

PNC N241 81-25(1)

高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針



昭和56年11月

動力炉・核燃料開発事業団

高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針

目 次

1. 序	1
1.1 定 義	1
1.1.1 用語の定義	1
1.1.2 本方針の定義	1
1.2 適用範囲	1
1.2.1 使用温度及び使用時間	1
1.2.2 使用環境	1
2. 設計の方法	2
2.1 解析による設計	2
2.2 その他の方法による設計	2
3. 一般設計方針	2
3.1 解析の方法	2
3.2 1次応力の制限	2
3.2.1 適用範囲	2
3.2.2 設計条件に関する制限	2
3.2.3 運転状態Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ及びⅣに関する制限	3
3.2.4 試験状態に関する制限	6
3.3 特別な応力制限	6
3.3.1 適用範囲	6
3.3.2 支圧応力の制限	6
3.3.3 純せん断応力の制限	7
3.3.4 3軸応力の制限	7

3.4 ひずみの制限	8
3.4.1 適用範囲	8
3.4.2 運転状態Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ及び試験状態に関する制限	8
3.4.3 運転状態Ⅳに関する制限	14
3.5 クリープ疲労損傷の制限	15
3.5.1 適用範囲	15
3.5.2 一般規定	15
3.5.3 弾性解析による場合	16
4. 容器の設計方針	24
4.1 適用範囲	24
4.2 穴と補強	24
4.2.1 穴の制限	24
4.2.2 1次応力の制限に関する解析の免除	24
4.2.3 穴の補強	24
4.3 座屈の防止	24
5. 管の設計方針	26
5.1 設計の方法	26
5.2 1次応力の制限	26
5.2.1 適用範囲	26
5.2.2 設計条件に関する制限	26
5.2.3 運転状態Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ及びⅣに関する制限	27
5.2.4 試験状態に関する制限	30
5.3 特別な応力制限	31
5.4 穴と補強	31
5.5 ひずみの制限	31
5.5.1 適用範囲	31
5.5.2 応力強さ及び応力強さ範囲	31

5.5.3 補足規定	34
5.6 クリープ疲労損傷の制限	35
5.6.1 適用範囲	35
5.6.2 応力強さ範囲等	35
5.6.3 補足規定	35
5.7 座屈の防止	35
別表	37
別表 2.1 応力分類の例	38
別表 2.2 断面形状係数 K_g	41
別表 2.3 2次応力 Q , Q^* の分類の例(長期1次応力が低い場合)	42
別表 2.4 座屈に関する安全係数	44
付録	45
付録A 環境効果の評価	46
付録B 弾性追従の判定	47
付録C 累積クリープ疲労損傷係数の制限値 D	49
付録D 応力水準 S_g 及び倍率 g	50
付録E 1次及び2次応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^*	51
付録F ピーク応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^{**}	52
付録G 圧縮及び曲げ座屈の評価	54
付録H 応力集中係数	55

1. 序

1.1 定義

1.1.1 用語の定義

「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」(以下単に「本方針」という。)の用語の意義は、本方針において特に定義する場合を除いて、「構造設計方針」(「高速増殖炉もんじゅ発電所原子炉設置許可申請書」添付書類八、昭和55年12月、動力炉・核燃料開発事業団)及び「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準を定める告示」(昭和55年通商産業省告示第501号。以下単に「告示」という。)に定めるところによる。

1.1.2 本方針の定義

本方針は告示の適用温度範囲を超える金属温度において使用する高速原型炉第1種機器の設計方針を定めるものである。なお、本方針は今後新たな知見と経験の蓄積により、必要に応じて見直しを行うものとする。

1.2 適用範囲

1.2.1 使用温度及び使用時間

- (1) 高速原型炉第1種機器の使用中の金属温度が告示の適用温度範囲を超える場合は本方針を適用するものとする。
- (2) 高速原型炉第1種機器の使用中の金属温度又は高温使用時間が別表1において材料強度基準等を定めている温度又は時間を超える場合は本方針を適用しないものとする。高温使用時間とは告示の適用温度範囲を超える金属温度における使用時間の総和をいう。

1.2.2 使用環境

本方針は液体ナトリウム環境及び中性子照射環境の評価に関する設計方針を含む。これらの環境効果は付録Aにより評価することができる。

2. 設計の方法

2.1 解析による設計

高速原型炉第1種機器の設計は原則として解析による設計とする。ここに解析とは弾性解析及び非弾性解析をいう。

ただし、2.2に定めるところによる場合は、この限りでない。

2.2 その他の方法による設計

その妥当性が証明される場合は、実験等の適切な方法により、高速原型炉第1種機器の設計を行うことができる。

3. 一般設計方針

3.1 解析の方法

3.2及び3.3の規定に関しては弾性解析により、これを満足するものとする。3.4及び3.5の規定に関しては弾性解析又は非弾性解析により、これを満足するものとする。

弾性解析による場合は荷重又は応力を長期荷重(応力)又は短期荷重(応力)に区分するものとする。ここに長期荷重(応力)とは材料のクリープ効果を見逃し得ないような持続時間を有する荷重又はそれによる応力をいい、短期荷重(応力)とは長期荷重(応力)に該当しないものをいう。

3.2 1次応力の制限

3.2.1 適用範囲

- (1) 3.2の規定は設計条件、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ及び試験状態に対して適用する。
- (2) 3.2の規定の適用にかかわる応力分類は別表2.1に準拠して行うものとする。

3.2.2 設計条件に関する制限

設計条件に関して、次の(1)及び(2)の制限を満足しなければならない。この場合、厚さとして最小厚さからくされ代を減じた値(mm)を用いるものとする。液体ナトリウム接液面のくされ代は付録Aにより定めることができる。

$$(1) \quad \langle P_m \rangle \leq S_0 \quad (3.2.1)$$

記号 $\langle \sigma \rangle$ は応力 σ の応力強さを表わすものであり、以下本方針においてこの定義により本記号を用いる。

P_m : 長期荷重による1次一般膜応力(kg/mm²)

S_0 : 最高使用温度に対して別表1.1(別図1.1)に定める値(kg/mm²)。

ただし、最高使用温度が告示の適用温度範囲内にある場合は S_0 を告示別表第6に定める値に読み替えるものとする。

$$(2) \quad \langle P_L + P_b \rangle \leq 1.5 S_0 \quad (3.2.2)$$

P_L : 長期荷重による1次局部膜応力(kg/mm²)

P_b : 長期荷重による1次曲げ応力(kg/mm²)

S_0 : 3.2.2(1)に定めるところによる。

3.2.3 運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ及びⅣに関する制限

(1) 運転状態Ⅰ及びⅡに関する制限

運転状態Ⅰ及びⅡに関して、次の1)及び2)の制限を満足しなければならない。

$$1) \quad \begin{cases} \langle P_m + P_m^* \rangle \leq S_m & (3.2.3) \\ \langle P_m \rangle \leq S_t & (3.2.4) \end{cases}$$

P_m : 3.2.2(1)に定めるところによる。

P_m^* : 短期荷重による1次一般膜応力(kg/mm²)

S_m : 考えている負荷状態における最高壁厚平均金属温度に対して別表1.2(別図1.2)に定める値(kg/mm²)

S_t : 考えている負荷状態の最高壁厚平均金属温度及びその状態の累積持続時間に対して別表1.3(別図1.3)に定める値(kg/mm²)

$$2) \quad \begin{cases} \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq K_s S_m & (3.2.5) \\ \langle P_L + P_b \rangle \leq K_t S_t & (3.2.6) \end{cases}$$

ここに

$$\begin{cases} K_t = 1 + k_s \left(1 - \frac{\langle P_L \rangle}{S_t} \right) & (3.2.7) \\ k_s = \alpha_c (K_s - 1) & (3.2.8) \end{cases}$$

P_L, P_b : 3.2.2(2)に定めるところによる。

P_L^* : 短期荷重による1次局部膜応力(kg/mm²)

P_b^* : 短期荷重による1次曲げ応力 (kg/mm²)

α_c : クリープ係数。 $\alpha_c = 0.5$ とする。

K_s : 断面形状係数。別表 2.2 に準拠して定めるものとする。

S_m, S_t : 3.2.3(1)1) に定めるところによる。

(2) 運転状態 III に関する制限

運転状態 III に関して、次の 1) 及び 2) の制限を満足しなければならない。

$$1) \begin{cases} \langle P_m + P_m^* \rangle \leq 1.2 S_m & (3.2.9) \\ \langle P_m \rangle \leq S_t & (3.2.10) \end{cases}$$

ここに用いる記号の意義はすべて 3.2.3(1)1) に定めるところによる。

$$2) \begin{cases} \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq 1.2 K_s S_m & (3.2.11) \\ \langle P_L + P_b \rangle \leq K_t S_t & (3.2.12) \end{cases}$$

ここに用いる記号の意義はすべて 3.2.3(1)2) に定めるところによる。

(8) 運転状態 I, II 及び III にわたる制限

運転状態 I, II 及び III にわたって、使用分数に関する次の制限を満足しなければならない。

$$\begin{cases} \sum_i \frac{t_i}{t_{mi}} \leq B & (3.2.13) \\ \sum_j \frac{t_j}{t_{bj}} \leq 1.0 & (3.2.14) \end{cases}$$

t_i : 壁厚平均金属温度が T_i , 1次一般膜応力強さが $\langle P_m \rangle_i$ である負荷状態 i の累積持続時間 (hr)。 $\sum_i t_i$ は 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回ってはならない。

t_{mi} : 温度 T_i , 応力強さが $\langle P_m \rangle_i$ に対して別表 1.3 (別図 1.3) に定める許容時間 (hr)

t_j : 壁厚平均金属温度が T_j , 1次応力強さが $\langle P_L + P_b \rangle_j$ である負荷状態 j の累積持続時間 (hr)。 $\sum_j t_j$ は 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回ってはならない。

t_{bj} : 温度 T_j , 応力強さが $(\langle P_L + P_b \rangle / K_t)_j$ に対して別表 1.3 (別図 1.3) に定める許容時間 (hr)

ここに P_m, P_L, P_b 及び K_t は 3.2.3(1) に定めるところによる。 B は運転状態 I,

II 及び III にわたる使用分数の制限値であって、 $B = 1.0$ とする。

(4) 運転状態 IV に関する制限

運転状態 IV に関して次の 1) 及び 2) の制限を満足しなければならない。

$$1) \begin{cases} \langle P_m + P_m^* \rangle \leq S_{mIV} & (3.2.15) \\ \langle P_m \rangle \leq 2 S_R / 3 & (3.2.16) \end{cases}$$

ここに

$$S_{mIV} = 2 S_u / 3 \quad (3.2.17)$$

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あつては、

$$S_{mIV} = \text{Min} [2.4 S_m, 2 S_u / 3] \quad (3.2.18)$$

記号 $\text{Min}[x, y]$ は x 又は y のいずれか小さい方の値を表わすものであり、以下本方針においてこの定義により本記号を用いる。

P_m, P_m^*, S_m : 3.2.3(1)1) に定めるところによる。

S_u : 考えている負荷状態における最高壁厚平均金属温度に対して別表 1.6 (別図 1.6) に定める値 (kg/mm²)

S_R : 考えている負荷状態の最高壁厚平均金属温度及びその状態の持続時間に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める値 (kg/mm²)

$$2) \begin{cases} \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq K_s S_{mIV} & (3.2.19) \\ \langle P_L + P_b \rangle \leq 2 K_t S_R / 3 & (3.2.20) \end{cases}$$

$P_L, P_L^*, P_b, P_b^*, K_s, K_t$: 3.2.3(1)2) に定めるところによる。ただし、(3.2.7) 式により K_t を定める時、同式右辺の S_t を $2 S_R / 3$ に読み替えるものとする。

S_{mIV}, S_R : 3.2.3(4)1) に定めるところによる。

(5) 運転状態 I, II, III 及び IV にわたる制限

運転状態 I, II, III 及び IV にわたって、使用分数に関する次の制限を満足しなければならない。

$$\sum_i \frac{t_i}{t_{Ri}} \leq B_R \quad (3.2.21)$$

$$\sum_j \frac{t_j}{t_{Rbj}} \leq 1.0 \quad (3.2.22)$$

t_i, t_j : 3.2.3(8) に定めるところによる。

t_{R1} : 温度 T_1 , 応力強さ $1.5 \langle P_m \rangle_1$ に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)

t_{Rb1} : 温度 T_1 , 応力強さ $1.5 (\langle P_L + P_b \rangle / K_t)_1$ に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)

ここに P_m , P_L , P_b 及び K_t は 3.2.3(4) に定めるところによる。 B_R は運転状態 I, II, III 及び IV にわたる使用分数の制限値であって $B_R = 1.0$ とする。

3.2.4 試験状態に関する制限

- (1) 告示の適用温度範囲内の試験状態に関しては告示第 13 条第 1 項第 1 号に定めるところによる。
- (2) 告示の適用温度範囲を超える試験状態に関しては 3.2.3(1), (8) 及び (5) に定める運転状態 II に関する制限を満足しなければならない。

3.3 特別な応力制限

3.3.1 適用範囲

- (1) 3.3 の規定は運転状態 I, II, III 及び告示の適用温度範囲を超える試験状態に対して適用するものとする。
- (2) 3.3 の規定が適用される特定の場合において, 3.2 の規定と 3.3 の規定が異なるときは 3.3 の規定によるものとする。

3.3.2 支圧応力の制限

支圧荷重を受ける部分にあつては次の(1)及び(2)の制限を満足しなければならない。

- (1) 支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合

$$\begin{cases} \sigma_{BL} + \sigma_{BL}^* \leq 1.5 S_y & (3.3.1) \\ \sigma_{BL} \leq S_t & (3.3.2) \end{cases}$$

σ_{BL} : 長期支圧荷重による平均支圧応力 (kg/mm²)

σ_{BL}^* : 短期支圧荷重による平均支圧応力 (kg/mm²)

S_y : 支圧荷重を受ける部分の金属温度に対して別表 1.4 (別図 1.4) に定める値 (kg/mm²)

S_t : 考えている負荷状態における支圧荷重を受ける部分の金属温度及び

その状態の累積持続時間に対して別表 1.3 (別図 1.3) に定める値 (kg/mm²)

- (2) (1) 以外の場合

$$\begin{cases} \sigma_{BL} + \sigma_{BL}^* \leq S_y & (3.3.3) \\ \sigma_{BL} \leq S_t & (3.3.4) \end{cases}$$

ここに用いる記号はすべて 3.3.2(1) に定めるところによる。

3.3.3 純せん断応力の制限

純せん断荷重を受ける部分にあつては次の(1)及び(2)の制限を満足しなければならない。

$$(1) \begin{cases} \tau_m + \tau_m^* \leq 0.6 S_m & (3.3.5) \\ \tau_m \leq 0.6 S_t & (3.3.6) \end{cases}$$

τ_m : 長期純せん断荷重による断面平均せん断応力 (kg/mm²)

τ_m^* : 短期純せん断荷重による断面平均せん断応力 (kg/mm²)

S_m, S_t : 3.2.3(1) に定めるところによる。ただし壁厚平均金属温度を断面平均金属温度に読み替えるものとする。

- (2) 中実円断面の部分がねじり荷重を受ける場合

$$\begin{cases} \tau_o + \tau_o^* \leq 0.8 S_m & (3.3.7) \\ \tau_o \leq 0.8 S_t & (3.3.8) \end{cases}$$

τ_o : 長期ねじり荷重による最大せん断応力 (kg/mm²)。ただし応力集中によるものを除く。

τ_o^* : 短期ねじり荷重による最大せん断応力 (kg/mm²)。ただし応力集中によるものを除く。

S_m, S_t : 3.3.3(1) に定めるところによる。

3.3.4 3軸応力の制限

1次応力に関して次の制限を満足しなければならない。

$$\begin{cases} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + (\sigma_1^* + \sigma_2^* + \sigma_3^*) \leq 4 S_m & (3.3.9) \\ \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leq 4 S_t & (3.3.10) \end{cases}$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 長期荷重による 1 次応力の主応力 (kg/mm²)

$\sigma_1^*, \sigma_2^*, \sigma_3^*$: 短期荷重による 1 次応力の主応力 (kg/mm²)

S_m, S_t : 3.2.3(1)1)に定めるところによる。

ここに応力分類は3.2.1(2)に定めるところによる。

3.4 ひずみの制限

3.4.1 適用範囲

- (1) 運転状態 I, II, III 及び試験状態に対して, 3.4.2の規定を適用する。
- (2) 運転状態 IV に対して, 3.4.3の規定を適用する。

3.4.2 運転状態 I, II, III 及び試験状態に関する制限

(1) 一般規定

- 1) 機器の累積非弾性ひずみは, 次の a) 及び b) の制限値を超えてはならない。この制限は3つの主ひずみのうちの最大正值に対して適用する。溶接部にあつては, それぞれの制限値を $\frac{1}{2}$ に減じて適用するものとする。

- | | |
|-----------------------------|------|
| a) 壁厚平均ひずみ | 0.01 |
| b) 壁厚内の等価線形ひずみ分布により定める表面ひずみ | 0.02 |

ここにひずみの単位は mm/mm であり, 以下本方針におけるひずみの単位は mm/mm とする。

- 2) 弾性解析により, 次の a) 又は b) のいずれかの制限を満足する場合は, 3.4.2(1)1)を満足するものとする。この場合に, 2次応力による弾性追従を判定し, 適切な応力分類を行わなければならない。

- a) 運転状態 I, II, III 及び試験状態のすべての負荷サイクルにおける $\langle Q + Q^* \rangle_R$ に関して次式を満足すること。

$$\langle P_L + P_L^* + (P_b + P_b^*) / K_t \rangle_{\max} + \langle Q + Q^* \rangle_R \leq S_a \quad (3.4.1)$$

ここに記号 $\langle \sigma \rangle_R$ は応力 σ に関する負荷サイクル中の応力強さ範囲を表わすものであり, 以下本方針においてこの定義により本記号を用いる。下つき添字 max は添字を付した量の運転状態 I, II 及び試験状態を通しての最大値を表わす。

P_L, P_L^*, P_b, P_b^* : 3.2.3(1)2)に定めるところによる。ただし弾性追従の判定による P_L 及び P_b を含む。

Q : 長期2次応力 (kg/mm²)。ただし弾性追従の判定により P_L 又は P_b

とするものを除く。

Q^* : 短期2次応力 (kg/mm²)

K_t : 3.2.3(1)2)に定めるところによる。ただし(3.2.7)式右辺の

P_L は3.4.2(1)2)に定めるところによる。

S_a は次のイ) 又はロ) に定める値のうちいずれか小さい方の値とする。

イ) 運転状態 I, II 及び試験状態を通しての最高壁厚平均金属温度に対して時間を 10^5 hr として別表 1.3 (別図 1.3) に定める値の 1.25 倍の値 (kg/mm²)

ロ) 評価の対象とする $\langle Q + Q^* \rangle_R$ が属する負荷サイクルの最高壁厚平均金属温度及び最低壁厚平均金属温度のそれぞれに対して別表 1.4 (別図 1.4) 又は告示別表第 9 に定める値の平均値 (kg/mm²)

ただし評価の対象とする $\langle Q + Q^* \rangle_R$ を定める応力状態のうち少くともひとつの状態における壁厚平均金属温度が次に定める温度 T_0 より低い場合は, イ) の値にかかわらずロ) の値によって S_a の値を定めることができる。ここに温度 T_0 は, 別表 1.2 (別図 1.2) に定める値が時間を 10^5 hr として別表 1.3 (別図 1.3) に定める値に等しい温度 (°C) である。

- b) 次の制限を満足すること。ただし溶接部にあつてはそれぞれの制限値を $\frac{1}{2}$ に減じて適用するものとする。

$$\epsilon_{EC} + \epsilon_{mEF} \leq 0.01 \quad (3.4.2)$$

$$\epsilon_{EC} + \epsilon_{vEF} + \epsilon_{bEF} \leq 0.02 \quad (3.4.3)$$

ϵ_{EC} : 促進クリープひずみ。 ϵ_{EC} は膜ひずみとする。

ϵ_{mEF} : 長期2次応力による弾性追従ひずみ (膜ひずみ)

ϵ_{bEF} : 長期2次曲げ応力による弾性追従ひずみ (等価線形ひずみ)

機器の軸対称構造にあつて, 評価すべきすべての負荷サイクルにおいて2次応力強さ範囲 $\langle Q + Q^* \rangle_R$ を定める応力状態のうち少くともひとつの状態における壁厚平均金属温度が3.4.2(1)2)a)に定める温度 T_0 より低い場合は次のイ) からロ) に定めるところより ϵ_{EC} を定めることができる。ここに3.4.2(1)2)a)を満足する負荷サイクルは評価することを要しない。

イ) パラメータ X_1 , X_2 及び Y を次のとおり定める。

$$\begin{cases} X_1 = \langle P_L + (P_b/K_t) \rangle_{\max} / S_{yc} & (3.4.4) \\ X_2 = \langle P_L^* + (P_b^*/K_t) \rangle_{\max} / S_{yc} & (3.4.5) \\ Y = \langle Q + Q^* \rangle_{R\max} / S_{yc} & (3.4.6) \end{cases}$$

ここに下つき添字 \max は (3.4.4) 式においては添字を付した量の運転状態 I, II 及び試験状態における最大値を表わし, (3.4.5) 及び (3.4.6) 式においては添字を付した量の運転状態 I, II, III 及び試験状態における最大値を表わす。

$P_L, P_L^*, P_b, P_b^*, Q, Q^*, K_t$: 3.4.2(1)2)a) に定めるところによる。

S_{yc} : 評価の対象とする状態の最低壁厚平均金属温度に対して別表 1.4 (別図 1.4) 又は告示別表第 9 に定める値 (kg/mm^2)

ロ) 図 3.4.1 において点 (X_1, Y) が E 領域又は S_1 領域にあり, 点 $(X_1 + X_2, Y)$ が S_1 領域にある場合は

$$Z^* = 1 + Y - 2\sqrt{(1-X_1-X_2)Y-X_1} \quad (3.4.7)$$

とする。

ハ) 図 3.4.1 において点 (X_1, Y) が S_2 領域又は P 領域にあり, 点 $(X_1 + X_2, Y)$ が S_1 領域, S_2 領域又は P 領域にある場合は

$$Z^* = 1 + Y - \sqrt{(1+Y-X_1Y)^2 - 4X_1Y - X_1} \quad (3.4.8)$$

とする。

ニ) 応力 σ_c を次式により定める。

$$\sigma_c = 1.25 Z^* S_{yc} \quad (3.4.9)$$

ただし, ロ) 又は ハ) により定める Z^* が次式を満足しない場合は (3.4.9) 式を適用してはならない。

$$Z^* \leq S_{yH} / S_{yc} \quad (3.4.10)$$

S_{yH} : 評価の対象とする状態の最高壁厚平均金属温度に対して別表 1.4 (別図 1.4) に定める値 (kg/mm^2)

ホ) 促進クリープひずみ ϵ_{EC} を次式により定める。

$$\epsilon_{EC} = \sum \{ \epsilon_c(\sigma_c) \}_i \quad (3.4.11)$$

ここに $\{ \epsilon_c(\sigma_c) \}_i$ は壁厚平均金属温度 T_i において応力 σ_c 及び温度 T_i の累積持続時間 t_i に対して別図 1.11 によって定めるクリープひずみである。
 $\sum t_i$ は 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回ってはならない。

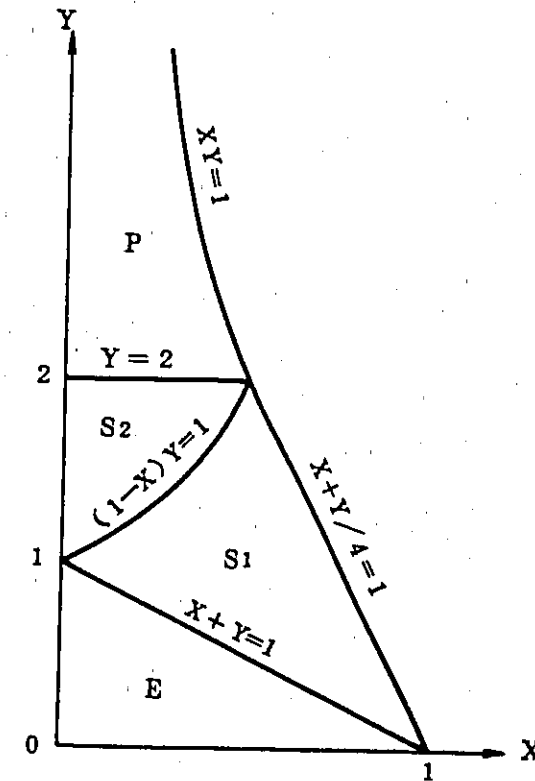


図 3.4.1 領域の区分

ただし, σ_c が運転状態 III にかかわる負荷サイクルによって定められる場合には, 運転状態 III の事象 1 回当たりの促進クリープ時間を 10^4 hr として, 促進クリープひずみを算定し, 残余の高温使用時間に関しては運転状態 I, II 及び試験状態により定められる σ_c により促進クリープひずみを算定することができる。

3) 弾性解析により 3.4.2(2)又は(8)の規定に適合する場合は 3.4.2(1)の規定に適合するものとすることができる。

(2) 長期 1 次応力が低い場合

1) 「長期 1 次応力が低い場合」とは告示の適用温度範囲を超える運転状態 I, II, III 及び試験状態において, 長期荷重による 1 次応力が次の条件を満足する場合をいう。

$$\langle P_L + P_b \rangle \leq S_{LP} \quad (3.4.12)$$

$$S_{LP} = \text{Min}[S_{rH}, S_g/g] \quad (3.4.13)$$

P_L, P_b : 3.4.2(1)2)a)に定めるところによる。

S_{rH} : 運転状態 I, II, III 及び試験状態における高温使用時間及び評価点の金属温度履歴に基づき、別表 1.7 (別図 1.7) により定める値 (kg/mm²)

S_g : 高温使用時間中、常に存在するとしてもクリープ損傷上許容しうる応力水準 (kg/mm²) であって、付録 D により定めるものとする。

g : 応力水準 S_g が長期 1 次応力の上限に対して有すべき倍率であって、付録 D により定めるものとする。

2) 長期 1 次応力が低い場合は、長期 2 次応力 Q 及び短期 2 次応力 Q^* を別表 2.3 に準換して分類するものとする。

3) 長期 1 次応力が低い場合は、次の a) 及び b) の制限を満足することにより、3.4.2(1)の規定に適合するものとすることができる。

a) 3.4.2(1)2)に定めるところ。

ただし、この場合は、別表 2.3 注 2) により弾性追従の判定を行い、付録 B により $\epsilon_{EF}(Q_{EF})$ を定めることができる。

$$b) \begin{cases} S_n^* \leq 3 S_{mH} & (3.4.14) \\ S_n \leq 3 \bar{S}_m & (3.4.15) \end{cases}$$

ただし、次の (3.4.16) 及び (3.4.17) 式を満足する場合は、(3.4.15) 式を満足することを要しない。

$$\begin{cases} S_n \leq \beta_S (3 \bar{S}_m) & (3.4.16) \\ S_n^* \leq 3 \bar{S}_m & (3.4.17) \end{cases}$$

ここに

$$S_n^* = \langle P_L^* + P_b^* + Q^* \rangle_R \quad (3.4.18)$$

$$S_n = \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* \rangle_R \quad (3.4.19)$$

$$S_n^* = \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* - Q_{Tb} - Q_{Tb}^* \rangle_R \quad (3.4.20)$$

S_{mH} : 考えている負荷サイクル中の最高金属温度に対して別表 1.2 (別図 1.2) に定める値 (kg/mm²)

β_S : 進行性ひずみの防止に係わる設計係数であって、 $\beta_S = 2.5$ とする。

(3.4.15), (3.4.16) 及び (3.4.17) 式における $3 \bar{S}_m$ は次のイ) 又はロ) のいずれかにより定めるものとする。

イ) 考えている負荷サイクルにおいて S_n を定める応力状態のひとつにおける金属温度 T_C が告示の適用温度範囲内にある場合

$$3 \bar{S}_m = S_{rH} + 1.5 S_{mc} \quad (3.4.21)$$

S_{mc} : 温度 T_C に対して告示別表第 2 に定める値 (kg/mm²)

ロ) 考えている負荷サイクルにおいて S_n を定める応力状態のいずれにおける金属温度も告示の適用温度範囲を超える場合

$$3 \bar{S}_m = S_{rH} + S_{rc} \quad (3.4.22)$$

(3.4.21) 及び (3.4.22) 式における S_{rH} は 3.4.2(2)1) に定めるところによるものとする。

(3.4.22) 式における S_{rc} は次に定める温度 T_s 及び時間 t_s に対して別表 1.7 (別図 1.7) に定める値 (kg/mm²) とする。

T_s : S_n を定める 2 つの応力状態のうち、いずれか定常状態の温度との差が大きい方の温度 (°C)

t_s : 考えている負荷サイクル内において温度が T_s になってから定常状態の温度に復帰するまでの時間又は告示の適用温度範囲内の温度に到達するまでの時間のうちいずれか短い方の時間 (hr)

ただし、(3.4.18) 式は地震のみによる応力範囲に適用するものとし、(3.4.19) 式によって S_n を算定する時は、 S_n^* に該当する応力強さ範囲を除外するものとする。その他の記号の意義は次に定めるところによる。

P_L, P_L^*, P_b, P_b^* : 3.2.3(1)2) に定めるところによる。ただし別表 2.3 注 2) による P_L 及び P_b を含む。

Q : 長期 2 次応力 (kg/mm²)。ただし別表 2.3 注 2) により P_L 又は P_b とするものを除く。

Q^* : 短期 2 次応力 (kg/mm²)

Q_{Tb} : 長期熱曲げ応力 (kg/mm²)。ただし別表 2.3 注 2) により P_b とするものを除く。

Q_{Tb}^* : 短期熱曲げ応力 (kg/mm²)

(8) クリープ効果が顕著でない場合

1) 「クリープ効果が顕著でない場合」とは次の a) 及び b) の条件を満足する場合をい
う。

$$a) 2 \sum_i \frac{t_i}{t_{di}} \leq 0.1 \quad (3.4.23)$$

t_i : 金属温度 T_i における累積使用時間 (hr)。 $\sum t_i$ は 1.2.1(2) に定める高
温使用時間を下回ってはならない。

t_{di} : 温度 T_i に対して別表 1.2 (別図 1.2) に定める値の 1.5 倍の応力
(これを $1.5 S_m |_{T_i}$ とする。) に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める
許容時間 (hr)。 $1.5 S_m |_{T_i}$ が別表 1.5 (別図 1.5) において許容時
間が与えられている応力値を超える場合は本条件は満足されない。

$$b) \sum_i \epsilon_i \leq 0.002 \quad (3.4.24)$$

ϵ_i : 金属温度 T_i における累積使用時間 t_i の全期間において、応力が T_i
に対して別表 1.2 に定める値の 1.5 倍の値であるとして定めるクリー
プひずみであって、別図 1.11 により定めるものとする。 $\sum t_i$ は
1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回ってはならない。

2) クリープ効果が顕著でない場合は、次の a) 及び b) の制限を満足することによ
り、3.4.2(1) の規定に適合するものとすることができる。

a) 告示第 13 条第 1 項第 1 号へに定めるところ。ただし、「容器」、「運転状
態 I 及び運転状態 II」、「別表第 9」及び「別表第 2」をそれぞれ「機器」、「運
転状態 I, II, III 及び試験状態」、「本方針別表 1.4 又は告示別表第 9」及び
「本方針別表 1.2 又は告示別表第 2」に読み替えるものとする。

b) 3.4.2(2)3) b) に定めるところ。ただし、この場合は 2 次応力に関する弾性追
従の判定を要しない。

3.4.3 運転状態 IV に関する制限

運転状態 IV の短期荷重が繰返し性を有する場合は進行性変形に注意しなければな
らない。弾性解析により、次の(1)及び(2)を満足する場合は進行性変形は防止される
とすることができる。

$$(1) S_n^* \leq \beta_S (3 S_{mH}) \quad (3.4.25)$$

ここに用いる記号の意義はすべて 3.4.2(2)3) に定めるところによる。

(2) 次に定める X_S 及び Y_S による点 (X_S, Y_S) が図 3.4.1 において、E, S_1 ,
 S_2 又は P 領域にあること。

$$\begin{cases} X_S = \langle P_L + P_b \rangle / (1.5 S_{mH}) & (3.4.26) \\ Y_S = S_n^* / (1.5 S_{mH}) & (3.4.27) \end{cases}$$

ここに用いる記号の意義はすべて 3.4.2(2)3) に定めるところによる。

3.5 クリープ疲労損傷の制限

3.5.1 適用範囲

- (1) 3.5 の規定は運転状態 I, II, III 及び試験状態に対して適用するものとする。
- (2) 使用中の金属温度が告示の適用温度範囲を超える場合は、原則としてクリープ
疲労解析を行うものとする。
- (3) 弾性解析により、3.5.3 の規定を適用する場合、3.5.3(1), (2) 又は(3)の規定は
それぞれ 3.4.2(1)2), (2) 又は(3)の規定を満足する場合に適用することができる。こ
こに、(3.4.1) 式の適用において左辺第 2 項の対象とする応力から壁厚方向温
度分布による 2 次応力を除外することによりこれに適合する場合は、3.4.2(1)2)
a) の規定を満足するものとみなすことができる。

3.5.2 一般規定

(1) 累積疲労損傷係数 D_f と累積クリープ損傷係数 D_C の和を次式により制限する。

$$D_f + D_C \leq D \quad (3.5.1)$$

D : 累積クリープ疲労損傷係数の制限値であって、付録 C により定めるも
のとする。

(2) 累積疲労損傷係数 D_f は次式により定めるものとする。

$$D_f = \sum_i \frac{n_i}{N_{di}} \quad (3.5.2)$$

n_i : サイクル中の最高金属温度が T_i 、相当ひずみ範囲が ϵ_{ii} であるひず
みサイクルの繰返し回数

N_{di} : 温度 T_i 、相当ひずみ範囲 ϵ_{ii} に対して別表 1.11 (別図 1.8) から
別表 1.13 (別図 1.10) に定める許容繰返し回数。考えているひずみ
サイクルの繰返しひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ により、次のように適用する別表
(別図) を定めるものとする。

繰返しひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ (mm/mm/sec)	別表 (別図)
10^{-3} 以上	別表 1.11 (別図 1.8)
10^{-6} 以上	別表 1.12 (別図 1.9)
任意	別表 1.13 (別図 1.10)

(8) 累積クリープ損傷係数 D_c は次の方式により定めるものとする。

$$D_c = 2 \int_0^{t^*} \frac{dt}{T_d} \quad (3.5.3)$$

t^* : 1.2.1(2)に定める高温使用時間を下回らない時間 (hr)

T_d : 各時刻における相当応力及びその時刻における金属温度に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)

3.5.3 弾性解析による場合

(1) 一般規定

1) 累積疲労損傷係数 D_f 及び累積クリープ損傷係数 D_c の和を (3.5.1) 式により制限する。

2) 累積疲労損傷係数 D_f は (3.5.2) 式により定めるものとする。ただし、告示の適用温度範囲内のひずみサイクルにあっては、告示の該当条項に定めるところにより、「疲れ累積係数」を算定し、これを D_f に加算するものとする。

ひずみ範囲 ϵ_i は次の a) から f) により定めるものとする。ただし、告示の適用温度範囲内のひずみサイクルは除外するものとする。

a) 設計仕様書において特定の負荷順序が規定されている場合は、その負荷順序によりひずみ範囲及びその繰返し回数を算定するものとする。

設計仕様書において事象の発生回数のみが規定されている場合は、各事象について応力解析を行った後、次のイ) からロ) に定める組合せ法により、ひずみ範囲及びその繰返し回数を定めるものとする。

イ) 各事象間のすべての組合せの中から最大のひずみ範囲 ϵ_{11} を与える組合せを選定し、その繰返し回数 n_1 を定める。

ロ) 与えられた事象の発生回数からイ) の組合せに消費した回数を差引いた残余の発生回数について、各事象間のすべての組合せの中から最大のひずみ

範囲 ϵ_{11} を与える組合せを選定し、その繰返し回数 n_1 を定める。

ハ) 以下同様にして、与えられた発生回数を完全に消費するまで順次 ϵ_{11} 及び n_1 を定める。

ビ) 上記 a) に定める評価すべきひずみサイクルについて、ひずみ範囲を定める 2 つの極値状態が生じる時点 1 及び 2 を適切に選定する。

シ) 評価すべきひずみサイクルの時点 k ($k=1$ 又は 2) における公称ひずみ ϵ_n^k を (3.5.4) 及び (3.5.5) 式により定めるものとする。(時点 k における状態を上つき添字 k を付して表わす。)

$$\epsilon_n^k = \epsilon_p (\epsilon_p^k \cdot \sigma_{LC}^k) + E^{-1} \cdot (\sigma_{LC}^k + \sigma_{SC}^k) \quad (3.5.4)$$

$$\epsilon_p^k = \epsilon_0 \cdot \langle \sigma_{LC}^k \rangle - \langle \sigma_{LC}^k \rangle / E \quad (\epsilon_p^k \geq 0) \quad (3.5.5)$$

(3.5.4) 及び (3.5.5) 式における関数記号の意義は次に定めるところによる。

$\epsilon_p (\epsilon_p, \sigma)$: 相当塑性ひずみ ϵ_p 、応力 σ に対して全ひずみ理論により算定する塑性ひずみ (テンソル)

$\epsilon_0 \cdot \langle \sigma^k \rangle$: 時点 k における金属温度において、応力強さを $\langle \sigma^k \rangle$ とするとき、別図 1.1.1 に定める 0 hr の等時応力-ひずみ曲線により定められる全ひずみ

その他の記号の意義は次に定めるところによる。

σ_{LC} : 荷重制御型応力 (kg/mm²)。荷重制御型応力とは長期及び短期の 1 次一般膜応力、1 次局部膜応力、1 次曲げ応力及び多量の弾性追従を伴う 2 次応力をいう。

σ_{SC} : 弾性追従を伴わない 2 次応力 (kg/mm²)。若干の弾性追従を伴う 2 次応力にあっては、適切な補正を加えることにより、基本的には σ_{SC} と同等に取り扱うことができる。

E : 時点 k における金属温度に対して別表 1.8 に定める値 (kg/mm²)

E : 上記 E 及び時点 k における金属温度に対して別表 1.9 に定めるポアソン比により定める弾性係数テンソル

ド) 時点 1 と時点 2 の間における相当公称ひずみ範囲 $\Delta \epsilon_{eq}$ を次の方法により定める。

- イ) $\epsilon_p^1 = 0$ のとき: $\Delta\epsilon_{eq} = (\epsilon_n^2 - \epsilon_n^1)_{eq}$ (3.5.6)
 ロ) $\epsilon_p^1 > 0$ のとき: 時点1から時点2への応力の変化(負荷又は除荷)に基づき、適切な方法により $\Delta\epsilon_{eq}$ を定めるものとする。ロ)の場合に対して(3.5.6)式を用いることができる。

記号 $(\epsilon)_{eq}$ の意義はひずみ ϵ ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$) に対して次式により定めるものとする。

$$(\epsilon)_{eq} = (\sqrt{2}/3) \{ (\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + (3/2)(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \}^{1/2} \quad (3.5.7)$$

ただし、 ϵ_n^2 の主ひずみ ($\epsilon_1^2, \epsilon_2^2, \epsilon_3^2$) の方向が ϵ_n^1 の主ひずみ ($\epsilon_1^1, \epsilon_2^1, \epsilon_3^1$) の方向と同一であって、その間に主ひずみ方向の回転がない場合は次式により $\Delta\epsilon_{eq}$ を定めることができる。

$$\Delta\epsilon_{eq} = (\sqrt{2}/3) \{ [(\epsilon_1^2 - \epsilon_2^2) - (\epsilon_1^1 - \epsilon_2^1)]^2 + [(\epsilon_2^2 - \epsilon_3^2) - (\epsilon_2^1 - \epsilon_3^1)]^2 + [(\epsilon_3^2 - \epsilon_1^2) - (\epsilon_3^1 - \epsilon_1^1)]^2 \}^{1/2} \quad (3.5.8)$$

- エ) 時点1と時点2の間における公称ひずみ範囲 ϵ_n を次式により定める。

$$\epsilon_n = \frac{1.5}{1+\nu} \Delta\epsilon_{eq} \quad (3.5.9)$$

ν : 時点1及び時点2の金属温度に対して、別表1.9に定める値の平均値。告示の適用温度範囲の金属温度に対しては $\nu = 0.3$ とする。

- イ) ひずみ範囲 ϵ_i を次の方法により定める。

$$\epsilon_i = (S^*/\bar{S}) K^* \epsilon_n + K \epsilon_c + K_T \epsilon_F \quad (3.5.10)$$

ϵ_n : 3.5.3(1)2)エ)に定めるところによる。

ϵ_c : 長期荷重制御型応力により考えているひずみサイクルにおいて生じる相当クリープひずみ。 ϵ_c は考えているひずみサイクルにおける最大長期荷重制御型応力強さ、最高金属温度及び経過時間に対して別図1.11に定める等時応力-ひずみ曲線における該当曲線と0hrの曲線の間のひずみ差として定めることができる。

ϵ_F : 考えているひずみサイクルにおけるピーク熱ひずみ範囲であって、ピーク熱応力強さ範囲に基づき、修正ポアソン比を用いて算定するものとする。

ϵ_F の算定に用いる修正ポアソン比 $\bar{\nu}$ は次のとおりとする。

$$\bar{\nu} = 0.5 - (0.5 - \nu) \cdot (3\bar{S}_m / (E\epsilon_{in})) \quad (\bar{\nu} \geq \nu) \quad (3.5.11)$$

ν : 考えているひずみサイクル中の最高金属温度に対して別表1.9に定める値

$3\bar{S}_m$: 考えているひずみサイクルに対して(3.4.21)又は(3.4.22)式により定める値 (kg/mm^2)

E : 考えているひずみサイクル中の最高金属温度に対して別表1.8に定める値 (kg/mm^2)

ϵ_{in} : 考えているひずみサイクルの繰返し回数 n_1 に対して当該ひずみサイクル中の最高金属温度において N_{d1} の算定に用いる別表(別図)に定める許容ひずみ範囲

K : 弾性解析に基づくピーク応力強さと1次及び2次応力強さの比により定める応力集中係数

K_T : ピーク熱ひずみに関する弾性応力集中係数

S^* 及び \bar{S} は次式により定めるものとする。

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_n \leq S_{rH}/E \text{ のとき } S^* = E\epsilon_n \end{array} \right. \quad (3.5.12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_n > S_{rH}/E \text{ のとき } S^* = S(\epsilon_n - S_{rH}/E) + S_{rH} \end{array} \right. \quad (3.5.13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K\epsilon_n \leq S_{rH}/E \text{ のとき } \bar{S} = KE\epsilon_n \end{array} \right. \quad (3.5.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K\epsilon_n > S_{rH}/E \text{ のとき } \bar{S} = S(K\epsilon_n - S_{rH}/E) + S_{rH} \end{array} \right. \quad (3.5.15)$$

$S(x)$: 考えているひずみサイクル中の最高金属温度において、ひずみ x に対して別図1.11の0hrの等時応力-ひずみ曲線により定める応力 (kg/mm^2)

S_{rH} : 3.4.2(2)1)に定めるところによる。

E : 3.5.3(1)2)イ)に定めるところによる。

ただし(3.5.10)式において右辺第1項を次式により定める ϵ_M に置換えることができる。

$$\epsilon_M = \epsilon_0(S) + S_{rH}/E \quad (3.5.16)$$

ここに応力強さ S (kg/mm^2) は次の方程式の解である。

$$(S + S_{rH}) \{ \epsilon_0(S) + S_{rH}/E \} = S^* K^* \epsilon_n \quad (3.5.17)$$

(3.5.16)及び(3.5.17)式における記号 $\epsilon_0(\dots)$ の意義は3.5.3(1)

2) e) に定めるところによる。その他の記号は 3.5.3(1)2) f) に定めるところによる。

3) 累積クリープ損傷係数 D_c は次の方式により定めるものとする。

$$D_c = D_{CN} + D_{CP} \quad (3.5.18)$$

ここに D_{CN} は 1 次及び 2 次応力に伴うクリープ損傷係数を意味し、 D_{CP} はピーク応力に伴うクリープ損傷係数を意味する。

D_{CN} 及び D_{CP} は、それぞれ次の a) 及び b) により定めるものとする。

$$a) D_{CN} = \sum_k (D_{CN})_k \quad (D_{CN} \geq 0.1) \quad (3.5.19)$$

ここに $(D_{CN})_k$ はひずみサイクル k における 1 次及び 2 次応力に伴うクリープ損傷係数であって、次の 1) から ~) により定めるものとする。

1) ひずみサイクル k の最高及び最低壁厚平均金属温度に対して別表 1.4

(別図 1.4) に定める値の平均値 (kg/mm^2) を $S_y|_k$ とする。

2) ひずみサイクル k の各時刻における応力強さ $\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* \rangle$ を算定する。

3) ひずみサイクル k の任意の時刻において

$$\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* \rangle \leq S_y|_k \quad (3.5.20)$$

が満足される場合は S_k を次式により定める。

$$S_k = \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* \rangle \quad (3.5.21)$$

4) ~) 以外の場合は次式により S_k を定める。

$$S_k = \text{Min}[1.25 S_y|_k, \text{Max}[\langle P_m \rangle + 0.5 \langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* + Q + Q^* \rangle_R, \langle P_L + P_b + Q \rangle]] \quad (3.5.22)$$

記号 $\text{Max}[x, y]$ は x 又は y のいずれか大きい方の値を表わすものであり、以下本方針においてこの定義により本記号を用いる。

5) ~) 又は 4) により定める S_k が付録 D により定める応力水準 S_g (kg/mm^2) を下回る場合は $S_k = S_g$ とする。

6) ~), 4) 及び 5) により定める S_k に対して、別表 1.5 (別図 1.5) により使用分数を定め、これに係数 2.0 を乗じることにより、 $(D_{CN})_k$ を定める。ここに ~) 及び 5) により定める S_k に関して、(3.5.3) 式により $(D_{CN})_k$ を定めることができる。この場合は i^* をひずみサイクル k における高温使

用時間 (hr) に読み替えるものとする。

$$b) D_{CP} = \sum_k (n_k D_k^{**}) \quad (3.5.23)$$

n_k : ひずみ範囲が ϵ_{ik} であるひずみサイクル k の繰返し回数。 ϵ_{ik} は 3.5.3(1)2) に定めるところによる。

D_k^{**} はひずみサイクル k のひずみ範囲 ϵ_{ik} に対するクリープ損傷係数であって、付録 F により定めることができる。

(2) 長期 1 次応力が低い場合

1) 「長期 1 次応力が低い場合」の定義は 3.4.2(2)1) に定めるところによる。

2) 長期 1 次応力が低い場合は 8) に定める累積疲労損傷係数 D_f 及び 4) に定める累積クリープ損傷係数 D_c の和を (3.5.1) 式により制限する。

3) 累積疲労損傷係数 D_f は (3.5.2) 式により定めるものとする。ただし、ひずみ範囲 ϵ_i は次の a) から d) により定めるものとする。

a) 評価すべきひずみサイクルを 3.5.3(1)2) a) により定める。

b) 評価すべきひずみサイクルのひずみ範囲を定める 2 つの極値状態を適切に選定する。

c) 3.4.2(2)3) b) に定めるところにより両極値状態間の 1 次及び 2 次応力強さ範囲 S_n 又は S_n^* を算定する。

d) ひずみ範囲 ϵ_i の算定

1) 公称ひずみ範囲 ϵ_n を次式により定める。

$$\epsilon_n = \frac{S_n}{E} \quad \text{又は} \quad \epsilon_n = \frac{S_n^*}{E} \quad (3.5.24)$$

S_n, S_n^* : 考えているひずみサイクルに対して 3.5.3(2)3) c) により定める 1 次及び 2 次応力強さ範囲 (kg/mm^2)

E : 3.5.3(1)2) f) に定めるところによる。

2) ひずみ範囲 ϵ_i を次式により定める。

$$\epsilon_i = K_\epsilon \epsilon_n + K_T \epsilon_F \quad (3.5.25)$$

ϵ_n : 1) に定める公称ひずみ範囲

K_ϵ : ひずみ集中係数

ϵ_F, K_T : 3.5.3(1)2) f) に定めるところによる。

へ) K_E は次式により定めるものとする。

$$\begin{cases} S_n \leq 3\bar{S}_m \text{ のとき } K_E = (S^*/\bar{S})K^* & (3.5.26) \\ S_n > 3\bar{S}_m \text{ のとき } K_E = \text{Max}[(S^*/\bar{S})K^*, KK'_e] & (3.5.27) \end{cases}$$

$$K'_e = 1 + (q-1)\{1 - (3\bar{S}_m/S_n)\}, q=3.0 \quad (3.5.28)$$

S^* 及び \bar{S} は、(3.5.12)式から(3.5.15)式により定めるものとする。

ただし、これらの式における ϵ_n 及び E は 3.5.3(2)3)d)イ) に定めるところによるものとする。

ϵ_n を S_n^* によって定める場合は(3.5.26)式において、 S_n を S_n^* に、 $3\bar{S}_m$ を $3\bar{S}_{mH}$ に読み替え、(3.5.12)式から(3.5.15)式において S_{rH} を $1.5\bar{S}_{mH}$ に読み替えるものとする。

その他の記号の意義は次のとおり。

S_n, S_n^* : 3.5.3(2)3)d)イ) に定めるところによる。

$3\bar{S}_m, \bar{S}_{mH}$: 3.4.2(2)3)b) に定めるところによる。

K : 3.5.3(1)2)f) に定めるところによる。

4) 累積クリープ損傷係数 D_C は(3.5.18)式により定めるものとする。ただし、 D_{CN} 及び D_{CP} はそれぞれ次の a) 及び b) により定めるものとする。

$$a) D_{CN} = D_{C1} + D_{C2} \quad (D_{CN} \geq 0.1) \quad (3.5.29)$$

D_{C1} 及び D_{C2} はそれぞれ次のイ) 及びロ) により定めるものとする。

$$i) D_{C1} = 2 \sum_i \frac{t_i}{t_{di}^*} \quad (3.5.30)$$

t_i : 金属温度 T_i における累積使用時間 (hr)。 $\sum_i t_i$ は 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回ってはならない。

t_{di}^* : 温度 T_i において応力強さ S_g に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)。 S_g は 3.4.2(2)1) に定めるところによる。

$$ロ) D_{C2} = (1 + n^*) D^* \quad (3.5.31)$$

ここに n^* は次の条件を満足しないひずみサイクルの回数である。

$$S_n \leq 3\bar{S}_m \quad (3.5.32)$$

$$3\bar{S}_m = 3\bar{S}_m + S_g - S_{rH} \quad (3.5.33)$$

$S_n, 3\bar{S}_m, S_g, S_{rH}$: 3.4.2(2) に定めるところによる。

D^* は 1 次及び 2 次応力に関する緩和クリープ損傷係数であって、付録 E

により定めることができる。

b) D_{CP} は 3.5.3(1)3)b) に定めるところによる。ただし、 ϵ_{1x} は 3.5.3(2)3) に定めるところによる。

(3) クリープ効果が顕著でない場合

1) 「クリープ効果が顕著でない場合」の定義は 3.4.2(3)1) に定めるところによる。

2) クリープ効果が顕著でない場合は、3) に定める累積疲労損傷係数 D_f 及び 4) に定める累積クリープ損傷係数 D_C の和を次式により制限する。

$$D_f + D_C \leq 1.0 \quad (3.5.34)$$

3) 累積疲労損傷係数 D_f は 3.5.3(2)3) に定めるところにより算定するものとする。

4) 累積クリープ損傷係数 D_C は(3.5.18)式により定めるものとする。ただし、 D_{CN} 及び D_{CP} はそれぞれ次の a) 及び b) により定めるものとする。

a) $D_{CN} = 0.2$

b) D_{CP} は 3.5.3(2)4)b) に定めるところにより算定するものとする。

4. 容器の設計方針

4.1 適用範囲

高速原型炉第1種容器について解析による設計を行う場合は、3.に定める一般設計方針及び4.に定めるところを満足するものとする。

4.2 穴と補強

4.2.1 穴の制限

容器に穴を設ける場合は次の規定によるものとする。

- (1) 告示第17条第1項第3、4及び5号の制限を満足し、かつ4.2.3に定めるところにより穴を補強すること。
- (2) 穴の周辺部について応力解析を行い、3.2の制限を満足する場合は、4.2.1(1)の規定によることを要しない。
- (3) 円形の穴であって、告示第17条第3項第1、2、3及び4号の規定に適合する場合は、4.2.1(1)及び(2)の規定にかかわらず、穴の補強をすることを要しない。

4.2.2 1次応力の制限に関する解析の免除

4.2.1(1)又は(3)の規定を満足する穴にあっては、穴の周辺部について1次応力の制限に関する解析を行うことを要しない。

4.2.3 穴の補強

穴を補強する場合は告示第17条第4項に定めるところによるものとする。

ただし、同項第1号ロ及びハに定める「1次一般膜応力強さに基づいて要求される厚さ」及び「1次一般膜応力強さ又は1次膜応力と1次曲げ応力を加えて求めた応力強さのいずれか大きい方に基づいて要求される厚さ」は本方針3.2.3(1)に定めるところにより算定するものとする。又、同項第3号に定める「別表第1.2」を本方針の「別表1.10」に、同項第6及び7号に定める「別表第2」を本方針の「別表1.1」にそれぞれ読み替えるものとする。

4.3 座屈の防止

- (1) 設計条件、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ及び試験状態において考えられる座屈様式（時間に依存する座屈を含む。）に関して別表2.4に定める安全係数により、座屈が

生じないことを示すものとする。

- (2) 外面に圧力を受ける容器にあっては、次の1)又は2)の付帯規定により、告示第13条第2項及び第19条の規定を満足するものとする。

- 1) 告示の適用温度範囲を超える金属温度にあっては、告示第13条第2項に定める「別表第2」を「別表1.2（別図1.2）」に、「別表第9」を「別表1.4（別図1.4）」にそれぞれ読み替えるものとする。
- 2) 告示第19条に定める容器の形状制限に関しては、該当する座屈様式に関して4.3(1)に定めるところによる場合は、これを満足することを要しない。
- (3) 軸方向の圧縮荷重及び（又は）曲げ荷重を受ける容器にあっては、時間に依存しない座屈に関して付録Gにより4.3(1)に適合することができる。

5. 管の設計方針

5.1 設計の方法

高速原型炉第1種管について応力係数による弾性解析を用いて設計を行う場合は5.0の規定によるものとする。

高速原型炉第1種管について5.0の規定によらず、「4.容器の設計方針」により設計を行うことができる。ただし、この場合は運転状態に関する1次応力の制限を適用する時に、熱膨張応力に関して弾性追従の判定を行い、熱膨張応力を1次応力又は2次応力のいずれかに定めるものとする。

5.2 1次応力の制限

5.2.1 適用範囲

5.2の規定は設計条件、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ及び試験状態に対して適用するものとする。

5.2.2 設計条件に関する制限

設計条件に関して次の(1)及び(2)の制限を満足しなければならない。

$$(1) \quad t_m \geq \frac{P_d D_o}{200 S_o + 0.8 P_d} + a \quad (5.2.1)$$

t_m : 管の最小厚さ (mm)

S_o : 最高使用温度に対して別表1.1 (別図1.1)に定める値 (kg/mm²)。

ただし、最高使用温度が告示の適用温度範囲にある場合は S_o を告示別表第6に定める値に読み替えるものとする。

P_d : 最高使用圧力 (kg/cm²g)

D_o : 管の外径 (mm)

a : くされ代 (mm)。液体ナトリウム接液面のくされ代は付録Aにより定めることができる。

$$(2) \quad \frac{B_1 P_d D_o}{200 t} + \frac{B_2 D_o M_1}{2 I} + \frac{|F_d|}{A} \leq 1.5 S_o \quad (5.2.2)$$

B_1, B_2 : 告示第48条に定める応力係数

t : 管の厚さ (mm)

I : 管の断面2次モーメント (mm⁴)

M_1 : 自重によるモーメント (kg·mm)

F_d : 自重による軸力 (kg)

A : 管の断面積 (mm²)

S_o, P_d, D_o : 5.2.2(1)に定めるところによる。

5.2.3 運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ及びⅣに関する制限

(1) 弾性追従の判定

1) 熱膨張応力に関して弾性追従の判定を行い、熱膨張応力を1次応力又は2次応力のいずれかに定めるものとする。

2) 弾性追従の判定に関して付録Bによることができる。

(2) 運転状態Ⅰ及びⅢに関する制限

運転状態Ⅰ及びⅢに関して次の1)及び2)の制限を満足しなければならない。

$$1) \quad \begin{cases} P_s^* \leq S_m & (5.2.3) \\ P_s \leq S_t & (5.2.4) \end{cases}$$

$$P_s^* = \text{Max} \left[\frac{B_1 P D_o}{200 t}, \frac{B_1 P D_o}{200 t} + \frac{|F_s + F_s^*|}{A} \right] \quad (5.2.5)$$

$$P_s = \text{Max} \left[\frac{B_1 P D_o}{200 t}, \frac{B_1 P D_o}{200 t} + \frac{|F_s|}{A} \right] \quad (5.2.6)$$

S_m, S_t : 3.2.3(1)1)に定めるところによる。

B_1 : 応力係数。曲管又はエルボに関して、

$$B_1 = \frac{2R-r}{2(R-r)} \quad (5.2.7)$$

とし、その他の配管要素に関しては、 $B_1 = 1.0$ とする。ここに R は曲管又はエルボの曲げ半径 (mm)、 r は管断面の平均半径 (mm) である。

P : 運転圧力 (kg/cm²g)

F_s : 自重、熱膨張及びアンカー点の熱変位による軸力 (kg)

F_s^* : 地震時の管の慣性動及びアンカー点の動的強制変位による軸力 (kg)

B_1, D_o, t, A : 5.2.2(2)に定めるところによる。

$$2) \begin{cases} \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0}{2I} (M_i + M_i^*) + \frac{|F_a + F_a^*|}{A} \leq K_s S_m & (5.2.8) \\ \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0 M_i}{2I} + \frac{|F_a|}{A} \leq K_t S_t & (5.2.9) \end{cases}$$

ここに

$$\begin{cases} K_t = 1 + k_s (1 - P_s / S_t) & (5.2.10) \\ k_s = \alpha_c (K_s - 1) & (5.2.11) \end{cases}$$

S_m, S_t, P, F_a, F_a^* : 5.2.3(2)1) に定めるところによる。

M_i : 自重によるモーメント (kg·mm)。ただし、熱膨張応力を1次応力とする場合は、熱膨張及びアンカー点の熱変位によるモーメントを加えるものとする。

M_i^* : 地震時の管の慣性動によるモーメント (kg·mm)

α_c : 3.2.3(1)2) に定めるところによる。

K_s : 断面形状係数 (厚さと外径の比が0.05以下の管断面に対して $K_s = 1.27$ とする。)

B_1, B_2, D_0, t, I, A : 5.2.2(2) に定めるところによる。

(3) 運転状態Ⅲに関する制限

運転状態Ⅲに関して次の1)及び2)の制限を満足しなければならない。

$$1) \begin{cases} P_s^* \leq 1.2 S_m & (5.2.12) \\ P_s \leq S_t & (5.2.13) \end{cases}$$

ここに用いる記号の意義はすべて5.2.3(2)1) に定めるところによる。

$$2) \begin{cases} \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0}{2I} (M_i + M_i^*) + \frac{|F_a + F_a^*|}{A} \leq 1.2 K_s S_m & (5.2.14) \\ \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0 M_i}{2I} + \frac{|F_a|}{A} \leq K_t S_t & (5.2.15) \end{cases}$$

ここに用いる記号の意義はすべて5.2.3(2)2) に定めるところによる。

(4) 運転状態Ⅰ, Ⅱ及びⅢにわたる制限

運転状態Ⅰ, Ⅱ及びⅢにわたって、使用分数に関する次の制限を満足しなければならない。

$$\begin{cases} \sum_i \frac{t_i}{t_{mi}} \leq B & (5.2.16) \\ \sum_j \frac{t_j}{t_{bj}} \leq 1.0 & (5.2.17) \end{cases}$$

t_i : 壁厚平均金属温度が T_i , 応力強さが $(P_s)_i$ である負荷状態 i の累積持続時間 (hr)。 $\sum_i t_i$ は1.2.1(2)に定める高温使用時間を下回ってはならない。

t_{mi} : 温度を T_i として t_i を定めた上記の応力強さに対して別表1.3 (別図1.3) に定める許容時間 (hr)

t_j : 壁厚平均金属温度が T_j , 応力強さが

$$\left\{ \frac{1}{K_t} \left(\frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0 M_i}{2I} + \frac{|F_a|}{A} \right) \right\}_j$$

である負荷状態 j の累積持続時間 (hr)。 $\sum_j t_j$ は1.2.1(2)に定める高温使用時間を下回ってはならない。

t_{bj} : 温度を T_j として t_j を定めた上記の応力強さに対して別表1.3 (別図1.3) に定める許容時間 (hr)

t_i 及び t_{mi} を定める応力強さを規定する記号はすべて5.2.3(2)1) に定めるところにより、 t_j 及び t_{bj} を定める応力強さを規定する記号はすべて5.2.3(2)2) に定めるところによる。Bは3.2.3(8)に定めるところによる。

(5) 運転状態Ⅳに関する制限

運転状態Ⅳに関して次の1)及び2)の制限を満足しなければならない。

$$1) \begin{cases} P_s^* \leq 2 S_m & (5.2.18) \\ P_s \leq 2 S_R / 3 & (5.2.19) \end{cases}$$

S_R : 3.2.3(4)1) に定めるところによる。

その他の記号の意義は5.2.3(2)1) に定めるところによる。ただしPは考えている負荷状態における過渡的内圧を含む内圧 (kg/cm² φ) とする。

$$2) \begin{cases} \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0}{2I} (M_i + M_i^*) + \frac{|F_a + F_a^*|}{A} \leq 2 K_s S_m & (5.2.20) \\ \frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0 M_i}{2I} + \frac{|F_a|}{A} \leq \frac{2}{3} K_t S_R & (5.2.21) \end{cases}$$

S_R, P : 5.2.3(5)1) に定めるところによる。

$S_m, B_1, B_2, D_0, t, K_s, M_1^*, F_a^*$: 5.2.3(2)2) に定めるところによる。

K_t : 5.2.3(2)2) に定めるところによる。ただし、(5.2.10)式における P_s は5.2.3(5)1) に定めるところによるものとし、同式右辺の S_t を $2 S_R/3$ に読み替えるものとする。

M_1 : 考えている負荷状態における自重によるモーメントを含む荷重制御型モーメント (kg・mm)。ただし、 M_1^* を除く。

F_a : 考えている負荷状態における自重及び熱膨張による軸力を含む荷重制御型軸力 (kg)。ただし、 F_a^* を除く。

(6) 運転状態 I, II, III 及び IV にわたる制限

運転状態 I, II, III 及び IV にわたって、使用分数に関する次の制限を満足しなければならない。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \frac{t_i}{t_{Ri}} \leq B_R \quad (5.2.22) \\ \sum_j \frac{t_j}{t_{Rj}} \leq 1.0 \quad (5.2.23) \end{array} \right.$$

t_i, t_j : 5.2.3(4) に定めるところによる。

t_{Ri} : 温度 T_i , 応力強さ $(1.5 P_s)_i$ に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)

t_{Rj} : 温度 T_j , 応力強さ

$$\left\{ \frac{15}{K_t} \left(\frac{B_1 P D_0}{200t} + \frac{B_2 D_0 M_1}{2I} + \frac{|F_a|}{A} \right) \right\}_j$$

に対して別表 1.5 (別図 1.5) に定める許容時間 (hr)

t_i 及び t_{Ri} を定める応力強さを規定する記号はすべて 5.2.3(5)1) に定めるところによる。 t_j 及び t_{Rj} を定める応力強さを規定する記号はすべて 5.2.3(5)2) に定めるところによる。 B_R は 3.2.3(5) に定めるところによる。

5.2.4 試験状態に関する制限

告示の適用温度範囲を超える試験状態に関しては 5.2.3(2), (4) 及び (6) に定める運転状態 II に関する制限を満足するものとする。

5.3 特別な応力制限

高速原型炉第 1 種管にあって、支圧荷重を受ける部分又は純せん断荷重を受ける部分にあっては、3.3 に定めるところによるものとする。

5.4 穴と補強

管に穴を設ける場合は告示第 5.1 条第 1 項及び第 2 項に定めるところによらなければならない。ただし、同条の次の規定はそれぞれ (1) 及び (2) に定めるとおり読み替えるものとする。

(1) 「第 1 項第 2 号イ」を次のとおり読み替える。

「穴の周辺部に対して本方針 4. を適用し、これに適合する場合」

(2) 第 2 項第 1 号に定める「第 4.9 条第 1 号」における S_m を S_{mi} に読み替える。ここに S_{mi} は 5.2.3(2)1) に定める S_m 及び S_t により定める $\text{Min} [S_m, S_t]$ (kg/mm²) である。

5.5 ひずみの制限

5.5.1 適用範囲

管について応力係数による弾性解析を用いて設計を行う場合は、5.5.2 及び 5.5.3 の規定を付帯規定として、3.4 の弾性解析による場合の規定を適用するものとする。

5.5.2 応力強さ及び応力強さ範囲

応力係数による場合は、3.4 における応力強さ及び応力強さ範囲を次に定めるところにより算定するものとする。

(1) (3.4.1) 式における応力強さ及び応力強さ範囲

$$\langle P_L + P_L^* + (P_b + P_b^*) / K_t \rangle = \frac{C_1 P D_0}{200t} + \frac{C_2 D_0}{2K_t I} (M_1 + M_1^*) + \frac{|F_a + F_a^*|}{A} \quad (5.5.1)$$

$$\langle Q + Q^* \rangle_R = \frac{C_2 D_0}{2I} (M_1^{**} + M_1^{**})_R + \frac{E_0 \alpha_0 |dT_1|}{2(1-\nu)} + (K_t - 1) \frac{C_1 P_0 D_0}{200t} + C_3 E_{ab} |\alpha_a T_a - \alpha_b T_b| \quad (5.5.2)$$

$$K_t = 1 + k_s \left(1 - \frac{C_1 P D_0}{200 t S_t} - \frac{|F_a|}{A S_t} \right) \quad (5.5.3)$$

$$k_s = \alpha_c (K_s - 1), \quad \alpha_c = 0.5, \quad K_s = 1.5 \quad (5.5.4)$$

C_1, C_2, C_3 : 告示第48条に定める応力係数

$D_0, t, I, A, P, M_1, M_1^*, F_a, F_a^*, S_t$: 5.2.3(2)に定めるところによる。

K_t' : 告示第48条備考(2)に定める係数K

P_0 : 運転圧力の変動範囲 (kg/cm^2)

M_1^{**} : 熱膨張及びアンカー点の熱変位によるモーメント ($\text{kg}\cdot\text{mm}$)。ただし、熱膨張応力を1次応力とする場合は(5.5.2)式における M_1^{**} を除外するものとする。

M_1^{***} : 地震時のアンカー点の動的強制変位によるモーメント ($\text{kg}\cdot\text{mm}$)

E_0 : 温度200℃に対して告示別表第11に定める値 (kg/mm^2)

α_0 : 温度200℃に対して別表1.10に定める瞬時熱膨張係数 ($\text{mm/mm/}^\circ\text{C}$)

ν : 考えている負荷サイクル中の最高金属温度に対して別表1.9に定める値。
告示の適用温度範囲内にあつては $\nu = 0.3$ とする。

ΔT_1 : モーメント等価線形温度分布を仮定した場合における管壁の内外面の温度差の変動範囲 ($^\circ\text{C}$)

$E_{ab}, \alpha_a, \alpha_b, T_a, T_b$: これらは結体的構造不連続又は材質的不連続による熱応力を表わすパラメータであつて、その意義は告示第46条第4号に定めるところによる。ただし、同号に定める「室温における」及び「別表第12」をそれぞれ「200℃における」及び「本方針別表1.10」に読み替えるものとする。

(5.5.2)式における(……)_Rは()内の値の最大変動範囲を表わすものであり、以下本方針においてこの定義により本記号を用いる。

(5.5.2)式において M_1^{**} を計算する場合は、考えている負荷サイクル中の最高壁厚平均金属温度における縦弾性係数 E_h を用いてモーメントを計算した後、これに E_c/E_h (E_c はその負荷サイクル中の最低壁厚平均金属温度における縦弾性係数) を乗じて算出するものとする。 E_h 及び E_c は当該温度に対して別表1.8又は告示別表第11に定める値 (kg/mm^2) とする。

(2) (3.4.4)式から(3.4.6)式における応力強さ及び応力強さ範囲

$$\langle P_L + (P_b/K_t) \rangle = \frac{C_1 P D_0}{200 t} + \frac{C_2 D_0 M_1}{2 K_t I} + \frac{|F_a|}{A} \quad (5.5.5)$$

$$\langle P_L^* + (P_b^*/K_t) \rangle = \frac{C_2 D_0 M_1^*}{2 K_t I} + \frac{|F_a^*|}{A} \quad (5.5.6)$$

$\langle Q + Q^* \rangle_R$: (5.5.2)式による。

ここに用いる記号の意義はすべて5.5.2(1)に定めるところによる。

(3) (3.4.12)式における応力強さ

$$\langle P_L + P_b \rangle = \frac{C_1 P D_0}{200 t} + \frac{C_2 D_0 M_1}{2 I} + \frac{|F_a|}{A} \quad (5.5.7)$$

ここに用いる記号の意義はすべて5.5.2(1)に定めるところによる。

(4) (3.4.14)式から(3.4.17)式における応力強さ範囲

$$S_n^* = \frac{C_2 D_0}{2 I} (M_1^* + M_1^{***})_R + \frac{1}{A} (F_a^*)_R \quad (5.5.8)$$

$$S_n = \frac{K_t' C_1 P_0 D_0}{200 t} + \frac{C_2 D_0}{2 I} (M_1 + M_1^* + M_1^{**} + M_1^{***})_R + \frac{E_0 \alpha_0 |\Delta T_1|}{2(1-\nu)} + C_3 E_{ab} |\alpha_a T_a - \alpha_b T_b| + \frac{1}{A} (F_a + F_a^*)_R \quad (5.5.9)$$

$$S_n' = \frac{C_1 P_0 D_0}{200 t} + \frac{C_2 D_0}{2 I} (M_1 + M_1^* + M_1^{**})_R + C_4 E_{ab} |\alpha_a T_a - \alpha_b T_b| + \frac{1}{A} (F_a + F_a^*)_R \quad (5.5.10)$$

C_4 : 告示第48条に定める応力係数

その他の記号の意義はすべて5.5.2(1)に定めるところによる。

(5.5.9)式において M_1^{**} を計算する場合は、(5.5.2)式における場合と同様に縦弾性係数に関する補正を行うものとする。

(5) (3.4.25)式から(3.4.27)式における応力強さ範囲

S_n^* : (5.5.8)式による。

$\langle P_L + P_b \rangle$: (5.5.7)式による。

5.5.3 補足規定

(1) 熱膨張応力に関する弾性追従ひずみ

3.4.2(1)2)の規定の適用に当って、熱膨張応力に関する弾性追従ひずみ ϵ_{EF} は付録Bにより定めることができる。 ϵ_{EF} は等価線形ひずみとする。ただし、熱膨張応力を1次応力とする場合は $\epsilon_{EF} = 0$ とする。

(2) 熱膨張応力強さ範囲の制限

3.4.2(2)3)b)の規定の適用に当って、(3.4.15)式を満足することを要しない場合の条件として、(3.4.16)及び(3.4.17)式を満足することに加えて、次の(5.5.11)式を満足しなければならない。

$$S_e \leq 3 \bar{S}_m \quad (5.5.11)$$

$$S_e = \frac{C_2 D_o}{2I} (M_{I''})_R \quad (5.5.12)$$

$3 \bar{S}_m$: 3.4.2(2)3)b)に定めるところによる。

$C_2, D_o, I, M_{I''}$: 5.5.2(1)に定めるところによる。

(8) 熱応力ラチェットの制限

- 1) 3.4.2(8)2)の規定の適用に当って、次の2)を満足する場合は、3.4.2(3)2)a)の制限を満足するものとすることができる。
- 2) 次に定める X_P 及び Y_P による点 (X_P, Y_P) が図3.4.1において、 E, S_1, S_2 又はP領域にあること。

$$X_P = \frac{P_s}{1.5 S_{mH}} \quad (5.5.12)$$

$$Y_P = \frac{1}{1.5 S_{mH}} \cdot \frac{E_o \alpha_o | \Delta T_1 |}{2(1-\nu)} \quad (5.5.13)$$

S_{mH} : 3.4.2(2)3)b)に定めるところによる。

P_s : 5.2.3(2)1)に定めるところによる。

$E_o, \alpha_o, \nu, \Delta T_1$: 5.5.2(1)に定めるところによる。

5.6 クリープ疲労損傷の制限

5.6.1 適用範囲

管について応力係数による弾性解析を用いて設計を行う場合は、5.6.2及び5.6.3の規定を付帯規定として、3.5の弾性解析による場合の規定を適用するものとする。

5.6.2 応力強さ範囲等

応力係数による場合は、3.5における応力強さ範囲等を、次に定めるところにより算定するものとする。

(1) (3.5.24)式における応力強さ範囲

S_n^* : (5.5.8)式により定める。

S_n : (5.5.9)式により定める。

(2) (3.5.25)式におけるピーク熱ひずみ範囲

$$\epsilon_F = \frac{E_o \alpha_o | \Delta T_2 |}{E(1-\nu)} \quad (5.6.1)$$

ΔT_2 : 壁厚方向温度分布とモーメント等価温度分布の間の最大温度差の変動範囲(°C)

E_o, α_o : 5.5.2(1)に定めるところによる。

E : 3.5.3(2)3)d)1)に定めるところによる。

ν : (3.5.11)式により定める。

5.6.3 補足規定

(1) 係数K及び K_T

(3.5.25)式におけるピーク熱ひずみ係数 K_T 及び(3.5.26)及び(3.5.27)式における応力集中係数Kは付録Hにより定めることができる。

5.7 座屈の防止

(1) 適用範囲

5.7の規定は設計条件、運転状態I, II, III, IV及び試験状態に適用するものとする。

5.7(8)及び(4)における場合の区分は5.5に定める場合の区分を準用するものとする。

5.7(2)~5.7(4)

(2) 一般規定

4.3の規定を準用するものとする。

(3) 長期1次応力が低い場合

1) 告示第49条第1項第2号に定めるところを満足すること。

2) 付録Gに適合すること。

(4) クリープ効果が顕著でない場合

5.7(3)に定めるところによる。

別 表

別表1(別図1) 材料強度基準等

別冊「高速原型炉高温構造設計方針材料強度基準等」に示す。

別表2 応力分類例等

<内 容>

別表2.1 応力分類の例

別表2.2 断面形状係数 K_s

別表2.3 2次応力 Q 、 Q^* の分類の例(長期1次応力が低い場合)

別表2.4 座屈に関する安全係数

別表2.1 応力分類の例

機器部材	応力評価位置	応力源	応力の種類	応力分類 ¹⁾
円筒殻又は球殻	板殻部	内圧	○一般膜応力	P_m Q
			○構造の中突断面内の一般膜応力からの偏差応力	
		軸方向温度分布	○膜応力 ○曲げ応力	Q Q
	鏡板又はフランジとの結合部	内圧	○膜応力 ○曲げ応力	P_L $Q^{2)}$
任意の殻又は鏡板	容器の全体に関する任意の断面	外力(外モーメント)又は内圧	○全体断面に対する平均として一般膜応力であって、中突断面に垂直な応力成分	P_m
			外力(外モーメント)	
	管台又は他の開口の近傍	外力(外モーメント)又は内圧	○局部膜応力 ○曲げ応力 ○ピーク応力(すみの丸み部)	P_L Q F
			任意の位置	殻と鏡板の間の温度差
血形鏡板又は円錐形鏡板	頂部	内圧	○膜応力 ○曲げ応力	P_m P_b
	ナックル部又は殻との結合部	内圧	○膜応力 ○曲げ応力	$P_L^{3)}$ Q

(続く)

機器部材	応力評価位置	応力源	応力の種類	応力分類 ¹⁾
平鏡板	中央部	内圧	○膜応力 ○曲げ応力	P_m P_b
	殻との結合部	内圧	○膜応力 ○曲げ応力	P_L $Q^{2)}$
多孔を有する鏡板又は殻	一様な孔配置の規則的リガメント	圧力	○(断面に対する平均としての)膜応力	P_m P_b
			○(肉厚方向には勾配を有するがリガメントの幅に対しては平均としての)曲げ応力	
	孔が孤立又は不規則に配置されたリガメント	圧力	○膜応力 ○曲げ応力 ○ピーク応力	F Q F F
管台	管台の軸に垂直な断面	内圧又は外力(外モーメント)	○管台の全体断面に対する平均として一般膜応力であって中突断面に垂直な応力成分	P_m
			外力(外モーメント)	
	管台の壁	内圧	○一般膜応力 ○局部膜応力 ○曲げ応力 ○ピーク応力	P_m P_L Q F
		熱膨張差	○膜応力 ○曲げ応力 ○ピーク応力	Q Q F

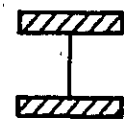
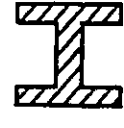
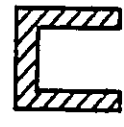
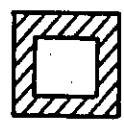
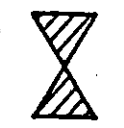
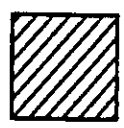


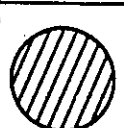

(続く)

機器部材	応力評価位置	応力源	応力の種類	応力分類 ¹⁾
任意	任意	壁厚方向温度分布	○等価線形応力	Q
			○等価線形応力からの偏差応力	F
任意	任意	任意	○応力集中 (切欠効果)	F

別表2.1の注

- 1) 本表の応力分類による2次応力Qは「3.4ひずみの制限」以降において、再分類しなければならない。
- 2) 鏡板又はフランジの1次応力評価において、この曲げ応力の寄与を計算に入れる場合は、この曲げ応力をP₀とすること。
- 3) 機器の直径と当該鏡板の厚さとの比が大きい場合は、しわ又は過大変形が発生しないように注意すること。
- 4) この分類例は管台のうち、4.2に定める補強に有効な範囲内のみで適用する。

別表2.2 断面形状係数 K_s

断面形状	K _s
フランジ 	1
—   	1 ~ 1.5
— 	1.33
中空矩形断面 	1.5
薄肉円筒断面 	1.27
厚肉円筒断面 	1.28 ~ 1.70
中空円断面 	1.7
— 	2.0

別表 2.3 2次応力 Q , Q^* の分類の例 (長期1次応力が低い場合)

機器部材	応力評価位置	応力源	応力の種類	応力分類 ¹⁾
円筒殻又は球殻	板殻部	内圧	◦ 構造の中実断面での一般膜応力からの偏差応力	Q_{Po} , Q_P^*
		軸方向温度分布	◦ 膜応力 ◦ 曲げ応力	Q_{mo} , Q_m^* Q_{TbEF} , Q_{Tb}^*
	鏡板又はフランジとの結合部	内圧	◦ 曲げ応力	Q_{bEF} , Q_b^*
任意の殻又は鏡板	管台又は他の開口の近傍	外力 (外モーメント) 又は内圧	◦ 曲げ応力	Q_{oEF} , Q_o^*
	任意の位置	殻と鏡板の間の温度差	◦ 膜応力 ◦ 曲げ応力	Q_{mEF} , Q_m^* Q_{TbEF} , Q_{Tb}^*
皿形鏡板又は円錐形鏡板	ナックル部又は殻との結合部	内圧	◦ 曲げ応力	Q_{bEF} , Q_b^*
平鏡板	殻との結合部	内圧	◦ 曲げ応力	Q_{bEF} , Q_b^*
多孔を有する鏡板又は殻	孔が孤立又は不規則に配置されたリガメント	圧力	◦ 膜応力	Q_{mo} , Q_m^*
管台	管台の軸に垂直な断面	内圧又は外力 (外モーメント)	◦ 管台の中実断面に関する曲げ応力	Q_{bEF} , Q_b^*
	管台の壁	内圧	◦ 曲げ応力	Q_{bEF} , Q_b^*
		熱膨張差	◦ 膜応力 ◦ 曲げ応力	Q_{mEF} , Q_m^* Q_{TbEF} , Q_{Tb}^*
任意	任意	壁厚方向温度分布	◦ 等価線形応力	Q_{Tbo} , Q_{Tb}^*

別表 2.3 の注

1) 応力分類記号の意義は次に定めるところによる。

a) 上つき記号・は短期2次応力を示し、記号・のなないものは長期2次応力である。Qは Q^* を含まない。

Q^* に関しては弾性追従を考慮しなくてよい。

b) Q に対する下つき添字 o は弾性追従を考慮しなくてよい長期2次応力を示し、下つき添字 EF は弾性追従を考慮すべき長期2次応力を示す。

c) 下つき添字 P は板殻部における内圧による2次応力を表わす。

d) 下つき添字 m は膜応力を表わし、下つき添字 b は曲げ応力を表わす。

e) 下つき添字 T は熱応力を特に区別する場合に付される。

2) Q_{mEF} 又は Q_{bEF} による弾性追従ひずみ ϵ_{mEF} 又は ϵ_{bEF} (これらは付録 B により定めることができる。) が 0.005 を超える場合は、3.4 以降において、 Q_{mEF} の場合は P_L 、 Q_{bEF} の場合は P_o としなければならない。

別表 2.4 座屈に関する安全係数

	荷重制御型座屈に関する 荷重の安全係数		ひずみ制御型座屈に関する ひずみの安全係数 ²⁾	
	時間に依存 しない座屈	時間に依存 する座屈	時間に依存 しない座屈	時間に依存 する座屈
設計条件	3.0	—	1.67	—
運転状態 I	3.0	1.5	1.67	1.0
運転状態 II	3.0	1.5	1.67	1.0
運転状態 III	2.5 ¹⁾	1.5	1.4	1.0
運転状態 IV	1.5	1.25	1.1	1.0
試験状態	2.25	—	1.67	—

別表 2.4 の注

- 1) 軸方向の圧縮荷重及び(又は)曲げ荷重による座屈に関しては安全係数を 2.0 とする。
- 2) 顕著な弾性追従が生じる可能性がある場合は、ひずみ制御型座屈に対しても荷重制御型座屈に関する安全係数を適用するものとする。

付 録

<内 容>

- 付録 A 環境効果の評価
- 付録 B 弾性追従の判定
- 付録 C 累積クリープ疲労損傷係数の制限値 D
- 付録 D 応力水準 S_g 及び倍率 g
- 付録 E 1 次及び 2 次応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^*
- 付録 F ピーク応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^{**}
- 付録 G 圧縮及び曲げ座屈の評価
- 付録 H 応力集中係数

付録A 環境効果の評価

A.1 ナトリウム環境効果

ナトリウム環境効果は別表1付録MA.1により評価することができる。

A.2 中性子照射効果

中性子照射効果は別表1付録MA.2により評価することができる。

付録B 弾性追従の判定

B.1 長期2次応力による弾性追従ひずみ $\epsilon_{EF}(Q_{EF})$

長期1次応力が低い場合にあっては、長期2次応力 Q_{EF} による弾性追従ひずみ $\epsilon_{EF}(Q_{EF})$ を表B.1により定めることができる。

B.1 長期2次応力による弾性追従ひずみ $\epsilon_{EF}(Q_{EF})$

応力分類	応力源	弾性追従ひずみ ϵ_{EF}		
		ϵ_{EF} の分類	大きさ	方向
Q_{mEF}	殼と鏡板の間の温度差 ΔT	膜ひずみ ϵ_{mEF}	$\alpha \Delta T $	円周方向
	熱膨張差 $\alpha_a T_a - \alpha_b T_b$	膜ひずみ ϵ_{mEF}	$ \alpha_a T_a - \alpha_b T_b $	円周方向
Q_{bEF}	-	等価線形ひずみ ϵ_{bEF}	1) 2) $q \cdot \epsilon_{bo}$	軸方向

注 1) $q=3.0$ とする。

2) ϵ_{bo} : Q_{bEF} に対する弾性軸方向曲げひずみ

B.2 熱膨張応力に関する弾性追従の判定

(1) 適用範囲

管の熱膨張応力に関する弾性追従の判定において、付録B.2に定めるところにより判定を行い、熱膨張応力を1次応力又は2次応力に定めることができる。

(2) 解析

1) 最高使用温度における管の熱膨張及びアンカー点の熱変位に関して通常の熱膨張解析を行う。これを解析Iとする。解析Iの結果、最大応力強さが生じた曲り管又はエルボの相当角変位 γ_1 を次の計算式により定める。

$$r_1 = \{ (\tau_{x1})^2 + (\tau_{y1})^2 + (\tau_{z1})^2 \}^{1/2} \quad (\text{B. 2.1})$$

τ_x, τ_y, τ_z : 直交座標系におけるエルボ両端の角変位成分

2) 解析 I の結果最大応力強さが生じた曲り管又はエルボのみについて、その撓性係数 k を

$$k^* = q/k \quad (\text{B. 2.2})$$

に変更し、解析 I と同様の解析を行う。これを解析 II とする。解析 II の結果から解析 I において最大応力強さが生じた曲り管又はエルボの相当角変位 r_{II} を次の計算式により定める。

$$r_{II} = \{ (\tau_{xII})^2 + (\tau_{yII})^2 + (\tau_{zII})^2 \}^{1/2} \quad (\text{B. 2.3})$$

(B. 2.2) 式における係数 q' は次式を満足する値でなければならない。

$$\frac{r_{II}}{r_1} \leq 0.2 q' \quad (\text{B. 2.4})$$

ただし、 q' は (B. 2.4) 式を満足するできるだけ小さい整数とする。

3) 弾性追従ひずみ ϵ_{EF} を次の計算式により定める。

$$\epsilon_{EF} = f G(\lambda) \frac{r_{II}}{\alpha_B} \quad (\text{B. 2.5})$$

f : ひずみ集中補正係数。 $f = 1.5$ とする。

$$\lambda = \frac{tR}{r^2}$$

t : 厚さ (mm)

R : 曲り管又はエルボの曲げ半径 (mm)

r : 管断面の平均半径 (mm)

$$G(\lambda) = \frac{r}{R} \left\{ 1.044 \lambda^{1/2} + 0.582 \left(\frac{r}{R} \right) \lambda^{3/2} \right\} \quad (\text{B. 2.6})$$

α_B : 曲り管又はエルボの曲り角

(3) 判定基準

熱膨張応力を除外すれば長期 1 次応力が低い場合であって、弾性追従ひずみ ϵ_{EF} が次の制限を満足する場合は、考えている管系の管台又は溶接部を除いた配管要素に関して、すべての運転状態及び試験状態において熱膨張応力を 2 次応力とする。

$$\epsilon_{EF} \leq 0.005 \quad (\text{B. 2.7})$$

付録 C 累積クリーブ疲労損傷係数の制限値 D

累積クリーブ疲労損傷係数の制限値 D は次により定めるものとする。

材 料

SUS304

SUS316

SUS321 伝熱管

2 1/2 Cr-1Mo (NT) 板

2 1/2 Cr-1Mo (NT) 伝熱管

図 C. 1 による。

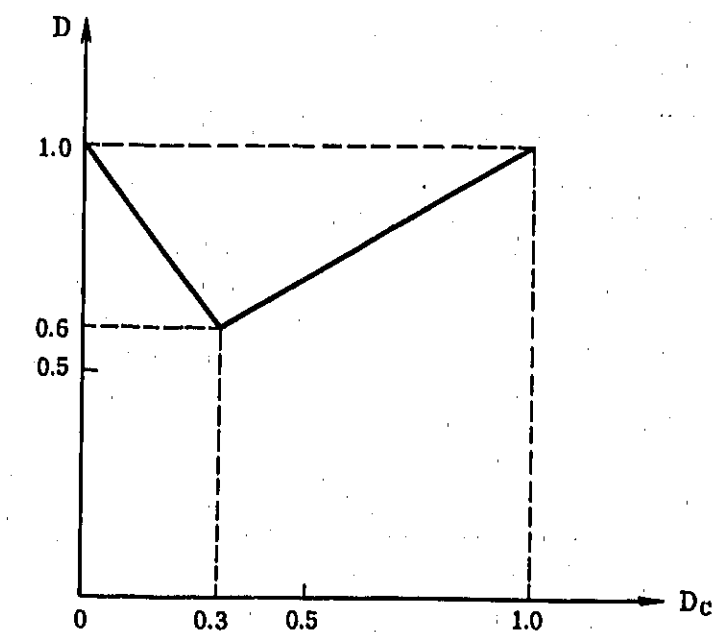


図 C. 1 累積クリーブ疲労損傷係数の制限値 D

付録D 応力水準 S_g 及び倍率 g

D.1 応力水準 S_g

応力水準 S_g (kg/mm^2) は次の計算式により定めるものとする。

$$S_g = \text{Min} [m_1 S_{rH} + n_1 - (m_2 S_{rH} + n_2) \log_{10} (t^*/10^5), 1.5 S_m] \quad (\text{D. 1.1})$$

S_{rH} : 3.4.2(2)1) に定めるところによる。

S_m : 運転状態 I, II, III 及び試験状態における最高金属温度に対して別表 1.2 (別図 1.2) に定める値 (kg/mm^2)

t^* : 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回らない時間 (hr)

m_1, n_1, m_2, n_2 : 表 D.1 に定めるところによる。

D.2 倍率 g

倍率 g は表 D.1 により定めるものとする。

表 D.1 係数 m_1, n_1, m_2, n_2 及び倍率 g

	m_1	n_1 (kg/mm^2)	m_2	n_2 (kg/mm^2)	g
SUS304	1.27	3.4	0.10	0.6	3.0
SUS316	1.09	4.0	0.08	1.0	3.0
SUS321 伝熱管	1.16	0.0	0.04	1.9	3.0
2 1/4 Cr-1 Mo (NT) 板	0.98	4.5	0.05	0.8	3.0
2 1/4 Cr-1 Mo (NT) 伝熱管	1.04	4.4	0.04	0.7	3.0

付録E 1次及び2次応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^*

長期1次応力が低い場合の1次及び2次応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^* は次の計算式により定めることができる。

$$T \leq T_{s1} \quad : \quad D^* = 0 \quad (\text{E. 1})$$

$$T_{s1} < T \leq T_{s2} \quad : \quad D^* = \frac{T - T_{s1}}{T_{s2} - T_{s1}} D_0 \quad (\text{E. 2})$$

$$T_{s2} < T \quad : \quad D^* = D_0 \quad (\text{E. 3})$$

$$D_0 = C_n (t^*)^{m_n} \quad (\text{E. 4})$$

$$T_{s1} = A_n - B_n \log_{10} (t^*/10^5) \quad (\text{E. 5})$$

$$T_{s2} = E_n - F_n D_0 \quad (\text{E. 6})$$

T : 考えている状態における最高金属温度 ($^{\circ}\text{C}$)

t^* : 1.2.1(2) に定める高温使用時間を下回らない時間 (hr)

$A_n, B_n, C_n, E_n, F_n, m_n$: 表 E.1 に定めるところによる。

表 E.1 係数 A_n, B_n, C_n, E_n, F_n 及び m_n

	SUS304	SUS316
A_n ($^{\circ}\text{C}$)	465	490
B_n ($^{\circ}\text{C}$)	38	36
C_n	8.5×10^{-5}	8.0×10^{-5}
E_n ($^{\circ}\text{C}$)	610	585
F_n ($^{\circ}\text{C}$)	2700	460
m_n	0.45	0.55

付録F ピーク応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^{**}

ピーク応力に関する緩和クリープ損傷係数 D^{**} は考えているひずみサイクルにおける評価点のひずみ範囲 ϵ_t 、金属温度履歴及び1.2.1(2)に定める高温使用時間に対して、次の(1)から(3)により定めることができる。

- (1) (3.5.10)又は(3.5.25)式により ϵ_t を定める場合にあって、係数Kにかかわる局部応力集中及びピーク熱応力のいずれも無視しうる場合は $D^{**}=0$ とする。
 (2) (3.5.10)又は(3.5.25)式により定める ϵ_t が次式を満足する場合は $D^{**}=0$ とする。

$$\epsilon_t \leq 3\overline{S_m} / E \quad (F.1)$$

$3\overline{S_m}$: 3.5.3(2)4 a)に定めるところによる。

E : 3.5.3(2)3 d)1)に定めるところによる。

- (3) (1), (2)のいずれにも該当しない場合は、次の(F.2)式から(F.9)式により D^{**} を定める。

$$D^{**} = D_p \left\{ (E\epsilon_t - 3\overline{S_m}) / 3\overline{S_m} \right\}^{n_p} \quad (F.2)$$

$$n_p = \left\{ -A_p / (T + 273.15) + B_p \right\}^{-1} \quad (F.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T \leq T_{p1} \quad : D_p = 0 \end{array} \right. \quad (F.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{p1} < T \leq T_{p2} \quad : D_p = \frac{T - T_{p1}}{T_{p2} - T_{p1}} D_{p0} \end{array} \right. \quad (F.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{p2} < T \quad : D_p = D_{p0} \end{array} \right. \quad (F.6)$$

$$D_{p0} = C_p (t^* + E_p)^{m_p} \quad (F.7)$$

$$T_{p1} = -F_p \log_{10} (H_p t^*) + G_p \quad (F.8)$$

$$T_{p2} = -F_p \log_{10} (20 t^* / 3) + G_p \quad (F.9)$$

ここに

- $3\overline{S_m}, E$: 付録F(2)に定めるところによる。
 t^* : 1.2.1(2)に定める高温使用時間を下回らない時間(hr)
 T : 考えている評価点の金属温度履歴に基づき定める温度(℃)。
 3.4.2(2)1)に定める S_{rH} 及び時間 t^* に対して別表1.7(別図1.7)により定める温度とすることができる。
 S_m : 温度Tに対し別表1.2(別図1.2)に定める値(kg/mm²)
 $A_p, B_p, C_p, E_p, F_p, G_p, H_p, m_p$: 表F.1に定める値

表F.1 係数 $A_p, B_p, C_p, E_p, F_p, G_p, H_p$ 及び m_p

		SUS304
A_p		5000
B_p		7.3
C_p		2.5×10^{-5}
E_p	(hr)	8000
F_p	(℃)	32.5
G_p	(℃)	682
H_p	(hr ⁻¹)	500
m_p		0.5

付録G 圧縮及び曲げ座屈の評価

G. 1 高速原型炉第1種容器

円筒殻が軸方向の圧縮荷重及び(又は)曲げ荷重を受ける場合にあっては、次の式を満足する場合は、時間に依存しない座屈は生じないといえることができる。

$$\frac{F_c}{A} + \frac{D_o M}{2y I} \leq \frac{S_y}{f_B} \quad (G. 1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{D_o}{t} \leq 140 : y = 1.3 \\ 140 < \frac{D_o}{t} < \frac{2E}{5S_y} : y = 1.3 - 0.3 \left(\frac{D_o}{t} - 140 \right) / \left(\frac{2E}{5S_y} - 140 \right) \end{array} \right. \quad (G. 2)$$

f_B : 別表2.4に定める安全係数

E : 考えている状態の壁厚平均金属温度に対して別表1.8に定める値(kg/mm²)

S_y : 上記の温度に対して別表1.4(別図1.4)に定める値(kg/mm²)

F_c : 軸方向の圧縮荷重(kg)

M : 曲げモーメント(kg·mm)

D_o, t, A : 円筒殻の外径(mm), 肉厚(mm), 断面積(mm²)

I : 円筒殻の断面2次モーメント(mm⁴)

ただし、軸長が著しく長い場合は別途オイラー型の座屈の評価をするものとする。

G. 2 高速原型炉第1種管

管の時間に依存しない座屈を防止するために、5.7(8)1の規定に加えて、次の(1)及び(2)の評価を行うものとする。

(1) 管台に接続する直管に対して、G. 1を適用して評価すること。

(2) 運転状態Ⅳに関して、曲り管又はエルボに対して次の評価を行うこと。

$$\frac{B_1 D_o}{2I} (M_1 + M_1^*) \leq 1.5 K_1 S_m \quad (G. 4)$$

ここに用いる記号の意義はすべて5.2.3(5)2)に定めるところによる。

付録H 応力集中係数

(1) 応力集中係数K

応力集中係数Kは解析対象個所における局部的構造不連続に対して設計者が適切に定めるものとする。管にあってはKの値は告示第48条に定める応力係数 K_1, K_2, K_3 のうち最も大きな値を超えることを要しない。ただし、応力係数 K_1 に管断面の偏平度に関する係数は含まない。

(2) ピーク熱ひずみに関する弾性応力集中係数 K_T

ピーク熱ひずみに関する弾性応力集中係数 K_T は解析対象個所における局部的構造不連続に対して設計者が適切に定めるものとする。管にあっては K_T の値は告示第48条に定める応力係数 K_3 を超えることを要しない。