

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-990 改3
提出年月日	平成30年9月13日

V-3-9-1-1-6 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の
強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 強度評価	9
4.1 強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	9
4.3 ひずみ計算	13
5. 評価結果	19
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、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。）の強度計算書である。

底部ライナ部は、設計基準対象施設の底部ライナ部を重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。

以下、重大事故等クラス2容器として、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、底部ライナ部の強度評価について示す。

2. 一般事項

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（以下「底部コンクリートマット」という。）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 mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</p>	<div style="text-align: center;"> </div>

2.2 評価方針

底部ライナ部のひずみ評価は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示す底部ライナ部の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、荷重状態Vにおける温度、圧力の条件により添付書類「V-3-9-1-1-7 原子炉格納容器底部コンクリートマットの強度計算書」及び添付書類「V-3-9-1-1-5 原子炉格納容器胴アンカー部強度計算書」より得られる底部ライナ部のひずみが許容限界に収まることを、「4. 強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

底部ライナ部の評価フローを図2-1に示す。

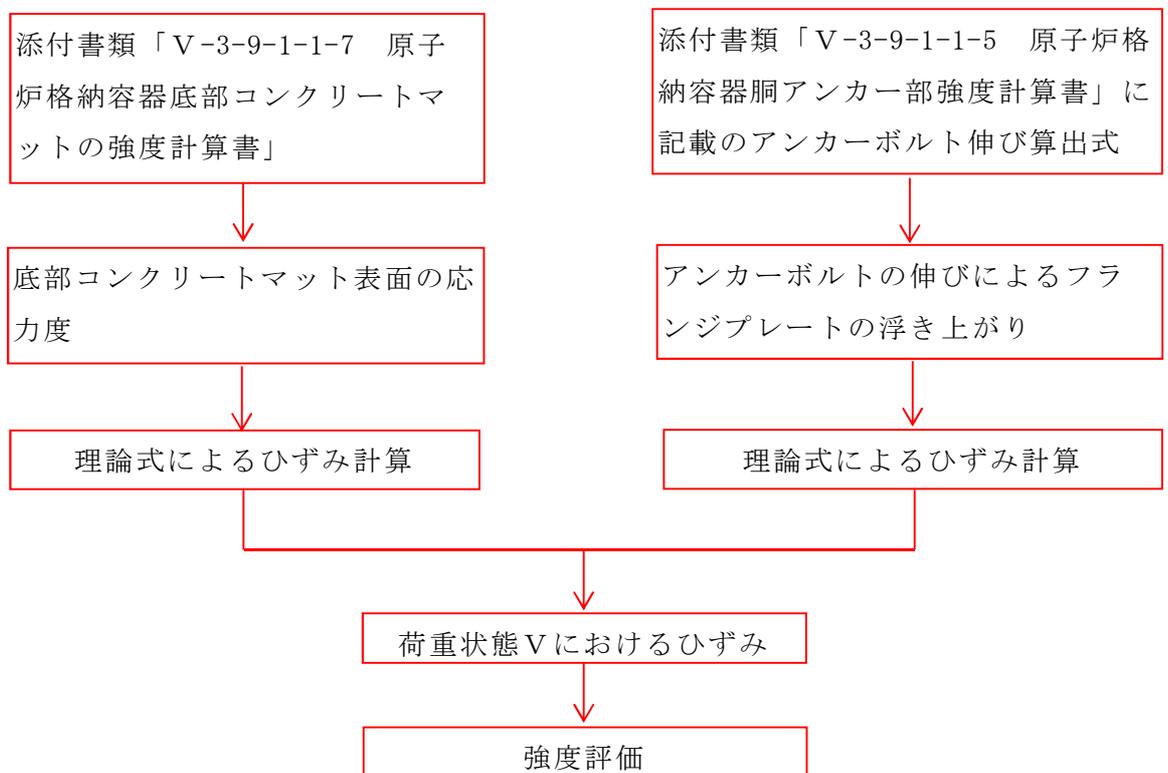


図 2-1 底部ライナ部の評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2003年版）J S M E
S N E 1 - 2003（日本機械学会）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{B1}	ボルトの最大直径有効断面積	mm ²
A_{B2}	ボルトの谷径有効断面積	mm ²
d_{B1}	アンカーボルトの最大直径	mm
d_{B2}	アンカーボルトの谷径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴ /mm
l	ライナプレートの浮き上がる長さ	mm
l_{Bi}	ボルト各部の寸法 (i=1, 2, 3)	mm
P_{SA}	内圧	kPa
s	変形後のはりの長さ	mm
T_{SA}	温度	°C
t	板厚	mm
w	圧力	MPa
w_1	水頭圧	MPa
w_2	内圧	MPa
w_t	アンカーボルトの引張応力	MPa
y	たわみ	mm
Z	断面係数	mm ³ /mm
δ	アンカーボルトの伸び量	mm
ε_1	底部コンクリートマットのひずみ	—
ε_2	膜ひずみ	—
ε_3	曲げひずみ	—
ν	ポアソン比	—
ρ	水の密度	kg/mm ³
σ_1	ひずみ方向応力度	MPa
σ_2	ひずみ直交方向応力度	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*
断面係数	mm ³ /mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*
断面二次 モーメント	mm ⁴ /mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*
ひずみ	—	小数点以下第6位	切上げ	小数点以下第5位

注記 *：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

3. 評価部位

底部ライナ部の形状及び主要寸法を図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

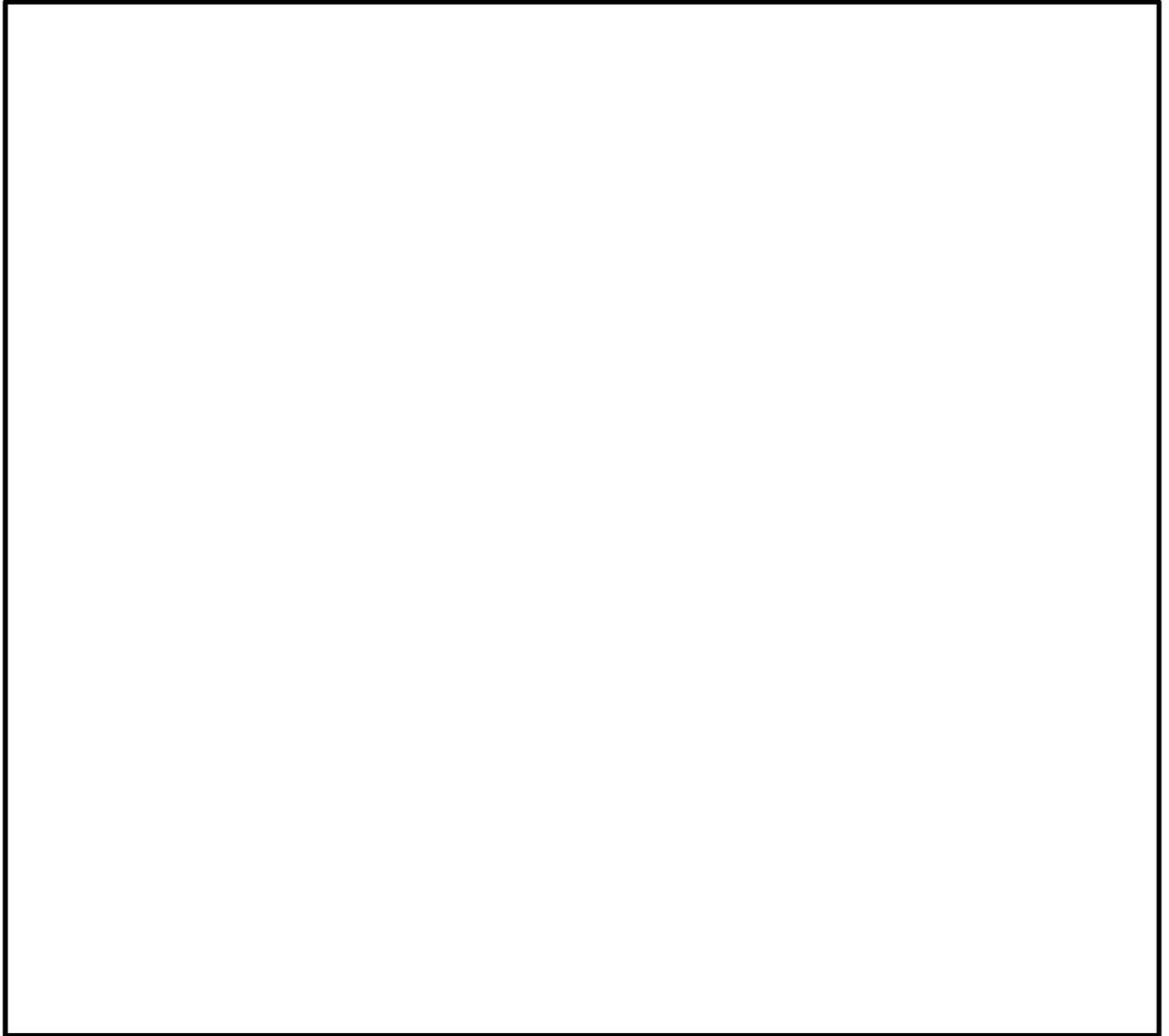


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法（単位：mm）



図 3-2 中央部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

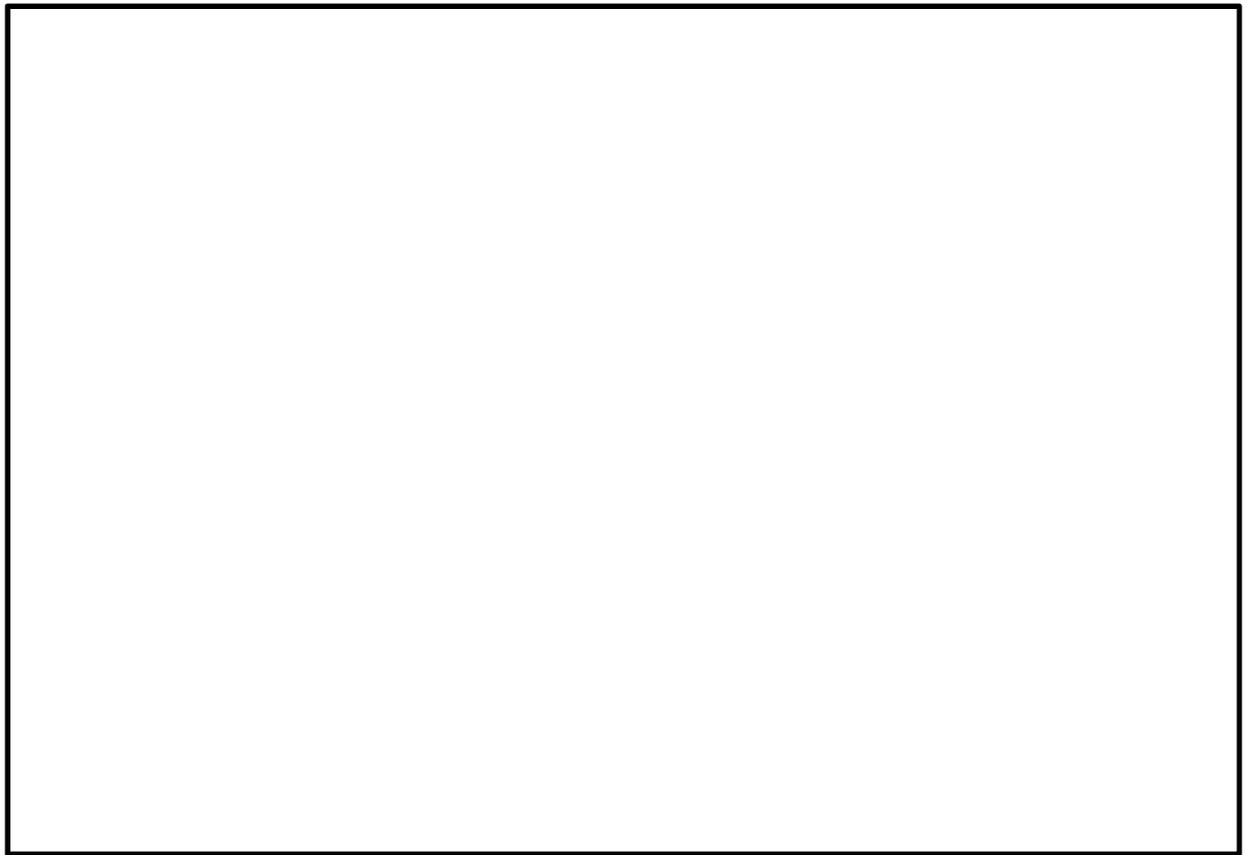


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3-1 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。

4. 強度評価

4.1 強度評価方法

- (1) 底部ライナ部は、底部コンクリートマット上に設置され、底部ライナ部に作用する荷重は、底部コンクリートマットが強度を負担する。
- (2) 底部コンクリートマットに作用する荷重により生じるひずみが、ライナプレートに生じるものとする。添付書類「V-3-9-1-1-7 原子炉格納容器底部コンクリートマットの強度計算書」において計算された底部コンクリートマットの応力度を用いて、強度評価を行う。
- (3) 添付書類「V-3-9-1-1-5 原子炉格納容器胴アンカー部強度計算書」において示す算出式により計算されたアンカーボルトの伸び量によるフランジプレートの浮き上がりに基づくひずみを考慮する。
- (4) 強度評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び荷重状態

底部ライナ部の荷重の組合せ及び荷重状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

底部ライナ部の許容限界を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容限界

底部ライナ部の使用材料の許容限界のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び荷重状態

施設区分		機器名称	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	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	V*

D : 死荷重

P_{SA} : 運転状態Vにおける圧力荷重

M_{SA} : 運転状態Vにおける機械荷重

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

表 4-2 許容限界

荷重状態	荷重の組合せ	膜ひずみ		膜ひずみ+曲げひずみ	
		引張	圧縮	引張	圧縮
V*	$D + P_{SA} + M_{SA}$	0.003	0.005	0.010	0.014

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

表 4-3 許容限界

材料	荷重状態	許容限界			
		膜ひずみ		膜ひずみ+曲げひずみ	
		引張	圧縮	引張	圧縮
SGV480	V*	0.003	0.005	0.010	0.014

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

4.2.4 設計荷重

(1) 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_{SA} 620 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

(2) 水荷重

水荷重は以下に示す水位によるものとする。

重大事故等時冠水水位 EL. mm

(3) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

(4) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

(5) 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-3-9-1-1-5 原子炉格納容器胴アンカー一部強度計算書」より以下の式で得られる。

アンカーボルトの伸び

$$\delta = \frac{w_t}{E} \cdot \left\{ \frac{A_{B1}}{A_{B2}} \cdot (\ell_{B2} + \ell_{B3}) + \ell_{B1} \right\}$$

ここで、

A_{B1} : ボルトの最大直径有効断面積 = $\pi / 4 \cdot d_{B1}^2 =$ mm^2

A_{B2} : ボルトの谷径有効断面積 = $\pi / 4 \cdot d_{B2}^2 =$ mm^2

E : ボルトの縦弾性係数 = MPa

ℓ_{B1} : ボルト寸法 = mm

ℓ_{B2} : ボルト寸法 = mm

ℓ_{B3} : ボルト寸法 = mm

w_t : アンカーボルトの引張応力

アンカーボルトの伸びを表 4-4 に示す。

表 4-4 アンカーボルトの伸び

荷重の組合せ	荷重状態	アンカーボルトの伸び (mm)
D + P _{SA} + M _{SA}	V*	4.11

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

(6) 底部コンクリートマットのひずみ

底部コンクリートマットのひずみは添付書類「V-3-9-1-1-7 原子炉格納容器底部コンクリートマットの強度計算書」より得られる底部コンクリートマット表面の応力度から以下の式で計算される。

底部コンクリートマットのひずみ

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu \cdot \sigma_2)$$

ここで、

σ_1 : ひずみ方向応力度

σ_2 : ひずみ直交方向応力度

E : 縦弾性係数

ν : ポアソン比=0.2

底部コンクリートマットのひずみを表 4-5 に示す。

なお、上記式から得られるひずみは引張ひずみ及び圧縮ひずみの両方を考慮する。

表 4-5 底部コンクリートマットのひずみ

荷重の組合せ	荷重状態	コンクリート応力度 (MPa)		縦弾性係数 (MPa)	ひずみ*1
		ひずみ方向	直交方向		
D + P _{SA} + M _{SA}	V*2	2.61	0.09	1.57×10 ⁴	±0.00017

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 : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

4.3 ひずみ計算

4.3.1 ひずみ評価点

底部ライナ部のひずみ評価点は、底部コンクリートマットの最大ひずみがライナプレートに生じるものとして中央部を選定する。また、アンカーボルトの伸びによるフランジプレートの浮き上がりに基づくひずみを考慮し周辺部のライナプレートを選定する。

ひずみ評価点を表 4-6 及び図 4-1 に示す。

表 4-6 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

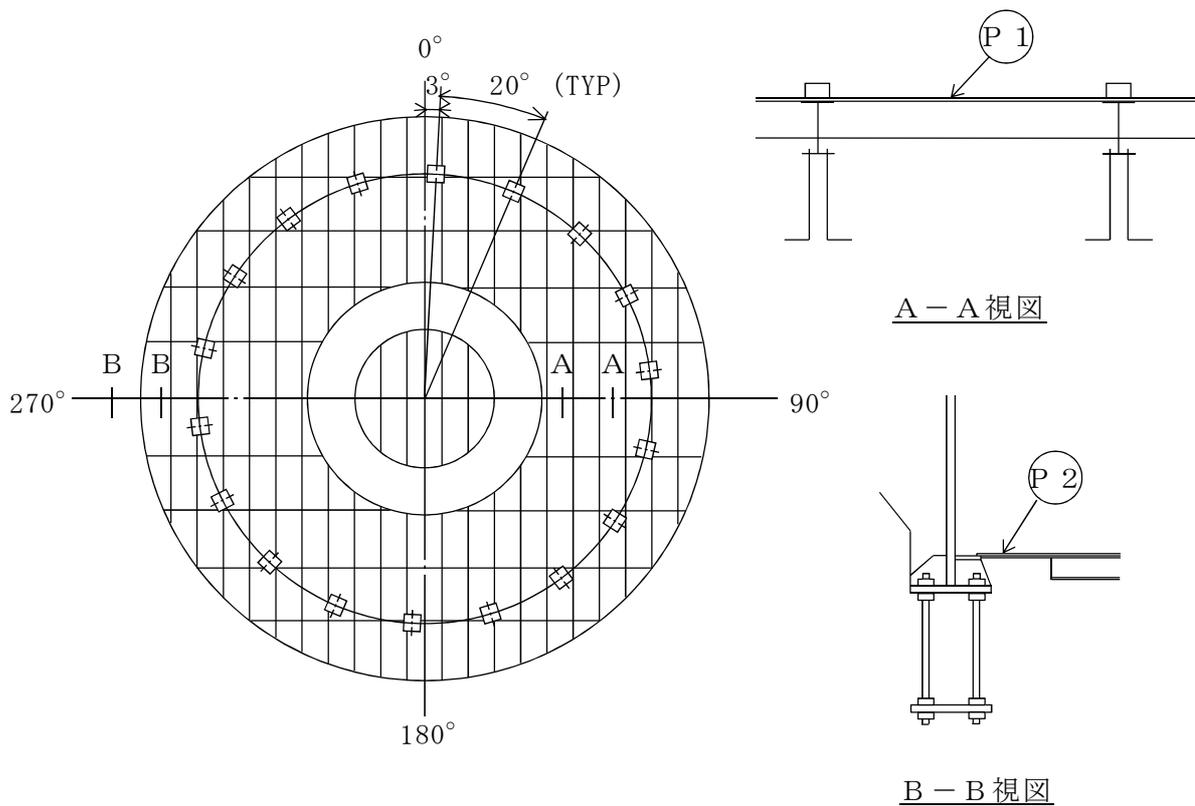


図 4-1 底部ライナ部のひずみ評価点

4.3.2 ひずみ計算方法

4.3.2.1 中央部のライナプレート（ひずみ評価点 P 1）

底部コンクリートマットに生じる最大ひずみがライナプレートに生じるものとして評価を行う。

なお、ライナプレートは逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失事故時荷重を受けるが、逃がし安全弁作動時の負圧 \square kPa 及び原子炉冷却材喪失事故時の負圧 \square kPa に対し、サプレッション・チェンバ内の水頭圧は \square kPa であり、その差 \square kPa (= \square) 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。

4.3.2.2 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のひずみに加え、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、評価を行う。

(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アンカー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 4-2 に示す計算モデルにて計算する。

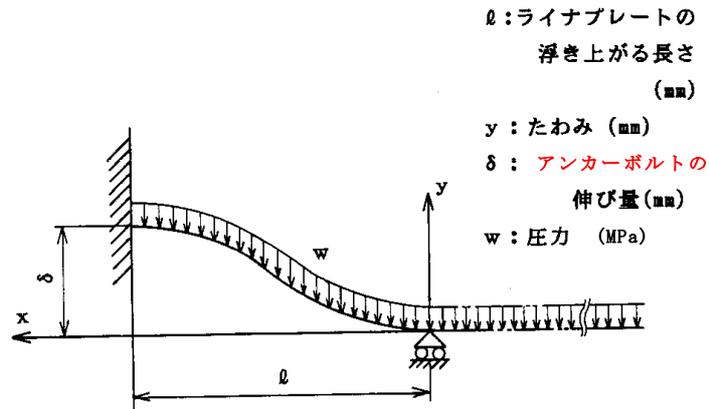


図 4-2 計算モデル

図 4-2 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。

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

ここで、

$$w = w_1 + w_2$$

$$w_1 : \text{水頭圧} = \rho g h$$

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

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

w_2 : 内圧

E : 縦弾性係数

I : 断面二次モーメント

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

- 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。

たわみとアンカー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、

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

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

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

ここで、

ℓ : 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膜ひずみ ε_2

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。

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

$$\doteq \int_0^\ell \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right\} dx$$

したがって、膜ひずみ ε_2 は次のように計算される。

$$\varepsilon_2 = \frac{s - \ell}{\ell} = \frac{1}{2\ell} \int_0^\ell \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx$$

$$= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I}\right)^2 \ell^6$$

このひずみは引張ひずみである。

- c. 浮き上がり及び圧力による曲げひずみ ε_3

変形後のはりに生じる曲げひずみは次式で表される。

$$\varepsilon_3 = \frac{w \ell^2}{18E Z}$$

ここで、

Z : 断面係数

$$Z = \frac{1}{6} t^2 = \frac{\square}{6} = \square \text{ mm}^3/\text{mm}$$

以上より、内圧によるひずみについて計算すると、

$$\begin{aligned}\ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times \square \times 4.11}{0.769}} \\ &= \square \text{ mm}\end{aligned}$$

ここで、表 4-4 より

$$\delta = 4.11 \text{ mm}$$

$$w = 769 \text{ kPa} = 0.769 \text{ MPa}$$

$$E = 191000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\begin{aligned}\varepsilon_2 &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.769}{191000 \times \square} \right)^2 \times \square \\ &= 0.00015 \\ \varepsilon_3 &= \frac{w \ell^2}{18 E Z} \\ &= \frac{0.769 \times \square}{18 \times 191000 \times \square} \\ &= 0.00105\end{aligned}$$

(2) 逃がし安全弁作動時及び冷却材喪失事故時のひずみ

逃がし安全弁作動時及び冷却材喪失事故時のひずみは(1)と同様に計算される。

$$\begin{aligned}\ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times \square \times 4.11}{0.941}} \\ &= \square \text{ mm}\end{aligned}$$

ここで、表 4-4 より

$$\delta = 4.11 \text{ mm}$$

w : 逃がし安全弁作動時と冷却材喪失事故時の荷重が同時に作用した時の
圧力

$$w = 0.941 \text{ MPa}$$

$$E = 191000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.941}{191000 \times \boxed{}} \right)^2 \times \boxed{} \\ &= 0.00017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 &= \frac{w \ell^2}{18 E Z} \\ &= \frac{0.941 \times \boxed{}}{18 \times 191000 \times \boxed{}} \\ &= 0.00116 \end{aligned}$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

底部ライナ部の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足している。

(1) 荷重状態Vに対する評価

荷重状態Vに対する評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重状態Vに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		V*		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00017	0.003	○	
				圧縮	0.00017	0.005	○	
			膜ひずみ+ 曲げひずみ	引張	0.00017	0.010	○	
				圧縮	0.00017	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00034	0.003	○	
				圧縮	0.00017	0.005	○	
			膜ひずみ+ 曲げひずみ	引張	0.00150	0.010	○	
				圧縮	0.00133	0.014	○	

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。