

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2
提出年月日	平成30年9月6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	3
2.4 記号の説明	4
3. 計算条件	5
3.1 形状及び主要寸法	5
3.2 材料	7
3.3 荷重の組合せ及び許容限界	7
4. 荷重条件	9
4.1 設計条件	9
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

1. 概要

本計算書は、重大事故等クラス2機器として兼用されるサブプレッション・チェンバ底部ライナ部（以下「底部ライナ部」という。）について、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」に基づき、材料及び構造について評価を実施する。その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、設計基準対象施設の底部ライナ部を重大事故等クラス2機器として兼用する機器である。

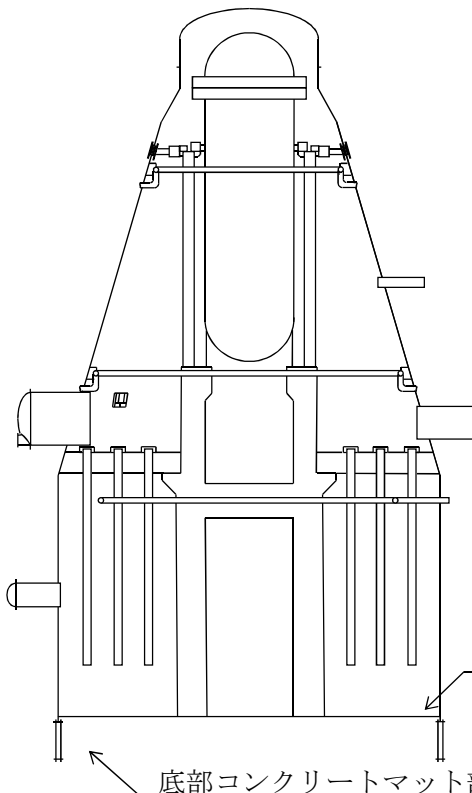
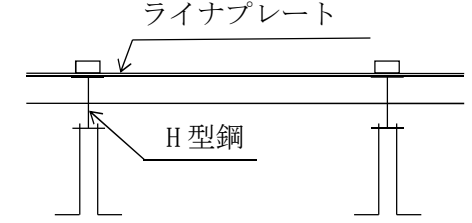
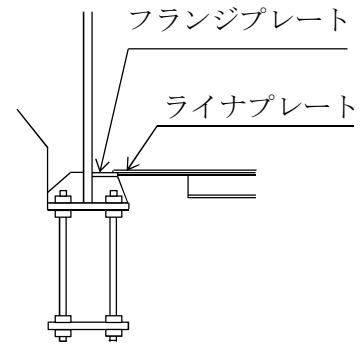
以下、重大事故等クラス2容器としての強度評価を示す。

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 <input type="text" value=""/> mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</p>	 <p>底部ライナ部</p> <p>底部コンクリートマット部</p>	 <p>ライナプレート</p> <p>H型鋼</p> <p>H型鋼部拡大図</p>  <p>フランジプレート</p> <p>ライナプレート</p> <p>底部コンクリートマット部拡大図</p>

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 2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度」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「5.1 ひずみ評価点」にて設定する箇所において、「4.1 設計条件で算出した荷重に基づくひずみが許容限界内に収まることを、「5.2 ひずみ計算方法」にて示す方法にて確認する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

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
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴ /mm
<i>l</i>	ライナプレートの浮き上がる長さ	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
y	たわみ	mm
δ	アンカーボルトの伸び量	mm
ε	ひずみ	mm
ρ	水の密度	kg/mm ³

3. 計算条件

3.1 形状及び主要寸法

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。

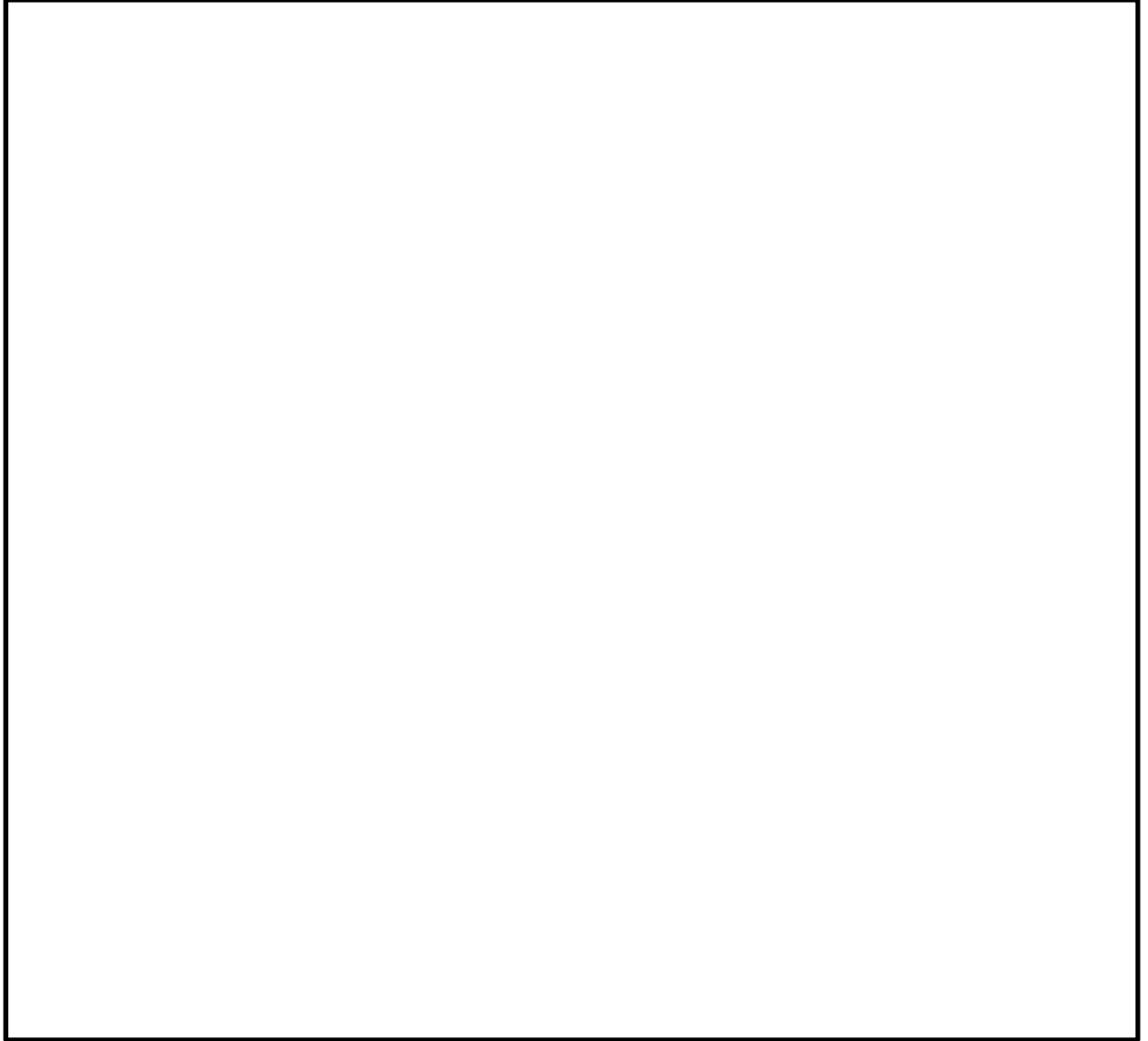


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法 (単位 : mm)

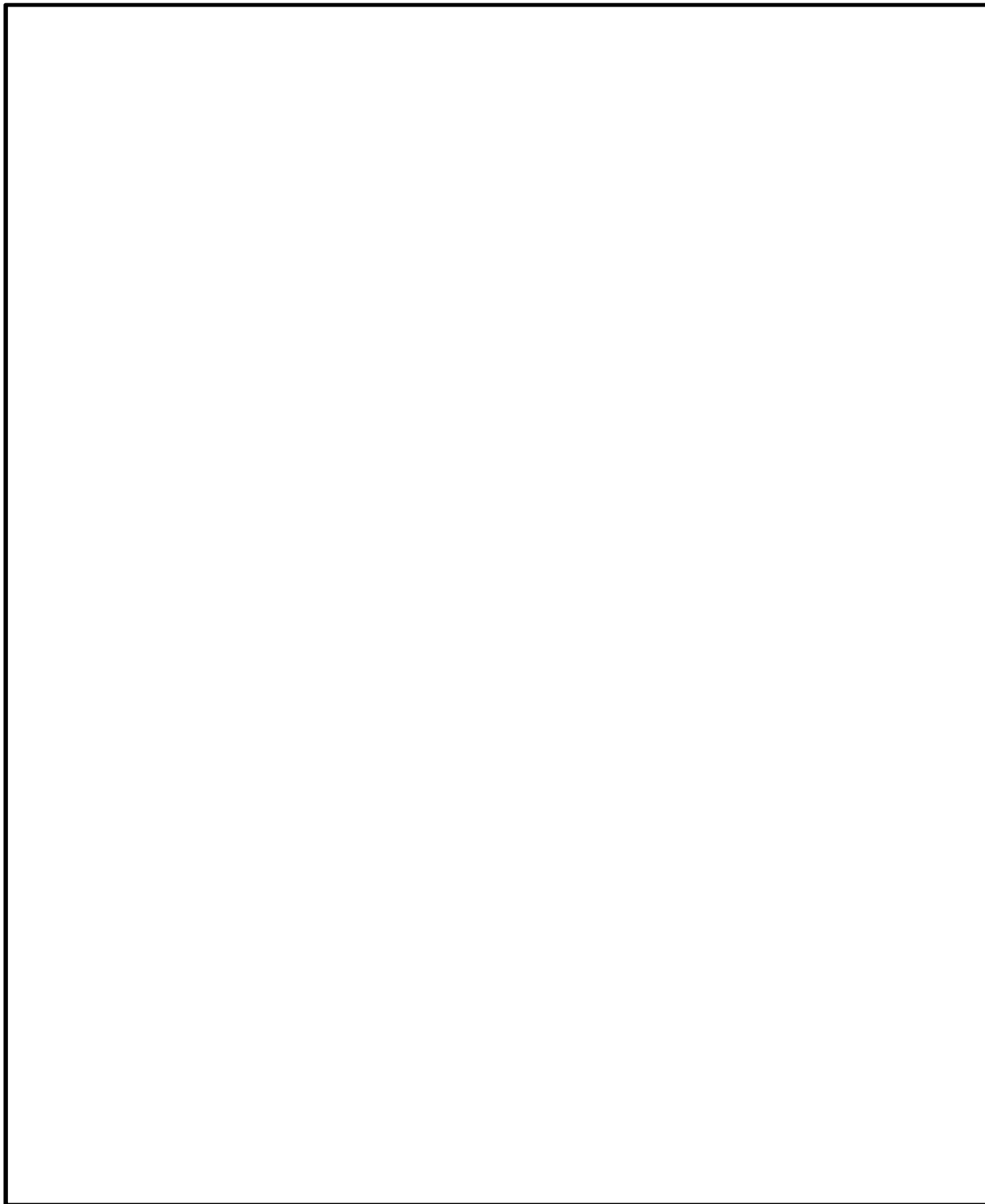


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

3.2 材料

ひずみ計算に使用する材料を表 3-1 に示す。

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。

3.3 荷重の組合せ及び許容限界

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び荷重状態を表 3-2 に、荷重状態に対する許容限界を表 3-3、許容ひずみを表 3-4 に示す。

荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計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。

表 3-2 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*1

D : 死荷重

P_{SA} : 重大事故等時の状態（運転状態 V）で作用する圧力荷重

M_{SA} : 重大事故等時の状態（運転状態 V）で作用する機械的荷重

注記 *1 : 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 3-3 許容限界

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

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 3-4 許容ひずみ

材料	荷重状態	許容ひずみ	
		膜ひずみ	
		引張	圧縮
SGV480	V*	0.003	0.005

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. 荷重条件

4.1 設計条件

- (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部強度計算書」より得られる。アンカーボルトの伸びを表 4-1 に示す。

表 4-1 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のひずみを表 4-2 に示す。

表 4-2 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	ひずみ (mm) *
$D + P_{SA} + M_{SA}$	V*	± 0.00017

注記 * : 正の符号は引張ひずみ、負の符号は圧縮ひずみを示す。

5. ひずみ計算

5.1 ひずみ評価点

底部ライナ部のひずみ評価は、「5.2 ひずみ計算方法」に示す条件に基づき、評価上厳しくなる周辺部のライナプレートを選定するとともに、中央部についても評価を実施する。

ひずみ評価点を表 5-1 及び図 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

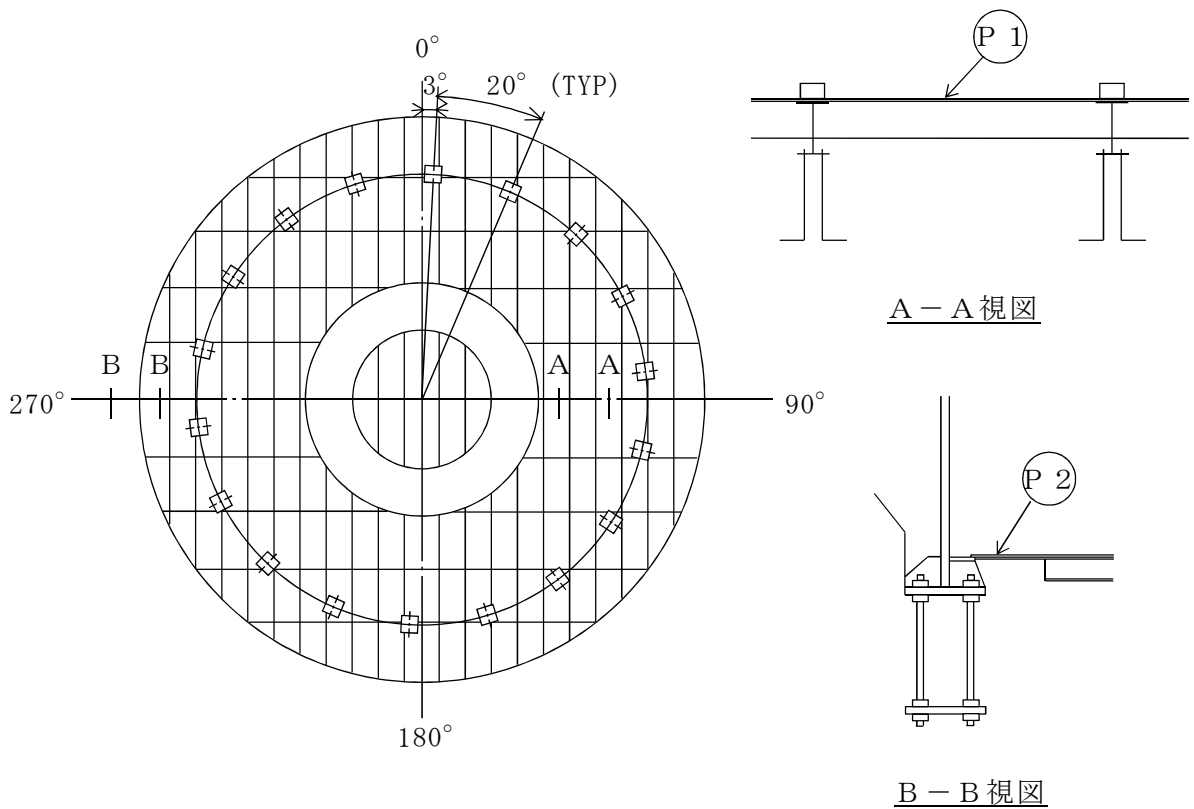


図 5-1 底部ライナ部のひずみ評価点

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）

底部コンクリートマットに作用する荷重による生じるコンクリートマットのひずみに等しいひずみがライナプレートに生じると考える。

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 kPa 及び原子炉冷却材喪失事故時の負圧 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する。

(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 5-2 に示す計算モデルにて計算する。

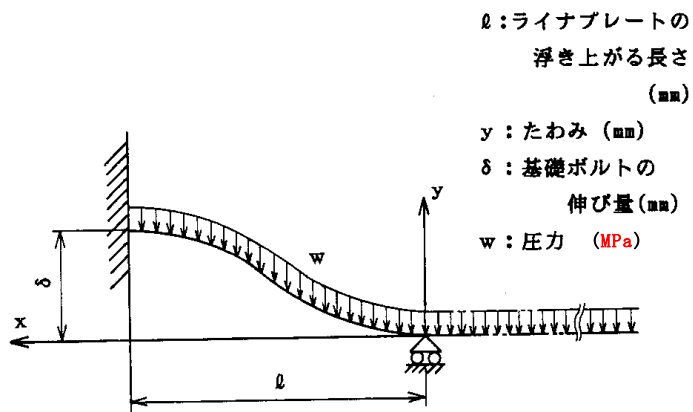


図 5-2 計算モデル

図 5-2 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。

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

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

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

- 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、

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

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

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

ここに、

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ひずみ ε

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 ε 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、内圧によるひずみについて計算すると、

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times 83.3 \times 4.11}{0.769}} \\ &= 279.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここに、表 4-1 より

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

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

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

ゆえに,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.769}{191000 \times 83.3} \right)^2 \times 279.7^6 \\ &= 0.00015\end{aligned}$$

(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。

$$\begin{aligned}\ell &= \sqrt[4]{\frac{72 E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times 83.3 \times 4.11}{0.941}} \\ &= 266.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

ここに, 表 4-1 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,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.941}{191000 \times 83.3} \right)^2 \times 266.0^6 \\ &= 0.00017\end{aligned}$$

6. 評価結果

底部ライナ部の重大事故等対処設備としての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6-1に示す。

表3-2に示す荷重の組合せについて記載している。

表6-1 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	引張	0.00017	0.003	○	
			圧縮	0.00017	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00034	0.003	○	
			圧縮	0.00017	0.005	○	

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。