

タイトル	海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンク、復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について
説明	<p>海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンクおよび復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について添付に示す。</p> <p>(1) 海水ポンプ : 添付-1 (2) 脱気器タンク : 添付-2 (3) 燃料取替用水タンク : 添付-3 (4) 復水タンク : 添付-4</p>

(1) 海水ポンプ
 <評価仕様>

表1 据付面基礎ボルトの評価仕様

名称	単位	仕様
評価温度 (周囲温度)	℃	40
海水ポンプの質量	kg	-
基礎ボルトの本数	—	
基礎ボルトのピッチ円直径	mm	
基礎ボルト呼び径	—	
基礎ボルト材質	—	
基礎ボルト 減肉量	mm	0.3 (直径0.6)

<解析モデル>

海水ポンプの解析は、多質点はりモデルによるスペクトルモーダル解析を適用する。
 解析モデルを図1に示す。

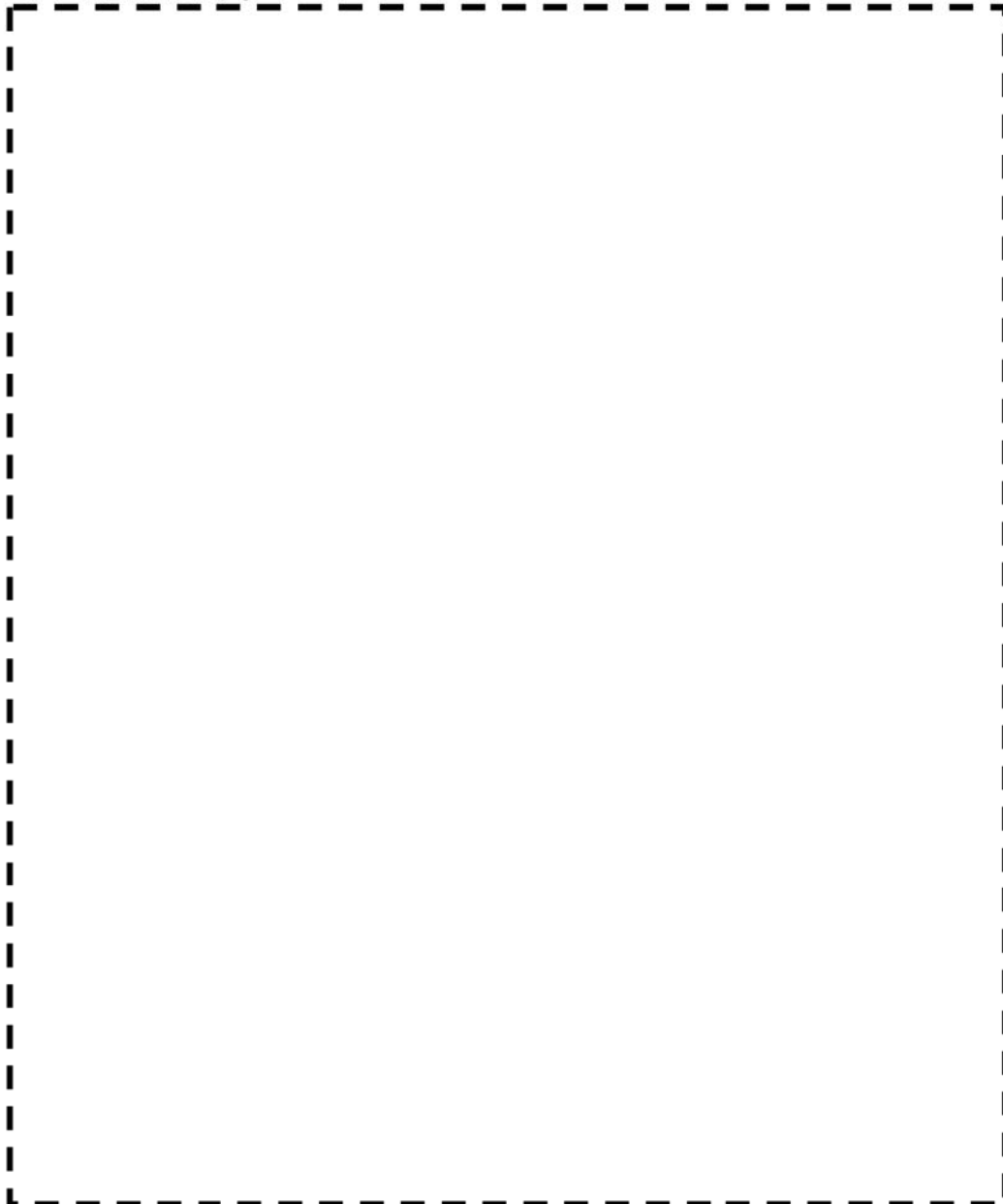


図1 解析モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<入力（荷重）条件>

【水平方向】



【鉛直方向】

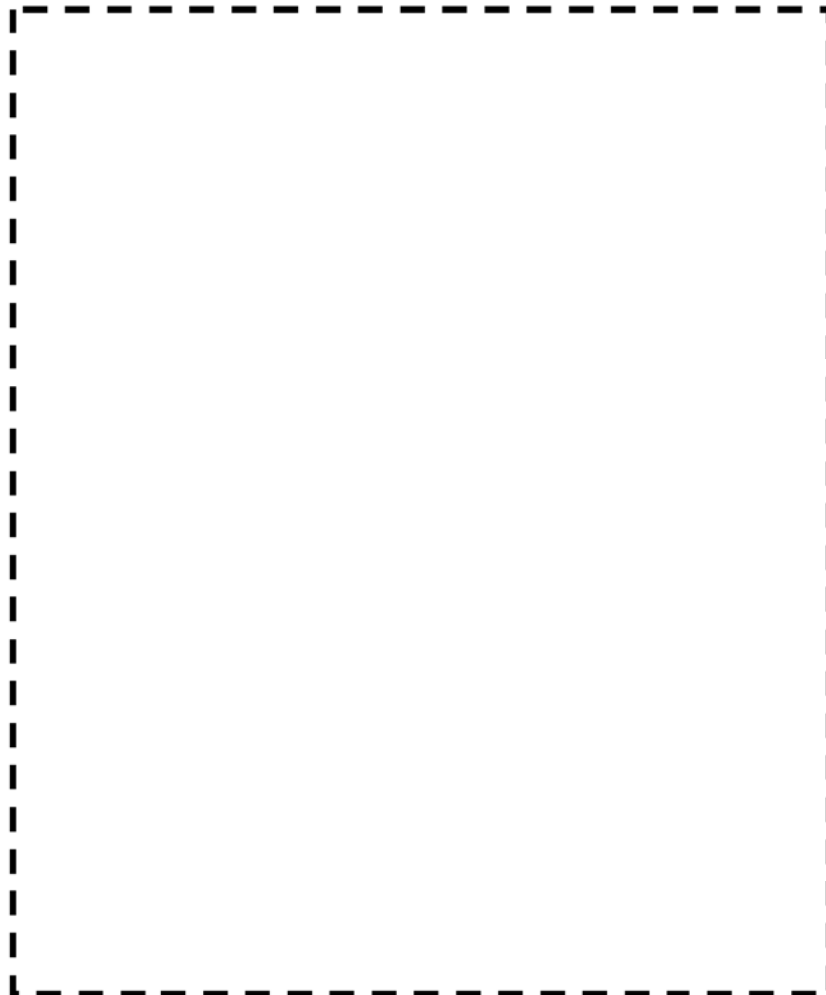


図2 水平方向の床応答曲線

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<スペクトルモーダル解析結果>

基礎部の質点26の解析結果を表2に示す。

表2 基礎部の地震荷重 (スペクトルモーダル解析結果)

荷重の分類	解析結果
曲げモーメント (N・m)	
水平力 (N)	

<評価結果>

○据付面基礎ボルトの引張応力

曲げモーメントMにより基礎に生じる引張力は、下式より求める。

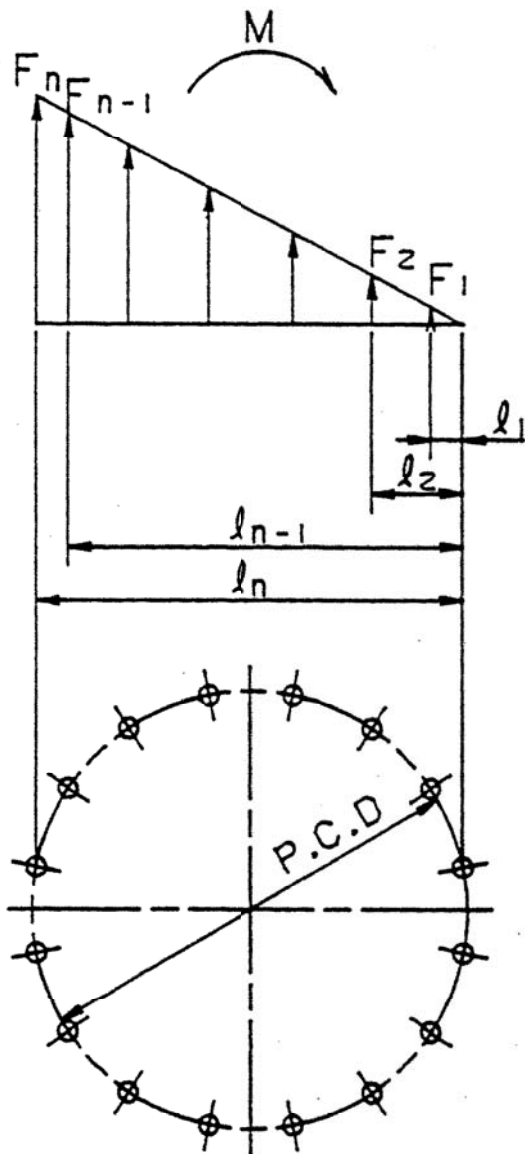


図3 ボルト配置図

$$M = M_H - (g - a_v) \times m \times r$$

M_H : 地震により生じる曲げモーメント

m : 機器の質量 (kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

a_v : 評価用鉛直加速度 (5.296 m/s² = 0.54 G)

r : (ピッチサークル半径 1500/2 mm)

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot l_i$$

$$\frac{F_i}{l_i} = \text{一定}$$

ボルトに発生する最大引張力 F_n は、次式で求める。

$$F_n = \frac{M \cdot l_n}{2 \sum_{i=1}^n l_i^2}$$

この時、ボルトに発生する引張応力 σ_{bt} は

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b} \text{ となる。}$$

ここで

A_b = ボルトの断面積

ボルトに発生するせん断応力 τ_{bs}

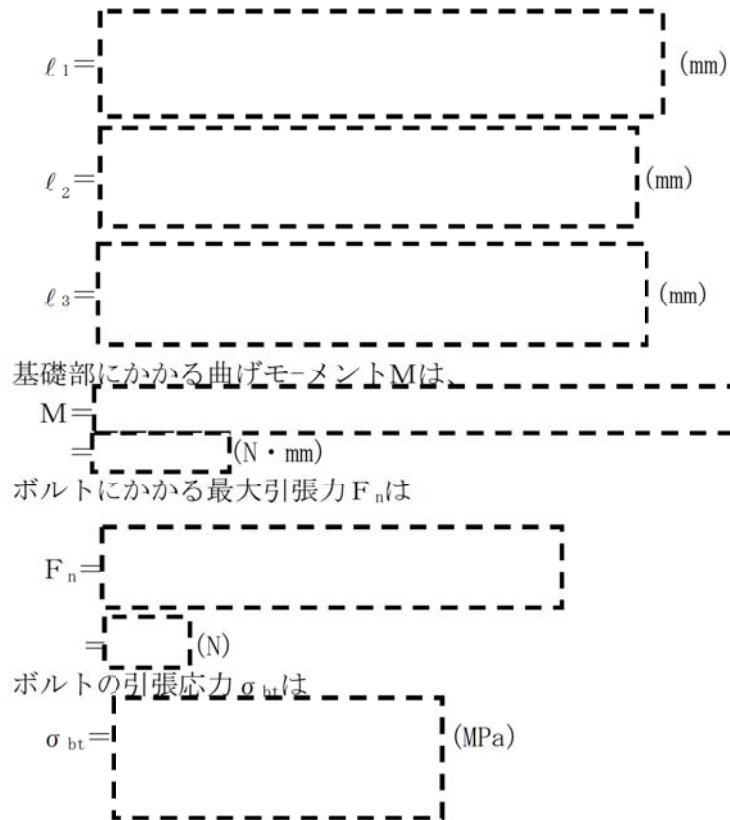
ボルトに生じるせん断力は、ボルト全数で受けるものとして次式で求める。

$$\tau_{bs} = \frac{F}{A_b \times n}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

1) 据付面基礎ボルトの引張応力

図3において l_n は以下のように求める。



2) 据付面基礎ボルトのせん断応力

ボルトのせん断応力 τ_{bs} は

$$\tau_{bs} = \frac{F}{A_b \times n} = \text{ } 10 \text{ (MPa)}$$

以上で求めた据付面基礎ボルトの発生応力より、断面積比により減肉後の発生応力を求めた。評価結果を表3に示す。

表3 据付面基礎ボルトに発生する応力

応力分類	発生応力 (MPa)		許容値 (MPa)	減肉後の 応力比 (PLM)
	減肉前 (工認)	減肉後* (PLM)		
引張				0.11
せん断				0.07

* : 減肉後発生応力=減肉前発生応力× { (呼び径)² / (呼び径-減肉量×2)² }

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

評価温度40℃の基礎ボルト材質SS400の設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、

$S_y = \text{---} \text{MPa}$, $S_u = \text{---} \text{MPa}$ より

$$\begin{aligned} F^* &= \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) \\ &= \text{Min}(1.2 \times \text{---}, 0.7 \times \text{---}) \\ &= \text{Min}(\text{---}) \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

①許容引張応力 $1.5f_t^*$

$$\begin{aligned} 1.5f_t^* &= 1.5 \times F^* / 2 \\ &= 1.5 \times \text{---} / 2 \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

②許容せん断応力 $1.5f_s^*$

$$\begin{aligned} 1.5f_s^* &= 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3} \\ &= 1.5 \times \text{---} / 1.5\sqrt{3} \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= 1.5 \times \text{---} \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

③せん断応力と引張応力の組合せ応力 $1.5f_{ts}^*$

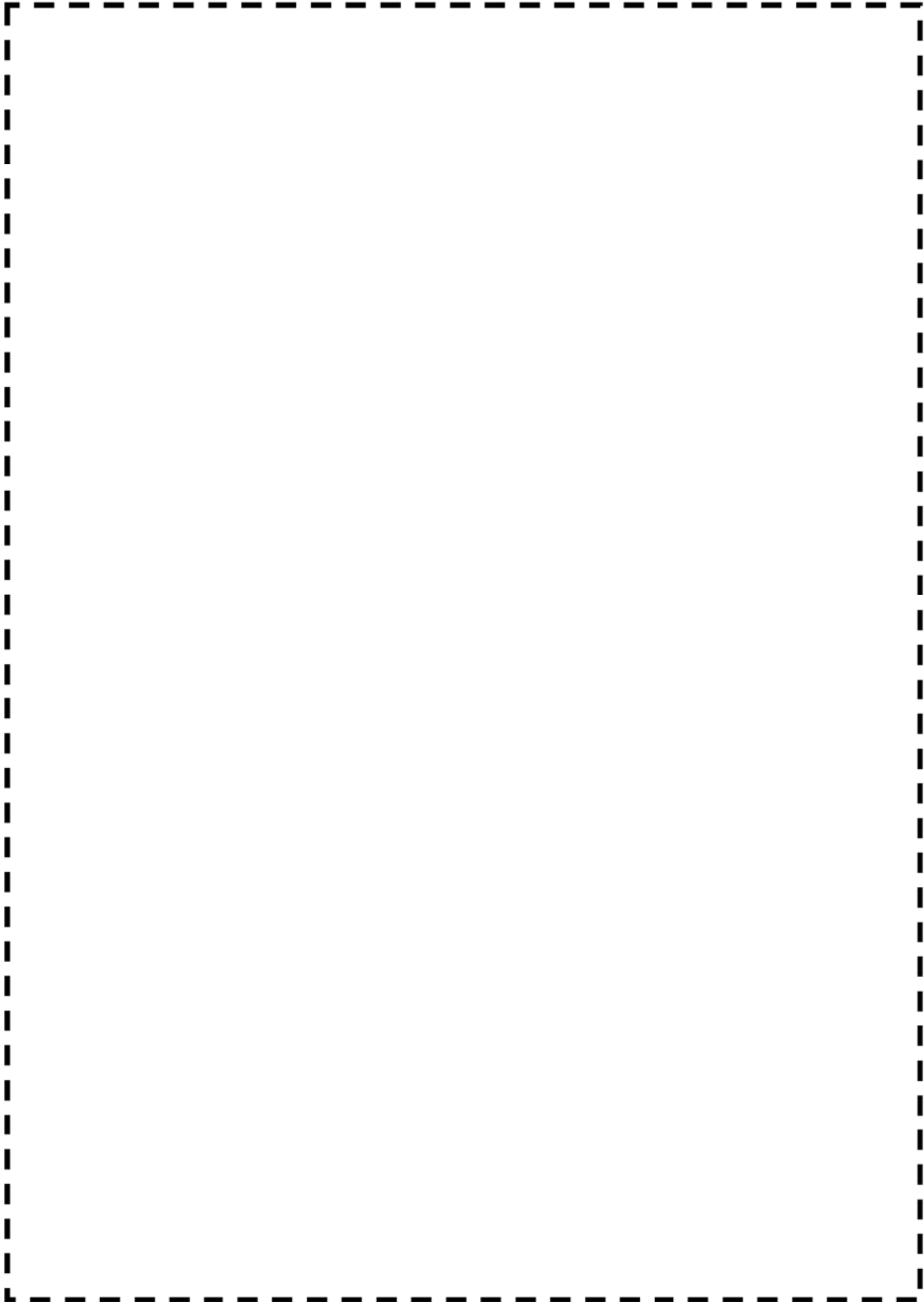
せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 $1.5f_{ts}^*$ は、

$$\begin{aligned} 1.5f_{ts}^* &= \text{Min}(1.4f_{to}^* - 1.6\tau, f_{to}^*) \\ \text{ここで、} f_{to}^* &= 1.5f_t^* = \text{---} \text{MPaより} \\ 1.5f_{ts}^* &= \text{Min}(1.4 \times \text{---} - 1.6 \times \text{---}) \\ &= \text{Min}(\text{---}) \\ &= \text{---} \text{MPa} \end{aligned}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(2) 脱気器タンク
<評価仕様およびモデル>

脱気器タンクの評価モデルを下記に示す。



脱気器タンク 基礎 (設置床レベル)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

基礎ボルトへの発生応力の有無について、下記のとおり評価した。

1. 転倒モーメントによる引張力についての検討

(1) 地震時転倒の可能性の検討方法

地震力による転倒モーメント $M_E = F_E \cdot H = (C_H \cdot g \cdot W) \cdot H$

機器自重による復元モーメント $M_W = g \cdot W \cdot \ell_1$

ここで、 $M_E > M_W$ であれば転倒しようとする。逆に $M_E < M_W$ であれば転倒しない。

この関係を書き直すと、 $(C_H \cdot H) / \ell_1 > 1$ であれば、転倒しようとし引張力が掛かる。

$(C_H \cdot H) / \ell_1 < 1$ であれば、転倒せず引張力は掛からない。

F_E : (水平)地震力

H : 重心高さ

C_H : 静的水平震度


g : 重力加速度


W : 機器質量


ℓ_1 : 重心と基礎ボルト間の寸法

(2) 地震時転倒の可能性の検討

$$\frac{(C_H \times H)}{\ell_1}$$

ここで、 C_H (静的水平震度) : 

H (重心高さ) :  (m)

ℓ_1 (機器重心と基礎ボルト間の寸法) :  (m)

$$\therefore \frac{(C_H \times H)}{\ell_1} < 1 \text{ となり、当該機器は転倒せず、引張力}$$

は掛からない。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. せん断力についての検討

①地震時に滑る可能性の検討方法

地震力による滑り力 $F_E = C_H \cdot g \cdot W$

基礎ボルトの固定面の摩擦による抵抗力 $F_W = \mu \cdot g \cdot W$

ここで、 $F_E > F_W$ であれば滑る。逆に $F_E < F_W$ であれば滑らない。

この関係を書き直すと、 $C_H / \mu > 1$ であれば滑る。

$C_H / \mu < 1$ であれば滑らない。
ここで μ は、鋼-鋼間は []、鋼-コンクリート間は [] とする。

C_H : 静的水平震度

g : 重力加速度

W : 機器質量

μ : 機器と据付面に働く静止摩擦係数

②地震時に滑る可能性の検討

$$\frac{C_H}{\mu}$$

ここで、 C_H (静的水平震度) : []
 μ (機器と据付面に働く静止摩擦係数) : []

合)

$\therefore \frac{C_H}{\mu} = [] < 1$ となり、当該機器は滑らず、せん断力は掛から

ない。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3) 燃料取替用水タンク
 <評価仕様>

表1-1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	95	
容器の満水時重量	m_0	kg		
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度 : 図2 参照	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点計応答解析結果にハウズナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っている。

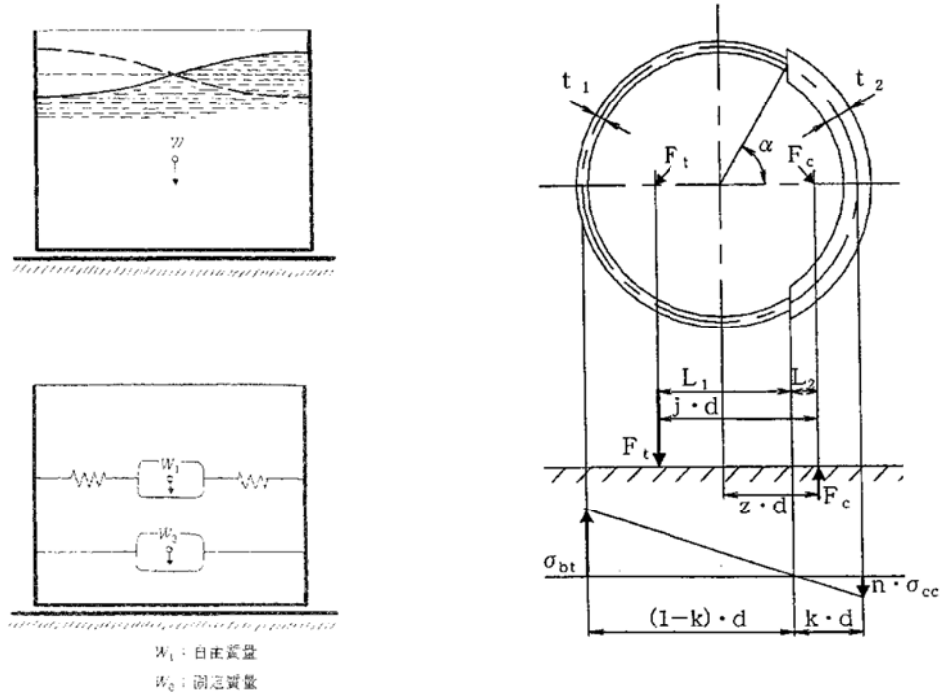


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

【鉛直方向】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価している。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_0' は、

$$W_0' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_0 は、

$$W_0 = W_0' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

a. 振動力を加味した W_w の等価重量 W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{s})$$

c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は (s) であるが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要がある。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \quad \text{となる。ここで、} \omega = 2\pi/T \quad (T: \text{固有周期})$$

図4の床応答曲線より、固有周期1(s)の時の応答加速度 C''_{DH} は G であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH}$$

スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとしたうえ、安全側にスロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g =$$

d. 最大変位 A_1 及び自由振動角度 θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2}$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)$$

e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

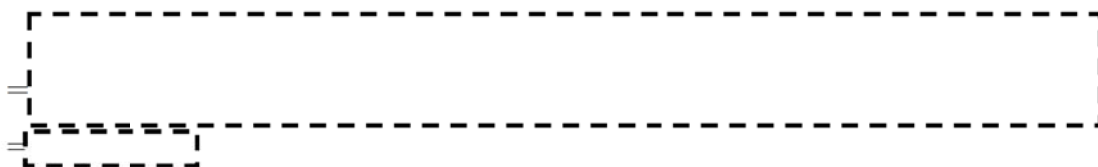
転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0 = \boxed{\phantom{\hspace{15em}}}$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right] = \boxed{\phantom{\hspace{15em}}}$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$



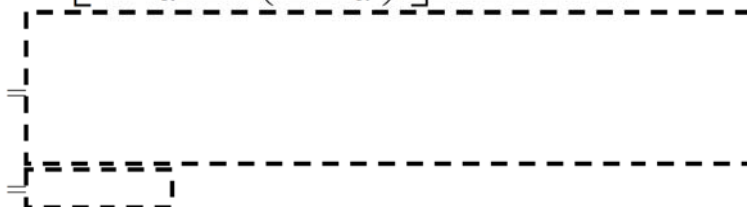
3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1 = \boxed{\phantom{\hspace{15em}}}$$

ここで、

$$h_1 = h \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JG4601-1987による。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$
 $a_v = C_v \cdot g =$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1 + X_3}{X_2 + X_4} \right\}$$

$$X_1 =$$

$$X_2 =$$

$$X_3 =$$

$$X_4 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \times$$

$$X_6 = \sin$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_0(g - a_v)$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \quad \text{! (小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot \Lambda_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

$$F_H = a_H \cdot m_0 = C_H \cdot g \cdot m_0$$

(小数第1位以下を切り上げ)

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表となる。

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.67			0.70
せん断			0.41			0.42

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

$$\text{減肉前の発生応力} \times \frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{\dots\}}{\frac{\pi}{4} \times \{\dots - 0.3 \times 2\}^2}$$

なお、燃料取替用水タンクの基礎ボルトについては、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の評価部位となっていることから、腐食（全面腐食）に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行った。結果は、以下の表となる。

応力	減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.92
せん断			0.60

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \text{[] (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \text{[] (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}[\text{[]}, \text{[]}] \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \text{[]}, 1.5\sqrt{3} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5f_s^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \text{[]} - 1.6 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min}[\text{[]}, \text{[]}] = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

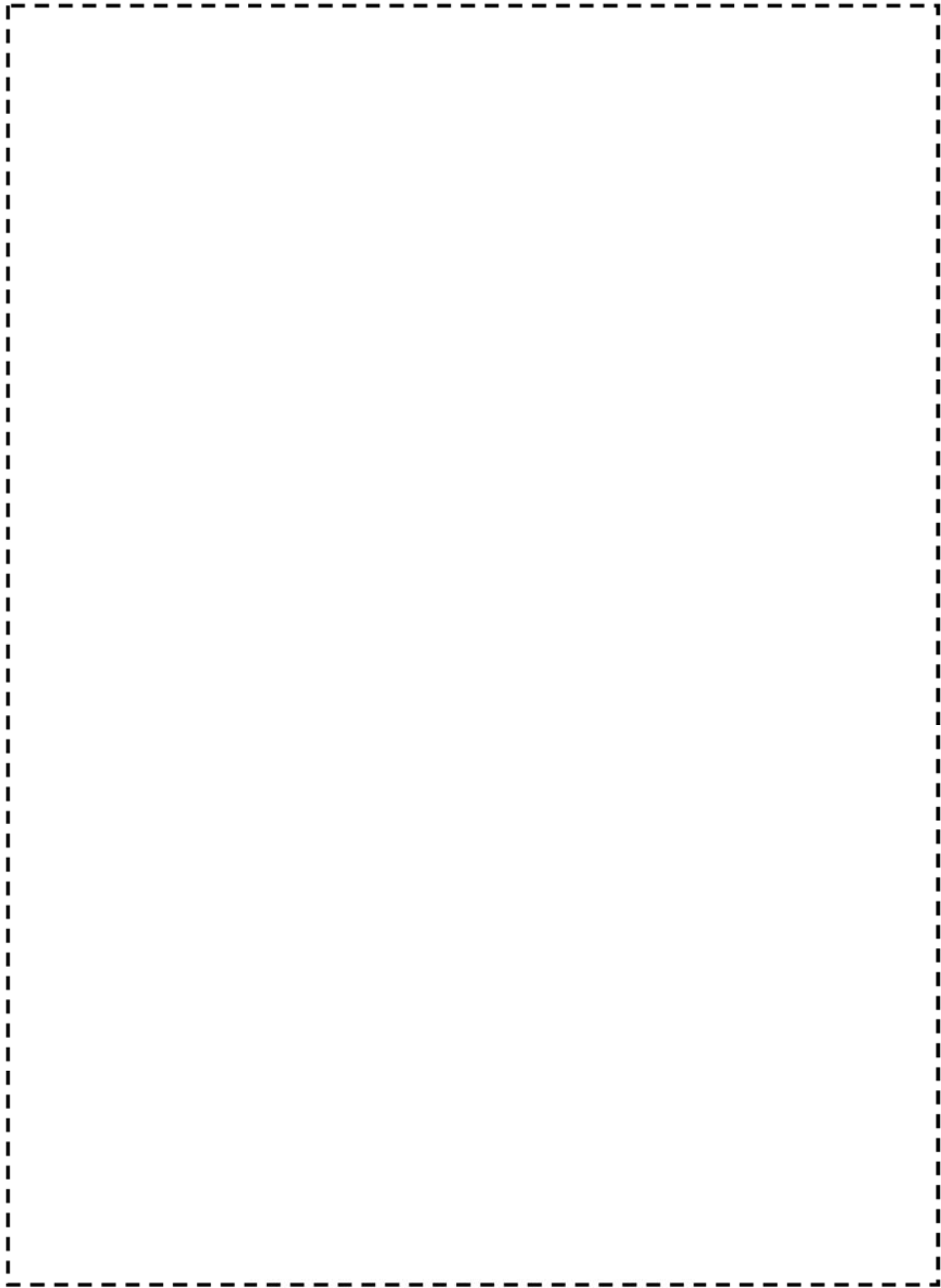


図2 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

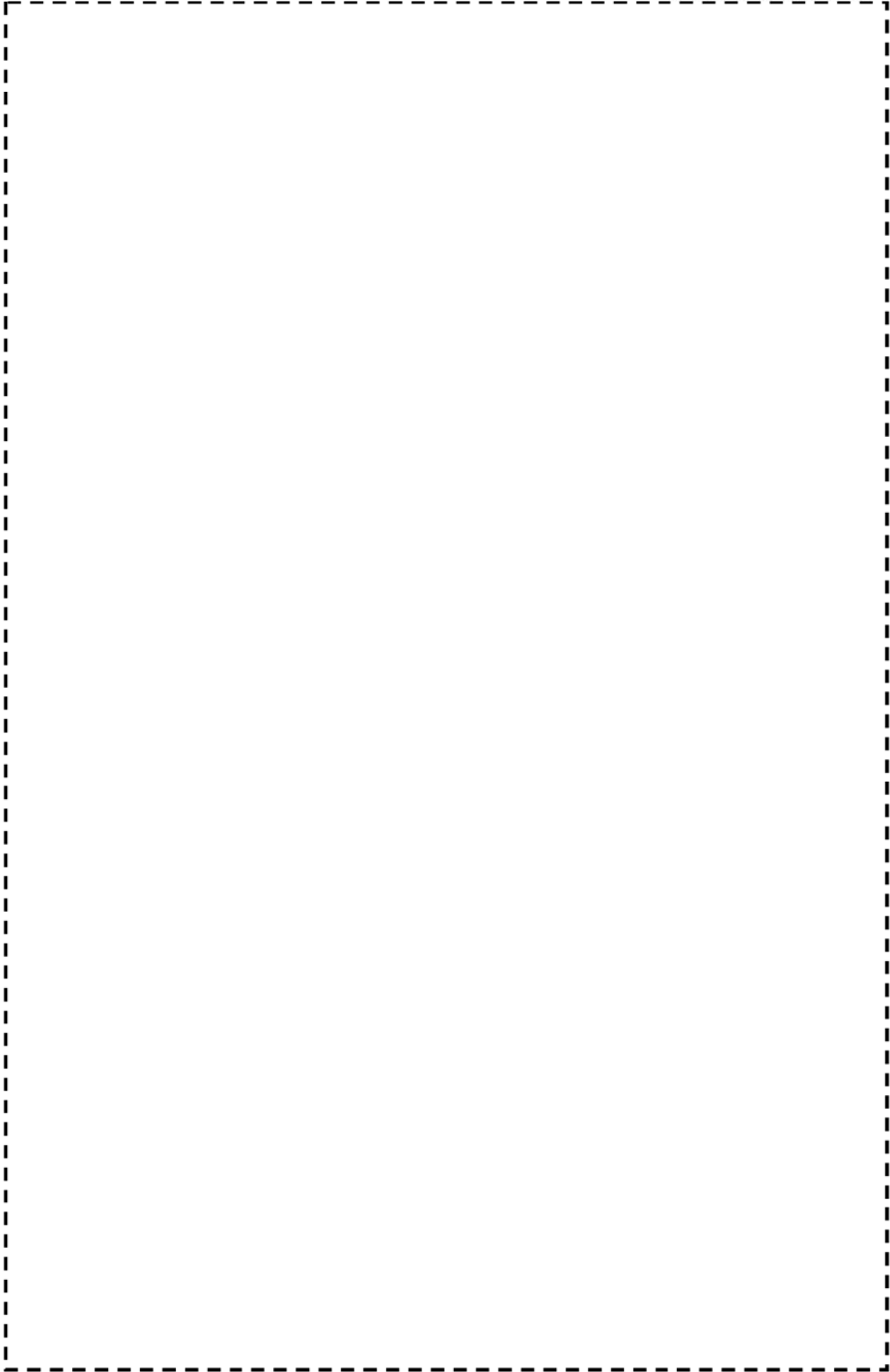


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

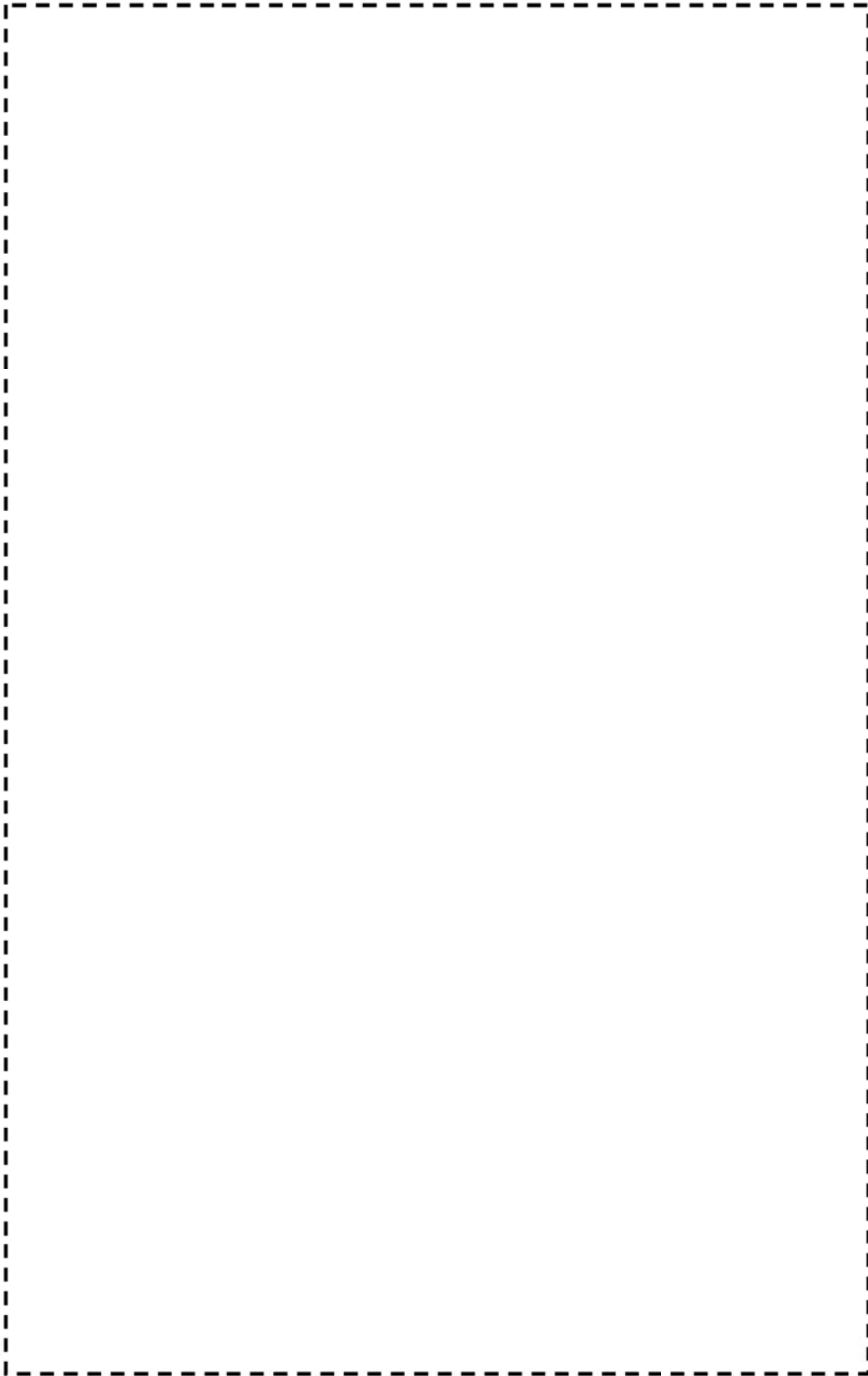
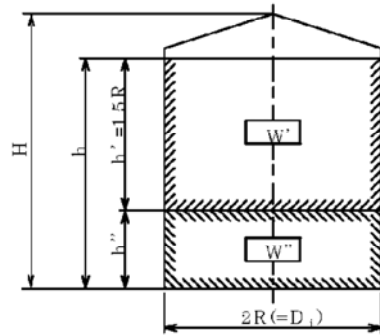


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

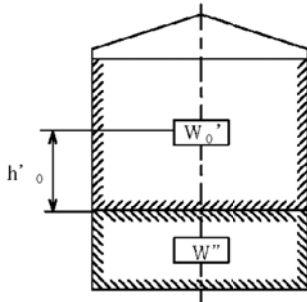
別図

燃料取替用水タンクの基礎ボルト評価に使う 質量・高さ・径の説明図



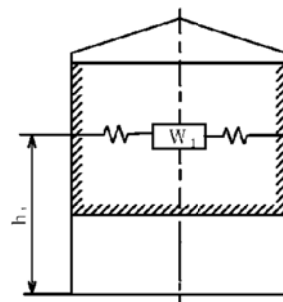
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_i : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

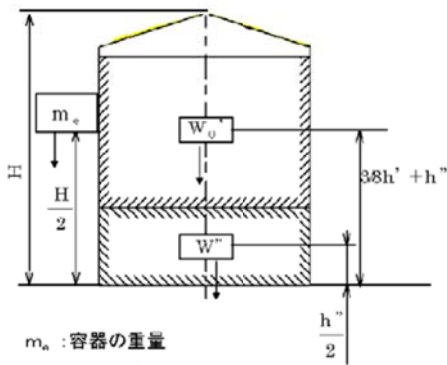


- W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
- h'_0 : W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
- h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



- m_s : 容器の重量
- W_s : 積雪重量
- W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
- $(W_0 = W_0' + W'' + m_s + W_s)$

(4) 復水タンク
 <評価仕様>

表1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	40	
容器の満水時重量	m_0	kg		
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っている。

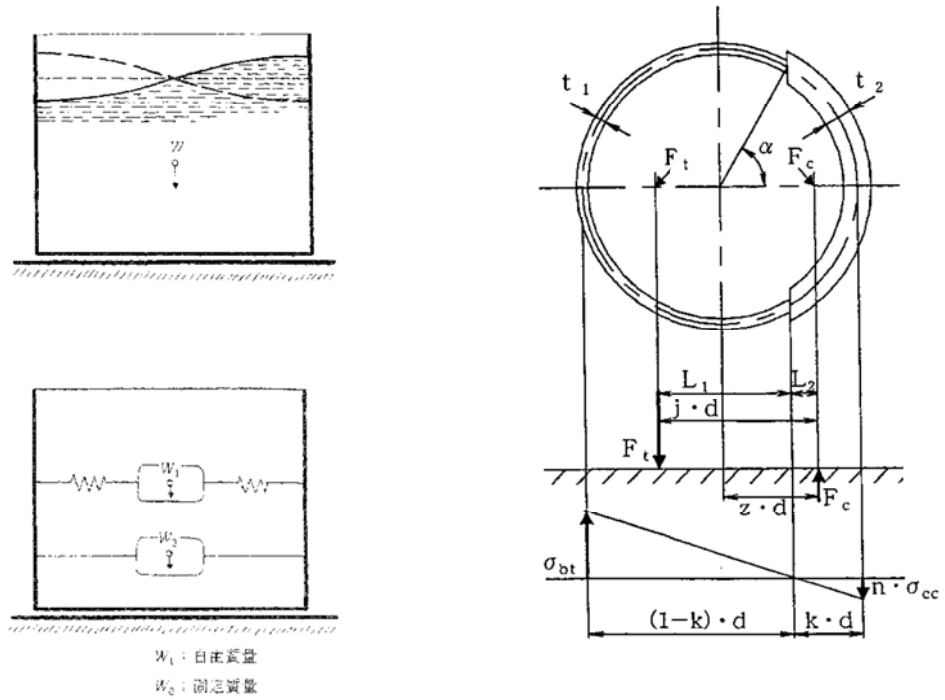


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

【鉛直方向】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価している。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} = \quad \quad \quad$$

$$h' = 1.5R = \quad \quad \quad$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s = \quad \quad \quad$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} = \quad \quad \quad$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_0' は、

$$W_0' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' = \quad \quad \quad$$

$$h'' = h - h' = \quad \quad \quad$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} = \quad \quad \quad$$

全等価重量 W_0 は、

$$W_0 = W_0' + W'' + m_e + W_s = \quad \quad \quad$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 = \quad \quad \quad$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

- a. 振動力を加味した
- W_w
- の等価重量
- W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

- b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{s})$$

- c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は \quad (s) であるが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要がある。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \quad \text{となる。ここで、} \omega = 2\pi/T \quad (T: \text{固有周期})$$

図2の床応答曲線より、固有周期1(s)の時の応答加速度 C''_{DH} は \quad G であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH} = \quad$$

安全側に、スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとし、スロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v = \quad$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g = \quad$$

- d. 最大変位
- A_1
- 及び自由振動角度
- θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2} = \quad$$

$$\theta_h = \quad$$

- e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h = \quad$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right]$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$

3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1$$

ここで、

$$h_1 = h \cdot \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JEAG4601-1987による。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$

$$a_v = C_v \cdot g =$$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\}$$

$$X_1 =$$

$$X_2 =$$

$$X_3 =$$

$$X_4 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \times \left[\dots \right]$$

$$X_6 = \left[\dots \right]$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

$$= \left[\dots \right]$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$F_c = F_t + m_0(g - a_v)$$

$$= \left[\dots \right]$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

$$= \left[\dots \right] \text{ (小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

$$= \left[\dots \right]$$

$$= \left[\dots \right]$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot \Lambda_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

$$= \left[\dots \right]$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

小数第1位以下を切り上げ)

$$F_H = a_H \cdot m_0 - F_\mu$$

$$= C_H \cdot g \cdot m_0 - F_\mu$$

ここで、 $F_\mu =$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると表2となる。

表2 評価結果

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.54			0.56
せん断			0.15			0.16

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

$$\text{減肉前の発生応力} \times \frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{\dots\}^2}{\frac{\pi}{4} \times \{\dots - 0.3 \times 2\}^2}$$

なお、

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}\{\text{[]}\} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \text{[]} / 2 = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \text{[]} / (1.5\sqrt{3}) = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \text{[]} - 1.6 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min}\{\text{[]}\} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

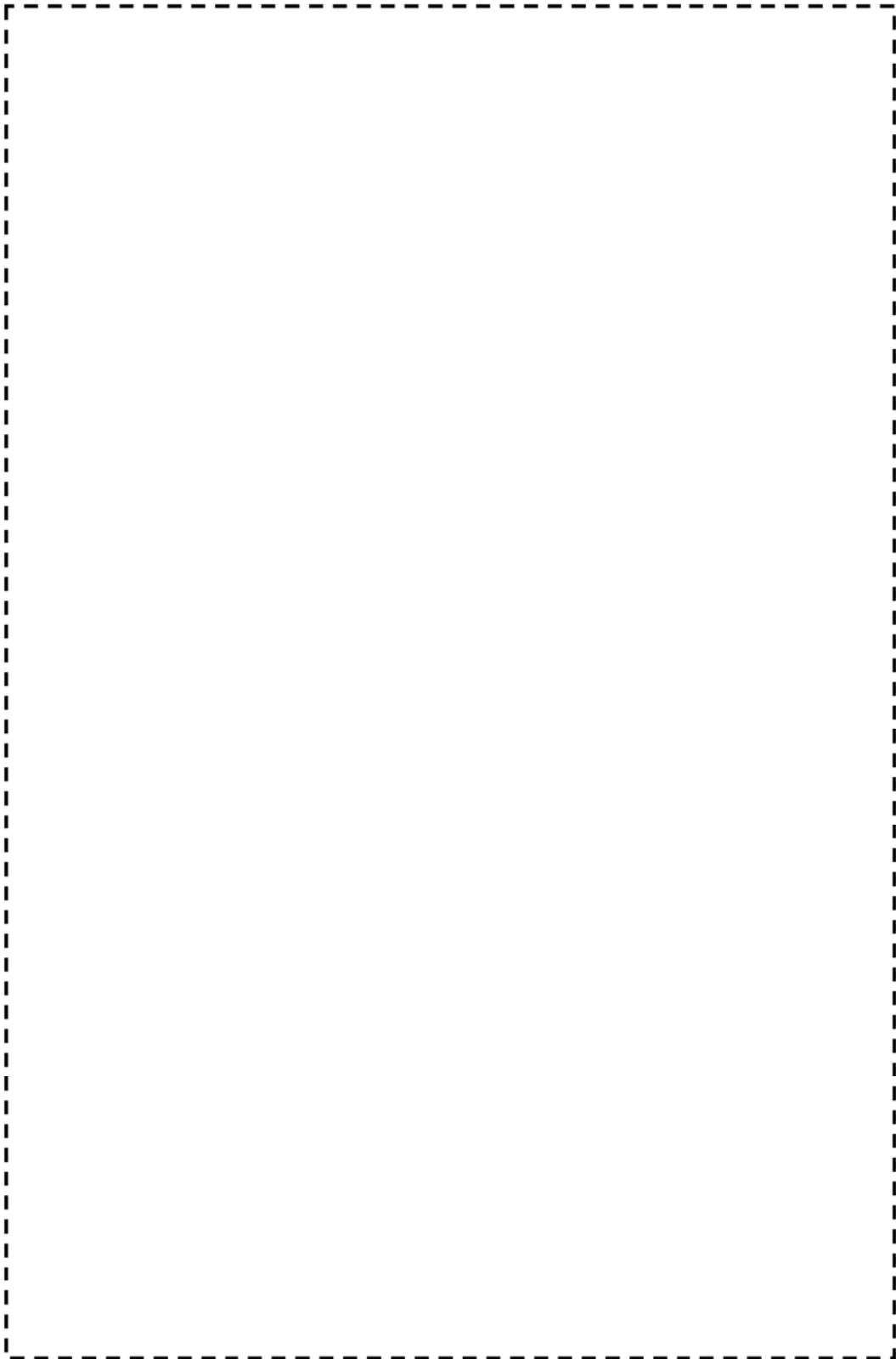


図2 復水タンク S_s 地震動 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

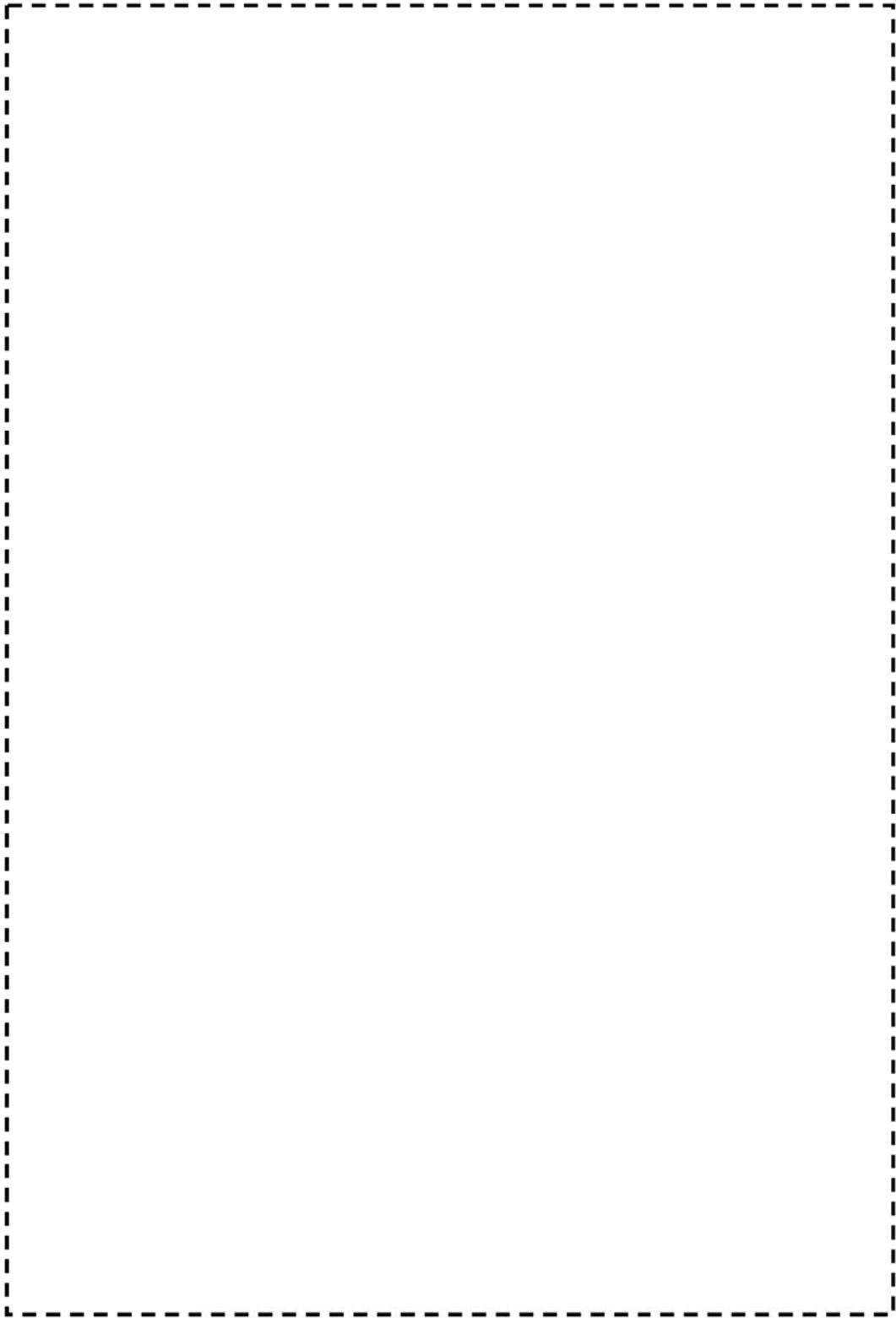


図3 復水タンク S_s地震動 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

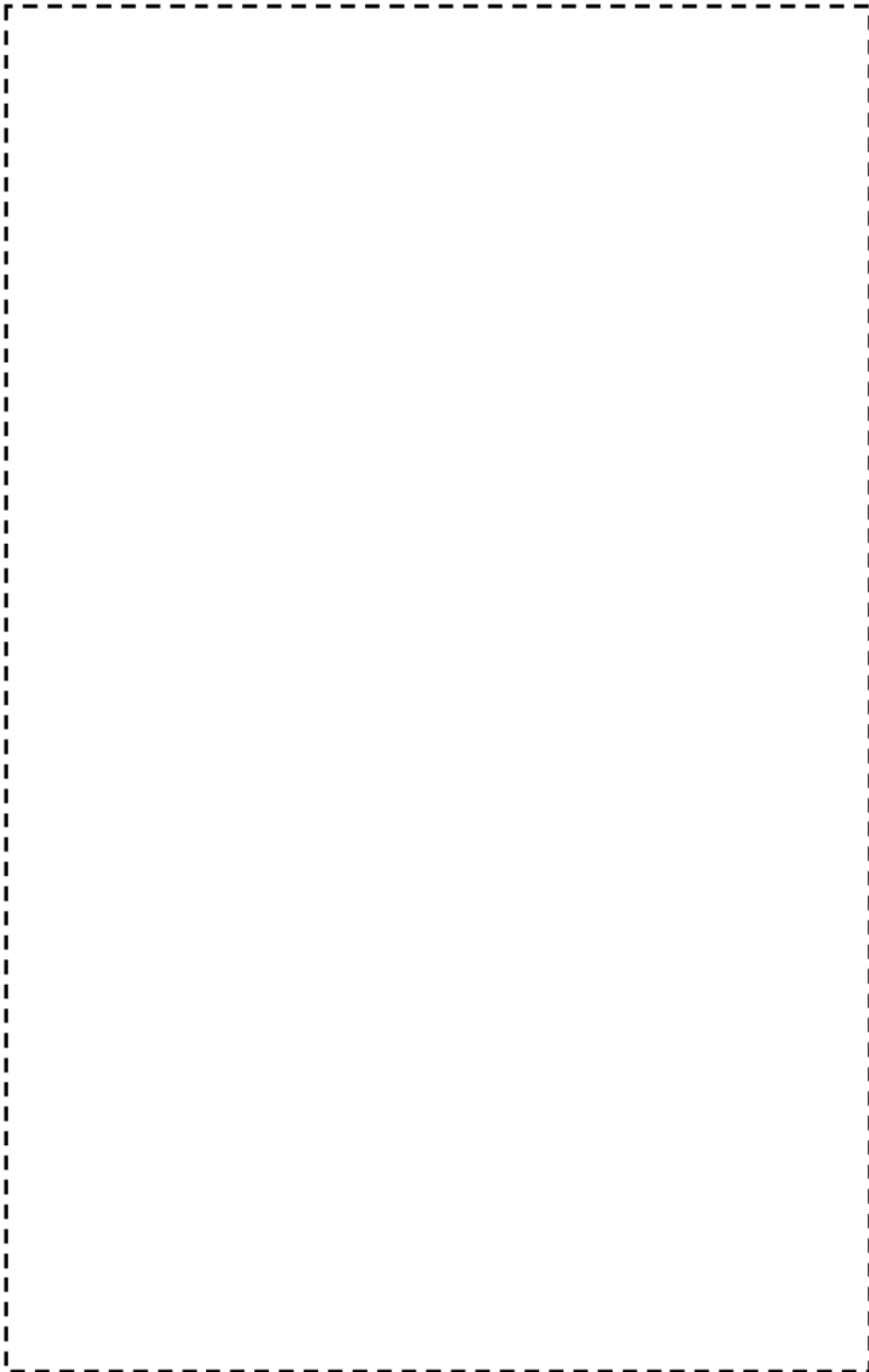
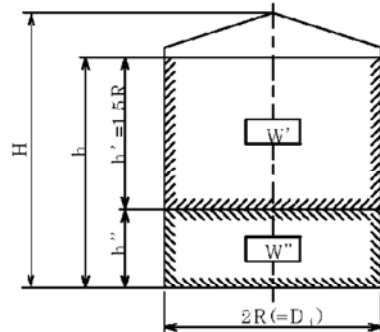


図3 復水タンク S_s地震動 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

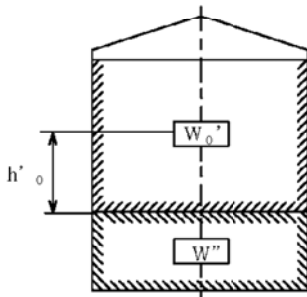
別図

復水タンクの基礎ボルト評価に用いる 質量・高さ・径の説明図



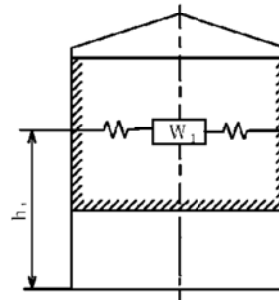
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_i : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

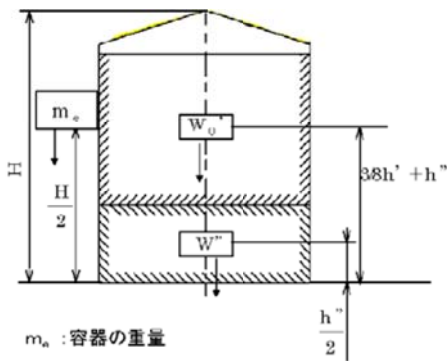


- W'₀' : 衝撃力を考慮したW'の等価質量
- h'₀' : W'₀'の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W : 振動力を考慮したW'の等価質量
- h : W₁の等価着力点の高さ



- m_s : 容器の重量
- W_s : 積雪重量
- W₀' : 衝撃力を考慮した全等価質量
(W₀' = W'₀' + W'' + m_s + W_s)

タイトル	後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について										
説明	<p>後打ちアンカについては、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないよう施工されている。</p> <p>後打ちアンカの評価にあたっては、ボルトに技術評価により想定される運転開始後 60 年時点での減肉量(半径方向に 0.3mm)を考慮した上で、保守的に最大許容荷重が作用した場合であっても応力比が 1 以下になることを確認している。</p> <p>減肉後の応力比の算定条件及び算定結果を添付資料 1 に示す。</p> <p>新たな基準地震動 S_s に対する耐震安全性については、新規制工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備において、表 1 の対象機器に対し、減肉による影響を考慮した耐震評価を実施し、応力比が 1 以下となることから健全性を確認している(補足参照)。</p> <p>表 1 新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備</p> <table border="1" data-bbox="480 1099 1278 1373"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計測制御設備</td> <td>プロセス計測制御設備</td> </tr> <tr> <td>電源設備</td> <td>原子炉トリップ遮断器盤</td> </tr> <tr> <td>機械設備</td> <td>加圧器サポート</td> </tr> <tr> <td>機械設備</td> <td>1 次冷却材ポンプサポート</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以上</p>	分類	設備	計測制御設備	プロセス計測制御設備	電源設備	原子炉トリップ遮断器盤	機械設備	加圧器サポート	機械設備	1 次冷却材ポンプサポート
分類	設備										
計測制御設備	プロセス計測制御設備										
電源設備	原子炉トリップ遮断器盤										
機械設備	加圧器サポート										
機械設備	1 次冷却材ポンプサポート										

<補足>

新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカのうち、P L M評価対象となる設備について、新たな基準地震動Ss (Ss-1～Ss-7) に対する評価例を以下に示す。

分類	設 備		型式	ボルト 呼び径	ボルト 本数 (本)	減肉前 応力比	減肉後 応力比	備考
計測制御設備	プロセス計測制御設備	圧力	格納容器圧力	メカニカルアンカ				
		水位	蒸気発生器狭域水位	メカニカルアンカ				
		中性子束	炉外核計装盤	ケミカルアンカ				
電源設備	制御棒駆動装置用電源設備	原子炉トリップ遮断器盤	ケミカルアンカ					
機械設備	加圧器サポート		ケミカルアンカ					
	1次冷却材ポンプサポート		ケミカルアンカ					

[]内は、耐震バックチェック (基準地震動Ss(550gal))時の評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (引張)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重 (N)	短期最大許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.3×10^3	3.45×10^3	50.2	43.0			0.39
	M10	2.7×10^3	4.05×10^3	78.5	69.3			0.28
	M12	4.7×10^3	7.05×10^3	113.0	102.0			0.33
	M16	6.9×10^3	10.35×10^3	200.9	186.1			0.27
	M20	10.8×10^3	16.2×10^3	314.0	295.4			0.26
	M24	13.84×10^3	20.76×10^3	452.2	429.8			0.23
ケミカルアンカ	M10	7.4×10^3	11.1×10^3	78.5	69.3			0.77
	M12	10.9×10^3	16.35×10^3	113.0	102.0			0.77
	M16	20.0×10^3	30.0×10^3	200.9	186.1			0.77
	M20	37.8×10^3	56.7×10^3	314.0	295.4			0.91
	M22	45.8×10^3	68.7×10^3	379.9	359.5			0.91
	M24	53.6×10^3	80.4×10^3	452.2	429.8			0.90
	M30	88.0×10^3	132.0×10^3	706.5	678.5			0.93
	M33	92.6×10^3	138.9×10^3	854.9	824.1			0.80
	M39	132.2×10^3	198.4×10^3	1194.0	1157.5			0.82

※M33、M39は新たに使用されるため、追加する。

*3：ボルトの許容応力は以下の通り。(JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601-1984 による)

*4：減肉後発生応力/許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (せん断)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重(N)	短期最大許容荷重*1(N)	断面積		減肉後発生応力*2(N/mm ²)	許容応力*3(N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前(mm ²)	減肉後(mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.5×10 ³	3.75×10 ³	50.2	43.0			0.55
	M10	4.7×10 ³	7.05×10 ³	78.5	69.3			0.64
	M12	7.1×10 ³	10.65×10 ³	113.0	102.0			0.66
	M16	12.5×10 ³	18.75×10 ³	200.9	186.1			0.63
	M20	19.8×10 ³	29.7×10 ³	314.0	295.4			0.63
	M24	26.38×10 ³	39.57×10 ³	452.2	429.8			0.58
ケミカルアンカ	M10	5.1×10 ³	7.65×10 ³	78.5	69.3			0.69
	M12	7.5×10 ³	11.25×10 ³	113.0	102.0			0.69
	M16	13.7×10 ³	20.55×10 ³	200.9	186.1			0.69
	M20	21.3×10 ³	31.95×10 ³	314.0	295.4			0.68
	M22	27.2×10 ³	40.8×10 ³	379.9	359.5			0.71
	M24	31.8×10 ³	47.7×10 ³	452.2	429.8			0.69
	M30	61.5×10 ³	92.25×10 ³	706.5	678.5			0.85
	M33	76.1×10 ³	114.2×10 ³	854.9	824.1			0.87
	M39	107.0×10 ³	160.6×10 ³	1194.0	1157.5			0.87

※M33、M39は新たに使用されるため、追加する。

*3：ボルトの許容応力は以下の通り。(JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601-1984 による)

*4：減肉後発生応力／許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

タイトル	<p>浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ並びに、これら施設から耐震安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠、抽出プロセス及び評価について</p>
説明	<p>高浜1号の「浸水防護施設」のうち、耐震安全性評価対象とした設備について、経年劣化事象の抽出や耐震安全性評価の要否判断などのプロセスを示す。</p> <p>1. 浸水防護施設について 耐震安全性評価対象とした浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）については以下のとおり。</p> <p>(1) 津波防護施設：該当なし (2) 浸水防止設備：・取水構造物（浸水防止蓋）… a (3) 津波監視設備：・潮位計 … b</p> <p>2. 想定される劣化事象※ (1) 鉄骨構造物（対象 a） a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象） 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（△事象） ・腐食 …① ・風などによる疲労 …② (2) 計測制御設備（対象 b） a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象） 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（△事象） ・樹脂の劣化（ケミカルアンカー）③</p> <p>※：絶縁低下（絶縁体の水トリー劣化による絶縁低下を含む）、特性変化及び導通不良については、耐震性に影響を及ぼすパラメータの変化とは無関係であるため記載は省略。</p> <p>3. 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出 「2. 想定される劣化事象」で整理した経年劣化事象①～③について、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の有無について検討したプロセスを下表に整理した。</p>

表1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の有無検討プロセス

「技術評価」で想定される経年劣化事象		ステップ1	ステップ2		ステップ3	
経年劣化対策 上層目すべき 経年劣化事象	下記 1)~2)を除く経年劣化事象	○	i	現在発生しておらず、 今後も発生の可能性が ないもの、または小さいもの	×	×
			ii	現在発生しているか、 または将来にわたって 起こることが評価でき ないもの	○	① 振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象 ② 振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できる事象
経年劣化対策 上層目すべき 経年劣化事象 ではない事象	1)	○	ii	現在発生しているか、 または将来にわたって 起こることが否定でき ないもの	○	① 振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象 ② 振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できる事象
	2)	-	-		-	①

○：評価対象として抽出
 -：評価対象から除外
 ×：現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、または小さいものとして評価対象から除外
 ■：振動応答特性上または構造・強度上「軽微もしくは無視」できる事象として評価対象から除外
 ◎：耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出

以上より、高浜1号の「浸水防護施設」については、◎となる対象は無かったことから、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施したものはない。

以上

タイトル	<p>工事計画認可審査の内容を踏まえた劣化状況評価の見直しがある場合、以下の事項について</p>													
説明	<p>工事計画認可申請の審査の内容を踏まえて、劣化状況評価における耐震安全性評価の見直しを行うものは、以下のとおり。</p> <p>1. 制御棒挿入性評価</p> <p>高浜1号機の新規制基準への適合に係る工事計画認可申請側で評価手法を見直した再評価を行っており、劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても、これに合わせた評価手法として、評価の見直しを行う。</p> <p>イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係</p> <p>① 制御棒クラス案内管（案内板）の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>② 制御棒被覆管の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>③ バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>※①、②については、案内板及び被覆管の摩耗を重畳させた評価を実施</p> <p>ロ) 評価条件・手法（相違点比較）</p> <table border="1" data-bbox="400 1196 1426 1872"> <thead> <tr> <th></th> <th>現評価（H27.11 補正申請）</th> <th>工認に合せた評価手法反映</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価条件</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：<u>1%</u></td> </tr> <tr> <td>評価手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：<u>スペクトルモデル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：<u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管：<u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法</td> </tr> </tbody> </table>			現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映	評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>	評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモデル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法
	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映												
評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7												
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>												
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモデル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法												

ハ) 評価結果

		挿入時間*1		規定時間
		現評価 (H27.11 補正申請)	工認手法反映	
評価 条件	評価地震動	Ss-1~Ss-7 	Ss-1~Ss-7 	1.8 秒
	照射条件	照射後条件	照射後条件	
地震時挿入時間		1.43	1.65	
制御棒クラスター案内管（案内板）及び被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間		1.45	1.69	
バップルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した地震時挿入時間		1.45	1.69	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：挿入時間の下段のカッコ内は評価地震動を示す。

2. 炉内構造物等の耐震安全性評価

工事計画認可申請側の評価を踏まえ、燃料集合体の減衰定数を10%から1%へ変更することに伴い、原子炉容器-炉内構造物の連成モデルによる評価を行っている以下の評価について、応力評価及び疲労累積係数の評価の見直しを行う。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	原子炉容器（炉心支持金物）	低サイクル疲労
②	原子炉容器（胴部）	中性子照射脆化
③	炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）	低サイクル疲労
④	炉内構造物（下部炉心支持柱）	熱時効
⑤	炉内構造物（シンプルチューブ）	摩耗
⑥	炉内構造物（炉心そう）	中性子照射による靱性低下
⑦	制御棒クラスター（被覆管）	摩耗

ロ) 評価条件・手法（相違点比較）


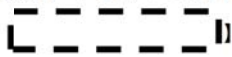
	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映
評価条件	Ss-1(700gal)~Ss-7	Ss-1(700gal)~Ss-7
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>

ハ) 評価結果：

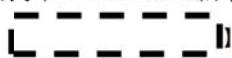
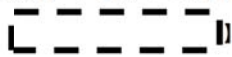
① 原子炉容器（炉心支持金物）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率：10%での評価結果 	0.009	0.001	0.010
FA 減衰率：1%での評価結果 	0.009	0.001	0.010

②-1 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化を考慮した影響評価（関連温度上昇）

	応力拡大係数	
	き裂深さ 10mm	き裂深さ 5mm
FA 減衰率：10%での評価結果 	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 7.2 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 5.2 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$
FA 減衰率：1%での評価結果 	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 7.2 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 5.2 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$

②-2 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化を考慮した影響評価（上部棚評価）

	弾塑性破壊力学評価
FA 減衰率：10%での評価結果 	<ul style="list-style-type: none"> • $J_{app} < J_{mat}$ (at $\Delta a = 2.5\text{mm}$) (き裂は進展しない) • J_{app} 曲線と J_{mat} 曲線の交点で J_{app} 曲線の勾配 $<$ J_{mat} 曲線の勾配 (想定欠陥は不安定成長しない)
FA 減衰率：1%での評価結果 	<ul style="list-style-type: none"> • $J_{app} < J_{mat}$ (at $\Delta a = 2.5\text{mm}$) (き裂は進展しない) • J_{app} 曲線と J_{mat} 曲線の交点で J_{app} 曲線の勾配 $<$ J_{mat} 曲線の勾配 (想定欠陥は不安定成長しない)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

③ 炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

		疲労累積係数（許容値 1 以下）		
		通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率 10%での評 価結果	上部炉心支持板	0.181	0.000	0.181
	上部炉心支持柱	0.030	0.001	0.031
	下部炉心支持板	0.017	0.027	0.044
	下部炉心支持柱	0.001	0.006	0.007
FA 減衰率 1%での評 価結果	上部炉心支持板	0.181	0.000	0.181
	上部炉心支持柱	0.030	0.001	0.031
	下部炉心支持板	0.017	0.027	0.044
	下部炉心支持柱	0.001	0.007	0.008

④ 炉内構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した影響評価

	発生応力
FA 減衰率：10%での評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa) > 下部炉心支持柱(133MPa)
FA 減衰率：1%での評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa) > 下部炉心支持柱(140MPa)

⑤ 炉内構造物（シンプルチューブ）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.02
FA 減衰率：1%での評価結果			0.02

⑥ 炉内構造物（炉心そう）の中性子照射による靱性低下を考慮した影響評価

	応力拡大係数		
	発生値 (MPa√m)	許容値 (MPa√m)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果	7.4	51	0.15
FA 減衰率：1%での評価結果	7.4	51	0.15

⑦ 制御棒クラスタ（被覆管）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.48
FA 減衰率：1%での評価結果			0.48

3. 工事計画を踏まえ、影響評価を行うもの

工事計画において、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位を抽出し、影響評価を行った結果、耐震性に影響がなく従来の設計手法で対応可能であることが確認されているが、劣化状況評価の耐震安全性評価においても、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認した。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	蒸気発生器（給水入口管台）	低サイクル疲労
②	1次冷却材ポンプ（支持脚）	低サイクル疲労
③	炉心支持構造物（下部炉心支持柱）	低サイクル疲労、熱時効
④	燃料取替用水タンク（基礎ボルト）	腐食（大気接触部）

ロ) 評価条件・手法

高経年化評価対象設備のうち、工事計画において設備の構造特性等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価が行われた部位であって、耐震評価に影響する劣化事象が想定される部位について、影響評価を行った。

ハ) 評価結果

① 蒸気発生器（給水入口管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.235	0.008	0.243
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.235	0.024	0.259

② 1 次冷却材ポンプ（支持脚）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.235	0.001	0.236
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.235	0.001	0.236

③-1 炉心支持構造物（下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.001	0.007	0.008
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.001	0.031	0.032

※FA 減衰率 1%を考慮した再評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

③-2 炉心支持構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した影響評価

	発生応力
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa)*1>下部炉心支持柱(140MPa)*2
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa)*1>下部炉心支持柱()MPa)*2

*1：水平1方向+鉛直方向地震動を考慮した評価結果

*2：FA減衰率1%を考慮した再評価結果

④-1 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【引張荷重*1】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果			0.70
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果			0.92

*1：せん断荷重との組合せを考慮した評価

④-2 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【せん断荷重】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果			0.42
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果			0.60

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

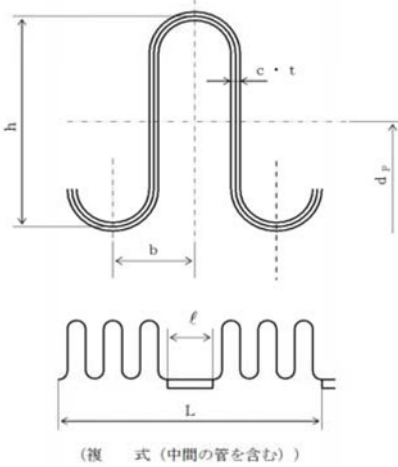
タイトル	耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について
説明	<p>耐震評価結果を比率で示したもののうち、耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に対し、添付-1の緑色セル内に、元となる「許容値」及び「発生値」を示す。</p> <p>なお、Sクラスの設備のうち、静的震度により算出した評価値を分子とした応力比はない。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

機種	章	機器名称	部位 非代表設備	経年劣化事象	耐震 重要度	評価部位	許容値 (MPa)	発生値 (MPa)	応力比	疲労累積係数※本号:環境疲労			
										通常 運転時	地震時		
熱交換器	多管円筒形 熱交換器	1次系冷却水クーラ	伝熱管	内面腐食 (流れ加速型腐食)	S				0.58				
		湿分離加熱器	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	胴板			0.25				
		第1低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	胴板			0.21				
		第2低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	胴板			0.34				
蒸気発生器	蒸気発生器	第3低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	胴板			0.28				
		第4低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	胴板			0.30				
		蒸気発生器	冷却材出入口管台 セーフエント	応力腐食割れ	S				0.53				
		蒸気発生器	母管	高サイクル熱疲労割れ (高低温水合流部)	S				0.34				
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S				0.95				
		主給水系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次			0.24				
			母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次十二次			0.42				
		主給水系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次			0.70				
			母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次十二次			0.68				
		炭素鋼配管	炭素鋼配管	低溫再熱蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S				0.52		
				第3抽気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次			0.56		
				第4抽気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次			0.51		
				補助蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次			1.22	0.275	
				グランド蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次			0.87		
				復水系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次			0.25		
		配管サポート	配管サポート	ドレン系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.36		
蒸気発生器ブロウダウ ン系統配管	母管			腐食(流れ加速型腐食)	C				0.60				
アンカー	ラゲとフレートの溶接部等のサ ポート取付部			母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次			0.48			
	アンカー			母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次十二次			0.88			
炉内構造物	炉内構造物			炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.84			
				炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.94			
タービン	タービン			タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.67			
				タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次十二次			0.51		
空調設備	空調設備			タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.43			
				タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		1.02	0.004		
				タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.76			
				タービン	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.78			
炉内構造物	炉内構造物	炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.68					
		炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.82					
		炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.15					
		炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.02					
		炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.39					
		炉内構造物	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S	一次		0.25					
冷媒機	冷媒機	冷媒機	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次		0.19					
		冷媒機	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次		0.04					
		冷媒機	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次		0.63					
		冷媒機	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C	一次		0.63					

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機種	章	機器名称	部位 非代表設備	経年劣化事象	耐震 重要度	評価部位	許容値 (MPa)	実生値 (MPa)	疲労累積係数※太字:環境疲労		応力比	
									通常 運転時	地震時		
機械設備	重機器サポート	原子炉容器サポート	サポートブラケット	中性子およびγ線照射 脆化	S	精強材			0.36			
		蒸気発生器サポート(交換脚)	ヒンジ駆動部	摩耗	S	ホルト	一次		0.35			
		1次冷却材ポンプサポート(支持脚)	ヒンジ駆動部	摩耗	S	蒸気発生器支持脚	一次 一次+二次		0.20			
		格納容器外制御用空気 圧縮装置	格納容器外制御用空気 ため、格納容器外制御用 空気乾燥器	腐食(全面腐食)	S	1次冷却材ポンプ支持脚	一次 一次+二次		0.58			
		非核燃料炉心精成品	制御棒クラスタ 被覆管	摩耗	S	格納容器外制御用空気 ため、格納容器外制御用 空気乾燥器			0.16			
		濃縮減容設備	濃縮管等(加熱器、濃縮液 ポンプ)	応力腐食割れ	B	被覆管			0.38			
			廃液蒸発装置	応力腐食割れ	B	伝熱管等(加熱器、濃縮液 ポンプ)			0.25			
			ポンプ	腐食	S	調振等(蒸発器、加熱器、 濃縮液ポンプ、配管)			0.11			
			熱交換器	腐食	C	海水ポンプ			0.48			
		基礎ボルト		容器	燃料取替用水タンク	腐食	S	基礎ボルト	引張荷重	0.01		
					復水タンク	腐食	S	基礎ボルト	せん断荷重	0.14		
					配管用基礎ボルト	腐食(全面腐食)	S	基礎ボルト	引張荷重	0.11		
					母管	内面からの腐食(流れ加 速型腐食)	S	基礎ボルト	せん断荷重	0.07		
							S	基礎ボルト	せん断荷重	-		
		電源設備					S	基礎ボルト	引張荷重	0.70 [0.92]		
					S	基礎ボルト	せん断荷重	0.42 [0.60]				
					S	基礎ボルト	引張荷重	0.56				
					S	基礎ボルト	せん断荷重	0.16				
					S	基礎ボルト	引張荷重	0.36				
					S	空気冷却器	せん断荷重	-		0.18		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について</p>																																																																								
<p>説明</p>	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表 1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="421 533 1326 1279"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定 義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの 2分の 1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径 (平均径)</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度における JSME S NC1-2005/2007 付録図表 Part3 表 1 に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の 1 山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>—</td> <td>1 個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の 2 倍 (両振幅))</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図 1 に示す。</p>  <p style="text-align: center;">(複 式 (中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図 1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定 義	b	mm	継手部の波のピッチの 2分の 1	c	—	継手部の層数	d_p	mm	継手部の有効径 (平均径)	E	MPa	最高使用温度における JSME S NC1-2005/2007 付録図表 Part3 表 1 に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の 1 山当たりの総変位量	e_x	mm	軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量	e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	L	mm	継手部の有効長さ	ℓ	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数	n	—	継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	—	疲れ係数	UF	—	疲れ累積係数	W_N	—	1 個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))	Y	mm	軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の 2 倍 (両振幅))	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ_D	MPa	全伸縮量による応力	σ_P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定 義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの 2分の 1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d_p	mm	継手部の有効径 (平均径)																																																																							
E	MPa	最高使用温度における JSME S NC1-2005/2007 付録図表 Part3 表 1 に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の 1 山当たりの総変位量																																																																							
e_x	mm	軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量																																																																							
e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
L	mm	継手部の有効長さ																																																																							
ℓ	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数																																																																							
n	—	継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)																																																																							
P	MPa	最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
U	—	疲れ係数																																																																							
UF	—	疲れ累積係数																																																																							
W_N	—	1 個の継手部の山数																																																																							
X	mm	軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))																																																																							
Y	mm	軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の 2 倍 (両振幅))																																																																							
δ	mm	全伸縮量																																																																							
σ	MPa	合計応力																																																																							
σ_D	MPa	全伸縮量による応力																																																																							
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							

2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はBループ（改造あり）とする。図2にC－主蒸気配管、図3にB－主給水配管の伸縮継手の模式図を示す。

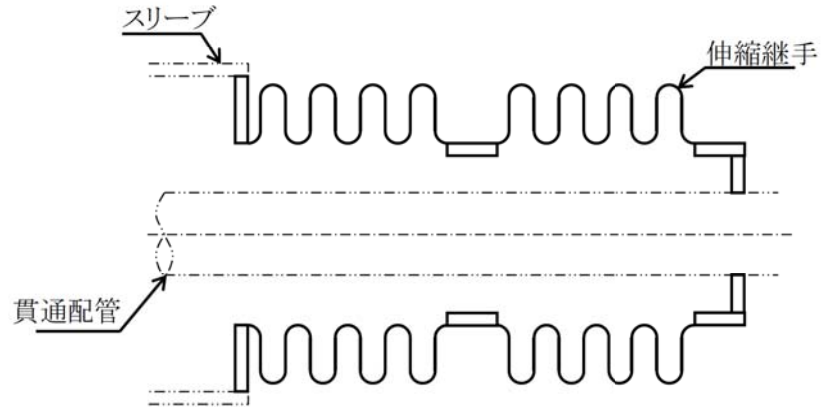


図2 C－主蒸気配管(改造なし)

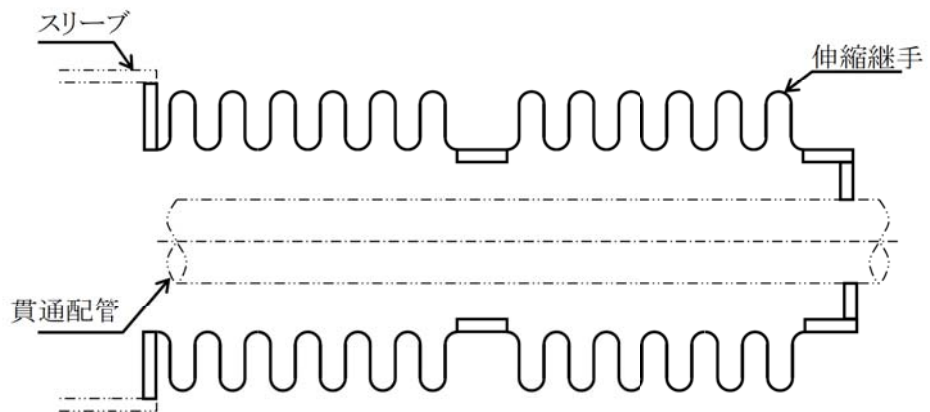


図3 B－主給水配管(改造あり)

評価部位は、図4に示す伸縮継手の頂部とする。

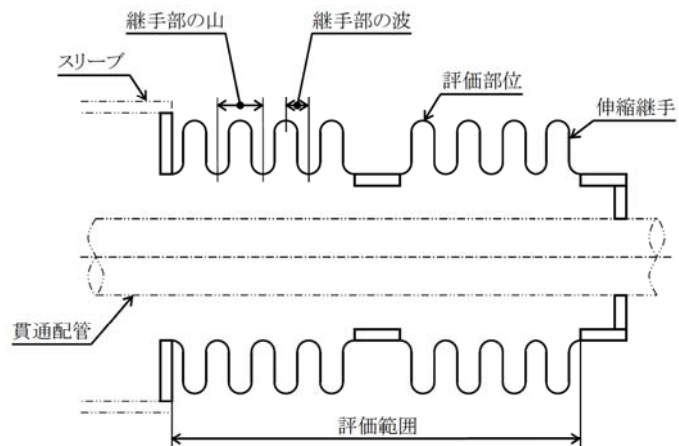


図2 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表 2 に示す。

表 2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	伸縮継手有効径 (mm)	継手部の波の高さ (mm)	継手部の波のピッチの2分の1 (mm)	継手部の板の厚さ (mm)	伸縮継手1個の山数	継手部の層数	材料	縦弾性係数 (MPa)	複式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間距離	中間の管の長さ	伸縮継手の長さ
	P		d	h	b	t	W _s	c		E	A _c	a	L
主蒸気配管格納容器貫通部	0.281												
主給水配管格納容器貫通部	0.281												

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表 3 に示す。

表 3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

表 3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

注：表 3 に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直行座標系であり、表 1 に示すX、Yとは異なるものである。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価用繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出する (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3800 伸縮継手」 参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(b) 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3 d_p Y}{2W_N \left\{ L + \ell \left(\frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の1山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5 E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

(b) 許容繰返し回数

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c) 疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価用繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.193
主給水ライン貫通部				0.002

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示す。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.029
主給水ライン貫通部				0.001

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果
通常運転時のUFを加えた結果を表6及び表7に示す。

表6 Ss地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.009	0.193	0.202
主給水ライン貫通部	0.040	0.002	0.042

表7 Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.009	0.029	0.038
主給水ライン貫通部	0.040	0.001	0.041

以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題ない。

以 上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について</p>																																														
<p>説明</p>	<p>余熱除去系統配管のアンカーサポートにかかる荷重をもとに、各応力を算出した過程は以下のとおり。また、サポートの位置を添付-1の系統図、アイソメ図に示す。</p> <p>1. 評価用荷重の算出</p> <p>配管を3次元梁モデル化してS_s、S_d地震時の支持点荷重をスペクトルモード解析にて算出している。評価部位はサポートラグ（固定点）であり、隣接する解析ブロックとの境界部になる。この為、両ブロックの解析結果から得られた荷重を合成し、評価用荷重としている。算出された評価用荷重を表1、表2に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 評価用荷重 (S_s)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">方向</th> <th colspan="2">荷重</th> </tr> <tr> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fx</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fy</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fz</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Mx</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> <tr> <td>My</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> <tr> <td>Mz</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表2 評価用荷重 (S_d)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">方向</th> <th colspan="2">荷重</th> </tr> <tr> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fx</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fy</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fz</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Mx</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> <tr> <td>My</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> <tr> <td>Mz</td> <td>N・m</td> <td>N・m</td> </tr> </tbody> </table>	方向	荷重		1次	1次+2次	Fx	N	N	Fy	N	N	Fz	N	N	Mx	N・m	N・m	My	N・m	N・m	Mz	N・m	N・m	方向	荷重		1次	1次+2次	Fx	N	N	Fy	N	N	Fz	N	N	Mx	N・m	N・m	My	N・m	N・m	Mz	N・m	N・m
方向	荷重																																														
	1次	1次+2次																																													
Fx	N	N																																													
Fy	N	N																																													
Fz	N	N																																													
Mx	N・m	N・m																																													
My	N・m	N・m																																													
Mz	N・m	N・m																																													
方向	荷重																																														
	1次	1次+2次																																													
Fx	N	N																																													
Fy	N	N																																													
Fz	N	N																																													
Mx	N・m	N・m																																													
My	N・m	N・m																																													
Mz	N・m	N・m																																													

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

2. 応力の算出

溶接部に発生する応力は、下式で算出している。本評価式は、材料力学に基づく公式をもとにして設定したものであり、設計・建設規格や耐震設計審査指針等に規定されたものではないことから、応力集中係数に係る規定はない。また、支持構造物は、降伏点を許容値としており許容値を厳しくする設計体系となっていることから、発生応力の算出において応力係数を考慮する必要はないと判断している。なお、本評価式により適切な応力が評価できることは、FEM解析により確認し採用している。

$$\sigma_1 = \frac{|Mx| + |Fy| \cdot L}{Z_{wx}} + \frac{|My| + |Fx| \cdot L}{Z_{wy}} + \frac{|Fz|}{A_w}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\left(\frac{Fx}{A_w}\right)^2 + \left(\frac{Fy}{A_w}\right)^2} + \frac{|Mz|}{Z_{wp}}$$

A_w : 溶接部の断面積

Z_{wx}, Z_{wy}, Z_{wp} : 各方向の溶接部の断面係数

L : 荷重作用点から評価部位までの距離

応力評価は、以下の組合せ応力を用いる。

・すみ肉溶接部

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

・溶け込み溶接部

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\sigma_2^2}$$

3. 評価仕様

評価に用いたデータを以下に示す。

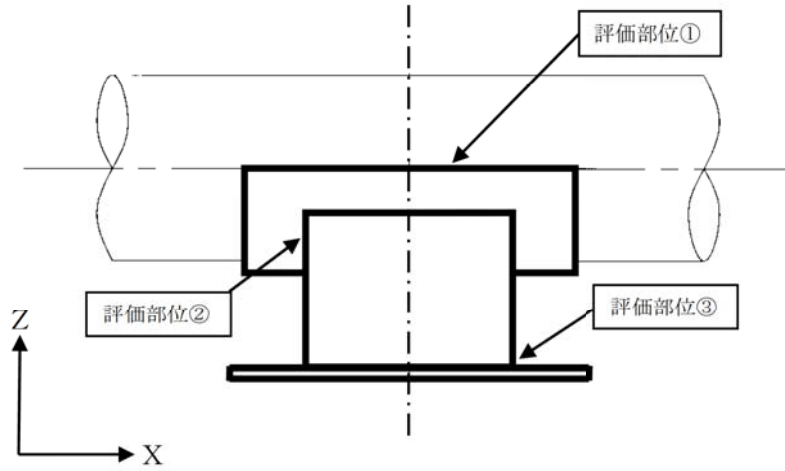


図-1 配管サポートの外形図

表4 諸元表

(単位：mm)

パッドの幅 (母管外径)	パッドの長さ	パッドの すみ肉溶接の脚長	角型鋼管の 配管方向長さ	角型鋼管の 配管直交長さ	角型鋼管の 厚さ
b_1	h_1	t_{sp}	a_1	a_2	t

評価部位	$L^{(注1)}$ (mm)	A_w (mm^2)	Z_{wx} (mm^3)	Z_{wy} (mm^3)	Z_{wp} (mm^3)
①配管とパッド の溶接部					
②パッドとラグ の溶接部					
③ラグとプレー トの溶接部					

(注1) Lは配管中心から評価点までの距離であるが、安全側に最長の距離を一律に用いた。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

4. 評価結果

各部位の許容応力を表5に、評価結果を表6に示す。発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全上問題ない。

表5 許容応力 (単位:MPa)

部 位		パッド	ラグ	プレート
物 性 値	材 質	-	-	-
	使用温度(°C)			
	F 値			
1次応力の許容値		-	-	-
1次+2次応力の許容値				

表6 (1/3) 配管とパッドの溶接部 (評価部位①)

1次応力 評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa
1次+2次 応力評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa

表6 (2/3) パッドとラグの溶接部 (評価部位②)

1次応力 評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa
1次+2次 応力評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa

表6 (3/3) ラグとプレートの溶接部 (評価部位③)

1次応力 評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa
1次+2次 応力評価	S _s ^(注1)	発生応力	MPa
		許容応力	MPa

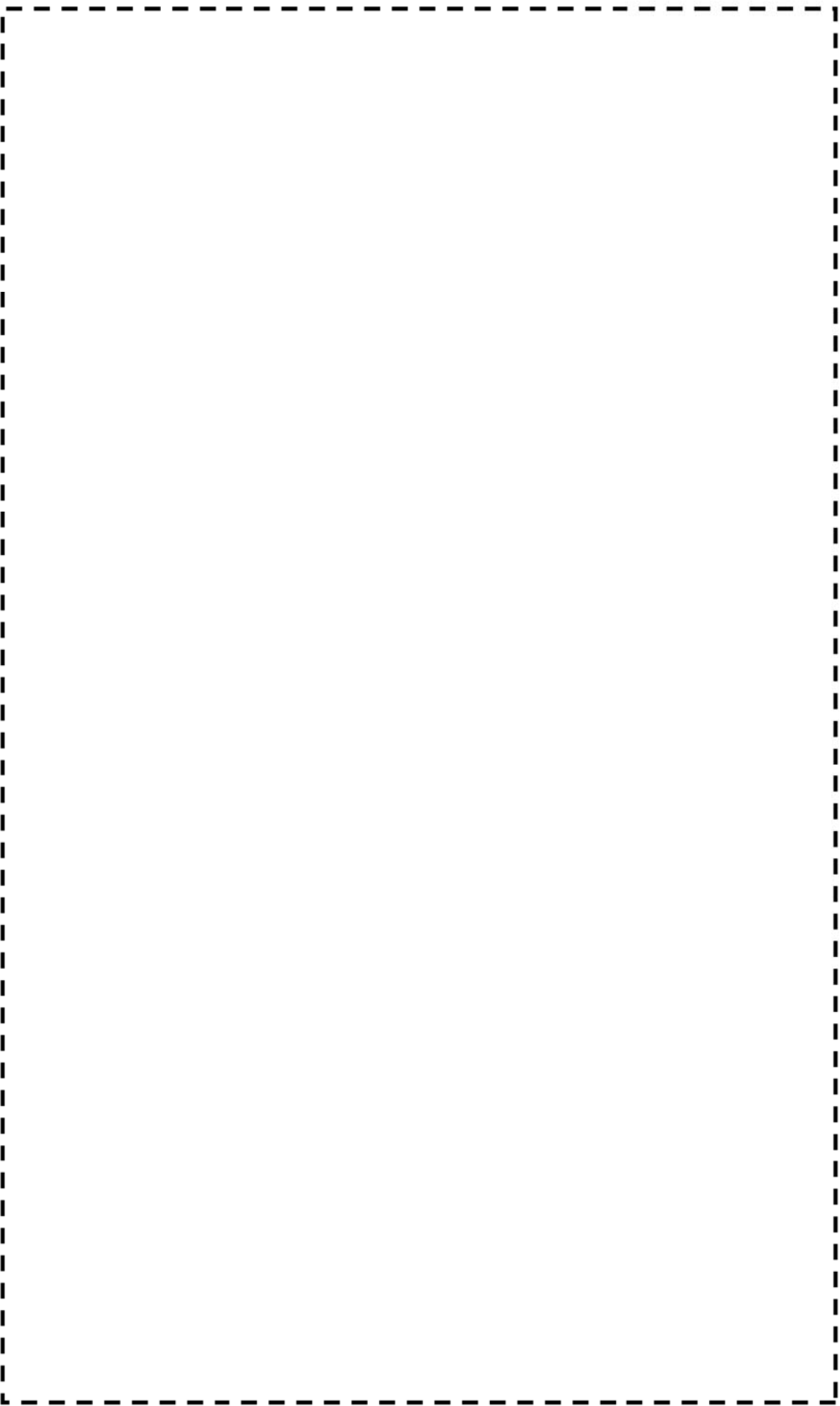
(注1) S_s地震力がS_d地震力および静的地震力より大きく、S_s地震力による評価応力が共用状態C_sの許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略する。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

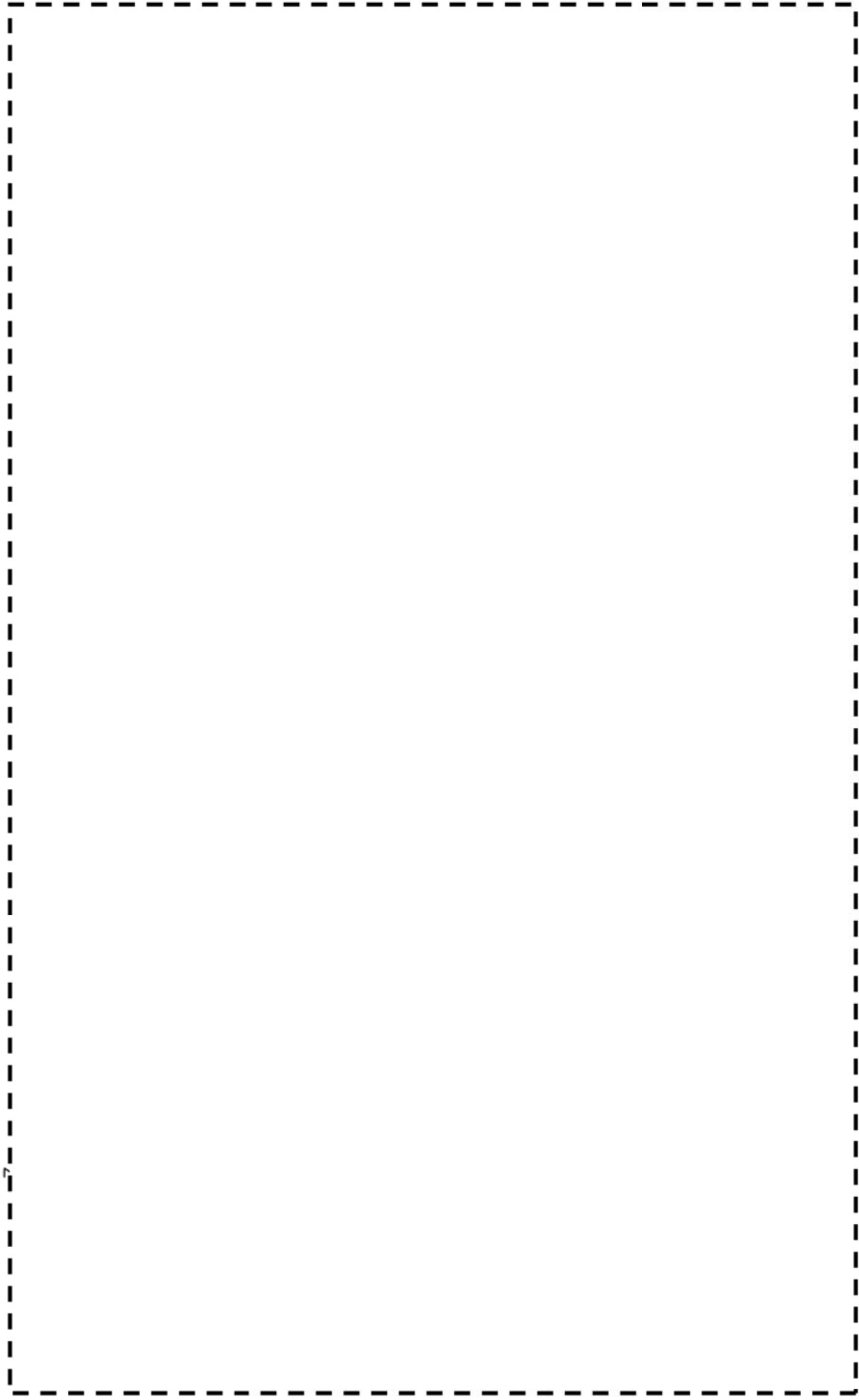
評価対象アンカーサポートの設置位置

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



高浜 2 号機 余熱除去系統配管 (A-余熱除去クローラ出口配管 (PEN側))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



高浜 2 号機 余熱除去系統配管 (B-1 余熱除去クローラ出口配管 (PEN側))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

高浜2号機 余熱除去系統配管サポートの疲労評価について

1. 評価対象サポート

高浜2号機については、余熱除去系統配管サポートのうち、3方向の変位及びモーメントを拘束する11個のアンカーサポートについて評価を実施している。その結果、これまでは、応力比の大きい [] 及び [] の評価結果を技術評価側に記載していたが、 [] の改造により、耐震評価については、応力比の大きい [] に対する評価を行っている。

なお、 [] と [] は、それぞれ図1に示す評価部位に対して、評価を行っている。

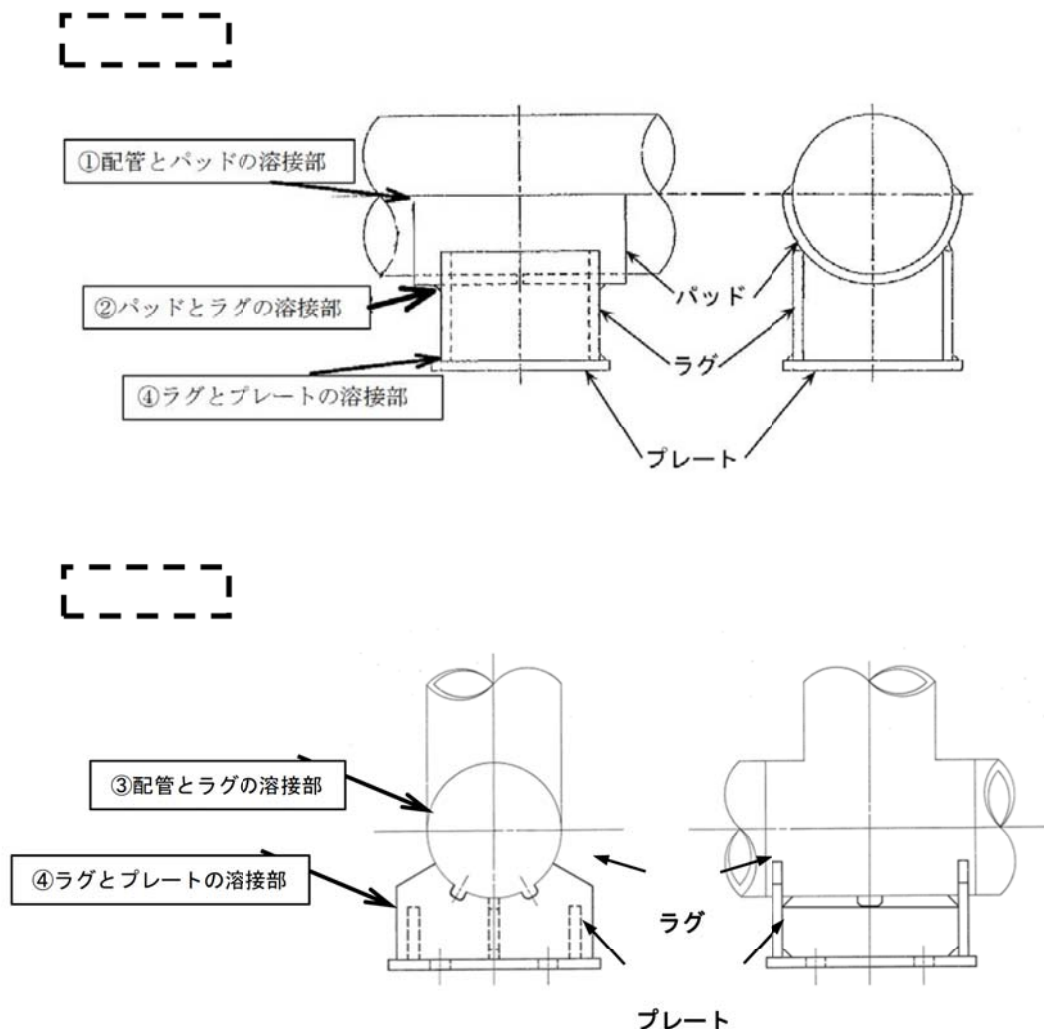


図1 [] 及び [] の評価部位

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 技術評価結果及び耐震評価結果について

技術評価書及び耐震評価書に記載している「一次＋二次応力」における応力比の対象サポートと、それぞれの発生値、許容値は以下のとおり。

高浜2号 技術評価

評価項目			
①配管とパッドの溶接部	一次＋二次応力	0.58	
	許容応力		
	応力比		
②パッドとラグの溶接部	一次＋二次応力	0.26	
	許容応力		
	応力比		
③配管とラグの溶接部	一次＋二次応力		0.54
	許容応力		
	応力比		
④ラグとプレートの溶接部	一次＋二次応力	0.23	0.11
	許容応力		
	応力比		

耐震評価は技術評価において応力比の厳しい [] を評価対象とした



高浜2号 耐震評価

評価項目			
①配管とパッドの溶接部	一次＋二次応力	0.56	
	許容応力		
	応力比		
②パッドとラグの溶接部	一次＋二次応力	0.58	
	許容応力		
	応力比		
③配管とラグの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比		
④ラグとプレートの溶接部	一次＋二次応力	0.45	
	許容応力		
	応力比		

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

許容応力の算出

(単位:MPa)

アンカーサポート番号		パッド	ラグ	底板
部 位				
物 性 値	材 質			
	評価温度(°C) (注1)			
	① Sy (付録図表 Part 5 表 8) (at 使用温度)			
	Su (付録図表 Part 5 表 9) (at 使用温度)			
	② Sy (at 常温)			
	③ 1.35Sy			
	④ 0.7Su			
	F=min (②, ③, ④) (注2)			
	引張許容応力 ft=F/1.5			
	曲げ許容応力 fb=F/1.5			
せん断許容応力 fs=F/1.5√3				
一 次 応 力 の 許 容 値	引張許容応力 1.5ft [1.5ft*] (注3)			
	曲げ許容応力 1.5fb [1.5fb*] (注3)			
	せん断許容応力 1.5fs [1.5fs*] (注3)			
一 次 + 二 次 応 力 の 許 容 値	引張許容応力 3ft			
	曲げ許容応力 3fb			
	せん断許容応力 3fs (溶け込み) [1.5fs(すみ肉)]			

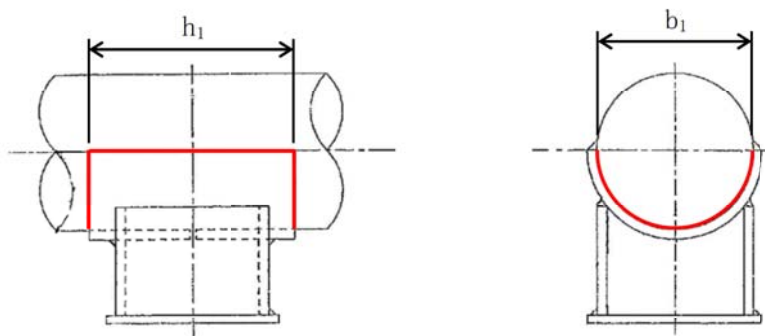
(注1) 評価温度は安全側を考慮して RHR 運転温度の 177°C を一律に使用した。

(注2) 使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の場合のみ。それ以外については、 $F = \min (①, ④)$

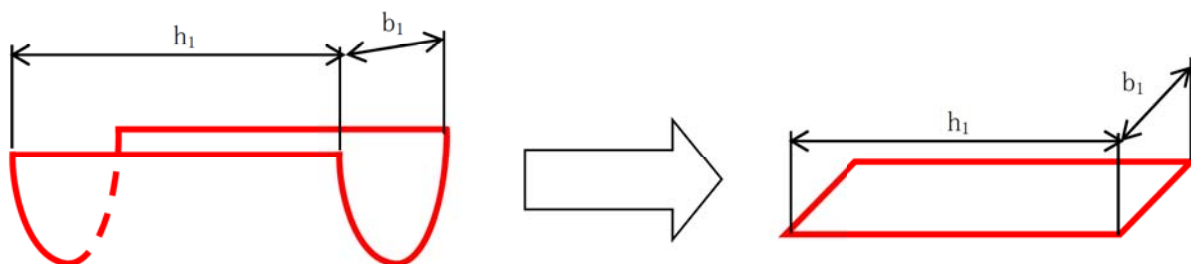
(注3) Ss 地震の一次応力評価では JEAG4601 の支持構造物規程に従い①, ②の値を「別表第9 (付録図表 Part 5 表 8) に定める値の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値を使用する。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

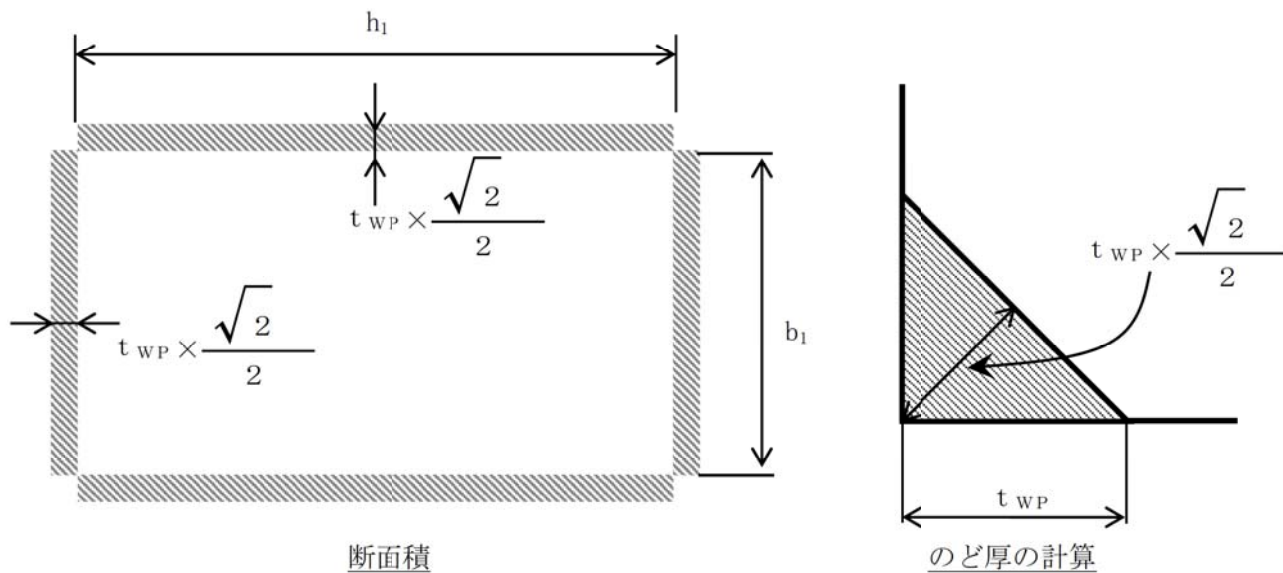
<溶接部の断面積計算例>



1. 溶接部の保守的なモデル化



2. 断面積 (Aw) の計算



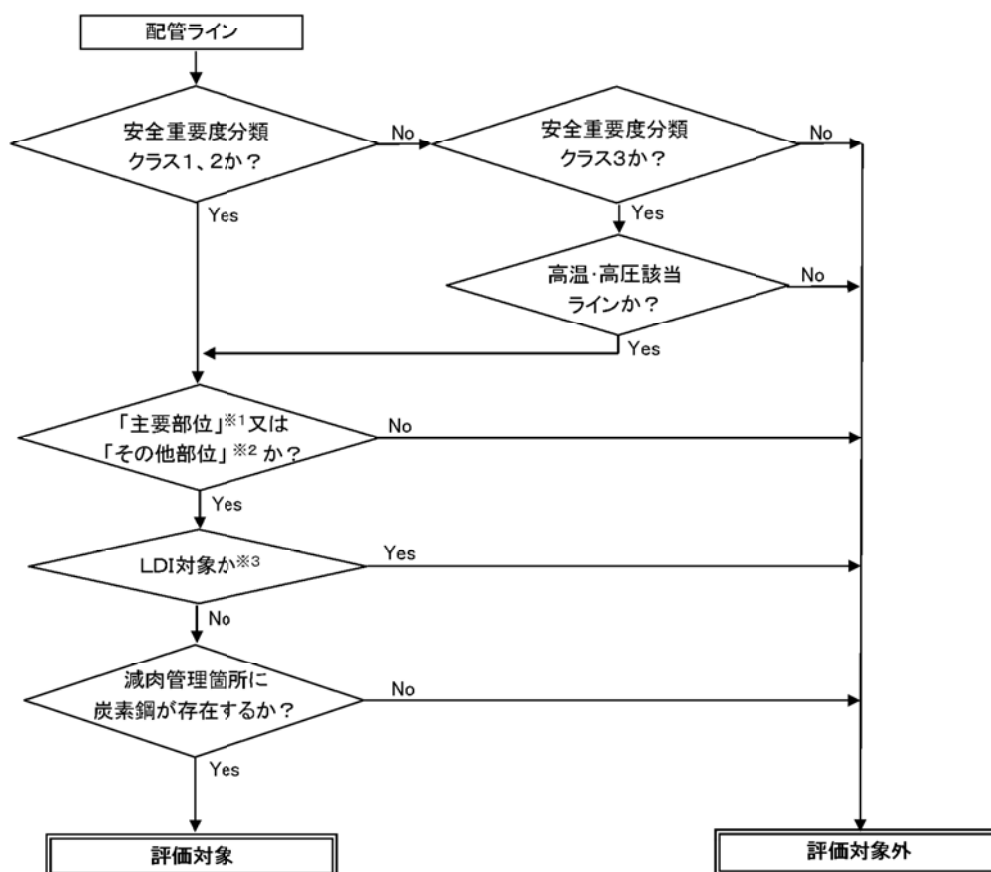
$$A_w = h_1 \times t_{WP} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2 + b_1 \times t_{WP} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2$$

$$= \boxed{} \times \boxed{} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2 + \boxed{} \times \boxed{} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2 = \boxed{}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する以下を含む評価について
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について 高浜2号のPLM評価における「母管の内面からの腐食(流れ加速型腐食)」に対する耐震安全性評価は、発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（以下「技術規格」という。）等を踏まえて策定した当社の管理指針「2次系配管肉厚の管理指針」に規定する検査対象系統を基に、評価対象ラインを選定し、耐震安全性評価を行っている。選定フローを添付-1に示す。</p> <p>2. 評価対象ライン数 その結果、評価対象として抽出され評価を行ったライン数は、系統分類毎にそれぞれ以下のとおり。 主蒸気系統配管：7ライン 主給水系統配管：14ライン 低温再熱蒸気系統配管：1ライン 第3抽気系統配管：1ライン 第4抽気系統配管：3ライン 補助蒸気系統配管：2ライン グランド蒸気系統配管：1ライン 復水系統配管：9ライン ドレン系統配管：22ライン 蒸気発生器ブローダウン系統配管：3ライン</p> <p>3. 評価結果 各評価仕様〔各評価用地震、想定減肉（必要最小肉厚or実測データ）、解析手法（梁モデル解析orFEM解析）〕と共に、各ラインの評価結果を添付-2に示す。</p> <p>4. 評価モデル 評価対象ラインのうち、PLM評価書に厳しいラインとして代表で記載した応力比の、対象箇所を含む解析モデル図を添付-3に示す。 また、主蒸気系統配管、主給水配管のCクラスのうち、応力比の厳しい箇所を含むラインの解析モデル図を添付-4に示す。</p>

配管内面からの腐食（流れ加速型腐食）評価対象ラインの抽出フロー



※ 1 : 当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、減肉が発生する可能性があるとし点検対象として選定している部位（「発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格」の流れ加速型腐食（FAC）による試験対象系統、液滴衝撃エロージョン（LDI）による試験対象系統の試験対象箇所にあたる部位

※ 2 : 当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、2次系冷却水が常時流れる系統のうち主要部位に該当しない偏流発生部位

※ 3 : 液滴衝撃エロージョン（LDI）については、減肉が発生したとしても局所的であり、応答特性・強度に影響がないことから対象外とし、流れ加速型腐食（FAC）のみを耐震評価対象としているもの

以 上

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所モデル						実測データに基づく 60年時点(2035年)モデル						実測データに基づく 50年時点(2025年)モデル					
				梁モデル評価			FEM評価			梁モデル評価			FEM評価			梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
主蒸気系統	C	理分層加熱器加熱蒸気管	C	Sd	0.66	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.68	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	A-主蒸気配管 (CV内)	S	Sd	0.28	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.46	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	B-主蒸気配管 (CV内)	S	Sd	0.59	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.52	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	C-主蒸気配管 (CV内)	S	Sd	0.21	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.34	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	A-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.43	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.57	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	B-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.24	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.36	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	C-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.48	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Ss	0.95	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	A-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.53	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	0.68	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	B-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	1.12	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	UF:0.351	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	C-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.85	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	0.36	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	A-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.48	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	0.79	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	B-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.93以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	0.88以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	C-主蒸気配管 (CV外)	S	Sd	0.44	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			Ss	0.88	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所10モデル						実測データに基づく 80年時点(2035年)モデル						実測データに基づく 50年時点(2025年)モデル					
				梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価			
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
低圧再熱蒸気系統	C	低圧再熱蒸気管	C	0.25	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3抽気管	C	0.60	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
第4抽気系統	C	第4抽気管(A)	C	2.41	X	1.15	X	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74	O	-	-		
	C	第4抽気管(B)	C	2.06	X	1.02	X	-	-	0.55	O	-	-	-	-	-	-	-			
	C	第4抽気管(C)	C	1.61	X	1.18	X	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	O	-			
	C	主給水ポンプ~第6高圧給水加熱器	C	0.39	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
主給水系統	C	第6高圧給水加熱器~母管取合い	C	0.47	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吸込管(A)	C	2.04	X	0.57	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吸込管(B)	C	2.04	X	0.57	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吸込管(C)	C	1.75	X	0.57	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吐出管(A)	C	0.32	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吐出管(B)	C	0.29	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	C	給水プースタボレ管吐出管(C)	C	0.30	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	A-主給水配管 (CV内)	Sd	0.49	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV内)	Ss	0.24	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	C-主給水配管 (CV内)	Ss	0.44	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
主給水系統	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.49	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.77	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.39	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.70	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.78	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.63以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.85以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.38	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
主給水系統	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.39以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.63以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	0.43	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	S	B-主給水配管 (CV外)	Ss	0.63	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分種	耐震クラス	配管名称	評価項目	全面所収モデル						実測データに基づく60年時点(2038年)モデル						実測データに基づく50年時点(2025年)モデル					
				奥モデル評価			FCM評価			奥モデル評価			FCM評価			奥モデル評価			FCM評価		
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
熱水系統	C	熱水ポンプ～コンデンサ取込口～熱水ブースターポンプ	C	0.85	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	熱水ブースターポンプ～第1低圧給水加熱器	C	0.63	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(A)	C	0.34	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(B)	C	0.92	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器～第5低圧給水加熱器(C)	C	0.92	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(A)	C	0.43	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(B)	C	0.43	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(C)	C	0.44	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第4低圧給水加熱器～河変器	C	0.77	X	X	1.17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

評価書に記載した系統毎の代表数値及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分岐	配管クラス	配管名称	配管用途	全断面モデル						実データに基づく 60年時点(2035年)モデル						実データに基づく 90年時点(2045年)モデル					
				梁モデル評価			FEM評価			線モデル評価			モル評価			線モデル評価			モル評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	許値	応力値/ 許容応力	応力比	許値	応力値/ 許容応力	応力比	許値	応力値/ 許容応力	応力比	許値	応力値/ 許容応力	応力比	許値	応力値/ 許容応力	応力比	許値
レノ系統	C	第1高圧給水加熱器ドレン管(A)	C	1.01	x	0.56	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3高圧給水加熱器ドレン管(B)	C	1.38	x	0.70	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	0.27	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	0.30	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(C)	C	0.39	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	0.79	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	0.57	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(C)	C	0.52	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(A)	C	0.30	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(B)	C	0.47	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(C)	C	0.32	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低分槽加熱器レノ管(A)	C	0.38	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低分槽加熱器レノ管(B)	C	0.38	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低分槽加熱器レノ管(C)	C	0.52	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低分槽加熱器レノ管(D)	C	0.38	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	C	低分槽加熱器レノ管(E)	C	0.47	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
C	低分槽加熱器レノ管(F)	C	0.47	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
C	低分槽加熱器レノ管(G)	C	0.69	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

評価に取組した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加型速型廃食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全断折モデル						実測データに基づく 60年時点(2035年モデル)						実測データに基づく 50年時点(2025年モデル)					
				梁モデル評価			FEM評価			梁モデル評価			FEM評価			梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
ドレン系統	C	湿分分離器ドレン管(A)	C		0.31	C															
	C	湿分分離器ドレン管(B)	C		0.56	C															
	C	湿分分離器ドレンポンプ吸込管	C		0.95	C															
	C	湿分分離器ドレンポンプ吐出管	C		3.43	x		2.72	x			0.70	O								
クラン蒸気系統	C	クラン蒸気管	C		1.25	x		1.40	x								0.60	O			
	C	スチームコンバータ給水管	C		0.11	C															
補助蒸気系統	C	補助蒸気配管(1次系)	C		0.52	O															

 評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

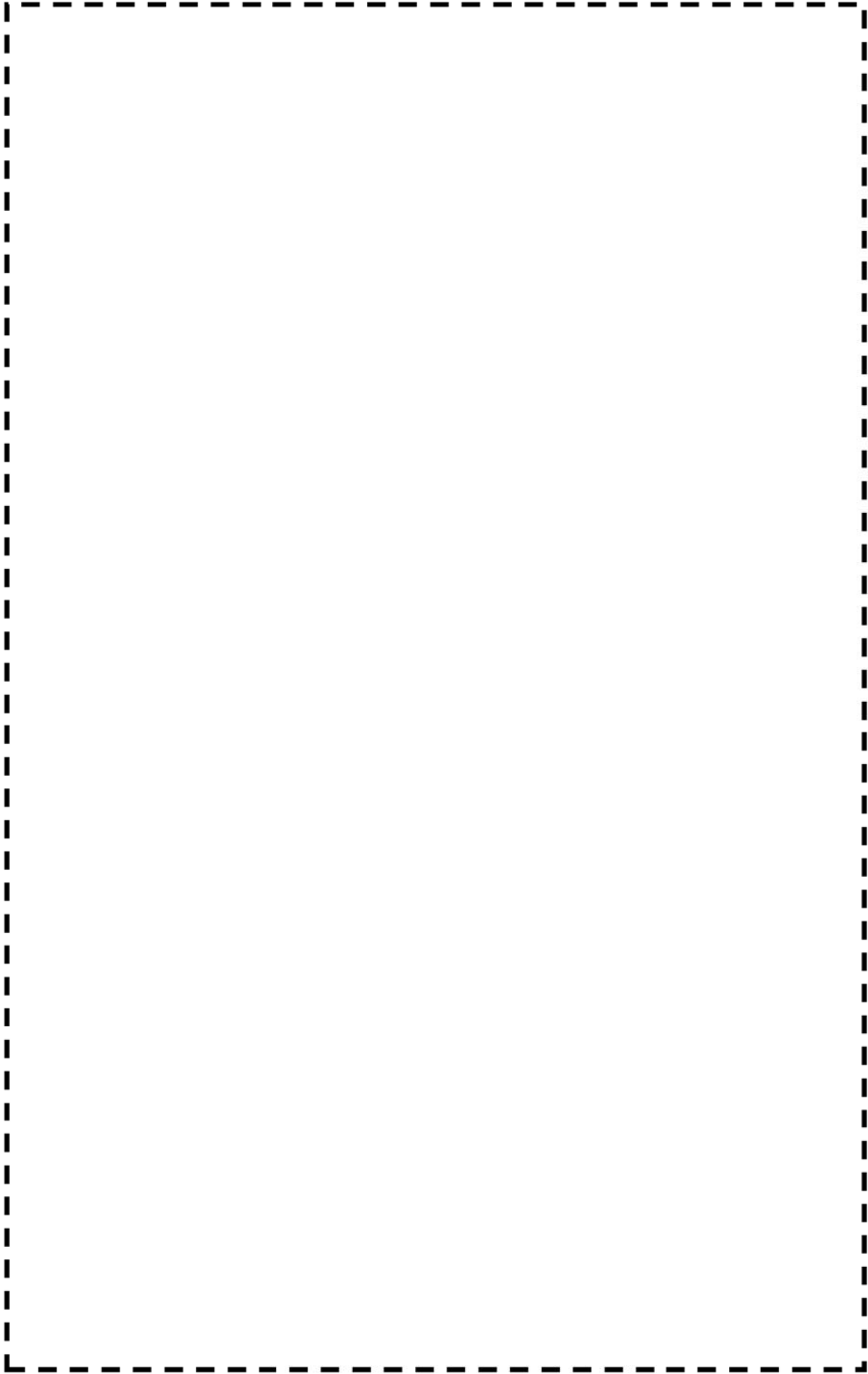
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所1stモデル						60年時点(2034年)モデル						基準データに基づく50年時点(2024年)モデル					
				FEM評価		FEM評価		FEM評価		FEM評価		FEM評価		FEM評価		FEM評価		FEM評価			
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
S	S	AループSGBD配管 PEN#279C/外 CVBD内	Sd 1次	0.79以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss 1次+2次	0.73以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.35	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.73	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.62以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.68以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	S	BループSGBD配管 PEN#233C/外 CVBD内	Sd 1次	0.31	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss 1次+2次	0.68	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.89以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.80以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.45	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.80	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C ^{※2}	C ^{※2}	BループSGBD配管 PEN#233C/外 CVBD外	Sd 1次	0.73以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss 1次+2次	0.35以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.37	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.35	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.77	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.60	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	S	CループSGBD配管 PEN#230C/外 CVBD内	Sd 1次	0.41	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss 1次+2次	1.23	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.63	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.17	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sd 1次	0.40	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss 1次+2次	0.35	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

評価値に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果
 ※1: 断続運転評価では、各系統について、CVBD内(Sクラス)、および、CVBD外(Cクラス)の評価を行っている。
 ※2: Cクラス範囲については、保守的にSクラスと同等の評価を行っている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Ss地震】

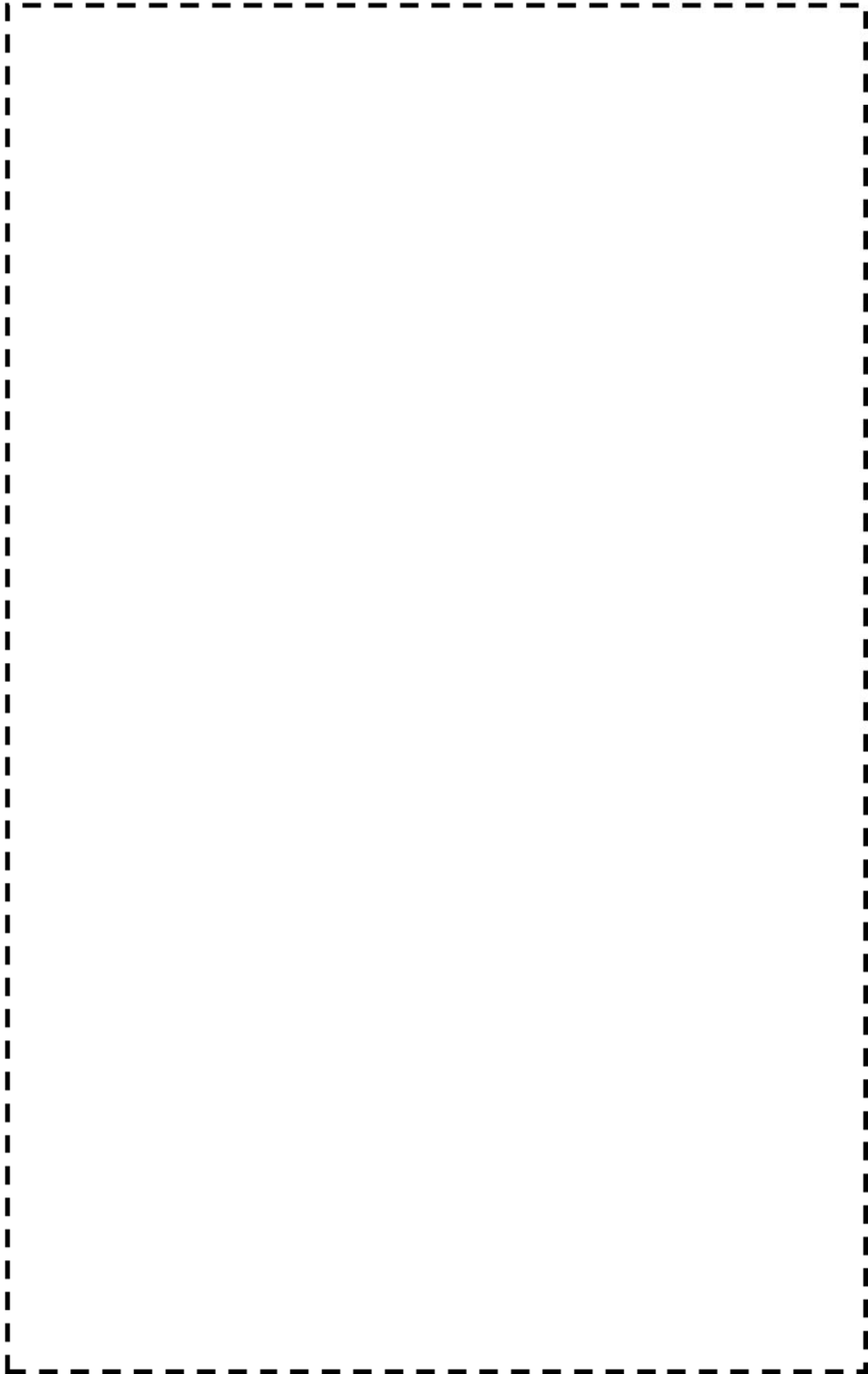
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

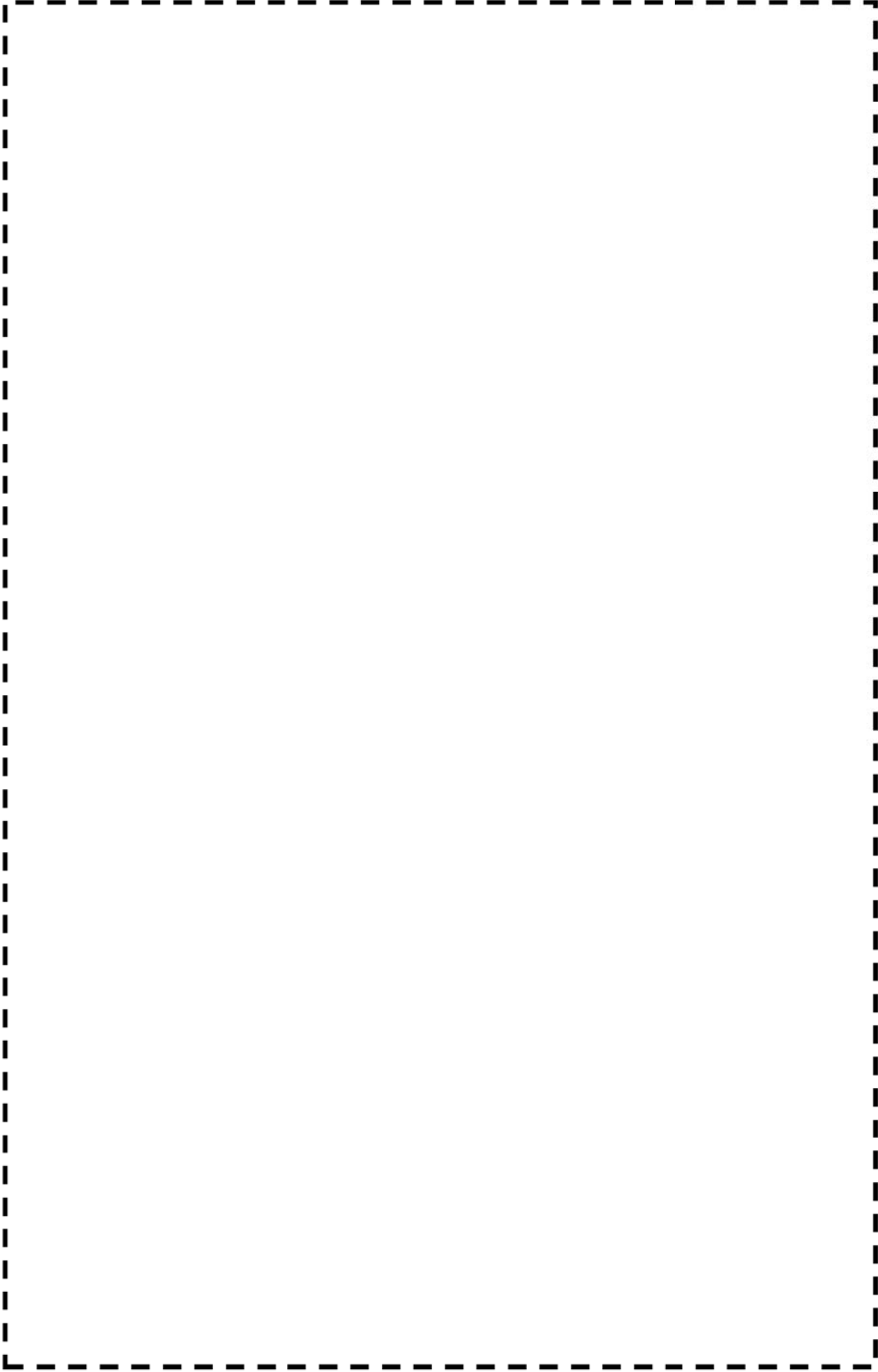
主給水系統配管(A-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



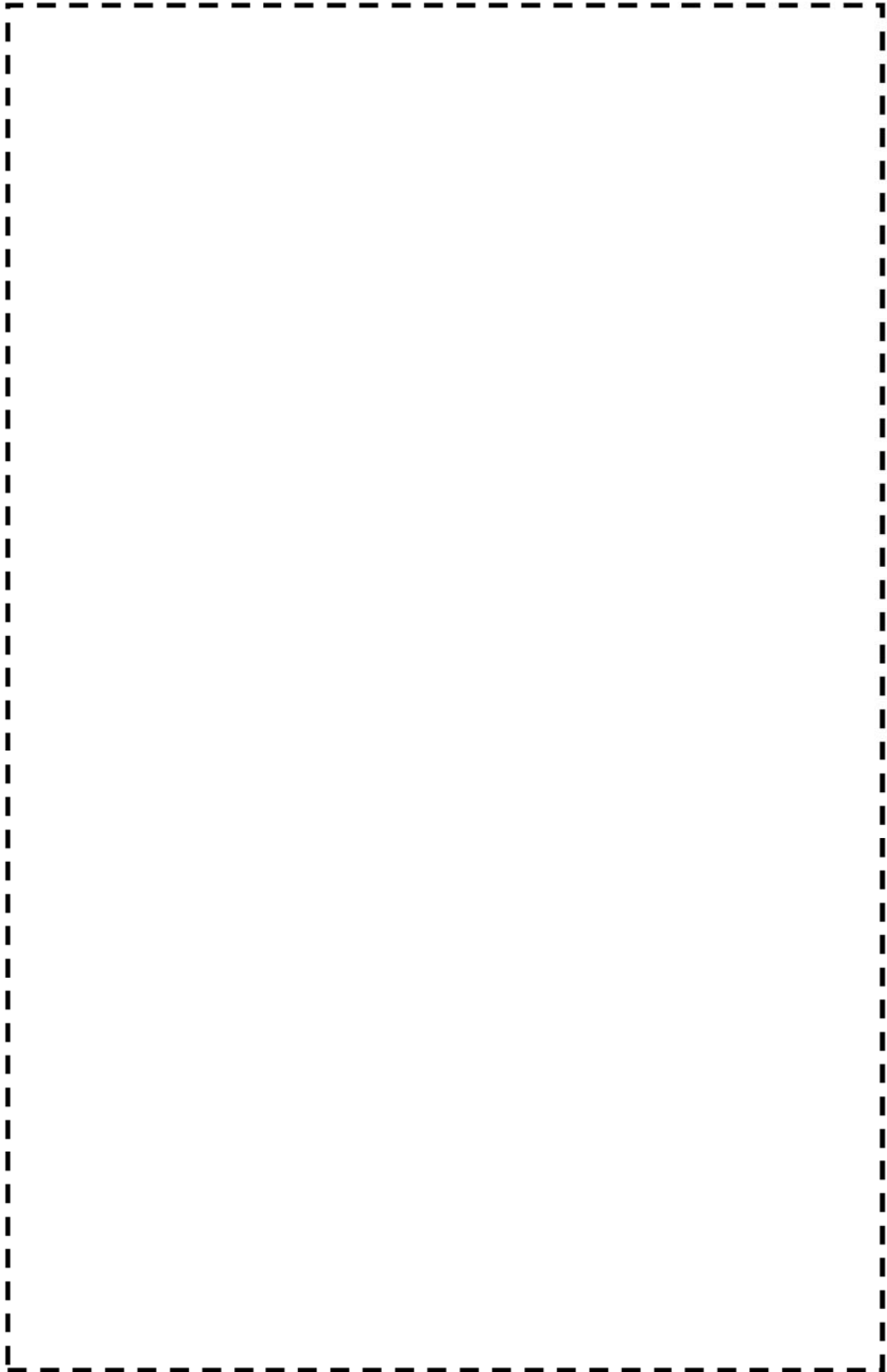
主給水系統配管(B-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



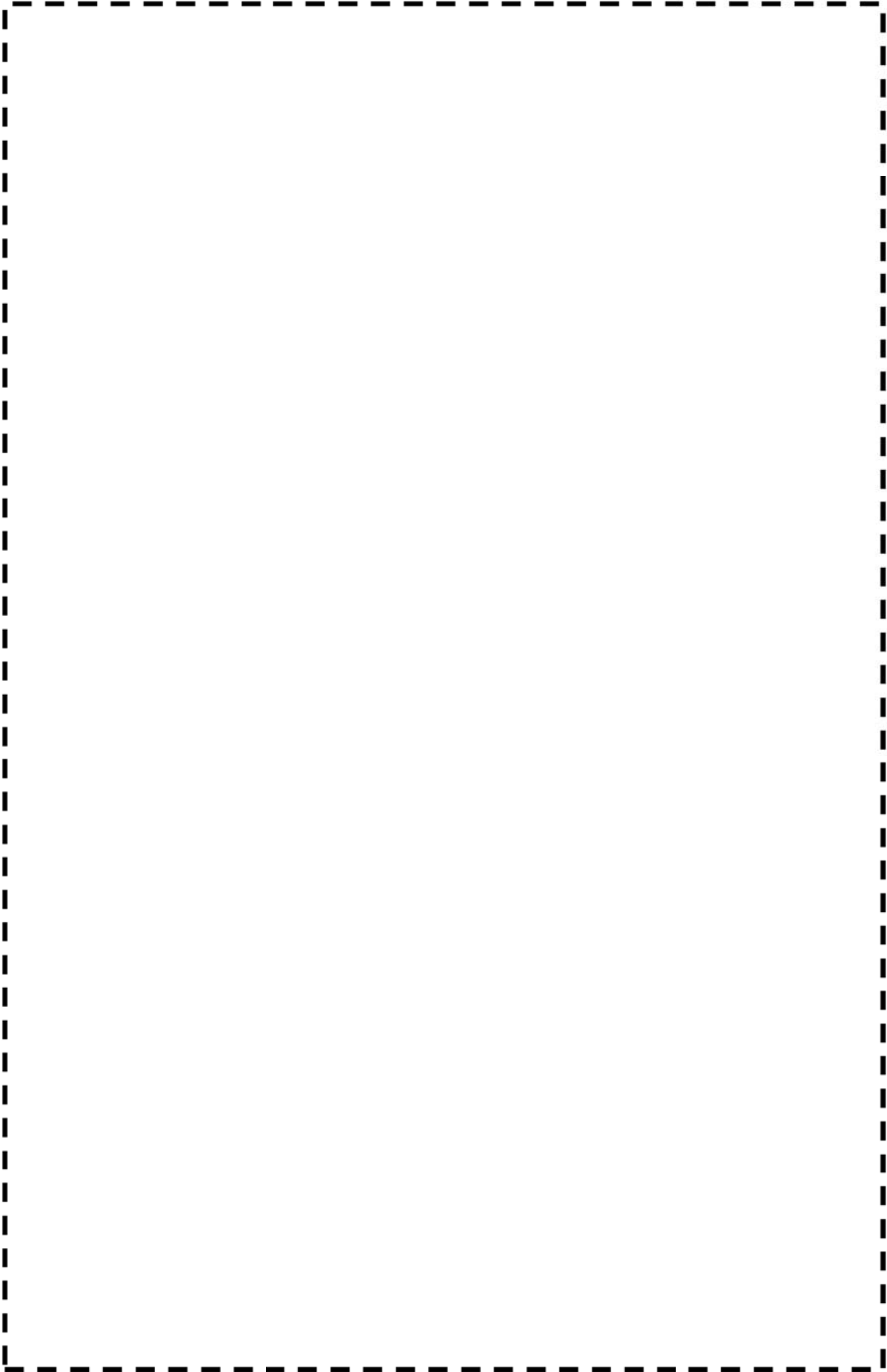
主給水系統配管(A-主給水配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



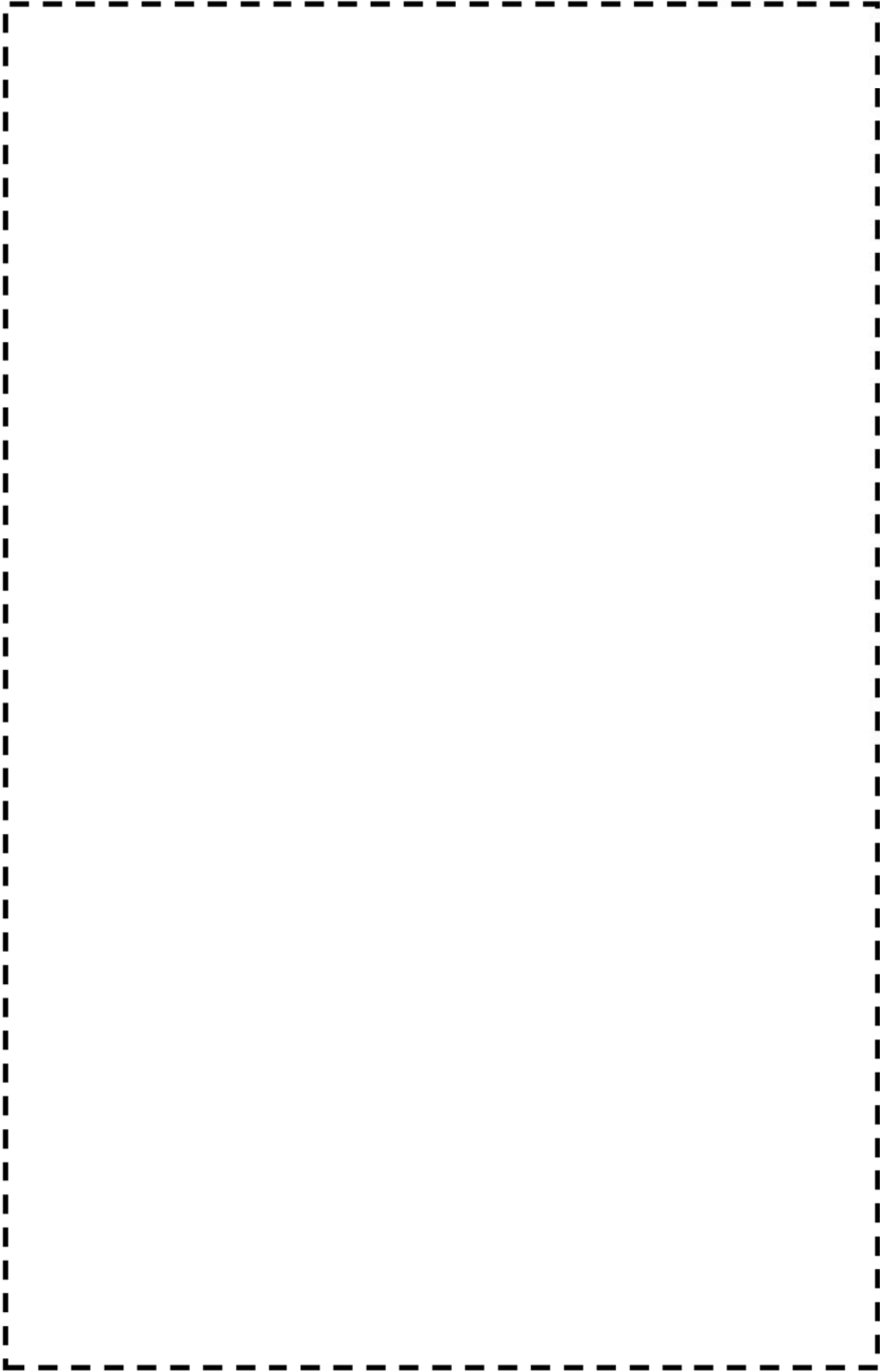
低温再熱蒸気系統配管(低温再熱蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



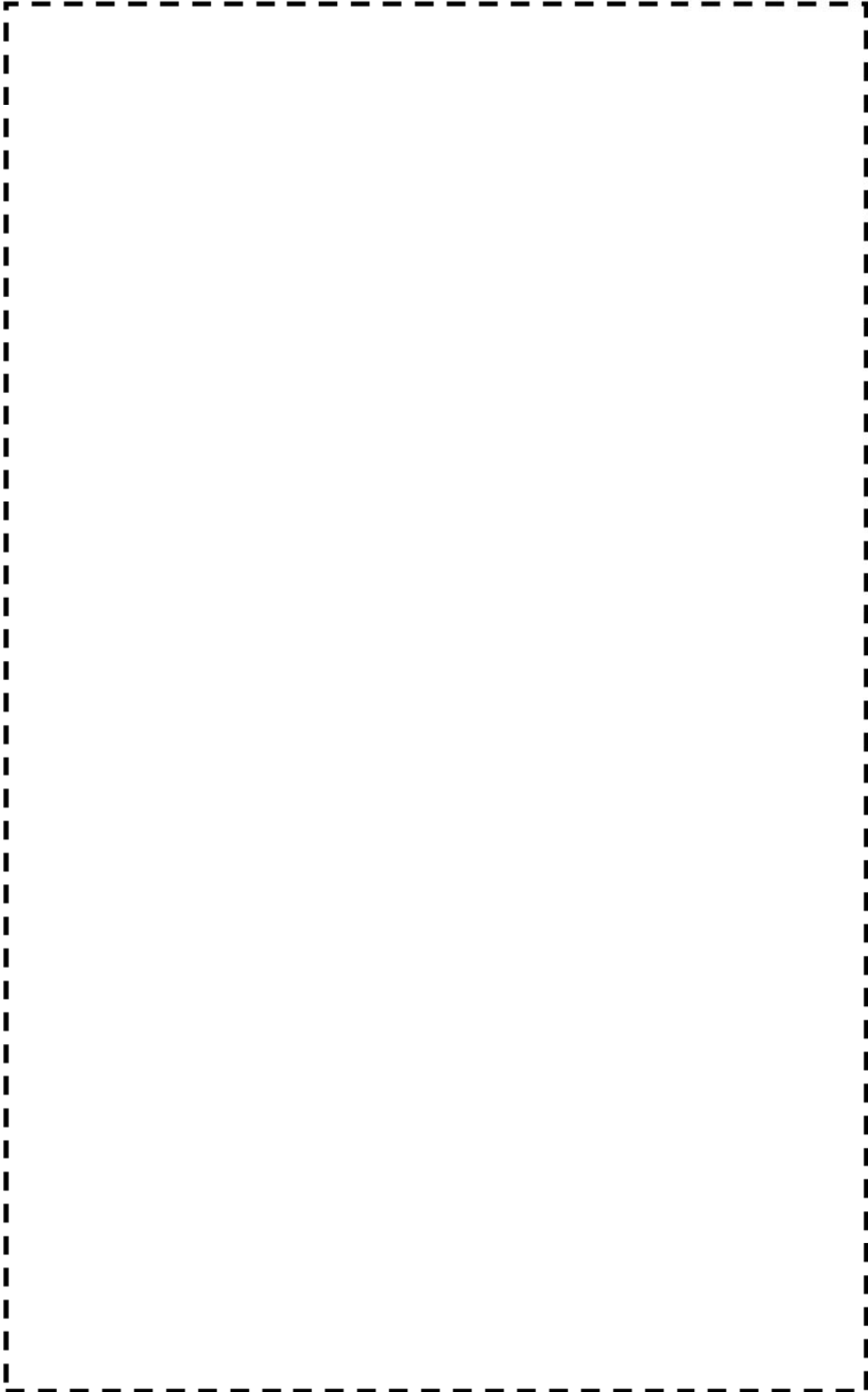
第3抽気系統配管（第3抽気管）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



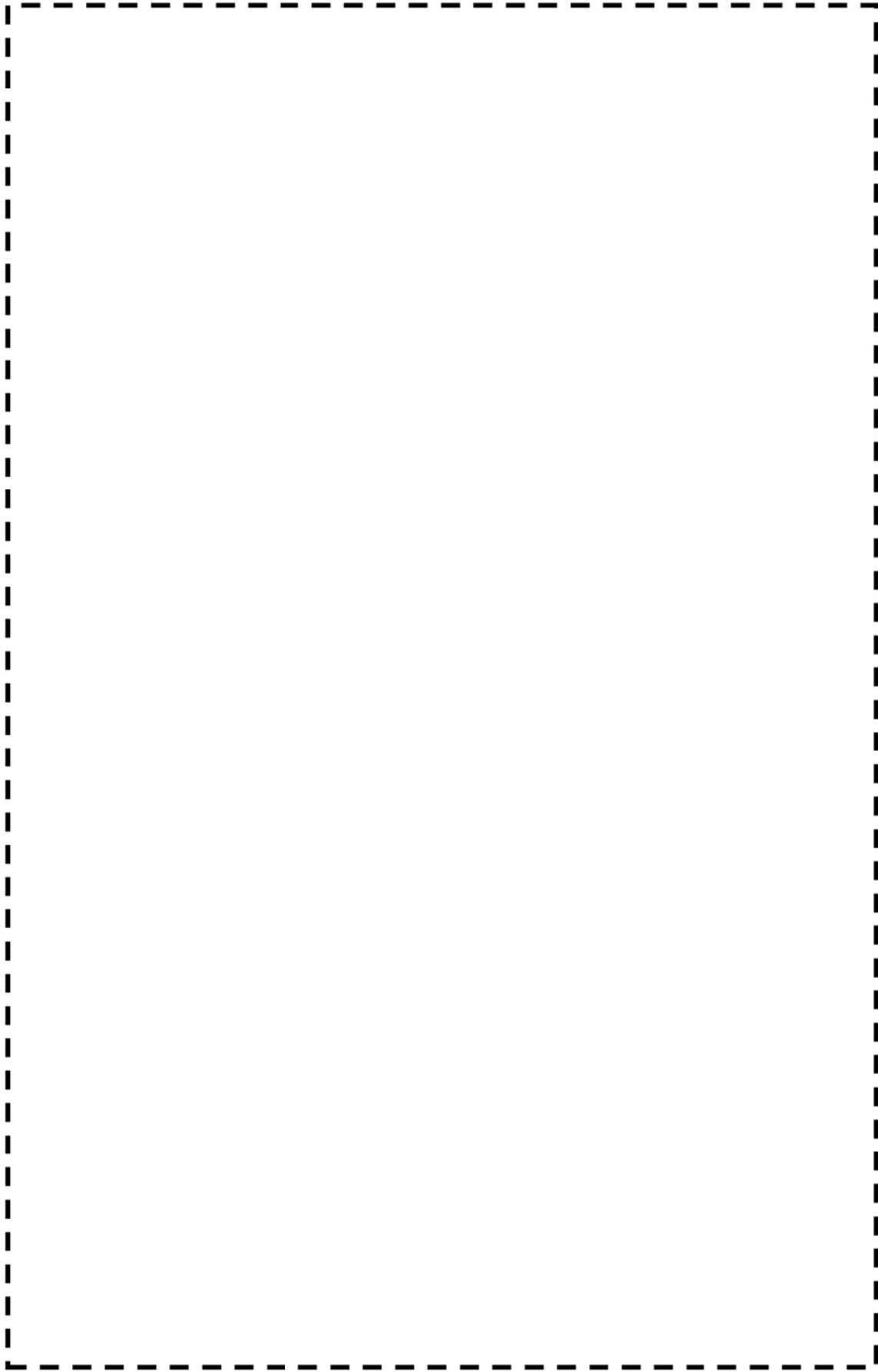
第4 抽気系統配管 (第4 抽気管 (A))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



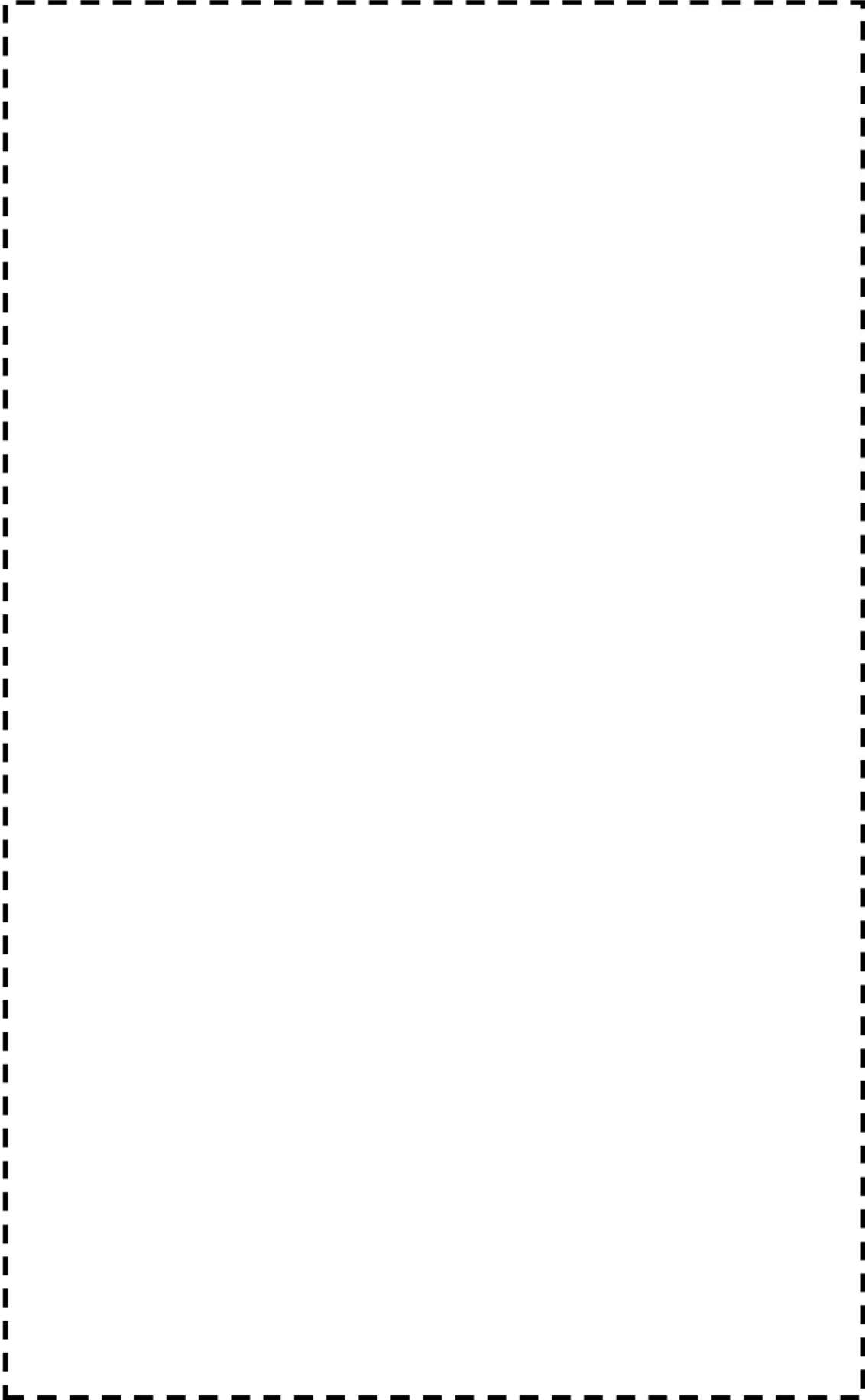
グラウンド蒸気系統配管 (グラウンド蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



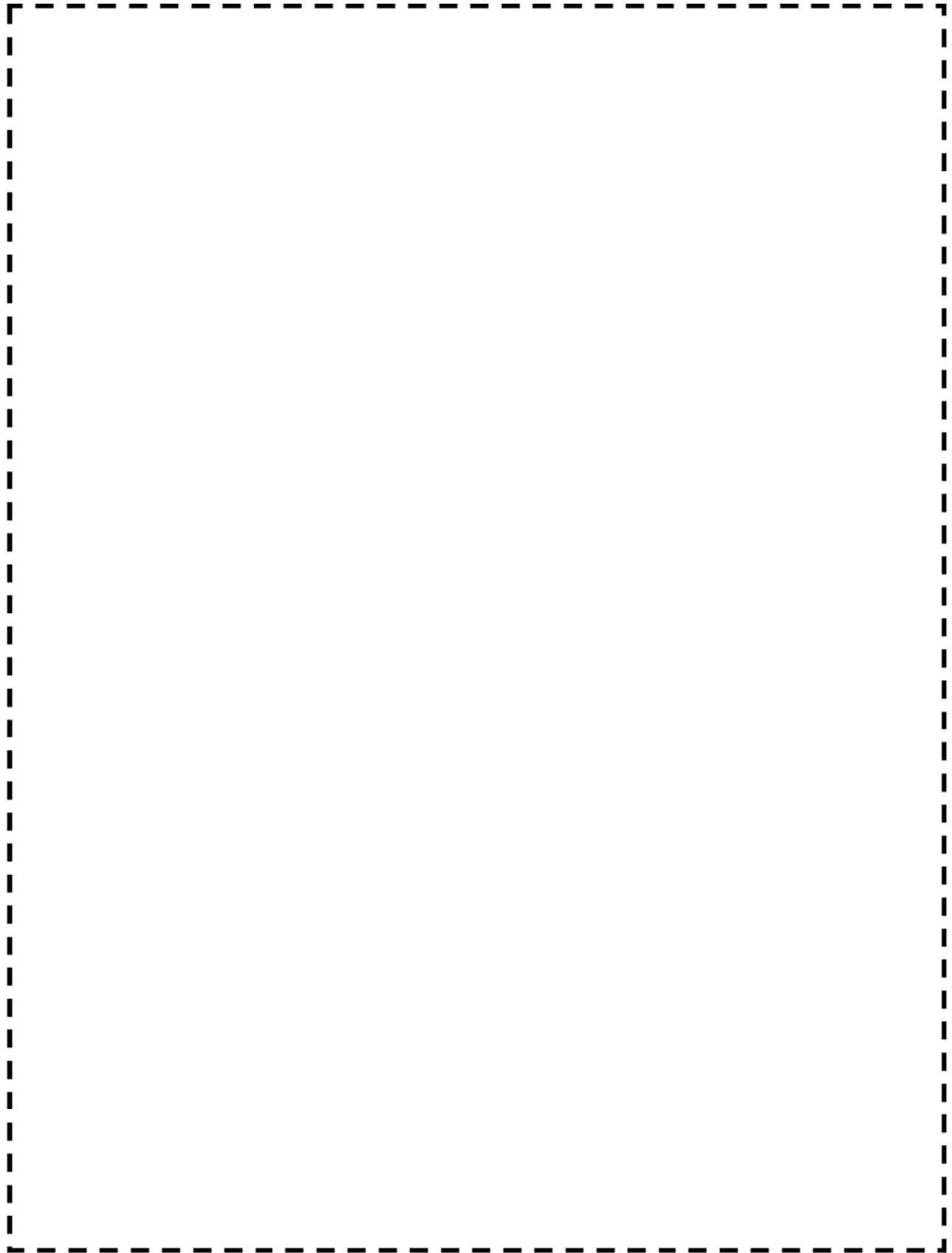
復水系統配管 (第4 低圧給水加熱器～脱気器)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



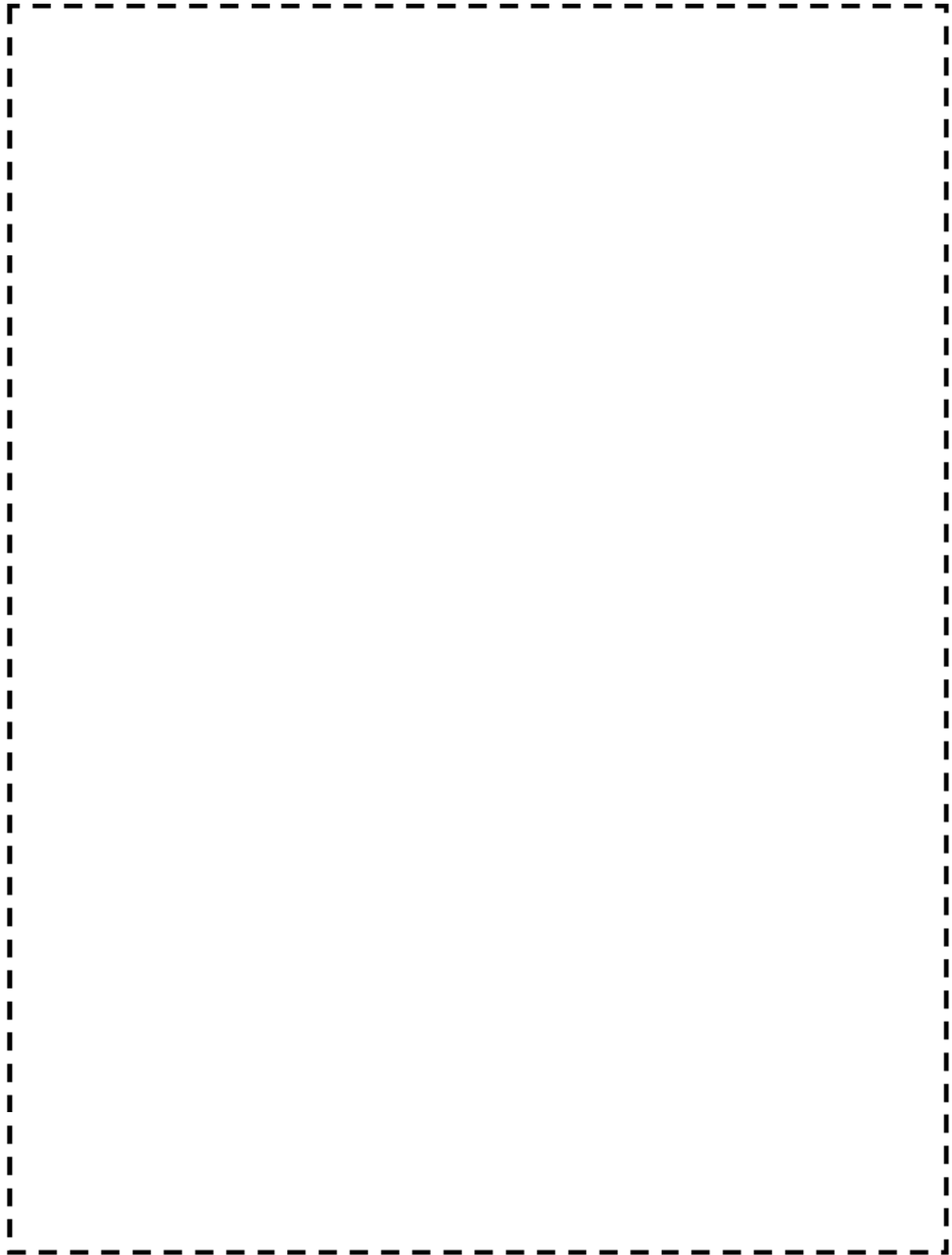
ドレン系統配管 (湿分離器ドレンポンプ吐出管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



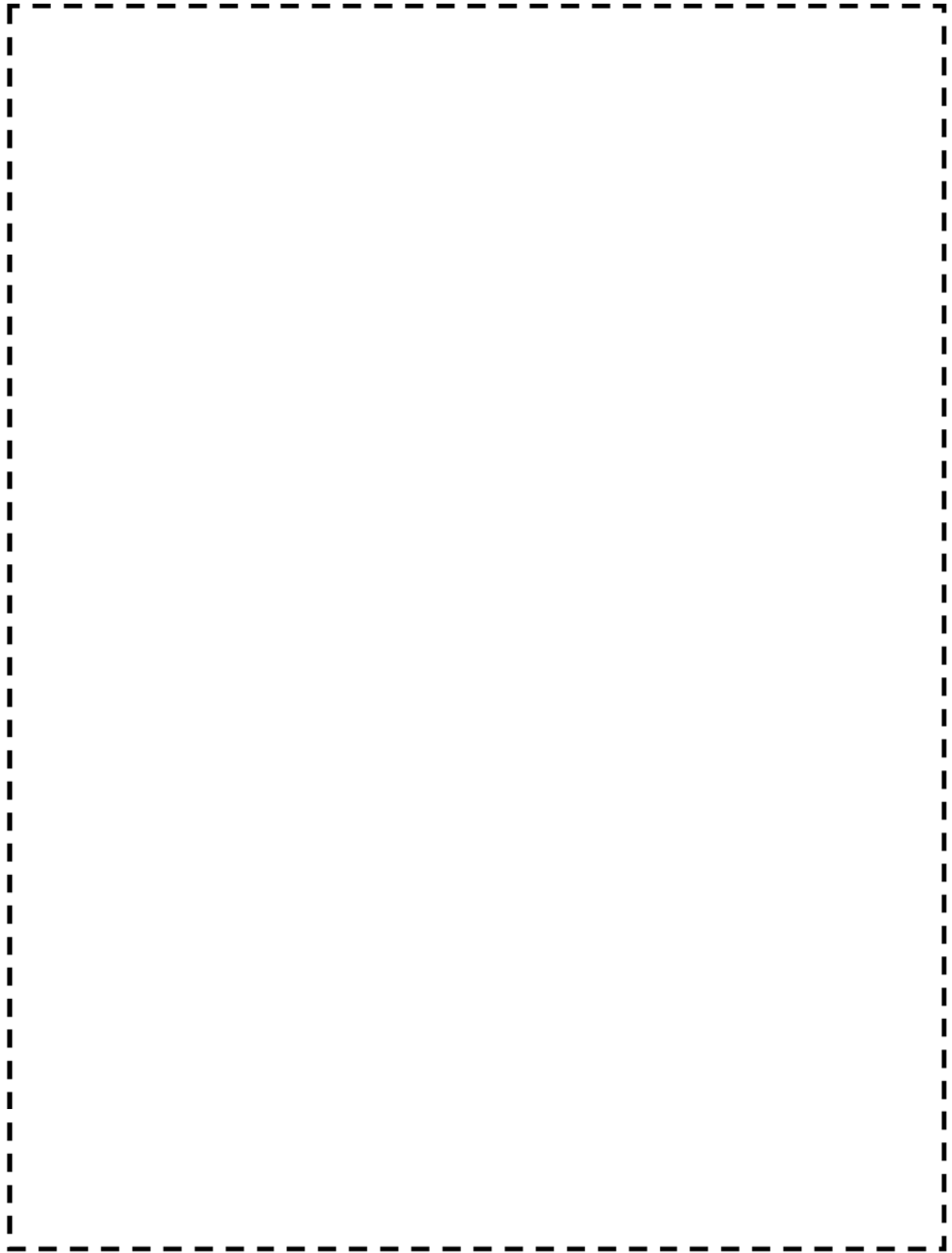
蒸気発生器ブローダウン系統配管 (BループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD内) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



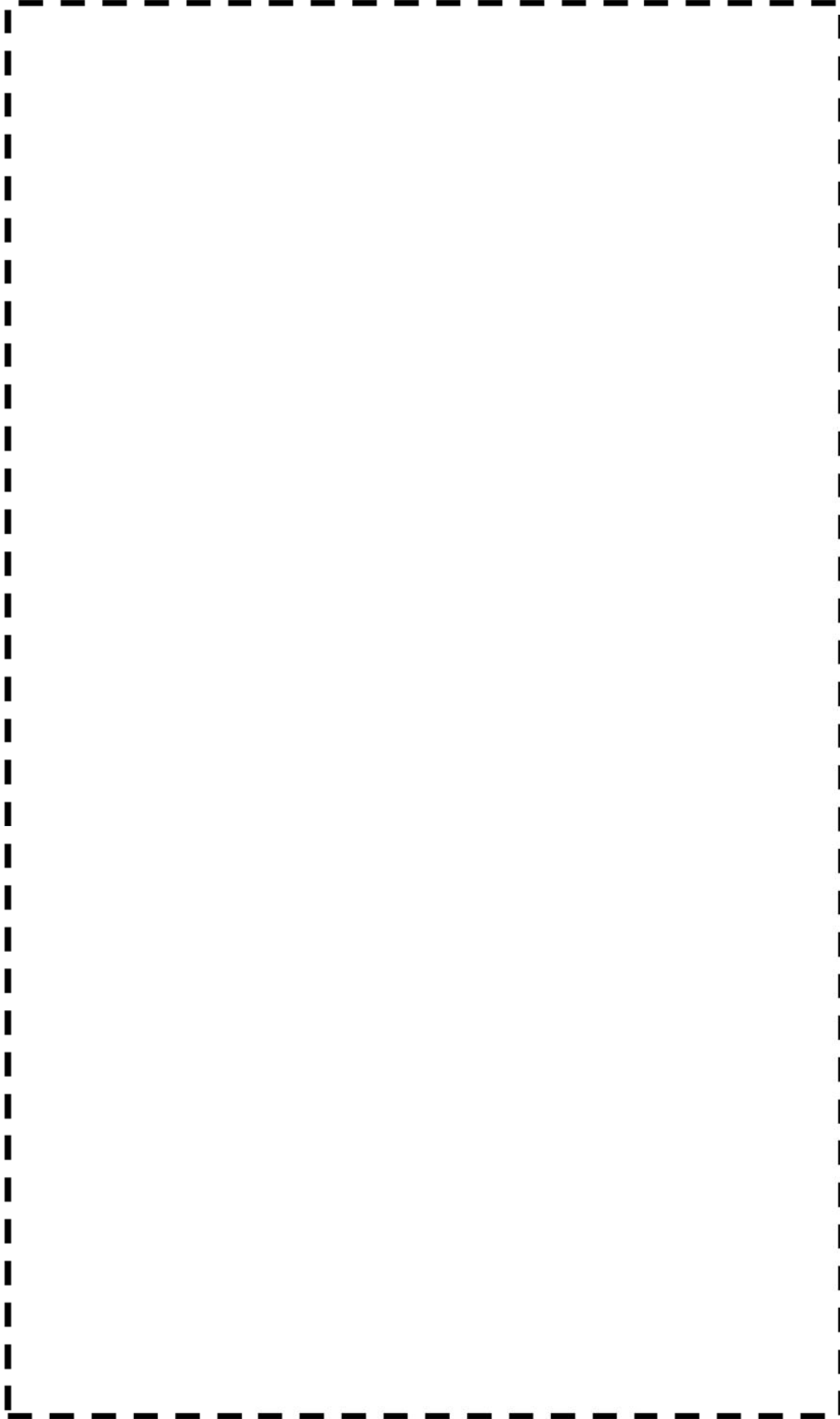
蒸気発生器ブローダウン系統配管(CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



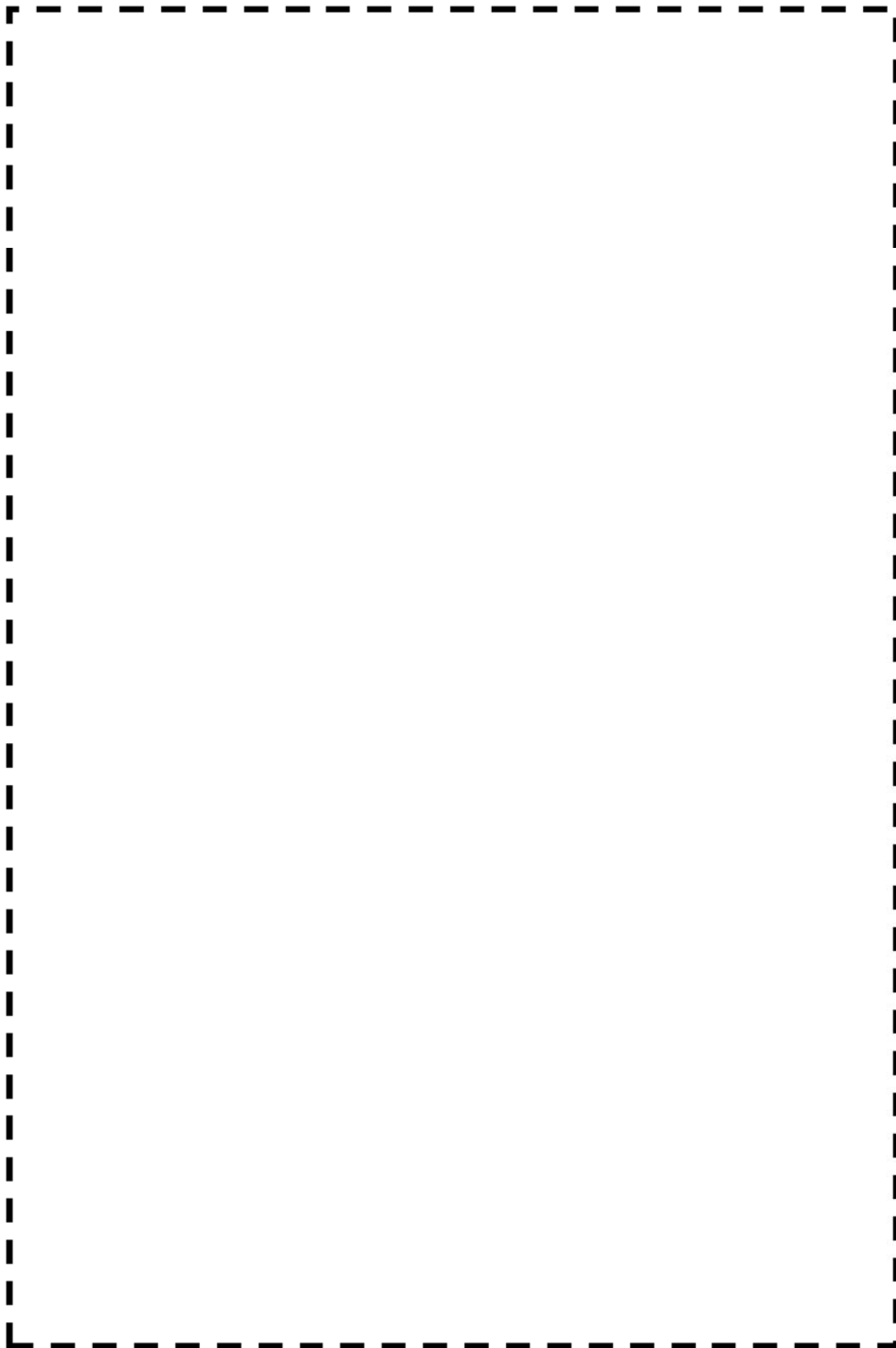
蒸気発生器ブローダウン系統配管(CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



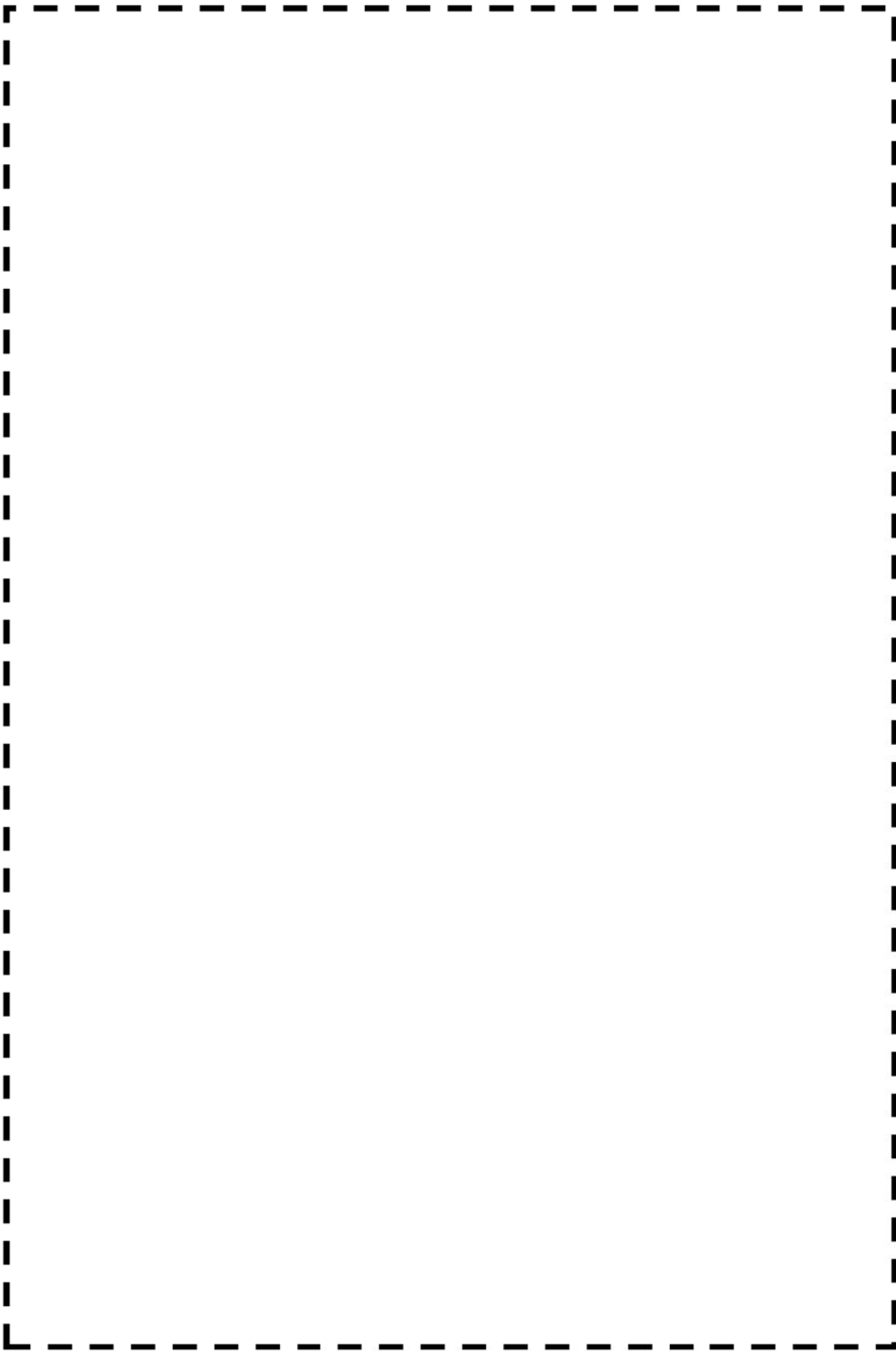
主蒸気系統配管（湿分分離加熱器加熱蒸気管）（Cクラス）

「 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。 」



主給水系統配管（給水ブースタポンプ吸込管（A））（Cクラス）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主給水系統配管（給水ブースタポンプ吸込管（B））（Cクラス）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について
説明	<p>1. 第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の評価内容について</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（B）」、ドレン系統配管の「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の2ラインについては、60年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。また、第4抽気系統配管「第4抽気管（A）」「第4抽気管（C）」、グラウンド蒸気系統配管「グラウンド蒸気管」、復水系統配管の「第4低圧給水加熱器～脱気器」の4ラインについては、50年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。（他のラインはすべて全箇所tsrでモデル化）</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（B）」の評価に用いた解析モデルを添付-1 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-1 (2/2)に示す。</p> <p>ドレン系統配管「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の評価に用いた解析モデルを添付-2 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位3点（部位②～④）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-2 (2/2)に示す。</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（A）」の評価に用いた解析モデルを添付-3 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-3 (2/2)に示す。</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（C）」の評価に用いた解析モデルを添付-4 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-4 (2/2)に示す。</p> <p>グラウンド蒸気系統配管「グラウンド蒸気管」の評価に用いた解析モデルを添付-5 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-5 (2/2)に示す。</p>

復水系統配管「第4低圧給水加熱器～脱気器」の評価に用いた解析モデルを添付-6(1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点(部位②, ③)について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-6(2/2)に示す。

2. 肉厚測定計画について

配管肉厚については、当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、点検計画を立てている。

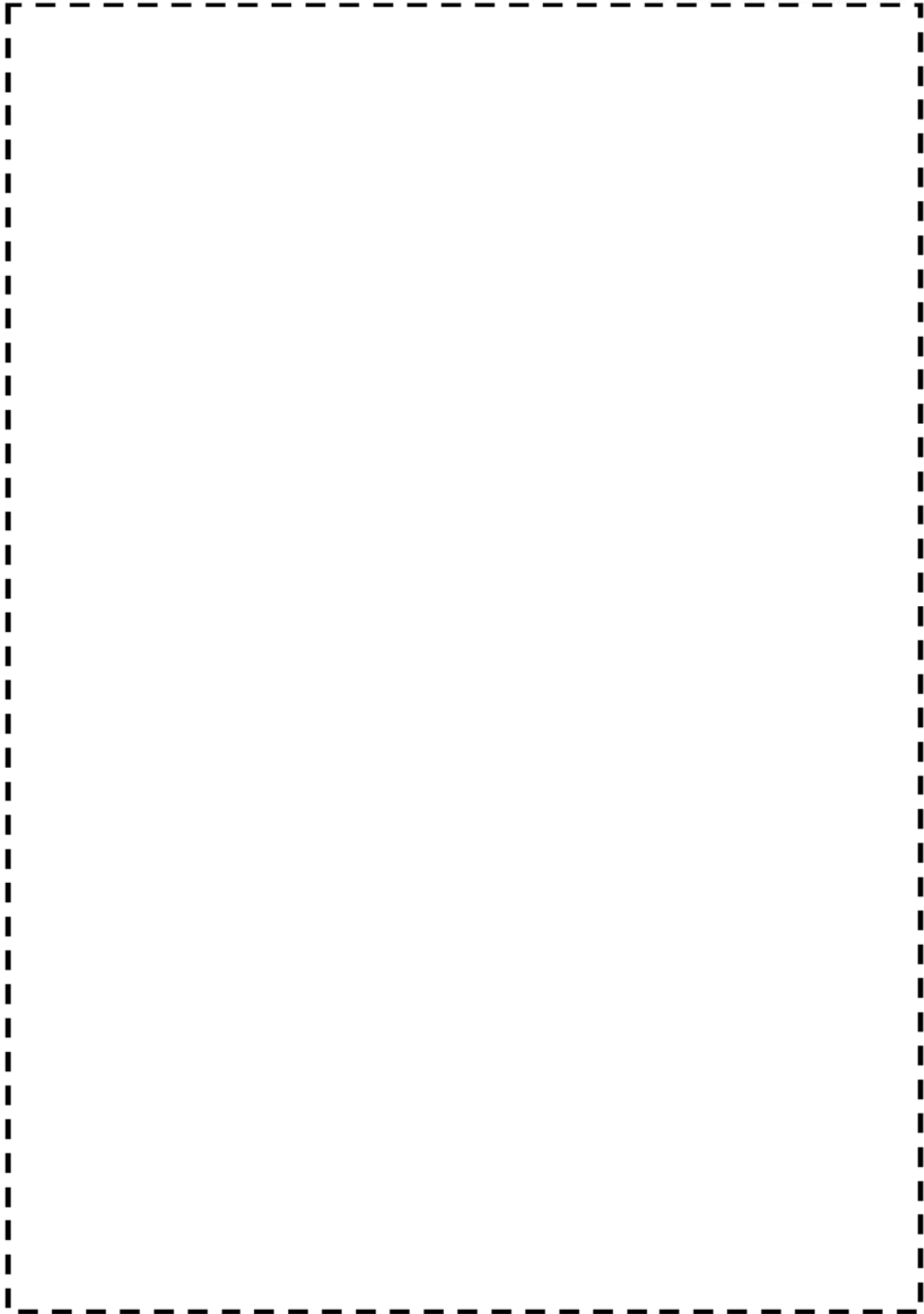
添付-7に下記のスケルトン図(1/8～4/8)および測定計画(5/8～8/8)を示す。(第27回定検の前の計画であり、第27回定検での測定結果によって測定計画の修正を行うことになる)。

第4抽気系統配管 : 「第4抽気管」
ドレン系統配管 : 「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」
復水系統配管 : 「主復水管(4/4)第4ヒータ～脱気器」
グラウンド蒸気系統配管 : 「タービングラウンド蒸気管」

3. 配管肉厚が必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出条件について

配管肉厚が必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出に用いた条件について添付-8に示す。

以 上



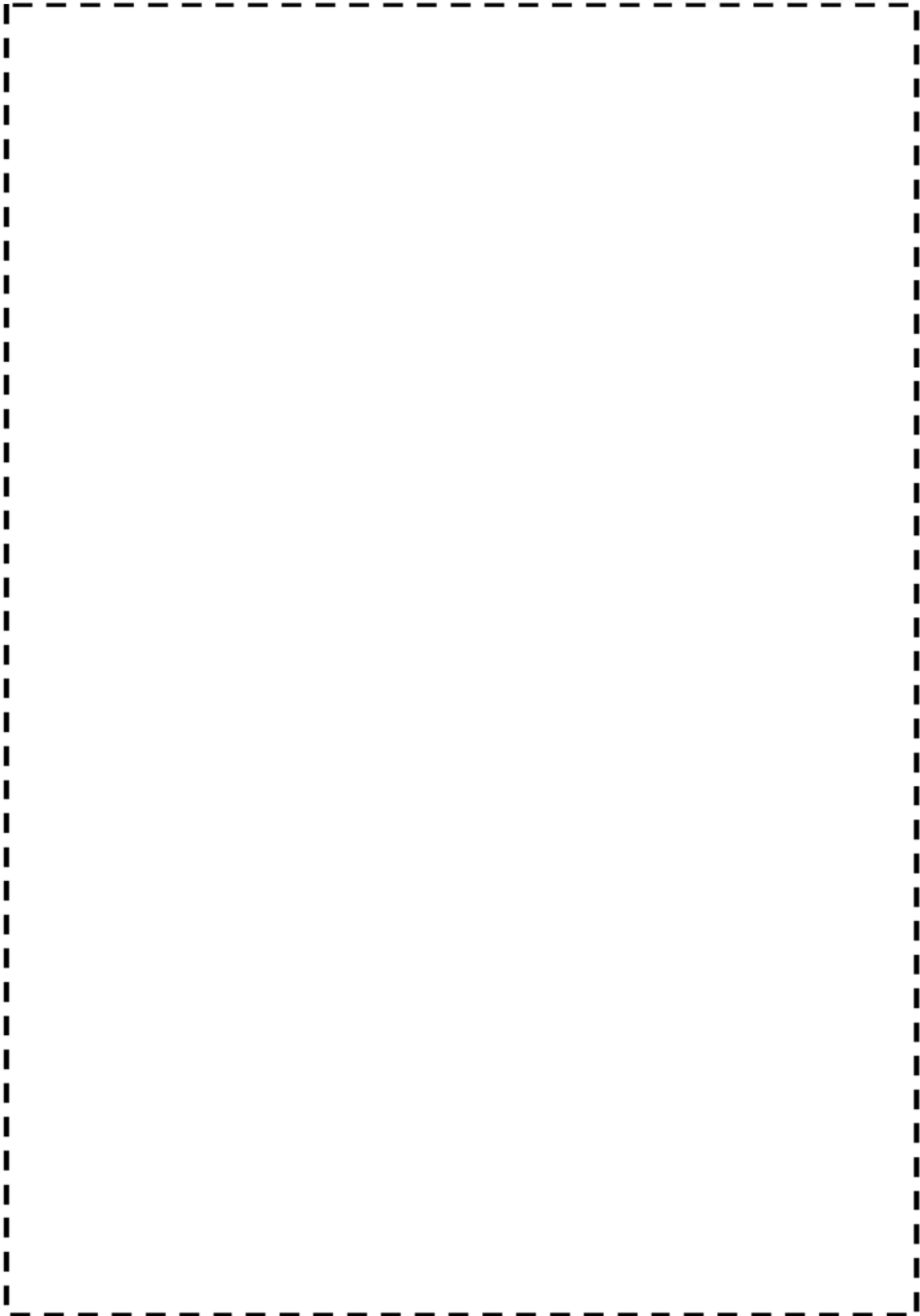
第4抽気系統配管（第4抽気管（B））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4抽気系統配管（第4抽気管（B））部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-3}$ mm/hr)	最新測定-60年の時間 (hr)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②									
③									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



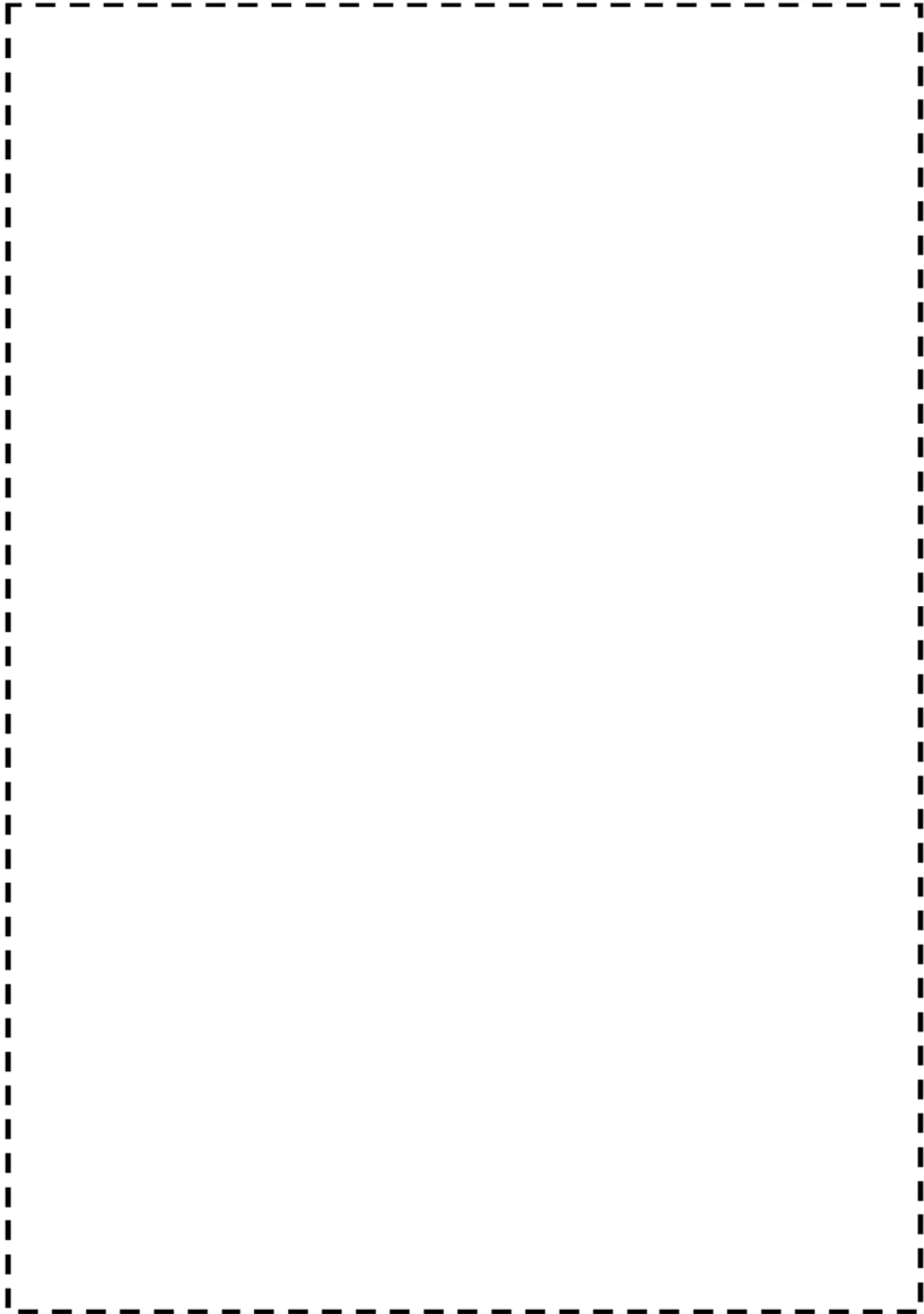
ドレン系統配管（湿分分離器ドレンポンプ吐出管）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管（湿分分離器ドレンポンプ吐出管）部位①～④
 の実測データに基づく肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (年)	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-60年の年数 (年)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②	大径側								
	小径側								
③	大径側								
	小径側								
④									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第4抽気系統配管（第4抽気管（A））

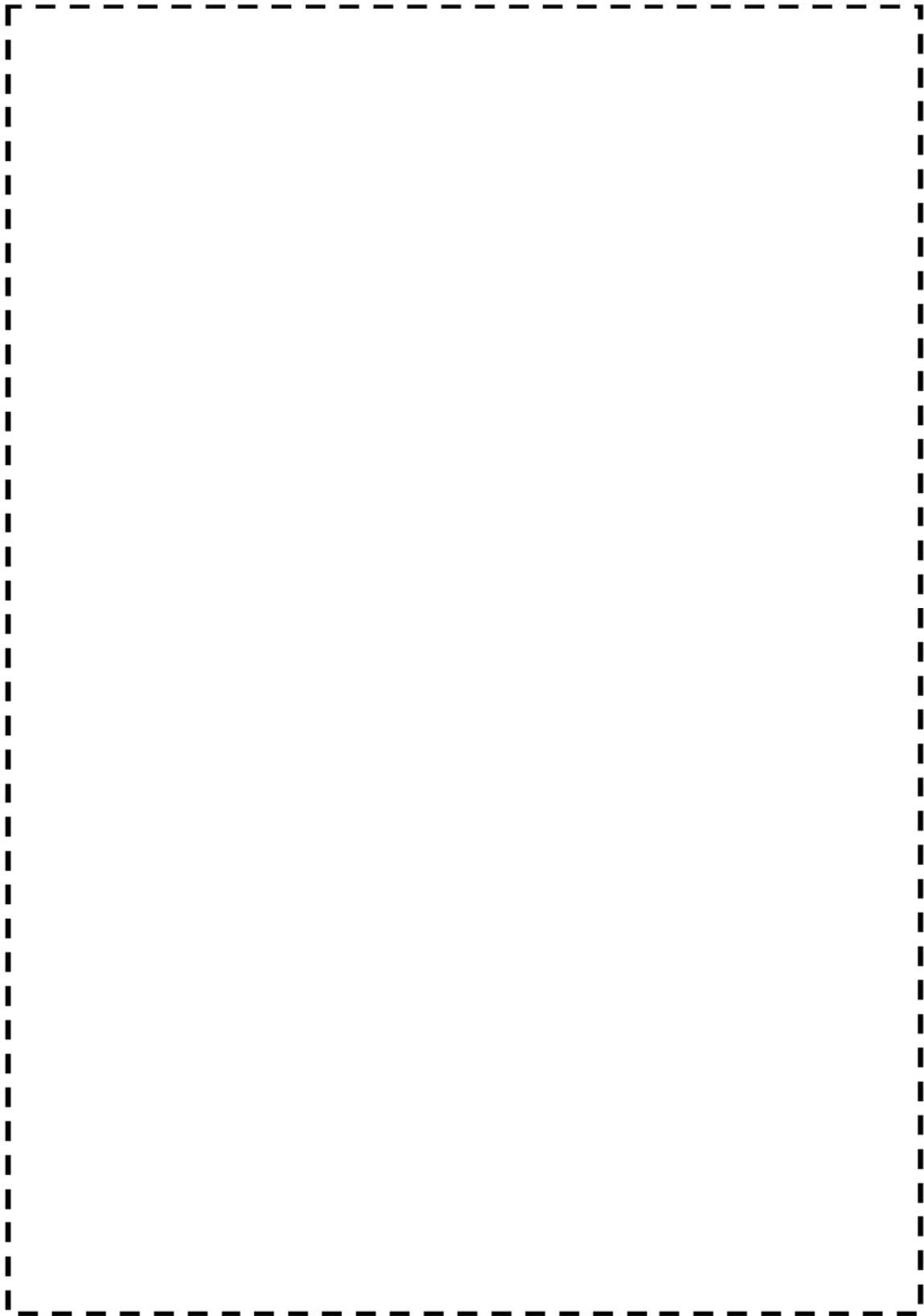
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4抽気系統配管（第4抽気管（A））部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位		肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-50年の時間 (hr)	最新測定-50年の減肉量 (mm)	50年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側									
	枝管側									
②										
③										



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



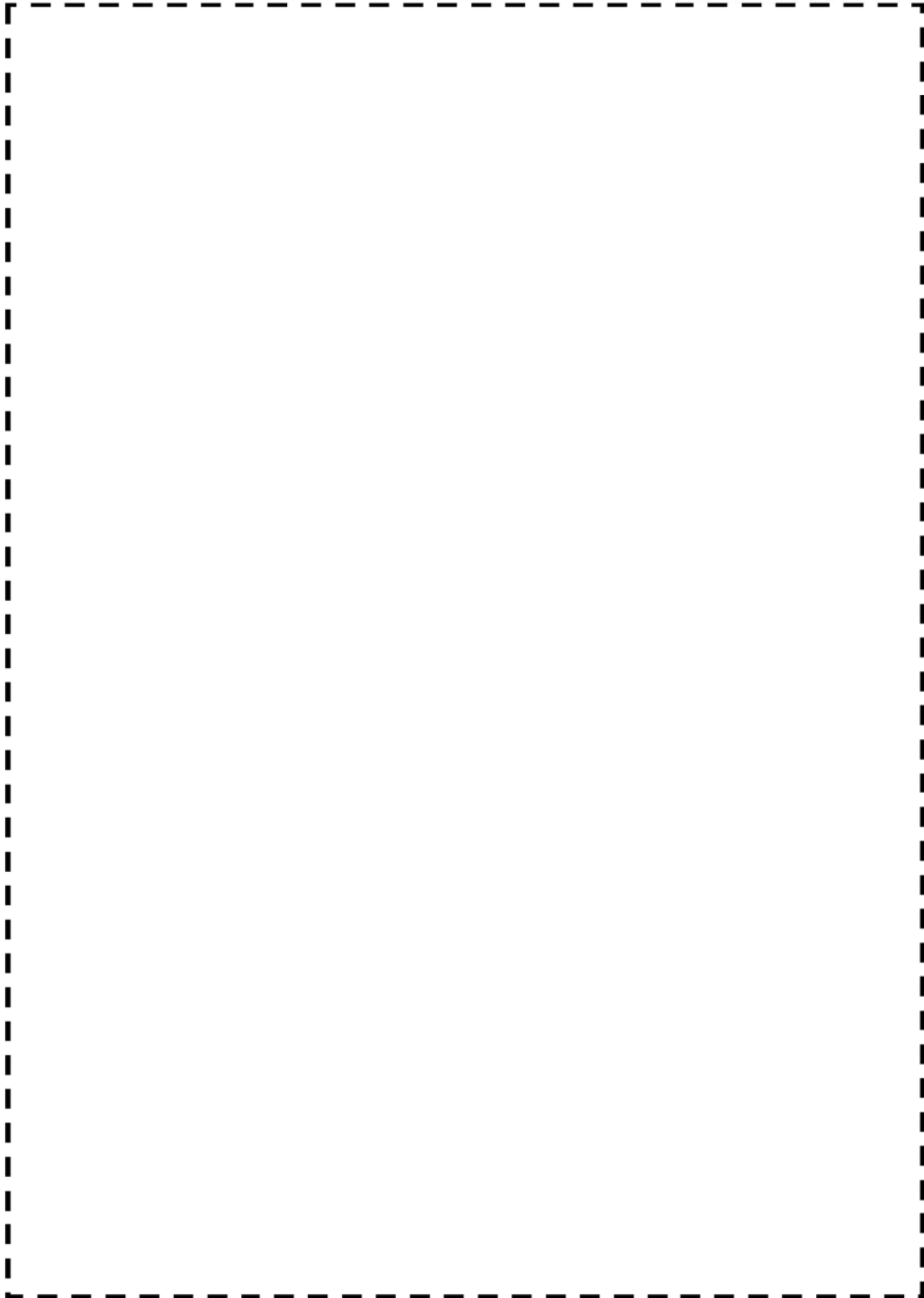
第4抽気系統配管（第4抽気管（C））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4抽気系統配管（第4抽気管（C））部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位		肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-50年の時間 (hr)	最新測定-50年の減肉量 (mm)	50年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側									
	枝管側									
②										
③										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



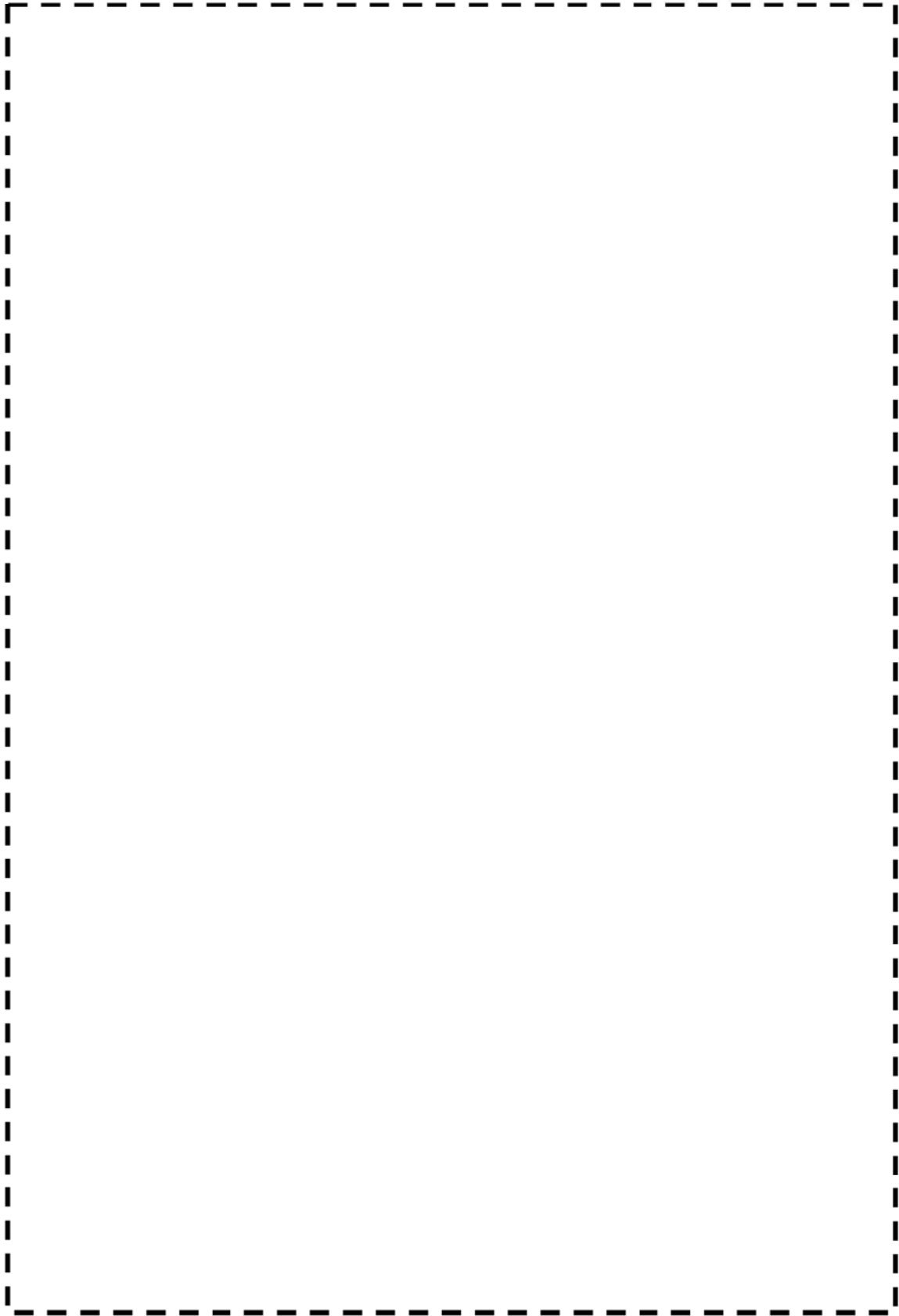
グラント蒸気系統配管 (グラント蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラント蒸気系統配管（グラント蒸気管）部位①～③
 の実測データに基づく肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-6}$ mm/hr)	最新測定-50年の時間 (hr)	最新測定-50年の減肉量 (mm)	50年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②									
③	母管側								
	枝管側								

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



復水系統配管（第4低圧給水加熱器～脱気器）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

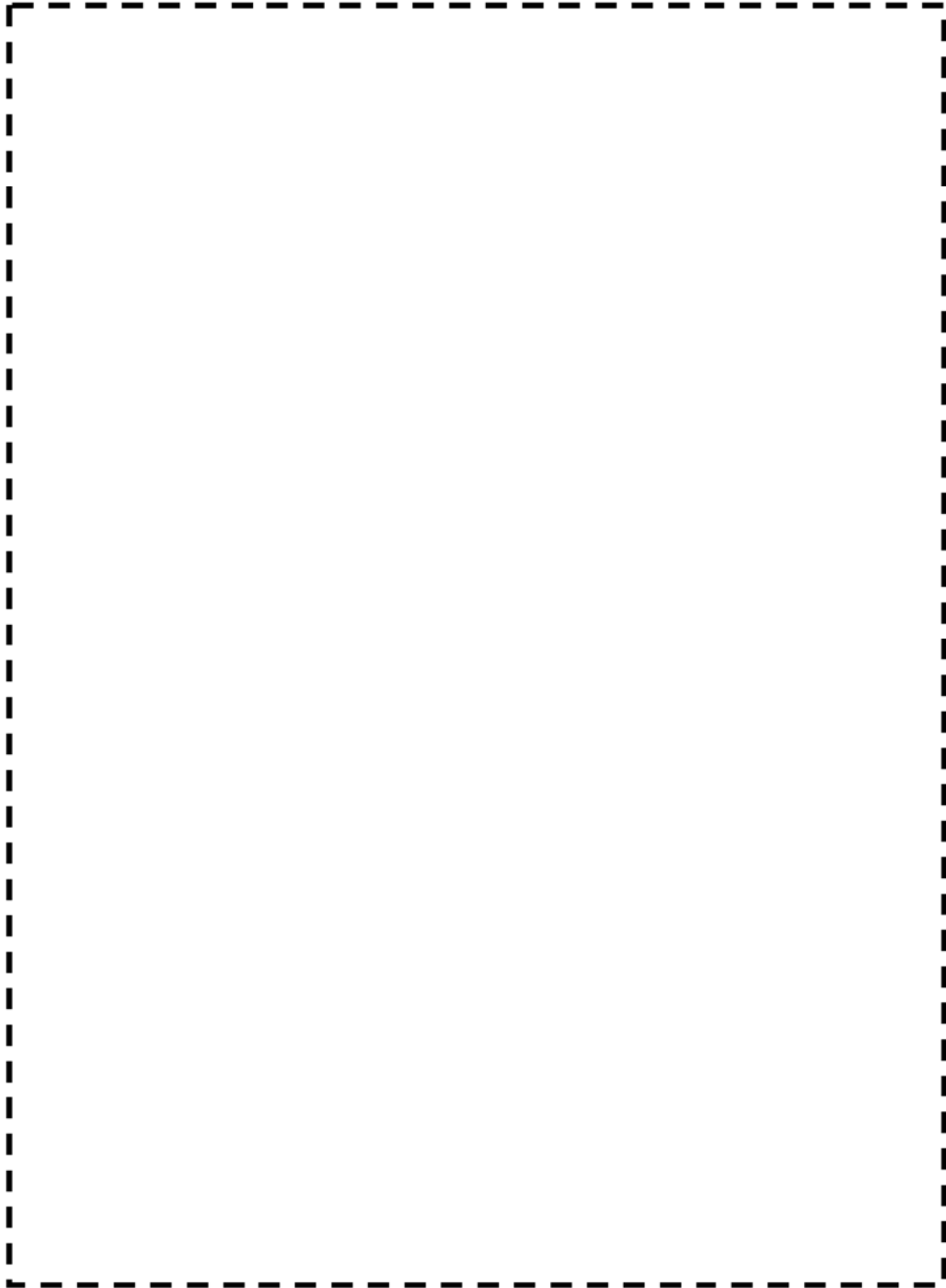
復水系統配管（第4 低圧給水加熱器～脱気器）部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-6}$ mm/hr)	最新測定-50年の時間 (hr)	最新測定-50年の減肉量 (mm)	50年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②	母管側								
	枝管側								
③									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4抽気管（A，B，C）」の肉厚測定について

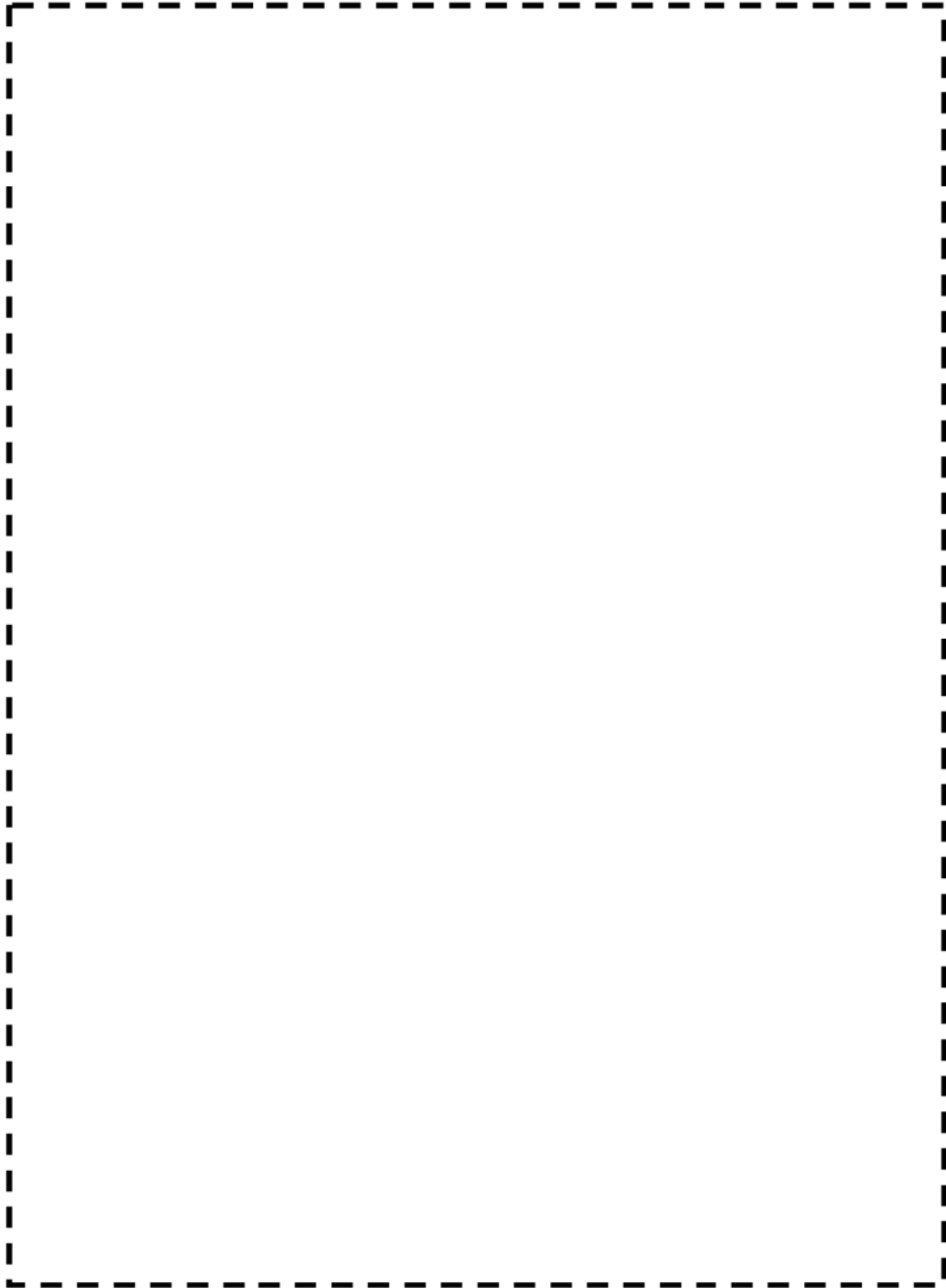
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の肉厚測定について

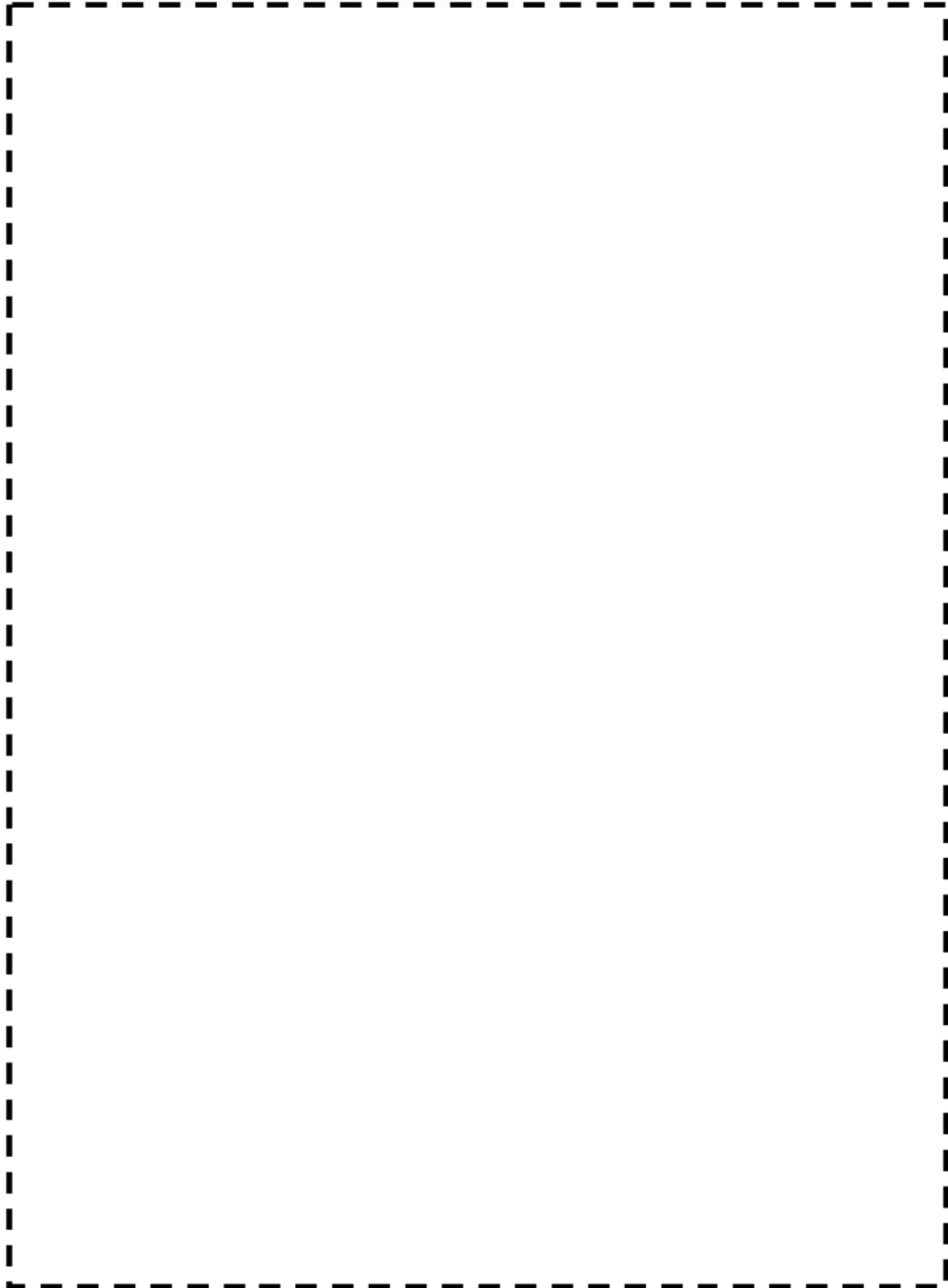
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「グラウンド蒸気管」の肉厚測定について

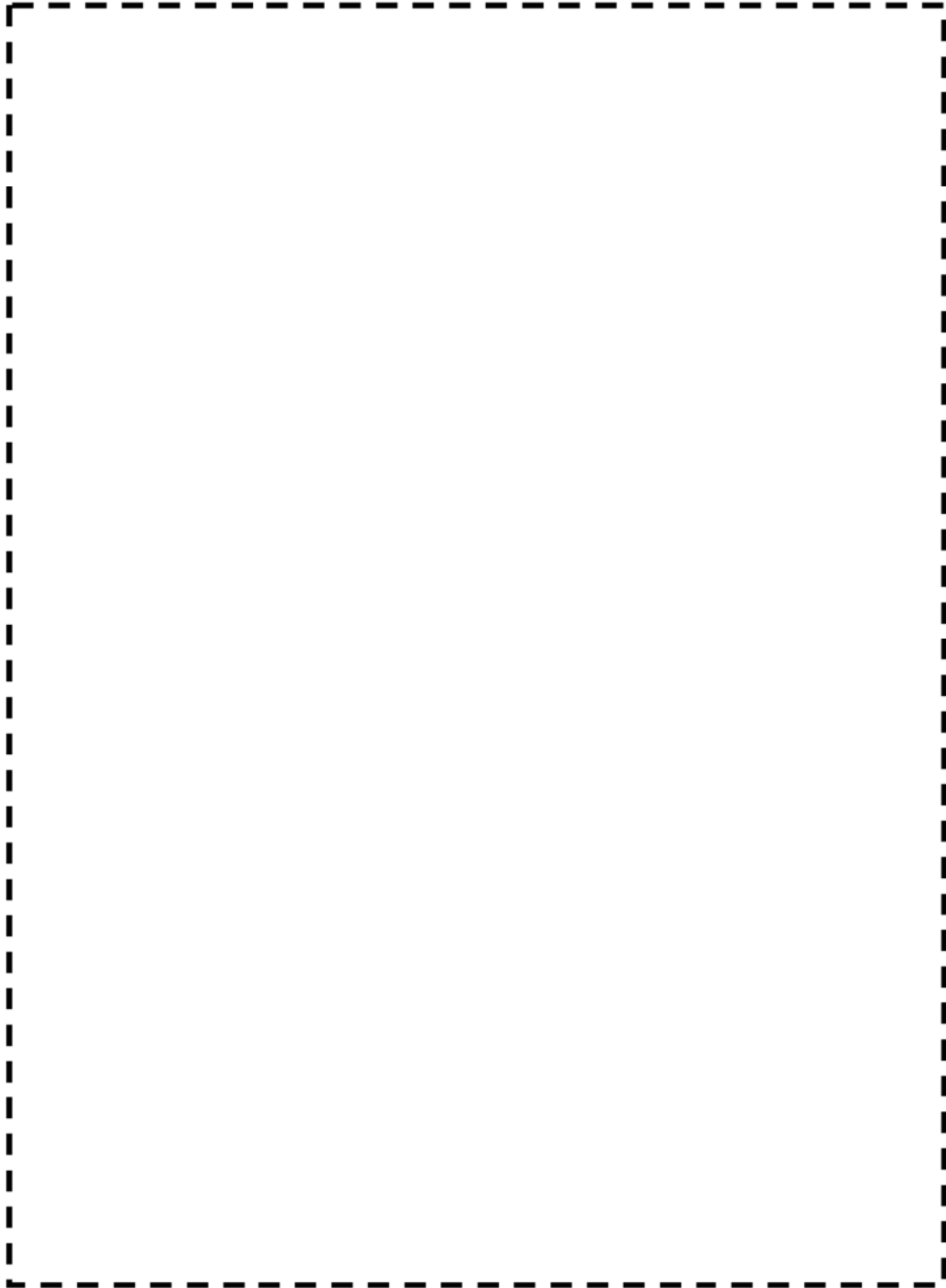
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4 低圧給水加熱器～脱気器」の肉厚測定について

【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【各部位の測定計画】第4抽気系統配管：「第4抽気管」

スケルトン部位情報				計画データ																																
スケルトンNo	部位No	スケルトン名称	範囲 分類	実測 入射 指数 分類	実測 中 指数 分類	実測 出口 指数 分類	年度																													
1.1.1	1.1.2		1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6	01 年	02 年	03 年	04 年	05 年	06 年	07 年	08 年	09 年	10 年	11 年	12 年	13 年	14 年	15 年	16 年	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	24 年	25 年	26 年	27 年	28 年	29 年	30 年

計画データ凡例 ● : 実績 ▲ : 要注意実績 ◆ : 要対策実績 ○ : 次回計画 ▼ : 取り(変更管理)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【各部位の測定計画】ドレン系統配管：「湿水分離器ドレンポンプ吐出管」

スケルトン部仕様					計画データ																																							
スケルトンNo	部位No	スケルトン名称	測定分類	定検 入時 指標 分類	定検 中 指標 分類	定検 出口 指標 分類	01 00	02 00	03 00	04 00	05 00	06 00	07 00	08 00	09 00	10 00	11 00	12 00	13 00	14 00	15 00	16 00	17 00	18 00	19 00	20 00	21 00	21 01	22 00	23 00	24 00	25 00	26 00	27 00	28 00	28 01	29 00	30 00	31 00	32 00	33 00	34 00	35 00	36 00
<div style="border: 2px dashed black; width: 100%; height: 100%;"></div>																																												

計画データ凡例 ● : 実績 ▲ : 要注意実績 ◆ : 要対策実績 ○ : 次回計画 ▼ : 取替(実配管理)

枠囲みの範囲は機密に係る事項で273の公開することはできません。

【各部位の測定計画】 復水系統配管：「主復水管 (4/4) 第4ヒータ～脱気器」

スケルトン部情報					計測データ																																																																																					
スケルトン部	部材名	スケルトン名称	測定分種	定検日時 測定分種	定検中 測定分種	定検出口 測定分種	測定日時																																																																																			
							01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	21:01	22:00	22:01	23:00	23:01	23:02	23:03	23:04	23:05	23:06	23:07	23:08	23:09	23:10	23:11	23:12	23:13	23:14	23:15	23:16	23:17	23:18	23:19	23:20	23:21	23:22	23:23	23:24	23:25	23:26	23:27	23:28	23:29	23:30	23:31	23:32	23:33	23:34	23:35	23:36	23:37	23:38	23:39	23:40	23:41	23:42	23:43	23:44	23:45	23:46	23:47	23:48	23:49	23:50	23:51	23:52	23:53	23:54	23:55	23:56	23:57	23:58	23:59



計測データ凡例 ● : 実績 ▲ : 要注重要実績 ◆ : 要対策実績 ○ : 次回計測 ▼ : 取替(変更管理)

枠囲みの範囲は機密に係る事項で274)ので公開することはできません。

【各部位の測定計画】 グランド蒸気系統配管：「タービンランド蒸気管」

スヤムトン部位情報			計測ポイント																					
スヤムトン部位	部位名	スヤムトン名称	測定対象	測定項目	測定単位	測定方法	測定時期	測定回数	測定場所	測定者	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果	測定結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号炉 2次系配管の流れ加速型腐食を考慮した評価における
減肉測定点のいずれかが必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出条件について

減肉測定点が必要最小肉厚に到達するまでの年数については、最新計測年および計測結果の肉厚を基準とし、それ以降の稼働率を100%と想定して、減肉率を用いて必要最小肉厚に到達する年数を算出している。

(計算例) 最新計測年2010年での計測結果が、肉厚10.0(mm)、tsr 4.7(mm)、減肉率0.1 (mm/年) の評価点であれば、 $(10.0 - 4.7) / 0.1 + 2010 = 2063$ 年にtsrに到達する。ただし、系統によっては条件の詳細化を以下のように実施している。

①最新計測年から最新の定検（高浜2号炉は第27回定検（2011年11月～））までの期間について、実運転時間を考慮。

②長期停止に伴う冷温停止期間を考慮。

③最新の定検から必要最小肉厚に到達するまでの稼働率を100%ではなく、85%と想定。
2015年4月（初回申請時）に用いた、必要最小肉厚に到達する年数の算出条件を示す。

表1 2015年4月（初回申請時）における算出条件

系統名称	算出条件			必要最小肉厚に到達する年数
	①最新計測年から最新定検までの実運転時間	②冷温停止期間	③稼働率	
第4抽気系統 (A)	考慮する	考慮する※1	85%	約50年
第4抽気系統 (B)	考慮する	考慮しない	100%	60年以上
第4抽気系統 (C)	考慮する	考慮しない	100%	約52年
復水系統	考慮する	考慮しない	100%	約52年
ドレン系統	考慮しない	考慮しない	100%	60年以上
グランド蒸気系統	考慮する	考慮しない	85%	約51年

※1：冷温停止期間は第27回定検以降の1年間（2011年12月～2012年11月）を想定。

初回申請時の年数算出条件は上記の通りであるが、必要最小肉厚へ到達するまでの年数については、冷温停止期間の長期化や技術評価側の補正内容を反映し、系統全てについて同様の算出条件を用いて、改めて年数を算出するよう見直した。

表2 見直し後の算出条件

系統名称	算出条件			必要最小肉厚に到達する年数
	①最新計測年から最新定検までの実運転時間	②冷温停止期間	③稼働率	
すべての系統	考慮しない	考慮する※1	100%	本文P14に記載

※1：冷温停止期間は、高浜2号炉は2011年11月～2018年3月を想定。

以上

タイトル	耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について
説明	<p>1. 対象配管 60年時点または50年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施した以下の6ラインになる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第4抽気系統 : 第4抽気管 (A) 第4抽気管 (B) 第4抽気管 (C) ・グラント蒸気系統 : グラント蒸気管 ・復水系統 : 第4 低圧給水加熱器～脱気器 ・ドレン系統 : 湿分分離器ドレンポンプ吐出管 <p>2. 耐震性が確認できる肉厚に到達する時期 現在まで取得した実測データに基づく評価においては、「耐震性が確認できる肉厚に到達する時期」は、「第4抽気管 (B)」「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の2ラインは、運転開始後60年時点となり、「第4抽気管 (A)」「第4抽気管 (C)」「グラント蒸気管」「第4 低圧給水加熱器～脱気器」の4ラインは、運転開始後50年時点となる。 しかしながら、新たな肉厚測定記録が追加されることで減肉速度が変わり、場合によっては運転開始後60年または50年時点より前になることも考えられる。このため減肉速度の管理など保全活動が煩雑になることを回避するため、早期にサポート改造等の設備対策工事を行い全箇所tsrとした場合でも耐震安全性を確保できるようにすることを「長期保守管理方針」として掲げ、実施時期は「短期 (平成27年11月14日からの5年間)」としている。</p> <p>3. 対策工事の内容 対策工事案については、スナバの追設またはスプリングサポートの追設としておりライン毎の追設本数は以下のとおり (ただし、今後詳細設計において仕様変更の可能性はある)。詳細なサポート設置予定位置については添付-1に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第4抽気管 (A) : スナバ1本追設 ・第4抽気管 (B) : スナバ2本追設 ・第4抽気管 (C) : スナバ2本追設 ・グラント蒸気管 : スナバ3本追設 ・第4 低圧給水加熱器～脱気器 : スナバ2本追設 スプリングサポート2本追設 ・湿分分離器ドレンポンプ吐出管 : スナバ2本追設

4. 対策工事後の耐震安全性評価における解析の条件

6ラインとも 全箇所 t s r での梁モデル解析による結果は、それぞれ以下のとおり応力比が1以下となり、耐震安全性を満足する。添付-1参照

- ・第4抽気管 (A) : 応力比 0.58
- ・第4抽気管 (B) : 応力比 0.81
- ・第4抽気管 (C) : 応力比 0.77
- ・グラント蒸気管 : 応力比 0.79
- ・第4低圧給水加熱器～脱気器 : 応力比 0.93
- ・湿水分離器ドレンポンプ吐出管 : 応力比 0.81

以 上

第4 抽気系統配管 (第4 抽気管 (A))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4 抽気系統配管 (第4 抽気管 (B))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4 抽気系統配管 (第4 抽気管 (C))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラントド蒸気系統配管 (グラントド蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

復水系統配管 (第4 低圧給水加熱器～脱気器)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (湿分離器ドレンポンプ吐出管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について</p>
<p>説明</p>	<p>1. 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定 弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないことを確認すべき対象を以下のとおり選定した。</p> <div data-bbox="512 797 1275 1379" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価</p> <pre> graph TD Start[①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価] --> D1{振動応答特性に影響する経年劣化事象か?} D1 -- No --> E1[①※1] D1 -- Yes --> D2{振動応答特性に影響が及ぶ範囲に地震時に動的機能維持(主要弁)が存在するか?} D2 -- No --> E2[主給水系統 低圧再熱蒸気系統 第3・4抽気体系統 補助蒸気系統 グラント蒸気系統 復水系統 ドレン系統 SG2ローダウン系統] D2 -- Yes --> E3[主蒸気系統] E1 --> E4[評価対象外] E2 --> E4 E3 --> E5[評価対象弁の抽出] E5 --> E6[主蒸気逃がし弁・主蒸気安全弁 → これについて評価を実施する] </pre> </div> <p>※1: 疲労割れが生じた場合は振動応答に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象ではない</p> <p>※2: 弁そのものの経年劣化事象ではないが、接続配管に流れ加速型腐食が生じた場合は、配管の振動応答特性の変化が弁の応答加速度に影響すると考えられる</p> <p>図 1 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定フロー</p>

2. 評価結果

主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁に接続する主蒸気系統配管の、流れ加速型腐食に係る減肉管理部位を必要最小肉厚まで一様に減肉させた耐震補強工事後のモデル（添付-1（1/3）～（3/3）参照）を用いて、スペクトルモーダル解析を実施し、対象弁における応答加速度を算出した結果、機能確認済加速度を上回ることがないことを確認した。よって動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

表1 主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁の動的機能維持評価結果

地震力		主蒸気逃がし弁 (2-PCV-3013)		主蒸気安全弁 (2-MS-521C)	
		応答加速度	機能確認済 加速度	応答加速度	機能確認済 加速度
S _s	水平	[5.2G]	6.0G	[5.6G]	10.0G
	鉛直	[1.1G]	6.0G	[2.9G]	3.0G

(注) G=9.80665 (m/s²)

[]内は工認での評価結果

なお、主蒸気逃がし弁については、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は、以下の表となり、動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

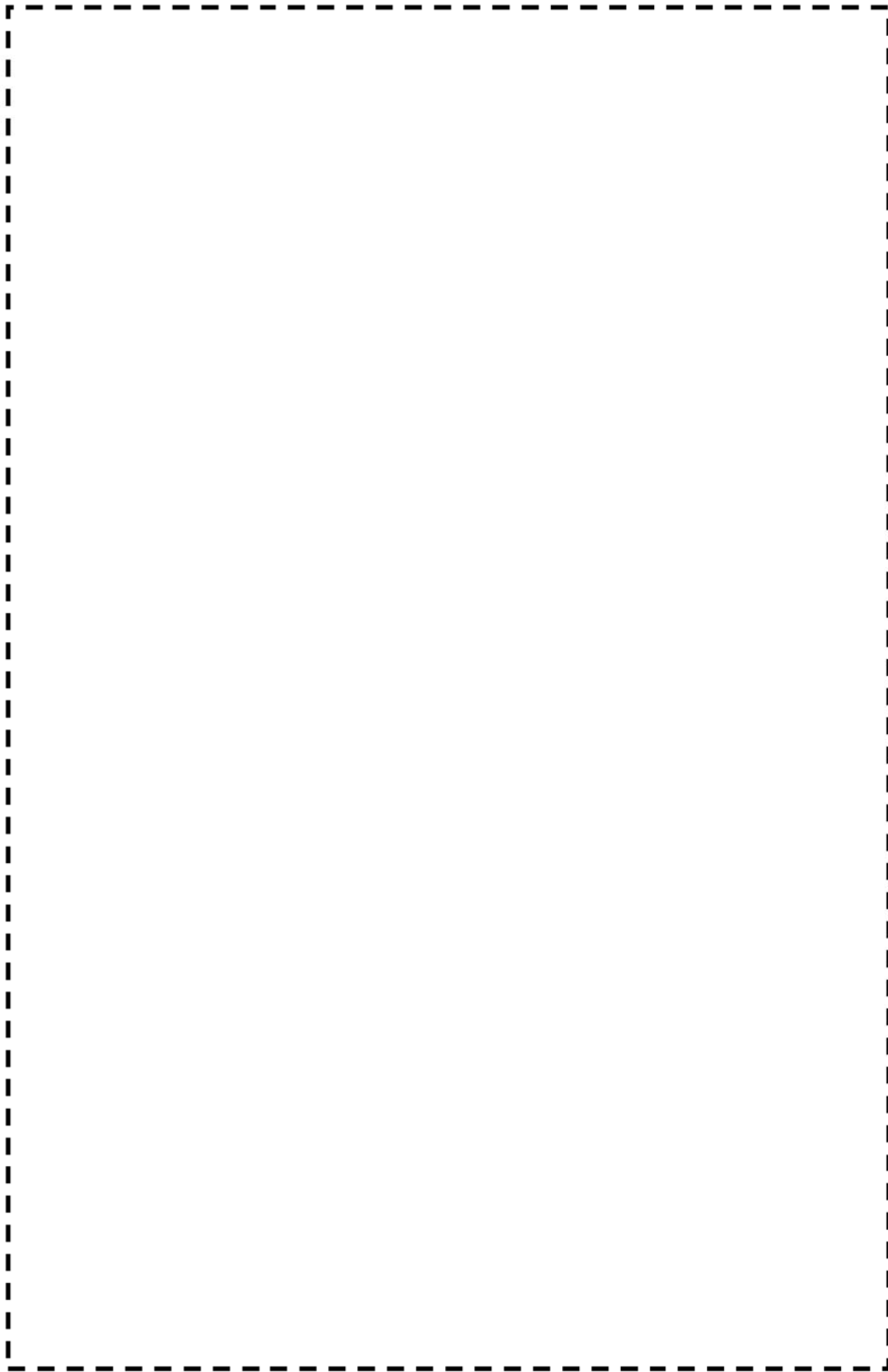
表2 主蒸気逃がし弁の水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる動的機能維持評価結果

地震力		主蒸気逃がし弁	
		水平応答加速度	機能確認済 加速度
S _s	水平 + 鉛直	[7.0G]	9.5G*

※機能確認済加速度は、電共研で得られた知見をもとに設定している。

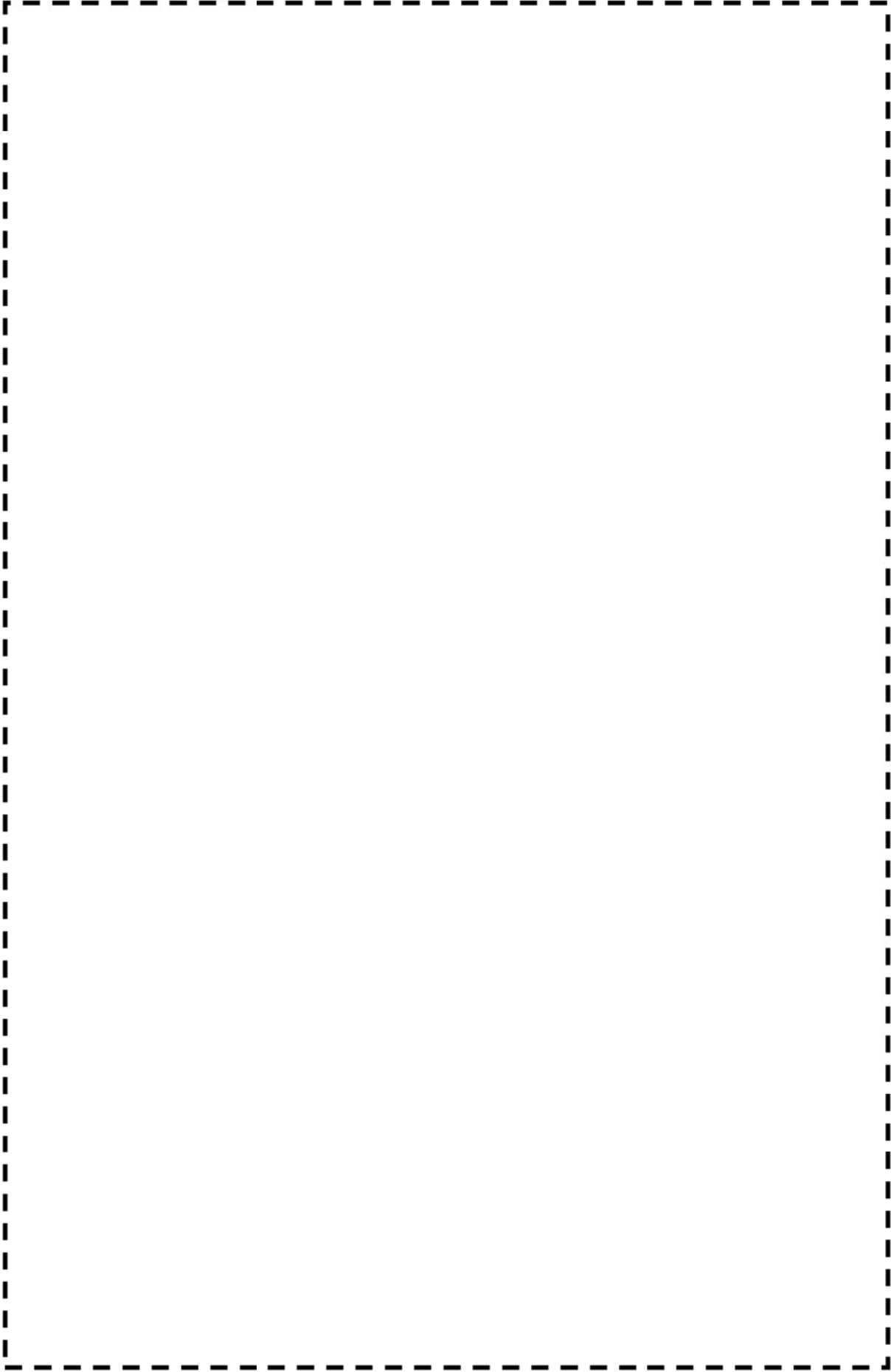
以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



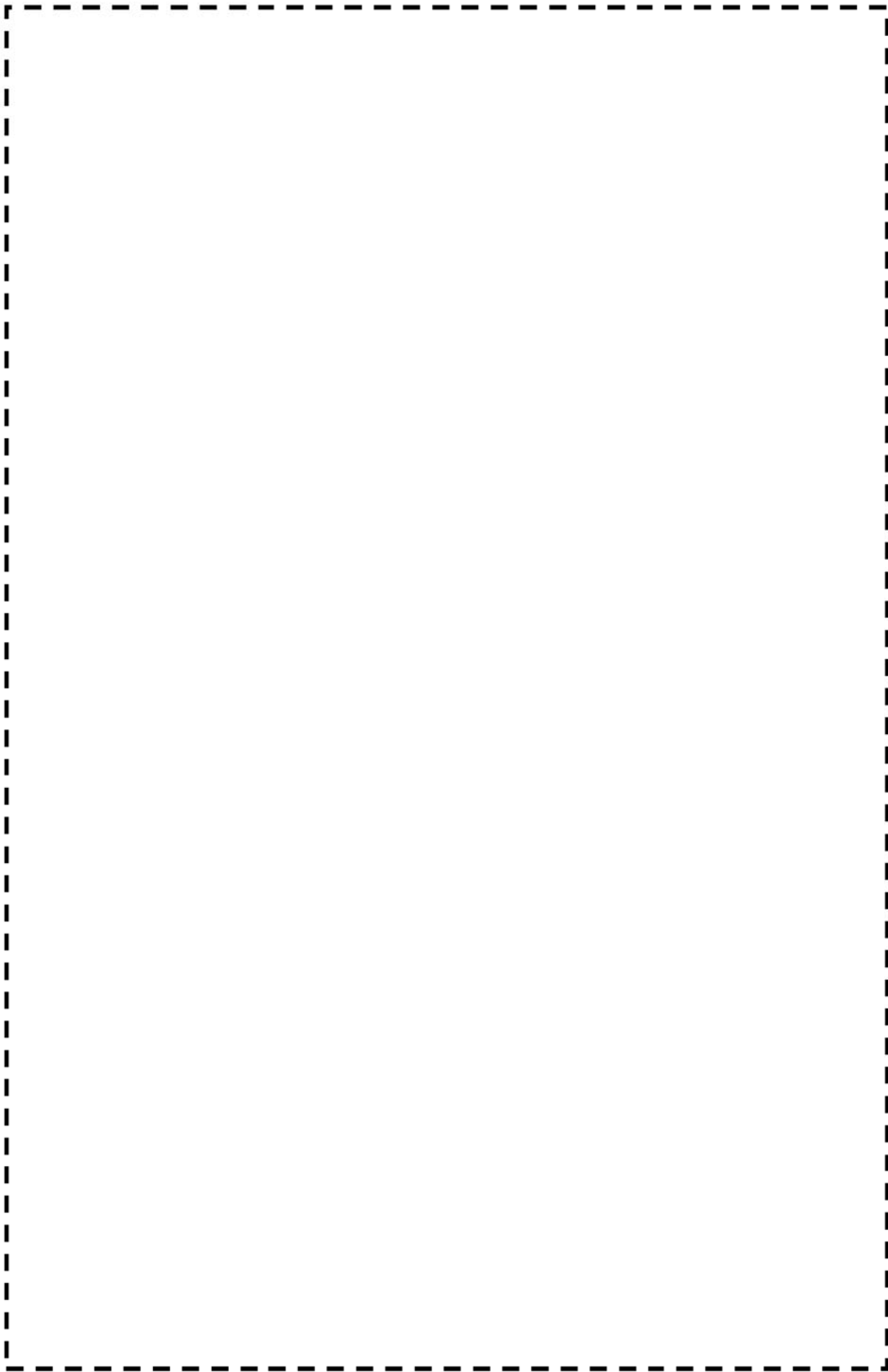
高浜 2 号機 主蒸気系統配管 (A – 主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜 2 号機 主蒸気系統配管 (B-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはありません。



高浜 2 号機 主蒸気系統配管 (C-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することではできません。

タイトル	原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子及び γ 線照射脆化に対する評価について													
説明	<p>原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子及びγ線照射脆化に対する、耐震安全性評価の詳細は以下のとおり。</p> <p>1. 評価条件</p> <p>①原子炉容器サポートの耐震クラスに応じたSクラス地震荷重を適用する。</p> <p>②ボルトの欠陥寸法は、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」に規定されている超音波探傷検査を行う装置の適合基準における最小欠陥検出寸法を基に4.2mmとする。補強材の欠陥寸法は、JEAC4206に準拠して板厚の1/4とし、き裂のアスペクト比はASME Sec. III Appendix Gに準拠して1/6とする。</p> <p>③脆化度はNUREG-1509の評価手法に基づき、プラント運転開始後60年時点の予測値を適用する。</p> <p>④補強材及びボルトの破壊靱性値とS_s ($S_s1\sim7$) 地震力を受けた場合の応力拡大係数の比較を行うことによる破壊力学評価を実施する。</p> <p>2. 評価モデル及び緒元</p> <p>原子炉容器サポートの補強材及びボルトの評価に用い緒元を表1に、評価モデルを図1、2に示す。</p> <p>表1 原子炉容器サポートの補強材及びボルトの評価に用いた緒元</p> <table border="1" data-bbox="491 1272 1362 1769"> <thead> <tr> <th></th> <th>補強材</th> <th>ボルト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉年 (年)</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>材質</td> <td colspan="2" rowspan="5" style="border: 1px dashed black;"></td> </tr> <tr> <td>初期T_{NDT} (°C)</td> </tr> <tr> <td>照射量 (dpa)※</td> </tr> <tr> <td>板厚 (mm)</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table>		補強材	ボルト	炉年 (年)	60	60	材質			初期 T_{NDT} (°C)	照射量 (dpa)※	板厚 (mm)	
	補強材	ボルト												
炉年 (年)	60	60												
材質														
初期 T_{NDT} (°C)														
照射量 (dpa)※														
板厚 (mm)														

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

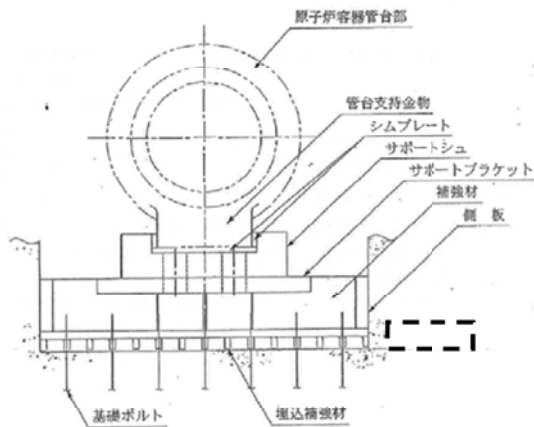


図1 解析モデル（補強材概略図）

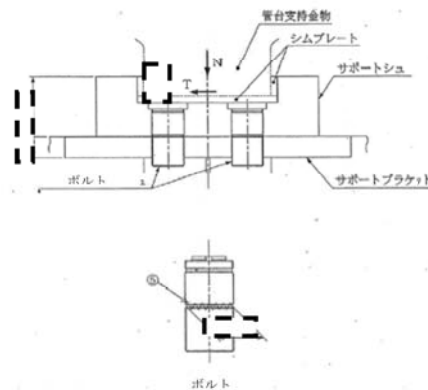


図2 解析モデル（ボルト概略図）

3. 入力条件

入力条件を以下に示す。

(1) 補強材

①脆化量推定値 ΔT_{NDT}

NUREG-1509に記載の上限脆化予測線図より算出した。

$$\begin{aligned} \Delta T_{NDT} &= 35.423 \times [\log(\text{dpa})]^2 + 286.336 \times [\log(\text{dpa})] + 585.1 \\ &= 35.423 \times [\log\{\text{---}\}]^2 + 286.336 \times [\log\{\text{---}\}] + 585.1 \\ &= \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

②照射後 T_{NDT} 推定値

$$T_{NDT} = (\text{初期}T_{NDT}) + \Delta T_{NDT} = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$$

③最低使用温度 $T = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$

④発生応力 $\sigma = \text{---} \text{ MPa}$ (添付-1参照)

⑤想定き裂深さ

$$a = t/4 = \text{---} \text{ mm}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

⑥平板の幅の半長 $b = \{\quad\} \text{mm}$ とする

⑦表面長さの半長 $c = 3 \times a = 3 \times \{\quad\} \text{mm}$

⑧き裂前縁の位置を表す角度 $\phi = \{\quad\}$

⑨ $Q = 1 + 1.464 \times (a/c)^{1.65}$
 $= 1 + 1.464 \times \{\quad\}^{1.65} = \{\quad\} \rightarrow \{\quad\}$

⑩ $M_1 = 1.13 - 0.09 \times (a/c)$
 $= 1.13 - 0.09 \times \{\quad\} = \{\quad\}$

⑪ $M_2 = -0.54 + \{0.89 / (0.2 + a/c)\}$
 $= -0.54 + \{0.89 / (0.2 + \{\quad\})\} = \{\quad\} \rightarrow \{\quad\}$

⑫ $M_3 = 0.5 - \{1 / (0.65 + a/c)\} + 14 \times (1 - a/c)^{24}$
 $= 0.5 - \{1 / (0.65 + \{\quad\})\} + 14 \times (1 - \{\quad\})^{24}$
 $= \{\quad\} \rightarrow \{\quad\}$

⑬ $f_\phi = \{(a/c)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi\}^{1/4}$
 $= \{\{\quad\}^2 \cos^2 \{\quad\} + \sin^2 \{\quad\}\}^{1/4} = \{\quad\}$

⑭ $g = 1 + (0.1 + 0.35 \times (a/t)^2) \times (1 - \sin \phi)^2$
 $= 1 + (0.1 + 0.35 \times \{\quad\}^2) \times (1 - \sin \{\quad\})^2 = \{\quad\}$

⑮ $fw = [\sec \{ \pi c \sqrt{(a/t)/2b} \}]^{1/2}$
 $= [\sec \{ \pi \times \{\quad\} / 2 \times \{\quad\} \}]^{1/2} = \{\quad\}$

(2) ボルト

①脆化量推定値 ΔT_{NDT}

NUREG-1509に記載の上限脆化予測線図より算出した。

$\Delta T_{\text{NDT}} = 35.423 \times [\log(\text{dpa})]^2 + 286.336 \times [\log(\text{dpa})] + 585.1$
 $= 35.423 \times [\log \{\quad\}]^2 + 286.336 \times [\log \{\quad\}] + 585.1$
 $= \{\quad\} \text{C} \rightarrow \{\quad\} \text{C}$

②照射後 T_{NDT} 推定値

$T_{\text{NDT}} = (\text{初期 } T_{\text{NDT}}) + \Delta T_{\text{NDT}} = \{\quad\} \text{C}$

③最低使用温度 $T = \{\quad\} \text{C}$

④ボルト半径 $R = \{\quad\} \text{mm}$ (ボルト外径 $D = \{\quad\} \text{mm}$)

⑤発生応力 $\sigma = \{\quad\} \text{MPa}$ (添付-1参照)

⑥想定き裂深さ $a = \{\quad\} \text{mm}$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 評価方法

(1) 補強材

・応力拡大係数 K_I

補強材については、平板要素として、Raju-Numanの式を使用した。
 なお、NUREG-1509「Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Support」の評価手法に従い、応力拡大係数Kに安全率 $\sqrt{2}$ を乗じた値を評価に用いる。

$$K_I = F \sigma \sqrt{(\pi a/Q)}$$

ここで、

$$F = \{M_1 + M_2 \times (a/t)^2 + M_3 \times (a/t)^4\} \times g \times f_\phi \times f_w$$

よって

$$\sqrt{2}K_I = \sqrt{2} \times \dots \rightarrow \dots (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・破壊靱性値 K_{IR}

ASME Section III Appendix Gに記載されている下式により算出する。

$$K_{IR} = 29.43 + 1.344 \exp(0.0261 \times (T - T_{NDT} + 88.9))$$

$$= 29.43 + 1.344 \exp(0.0261 \times \dots + 88.9)$$

$$\rightarrow \dots (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・応力比 (=応力拡大係数/破壊靱性値)

$$\sqrt{2}K_I / K_{IR} = \dots \rightarrow 0.36$$

(2) ボルト

・応力拡大係数 K_I

ボルトは、丸棒に置き換え、軸方向に垂直な表面き裂を想定し、
 A. LevanとJ. Royerの文献に記載されている式を使用した。(引用文献：
 Part-circular surface cracks in round bars under tension, bending
 and twisting (A. Levan and J. Royer)) なお、NUREG-1509「Radiation
 Effects on Reactor Pressure Vessel Support」の評価手法に従い、
 応力拡大係数Kに安全率 $\sqrt{2}$ を乗じた値を評価に用いる。

$$K_I = F(a/R) \times \sigma \times \sqrt{\pi a}$$

ここで、

$$F(a/R) = 1.1261 - 0.04796 \times (a/R) - 0.1979 \times (a/R)^2$$

$$+ 2.5140 \times (a/R)^3$$

$$= 1.1261 - 0.04796 \times \dots - 0.1979 \times \dots^2$$

$$+ 2.5140 \times \dots^3$$

$$\rightarrow \dots$$

よって

$$\sqrt{2}K_I = \sqrt{2} \times \dots \times \sqrt{(\pi \times \dots)}$$

$$\rightarrow \dots (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・破壊靱性値 K_{IR}

ASME Section III Appendix Gに記載される式では、過度な裕度を有

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

していることから、供試材 (SA-540 Gr. B24) の動的破壊靱性試験結果を基に、次式を評価用曲線とする。

$$K_{IR} = 0.44 \times (41.6 + 197.8 \times \exp(0.0258 \times (T - T_{NDT})))$$

$$= 0.44 \times (41.6 + 197.8 \times \exp(0.0258 \times \text{---}))$$

$$\text{---} \rightarrow \text{---} (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・応力比 (= 応力拡大係数 / 破壊靱性値)

$$\sqrt{2K_I} / K_{IR} = \text{---} \rightarrow 0.73$$

(3) K_I による評価の妥当性について

評価部位である補強材、ボルトにはせん断応力が支配的にかかることから、モードIIの破壊形態による応力拡大係数は K_{II} での評価が考えられるが、同一き裂形状に対して、同一で一様な応力が発生していると仮定して、 K_I による評価を行っている。なお、破壊靱性値については、日本国内の規格・基準やASMEにおいてもモードIのみが規定されており、モードIIの破壊靱性値については、使用できる有効なデータが存在していないことから、従来どおり一般的に用いられるモードIの破壊靱性値を許容値として評価を行っている。

5. 評価結果

評価結果を表2に示す。補強材及びボルトの中性子及び γ 線照射脆化を考慮しても、地震時の応力拡大係数は破壊靱性値を超えることなく、耐震安全評価上問題ないことを確認した。

表2 補強材及びボルトの中性子及び γ 線照射脆化に対する評価結果

評価部位	応力拡大係数 (MPa $\sqrt{\text{m}}$)	破壊靱性値 (MPa $\sqrt{\text{m}}$)	応力比
補強材 (評価地震動 ---)	---	---	0.36
ボルト (評価地震動 ---)	---	---	0.73

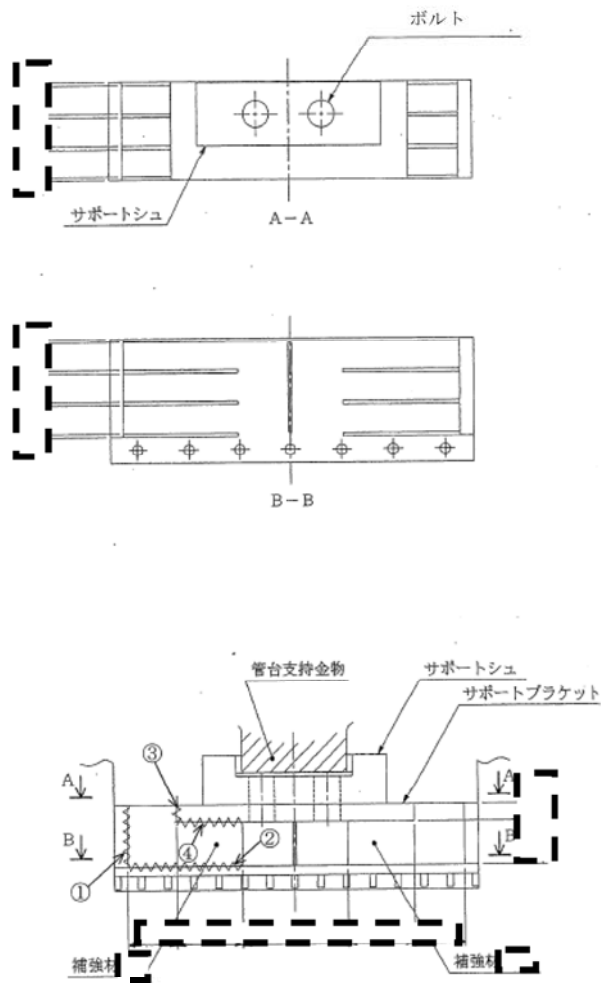
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

補強材、ボルトに作用する発生応力について

補強材、ボルトに作用する発生応力の算出根拠は以下の通り。

1. 構造及び評価箇所

補強材およびボルトの評価箇所を下記のとおり示す。



(単位:mm)

図1-1 原子炉容支持構造物の構造及び評価箇所 (1/2)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

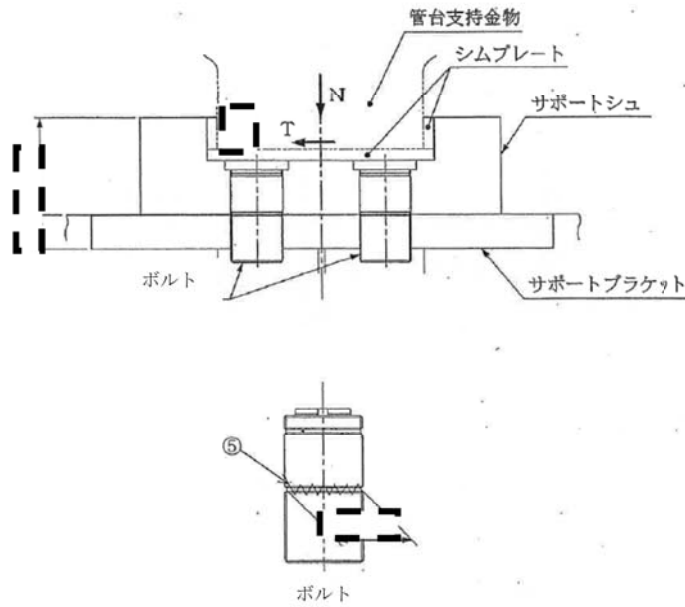


図1-2 原子炉容支持構造物の構造及び評価箇所 (2/2)

2. 応力計算

補強材およびボルトの発生応力の算出に必要な入力条件を下記に示す。

表2-1 入力条件 (1/2)

	接線方向荷重 T	鉛直方向荷重 N
自重		
熱膨張荷重		
地震荷重		
最大荷重		

表2-2 入力条件 (2/2)

名 称	記 号	単 位	数 値
荷重作用点までの距離	L_1	mm	
荷重作用点までの距離	L_2	mm	
部材の長さ	L_3	mm	
部材の長さ	L_4	mm	
補強材 (①部) のせん断に対する断面積	A_{s1}	mm ²	
補強材 (②部) のせん断に対する断面積	A_{s2}	mm ²	
補強材 (③部) の圧縮に対する断面積	A_{c3}	mm ²	
補強材 (④部) の圧縮に対する断面積	A_{c4}	mm ²	
レベリングスクリュ (⑤部) のせん断に対する断面積	A_{s5}	mm ²	
補強材の縦弾性係数 (注1)	E	MPa	
補強材の横弾性係数 (注2)	G	MPa	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(1) サポートシュに作用する荷重

サポートシュには 図2-1 に示す荷重が作用する。

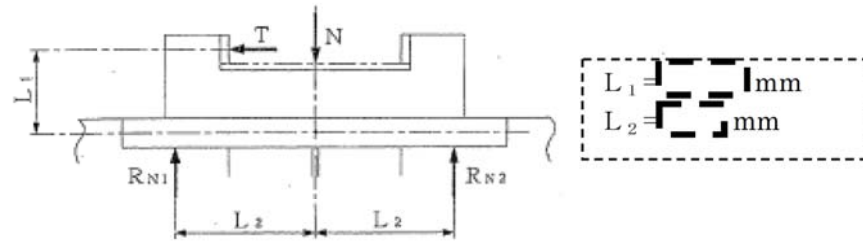


図2-1 サポートシュに作用する荷重

図2-1 より補強材からの反力 R_{N1} 、 R_{N2} を次式よりもとめる。



(2) 補強材に作用する荷重

原子炉容器支持構造物を 図2-2 のようにモデル化し、補強材に作用する荷重を求めらる。

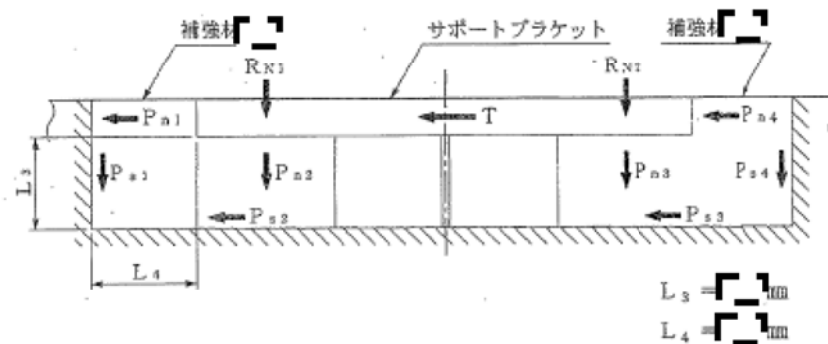


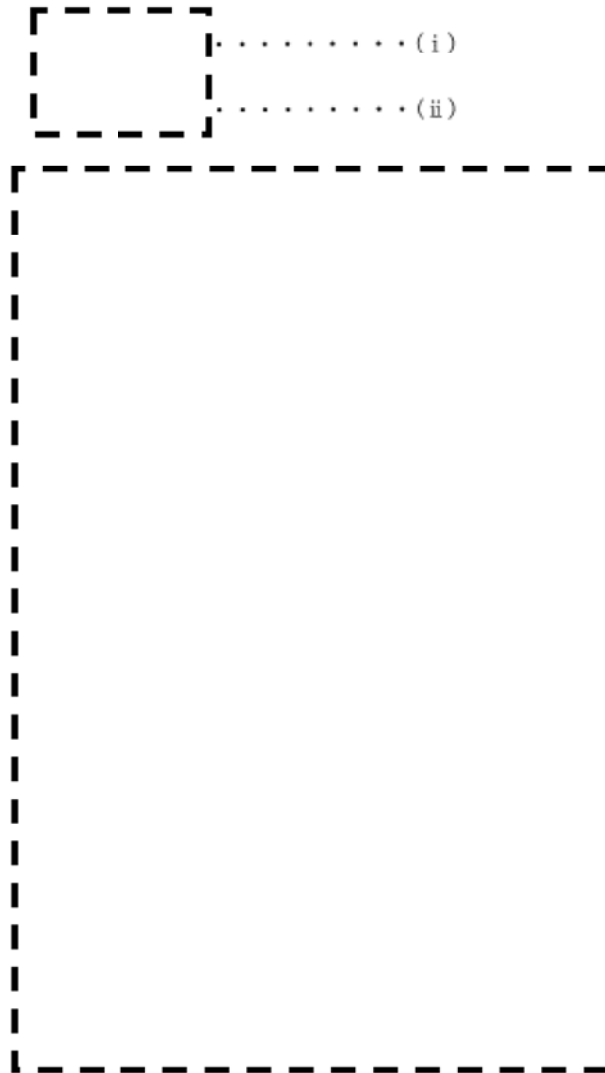
図2-2 補強材に作用する荷重

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

P_{n1} 、 P_{n2} 、 P_{n3} 、 P_{n4} 、 P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{s3} 、 P_{s4} は、サポートブラケットより受ける荷重である。

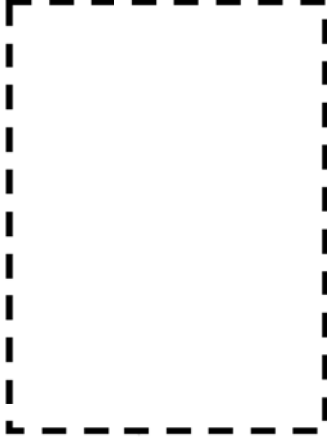
ここでは、条件の厳しい [] の補強材について評価する。

図2-2 において、サポートブラケットは剛体であり、補強材とは溶接による一体構造であることから、次式が成立する。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(i)、(ii)、(iii) 及び (iv) 式より P_{s1} 及び P_{s2} は次式より求まる。



ここで、

- P_{s1} : 補強材 (①部) に作用するせん断荷重 (kN)
- P_{s2} : 補強材 (②部) に作用するせん断荷重 (kN)
- P_{n1} : 補強材 (③部) に作用する圧縮荷重 (kN)
- P_{n2} : 補強材 (④部) に作用する圧縮荷重 (kN)
- A_{s1} : 荷重 P_{s1} を受ける補強材 (①部) のせん断に対する断面積 (mm^2)
- A_{s2} : 荷重 P_{s2} を受ける補強材 (②部) のせん断に対する断面積 (mm^2)
- A_{c3} : 荷重 P_{n1} を受ける補強材 (③部) の断面積 (mm^2)
- A_{c4} : 荷重 P_{n2} を受ける補強材 (④部) の断面積 (mm^2)

・補強材

・ボルト

せん断応力 (①部)

せん断応力 (⑤部)



3. 計算結果

以上より、補強材およびボルトの発生応力は下記のとおり。

(1) 補強材 (①部)

P_{s1} (kN)	A_{s1} (mm^2)	τ_1 (MPa)	
		計算値	桁処理

(2) ボルト (⑤部)

T (kN)	A_{s5} (mm^2)	τ_5 (MPa)	
		計算値	桁処理

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について
説明	<p>燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について添付に示す。</p> <p>(1) 燃料取替用水タンク : 添付-1</p>

(1) 燃料取替用水タンク
 <評価仕様>

表1-1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	95	
容器の満水時重量	m_0	kg		
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度 : 図2 参照	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点計応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っている。

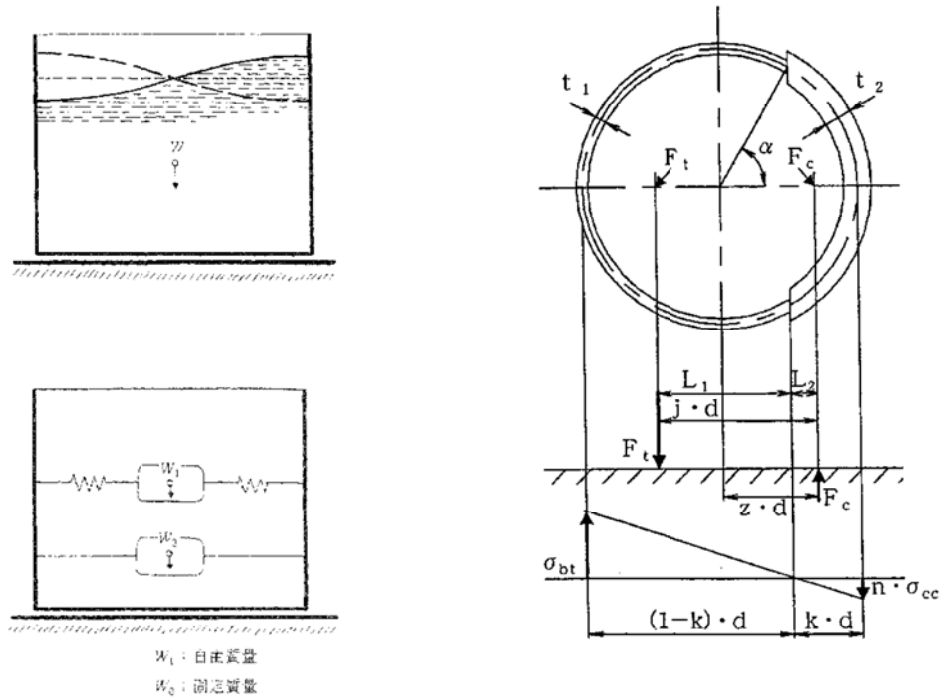


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価している。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_0' は、

$$W_0' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_0 は、

$$W_0 = W_0' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

- a. 振動力を加味した
- W_w
- の等価重量
- W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

- b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{s})$$

- c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は \quad (s) であるが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要がある。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \quad \text{となる。ここで、} \omega = 2\pi/T \quad (T: \text{固有周期})$$

図4の床応答曲線より、固有周期1(s)の時の応答加速度 C''_{DH} は \quad G であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH} \quad \quad \quad$$

スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとしたうえ、安全側にスロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v \quad \quad \quad$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g \quad \quad \quad$$

- d. 最大変位
- A_1
- 及び自由振動角度
- θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2} \quad \quad \quad$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \quad \quad \quad$$

- e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2 W_1 \cdot g \cdot \theta_h \quad \quad \quad$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0 = \boxed{\hspace{15em}}$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right] = \boxed{\hspace{15em}}$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$

$$\boxed{\hspace{15em}}$$

3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1 = \boxed{\hspace{15em}}$$

ここで、

$$h_1 = h \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$

$$\boxed{\hspace{15em}}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JG4601-1987による。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$

$$a_v = C_v \cdot g =$$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1 + X_3}{X_2 + X_4} \right\}$$

$X_1 =$

$X_2 =$

$X_3 =$

$X_4 =$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{2\alpha}{\pi} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{2\alpha}{\pi} \right\}$$

$$X_6 = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_t = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_0(g - a_v)$$

e. σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \quad \text{(小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot \Lambda_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2 = \frac{\pi}{4} \times \boxed{}$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \quad (\text{小数第1位以下を切り上げ})$$

$$F_H = a_H \cdot m_0 = C_H \cdot g \cdot m_0 = \boxed{}$$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表となる。

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.67			0.70
せん断			0.41			0.42

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

減肉前の発生応力 \times $\frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \boxed{}}{\frac{\pi}{4} \times \boxed{} - 0.3 \times 2)^2}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (S_y)、設計引張強さ (S_u) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \text{[] (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \text{[] (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min}[\text{[]}, \text{[]}] \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5f_s^* = 1.5 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \text{[]} - 1.6 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min}[\text{[]}, \text{[]}] = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

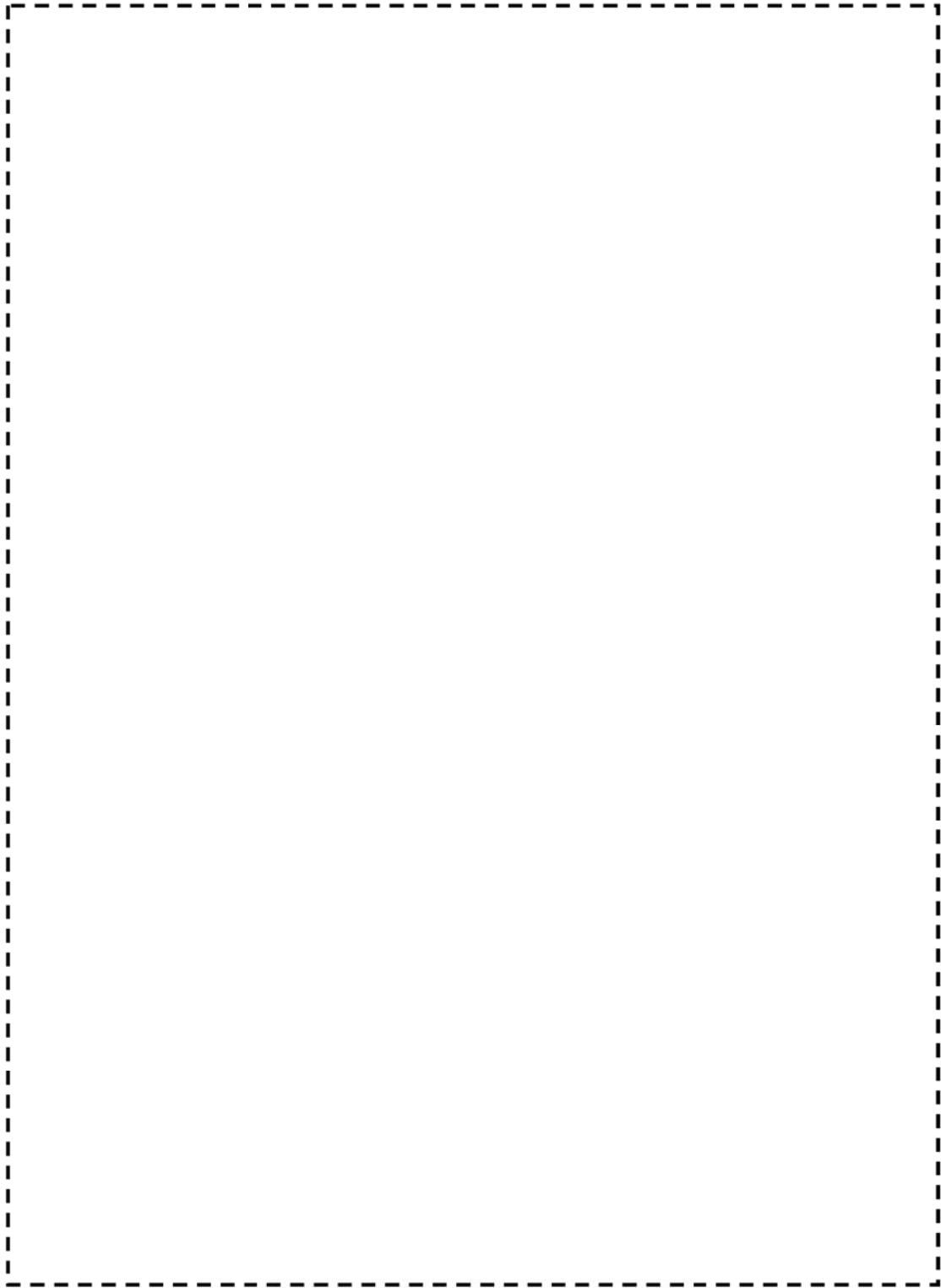


図2 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

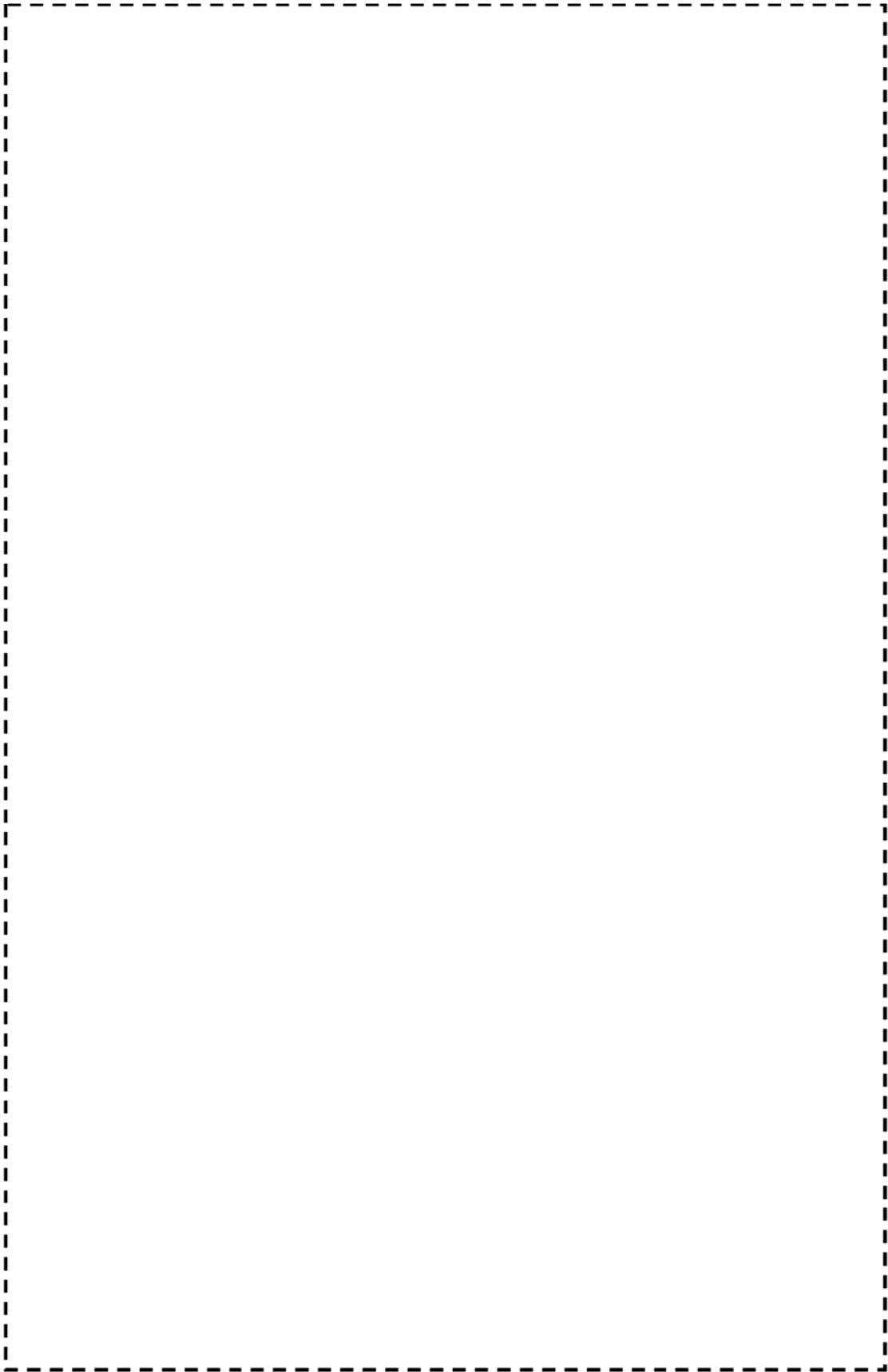


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

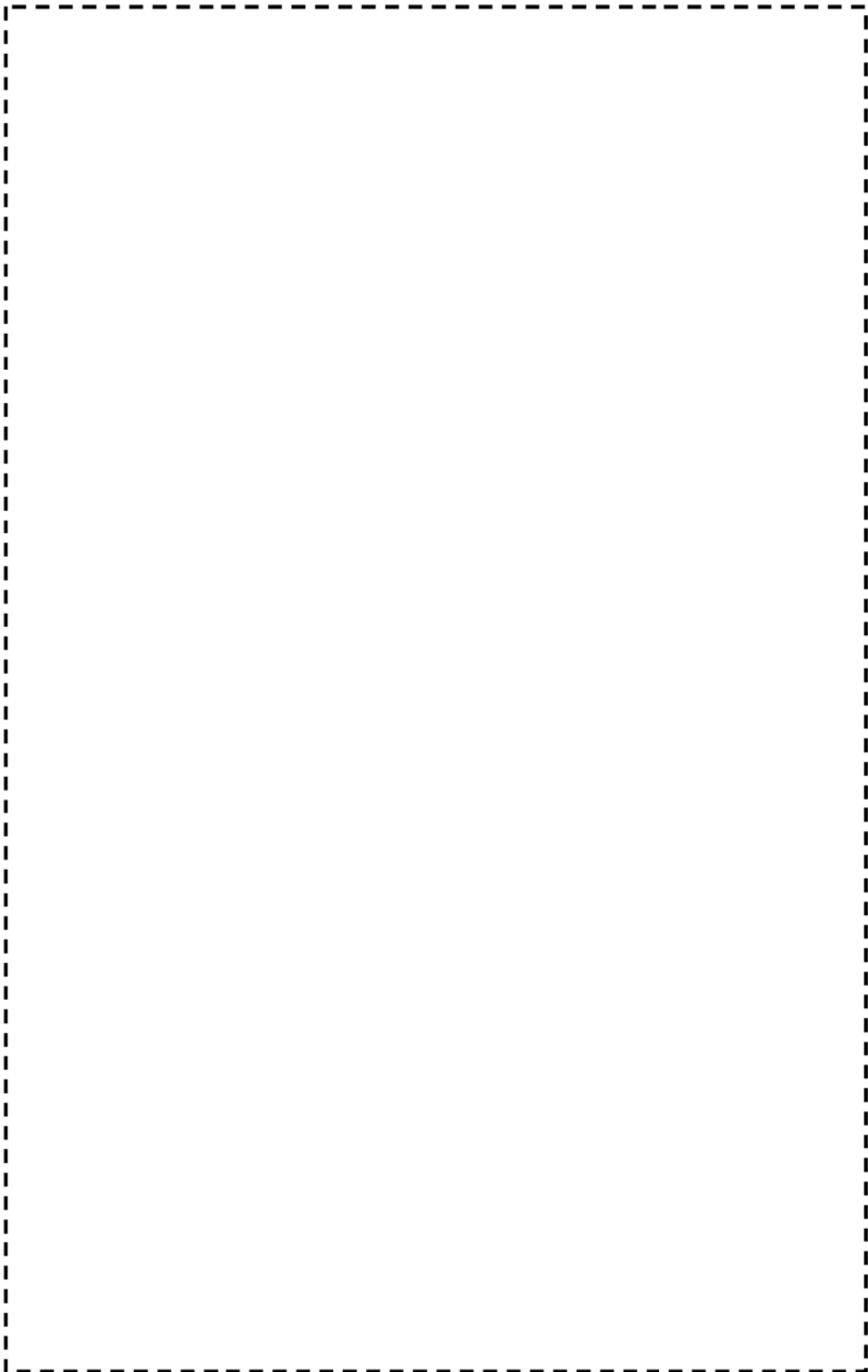
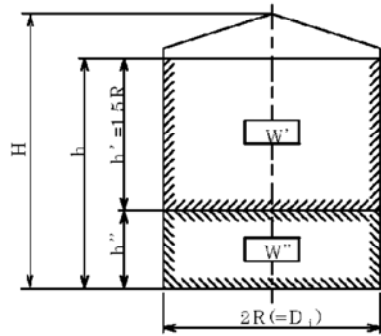


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

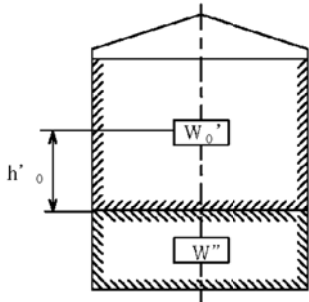
別図

燃料取替用水タンクの基礎ボルト評価に使う 質量・高さ・径の説明図



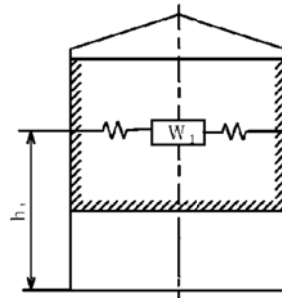
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_i : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

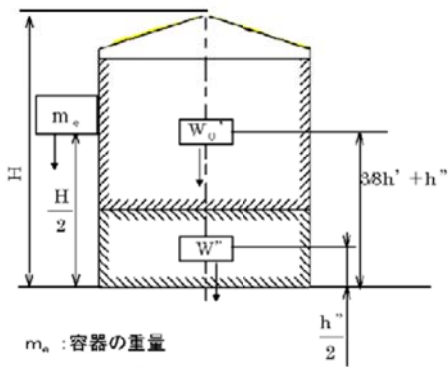


- W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
- h'_0 : W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
- h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



- m_c : 容器の重量
 - W_s : 積雪重量
 - W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
- $(W_0 = W_0' + W'' + m_c + W_s)$

タイトル	後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について										
説明	<p>後打ちアンカについては、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないよう施工されています。</p> <p>後打ちアンカの評価にあたっては、ボルトに技術評価により想定される運転開始後 60 年時点での減肉量(半径方向に 0.3mm)を考慮した上で、保守的に最大許容荷重が作用した場合であっても応力比が 1 以下になることを確認しています。</p> <p>減肉後の応力比の算定条件及び算定結果を添付資料 1 に示す。</p> <p>新たな基準地震動 S_s に対する耐震安全性については、新規制工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備において、表 1 の対象機器に対し、減肉による影響を考慮した耐震評価を実施し、応力比が 1 以下となることから健全性を確認しています(補足参照)。</p> <p>表 1 新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備</p> <table border="1" data-bbox="480 1059 1278 1335"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計測制御設備</td> <td>プロセス計測制御設備</td> </tr> <tr> <td>電源設備</td> <td>原子炉トリップ遮断器盤</td> </tr> <tr> <td>機械設備</td> <td>加圧器サポート</td> </tr> <tr> <td>機械設備</td> <td>1 次冷却材ポンプサポート</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以上</p>	分類	設備	計測制御設備	プロセス計測制御設備	電源設備	原子炉トリップ遮断器盤	機械設備	加圧器サポート	機械設備	1 次冷却材ポンプサポート
分類	設備										
計測制御設備	プロセス計測制御設備										
電源設備	原子炉トリップ遮断器盤										
機械設備	加圧器サポート										
機械設備	1 次冷却材ポンプサポート										

<補足>

新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカのうち、P L M評価対象となる設備について、新たな基準地震動Ss (Ss-1~Ss-7) に対する評価例を以下に示す。

分類	設 備		型式	ボルト 呼び径	ボルト 本数 (本)	減肉前 応力比	減肉後 応力比	備考
計測制御設備	プロセス計測制御設備	流量	補助給水流量	メカニカルアンカ				
		温度	使用済燃料ピット温度	メカニカルアンカ				
		中性子束	炉外核計装盤	ケミカルアンカ				
電源設備	制御棒駆動装置用電源設備	原子炉トリップ遮断器盤	ケミカルアンカ					
機械設備	加圧器サポート		ケミカルアンカ					
	1次冷却材ポンプサポート		ケミカルアンカ					

[]内は、耐震バックチェック (基準地震動Ss(550gal)) 時の評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (引張)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重 (N)	短期最大許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.3×10^3	3.45×10^3	50.2	43.0			0.39
	M10	2.7×10^3	4.05×10^3	78.5	69.3			0.28
	M12	4.7×10^3	7.05×10^3	113.0	102.0			0.33
	M16	6.9×10^3	10.35×10^3	200.9	186.1			0.27
	M20	10.8×10^3	16.2×10^3	314.0	295.4			0.26
	M24	13.84×10^3	20.76×10^3	452.2	429.8			0.23
ケミカルアンカ	M10	7.4×10^3	11.1×10^3	78.5	69.3			0.77
	M12	10.9×10^3	16.35×10^3	113.0	102.0			0.77
	M16	20.0×10^3	30.0×10^3	200.9	186.1			0.77
	M20	37.8×10^3	56.7×10^3	314.0	295.4			0.91
	M22	45.8×10^3	68.7×10^3	379.9	359.5			0.91
	M24	53.6×10^3	80.4×10^3	452.2	429.8			0.90
	M30	88.0×10^3	132.0×10^3	706.5	678.5			0.93
	M33	92.6×10^3	138.9×10^3	854.9	824.1			0.80
	M39	132.2×10^3	198.4×10^3	1194.0	1157.5			0.82

※M33、M39は新たに使用されるため、追加する

*3：ボルトの許容応力は以下の通り。(JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601-1984 による)

*4：減肉後発生応力／許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (せん断)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重(N)	短期最大許容荷重*1(N)	断面積		減肉後発生応力*2(N/mm ²)	許容応力*3(N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前(mm ²)	減肉後(mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.5×10 ³	3.75×10 ³	50.2	43.0			0.55
	M10	4.7×10 ³	7.05×10 ³	78.5	69.3			0.64
	M12	7.1×10 ³	10.65×10 ³	113.0	102.0			0.66
	M16	12.5×10 ³	18.75×10 ³	200.9	186.1			0.63
	M20	19.8×10 ³	29.7×10 ³	314.0	295.4			0.63
	M24	26.38×10 ³	39.57×10 ³	452.2	429.8			0.58
ケミカルアンカ	M10	5.1×10 ³	7.65×10 ³	78.5	69.3			0.69
	M12	7.5×10 ³	11.25×10 ³	113.0	102.0			0.69
	M16	13.7×10 ³	20.55×10 ³	200.9	186.1			0.69
	M20	21.3×10 ³	31.95×10 ³	314.0	295.4			0.68
	M22	27.2×10 ³	40.8×10 ³	379.9	359.5			0.71
	M24	31.8×10 ³	47.7×10 ³	452.2	429.8			0.69
	M30	61.5×10 ³	92.25×10 ³	706.5	678.5			0.85
	M33	76.1×10 ³	114.2×10 ³	854.9	824.1			0.87
	M39	107.0×10 ³	160.6×10 ³	1194.0	1157.5			0.87

※M33、M39は新たに使用されるため、追加する。

*3：ボルトの許容応力は以下の通り。(JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601-1984 による)

*4：減肉後発生応力／許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

タイトル	高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点について
説明	<p>高浜 1 号炉と高浜 2 号炉の運転期間延長認可申請において、耐震評価に差異が生じ得る理由は、以下のとおり分類される。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 評価対象設備の差 <ol style="list-style-type: none"> ① 1・2号共用設備 1・2号共用設備については1号側で評価している。 ② 設備仕様の差 1号側と2号側で、設備構造の違いや材質の違いがある場合、差が生じる場合がある。 ③ 代表設備・部位の差 技術評価側の評価結果の差等により代表設備・部位に差が生じる場合がある。 2. 劣化想定レベルの差 <ol style="list-style-type: none"> ① 技術評価側の評価結果の差等により、劣化想定レベルの差異が生じ、耐震評価結果に影響する場合がある（技術評価側の評価結果によらず、劣化状態を固定して想定して耐震評価を行っている場合は影響しない）。 3. 地震応答の差 <ol style="list-style-type: none"> ① 入力 of 差 1号と2号で、サポート位置や設置位置の差により入力が異なる場合は差が生じる。 ② 応答 of 差 設備構造の違いや材質の違いによる差、サポート位置や配管ルートに差がある場合は応答に差が生じる。 ③ 評価手法 of 差 片側のプラントに対してのみ、詳細評価手法を用いた場合等は結果に差が生じる。 <p>高浜 1 号と高浜 2 号の劣化状況評価（耐震）について、耐震安全性評価の対象（◎事象）の評価項目及び評価結果を比較した一覧表を添付-1 に示し、差が生じている理由（結果的に差が生じていない場合も生じた理由を含む）を上記説明の 1 ①～③、2 ①、3 ①～③で分類し「1号と2号の差」欄に記載した。</p> <p>また、「評価用地震動」の欄に、各耐震安全性評価についてSs1-7（クラス設備はSd1-7）を、どのように扱い評価した結果であるかを、以下のとおり識別した。</p> <p>全波包絡FRS：8波を全て包絡したFRSにより評価を実施した結果</p> <p>全波包絡荷重：8波それぞれで、荷重6成分（Fx、Fy、Fz、Mx、My、Mz）のうち評価に用いる荷重成分で（Max Fx1-7、Max Fy1-7、Max Fz1-7、Max Mx1-7、Max My1-7、Max Mz1-7）を算出し、8波包絡荷重にて評価を実施した結果</p> <p>Ss-O：Ss1-7個々に評価を行い、最も厳しい結果が得られた地震動による評価結果</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

高浜1/2号炉 耐震評価結果 (1/3)

構種	装置	機器名称 (※炉内設備は除外)	部位	経年劣化備考	計画 重要度	評価部位	高浜1号		高浜2号		1号2号の差	評価用地震動		
							耐震 重要度	評価 重要度	耐震 重要度	評価 重要度				
ポンプ	ターボポンプ	余熱路玉ポンプ	ケーシング	疲労割れ	S	Sd	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
			ケーシング	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
	1次冷却材ポンプ	1次冷却材ポンプ	ケーシング	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
			ケーシング	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
	熱交換器	1次冷却水クーラ	1次冷却水クーラ	伝熱管	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
				管板	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
		再生素材クーラ	再生素材クーラ	伝熱管	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
				管板	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
		多管円筒形熱交換器	余熱路玉クーラ	再生素材クーラ	伝熱管	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001
					管板	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001
容器	燃料集束器	燃料集束器	燃料集束器	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
			燃料集束器	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
	原子炉容器	原子炉容器	原子炉容器	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
			原子炉容器	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001		
	配管	加圧器	加圧器本体	加圧器本体	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
				加圧器本体	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
		機械ベネ	頂定式配管貫通部	頂定式配管貫通部	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
				頂定式配管貫通部	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
		配管	高圧部スプレイング配管	高圧部スプレイング配管	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	
				高圧部スプレイング配管	疲労割れ	S	Ss	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	

【】内は水平2方向および鉛直地震力の組合わせによる影響評価結果
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1/2号炉 耐震評価結果 (2/3)

機種	章	構造名称 ※新設は欄外	部位	経年劣化事象	耐震 重要度	詳細部位	高浜1号						高浜2号								
							新設 重要度	許容値 (MPa)	発生値 (MPa)	応力比	通常 運転時	地震時	合計	1号と2号の 差	許容平均値						
配管		原形炉冷却系配管 母管 (二次側配管以外) 高浜1号 母管 (一次側配管) 高浜2号 母管 (一次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管) 高浜2号 母管 (二次側配管)	高浜1号に基き型式図参照 母管 (一次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C					0.91	0.91	0.91									
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (一次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
			高浜2号に基き型式図参照 母管 (二次側配管)	摩耗(浅れ加減型摩耗)	C						0.91	0.91	0.91								
炉内構造物	1次冷却材管	1次冷却材管	筒管および管台	疲労割れ	C					0.91	0.91	0.91									

「」内は水平2方向および鉛直地震力の組合わせによる影響評価結果
枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1/2号炉 耐震評価結果 (3/3)



機種	装置	機器名称 ※炉外(代換機器除外)	部位	経年劣化特徴	耐震 重要度	高浜1号		高浜2号		1号と2号の 差	評価用地震動	
						評価部位	新震 重要度	許容値 (GPa)	発生値 (GPa)		耐力係数 許容値/発生値	増設時 許容値
機械設備	蒸気発生器サポート	原子炉容器サポート	サポートブacket	中性子および蒸気発生	S Sb	0.28	0.25	0.98	0.28	2D		
		蒸気発生器サポート(2次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		1次冷却器サポート(下部サ ポート)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		2次冷却器サポート(下部サ ポート)	2次冷却器	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次+1次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	ピッチ駆動部	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
空気圧縮装置	制御棒クォースタ	制御棒駆動機	駆動機	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		駆動機	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D			
配管設備	蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート(下部サ ポート)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次+1次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次+1次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(2次+1次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート(1次+2次)	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
基礎設備	蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		
		蒸気発生器サポート	蒸気発生器サポート	摩耗	S Sb	0.25	0.25	1.00	0.25	2D		

[]内は水平,2方向および鉛直地震力の組合わりによる影響評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>工事計画認可審査の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について</p>													
<p>説明</p>	<p>工事計画認可申請の審査の内容を踏まえて、劣化状況評価における耐震安全性評価の見直しを行うものは、以下のとおり。</p> <p>1. 制御棒挿入性評価</p> <p>高浜2号炉の新規制基準への適合に係る工事計画認可申請側で評価手法を見直した再評価を行っており、劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても、これに合わせた評価手法として、評価の見直しを行う。</p> <p>イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係</p> <p>① 制御棒クラス案内管（案内板）の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>② 制御棒被覆管の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>③ バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>※①、②については、案内板及び被覆管の摩耗を重畳させた評価を実施</p> <p>ロ) 評価条件・手法（相違点比較）</p> <table border="1" data-bbox="400 1350 1428 2027"> <thead> <tr> <th></th> <th>現評価（H27.11 補正申請）</th> <th>工認に合せた評価手法反映</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価条件</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：<u>1%</u></td> </tr> <tr> <td>評価手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法</td> <td>《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：<u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：<u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管：<u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法</td> </tr> </tbody> </table>			現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映	評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>	評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法
	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映												
評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7												
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>												
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法												

ハ) 評価結果

		挿入時間*1		規定時間
		現評価 (H27.11 補正申請)	工認手法反映	
評価条件	評価地震動	Ss-1~Ss-7 	Ss-1~Ss-7 	1.8 秒
	照射条件	照射後条件	照射後条件	
地震時挿入時間		1.43	1.67	
制御棒クラスタ案内管（案内板）及び被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間		1.45	1.70	
バップルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した地震時挿入時間		1.46	1.72	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：挿入時間の下段のカッコ内は評価地震動を示す。

2. 炉内構造物等の耐震安全性評価

工事計画認可申請側の評価を踏まえ、燃料集合体の減衰定数を10%から1%へ変更することに伴い、原子炉容器-炉内構造物の連成モデルによる評価を行っている以下の評価について、応力評価及び疲労累積係数の評価の見直しを行う。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	原子炉容器（炉心支持金物）	低サイクル疲労
②	原子炉容器（胴部）	中性子照射脆化
③	炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）	低サイクル疲労
④	炉内構造物（シンプルチューブ）	摩耗
⑤	炉内構造物（炉心そう）	中性子照射による靱性低下
⑥	制御棒クラスタ（被覆管）	摩耗

ロ) 評価条件・手法（相違点比較）

	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映
評価条件	Ss-1(700gal)~Ss-7	Ss-1(700gal)~Ss-7
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>


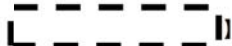
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ハ) 評価結果

① 原子炉容器（炉心支持金物）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率：10%での評価結果 	0.007	0.001	0.008
FA 減衰率：1%での評価結果 	0.007	0.001	0.008

② 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化を考慮した影響評価（関連温度上昇）

	応力拡大係数	
	き裂深さ 10mm	き裂深さ 5mm
FA 減衰率：10%での評価結果 	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 7.4 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 5.3 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$
FA 減衰率：1%での評価結果 	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 7.5 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$	$K_{Ic} > K_I$ 地震荷重による $K_I = 5.4 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

③ 炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

		疲労累積係数（許容値 1 以下）		
		通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率 10%での評 価結果	上部炉心支持板	0.160	0.000	0.160
	上部炉心支持柱	0.023	0.001	0.024
	下部炉心支持板	0.020	0.025	0.045
	下部炉心支持柱	0.001	0.006	0.007
FA 減衰率 1%での評 価結果	上部炉心支持板	0.160	0.000	0.160
	上部炉心支持柱	0.023	0.001	0.024
	下部炉心支持板	0.020	0.025	0.045
	下部炉心支持柱	0.001	0.006	0.007

④ 炉内構造物（シンプルチューブ）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.02
FA 減衰率：1%での評価結果			0.02

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

⑤ 炉内構造物（炉心そう）の中性子照射による靱性低下を考慮した影響評価

	応力拡大係数		
	発生値 (MPa√m)	許容値 (MPa√m)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果	7.5	51	0.15
FA 減衰率：1%での評価結果	7.6	51	0.15

⑥ 制御棒クラスタ（被覆管）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.47
FA 減衰率：1%での評価結果			0.48

3. 工事計画を踏まえ、影響評価を行うもの

工事計画において、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位を抽出し、影響評価を行った結果、耐震性に影響がなく従来の設計手法で対応可能であることが確認されているが、劣化状況評価の耐震安全性評価においても、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認した。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	蒸気発生器（給水入口管台）	低サイクル疲労
②	1次冷却材ポンプ（支持脚）	低サイクル疲労
③	炉心支持構造物（下部炉心支持柱）	低サイクル疲労
④	復水タンク（基礎ボルト）	腐食（大気接触部）
⑤	加圧器スプレイ配管	低サイクル疲労

ロ) 評価条件・手法

高経年化評価対象設備のうち、工事計画において設備の構造特性等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価が行われた部位であって、耐震評価に影響する劣化事象が想定される部位について、影響評価を行った。

ハ) 評価結果

① 蒸気発生器（給水入口管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.658	0.000	0.658
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.658	0.000	0.658

② 1 次冷却材ポンプ（支持脚）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.185	0.001	0.186
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.185	0.001	0.186

③ 炉心支持構造物（下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.001	0.006	0.007
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.001	0.030	0.031

※FA 減衰率：1%を考慮した再評価結果。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

④-1 復水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【引張荷重*1】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果			0.67
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果			0.68

*1：せん断荷重との組合せを考慮した評価

④-2 復水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【せん断荷重】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果			0.24
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果			0.34

⑤ 加圧器スプレイ配管の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値1以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.267	0.001	0.268
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.267	0.001	0.268

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について
説明	<p>耐震評価結果を比率で示したもののうち、耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に対し、添付-1の緑色セル内に、元となる「許容値」及び「発生値」を示す。</p> <p>なお、Sクラスの設備のうち、静的震度により算出した評価値を分子とした応力比はない。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

機種	章	機器名称	部位 非代表設	経年劣化事象	耐震 重要度	評価部位	許容値 (MPa)	発生値 (MPa)	応力比	疲労累積係数※本字:理論疲労					
										通常 運転時	地震時				
熱交換器	多管円筒形 熱交換器	1次系冷却水クーラ	伝熱管	内面腐食 (流れ加速型腐食)	S				0.58						
		湿分離加熱器	銅側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	銅板			0.25						
		第1低圧給水ヒータ	銅側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	銅板			0.21						
		第2低圧給水ヒータ	銅側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	銅板			0.34						
		第3低圧給水ヒータ	銅側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	銅板			0.28						
		第4低圧給水ヒータ	銅側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	C	銅板			0.30						
	配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統配管	母管	高サイクル熱疲労割れ (高低温水合流部)	S				0.46					
			主蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S				0.95					
		炭素鋼配管	主給水系統配管	低温再熱蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.60				
				第3抽気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.74				
第4抽気系統配管			母管 (実測データに基づく肉厚)	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.52						
補助蒸気系統配管			母管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.60						
グラント蒸気系統配管			母管 (実測データに基づく肉厚)	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.88						
復水系統配管			母管 (実測データに基づく肉厚)	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.70						
ドレン系統配管			母管 (実測データに基づく肉厚)	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.77						
蒸気発生器プロトタイプ 系統配管			母管	腐食(流れ加速型腐食)	S				0.60						
配管サポート	アンカー	ラグとプレート の溶接部等のサ ポート取付部	ラグとプレートの溶接部	疲労割れ	S	1号:配管とラグの溶接部 2号:配管とヘッド			0.45						
		蒸気発生器 系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	S				1.23	0.126					
	炉内構造物	タービン	高圧タービン	主蒸気入口管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.15					
			炉内構造物	炉内計装用シムル チューブ	摩耗	S				0.02					
		タービン	高圧タービン	高圧タービン	主蒸気入口管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.39				
				炉内構造物	炉内計装用シムル チューブ	摩耗	S				0.02				
			タービン	高圧タービン	高圧タービン	主蒸気入口管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.39			
					炉内構造物	炉内計装用シムル チューブ	摩耗	S				0.02			
				タービン	高圧タービン	高圧タービン	主蒸気入口管	腐食(流れ加速型腐食)	C				0.39		
						炉内構造物	炉内計装用シムル チューブ	摩耗	S				0.02		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機種	章	機器名称	部位	経年劣化事象	耐震重要度	評価部位	許容値 (MPa)	発生値 (MPa)	応力比	疲労累積係数※大字: 環境疲労		
										通常運転時	地震時	合計
機械設備	重機器サポート	原子炉容器サポート	サポートブラケット	中性子およびγ線照射脆化	S	補強材			0.36			
		蒸気発生器サポート(支持脚)	ヒンジ駆動部	摩耗	S	ボルト	一次			0.73		
		1次冷却材ポンプサポート(支持脚)	ヒンジ駆動部	摩耗	S	Ss	蒸気発生器支持脚	一次 一次十二次		0.17		
		格納容器外制御用空気をため、格納容器外制御用空気を乾燥器)	ヒンジ駆動部	摩耗	S	Ss	1次冷却材ポンプ支持脚	一次 一次十二次		0.54		
		空圧縮装置	格納容器外制御用空気をため、格納容器外制御用空気を乾燥器)	腐食(全面腐食)	S	Ss	計器用空圧縮装置			0.13		
		非核燃料炉心精成品	制御棒クラスター	摩耗	S	Ss	計器用空圧縮装置			0.22		
		濃縮減容設備	濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食(全面腐食)	S	Ss	計器用空圧縮装置			0.11		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	摩耗	S	Ss	計器用空圧縮装置			0.48		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食(全面腐食)	B		伝熱管			0.01		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食(全面腐食)	B		伝熱管			0.10		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食	S	Ss	伝熱管	引張荷重		0.22		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食	C		伝熱管	せん断荷重		0.10		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食	S	Ss	伝熱管	せん断荷重		-		
			濃縮管等(加熱器、濃縮液ポンプ)	腐食	S	Ss	伝熱管	せん断荷重		-		
		電源設備	基礎ボルト	熱交換器	脱気器タンク	腐食	S	基礎ボルト	引張荷重		0.70	
燃料取替用水タンク	燃料取替用水タンク			腐食	S	基礎ボルト	せん断荷重		0.42			
復水タンク	復水タンク			腐食	S	基礎ボルト	引張荷重		0.67			
主蒸気系統配管	配管用基礎ボルト			腐食(全面腐食)	S	基礎ボルト	せん断荷重		[0.68]			
		伝熱管	母管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	S	基礎ボルト	せん断荷重		0.57			
		伝熱管	母管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	S	基礎ボルト	せん断荷重		-			
		伝熱管	母管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	S	基礎ボルト	せん断荷重		0.18			

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ、並びにこれら施設から耐津波安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠・抽出プロセス及び評価内容について
説明	<p>高浜1号炉の「浸水防護施設」のうち、耐津波安全性評価対象とした設備について、経年劣化事象の抽出や耐津波安全性評価の要否判断などのプロセスを示す。</p> <p>1. 浸水防護施設について 耐津波安全性評価対象とした浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）については以下のとおり。</p> <p>(1) 津波防護施設：該当なし[高浜4号炉設備、1・2・3・4号炉共用] (2) 浸水防止設備：・取水構造物（浸水防止蓋）… a (3) 津波監視設備：・潮位計 … b</p> <p>2. 想定される劣化事象* (1) 鉄骨構造物（対象 a） a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象） 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（△事象） ・腐食 …① ・風などによる疲労 …② (2) 計測制御設備（対象 b） a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象） 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（△事象） ・樹脂の劣化（ケミカルアンカー）③</p> <p>※：絶縁低下（絶縁体の水トリー劣化による絶縁低下を含む）、特性変化及び導通不良については、耐津波安全性に影響を及ぼすパラメータの変化とは無関係であるため記載は省略する。</p> <p>3. 耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出 「2. 想定される劣化事象」で整理した経年劣化事象①～③について、耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の有無について検討したプロセスを下表に整理した。</p>

表1 耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の有無検討プロセス

「技術評価」で想定される経年劣化事象		ステップ1	ステップ2		ステップ3	
高経年化対策上 着目すべき 経年劣化事象	下記 1)~2)を除く経年劣化事象	○	i	現在発生しておらず、今後発生の可能性がないもの、または小さいもの	×	×
			ii	現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できないもの	○	構造・強度上および止水性上「軽微もしくは無視」できない事象 ■
高経年化対策上 着目すべき 経年劣化事象 ではない事象	1)	○	ii	現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できないもの	○	構造・強度上および止水性上「軽微もしくは無視」できない事象 ■ ①
	2)	-	- ② ③		-	

○：評価対象として抽出
 -：評価対象から除外
 ×：現在発生しておらず、今後発生の可能性がないもの、または小さいものとして評価対象から除外
 ■：構造・強度上および止水性上「軽微もしくは無視」できる事象として評価対象から除外
 ◎：耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出

以上より、高浜1号炉の「浸水防護施設」については、◎となる対象は無かったことから、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施したものはない。

以上

タイトル	経年劣化事象として止水材料の劣化を評価対象としない場合の根拠及び妥当性について
説明	<p>浸水防護施設に使用している止水材料は、定期取替品であることから、高経年化評価対象外としている。なお止水材の取替頻度は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none">・取水構造物（浸水防止蓋）：10年 <p style="text-align: right;">以上</p>

改良地盤の経年変化について

1. はじめに

本資料は、浸透固化処理工法と呼ばれる液状化の影響軽減対策を施した改良地盤の経年変化について、補足資料をとりまとめたものである。

2. 液状化とは

液状化の発生から終了までの過程を図1に示す。地盤内の密実でない砂質土は、砂粒子間の押し合う力によって安定を保っている(図1(a))。

このような地盤に地震による連続した振動を受けると砂粒子を密実化させる方向に働くが、砂粒子の間隙に存在する水(間隙水)の流出(地下水位の上昇)は短時間には進まないため、間隙水の圧力は一時的に上昇する。そして遂に噛み合わせが完全に外れて水に浮いた状態になり、(液状化した瞬間)、建築物等に影響を及ぼす(図1(b))。

砂粒子の沈降速度が一定とすれば、沈降距離の短い下部から順次沈降が完了して安定な状態になり、上部ほど沈降距離が長いため、水に浮いたような(液状化した)状態は長く続く(図1(c))。

時間の経過によって、砂粒子が密実化することで体積が減少して地表面が沈下する。また、間隙水の排出も進むが、その一部が地表面に吹き出すこともある(図1(d))。

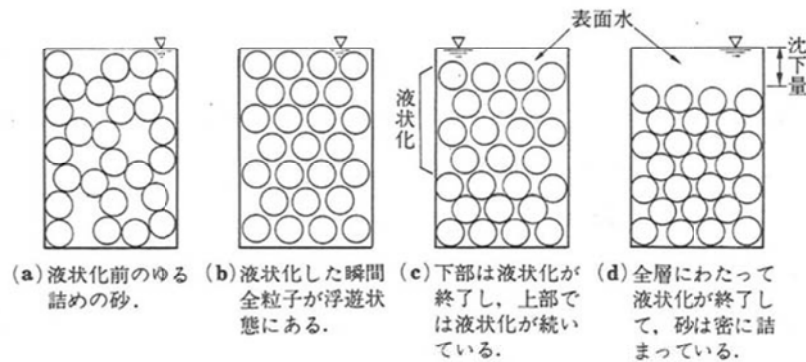


図1 砂の液状化の発生から終了までの過程¹⁾

3. 地盤改良（浸透固化処理工法）の概要²⁾

浸透固化処理工法の概要を図2に示す。浸透固化処理工法は、地盤を構成する砂粒子と間隙水のうち、図3に示すとおり、液状化の原因となる間隙水を薬液（シリカ成分）に置き換える工法である。注入された薬液はゲル化し、砂粒子と固結することで恒久的に液状化を防止することができる。

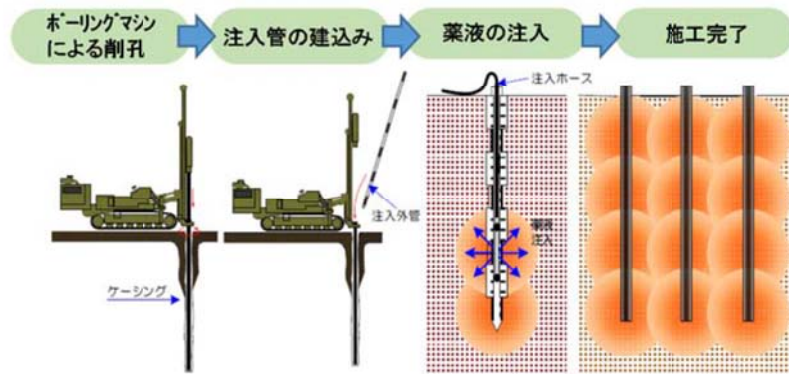


図2. 地盤改良（浸透固化処理工法）の概要

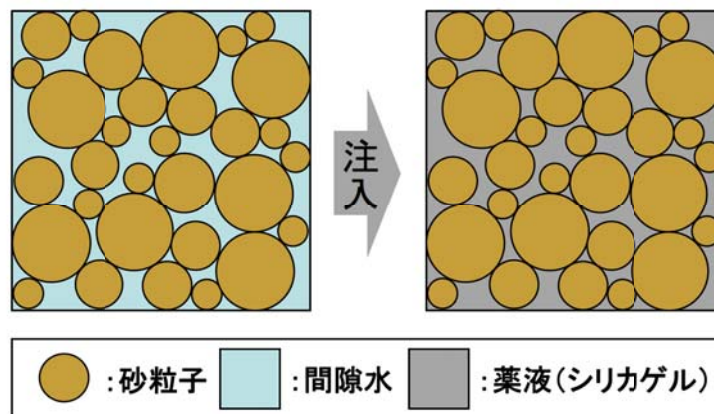


図3. 地盤改良（浸透固化処理工法）の原理

液状化の可能性がある盛土層、第1砂質土層、砂礫層、第2砂質土層を対象土層とし、2次元動的有限要素方解析により対策範囲を選定する。

本工法は、既設構造物に影響を与えることなく、斜め方向からの薬液注入により、既設構造物直下の地盤でも施工可能な工法である。

また、本工法の施工実績を表1に示す。空港、港湾施設など、公共性が高い重要施設に施工実績があり、広く一般的に採用されている工法である。

表1 浸透固化処理工法の施工実績例³⁾

時 期	用 途	改良目的	施工例	場 所
1999年	滑走路直下	液状化対策	東京国際空港	東京都
2000年	矢板式護岸	液状化対策	石狩湾新港	北海道
2000年	橋脚・橋台	液状化対策 支持力増加	江ノ島大橋	神奈川県
2000年	建築構造物	液状化対策	西川第二排水機場	新潟県
2001年	ケーソン式護岸背面	液状化対策	志布志港	鹿児島県
2004年	旧法タンク	液状化対策	旧法タンク基礎	岡山県
2005年	ボックスカルバート底版	液状化対策	河川改修工事	千葉県
2007年	護岸	液状化対策	仙台塩釜港	宮城県
2010年	浅橋下部	液状化対策 耐震補強	埠頭棧橋下部（東京湾）	神奈川県

4. 設計上の考え方

4. 1 使用材料の特徴

使用する材料（薬液）は、二酸化ケイ素（ SiO_2 ）を主成分とし、粒径10～20nm程度のシリカコロイドと呼ばれる物質である。この薬液は、縮合重合反応により式1に示す、ケイ素（Si）と酸素（o）が交互に結合した、シロキサン結合と呼ばれる鎖上に連結した結合エネルギーが大きい状態で固結しており、化学的に安定している。また、粒径10～20nm程度の比較的大きなシリカコロイドが材料のベースであり、このコロイド表面の接点同士が結合しゲル化するため、物理的にも安定している。加えて、この結合状態を電子顕微鏡により50万倍に拡大したものを図4に示す。縮合重合反応したシリカコロイド粒子がそのまま見られ、砂の堆積と同様に、安定した構造である蜂の巣状となっている。

このため、多様な地盤条件や地下水条件等に対して化学的・物理的にもゲルが安定しているため恒久的な改良効果が得られる⁴⁾。

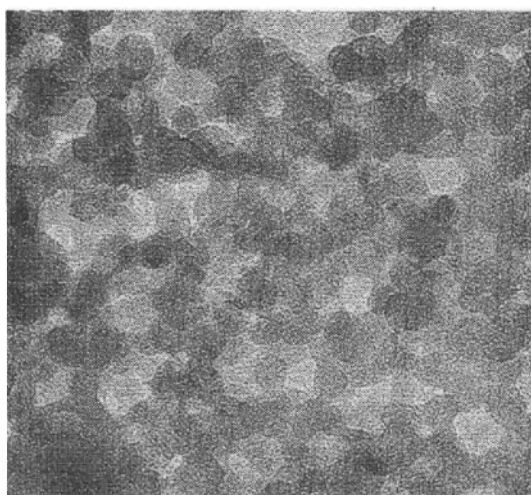
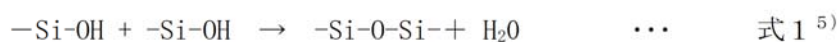


図4. シリカコロイドの電子顕微鏡写真（50万倍）⁶⁾

4. 2 使用材料の経年変化について

本地盤改良（浸透固化処理工法）においては、間隙水を地盤から排出することが重要であり、間隙水を置き換えた薬液が、固結した状態を長期に渡り維持する必要がある。このため、使用した薬液の化学的・物理的安定性について、既往の論文等の調査を行った。

薬液が固結した状態を長期に渡り維持するためには、当初の体積を維持することが非常に重要であることを踏まえて調査を行い、文献「各種薬液注入材の長期養生結果と浸透水圧を作用させた薬液改良固結砂の耐久性」⁷⁾において、約9000日間（約24年間）の経時的な体積変化について、試験が実施されているものを確認した。

試験については、薬液の体積変化を経時的に確認していくのは難しいため、メスフラスコによる測定方法を考案⁸⁾し、実施された。具体的には、300cm³のガラス製のメスフラスコを使用し、このメスフラスコに約160cm³の薬剤を入れ、300cm³の目盛りの位置まで蒸留水を満たして恒温室（20℃）で長期間の養生を行い、養生日数に応じて体積を以下の式2のように求めているものである。

$$V_c = 300 - (m_{cw} - m_c) / \rho_w \quad \dots \quad \text{式2}$$

m_c : 薬剤 + メスフラスコの質量

m_{cw} : $m_c + 300\text{cm}^3$ 目盛りまでの水の質量

ρ_w : 水の密度

この試験により確認された結果⁷⁾を図5に示す。

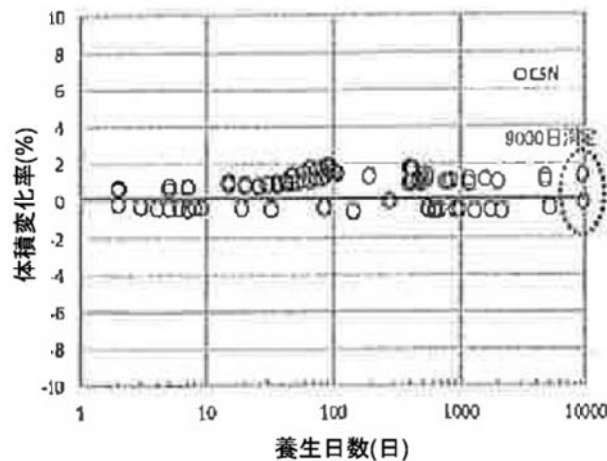


図5 薬液（シリカ成分）の体積変化⁷⁾

図5より、薬液は、長期に渡って体積変化が生じないことが確認できる。

以上より、薬液は、材料自体が化学的・物理的に安定しており、また試験により長期に渡って体積変化が生じないことが確認されている。合わせて、薬液が施工されている地中の環境は非常に安定しており変化が生じないことから、改良地盤は経年による変化が生じない

ものと判断した。

5. 保全の対応

設計段階に改良地盤は経年による変化が生じないことを確認した上で、保全計画の策定の対象選定プロセスにより、定期点検等の保全の対象外であることを判断した。なお、設計上の考え方が現地に反映されていることを、自主的安全性向上の観点から暴露試験等により確認していく。

【参考文献】

- 1) 第二版 砂地盤の液状化 吉見吉昭 著
- 2) 高浜発電所4号機工事計画認可申請書 補足説明資料6. 5. 2液状化対策工事及び施工後確認について(抜粋)
- 3) 浸透固化処理工法技術マニュアル(改定版) 財団法人 沿岸技術研究センター
- 4) 地震と地盤の液状化 - 恒久・本設注入によるその対策 - 東畑郁生・島田俊介・米倉亮三・社本康広 著
- 5) 三輪他、水ガラス系グラウト材の基本的性質について、土質工学会論文報告集、Vol. 34、No. 3、113-121、Sept. 1994
- 6) 加賀宗彦、注入固結砂強度特性などに関連する水ガラス系注入材のゲル構造、土木学会論文集 No. 460/V-18、pp. 93-102、1993. 2
- 7) 米倉他、各種薬液注入材の長期養生結果と浸透水圧を作用させた薬液改良固結砂の耐久性、地盤工学会誌、Vol. 63 No. 2 Ser, No. 685
- 8) 加賀宗彦、水ガラス系注入材の安定性と注入固結砂の長期強度の予測、土木学会論文集 No. 652/III-51、195-205、2000. 6

タイトル	高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点について
説明	<p>高浜 1 号炉で、耐津波安全性評価対象とした浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）については以下のとおり。</p> <p>（１）津波防護施設：該当なし[高浜 4 号炉設備、1・2・3・4 号炉共用] （２）浸水防止設備：取水構造物（浸水防止蓋） （３）津波監視設備：潮位計</p> <p>一方、高浜 2 号炉で、耐津波安全性評価対象とした浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）については以下のとおり。</p> <p>（１）津波防護施設：該当なし[高浜 4 号炉設備、1・2・3・4 号炉共用] （２）浸水防止設備：取水構造物（浸水防止蓋） （３）津波監視設備：該当なし</p> <p>差異が生じている理由は、潮位計は高浜 1 号炉と 2 号炉の共有設備であることから、工事計画と整合をとり高浜 1 号炉の劣化状況評価書側に記載しているため。</p> <p>なお、取水構造物（浸水防止蓋）については、高浜 1 号炉と 2 号炉のそれぞれで評価している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>