

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-929 改4
提出年月日	平成30年10月2日

-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	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	10
5.4 計算方法	11
5.5 応力の評価	12
6. 機能維持評価	12
6.1 動的機能維持評価方法	12
7. 耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本基本方針は、添付書類「 -2-1-1 耐震設計の基本方針の概要」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている管（耐震設計上の重要度分類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「 -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、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は、添付書類「 -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、「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「 -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. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

管、支持構造物、弁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

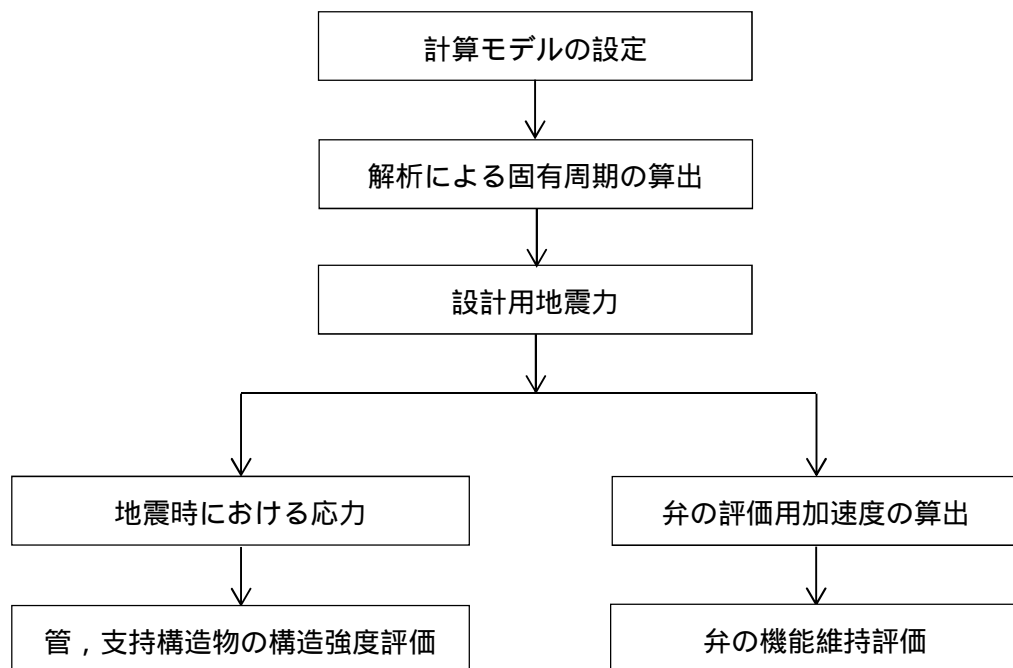


図 2-1 管、支持構造物、弁の耐震評価フロー

2.2 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)

2.3 記号の説明

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	記号の説明	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)により生ずるモーメント	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)により生ずるモーメント	N・mm
M_b^*	地震による慣性力により生ず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)により生ずるモーメント	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ず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ず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)により生ずるモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
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ず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)により生ずるモーメント	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ずるモーメントの全振幅	N・mm
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 にしたが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_ℓ	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_{prm}	一次応力	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
Z, Z_i	管の断面係数	mm ³
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 ³
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 ³
e	<p>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</p> $e = \frac{\sigma}{E}$ <p>*：弾性解析によるミーゼス相当応力</p>	
e_p	<p>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</p> $e_p = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma - S_m}{S_m}$ <p>：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 S_m：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ</p>	

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1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
	変位置量	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 ^{*1}
	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3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2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 ^{*2}	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
	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 ^{*2}	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
	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
	弁応答加速度	×9.8m/s ²	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 ²			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「 -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「 -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，計算により求めた弁応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

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。なお，解析コードは「MSC NASTRAN」，「HISAP」，「SOLVER」，「AutoPIPE」，「MSAP（配管）」を使用する。計算に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「 -5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」，「 -5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」，「 -5-33 計算機プログラム（解析コード）の概要・SOLVER」，「 -5-35 計算機プログラム（解析コード）の概要・AutoPIPE」，「 -5-47 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSAP（配管）」に示す。

4.1.1 計算モデル

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。
 - e. ハンガ：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。

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、固有周期の計算と同様の解析モデル、解析コードを用いて、地震応答解析を行い得られたモーメント等から 5.3 計算方法に記載した方法で構造強度評価を実施する。
- (2) 管の構造強度評価では以下の荷重を考慮する。
- 内圧
 - 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
 - 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）
 - 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）
- (3) 管に取り付く支持構造物の構造強度については、添付書類「-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。なお、サポートの一部については、解析コード「STAAD.Pro」を使用する。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要・STAAD.Pro」に示す。
- オイルスナップ
 - メカニカルスナップ
 - 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
 - リジットハンガ
 - レストレイント
 - 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「-2-1-12-1 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。
- (4) 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

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 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ（耐震設計上の重要度分類 S クラス及び S_s 機能維持対象）

施設分類 ^{*1}	設備	管クラス	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態	
D B	原子炉格納容器 バウンダリ	クラス 1 管 クラス 2 管	$I_L + S_d$	A S	
			$L + S_d$		
			$L(L) + S_d^{*3}$		
		上記を除く設備	クラス 1 管 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	$I_L + S_s$	A S
				$L + S_s$	
				$L(L) + S_d^{*4,*5}$	
	上記を除く設備	同上	$I_L + S_d$	A S	
			$L + S_d$		
			$L(L) + S_d^{*3}$		
			$I_L + S_s$	A S	
$L + S_s$					
$L(L) + S_d^{*4,*5}$					
S A	原子炉冷却材圧力 バウンダリ	重大事故等クラス 2 管	*8	*8	
	原子炉格納容器 バウンダリ	重大事故等クラス 2 管	$L(L) + S_d^{*6,*7}$	A S	
			$L(L) + S_s^{*6}$		
	上記を除く設備	重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 火力技術基準適用の管	$L + S_s$	A S	

- 注記 *1：D B 施設と S A 設備の兼用範囲は D B 施設及び S A 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，(L L) は(L) より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
- *3：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。
- *4：ECCS 等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）以外において考慮する。
- *5：クラス 1 管においてのみ考慮する。
- *6：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
- *7：荷重の組合せ $L(L) + S_d$ は $L(L) + S_s$ に包絡されるため，評価を省略する。
- *8：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環境条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（10⁻¹ 年未満）であるため，運転状態において S_d 又は S_s 地震力との組合せは考慮不要である。

表 5-2 荷重の組合せ（耐震設計上の重要度分類 B クラス）

施設分類	設備	管クラス	荷重の組合せ*	許容応力状態
DB	液体廃棄物処理系 固体廃棄物処理系	クラス 3 管	$I_L + 1/2 \cdot S_d$	B _A S
			$L + 1/2 \cdot S_d$	

注記 *：運転状態の添字 L は荷重を示す。

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）

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
A _S	$1.5 S_m^{*2}$	$2.25 S_m^{*3}$ 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。	$3 S_m^{*5}$ S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労累積係数と運転状態、における疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
A _S A _S ^{*1}	$2 S_m^{*2}$	$3 S_m^{*4}$ 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 A_S は許容応力状態 A_S の許容限界を使用し、許容応力状態 A_S 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 A_S の一次一般膜応力の許容値 ($1.5 \cdot S_m$) の 0.8 倍の値とする。
- *3：許容応力状態 A_S と供用状態 C を考慮し、 $2.25 \cdot S_m$ と $1.8 \cdot S_y$ の小さい方を許容値とする。
- *4：許容応力状態 A_S と供用状態 D を考慮し、 $3 \cdot S_m$ と $2 \cdot S_y$ の小さい方を許容値とする。
- *5： $3 \cdot S_m$ 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 5-4 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」を除く管で耐震設計上の重要度分類 S クラス及び S_s 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
A S	$\text{Min}(S_y, 0.6 S_u)^{*2}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要である。*3	
A S A S*1	$0.6 S_u^{*2}$	$0.9 S_u$		

注記 *1：許容応力状態 A S は許容応力状態 A S の許容限界を使用し、許容応力状態 A S 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 A S の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

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

表 5-5 許容応力（クラス 3 管で耐震設計上の重要度分類 B クラス）

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
B A S	*1 S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方。	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値と $1.2 S_h$ との大きい方。		

注記 *1：軸力による全断面平均応力については本欄の 0.8 倍の値とする。

5.3 設計用地震力

設計用地震力は、添付書類「 -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備評価用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は添付書類「 -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。

なお、設備評価用床応答曲線は配管系の重心レベルを求め、その重心レベルの上階の設備評価用床応答曲線を適用する。もしくは、配管系が設置されているレベルを包絡する設備評価用床応答曲線を適用する。

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

$$S_{pr m} = B_1 P D_0 / 2t + B_{2b} M_{bp} / Z_b + B_{2r} M_{rp} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m} = B_1 P D_0 / 2t + B_2 M_{ip} / Z_i$$

b. 一次+二次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n = C_{2b} M_{bs} / Z_b + C_{2r} M_{rs} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_n = C_2 M_{is} / Z_i$$

c. ピーク応力

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_p = K_{2b} C_{2b} M_{bs} / Z_b + K_{2r} C_{2r} M_{rs} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_p = K_2 C_2 M_{is} / Z_i$$

d. 繰返しピーク応力強さ

$$S_0 = K_e S_p / 2$$

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

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

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

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

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

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

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

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

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

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

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

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

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, A₀, B₀: 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 ₀	B ₀
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 = 3 · S_mの場合, 4.2(1)d. 口. に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いても良い。

$$K_e = e_p / e$$

e. 疲労累積係数

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

(2) (1)を除く管

a. 一次応力

$$S_{pr m} = P D_0 / 4 t + 0.75 i_1 (M_a + M_b) / Z$$

b. 一次+二次応力

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

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

配管モデルの地震応答解析から得られた弁の応答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「 -2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお, 弁応答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

(1) 概要

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」及び本基本方針に基づき, 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, 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




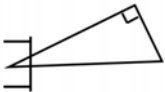
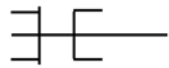

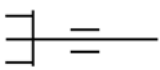
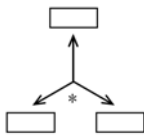
a. 概略系統図

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
———— (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

記号例	内容
	<p>質点 質点に記載される記号は、「W」は溶接点、「Z」は配管の座、「S」はスリーブ、「F」はフランジ、「N」はノズル、「A」はアンカを示す。</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント</p>
	<p>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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>リジットハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

(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	耐震設計上の 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／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_{AS}は許容応力状態_{AS}の許容限界を使用し，許容応力状態_{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。

鳥瞰図番号

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)

・FORMAT 耐-3：

配管の付加質量，フランジ部の質量，弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

- ・ FORMAT 耐-4 :
弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

- ・ FORMAT 耐-5 :
支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

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

- ・ FORMAT 耐-6 :
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

注記 * : 評価に使用しない許容応力については「 」と記載する。

- ・ 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「 -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「 -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(%)

- ・FORMAT 耐-8 :
固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直 震度* ¹	応答水平震度* ¹		応答鉛直 震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
...							
8次							
n次							
n+1次* ⁴							
動的震度* ²							
静的震度* ³							

注 : 本表はSクラスの場合を示す。なお、S_s機能維持評価の場合は、「S_d及び静的震度」欄及び「静的震度」欄を削除したものを使用する。

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

*2 : S_d又はS_s地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。

*3 : 3.6C_I及び1.2C_vより定めた震度を示す。

*4 : 固有周期が0.050s以下であることを示す。

- ・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* ¹		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
...				
8次				
n次				

注 : 3次モードまでを代表として、各質点の変位の相対量・方向を示した振動モード図を添付する。

注記 *1 : 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
					$S_{pr}(S_d)$	$2.25 S_m^{*1}$	$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_n(S_s)$	$3 S_m$	$U+U S_s$
鳥瞰図 番号	A S			$S_{pr}(S_d)$	Max	$2.25 S_m$					
	A S			$S_t(S_d)$			Max^{*2}	$0.55 S_m$			
	A S			$S_{pr}(S_s)$	Max	$3 S_m$					
	A S			$S_t(S_s)$			Max^{*2}	$0.73 S_m$			
	A S			$S_n(S_s)$				Max	$3 S_m$	$U+U S_s^{*3}$	
	A S			$U+U S_s$						Max	

注 : 本表は曲げ+ねじり応力評価を除く評価結果を示すものである。

注記 *1 : 設計・建設規格 PPB-3552 及び PPB-3562 の規定に基づく供用状態 C 及び D における一次応力評価を許容応力状態 A S 及び A S における一次応力評価に含めて実施する場合は、許容応力状態 A S 及び A S の許容応力をそれぞれ、 $\text{Min}(2.25 S_m, 1.8 S_y)$ 及び $\text{Min}(3 S_m, 2 S_y)$ とする。

*2 : ねじり応力による許容応力状態 A S のとき $0.55 S_m$, 又は許容応力状態 A S のとき $0.73 S_m$ を超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

*3 : 一次+二次応力が $3 S_m$ 以下の場合は「 」と記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態 A S のとき $0.55 S_m$, 又は許容応力状態 A 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	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
		$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_t + S_b(S_d)$	$1.8 S_m$
鳥瞰図 番号		$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_t + S_b(S_s)$	$2.4 S_m$
		Max	$0.55 S_m$	Max	$1.8 S_m$
		Max	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

注 : 本表はねじり+曲げ応力評価結果を示すものである。

・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^{*1}	$S_n(S_s)$	$2S_y$	
鳥瞰図 番号	A S A S A S		$S_{prm}(S_d)$ $S_{prm}(S_s)$ $S_n(S_s)$	Max Max	S_y^{*1} $0.9S_u$	Max	$2S_y$	US_s^*

注 * : 一次+二次応力が $2S_y$ 以下の場合は「 - 」と記載する。

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 $1.2S_h$ 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	疲労累積係 数
					$S_{prm}(S_s)$	$3S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73S_m$	$S_n(S_s)$	$3S_m$	
鳥瞰図 番号	A S A S A S A S			$S_{prm}(S_s)$ $S_t(S_s)$ $S_n(S_s)$ $U+US_s$	Max	$3S_m$	Max ^{*1}	$0.73S_m$	Max	$3S_m$	$U+US_s^{*2}$ Max

注 : 本表は曲げ+ねじり応力評価を除く評価結果を示すものである。

注 *1: ねじり応力が許容応力状態 A S のとき $0.73S_m$ を超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

*2: 一次+二次応力が $3S_m$ 以下の場合は「 - 」と記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態 A 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	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 $2.4 S_m$
鳥瞰図番号		Max	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

注：本表はねじり + 曲げ応力評価結果を示すものである。

・ 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 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
鳥瞰図 番号	A S A S		$S_{prm}(S_s)$ $S_n(S_s)$	Max	$0.9 S_u$	Max	$2 S_y$	$U S_s^{*1}$

注記 *1: 一次 + 二次応力が $2 S_y$ 以下の場合は「 」と記載する。

・ FORMAT 耐-10-5 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 3 管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次 + 二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 S_y	計算応力 $S_n(S_d)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
鳥瞰図 番号	B A S		$S_{prm}(S_d)$	Max	S_y			

・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 ()	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「 -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					
	リジットハンガ					

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 ()	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												

注：評価対象がない場合はすべての欄に「 」と記載する。

A S , A S の評価結果のうち、裕度最小の結果を記載する。

・FORMAT 耐-12：

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。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* (×9.8m/s ²)		機能確認済加速度 (×9.8m/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

注：評価対象がない場合はすべての欄に「 」と記載する。

弁応答加速度が機能確認済加速度以下の場合、構造強度評価結果は「 」と記載する。

注記 *：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。

・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。

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 A S					許容応力状態 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	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点
1	****-1	1	**	**	*. **	1	**	**	*. **	1	**	**	*. **	1	0. ****		
2	****-2	2	**	**	*. **	2	**	**	*. **	2	**	**	*. **	2	0. ****		
3	****-3	3	**	**	*. **	3	**	**	*. **	3	**	**	*. **	3			

注：耐震設計上の重要度分類Sクラス範囲の記載方法(重大事故等クラス2でクラス1管と重大事故等クラス2でクラス2,3管は上記の表を分けて記載する。)

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

・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。

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 A S													
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価			
		評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累 積係数	代表	
1	****-1	1	**	**	*. **	1	**	**	*. **	1	0. ****				
2	****-2	2	**	**	*. **	2	**	**	*. **	2	0. ****				
3	****-3	3	**	**	*. **	3	**	**	*. **	3	0. ****				

注：耐震設計上の重要度分類Sクラス範囲を含まない、S_s機能維持範囲の記載方法

- FORMAT 耐-13-3 :

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。

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 B A S				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	****-1	1	**	**	*.**	
2	****-2	2	**	**	*.**	
3	****-3	3	**	**	*.**	
4	****-4	4	**	**	*.**	

注：耐震設計上の重要度分類 B クラス範囲の記載方法