

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-683 改 1
提出年月日	平成 30 年 7 月 13 日

## V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書



本書は、ペDESTAL排水系の耐震性の計算書のうち、付属設備の耐震性に関する計算を示すものである。計算書の構成は以下のとおりとする。

第1章 コリウムシールドの耐震性の計算書

第2章 ＊＊＊＊＊＊の耐震性の計算書



## 第1章 コリウムシールドの耐震性の計算書



## 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
2.3 適用基準	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	7
5.1 応力評価点	7
5.2 応力計算方法	8
6. 評価結果	12
7. 床ドレンサンプライナの機能維持について	14
7.1 構造の概要	14
7.2 機能維持の方針	15
7.3 評価内容	16



## 1. 概要

本計算書は、重大事故等対処設備であるコリウムシールドに要求される機能が基準地震動  $S_s$  により定まる地震力に対して確保されていることを説明するものである。

コリウムシールドは、重大事故等対処施設においてはSクラスに分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を行う。

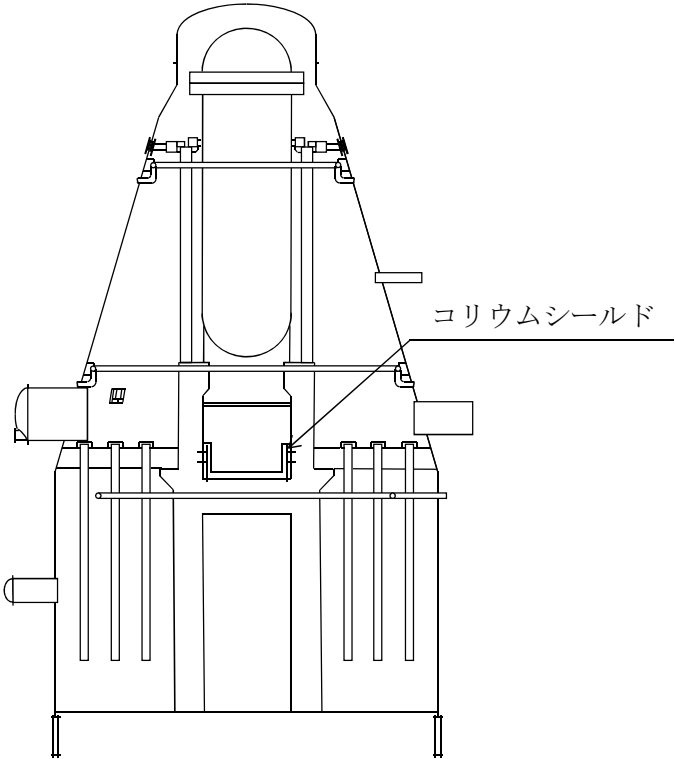


2. 構造説明

2.1 構造計画

コリウムシールドの構造計画を表 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	
<div>・コリウムシールドは原子炉本体の基礎（上部円筒部）にサポートを介して支持される。</div>	<div>・コリウムシールドは熔融炉心から原子炉本体の基礎（コンクリート）を保護するため、原子炉本体の基礎（上部円筒部及び中間スラブ）に設置される構造物である。</div> <div>・コリウムシールドは融点の高いブロック状のシールド材とサポートからなる構造物である。</div>	<div></div>



## 2.2 評価方針

コリウムシールドは、地震荷重に対する機能維持評価を行う。なお、強度評価部位はシールド材を原子炉本体の基礎（上部円筒部）に固定するためのサポートとする。

また、設計荷重は、シールド材に作用する水平地震荷重及び鉛直地震荷重とする。

コリウムシールドの応力評価は、「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並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すコリウムシールドの部位を踏まえ「3. 形状及び主要寸法」にて設定する箇所において、「4.1 設計荷重」で算出した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.2 材料及び許容応力」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

## 2.3 適用基準

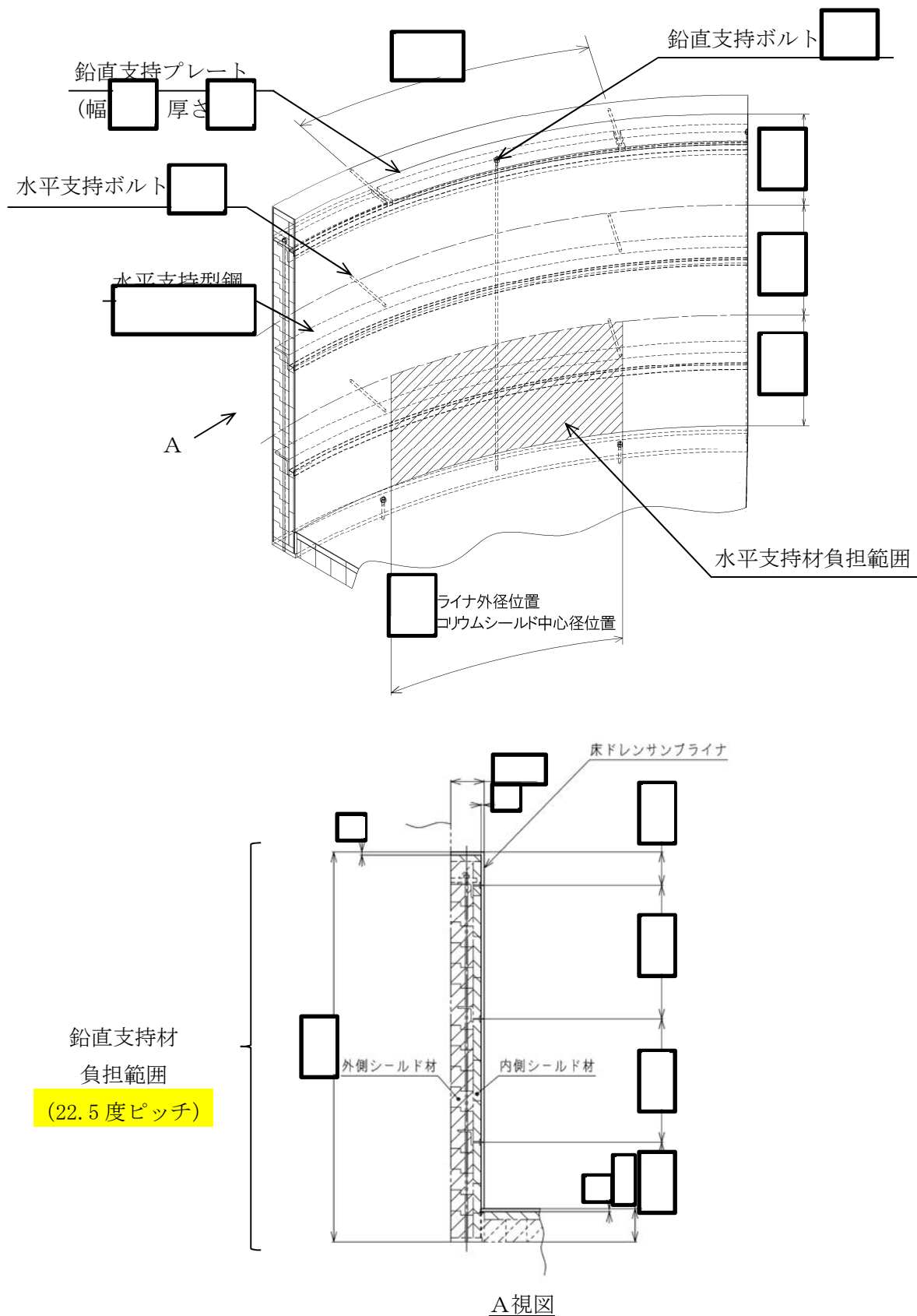
適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月、昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 鋼構造設計基準－許容応力度設計法－（2005 改定）  
（日本建築学会 2005 年 9 月）（以下「鋼構造設計基準」という。）



### 3. 形状及び主要寸法

コリウムシールド各部の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。



A 視図

図 3-1 コリウムシールドの形状及び主要寸法 (単位: mm)



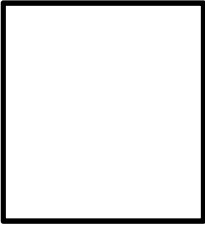
4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 死荷重

図 3-1 に示すとおり，水平支持材及び鉛直支持材が負担する荷重範囲は，水平支持ボルト及び鉛直支持ボルトの支持スパンをそれぞれ考慮し，周方向は [ ] 度ピッチとする。その範囲のシールド材に作用する地震加速度によって，水平方向及び鉛直方向に負荷される荷重を以下に示す。

シールド材の密度  $\rho$   
シールド材の死荷重（方向は図 3-1 参照）  
水平支持材が荷重を負担する範囲の荷重  $W_H$   
鉛直支持材が荷重を負担する範囲の荷重  $W_V$



(2) 地震荷重

コリウムシールドは，ブロック状のシールド材を原子炉本体の基礎の上部円筒部および中間スラブに隙間なく敷設することにより，原子炉本体の基礎と一体の地震応答挙動を示すことから，設計用地震荷重として，「2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」によって算出された設計震度を適用する。コリウムシールドの設計震度を表 4-1 に示す。

表 4-1 設計震度

据付場所及び 床面高さ (m)	基準地震動 $S_s$		
	水平方向 $C_H$		
ペデスタル [ ]			
	鉛直方向 $C_V$		

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

(3) 水荷重

コリウムシールドに囲まれる空間には，通常運転時の液体廃棄物の検知機能を維持する目的と，重大事故時の溶融炉心の冷却機能を維持する目的で，常時水張りをしている。これらの水による水頭圧は最大でも [ ] であり，コリウムシールドに圧縮荷重として作用した場合でもシールド材の圧縮耐力である [ ] に比べ十分小さいため，水荷重による応力は評価対象としない。



#### 4.2 材料及び許容応力

##### (1) 材料

水平支持型鋼	SUS304
水平支持ボルト	SUS304
鉛直支持プレート	SM490B
鉛直支持ボルト	SM490B

##### (2) 荷重の組合せ及び許容応力

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、荷重の組合せを表 4-2 に示し、許容応力を表 4-3 に示す。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	荷重の種類
常設重大事故 緩和設備	コリウム シールド	S	—	D + S <sub>s</sub>	短期荷重

注：D…死荷重

S<sub>s</sub>…基準地震動 S<sub>s</sub>により定まる地震動

表4-3 許容応力

(単位：MPa)

材料	荷重の種類	基準応力 F	許容応力			
			引張応力 f <sub>t</sub>	曲げ応力 f <sub>b</sub>	せん断応力 f <sub>s</sub>	組合せ応力 f <sub>t</sub>
SUS304	短期荷重	205	205	205	118	205
SM490B	短期荷重	315	315	363	181	315



5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	水平支持型鋼
P 2	水平支持ボルト
P 3	鉛直支持プレート
P 4	鉛直支持ボルト

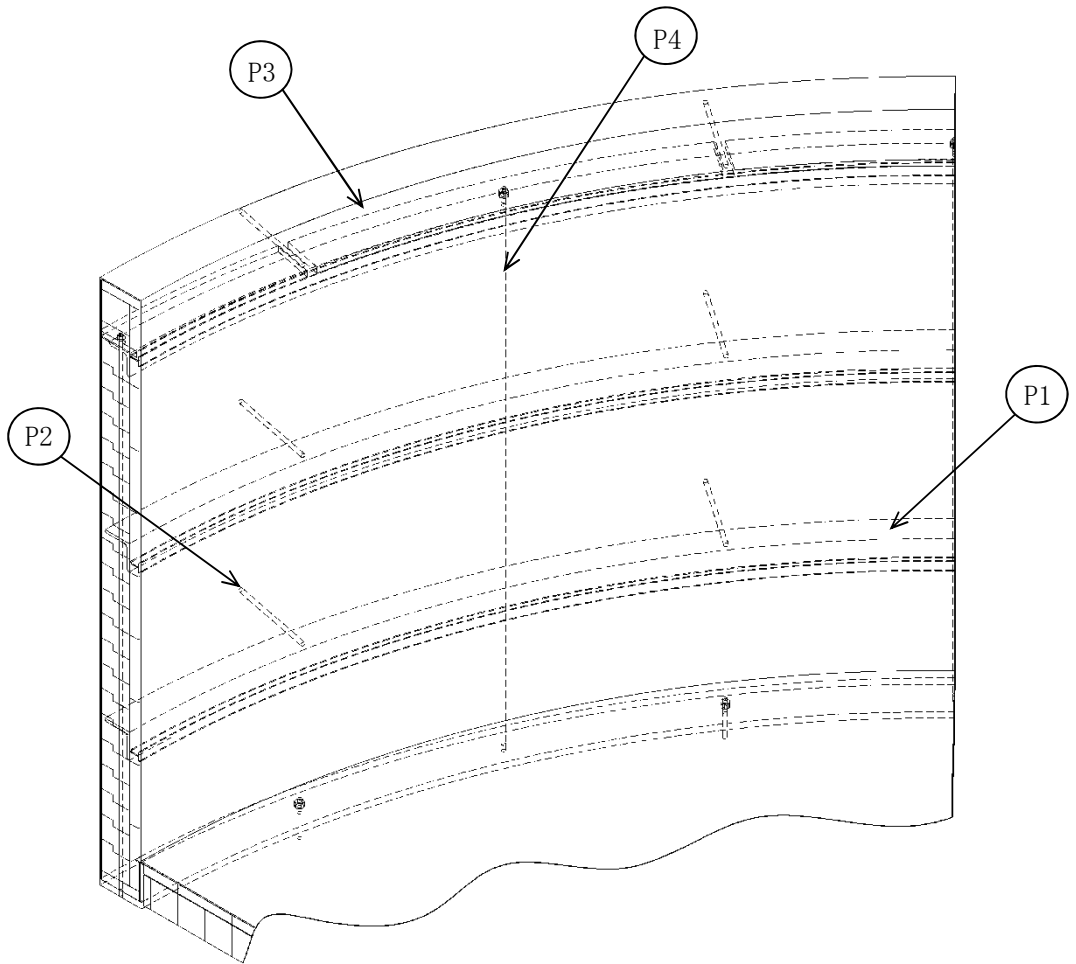


図 5-1 応力評価点



## 5.2 応力計算方法

### 5.2.1 水平支持材の応力計算（応力評価点 P 1 及び P 2）

#### (1) 計算モデル

図 3-1 に示す水平支持材が荷重を負担する範囲のシールド材の水平地震荷重が、水平支持型鋼に等分布荷重として作用することとなる。水平支持型鋼は、水平支持ボルトと溶接によって接続されるため、計算モデルは図 5-1 に示す両端固定はりとして計算する。

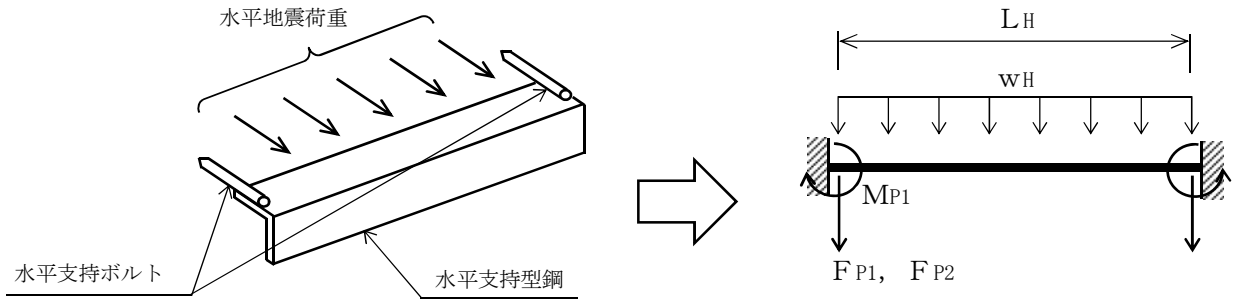


図 5-1 計算モデル

#### a. 水平方向地震による等分布荷重

$$w_H = \frac{W_H \cdot C_H}{L_H}$$

ここで、

$L_H$  : 水平支持スパン =

#### b. 水平支持型鋼に作用する曲げモーメント

$$M_{P1} = \frac{w_H \cdot L_H^2}{12}$$

#### c. 水平支持型鋼に作用するせん断力

$$F_{P1} = w_H \cdot \left( \frac{L_H}{2} \right)$$

#### d. 水平支持ボルトに作用する引張力

$$F_{P2} = 2 \cdot F_{P1}$$

#### (2) 応力計算

##### a. 水平支持型鋼の曲げ応力

$$\sigma_{bP1} = \frac{M_{P1}}{Z_{P1}}$$

ここで、

$Z_{P1} =$



- b. 水平支持型鋼のせん断応力

$$\tau_{P1} = \frac{F_{P1}}{A_{P1}}$$

ここで,

$A_{P1}$ : 水平支持型鋼のせん断断面積

- c. 水平支持型鋼の組合せ応力

$$\sigma_{P1} = \sqrt{\sigma_{bP1}^2 + 3 \cdot \tau_{P1}^2}$$

- d. 水平支持ボルトの引張応力

$$\sigma_{tP2} = \frac{F_{P2}}{A_{P2}}$$

ここで,

$A_{P2}$ : ボルト有効断面積

- e. アンカー部の引抜力に対するコンクリートの評価

水平支持ボルトのアンカー部の許容引抜力  $P_{CP2}$  は以下の式で算出する。

$$P_{CP2} = 0.8^{*1} \cdot K_1 \cdot A_{CP2} \cdot \sqrt{F_c}$$

ここで,

$K_1$ : コンクリートがコーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数=0.6

$A_{CP2}$ : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積

$F_c$ : コンクリートの設計基準強度

注記 \*1: 後付けアンカー部は 20% の低減を行う。



## 5.2.2 鉛直支持材の応力計算（応力評価点 P 3 及び P 4）

### (1) 計算モデル

図 3-1 に示す鉛直支持材が荷重を負担する範囲のシールド材の鉛直地震荷重が、鉛直支持プレートに等分布荷重として作用する場合、図 5-2 に示す片持ちはりとして計算することができる。ただし、4.1 項に示すとおり、コリウムシールドに作用する鉛直震度は 1.0 未満であり、実際にはシールド材の浮き上がりによる荷重は作用しないため、発生応力は生じない。

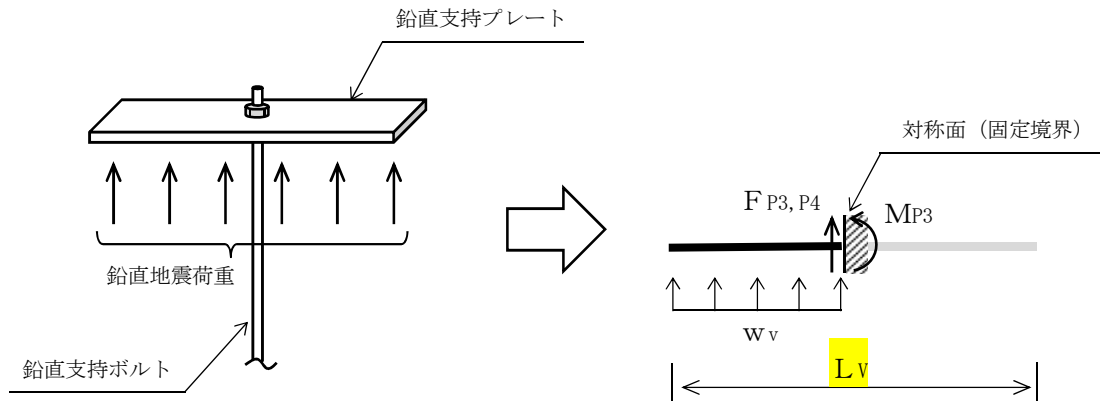


図 5-2 計算モデル

#### a. 鉛直方向地震による等分布荷重

$$w_v = \frac{W_v \cdot C_v}{L_v}$$

ここで、

$L_v$  : 荷重を負担する範囲の鉛直支持プレート長さ



#### b. 鉛直支持プレートに作用する曲げモーメント

$$M_{P3} = \frac{w_v \cdot \left(\frac{L_v}{2}\right)^2}{2}$$

#### c. 鉛直支持プレートに作用するせん断力

$$F_{P3} = w_v \cdot \left(\frac{L_v}{2}\right)$$

#### d. 鉛直支持ボルトに作用する支持反力

$$F_{P4} = 2 \cdot F_{P3}$$



## (2) 応力計算

- a. 鉛直支持プレートの曲げ応力

$$\sigma_{bP3} = \frac{M_{P3}}{Z_{P3}}$$

ここで,

 $Z_{P3}$  

- b. 鉛直支持プレートのせん断応力

$$\tau_{P3} = \frac{F_{P3}}{A_{P3}}$$

ここで,

 $A_{P3}$  : 鉛直支持プレートのせん断断面積 

- c. 鉛直支持プレートの組合せ応力

$$\sigma_{P3} = \sqrt{\sigma_{bP3}^2 + 3 \cdot \tau_{P3}^2}$$

- d. 鉛直支持ボルトの引張応力

$$\sigma_{tP4} = \frac{F_{P4}}{A_{P4}}$$

ここで,

 $A_{P4}$  : ボルト有効断面積 

- e. アンカー部の引抜力に対する評価

鉛直支持ボルトのアンカー部の許容引抜力  $P_{CP4}$  は以下の式で算出する。

$$P_{CP4} = 0.8^{*1} \cdot K_1 \cdot A_{CP4} \cdot \sqrt{F_c}$$

ここで,

 $K_1$  : コンクリートがコーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数=0.6 $A_{CP4}$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積  $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 

注記 \*1:後付けアンカー部は20%の低減を行う。



## 6. 評価結果

コリウムシールドの応力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) 短期荷重に対する評価

短期荷重に対する応力評価結果を表 6-1 に，アンカー部の引抜力に対する評価結果を表 6-2 に示す。



表 6-1 短期荷重に対する応力評価結果 (D + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期荷重		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				(MPa)	(MPa)		
コリウムシールド	P 1	水平支持型鋼	曲げ応力	47	205	○	
			せん断応力	6	118	○	
			組合せ応力	49	205	○	
	P 2	水平支持ボルト	引張応力	69	205	○	
	P 3	鉛直支持プレート	曲げ応力	0	363	○	
			せん断応力	0	181	○	
			組合せ応力	0	315	○	
	P 4	鉛直支持ボルト	引張応力	0	315	○	

表 6-2 アンカー部の引抜力に対する評価結果 (D + S<sub>s</sub>)

評価部位		荷重の種類	短期荷重		判定	備考
			発生値	許容引抜力		
			(N)	(N)		
P 2	水平支持ボルト	引抜力	$5.743 \times 10^3$	$8.338 \times 10^4$	○	
P 4	鉛直支持ボルト	引抜力	0	$8.338 \times 10^4$	○	



## 7. 床ドレンサンプライナの機能維持について

### 7.1 構造の概要

床ドレンサンプライナは、ペDESTALの側面及び底面に敷き詰められたコリウムシールドのシールド材の表面に、ステンレス製のライナを内張りした構造となっており、耐漏洩機能を有するよう設計されている。

床ドレンサンプライナは、コリウムシールドに囲まれる空間が、通常運転時の液体廃棄物の検知機能を維持する目的と、重大事故時の溶融炉心の冷却機能を維持する目的で常時水張りを実施しているため、ペDESTAL内（ドライウェル部）に水位を形成及び維持できるよう設置されている。

床ドレンサンプライナの概要を図7-1に示す。

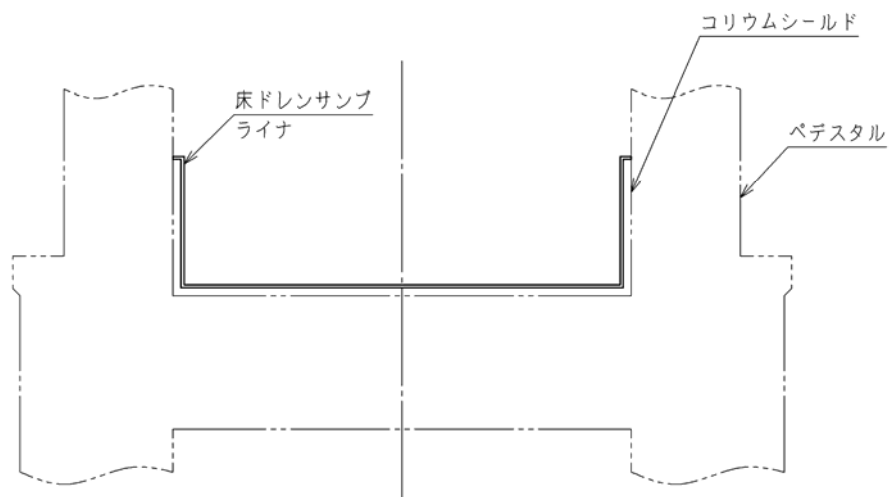


図7-1 床ドレンサンプライナの概要



## 7.2 機能維持の方針

床ドレンサンプライナの構造、形状及び寸法を図7-2に示す。

床ドレンサンプライナは、ペDESTALの側面及び底面に敷き詰められたシールド材の表面に、ステンレス製のライナが内張りされる構造となっており、耐漏洩機能を有している。そのため、地震時に対してライナは強度部材として扱わず、分割したシールド材をコリウムシールドのサポートにより支持する構造としている。また、4.1項に示すとおり、コリウムシールドに作用する鉛直震度は1.0未満であり、浮き上がりが生じない構造であるため、床ドレンサンプライナに対する鉛直地震荷重は作用しない。

内側シールド材は、目地材により外側シールド材に接着されており、水平方向支持材で内側シールド材の一部を拘束する構造となっている。本書では、内側シールド材にライナ方向の水平荷重が作用した場合に、全て床ドレンサンプライナが荷重負担することを仮定し、耐震評価を実施する。鉛直地震荷重に対しては、床ドレンサンプライナに対する荷重が伝達されないため、底面部のライナは評価対象外とする。

床ドレンサンプライナの評価にあたっては、水平方向支持材の高さ方向のピッチに着目し、保守的なピッチ  を設定する。

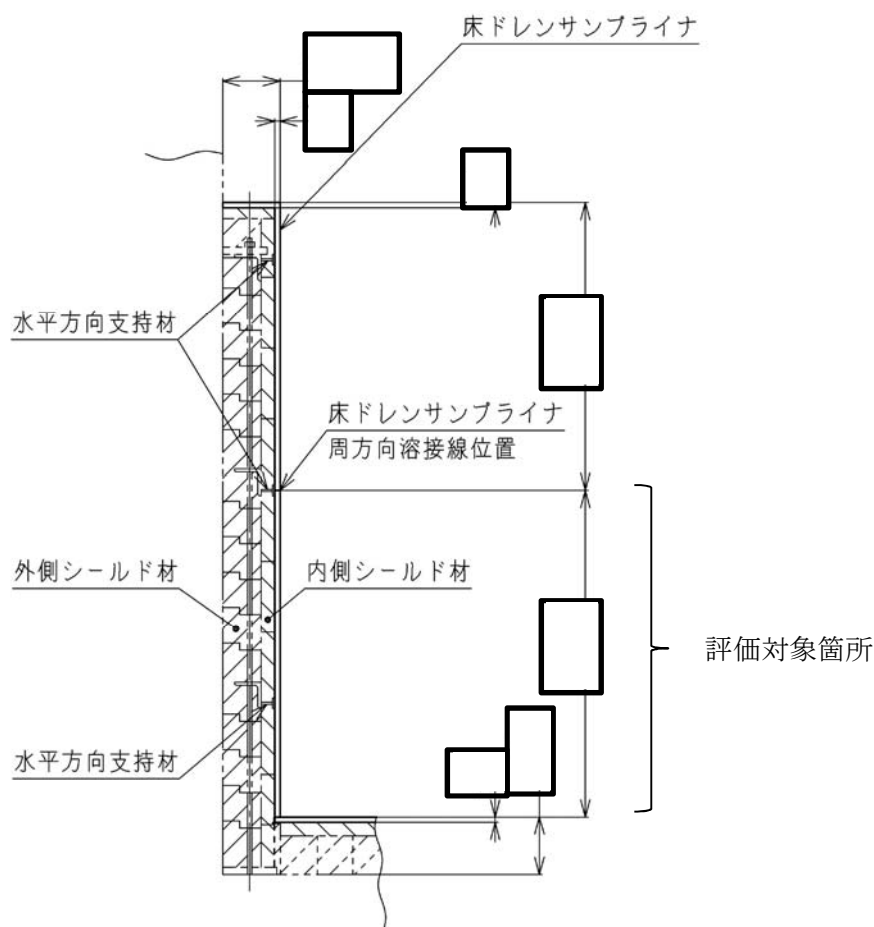


図7-2 床ドレンサンプライナの構造、形状及び寸法



### 7.3 評価内容

#### 7.3.1 応力評価方法

##### (1) 曲げ応力

図 7-2 に示す範囲の内側シールド材の水平地震荷重がライナに等分布荷重として作用するものと考え、図 7-3 に示す両端固定はりとして計算する。

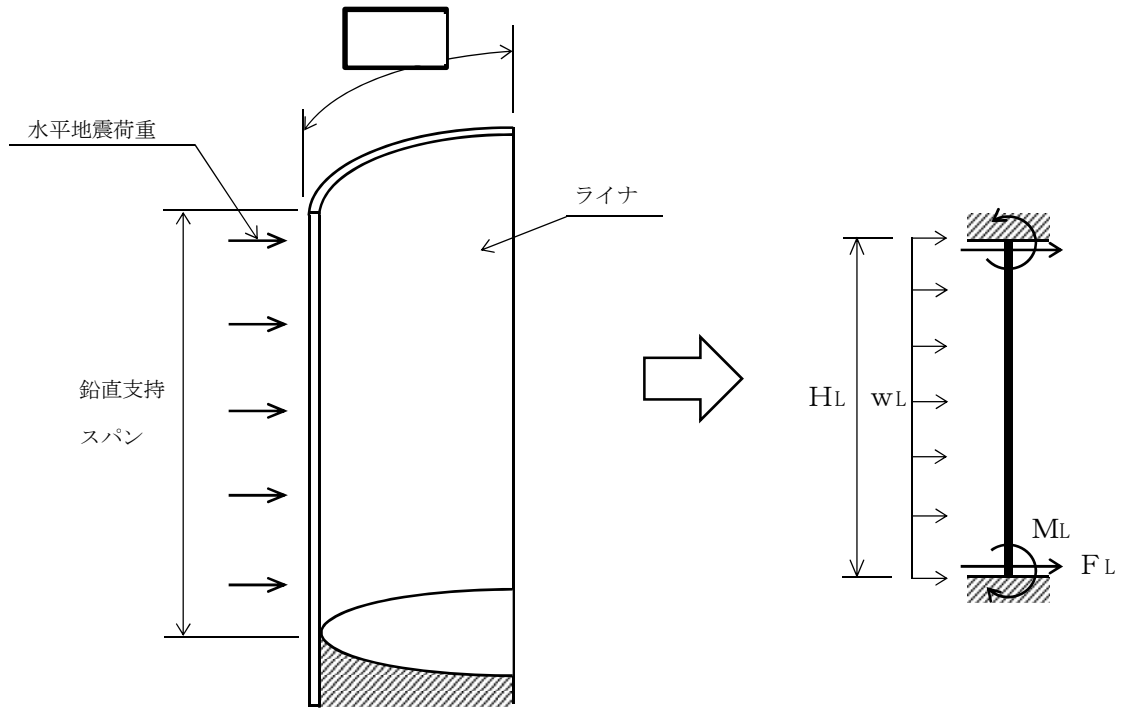


図 7-3 計算モデル

##### a. 水平方向地震による等分布荷重

$$w_L = \frac{W_L \cdot C_H}{H_L}$$

ここで、

$W_L$  : ライナが負担する死荷重

$H_L$  : 鉛直支持スパン

##### b. ライナに作用する曲げモーメント

$$M_L = \frac{w_L \cdot H_L^2}{12}$$

##### c. ライナに作用するせん断力

$$F_L = w_L \cdot \left( \frac{H_L}{2} \right)$$



(2) 応力計算

a. ライナの曲げ応力

$$\sigma_{bL} = \frac{M_L}{Z_L}$$

ここで、

$Z_L =$

b. ライナのせん断応力

$$\tau_L = \frac{F_L}{A_L}$$

ここで、

$A_L$  : ライナのせん断断面積 =

c. ライナの組合せ応力

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_{bL}^2 + 3 \cdot \tau_L^2}$$

7.3.2 応力評価結果

床ドレンサンプライナの応力評価結果を表 7-1 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。

表 7-1 短期荷重に対する応力評価結果 (D + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	評価部位	応力分類	短期荷重		判定	備考
			発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)		
床ドレンサンプ ライナ	ライナ (SUS304)	曲げ応力	51	236	○	
		せん断応力	1	118	○	
		組合せ応力	51	205	○	