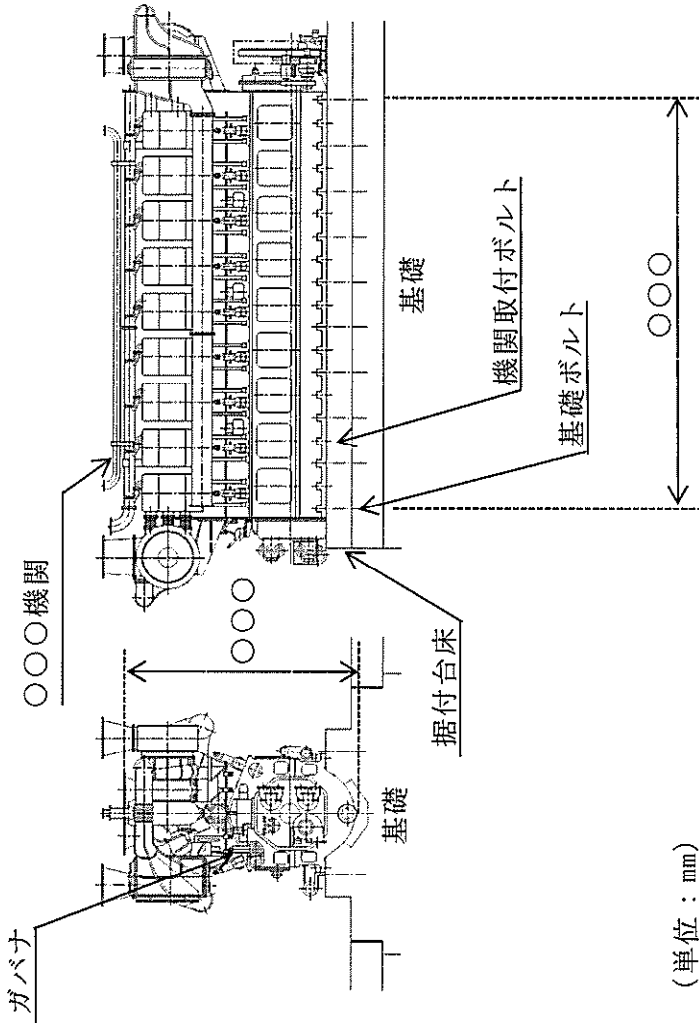
2.3 適用基準

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、
「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用基準」となる。

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	
○○○機関を機関取付ボルトで据付台床に取り付け、据付台床を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	○○○機関	 <p>ガバナ</p> <p>○○○機関</p> <p>据付台床</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>機関取付ボルト</p> <p>基礎</p> <p>(単位：mm)</p>

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図とする。

1.2.2 評価方針

〇〇〇発電機〇〇〇機関の構造強度評価は、添付書類「V-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」にて示す〇〇〇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、〇〇〇機関の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「4.1 動的機能維持（2）回転機器及び弁」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維持確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

〇〇〇発電機〇〇〇機関の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

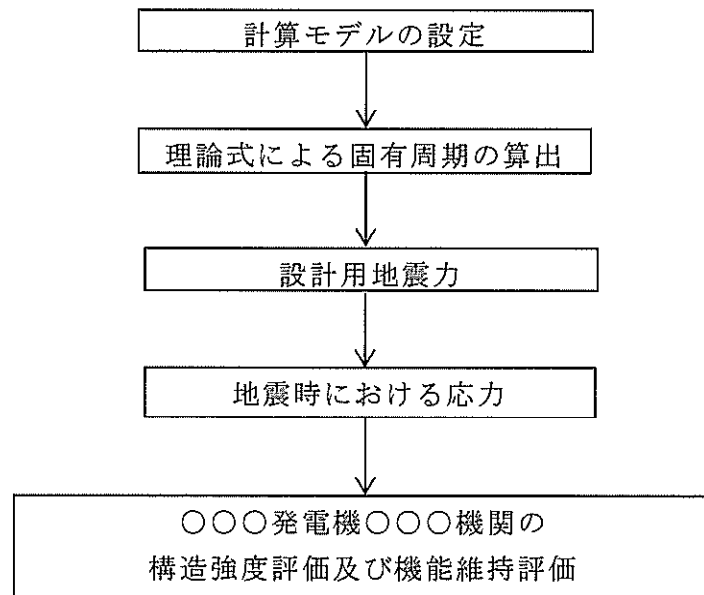


図 1-1 〇〇〇発電機〇〇〇機関の耐震評価フロー

1.2.3 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(日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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(日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会)

1.2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	最小断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積	mm ²
A _s	最小有効せん断断面積	mm ²
C _{EH}	○○○機関往復運動による水平方向震度	—
C _{EV}	○○○機関往復運動による鉛直方向震度	—
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	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F _i [*]	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f _{sbi}	せん断力のみを受ける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 _{toi}	引張力のみを受ける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 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	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	据付台床上面から重心までの距離	mm
h _i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	据付面から据付台床上面までの距離	mm
ℓ _{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ _{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M _E	○○○機関回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量	kg
N	回転速度 (○○○機関の定格回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数	—
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	—
P	○○○機関出力	kW
Q _{bi}	ボルトに作用するせん断力	N

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注 1: 「設計・建設規格」とは, 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年) をいう。

注 2: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{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

$i = 2$: 機関取付ボルト

注 3: 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

$i = 2$: 機関取付面

注記*: $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 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*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下の場合は、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

○○○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機関取付ボルト、基礎ボルトについて実施する。○○○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。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

1.4 固有周期

1.4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

○○○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。

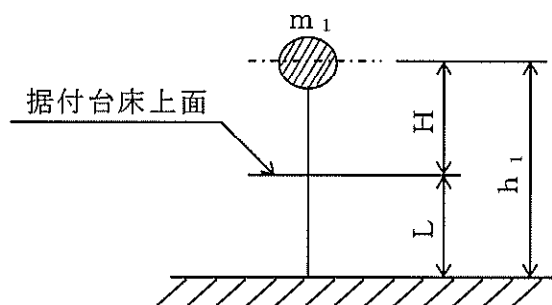


図 1-2 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left[\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{L^2 \cdot H}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{L}{A_s \cdot G} \right]} \quad \dots \dots \dots (1.4.1.1)$$

(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，「1.7.1 設計基準対象施設としての評価結果」の機器要目に示す。

1.4.3 固有周期の計算結果

剛である場合には、その結果を記載する。

固有周期の計算結果を、表 1-3 に示す。
計算結果より、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(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) ○○○機関質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は○○○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。
- (3) ○○○機関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た固定端とする。また、○○○機関は据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- (4) 転倒方向は図 1-3 概要図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を記載する。

厳しいとは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

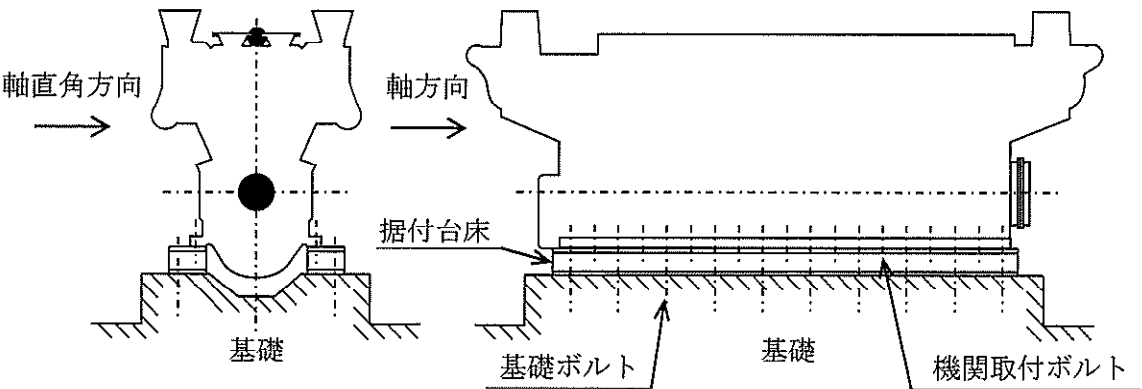


図 1-3 概要図

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

〇〇〇発電機〇〇〇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

〇〇〇発電機〇〇〇機関の許容応力は，添付書類「V-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

〇〇〇発電機〇〇〇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。

・ DB + SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

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	○○○設備	○○○発電機 ○○○機関	S	— [*]	$D + P_D + M_D + S_d^{*}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A 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。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は「S_d^{**2}」とし、注記で説明する。

(DB + S Aの場合、以下を追加)

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 ^{*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	○○○設備	○○○発電機 ○○○機関	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*4}	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして、Ⅳ _A 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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：「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。

*3：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。

該当する設備分類のみ記載する。

- ・ DB + S A の場合を示す。
- ・ D B 単独の場合は，許容応力（その他支持構造物）
- ・ S A 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他支持構造物）とする。

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
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅲ _A S		
Ⅳ _A S		
V _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
(V _A S としてⅣ _A 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。

・ DB + S A の場合は，V_A S を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	○○○*	周囲環境温度			—
機関取付ボルト	(径>40 mm)	周囲環境温度			—

注記＊：新 J I S における○○○相当

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

旧 JIS 材料を使用している場合は、相当する新 JIS 材料を注記する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

(DB + SA の場合、以下を追加)

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度			—
機関取付ボルト		周囲環境温度			—

1.5.3 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「V-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 1-9 及び表 1-10 に示す。

表 1-9 ○○○機関の設計用地震力（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 EL. . *1			— *2	— *2	$C_H =$	$C_V =$

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_s で評価する。

(例)		・同様の構造の盤で確認している場合（盤等の電気計装品） ・加振試験及び固有値解析にて柔な領域に固有周期がないことを確認した設備
0.05 以下	0.05 以下	・ J E A G、文献等において十分に剛であることが明確な場合 ・構造等から技術的に剛であることが判断できる場合
—	—	加振試験、打診試験、固有値解析、理論式により固有周期を算出している場合
0.031	0.015	

(DB + SA の場合、以下を追加)

表 1-10 ○○○機関の設計用地震力（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	
	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 EL. . *1			—	—	$C_H =$	$C_V =$

注記 *1：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は地震による震度，〇〇〇機関の往復運動による震度及び〇〇〇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。

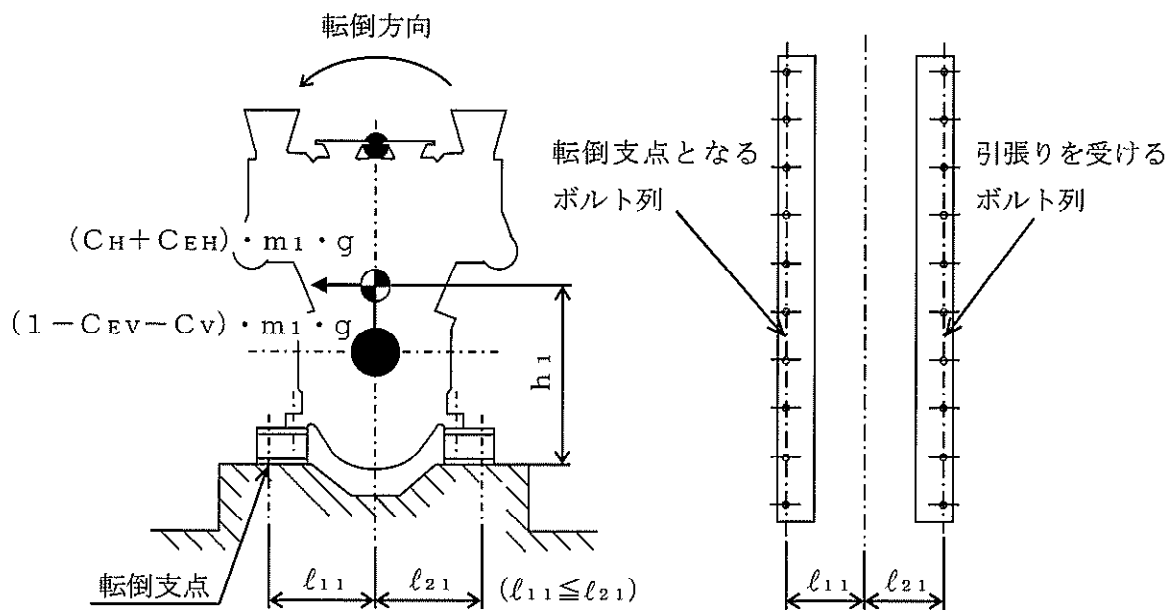


図 1-4 計算モデル（軸直角方向転倒）

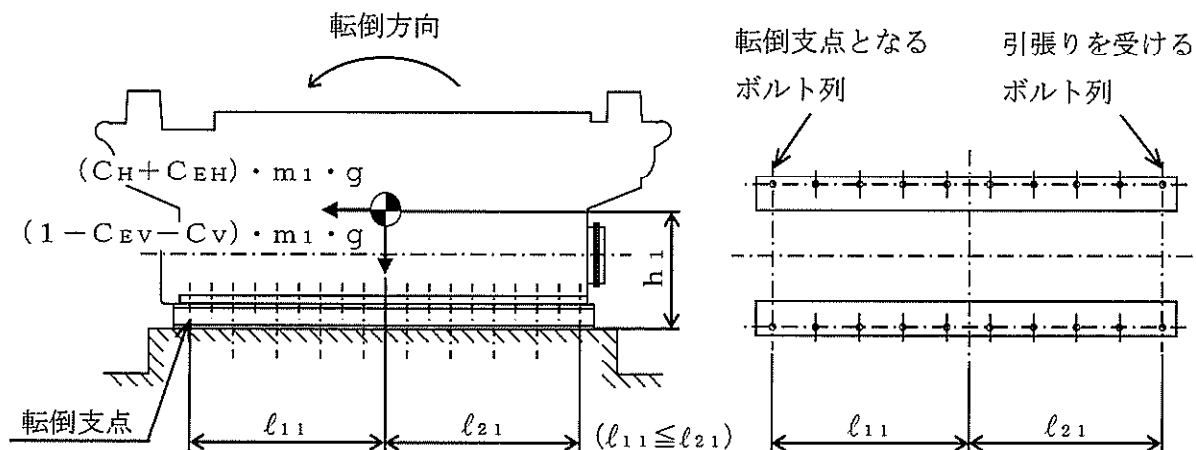


図 1-5 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 1-4 及び図 1-5 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、計算モデル図 1-5 の場合は、〇〇〇機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{11}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1)$$

注記* : $M_E = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$

(1 kW = 10^6 N・mm/s)

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は〇〇〇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。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots \dots \dots (1.5.4.3)$$

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) セン断応力

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

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \quad \dots \dots \dots (1.5.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.5)$$

1.5.4.2 機関取付ボルトの応力

機関取付ボルトの応力は地震による震度，〇〇〇機関の往復運動による震度及び〇〇〇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。

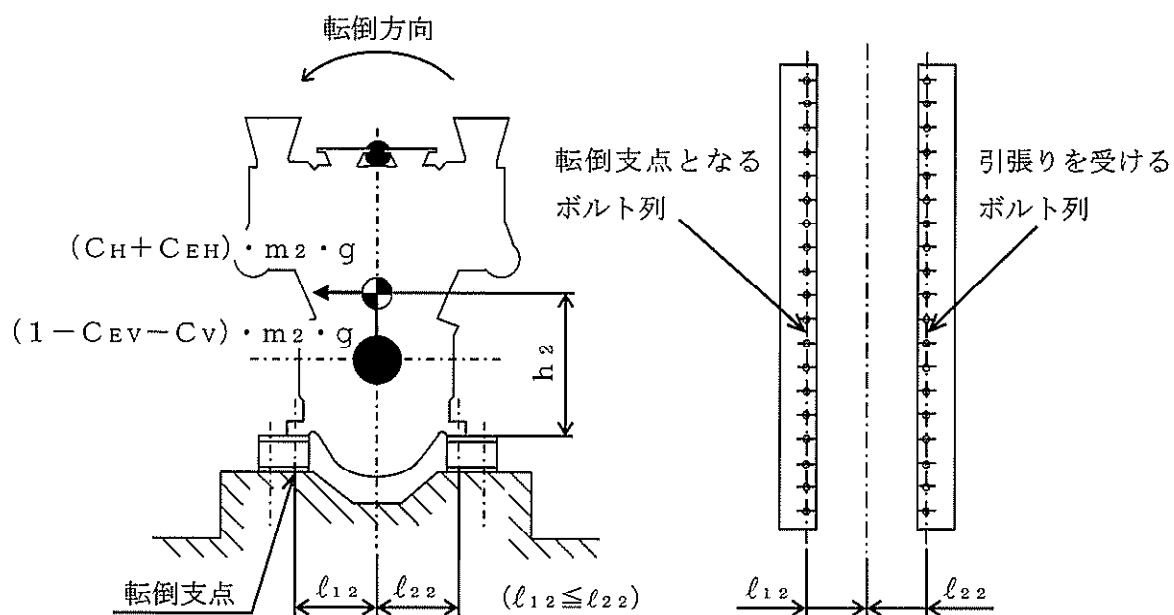


図 1-6 計算モデル（軸直角方向転倒）

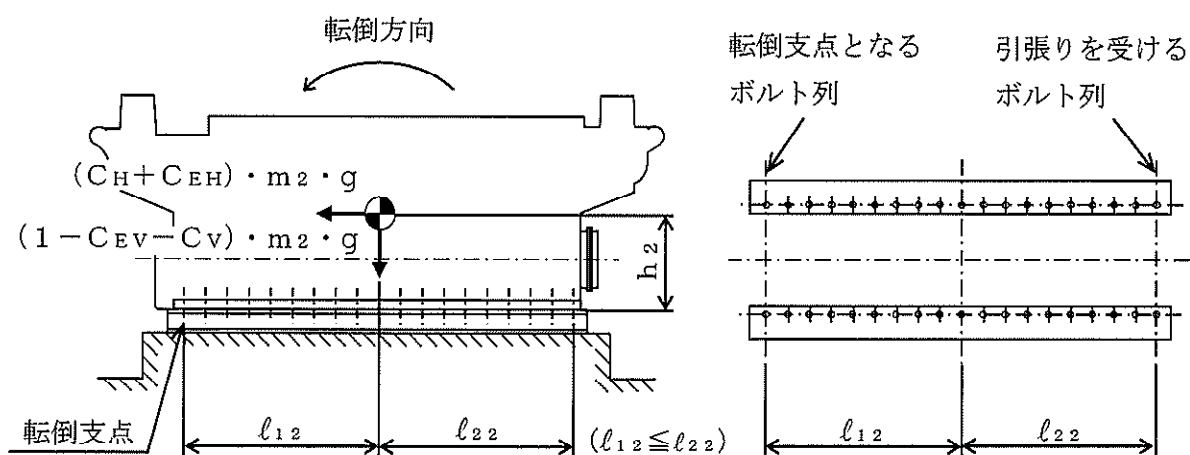


図 1-7 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 1-6 及び図 1-7 で機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の機関取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、計算モデル図 1-7 の場合は、○○○機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{12}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.6)$$

注記* : $M_E = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P$
 (1 kW = 10^6 N・mm/s)

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は○○○機関の往復運動による起振力及び○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.7)$$

ここで、機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots \dots \dots (1.5.4.8)$$

ただし、 F_{b2} が負のとき機関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

機関取付ボルトに対するせん断力は機関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

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \quad \dots \dots \dots (1.5.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.10)$$

1.5.5 計算条件

応力の計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇発電機〇〇〇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 節で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \quad \dots \dots \dots (1.5.6.1)$$

かつ,

$$f_{tsi} \leq f_{toi} \quad \dots \dots \dots (1.5.6.2)$$

ただし、 f_{toi} 及び 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}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

本項は動的機能維持評価が必要な機器の場合

1.6 機能維持評価

〇〇〇発電機〇〇〇機関の地震時又は地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

1.6.1 機能維持評価方法

〇〇〇発電機〇〇〇機関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を持っているため、添付書類 V-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 1-11 に示す。

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	〇〇〇機関	水平	
		鉛直	
ガ バ ナ		水平	
		鉛直	

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

○○○発電機○○○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 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。

Ⅲ_A S の評価を S_s で実施する場合は追記する。

(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。

(DB + SA の場合，以下を追加)

1.7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○発電機○○○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。

【○○○発電機○○○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 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 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		○○○機関 往復運動による 鉛直方向震度	○○○機関 往復運動による 水平方向震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			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	$C_{EH} =$	$C_{EV} =$		
○○○発電機 ○○○機関	S	原子炉建屋 EL. *1			— *2	— *2			$C_{EH} =$	$C_{EV} =$	—	

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：ⅢASについては、基準地震動 S_s で評価する。

ⅢASの評価を S_s で実施する場合は
注記で説明する。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ_{1i} (mm) *2		ϕ_{2i} (mm) *2		n_i		n_{ri} *2	
			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	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 ($i=1$)										
機関取付ボルト ($i=2$)										

ⅢASの評価を S_s で実施する場合は「—」とする。

部 材	A_{bi} (mm ²)	S_{vi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		F^*_i (MPa)		転倒方向		M_E (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	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 ($i=1$)	³ (ϕ)	*1	*1					軸	軸	—	—
機関取付ボルト ($i=2$)	(M)	*1	*1					軸	軸	—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)	据付面から据付台床 上面までの距離 L (mm)	据付台床上面から重 心までの距離 H (mm)
		*1	*1					

注記*1：周囲環境温度で算出

注記*2：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。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位: N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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 (i = 1)				
機関取付ボルト (i = 2)				

ⅢA Sの評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

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 _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	*1	引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *2$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
機関取付ボルト	*1	引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *2$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

注記 *1: 新 J I Sにおける○○○相当

*2: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tsi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tsi}]$

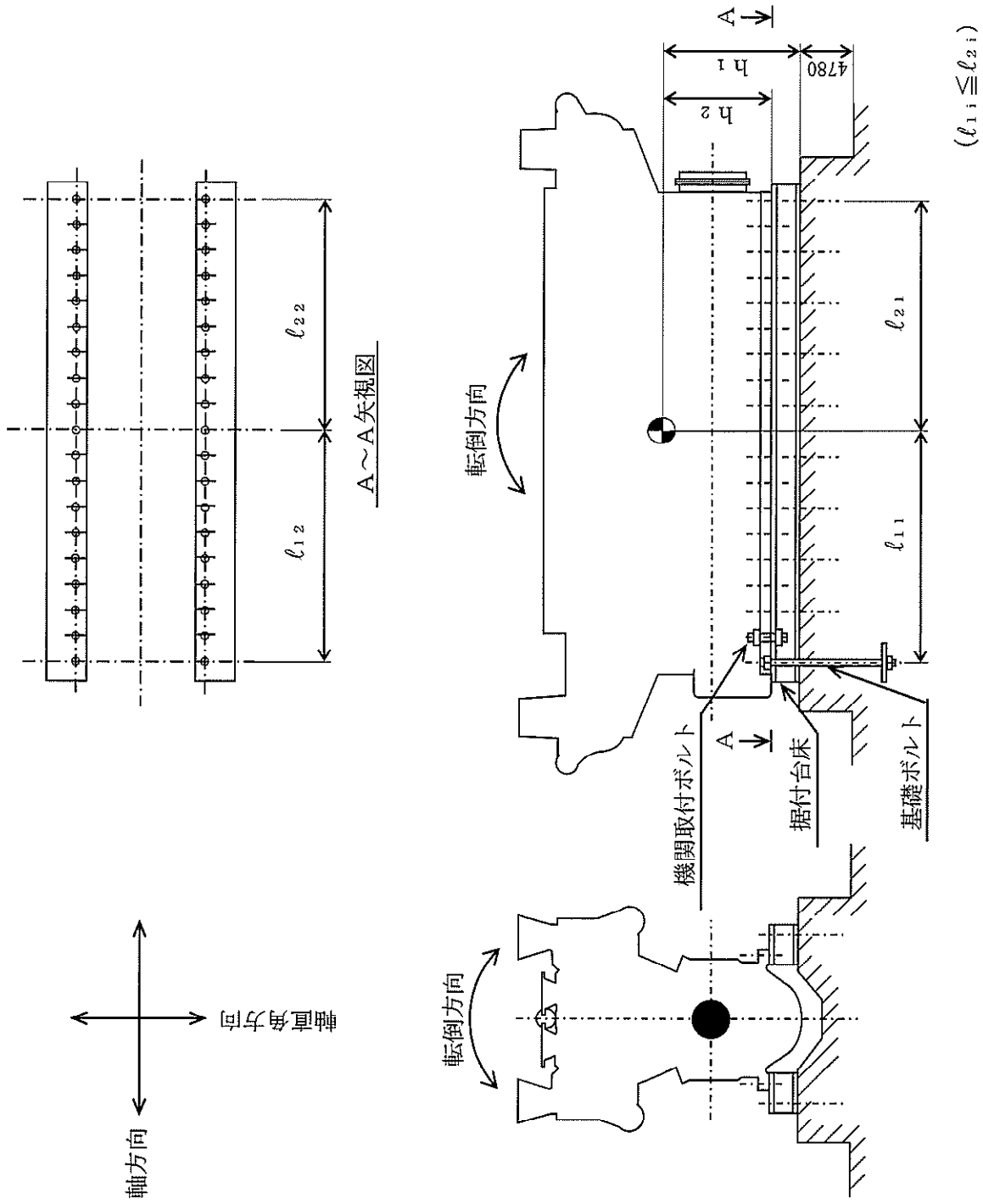
すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8 m/s²)

機 関	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
ガ バ ナ	水平方向	鉛直方向	
	水平方向	鉛直方向	

評価用加速度(1.0 ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



【○○○発電機○○○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 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		ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	周囲環境温度 (℃)
			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 ディーゼル機関	常設耐震/防 常設/緩和	原子炉建屋 EL.*			—	—	$C_H=$	$C_V=$	$C_{EH}=$	$C_{EV}=$	—

注記*: 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	θ_{1i} (mm) *2		θ_{2i} (mm) *2		n_i		n_{1i} *2	
			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	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 ($i=1$)			—		—		—		—	
機関取付ボルト ($i=2$)			—		—		—		—	

部 材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		F_i^* (MPa)		転倒方向		M_E (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	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 ($i=1$)	(φ64)	*1	*1	—		—		軸		—	—
機関取付ボルト ($i=2$)	(M48)	*1	*1	—		—		軸		—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)	据付面から据付台床 上面までの距離 L (mm)	据付台床上面から重 心までの距離 H (mm)
		*1	*1					

注記*1: 周囲環境温度で算出

注記*2: 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。

【SA単独の場合】

本フオーマットを使用する。
ただし、章番を1とする。

【DB+SAの場合】

前項のDBの評価に本SAの評価を追加する。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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 (i=1)	—		—	
機関取付ボルト (i=2)	—		—	

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
基礎ボルト	*1	引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *2
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
機関取付ボルト	*1	引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *2
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

注記 *1：新 J I S における SS400 相当

*2： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tsi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tsi}]$

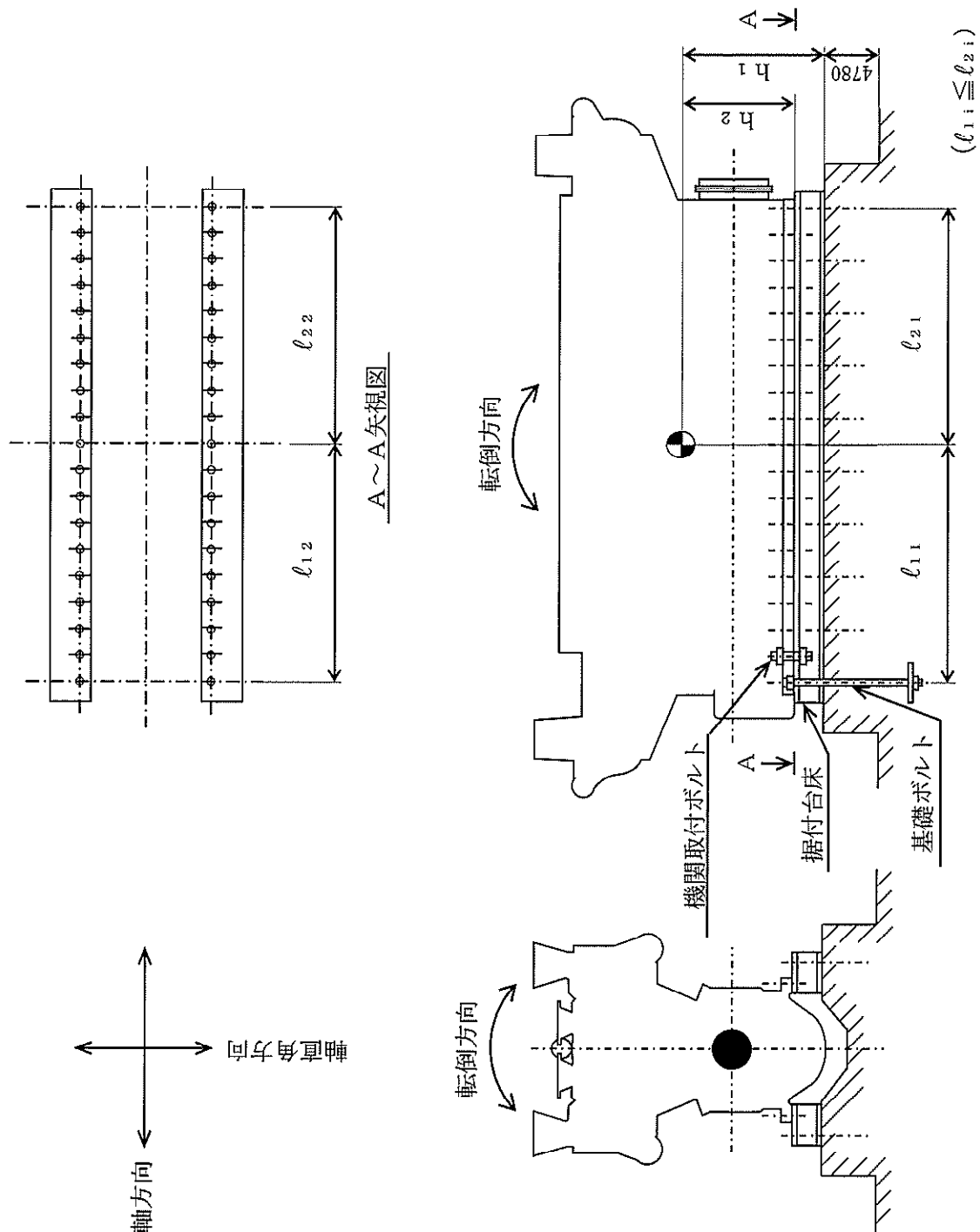
すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機態の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機 関	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
ガ バ ナ	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0 ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



添付資料-7：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(D パターンの耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○水位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	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の算出方法	7
4.3 固有周期の算出結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
5.2.2 許容応力	9
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
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	18
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	18
5.5.2 取付ボルトの応力計算条件	19
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	22

・DB+SAの場合

- 7.1 設計基準対象施設としての評価結果
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

・DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇水位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。

〇〇〇〇水位は、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。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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇水位の構造計画を表 2-1 に示す。

DB（Sクラス）+SAの場合

〇〇〇〇水位は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

DB（BCクラス）+SAの場合

〇〇〇〇水位は、設計基準対象施設においてはBC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、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。

SAのみの場合

〇〇〇〇水位は、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及び電氣的機能維持評価を示す。

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	
検出器は、計器取付ボルトにより箱形計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 箱形計器スタンションは、基礎ボルトにより床面に設置されたベースに取付ボルトで固定される。	〇〇〇〇水位検出器	<p>(単位：mm)</p>

〔後施工アンカの場合〕
後施工アンカの種類（メカニカルアンカ、ケミカルアンカ）を記載する。

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇水位の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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」にて示す〇〇〇〇水位の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく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、〇〇〇〇水位の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇水位の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

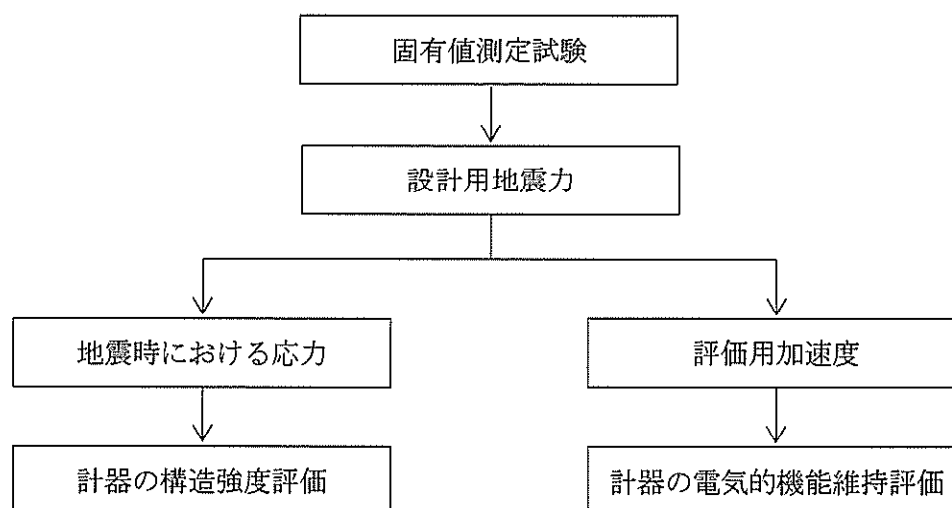


図 2-1 〇〇〇〇水位の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用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（日本電気協会）
- (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
（日本電気協会）
- (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（日本電気協会）
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M
E S N C 1－2005/2007（日本機械学会）

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* ¹	mm ²
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* ¹	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹ （ f_s^* を1.5倍した値）	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹ （ f_t^* を1.5倍した値）	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* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ¹	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	計器スタンションの質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
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* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{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_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , h_i , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} , τ_{bi} の添え字 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: m_i の添え字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 計器スタンション+ベース

$i=2$: 計器スタンション

*³: $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 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* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、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。

3. 評価部位

〇〇〇〇水位の耐震評価は、「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及び取付ボルトについて実施する。

〇〇〇〇水位の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。〇〇〇〇水位の外形図を表 2-1 の構造計画に示す。

4.3 固有周期の算出結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。鉛直方向は固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、水平方向は柔な領域に固有周期がないことから、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平	鉛直
0.05 以下	0.040

【固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。】

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を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）により記録解析する。測定の結果、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 4-1 に示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ○○○○水位の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は○○○○水位に対して、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) ○○○○水位は取付ボルトでベースに固定されており、ベースは基礎ボルトで基礎に固定されるものとする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1, 図 5-2 計算モデルにおける短辺方向及び長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。
- (5) ○○○○水位の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

〇〇〇〇水位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。

5.2.2 許容応力

〇〇〇〇水位の許容応力は、添付書類「V-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

〇〇〇〇水位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 5-3 に示す。

・DB+SAの場合

〇〇〇〇水位の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

・DB+SAの場合

〇〇〇〇水位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〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

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
計測制御 系統施設	〇〇〇〇水位	常設耐震／防止 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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: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。

該当する設備分類のみ記載する。

DB + SAの場合, 以下を上記SAの前に追加する。

表 5-〇 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
計測制御 系統施設	計測装置 〇〇〇〇水位	「*2」を記載する場合は「*1」とする。 S	<div>※</div>	$D + P_D + M_D + S_d^{*}$	III_{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

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。

*2: S_s と組合せ, III_{AS} の評価を実施する。

III_{AS} の評価で S_s を組合せる場合は
「 S_d^{**2} 」とし, 注記で説明する。

SA単独の場合を示す。

- ・DB単独の場合は、許容応力（その他の支持構造物）
- ・DB+SAの場合は、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）とする。

表 5-2 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	
IV _A S	引張り	せん断
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

DB+SAの場合は、以下をIV_ASの前に追加する。

III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
--------------------	-----------------	-----------------

SA 単独の場合を示す。
・DB + SA の場合は、本表の前に DB の条件である
「表 5-〇 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）」を追加する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対応設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	S _{yi} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i =1)	SS400 (径≦16 mm)	50		245	400	—
取付ボルト (i =2)	SS400 (径≦16 mm)	50		245	400	—

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

5.3 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力は、「V-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 5-4 に示す。

SA 単独の計算書の場合は、記載不要とする。

表 5-4 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
〇〇〇〇 EL. 0.70 ^{*1}	0.038	— ^{*2}	—	—	$C_H =$ 2.00	$C_V =$ 2.67

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。

（記載例 1）

既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する場合

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

（記載例 2）

固有周期は十分に小さく、計算は省略する場合

水平方向	鉛直方向
0.038	— ^{*2}

SA 単独の場合を示す。

・DB + SA の場合は、本表の前に DB の条件である「表 5-〇 設計地震力（設計基準対象施設）」を追加する。

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。

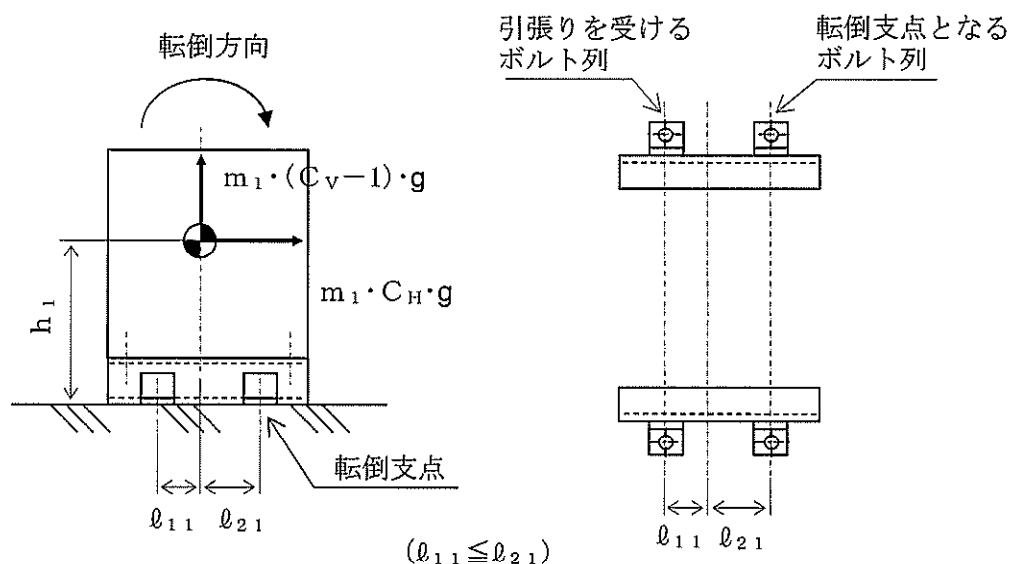


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

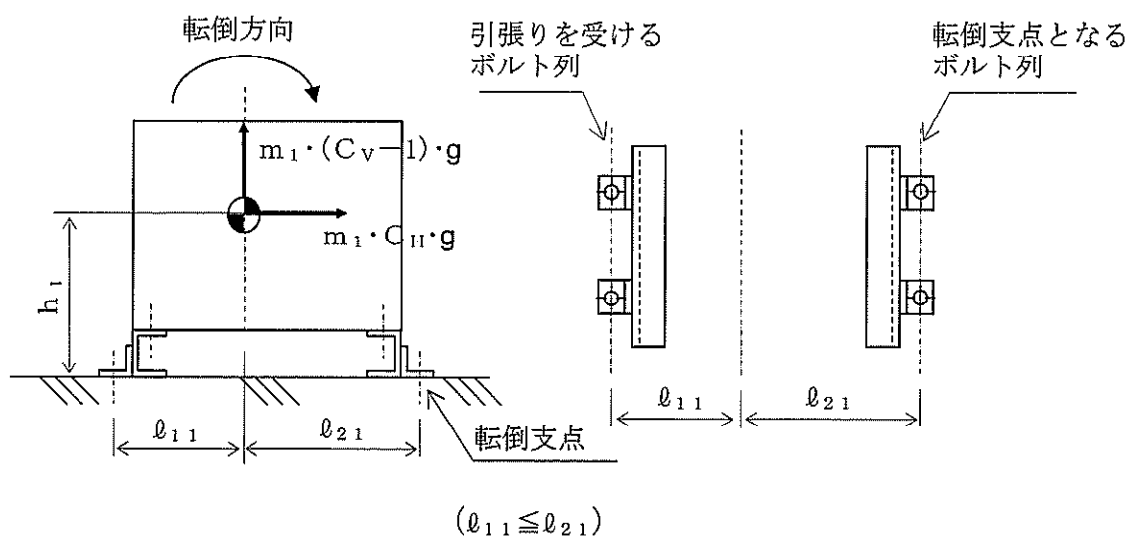


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれの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。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \quad \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎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。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、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。

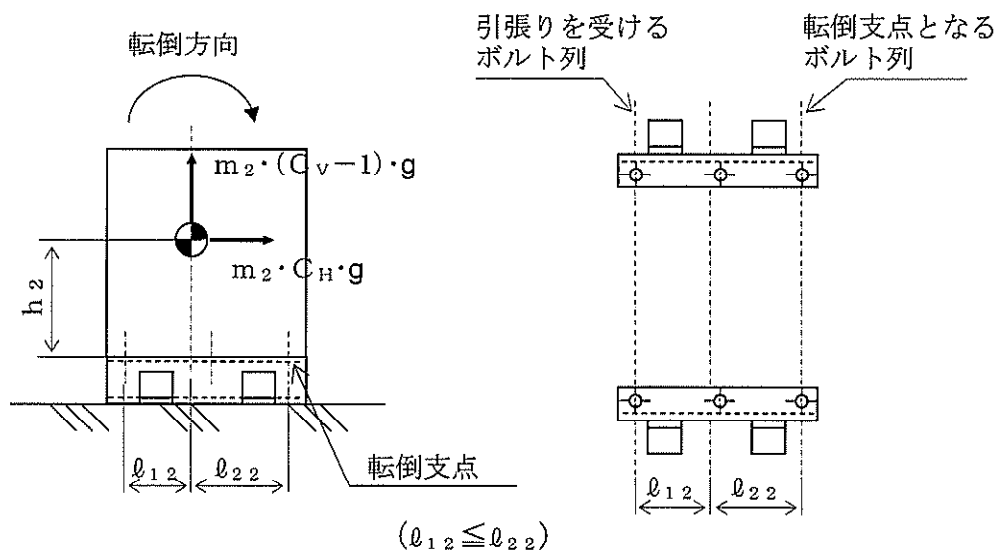


図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

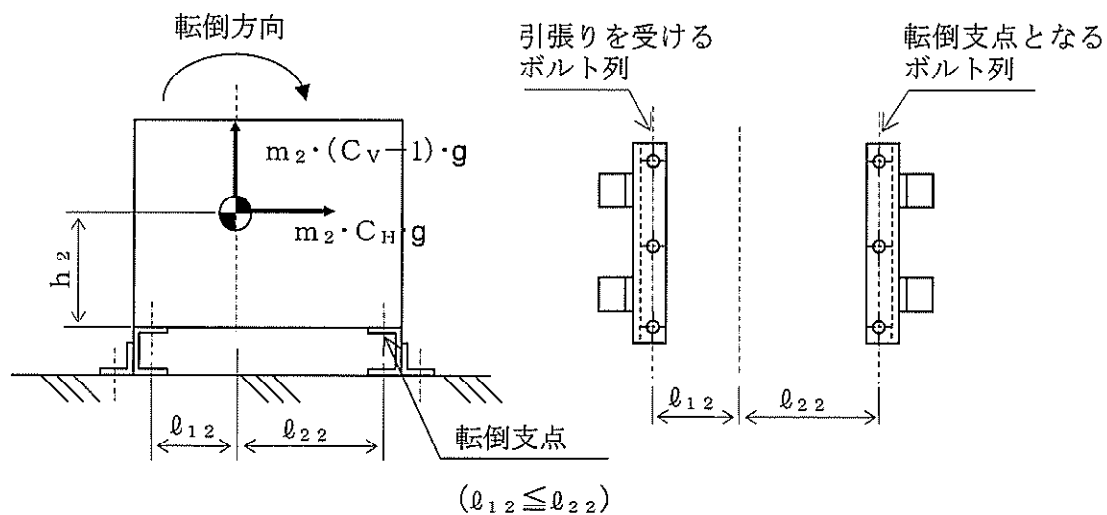


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれの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。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付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。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \quad (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad (5.4.1.2.5)$$

5.5 計算条件

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数値を表 5-5 に示す。

表 5-5 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	〇〇
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	〇〇
ボルトの呼び径	d_1	mm	〇〇
計器スタンションの質量	m_1	kg	〇〇
重力加速度	g	m/s^2	〇〇
据付面から重心までの距離	h_1	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{11}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{21}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{11}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{21}	mm	〇〇
ボルトの本数	n_1	—	〇〇
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（長辺方向）	n_{f1}	—	〇〇
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（短辺方向）	n_{f1}	—	〇〇

計算条件の項に関しては、基本は文章で簡略化※1し、結果の「設計条件」、「機器要目」等に記載のないものは、本表を作成するものとする。

なお、記載した方が説明性が高くなる場合は記載してもよい。

本件の場合は、長辺方向の距離（ ℓ_{11} 、 ℓ_{21} ）の記載が、結果の「機器要目」にないため、設計条件の表としては長辺方向の距離の項目のみ必要となるが、説明性を高くなるため本表のままとする。

※1：簡略化する場合の記載例

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇水位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 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

表 5-6 取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	〇〇
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	〇〇
ボルトの呼び径	d_2	mm	〇〇
計器スタンション質量	m_2	kg	〇〇
重力加速度	g	m/s^2	〇〇
取付面から重心までの距離	h_2	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{12}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{22}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{12}	mm	〇〇
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{22}	mm	〇〇
ボルトの本数	n_2	—	〇〇
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （長辺方向）	n_{f2}	—	〇〇
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （短辺方向）	n_{f2}	—	〇〇

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{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。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを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}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇水位の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

〇〇〇〇水位の機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体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評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇水位	水平	〇〇
	鉛直	〇〇

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇水位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。

DB + SAの場合

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇〇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。なお、弾性設計用地震動 S_d 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。

下線部：Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

(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。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇〇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。

対象計器が複数ある場合は計器番号
を記載する。

【〇〇〇〇水位(〇〇〇-〇)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		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	
〇〇〇〇水位	常設耐震/防 止 常設/緩和	〇〇〇〇 EL. 0.70*1	0.038	—*2	—*3	—*3	$C_H=2.00$	$C_V=2.67$	40

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: ⅢASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇水位

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ_{i1}^* (mm)	ϕ_{i2}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*	S_{vi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_{ji}^* (MPa)	転倒方向	
											弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	55	400	90	140	113.1	4	2	245	400	245	—	短辺方向
			90	140	(M12)							
取付ボルト ($i=2$)	49	325	100	150	78.54	6	2	24	400	245	—	短辺方向
			100	150	(M10)							

ボルト径を記載する。

注記 * : 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。

転倒方向が同じ場合でも、一つにしない。

据付場所の床面高さとして(EL. *)を追加し、据付場所のEL. から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備、壁掛形計器スタンション等
に適用

SA+DBの場合は、本ページの前に
「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。
その場合、本表は「2. 重大事故等対処設備」となる。

- ・同様の構造のスタンションで確認している場合
- ・加振試験にて柔な領域に固有周期がないことを確認
した設備
- ・J E A G等、文献において十分に剛であることが明確
な場合
- ・構造等から技術的に剛であることが判断できる場合
- ・加振試験、打診試験による算出を実施している場合

0.05 以下	0.05 以下
—	—
0.031	0.015

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)				
部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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 (i = 1)	—	335. 6		
取付ボルト (i = 2)	—	95. 62	—	961. 1

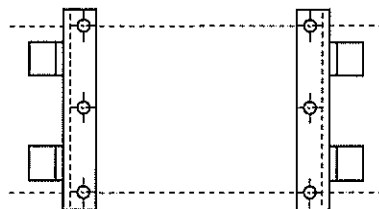
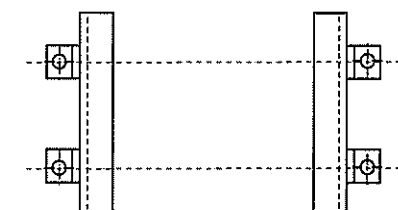
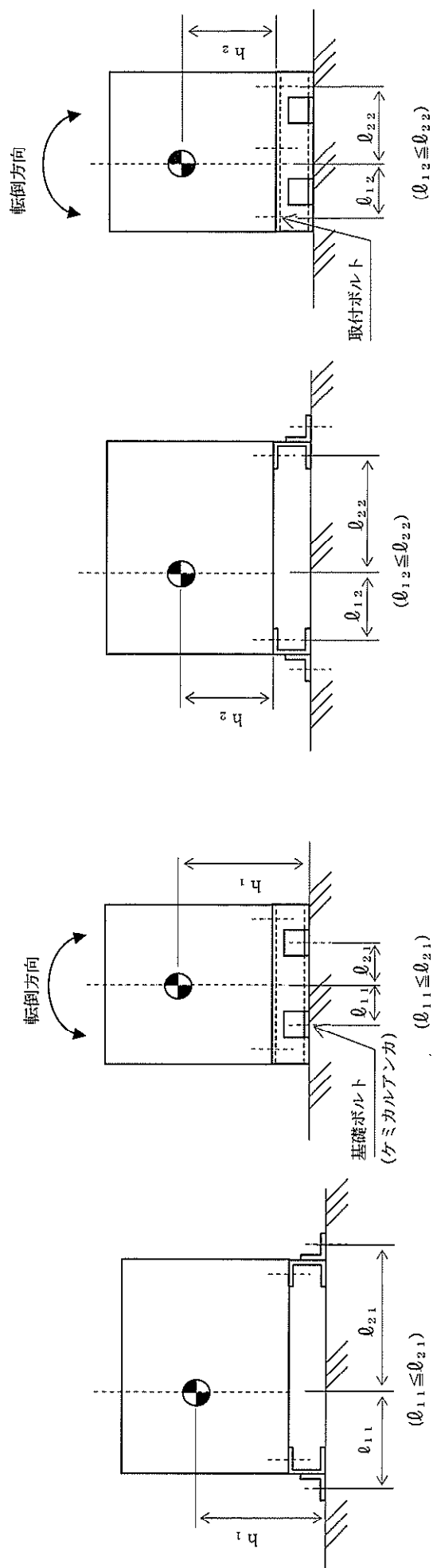
1.4 結論

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 _d 又は静的震度	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト (i = 1)	SS400	引張り	—	—
		せん断	—	—
取付ボルト (i = 2)	SS400	引張り	—	—
		せん断	—	—

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

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s ²)		
〇〇〇〇水位	水平方向	機能確認済加速度
	鉛直方向	機能確認済加速度
	〇〇	〇〇
	〇〇	〇〇

評価用加速度 (1. 02PA) はすべて機能確認済加速度以下である。



正面 (長辺方向)

側面 (短辺方向)

正面 (長辺方向)

側面 (短辺方向)

〔後施工アンカの場合〕
基礎ボルトが後施工の場合は、アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。
また、本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にもアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト
(ケミカルアンカ)

添付資料-8：機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(E パターンの耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○温度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	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	6
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	6

・DB+SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇温度は、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に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇温度の構造計画を表 2-1 に示す。

DB (Sクラス) + SAの場合

〇〇〇〇温度は、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電氣的機能維持評価を示す。

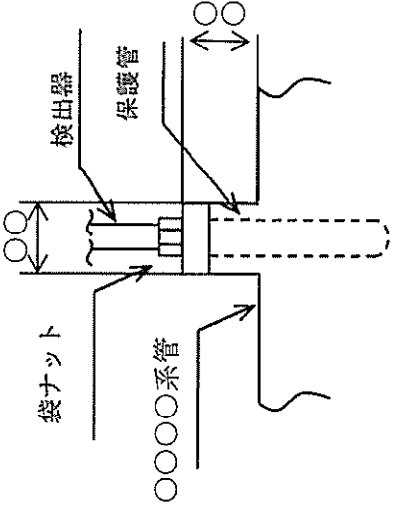
DB (BCクラス) + SAの場合

〇〇〇〇温度は、設計基準対象施設においてはBC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電氣的機能維持評価を示す。

SAのみの場合

〇〇〇〇温度は、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に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

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	
検出器は、袋ナットにて、〇〇〇〇系管に溶接された保護管に固定する。	測温抵抗体	 <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

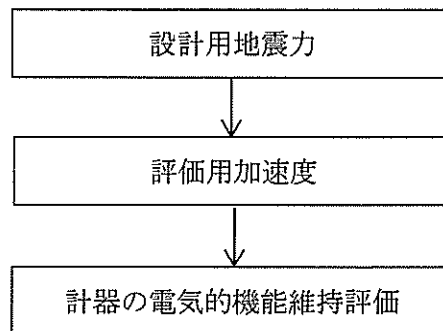


図 2-1 〇〇〇〇温度の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)

3. 評価部位

〇〇〇〇温度は、〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、〇〇〇〇系管が支持している。〇〇〇〇系管の構造強度評価は、添付書類「V-2-5-5-6-2 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、〇〇〇〇系管の地震応答解析結果を用いた〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について示す。

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、検出器取付位置の応答加速度により実施する。〇〇〇〇温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

〇〇〇〇温度は〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、「基準地震動 S_s 」による地震力として、添付書類「V-2-5-5-6-2 管の耐震性についての計算書」に示す〇〇〇〇設備の地震応答解析で評価した〇〇〇〇温度取付部に相当する質点に生じる応答加速度とする。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度			($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動 S_s
			評価用加速度
〇〇〇〇温度	〇〇〇建屋 EL. 〇〇. 〇〇 (EL. 〇〇. 〇〇*)	水平	
		鉛直	

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

〇〇〇〇温度の機能確認済加速度については以下に示す。

〇〇〇〇温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇温度	水平	10.00
	鉛直	10.00

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 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。

【○○○○温度の耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
 - 1.1 電氣的機能維持の評価結果

		(×9.8 m/s ²)	
		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
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。		↑	
		各検出器の値を記載する。	

2. 重大事故等対処設備

2.1 電氣的機能維持の評価結果

		評価用加速度	機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		

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。

↑
各検出器の値を記載する。

添付資料-9：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(F 4 パターン「管」の耐震計算書記載例)

V-2-6-4-1-3 管の耐震性についての計算書

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 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.2 設計条件	9
3.3 材料及び許容応力	15
3.4 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「V-2-1-9 機能維持の基本方針」, 「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、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又は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通りである。

(1) 管

当該系統の配管モデル数を記載する。

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11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（裕度）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。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、種類及び型式ごとの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。





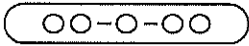


(3) 弁

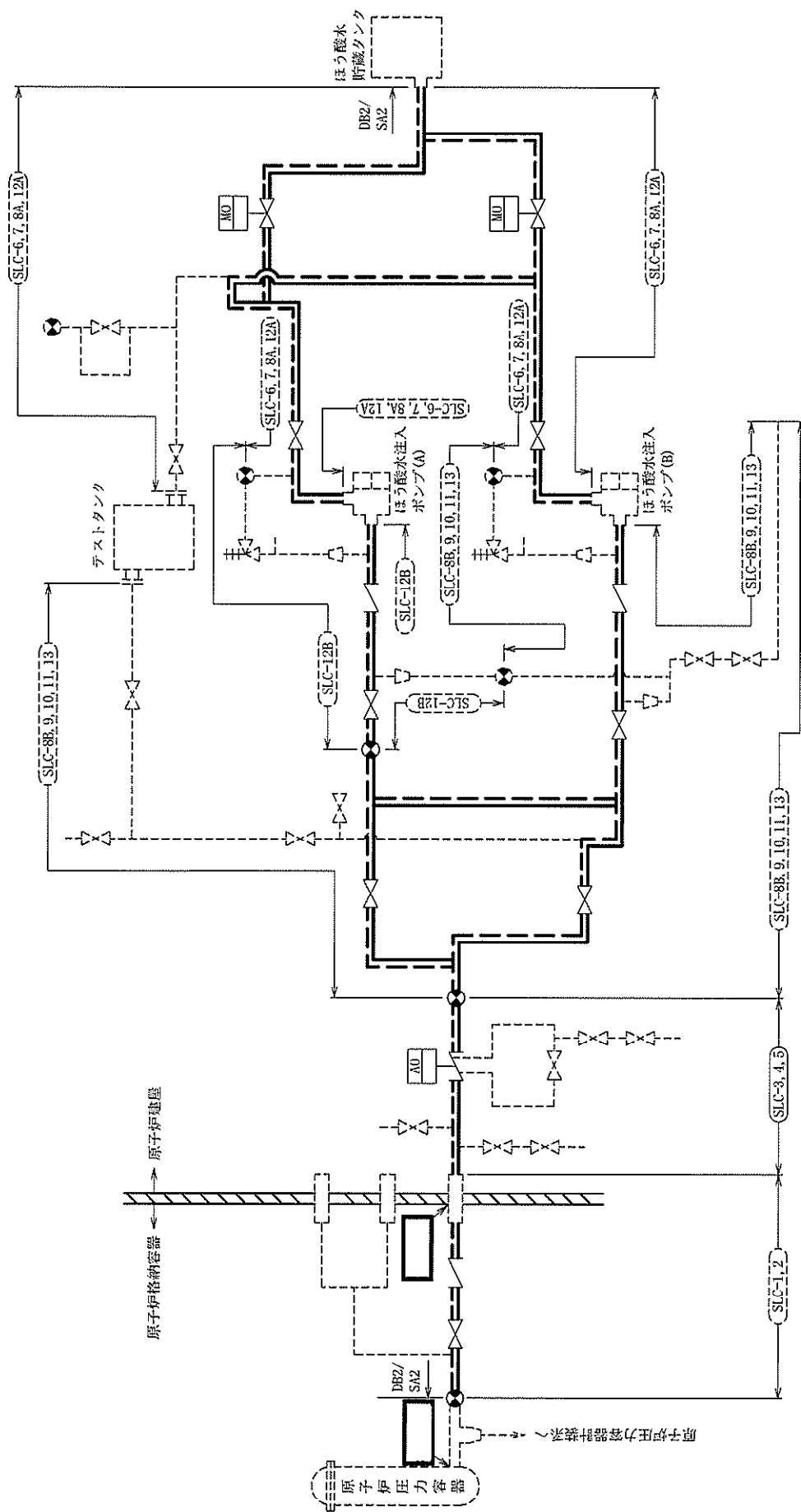
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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









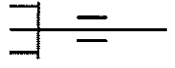
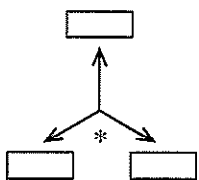

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

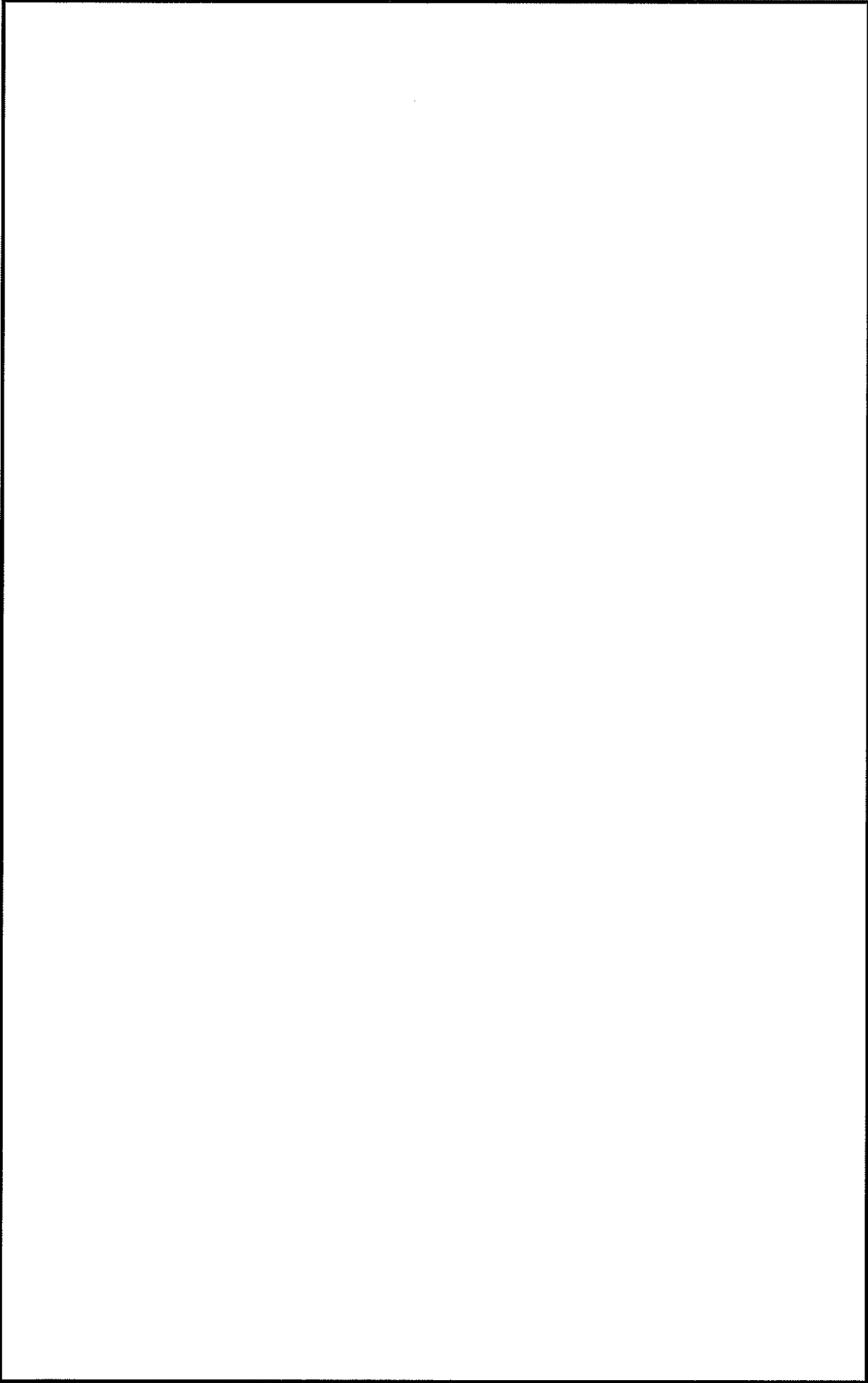


ほう酸水注入系概略系統図

2.2 鳥瞰図

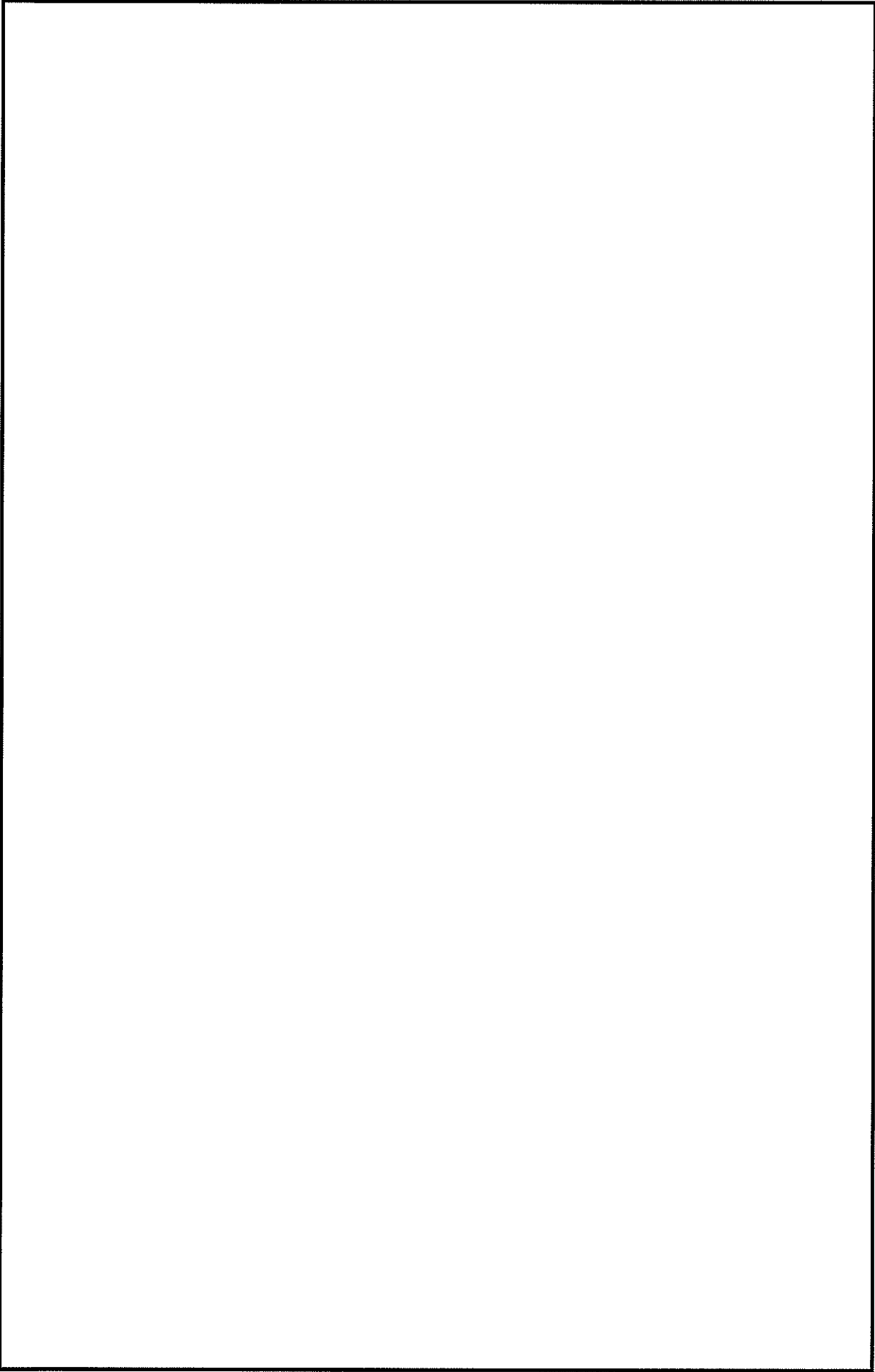
鳥瞰図記号凡例

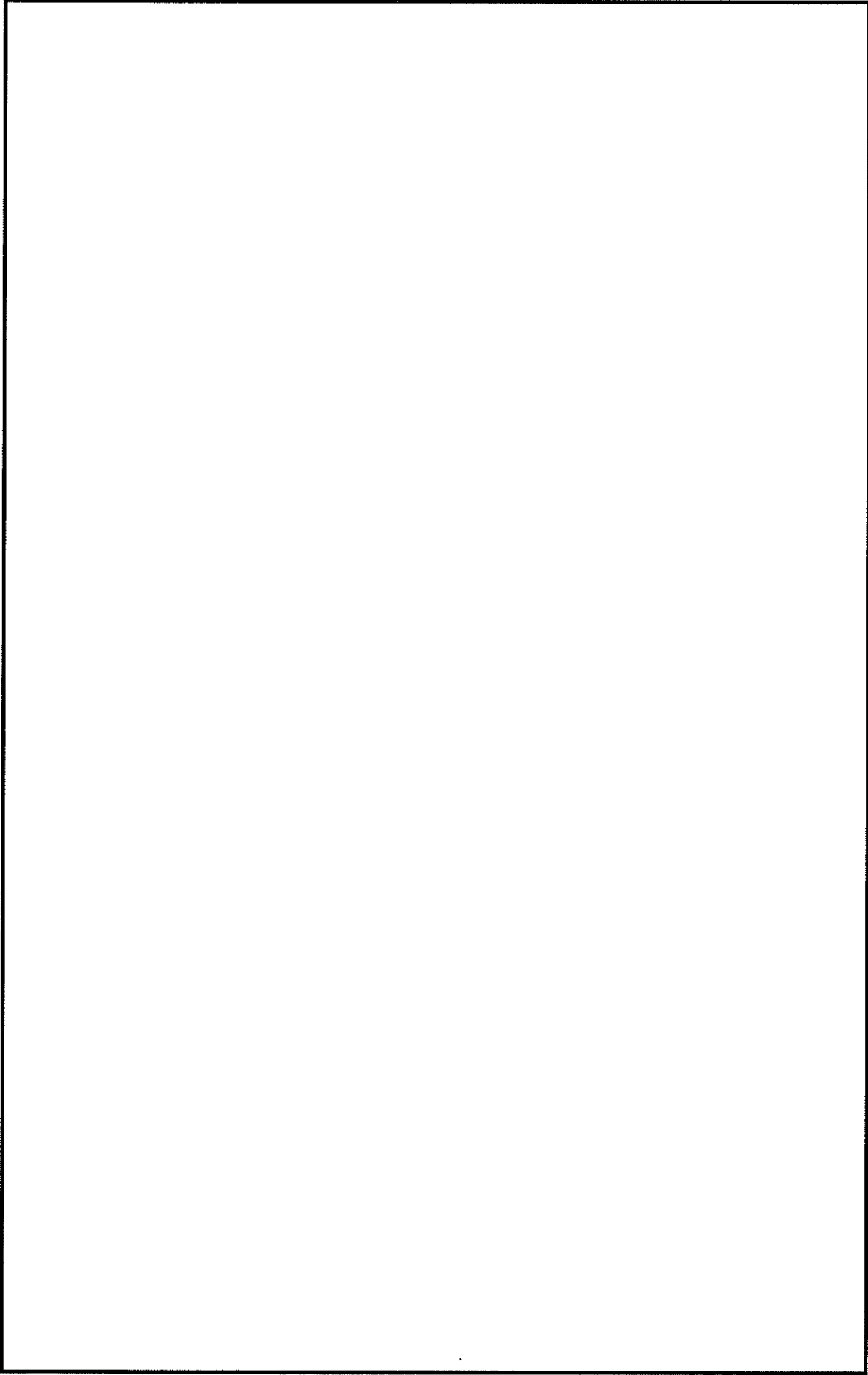
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，  内に 変位量を記載する。)
注： 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図

SLC-3, 4, 5 (DB/SA) (1/3)





3. 計算条件

3.1 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	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, 4}	許容応力 状態 ^{*5}
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	ほう酸水 注入系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	
							$II_L + S_s$	
			SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6, *7}$	$V_A S$
							$V_L(L L) + S_s^{*6}$	

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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*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。

*6：重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ閉じ込め機能維持要求として，原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する荷重の組合せを示す。

*7：荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3W～6Z, 6Z～12Z 12Z～18W, 24W～55A	9.66	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	<div></div>

配管の付加質量

鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

質量	対応する評価点
	3W～6Z, 6Z～12Z, 12Z～18W, 24W～55A

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
18W～20				20～22			
22～24W							

弁部の質量

鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	18W～20, 20～22	<input type="text"/>	22～24W

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 SLC-3, 4, 5

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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
** 1501 **						
** 181 **						
182						
2401						
** 2401 **						
** 27 **						
** 27 **						
** 29 **						
** 29 **						
3003						
311						
33						
35						
37						
391						
41						
42						
45						
*** 印は斜め拘束を示す。また、下段は方向余弦を示す。						

NT2 補② V-2-6-4-1-3 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

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
49						
51						
5300						
55A						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
SUS304TP	302	—	126	391	110

使用しない場合は、－を記載する。

3.4 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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は添付書類「V-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「V-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	減衰定数 (%)
SLC-3, 4, 5	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 SLC-3, 4, 5		S					
耐震設計上の重要度分類		S _d 及び静的震度			S _s		
適用する地震動等		応答水平震度			応答鉛直震度		
モード	固有周期 (s)	X 方向			Y 方向		
		Z 方向			X 方向		
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
11 次							
12 次							
動的震度							
静的震度							

各モードに対応する刺激係数

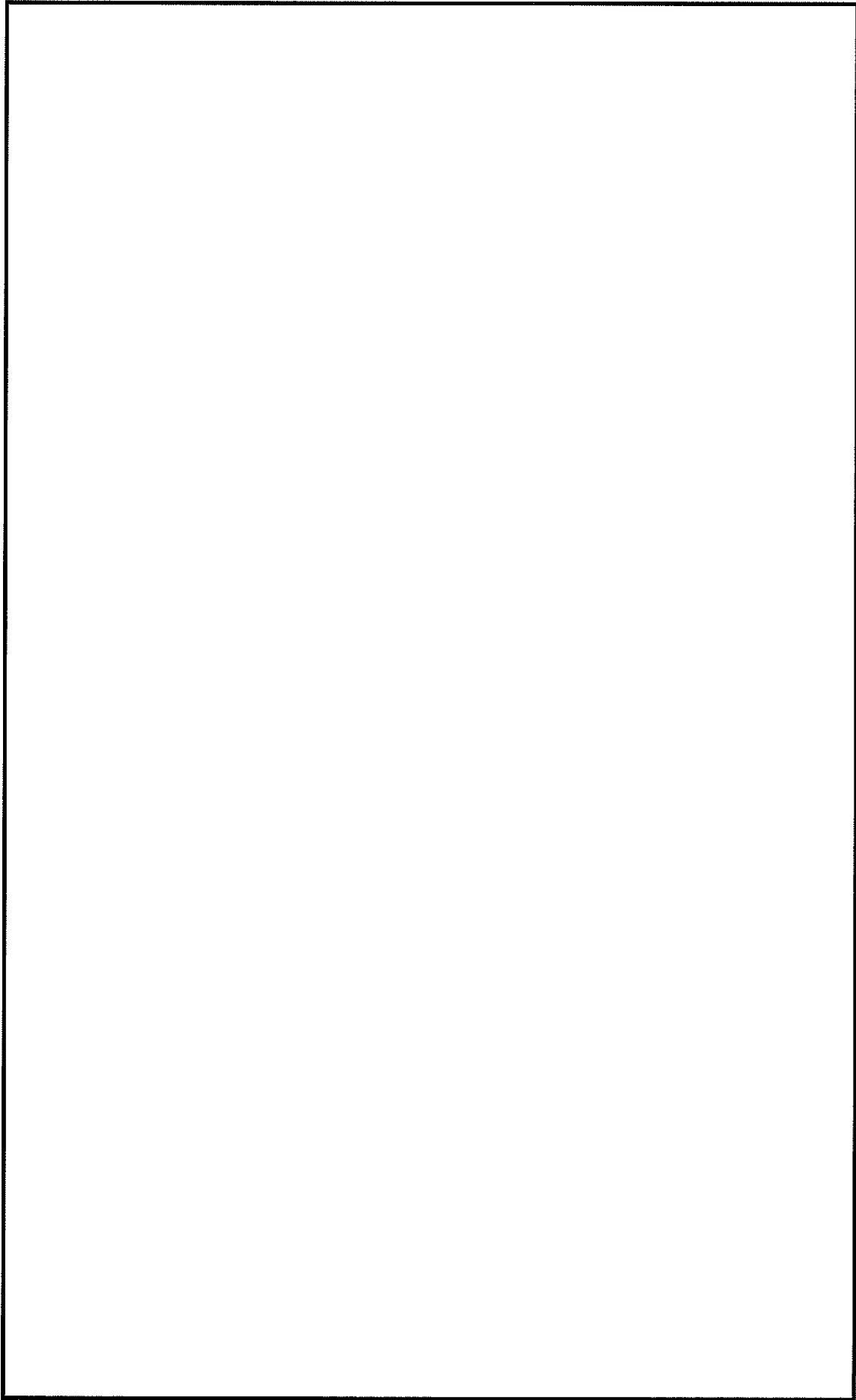
鳥 瞰 図 SLC-3, 4, 5

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				
11 次				
12 次				

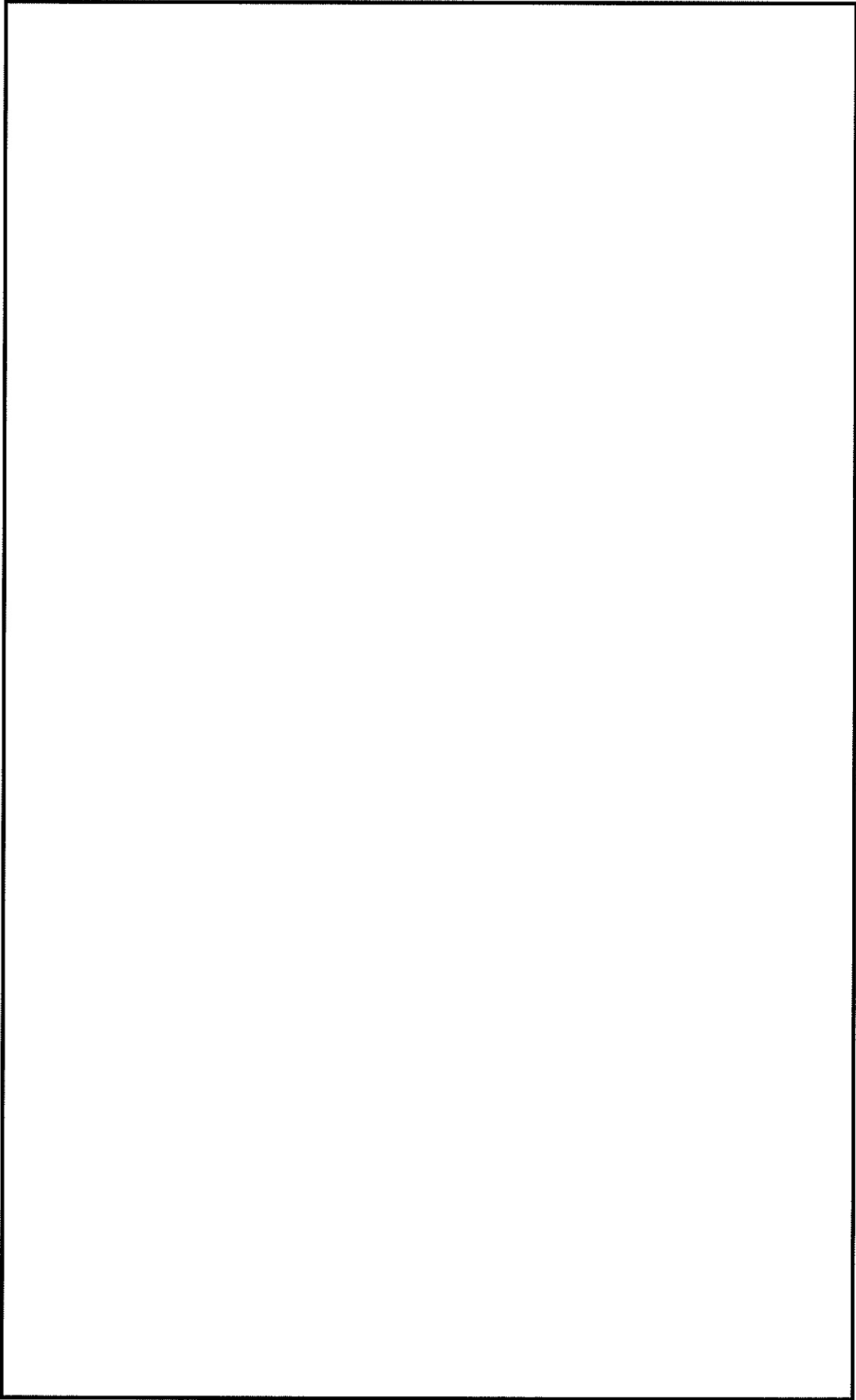
NT2 補② V-2-6-4-1-3 R0

代表的振動モード図

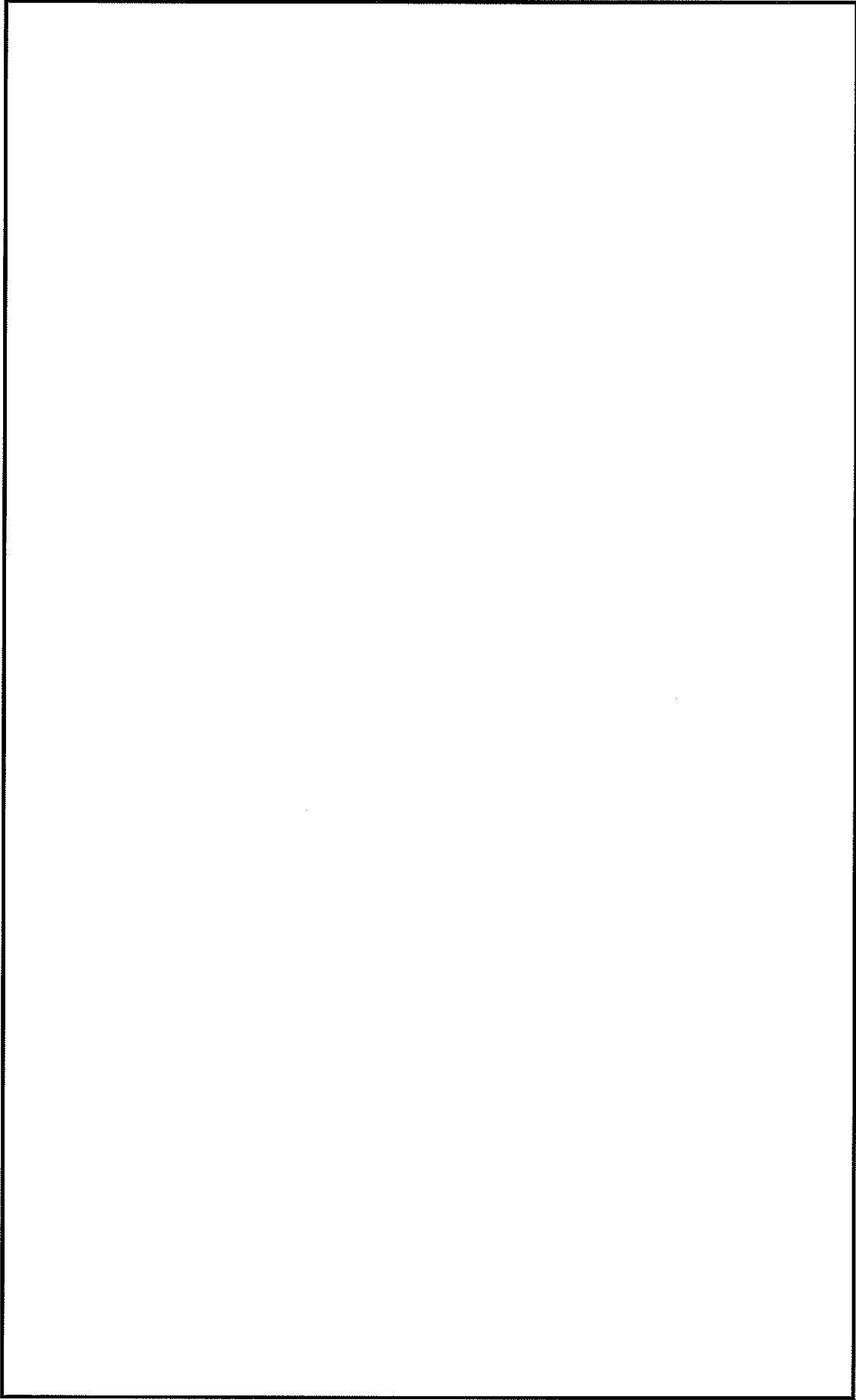
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5
-----	-------------



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5
-----	-------------



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5
-----	-------------

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 (供用状態)	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^* $0.9 S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 S_y$	
SLC-3, 4, 5	Ⅲ△S	30W	$S_{pr m} (S_d)$	96	132	—	—	—
SLC-3, 4, 5	Ⅳ△S	30W	$S_{pr m} (S_s)$	144	351	—	—	—
SLC-3, 4, 5	Ⅳ△S	30W	$S_n (S_s)$	—	—	202	252	—

注記 *：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 $1.2 S_n$ 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 (℃)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
SN0-SLC-27C	オイルスナッパ	HSP-05	添付書類「V-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	7.5
SNM-SLC-35T1	メカニカルスナッパ	SMS-03			0.3	4.5
SH-SLC-R004	スプリングハンガ	VSA-L4			1.2	1.7

対象がない場合は、「－」を記載する。

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 (℃)	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 x	F y	F z	M x	M y	M z			
RE-SLC-50	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	66	0	5.0	0	—	—	—	圧縮	16	142
AN-SLC-90	アンカ	ラグ	SUS304	66	2.8	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	組合せ	85	141

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

評価対象がある場合は、「*」を記載する。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
-	-	-	-	-	-	-	-	-

対象がない場合は、「-」を記載する。

評価対象がある場合は、「* 応答加速度は、打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。」と記載する。

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裕度を算出し、応力分類毎に裕度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。

評価クラス毎に記載する。

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範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S					
		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	疲労累積 係数
1	SLC-1, 2	800	56	132	2.35	—	8W	75	351	4.68	—	—	—
2	SLC-3, 4, 5	30W	96	132	1.37	○	30W	144	351	2.43	○	—	—
3	SLC-6, 7, 8A	11	25	188	7.52	—	11	33	431	13.06	—	—	—
4	SLC-8B, 9, 10	25W	97	283	2.91	—	25W	120	376	3.13	—	—	—
5	SLC-12B	431W	77	283	3.67	—	431W	98	376	3.83	—	—	—

注記：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。IV_ASの計算応力は、V_ASとIV_ASの大きい方を記載している。

5. 弁の動的機能維持評価について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について.....	1
3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について.....	3
4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果.....	3

添付 1 高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

添付 2 弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

添付 3 耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について

添付 4 評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という。）を踏まえて、弁の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を図 1 に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動部での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、振動数領域を

20Hz から今回工認においては、50Hz まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度値の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を表 1 に示す。表 1 に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

表 1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度 (1.0ZPA) を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析*1 から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用する。

* 1 振動数領域として 50Hz まで考慮した地震応答解析により算定する。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

図1 J E A G 4601 (1991) の抜粋

3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について、動的機能維持要求弁として主蒸気逃がし安全弁、主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管に対して検討を行った。本検討では、東海第二発電所における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は20Hzまでとしていたが、新たに50Hz、100Hzまで考慮したスペクトルモーダル解析を実施した。本検討の詳細は添付1に示す。

解析結果として50Hzまで振動数を考慮した場合については、20Hzに比べて応答加速度が増加したものの、100Hzまで考慮した場合では、50Hzの応答加速度に対して、弁駆動部の応答加速度値に増加がないことから、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる振動数領域については、50Hzまでを基本として評価を実施することとする。

また、本評価は代表的な弁での検討であるため、その他の動的機能要求弁についても同様の検討を行うことにより、機能維持の確認を行う。

4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果

機能維持評価対象弁の高振動数領域を考慮した地震応答解析の結果について、表2に示す。表2には振動数領域を50Hzまでを基本として、100Hzまで考慮した場合の応答加速度も合わせて示す。また、100Hzまで考慮した応答加速度が50Hzまで考慮した

場合の応答加速度に対して、10%以上の応答増加が有る場合については、その影響として更なる高振動数領域まで考慮した解析により、応答増加の影響を確認した。

表2に示すとおり、高振動数領域まで考慮した弁の応答加速度値として、機能維持対象弁は機能確認済加速度に収まることを確認した。

表 2(1) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.22PA)			MAX (100Hz, 1.22PA)			増加率 (㉔/㉓)	備 考
						評価用加 速度* (㉓)	機能確認 許加速度	裕度	評価用加 速度* (㉔)	機能確認 許加速度	裕度		
1	MS	B22-F013A	主蒸気逃がし安全弁 A	安全弁	水平	6.63 (6.63) (1.54)	9.6	1.44	6.63 (6.63) (1.54)	9.6	1.44	1.00	
					鉛直	2.25 (2.25) (1.24)	6.1	2.71	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	1.05	
2	MS	B22-F013B	主蒸気逃がし安全弁 B	安全弁	水平	5.51 (5.51) (1.54)	9.6	1.74	5.51 (5.51) (1.54)	9.6	1.74	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.24)	6.1	2.83	2.15 (2.15) (1.24)	6.1	2.83	1.00	
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁 C	安全弁	水平	5.41 (5.41) (1.54)	9.6	1.77	5.41 (5.41) (1.54)	9.6	1.77	1.00	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
4	MS	B22-F013D	主蒸気逃がし安全弁 D	安全弁	水平	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.00	
5	MS	B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁 E	安全弁	水平	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	1.00	
					鉛直	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	2.45 (2.45) (1.24)	6.1	2.48	1.05	
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁 F	安全弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.00	
					鉛直	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.00	
7	MS	B22-F013G	主蒸気逃がし安全弁 G	安全弁	水平	6.33 (6.33) (1.54)	9.6	1.51	6.33 (6.33) (1.54)	9.6	1.51	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.00	
8	MS	B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁 H	安全弁	水平	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁 J	安全弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.00	
					鉛直	2.04 (2.04) (1.24)	6.1	2.99	2.04 (2.15) (1.24)	6.1	2.99	1.00	
10	MS	B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁 K	安全弁	水平	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.00	
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁 L	安全弁	水平	5.61 (5.61) (1.54)	9.6	1.71	5.61 (5.61) (1.54)	9.6	1.71	1.00	
					鉛直	1.24 (1.02) (1.24)	6.1	4.91	1.24 (1.02) (1.24)	6.1	4.91	1.00	
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁 M	安全弁	水平	5.31 (5.31) (1.54)	9.6	1.80	5.31 (5.31) (1.54)	9.6	1.80	1.00	
					鉛直	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.22PA）における最大値、中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値、下段が最大応答加速度（1.22PA）の値。

表 2(2) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 済加速度	裕度		
13	MS	B22-F013N	主蒸気送がし安全弁N	安全弁	水平	5.10 (5.10) (1.54)	9.6	1.88	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	1.03	
					鉛直	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.00	
14	MS	B22-F013P	主蒸気送がし安全弁P	安全弁	水平	4.39 (4.39) (1.54)	9.6	2.18	4.39 (4.39) (1.54)	9.6	2.18	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.00	
15	MS	B22-F013R	主蒸気送がし安全弁R	安全弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	1.00	
					鉛直	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	2.45 (2.45) (1.24)	6.1	2.48	1.05	
16	MS	B22-F013S	主蒸気送がし安全弁S	安全弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	9.6	2.04	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	1.03	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.00	
17	MS	B22-F013U	主蒸気送がし安全弁U	安全弁	水平	5.72 (5.72) (1.54)	9.6	1.67	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.02	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
18	MS	B22-F013V	主蒸気送がし安全弁V	安全弁	水平	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	1.00	
					鉛直	1.24 (1.23) (1.24)	6.1	4.91	1.33 (1.33) (1.24)	6.1	4.58	1.08	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第1弁A	空気作動 グロープ弁	水平	6.33 (6.33) (1.54)	10.0	1.57	6.33 (6.33) (1.54)	10.0	1.57	1.00	
					鉛直	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	1.00	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第1弁B	空気作動 グロープ弁	水平	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	1.00	
					鉛直	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	1.00	
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第1弁C	空気作動 グロープ弁	水平	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	1.00	
					鉛直	5.31 (5.31) (1.24)	6.2	1.16	5.31 (5.31) (1.24)	6.2	1.16	1.00	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第1弁D	空気作動 グロープ弁	水平	7.04 (7.04) (1.54)	10.0	1.42	7.04 (7.04) (1.54)	10.0	1.42	1.00	
					鉛直	5.41 (5.41) (1.24)	6.2	1.14	5.41 (5.41) (1.24)	6.2	1.14	1.00	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第2弁A	空気作動 グロープ弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	10.0	2.12	4.70 (4.70) (1.54)	10.0	2.12	1.00	
					鉛直	3.98 (3.98) (1.24)	6.2	1.55	3.98 (3.98) (1.24)	6.2	1.55	1.00	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第2弁B	空気作動 グロープ弁	水平	5.10 (5.10) (1.54)	10.0	1.96	5.10 (5.10) (1.54)	10.0	1.96	1.00	
					鉛直	3.88 (3.88) (1.24)	6.2	1.59	3.88 (3.88) (1.24)	6.2	1.59	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値、中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値、下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(3) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.22PA)			MAX (100Hz, 1.22PA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 済加速度	裕度		
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第2弁C	空気作動 グロープ弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	1.00	
					鉛直	3.78 (3.78) (1.24)	6.2	1.64	3.78 (3.78) (1.24)	6.2	1.64	1.00	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁D	空気作動 グロープ弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	1.00	
					鉛直	3.57 (3.57) (1.24)	6.2	1.73	3.68 (3.68) (1.24)	6.2	1.68	1.04	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.80 (4.80) (1.59)	6.0	1.25	4.90 (4.90) (1.59)	6.0	1.22	1.03	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.31)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.31)	6.0	1.89	1.00	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.59 (4.59) (1.59)	6.0	1.30	4.59 (4.59) (1.59)	6.0	1.30	1.00	
					鉛直	2.95 (2.95) (1.31)	6.0	2.02	2.96 (2.96) (1.31)	6.0	2.02	1.00	
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.88 (3.88) (1.59)	6.0	1.54	3.88 (3.88) (1.59)	6.0	1.54	1.00	
					鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	6.0	4.58	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	4.19	1.10	
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.68 (3.68) (1.59)	6.0	1.63	3.78 (3.78) (1.59)	6.0	1.58	1.03	
					鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	6.0	4.58	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	4.19	1.10	
31	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (外側)	電動 ゲート弁	水平	4.29 (4.29) (1.10)	6.0	1.39	4.29 (4.29) (1.10)	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	1.23 (1.23) (0.96)	6.0	4.87	1.23 (1.23) (0.96)	6.0	4.87	1.00	
32	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (内側)	電動 ゲート弁	水平	3.37 (3.37) (1.54)	6.0	1.78	3.37 (3.37) (1.54)	6.0	1.78	1.00	
					鉛直	4.19 (4.19) (1.24)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.24)	6.0	1.43	1.00	
33	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイ隔離弁	電動 グロープ弁	水平	2.35 (2.35) (1.55)	6.0	2.55	2.35 (2.35) (1.55)	6.0	2.55	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.17)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.17)	6.0	2.79	1.00	
34	RHR	E12-F024A	残留熱除去系A系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.01)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (1.01)	6.0	3.65	1.00	
35	RHR	E12-F024B	残留熱除去系B系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	2.96 (2.96) (1.34)	6.0	2.02	2.96 (2.96) (1.34)	6.0	2.02	1.00	
					鉛直	1.33 (1.33) (1.01)	6.0	4.51	1.33 (1.33) (1.01)	6.0	4.51	1.00	
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サブプレッショ・プール スプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	1.64 (1.64) (1.13)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (1.13)	6.0	3.65	1.00	
					鉛直	4.80 (4.80) (0.99)	6.0	1.25	4.80 (4.80) (0.99)	6.0	1.25	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.22PA）における最大値、中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値、下段が最大応答加速度（1.22PA）の値。

表 2(4) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.22PA)			MAX (100Hz, 1.22PA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 許加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 許加速度	裕度		
37	RHR	E12-F027B	残留熱除去系B系サブプレッショ・プールの スプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	3.17 (3.17) (1.13)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.13)	6.0	1.89	1.00	
					鉛直	2.05 (2.05) (0.99)	6.0	2.92	2.05 (2.05) (0.99)	6.0	2.92	1.00	
38	RHR	E12-F041A	残留熱除去系A系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.19 (4.19) (1.55)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.55)	6.0	1.43	1.00	
					鉛直	2.76 (2.76) (1.36)	6.0	2.17	2.76 (2.76) (1.36)	6.0	2.17	1.00	
39	RHR	E12-F041B	残留熱除去系B系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	5.00 (5.00) (1.55)	6.0	1.20	5.00 (5.00) (1.55)	6.0	1.20	1.00	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.36)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.36)	6.0	1.89	1.00	
40	RHR	E12-F041C	残留熱除去系C系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.39 (4.39) (1.55)	6.0	1.36	4.39 (4.39) (1.55)	6.0	1.36	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.36)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.36)	6.0	2.79	1.00	
41	RHR	E12-F042A	残留熱除去系A系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.25 (2.25) (1.34)	6.0	2.66	2.25 (2.25) (1.34)	6.0	2.66	1.00	
					鉛直	4.90 (4.90) (1.01)	6.0	1.22	4.90 (4.90) (1.01)	6.0	1.22	1.00	
42	RHR	E12-F042B	残留熱除去系B系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.05 (2.05) (1.34)	6.0	2.92	2.05 (2.05) (1.34)	6.0	2.92	1.00	
					鉛直	4.19 (4.19) (1.01)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.01)	6.0	1.43	1.00	
43	RHR	E12-F042C	残留熱除去系C系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	4.70 (4.70) (1.01)	6.0	1.27	4.70 (4.70) (1.01)	6.0	1.27	1.00	
44	RHR	E12-F048A	残留熱除去系熱交換器Aバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	2.56 (2.56) (1.10)	6.0	2.34	2.56 (2.56) (1.10)	6.0	2.34	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (0.96)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (0.96)	6.0	3.65	1.00	
45	RHR	E12-F048B	残留熱除去系熱交換器Bバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	3.07 (3.07) (1.10)	6.0	1.95	3.07 (3.07) (1.10)	6.0	1.95	1.00	
					鉛直	0.96 (0.72) (0.96)	6.0	6.25	0.96 (0.72) (0.96)	6.0	6.25	1.00	
46	RHR	E12-F050A	残留熱除去系A系停止時冷却ラインテスト 逆止弁	逆止弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	6.0	1.03	5.82 (5.82) (1.54)	6.0	1.03	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.24)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.24)	6.0	2.79	1.00	
47	RHR	E12-F050B	残留熱除去系B系停止時冷却ラインテスト 逆止弁	逆止弁	水平	3.57 (3.57) (1.54)	6.0	1.68	3.57 (3.57) (1.54)	6.0	1.68	1.00	
					鉛直	2.04 (2.04) (1.24)	6.0	2.91	2.04 (2.04) (1.24)	6.0	2.91	1.00	
48	RHR	E12-F053A	残留熱除去系A系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	1.34 (0.31) (1.34)	6.0	4.47	1.34 (1.03) (1.34)	6.0	4.47	1.00	
					鉛直	1.01 (0.92) (1.01)	6.0	5.94	1.01 (0.92) (1.01)	6.0	5.94	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.22PA）における最大値、中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値、下段が最大応答加速度（1.22PA）の値。

表 2(5) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.22PA)			MAX (100Hz, 1.22PA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 済加速度	裕度		
49	RHR	E12-F053B	残留熱除去系B系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	5.62 (5.62) (1.13)	6.0	1.06	5.62 (5.62) (1.13)	6.0	1.06	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (0.99)	6.0	4.19	1.43 (1.43) (0.99)	6.0	4.19	1.00	
50	HFCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 グート弁	水平	2.45 (2.45) (1.13)	6.0	2.44	2.45 (2.45) (1.13)	6.0	2.44	1.00	
					鉛直	0.99 (0.92) (0.99)	6.0	6.06	1.03 (1.03) (0.99)	6.0	5.82	1.05	
51	HFCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テストダブル逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	2.76 (2.76) (1.55)	6.0	2.17	2.86 (2.86) (1.55)	6.0	2.09	1.04	
					鉛直	1.34 (1.13) (1.34)	6.0	4.47	1.34 (1.13) (1.34)	6.0	4.47	1.00	
52	LFCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 グート弁	水平	1.13 (0.92) (1.13)	6.0	5.30	1.13 (0.92) (1.13)	6.0	5.30	1.00	
					鉛直	1.84 (1.84) (0.99)	6.0	3.26	1.84 (1.84) (0.99)	6.0	3.26	1.00	
53	LFCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	3.68 (3.68) (1.55)	6.0	1.63	3.68 (3.68) (1.55)	6.0	1.63	1.00	
					鉛直	2.25 (2.25) (1.36)	6.0	2.66	2.25 (2.25) (1.36)	6.0	2.66	1.00	
54	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 グート弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	6.0	1.27	4.70 (4.70) (1.54)	6.0	1.27	1.00	
					鉛直	3.98 (3.98) (1.24)	6.0	1.50	3.98 (3.98) (1.24)	6.0	1.50	1.00	
55	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 グート弁	水平	1.55 (1.43) (1.55)	6.0	3.87	1.55 (1.54) (1.55)	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.17)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.17)	6.0	1.89	1.00	
56	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.55 (0.21) (1.55)	6.0	3.87	1.55 (0.21) (1.55)	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	1.17 (0.21) (1.17)	6.0	5.12	1.17 (0.31) (1.17)	6.0	5.12	1.00	
57	RCIC	F51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.85 (1.33) (1.85)	6.0	3.24	1.85 (1.64) (1.85)	6.0	3.24	1.00	
					鉛直	4.90 (4.90) (1.39)	6.0	1.22	4.90 (4.90) (1.39)	6.0	1.22	1.00	
58	CUW	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 グート弁	水平	4.80 (4.80) (1.40)	6.0	1.25	4.80 (4.80) (1.40)	6.0	1.25	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.18)	6.0	4.19	1.43 (1.43) (1.18)	6.0	4.19	1.00	
59	CUW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 グート弁	水平	2.76 (2.76) (1.34)	6.0	2.17	2.76 (2.76) (1.34)	6.0	2.17	1.00	
					鉛直	1.01 (0.11) (1.01)	6.0	5.94	1.01 (0.51) (1.01)	6.0	5.94	1.00	
60	HCV	C12-126	HC U スクラム弁 (加圧・浅入側)	空気作動グロ ーブ弁	水平	1.29 - (1.29)	6.0	4.65	1.29 - (1.29)	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98 - (0.98)	6.0	6.12	0.98 - (0.98)	6.0	6.12	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.22PA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.22PA）の値。

表 2(6) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.22PA)			MAX (100Hz, 1.22PA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 許加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 許加速度	裕度		
61	HCU	C12-127	HCUスクラム弁 (持出側)	空気作動グローブ 弁	水平	1.29 — (1.29)	6.0	4.65	1.29 — (1.29)	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98 — (0.98)	6.0	6.12	0.98 — (0.98)	6.0	6.12	1.00	
62	FRVS	SB2-4A	FRVS・SGTS系入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	3.47 (3.47) (1.67)	6.0	1.72	3.47 (3.47) (1.67)	6.0	1.72	1.00	
					鉛直	3.78 (3.78) (1.44)	6.0	1.58	3.78 (3.78) (1.44)	6.0	1.58	1.00	
63	FRVS	SB2-4B	FRVS・SGTS系入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	5.11 (5.11) (1.67)	6.0	1.17	5.11 (5.11) (1.67)	6.0	1.17	1.00	
					鉛直	3.47 (3.47) (1.44)	6.0	1.72	3.47 (3.47) (1.44)	6.0	1.72	1.00	
64	FRVS	SB2-5A	非常用ガス再循環系トレインA入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	5.52 (5.52) (1.67)	6.0	1.08	5.52 (5.52) (1.67)	6.0	1.08	1.00	
					鉛直	5.62 (5.62) (1.44)	6.0	1.06	5.62 (5.62) (1.44)	6.0	1.06	1.00	
65	FRVS	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレインB入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.74)	6.0	3.09	2.04 (2.04) (1.74)	6.0	2.94	1.06	
					鉛直	5.92 (5.92) (1.52)	6.0	1.01	5.92 (5.92) (1.52)	6.0	1.01	1.00	
66	FRVS	SB2-7A	非常用ガス再循環系トレインA出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00	
67	FRVS	SB2-7B	非常用ガス再循環系トレインB出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00	
68	FRVS	SB2-13A	非常用ガス再循環系循環ダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	2.55 (2.55) (1.67)	6.0	2.35	2.55 (2.55) (1.67)	6.0	2.35	1.00	
					鉛直	4.39 (4.39) (1.44)	6.0	1.36	4.39 (4.39) (1.44)	6.0	1.36	1.00	
69	FRVS	SB2-13B	非常用ガス再循環系循環ダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	4.29 (4.29) (1.67)	6.0	1.39	4.29 (4.29) (1.67)	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	4.59 (4.59) (1.44)	6.0	1.30	4.59 (4.59) (1.44)	6.0	1.30	1.00	
70	SGTS	SB2-9B	非常用ガス処理系トレインB入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00	
71	SGTS	SB2-9A	非常用ガス処理系トレインA入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.40 — (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00 — (1.00)	6.0	6.00	1.00	
72	SGTS	SB2-11B	非常用ガス処理系トレインB出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.22PA）における最大値、中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値、下段が最大応答加速度（1.22PA）の値。

表 2(7) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (②/①)	備 考
						評価用加 速度* (①)	機能確認 許加速度	裕度	評価用加 速度* (②)	機能確認 許加速度	裕度		
73	SGTS	SB2-11A	非常用ガス処理系トレインハ出口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.00	

*：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価として、主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管について、スペクトルモーダル解析にて考慮する範囲として 20Hz、50Hz 及び 100Hz までとし、各々評価結果として、弁駆動部の応答加速度を算定した。

2. 解析モデル

弁の機能維持評価に用いる主蒸気系配管の解析モデルを図 1 に示す。評価に用いる解析モデルは、原子炉圧力容器ノズルから主蒸気隔離弁の下流側をアンカ点としたモデルであり、また主蒸気逃がし安全弁の排気管についてもモデル化している。

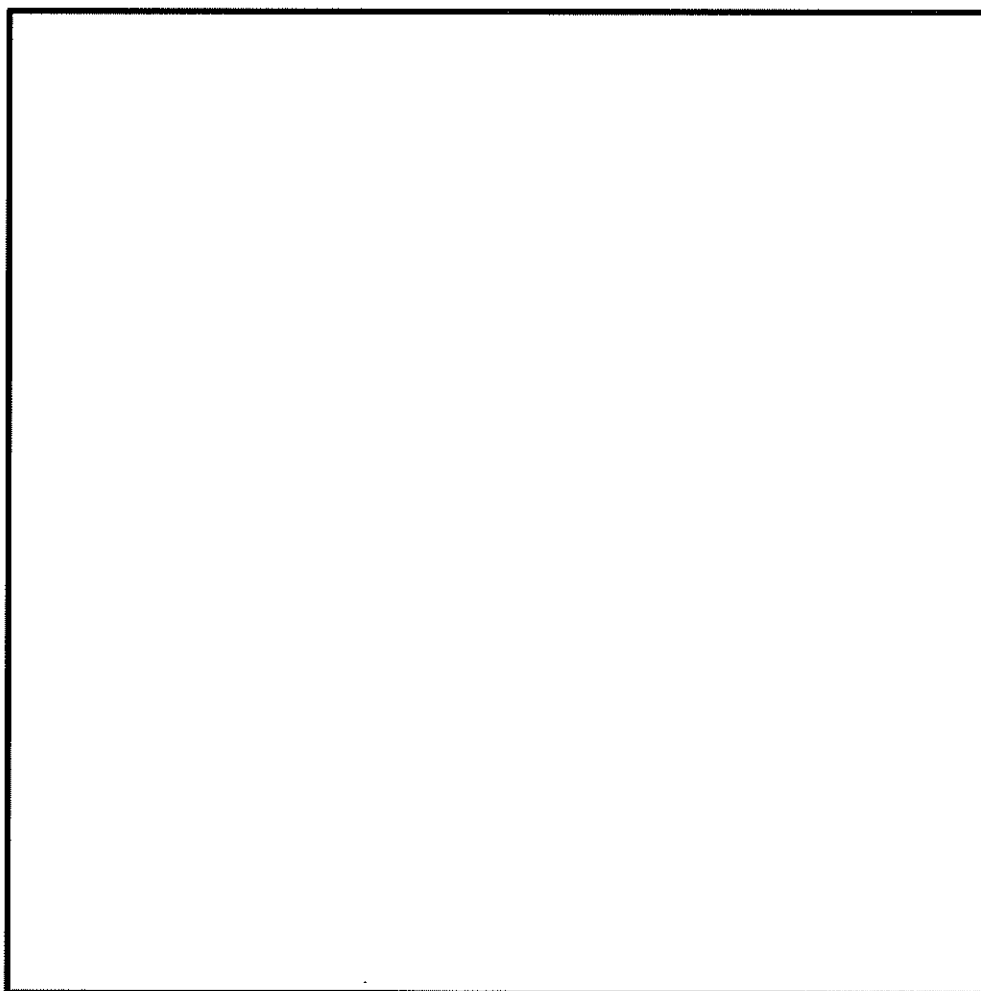


図 1 主蒸気系配管の解析モデル図

3. 入力条件

当該解析モデルは柔構造であることから、スペクトルモーダル解析から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用して機能維持評価を行う。

スペクトルモーダル解析における入力条件としては、設計用床応答曲線に 1.5 倍の余裕を見込んだ加速度値を用いることとする。なお設計用床応答曲線の作成を 20Hz としていることから、20Hz を超えた範囲については、最大応答加速度を入力とする。入力条件となる動的機能維持評価用床応答スペクトルを図 2 に示す。動的機能維持評価用床応答スペクトルの適用性を添付 2 に示す。

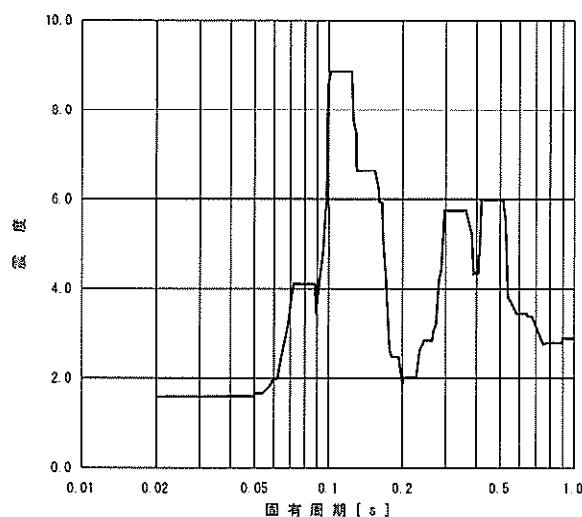


図 2(1) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 2.0%)

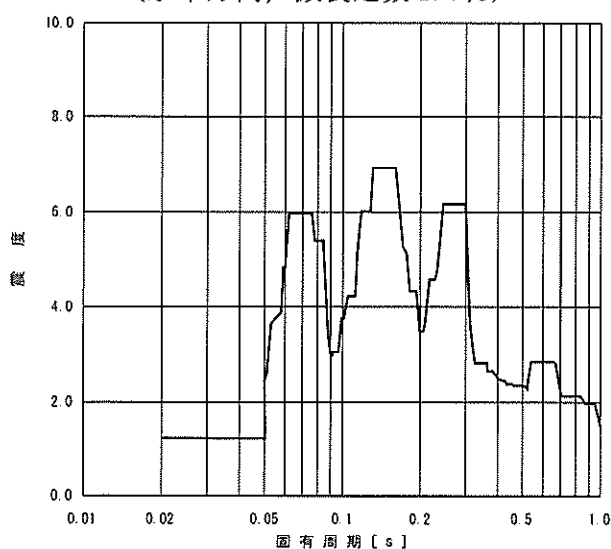


図 2(2) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

4. 固有値解析結果

主蒸気系配管の固有値解析結果として、固有周期、刺激係数及び設計震度を表 1 に、振動モード図を図 3 に示す。

表 1 主蒸気系配管の固有周期、刺激係数及び設計震度

モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z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								
138 次								

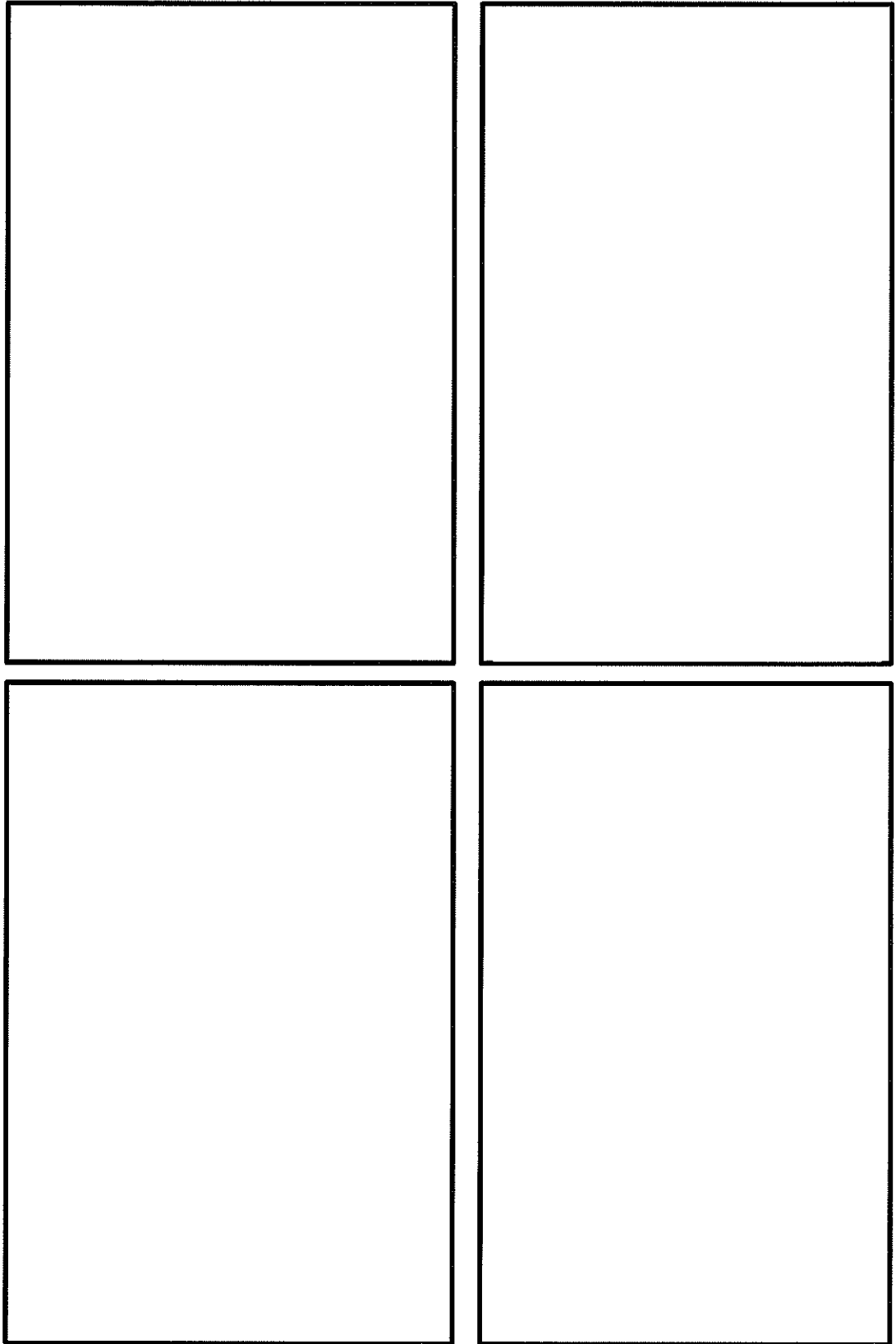


図 3(1) 主蒸気系配管の振動モード図

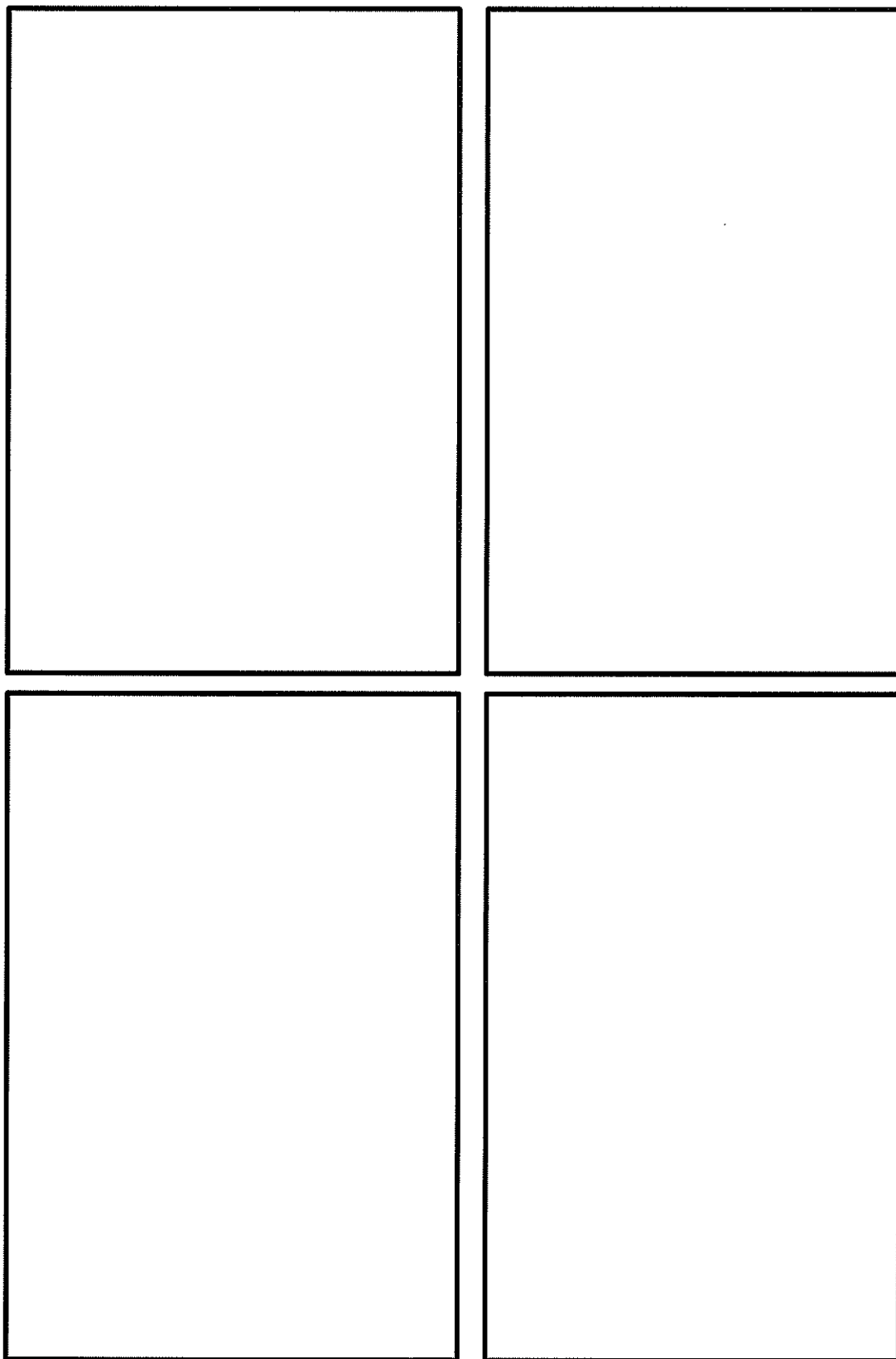


図 3(2) 主蒸気系配管の振動モード図

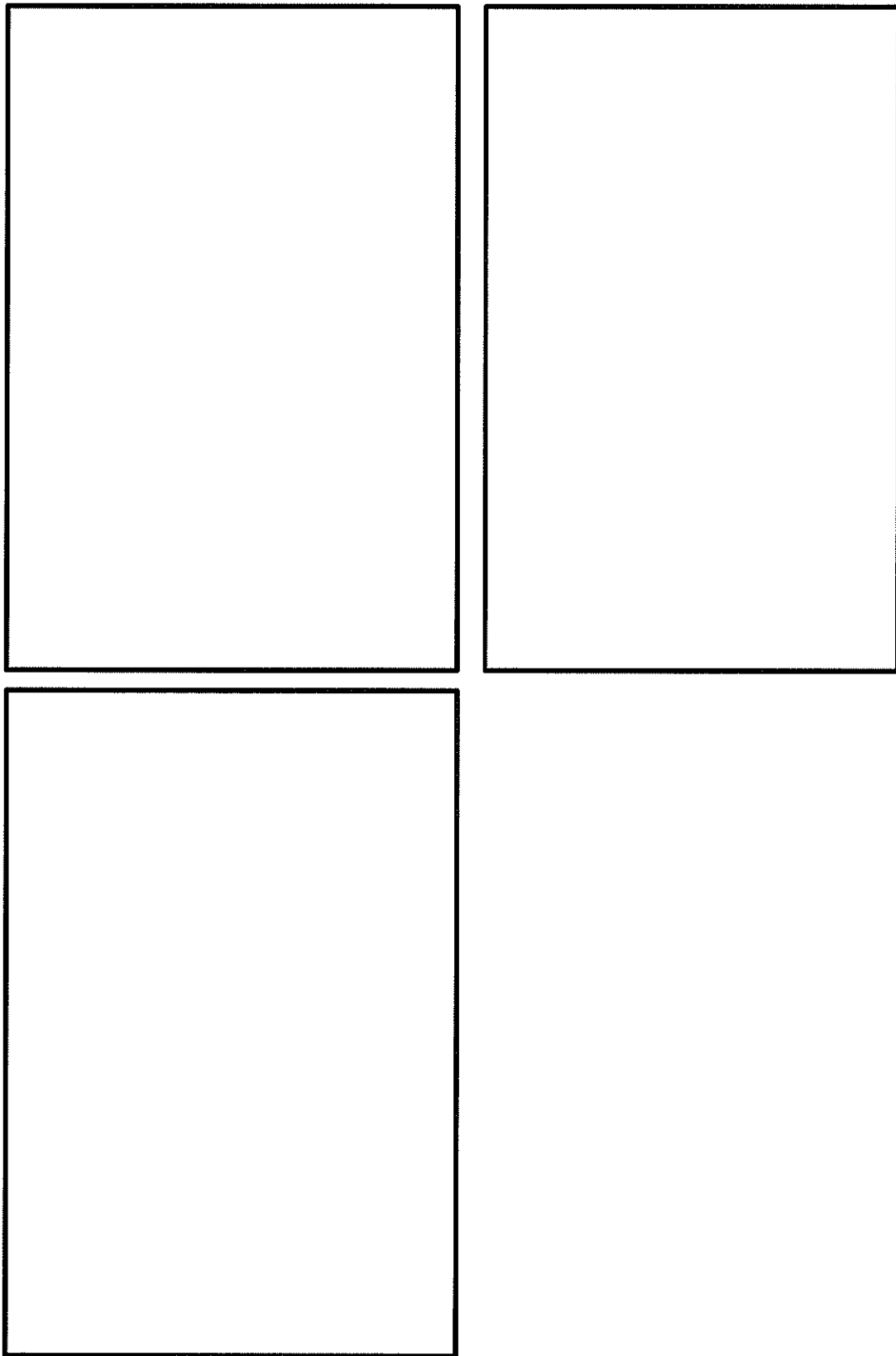


図 3(3) 主蒸気系配管の振動モード図

5. 解析結果

解析モデルを用いた地震応答解析による弁駆動部における応答加速度の算定結果を表 2 に示す。表 2 に示すとおり 20Hz の応答加速度に対して、50Hz まで考慮した応答加速度は増加しているものの、100Hz まで考慮した応答加速度は、50Hz に対して増加は認められなかった。

表 2 弁駆動部における応答加速度

弁名称	方向	スペクトルモーダル 解析 (G)			最大加速度 (1.2ZPA) (G)
		20Hz	50Hz	100Hz	
主蒸気逃がし安全弁	水平	5.41	5.52	5.52	1.54
	鉛直	1.84	2.05	2.05	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器内側)	水平	7.35	7.35	7.35	1.54
	鉛直	5.41	5.41	5.41	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器外側)	水平	4.90	5.00	5.00	1.54
	鉛直	3.88	3.88	3.88	1.24

弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

工事計画に係る補足説明資料【補足-340-13 機電分耐震計算書の補足について】の「2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて、機器・配管系の耐震設計における剛柔判断の固有振動数を 20Hz とすることの妥当性を確認している。前述の資料では、20Hz 近傍にて卓越する応答を示す原子炉格納容器の設計用床応答曲線を用いる配管系について、従来の応力評価手法の妥当性の確認を実施している。

本資料では上記図書と同様に、当該配管に設置された動的機能維持要求弁の加速度応答の算出に用いる床応答スペクトル（図 1 参照）として、20Hz まで作成した設計用床応答曲線に 20Hz より剛側を最大加速度とすることが妥当であることを確認する。

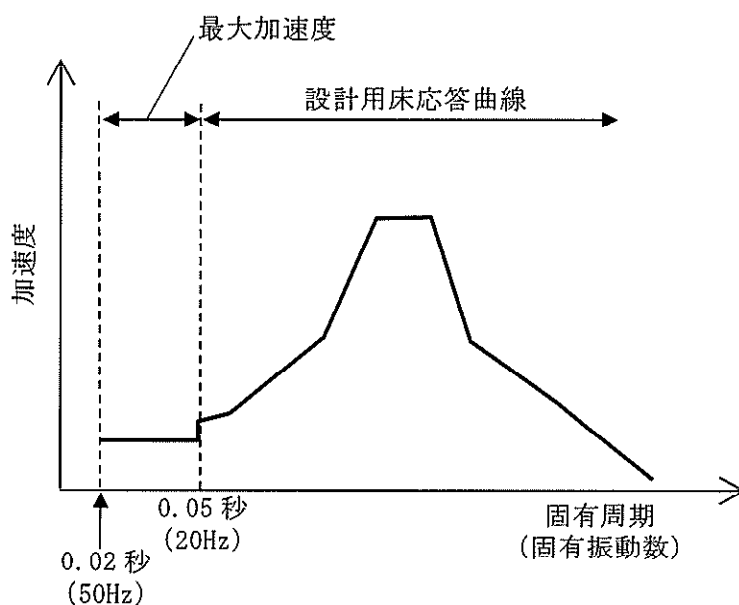


図 1 動的機能維持要求弁に用いる床応答スペクトル（イメージ図）

2. 配管系の地震応答解析

原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し、スペクトルモーダル解析を実施する解析モデルは、原子炉隔離時冷却系配管の 1 モデルのみである。当該解析モデルを図 2 に示すとおり、原子炉圧力容器ノズル付近に逆止弁を有し、当該弁が動的機能維持の確認が必要となる。

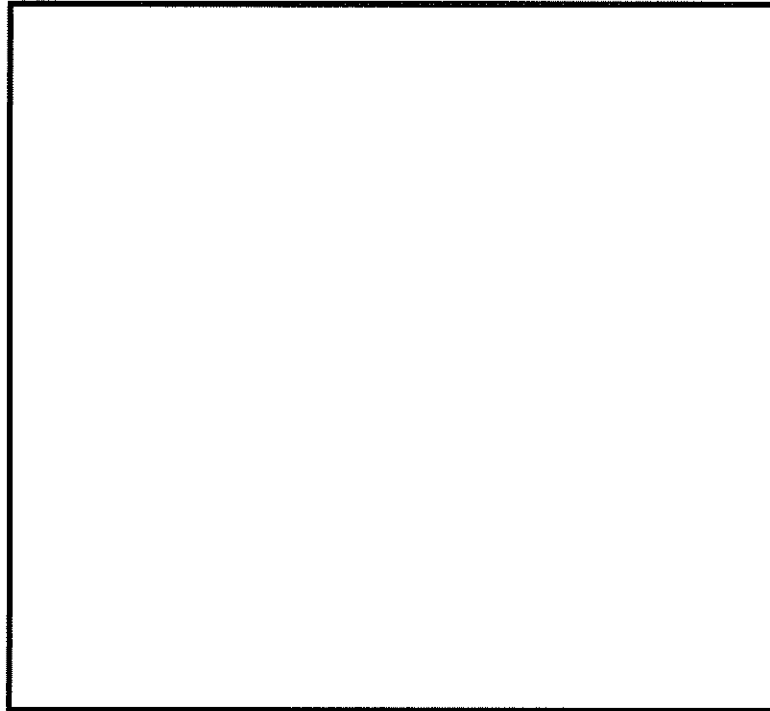


図 2 原子炉隔離時冷却系配管解析モデル図

3. 確認内容

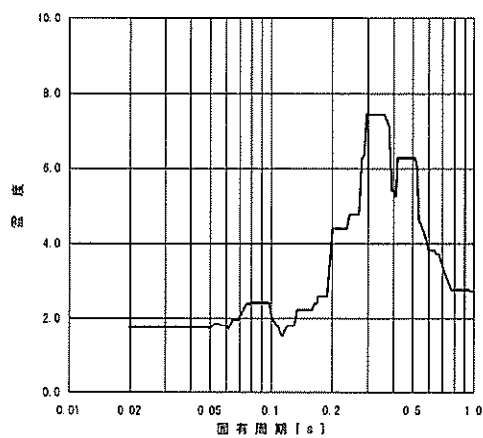
動的機能維持対象弁の応答加速度値の算出に用いる床応答スペクトルとして、以下 2 種類作成し、スペクトルモーダル解析により弁位置の応答加速度を算出することにより行う。

a. 動的機能維持評価用床応答スペクトル

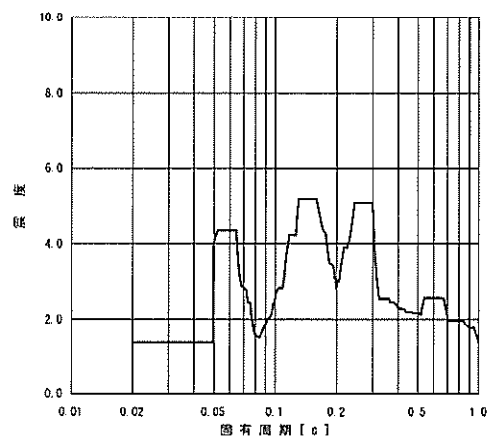
東海第二発電所動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルで有り、床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成する（図 3）。

b. 検討用床応答スペクトル

動的機能維持確認用床応答スペクトルでの応答比較のために用いる床応答スペクトルとし、床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とする（図 4）。

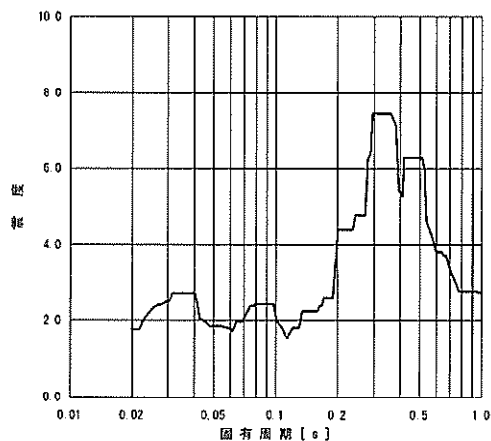


水平方向

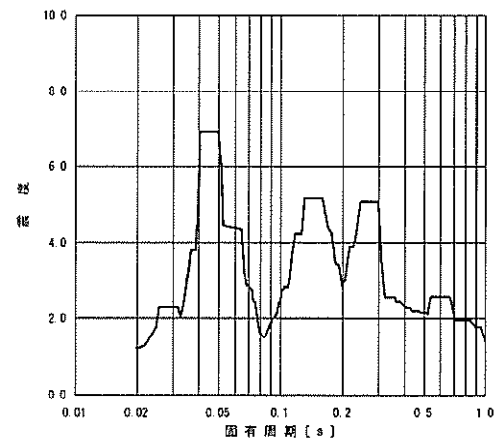


鉛直方向

図3 動的機能維持評価用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)



水平方向



鉛直方向

図4 検討用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)

4. 解析結果及び考察

(1) 解析結果

固有値解析結果として、固有振動数及び刺激係数を表 2 に、主要次数のモード図を図 5 に示す。

各床応答スペクトルを用いた地震応答解析による弁駆動部の応答加速度の算定結果を表 1 に示す。表 1 に示すとおり今回評価に適用する 20Hz まで作成した床応答スペクトル及び最大加速度 1.2ZPA の弁駆動部の応答加速度よりも 50Hz まで作成した応答スペクトルのほうが大きく値となったものの、その差は僅かであり、また確認済加速度より小さいことが確認できた。

表 1 弁駆動部位置における応答加速度

		弁駆動部の応答加速度 (G)		確認済加速度 (G)
		水平方向	鉛直方向	
動的機能 維持 評価用	動的機能維持確認用床応答スペクトル* ¹ による結果	1.33	4.90	6.0
	最大加速度 1.2ZPA	1.85	1.39	
	包絡値	1.85	4.90	
検討用	検討用床応答スペクトル* ² による結果	1.94	5.10	6.0

* 1：床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成（図 3）

* 2：床応答スペクトルの範囲を 50Hz として作成（図 4）

(2) 解析結果を踏まえた対応

本検討に用いた床応答スペクトルは、20Hz に応答が卓越する構築物に設置される配管系を用いて検討を実施した。20Hz に卓越する応答を有する厳しい条件においても弁位置の応答増加は、1.85G から 1.94G の増加でその割合は 5%程度であった。

本解析結果を踏まえて、20Hz に卓越する応答を示す構築物として原子炉格納容器の

床応答スペクトルを用いる配管系において、10%の裕度が確保できない弁については、3.項に示す「検討用床応答スペクトル」を用いた地震応答解析結果から算定される弁駆動部の応答加速度に対しても、弁の機能維持が確保できることを確認する。具体的には、弁駆動部の応答加速度が確認済加速度に収まることを確認する。応答加速度が確認済加速度を超える場合には、J E A G 4601－1991 による詳細解析により弁の機能維持が確保できることを確認する。

弁の動的機能維持評価の結果、裕度10%を確保できない弁について原子炉格納容器の床応答スペクトルを用いたものはなかった。

表 2 原子炉隔離時冷却系配管の固有振動数及び刺激係数

モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 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								
11 次								
12 次								

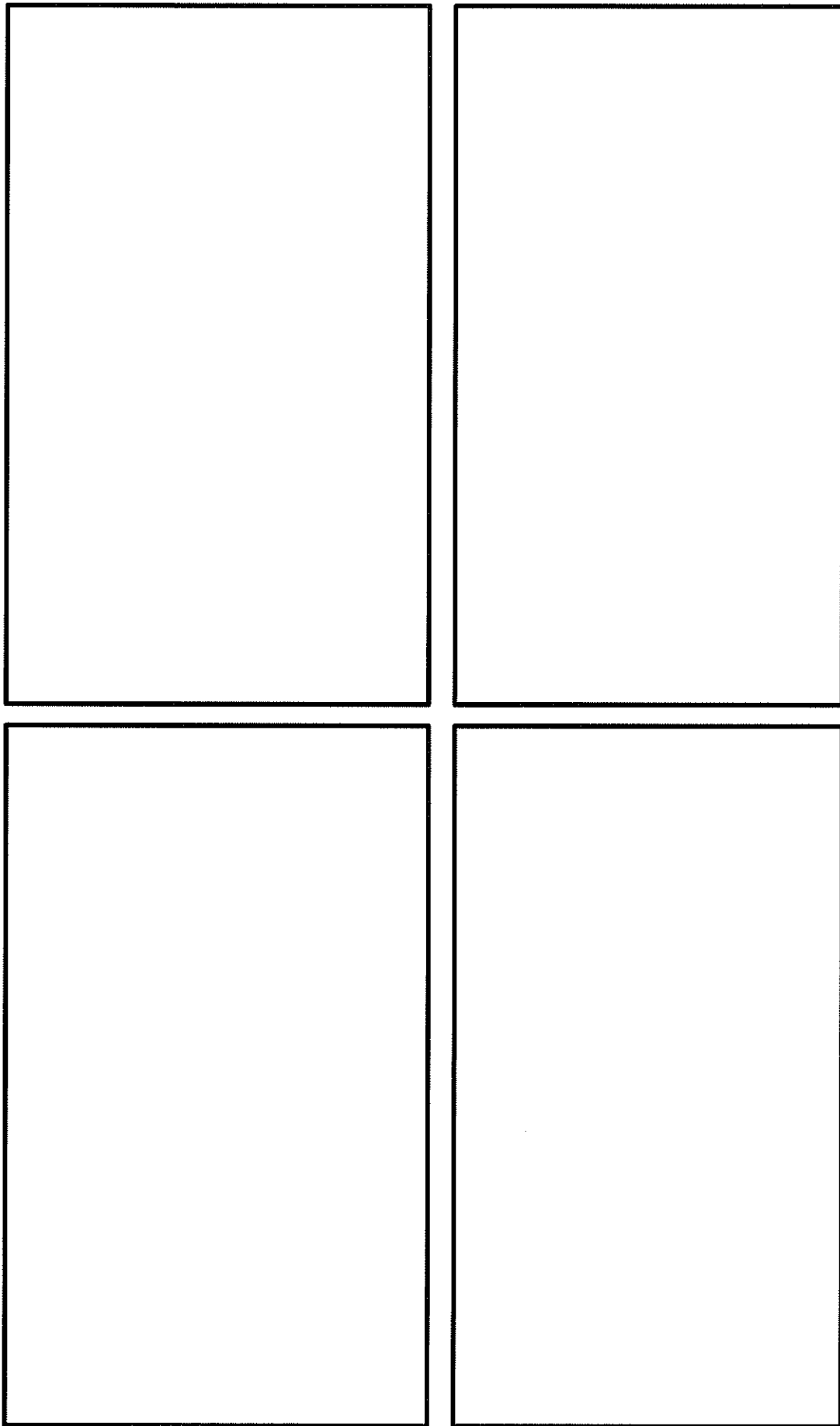


図 5(1) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

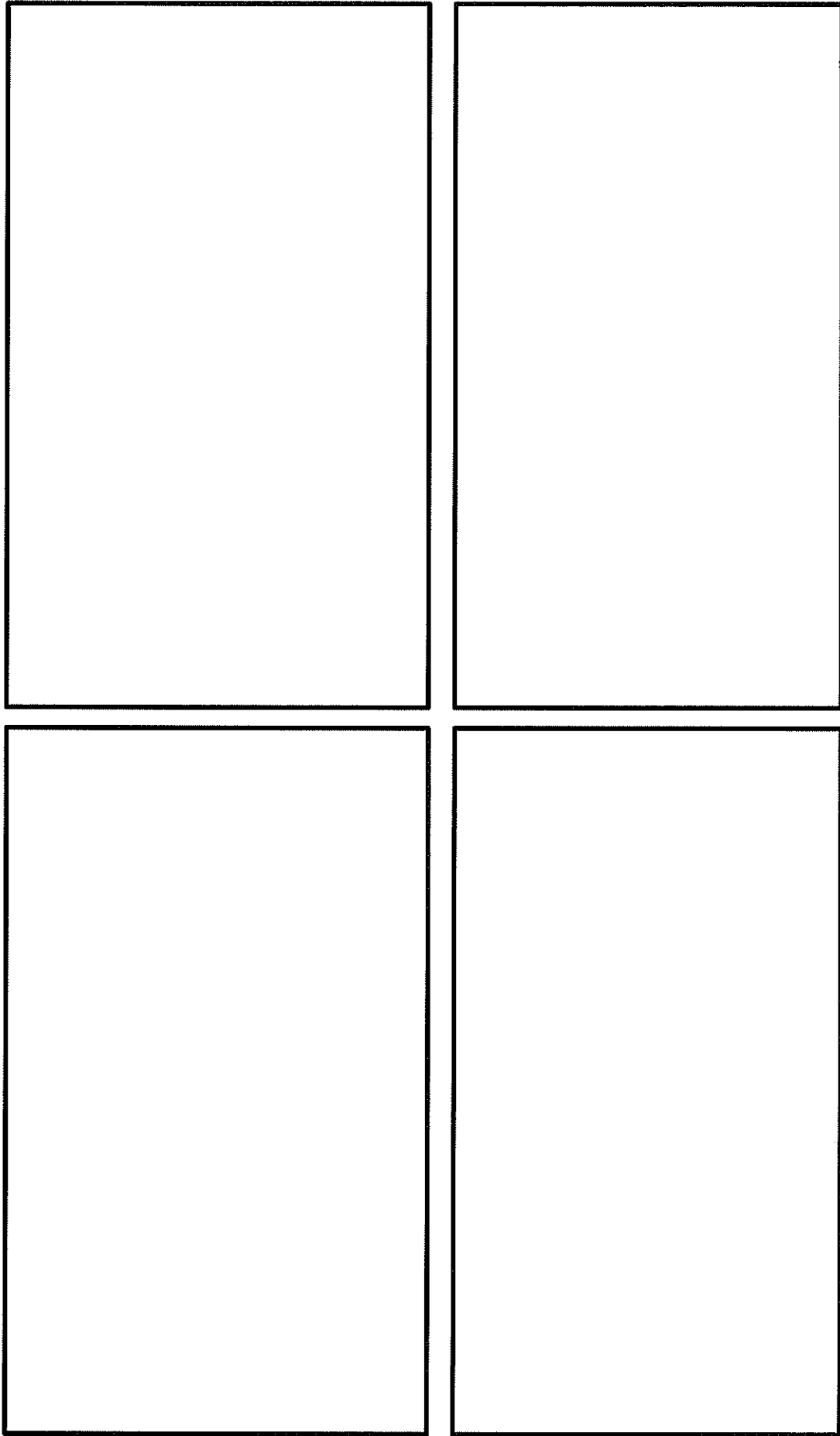


図 5(2) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

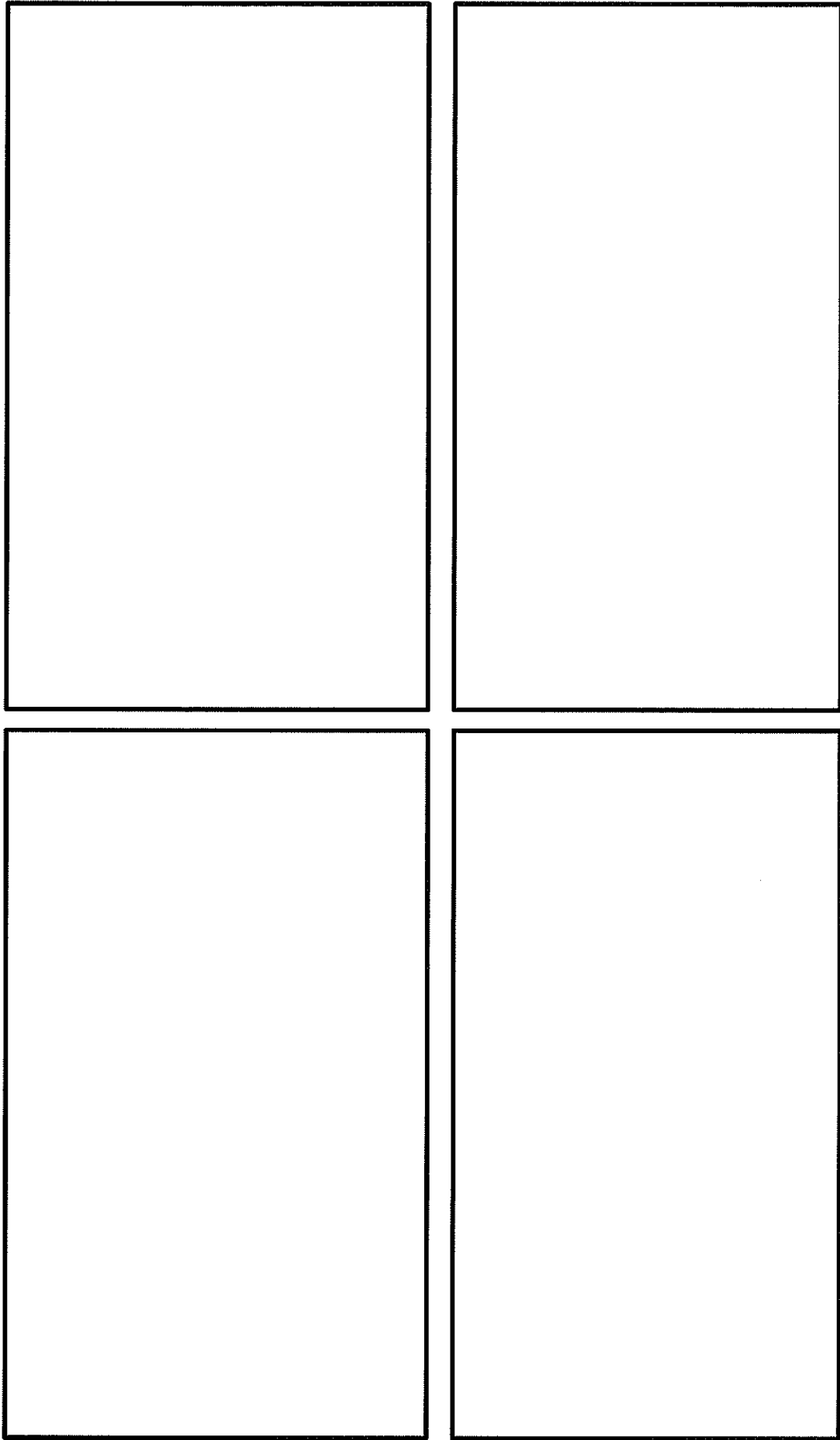


図 5(3) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について

1. 概要

東海第二発電所については、工認耐震計算書のうち各申請設備の「管の耐震性についての計算書」において、弁の機能維持評価を実施している。「管の耐震性についての計算書」においては、工認の要目表に記載のある弁のうち、動的機能維持が要求される弁を選定し、弁型式ごとに「機能確認済加速度」に対する「評価用加速度」の裕度が最も小さい弁の評価結果を代表として記載している。

本資料は「管の耐震性についての計算書」に記載している機能維持評価の代表機器選定方法の妥当性について説明するものである。

2. 機能維持評価対象機器の代表機器の選定方法について

機能維持評価対象機器の代表機器を選定するために、工認の要目表に記載のある弁から、JEAG4601・補－1984 並びに JEAG4601－1991 追補版に基づき動的機能維持評価の要求の有無を整理した。(別添 1 参照)

本資料は、設計基準対象施設を対象として整理しているが、重大事故等対象施設として動的機能維持が要求される弁が新たに追加されないことを確認している。

別添 1

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 (● 73 個)	動的機能維持が要求される理由※1 表Ⅱ-1 分類欄	動的機能維持要求が除外される理由※2
1	MS	B22-F013A	主蒸気速がし安全弁A	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
2	MS	B22-F013B	主蒸気速がし安全弁B	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
3	MS	B22-F013C	主蒸気速がし安全弁C	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
4	MS	B22-F013D	主蒸気速がし安全弁D	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
5	MS	B22-F013E	主蒸気速がし安全弁E	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
6	MS	B22-F013F	主蒸気速がし安全弁F	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
7	MS	B22-F013G	主蒸気速がし安全弁G	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
8	MS	B22-F013H	主蒸気速がし安全弁H	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
9	MS	B22-F013J	主蒸気速がし安全弁J	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
10	MS	B22-F013K	主蒸気速がし安全弁K	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
11	MS	B22-F013L	主蒸気速がし安全弁L	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
12	MS	B22-F013H	主蒸気速がし安全弁M	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
13	MS	B22-F013N	主蒸気速がし安全弁N	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
14	MS	B22-F013P	主蒸気速がし安全弁P	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
15	MS	B22-F013R	主蒸気速がし安全弁R	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
16	MS	B22-F013S	主蒸気速がし安全弁S	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
17	MS	B22-F013U	主蒸気速がし安全弁U	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
18	MS	B22-F013V	主蒸気速がし安全弁V	安全弁	●	As- (i) -①-② As- (ii) -①-①	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第1弁A	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第1弁B	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第1弁C	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第1弁D	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第2弁A	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第2弁B	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第2弁C	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁D	空気作動 グロープ弁	●	As- (i) -①-①	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As- (i) -③-①	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As- (i) -③-①	

別添 1

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 (● 73 個)	動的機能維持が要求される理由※1 表Ⅱ-1分類例	動的機能維持要求が除外される理由※2
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As- (i) -③-①	
30	FW	B23-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As- (i) -③-①	
31	RHR	E12-F005	残留熱除去系停止時冷却ライン安全弁	安全弁	×	—	①
32	RHR	E12-F006	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (外側)	電動 ゲート弁	●	As- (ii) -④-①	
33	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (内側)	電動 ゲート弁	●	As- (ii) -④-①	
34	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイ隔離弁	電動 グローブ弁	●	As- (ii) -④-①	
35	RHR	E12-F024A	残留熱除去系A系テストライン弁	電動 ゲート弁	●	As- (iv)	
36	RHR	E12-F024B	残留熱除去系B系テストライン弁	電動 ゲート弁	●	As- (iv)	
37	RHR	E12-F025A	残留熱除去系A出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
38	RHR	E12-F025B	残留熱除去系B出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
39	RHR	E12-F025C	残留熱除去系C出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
40	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サブプレッション・プールスプレイ弁	電動 ゲート弁	●	A- (ii) -①-①	
41	RHR	E12-F027B	残留熱除去系B系サブプレッション・プールスプレイ弁	電動 ゲート弁	●	A- (ii) -①-①	
42	RHR	E12-F041A	残留熱除去系A系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A- (i) -①-3)-①	
43	RHR	E12-F041B	残留熱除去系B系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A- (i) -①-3)-①	
44	RHR	E12-F041C	残留熱除去系C系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A- (i) -①-3)-①	
45	RHR	E12-F042A	残留熱除去系A系注入弁	電動 ゲート弁	●	A- (i) -①-3)-①	
46	RHR	E12-F042B	残留熱除去系B系注入弁	電動 ゲート弁	●	A- (i) -①-3)-①	
47	RHR	E12-F042C	残留熱除去系C系注入弁	電動 ゲート弁	●	A- (i) -①-3)-①	
48	RHR	E12-F048A	残留熱除去系熱交換器Aバイパス弁	電動 グローブ弁	●	As- (ii) -④-① A- (ii) -①-①	
49	RHR	E12-F048B	残留熱除去系熱交換器Bバイパス弁	電動 グローブ弁	●	As- (ii) -④-① A- (ii) -①-①	
50	RHR	E12-F050A	残留熱除去系A系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	As- (ii) -④-①	
51	RHR	E12-F050B	残留熱除去系B系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	As- (ii) -④-①	
52	RHR	E12-F053A	残留熱除去系A系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	●	As- (ii) -④-①	
53	RHR	E12-F053B	残留熱除去系B系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	●	As- (ii) -④-①	
54	RHR	E12-FF028	残留熱除去系停止時冷却入口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
55	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	●	As- (ii) -③-①	
56	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テストライン逆止弁	空気作動 逆止弁	●	As- (ii) -③-①	

別添 1

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 (● 73 個)	動的機能維持が要求される理由※1 表Ⅱ-1分類例	動的機能維持要求が除外される理由※2
57	IPCS	E22-F014	高压炉心スプレイ系入口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
58	IPCS	E22-F035	高压炉心スプレイ系出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
59	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	●	A-(i)-①-2)-①	
60	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系デスト逆止弁	空気作動 逆止弁	●	A-(i)-①-2)-①	
61	LPCS	E21-F018	低圧炉心スプレイ系出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
62	RCIC	E51-F017	原子炉隔離時冷却系ポンプ入口ライン逆止弁	安全弁	×	—	①
63	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(iv)	
64	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(iv)	
65	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側デスト逆止弁	逆止弁	●	As-(ii)-②-②	
66	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側デスト逆止弁	逆止弁	●	As-(ii)-②-②	
67	CUA	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(i)-④-①	
68	CUA	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(i)-④-①	
69	SLC	C41-F029A	ほう酸水注入ポンプA逆止弁	安全弁	×	—	①
70	SLC	C41-F029B	ほう酸水注入ポンプB逆止弁	安全弁	×	—	①
71	HCU	C12-126	HCUスクラム弁 (加圧・流入側)	空気作動グロー ブ弁	●	As-(iii)-①-②	
72	HCU	C12-127	HCUスクラム弁 (排出側)	空気作動グロー ブ弁	●	As-(iii)-①-②	
73	ED	G13-F132	原子炉格納容器ドレン系機器ドレン隔離弁 (外側)	空気作動ゲート 弁	×	—	②
74	ED	G13-F133	原子炉格納容器ドレン系機器ドレン隔離弁 (内側)	空気作動ゲート 弁	×	—	②
75	FD	G13-F129	原子炉格納容器ドレン系床ドレン隔離弁 (外側)	空気作動ゲート 弁	×	—	③
76	FD	G13-F130	原子炉格納容器ドレン系床ドレン隔離弁 (内側)	空気作動ゲート 弁	×	—	③
77	FRVS	SB2-4A	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
78	FRVS	SB2-4B	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
79	FRVS	SB2-5A	非常用ガス再循環系トレインA入口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
80	FRVS	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレインB入口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
81	FRVS	SB2-7A	非常用ガス再循環系トレインA出口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
82	FRVS	SB2-7B	非常用ガス再循環系トレインB出口ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
83	FRVS	SB2-13A	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	
84	FRVS	SB2-13B	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフ ライ弁	●	A-(ii)-③-①	

別添 1

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 (● 73 個)	動的機能維持が要求される理由※1 表Ⅱ-1 分類欄	動的機能維持要求が除外される理由※2
85	SGIS	SB2-9B	非常用ガス処理系トレインB入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A- (ii) -③-①	
86	SGIS	SB2-9A	非常用ガス処理系トレインA入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A- (ii) -③-①	
87	SGIS	SB2-11B	非常用ガス処理系トレインB出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A- (ii) -③-①	
88	SGIS	SB2-11A	非常用ガス処理系トレインA出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A- (ii) -③-①	
89	FCS	2-43V-6A	可燃性ガス濃度制御系ウォータセパレータ A出口遮し弁	安全弁	×	—	①
90	FCS	2-43V-6B	可燃性ガス濃度制御系ウォータセパレータ B出口遮し弁	安全弁	×	—	①
91	AC	2-26B-1	ベンディング用空気供給弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
92	AC	2-26B-2	ドライウェルN 2 ガスバージ用入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
93	AC	2-26B-5	サブプレッションチェンバN 2 ガスバージ用入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
94	AC	2-26B-6	サブプレッションチェンバN 2 ガス補給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
95	AC	2-26B-7	N 2 ガス補給用供給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
96	AC	2-26B-8	N 2 ガスバージ用供給弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
97	AC	2-26B-9	ドライウェルN 2 ガス補給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
98	AC	2-26B-10	サブプレッション・サクションバベント弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
99	AC	2-26B-12	ドライウェルバベント弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
100	AC	2-26B-13	原子炉建屋排気系統入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
101	AC	2-26B-14	非常用ガス再循環系統入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
102	DG	3-14Z1	DG 2DエアレシーバA安全弁	安全弁	×	—	①
103	DG	3-14Z101	DG 2CエアレシーバA安全弁	安全弁	×	—	①
104	HPCS DG	3-14Z201	DG HP C S エアレシーバA安全弁	安全弁	×	—	①

※1：別紙1 参照

※2：別紙2 参照

動的機能維持の必要性の有無については、JEAG4601・補-1984に規定されている。「表Ⅱ-1 具体的な動的設備とその分類例（BWR）」（P52 参照）において、動的機能が要求される機器例が示されており、今回の別添 1 に記載の要目表対象弁に対して分類例番号を記載し、動的機能維持が要求される弁を整理した。

（例：主蒸気逃がし安全弁 → As-（i）-①-②，As-（ii）-①-①）

表Ⅱ-1 具体的な動的設備とその分類例（BWR）

耐震重要度分類	動的機能の分類	系 統	動的機能が要求される機器	要求機能	備 考
As	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するために動的機能が必要なもの	① 主 蒸 気 系	① 主蒸気隔離弁 ② 逃がし安全弁（安全弁機能）	$\alpha(S_2)$	図Ⅱ-1 参照 他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
		② 主蒸気ドレン系	① ドレンライン隔離弁	$\alpha(S_2)$	
		③ 給 水 系	① 給水逆止弁	$\alpha(S_2)$	
		④ 原子炉冷却材浄化系	① 隔 離 弁	$\alpha(S_2)$	
	(ii) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備	① 主 蒸 気 系	① 逃がし安全弁（逃がし弁機能）	$\beta(S_2)$	図Ⅱ-1 参照
		② 原子炉隔離時冷却系	① タービン、② 弁 ③ ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ-2 参照
		③ 高圧炉心スプレイ系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ-3 参照
		④ 残留熱除去系（停止時冷却モード）	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ-4 参照
		⑤ 非常用補機冷却系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	
		⑥ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁，③ ポンプ	$\beta(S_2)$	
	(iii) 原子炉の緊急停止のために、急激に負の反応度を付加するために必要な動的設備、及び原子炉の停止状態を維持するために必要な動的設備	① 制御棒駆動系	① 駆 動 機 構 ② スクラム弁	$\alpha(S_2)$	図Ⅱ-5 参照
	(iv) 原子炉格納容器バウンダリを構成	① 不活性ガス系	① PCV 隔離弁	$\beta(S_1)$	図Ⅱ-6 参照 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損

耐震重要度分類	動的機能の分類	系 統	動的機能が要求される機器	要 求 機 能	備 考
A _S	する弁のうち、原子炉冷却材圧力バウナダリ破損の一定時間後に閉止が必要なもの				(LOCA)後、一般の隔離弁は直ちに閉となるため、地震時の動的機能維持の必要はない。ただし、LOCA後、ECCS等の停止に伴う原子炉格納容器バウナダリ閉止に必要な弁は、S ₁ 地震後機能維持を要す。 また、他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
A	(i) 原子炉冷却材圧力バウナダリ破損後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備	① 非常用炉心冷却系 1) 高压炉心スプレイ系 2) 低压炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低压炉心注水モード)	① 弁, ② ポンプ ① 弁, ② ポンプ ① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$ $\beta(S_1)$ $\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の③で確認 図Ⅱ-7 参照 図Ⅱ-8 参照
		② 非常用補機冷却系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑤で確認
		③ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁, ③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑥で確認
	(ii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際にその外部放散を抑制するために必要な動的設備で、上記耐震A _S クラスの(iv)以外の設備	① 残留熱除去系(PCVスプレイモード)	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	図Ⅱ-9 参照
		② 可燃性ガス濃度制御系	① ブ ロ ア	$\beta(S_1)$	図Ⅱ-10 参照
		③ 非常用ガス処理系	① 排気ファン	$\beta(S_1)$	図Ⅱ-11 参照
		④ 非常用補機冷却系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑤で確認
		⑤ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁, ③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑥で確認
	(iii) 使用済燃料プール水を捕給するために必要な動的設備	① 燃料プール水補給設備(非常用)	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	

動的機能維持の必要性の有無については、JEAG4601・補-1984に規定されている。以下のリストは、JEAGに基づき、動的機能維持要求が除外されるとしたものについて、その具体的な理由をまとめたものである。

番号	動的機能維持要求が除外される理由
①	原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性、原子炉停止後の崩壊熱除去等、プラントの事故対応や停止操作時において <u>動作を必要としない安全弁</u> であり、評価対象外。
②	格納容器機器ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」）、 <u>その後動作要求がない</u> ため（「閉」維持）、評価対象外。
③	格納容器床ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」）、 <u>その後動作要求がない</u> ため（「閉」維持）、評価対象外。
④	原子炉格納容器のベントラインに設置されている格納容器隔離弁及び空気作動弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「閉」→「開」）、 <u>その後動作要求がない</u> ため（「開」維持）、評価対象外。
⑤	原子炉格納容器への窒素供給ラインに設置されている格納容器隔離弁及び空気作動弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「開」又は「閉」→「閉」）、 <u>その後動作要求がない</u> ため（「閉」維持）、評価対象外。

評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

弁の動的機能維持評価対象弁 73 台のうち 14 台に振動数領域を 50Hz まで考慮した場合の加速度に対して 100Hz まで考慮した場合の加速度に増加が確認されたことから、本増加要因に対する検討を以下に実施する。また、表 1 に示すとおり、検討対象弁は、応答増加が大きかった 6%以上のうち、水平方向及び鉛直方向で応答増加率が最も大きい弁を選定する。

表 1 応答増加が大きい機能維持対象弁及び検討対象弁の選定

弁番号	弁名称	方向	評価用加速度*1		機能確認 済み 加速度	応答 増加率 (②/①)	検討 対象弁
			最大値(①) (50Hz) (1.2ZPA)	最大値(②) (100Hz) (1.2ZPA)			
B22-F013V	主蒸気逃がし 安全弁 V	鉛直	1.24 (1.23) (1.24)	1.33 (1.33) (1.24)	6.1	1.08	—
B22-F032A	原子炉給水 逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	鉛直の代表 として選定
B22-F032B	原子炉給水 逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	—
SB2-5B	非常用ガス再循環系 トレインB入口 ダンパ	水平	1.94 (1.94) (1.74)	2.04 (2.04) (1.74)	6.0	1.06	水平の代表 として選定

*1：上段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）による値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）による値

2. 評価加速度の増加率の検討

(1) B22-F032A（原子炉給水逆止弁）

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 1 に、当該配管系の主要仕様を表 2 に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 3 に示す。

図1に示すとおり、当該弁が設置された配管の支持構造として、弁上流にはアンカ点を有し、下流側には鉛直方向を支持するレストレイントが設置されている。これにより、鉛直方向に対して高い剛性を有していることから、50Hz以上の高次のモードで励起することにより、100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

また、当該弁が設置された配管系の振動モードとして、33次のモードにおいて、鉛直方向の刺激係数が大きく、同振動モード図でも当該弁位置で卓越するモードを有しており、特に当該モードが加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図2参照）。

(2) SB2-5B（非常用ガス再循環系トレインB入口ダンパ）

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図3に、当該配管系の主要仕様を表4に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表5に示す。

図3に示すとおり、当該弁が設置された配管の支持構造として、弁上流には水平方向を支持するレストレイント、下流側にも水平方向を支持するスナッパが設置されている。これにより、水平方向に対して高い剛性を有していることから、50Hz以上の高次のモードで励起することにより、100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

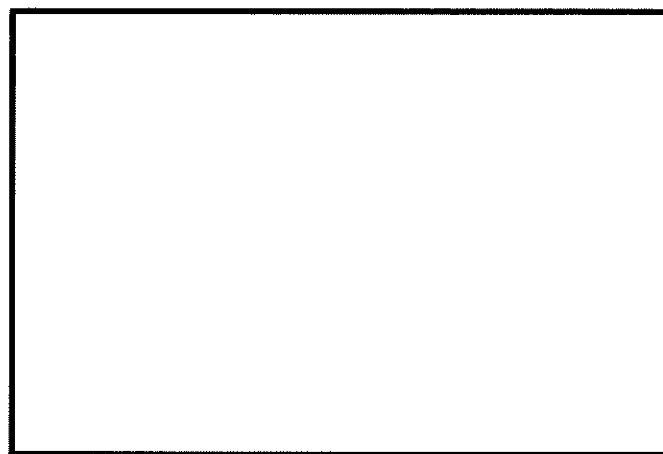
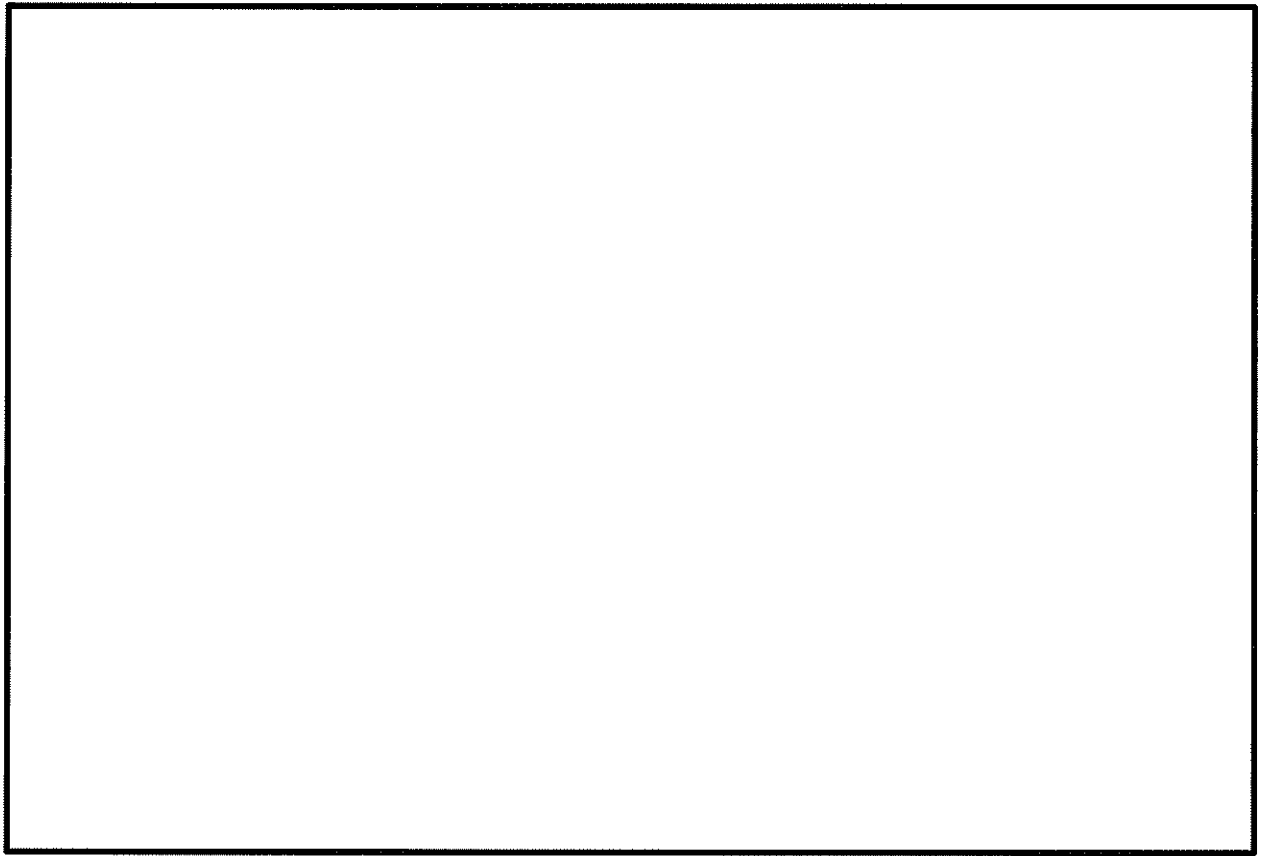
また、当該弁が設置された配管系の振動モードを確認した結果、弁駆動部に影響を与えているモードとして、9次及び11次のモードがあり、特に11次のモードの水平方向の刺激係数は高い値となっている。このため、50Hz以上である当該モードの影響により加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図4参照）。

3. まとめ

動的機能維持評価において、100Hzまで考慮した場合の加速度に増加が確認された弁について、その増加に至った要因を検討した。対象とした2弁ともに、対象弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有していることが確認された。このため、対象弁近傍では高い剛性を有していることにより、50Hz以上による高次モードによる影響で加速度増加に至ったものと考えられる。

増加率1.06倍以上となったB22-F013V（主蒸気逃がし安全弁V）の解析モデル図を図5に示すが、弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有している。また、他の主蒸気逃がし安全弁と比べて、弁近傍の主蒸気管には鉛直方向に対し

て垂直にスナッパが設置されており、B22-F013V 近傍の配管系は、他の主蒸気逃がし安全弁近傍の配管系よりも高い剛性を有している。なお、B22-F013C（主蒸気逃がし安全弁 C）近傍にもスナッパが有るものの、鉛直方向に対して角度を持って設置されているため、鉛直方向の支持剛性としては B22-F013V 近傍に設置されたスナッパより小さくなる。以上のことから、上記 2 弁と同様の理由で加速度増加に至ったものと考えられる。



A部拡大

図1 給水系配管の解析モデル図（モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9）

表 2 主給水系主配管及び主要弁の主要仕様

項 目			主要仕様
主 配 管	最 高 使 用 圧 力	MPa	8.62
	最 高 使 用 温 度	℃	302
	外 径	mm	508
	厚 さ	mm	<input type="text"/> (26.2* ¹)
	材 料		GSTPL 相当 <input type="text"/>
主 要 弁 B22-F032 A	主 要 寸 法	呼 び 径	—
		弁 箱 厚 さ	mm
		弁 ふ た 厚 さ	mm
	材 料	弁 箱	
		弁 ふ た	—
		弁 体	
			500 A <input type="text"/>

注記 * 1：公称値を示す。

表3 給水系配管の刺激係数等 (モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9)

モード	固有周期 (s)	S s			刺激係数		
		水平震度		鉛直震度	X方向	Y方向	Z方向
		X方向	Z方向	Y方向			

↑
50Hzまでの
振動数領域

↑
100Hzまでの
振動数領域

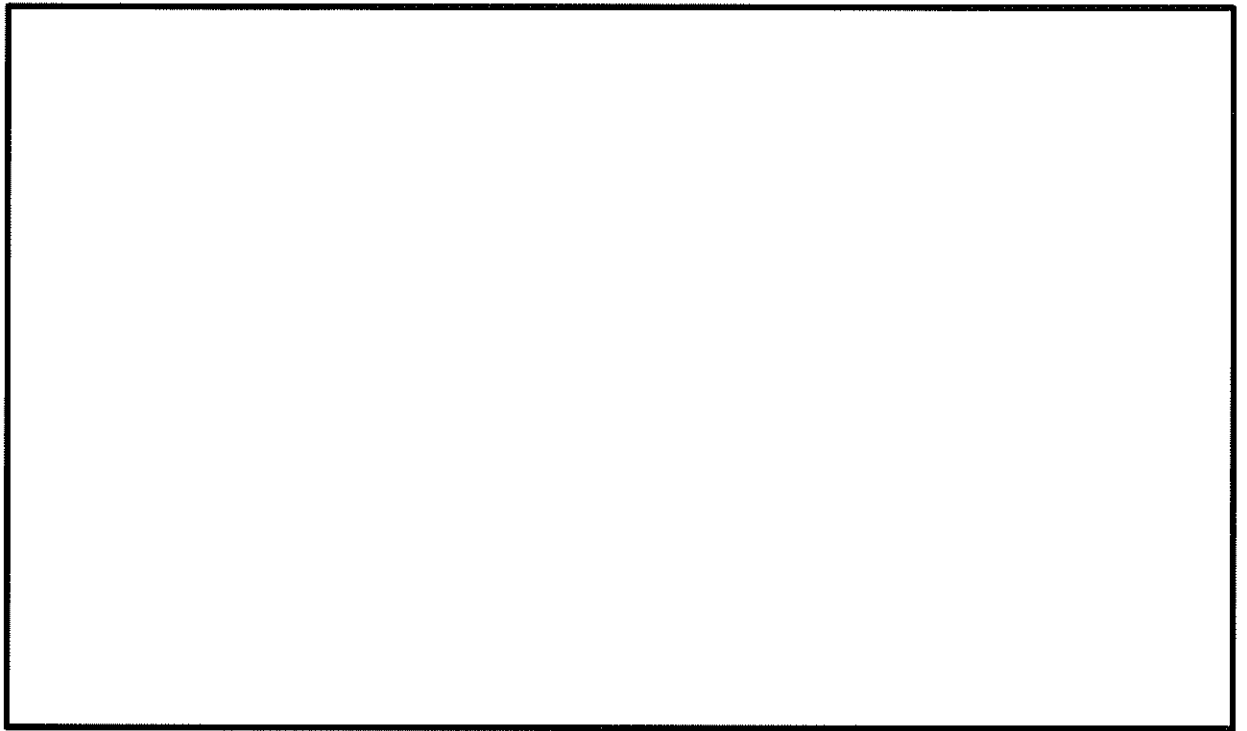
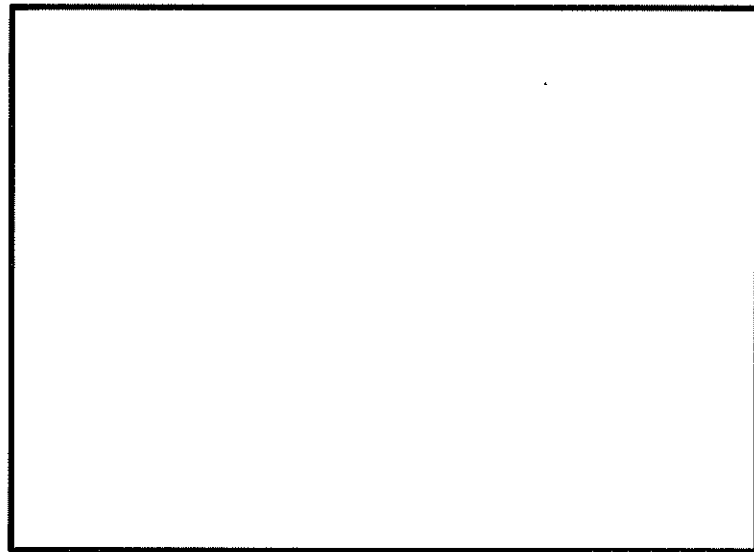
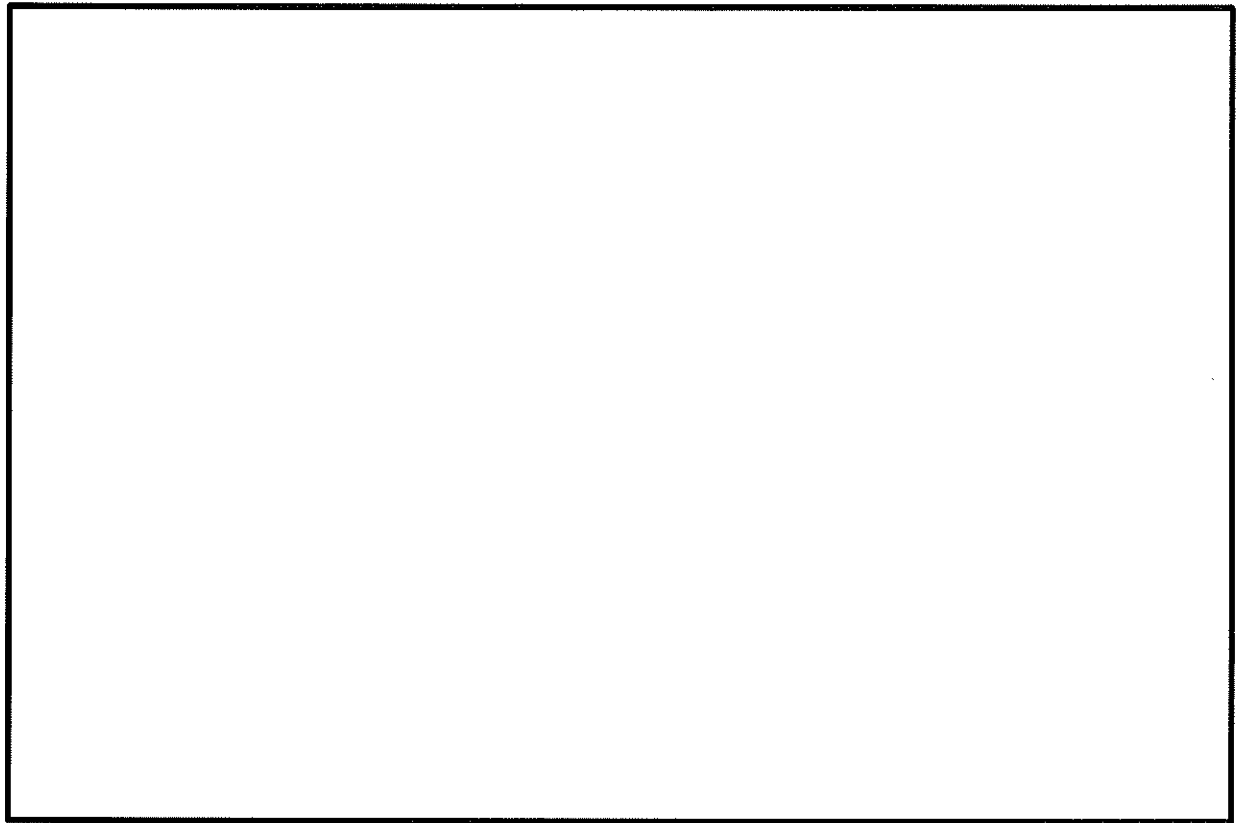


図 2 給水系配管の代表的な振動モード図（モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9）



A部拡大

図 3 非常用ガス再循環系配管の解析モデル図（モデル No. FRVS-6）

表 4 非常用ガス再循環系主配管及び主要弁の主要仕様

		項 目		主要仕様
主 配 管	最 高 使 用 圧 力		MPa	0.014
	最 高 使 用 温 度		℃	72
	外 径		mm	609.6
	厚 さ		mm	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 20px;"></div> (12.0* ¹)
	材 料		—	SM41
主 要 弁 SB2-5A, B	主 要 寸 法	呼 び 径	—	600A
		弁 箱 厚 さ	mm	
		弁 ふ た 厚 さ	mm	
	材 料	弁 箱	—	
		弁 ふ た	—	

注記 * 1 : 公称値を示す。

表 5 非常用ガス再循環系配管の刺激係数等（モデル No. FRVS-6）

モード	固有周期 (s)	S s			刺 激 係 数		
		水平震度		鉛直震度			
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Y方向	Z方向
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

↑
50Hzまでの
振動数領域

↑
100Hzまでの
振動数領域

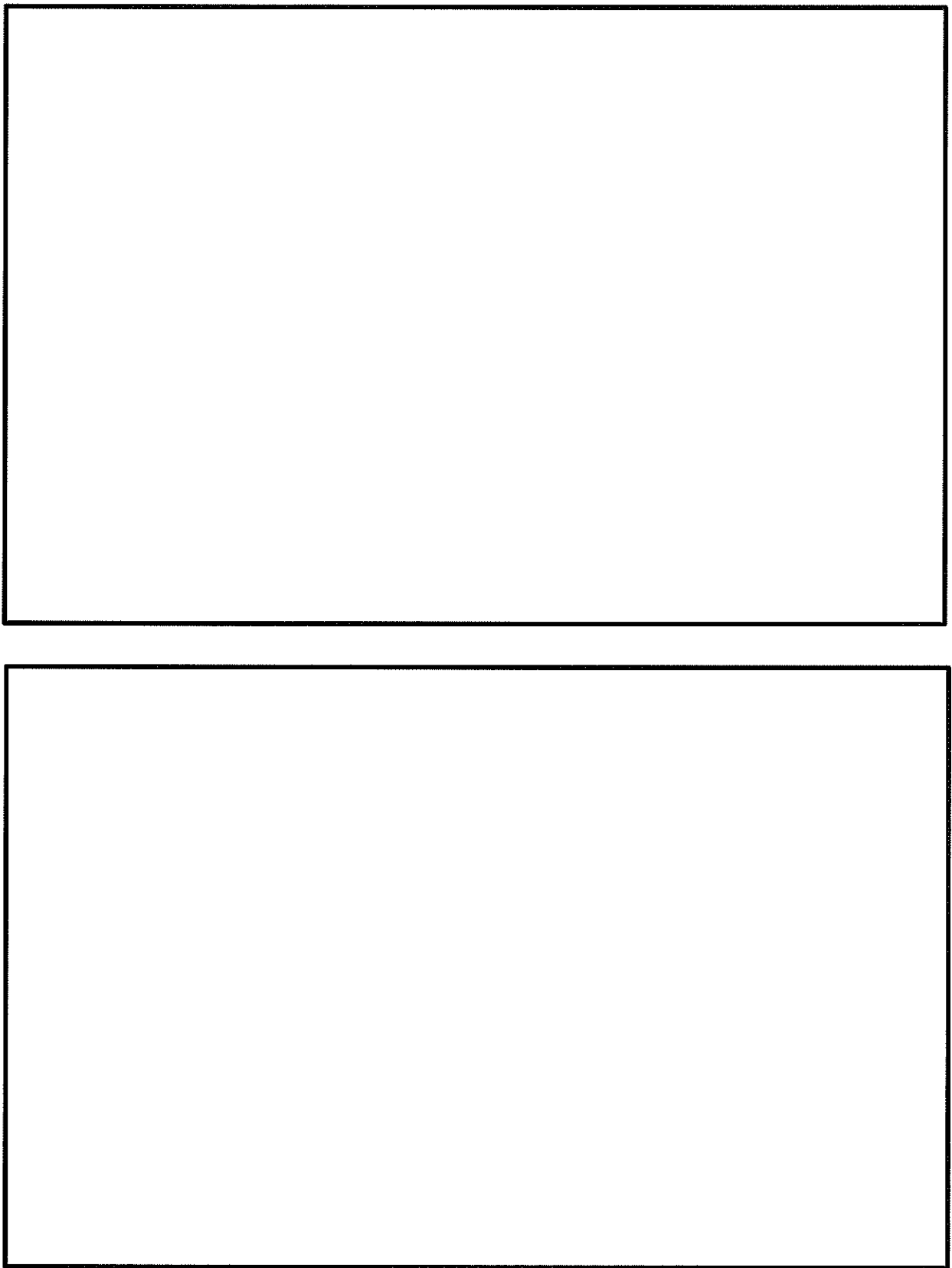


図 4 非常用ガス再循環系配管の代表的な振動モード図（モデル No. FRVS-6）

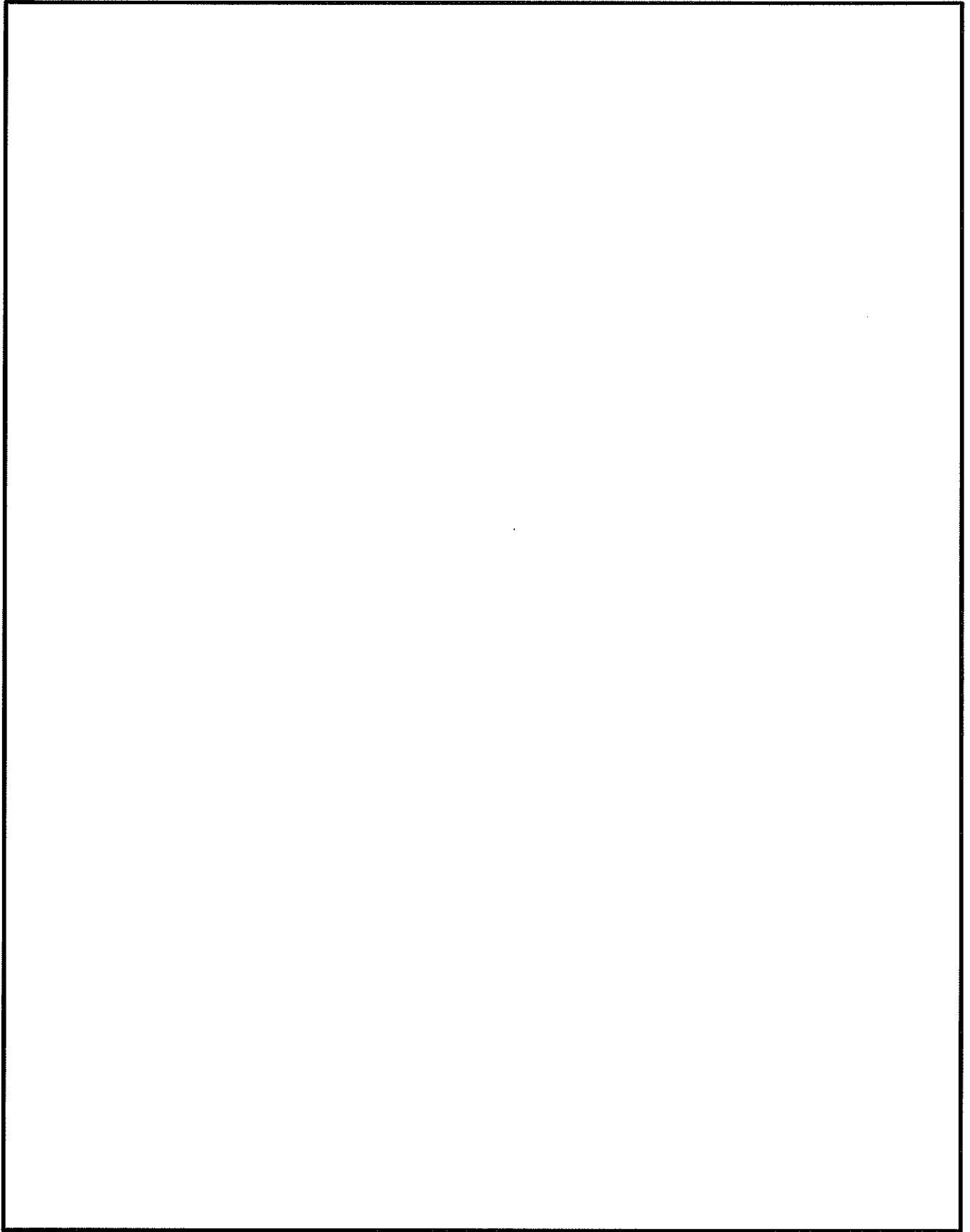


図 5 主蒸気系配管の解析モデル図（モデル No. MS-D）

6. 動的機能維持の詳細評価について

(新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について)

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、動的機能維持についての検討方針、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋）

第5条（地震による損傷の防止）

- 3 動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

Sクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

【確認内容】

動的機能については以下を確認する。

- (1) 水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。
- (2) 鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試

験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。

- (3) 上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

動的機器の耐震性評価法は原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991 追補版（以下 J E A G 4601 という）に従い実施するものとするが、J E A G 4601 で定める機能確認済加速度（J E A G 4601 に定められた既往研究で機能維持の確認がなされた入力又は応答レベル）と評価用加速度との比較による評価法には適用範囲が定められている。

本資料では、J E A G 4601 に定められた機種、型式及び適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備について、設備の抽出を行うとともに、既往の研究等を参考に地震時異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目の評価を行い、評価基準値を超えていないことを確認する。また、評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備について、設備の抽出を行うとともに、J E A G 4601 の基本評価項目の評価を行い、評価基準値を超えていないことを確認する。

なお、上記にて抽出した設備、評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、新たな加振試験により動的機能維持を確認した加速度を超えないことを確認している。

3. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

3.1 検討対象設備

検討対象設備は、耐震 S クラス並びに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とし、動的機能が必要な設備として J E A G 4601 で適用範囲が定められ

ている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機 等）とする。

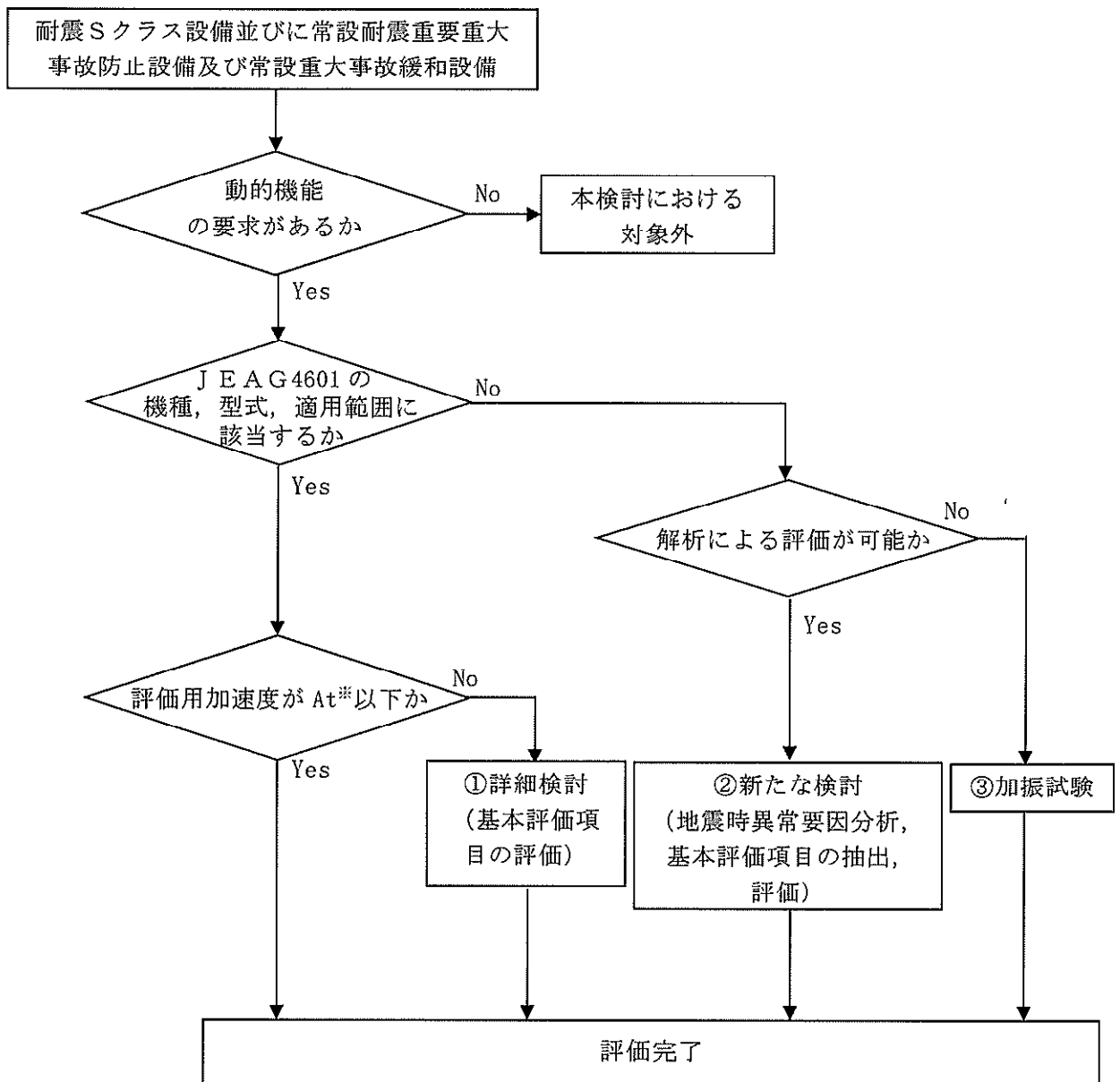
3.2 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

第 1 図にて設備の抽出及び検討のフローを示す。検討対象設備について，J E A G 4601 に定める機能確認済加速度（ A_t ）との比較による評価方法が適用できる機種に対して構造，作動原理，各機器の流量，出力等が J E A G 4601 で定められた適用範囲と大きく異なることを確認する。大きく異なる場合は，解析による評価が可能かにより，新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備，又は加振試験を実施する設備として抽出する。

さらに評価用加速度が J E A G 4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている機能確認済加速度（ A_t ）以内であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備として抽出する。なお，弁については J E A G 4601 にて評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため，本資料の対象外とする。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報として J E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共同研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」



※ At: 機能確認済加速度

第1図 動的機能維持評価フロー

(3) 抽出結果

別表 1 をもとに第 1 図にて新たな検討，詳細検討及び加振試験が必要な設備を抽出した結果を第 1 表に示す。

①詳細検討（基本評価項目の評価）

評価用加速度が機能確認済加速度を超え詳細検討が必要となる設備はなかった。なお，取水構造物に設置される残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプについては，当初に保守的な設定をした鉛直方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超えたため，詳細検討を実施予定であったが，取水構造物の設計進捗により評価用加速度が機能確認済加速度以下であることが確認できたため，詳細検討は不要となった。

②新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）

新たな検討として，地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価が必要となる設備として，横形スクリュウ式ポンプ（以下「スクリュウ式ポンプ」という。），横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

スクリュウ式ポンプ及びギヤ式ポンプは，（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会で地震時機能維持評価について検討された機器の内，遠心式横形ポンプと類似であり，遠心式横形ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目を参考とすることが可能である。また，電共研[※]において，スクリュウ式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目の抽出を行っており，それらの検討を用いることが可能である。

そのため，スクリュウ式ポンプ及びギヤ式ポンプは，新たな検討として，上記検討を参考に地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を実施する。

※ 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）

③加振試験

新たな加振試験が必要な設備として以下の設備が抽出された。

○可搬型代替注水大型ポンプ，可搬型代替注水中型ポンプ，可搬型代替低圧電源車，タンクローリ，窒素供給装置，窒素供給装置用電源車

車両型設備であり（第 2～6 図参照）解析による評価が困難なことから加振試験

を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-3

【可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料】

○常設代替高圧電源装置

車両型設備であり（第 7 図参照）解析による評価が困難なことから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-15

【常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

○常設高圧代替注水系ポンプ

ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが、ポンプとタービンが一体となった設備であり（第 8 図参照）、J E A G 4601 の適用機種と構造が異なることから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-17

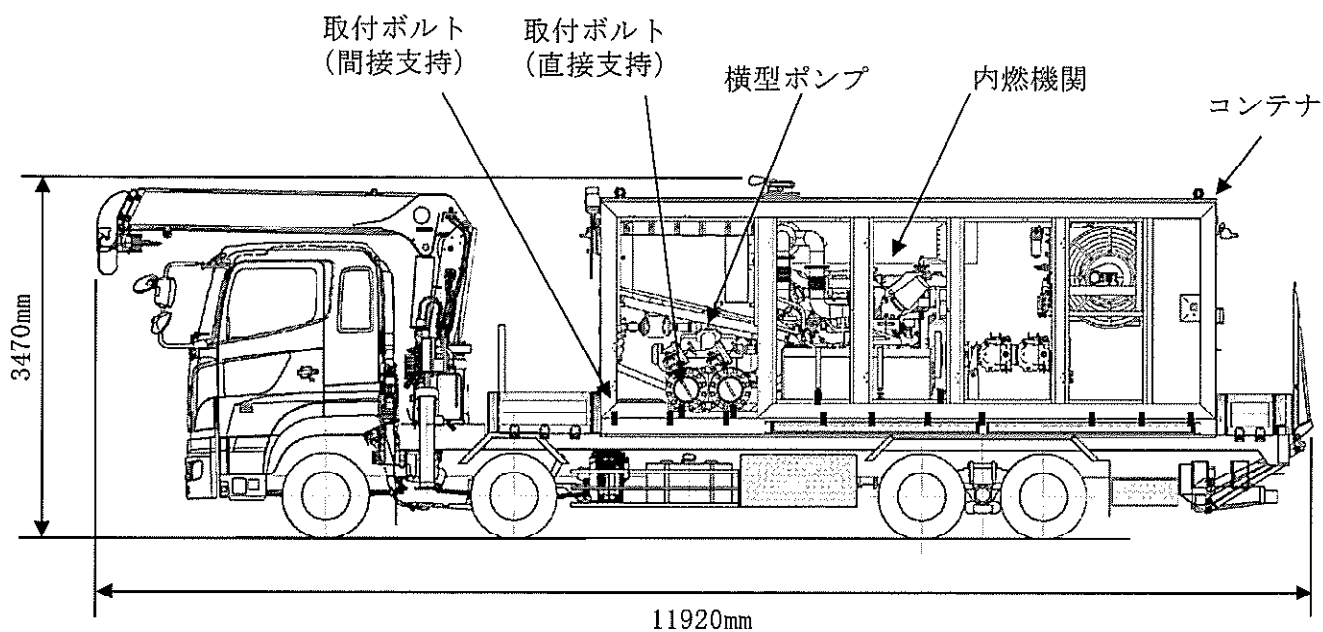
【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

4. 詳細検討が必要な機器の動的機能維持評価について

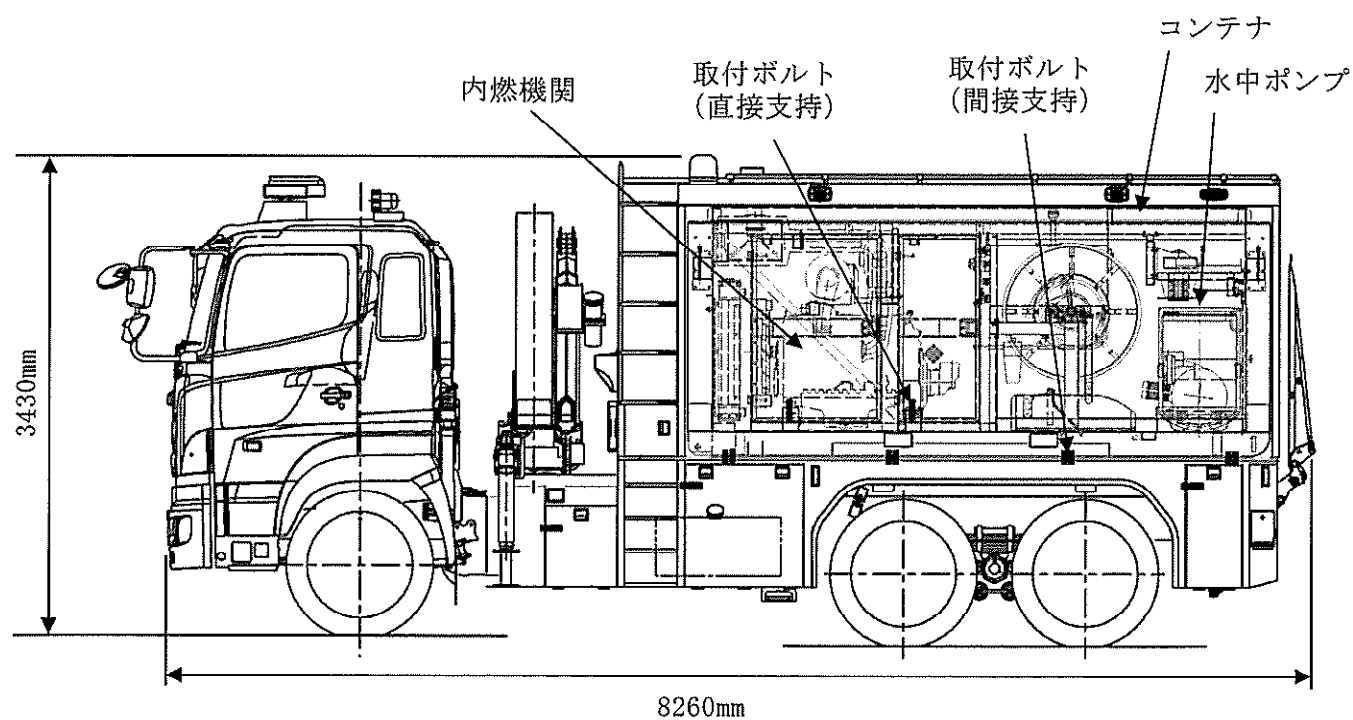
J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持評価について別紙にて説明する。

【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範囲から外れ新たに評価項目の検討が必要な設備】

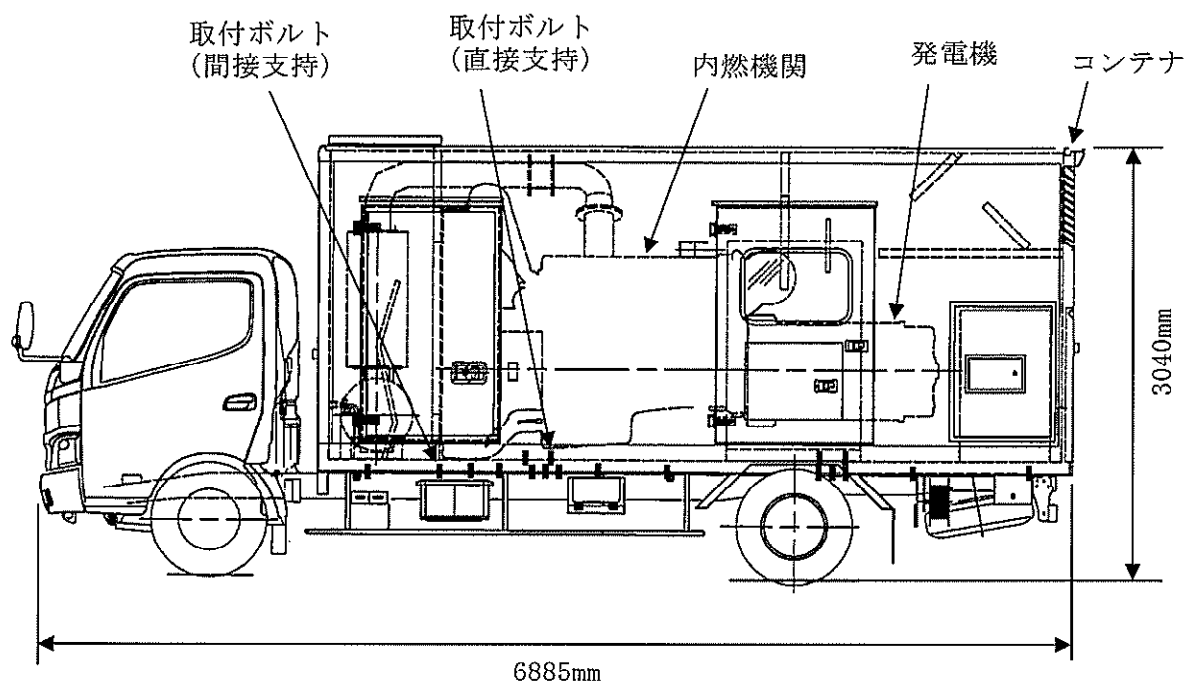
- ・ 別紙 1：非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプ



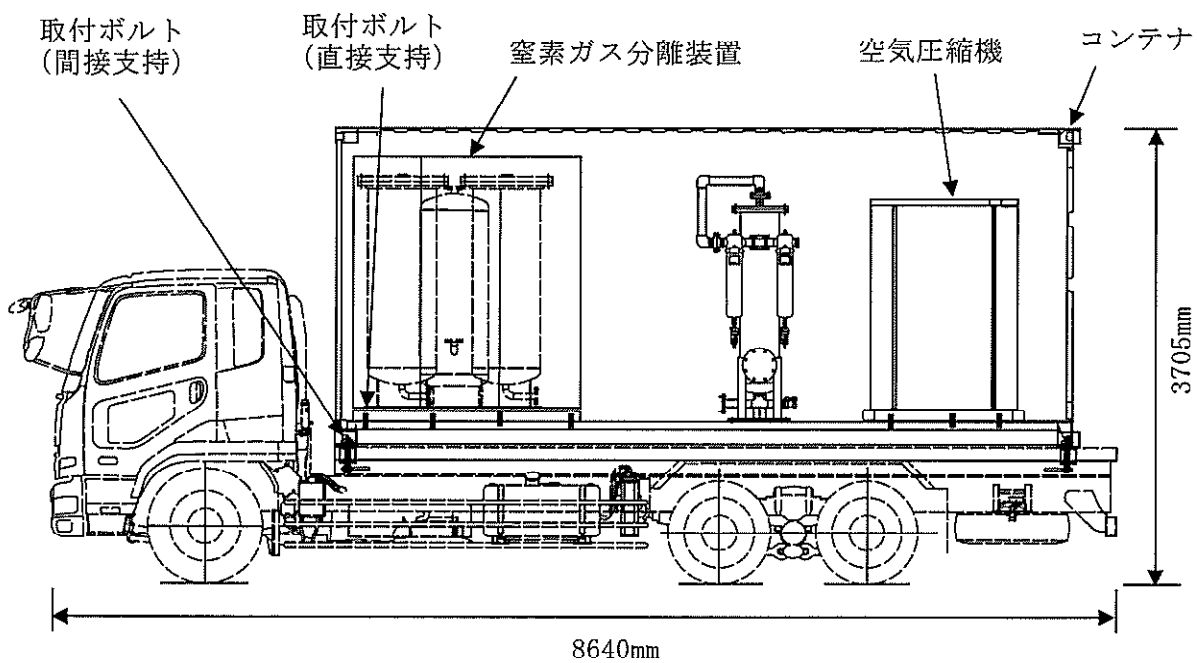
第2図 可搬型代替注水大型ポンプ 構造図



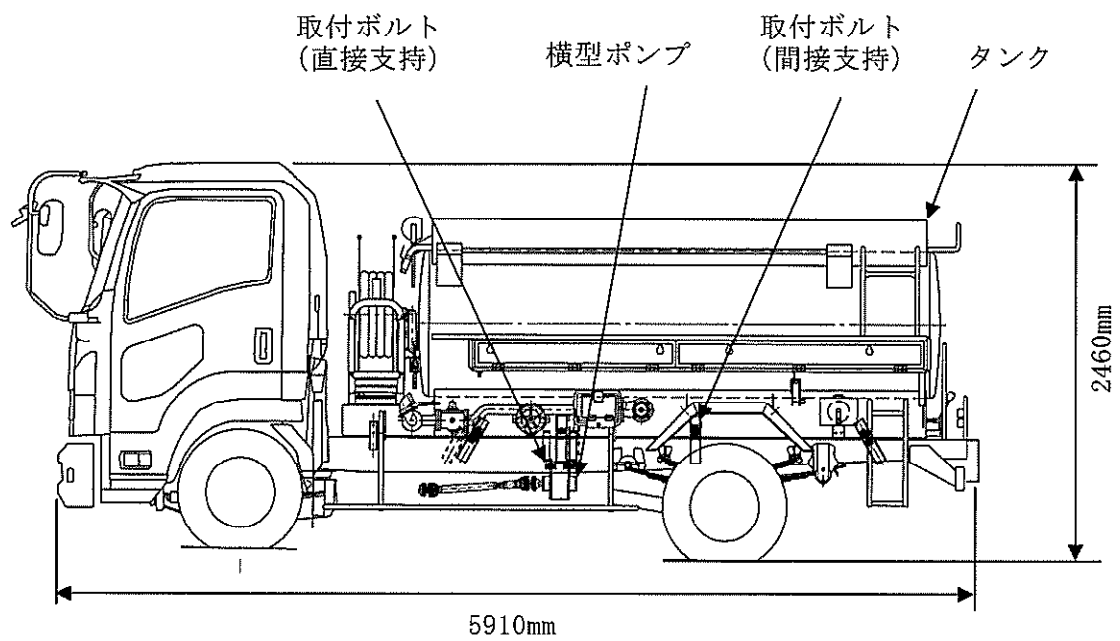
第3図 可搬型代替注水中型ポンプ 構造図



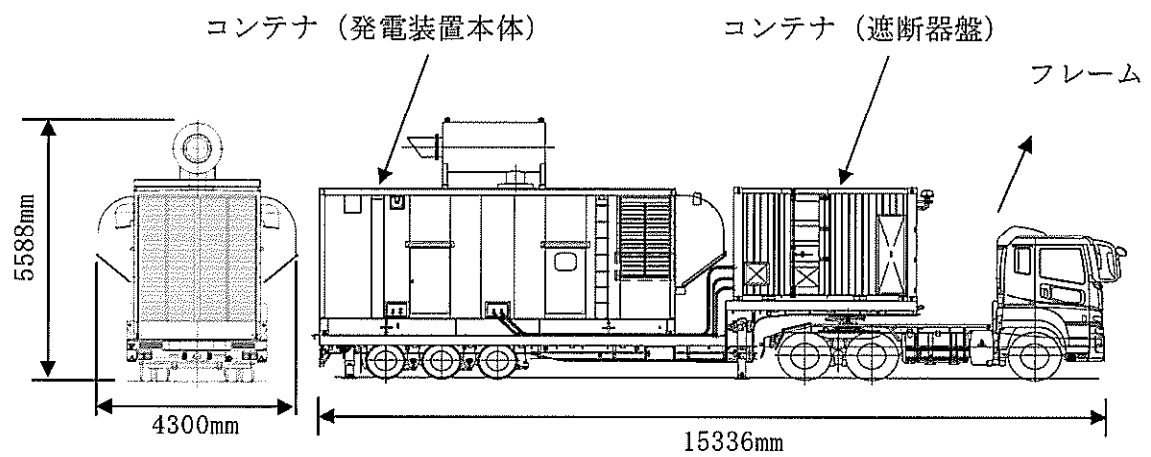
第4図 可搬型代替低圧電源車及び窒素供給装置用電源車 構造図



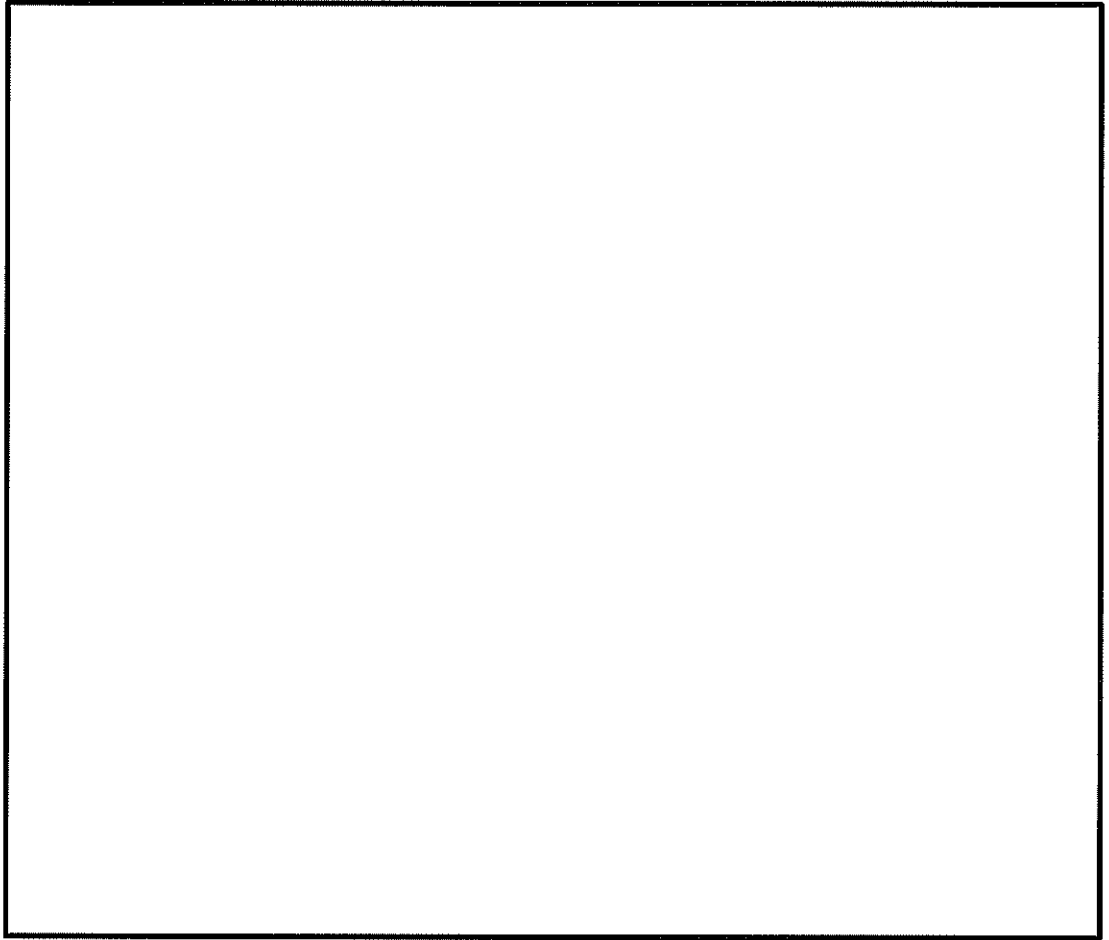
第5図 窒素供給装置 構造図



第6図 タンクローリ 構造図



第7図 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) 構造図



第 8 図 常設高圧代替注水系ポンプ 構造図

第 1 表 (1) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601 の 機種、型式、 適用範囲に該 当するか ○：該当 ×：否（新た な評価項目の 検討が必要）	機能確認済加 速度（At）以 下か ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用 海水ポンプ	○	○
	緊急用海水ポンプ	○	○
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃 料移送ポンプ	×	—
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○ (別紙 2 参照)	○
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	—
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	—
ポンプ駆動用 タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービ ン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	○
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電 動機	○	○

第 1 表 (2) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601 の 機種、型式、 適用範囲に該 当するか ○：該当 ×：否（新た な評価項目の 検討が必要）	機能確認済加 速度（At）以 下か ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○ (別紙 2 参照)	○
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	○
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	○	○
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	○

第1表(3) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601の 機種、型式、 適用範囲に該 当するか ○：該当 ×：否（新た な評価項目の 検討が必要）	機能確認済加 速度（At）以 下か ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
非常用ディー ゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非 常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調 速装置及び高圧炉心スプレイ系ディー ゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式 ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒	○	○注1

注1) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障
を与えない変位に対して下回ることを確認

J E A G 4601 に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範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

1. はじめに

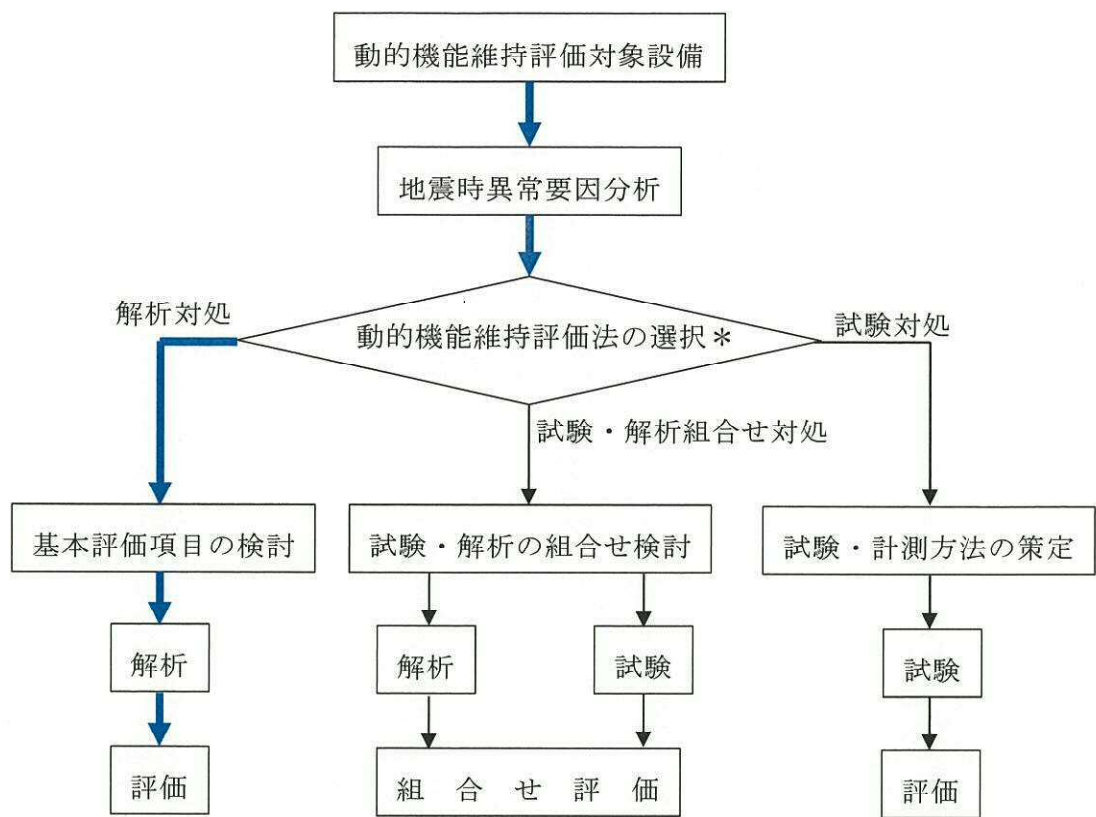
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプの動的機能維持評価について、J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要となる。本資料では、それら設備の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 評価項目の抽出方針

J E A G 4601 に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範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針としては、技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には、耐特委では動的機能の評価においては、対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目を選定している。

今回 J E A G 4601 に定められた適用機種の範囲から外れた設備については、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお、J E A G 4601 においても、機能維持評価の基本方針として、地震時の異常要因分析を考慮し、動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



* 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

第 1 図 動的機能維持評価のフロー

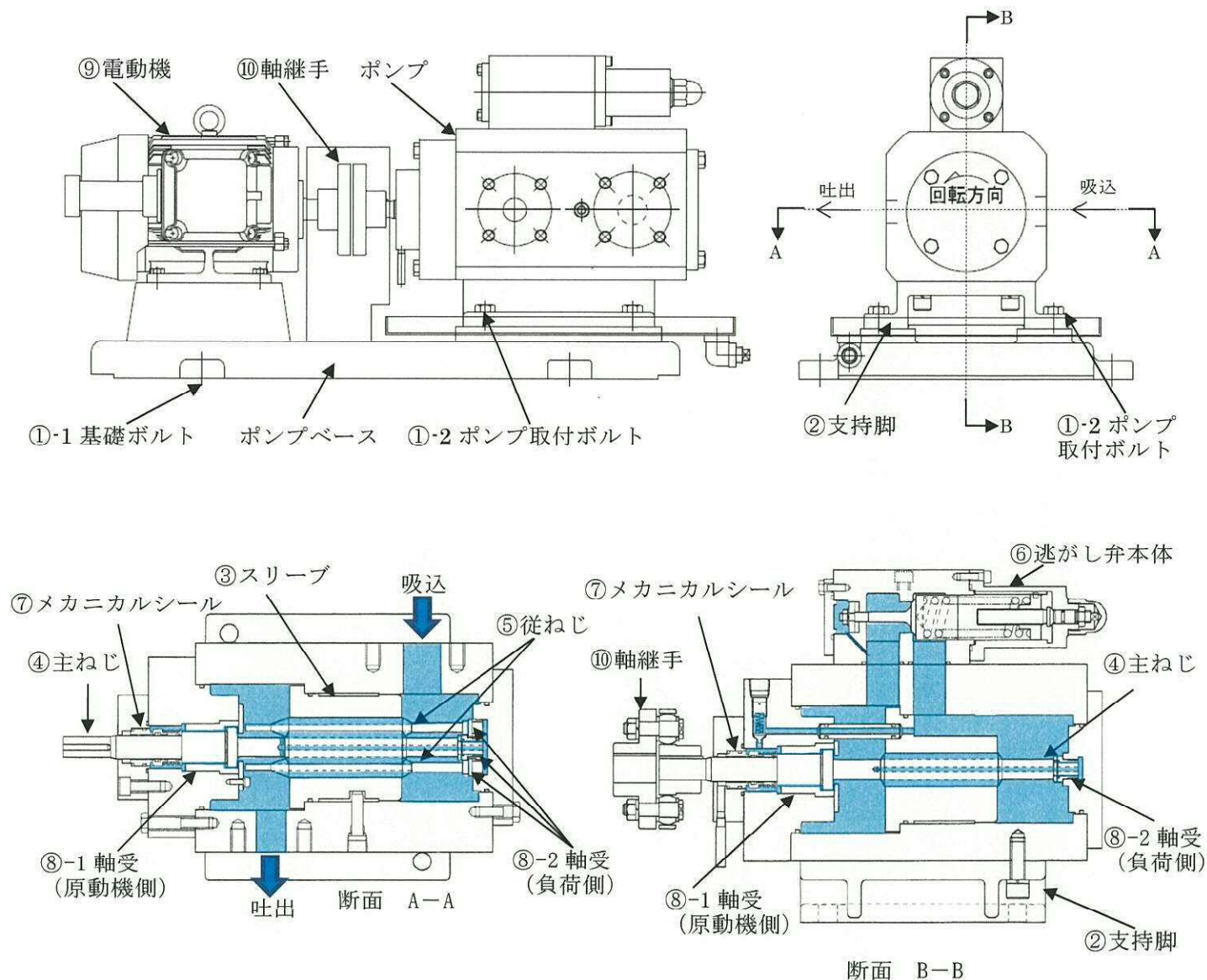
地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする機種／型式を第 1 表に示すとともに、第 2 図、第 3 図及び第 4 図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。また、主要仕様を第 2 表及び第 3 表に示す。

スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、共に容積式の横形ポンプであり、一定容積の液をスクリー又はギヤにて押し出す構造のポンプである。一方、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）はインペラの高速回転により液を吸込み・吐出すポンプであり内部流体の吐出構造が異なるが、ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有していること、固定方法については、基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に、駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること、主軸、軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより地震荷重はメカニカルシール部には負荷されず、軸受を通してケーシングに伝達されることから、基本構造が同じといえる。このため、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプについては、遠心式ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

なお、非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては、新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり、評価する設備となる。

第 1 表 新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

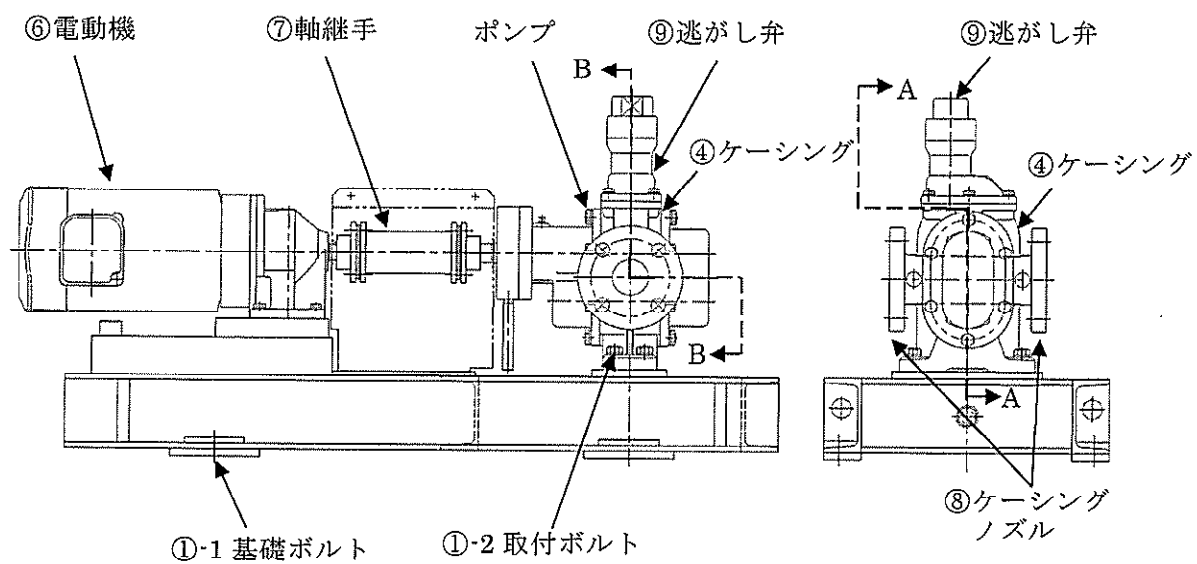
新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする 機種／型式
<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ 	横形ポンプ／スクリー式	横形ポンプ／単段遠心式
<ul style="list-style-type: none"> ・緊急時対策所用発電機給油ポンプ 	横形ポンプ／ギヤ式	



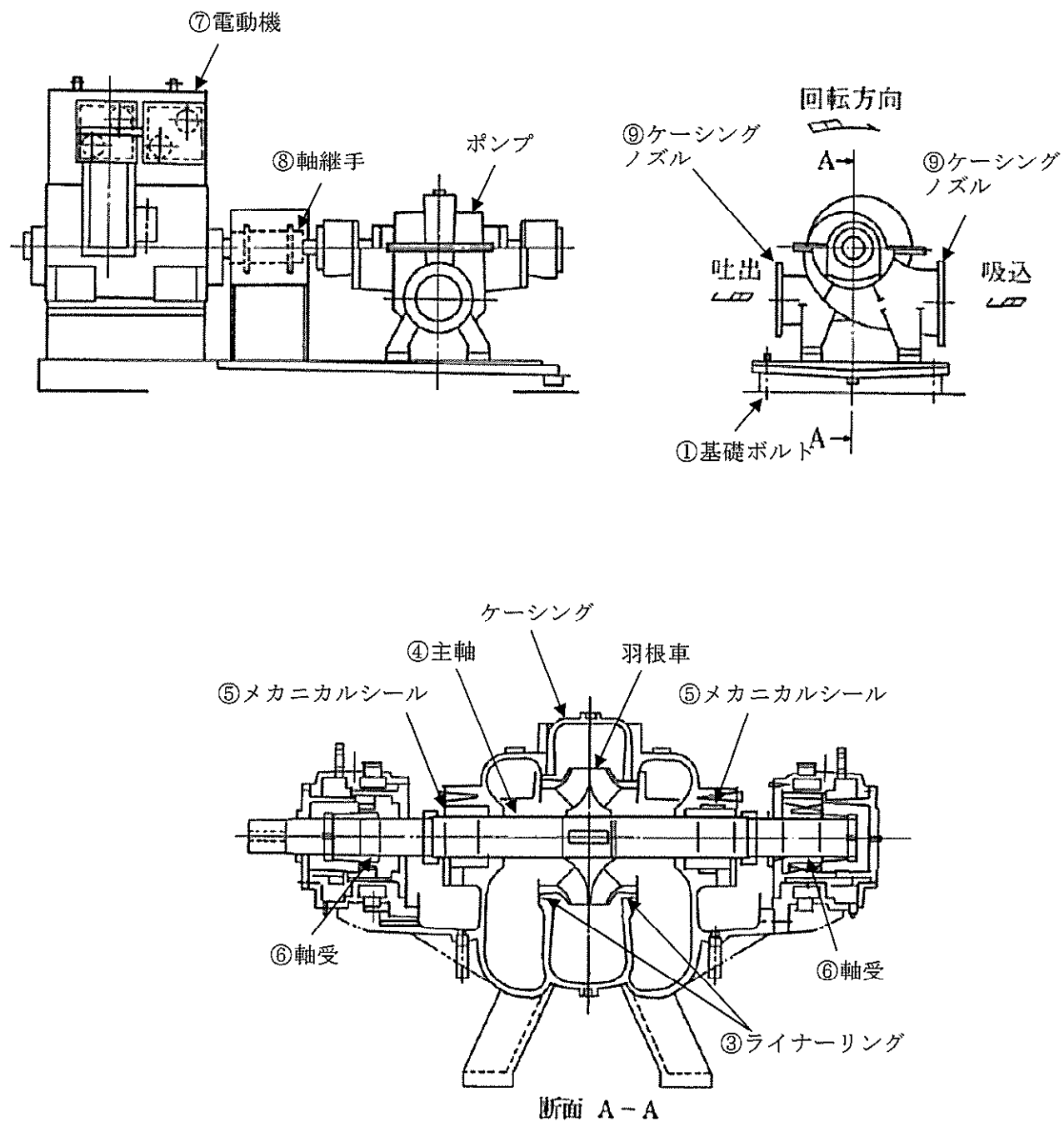
■: 接液部

注: スリーブ内に納められた主ねじと従ねじはかみ合って回転しており, ねじの1リードごとに作られる密閉される空間に入った流体は, ねじ面に沿って吐出側へ移動する。

第2図 スクリュー式ポンプ構造概要図



第 3 図 ギヤ式ポンプ構造概要図



第 4 図 遠心式ポンプ構造概要図

第2表 スクリュー式ポンプの主要仕様

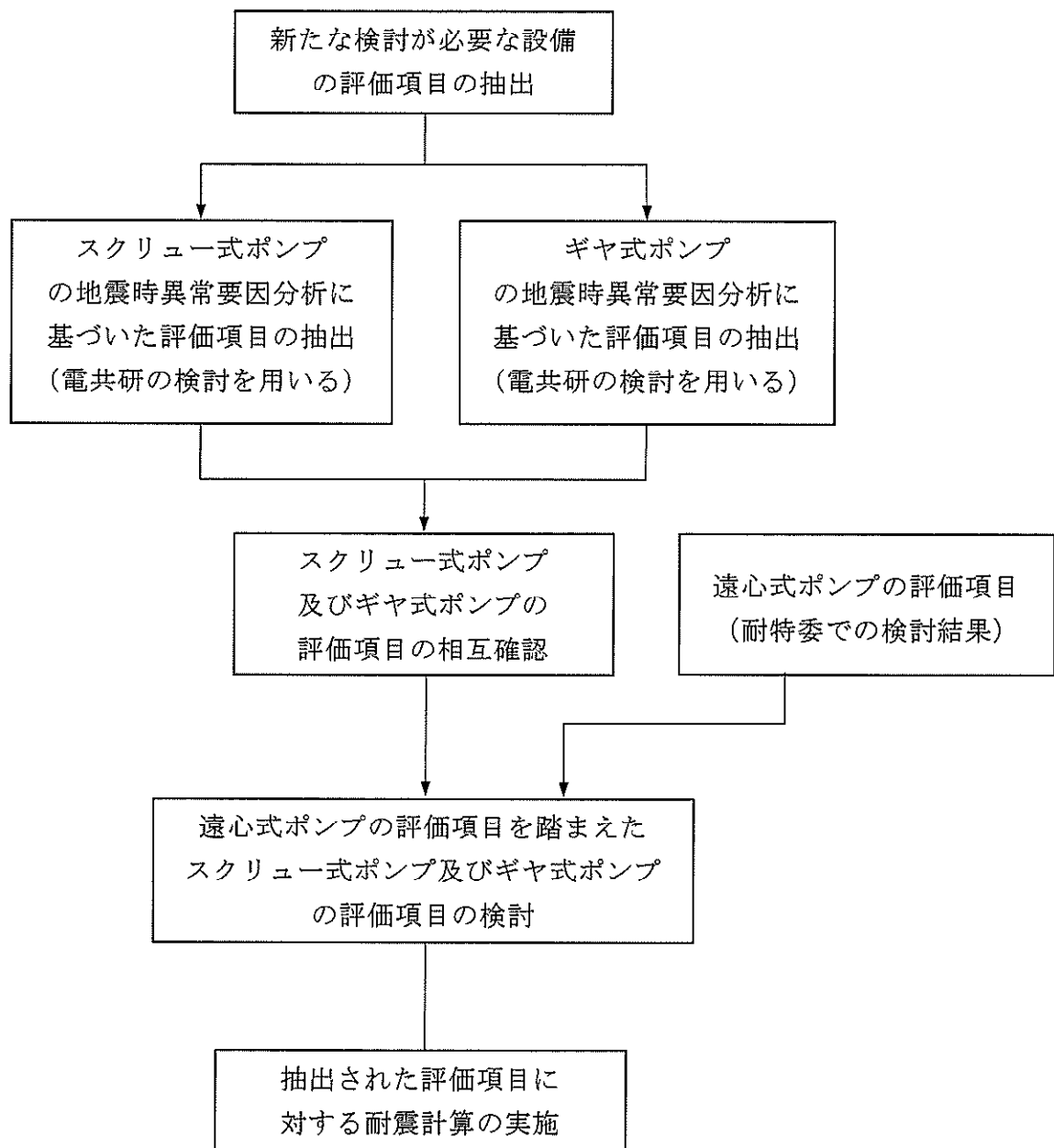
		非常用ディーゼル 発電機燃料移送 ポンプ	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	常設代替高圧電源 装置用燃料移送 ポンプ
容 量	m ³ /h/個	1.92 以上	1.04 以上	3.02 以上
揚 程	MPa	0.195 以上 (2C 用) 0.156 以上 (2D 用)	0.190 以上	0.285 以上
最高使用 圧 力	MPa	1.00	1.00	1.00
最高使用 温 度	℃	55	55	55
原 動 機 出 力	kW/個	1.2	1.2	2.2

第3表 ギヤ式ポンプの主要仕様

		緊急時対策所用発電機給油ポンプ
容 量	m ³ /h/個	1.3 以上
揚 程	MPa	0.3
最高使用圧力	MPa	0.5
最高使用温度	℃	45
原 動 機 出 力	kW/個	1.5

3. 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第5図に示す。



第5図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

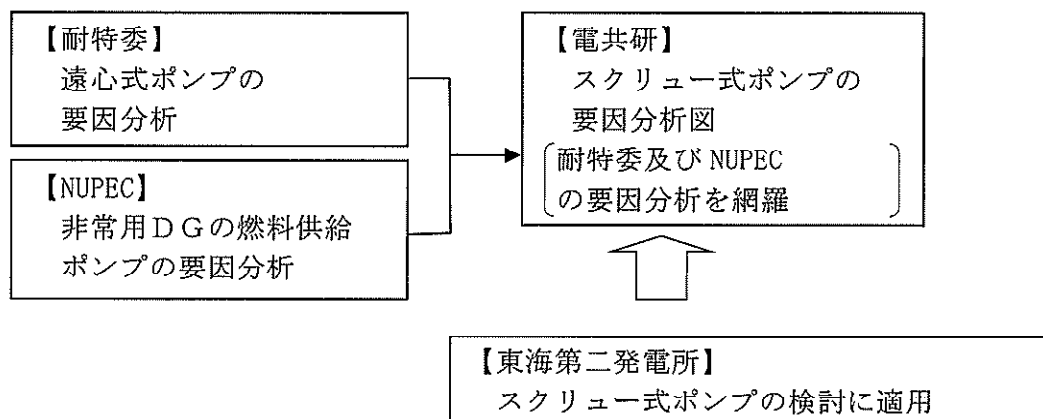
a. スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

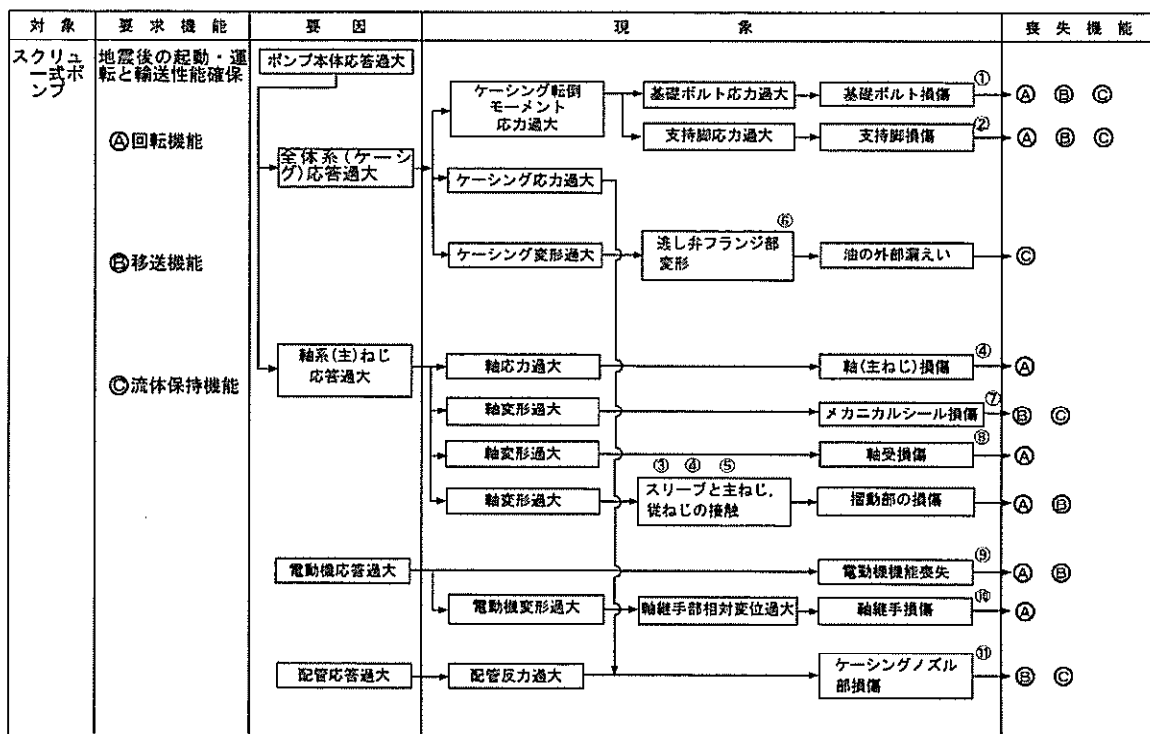
スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は、電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 6 図に示すとおり、耐特委における遠心式ポンプ及び NUPEC における非常用 D G の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

スクリュー式ポンプの要因分析図を第 7 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 4 表のとおりである。

※ 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）



第 6 図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



第 7 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

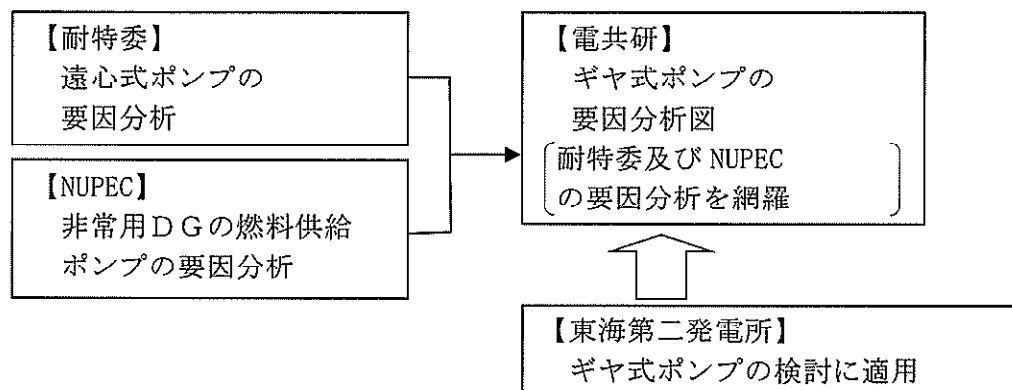
	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 (③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス)	軸系（主）ねじの応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系（主ねじ）	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系（主）ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

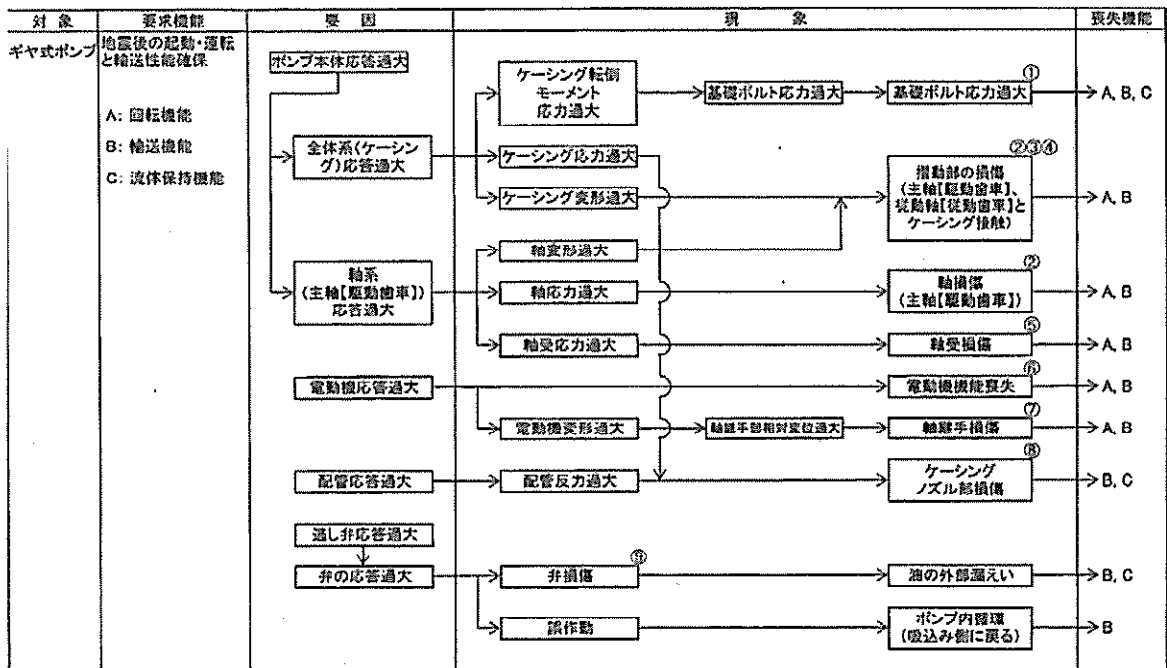
ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研※での検討内容を用いる。電共研では、第8図に示すとおり耐特委における遠心式ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

ギヤ式ポンプの要因分析図を第9図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第5表のとおりである。

※ 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）



第8図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）



第9図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第 5 表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。
② ③ ④	摺動部 (②主軸又は③従動軸 と④ケーシングのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。
②	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受応力（軸受荷重）が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑥	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁	弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、ポンプ構造が類似していることを踏まえて、各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより、その検討結果について相互の確認を行う。

i) スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

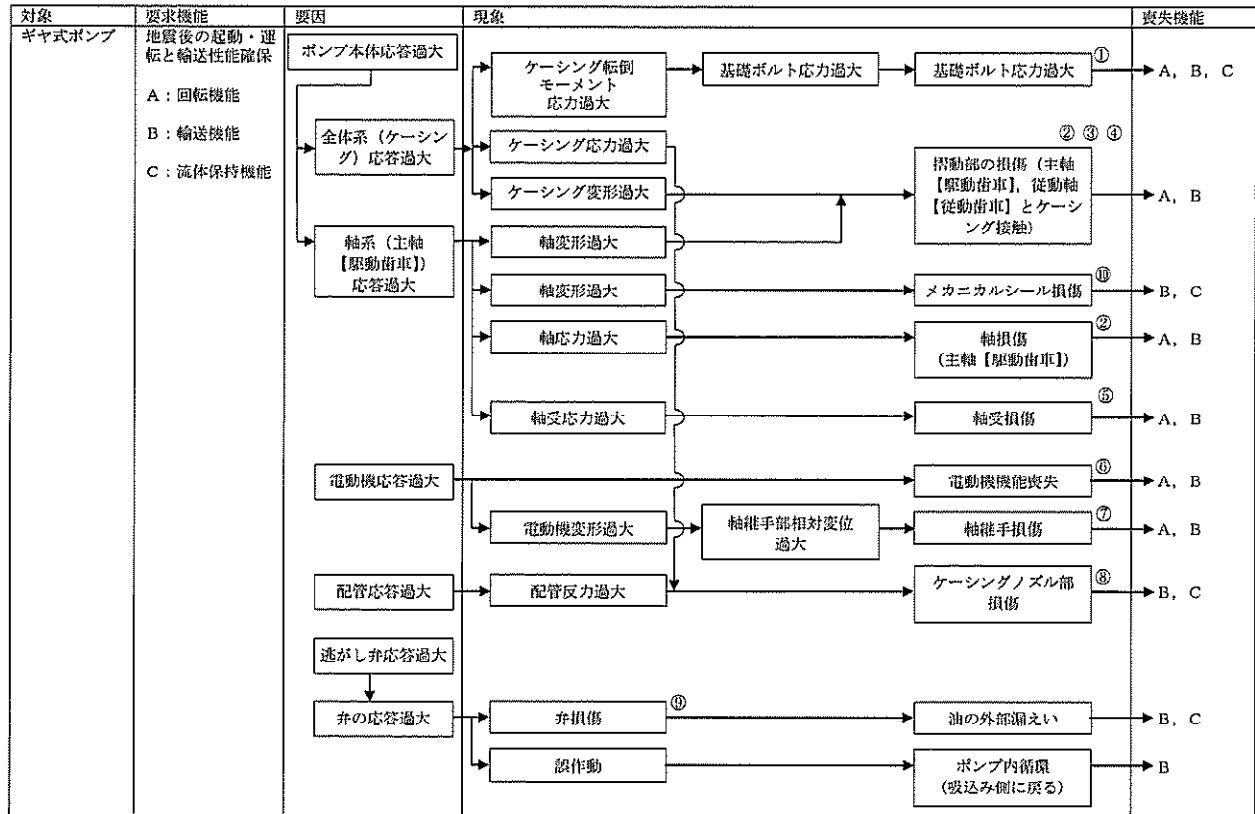
① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプについてもメカニカルシールが設置されており、損傷すれば

スクリー式ポンプと同様に輸送機能及び流体保持機能に影響を与えることからギヤ式ポンプについても評価項目として選定する。メカニカルシールを追加したギヤ式ポンプの要因分析図を第 10 図に示す。

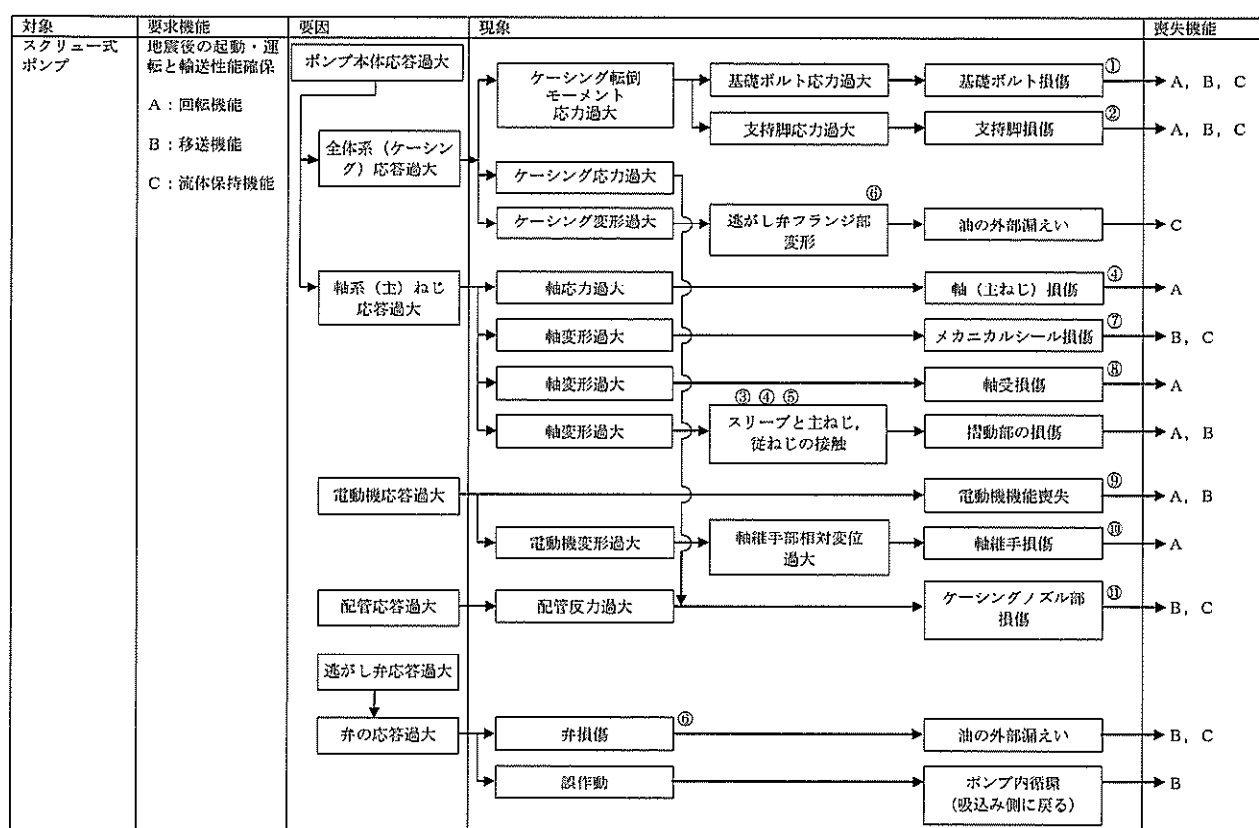


第 10 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

ii) ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリー式ポンプで抽出されなかった評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

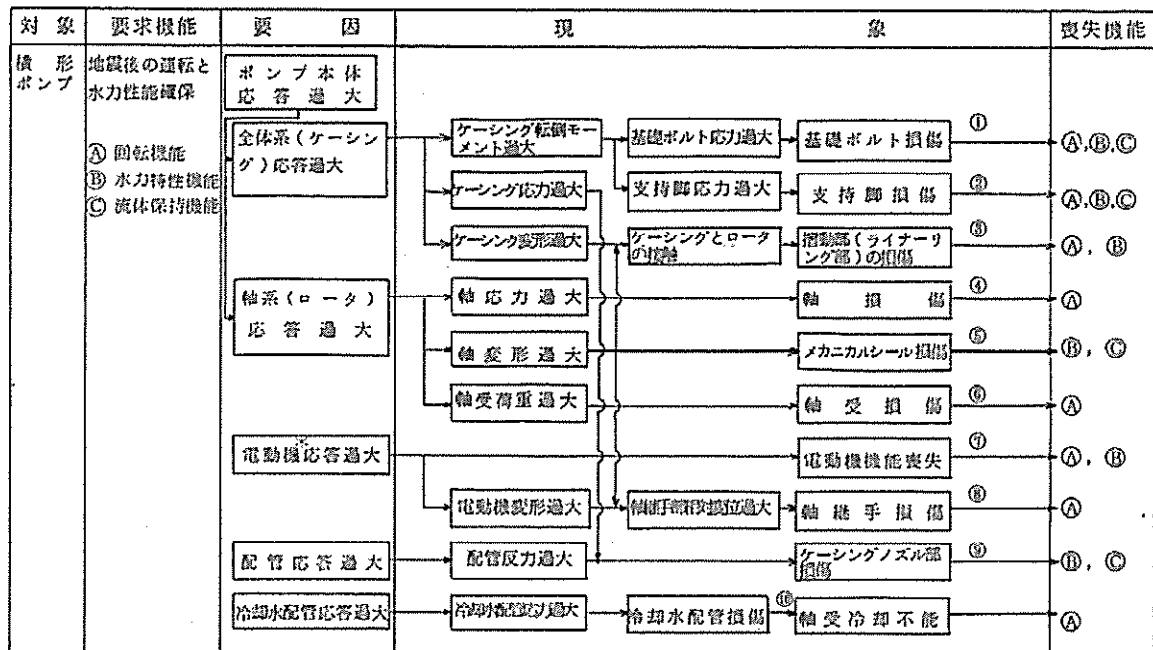
スクリー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリー式ポンプについても評価項目として選定する。逃がし弁を追加したスクリー式ポンプの要因分析図を第 11 図に示す。



第 11 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

ｂ．耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

新たな検討が必要な設備としてスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討において、公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプの要因分析図を第 12 図に、要因分析図から抽出される評価項目を第 6 表に示す。



＊ 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第 12 図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第 6 表 遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む）、支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり、インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。

c. 遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリー式ポンプの評価項目の検討

スクリー式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、スクリー式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたスクリー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評

価項目は下記のとおりである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリー式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（スクリー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（スクリー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、スクリー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③④⑤ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、ケーシング部に設置されている。

軸系（主ねじ）についてはラジアル軸受で支持されており、軸変形によりスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため、動

的機能維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑨ 電動機の評価

スクリー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

東海第二発電所で使用するスクリー式ポンプの吸込、吐出部は直接配管のフラ
別紙 1-20

ンジを接続する構造でありノズル形状を有さないため、計算書の対象外とする。

以上から、スクリー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃がし弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

評価項目における評価基準値の説明を第7表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第12表に示す。評価内容については以下の添付書類に示す。

- ・添付書類「V-2-10-1-2-4 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-10-1-3-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-10-1-4-3 常設代替高圧電源装置用燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」

第 7 表 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト、ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から、運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ _A S を評価基準値とした。
③④ 摺動部	主ねじとスリーブの接触により回転機能、移送機能が阻害されるという観点から、主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
④ 軸	回転機能の確保の観点から、軸（主ねじ）の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を評価基準値とした。
⑥ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から、機能確認済加速度は、水平方向 1.0[G]、鉛直方向 1.0[G]を評価基準とした。（注 1）
⑧ 軸受	回転機能の確保の観点から、メーカーが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑨ 電動機	回転機能、移送機能の確保の観点から、水平方向は J E A G 4601 に記載の電動機（横形ころがり軸受機）の機能確認済加速度である 4.7[G]、鉛直方向は 1.0[G]を評価基準とした。

（注 1）

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は、J E A G 4601 の表 3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち、最も小さい PWR 加圧器安全弁の 5.0[G]を参考に設定する（第 8 表）。

第 8 表 J E A G 4601 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

種別	弁型式		機能確認済加速度[G]
特殊弁	安全弁	BWR 主蒸気逃がし安全弁	9.6
		PWR 加圧器安全弁	5.0
		PWR 主蒸気安全弁	10.0

J E A G 4601 に定められた安全弁とスクリー式ポンプの逃がし弁の構造は第 9 表に示すとおりであり、両者の構造は以下のとおり同等である。

- ・ 構造はシート部を構成する弁座（本体）と弁体、圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。
- ・ 内部流体圧力と、ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。
- ・ J E A G 4601 に記載の安全弁の例として口径 200A 以下と記載されていることに対し、

スクリー式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り付け部の口径はすべて 200A 以下となっている。

ただし、機能確認済加速度を設定するに当たっては、PWR加圧器安全弁が縦置きであるのに対し、スクリー式ポンプ逃がし弁は横置き設置であるため、以下のように配慮する（第10表）。

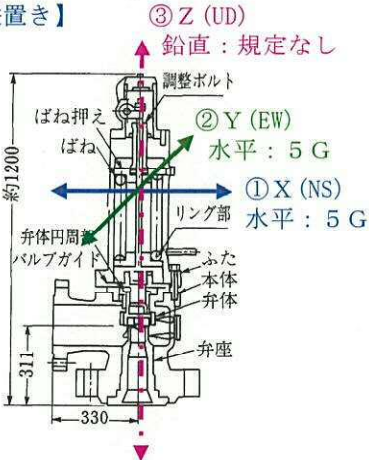
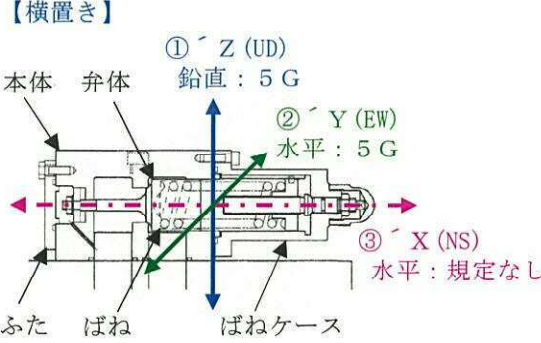
- PWR加圧器安全弁の水平方向の機能確認済加速度を 90° 変換して鉛直方向の機能確認済加速度として 5.0[G]を適用（①'）することが可能と考えるが、設置向きの違いを勘案して安全側に 1.0[G]を許容値として評価する。
- PWR加圧器安全弁で規定していない鉛直方向（弁軸方向）が、スクリー式ポンプ逃がし弁の水平方向（弁軸方向）になる（③'）ことから、水平方向の許容値に 1.0[G]を適用する。

なお、原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4601-2008（以下「J E A C 4601-2008」という）においては、第 11 表に示す機能確認済加速度が規定されており、原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4601-2015 では燃料移送ポンプ（スクリー式）の機能確認済加速度として水平：4.5[G]，鉛直：2.0[G]が定められている。

第 9 表 J E A G 4601 で定める安全弁とスクリー式ポンプ逃がし弁の構造比較

J E A G 4601			スクリー式ポンプ 逃がし弁
PWR 加圧器安全弁	PWR 主蒸気安全弁	BWR 主蒸気逃がし安全弁	

第 10 表 スクリュー式ポンプ逃がし弁の機能確認済加速度の設定の考え方

J E A G 4601 PWR 加圧器安全弁	スクリー式ポンプ逃がし弁
<p>【縦置き】</p> 	<p>【横置き】</p> 
水平 : 5.0[G] 鉛直 : 1.0[G]	水平 : 1.0[G] 鉛直 : 1.0[G]

第 11 表 J E A C 4601-2008 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

弁型式	機能確認済加速度[G]	
	水平	鉛直
BWR 主蒸気逃がし安全弁	9.6	6.1
PWR 加圧器安全弁	13.0	3.0
PWR 主蒸気安全弁	13.0	3.0
PWR 主蒸気安全弁 (固有周期が 20Hz 未満の安全弁)	10.0	3.0

第 1 2 表 (1) 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	4	184	○
		せん断 (MPa)	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張 (MPa)	3	433	○
		せん断 (MPa)	2	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	— (mm)			○
④ 軸	応力	せん断 (MPa)	8	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	1.0	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	0.0790		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側) (MPa)	0.1356		○
		⑧-2 スラスト (MPa)	0.1588		○
⑨ 原動機	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	4.7	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○

第12表(2) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	4	184	○
		せん断 (MPa)	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張 (MPa)	3	433	○
		せん断 (MPa)	2	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	— (mm)			○
④ 軸	応力	せん断 (MPa)	8	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	1.0	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	0.0790		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側) (MPa)	0.1356		○
		⑧-2 スラスト (MPa)	0.1588		○
⑨ 原動機	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	4.7	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○

第 1 2 表 (3) 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	4	184	○
		せん断 (MPa)	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張 (MPa)	3	433	○
		せん断 (MPa)	3	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	— (mm)			○
④ 軸	応力	せん断 (MPa)	6	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	1.0	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	0.0678		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側) (MPa)	0.0835		○
		⑧-2 スラスト (MPa)	0.1769		○
⑨ 電動機	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.81	4.7	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	0.71	1.0	○

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記のとおりである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でギヤ式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、ギヤ式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回

転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つことから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、機器と配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算書の評価対象外とする。

⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加

速度以下であることを確認する。

⑩ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

以上から、ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価
- ・逃がし弁の評価

評価項目における評価基準値の説明を第13表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第16表に示す。評価内容については以下の添付書類に示す。

- ・添付書類「V-2-10-1-5-3 緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書」

第 1 3 表 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト、ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から、運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏点在设计値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ _A S を評価基準値とした。
②④ 主軸（ギヤ部）	主軸とケーシングの接触により回転機能、移送機能が阻害されるという観点から、主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
② 主軸	回転機能の確保の観点から、主軸の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を評価基準値とした。
⑤ 軸受	回転機能の確保の観点から、メーカーが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑥ 電動機	回転機能、移送機能の確保の観点から、水平方向は J E A G 4601 に記載の電動機（横形ころがり軸受機）の機能確認済加速度である 4.7[G]、鉛直方向は 1.0[G] を評価基準とした。
⑨ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から、水平方向は J E A G 4601 に記載の安全弁の機能確認済加速度である 5.0[G]、鉛直方向及び軸方向は 1.0[G] を評価基準とした。（注 1）

（注 1）

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は、J E A G 4601 の表 3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち、最も小さい PWR 加圧器安全弁の 5.0[G] を参考に適用する（第 1 4 表）。

第 1 4 表 J E A G 4601 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

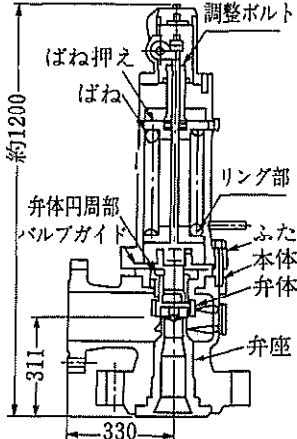
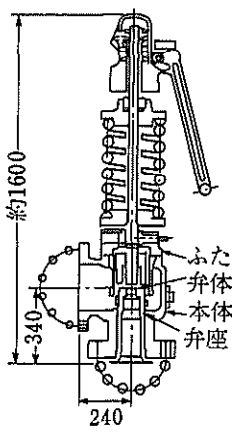
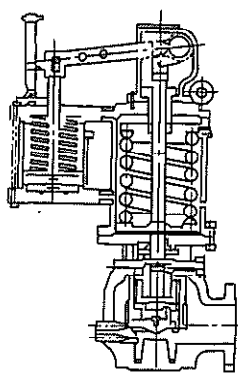
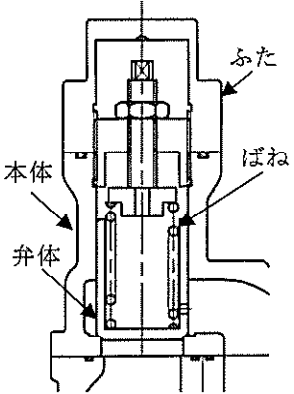
種別	弁型式		機能確認済加速度[G]
特殊弁	安全弁	BWR 主蒸気逃がし安全弁	9.6
		PWR 加圧器安全弁	5.0
		PWR 主蒸気安全弁	10.0

J E A G 4601 に定められた安全弁とギヤ式ポンプの逃がし弁の構造は第 1 5 表に示すとおりであり、両者の構造は以下のとおり同等であるため、J E A G 4601 に定められた安全弁の機能確認済加速度が適用可能と考える。

- 構造はシート部を構成する弁座（本体）と弁体、圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。

- 内部流体圧力と、ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。
- J E A G 4601 に記載の安全弁の例として口径 200A 以下と記載されていることに対し、ギヤ式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り付け部の口径はすべて 200A 以下となっている。

第 1 5 表 J E A G 4601 で定める安全弁とギヤ式ポンプ逃がし弁の構造比較

J E A G 4601			ギヤ式ポンプ 逃がし弁
PWR 加圧器安全弁	PWR 主蒸気安全弁	BWR 主蒸気逃がし安全弁	
			

第 16 表 緊急時対策所用発電機給油ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	6	475	○
		せん断 (MPa)	5	366	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張 (MPa)	12	205	○
		せん断 (MPa)	2	157	○
②④ 主軸 (ギヤ部)	変位	— (mm)			○
② 主軸	応力	組合せ (MPa)	4	858	○
⑤ 軸受	面圧	— (MPa)	1		○
⑥ 電動機	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	1.2	4.7	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	1.0	1.0	○
⑨ 逃がし弁	加速度	水平 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	1.2	5.0	○
		鉛直 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	1.0	1.0	○

4. まとめ

新たな検討が必要な設備について、地震時要因分析を行い、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い、評価項目の抽出を行った。また、抽出した項目について評価を行い、機能が喪失することがないことを確認した。

格納容器圧力逃がし装置 移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価

1. はじめに

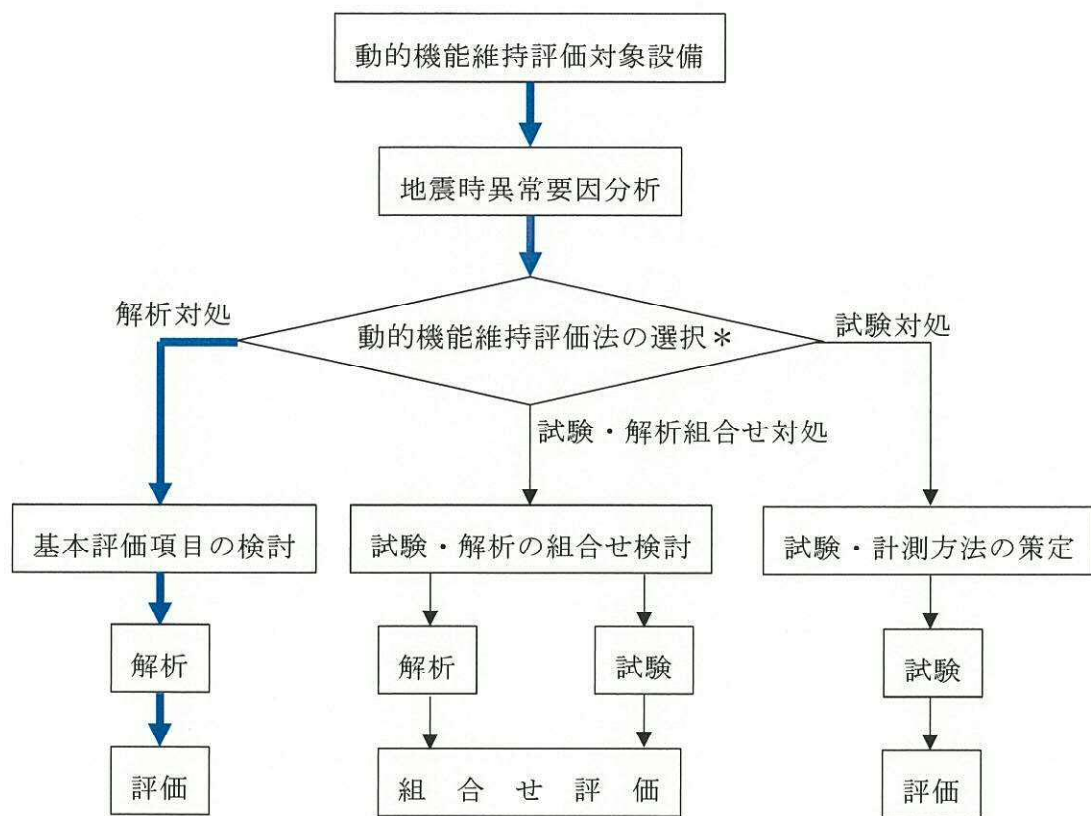
格納容器圧力逃がし装置 移送ポンプ（以下「移送ポンプ」という。）の動的機能の評価において，J E A G 4601 にて定められた機能確認済加速度との比較により評価を実施している。移送ポンプは，内部流体が高線量であるため外部への拡散防止が必要であり，漏えい対策としてメカニカルシール等の軸封装置が不要であるキャンドモータポンプを採用しているが，作動原理，基本構造及びこれに基づく振動性状等の面から J E A G 4601 にて定められた横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機の機能確認済加速度が適用できると考える。しかしながら，J E A G 4601 に記載の横形ポンプ，電動機の例にキャンドモータポンプはないため，移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を行った。

2. 評価項目の抽出方針

移送ポンプにおける動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。

移送ポンプは，横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお，J E A G 4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



* 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

第 1 図 動的機能維持評価のフロー

また、耐特委の成果を基に J E A G 4601 の動的機器の耐震評価法が定められており、地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする J E A G 4601 の機種／型式／適用範囲を第 1 表に示すとともに、移送ポンプの構造概要図を図 2 に示す。また、主要仕様を第 2 表に示す。

J E A G 4601 に記載されている地震時機能維持を要求される横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機（第 3 図）と移送ポンプの作動原理、基本構造及びこれに基づく振動性状等は以下のとおりであり、同じといえる。このため、移送ポンプについては、耐特委の横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機を参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

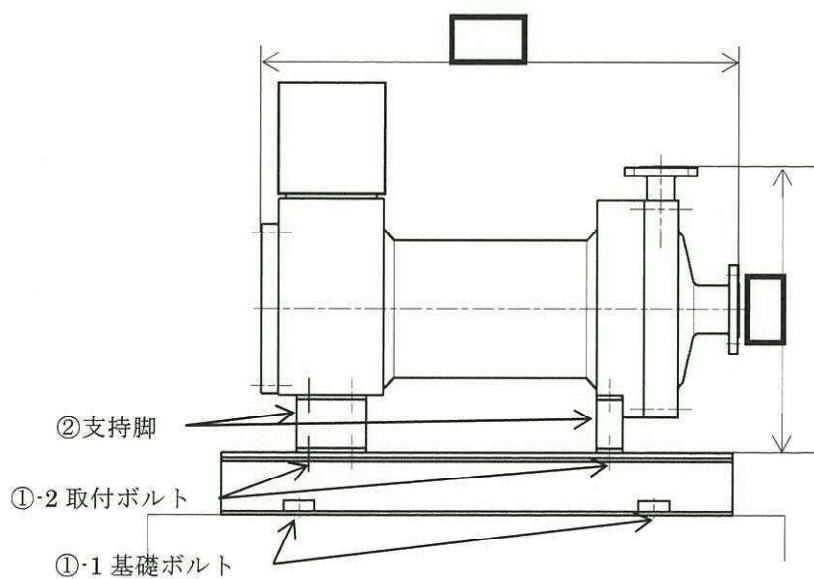
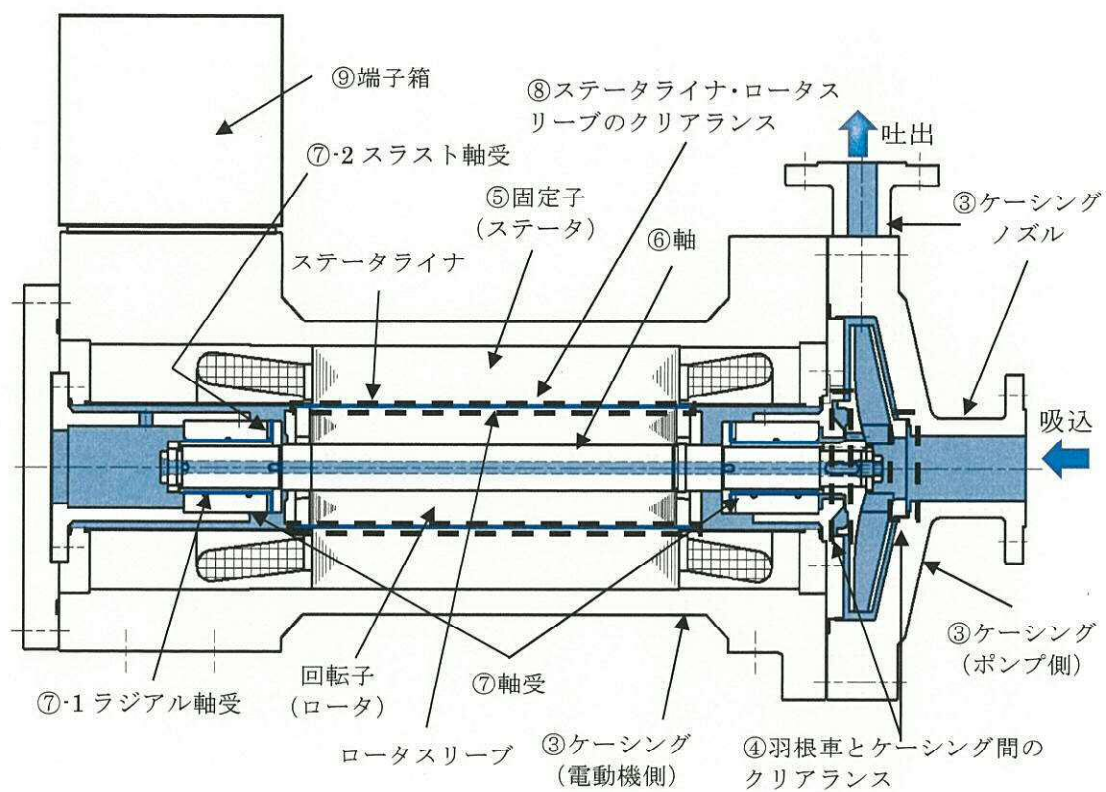
- ・移送ポンプと J E A G 4601 に記載の横形ポンプは共に横形単段遠心式ポンプであり、羽根車の高速回転により液を吸い込み・吐き出すポンプである。原動機については、共に横形すべり軸受電動機であり、堅牢な固定子フレーム、ケーシングと軸受に支えられた回転子とから構成される。ポンプの固定方法については、共に基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に駆動機構である原動機とポンプが取付ボルトにより設置される。
- ・J E A G 4601 に記載の横形ポンプは、原動機からの動力を、軸継手を介してポンプ側へ伝達する方式であり、主軸、軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより、軸系の地震荷重はメカニカルシール部に負荷されず、軸受を通して剛なケーシングに伝達される。一方、移送ポンプは軸継手を有しておらず、電動機の軸に直接羽根車が固定されており、また、メカニカルシール等を有していないが、軸系の地震荷重は軸受を通して剛なケーシングに伝達される。
- ・移送ポンプは、電動機の固定子と回転子の間はポンプの取り扱流体で満たされているが、その量はロータの質量の 1% に満たない量であり、振動性状に影響はない。

第 1 表 移送ポンプの参考とする機種／型式

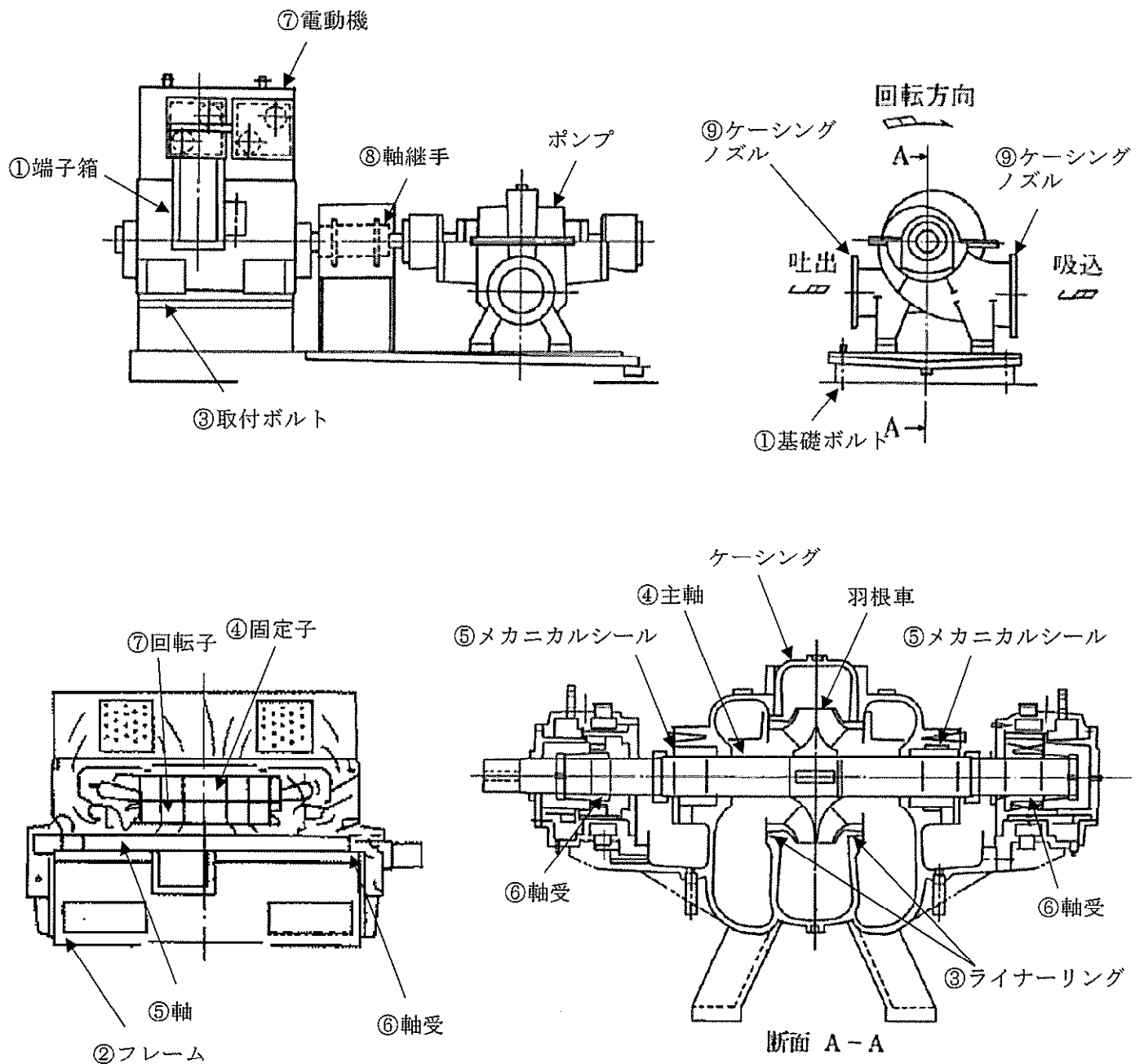
新たな検討を行う設備	機種／型式／流量，出力	参考とする J E A G 4601 の 機種／型式／適用範囲
・移送ポンプ	キヤンドモータポンプ ・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：10 m ³ /h ・電動機／ 横形すべり軸受機／ 出力：7.5 kW	・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：～2400 m ³ /h ・電動機／ 横形すべり軸受機 出力：～1400 kW

第 2 表 移送ポンプの主要仕様

名称		移送ポンプ
容量	m ³ /h/個	10
揚程	m	40
最高使用圧力	MPa	2.5
最高使用温度	℃	200
原動機出力	kW/個	7.5



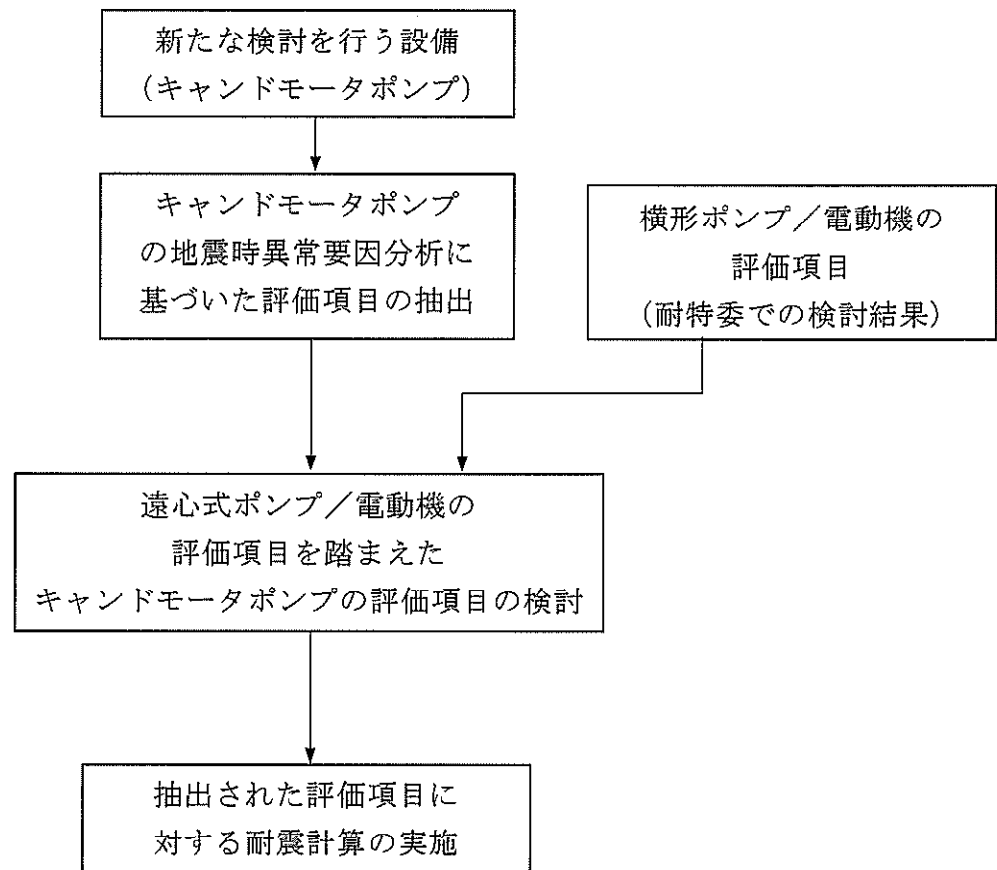
第2図 移送ポンプ構造概要図



第3図 遠心式ポンプ／電動機 構造概要図

3. 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討を行う設備として、移送ポンプ（キャンドモータポンプ）に対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第4図に示す。

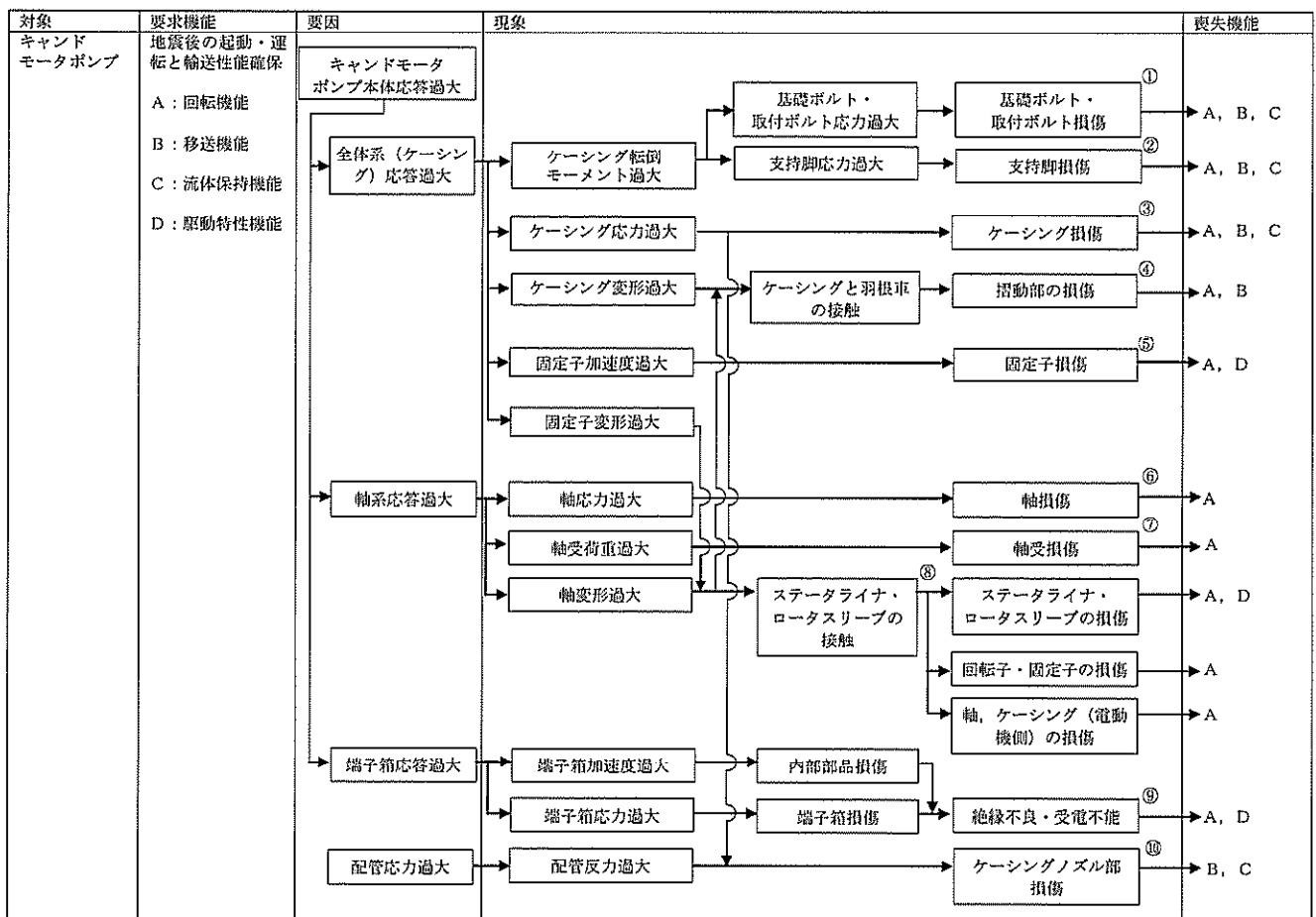


第4図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

a. キャンドモータポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) キャンドモータポンプの評価項目の抽出

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図を第5図に示す。地震時異常要因分析図に基づき抽出される評価項目は第3表のとおりである。



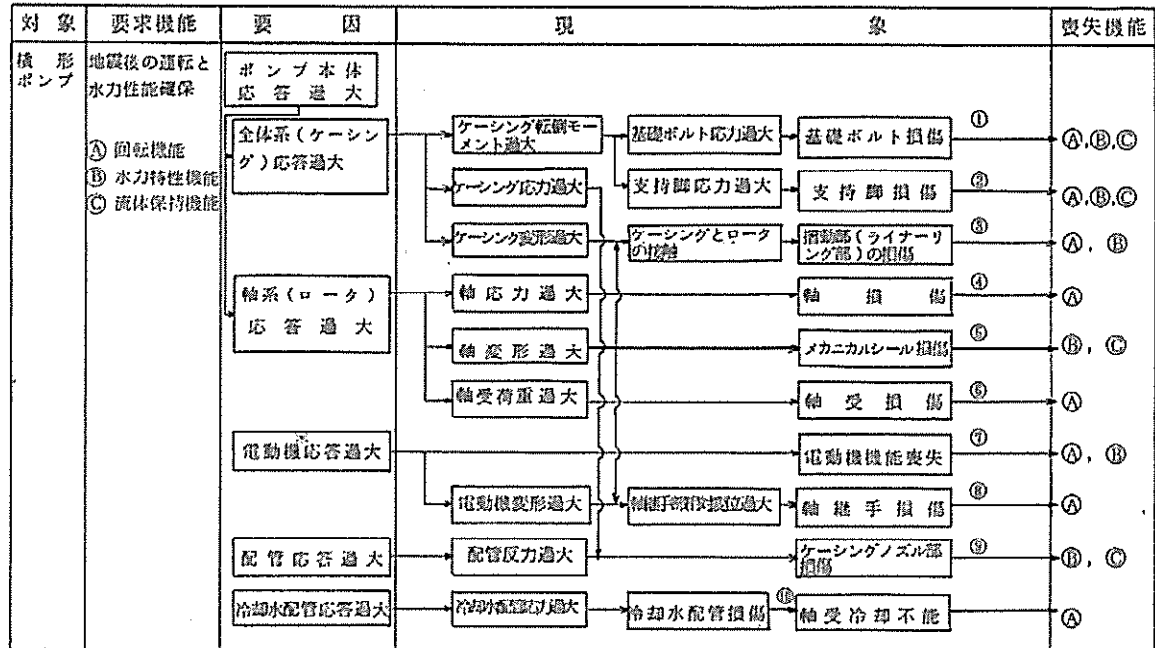
第5図 キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図

第3表 キャンドモータポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト 取付ボルト	全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト・取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③	ケーシング	全体系の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるケーシングの応力が過大となり、ケーシングが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
④	摺動部	軸の応答が過大となり、軸変形が過大となることにより羽根車とケーシングが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
⑤	固定子	全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり、固定子の損傷に至ることにより、回転機能が喪失する。
⑥	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑦	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	ステータライナ・ ロータスリーブ	軸の応答が過大となり、軸変形が過大となることによりステータライナ、ロータスリーブが接触し、損傷に至り回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑨	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑩	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

b. 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

キャンドモータポンプの評価項目の検討において、公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプ、電動機の地震時異常要因分析図を第6図及び第7図に、要因分析図から抽出される評価項目を第4表及び第5表に示す。

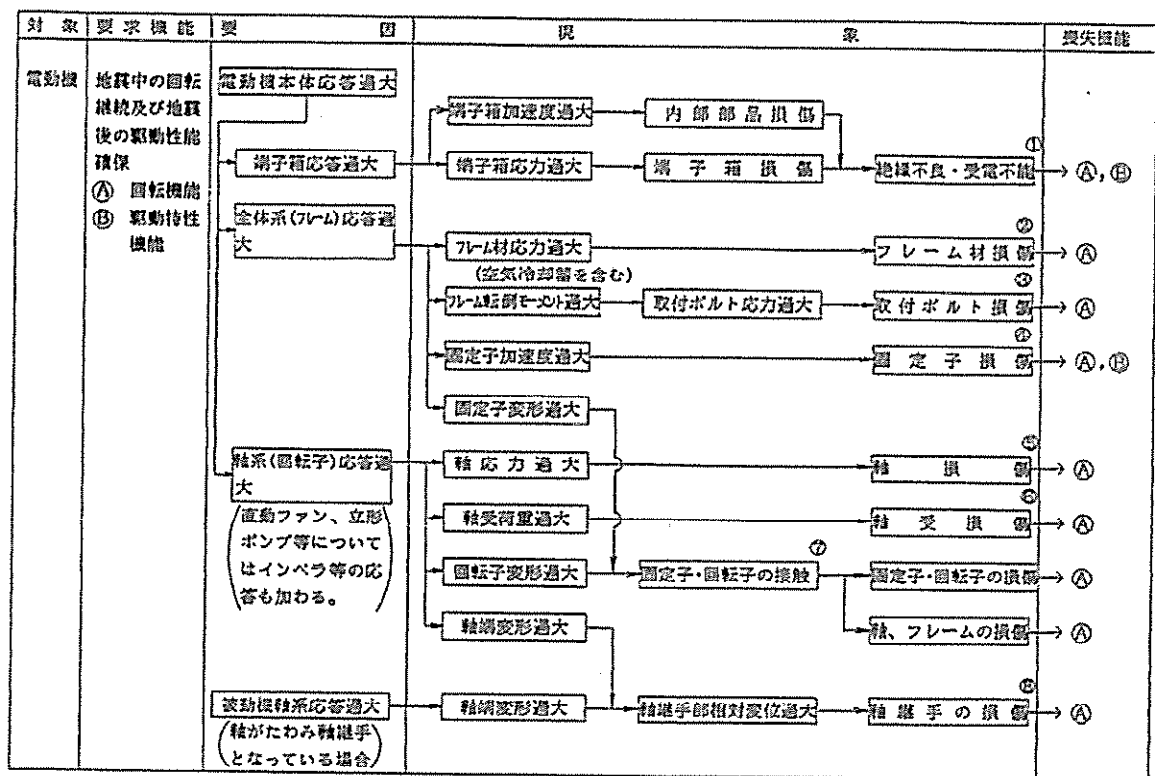


* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第6図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 遠心式ポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む）、支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （羽根車とライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり、羽根車がライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び水力特性機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能及び水力特性機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。



第 7 図 電動機の地震時異常要因分析図

第 5 表 電動機地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
②	フレーム	全体系（フレーム）の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるフレーム材の応力が過大となりフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
③	取付ボルト	電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を原動機台に固定している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。
④	固定子	全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑤	軸	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑥	軸受	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。
⑦	固定子・回転子	全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機（ポンプ）軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで被駆動機への回転運動の伝達が喪失する。

c. 遠心式ポンプ／電動機の評価項目を踏まえたキャンドモータポンプの評価項目の検討

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプ／電動機の地震時異常要因分析結果と同様に整理した結果、キャンドモータポンプの評価項目は、遠心式ポンプ／電動機とほぼ同様となった。キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプ／電動機の耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたキャンドモータポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記のとおりである。

- ・ステータライナ・ロータスリーブ（電動機の評価項目になくキャンドモータポンプのみで抽出）
- ・メカニカルシール（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・軸継手（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・冷却水配管（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・空気冷却器（キャンドモータポンプの評価項目になく電動機のみで抽出）

キャンドモータポンプは軸封部がなくポンプと電動機が一体となった構造となっており、電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体で満たされている。軸封部がないことからメカニカルシールを有しておらず、羽根車が電動機軸に取り付けられていることから軸継手も有していない。電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体の流れがあり、移送ポンプにおいては別途軸受、電動機の冷却が不要なことから、ポンプ冷却水配管、電動機空気冷却器を有していない。

キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目を抽出した結果を以下に示す。

① 基礎ボルト、取付ボルトの評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプ、電動機と同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、取付ボルトで設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、キャンドモータポンプと遠心式ポンプ、電動機とで構造に大別紙 2-14

きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③ ケーシングの評価

ケーシングについては、キャンドモータポンプと遠心式ポンプ、電動機とで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

④ 摺動部の評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプと同様に、羽根車とケーシング間のクリアランス部が、地震時に接触し損傷した場合移送機能喪失にかかわるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 固定子の評価

固定子はケーシング（電動機側）内部に取り付けられ、ケーシング（電動機側）は十分厚く、高い強度を有する設計であることを確認している。そのため、ケーシングが損傷しなければ固定子の健全性は確保されるため、計算書の評価対象外とする。

⑥ 軸の評価

キャンドモータポンプはポンプ部と電動機部の軸が一体の構造であり、遠心式ポンプ／電動機とは異なるが、軸系の損傷によってキャンドモータポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、キャンドモータポンプにおいても、遠心式ポンプ／電動機と同様に、軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑦ 軸受の評価

遠心式ポンプ／電動機において、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はキャンドモータポンプも遠心式ポンプ、電動機も同じである。当該軸受が損傷することにより、キャンドモータポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑧ ステータライナ・ロータスリーブの評価

軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、ステータ

タライナ・ロータスリーブが接触，損傷し，回転機能及び駆動特性機能喪失にかかわるため，動的機能維持の評価項目として選定する。

⑨ 端子箱の評価

電動機の端子箱本体は，箱状の構造物で十分な剛性が確認されており，地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに有意な荷重がかかることから，取付ボルトを評価項目として選定する。

⑪ ケーシングノズルの評価

ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施しており，ケーシングノズルが損傷することはない，回転機能，移送機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認しているため，計算書の評価対象外とする。

以上から，キャンドモータポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部の評価
- ・軸の評価
- ・軸受の評価
- ・ステータライナ・ロータスリーブの評価
- ・端子箱（取付ボルト）の評価

評価項目における評価基準値の説明を第 6 表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第 7 表に示す。評価内容については別紙 2 添付 1 に示す。

第 6 表 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として $IV_A S$ を評価基準値とした。
④ 摺動部	羽根車とケーシングの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，羽根車とケーシングのクリアランスを評価基準値とした。
⑥ 軸	回転機能の確保の観点から，メーカーが推奨する許容応力を評価基準値とした。
⑦ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカーが推奨する許容荷重（許容面圧）を評価基準とした。
⑧ ステータライナ・ロータスリーブ	ステータライナとロータスリーブの接触により回転機能，駆動特性機能が阻害されるという観点から，ステータライナとロータスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
⑨ 端子箱（取付ボルト）	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として $IV_A S$ を評価基準値とした。

第 7 表 移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	7	184	○
		せん断 (MPa)	5	142	○
①-2 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	9	398	○
		せん断 (MPa)	3	306	○
④ 摺動部 (ライナ ーリング部)	変位	— (mm)			○
⑥ 軸	応力	せん断 (MPa)			○
⑦ 軸受	面圧	⑦-1 ラジアル (MPa)			○
		⑦-2 スラスト (MPa)			○
⑧ ステータライ ナ・ロータスリー ブ	変位	— (mm)			○
⑨ 端子箱 (取付ボ ルト)	応力	引張 (MPa)			○
		せん断 (MPa)			○

4. まとめ

新たな検討を行った移送ポンプについて、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い、評価項目の抽出を行った。また、抽出した項目について評価を行い、機能が喪失することがないことを確認した。

移送ポンプの地震時異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価

1. 評価対象部位

移送ポンプは、回転機能、移送機能、流体保持機能が維持されることを確認するために、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部
- f. ステータライナ・ロータスリーブ
- g. 端子箱（取付ボルト）

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、添付書類「V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な裕度を有していることを確認している。

以上より、本書においては、軸、軸受、摺動部、ステータライナ・ロータスリーブ及び端子箱（取付ボルト）を評価対象部位とする。

2. 評価基準値

軸系の許容応力は、メーカーが推奨する許容応力値を評価基準値として設定する。軸受については軸受の許容荷重値（許容面圧）を評価基準値として設定する。摺動部については、羽根車とケーシング間の隙間を評価基準値として設定する。ステータライナ・ロータスリーブについては、当該箇所の隙間を評価基準値として設定する。端子箱（取付ボルト）の許容応力については、支持構造物の許容応力状態Ⅳ A S に準拠し設定する。

3. 記号の説明

移送ポンプの評価に使用する記号を表 1-1 に示す。

表 1-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Ri}	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_{Ti}	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_T	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
d_{SO}	軸外径	mm
d_{SI}	軸内径	mm
d_{BO}	軸受外径	mm
d_{BI}	軸受内径	mm
d_T	端子箱取付ボルト径	mm
D_T	端子箱取付ボルトのピッチ円直径	mm
n	端子箱取付ボルトの本数	—
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($=9.80665$)	m/s^2
H_P	予想最大両振幅	μm
I	軸の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	支点 A から軸端までの距離	mm
ℓ_B	軸受長さ	mm
h	端子箱取付面から端子箱重心位置までの距離	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{Cj}	W_c により発生する軸の最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{Sj}	w により発生する軸の最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_c	羽根車質量	kg
m_s	軸質量	kg
m_T	端子箱質量	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min^{-1}
P	原動機出力	kW

記号	記号の説明	単位
P_R	ラジアル荷重による軸受の最大面圧	MPa
P_{Ri}	ラジアル荷重による軸受の面圧	MPa
P_T	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/mm
W_C	地震力を考慮した軸端部荷重	N
$W_{Ri(j)}$	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_T	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
F	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
Q	端子箱取付ボルトに作用するせん断力	N
σ_T	端子箱取付ボルトに作用する引張応力	MPa
τ_T	端子箱取付ボルトに作用するせん断応力	MPa
x_M	支点A－B間の最大モーメントが生じる距離	mm
x	支点Bから軸評価点までの距離	mm
δ_C	W_C により x の位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ_S	w により x の位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ	x の位置に発生する摺動部、ステータライナ・ロータス リーブ間における軸のたわみ量	mm
π	円周率（＝3.141593）	—
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

添字 i の意味は $i=A$: 支点A 、 $i=B$: 支点B

添字 j の意味は $j=1$: 支点間 、 $j=2$: 張出部

添字 k の意味は $k=s$: w による評価 、 $k=c$: W_C による評価

4. 計算精度と数値の丸め方

精度は 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
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*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2:絶対値が 1000 以上のときは, べき数表示とする。

*3:設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は, 比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て, 整数位までの値とする。

5. 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。

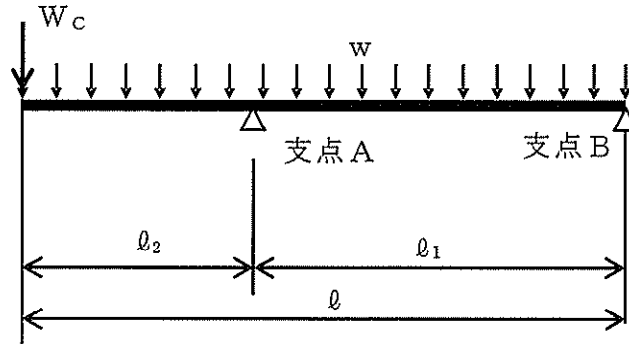


図 1-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left[\frac{16 \cdot d_{so}}{\pi \cdot (d_{so}^4 - d_{si}^4)} \right] \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

(1 kW = 10⁶ N・mm/s)

軸に作用する最大曲げモーメント M

$$M = \max (M_{S1} + M_{C1}, M_{S2} + M_{C2}) \quad \dots \dots \dots (5.4)$$

ここで、主軸質量に地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2}}{l} \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

等分布荷重 w が作用した場合の支点 A-B 間の最大モーメントは、

$x_M = \ell_1 / 2 \{ 1 - (\ell_2^2 / \ell_1^2) \}$ で生じる。

$$M_{s1} = \frac{w}{8 \ell_1^2} (\ell_1 + \ell_2)^2 (\ell_1 - \ell_2)^2 \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

支点 A からの張出部での最大モーメント M_{s2} は、支点 A で生じる

$$M_{s2} = \frac{w \ell_2^2}{2} \quad \dots \dots \dots (5.7)$$

張出部に軸端部荷重 W_c が作用した場合の支点 A-B 間の最大モーメントは、

$x_M = \frac{\ell_1}{2} \{ 1 - (\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \}$ で生じる。

$$M_{c1} = \frac{W_c \ell_2}{\ell_1} \cdot \frac{\ell_1}{2} \cdot (1 - \frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \quad \dots \dots \dots (5.8)$$

張出部に羽根車の質量 m_c が作用した場合の支点 A からの張出部での最大モーメント M_{c2} は 支点 A で

$$M_{c2} = W_c \cdot \ell_2 \quad \dots \dots \dots (5.9)$$

ここで 張出し部に作用する軸端荷重 W_c は、

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \quad \dots \dots (5.10)$$

支点 A と支点 B 間の最大モーメントは、主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント ($M_{s1} + M_{c1}$) となる。

支点 A からの張出部での最大モーメントも同様に主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント ($M_{s2} + M_{c2}$) となる。

(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. ラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_R = \max(P_{RA}, P_{RB}) \quad \dots \dots \dots (5.11)$$

支点Aの軸受の面圧 P_{RA} は、

$$P_{RA} = \frac{W_{RA}}{A_{RA}} \quad \dots \dots \dots (5.12)$$

支点Bの軸受の面圧 P_{RB} は、

$$P_{RB} = \frac{W_{RB}}{A_{RB}} \quad \dots \dots \dots (5.13)$$

軸受投影面積 A_{RA} 及び A_{RB} は、

$$A_{RA} = A_{RB} = d_{BI} \cdot \ell_B \quad \dots \dots \dots (5.14)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_R は

$$\left. \begin{array}{l} W_{RA} = W_{RA1} + W_{RA2} \\ W_{RB} = W_{RB1} + W_{RB2} \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots (5.15)$$

主軸の等分布荷重 w により支点Aに働く反力 W_{RA1} は、

$$W_{RA1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1 + \ell_2)^2 \quad \dots \dots \dots (5.16)$$

主軸の等分布荷重 w により支点Bに働く反力 W_{RB1} は

$$W_{RB1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1^2 - \ell_2^2) \quad \dots \dots \dots (5.17)$$

張出部に軸端荷重 W_c が作用した場合の支点Aに働く反力 W_{RA2} は、

$$W_{RA2} = \frac{W_c}{\ell_1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) \quad \dots \dots \dots (5.18)$$

張出部に軸端部荷重 W_c が作用した場合の支点Bに働く反力 W_{RB2} は、

$$W_{RB2} = \frac{W_c \cdot \ell_2}{\ell_1} \quad \dots \dots \dots (5.19)$$

b. 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。

$$P_T = \frac{W_T}{A_{TA}} \quad \dots \dots \dots (5.20)$$

軸受投影面積 A_{TA} は、

$$A_{TA} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{BO}^2 - d_{BI}^2) \quad \dots \dots \dots (5.21)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_t は

$$W_T = (m_s + m_c) \cdot g \cdot (C_H + C_F) \quad \dots \dots \dots (5.22)$$

(3) 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブ

摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の評価位置における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が評価位置の隙間内であることを確認する。

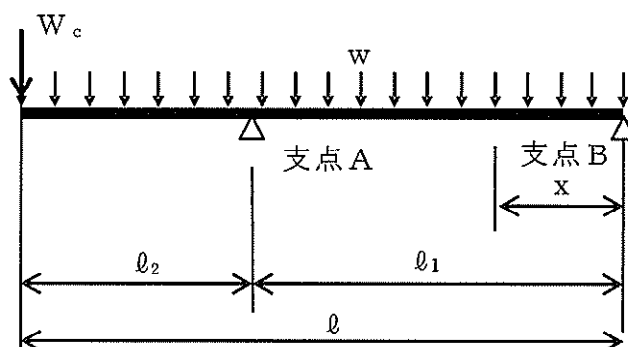


図 1-2 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価モデル
w による軸のたわみ量 δ_s は次式で求める。

$$\delta_s = \frac{w \cdot x}{24EI\ell_1} \{ \ell_1^4 - 2\ell_1^2 x^2 + x^3 \ell_1 - 2\ell_2^2 \ell_1^2 + 2\ell_2^2 x^2 \} \dots (5.23)$$

W_c による軸のたわみ量 δ_c は次式で求める。

$$\delta_c = \frac{W_c \cdot \ell_2 \cdot x}{6EI\ell_1} (\ell_1^2 - x^2) \dots (5.24)$$

以上より、評価位置 x におけるたわみ量 δ は次式で求める。

$$\delta = \delta_s + \delta_c \dots (5.25)$$

(4) 端子箱（取付ボルト）

(a) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は転倒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転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F = \frac{m_T \cdot h \cdot g \cdot (C_H + C_P) - m_T \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \frac{D_T}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n \cdot D_T} \quad \dots (5.26)$$

引張応力

$$\sigma_T = \frac{F}{A_T} \quad \dots (5.27)$$

ここで、ボルトの断面積 A_T は次式により求める。

$$A_T = \frac{\pi}{4} \cdot d_T^2 \quad \dots (5.28)$$

(b) せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力はボルト全数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q = m_T \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots (5.29)$$

せん断応力

$$\tau_T = \frac{Q}{n \cdot A_T} \quad \dots (5.30)$$

6. 評価結果

移送ポンプの異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価結果を次頁以降の表に示す。

7. 評価結果

7.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/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 ($^{\circ}\text{C}$)	周囲環境温度 ($^{\circ}\text{C}$)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
移送ポンプ	横形単段遠心式	10	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	$C_H=1.79$	$C_V=0.89$	$C_P=0.21$	200	

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 ($^{\circ}\text{C}$)	周囲環境温度 ($^{\circ}\text{C}$)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
移送ポンプ (電動機)	横形すべり 軸受機	7.5	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	$C_H=1.79$	$C_V=0.89$	$C_P=0.21$	200	

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。

7.2 機器要目

m_s (kg)	m_c (kg)	m_r (kg)	ϕ (mm)	ϕ_1 (mm)	ϕ_2 (mm)	ϕ_B (mm)	h (mm)	d_{SO} (mm)	d_{SI} (mm)	d_{BO} (mm)	d_{BI} (mm)	d_T (mm)	D_T (mm)	n

A_{RA}, A_{RB} (mm^2)	A_{TA}, A_{TB} (mm^2)	A_T (mm^2)	E (MPa)	I (mm^4)

HP (μm)	N (min^{-1})

7.3 結論 移送ポンプの評価

7.3.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、添付書類「V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な構造強度を有していることを確認しているため計算は省略する。

7.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

7.3.2.1 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。

7.3.2.2 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		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

7.3.2.3 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	隙間
摺動部		
ステータライナ・ロータスリーブ		

すべて隙間以下である。

7.3.2.4 端子箱(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
端子箱(取付ボルト)				

すべて許容応力以下である。

別表 1 検討対象設備の抽出結果

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	AL超過時の評価方法がJEA601に規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J EAG4601 機種／型式 (注1)			A 確認			備 考
					機種	型式	容量 () 内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認用 加速度	
原子炉本体											
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備											
代替燃料プール注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m ³ /h (200m ³ /h)	水平	1.31	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
					電動機	横形ころがり軸受	～850kW (190kW)	鉛直	0.92	1.0	
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
可搬型代替注水中型ポンプ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
代替燃料プール冷却系											
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m ³ /h (124m ³ /h)	水平	0.86	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (30kW)	鉛直	0.65	1.0	
原子炉冷却系統施設											
原子炉冷却材再循環設備											
原子炉冷却材再循環系											
再循環系ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－	－	JEA64601・精-1984にて動的機能維持の要求はないが、地震により地面変位を生じないことを確認している。 精足-340-2(耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について)添付-10 再循環系ポンプの軸方向に対する評価について
原子炉冷却材の循環設備											
残留熱除去設備											
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットバレル形	～1800m ³ /h (1691.9m ³ /h)	水平	0.48	10.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (900kW)	鉛直	0.50	1.0	
格納容器圧力逃がし装置											
格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m ³ /h (10m ³ /h)	水平	0.44	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	移送ポンプ(キヤンドモータポンプ)と、JEA64601における単段遠心式横形ポンプ及び横形すべり軸受電動機は、作動原理、基本構造及びこれに基づく振動性状等、動的機能の評価の面からは同じと判断できるため、JEA64601に定められた機能確認用加速度は適用可能である。(別紙2参照)
					電動機	横形すべり軸受	～950kW (7.5kW)	鉛直	0.50	1.0	
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備											
高圧炉心スプレイ系											
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットバレル形	～1800m ³ /h (1576.6m ³ /h)	水平	0.48	10.0	
					電動機	立形すべり軸受	～2700kW (2280kW)	鉛直	0.50	1.0	
低圧炉心スプレイ系											
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットバレル形	～1800m ³ /h (1638.3m ³ /h)	水平	0.48	10.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (1250kW)	鉛直	0.50	1.0	
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEA64601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m ³ /h (142m ³ /h)	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
					ポンプ駆動用タービン	R C 1 C ポンプ用	プラント出力等による構造、寸法の違いはほとんどない。(541kW)	鉛直	0.50	1.0	
高圧代替注水系											
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが、ポンプとタービンが一体となった設備であり、JEA64601の適用範囲と構造等が異なることから加振試験を実施。

注1：検討対象とする設備の内、J EAG 機種/型式が「―」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	A1超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない ―：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 ―：検討対象でない設備	JEAG4601 機種／型式 (注1)			A1確認			備 考
					機種	型式	容量 ()内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認用 加速度	
低圧代替注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ					― (前段で整理済)						
可搬型代替注水大型ポンプ					― (前段で整理済)						
可搬型代替注水中型ポンプ					― (前段で整理済)						
代替循環冷却系											
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m ³ /h (250m ³ /h)	水平	0.48	3.2(軸直方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (140kW)	水平	0.48	4.7	
								鉛直	0.50	1.0	
原子炉冷却材補給設備											
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ					― (前段で整理済)						
原子炉補機冷却設備											
残留熱除去系海水系											
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m ³ /h (885.7m ³ /h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (900kW)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	
代替残留熱除去系海水系											
可搬型代替注水大型ポンプ					― (前段で整理済)						
緊急用海水系											
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m ³ /h (844m ³ /h)	水平	1.52	10.0	
								鉛直	0.87	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (510kW)	水平	1.52	2.5	
								鉛直	0.87	1.0	
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒	有	加振試験による確認	―	―	制御棒	BWR標準型式	―	水平	16.5mm	40mm	鉛直方向地震による影響は、「6. 制御棒挿入性評価について」に整理。
							―	鉛直			
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	流量、吐出圧力等はほぼ同一 (9.78m ³ /h)	水平	0.93	1.6	
								鉛直	0.80	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (37kW)	水平	0.93	4.7	
								鉛直	0.80	1.0	
放射性廃棄物の廃棄施設											
放射線管理施設											
放射線管理用計測装置											
換気設備											
中央制御室換気系											
中央制御室換気系空調機和種ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	～2500m ³ /min (708.3m ³ /min)	水平	1.29	2.3	
								鉛直	0.98	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (45kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	～2500m ³ /min (85.0m ³ /min)	水平	1.29	2.6	
								鉛直	0.98	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (7.5kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
緊急時対策所換気系											
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	～2500m ³ /min (83.3m ³ /min)	水平	0.90	2.6	
								鉛直	0.78	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (15kW)	水平	0.90	4.7	
								鉛直	0.78	1.0	

注1：検討対象とする設備の内、JEAG機種/型式が「―」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	A1超過時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	JEAG4601 機種／型式 (注1)			A1確認			備 考
					機種	型式	容量 () 内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
原子炉格納施設											
圧力低減設備その他の安全設備											
原子炉格納容器安全設備											
格納容器スプレイ冷却系											
残留熱除去系ポンプ					－（前段で整理済）						
代替格納容器スプレイ冷却系											
常設低圧代替注水系ポンプ					－（前段で整理済）						
可搬型代替注水大型ポンプ					－（前段で整理済）						
可搬型代替注水中型ポンプ					－（前段で整理済）						
代替循環冷却系ポンプ					－（前段で整理済）						
緊急用海水ポンプ					－（前段で整理済）						
格納容器下部注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ					－（前段で整理済）						
可搬型代替注水大型ポンプ					－（前段で整理済）						
可搬型代替注水中型ポンプ					－（前段で整理済）						
原子炉建屋放水設備											
可搬型代替注水大型ポンプ					－（前段で整理済）						
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											
非常用ガス処理系											
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心 直結式	～2500m ³ /min (59.5m ³ /min)	水平	0.99	2.3	
								鉛直	0.89	1.0	
					電動機	横形ころ がり軸受	～950kW (5.6kV)	水平	0.99	4.7	
								鉛直	0.89	1.0	
非常用ガス再循環系											
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心 直結式	～2500m ³ /min (283.3m ³ /min)	水平	0.99	2.6	
								鉛直	0.89	1.0	
					電動機	横形ころ がり軸受	～950kW (66kV)	水平	0.99	4.7	
								鉛直	0.89	1.0	
可燃性ガス濃度制御系											
可燃性ガス濃度制御系再結合 装置ブロー	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心 直結式	～2500m ³ /min (6.7m ³ /h)	水平	1.11	2.6	
								鉛直	0.84	1.0	
					電動機	横形ころ がり軸受	～950kW (15kV)	水平	1.11	4.7	
								鉛直	0.84	1.0	
窒素ガス代替注入系											
窒素供給装置		有	加圧試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	単体型設備であり解析による評価が困難なことから 加圧試験を実施。
その他発電用原子炉の附属設備											
非常用電源設備											
非常用発電装置											
非常用ディーゼル発電機											
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601 による確認	×	○	非常用ディー ゼル 発電機	機関本体	～15500kW (6500kV)	水平	0.72	1.1	
								鉛直	0.75	1.0	
					非常用ディー ゼル 発電機	ガバナ	UG型	水平	0.72	1.8	
								鉛直	0.75	1.0	
非常用ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.92m ³ /h)	－	－	－	スクリー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころ がり軸受	～950kW (1.2kV)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形 斜流式	～7600m ³ /h (272.6m ³ /h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころ がり軸受	～1300kW (55kV)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	

注1：検討対象とする設備の内、JEA601機種/型式が「－」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	A1超過時の評価方法がJEA Gに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種／型式 (注1)			A 1 t 確認			備 考
					機種	型式	容量 () 内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEA G4601 による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	～15500kF (3050kF)	水平	0.72	1.1	
								鉛直	0.75	1.0	
					非常用ディーゼル発電機	ガバナ	UG型	水平	0.72	1.8	
								鉛直	0.75	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEA G4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.04m ³ /h)	－	－	－	スクリー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kF (1.2kF)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEA G4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m ³ /h (232.8m ³ /h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kF (55kF)	水平	0.91	2.6	
								鉛直	0.86	1.0	
常設代替高圧電源装置											
常設代替高圧電源装置	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	JEA G4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	(3.02m ³ /h)	－	－	－	スクリー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kF (2.2kF)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
緊急時対策用発電機											
緊急時対策用発電機	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
緊急時対策用発電機給油ポンプ	有	JEA G4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.3m ³ /h)	－	－	－	ギヤ式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kF (1.6kF)	水平	1.2	4.7	
								鉛直	1.0	1.0	
可搬型代替低圧電源車											
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
可搬型装置供給装置用電源車											
可搬型装置供給装置用電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ	－（前段で整理済）										
補機駆動用燃料設備											
可搬型											
タンクローリ	－（前段で整理済）										
弁											
一般弁											
グロブ弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ゲート弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
バタフライ弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
逆止弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
特殊弁											
主蒸気隔離弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
安全弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
制御油駆動系スクラム弁	有	JEA G4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	

注1：検討対象とする設備の内、J EAG機種/型式が「－」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について

目 次

1. はじめに	1
2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明	1
3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容	7
3.1 原子炉格納容器の応答解析手法について	7
3.2 シアラグ部等の応力解析手法について	14
3.3 機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について	21
3.4 配管貫通部の応力解析手法について	27
3.5 電気配線貫通部の解析手法について	29
3.6 ダイヤフラム・フロアの解析手法について	33
3.7 ベント管の応答解析手法について	40
3.8 格納容器スプレイヘッダの応力解析手法について	45

1. はじめに

既工認との手法の相違点の整理において、今回工認に適用する評価手法が既工認で適用した評価手法と異なる場合には、他プラント既工認での評価手法の適用実績を確認することとしている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）では、以下に示す原子炉格納容器及びその他関連設備を除いて基本的に平成 18 年 9 月の耐震設計審査指針改訂後のプラントとして大間原子力発電所 1 号機（以下「大間 1 号機」という。）を適用実績確認の対象としている。

一方で、大間 1 号機は A B W R であり、東海第二とは炉型が異なることから、原子炉格納容器及びその他関連設備については、その参照を適切に考慮する必要がある。このため、本資料においては既工認での適用例を参照するプラントについて整理するとともに、評価方針及び評価内容の概要について示す。

2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明

原子炉格納容器及びその他関連設備について、東海第二における既工認の手法と今回工認の手法との相違点に対して、他プラントでの適用例を参考とする項目を記載するとともに、参照するプラント名及びその説明を表 1 に整理した。

表 1 原子炉格納容器及びその他関連設備において参照するプラント及びその説明

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例 を参考する項目	参照する プラント	説 明	備 考
原子炉格納容器					
1	ドライウエル	応答解析	解析モデル (鉛直)	美浜 3 号機	3.1 項に示す
			減衰定数 (鉛直)	美浜 3 号機	
		応力解析	—	—	
2	サブプレッショント ン・チ エンバ	応答解析	解析モデル (鉛直)	美浜 3 号機	3.1 項に示す
			減衰定数 (鉛直)	美浜 3 号機	
		応力解析	—	—	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説 明	備 考
3	上部シアラグ及びスラビライザ	応答解析 解析モデル (鉛直)	美浜 3 号機	東海第二の上部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所の鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜 3 号機としている。	3.1 項に示す
		減衰定数 (鉛直)	美浜 3 号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の 1 % を適用する。	
		解析手法	柏崎刈羽 5 号機	参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1 % を適用している美浜 3 号機としている。	
		応力解析	柏崎刈羽 5 号機	原子炉格納容器構造 (MARK-II 型) が同じ柏崎刈羽 5 号機を参照する。	3.2 項に示す
		解析モデル	柏崎刈羽 5 号機	同上	
4	下部シアラグとダイヤフラムブラケット	応答解析 解析モデル (鉛直)	美浜 3 号機	東海第二の下部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所の鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜 3 号機としている。	3.1 項に示す
		減衰定数 (鉛直)	美浜 3 号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の 1 % を適用する。	
		解析手法	柏崎刈羽 5 号機	参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1 % を適用している美浜 3 号機としている。	
		応力解析	柏崎刈羽 5 号機	原子炉格納容器構造 (MARK-II 型) が同じ柏崎刈羽 5 号機を参照する。	3.2 項に示す
		解析モデル	柏崎刈羽 5 号機	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
5	胴アーンカー部	応答解析 解析モデル (鉛直)	美浜 3 号機	東海第二の原子炉格納容器本体底部の鉛直方向の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜 3 号機としている。 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の 1 % を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1 % を適用している美浜 3 号機としている。	3.1 項に示す
6	機器搬入用ハッチ	応力解析	—	—	—
		応答解析	—	—	—
		応力解析 解析手法	大間 1 号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間 1 号機を参照する。また、大間 1 号機はコンクリート製格納容器であるが、下部ドライウエルアクセスパネル鏡板に機器搬入用ハッチを取り付けており、東海第二と同様の形状を有している。 同上	3.3 項に示す
7	所員用エアロック	解析モデル	大間 1 号機	同上	—
		—	—	—	—
		応答解析 応力解析 解析手法	大間 1 号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間 1 号機を参照する。 また、大間 1 号はコンクリート製格納容器であるが、下部ドライウエルアクセスパネル鏡板に所員用エアロックを取り付けており、東海第二と同様の形状を有している。 同上	3.3 項に示す
8	サブプレッジョン・チェンバークセスハッチ	解析モデル	大間 1 号機	同上	—
		—	—	—	—
		応答解析 応力解析 解析手法	大間 1 号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間 1 号機を参照する。 ただし、大間 1 号炉のサブプレッジョン・チェンバーク用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付け構造であるため、当該部の評価は、類似設備として機器搬入用ハッチを参照する。 同上	3.3 項に示す

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例 を参考する項目	参照する プラント	説 明	備 考
9	配管貫通部	応答解析	大間 1 号機	配管貫通部に発生する反力は、配管解析により算出する。配管解析は炉型に関係なく同様に実施するため大間 1 号機を参照する。	—
		減衰定数 (配管反力)			
		応力解析	東北電力 東通 1 号機	配管貫通部の構造は、鋼製格納容器プラントでは同一構造であるため、最新プラントである東通 1 号機を参照する。	
10	電気配線貫通部	解析モデル	東北電力 東通 1 号機	同上	3. 4 項に示す
		解析手法	福島第一 4 号 (H22 年改造工認)	東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 * 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いた F E M 解析の実施	
		解析モデル	福島第一 4 号 (H22 年改造工認)	同上	
		減衰定数	福島第一 4 号 (H22 年改造工認)	同上	
		解析手法	福島第一 4 号 (H22 年改造工認)	東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 * 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いた F E M 解析の実施	
		解析モデル	福島第一 4 号 (H22 年改造工認)	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
圧力低減装置その他関連の安全設備					
11	ダイヤフラム・フロア	応答解析	解析モデル (鉛直) (設置位置 の応答加速 度算出)	大飯 3, 4 号機	東海第二のダイヤフラム・フロアの評価に際しては、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度を用いる。原子炉本体の基礎の鉛直方向加速度の算定にあたっては、多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。なお、原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度は、原子炉建屋の地震応答解析結果を用いる(別途整理済み)。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートを多質点系モデルにモデル化している大飯 3, 4 号としている。
		減衰定数 (鉛直)	大飯 3, 4 号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉本体の基礎の鉛直方向の減衰定数として、鉄筋コンクリートの 5 % を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートの鉛直方向の減衰定数として、5 % を適用している大飯 3, 4 号としている。	3.6 項に示す
		応力解析	解析モデル (モデル形状の変更)	柏崎刈羽 4 号機	原子炉格納容器構造 (MARK-II 型) が同じ柏崎刈羽 4 号機を参照する。
12	ベント管	応答解析	解析手法	柏崎刈羽 4 号機	原子炉格納容器構造 (MARK-II 型) が同じ柏崎刈羽 4 号機を参照する。
		解析モデル	柏崎刈羽 4 号機	同上	3.7 項に示す
		応力解析	—	—	—
13	格納容器スプレッド ヘッド	応答解析	減衰定数 (鉛直)	大間 1 号機	一般的な配管解析であるため、大間 1 号機を参照する。
		応力解析	—	—	—

3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容

2. 項で整理した参照プラント及びその説明を基に、以降に東海第二の評価方針及び評価内容を示す。

3.1 原子炉格納容器の応答解析手法について

今回工認では鉛直方向に動的地震動が導入され、原子炉格納容器の耐震性評価に適用する鉛直方向の地震荷重を新たに設定するため、原子炉格納容器をモデル化した建屋－機器連成解析モデルを追加している。つぎの評価対象項目について、追加した建屋－機器連成解析モデルの応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

- ・ドライウエル（応答解析）
- ・サプレッション・チェンバ（応答解析）
- ・上部シアラグ及びスタビライザ（応答解析）
- ・下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応答解析）
- ・胴アンカー部（応答解析）

(1) 構造

原子炉格納容器の概要図を図1に示す。原子炉格納容器は、全高□mの鋼製の容器であり、ドライウエルトップヘッド、ドライウエル本体、サプレッション・チェンバ本体及び付属構造物から構成されている。ドライウエルトップヘッドは内径□m、板厚□mmの円筒胴及びその上に板厚□mmの鏡板を有している。ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の基本形状は各々円錐形、円筒形で、サプレッション・チェンバ本体は円筒内径□mであり、原子炉格納容器の板厚は□mmである。また、サプレッション・チェンバの基部である胴アンカー部は、原子炉建屋基礎に埋設されている。アンカー部は、ベースプレート、アンカープレート及びベースプレートとアンカープレートとを接続する基礎ボルトで構成されている。

主要な付属構造物として、上部シアラグ、下部シアラグ、ダイヤフラムブラケット、機器搬入用ハッチ、所員用エアロック、サプレッション・チェンバアクセスハッチ及び

複数の配管貫通部，電気配線貫通部等がある。

原子炉格納容器の内部には，主要構造物として原子炉压力容器，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎，原子炉压力容器スタビライザ，原子炉格納容器スタビライザ，ダイヤフラム・フロアがある。また，サプレッション・チェンバ内に ton の水を保有している。

上部及び下部シアラグ部は，原子炉格納容器側のメイルシアラグと原子炉建屋遮蔽側のフィメールシアラグとの嵌め合い構造を有しており，水平方向変位を拘束している。また，原子炉格納容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，トラス構造の片持ち梁でその端部は原子炉格納容器の上部シアラグと嵌め合い構造となっており，水平方向変位を拘束している。原子炉压力容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，原子炉压力容器のスタビライザブラケットを介して水平方向変位を拘束している。

水平地震力は，上部シアラグ，下部シアラグ及びサプレッション・チェンバの基部から伝達され，鉛直地震力は，サプレッション・チェンバの基部から伝達される。

応答解析で参照プラントとした美浜 3 号機の原子炉格納容器は，鋼製の円筒形で上下に鏡板を有する容器である。基本形状が円筒形である点で，東海第二の原子炉格納容器は美浜 3 号機の原子炉格納容器と大きな構造の差を有していない。

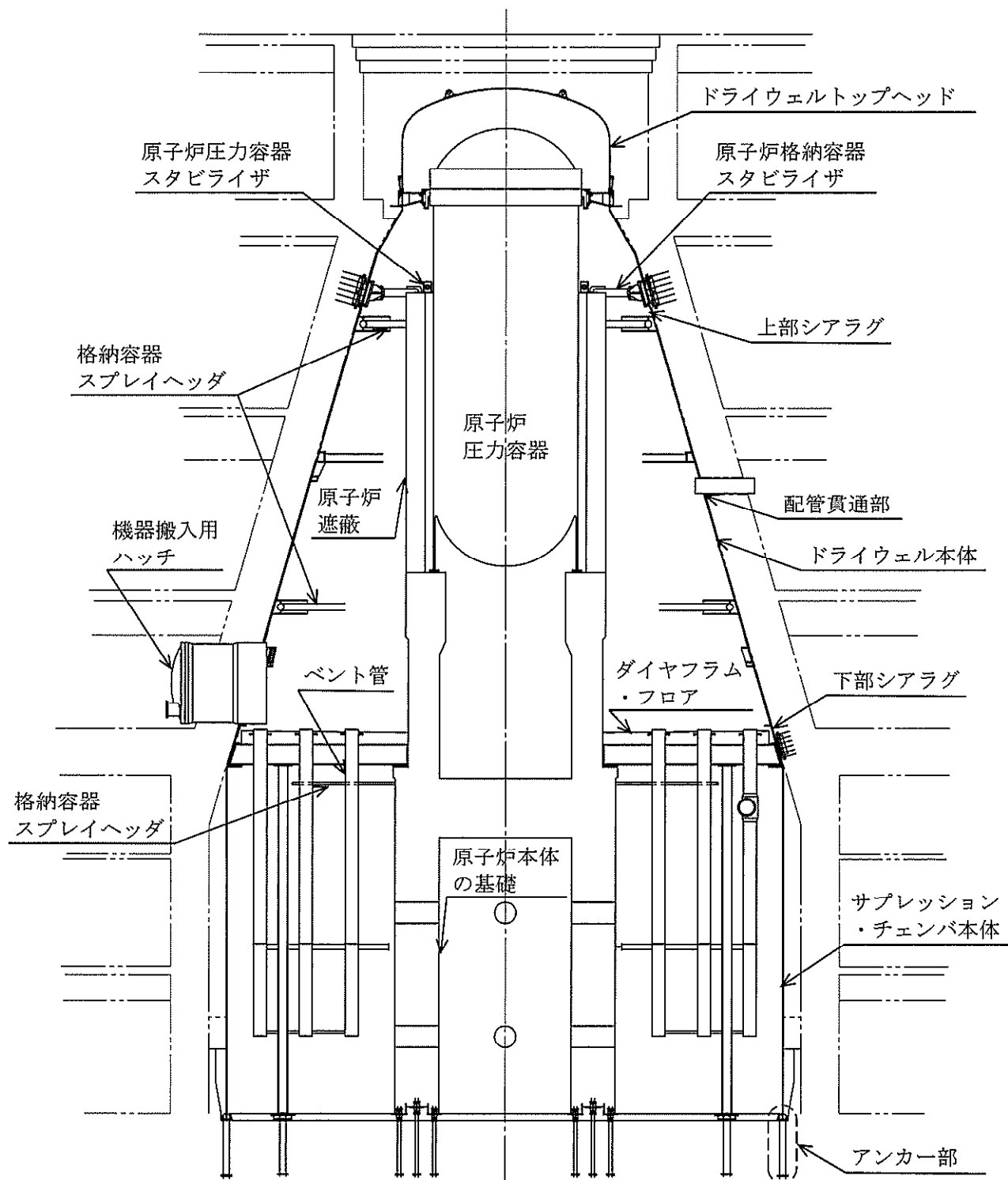


図1 原子炉格納容器の概要図

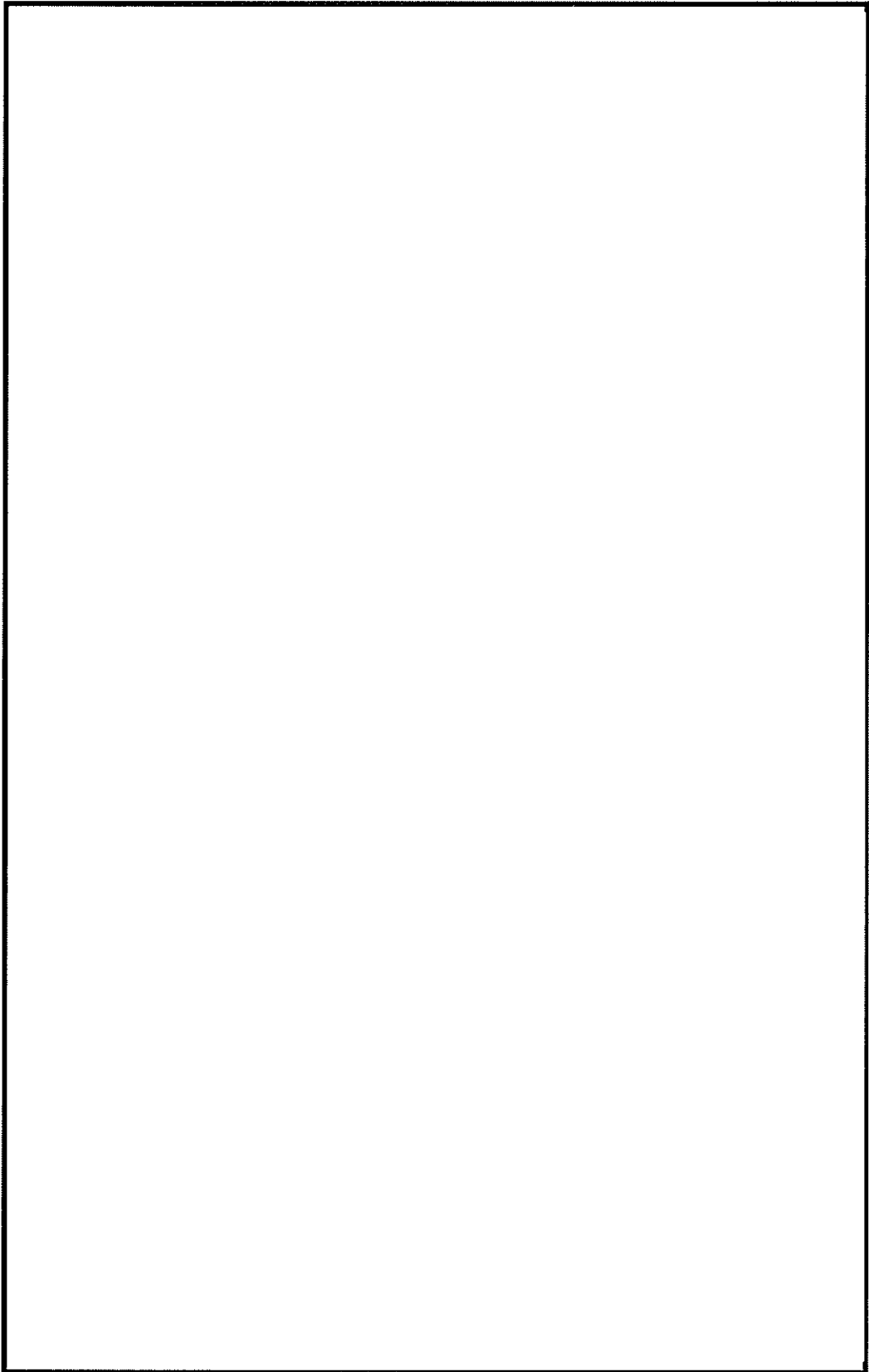
(2) 地震応答解析モデル及び減衰定数

原子炉格納容器の地震応答解析モデルは、水平方向及び鉛直方向共に、ドライウェルトップヘッド、ドライウェル本体、サプレッション・チェンバ本体を多質点系はりモデルにてモデル化し、原子炉格納容器の質量分布は質点質量に置き換える。質点位置は、水平方向地震応答解析モデルと鉛直方向地震応答解析モデルとで同じであり、形状不連続部、ハッチ類等の付加物接合部などを選定している。

水平方向地震応答解析モデルは、各質点間を等価な曲げ及びせん断剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルであり、既工認と同じモデルである。鉛直方向地震応答解析モデルは、各質点間を等価な軸方向剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルである。なお、球殻部及び円錐殻部は、質点間の平均断面における曲げ、せん断及び軸方向剛性としている。

原子炉格納容器のモデルを含んだ鉛直方向の建屋－機器連成解析モデル図を図 2 に示す。原子炉格納容器を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は、美浜 3 号機と同様である。

また、減衰定数については、溶接構造物であるため 1.0%を適用しており、美浜 3 号機の減衰定数と同様である。



原子炉格納容器モデル化の範囲

図 2 鉛直方向の建屋－機器地震応答解析モデル

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、既工認では軸対称殻要素であるのに対し、今回工認ではシェル要素による三次元モデルにてモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及びビームシート等付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。全周の 180° 分をモデル化し、境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

東海第二の三次元シェルモデル図を図 3 に示す。原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、トップヘッドやサプレッション・チェンバアクセストンネル鏡板を三次元シェルモデルでモデル化する大間 1 号機の考え方と同様である。なお、東海第二と同じ原子炉格納容器構造（MARK-II 型）のプラントでは、原子炉格納容器本体の応力解析に適用するモデルは軸対称殻要素を採用している。また、MARK-I 型原子炉格納容器構造の一部のプラントでは、三次元シェルモデルを採用している。

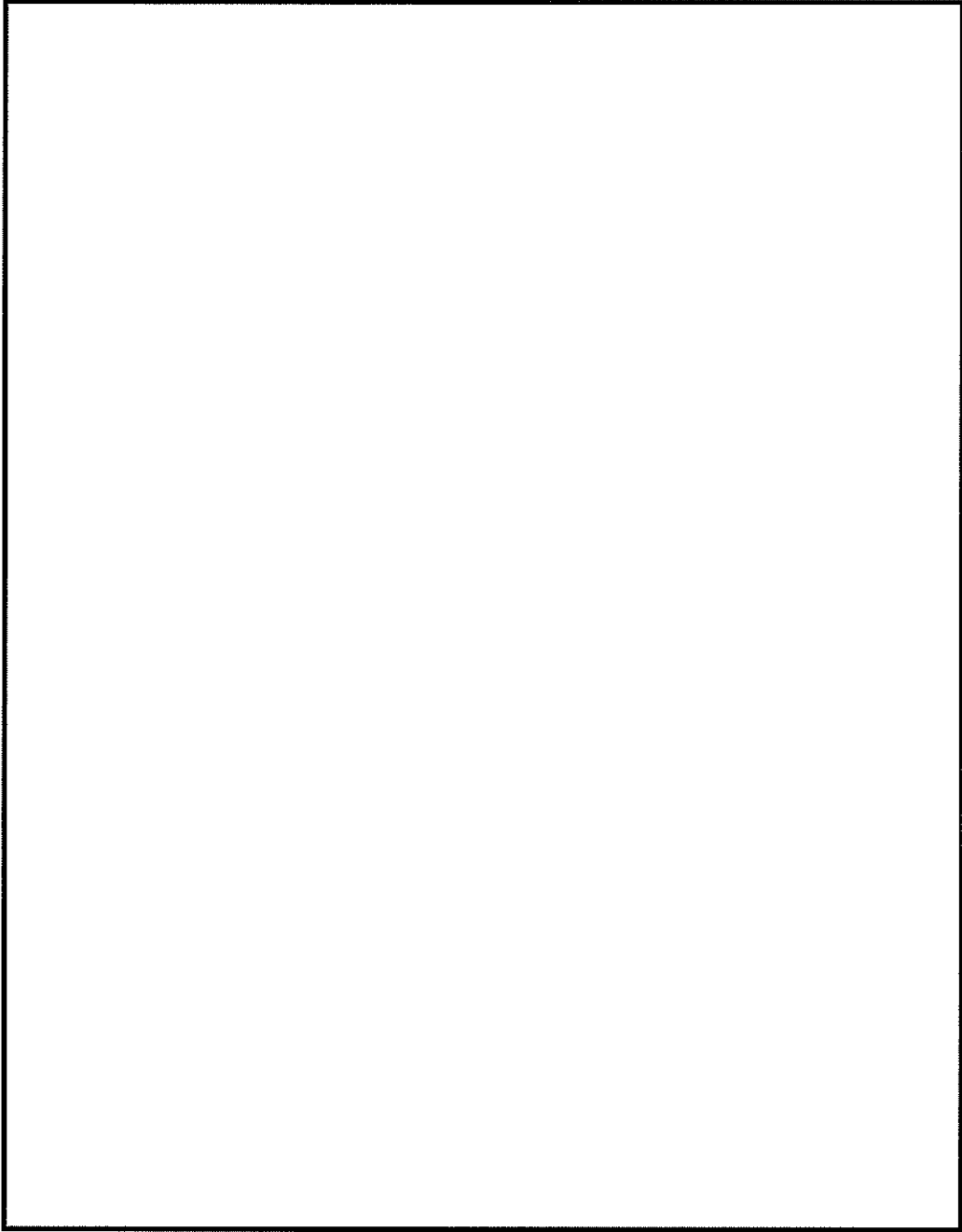


図 3 三次元シェルモデル図（原子炉格納容器）

3.2 シアラグ部等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、シアラグ部等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 上部シアラグ及びスタビライザ（応力解析）
- ・ 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応力解析）

(1) 構造

上部シアラグ及び下部シアラグの概要図を図4及び図5に示す。

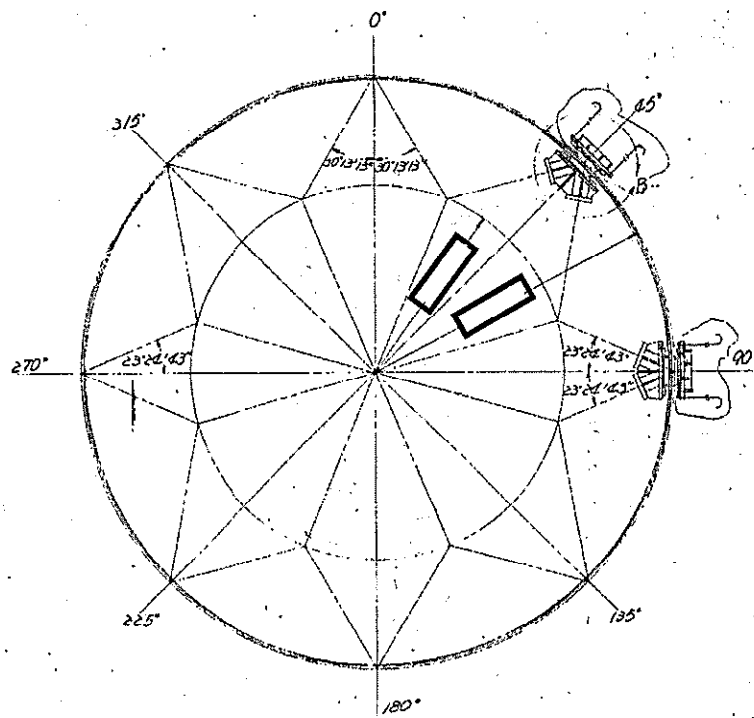
上部シアラグ及び下部シアラグは、ドライウエルの水平方向地震力を原子炉建屋に伝達するために設置している。

上部シアラグ及びスタビライザは、ドライウエル円錐胴の上部に周方向に8ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のメイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のメイルシアラグはスタビライザ側のフィメールシアラグと嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。メイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、スタビライザ側のフィメールシアラグはウェブを介して原子炉格納容器スタビライザとフランジ構造で接続されている。

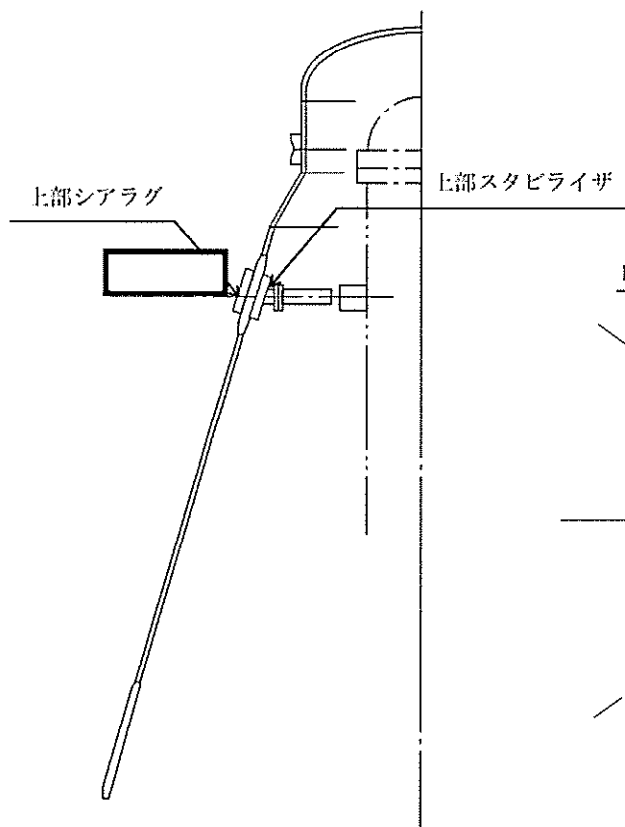
下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、ドライウエル円錐胴の下部に周方向に18ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のメイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のダイヤフラムブラケットはダイヤフラム・フロアの半径方向大梁と嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。メイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、ダイヤフラムブラケットはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されている。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽5号機は原子炉格納容器構造（MARK-II型）が同じであり、シアラグ部を含めて大きな構造の差を有していない。なお、同じ

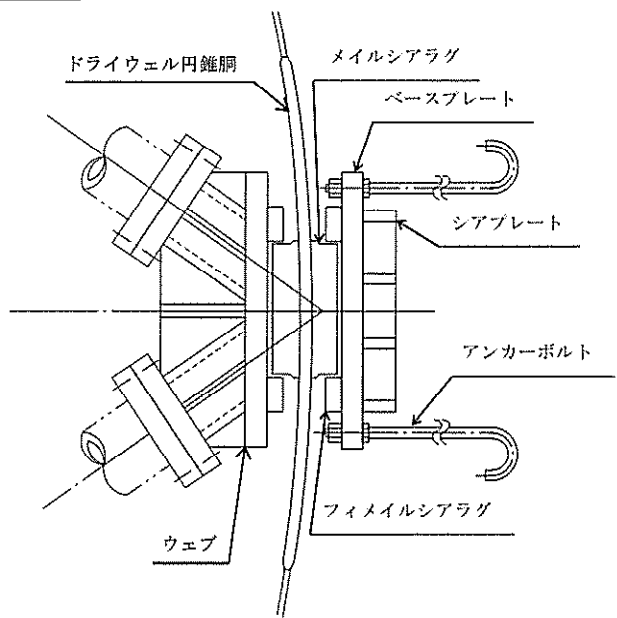
原子炉格納容器構造を有するプラントには柏崎刈羽 4 号機があるが、工認計算書を添付していないことから、参照プラントは柏崎刈羽 5 号機としている。



(a) 水平断面図

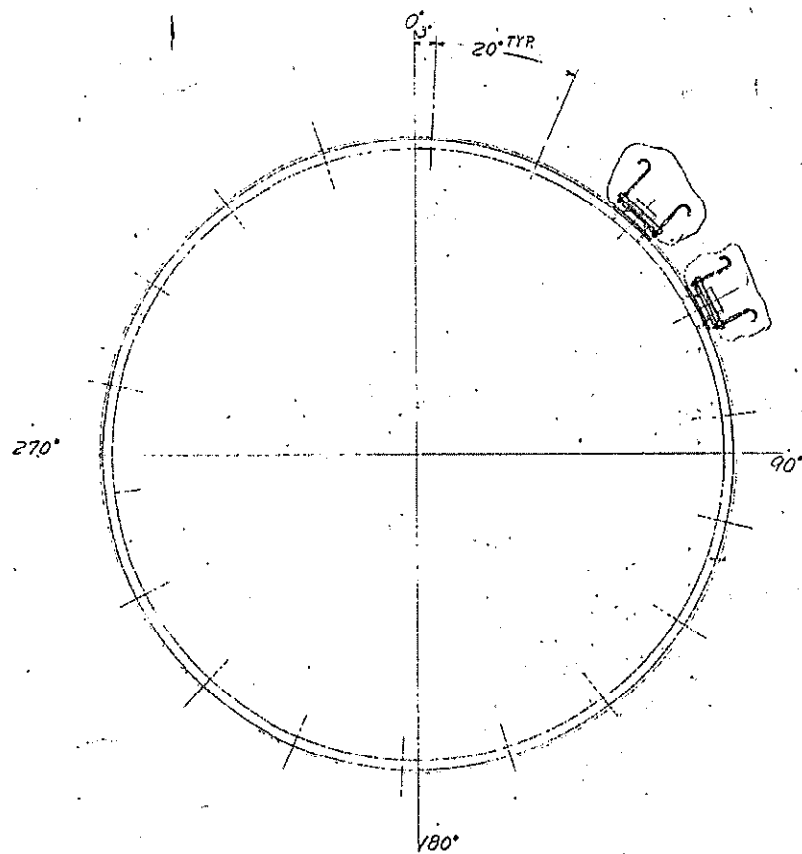


(b) 垂直断面図

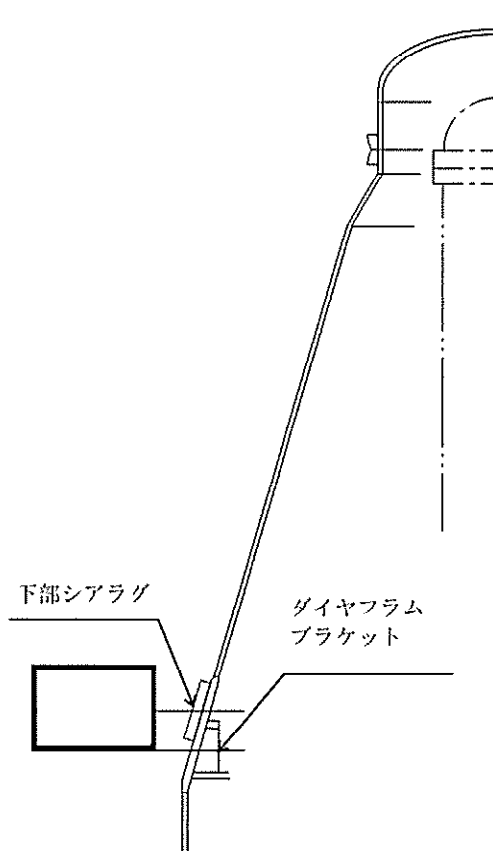


(c) 上部シアラグ詳細平面図

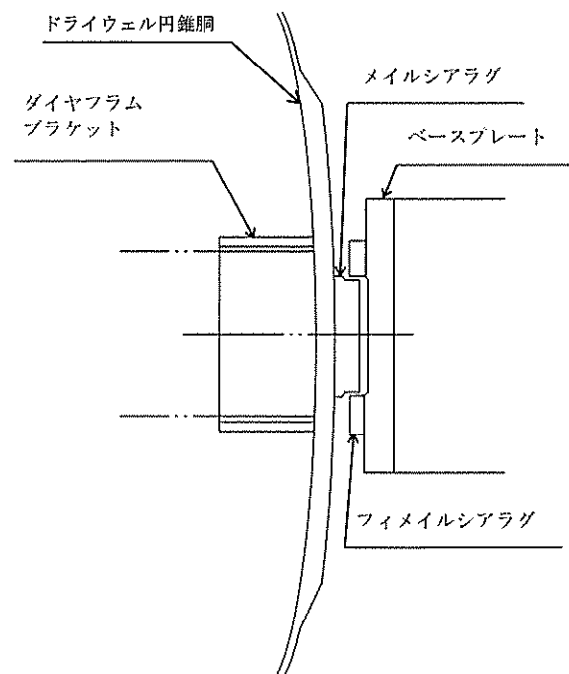
図4 上部シアラグ及びスタビライザの概要図



(a) 水平断面図



(b) 垂直断面図



(c) 下部シアラグ詳細平面図

図5 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、三次元シェルモデルにてモデル化する。原子炉格納容器胴板、シアラグ取付厚板部及びメイルシアラグをシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局部的な応力を算出できるよう要素分割する。シアラグ部 1 基に作用する水平方向地震力により発生するシアラグ部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

シアラグ部等を含んだ三次元シェルモデル図を図 6 及び図 7 に示す。シアラグ部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 5 号機の考え方と同様である。

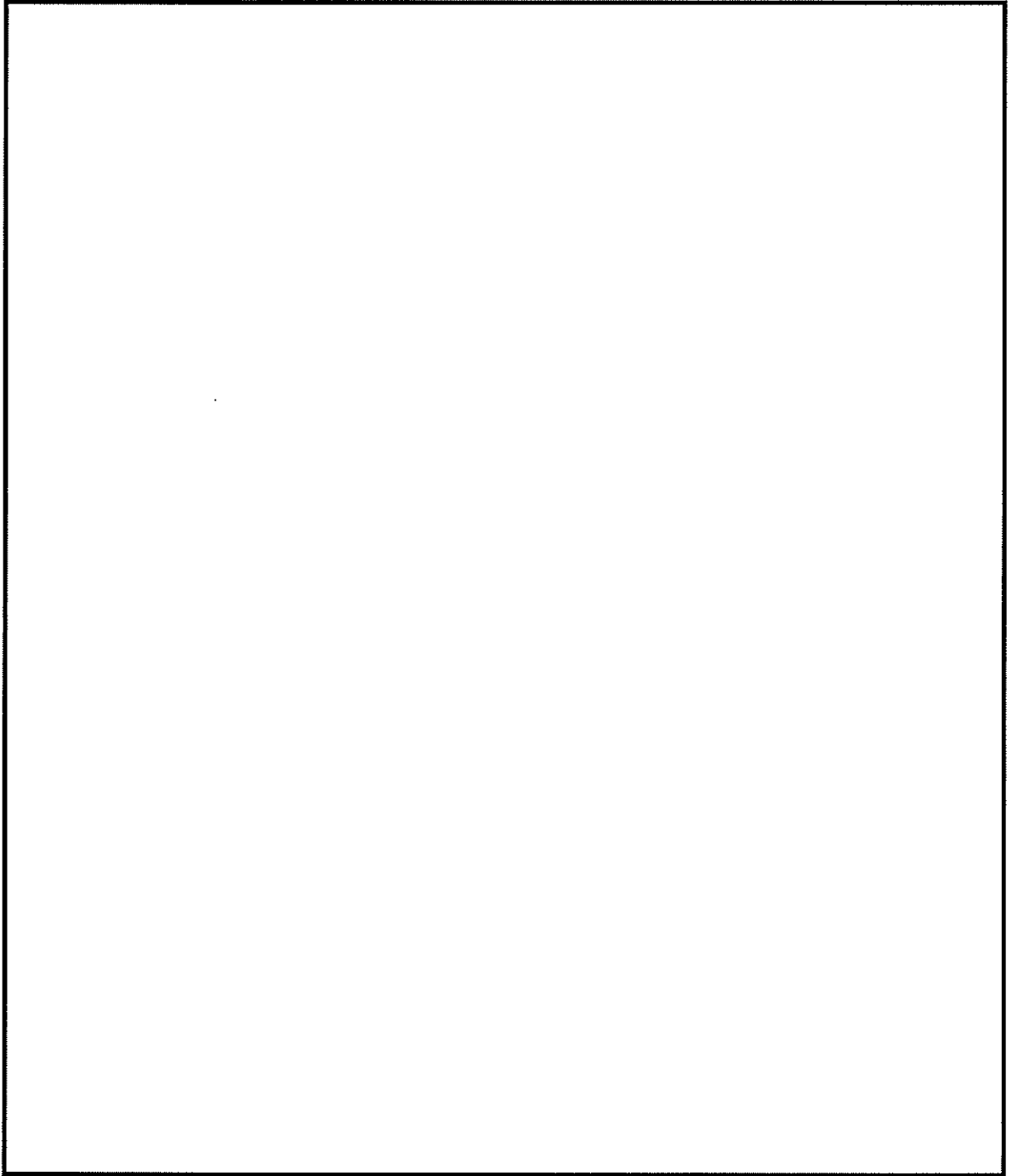


図 6 三次元シェルモデル（上部シアラグ部）

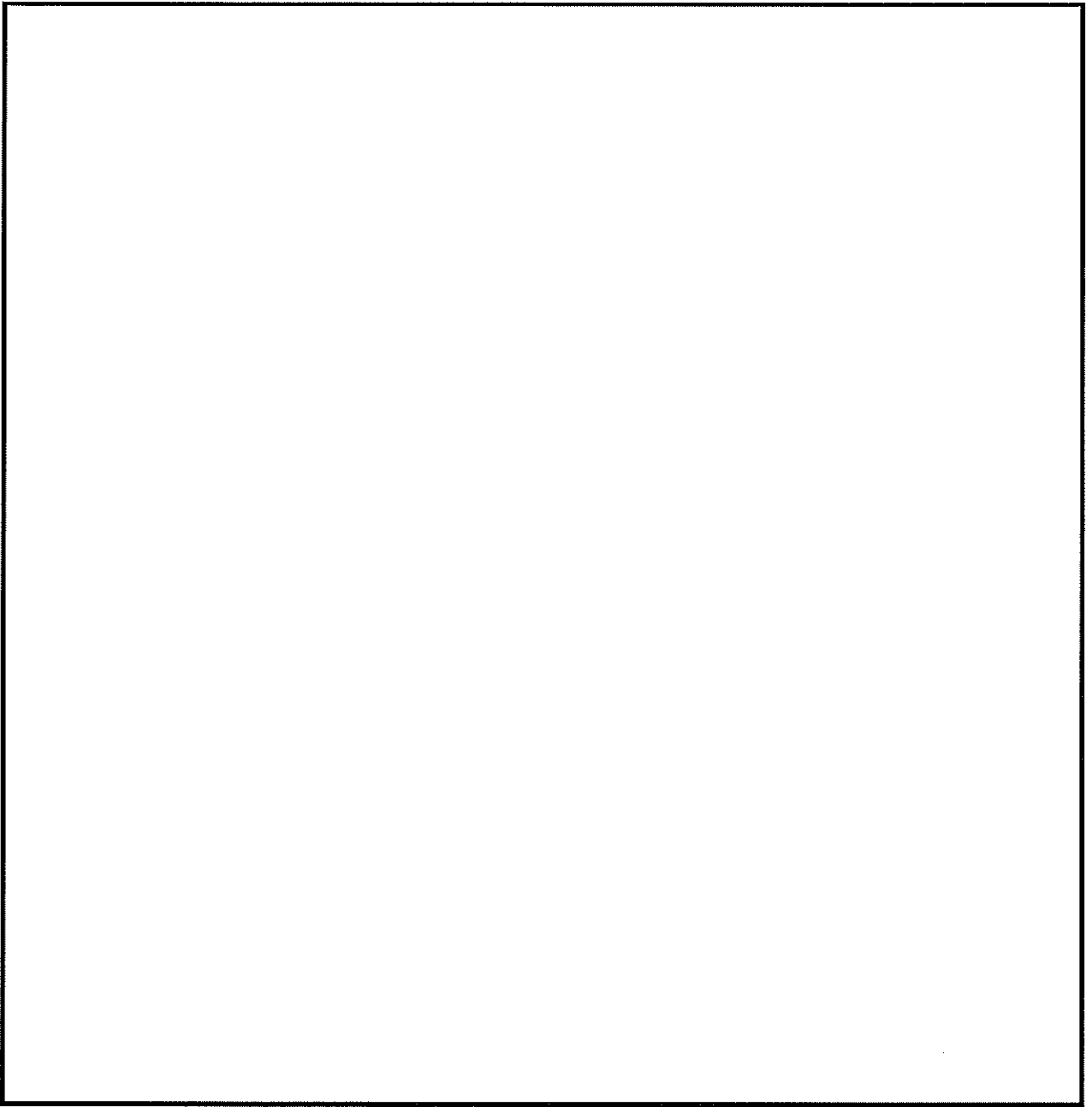


図 7 三次元シェルモデル（下部シアラグ部）

3.3 機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、機器搬入用ハッチ等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・機器搬入用ハッチ（応力解析）
- ・所員用エアロック（応力解析）
- ・サプレッション・チェンバアクセスハッチ（応力解析）

(1) 構造

機器搬入用ハッチ等の概要図を図8から図10に示す。機器搬入用ハッチ等は鋼製円筒形の構造であり、機器搬入用ハッチ及び所員用エアロックはドライウェル円錐胴部に、サプレッション・チェンバアクセスハッチはサプレッション・チェンバ円筒胴部にそれぞれ溶接により取り付けられている。機器搬入用ハッチは内径□ mm、板厚□ mmの円筒胴及びフランジ接続の板厚□ mmの球形鏡板を、所員用エアロックは内径□ mm、板厚□ mmの円筒胴で原子炉格納容器の内側及び外側に扉を、サプレッション・チェンバアクセスハッチは内径□ mm、板厚□ mmの円筒胴及びフランジ接続の板厚□ mmの球形鏡板を有している。

大間1号機と東海第二発電所の機器搬入用ハッチ等は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。ただし、大間1号機のサプレッション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため、当該部の評価は類似設備として機器搬入用のハッチを参照する。

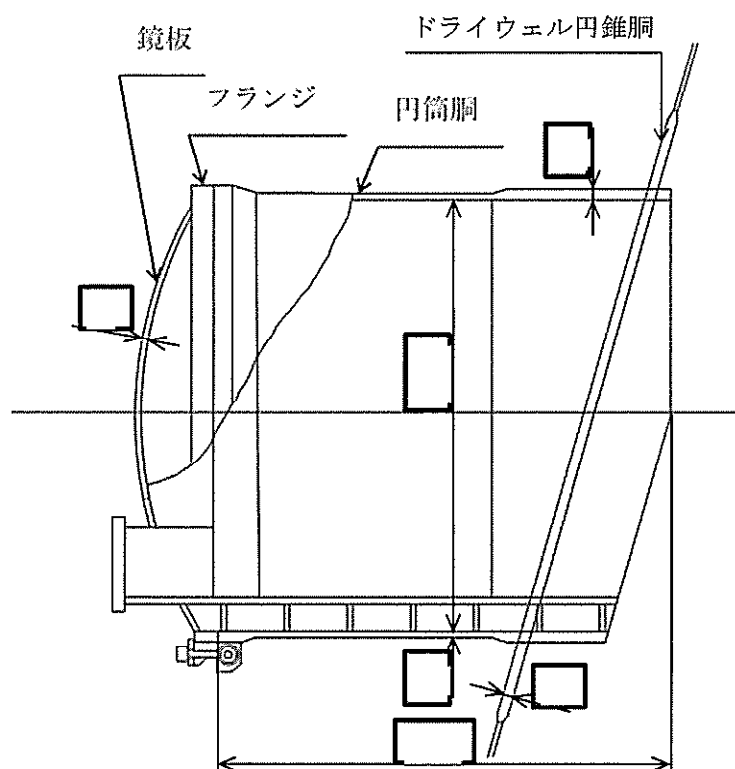


図 8 機器搬入用ハッチの概要図

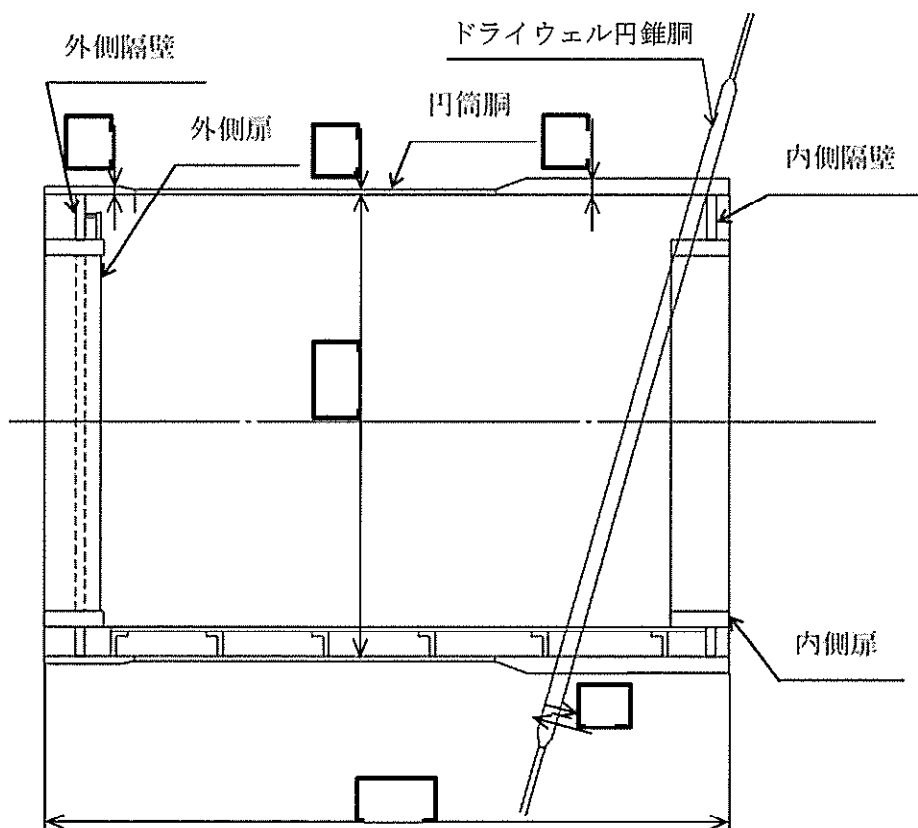


図 9 所員用エアロックの概要図

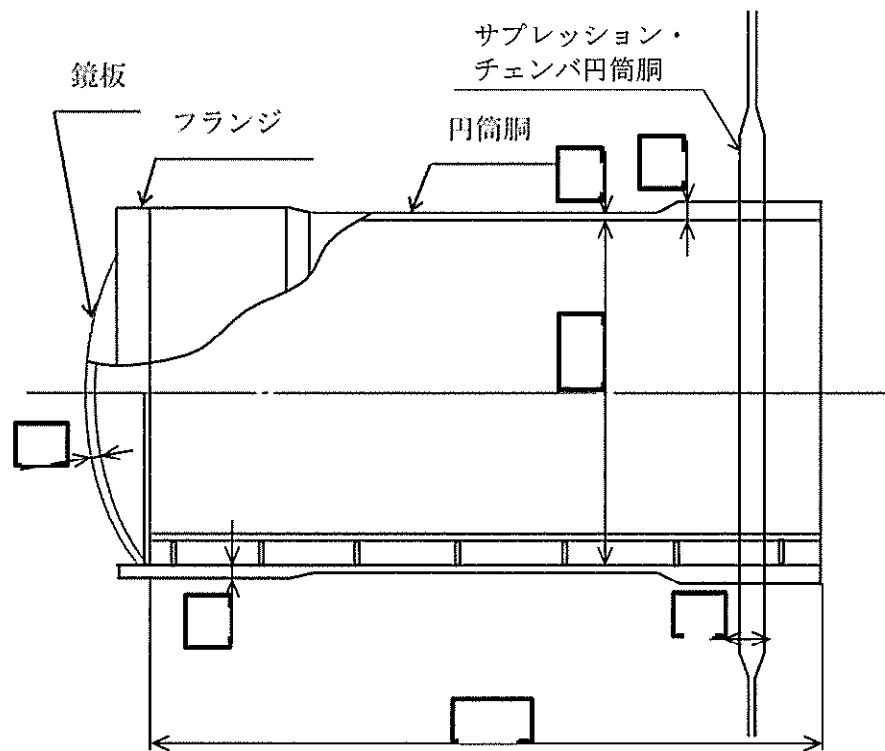


図 10 サプレッション・チェンバアクセスハッチの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、三次元シェルモデルにてモデル化する。機器搬入用ハッチ等の主要構造部材及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。原子炉格納容器の円周方向全体の変形挙動に着目してモデル化し、基部は固定条件である。

機器搬入用ハッチ等を含んだ三次元シェルモデル図を図 11 から図 13 に示す。機器搬入用ハッチ等を含んだ原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する方法は、大間 1 号機と同様である。

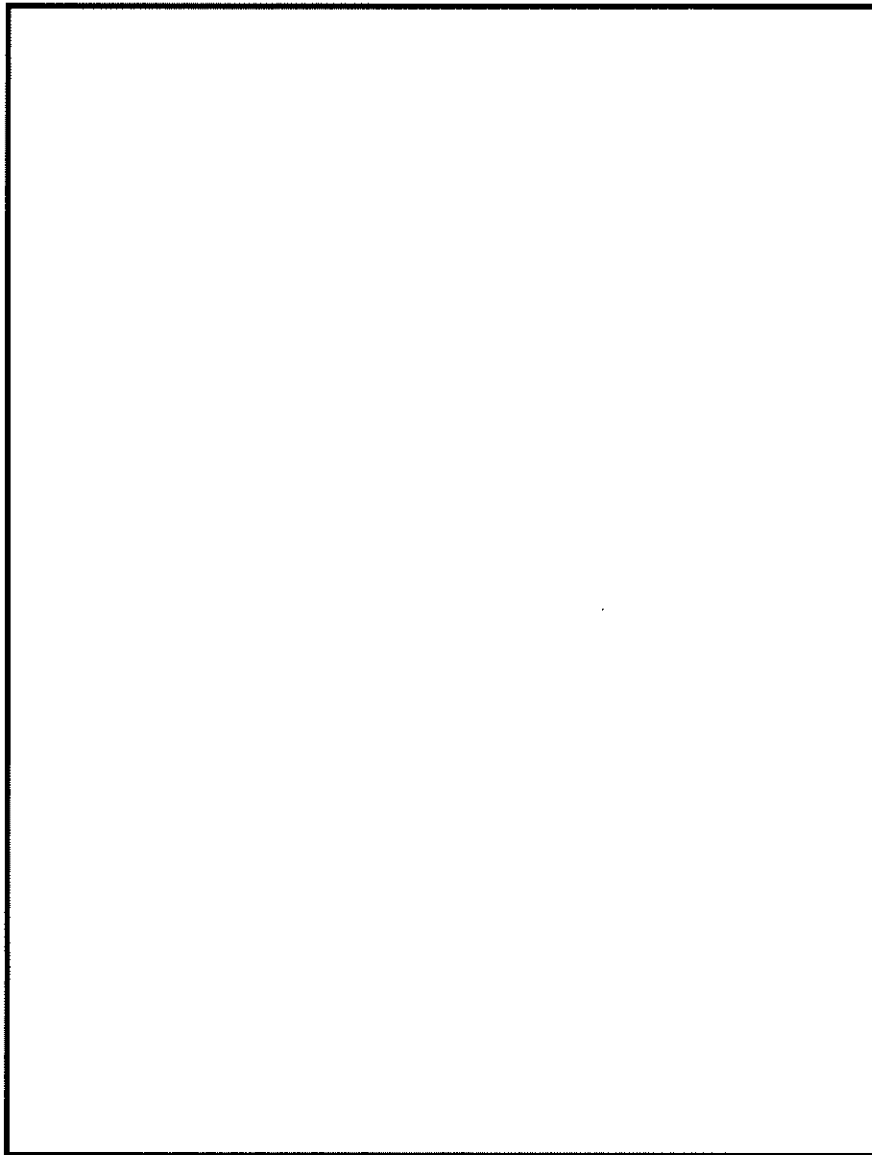


図 11 三次元シェルモデル（機器搬入用ハッチ）



図 12 三次元シェルモデル（所員用エアロック）

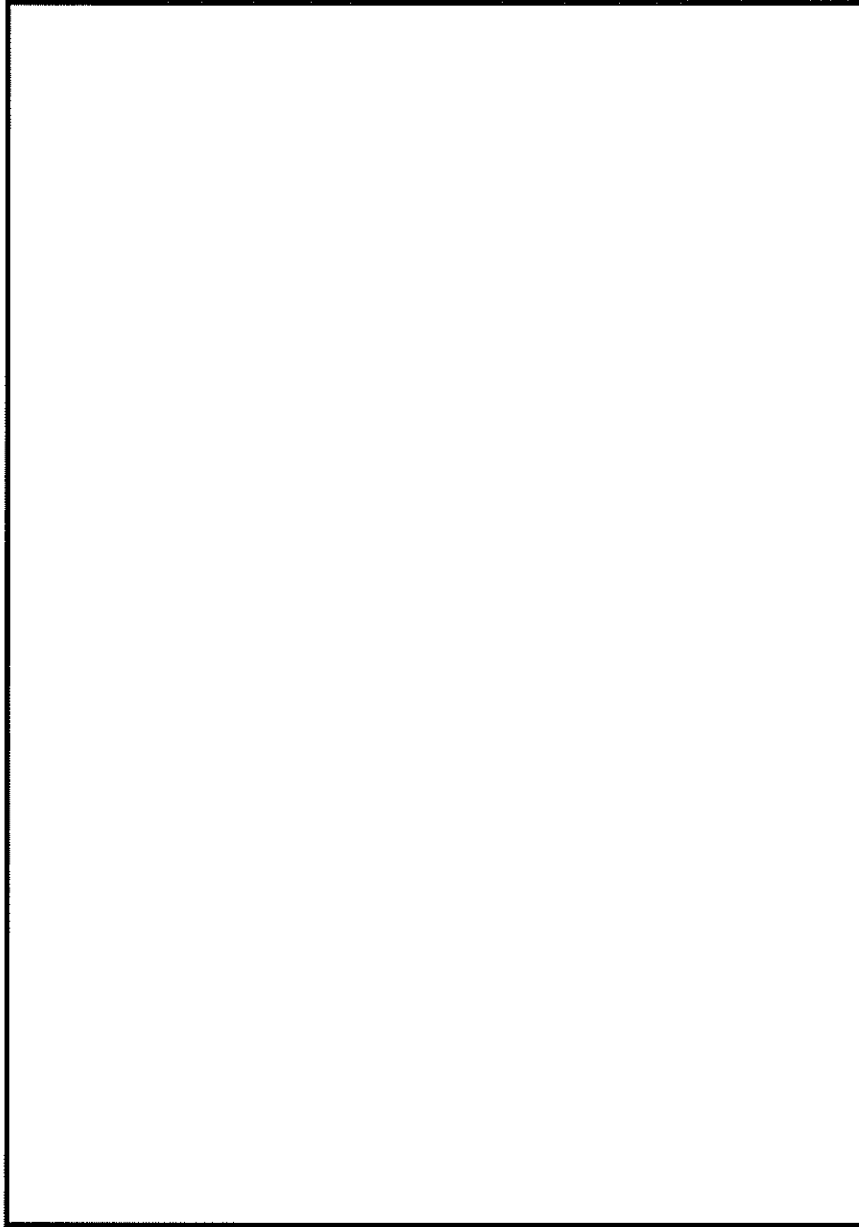


図 13 三次元シェルモデル（サプレッション・チェンバアクセスハッチ）

3.4 配管貫通部の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、配管貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・配管貫通部（応力解析）

(1) 構造

配管貫通部の概要図を図 14 に示す。配管貫通部は鋼製円筒形の構造であり、原子炉格納容器を貫通する配管が直接溶接にて接合する型式と、原子炉格納容器に接合されたスリーブを介して、配管とスリーブとを接合する型式とがある。

東北電力東通 1 号機と東海第二の配管貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

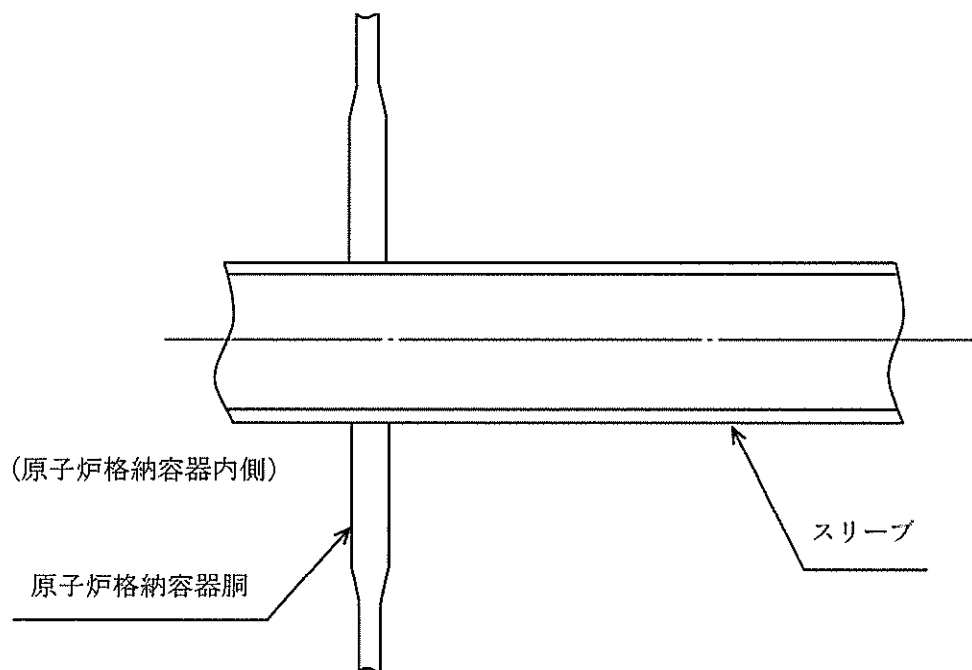


図 14 配管貫通部の概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、三次元シェルモデルにてモデル化する。配管貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるように要素分割する。配管貫通部に作用する地震力により発生する配管貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

配管貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 15 に示す。配管貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、東北電力東通 1 号機と同様である。

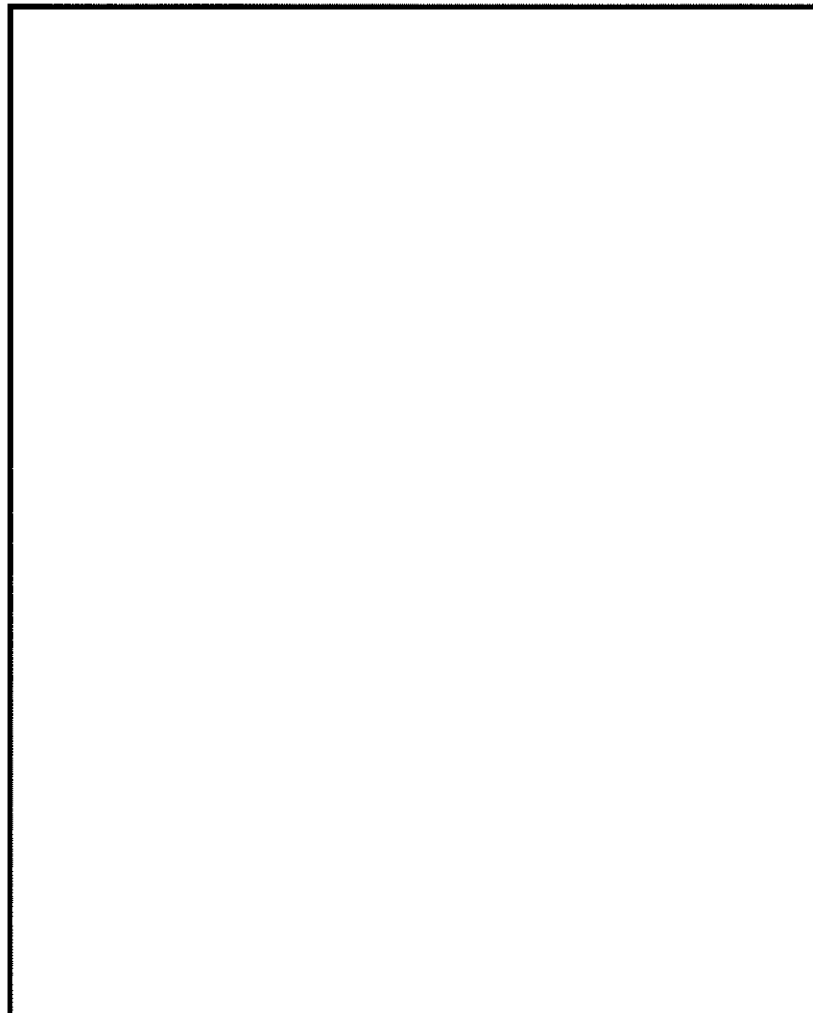


図 15 三次元シェルモデル例（配管貫通部）

3.5 電気配線貫通部の解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した電気配線貫通部の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、電気配線貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 電気配線貫通部（応答解析）
- ・ 電気配線貫通部（応力解析）

(1) 構造

電気配線貫通部の概要図を図 16 に示す。電気配線貫通部は、原子炉格納容器を貫通するスリーブの外側端部に溶接したアダプタ・ヘッドを介して接続箱を、スリーブの内側端部に接続箱を取り付けている。

福島第一 4 号機と東海第二の電気配線貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

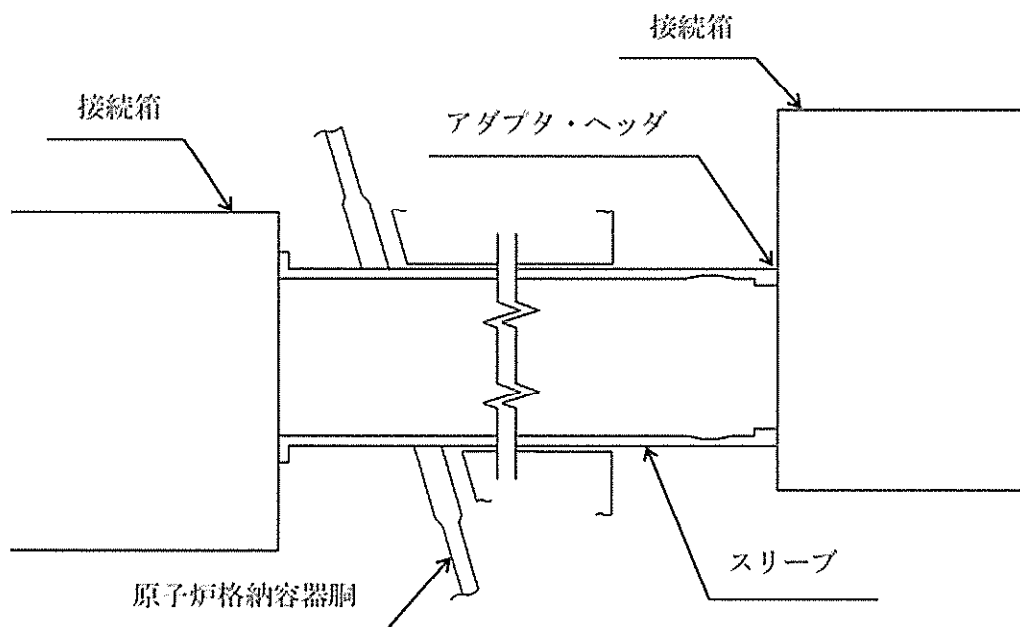


図 16 電気配線貫通部の概要図

(2) 応答解析モデル及び減衰定数

スペクトルモーダル解析に適用するモデルは、多質点系はりモデルにてモデル化する。接続箱の質量は質点に、スリーブの質量は等分布に置き換え、原子炉格納容器剛性を模擬したシェルばねにより結合する。ここで、シェルばねは、電気配線貫通部を含めた原子炉格納容器の三次元シェルモデル（応力解析モデルと同一）を用いて算出する。三次元シェルモデルの電気配線貫通部端部に単位荷重を①水平方向（原子炉格納容器径方向）（以下「P方向」という。）、②水平方向（原子炉格納容器周方向）（以下「 M_c 方向」という。）、③鉛直方向（以下「 M_L 方向」という。）の3方向に各々負荷し、得られた変形量から3方向（P方向、 M_c 方向、 M_L 方向）のばね定数を算出する。ばね作用方向以外の残りの3方向の境界条件は固定条件とし、それ以外の要素には境界条件を設定しない。（自由条件）

電気配線貫通部の三次元ビームモデル図を図17に示す。電気配線貫通部のモデル化の考え方は福島第一4号機（改造工認）と同様である。

また、減衰定数については、溶接構造物であるため1.0%を適用しており、福島第一4号機（改造工認）の減衰定数と同様である。

なお、福島第一4号機（改造工認）より以前のプラントでは、理論式に基づき固有周期を算出し、適用する設計用床応答曲線から応答加速度を設定している。

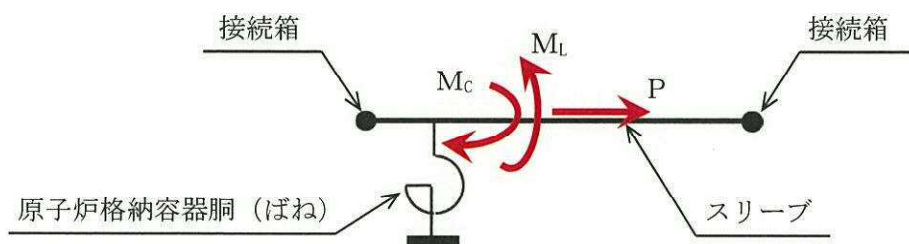


図17 三次元ビームモデル（電気配線貫通部）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、三次元シェルモデルにてモデル化する。電気配線貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。電気配線貫通部に作用する地震力により発生する電気配線貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

電気配線貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 18 に示す。電気配線貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、福島第一 4 号機と同様である。

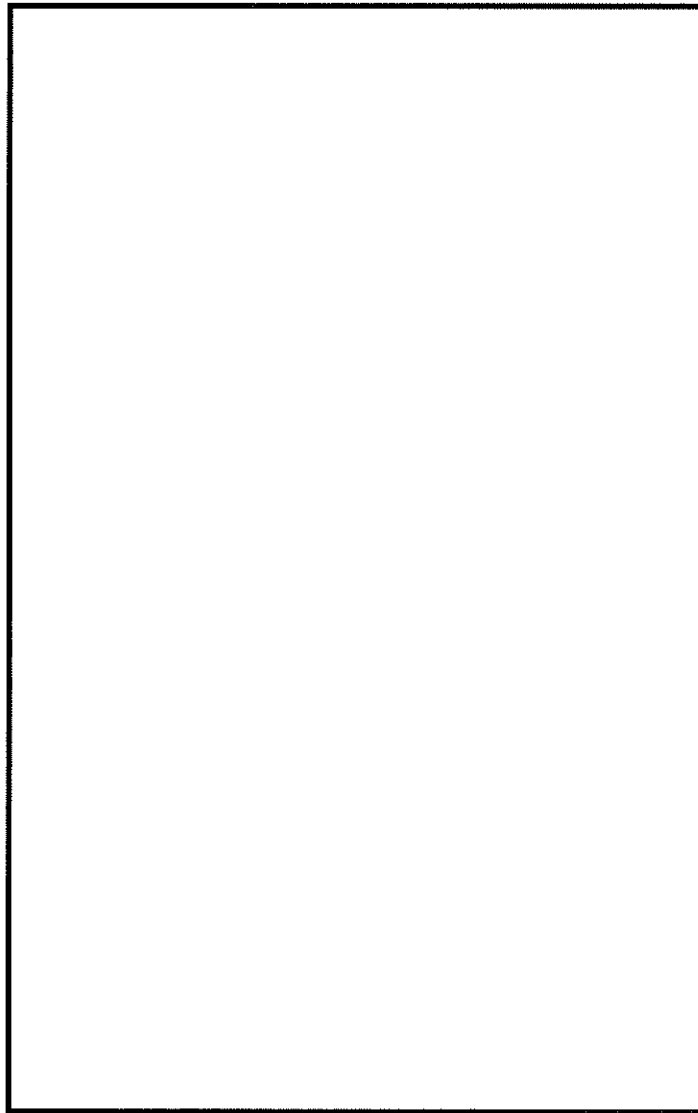


図 18 三次元シェルモデル例（電気配線貫通部）

電気配線貫通部のシェルばね計算例

ここでは、添付資料「V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書」に掲載の電気配線貫通部 を例にシェルばねの計算過程を示す。

①三次元シェルモデル作成

電気配線貫通部 及び 周りの原子炉格納容器胴をシェル要素にて解析モデルを作成する。

貫通部番号	<input type="text"/>
貫通部外径 (mm)	<input type="text"/>
貫通部板厚 (mm)	<input type="text"/>
原子炉格納容器板厚 (厚板部) (mm)	<input type="text"/>
原子炉格納容器板厚 (一般部) (mm)	<input type="text"/>

②単位荷重付加

電気配線貫通部先端に単位荷重を負荷し、変位量を求め、ばね定数を算出する。

方向	ばね定数
水平方向 (原子炉格納容器径方向) (P 方向)	<input type="text"/>
水平方向 (原子炉格納容器周方向) (M _c 方向)	
鉛直方向 (M _L 方向)	

3.6 ダイヤフラム・フロアの解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、建屋－機器連成解析モデルにてモデル化した原子炉本体の基礎のダイヤフラム・フロア設置位置での応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェル及びはりモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、ダイヤフラム・フロアに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針、並びに固有振動数について示す。

【評価対象項目】

- ・ダイヤフラム・フロア（応答解析）
- ・ダイヤフラム・フロア（応力解析）

(1) 構造

ダイヤフラム・フロアの概要図を図 19 に示す。ダイヤフラム・フロアは、ドライウエル部とサプレッション・チェンバ部との境界に設置される直径約 m の軸対称形の円環平板形状の構造物である。厚さ m の円環状の鉄筋コンクリート床スラブ、床スラブを支持する半径方向に配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。また、床スラブには、108 本のジェットデフレクタ付きベント管（内径 mm）及び 18 本の主蒸気排気管貫通部（内径 mm）を有している。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され、円環外周部で大梁を支持するため原子炉格納容器底面から鋼製柱を円周状に 20° 間隔で 18 本設置している。円環外周端は原子炉格納容器に設置したダイヤフラムブラケットに、大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。

また、ダイヤフラム・フロアの内周端を支持する原子炉本体の基礎は、鉄筋コンクリート製の円筒形の構造物である。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 4 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）が同じであり、ダイヤフラム・フロアに大きな構造の差を有していない。

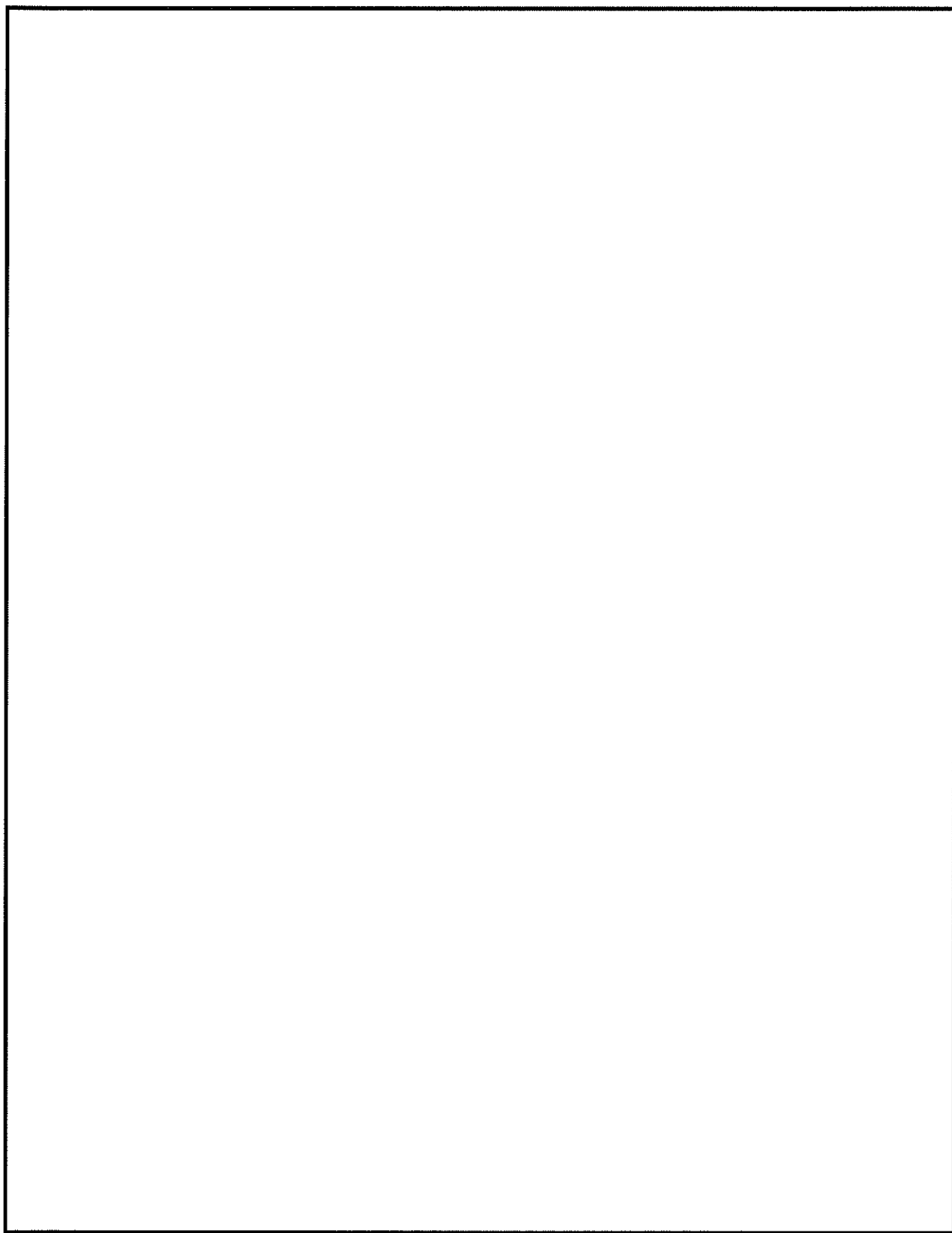



図 19 ダイヤフラム・フロアの概要図

(2) 鉛直方向応答解析モデル及び減衰定数

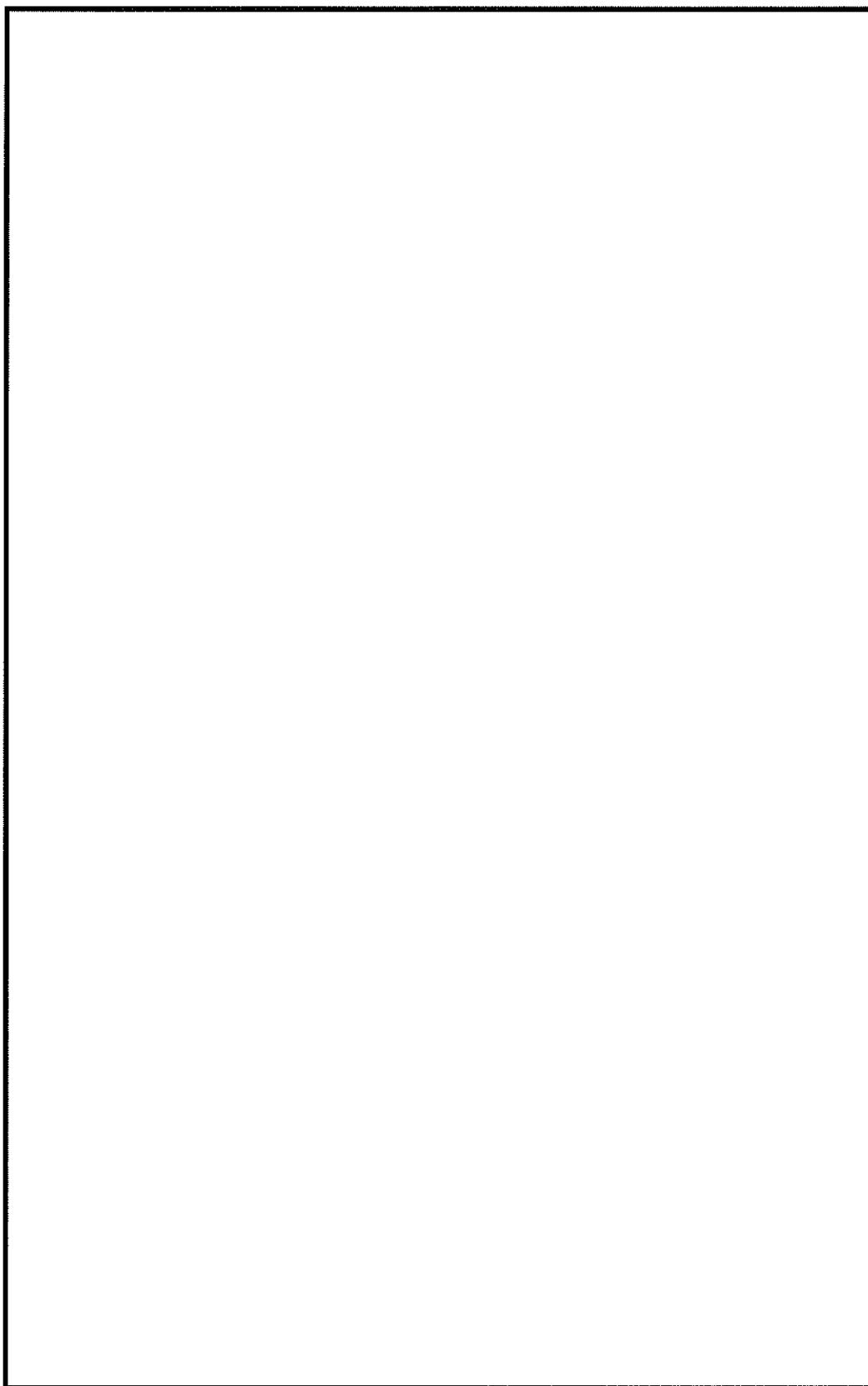
ダイヤフラム・フロアは、本項「(4) 固有振動数」に記載のとおり剛構造であること
を確認していることから、鉛直方向の応答増幅はない。よって、ダイヤフラム・フロア
の評価に際して鉛直方向加速度は、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び
原子炉建屋基礎版の最大応答加速度を適用する。

鉛直方向応答解析に適用する原子炉本体の基礎のモデルは、多質点系はりモデルと
し、ダイヤフラム・フロアの質量は原子炉本体の基礎の質点及び原子炉建屋基礎版に
の割合で付加している。

ダイヤフラム・フロアの質量を付加した原子炉本体の基礎を含む建屋－機器連成解
析モデル図を図 20 に示す。

鉄筋コンクリート製の円筒形構造物である原子炉本体の基礎を多質点系はりモデル
にてモデル化する考え方は、参照プラントとした大飯 3，4 号機の鉄筋コンクリート
製の円筒形構造物と同様である。

また、原子炉本体の基礎の減衰定数については、鉄筋コンクリートであるため 5%を
適用しており、大飯 3，4 号機の減衰定数と同様である。





-  ダイアフラム・フロア質量付加位置
-  原子炉本体の基礎モデル化の範囲

図 20 建屋－機器連成解析モデル図（鉛直方向）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、三次元シェル及びビームモデルにてモデル化する。鉄筋コンクリートスラブをシェル要素で、鉄骨の大梁、小梁及び柱をビーム要素でモデル化する。ベント管、格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）等の構造物を付加質量として考慮する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。ダイヤフラム・フロアに作用する地震力により発生する応力に着目し、原子炉本体の基礎との接合部及び柱基部を固定条件とし、大梁外周端を自由条件としている。

ダイヤフラム・フロアの解析モデル図を図 21 に示す。ダイヤフラム・フロアを三次元シェル及びビームモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 4 号機と同じである。

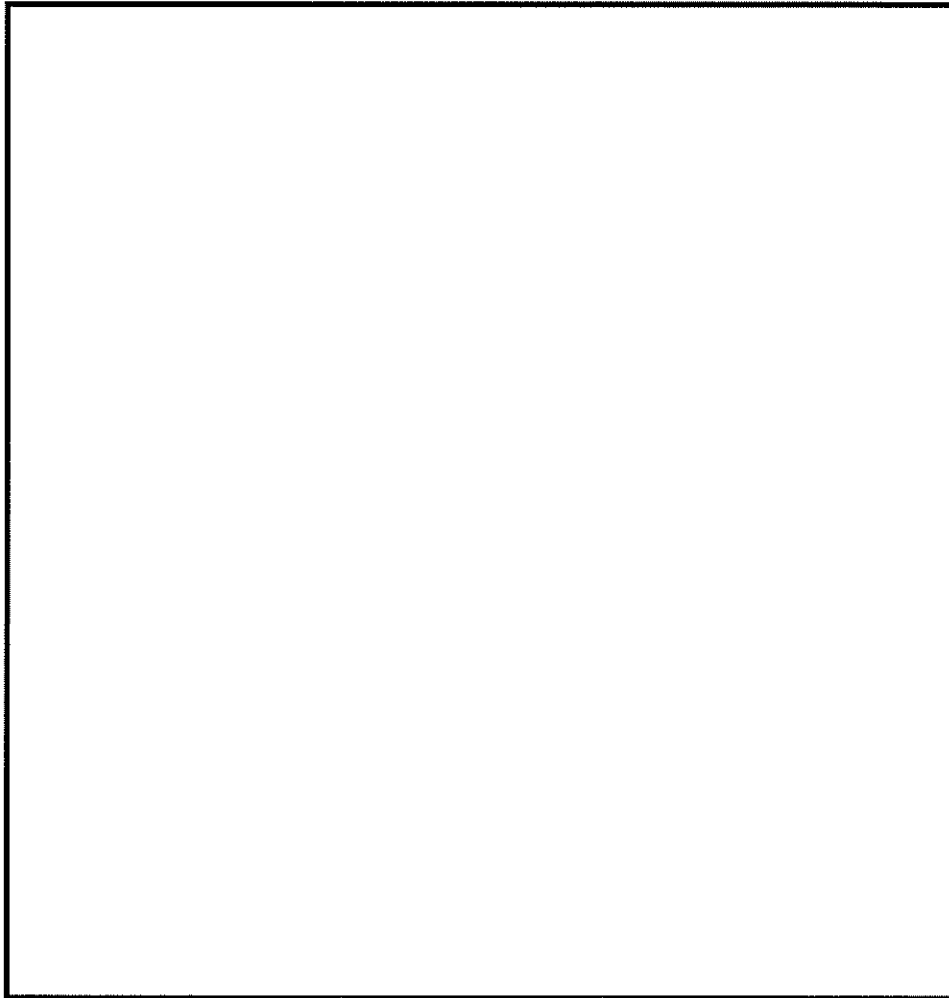


図 21 三次元シェル及びビームモデル（ダイヤフラム・フロア）

(4) 固有振動数

三次元シェル及びビームモデルにてモデル化したダイヤフラム・フロアの固有値解析を実施した。ここで、ダイヤフラム・フロアの固有値を算出する応答解析用モデルは、添付書類「V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書」に示されている。得られた固有値の中で、ダイヤフラム・フロア全体の振動が卓越する固有振動数を表 2 に、振動モードを図 22 から図 24 に示す。解析の結果、固有振動数は 20Hz を超えており、ダイヤフラム・フロアは剛構造である。なお、鉛直方向の卓越モードは 1 次、2 次ともに床スラブが面外（鉛直方向）に変形するモードとなっている。1 次モードは外周端側の変形が卓越し、2 次モードは内周端と柱との間の領域及び外周端の変形が卓越している。

表 2 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	卓越モード



図 22 振動モード図 ()



図 23 振動モード図 ()

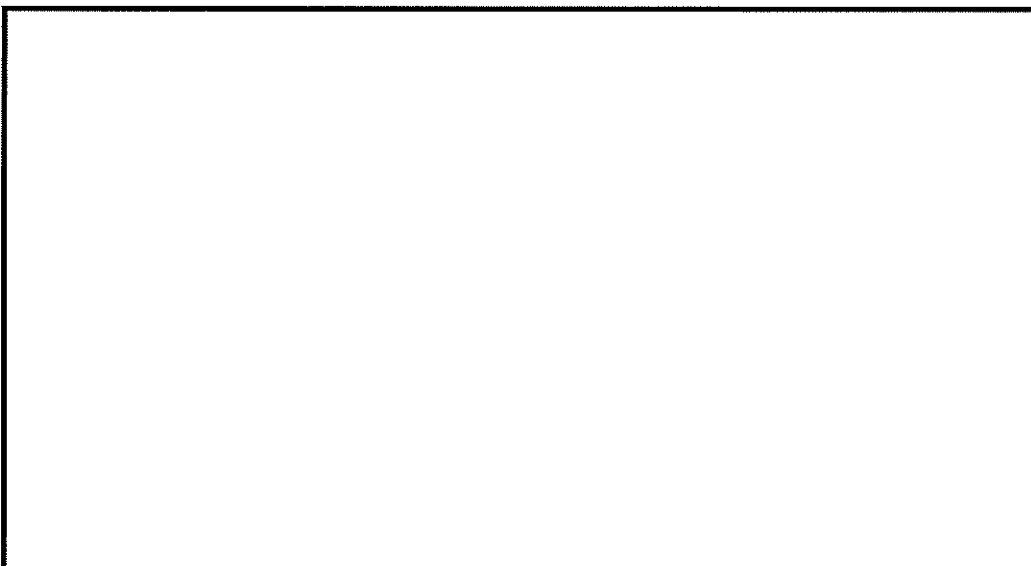


図 24 振動モード図 ()

3.7 ベント管の応答解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化したベント管の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

- ・ベント管（応答解析）

(1) 構造

ベント管の概要図を図 25 に示す。ベント管は、内径 mm, 板厚 mm, 長さ m の管で、通常時、下部 m が水中に入っている。ベント管のダイヤフラム・フロア貫通部上部には、事故時ジェット力が作用しないようジェットデフレクタが設置されており、鉄筋コンクリート製床スラブに固定されている。ベント管の最下部（水中部）にはベント管相互を少なくとも 3 本接続する水平ブレーシングを、ベント管下部（気中部）にはベント管相互及び原子炉本体の基礎を接続する水平ブレーシングを設置している。

これにより、ベント管が独立して振動することを抑制すると共に、原子炉本体の基礎と接続することで水平方向の過大な振動を抑えることができる。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 4 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）が同じであり、ベント管に大きな構造の差を有していない。

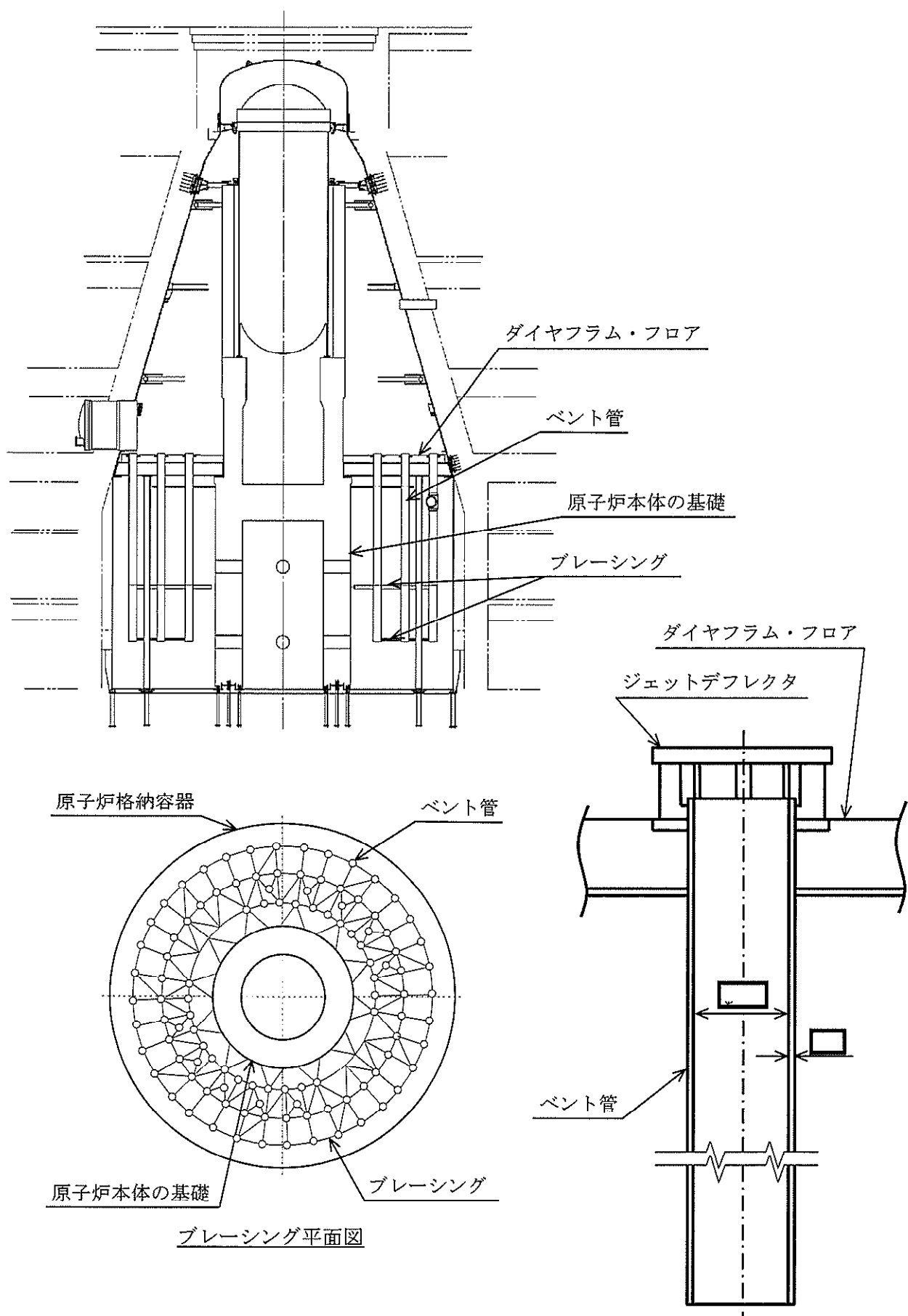


図 25 ベント管の概要図

(2) 応答解析モデル、固有振動数及び減衰定数

応答解析手法はスペクトルモーダル解析であり、適用するモデルは、三次元ビーム要素でモデル化しベント管の質量は等分布に置き換え、各節点間を等価な剛性で結合する。ベント管上部は、ダイヤフラム・フロア接続部で固定条件とし、原子炉本体の基礎と接続するブレーシング取付位置において、水平方向変位をばねによる拘束条件としている。ばね定数は、ベント管全数に対して原子炉本体の基礎と接続するブレーシング取付位置に水平方向の単位荷重を作用させた際に得られるベント管の変位量から算出している。

三次元ビームモデル図を図 26 に、ベント管の固有振動数を表 3 に、振動モードを図 27 に示す。ベント管を三次元ビームモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 4 号機と同じである。

また、減衰定数については、J E A G 4601-1991 の配管系の設計用減衰定数における規定の適用条件を満足していないことから 0.5%としている。減衰定数を 0.5%とする考え方は、柏崎刈羽 4 号機と同じである。

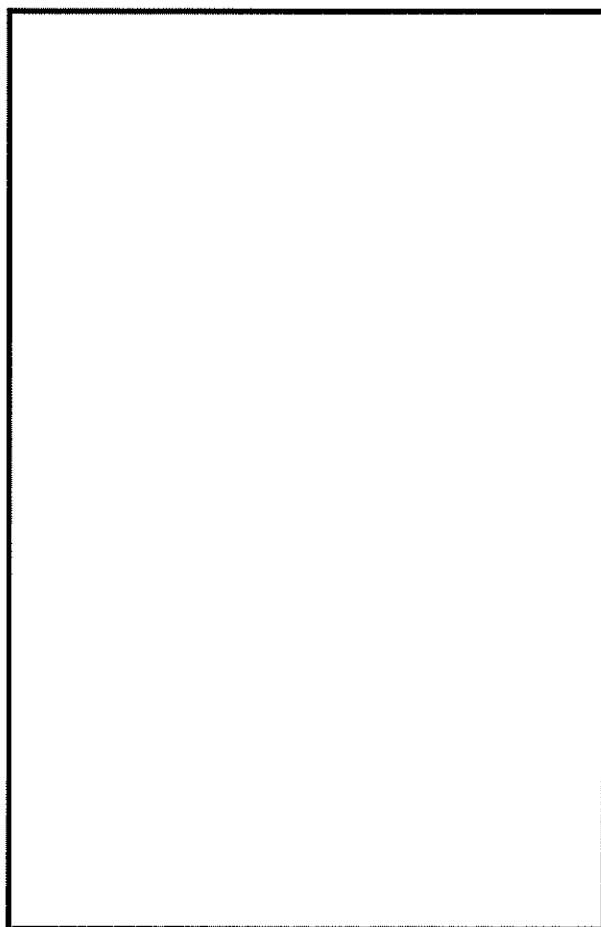


図 26 三次元ビームモデル（ベント管）

表 3 ベント管の固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)

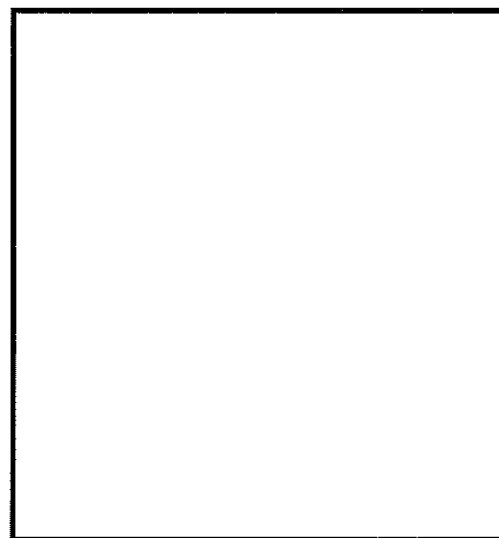


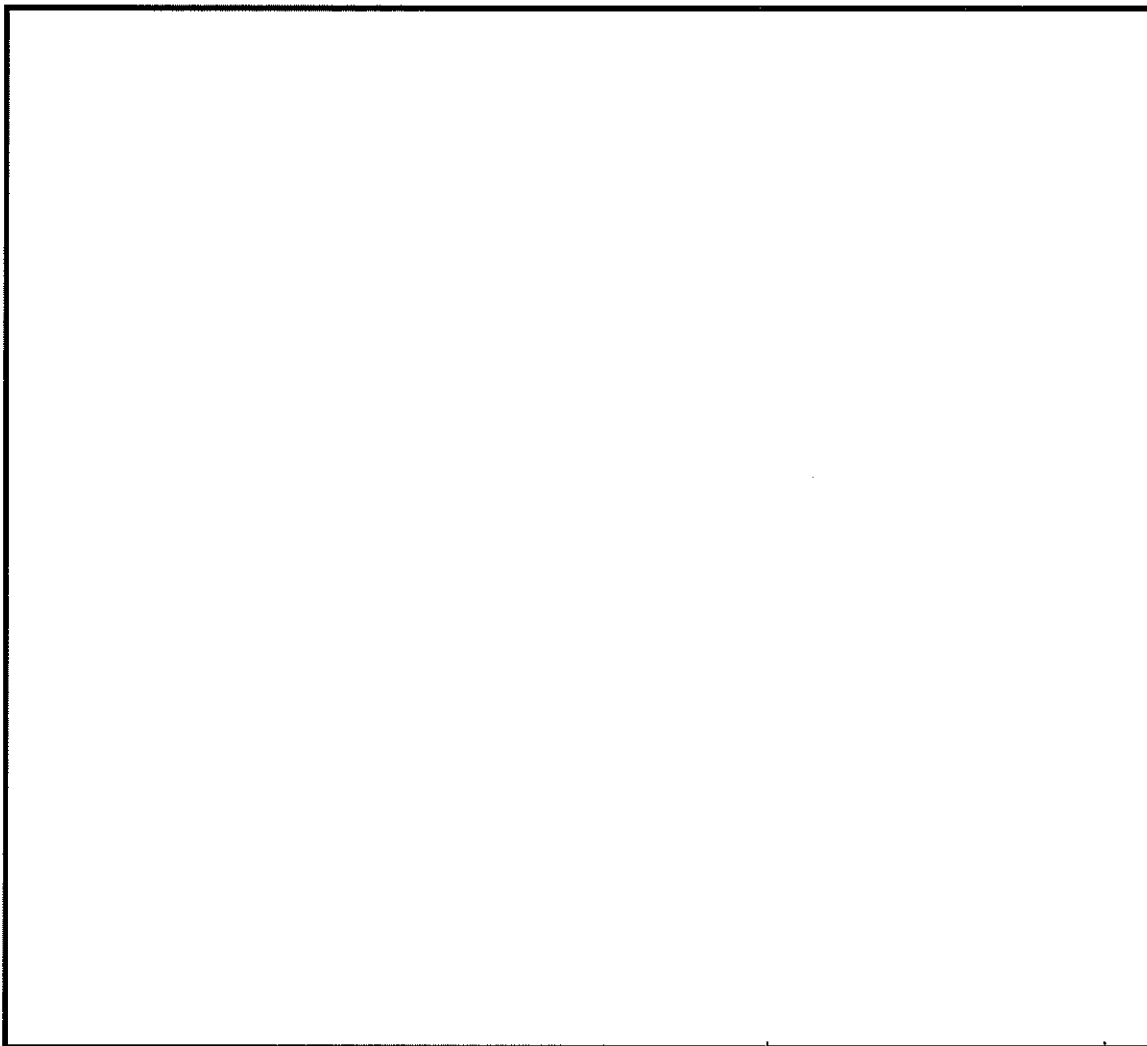
図 27 振動モード図

ベント管ブレーシングのばね定数

ここでは、ベント管ブレーシングのばね定数の計算方法を示す。

①三次元はりモデル作成

原子炉本体の基礎と接続するベント管ブレーシングについて、はり要素にて解析モデルを作成する。



②単位荷重付加

全てのベント管位置に単位荷重を負荷し、平均の変位量を求め、ばね定数を算出する。

	X 方向	Y 方向
ばね定数		

③応答解析用ばね定数

ベント管の応答解析では既工認でのばね定数 を使用する。

添付 2 に示すばね定数と既工認でのばね定数の扱い

添付 2 におけるベント管ブレーシングのばね定数算出では、保有する最新の図面に基づき解析モデルを構築した。今回計算したばね定数 は、既工認でのばね定数 に比べ柔らかいものとなっているが、ベント管の耐震性についての計算書では、既工認から構造等の変更はないことから、既工認のばね定数を使用して応答解析を実施している。

ここでは、今回計算したばね定数 を使用した場合のベント管の固有振動数及び応力評価について示す。

		固有振動数 (Hz)	
		既工認	今回計算
使用するばね定数 (kg/cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
次数	<input type="text"/>		

評価部位		応力分類	D + P _D + M _D + S _s		
			発生値 (MPa)		許容値 (MPa)
使用するばね定数 (kg/cm)			既工認*	今回計算	
P 1	上部	P _L + P _b	139	136	380
		P _L + P _b + Q	196	190	458
P 2	ブレーシング部	P _L + P _b	291	294	380
		P _L + P _b + Q	422	428	458

注記*： 既工認のばね定数を使用した発生値は、添付書類「V-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」による。

応力計算の結果、応力評価点 P 1 は既工認のばね定数を使用した方が、今回計算したばね定数 を使用したものより大きくなっている。応力評価点 P 2 は、今回計算したばね定数を使用した方が、既工認のばね定数を使用したものより大きくなるが、応力増分の最大は一次＋二次応力で 6MPa 程度であり、発生応力は許容値内に収まっている。

よって、今回工認の耐震性についての計算書では、既工認のばね定数 を使用する。

3.8 格納容器スプレイヘッドの応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、格納容器スプレイヘッドに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

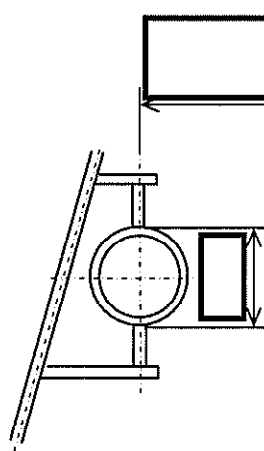
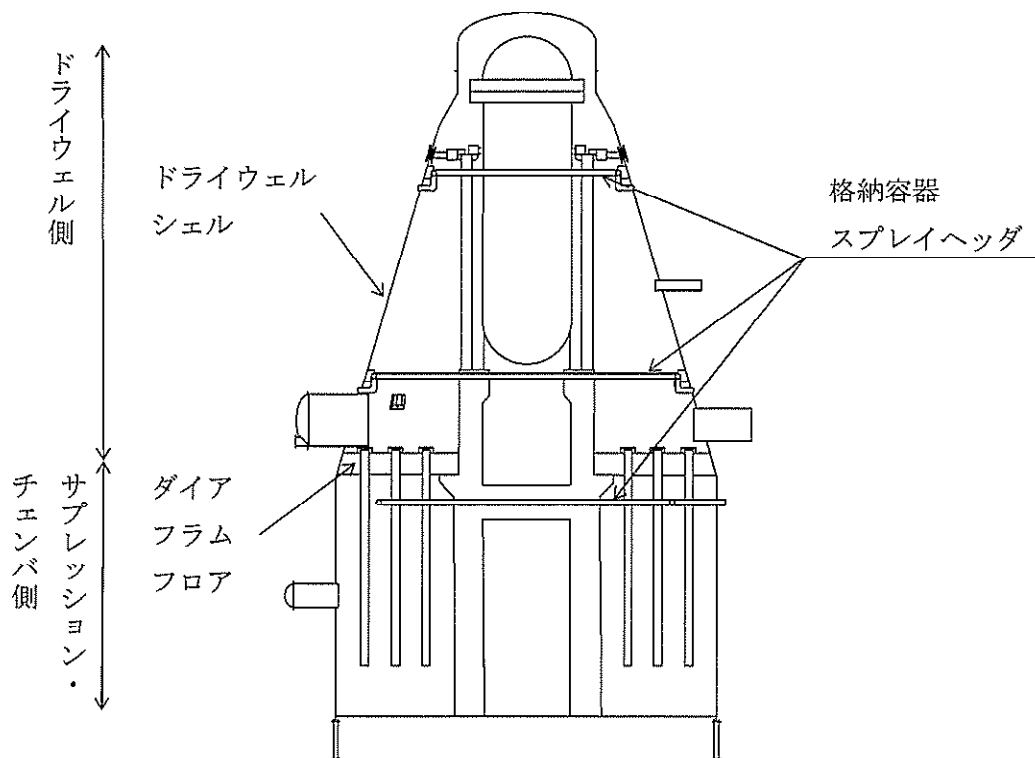
【評価対象項目】

- ・格納容器スプレイヘッド（応力解析）

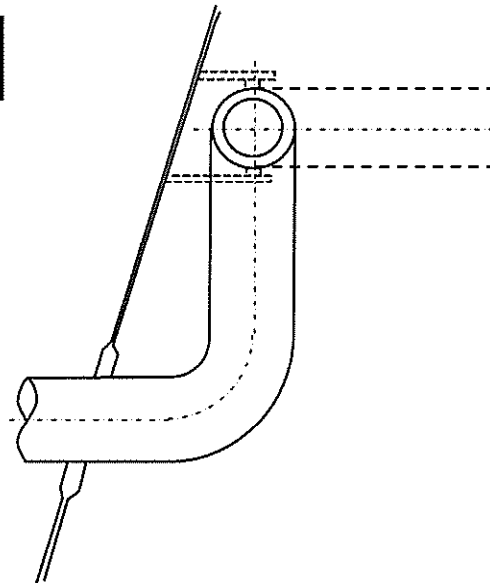
(1) 構造

格納容器スプレイヘッドの概要図を図 28 に示す。ドライウエルの上部及び下部に格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）が、サプレッション・チェンバに格納容器スプレイヘッド（サプレッション・チェンバ側）が各々設置されている。格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）は、外径 mm の管で作られ、上部スプレイヘッドは直径約 m、下部スプレイヘッドは直径約 m の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分はドライウエル部に接合されており、ドライウエルと一体で挙動する。格納容器スプレイヘッド（サプレッション・チェンバ側）は、外径 mm の管で作られ、直径約 m の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分がダイヤフラム・フロアの柱に支持されている。

応答解析で参照プラントとした大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドは、配管支持構造物が鉄筋コンクリート製原子炉格納容器やダイヤフラム・フロアに設置されている円環構造の配管である。基本形状が円環構造の配管である点で、東海第二の格納容器スプレイヘッドは大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドと大きな構造の差を有していない。



格納容器スプレイヘッド（ドライ
ウエル側）



格納容器スプレイヘッド（ドライ
ウエル側）案内管

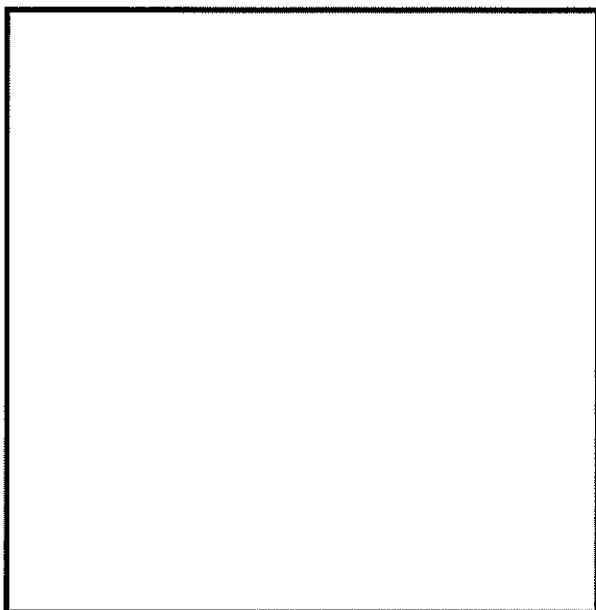
図 28 格納容器スプレイヘッドの概要図

(2) 応答解析モデル

格納容器スプレイヘッダ（ドライウエル側）のうち、円環部は原子炉格納容器と一体で挙動することから、案内管に対する地震応答を取得する。案内管の応答解析手法は静的解析である。格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）についての応答解析手法はスペクトルモーダル解析である。減衰定数については、J E A G 4601-1991 の配管系の設計用減衰定数における規定の適用条件を満足していないことから 0.5%としている。

応答解析に適用するモデルは、三次元ビーム要素でモデル化し格納容器スプレイヘッダの質量は等分布に置き換え、各節点間を等価な剛性で結合する。

三次元ビームモデル図を図 29 に示す。格納容器スプレイヘッダの減衰定数を 0.5% とする考え方は、大間 1 号機と同じである。



上部ドライウェルスプレイヘッダ
案内管



下部ドライウェルスプレイヘッダ
案内管



格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）

図 29 三次元ビームモデル（格納容器スプレイヘッダ）