

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-019-04 改 01
提出年月日	2023 年 4 月 21 日

VI-2-別添4-3-2 管の耐震性についての計算書  
(地下水位低下設備)

2023 年 4 月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 概要	1
2. 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	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	29
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	30

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、地下水位低下設備の管（Cクラス施設）、支持構造物及び弁が基準地震動 $S_s$ による地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

地下水位低下設備の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

地下水位低下設備の支持点のうち、反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



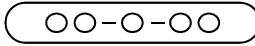
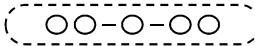

### (3) 弁

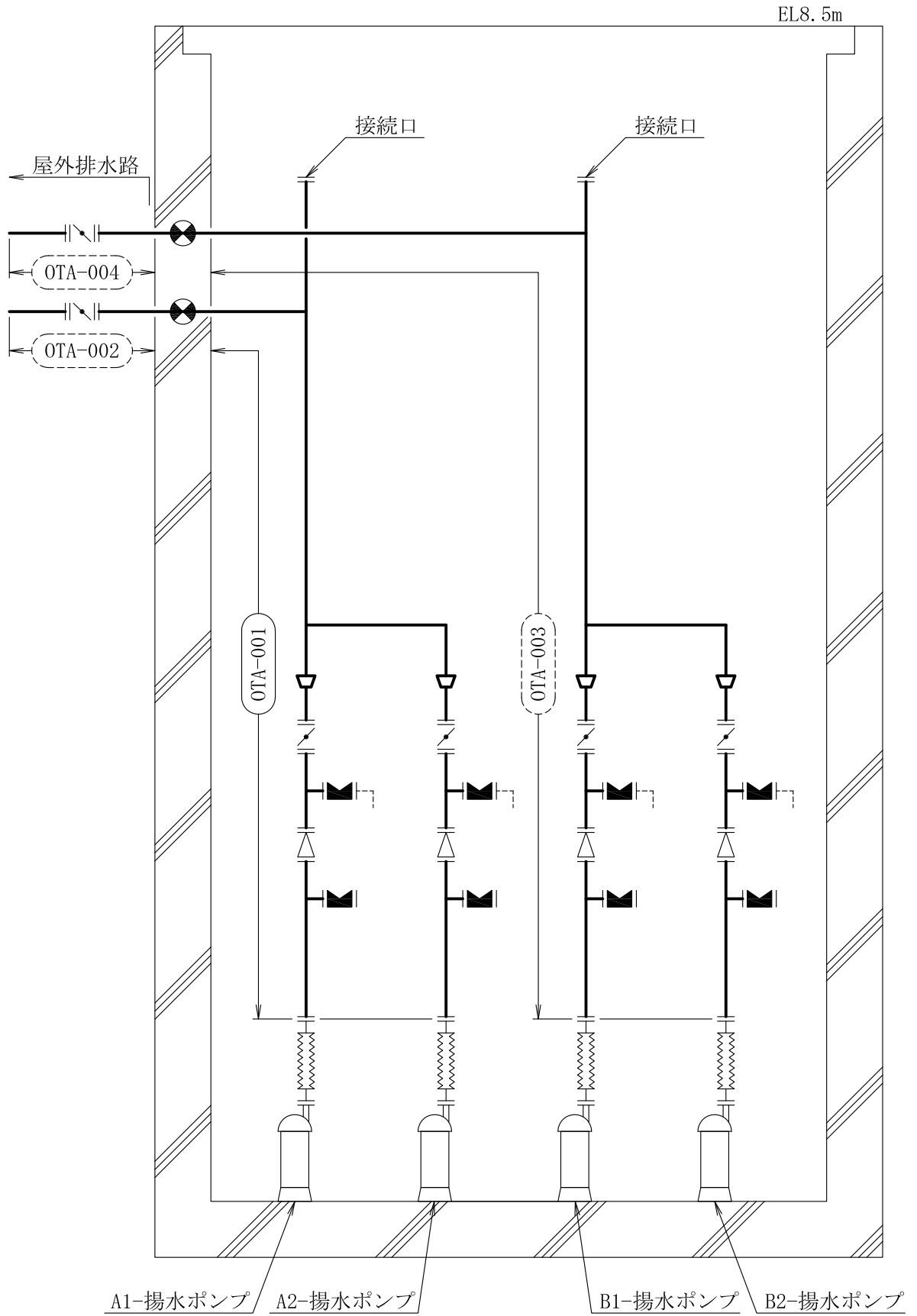
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

## 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





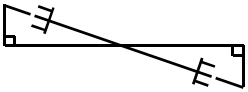
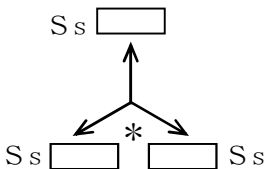
記号	内容
 (太線)	地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (破線)	地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲外の管, 又は地下水位低下設備の管のうち、他系統の管であって系 統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ



地下水位低下設備概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (破線)	地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲外の管、又は 地下水位低下設備の管のうち、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 (斜め拘束の場合)
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号、矢印は拘束方向を示す。また、 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 内に変 位量を記載する。なお、S s 機能維持の範囲はS s 地震動による 変位量のみを記載する。)
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

-2-別添4-3-2 R0







### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「SOLVER」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

本システムは、水位によって配管が一部没水するが、本耐震計算書においては、以下の理由から、配管が全て気中にあると想定した評価を実施する。

- ・本配管（気中）の主たる応答である1～3次モードはY方向である鉛直方向に  
応答するモード（「各モードに対応する刺激係数」参照）となり、一次固有  
周期（0.08秒）が設計用床応答スペクトルI（鉛直方向）（図3-3参照）の  
ピークに位置している。
- ・水の付加質量を考慮した場合は、配管の固有周期は大きくなり、設計用床応  
答スペクトルI（鉛直方向）（図3-3参照）のピークから外れ、応答が緩和  
されると推測される。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備分類	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*2	許容応力 状態
地下水位低下設備	—	D B	—	—	C	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	I V A S

注記\*1：D Bは設計基準対象施設，S Aは重大事故等対処設備を示す。

\*2：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 OTA-001

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1～20, 22～25, 27～30 62～80, 82～85, 87～90	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	1.00	40
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	30～61, 90～96	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	1.00	40
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
3	19, 97, 79, 106	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	1.00	40
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
4	24, 100, 84, 109	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	1.00	40
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—

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 OTA-001

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～20, 22～25, 27～30 62～80, 82～85, 87～90	216.3	8.2	STPT370	C	201670
2	30～61, 90～96	318.5	10.3	STPT370	C	201670
3	19, 97, 79, 106	34.0	3.4	STPT370	C	201670
4	24, 100, 84, 109	60.5	3.9	STPT370	C	201670

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 OTA-001

質量	対応する評価点
	1, 62
	4, 8, 11, 18, 78, 71, 69, 66
	20, 22, 82, 80
	25, 27, 87, 85
	31, 35, 36, 39, 42, 45, 49, 54, 60, 95, 91
	58
	97, 106
	99, 108, 100, 102, 109, 111

弁部の質量

鳥 瞰 図 OTA-001

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	21, 81		26, 86
	98, 107		101, 110

弁部の寸法

鳥 瞰 図 OTA-001

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
21				86			
26				81			
98				110			
101				107			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 OTA-001

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
** 5 **						
5						
** 9 **						
** 12 **						
** 17 **						
** 28 **						
** 43 **						
** 48 **						
** 53 **						



支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 OTA-001

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
** 61 **						
61						
** 61 **						
** 63 **						
** 72 **						
** 77 **						
** 88 **						
** 94 **						
94						

-2-別添4-3-2 R0

### 3.4 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 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT370	40	—	215	370	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお, 設計用床応答スペクトルは, 図3-1~3を用いる。減衰定数は, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (EL) (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S d	S s
OTA-001	地下水位低下設備				

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備  
減衰定数：2.0%  
標高：EL8.500m ~ -21.700m  
波形名：基準地震動 S s  
設計用床応答スペクトル I (NS方向)

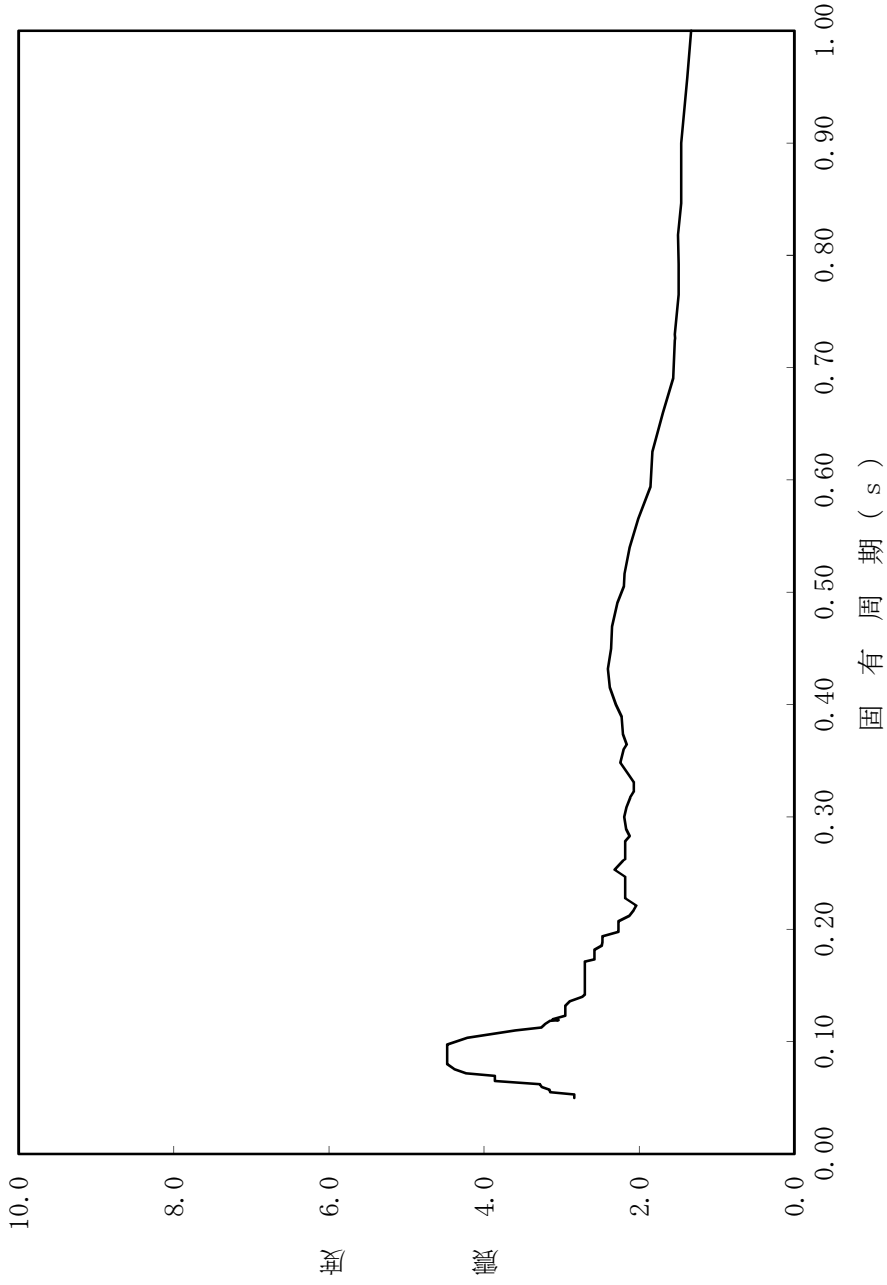


図3-1 設計用床応答スペクトル (NS方向)

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備  
減衰定数：2.0%  
標高：EL8.500m ~ -21.700m  
波形名：基準地震動 S s  
設計用床応答スペクトル I (EW方向)

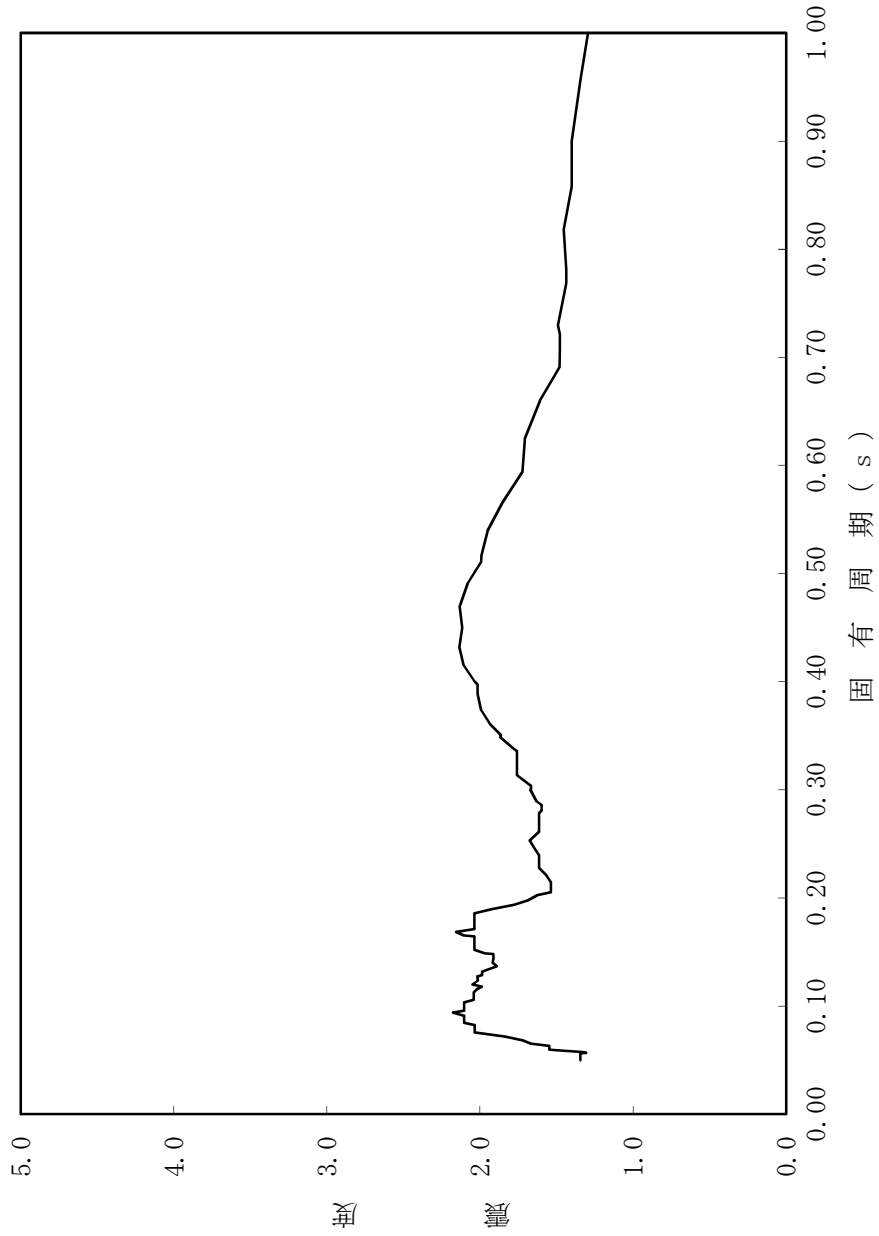


図3-2 設計用床応答スペクトル (EW方向)

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備

標高：EL8.500m ~ -21.700m

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s

設計用床応答スペクトル I (鉛直方向)

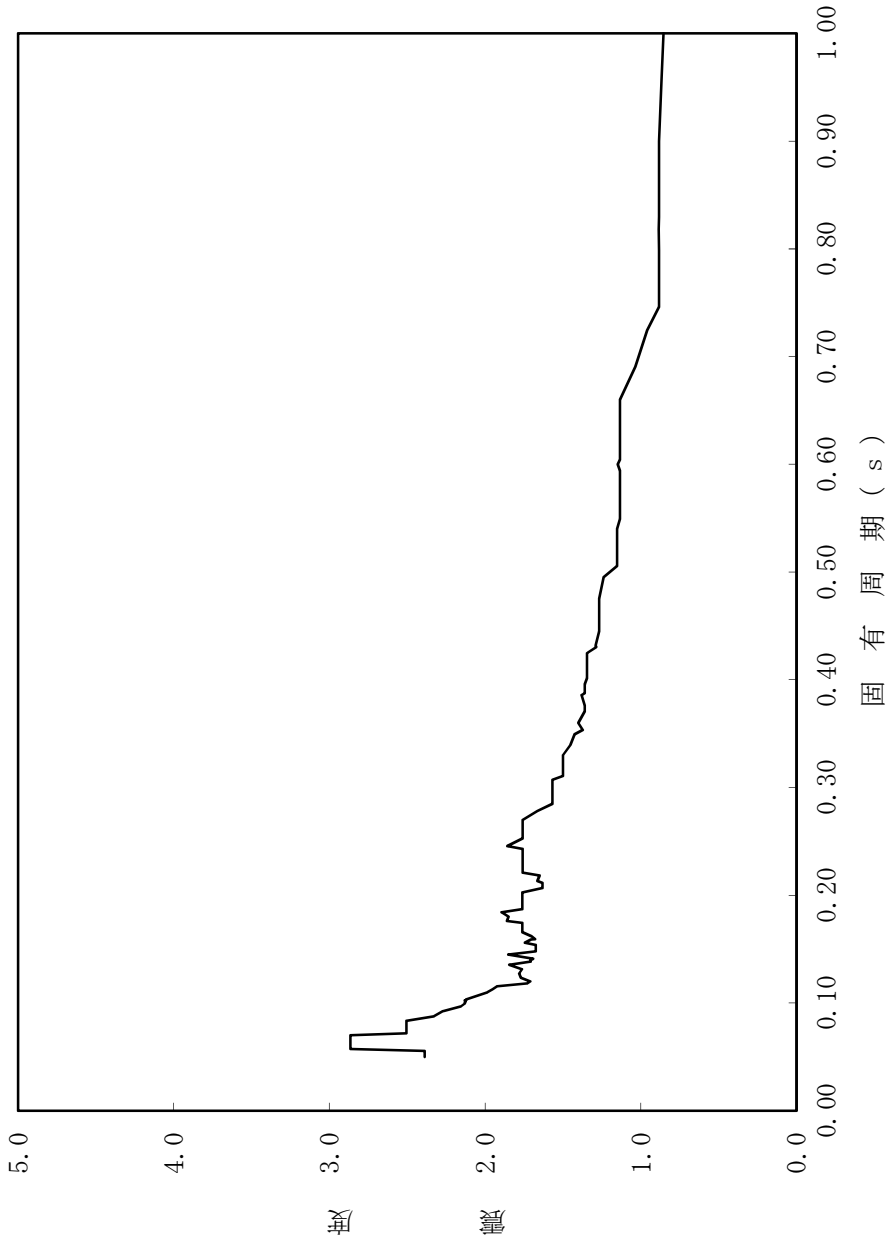


図3-3 設計用床応答スペクトル (鉛直方向)

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 OTA-001

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		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				
11次				
動的震度*3, 4				

注記\*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

\*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

\*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 OTA-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				

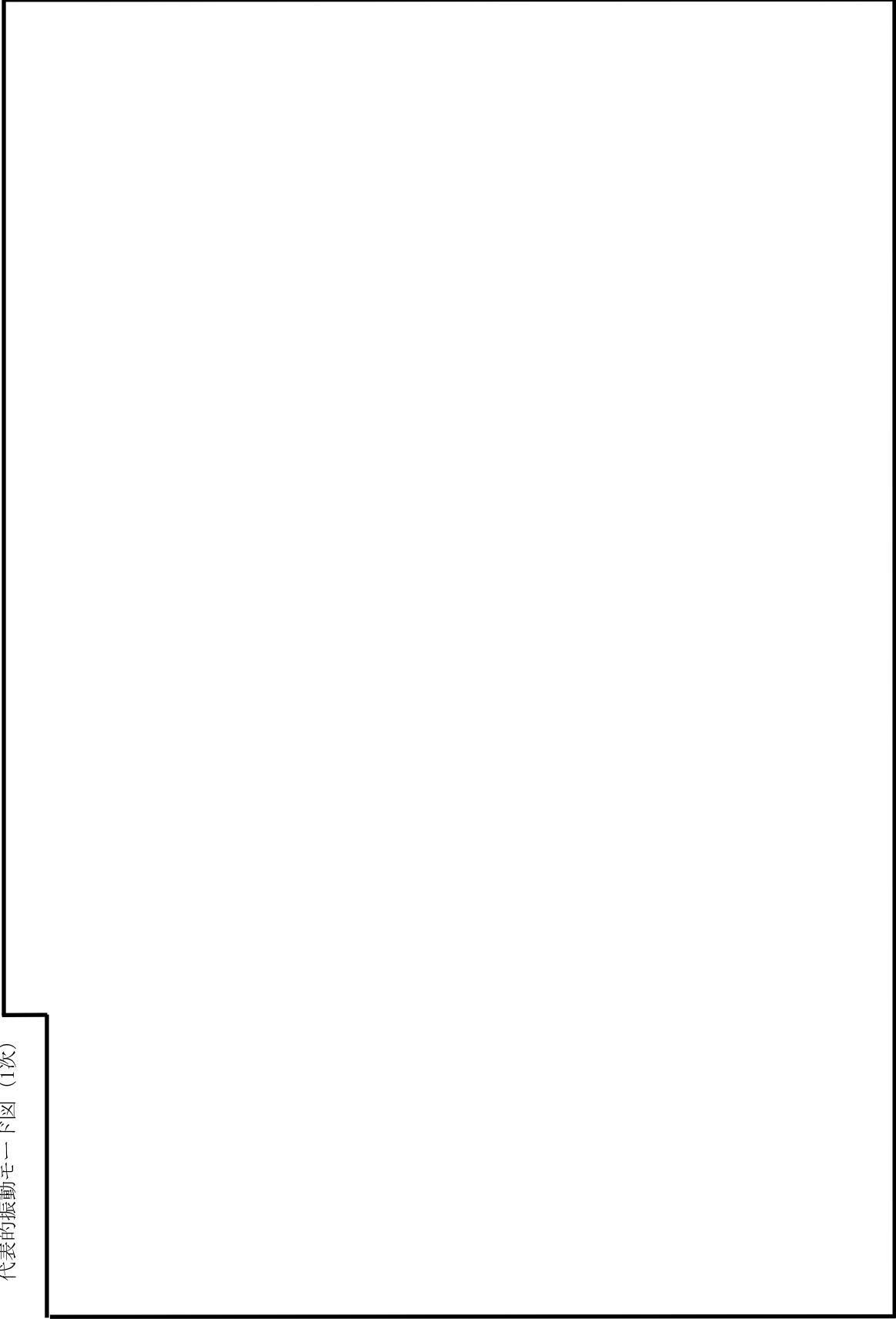
注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



## 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、次頁以降に示す。

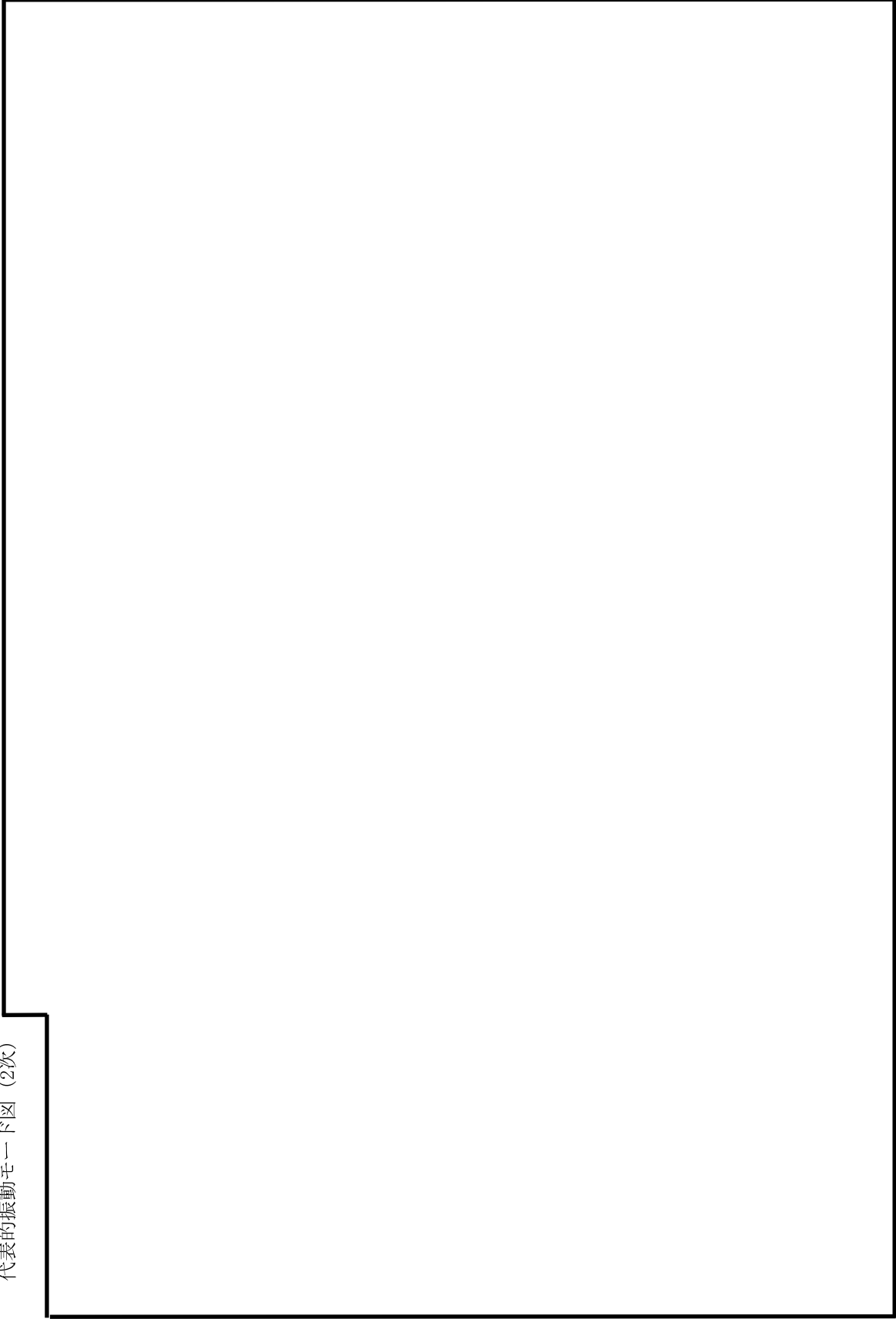
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

OTA-001

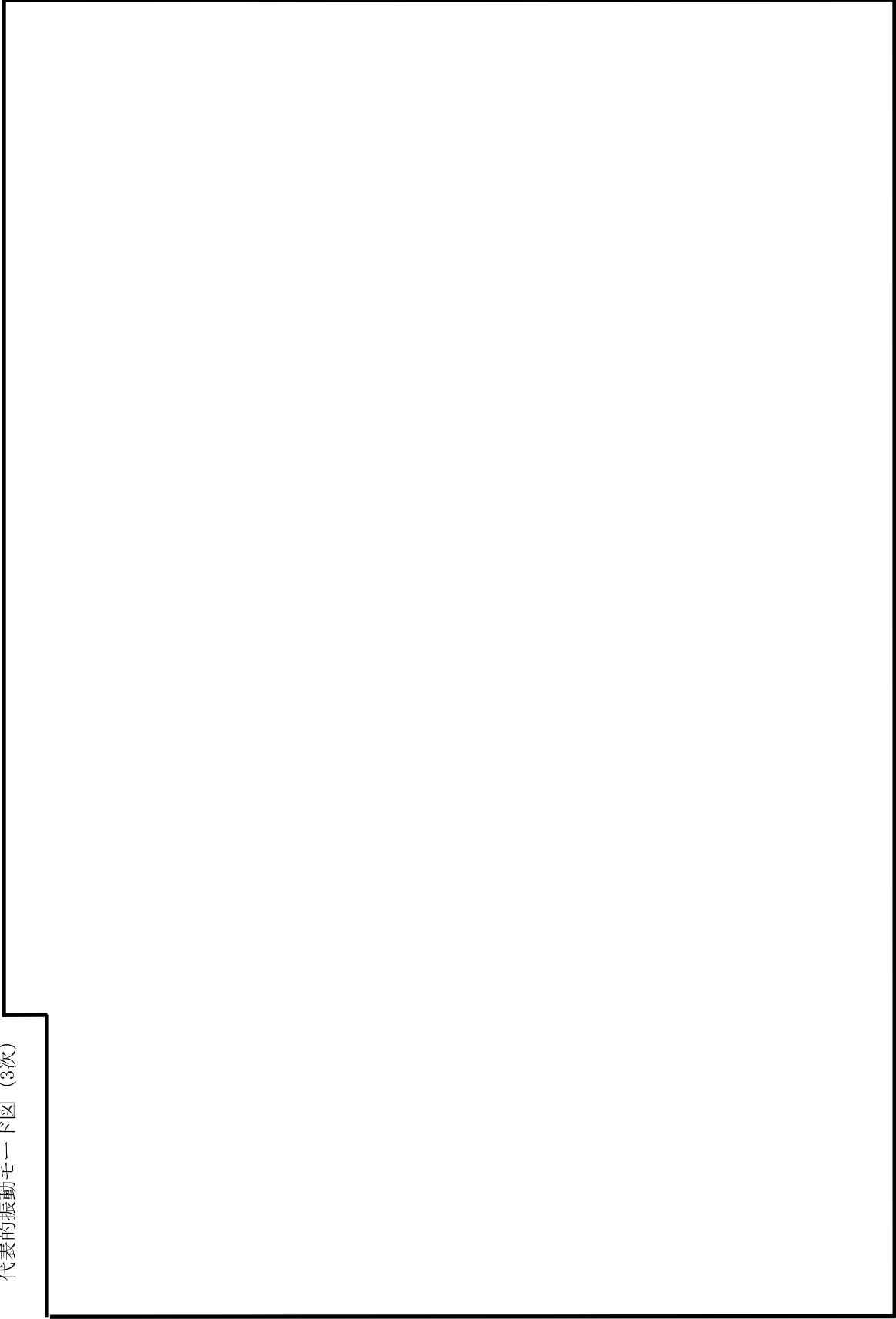
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

OTA-001

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

OTA-001

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価 疲労累積係数 U S s
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
IV <sub>A</sub> S	一次応力 S p r m (0.9・S u)	0TA-001	45	129	333	—
	一次+二次応力 S n (2・S y)	0TA-001	45	237	430	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN) 一次評価*1 二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12 「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

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 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F x	F y	F z	M x	M y	M z			
SPA-011	レストレイント	架構	SS400	40	85	—	96	—	—	—	組合せ	163	490
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 <sup>*1</sup>	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		詳細評価 <sup>*2, *3</sup>										
			水平	鉛直	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 (MPa)								
							合成 <sup>*3, *4</sup>	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

$\alpha$  (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

$\beta$  (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

\*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し、水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

\*3：詳細評価を実施しない場合は「—」を記載する。

\*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり、詳細評価を実施する場合に使用する。

- 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、応力分類ごと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。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	OTA-001	45	129	333	2.58	○	45	237	430	1.81	—	○
2	OTA-002	1	16	333	20.81	—	1	10	430	43.00	—	—
3	OTA-003	45	129	333	2.58	—	45	237	430	1.81	—	—
4	OTA-004	1	16	333	20.81	—	1	10	430	43.00	—	—