

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0043_改4
提出年月日	2021年9月28日

VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針

02 ① VI-2-1-13-6 R6

2021年 9月  
東北電力株式会社

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用規格・基準等	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	6
4.	固有周期	6
4.1	固有周期の計算方法	6
5.	構造強度評価	7
5.1	構造強度評価方法	7
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3	設計用地震力	11
5.4	計算方法	12
5.5	応力の評価	13
6.	機能維持評価	14
6.1	動的機能維持評価方法	14
7.	耐震計算書のフォーマット	14

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている管(耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの)、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁が十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

管及び管に取り付く支持構造物の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、管に取り付く弁の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。評価にあたっては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

管、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

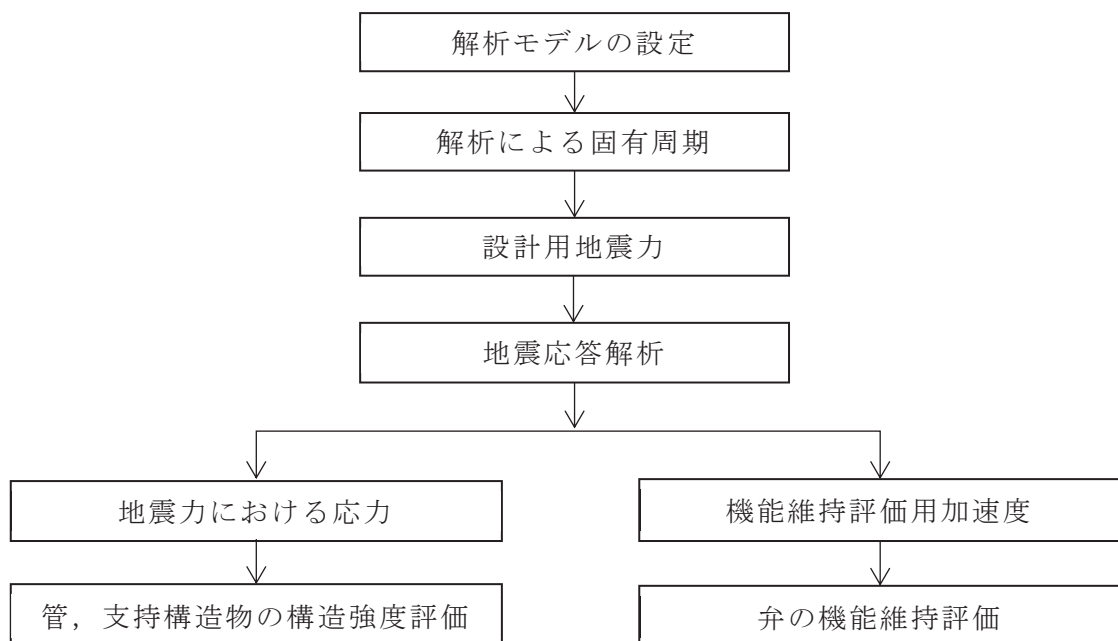


図 2-1 管、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁の耐震評価フロー

## 2.2 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

### 2.3 記号の説明

記号	定義	単位
$B_1, B_2,$ $B_{2b}, B_{2r}$	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）	—
$C_2, C_{2b},$ $C_{2r}$	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）	—
$D_0$	管の外径	mm
$E$	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
$i_1$	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値	—
$i_2$	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値	—
$K_2, K_{2b},$ $K_{2r}$	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）	—
$M_a$	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N・mm
$M_b$	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
$M_b^*$	地震による慣性力により生じるモーメントの全振幅	N・mm
$M_{bp}$	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm
$M_{bs}$	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
$M_c$	耐震性についての計算：地震による相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
$M_{ip}$	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm
$M_{is}$	耐震性についての計算：管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
$M_{rp}$	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm
$M_{rs}$	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm

記号	定義	単位
$n_i$	繰返し荷重 $i$ の実際の繰返し回数	回
$N_i$	繰返し荷重 $i$ に対し，設計・建設規格 PPB-3534 に従って算出された許容繰返し回数	回
$P$	耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
$S_h$	使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
$S_\ell$	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_m$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
$S_n$	一次＋二次応力	MPa
$S_p$	ピーク応力	MPa
$S_{pr m}$	一次応力	MPa
$S_t$	ねじりによる応力	MPa
$S_t + S_b$	曲げとねじりによる応力	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定する材料の設計引張強さ	MPa
$t$	管の厚さ	mm
$U$	運転状態 I，II における疲労累積係数	—
$U S_d$	$S_d$ 地震動のみによる疲労累積係数	—
$U S_s$	$S_s$ 地震動のみによる疲労累積係数	—
$Z, Z_i$	管の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_b$	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_r$	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数	mm <sup>3</sup>
$\varepsilon_e$	$S_p$ を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$ ：弾性解析によるミーゼス相当応力	—
$\varepsilon_{ep}$	$S_p$ を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力－ひずみ関係として，降伏応力を $S_m$ の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\varepsilon}_p$ $\bar{\sigma}$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\varepsilon}_p$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—

## 2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点第 3 位	四捨五入	小数点第 2 位 <sup>*1</sup>
	温度	℃	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	厚さ	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 4 桁	四捨五入	有効桁数 3 桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数 4 桁	四捨五入	有効桁数 3 桁
	方向余弦	—	小数点第 5 位	四捨五入	小数点第 4 位
	許容応力	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*2</sup>
	減衰定数	%	—	—	小数点第 1 位
解析結果 及び評価	固有周期	s	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	震度	—	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
	刺激係数	—	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	計算応力	MPa	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容応力	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*2</sup>
	計算荷重	kN	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容荷重	kN	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	疲労累積係数	—	小数点第 5 位	切上げ	小数点第 4 位
	機能維持評価用 加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点第 2 位	切上げ	小数点第 1 位
	機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点第 1 位

注記\*1：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

\*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、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

管の耐震評価については、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき一次応力評価、一次＋二次応力評価及び疲労評価を実施する。

管に取り付く支持構造物の耐震評価については、添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、種類及び型式に区分して評価を実施する。

管に取り付く弁の耐震評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、動的機能維持要求弁に対する動的機能維持評価を実施し、計算により求めた機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

### 4. 固有周期

#### 4.1 固有周期の計算方法

管の固有周期の計算は3次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は3次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
  - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
  - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
  - c. アンカ：6方向の剛性を考慮する。
  - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮するものとする。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

(1) 管の構造強度評価は、「4.1 固有周期の計算方法」に基づき作成した解析モデルによる地震応答解析を行い、得られたモーメント等から「5.4 計算方法」に記載した方法で構造強度評価を実施する。配管系の動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。評価に当たっては、以下の荷重を考慮する。

- a. 内圧
- b. 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
- c. 機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）
- d. 地震荷重（基準地震動  $S_s$ ，弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的震度による慣性力及び相対変位）

(2) 管に取り付く支持構造物の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、以下に示す種類及び型式に区分して評価を実施する。

- a. オイルスナッパ
- b. メカニカルスナッパ
- c. ロッドレストレイント
- d. スプリングハンガ
- e. コンスタントハンガ
- f. レストレイント
- g. アンカ

上記の支持構造物のうち、a.～e.については、添付書類「VI-2-1-12 配管及び支持構造物の耐震計算について」において、種別及び型式単位に設定した許容荷重に対する応力評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認していることから、荷重確認による評価を実施し、計算荷重が許容荷重以下であることを確認する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

耐震性についての計算において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を表 5-1～表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設分類*1	管クラス	荷重の組合せ*2		許容応力状態
設計基準対象施設	クラス 1 管	$I_L + S_d$	$(D + P + M + S_d^*)$	Ⅲ <sub>AS</sub>
		$II_L + S_d$		
		$IV_L(L) + S_d^{*3}$	$(D + P_L + M_L + S_d^*)$	Ⅳ <sub>AS</sub>
		$I_L + S_s$	$(D + P + M + S_s)$	
		$II_L + S_s$		
	クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 火力技術基準適用の管	$I_L + S_d$	$(D + P_D + M_D + S_d^*)$	Ⅲ <sub>AS</sub>
		$II_L + S_d$		
		$IV_L(L) + S_d^{*4}$	$(D + P_D + M_D + S_d^*)$	Ⅳ <sub>AS</sub>
		$I_L + S_s$	$(D + P_D + M_D + S_s)$	
		$II_L + S_s$		
重大事故等対処設備	重大事故等クラス 2 管 (クラス 1 管)	$IV_L(L) + S_d^{*3}$	$(D + P_L + M_L + S_d^*)$	Ⅳ <sub>AS</sub> *6
		$I_L + S_s$	$(D + P + M + S_s)$	
		$II_L + S_s$		
		$V_L(L) + S_d^{*5}$		$(D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)$
		$V_L(LL) + S_s^{*5}$	$(D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)$	
	重大事故等クラス 2 管 (クラス 2, 3, 4 管) 重大事故等クラス 3 管 火力技術基準適用の管	$I_L + S_s$	$(D + P_D + M_D + S_s)$	Ⅳ <sub>AS</sub> *6
		$II_L + S_s$		
		$V_L(L) + S_d^{*7, *8}$	$(D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)^{*10}$	Ⅴ <sub>AS</sub>
		$V_L(LL) + S_s^{*8}$	$(D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)$	
		$V_L + S_s^{*9}$	$(D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s)$	

注記\*1：設計基準対象施設と重大事故等対処設備の兼用範囲は設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の荷重の組合せを考慮する。

\*2：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。右の ( ) 付の欄は添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の荷重の組合せを示し，計算書では記載を省略する。

\*3：ECCS 等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）に対しては，許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub> とする。

\*4：ECCS 等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）のみにおいて考慮する。

\*5：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲は重大事故等発生時の使用条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（10<sup>-2</sup>年未満）であるため，運転状態Ⅴにおいて S<sub>d</sub> 又は S<sub>s</sub> 地震力との組合せは考慮不要である。

- \*6 :  $IV_{AS}$  の評価を設計基準対象施設の計算書に記載する場合，又は $IV_{AS}$  の評価が $V_{AS}$  の評価に包絡される場合，重大事故等対処設備の計算書では $IV_{AS}$  の評価の記載を省略する。
- \*7 : 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡される場合，評価を省略する。
- \*8 : 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備のみにおいて考慮し，重大事故等発生後の最高圧力及び最高温度を考慮する。なお， $V_L + S_s$ に包絡して評価してもよい。
- \*9 : 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備以外において考慮する。
- \*10 : 重大事故等後の最高圧力，最高温度（最高圧力時の飽和温度）との組合せを考慮する。

表 5-2 許容応力（クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次 +ピーク応力
Ⅲ <sub>AS</sub>	$1.5 S_m^{*2}$	$2.25 S_m$ ただし、ねじりによる応力が $0.55 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $1.8 S_m$ とする。	$3 S_m^{*3}$ S <sub>d</sub> 又は S <sub>s</sub> 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S <sub>d</sub> 又は S <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労累積係数と運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
Ⅳ <sub>AS</sub> V <sub>AS</sub> <sup>*1</sup>	$2 S_m^{*2}$	$3 S_m$ ただし、ねじりによる応力が $0.73 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 S_m$ とする。		

注記\*1：許容応力状態 V<sub>AS</sub> は許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub> の許容限界を使用し、許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub> として評価を実施する。

\*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub> の一次一般膜応力の許容値 ( $1.5 S_m$ ) の 0.8 倍の値とする。

\*3： $3 S_m$  を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300(同 PVB-3313 を除く) 又は PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-3 許容応力（「クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管」を除く管で耐震重要度分類 S クラス及び S<sub>s</sub> 機能維持対象）

許容応力状態	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
Ⅲ <sub>AS</sub>	Min( $S_y, 0.6S_u$ )* <sup>2</sup> ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と $1.2S_h$ のうち大きい方。	$S_y$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と $1.2S_h$ のうち大きい方。	$S_d$ 又は $S_s$ 地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要である。* <sup>3</sup>	
Ⅳ <sub>AS</sub> Ⅴ <sub>AS</sub> * <sup>1</sup>	$0.6S_u$ * <sup>2</sup>	$0.9S_u$		

注記\*1：許容応力状態Ⅴ<sub>AS</sub>は許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub>の許容限界を使用し、許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub>として評価を実施する。

\*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>の一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

\*3： $2S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、 $S_m$ は $2/3S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

### 5.3 設計用地震力

設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

設計用床応答曲線は、配管系が設置されている位置を包絡する設計用床応答曲線を適用する。また、異なる建物・構築物を渡る配管系については、配管系が設置されている位置を包絡する設計用床応答曲線を適用する。ただし、設計用床応答曲線の運用において合理性が示される場合には、その方法を採用できるものとする。

#### 5.4 計算方法

(1) クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管

a. 一次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2 b} \cdot M_{b p} / Z_b + B_{2 r} \cdot M_{r p} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{i p} / Z_i$$

b. 一次+二次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_n = C_{2 b} \cdot M_{b s} / Z_b + C_{2 r} \cdot M_{r s} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_n = C_2 \cdot M_{i s} / Z_i$$

c. ピーク応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_p = K_{2 b} \cdot C_{2 b} \cdot M_{b s} / Z_b + K_{2 r} \cdot C_{2 r} \cdot M_{r s} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_p = K_2 \cdot C_2 \cdot M_{i s} / Z_i$$

d. 繰返しピーク応力強さ

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2$$

$K_e$  : 次の計算式により計算した値

イ.  $S_n < 3 \cdot S_m$  の場合

$$K_e = 1$$

ロ.  $S_n \geq 3 \cdot S_m$  場合

(イ)  $K < B_0$  の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$$

$$ii. S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

(ロ)  $K \geq B_0$  の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1/K) + 1 - a$$

ii.  $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}] / a$  の場合

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n,$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

$q, A_0, B_0$  : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n \geq 3 \cdot S_m$  の場合, 5.4(1)d.ロ.に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いてもよい。

$$K_e = \varepsilon_{ep} / \varepsilon_e$$

e. 疲労累積係数

$$\Sigma (n_i / N_i) \leq 1.0$$

(2) (1)を除く管

a. 一次応力

$$S_{prm} = P \cdot D_0 / 4 \cdot t + 0.75 i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z$$

b. 一次+二次応力

$$S_n = (0.75 i_1 \cdot M_b^* + i_2 \cdot M_c) / Z$$

## 5.5 応力の評価

5.4項で求めた応力及び疲労累積係数が5.2項に示す許容値以下であることを確認する。

## 6. 機能維持評価

### 6.1 動的機能維持評価方法

管の地震応答解析から得られた弁の機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

なお、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構造強度評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認する。

## 7. 耐震計算書のフォーマット

耐震計算書は、設計基準対象施設の耐震計算書と重大事故等対処設備の耐震計算書とに分けて作成し、それぞれ以下の項目を記載する。

### (1) 概要

本基本方針及び添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、〇〇系の管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示す旨を記載する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施している旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

#### a. 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、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についても記載する。

#### b. 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

#### c. 弁

評価結果を記載する対象弁は、工認主要弁かつ動的機能維持要求弁とし、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。




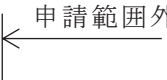
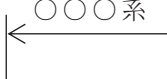
(2) 概略系統図及び鳥瞰図



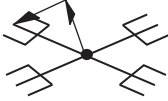
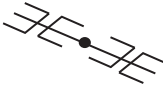

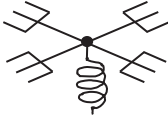
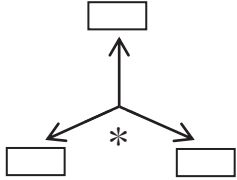
a. 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b. 鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。鳥瞰図に示す記号例を下表に示す。

記号例	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管

記号例	内容
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)

(3) 計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-1～耐-7 に示す。

(4) 解析結果及び評価

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-8～耐-13 に示す。

・FORMAT 耐-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状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類*2	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*3, 4	許容応力 状態*5

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/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設/緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*3 : 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  $V_{AS}$  は許容応力状態  $IV_{AS}$  の許容限界を使用し, 許容応力状態  $IV_{AS}$  として評価を実施する。

・FORMAT 耐-2 :

設計条件

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

鳥瞰図番号

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要 度分類	縦弾性係数 (MPa)

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥瞰図番号

管名称	対応する評価点

・FORMAT 耐-3 :

配管の質量 (付加質量含む)

鳥瞰図番号

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

・FORMAT 耐-4 :

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)

弁部の寸法を下表に示す。

弁 No	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1				

・FORMAT 耐-5 :

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

注 1 地震荷重及び地震荷重を除く短期的機械荷重の解析に使用するスナップのばね定数を示す。

注 2 自重解析にのみ使用するハンガのばね定数を示す。地震、地震を除く短期的機械荷重及び熱の解析においてはハンガのばね定数は考慮しない。

・FORMAT 耐-6 :

材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)

・FORMAT 耐-7：

設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)

・FORMAT 耐-8：

固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号

適用する地震動等		S <sub>d</sub> 及び静的震度			S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>1</sup>		応答鉛直 震度* <sup>1</sup>	応答水平震度* <sup>1</sup>		応答鉛直 震度* <sup>1</sup>
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
...							
8 次							
n 次							
n+1 次* <sup>2</sup>		—	—	—	—	—	—
動的震度* <sup>3</sup>							
静的震度* <sup>4</sup>					—	—	—

注記\*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

\*3：S<sub>d</sub> 又は S<sub>s</sub> 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4：3.6C<sub>I</sub> 及び 1.2C<sub>v</sub> より定めた震度を示す。

・FORMAT 耐-9 :

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号

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				
...				
8 次				
n 次				

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

・FORMAT 耐-10-1 :

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 1 管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	疲労累積係数
					$S_{p,rm}(S_d)$	$2.25 S_m$	$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_n(S_d)$	$3 S_m$	
					$S_{p,rm}(S_s)$	$3 S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_n(S_s)$	$3 S_m$	$U+U S_s$
鳥瞰図 番号	III <sub>A</sub> S			$S_{p,rm}(S_d)$	Max	$2.25 S_m$	—	—	—	—	—
	III <sub>A</sub> S			$S_t(S_d)$	—	—	Max *	$0.55 S_m$	—	—	—
	III <sub>A</sub> S			$S_n(S_d)$	—	—	—	—	Max **	$3 S_m$	$U+U S_d$
	III <sub>A</sub> S			$U+U S_d$	—	—	—	—	—	—	Max
	IV <sub>A</sub> S			$S_{p,rm}(S_s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S			$S_t(S_s)$	—	—	Max *	$0.73 S_m$	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S			$S_n(S_s)$	—	—	—	—	Max **	$3 S_m$	$U+U S_s$
IV <sub>A</sub> S			$U+U S_s$	—	—	—	—	—	—	Max	

\* 印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

\*\* 印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S のとき  $0.55 S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S のとき  $0.73 S_m$  を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図番号

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力	許容応力	曲げとねじり応力	許容応力
	$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_t + S_b(S_d)$	$1.8 S_m$
$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_t + S_b(S_s)$	$2.4 S_m$	
	Max *	$0.55 S_m$	Max	$1.8 S_m$
	Max *	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

・FORMAT 耐-10-2 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{prm}(S_d)$	$S_y^*$	$S_n(S_d)$	$2 S_y$	U S d
$S_{prm}(S_s)$	$0.9 S_u$	$S_n(S_s)$	$2 S_y$	U S s				
鳥瞰図 番号	Ⅲ <sub>A</sub> S		$S_{prm}(S_d)$	Max	$S_y^*$	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S		$S_n(S_d)$	—	—	Max *	$2 S_y$	U S d
	Ⅳ <sub>A</sub> S		$S_{prm}(S_s)$	Max	$0.9 S_u$	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S		$S_n(S_s)$	—	—	Max *	$2 S_y$	U S s

\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

注記\*1：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については， $S_y$  と  $1.2 \cdot S_h$  のうち大きい方とする。



・FORMAT 耐-10-3 :

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1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	
					$S_{p r m}(S s)$	$3 S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 S_m$	$S_n(S s)$	$3 S_m$	
鳥瞰図 番号	V <sub>A</sub> S			$S_{p r m}(S s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	V <sub>A</sub> S			$S_t(S s)$	—	—	Max *	$0.73 S_m$	—	—	—
	V <sub>A</sub> S			$S_n(S s)$	—	—	—	—	Max **	$3 S_m$	U+U S s
	V <sub>A</sub> S			U+U S s	—	—	—	—	—	—	Max

\* 印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

\*\* 印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態V<sub>A</sub>Sのとき0.73S<sub>m</sub>を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 $S_t(S s)$	許容応力 $0.73 S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b(S s)$	許容応力 $2.4 S_m$
	Max *	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

・FORMAT 耐-10-4 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S s)$	$0.9 S_u$	$S_n(S s)$	$2 S_y$	$U S s$
鳥瞰図	$V_A S$		$S_{pr m}(S s)$	Max	$0.9 S_u$	—	—	—
番号	$V_A S$		$S_n(S s)$	—	—	Max *	$2 S_y$	$U S s$

\*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

・FORMAT 耐-11 :

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)
	メカニカルスナップ		添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の 耐震計算について」参 照			
	オイルスナップ					
	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					

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)
					$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$			
	レストレイント												
	アンカ												

・FORMAT 耐-12 :

弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直

・FORMAT 耐-13-1：

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス＊範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 III <sub>AS</sub>					許容応力状態 IV <sub>AS</sub>												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力*				疲労評価			
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	疲労 累積 係数	代表

注記＊：III<sub>AS</sub>の一次＋二次応力の許容値はIV<sub>AS</sub>と同様であることから、地震荷重が大きいIV<sub>AS</sub>の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

・FORMAT 耐-13-2：

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス＊範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 V <sub>AS</sub>																
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価						
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	疲労 累積 係数	代表				