

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0082_改1
提出年月日	2021年10月12日

VI-2-4-2-5 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書

2021年10月  
東北電力株式会社

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	15
4.5	設計用地震力	17
4.6	計算方法	18
4.6.1	基礎ボルトの応力の計算方法	18
4.6.2	検出器架台の応力の算出	20
4.6.3	保護管の応力の算出	21
4.6.4	ワーキングテーブルラグの応力の計算方法	22
4.6.5	スロッシングにおける応力の算出	23
4.7	計算条件	24
4.8	応力の評価	24
4.8.1	基礎ボルトの応力評価	24
4.8.2	検出器架台の応力評価	24
4.8.3	保護管の応力評価	25
4.8.4	ワーキングテーブルラグの応力評価	25
5.	機能維持評価	26
5.1	電氣的機能維持評価方法	26
6.	評価結果	27
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	27

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、検出器架台、保護管、熱電対で構成される。熱電対は保護管内に 15 個内蔵され、保護管は、検出器架台とフランジにて接続する。</p> <p>また、保護管は保護管サポートに固定され、保護管サポートに<b>接続されているシャフト</b>をワーキングテーブルラグに<b>引掛けて</b>設置する。</p> <p>検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは基礎ボルトにより床面に設置する。</p>	<p>熱電対 (床に設置された検出器架台及び壁に設置されたワーキングテーブルラグに、保護管に内蔵された検出器をフランジ及び保護管サポートにて固定する構造)</p>	<p>【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）】</p> <p>The diagram shows three views of the detector assembly:         <ul style="list-style-type: none"> <li><b>正面 (Front View):</b> Shows the detector assembly with a width of 890 mm and a height of 750 mm. It includes labels for the flange (フランジ), bed surface (床面), protection pipe (保護管), protection pipe support (保護管サポート), and thermocouple (熱電対).</li> <li><b>側面 (Side View):</b> Shows the assembly mounted on a wall (壁) with a total height of 8229 mm. It includes labels for the door-type support (門型支持サポート), mounting bolts (取付ボルト), foundation bolts (基礎ボルト), detector frame (検出器架台), working table lag (ワーキングテーブルラグ), and shaft (シャフト).</li> <li><b>上面 (Top View):</b> Shows the base plate (ベースプレート) with dimensions 480 mm, 406 mm, 580 mm, 490 mm, 445 mm, and 425 mm. It also shows the foundation bolts (基礎ボルト) and their metal anchors (メタルアンカ).</li> </ul> </p> <p>(単位：mm)</p>

## 2.2 評価方針

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

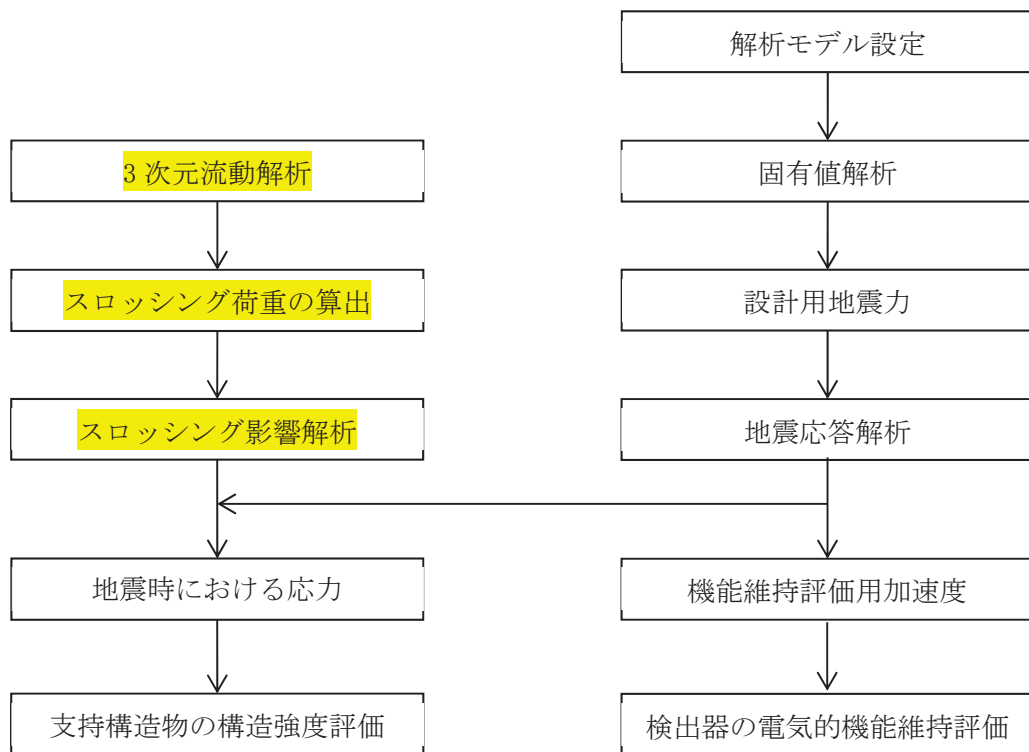


図 2-1 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
<b>A</b>	スロッシングにおける保護管の投影面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub>	検出器架台の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>w</sub>	ワーキングテーブルラグ下端の断面積	mm <sup>2</sup>
<b>C<sub>d</sub></b>	保護管の抗力係数	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d <sub>o</sub>	保護管外径	mm
d <sub>i</sub>	保護管内径	mm
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
<b>F<sub>b</sub></b>	基礎ボルトに作用する引張力	<b>N</b>
<b>F<sub>s</sub></b>	スロッシングにより保護管に生じる抗力	<b>N</b>
F <sub>x</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたX軸方向に作用する力	N
F <sub>y</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたY軸方向に作用する力	N
F <sub>z</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたZ軸方向に作用する力	N
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t</sub>	許容組合せ応力	MPa
h	ワーキングテーブルラグ下端断面の応力計算に用いる距離	mm
h <sub>1</sub>	ボルトの応力計算に用いる距離 (X軸方向)	mm
h <sub>2</sub>	ボルトの応力計算に用いる距離 (Y軸方向)	mm
l <sub>p</sub>	保護管長さ	mm
m <sub>p</sub>	質量	kg
m <sub>w1</sub>	保護管内包水質量	kg
m <sub>w2</sub>	保護管付加質量	kg
M <sub>x</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたX軸方向に作用するモーメント	N・mm
M <sub>y</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたY軸方向に作用するモーメント	N・mm
M <sub>z</sub>	地震応答解析による応力解析にて求められたZ軸方向に作用するモーメント	N・mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
n	基礎ボルトの本数	—
$n_x$	$M_x$ の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
$n_y$	$M_y$ の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
$n_z$	$M_z$ の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$V$	スロッシングによる流速	m/s
W	荷重	N
$Z_1$	弱軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_2$	強軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{p1}$	ねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	ワーキングテーブルラグ下端断面係数	mm <sup>3</sup>
$\rho$	水の密度	Kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_t$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_k$	組合せ応力	MPa



## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、ワーキングテーブルラグに加え、主要部位となる検出器架台、保護管について評価を実施する。使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) スロッシングは、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）に対して水平方向から作用するものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料プール 水位／温度 (ヒートサーモ式)	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界を用いる。)

注記\*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

\*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)
	一次応力		一次応力
	引張り	せん断	引張り
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)			

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	100	212	373	—
検出器架台	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205
保護管	SUS316TP	周囲環境温度	100	176	476	205
ワーキング テーブルラグ	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205

#### 4.3 解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の概要図及び解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計画書の【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）(G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 解析モデルは、はり要素及び集中質量要素からなる三次元モデルで構築する。
- (2) 使用済燃料プール内の水位温度計は 4 箇所のワーキングテーブルラグで支持される。ワーキングテーブルラグは X 軸をシャフトにより、Z 軸をシャフトの両端から挟み込んでいる保護管サポートにより固定されるため、水平 2 方向（X 軸 Z 軸）を拘束する。
- (3) 基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の質量には、検出器架台や保護管、熱電対の質量のほか、円柱形状の保護管に含まれる水の質量及び検出器周囲の排除水質量を考慮する。
- (5) 検出器周囲の流体のスロッシング荷重は各質点に付加する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

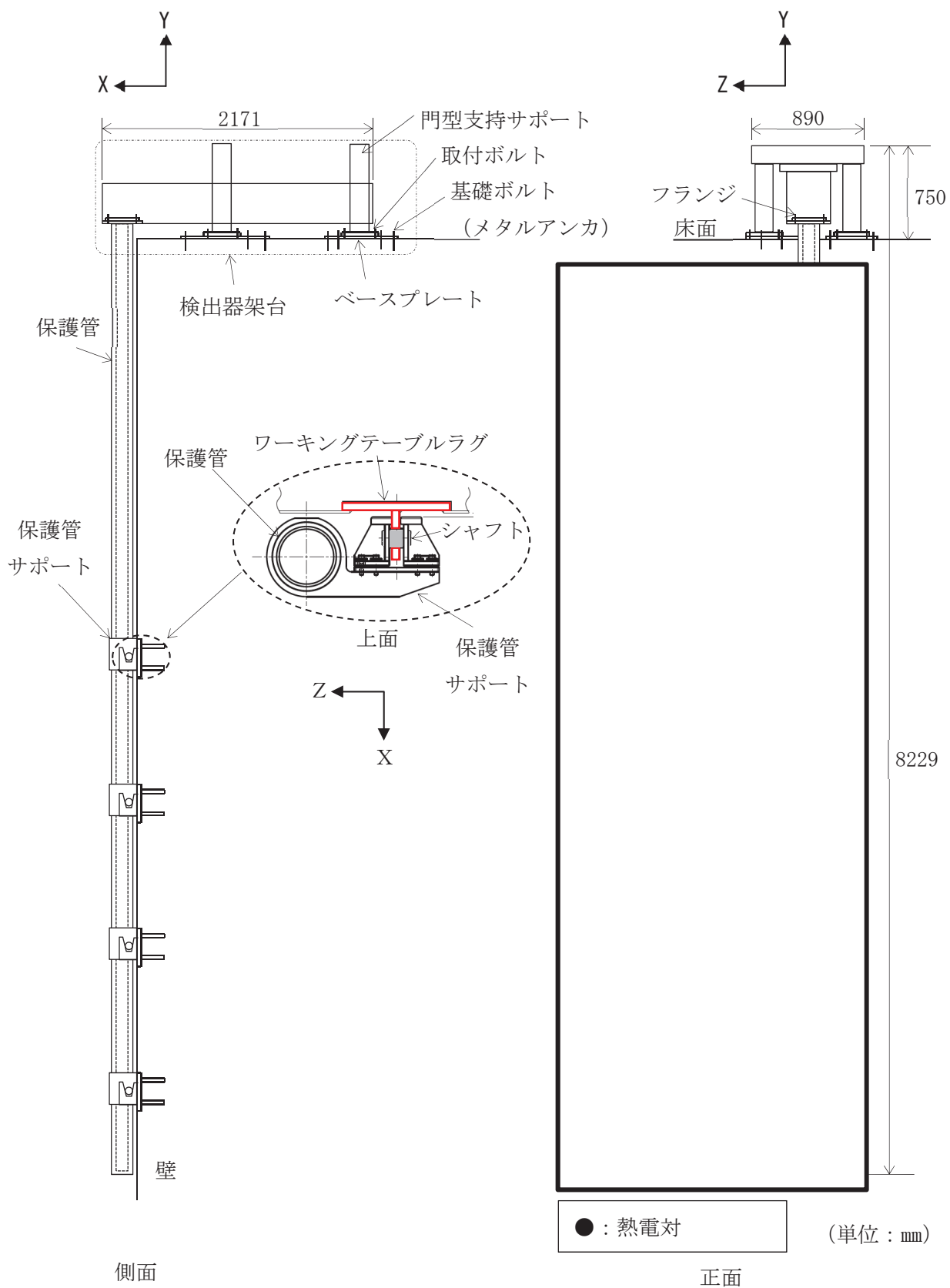


図 4-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

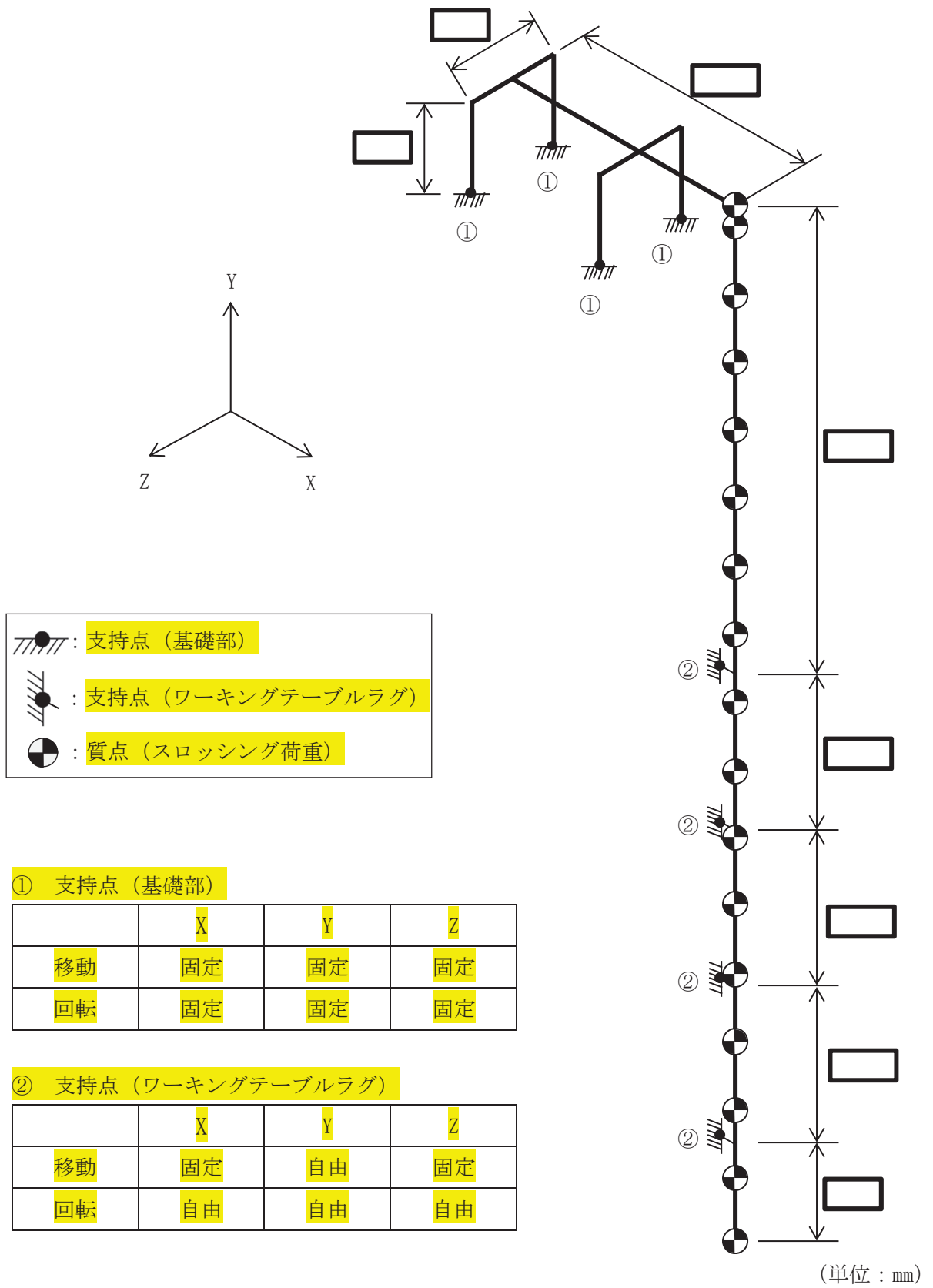


図 4-2 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 4.4 固有周期

固有値解析結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
2 次	鉛直方向		■	■	■

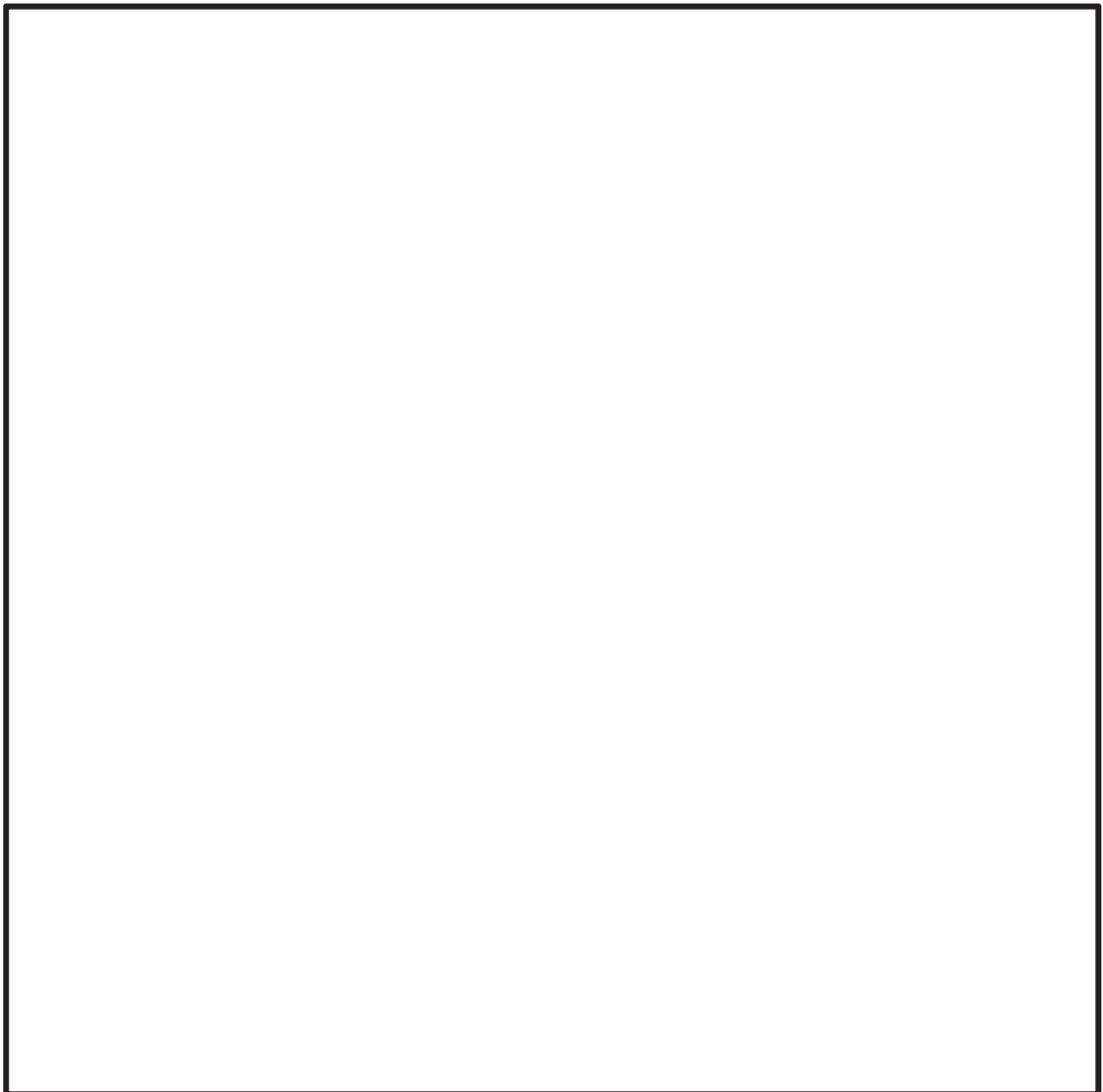


図 4-3 振動モード図 (1 次モード 水平方向 [ ] s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

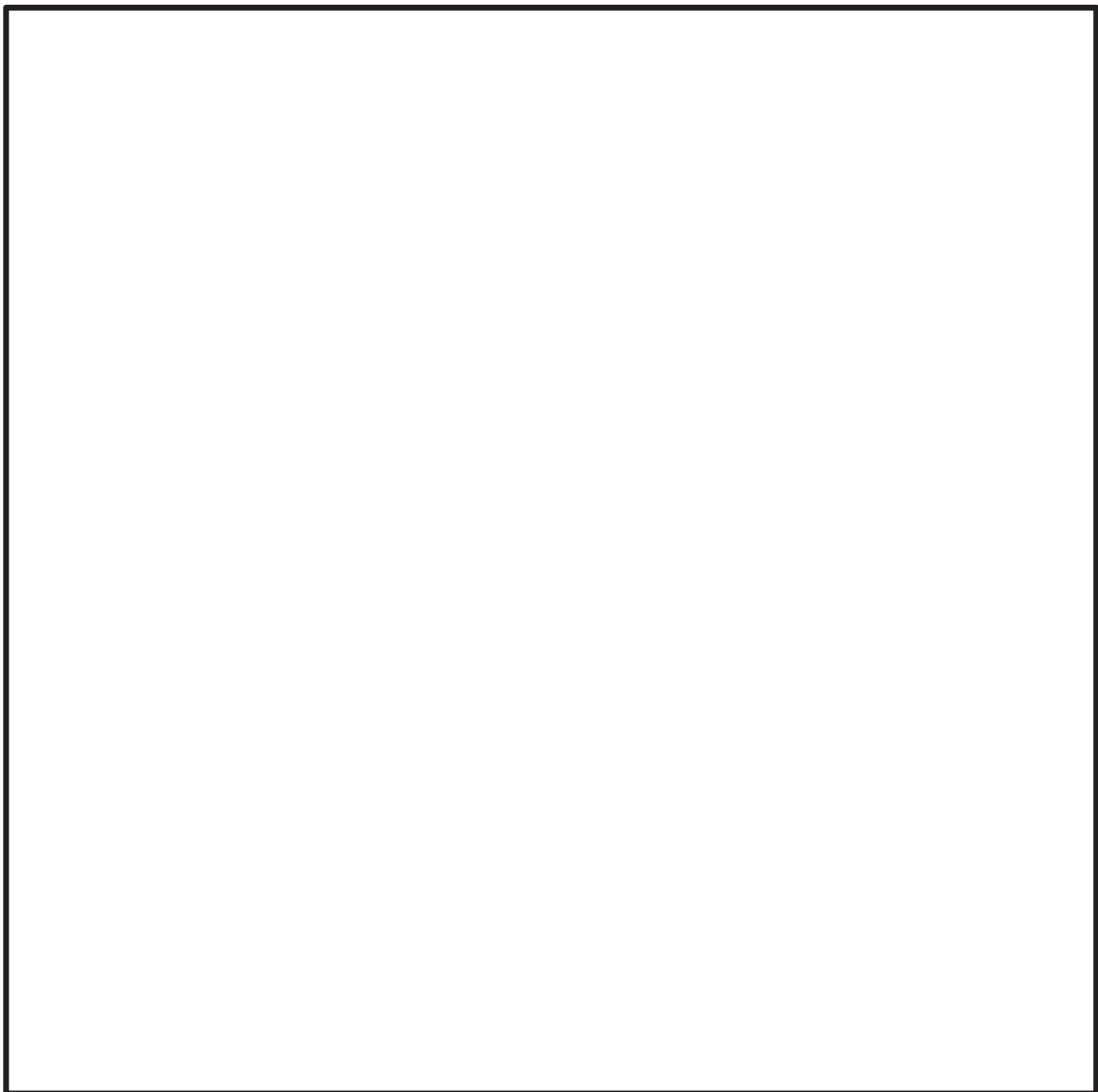


図 4-4 振動モード図 (2 次モード 鉛直方向   s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20 <sup>*1</sup>			—	—	$C_H=2.65$	$C_V=1.77$

注記 \*1：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 基礎ボルトの応力の計算方法

図 4-2 に示す解析モデルによる地震応答解析及びスロッシング影響解析からベースプレート下部の各軸方向に作用する荷重を算出し、その結果を用いて理論式にて基礎ボルトの応力を評価する。

なお、基礎ボルトの評価は、応力の裕度が厳しい条件となるベースプレートを代表として評価する。

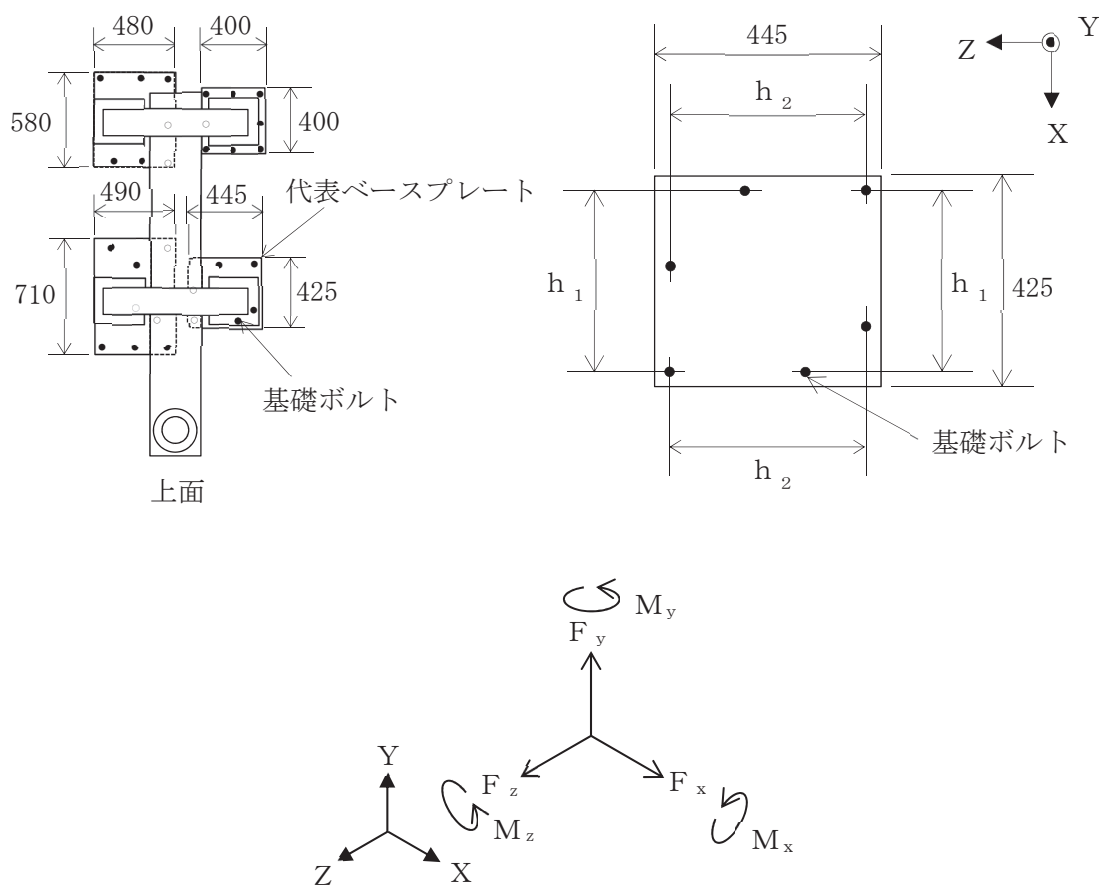


図 4-5 計算モデル図

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られた基礎ボルトの評価用の反力とモーメントを表 4-6 に示す。

表4-6 基礎ボルト評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
基礎 ボルト	地震力						
	地震力及び スロッシング						

(1) 引張応力

計算モデル図 4-5 に対する引張力は，F<sub>y</sub> に対しては n 本，M<sub>x</sub> に対しては n<sub>x</sub> 本、M<sub>z</sub> に対しては n<sub>z</sub> 本で受けるものとし計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{(n_x \cdot h_2)} + \frac{M_z}{(n_z \cdot h_1)} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2)$$

ここでボルト断面積 A は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

せん断力

基礎ボルトに対するせん断力は，F<sub>x</sub> および F<sub>z</sub> に対しては n 本，M<sub>y</sub> に対しては n<sub>y</sub> 本で受けるものとし計算する。

$$Q_b = \sqrt{\left(\frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{(n_y \cdot h_1)}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{(n_y \cdot h_1)}\right)^2} \dots \dots \dots (4.6.1.4)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.6.1.5)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.2 検出器架台の応力の算出

図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析及びスロッシング影響解析を実施し、各軸方向に作用する荷重を算出し、その結果を用いて検出器架台に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-8 に示す。

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られた検出器架台の評価用の反力とモーメントを表 4-7 に示す。

表 4-7 検出器架台評価用反力，モーメント

対象部位	ケース	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
検出器架台	地震力						
	地震力及びスロッシング						

表 4-8 検出器架台の組合せ応力

組合せ応力 $\sigma_k$ (MPa)	スロッシングを考慮した組合せ応力 $\sigma_k$ (MPa)
15	17

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.3 保護管の応力の算出

図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析及びスロッシング影響解析を実施し、各軸方向に作用する荷重を算出し、その結果を用いて保護管に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-10 に示す。

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られた保護管の評価用の反力とモーメントを表 4-9 に示す。

表 4-9 保護管評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
保護管	地震力						
	地震力及びスロッシング						

表 4-10 保護管の組合せ応力

組合せ応力 $\sigma_k$ (MPa)	スロッシングを考慮した 組合せ応力 $\sigma_k$ (MPa)
38	49

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.4 ワーキングテーブルラグの応力の計算方法

図 4-2 に示す解析モデルによる地震応答解析及びスロッシング影響解析からワーキングテーブルラグ節点の各軸方向に作用する荷重を算出し、その結果を用いて理論式にてワーキングテーブルラグの応力を評価する。

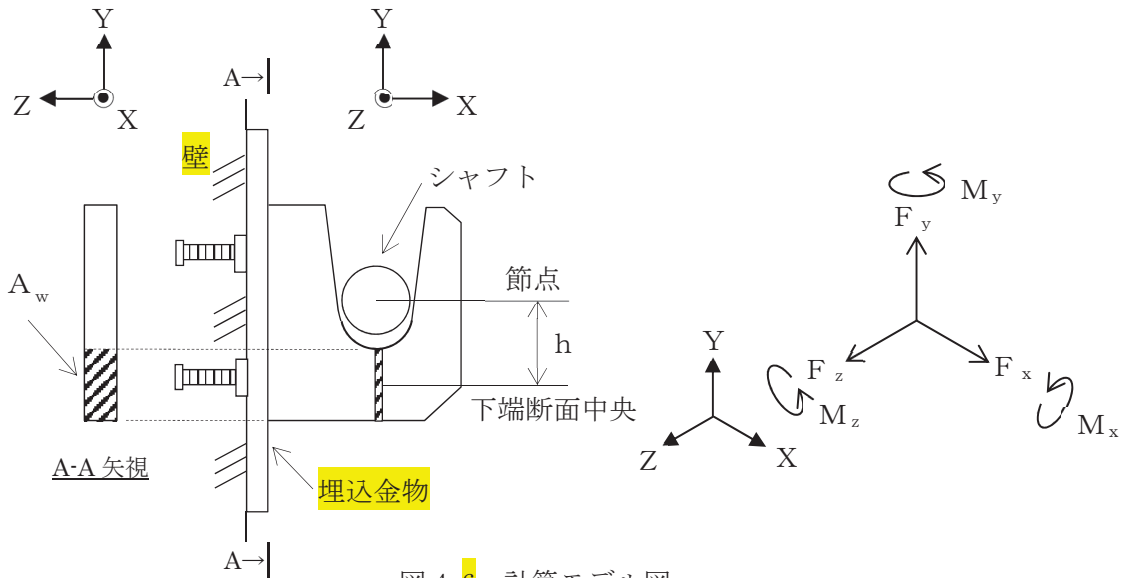


図 4-6 計算モデル図

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られたワーキングテーブルラグ節点の評価用の反力とモーメントを表 4-11 示す。

表 4-11 ワーキングテーブルラグ評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
ワーキ ングテ ーブル ラグ	地震力						
	地震力及び スロッシング						

(1) 組合せ応力

計算モデル図 4-6 の場合は、次式にて求める。

$$\sigma_k = \frac{F_x}{A_w} + \frac{F_x \cdot h}{Z_z} \dots \dots \dots (4.6.4.1)$$

ここで、A<sub>w</sub>はワーキングテーブルラグの下端断面積、Z<sub>z</sub>はワーキングテーブルラグ下端断面係数を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 4.6.5 スロッシングにおける応力の算出

表 4-6, 表 4-7, 表 4-9 及び表 4-11 における, 使用済燃料プール水位/温度 (ヒートサーモ式) に対するスロッシングを考慮した応力の算出について以下に示す。

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては, 添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動  $S_s$  による使用済燃料プールの3次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データを用いて使用済燃料プール水位/温度 (ヒートサーモ式) の保護管に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い, 抗力係数  $C_d$  は機械工学便覧 日本機械学会編 (2007) より, 保護管は円柱形状であるため1.2とする。なお, 抗力の算出においては, 流体速度時刻歴データより燃料プール内の高さレベルごとの流体速度の最大値  $V$  を抽出し, 以下の式を用い抗力  $F_s$  を算出する。流体速度時刻歴データは使用済燃料プール水位/温度 (ヒートサーモ式) の保護管に対し支配的となる Z 方向のデータを適用するものとする。

$$F_s = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times A \times V^2 \dots \dots \dots (4.6.5.1)$$

- (4) 上式によって得られた高さレベルごとの抗力を図4-2に示す解析モデルに入力し, スロッシング影響解析により地震及びスロッシングにおける応力を算出する。

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）（G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_t$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし  $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力  $\tau$  は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし  $f_{sb}$  は下表による。

$f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 検出器架台の応力評価

検出器架台に生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力  $f_t$  以下であること。ただし  $f_t$  は下表による。

$f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
-------	-----------------------------

#### 4.8.3 保護管の応力評価

保護管に生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力  $f_t$  以下であること。ただし  $f_t$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容組合せ応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

#### 4.8.4 ワーキングテーブルラグの応力評価

ワーキングテーブルラグに生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力  $f_t$  以下であること。ただし  $f_t$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容組合せ応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の機能確認済加速度は、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 （ヒートサーモ式） （G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121）	水平方向	
	鉛直方向	

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）（G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料プール 水位／温度 (ヒートサーモ式) (G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121)	常設／防止 常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* <sup>1</sup>			—	—	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト

部 材	W (N)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	n	n <sub>x</sub>	n <sub>y</sub>	n <sub>z</sub>	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト			314	341	362	6	2	4	2	212	373	254

1.2.2 検出器架台

部 材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F* (MPa)
検出器架台	171	441	205	205

1.2.3 保護管

部 材	$m_p$ (kg)	$m_{w1}$ (kg)	$m_{w2}$ (kg)	$d_o$ (mm)	$d_i$ (mm)	$l_p$ (mm)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y (RT)$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
保護管				165.2	151.0	7620	176	476	205	205

1.2.4 ワーキングテーブルラグ

部 材	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	h (mm)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y (RT)$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
ワーキングテーブルラグ	1000	65	171	441	205	205

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.2 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.3 検出器架台に作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
検出器架台	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.4 検出器架台に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
検出器架台	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.5 保護管に作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
保護管	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	



1.3.6 保護管に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
保護管	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.7 ワーキングテーブルラグに作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_x$		$F_y$		$F_z$	
		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
ワーキング テーブルラグ	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.8 ワーキングテーブルラグに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_x$		$M_y$		$M_z$	
		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
ワーキング テーブルラグ	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_t = 42$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau = 7$	$f_{sb} = 117$

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$ より算出  
すべて許容応力以下である。

1.4.2 検出器架台の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
検出器架台	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_k = 17$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 保護管の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
保護管	SUS316TP	組合せ	—	—	$\sigma_k = 49$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 ワーキングテーブルラグの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ワーキングテ ーブルラグ	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_k = 76$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 電氣的機能維持の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール 水位/温度 (ヒートサーモ式) (G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記\* : 基準地震動  $S_s$  による定まる応答加速度とする。  
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他機器要目

(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	$\nu$	—	
要素数	—	個	59
節点数	—	個	60

(2) 検出器架台の断面性状

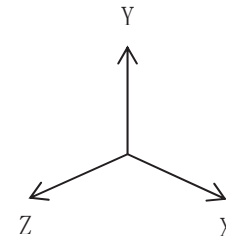
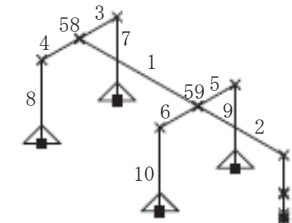
部材	要素番号	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p1}$ (mm <sup>3</sup> )
検出器架台	1~2				
	3~10				

(3) 保護管の断面性状

部材	要素番号	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面係数 (mm <sup>3</sup> )
保護管	11~57		

(4) ワーキングテーブルラグの断面性状

部材	節点番号	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_z$ (mm <sup>3</sup> )
ワーキングテーブルラグ	35, 42, 47, 53	$1.000 \times 10^3$	$8.333 \times 10^3$



鳥観図記号凡例

記号	内容
△	拘束点
×	節点
■	荷重点

要素番号：1~59  
(11~57 は保護管)

節点番号：1~60  
(35, 42, 47, 53 主要部のみ記載)

