

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3
提出年月日	平成30年9月6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. 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	11
4.1 設計条件	11
5. ひずみ計算	13
5.1 ひずみ評価点	13
5.2 ひずみ計算方法	14
6. 評価結果	18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20

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 **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、**設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。**

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"/> mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</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>底部ライナ部</p> <p>底部コンクリートマット部</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-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ及び許容限界に基づき、「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) 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」(社) 日本電気協会
- (2) 「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」(社) 日本電気協会
- (3) 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」(社) 日本電気協会
- (4) 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
ℓ	ライナプレートの浮き上がる長さ	mm
P _D	最高使用圧力	kPa
P _{SAL}	圧力 (SA後長期内圧)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA後長々期内圧)	kPa
s	変形後のはりの長さ	mm
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
T _D	最高使用温度	°C
T _{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T _{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
t	板厚	mm
w	圧力	MPa
w1	水頭圧	MPa
w2	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。

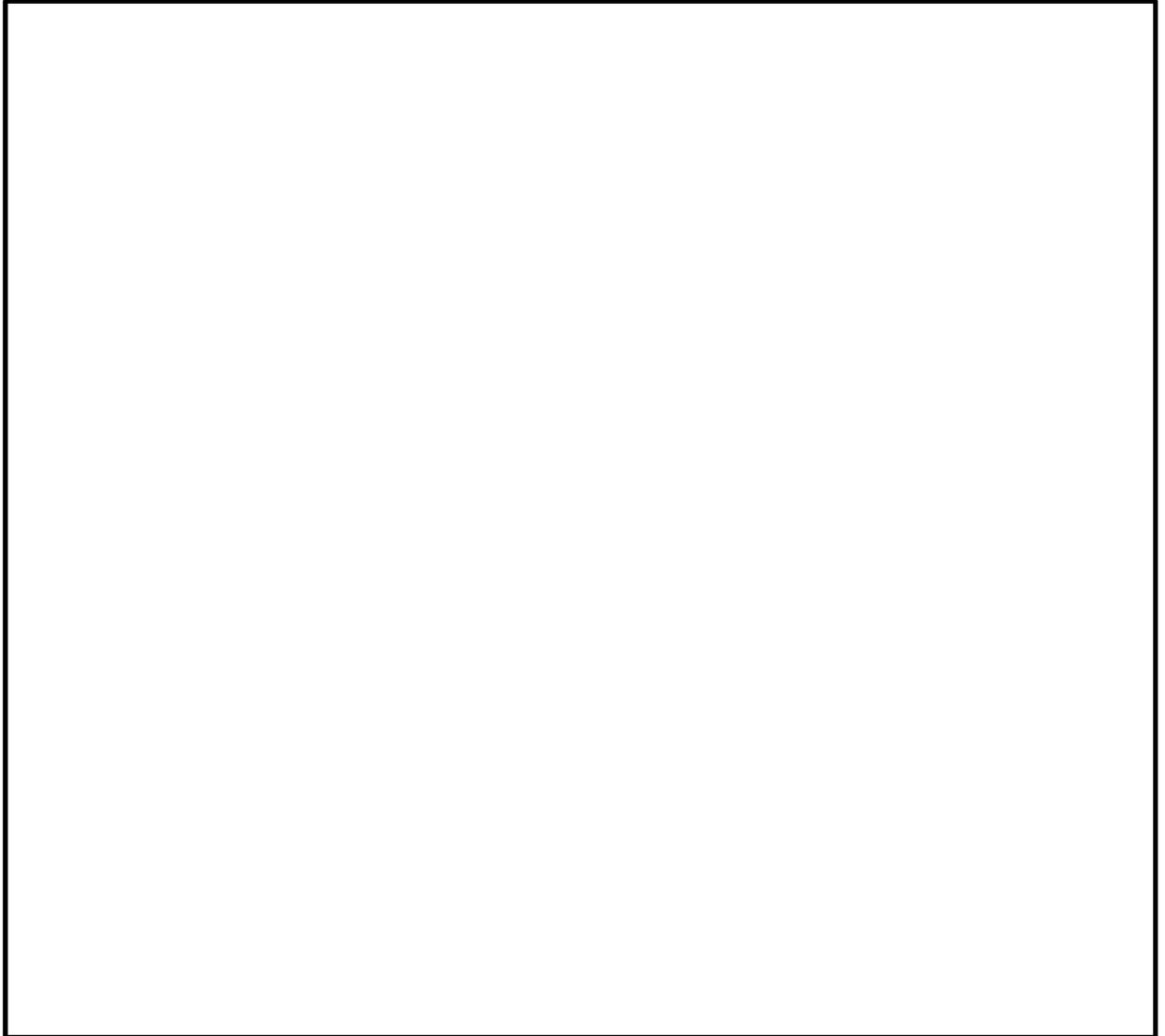


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法 (単位 : mm)

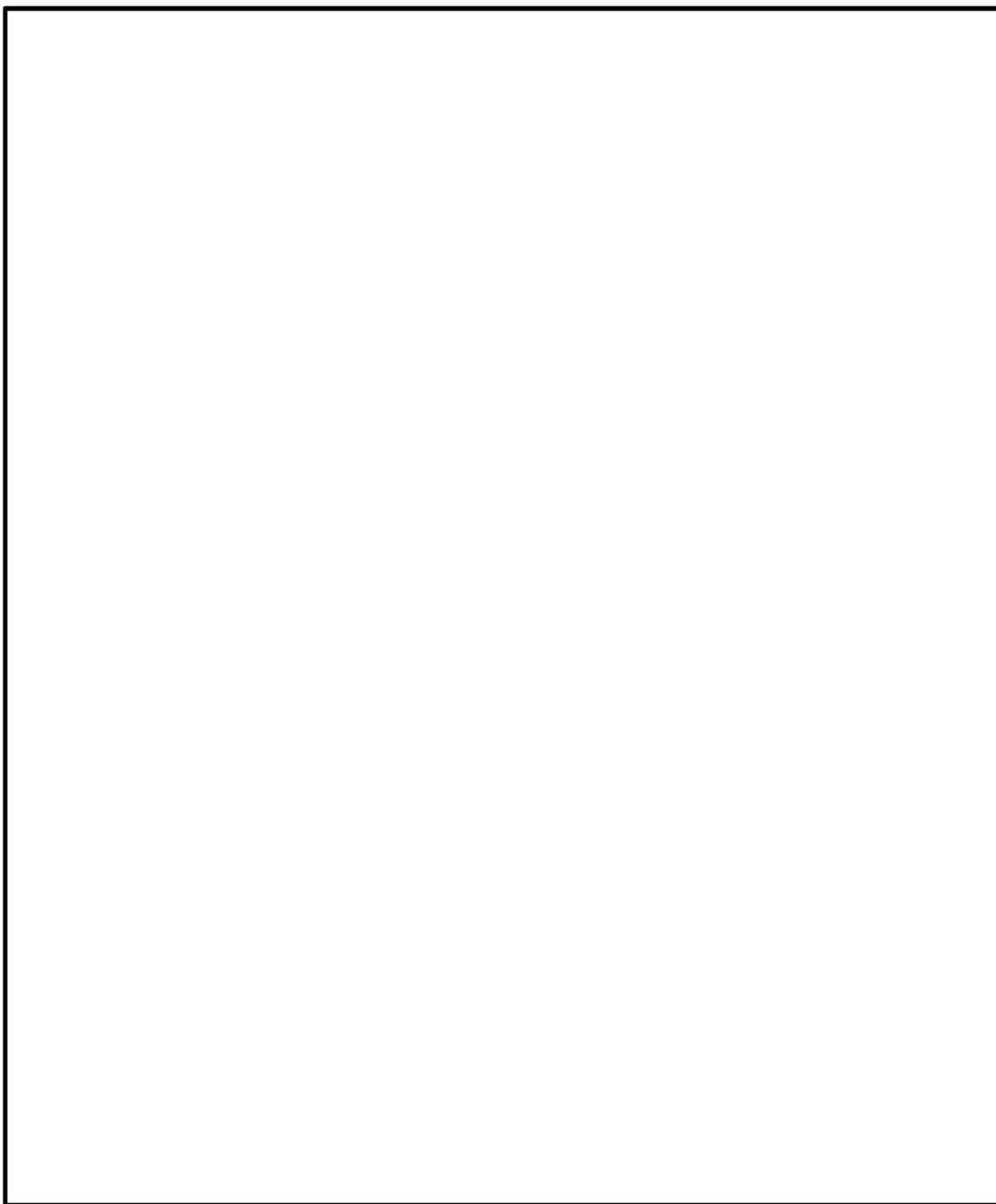


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法 (単位 : mm)

3.2 材料

使用材料及び使用部位を表 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

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 3-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に、荷重状態に対する許容限界を表 3-4 に示す。また、各材料の荷重状態に対する許容限界のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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（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*

D : 死荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）における圧力荷重

P_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き、その後に生じている圧力荷重

M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重

M_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き、その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重

S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記 * : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表3-3 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 ^{*3}
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*2}$	IV ^{*3}

D : 死荷重

P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重

M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重

P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重

M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2 : 原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

*3 : 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 許容限界（クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器）

荷重状態	許容限界 (ライナプレート)	
	膜ひずみ	
	引張	圧縮
Ⅲ	0.003	0.005
Ⅳ		
V*1		

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 3-5 許容限界 (設計基準対象施設)

材料	荷重状態	許容限界	
		膜ひずみ	
		引張	圧縮
SGV480	Ⅲ	0.003	0.005
	Ⅳ	0.003	0.005

表 3-6 許容限界 (重大事故等対処設備)

材料	荷重状態	許容限界	
		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。

表 4-2 アンカーボルトの伸び (重大事故等対処設備)

荷重の組合せ \ 荷重	荷重状態	アンカーボルトの伸び(mm)
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	V*	4.89
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	V*	4.40

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。

(7) 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-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」より得られる。底部コンクリートマットのひずみを表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 底部コンクリートマットのひずみ (設計基準対象施設)

荷重の組合せ	荷重状態	ひずみ*
D + P + M + S _d *	III	±0.00027
D + P + M + S _s	IV	±0.00040
D + P _L + M _L + S _d *	III	±0.00027
	IV	±0.00023

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。

表 4-4 底部コンクリートマットのひずみ (重大事故等対処施設)

荷重の組合せ	荷重状態	ひずみ* ¹
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	V*	±0.00025
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	V*	±0.00039

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。

5. ひずみ計算

5.1 ひずみ評価点

底部ライナ部の耐震評価は、「5.2 ひずみ計算方法」に示す条件に基づき、耐震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

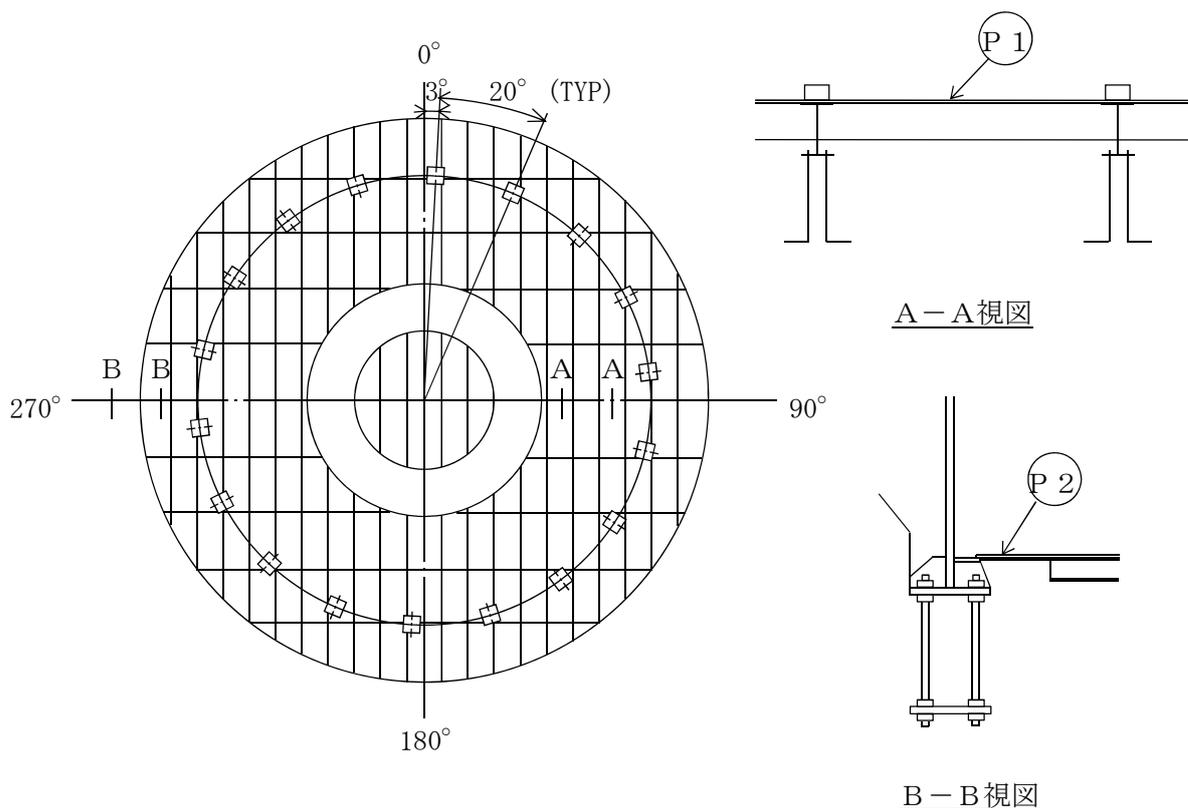


図 5-1 底部ライナ部のひずみ評価点

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を受けるが、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。

同様に、原子炉冷却材喪失事故時荷重を受けるが、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。

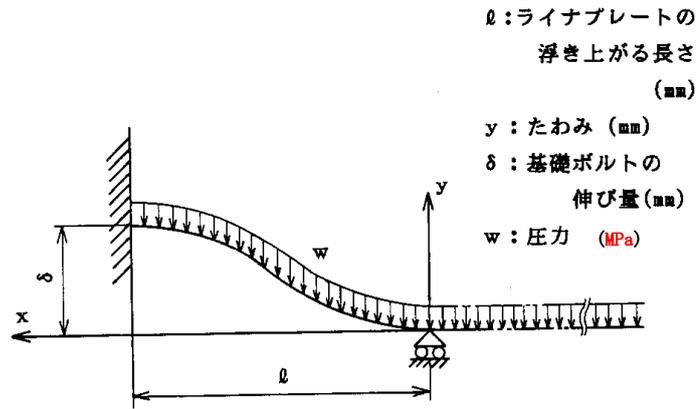


図 5-2 計算モデル

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、

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

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

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

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。

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

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、

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

ここに、表 4-2 より

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

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

$$E = 193000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

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

(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 $D + P + M + S_s$ において計算する。

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

ここに、表 4-1 より

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

w : 逃がし安全弁作動時の圧力

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

$$E = 202000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

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

(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 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ において計算する。

$$\begin{aligned}\ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times 83.3 \times 4.89}{0.699}} \\ &= 300.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

ここに、表 4-2 より

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

w : 冷却材喪失事故時の圧力

$$w = 699 \text{ kPa} = 0.699 \text{ MPa}$$

$$E = 193000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

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

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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 荷重状態Ⅲに対する評価

荷重状態Ⅲ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のうち、 $D + P + M + S_d^*$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 荷重状態Ⅳに対する評価

荷重状態Ⅳに対する評価結果を表 6-2 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

表 6-1(1) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		ひずみの種類	Ⅲ		判定	備考
				発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	引張	0.00027	0.003	○	
			圧縮	0.00027	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00028	0.003	○	
			圧縮	0.00027	0.005	○	

表 6-1(2) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		ひずみの種類	Ⅲ		判定	備考
				発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	引張	0.00027	0.003	○	
			圧縮	0.00027	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00031	0.003	○	
			圧縮	0.00027	0.005	○	

表 6-2(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		ひずみの種類	Ⅳ		判定	備考
				発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	引張	0.00040	0.003	○	
			圧縮	0.00040	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00042	0.003	○	
			圧縮	0.00040	0.005	○	

表 6-2(2) 荷重状態Ⅳに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		ひずみの種類	Ⅳ		判定	備考
				発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	引張	0.00023	0.003	○	
			圧縮	0.00023	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00033	0.003	○	
			圧縮	0.00023	0.005	○	

6.2 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耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(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6-3に示す。

表3-3に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_s$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_d$ の評価について記載している。

表6-3(1) 荷重状態Vに対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

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	0.00025	0.003	○	
			圧縮	0.00025	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00044	0.003	○	
			圧縮	0.00025	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6-3(2) 荷重状態Vに対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

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	0.00039	0.003	○	
			圧縮	0.00039	0.005	○	
	P 2	周辺部	引張	0.00050	0.003	○	
			圧縮	0.00039	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。