

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-989 改2
提出年月日	平成30年8月23日

V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の  
耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	6
4.1 設計荷重	6
4.2 材料及び許容ひずみ	8
5. ひずみ計算	10
5.1 ひずみ評価点	10
5.2 ひずみ計算方法	11
6. 評価結果	15
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
6.2 重大事故時等対処設備としての評価結果	16

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・チェンバ底部ライナ部（以下「底部ライナ部」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は底部ライナ部のひずみ評価により行う。

底部ライナ部は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

底部ライナ部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>底部ライナ部は、原子炉格納容器底部コンクリートマット上に設置されたH型鋼を介して取り付けられる。</p>	<p>板厚 <input type="text"/> mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</p>	

## 2.2 評価方針

底部ライナ部のひずみ評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する荷重により生じるコンクリートマットの変形に伴うひずみ、及び底部ライナ部に作用する荷重によるひずみにより評価する。

3. 形状及び主要寸法

底部ライナ部の主要寸法を図 3-1, 図 3-2 及び図 3-3 に示す。

なお, 耐震計算書に必要な細部の寸法は各項毎に示す。

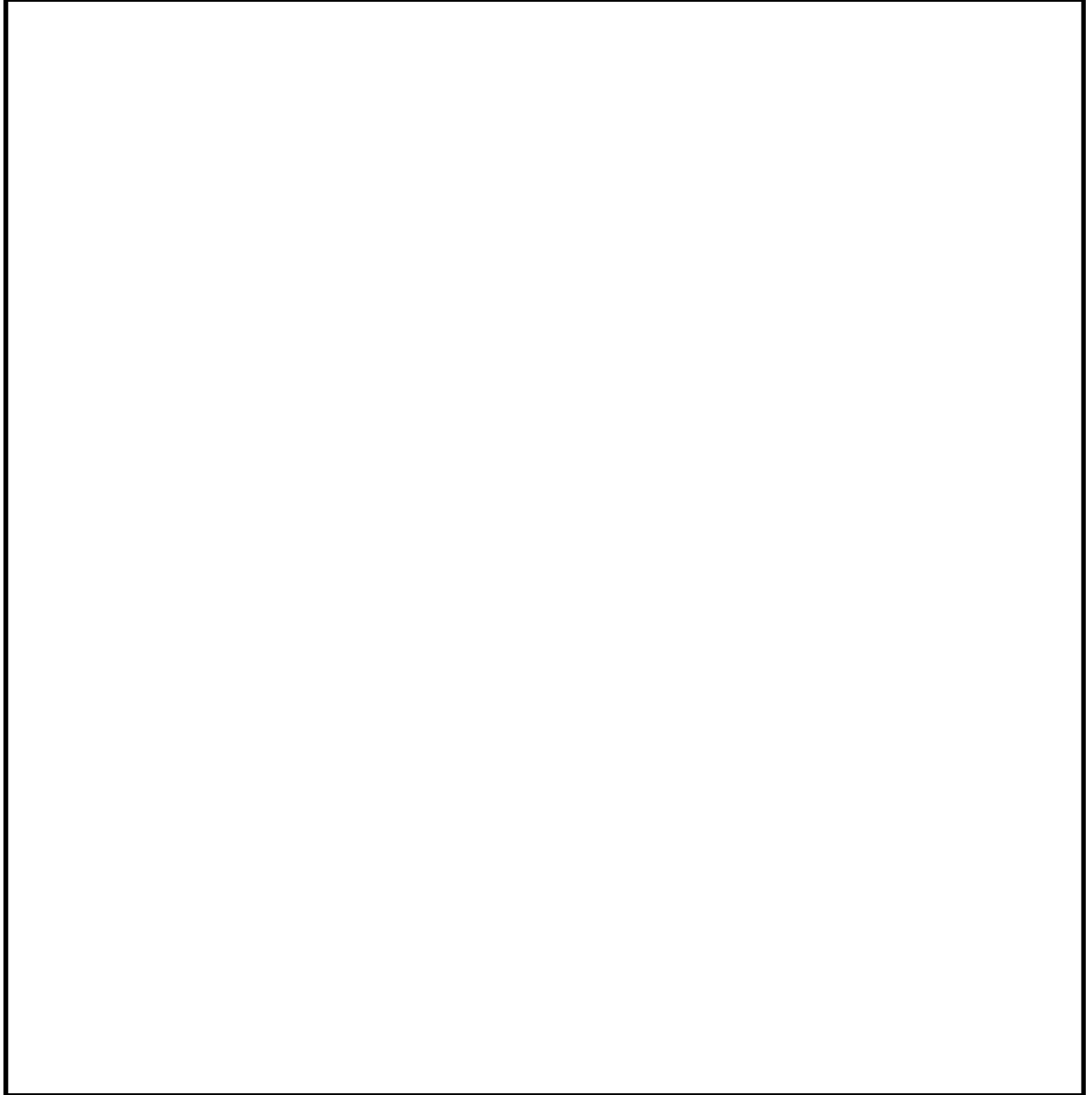


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法 (単位: mm)

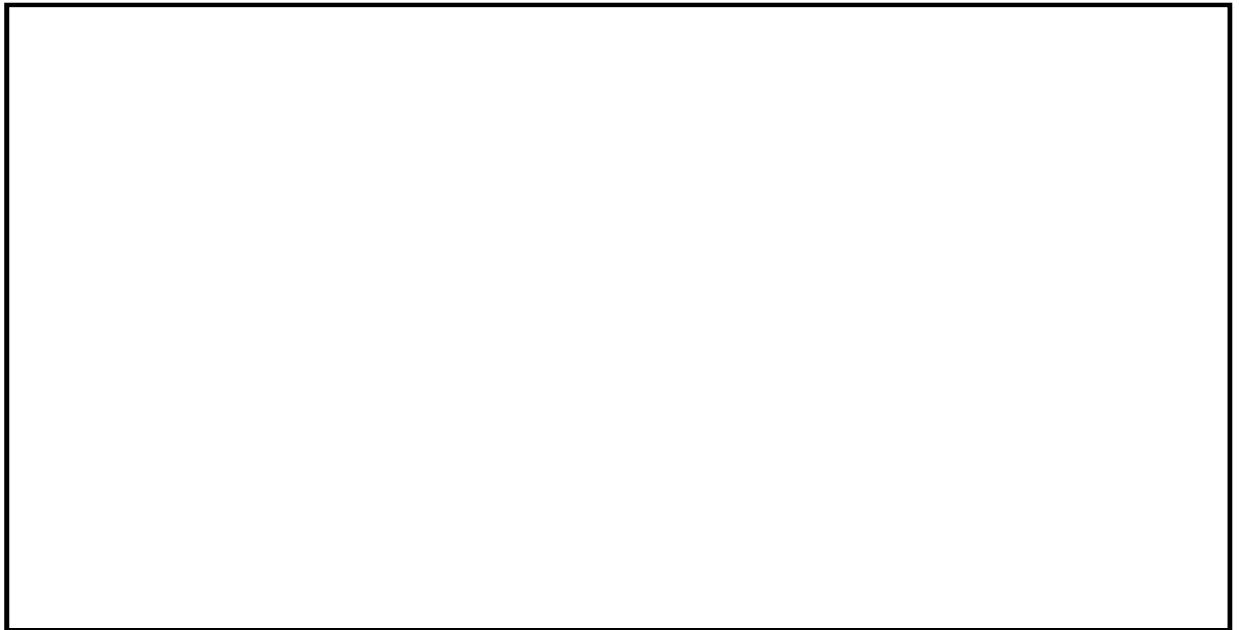


図 3-2 中央部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

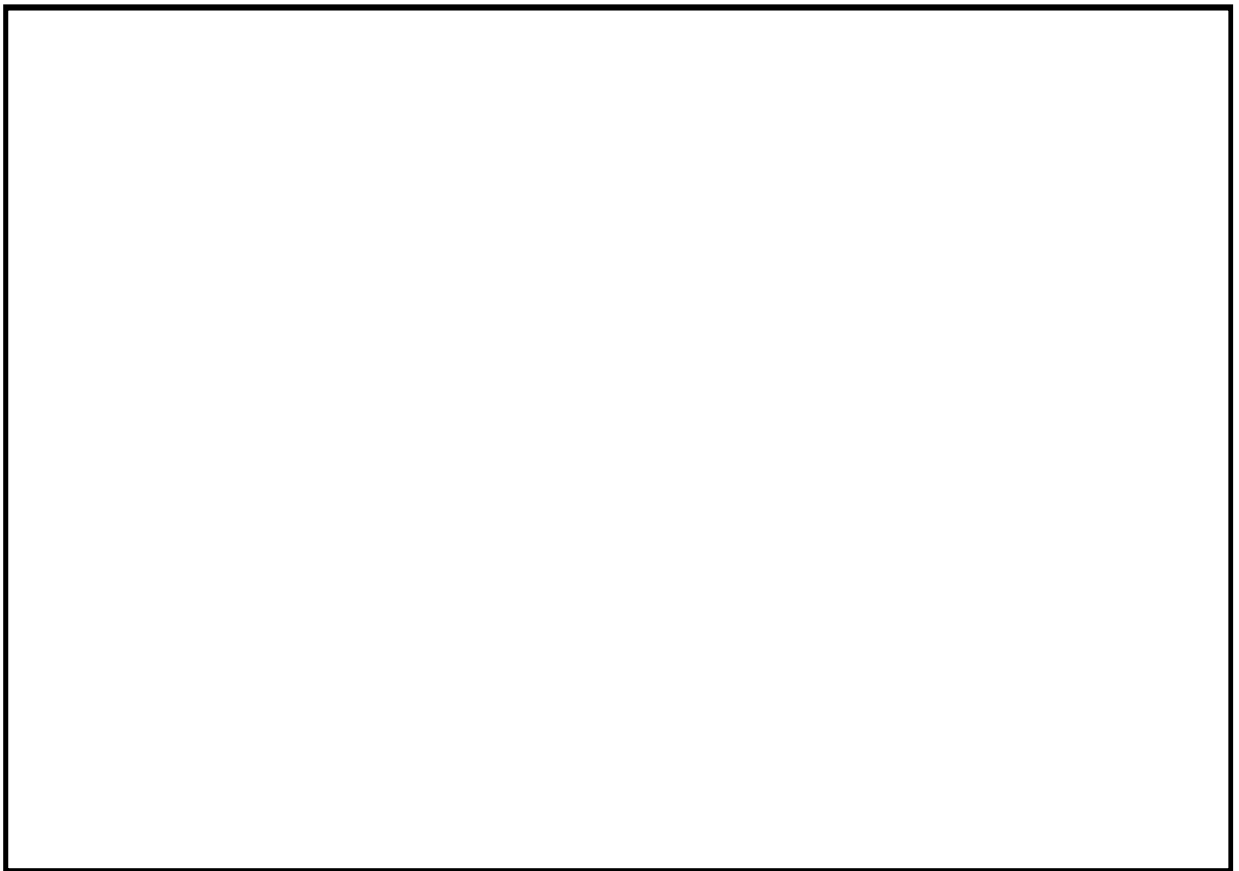


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

#### 4. 設計条件

##### 4.1 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧  $P_D$                       310 kPa

温度  $T_D$                       104.5 °C

- (2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧  $P_{SAL}$                     465 kPa (SA後長期)

内圧  $P_{SALL}$                    200 kPa (SA後長々期)

温度  $T_{SAL}$                     171 °C (SA後長期)

温度  $T_{SALL}$                    150 °C (SA後長々期)

- (3) 水荷重

水荷重は以下に示す水位によるものとする。

最高水位                      EL.  mm

重大事故時冠水水位        EL.  mm

- (4) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧                       kPa

最大負圧                       kPa

- (5) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧                       kPa

最大負圧                       kPa

- (6) アンカーボルトの伸び

アンカーボルトの伸びは添付書類「V-2-9-2-5 胴アンカー部の耐震性についての計算書」より得られる。アンカーボルトの伸びを表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 アンカーボルトの伸び (設計基準対象施設)

荷重の組合せ	荷重	アンカーボルトの伸び (mm)	
		通常運転時	燃料交換時
$D + P + M + S_d^*$		0.79	0.78
$D + P + M + S_s$		1.88	1.90
$D + P_L + M_L + S_d^*$		3.87	—



表 4-2 アンカーボルトの伸び（重大事故等対処設備）

荷重 荷重の組合せ	アンカーボルトの伸び (mm)
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	4.40
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	4.89

(7) 地震荷重

地震によって生じるライナプレート下部のコンクリートのひずみに等しいひずみがライナプレートにも生じると考える。地震荷重によるライナプレートの膜ひずみを表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 地震荷重によるライナプレートの膜ひずみ（設計基準対象施設）\*

	$S_d^*$	$S_s$
膜ひずみ	0.00027	0.00042

注記 \*：膜ひずみの最大値を示す。

表 4-4 地震荷重によるライナプレートの膜ひずみ（重大事故等対処設備）\*

	$S_d$	$S_s$
膜ひずみ	0.00044	0.00039

注記 \*：膜ひずみの最大値を示す。

4.2 材料及び許容ひずみ

(1) 材料

表 4-5 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ライナプレート	SGV49 相当		SGV480*

注記 \* : 新 J I S を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容ひずみ

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び荷重状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 に示す。各材料の荷重状態に対する許容ひずみのうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。

表 4-6 荷重の組合せ及び荷重状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	III
					$D + P + M + S_s$	IV
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	III, IV

表 4-7 ライナプレートの許容ひずみ (設計基準対象施設)

材料	荷重 荷重の組合せ	膜ひずみ	
		圧縮	引張
SGV480	$D + P + M + S_d^*$	0.005	0.003
	$D + P + M + S_s$	0.005	0.003
	$D + P_L + M_L + S_d^*$	0.005	0.003

表4-8 荷重の組合せ及び荷重状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	IV*2
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	IV*2

注記 \*1:「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。

\*2: 重大事故時の許容限界として, 荷重状態IVの許容限界を用いる。

表 4-9 ライナプレートの許容ひずみ（重大事故等対処設備）

材料	荷重 荷重の組合せ	膜ひずみ	
		圧縮	引張
SGV480	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	0.005	0.003
	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	0.005	0.003

## 5. ひずみ計算

### 5.1 ひずみ評価点

ひずみ評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 ひずみ評価点

ひずみ評価点番号	ひずみ評価点
P 1	中央部のライナプレート
P 2	周辺部のライナプレート

## 5.2 ひずみ計算方法

### 5.2.1 中央部のライナプレート（ひずみ評価点 P 1）

ライナプレートは逃がし安全弁作動時荷重を受ける。逃がし安全弁作動時の負圧  kPa に対し，サプレッション・チェンバ内の水頭圧は  kPa であり，その差  kPa (= ) が正圧としてライナプレートに加わるため，負圧によるひずみは生じない。

### 5.2.2 周辺部のライナプレート（ひずみ評価点 P 2）

周辺部のライナプレートには，中央部のライナプレートと異なり，フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみも合わせて考慮しなければならない。

#### (1) フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるひずみ

フランジプレート部分は非常に剛であることから，フランジプレートの浮き上がり量は基礎ボルトの伸びの量に等しいものとする。

また，フランジプレートが浮き上がると，ライナプレートの一部も同様に浮き上がるため，フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるライナプレートのひずみは，図 5-1 に示す計算モデルにて計算する。

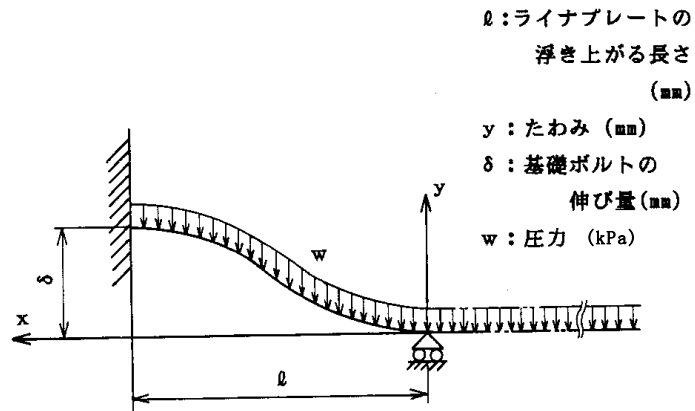


図 5-1 計算モデル

図 5-1 において、たわみ  $y$  は次式で表わされる。フランジプレートの浮き上がりにより、端部のライナプレートはコンクリートから離れる。このとき、水頭圧及び内圧を受ける。

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

ここに、

$$w = w_1 + w_2$$

$$w_1 : \text{水頭圧} = \rho g h$$

$$\rho : \text{水の密度} = 1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.80665 \text{m/s}^2$$

$w_2$  : 内圧

$E$  : 縦弾性係数

$I$  : 断面二次モーメント

$$I = \frac{1}{12} t^3 = \frac{1}{12} \times \boxed{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

- a. ライナプレートの浮き上がり長さ  $l$

ライナプレートの浮き上がる長さ  $l$  は、たわみの式より求められる。

たわみと基礎ボルトの伸び量が等しく、 $x = 0$  の点で  $y = 0$  となることから、

$x = 0, y = 0$  を代入して、

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

$$\delta = \frac{w \ell^4}{72E I}$$

$$\therefore \ell = \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}}$$

ここに、

$\ell$  : ライナプレートの浮き上がる長さ (mm)

- b. 浮き上がり及び圧力によるひずみ  $\varepsilon$

変形後のはりの長さ  $s$  は、a. 項で求めたスパン  $l$  の範囲で求められ、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} s &= \int_0^\ell \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ &\doteq \int_0^\ell \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right\} dx \end{aligned}$$

したがって、ひずみ  $\varepsilon$  は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{s - \ell}{\ell} = \frac{1}{2\ell} \int_0^\ell \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx \\ &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I}\right)^2 \ell^6 \end{aligned}$$

このひずみは引張ひずみである。

以上より、各荷重条件における内圧によるひずみは、表 4-1 及び表 4-2 に示す最も厳しい荷重条件  $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$  について計算すると、

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times 83.3 \times 4.89}{0.614}} \\ &= 309.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここに、表 4-2 より

$$\delta = 4.89 \text{ mm}$$

$$w = 614 \text{ kPa} = 0.614 \text{ MPa}$$

ゆえに,

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left( \frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left( \frac{0.614}{193000 \times 83.3} \right)^2 \times 309.9^6 \\ &= 0.00017 \end{aligned}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

(2) 逃がし安全弁作動時のひずみ

逃がし安全弁作動時のひずみは(1)と同様に計算される。また、ひずみは表4-1に示す最も厳しい荷重条件D + P + M + S<sub>s</sub>において計算する。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left( \frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left( \frac{0.157}{202000 \times 83.3} \right)^2 \times 348.0^6 \\ &= 0.00002 \end{aligned}$$

ここに、w : 逃がし安全弁作動時の圧力

$$w = 70.8 + 86.3 = 157 \text{ kPa} = 0.157 \text{ MPa}$$

$$\delta = 1.90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72 E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 202000 \times 83.3 \times 1.90}{0.157}} \\ &= 348.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

(3) 冷却材喪失事故時のひずみ

冷却材喪失事故時のひずみは(1)と同様に計算される。また、ひずみは表4-2に示す最も厳しい荷重条件D + P<sub>SAL</sub> + M<sub>SAL</sub> + S<sub>d</sub>において計算する。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left( \frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left( \frac{0.699}{193000 \times 83.3} \right)^2 \times 300.0^6 \\ &= 0.00019 \end{aligned}$$



ここに、 $w$ ：冷却材喪失事故時の圧力

$$w = 0.699 \text{MPa}$$

$$\delta = 4.89 \text{mm}$$

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times 83.3 \times 4.89}{0.699}}$$

$$= 300.0 \text{mm}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

底部ライナ部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

#### (1) 中央部のライナプレートのひずみ評価 (P 1)

各々の荷重条件での計算結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 中央部ライナプレートのひずみ評価  
(設計基準対象施設)

荷重の組合せ	ひずみ* <sup>1</sup>	許容 ひずみ* <sup>2</sup>	判定
D + P + M + S <sub>d</sub> *	±0.00027	0.005	○
		0.003	○
D + P + M + S <sub>s</sub>	±0.00042	0.005	○
		0.003	○
D + P <sub>L</sub> + M <sub>L</sub> + S <sub>d</sub> *	±0.00026	0.005	○
		0.003	○

注記 \*1：正の符号は引張ひずみ，負の符号は圧縮ひずみを示す。

\*2：上段は圧縮ひずみ，下段は引張ひずみを示す。

#### (2) 周辺部のライナプレートのひずみ評価 (P 2)

5.2.2 項に示す計算の結果，フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみは許容値に比べて小さいので，評価は中央部のライナプレートと同様になる。すなわち，生じるひずみは許容値に比べて小さい。

6.2 重大事故時等対処設備としての評価結果

底部ライナ部の重大事故時等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 中央部のライナプレートのひずみ評価 (P 1)

各々の荷重条件での計算結果を表 6-2 に示す。

表 6-2 中央部ライナプレートのひずみ評価  
(重大事故等対処設備)

荷重の組合せ	ひずみ <sup>*1</sup>	許容ひずみ <sup>*2</sup>	判定
D + P <sub>SALL</sub> + M <sub>SALL</sub> + S <sub>s</sub>	±0.00039	0.005	○
		0.003	○
D + P <sub>SAL</sub> + M <sub>SAL</sub> + S <sub>d</sub>	±0.00044	0.005	○
		0.003	○

注記 \*1: 正の符号は引張ひずみ, 負の符号は圧縮ひずみを示す。

\*2: 上段は圧縮ひずみ, 下段は引張ひずみを示す。

(2) 周辺部のライナプレートのひずみ評価 (P 2)

5.2.2 項に示す計算の結果, フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみは許容値に比べて小さいので, 評価は中央部のライナプレートと同様になる。すなわち, 生じるひずみは許容値に比べて小さい。