

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-929 改2
提出年月日	平成30年9月14日

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

目 次

1. 一般事項.....	1
1.1 概要.....	1
1.2 適用規格.....	1
2. 計算方針.....	2
3. 計算方法.....	3
3.1 解析モデルの作成.....	3
3.2 解析条件.....	4
4. 計算式.....	5
4.1 記号の定義.....	5
4.2 耐震性についての計算.....	7
5. 荷重の組合せ及び許容応力.....	9
6. 計算精度と数値の丸め方.....	12
7. 計算書の構成.....	13

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は、実用発電用原子炉及びその附属施設のうち、管の耐震性についての計算書(以下「計算書」という。)について説明するものである。

1.2 適用規格

適用規格を以下に示す。

- (1) 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（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「技術基準規則」という。）
- (2) 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（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「技術基準規則解釈」という。）
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。））（J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (4) 耐震設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「耐震審査ガイド」という。）
- (5) 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, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）

2. 計算方針

耐震審査ガイドの記載に基づき、J E A G 4 6 0 1の規定を適用する。なお、適用の際は耐震重要度分類におけるA_sクラス及びAクラスをSクラス、基準地震動S₂及びS₁をそれぞれ基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dと読み替えるものとする。

D B施設については耐震設計上の重要度分類に応じてSクラス評価、Bクラス評価を実施し、S A設備についてはS_s機能維持評価を実施する。

管については、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。

支持構造物については、添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、以下に示す種類及び型式に区分して応力評価を実施する。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「V-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要・STAAD. Pro」に示す。

- (1) オイルスナッパ
- (2) メカニカルスナッパ
- (3) ロッドレストレイント
- (4) スプリングハンガ
- (5) コンスタントハンガ
- (6) リジットハンガ
- (7) レストレイント
- (8) アンカ

上記の支持構造物のうち、(1)～(5)については、添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」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。

弁については、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。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。

3. 計算方法

耐震性についての計算は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。なお、解析コードは「MSC NASTRAN」、「HISAP」、「SOLVER」、「AutoPIPE」、「MSAP (配管)」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「V-5-1 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSC NASTRAN」、「V-5-4 計算機プログラム (解析コード) の概要・HISAP及びNSAFE」、「V-5-33 計算機プログラム (解析コード) の概要・SOLVER」、「V-5-35 計算機プログラム (解析コード) の概要・AutoPIPE」、「V-5-47 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSAP (配管)」に示す。

3.1 解析モデルの作成

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。

3.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

(1) 荷重条件

- 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) 設計用地震力

設計用地震力は、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「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。

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。

4. 計算式

4.1 記号の定義

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	単位	定義
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	mm	管の外径
E	MPa	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
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	N・mm	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
M_b	N・mm	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
M_b^*	N・mm	地震による慣性力により生ずるモーメントの全振幅
M_{bp}	N・mm	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
M_{bs}	N・mm	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
M_c	N・mm	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
M_{ip}	N・mm	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

記号	単位	定義
M_{is}	N・mm	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
M_{rp}	N・mm	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
M_{rs}	N・mm	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_i	回	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数
N_i	回	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
P	MPa	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
S_h	MPa	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
S_ℓ	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_m	MPa	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
S_n	MPa	一次+二次応力
S_p	MPa	ピーク応力
S_{prm}	MPa	一次応力
S_y	MPa	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
S_u	MPa	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
t	mm	管の厚さ
Z, Z_i	mm ³	管の断面係数
Z_b	mm ³	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
Z_r	mm ³	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
ϵ_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 $\epsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$ ：弾性解析によるミーゼス相当応力
ϵ_{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 $\epsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\epsilon}^p$ $\bar{\sigma}$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\epsilon}^p$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ

4.2 耐震性についての計算

(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

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

(b) (a)以外の管

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

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

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

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ 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。

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

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

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

b. 一次+二次応力

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

5. 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	
DB	原子炉格納容器 バウンダリ	クラス1管 クラス2管	$I_L + S_d$	Ⅲ _A S	
			$II_L + S_d$		
			$IV_L(L) + S_d^{*3}$		
		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	$I_L + S_s$	Ⅳ _A S
				$II_L + S_s$	
				$IV_L(L) + S_d^{*4, *5}$	
	DB	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	$I_L + S_d$	Ⅲ _A S
				$II_L + S_d$	
				$IV_L(L) + S_d^{*3}$	
			上記を除く設備	火力技術基準適用の管	$I_L + S_s$
$II_L + S_s$					
$IV_L(L) + S_d^{*4, *5}$					
SA	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	$V_L(L) + S_d^{*6, *7}$	V _A S	
			$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
SA	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	$V_L + S_s$	V _A S	

- 注記 *1：DB施設とSA設備の兼用範囲はDB施設及びSA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。
 *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 $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため，評価を省略する。
 *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V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
			$II_L + 1/2 \cdot S_d$	

*：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
III _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 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 _A S V _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。

*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_AS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III_AS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IV_AS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
III _A S	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	
IV _A S V _A S* ¹	$0.6 S_u$ * ²	$0.9 S_u$		

注記 *1: 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。

*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_AS 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。

6. 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6-1に示すとおりである。

表6-1 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 ^{*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
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。

7. 計算書の構成

(1) 概要

本基本方針及び添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、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

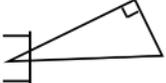
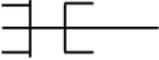
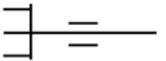
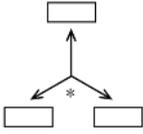
a. 概略系統図

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</p> <p>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</p> <p>(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。スナッパについても同様とする。)</p>
	<p>スナッパ</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)</p> <p>(* 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 (°C)	許容応力(MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h

注 : 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「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(%)

・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*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 *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
					$S_{pm}(S_d)$ $S_{pm}(S_s)$	$2.25 S_m^{*1}$ $3 S_m^{*1}$	$S_t(S_d)$ $S_t(S_s)$	$0.55 S_m$ $0.73 S_m$	$S_n(S_s)$	$3 S_m$	
鳥瞰図 番号	III _A S			$S_{pm}(S_d)$	Max	$2.25 S_m$	—	—	—	—	—
	III _A S			$S_t(S_d)$	—	—	Max ^{*2}	$0.55 S_m$	—	—	—
	IV _A S			$S_{pm}(S_s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	IV _A S			$S_t(S_s)$	—	—	Max ^{*2}	$0.73 S_m$	—	—	—
	IV _A S			$S_n(S_s)$	—	—	—	—	Max	$3 S_m$	$U+U S_m^{*3}$
	IV _A S			$U+U S_m$	—	—	—	—	—	—	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：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III_AS及びIV_AS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III_AS及びIV_AS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:ねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき $0.55 S_m$ 、又は許容応力状態IV_AS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III_ASのとき $0.55 S_m$ 、又は許容応力状態IV_AS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
		$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_t + S_b(S_d)$	$1.8 S_m$
$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_t + S_b(S_s)$	$2.4 S_m$		
鳥瞰図 番号		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	III _A S IV _A S IV _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	V _A S V _A S V _A S V _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 V_AS 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 $V_A S$ 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	$V_A S$ $V_A S$		$S_{prm}(S_s)$ $S_n(S_s)$	Max —

注：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

・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「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			
	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 (°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												

注：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

Ⅲ_AS, Ⅳ_AS 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 III _S					許容応力状態 IV _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	疲労累 積係数	代表
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*：III_Sの一次+二次応力の許容値はIV_Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV_Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。IV_Sの計算応力は、V_{AS}とIV_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 V _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	**	**	*,**	—	—	—	—
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,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