

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-028-2-2 改3
提出年月日	2020年6月18日

## 建屋－機器連成地震応答解析の補足について

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

1. 地震応答解析モデルの設定について	1
1.1 はじめに	1
1.2 既工認同様の地震応答解析モデルの設定方法	7
1.2.1 質点位置	7
1.2.2 質点質量	7
1.2.3 断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント）	7
<u>1.2.4 構造物間ばね定数</u>	<u>9</u>
1.2.5 材料物性値（縦弾性係数，ポアソン比）	38
1.2.6 原子炉内部構造物の水中での振動の影響を考慮するための付加質量について	40
1.2.7 原子炉冷却材再循環ポンプの減衰定数	41
1.2.8 R P Vスタビライザの減衰定数	44
1.3 新たに採用する地震応答解析モデルの設定	45
1.3.1 原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定方法	45
1.3.2 鉛直方向解析モデル	74
2. 誘発上下動の考慮方法	79
3. 建屋－機器連成解析固有の材料物性の不確かさ等の検討ケースについて	93
4. 燃料交換ベローズの耐震性について	113
5. 地震応答解析及び静的解析における最大応答加速度と最大応答変位の関係について	120
6. ケース 3 の燃料集合体の相対変位が大きい要因について	121

下線：今回提出範囲

#### 1.2.4 構造物間ばね定数

各構造物間を接続する各機器を等価なばねでモデル化する。ばね定数の設定に際しては、ばねとしてモデル化する部材の形状を考慮して、材料力学の梁の公式、文献等による理論式又は FEM 解析によりばね定数を算定する。ばね定数の数値一覧を表 1.2.4-1 に、ばね定数の算定方法の詳細を以下に示す。

表 1.2.4-1 各機器のばね定数

No.	名称	ばね定数
K <sub>1</sub>	シュラウドサポート	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
K <sub>2</sub>	制御棒駆動機構ハウジング ラテラルレストレント	
K <sub>3</sub>	制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	
K <sub>4</sub>	燃料取替用ベローズ	
K <sub>5</sub>	原子炉圧力容器スタビライザ	
K <sub>6</sub>	ダイヤフラムフロア	

(1) シュラウドサポート : K<sub>1</sub>

a. シュラウドサポートの構造

シュラウドサポートは、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート及びシュラウドサポートレグからなる溶接構造物である。シュラウドサポートレグ下端及びシュラウドサポートプレート外周が原子炉圧力容器に溶接固定されており、シュラウドサポートシリンダを介して炉心シュラウドを支持する。

シュラウドサポートの構造概要を図 1.2.4-1 に示す。

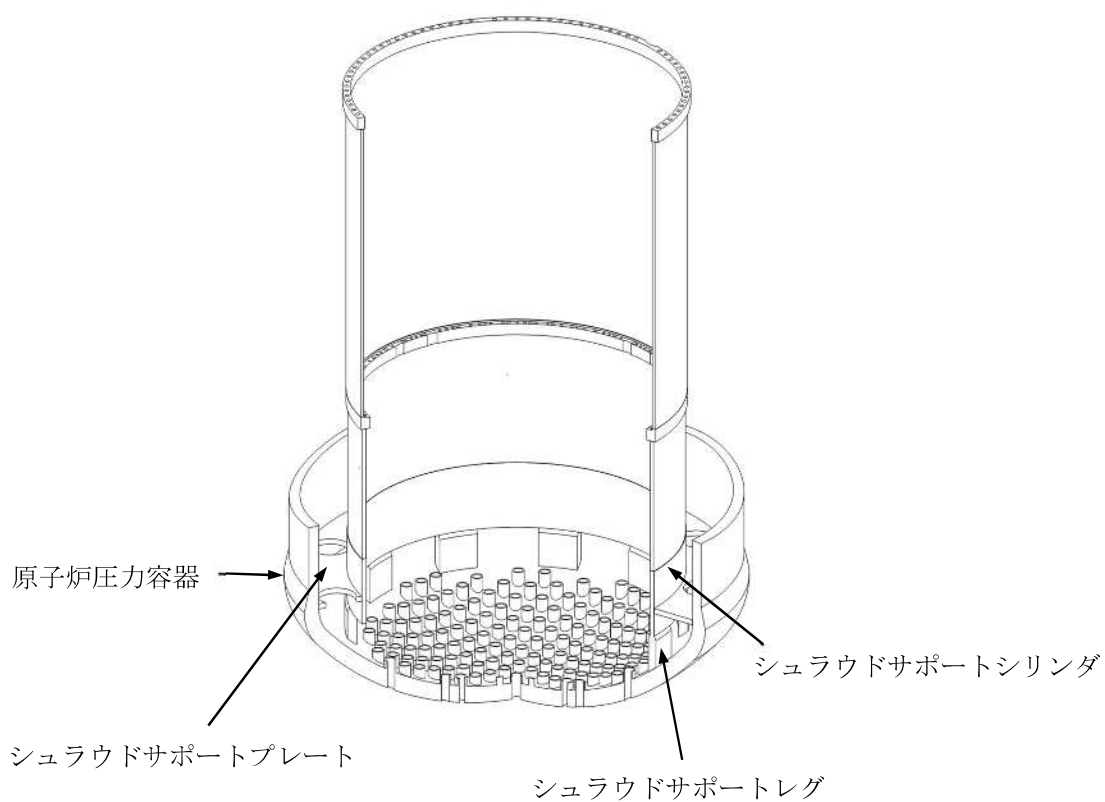


図 1.2.4-1 シュラウドサポートの構造概要

b. シュラウドサポートのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

シュラウドサポート全体でのばね定数 $K_1$ は、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートレグ及びシュラウドサポートプレートの回転ばね定数を算出し、以下の通り組み合わせて算定する。図 1.2.4-2 にばね全体の模式図を示す。

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_{MA1}} + \frac{1}{K_{MA2}}} + K_{MB}$$

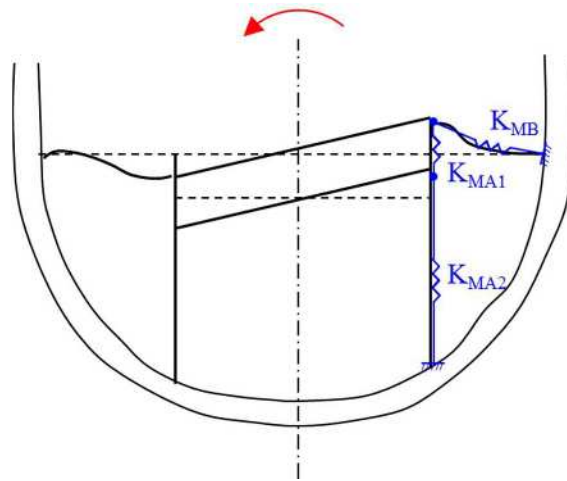


図 1.2.4-2 全体ばねの模式図

ここで、

$K_{MA1}$  : シュラウドサポートシリンダのばね定数

$K_{MA2}$  : シュラウドサポートレグのばね定数

$K_{MB}$  : シュラウドサポートプレートのばね定数

(b) 構成部材のばね定数算定方法

イ. シュラウドサポートシリンダ  $K_{MA1}$

シュラウドサポートシリンダのばね定数 $K_{MA1}$ は、以下の式に基づき算定する。

$$K_{MA1} = \frac{R_m^2 \cdot A_1 \cdot E}{2L_1}$$

ロ. シュラウドサポートレグ  $K_{MA2}$

シュラウドサポートレグのばね定数 $K_{MA2}$ は、以下の式に基づき算定する。

$$K_{MA2} = \frac{R_m^2 \cdot A_2 \cdot E}{2L_2}$$

(c) シュラウドサポートプレート  $K_{MB}$

シュラウドサポートプレートのばね定数 $K_{MB}$ は、以下の式<sup>[1]</sup>に基づき算定する。

$$K_{MB} = \frac{\pi \cdot R_m^2 \cdot E \cdot t_3^3}{3C_2 \cdot D_o^2 \cdot (1 - \nu^2)}$$

ここで、以下の各記号は図 1.2.4-3 に示す原子炉圧力容器断面図による。

$$R_m : = \frac{1}{2}(D_i - t_1) = \boxed{\phantom{000}} \text{(m)}$$

$A_1$  : シュラウドサポートシリンダ断面積

$$= \pi \cdot t_1 (D_i - t_1) = \boxed{\phantom{000}} \text{(m}^2\text{)}$$

$A_2$  : シュラウドサポートレグ断面積

$$= N \cdot B \cdot t_1 = \boxed{\phantom{000}} \text{(m}^2\text{)}$$

$L_1$  : シュラウドサポートシリンダ長さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$L_2$  : シュラウドサポートレグ長さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$t_1$  : シュラウドサポートシリンダ厚さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$t_2$  : シュラウドサポートレグ厚さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$t_3$  : シュラウドサポートプレート厚さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$D_o$  : 原子炉圧力容器内径 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$D_i$  : 炉心シュラウド外径 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$$C_1 : = \frac{D_i - t_1}{D_o} = \boxed{\phantom{000}} \text{(—)}$$

$$C_2 : = \frac{1}{8} \left\{ 1 - C_1^2 - \frac{4C_1^2}{1 - C_1^2} \left( \ln \frac{1}{C_1} \right)^2 \right\} = \boxed{\phantom{000}} \text{(—)}$$

$B$  : シュラウドサポートレグ幅 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (m)

$N$  : シュラウドサポートレグ個数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (—)

$E$  : 縦弾性係数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (t/m<sup>2</sup>)

$\nu$  : ポアソン比 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (—)

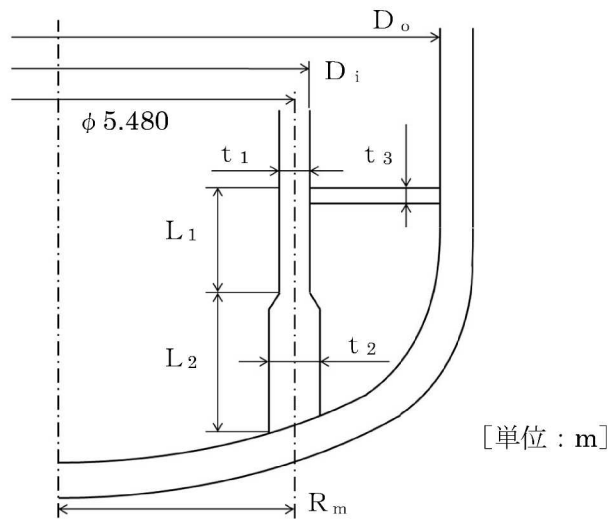


図 1.2.4-3 原子炉圧力容器断面図

(3) シュラウドサポートのばね定数算定結果

以上より算定した構成部材及び全体のばね定数の算定結果を表 1.2.4-2 に示す。

表 1.2.4-2 シュラウドサポートのばね定数

	記号	ばね定数
シュラウドサポートシリンダのばね定数	$K_{MA1}$	
シュラウドサポートレグのばね定数	$K_{MA2}$	
シュラウドサポートプレートのばね定数	$K_{MB}$	
シュラウドサポートのばね定数	$K_1$	

(2) 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレント :  $K_2$

a. 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントの構造

制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントは、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジにボルト締結にて設置された構造物であり、ヘッドボルト、ベース(ヘッドボルト有とボルト無の2種類)からなる。

制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントは地震時に制御棒駆動機構ハウジングを水平方向に支持し、制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームへ荷重を伝達する。隣り合う制御棒駆動機構ハウジングは制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントを介して互いに接触により取り合うため、圧縮方向の荷重は伝達するが、引張方向の荷重は伝達しない構造である。

制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントの構造概要を図 1.2.4-4 に示す。



図 1.2.4-4 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントの構造概要



b. 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

制御棒駆動機構ハウジング（内側）と制御棒駆動機構ハウジング（外側）は、それぞれ最短部材の中心部と最長部材の最外部の制御棒駆動機構ハウジングを代表させてモデル化している。ラテラルレストレントを介した荷重伝達をモデル化するため、制御棒駆動機構ハウジング（内側）と制御棒駆動機構ハウジング（外側）間は、ラテラルレストレントの剛性を考慮したばねで接続している。ここで、ばねとして考慮するラテラルレストレントについては、制御棒駆動機構ハウジングに作用するモーメントが大きくなるようばね定数を小さく設定するため、最も設置個数が多い中心部と最外部間のラテラルレストレントを考慮することとする。（図 1.2.4-4 中の □ で囲んだ範囲）

また、制御棒駆動機構ハウジング（内側）は、□ 本分の制御棒駆動機構ハウジングの重量、断面剛性をモデル化しているため、制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレント全体のばね定数  $K_2$  は、図 1.2.4-5 に示すとおり中央 1 列の直列ばねが □ 個あるものとし、直列ばねのばね定数を □ 倍することで算定する。

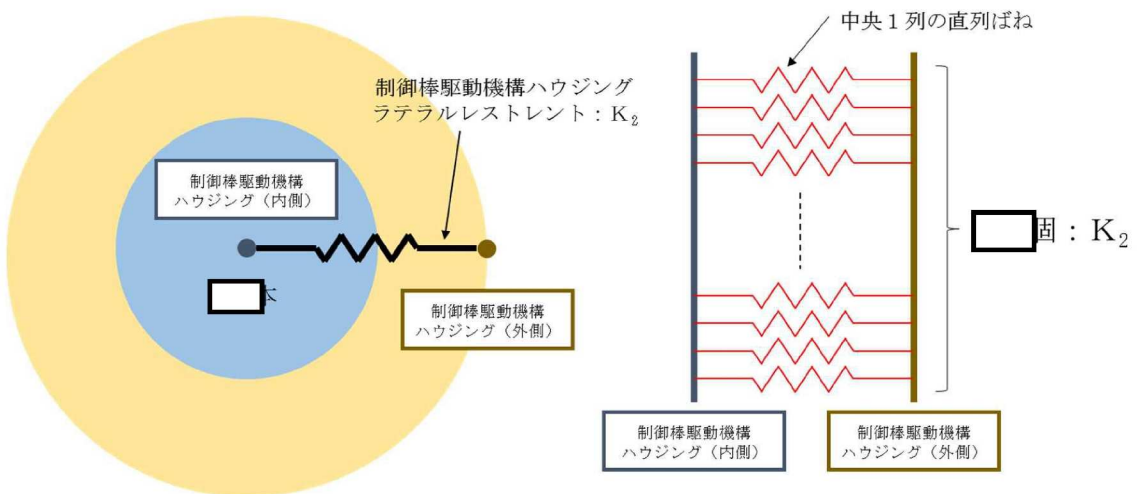


図 1.2.4-5 全体のばね定数算定イメージ

図 1.2.4-4 中の □ で囲んだ中央 1 列には、制御棒駆動機構ハウジング間のラテラルレストレント □ 個と制御棒駆動機構ハウジング/レストレントビーム間のラテラルレストレント □ 個が直列に接続されているため、中央 1 列の直列ばねのばね定数  $K$  及び全体のばね定数  $K_2$  は以下の式に基づき算定する。

$$\frac{1}{K} = \text{□}$$

$$K_2 = \text{□} \times K = \text{□}$$

ここで、

$K_A$  : 制御棒駆動機構ハウジング間のラテラルレストレートのばね定数

$K_B$  : 制御棒駆動機構ハウジング/レストレントビーム間のラテラルレストレートのばね定数

(b) 構成部材のばね定数算定方法

イ. 制御棒駆動機構ハウジング間のラテラルレストレント

制御棒駆動機構ハウジング間のラテラルレストレートのばね定数 $K_A$ は、以下の式に基づき算定する。

$$K_A = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{P1}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P2}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P3}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P4}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P5}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P6}}\right)}$$

$$K_{Pi} = \frac{A_i \cdot E_i}{l_i}, \quad i = 1 \sim 6$$

ロ. 制御棒駆動機構ハウジング/レストレントビーム間のラテラルレストレント

制御棒駆動機構ハウジング/レストレントビーム間のラテラルレストレートのばね定数 $K_B$ は、以下の式に基づき算定する。

$$K_B = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{P1}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P2}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P3}}\right) + \left(\frac{1}{K_{P4}}\right)}$$

$$K_{Pi} = \frac{A_i \cdot E_i}{l_i}, \quad i = 1 \sim 4$$

ここで、各記号は図 1.2.4-6 に示す制御棒駆動機構ハウジング間及び制御棒駆動機構ハウジング/レストレントビーム間のラテラルレストレートの構成部材構造図による。

[単位：mm]

$l_1 = 11.3$   
 $l_2 = 12.7$   
 $l_3 = 7.53$   
 $l_4 = 9.6$   
 $l_5 = 12.7$   
 $l_6 = 11.3$   
 $B_1 = 31.8$   
 $B_2 = 67.1$   
 $t = 31.8$   
 $\phi_1 = 23.338$   
 $\phi_2 = 25.4$

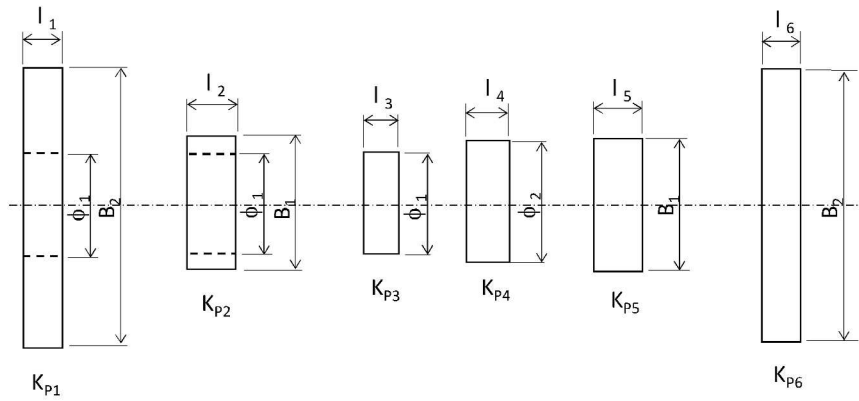
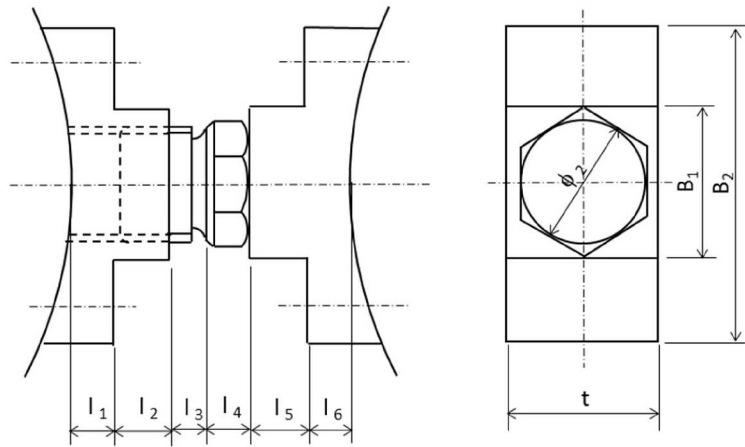


図 1.2.4-6 制御棒駆動機構ハウジング間及び制御棒駆動機構ハウジング／レストレントビーム間のラテラルレストレントの構成部材構造図

- c. 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントのばね定数算定結果  
 以上より算定した構成部材及び全体のばね定数の算定結果を表 1.2.4-3 に示す。

表 1.2.4-3 制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントのばね定数

	記号	ばね定数
制御棒駆動機構ハウジング間のラテラルレストレントのばね定数	$K_A$	
制御棒駆動機構ハウジング／レストレントビーム間のラテラルレストレントのばね定数	$K_B$	
制御棒駆動機構ハウジングラテラルレストレントのばね定数	$K_2$	

(3) 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム：K<sub>3</sub>

a. 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの構造

制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム（以下「CRDHレストレントビーム」という。）は、原子炉本体基礎に対し、サポートビームを介して設置され、サポートビームは原子炉本体基礎に溶接接続された構造物である。構成部材としてはCRDHレストレントビーム、サポートビームからなる。

CRDHレストレントビームは、制御棒駆動機構ハウジングの水平方向地震荷重を受けるが、CRDHレストレントビームは制御棒駆動機構ハウジングを接触のみで支持しているため、圧縮方向の荷重は伝達するが引張方向の荷重は伝達しない構造である。

CRDHレストレントビームの構造概要を図 1.2.4-7 に示す。

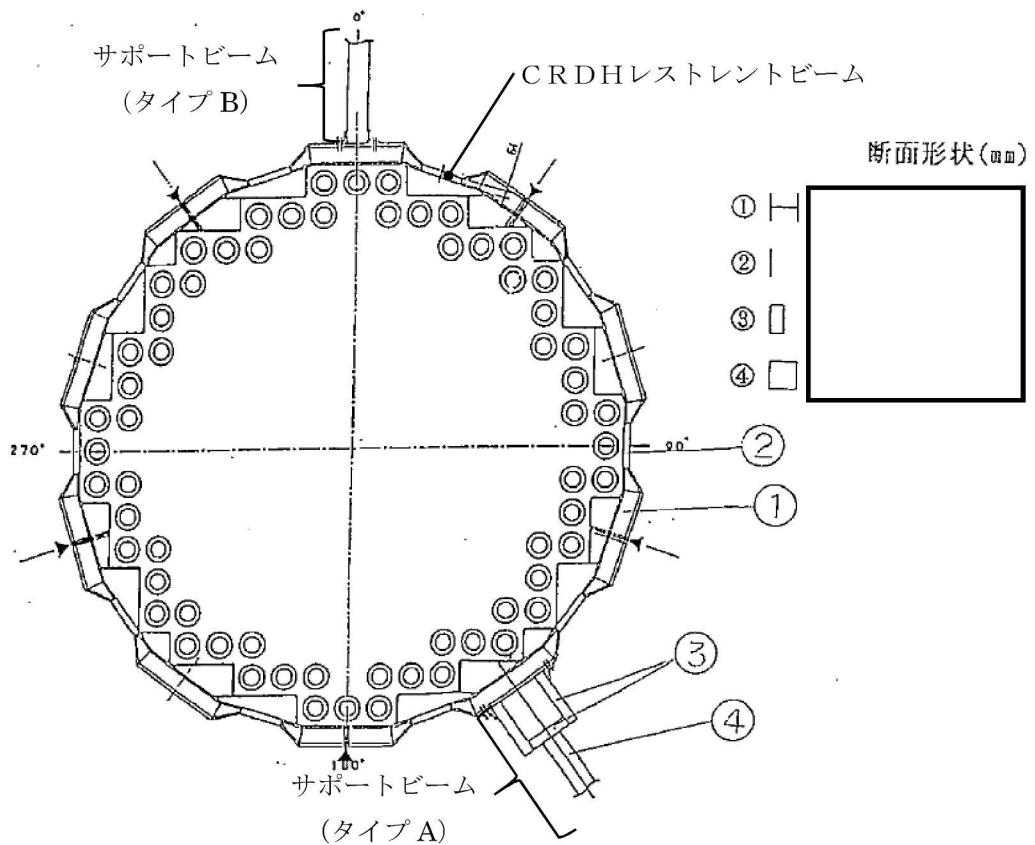


図 1.2.4-7 CRDHレストレントビームの構造概要

b. CRDHレストレントビームのばね定数算定方法

CRDHレストレントビームのばね定数 $K_3$ は、FEM解析により算定する。具体的には、制御棒駆動機構ハウジングの列ごとに設定した水平荷重を静的に付加した際の最大変位量を全水平荷重で除することにより算定する。

c. 計算方法

計算機コード「NASTRAN」により、各部材に断面積、断面二次モーメント、重量等を与えるビーム要素モデルで解析する。

d. 計算条件

(a) 解析モデル

CRDHレストレントビームの解析モデルを図 1.2.4-8 に示す。

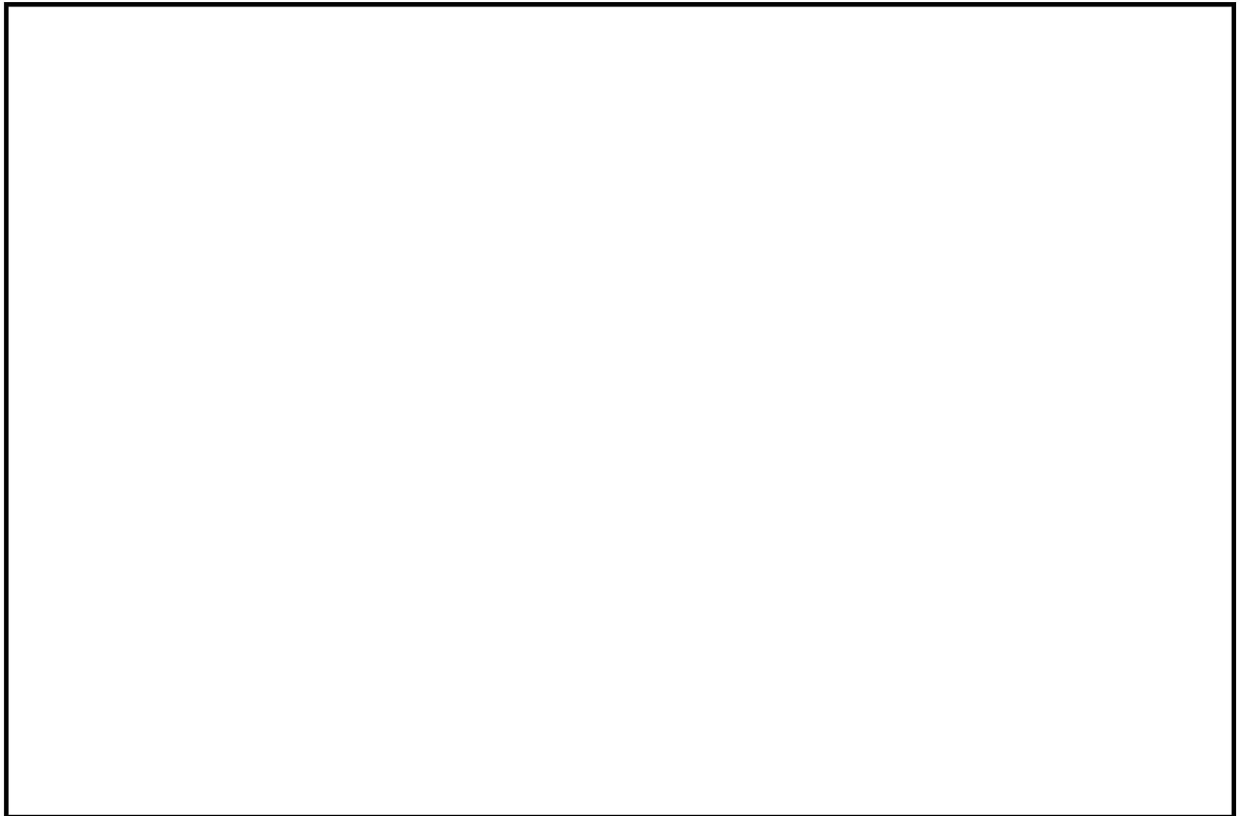


図 1.2.4-8 CRDHレストレントビーム解析モデル

(b) 各構成部材の材料物性

解析に用いる材料物性を以下に示す。

縦弾性係数  $E = \square \text{ kg/mm}^2$ , ポアソン比  $\nu = \square$

(c) 荷重条件

CRDH全水平荷重 $W$ を, 制御棒駆動機構ハウジングの列ごとの本数に応じて分配した荷重 $W_i$ を付加する。荷重の分配は以下に示すとおりである。

CRD17本:  $W_1 =$

CRD15本:  $W_2 =$

CRD13本:  $W_3 =$

CRD11本:  $W_4 =$

CRD 7本:  $W_5 =$

CRD 3本:  $W_6 =$

--

(d) 境界条件

サポートビーム端部は原子炉本体基礎に溶接されていることから境界条件は固定とする。

e. CRDHレストレントビームのばね定数算定結果

水平荷重を負荷した際の変形図を図 1.2.4-9 に, ばね定数の算定結果を表 1.2.4-4 に示す。



図 1.2.4-9 CRDHレストレントビームの変形図

表 1.2.4-4 CRDHレストレントビームのばね定数

全水平荷重 $W$	最大変位量 $\delta$	ばね定数 $K_3$

(4) 燃料取替用ベローズ : K<sub>4</sub>

a. 燃料取替用ベローズの構造

燃料取替用ベローズは、燃料取替時にバルクヘッド上部へ水張りを行なう際に、原子炉圧力容器と原子炉格納容器トップスラブの間を接続するためのステンレス製の構造物であり、運転時の原子炉圧力容器と原子炉格納容器との熱移動量を吸収できるように蛇腹構造としている。

燃料取替用ベローズの構造概要を図 1.2.4-10 に示す。

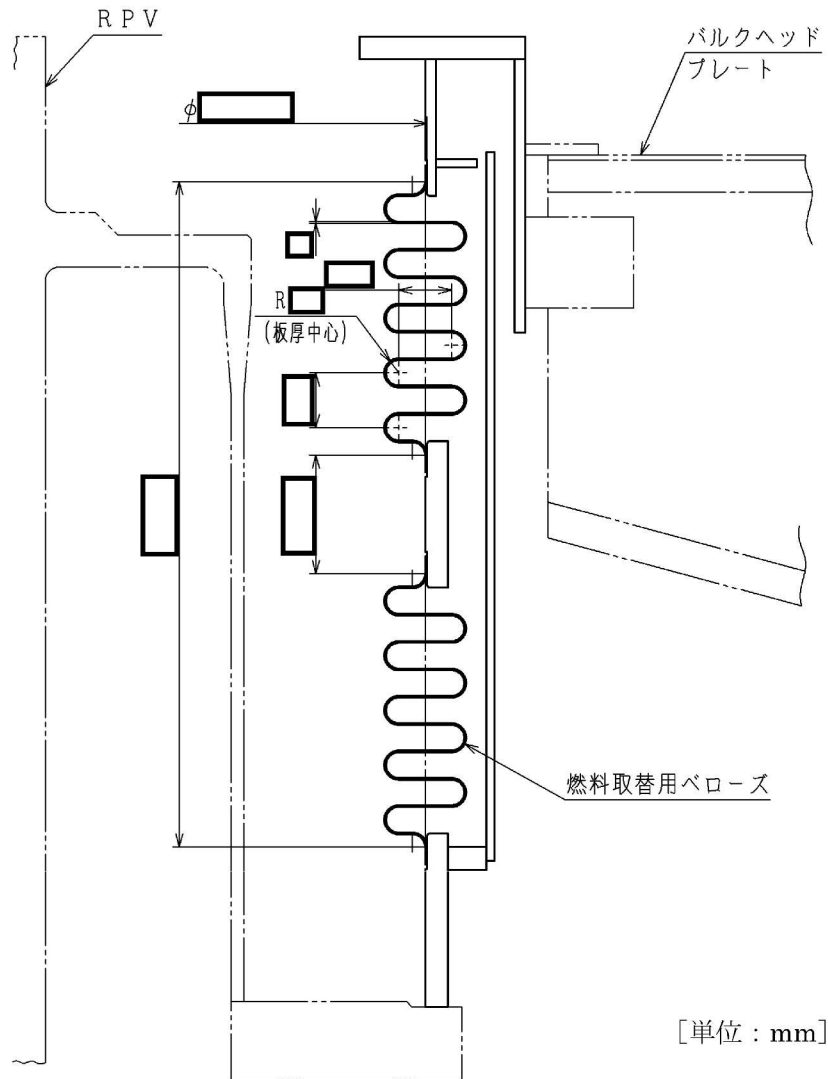


図 1.2.4-10 燃料取替用ベローズの構造概要



b. 燃料取替用ベローズのばね定数算定方法

燃料取替用ベローズのばね定数 $K_4$ は、文献より導出される計算式の組合せでばね定数を算定する。

(a) 1山あたりの鉛直方向ばね定数<sup>[2]</sup>： $K_V$

$$K_V = \frac{E \cdot \pi \cdot D_m \cdot t^3}{24 \cdot \left\{ \frac{a^3}{12} + \frac{\pi}{4} \cdot a^2 \cdot r + 2 \cdot a \cdot r^2 + \frac{\pi}{2} \cdot r^3 \right\}}$$

(b) 水平方向変位 1mm (単位長さ) に対する鉛直方向変位<sup>[3]</sup>： $\delta_y$

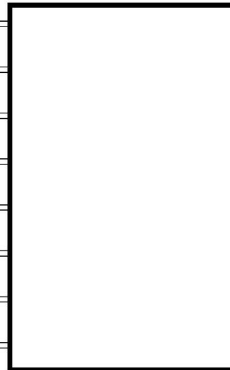
$$\delta_y = \frac{3 \cdot D_m}{2 \cdot N \cdot \left\{ L + 1 \cdot \left( \frac{1}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 径方向ばね定数<sup>[4]</sup>： $K_4$

$$K_4 = \frac{K_V \cdot D_m \cdot \delta_y}{2 \cdot L}$$

ここで、

E : ベローズの縦弾性係数  
 $D_m$  : ベローズ平均半径  
L : ベローズ長さ  
t : ベローズ板厚  
a : 円板部の厚さ  
r : 山・谷の半径  
l : 中間長さ  
N : 山の個数



- c. 燃料取替用ベローズのばね定数算定結果  
燃料取替用ベローズのばね定数の算定結果を表 1.2.4-5 に示す。

表 1.2.4-5 燃料取替用ベローズのばね定数

部位	記号	ばね定数
燃料取替用ベローズ	K <sub>4</sub>	

(5) 原子炉圧力容器スタビライザ： $K_5$

a. 原子炉圧力容器スタビライザの構造

原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPVスタビライザ」という。）は、原子炉遮蔽壁頂部に円周状に8箇所設置され、原子炉圧力容器附属構造物であるスタビライザブラケットを、あらかじめ初期締付荷重を与えた2組のさらばねを介して両側から挟み込む構造であり、原子炉圧力容器と原子炉遮蔽壁との水平方向地震荷重を伝達する。

RPVスタビライザの構造概要を図1.2.4-11に示す。

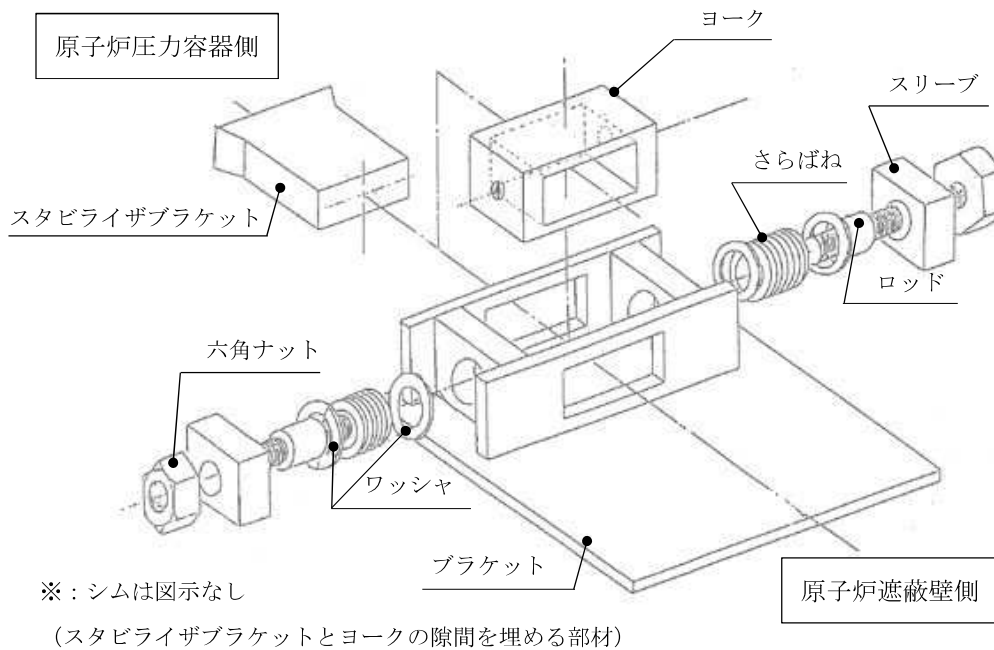


図1.2.4-11 R P Vスタビライザの構造概要

b. R P Vスタビライザのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

RPVスタビライザのばね定数 $K_5$ は、RPVスタビライザの構成部材のうち、スタビライザブラケットからの水平方向荷重に対して寄与する部材を対象とし、これらの構成要素のばね定数を並列及び直列に組み合わせて算定する。なお、RPVスタビライザの構成部材のうち、ヨークは、引張側と圧縮側でそれぞれの値を考慮する。

図1.2.4-12に全体ばねの模式図を示す。

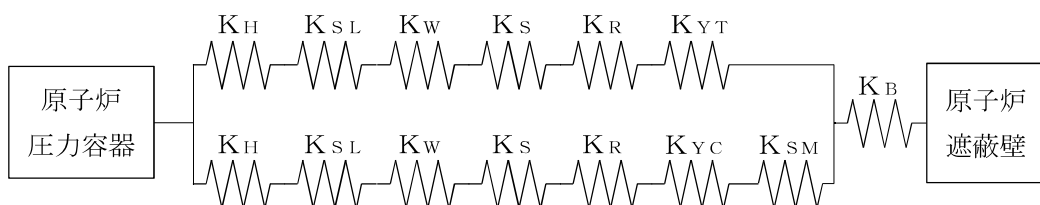


図1.2.4-12 全体ばねの模式図

R P Vスタビライザ 1 基あたりのばね定数をKとすると、Kは次式により算定される。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_{YT}}} + \frac{1}{\frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_{YC}} + \frac{1}{K_{SM}}} + \frac{1}{K_B}}$$

R P Vスタビライザ 8 基分の全体でのばね定数 $K_5$ は、1 基あたりのばね定数Kより、荷重—変位の関係から算定する。図 1. 2. 4—12 に示すとおりR P Vスタビライザに強制変位  $x$  を負荷した場合に強制変位と同じ方向に生じる全体荷重 $W$ を算出する。 $90^\circ$  及び  $270^\circ$  の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる荷重を $W_1$ 、 $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$  及び  $315^\circ$  の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる荷重を $W_2'$  とし、荷重 $W_2'$  の強制変位  $x$  と同じ方向の分力を $W_2$  とする。強制変位  $x$  を負荷したときの  $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$  及び  $315^\circ$  の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる接線方向の変位は  $x \cdot \cos \alpha$  であることから、荷重 $W_2'$  は以下のとおりとなる。

$$W_2' = K \cdot x \cdot \cos \alpha$$

図 1. 2. 4—13 内の拡大図の関係から強制変位  $x$  と同じ方向の分力 $W_2$  は以下のとおりとなる。

$$W_2 = W_2' \cdot \cos \alpha = K \cdot x \cdot \cos^2 \alpha$$

したがって、F P Vスタビライザ 8 基（全体）のばね定数Kは以下の通りとなる。

$$W = 2 \cdot W_1 + 4 \cdot W_2 = 2 \cdot (K \cdot x) + 4 \cdot (K \cdot x \cdot \cos^2 \alpha) = 4 \cdot K \cdot x$$

$$K_5 = \frac{W}{x} = 4 \cdot K$$

ここで、

- $K_S$  : さらばねのばね定数
- $K_W$  : ワッシャのばね定数
- $K_H$  : 六角ナットのばね定数
- $K_{SL}$  : スリーブのばね定数
- $K_R$  : ロッドのばね定数
- $K_{SM}$  : シムのばね定数
- $K_{YT}$  : ヨークの引張方向ばね定数
- $K_{YC}$  : ヨークの圧縮方向ばね定数
- $K_B$  : ブラケットのばね定数

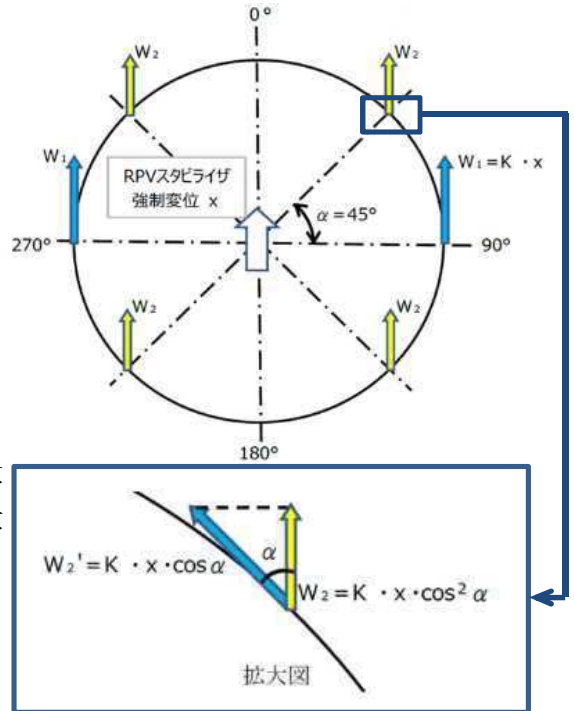


図 1. 2. 4—13 水平荷重の分配

(b) 評価部材のばね定数算定方法

イ. さらばね  $K_S$

さらばねのばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_S = n \cdot K_{S1}$$

ここで、

$K_{S1}$  : 一枚あたりのばね定数 =  (t/mm)

$n$  : さらばねの積層枚数 =  (-)

ロ. ワッシャ  $K_W$

ワッシャの軸方向ばね定数は、以下の式に基づき算定する。

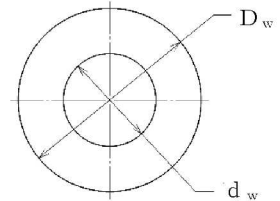
$$K_W = \frac{A_W \cdot E}{L_W}$$

ここで、

$A_W$  : 断面積 =  $\frac{\pi \cdot (D_w^2 - d_w^2)}{4} =$   (mm<sup>2</sup>)

$L_W$  : 板厚 (2枚分) =  (mm)

$E$  : 縦弾性係数 =  (kg/mm<sup>2</sup>)



$D_w =$   mm

$d_w =$   mm

$t =$   mm

ハ. 六角ナット  $K_H$

六角ナット (M100, L=80) のばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_H = \frac{A_H \cdot G_H}{R_H}$$

ここで、

$A_H$  : ねじ穴側面積 =  $2\pi \cdot R_H \cdot L =$   (mm<sup>2</sup>)

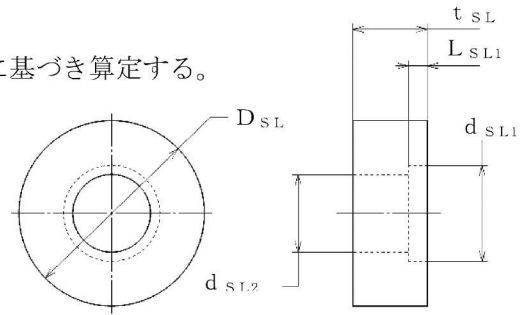
$R_H$  : 穴の半径 =  (mm)

$G_H$  : せん断弾性係数 =  (kg/mm<sup>2</sup>)

ニ. スリーブ  $K_{SL}$

スリーブのばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_{SL} = \frac{E}{\frac{L_{SL1}}{A_{SL1}} + \frac{L_{SL2}}{A_{SL2}}}$$



ここで、

$A_{SL1}$  : 座繰り穴側の断面積

$$= \frac{\pi \cdot (D_{SL}^2 - d_{SL1}^2)}{4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

[単位 : mm]

$D_{SL} = \boxed{\phantom{000}}$

$d_{SL1} = \boxed{\phantom{000}}$

$d_{SL2} = \boxed{\phantom{000}}$

$t_{SL} = \boxed{\phantom{000}}$

$L_{SL1} = \boxed{\phantom{000}}$

$A_{SL2}$  : ねじ穴側の断面積

$$= \frac{\pi \cdot (D_{SL}^2 - d_{SL2}^2)}{4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$L_{SL1}$  : 座繰り穴深さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$L_{SL2}$  : ねじ穴深さ

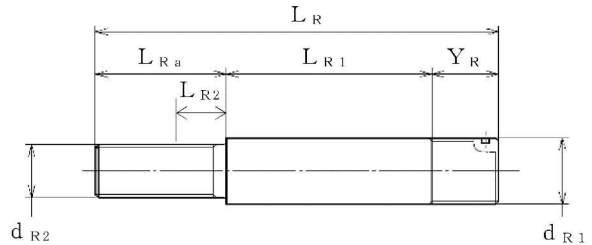
$$= t_{SL} - L_{SL1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

$E$  : 縦弾性係数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

ホ. ロッド  $K_R$

ロッドのばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_R = \frac{E}{\frac{L_{R1}}{A_{R1}} + \frac{L_{R2}}{A_{R2}}}$$



ここで、

$A_{R1}$  : 丸棒部断面積

$$= \frac{\pi \cdot d_{R1}^2}{4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

[単位 : mm]

$L_R = \boxed{\phantom{000}}$

$L_{Ra} = \boxed{\phantom{000}}$

$Y_R = \boxed{\phantom{000}}$

$d_{R1} = \boxed{\phantom{000}}$

$d_{R2} = \boxed{\phantom{000}}$

$A_{R2}$  : ねじ部断面積

$$= \frac{\pi \cdot d_{R2}^2}{4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$L_{R1}$  : 丸棒部長さ

$$= L_R - (L_{Ra} + Y_R) = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

$L_{R2}$  : 丸棒部先端からスリーブの六角ナット側端面の距離 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$E$  : 縦弾性係数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

へ. シム  $K_{SM}$

シムのばね定数は、以下の式に基づき算定する。

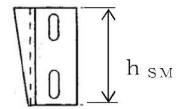
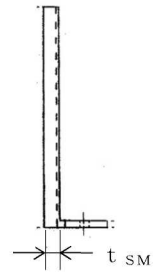
$$K_{SM} = \frac{A_{SM} \cdot E}{t_{SM}}$$

$h_{SM} = \square \text{ mm}$

$t_{SM} = \square \text{ mm}$

シムとヨークの

接触長さ =  $\square \text{ mm}$



ここで、

$A_{SM}$  : 断面積

=  $\square \cdot h_{SM} = \square \text{ (mm}^2\text{)}$

$t_{SM}$  : 厚さ =  $\square \text{ (mm)}$

$E$  : 縦弾性係数 =  $\square \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

ト. ヨーク (引張方向)  $K_{YT}$

ヨーク (引張方向) のばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_{YT} = \frac{1}{\frac{1}{K_{YS1}} + \frac{1}{K_{YTE}} + \frac{1}{K_{YB}} + \frac{1}{K_{YS2}}}$$

ここで、

①~④ : 図 1.2.4-14 に示すヨークのばね定数算定のための計算モデル分割による。

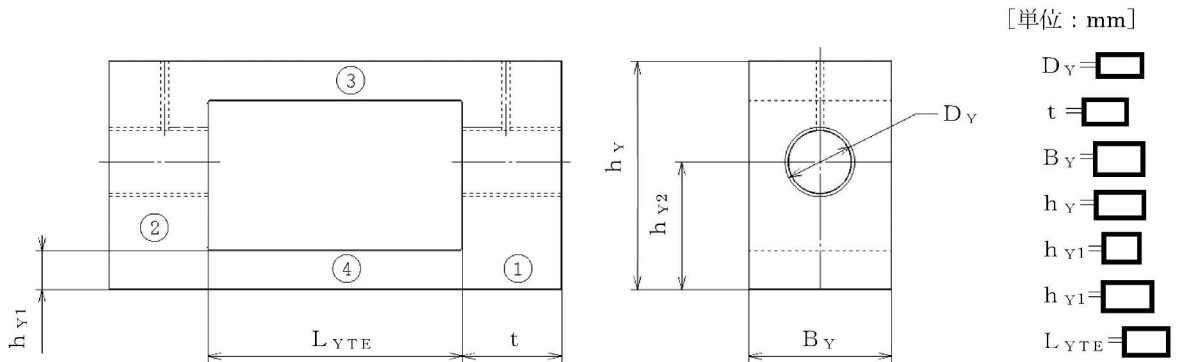


図 1.2-14 ヨークのばね定数算定のための計算モデル

$K_{YS1}$  : ①及び②ねじ部のせん断によるばね定数

$$= \frac{A_{YS1} \cdot G_Y}{R_Y} = \square \text{ (kg/mm)}$$

$A_{YS1}$  : ①及び②のねじ穴側面積

$$= 2\pi \cdot R_Y \cdot Y_R = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$R_Y$  : ねじ穴半径

$$= \frac{D_Y}{2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

$G_Y$  : せん断弾性係数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

$K_{YTE}$  : ③及び④の引張りによるばね定数

$$= \frac{A_{YTE} \cdot E}{L_{YTE}} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (kg/mm)}$$

$A_{YTE}$  : ③及び④の断面積

$$= 2 \cdot h_{Y1} \cdot B_Y = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$L_{YTE}$  : ③及び④の長さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$K_{YB}$  : ①及び②の曲げによるばね定数

$$= \frac{6E \cdot I \cdot c}{\frac{c}{l'} \cdot \left(a + \frac{c}{2}\right) \cdot \left(e + \frac{c}{2}\right) \cdot \left\{ \left(a + \frac{c}{2}\right) \left(l' + e + \frac{c}{2}\right) - \frac{c^2}{4} - \left(a + \frac{c}{2}\right)^2 \right\} + \frac{(c/2)^4}{4}}$$
$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (kg/mm)}$$

$I$  : 断面二次モーメント =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm<sup>4</sup>)

$E$  : 縦弾性係数 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

$K_{YS2}$  : ①及び②板部のせん断によるばね定数

$$= \frac{l' \cdot G_Y \cdot l \cdot t}{1.2 \cdot d \cdot (a + c/2)} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (kg/mm)}$$

なお、以下の各記号は図 1.2.4-15 に示す①及び②の曲げによるばね定数計算モデルによる。

$a$  : 支持端から分布荷重作用範囲の内、支持端から近い端点の距離

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

$b$  : 支持端から分布荷重作用範囲の内、支持端から遠い端点の距離

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

$c$  : 分布荷重作用範囲 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$d$  : 分布荷重作用範囲中央から支持端 (他端) の距離 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$e$  : 支持端 (他端) から分布荷重作用範囲の内、支持端 (他端) から近い端点の距離 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$l$  : ①及び②板部の幅 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$l'$  : 支持端間の距離 =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$t$  : ①及び②板部の厚さ =  $\boxed{\phantom{000}}$  (mm)

$R_i$  : 支持端に作用する反力 =  $\frac{d \cdot w \cdot c}{l}$

$w$  : ヨークに作用する分布荷重



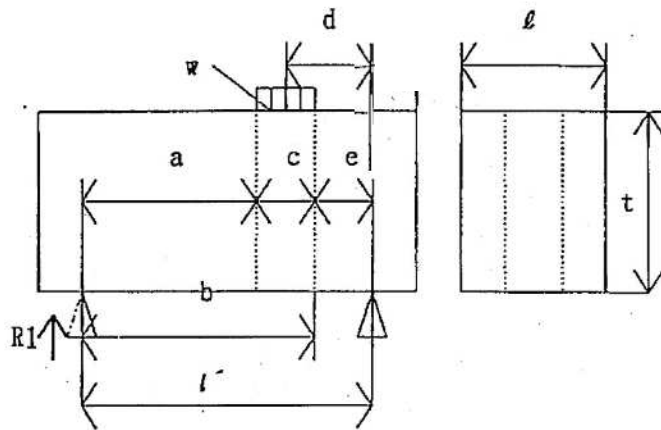


図 1.2.4-15 ①及び②の曲げによるばね定数計算モデル

チ. ヨーク (圧縮方向)  $K_{YC}$

ヨーク (圧縮方向) ばね定数は、以下の式に基づき算定する。

$$K_{YC} = K_{YS1}$$

リ. ブラケット  $K_B$

ブラケットばね定数  $K_B$  は、GE の先行プラント共通の実績値を用いる。

c. R P Vスタビライザのばね定数算定結果

以上より算定した構成部材，R P Vスタビライザ 1 基及び全体のばね定数の算定結果を表 1. 2. 4-6 に示す。

表 1. 2. 4-6 R P Vスタビライザのばね定数

	記号	ばね定数
さらばねのばね定数	$K_S$	
ワッシャのばね定数	$K_W$	
六角ナットのばね定数	$K_H$	
スリーブのばね定数	$K_{SL}$	
ロッドのばね定数	$K_R$	
シムのばね定数	$K_{SM}$	
ヨークの引張方向ばね定数	$K_{YT}$	
ヨークの圧縮方向ばね定数	$K_{YC}$	
ブラケットのばね定数	$K_B$	
R P Vスタビライザ 1 基分のばね定数	$K$	
R P Vスタビライザ全体のばね定数	$K_5$	

(6) ダイヤフラムフロア : K<sub>6</sub>

a. ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは、軸対称形状の円環平板の鉄筋コンクリートスラブ構造物である。円環内周端は原子炉本体基礎にシアプレート及び頭付きスタッドを介して結合支持され、円環外周端はシアプレートを通じて原子炉格納容器に荷重を伝える構造になっている。なお、円環外周端にはカプラーが設けられ、ダイヤフラムフロアと原子炉格納容器の鉄筋が接続されている。

ダイヤフラムフロアの構造概要を図 1.2.4-16 に示す。

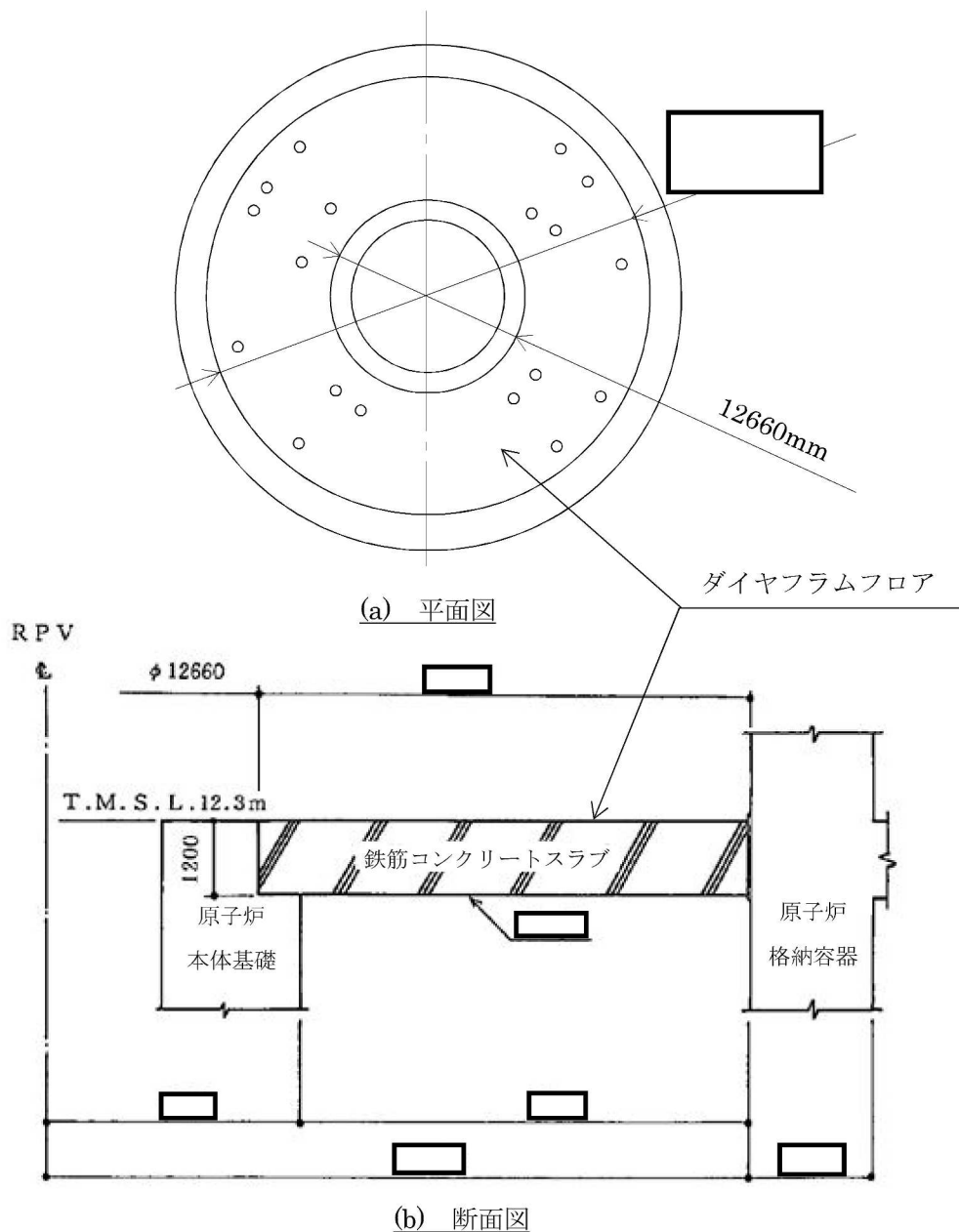
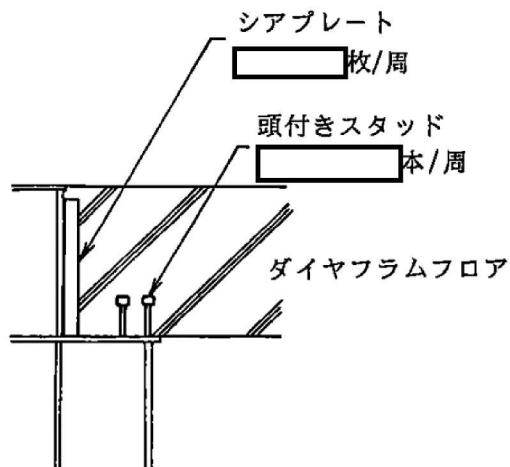
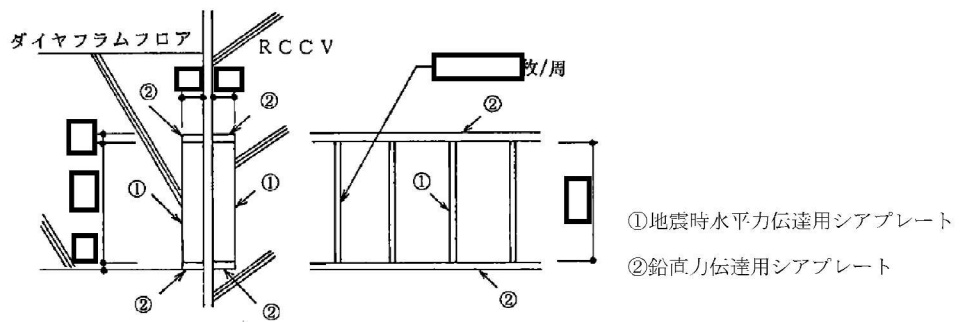


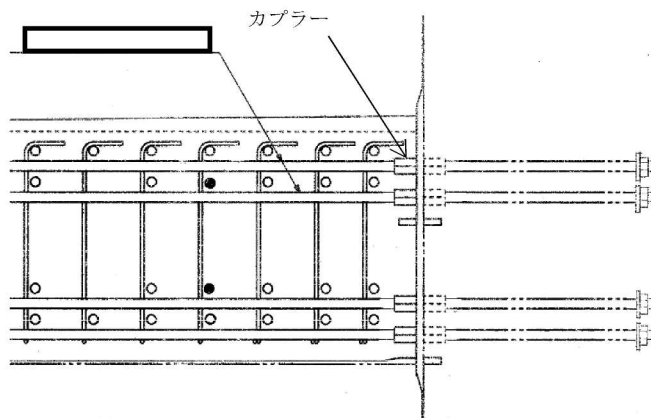
図 1.2.4-16 (1) ダイヤフラムフロアの構造概要



(c) 原子炉本体基礎側詳細図



(d) 原子炉格納容器側詳細図



(e) 原子炉格納容器側配筋図

図 1.2.4-16 (2) ダイヤフラムフロアの構造概要

b. ダイヤフラムフロアのばね定数算定方法

ダイヤフラムフロアのばね定数 $K_6$ は、FEM 解析により算定する。具体的には、原子炉本体基礎側に一様の強制変位を与えた際の反力の合計を最大変位量で除することにより算定する。

c. 計算方法

計算機コード「NASTRAN」により、各部材ごとに断面積，断面二次モーメント，重量等を与えるシェル要素モデルで解析する。

d. 計算条件

(a) 解析モデル

ダイヤフラムフロアの解析モデルは対称性を考慮した  $180^\circ$  対称モデルとしている。ダイヤフラムフロアの解析モデルを図 1.2.4-17 に示す。

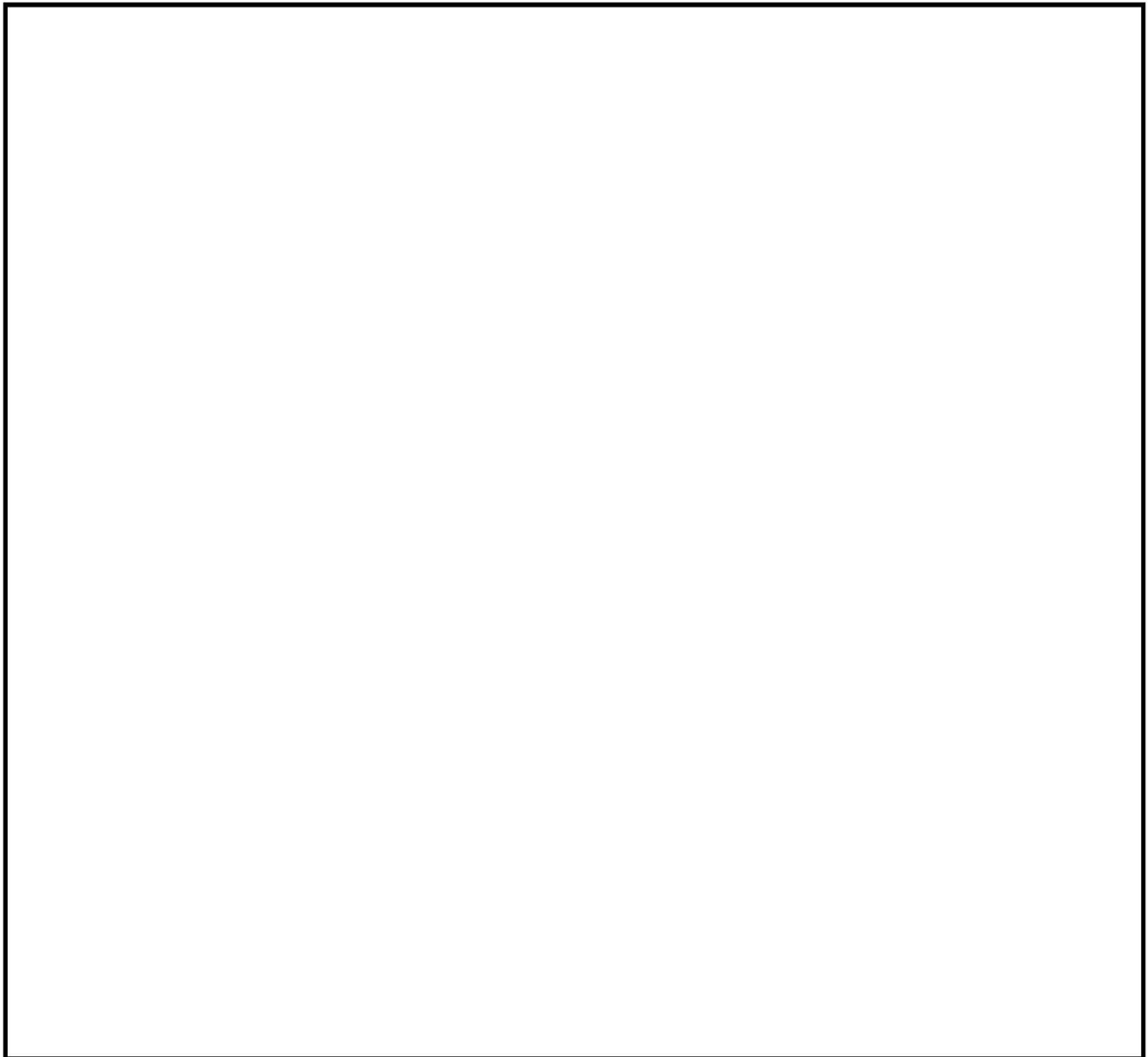


図 1.2.4-17 ダイヤフラムフロア解析モデル図

(b) 各構成部材の材料物性

解析に用いる材料物性を以下に示す。

縦弾性係数  $E = \boxed{\phantom{000000}}$  kg/mm<sup>2</sup>, ポアソン比  $\nu = \boxed{\phantom{000000}}$

(c) 条件

ダイヤフラムフロア内面である原子炉本体基礎側に一様の強制変位を与える。

(d) 境界条件

ダイヤフラムフロア外面である原子炉格納容器側を固定とする。

e. ダイヤフラムフロアのばね定数算定結果

強制変位を負荷した際の変形図を図 1.2.4-18 に、ばね定数の算定結果を表 1.2.4-7 に示す。

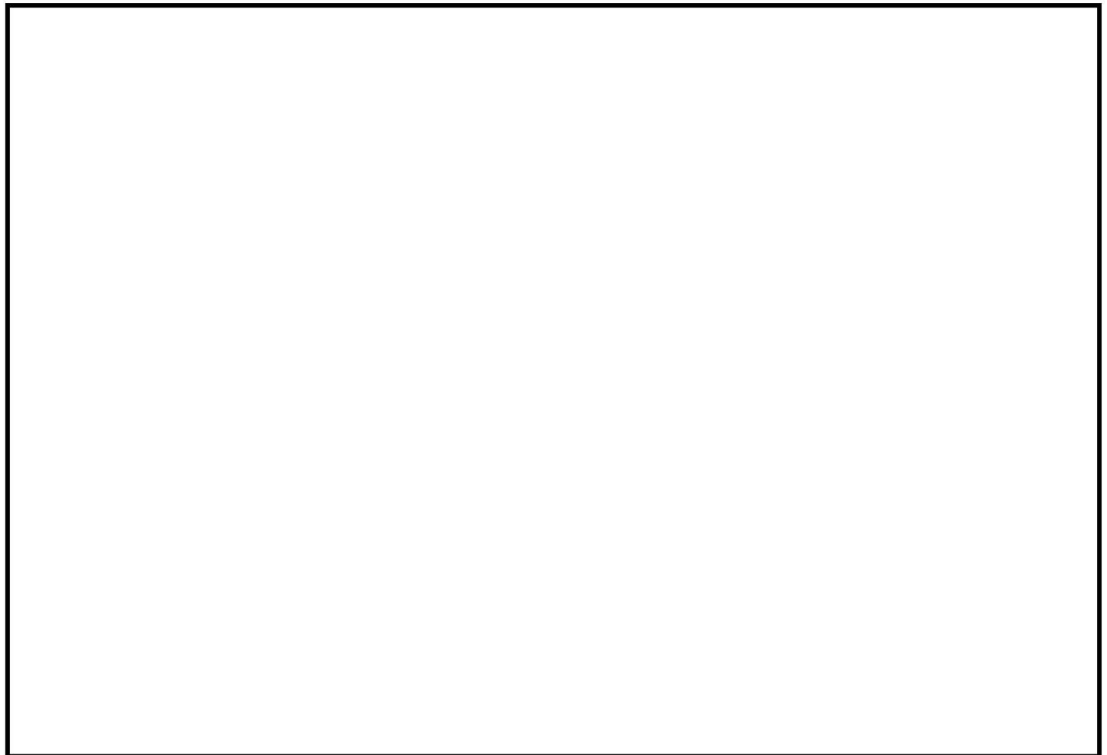


図 1.2.4-18 ダイヤフラムフロアの変形図

表 1.2.4-7 ダイヤフラムフロアのばね定数

反力の合計 $\Sigma R_x$	最大変位量 $\delta$	ばね定数 $K_6$
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 40px;"></div>		

参考文献

- [1] : Roark 「FORMURAS OF STRESS AND STRAIN, 4th edition」 Table X No.20
- [2] : 配管技術(1967)
- [3] : The M.W.Kellogg Co. 「Design of Piping System」
- [4] : Expansion Joint Manufacturers Association 「STANDARD OF THE EXPANSION JOINT MANUFACTURERS ASSOCIATION, 5th edition」 Table III