

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-補-E-08-0370-4_改7
提出年月日	2021年11月10日

補足-370-4 原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書に係る  
補足説明資料

## 目次

補足 1	局所エリアの漏えいガスの滞留	補足 1-1
補足 2	原子炉建屋内水素濃度の適用性について	補足 2-1
補足 3	触媒基材（アルミナ）について	補足 3-1
補足 4	原子炉格納容器頂部注水系について	補足 4-1
補足 5	原子炉建屋地上 3 階大物搬入口ハッチカバーについて	補足 5-1
補足 6	可搬型窒素ガス供給装置について	補足 6-1
補足 7	「設置（変更）許可申請書 添付書類十 可燃性ガスの発生」における可燃性 ガス濃度制御系による原子炉格納容器内水素及び酸素制御について	補足 7-1
補足 8	原子炉格納容器内の酸素濃度（ウェット条件）による格納容器ベント基準の 設定と計器誤差の影響	補足 8-1
参考資料 1	有効性評価シナリオ条件（代替循環冷却系を使用する場合）における感度 解析について	参考 1-1



: 本日の説明範囲

## 原子炉建屋地上 3 階大物搬入口ハッチカバーについて

原子炉建屋地上 3 階大物搬入口ハッチカバー（以下「ハッチカバー」という。）は、定検作業時の原子炉開放による原子炉建屋地上 3 階（原子炉建屋燃料取替床）からの汚染拡大防止のために設置している。ハッチカバーは、電動開閉式の 2 分割折畳式ハッチカバーであり、片側に設置されたワイヤロープ巻取機により、ワイヤロープを巻き取ることで開動作、送り出すことで閉動作する構造である。開状態においては、ストッパーピンを挿入することで意図しない閉動作を防止する設計としている。ハッチカバーの構造を図 1 に示す。

また、地震により万一、ワイヤロープの切断或いはストッパーピンの破断が発生した場合においてもハッチカバーの開状態を維持できるよう、耐震性を有したハッチカバー固定装置を設置する。ハッチカバー固定装置は上部固定装置、下部固定装置及び先端固定装置から構成されている。上部固定装置及び下部固定装置はターンバックル付棒鋼であり、ターンバックルを締め付けることで固定する。先端固定装置は、床スラブに固定した固定マストとハッチカバーに固定した受金具を接合ボルトで締め付けることで固定する。ハッチカバー固定装置の構造図を図 2 及び図 3 に示す。

これらの対策を施していることから、GOTHIC コードによる重大事故時の原子炉建屋水素濃度評価においては、ハッチカバー開状態を考慮している。

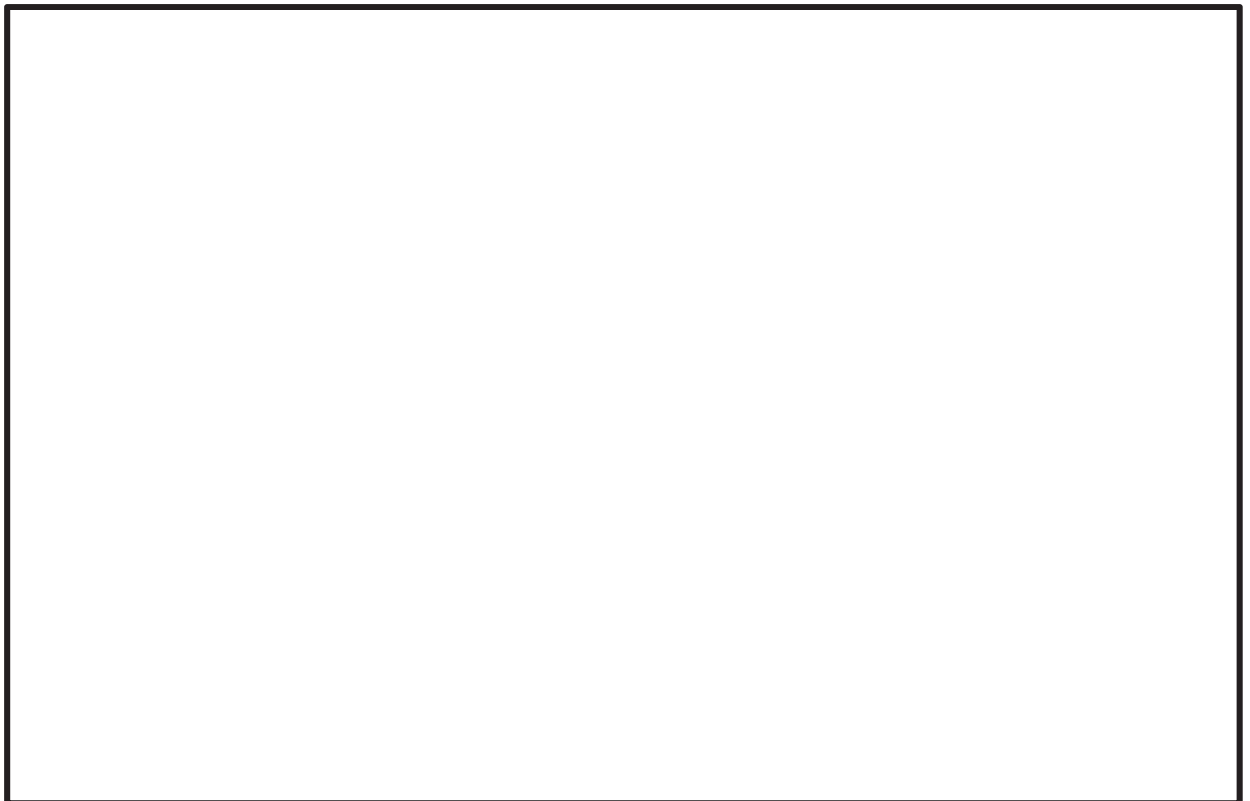


図 1 ハッチカバーの構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

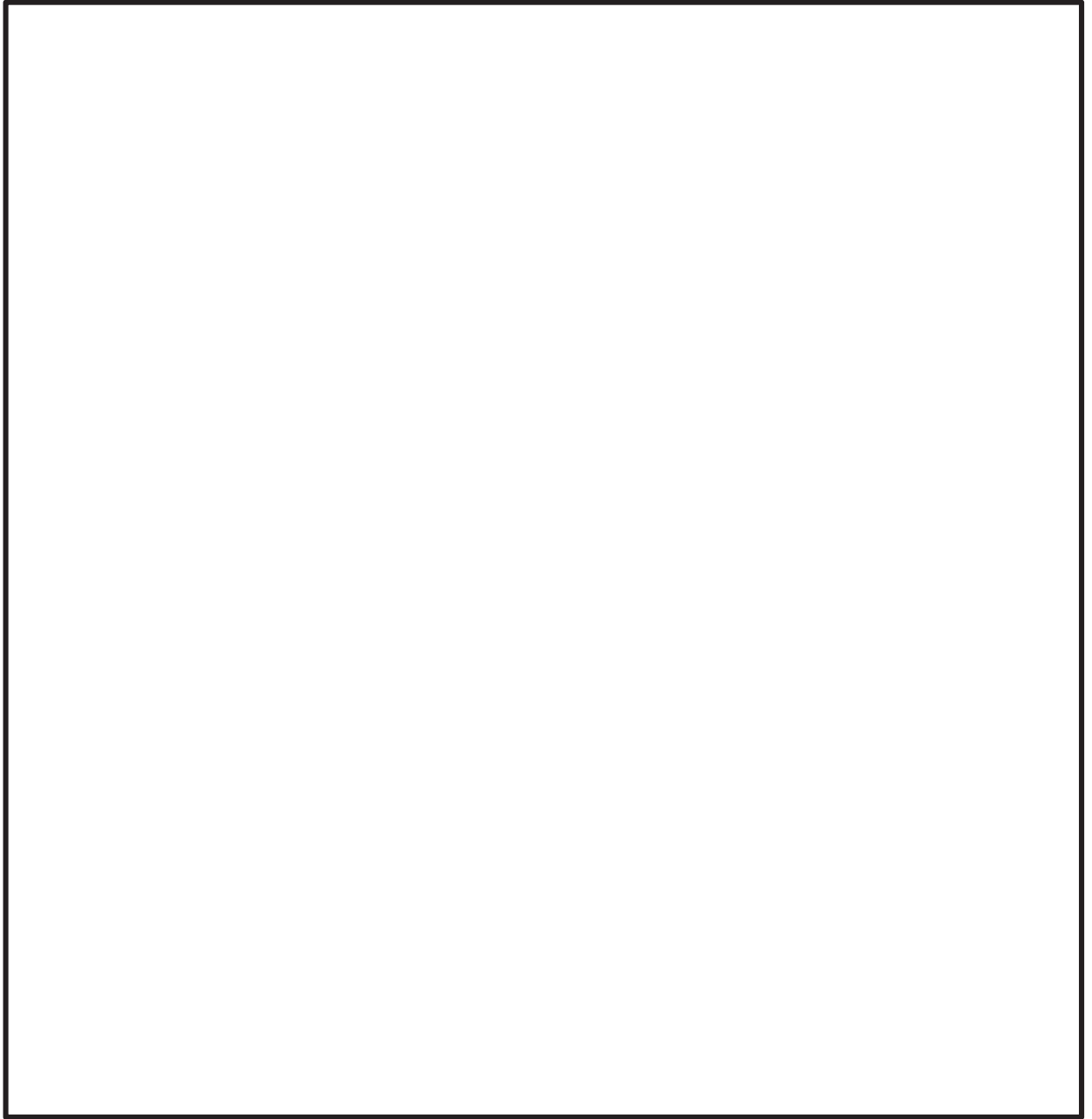


図2 ハッチカバー固定装置の構造図（側面図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

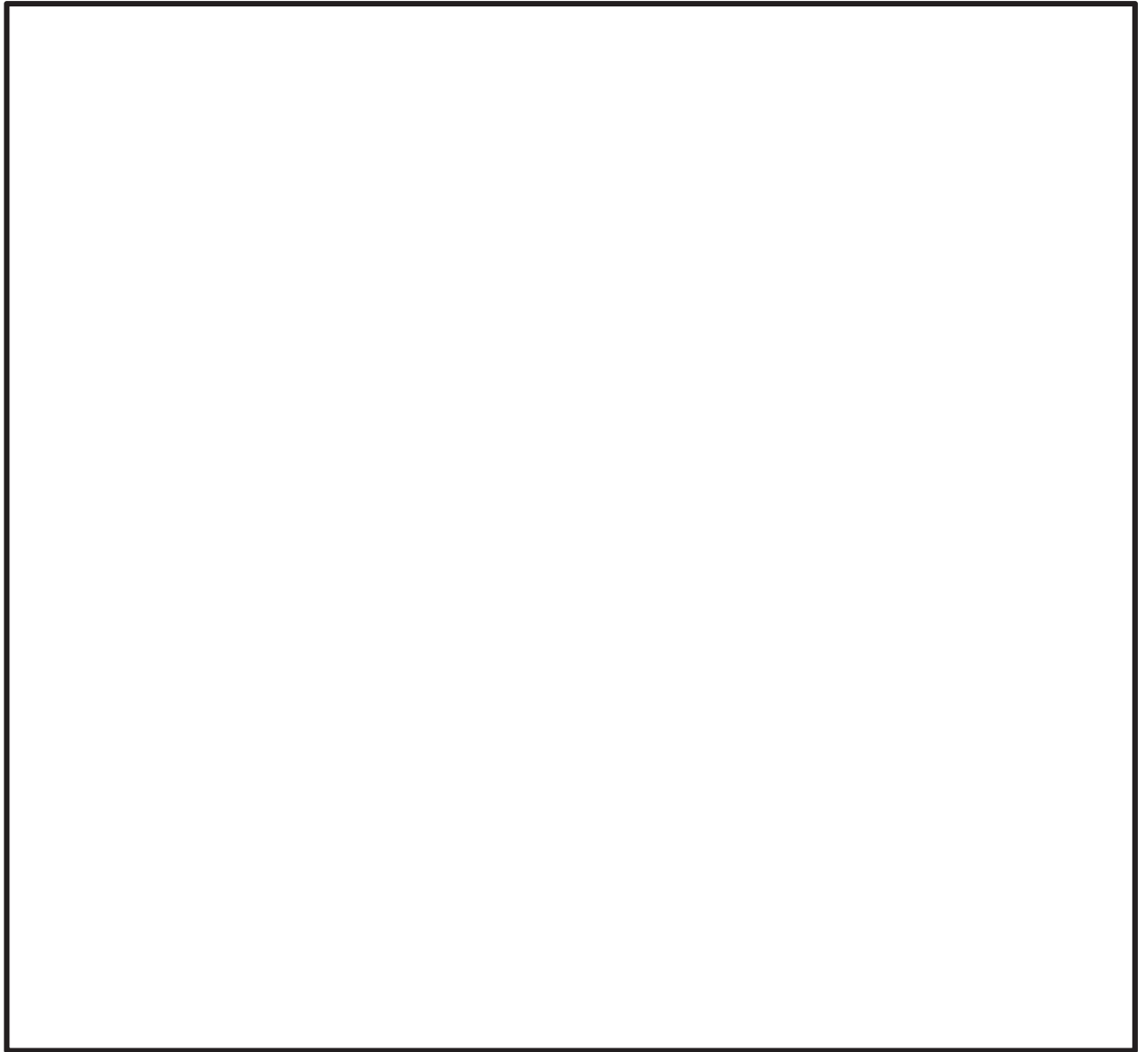


図3 ハッチカバー固定装置の構造図（正面図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 1. ハッチカバー固定装置の耐震性について

ハッチカバー固定装置は、地震時にハッチカバーのワイヤロープの切断或いはストッパーピンの破断が発生した場合においてもハッチカバーの開状態を維持するために設置する。

以下に、ハッチカバー固定装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを計算により確認し、地震力を受けてもハッチカバーが開状態を維持できることを示す。

なお、ハッチカバー固定装置が地震力を受けてもハッチカバーを開状態で維持させるために必要な事項を保安規定に定め、ハッチカバー固定装置を適切な状態で管理する。

### 1.1 一般事項

#### 1.1.1 評価方針

ハッチカバー固定装置の強度評価は、「1.4 構造強度評価」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、「1.2 評価部位」にて設定する箇所において、「1.3 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度等が許容限界内に収まることを、「1.4 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。確認結果を「1.5 評価結果」に示す。

ハッチカバー固定装置の強度評価フローを図 1.1.1-1 に示す。

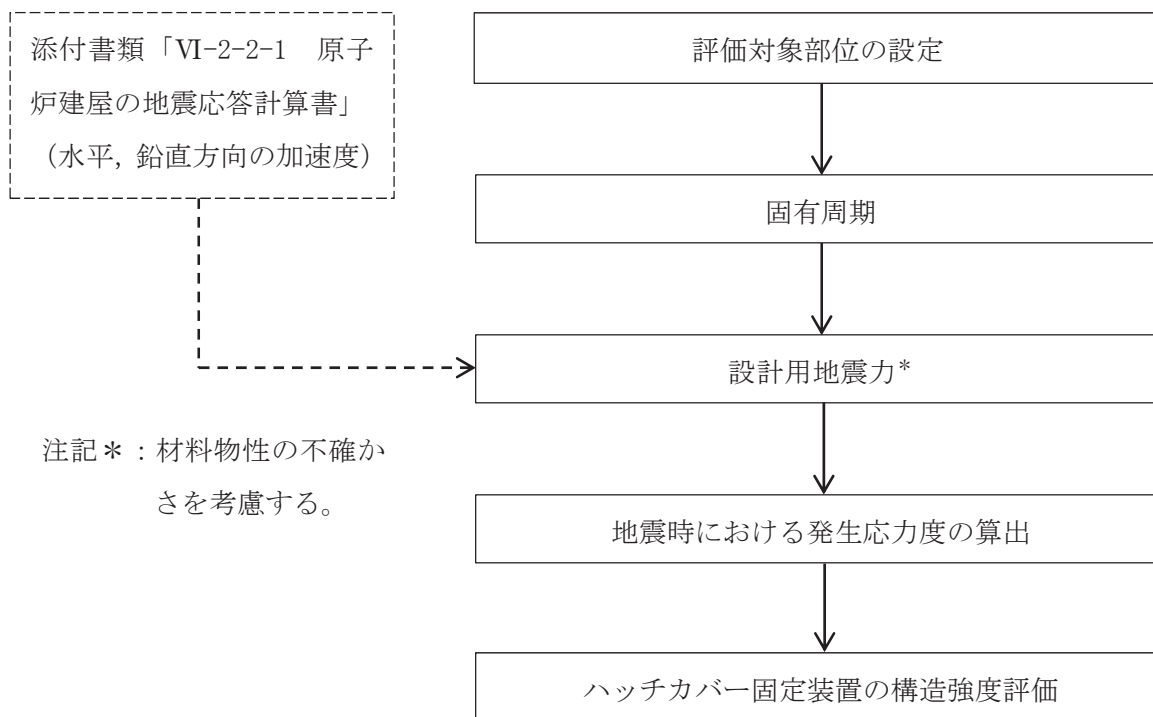


図 1.1.1-1 ハッチカバー固定装置の強度評価フロー

### 1.1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{ri}$	ターンバックル付棒鋼の断面積 <sup>*1</sup>	mm <sup>2</sup>
$A_{bj}$	吊り金具取付ボルトまたは接合ボルトの断面積 <sup>*2</sup>	mm <sup>2</sup>
$A_{p\ell}$	ヒンジピンの断面積 <sup>*3</sup>	mm <sup>2</sup>
$A_{sm}$	固定マスト又は受金具の断面積 <sup>*4</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$e_b$	吊り金具に作用する荷重の偏心距離	mm
$F_{H1}$	先端固定装置に作用する水平荷重（面外方向モデル）	N
$F_{V1}$	先端固定装置に作用する鉛直荷重（面外方向モデル）	N
$F_{H2}$	先端固定装置に作用する水平荷重（面内方向モデル）	N
$F_{V2}$	先端固定装置に作用する鉛直荷重（面内方向モデル）	N
$F_{bj}$	吊り金具取付ボルトまたは接合ボルトの基準強度 <sup>*2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$F_{p\ell}$	ヒンジピンの基準強度 <sup>*3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$F_{ri}$	ターンバックル付棒鋼の基準強度 <sup>*1</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$F_{sm}$	固定マストまたは受金具の基準強度 <sup>*4</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{tri}$	ターンバックル付棒鋼の許容引張応力度 <sup>*1</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{tsbj}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力度 <sup>*2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{tbj}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力度 <sup>*2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{sbj}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力度 <sup>*2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{bp\ell}$	ヒンジピンの許容曲げ応力度 <sup>*3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{sp\ell}$	ヒンジピンの許容せん断応力度 <sup>*3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{tsm}$	固定マストまたは受金具の許容引張応力度 <sup>*4</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{bsm}$	固定マストまたは受金具の許容曲げ応力度 <sup>*4</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$h_{11}$	ターンバックル付棒鋼②の高さ	mm
$h_{21}$	ヒンジアーム上端の高さ	mm
$h_{31}$	ターンバックル付棒鋼①の高さ	mm
$\ell_{11}$	ヒンジアームとアーム側ハッチカバーの水平距離	mm
$\ell_{21}$	ヒンジアームと開口側ハッチカバーの水平距離	mm
$h_{12}$	開口側ハッチカバー下端の高さ	mm
$h_{22}$	ハッチカバー上端の高さ	mm
$h_{32}$	下段の鋼材の高さ	mm

記号	記号の説明	単位
$h_{42}$	鋼材間の鉛直方向距離	mm
$h_{52}$	ヒンジアーム上端の高さ	mm
$l_{12}$	アーム側ハッチカバー側端からヒンジアームまでの水平距離	mm
$l_{22}$	ヒンジアーム間の水平距離	mm
$l_{32}$	ハッチカバーの幅	mm
$l_{42}$	開口側ハッチカバー側端から先端固定装置までの水平距離	mm
$l_{52}$	先端固定装置間の水平距離	mm
$L_{ab1}$	固定マストの回転中心から水平荷重作用点までの鉛直方向距離	mm
$L_{ab2}$	固定マストの回転中心から鉛直荷重作用点までの水平方向距離	mm
$L_{ab3}$	曲げモーメントを偶力で受けるアンカーボルト③間の距離	mm
$L_{b1}$	偏心によるモーメントが作用する吊り金具取付ボルト間の距離	mm
$L_{p\ell}$	ヒンジピンの長さ*3	mm
$L_{s1m}$	回転中心から水平荷重作用点までの鉛直方向距離*4	mm
$L_{s2m}$	回転中心から鉛直荷重作用点までの水平方向距離*4	mm
$M_{abx1}$	固定マストの強軸方向に作用する曲げモーメント（面外方向モデル）	N・mm
$M_{abx2}$	固定マストの強軸方向に作用する曲げモーメント（面内方向モデル）	N・mm
$M_{aby2}$	固定マストの弱軸方向に作用する曲げモーメント（面内方向モデル）	N・mm
$M_{p\ell}$	ヒンジピンに発生する曲げモーメント*3	N・mm
$M_{sx1m}$	強軸方向に作用する曲げモーメント（面外方向モデル）*4	N・mm
$M_{sy1m}$	弱軸方向に作用する曲げモーメント（面外方向モデル）*4	N・mm
$M_{sx2m}$	強軸方向に作用する曲げモーメント（面内方向モデル）*4	N・mm
$M_{sy2m}$	弱軸方向に作用する曲げモーメント（面内方向モデル）*4	N・mm
$n_{ri}$	ターンバックル付棒鋼の本数*1	—
$n_{bj}$	ボルトの本数*2	—
$n_{be}$	偏心によるモーメントから引張力を受ける吊り金具取付ボルトの本数	—
$n_{abk}$	アンカーボルトの本数*5	—



記号	記号の説明	単位
$n'_{ab3}$	曲げモーメントから引張力を受けるアンカーボルト③の本数	—
$p_{ak}$	アンカーボルトに発生する引張力に対する短期許容応力 <sup>*5</sup>	N
$Q_{abk}$	アンカーボルトに発生するせん断力 <sup>*5</sup>	N
$q_{ak}$	アンカーボルトに発生するせん断力に対する許容応力 <sup>*5</sup>	N
$Q_{b2}$	接合部ボルトに発生するせん断力	N
$Q_{p\ell}$	ヒンジピンに発生するせん断力 <sup>*3</sup>	N
$Q_{p1\ell}$	ヒンジピンに作用する水平荷重（面外方向モデル） <sup>*3</sup>	N
$Q_{p2\ell}$	ヒンジピンに作用する鉛直荷重（面外方向モデル） <sup>*3</sup>	N
$Q_{p3\ell}$	ヒンジピンに作用する鉛直荷重（面内方向モデル） <sup>*3</sup>	N
$R_{p\ell}$	ヒンジピンの直径 <sup>*3</sup>	mm
$T_{1i}$	ターンバックル付棒鋼 2 本に作用する引張力 <sup>*1</sup>	N
$T_{2i}$	ターンバックル付棒鋼 1 本に作用する引張力 <sup>*1</sup>	N
$T_{abk}$	アンカーボルトに発生する引張力 <sup>*5</sup>	N
$T_{bj}$	吊り金具取付ボルトまたは接合ボルトに発生する引張力 <sup>*2</sup>	N
$T_{s2}$	受金具に発生する引張力	N
$W_1$	開口側ハッチカバーの質量	kg
$W_2$	アーム側ハッチカバーの質量	kg
$W_3$	ヒンジアームの質量	kg
$W_4$	鋼板の質量	kg
$W_5$	鋼材 1 本あたりの質量	kg
$W_6$	受け金具 1 つあたりの質量	kg
$Z_{p\ell}$	ヒンジピンの断面係数 <sup>*3</sup>	mm <sup>3</sup>
$Z_{sxm}$	固定マスト又は受金具の強軸の断面係数 <sup>*4</sup>	mm <sup>3</sup>
$Z_{sym}$	固定マスト又は受金具の弱軸の断面係数 <sup>*4</sup>	mm <sup>3</sup>
$\sigma_{ri}$	ターンバックル付棒鋼に発生する引張応力度 <sup>*1</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{bj}$	吊り金具取付ボルトまたは接合ボルトに発生する引張応力度 <sup>*2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{p\ell}$	ヒンジピンに発生する曲げ応力度 <sup>*3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{bsm}$	固定マストまたは受金具に発生する曲げ応力度 <sup>*4</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ts2}$	受金具に発生する引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{b2}$	接合ボルトに発生するせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{p\ell}$	ヒンジピンに発生するせん断応力度 <sup>*3</sup>	N/mm <sup>2</sup>

注 \*1:  $A_{ri}$ ,  $F_{ri}$ ,  $f_{tri}$ ,  $n_{ri}$ ,  $T_{1i}$ ,  $T_{2i}$ 及び $\sigma_{ri}$ の添え字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$ : ターンバックル付棒鋼①

$i=2$ : ターンバックル付棒鋼②

\*2:  $A_{bj}$ ,  $F_{bj}$ ,  $f_{tsbj}$ ,  $f_{tbj}$ ,  $f_{sbj}$ ,  $n_{bj}$ ,  $T_{bj}$ 及び $\sigma_{bj}$ の添え字  $j$  の意味は、以下のとおりとする。

$j=1$ : 吊り金具取付ボルト

$j=2$ : 接合ボルト

\*3:  $A_{p\ell}$ ,  $F_{p\ell}$ ,  $f_{bp\ell}$ ,  $f_{sp\ell}$ ,  $L_{p\ell}$ ,  $M_{p\ell}$ ,  $Q_{p\ell}$ ,  $Q_{p1\ell}$ ,  $Q_{p2\ell}$ ,  $Q_{p3\ell}$ ,  $R_{p\ell}$ ,  $Z_{p\ell}$ ,  $\sigma_{p\ell}$ 及び $\tau_{p\ell}$ の添え字 $\ell$ の意味は以下のとおりとする。

$\ell=1$ : ヒンジピン①

$\ell=2$ : ヒンジピン②

\*4:  $A_{sm}$ ,  $F_{sm}$ ,  $f_{t sm}$ ,  $f_{b sm}$ ,  $L_{s1m}$ ,  $L_{s2m}$ ,  $M_{sx1m}$ ,  $M_{sy1m}$ ,  $M_{sx2m}$ ,  $M_{sy2m}$ ,  $Z_{sxm}$ ,  $Z_{sym}$ 及び $\sigma_{b sm}$ の添え字 $m$ の意味は以下のとおりとする。

$m=1$ : 固定マスト

$m=2$ : 受金具

\*5:  $n_{abk}$ ,  $p_{ak}$ ,  $Q_{abk}$ ,  $q_{ak}$ 及び $T_{abk}$ の添え字  $k$  の意味は以下のとおりとする。

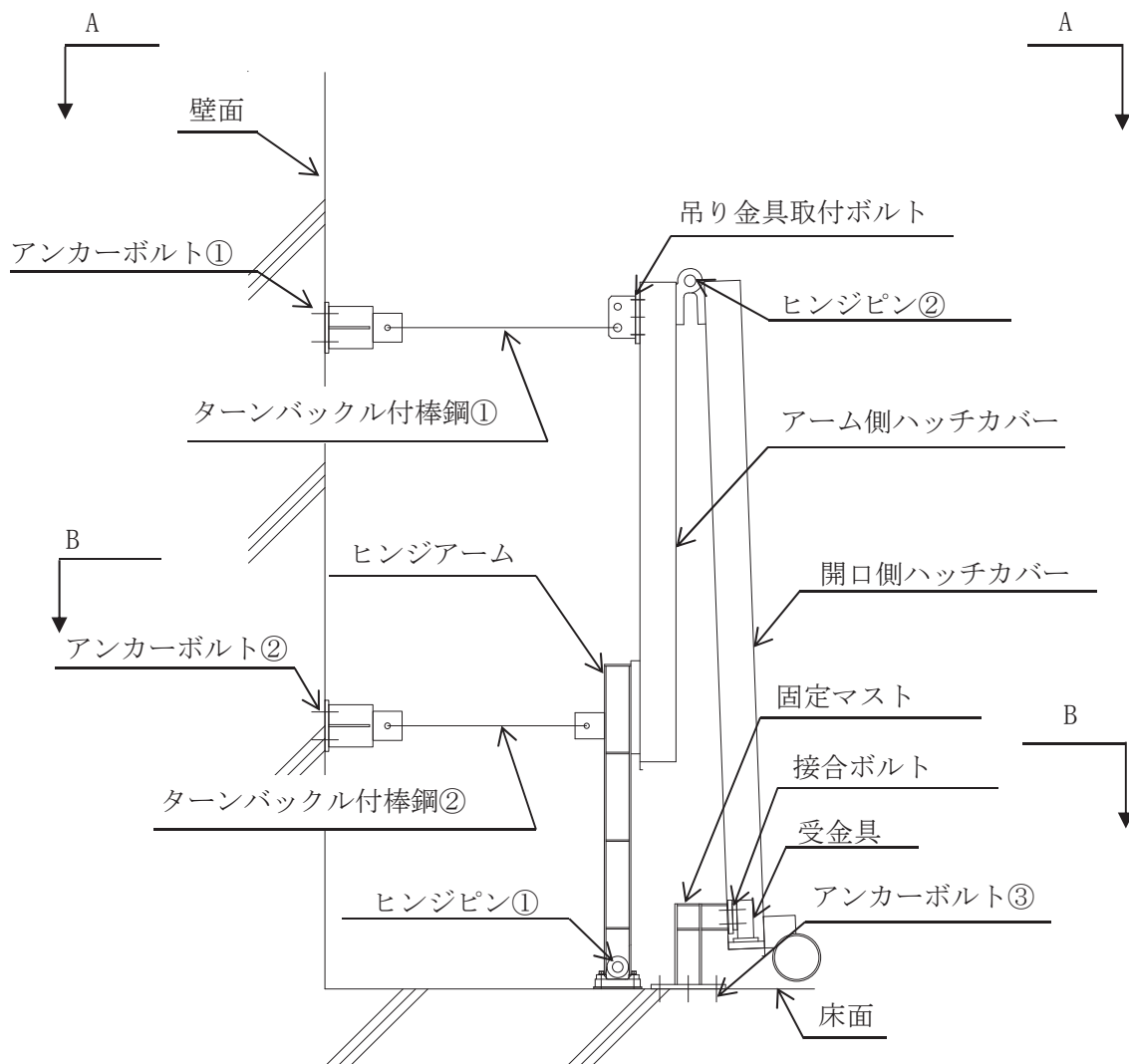
$k=1$ : アンカーボルト①

$k=2$ : アンカーボルト②

$k=3$ : アンカーボルト③

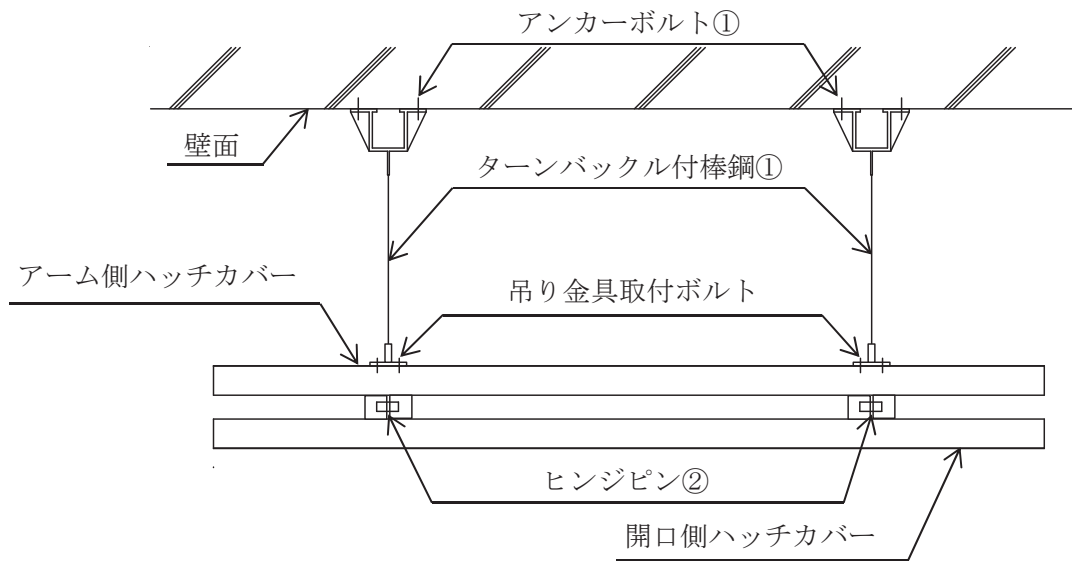
## 1.2 評価部位

ハッチカバー固定装置の概略構造を図 1.2-1 に示す。強度評価は、ハッチカバー固定装置のターンバックル付棒鋼、吊り金具取付ボルト、アンカーボルト、ヒンジピン、接合ボルト、固定マスト及び受金具について実施する。

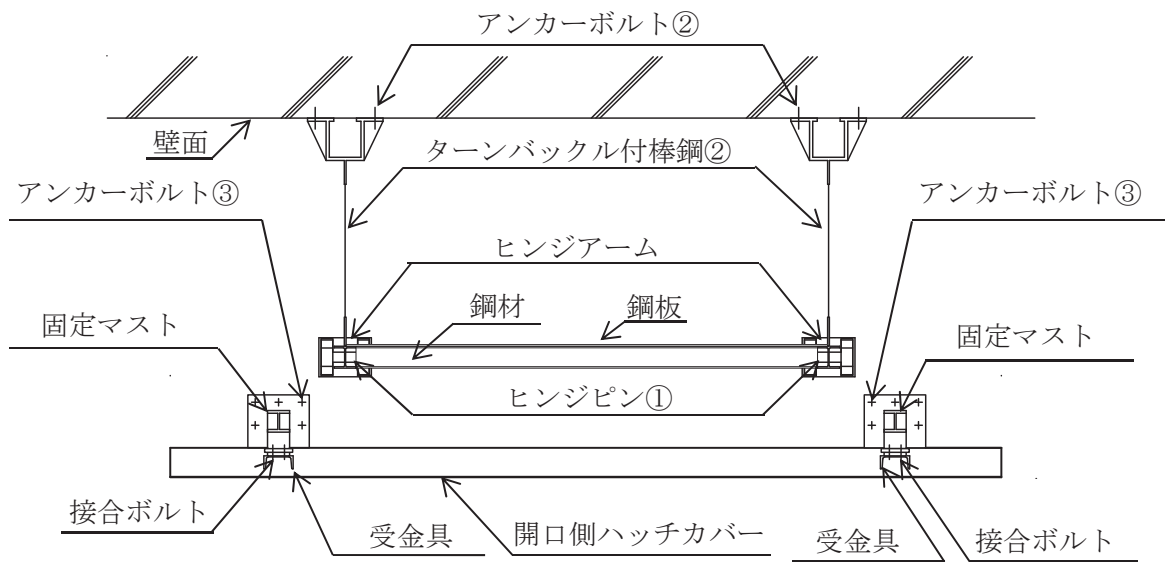


(1) 側面図

図 1.2-1 (1) ハッチカバー固定装置の概略構造図



(2) A-A 矢視図



(3) B-B 矢視図

図 1.2-1 (2) ハッチカバー固定装置の概略構造図

### 1.3 固有周期

#### 1.3.1 固有周期の算出方法

ハッチカバーの固有周期は図 1.3.1-1 及び図 1.3.1-2 に示すハッチカバーの解析モデルにより算出する。

面外方向モデルは，上部固定装置及び下部固定装置をトラス要素で，ヒンジアーム，アーム側ハッチカバー及び開口側ハッチカバーをはり要素でモデル化する。上部固定装置及び下部固定装置の壁との取り合い部，ヒンジアームの床との取り合い部（ヒンジピン①）及び先端固定装置をピン接合とする。また，アーム側ハッチカバーと開口側ハッチカバーの接続部（ヒンジピン②）はヒンジとしてモデル化する。

面内方向モデルは，ヒンジアーム及び鋼材をはり要素で，アーム側ハッチカバー，開口側ハッチカバー及び鋼板をシェル要素でモデル化する。ヒンジアームの床との取り合い部（ヒンジピン①）及び先端固定装置をピン接合とする。また，アーム側ハッチカバーと開口側ハッチカバーの接続部（ヒンジピン②）において，同一変位とする。

また，質量はアーム側ハッチカバー，開口側ハッチカバー，ヒンジアーム，鋼板，鋼材及び受け金具の質量をそれぞれの要素または節点に与えている。

解析コードは「KANSAS2」を使用する。

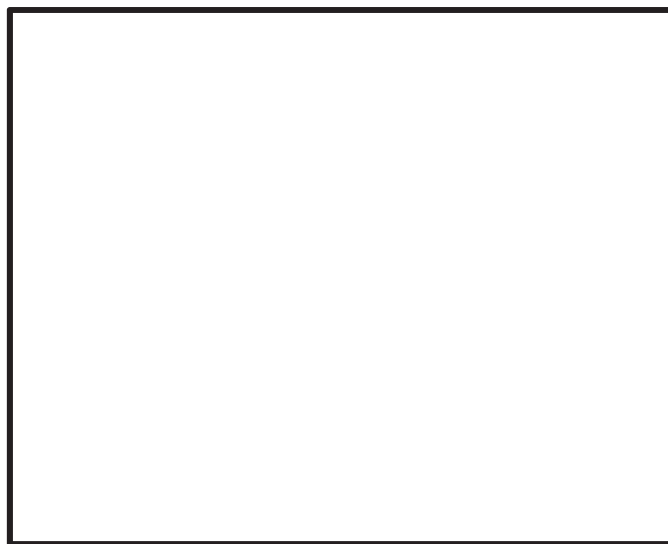


図 1.3.1-1 ハッチカバーの解析モデル（面外方向）



図 1.3.1-2 ハッチカバーの解析モデル（面内方向）

### 1.3.2 固有周期の算出結果

固有周期の算出結果を表 1.3.2-1 に示す。算出結果より、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。図 1.3.2-1～図 1.3.2-4 に 1 次固有モード図を示す。

表 1.3.2-1 固有周期

(単位：s)

水平方向（面外）	水平方向（面内）	鉛直方向（面外・面内）
0.038	0.032	0.011

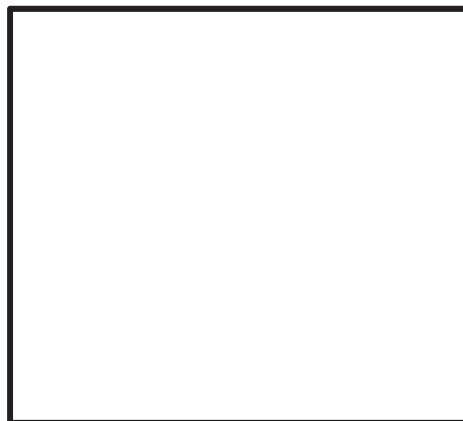


図 1.3.2-1 1 次固有モード図（水平方向（面外））

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 1.3.2-2 1次固有モード図（水平方向（面内））



図 1.3.2-3 1次固有モード図（鉛直方向（面外））



図 1.3.2-4 1次固有モード図（鉛直方向（面内））

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 1.4 構造強度評価

### 1.4.1 荷重の組合せ及び許容応力度状態

ハッチカバー固定装置の荷重の組合せ及び許容応力度状態については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて設定する。評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力度状態を表 1.4.1-1 に示す。

表 1.4.1-1 荷重の組合せ及び許容応力度状態

機器名称	荷重の組合せ	許容応力度状態
ハッチカバー固定装置	G + S s	短期

### 1.4.2 許容限界

#### (1) ターンバックル付棒鋼の短期許容応力度

ターンバックル付棒鋼の短期許容応力度は、「建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）」及び「建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）」に基づき表 1.4.2-1 のとおりとする。

表 1.4.2-1 短期許容応力度（ターンバックル付棒鋼）

引張
$\frac{F_{r i}}{1.5} \cdot 1.5$

#### (2) ボルトの短期許容応力度

吊り金具取付ボルト及び接合ボルトの短期許容応力度は、「建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）」及び「建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）」に基づき表 1.4.2-2 のとおりとする。

表 1.4.2-2 短期許容応力度（吊り金具取付ボルト及び接合ボルト）

引張	せん断
$\frac{F_{b j}}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F_{b j}}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



(3) アンカーボルトの短期許容応力

アンカーボルトの短期許容応力は、「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出した短期許容応力とする。アンカーボルトが引張力を受ける場合には、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力及びアンカーボルトの付着力により決まる許容応力のいずれか小さいほうの値を採用する。アンカーボルトがせん断力を受ける場合には、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力及び定着した躯体の支圧強度により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

a. 引張力を受ける場合

$$p_{ak} = \min(p_{a1}, p_{a3})$$

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

- ここで、  $p_{a1}$  : アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)
- $p_{a3}$  : アンカーボルトの付着力により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)
- $\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)
- $\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)
- $s \sigma_{pa}$  : アンカーボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- $s \sigma_y$  : アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $s c a$  : アンカーボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $d_a$  : アンカーボルトの径 (mm)
- $l_{ce}$  : アンカーボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)
- $l_e$  : アンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ (mm)
- $\tau_a$  : へりあき及びアンカーボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)

b. せん断力を受ける場合

$$q_{ak} = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

ここで、 $q_{a1}$  : アンカーボルトのせん断強度により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{qa}$  : アンカーボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s_{ca}$  : アンカーボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ )

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

表 1.4.2-3 アンカーボルト①, ②の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	記号の説明	単位	数値
$\Phi_1$	低減係数 (短期荷重用)	—	1.0
$\Phi_3$	低減係数 (短期荷重用)	—	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	アンカーボルトの引張強度	N/mm <sup>2</sup>	235
${}_s\sigma_y$	アンカーボルトの規格降伏点強度	N/mm <sup>2</sup>	235
${}_s c a$	アンカーボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	245
$d_a$	アンカーボルトの径	mm	20
$l_{ce}$	アンカーボルトの強度算定用埋込み長さ	mm	160
$\tau_a$	へりあき及びアンカーボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	N/mm <sup>2</sup>	8.69

表 1.4.2-4 アンカーボルト③の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	記号の説明	単位	数値
$\Phi_1$	低減係数 (短期荷重用)	—	1.0
$\Phi_2$	低減係数 (短期荷重用)	—	2/3
$\Phi_3$	低減係数 (短期荷重用)	—	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	アンカーボルトの引張強度	N/mm <sup>2</sup>	235
${}_s\sigma_y$	アンカーボルトの規格降伏点強度	N/mm <sup>2</sup>	235
${}_s c a$	アンカーボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	245
$d_a$	アンカーボルトの径	mm	20
$l_{ce}$	アンカーボルトの強度算定用埋込み長さ	mm	160
$\tau_a$	へりあき及びアンカーボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	N/mm <sup>2</sup>	5.71
${}_s\sigma_{qa}$	アンカーボルトのせん断強度	N/mm <sup>2</sup>	164.5
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	N/mm <sup>2</sup>	450.9
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	N/mm <sup>2</sup>	32.4
$E_c$	コンクリートのヤング係数	N/mm <sup>2</sup>	25100

表 1.4.2-5 アンカーボルト①, ②の短期許容応力

材質	短期許容荷重 (kN)					
	引張			せん断		
	$p_{a1}$	$p_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	設定値
SS400	57.58	58.24	57.58	—	—	—

表 1.4.2-6 アンカーボルト③の短期許容応力

材質	短期許容荷重 (kN)					
	引張			せん断		
	$p_{a1}$	$p_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	設定値
SS400	57.58	38.27	38.27	40.30	73.65	40.30

(4) ヒンジピンの短期許容応力度

ヒンジピンの短期許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき表 1.4.2-7 のとおりとする。

表 1.4.2-7 短期許容応力度 (ヒンジピン)

せん断	曲げ
$\frac{F_{p\ell}}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_{p\ell}}{1.5} \cdot 1.5$

(5) 鋼材の短期許容応力度

固定マスト及び受金具の短期の許容引張応力度は、「建築基準法 (昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号)」及び「建築基準法施行令 (昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号)」に基づき表 1.4.2-8 のとおりとする。また、短期の許容曲げ応力度は、同法に定めるものとする。

表 1.4.2-8 短期の許容引張応力度 (鋼材)

引張
$\frac{F_{sm}}{1.5} \cdot 1.5$

### 1.4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 1.4.3-1 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果より設定する。

各評価部位の計算に用いる応力は、組合せ係数法 (1.0 : 0.4) を用いて最大となるケースについて適用する。

表 1.4.3-1 設計用地震力

原子炉建屋 O.P. 33. 2m*	基準地震動 $S_s$	
	水平方向設計震度 $C_H$	鉛直方向設計震度 $C_V$
	2.21	1.47

注記\* : 基準床レベルを示す。

#### 1.4.4 計算方法

図1.3.1-1及び図1.3.1-2に示す解析モデルを用いてハッチカバー固定装置の各評価部位に作用する応力を算定し、以下に示す方法で各評価部位に発生する応力度を計算する。

##### (1) ターンバックル付棒鋼①の応力評価

ターンバックル付棒鋼①に発生する応力度は、地震により作用する引張力から計算する。

###### a. 引張応力度

ターンバックル付棒鋼①に発生する引張応力度を計算する。

引張力

ターンバックル付棒鋼①1本あたりの引張力 $T_{21}$ は以下の式で求められる。

$$T_{21} = \frac{T_{11}}{n_{r1}}$$

引張応力度

$$\sigma_{r1} = \frac{T_{21}}{A_{r1}}$$

ここで、ターンバックル付棒鋼①の断面積 $A_{r1}$ はJIS B 1082-2009より、303 (mm<sup>2</sup>) とする。

##### (2) ターンバックル付棒鋼②の計算方法

ターンバックル付棒鋼②に発生する応力度は、地震により作用する引張力から計算する。

###### a. 引張応力度

ターンバックル付棒鋼②に発生する引張応力度を計算する。

引張力

ターンバックル付棒鋼②1本あたりの引張力 $T_{22}$ は以下の式で求められる。

$$T_{22} = \frac{T_{12}}{n_{r2}}$$

引張応力度

$$\sigma_{r2} = \frac{T_{22}}{A_{r2}}$$

ここで、ターンバックル付棒鋼②の断面積 $A_{r2}$ はJIS B 1082-2009より、303 (mm<sup>2</sup>) とする。

(3) 吊り金具取付ボルトの計算方法

吊り金具取付ボルトに発生する応力度はターンバックル付棒鋼①から受ける荷重によって作用する引張力から計算する。計算モデルを図 1.4.4-1 に示す。

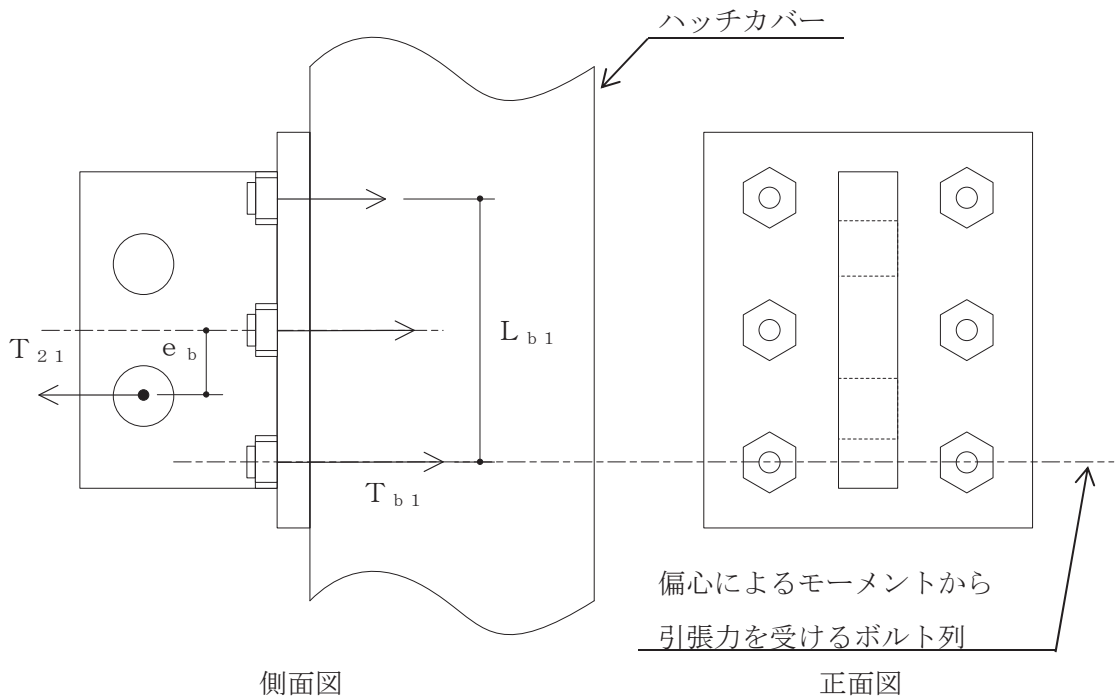


図 1.4.4-1 計算モデル

a. 引張応力度

吊り金具取付ボルトに発生する引張力は、吊り金具に作用する引張力を吊り金具取付ボルト全数で受けるものとして計算する。

引張力

$$T_{b1} = \frac{T_{21}}{n_{b1}} + \frac{T_{21} \times e_b}{n_{be} \times L_{b1}}$$

引張応力度

$$\sigma_{b1} = \frac{T_{b1}}{A_{b1}}$$

ここで、断面積 $A_{b1}$ は J I S B 1082-2009 より 245 (mm<sup>2</sup>) とする。

(4) アンカーボルト①の計算方法

アンカーボルト①に発生する応力はターンバックル付棒鋼①から受ける荷重によって生じる引張力から計算する。計算モデルを図 1.4.4-2 に示す。

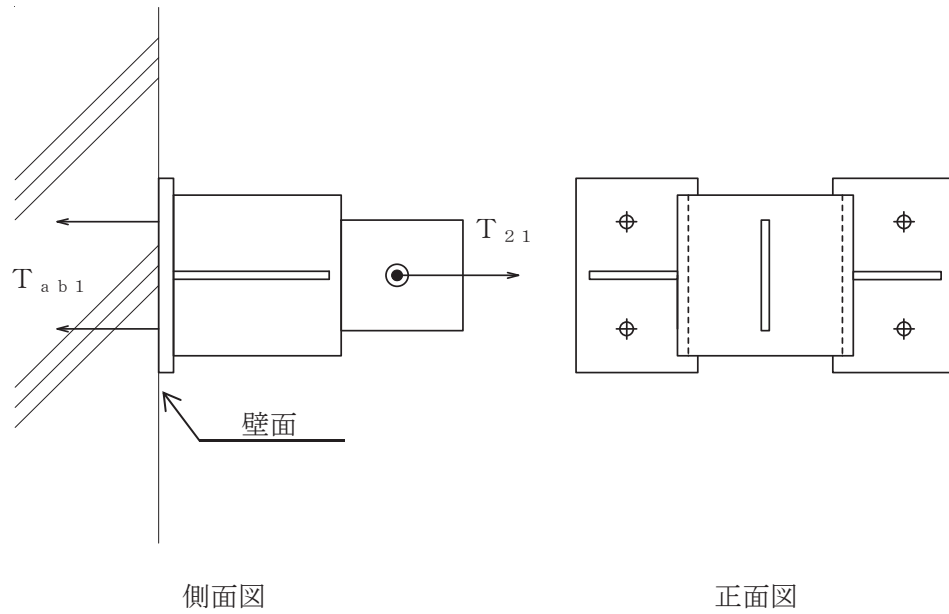


図 1.4.4-2 計算モデル

a. 引張力

アンカーボルト①に発生する引張力は、アンカーボルト①全数で受けるものとして計算する。

引張力

$$T_{ab1} = \frac{T_{21}}{n_{ab1}}$$



(5) アンカーボルト②の計算方法

アンカーボルト②に発生する応力はターンバックル付棒鋼②から受ける荷重によって生じる引張力から計算する。計算モデルを図 1.4.4-3 に示す。

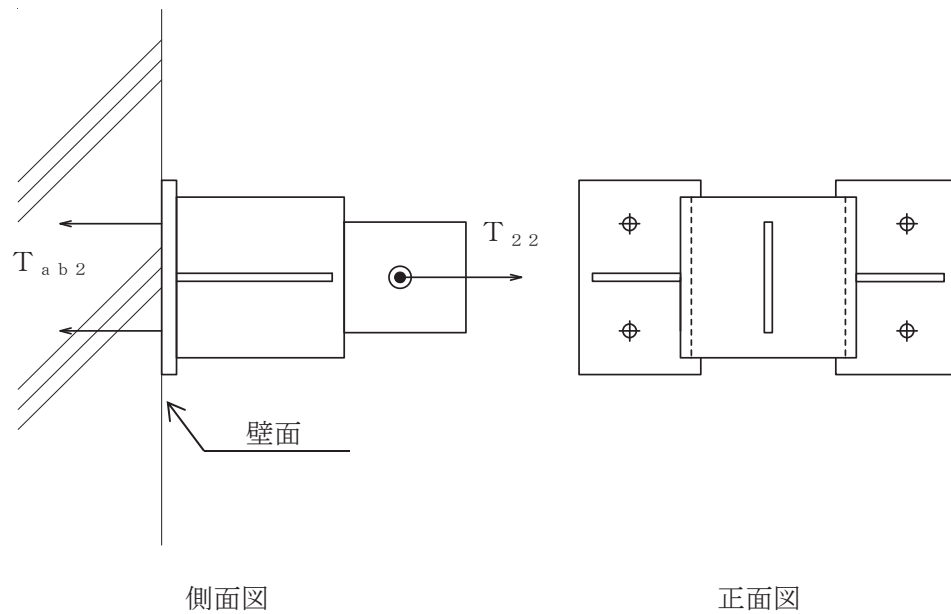


図 1.4.4-3 計算モデル

a. 引張力

アンカーボルト②に発生する引張力は、アンカーボルト②全数で受けるものとして計算する。

引張力

$$T_{ab2} = \frac{T_{22}}{n_{ab2}}$$

(6) ヒンジピン①の計算方法

ヒンジピン①に発生する応力度は、地震により作用するせん断力及び曲げモーメントから計算する。計算モデルを図 1.4.4-4 に示す。

面外方向モデル及び面内方向モデルにおいてヒンジピン①をモデル化したピン支持点にはそれぞれ水平方向と鉛直方向の反力が発生する。この反力がヒンジピン①に作用するものとして、以下に示す方法でヒンジピン①に発生する応力度を計算する。ただし、面内方向モデルの水平方向反力は、ハッチカバーの構造上ヒンジピン①に応力が伝達しないものとして計算では考慮しない。

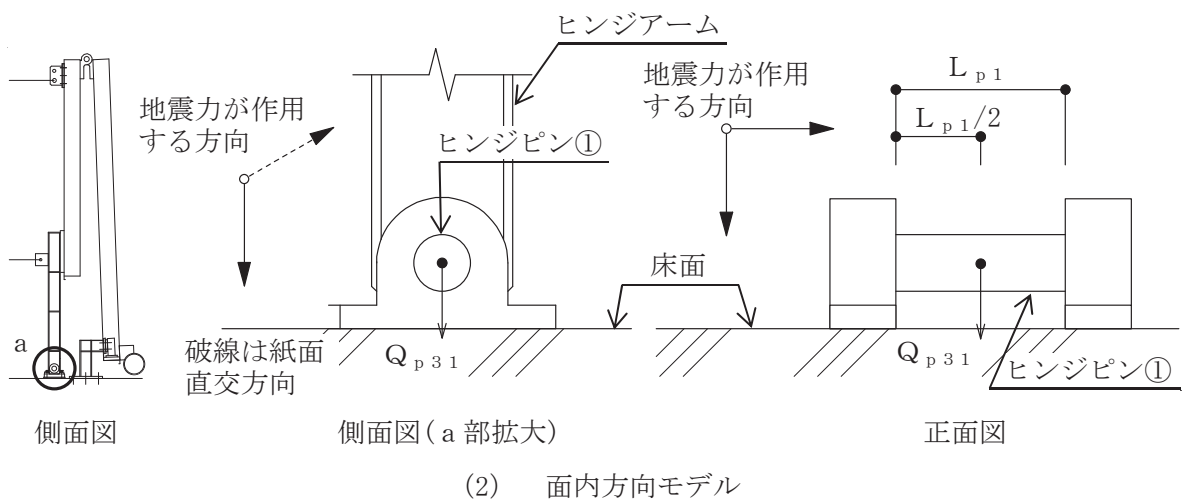
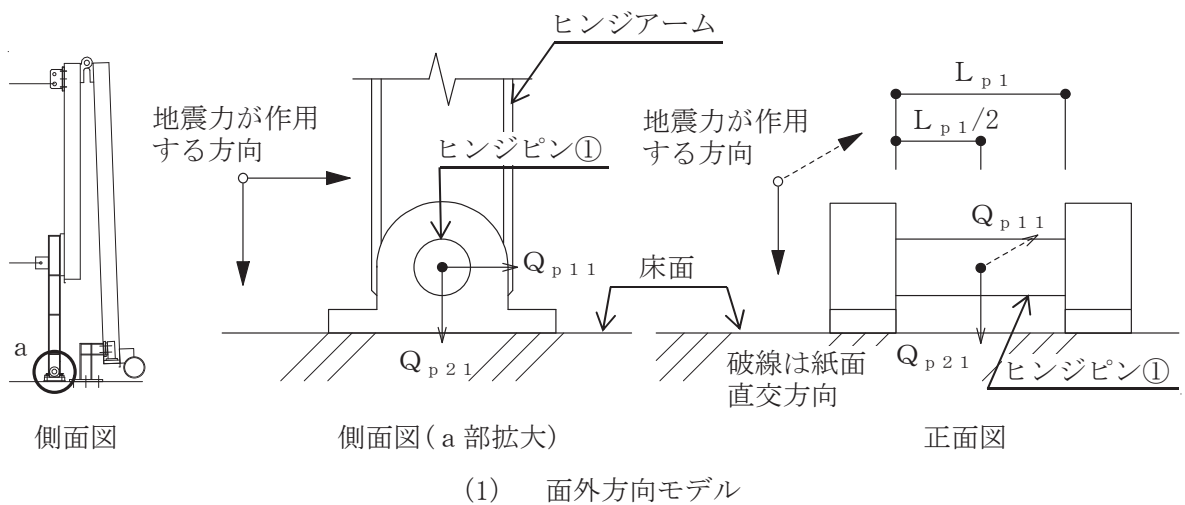


図 1.4.4-4 計算モデル

a. せん断応力度

ヒンジピン①に発生するせん断応力度はヒンジピン①の中心に荷重が作用するものとして計算する。

$$Q_{p1} = \frac{\max\left(\sqrt{Q_{p11}^2 + Q_{p21}^2}, Q_{p31}\right)}{2}$$

せん断応力度

$$\tau_{p1} = \frac{Q_{p1}}{A_{p1}}$$

ここで、断面積 $A_{p1}$ は次式により求める。

$$A_{p1} = \frac{\pi \cdot R_{p1}^2}{4}$$

b. 曲げ応力度

ヒンジピン①に発生する曲げ応力度はヒンジピン①の中心に荷重が作用するものとして計算する。

$$M_{p1} = \frac{Q_{p1} \cdot L_{p1}}{2}$$

曲げ応力度

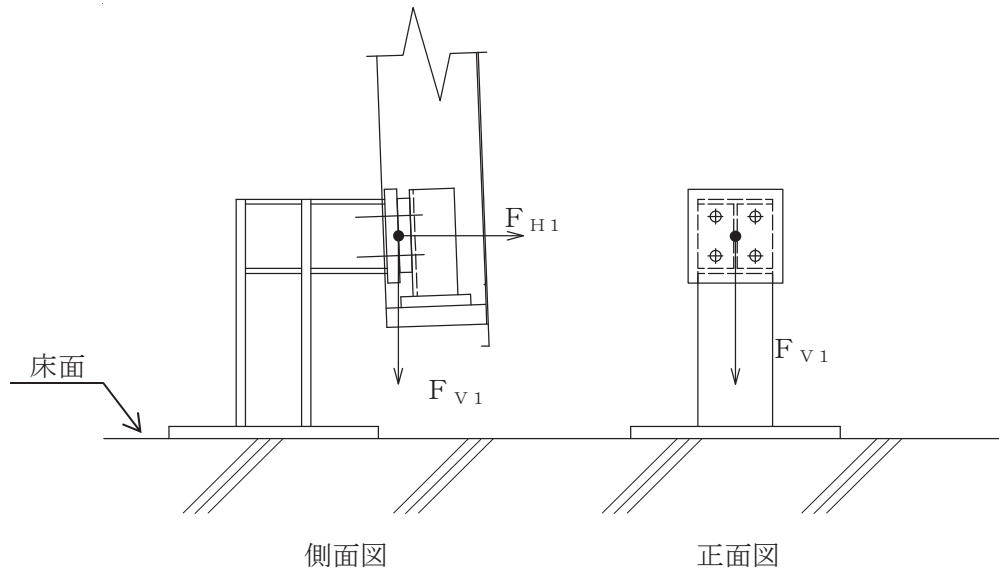
$$\sigma_{p1} = \frac{M_{p1}}{Z_{p1}}$$

ここで、ヒンジピン①の断面係数 $Z_{p1}$ は次式により求める。

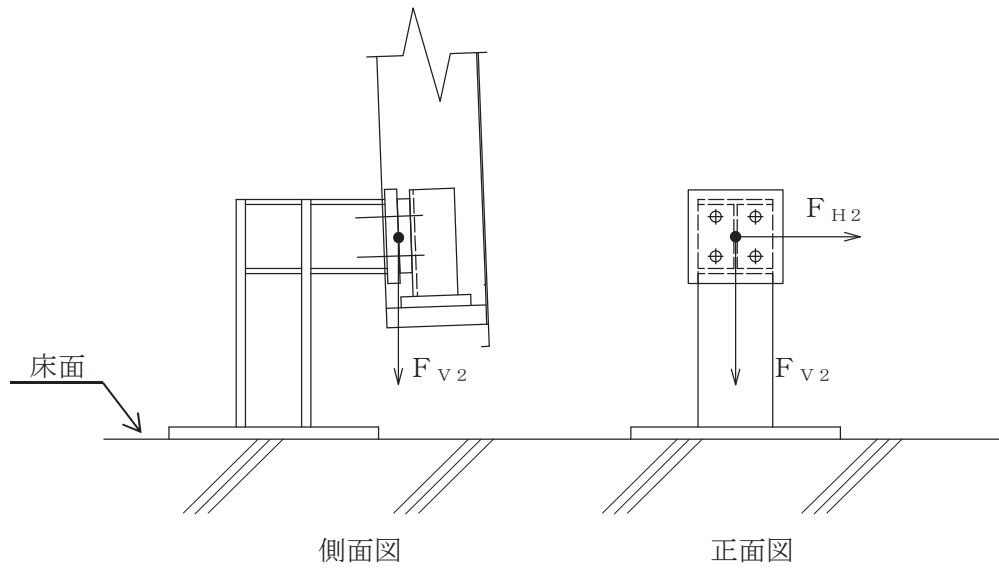
$$Z_{p1} = \frac{\pi \cdot R_{p1}^3}{32}$$

(7) 接合ボルト

接合ボルトに発生する応力度は、地震による震度により作用する引張力及びせん断力から計算する。接合ボルトの傾きは小さいため、角度の補正は行わずに計算する。計算モデルを図 1.4.4-5 に示す。



(1) 面外方向



(2) 面内方向

図 1.4.4-5 計算モデル図

a. 引張応力度

接合ボルトに発生する引張応力度はボルト全数で受けるものとして計算する。

引張力

$$T_{b2} = \frac{F_{H1}}{n_{b2}}$$

引張応力度

$$\sigma_{b2} = \frac{T_{b2}}{A_{b2}}$$

ここで、断面積 $A_{b2}$ は J I S B 1 0 8 2-2009 より 245 (mm<sup>2</sup>) とする。

b. せん断応力度

接合ボルトに発生するせん断応力度はボルト全数で受けるものとして計算する。

せん断力

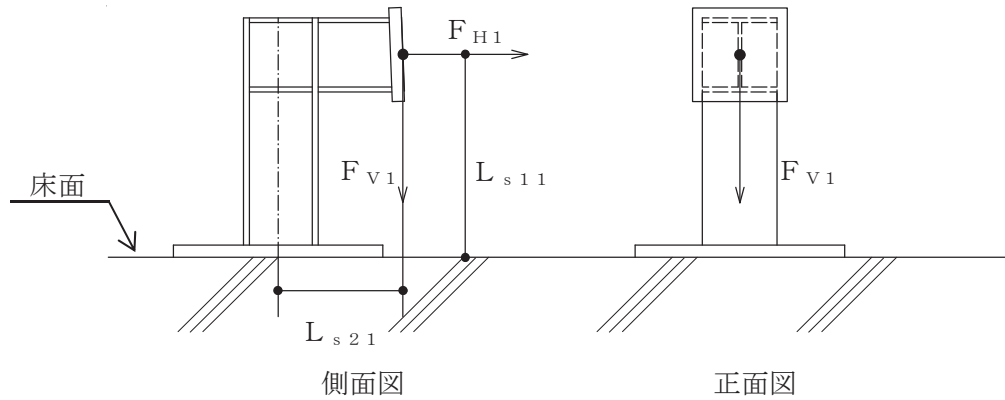
$$Q_{b2} = \max \left( \frac{F_{V1}}{n_{b2}}, \frac{\sqrt{F_{V2}^2 + F_{H2}^2}}{n_{b2}} \right)$$

せん断応力度

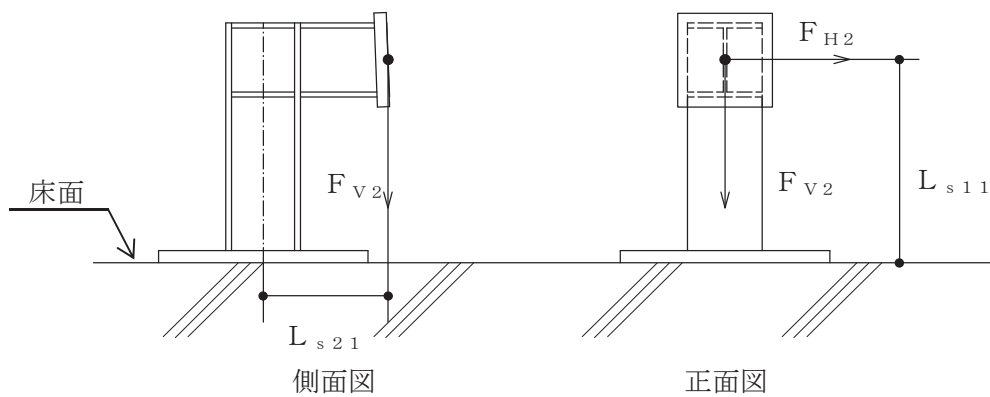
$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}}$$

(8) 固定マストの計算方法

固定マストに発生する応力度は地震により作用する曲げモーメントから計算する。図 1.4.4-6 に計算モデルを示す。



(1) 面外方向



(2) 面内方向

図 1.4.4-6 計算モデル図

a. 曲げ応力度

曲げモーメント

固定マストに発生する曲げ応力度は水平荷重及び鉛直荷重によって発生する曲げモーメントを固定マストが受けるものとして計算する。

$$M_{s x 1 1} = F_{H 1} \cdot L_{s 1 1} + F_{V 1} \cdot L_{s 2 1}$$

$$M_{s x 2 1} = F_{V 2} \cdot L_{s 2 1}$$

$$M_{s y 2 1} = F_{H 2} \cdot L_{s 1 1}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{b s 1} = m a x \left( \frac{M_{s x 1 1}}{Z_{s x 1}}, \frac{M_{s x 2 1}}{Z_{s x 1}} + \frac{M_{s y 2 1}}{Z_{s y 1}} \right)$$

ここで、断面係数 $Z_{sx1}$ 及び $Z_{sy1}$ は次式により求める。

$$Z_{sx1} = \frac{B \cdot H^3 - (B - t_1)(H - 2 \cdot t_2)^3}{6 \cdot H}$$

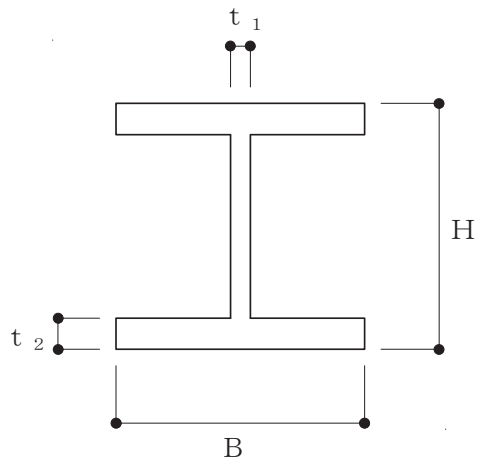
$$Z_{sy1} = \frac{2 \cdot t_2 \cdot B^3 + (H - 2 \cdot t_2)t_1^3}{6 \cdot B}$$

ここで、 $B$  : H鋼の幅

$H$  : H鋼のせい

$t_1$  : H鋼のウェブ厚さ

$t_2$  : H鋼のフランジ厚さ



(9) アンカーボルト③の計算方法

アンカーボルト③に発生する応力は地震により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力から計算する。図 1.4.4-7 に計算モデルを示す。

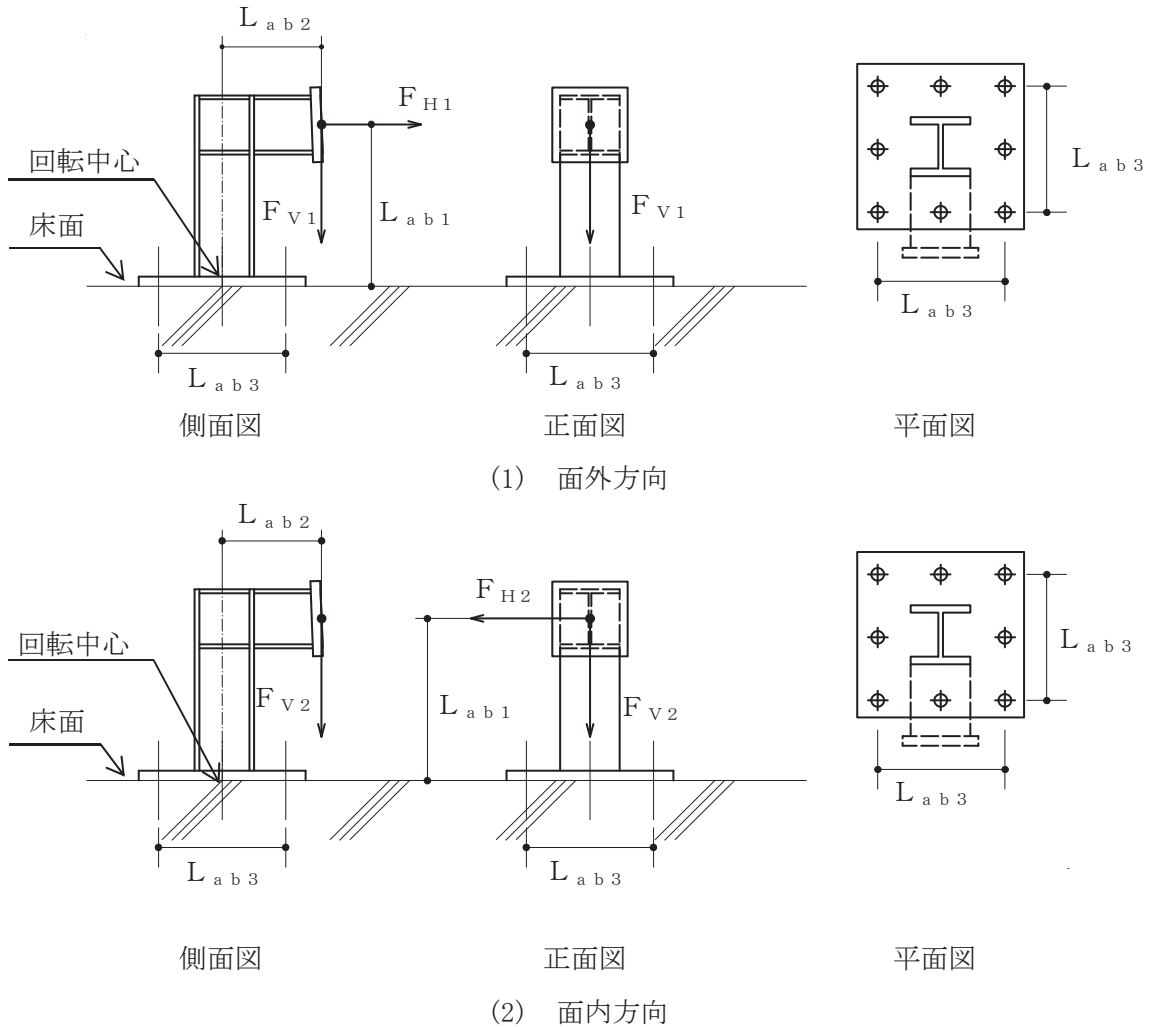


図 1.4.4-7 計算モデル

a. 引張力

アンカーボルト③に発生する引張力は、固定マストに作用する曲げモーメントをアンカーボルト③で受けるものとして計算する。

曲げモーメント

$$M_{abx1} = F_{H1} \cdot L_{ab1} + F_{V1} \cdot L_{ab2}$$

$$M_{abx2} = F_{V2} \cdot L_{ab2}$$

$$M_{aby2} = F_{H2} \cdot L_{ab1}$$

引張力

$$T_{ab3} = m a x \left( \frac{M_{abx1}}{n'_{ab3} \cdot L_{ab3}}, \frac{M_{abx2}}{n'_{ab3} \cdot L_{ab3}} + \frac{M_{aby2}}{n'_{ab3} \cdot L_{ab3}} \right)$$



b. せん断力

アンカーボルト③に発生するせん断力は、ボルト全数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{ab3} = m a \times \left( \frac{F_{H1}}{n_{ab3}}, \frac{F_{H2}}{n_{ab3}} \right)$$

(10) ヒンジピン②

ヒンジピン②に発生する応力度は、地震により作用するせん断力及び曲げモーメントから計算する。計算モデルを図 1.4.4-8 に示す。

面外方向モデル及び面内方向モデルにおいてヒンジピン②をモデル化した節点にはそれぞれ水平方向と鉛直方向の応力が発生する。この応力がヒンジピン②に作用するものとして、以下に示す方法でヒンジピン②に発生する応力度を計算する。ただし、面内方向モデルの水平方向応力は、ハッチカバーの構造上ヒンジピン②に応力が伝達しないものとして計算では考慮しない。

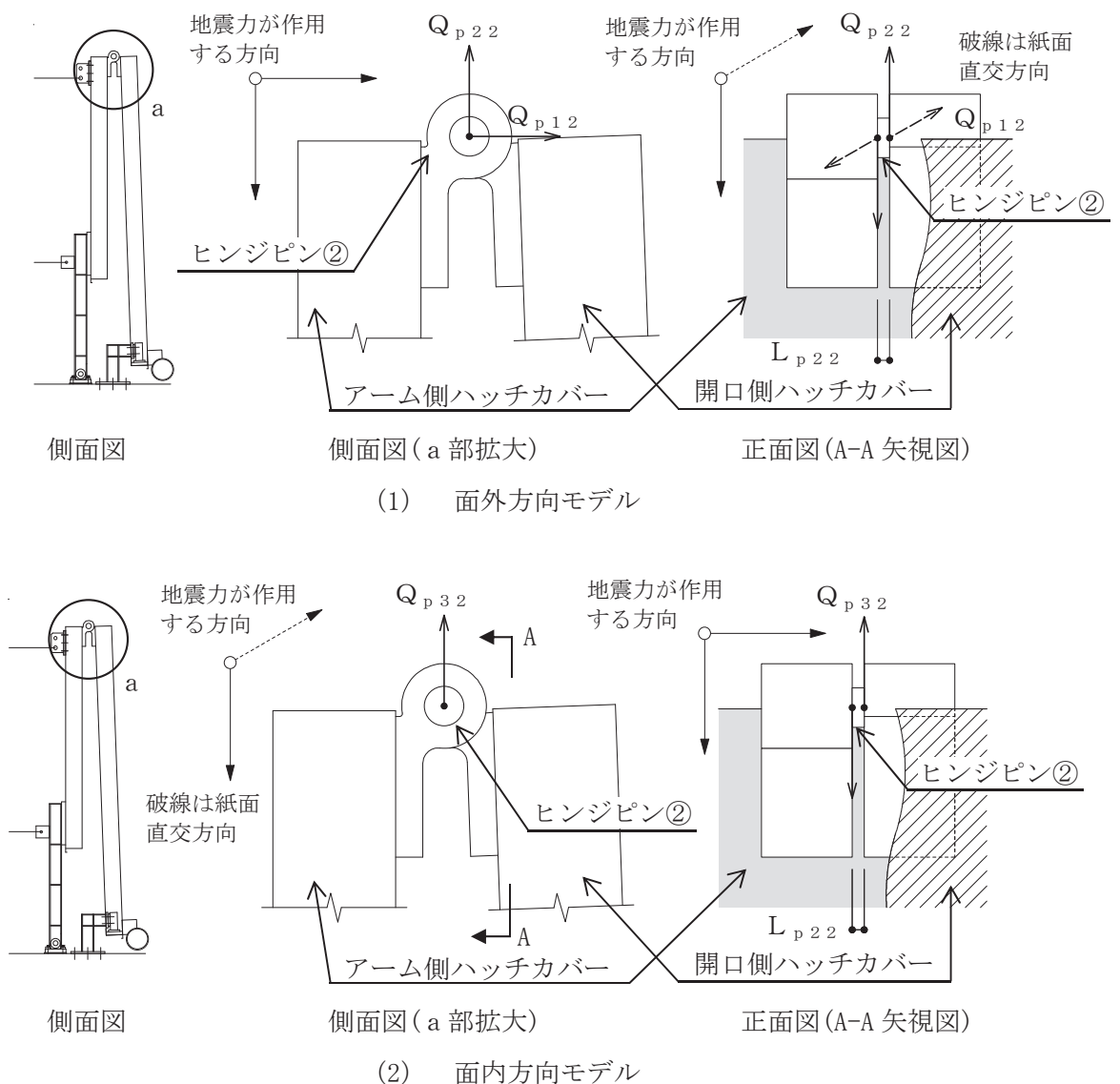


図 1.4.4-8 計算モデル

a. せん断応力度

ヒンジピン②に発生するせん断応力度はヒンジピン②の端部に荷重が作用するものとして計算する。

$$Q_{p2} = \max \left( \sqrt{Q_{p12}^2 + Q_{p22}^2}, Q_{p32} \right)$$

せん断応力度

$$\tau_{p2} = \frac{Q_{p2}}{A_{p2}}$$

ここで、断面積 $A_{p2}$ は次式により求める。

$$A_{p2} = \frac{\pi \cdot R_{p2}^2}{4}$$

b. 曲げ応力度

ヒンジピン②に発生する曲げ応力度はヒンジピン②の端部に荷重が作用するものとして計算する。

曲げモーメント

$$M_{p2} = Q_{p2} \cdot L_{p2}$$

曲げ応力度

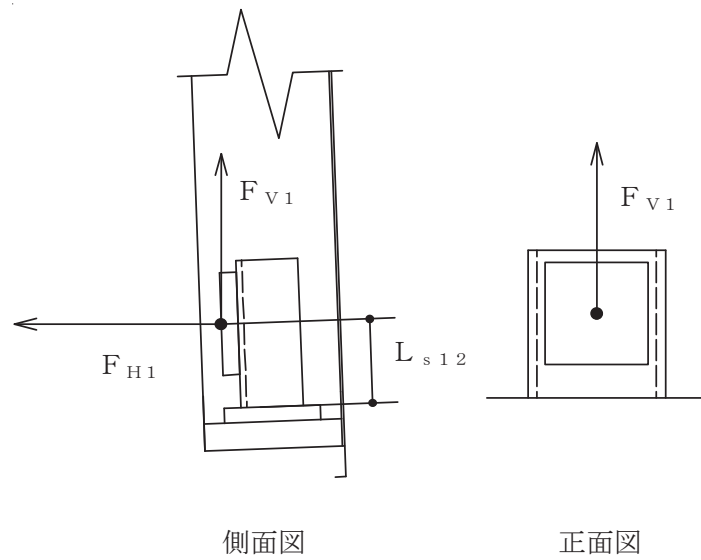
$$\sigma_{p2} = \frac{M_{p2}}{Z_{p2}}$$

ここで、ヒンジピン②の断面係数 $Z_{p2}$ は次式により求める。

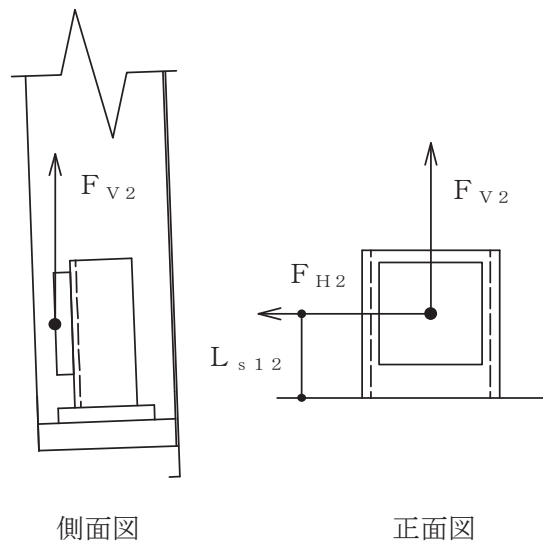
$$Z_{p2} = \frac{\pi \cdot R_{p2}^3}{32}$$

(11) 受金具の計算方法

受金具に発生する応力度は、地震により作用する曲げモーメント及び引張力から計算する。受金具の傾きは小さいため、角度の補正は行わずに計算する。計算モデルを図 1.4.4-9 に示す。



(1) 面外方向



(2) 面内方向

図 1.4.4-9 計算モデル

a. 曲げ応力度

曲げモーメント

受金具に発生する曲げ応力度は水平荷重によって発生する曲げモーメントを受けるものとして計算する。

$$M_{s_y 1 2} = F_{H1} \cdot L_{s 1 2}$$

$$M_{s_x 2 2} = F_{H2} \cdot L_{s 1 2}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{b s 2} = \max \left( \frac{M_{s_y 1 2}}{Z_{s_y 2}}, \frac{M_{s_x 2 2}}{Z_{s_x 2}} \right)$$

ここで、断面係数 $Z_{s_x 2}$ 及び $Z_{s_y 2}$ はJ I S G 3 1 9 2-2014より、 $249 \times 10^3$  (mm<sup>3</sup>) 及び  $44.2 \times 10^3$  (mm<sup>3</sup>) とする。

b. 引張応力度

引張力

受金具に発生する引張応力度は鉛直荷重によって発生する引張力を受けるものとして計算する。

$$T_{s 2} = \max (F_{V1}, F_{V2})$$

引張応力度

$$\sigma_{t s 2} = \frac{T_{s 2}}{A_{s 2}}$$

ここで、断面積 $A_{s 2}$ はJ I S G 3 1 9 2-2014より、 $38.65 \times 10^2$  (mm<sup>2</sup>) とする。

#### 1.4.5 評価方法

##### (1) ターンバックル付棒鋼の評価方法

1.4.4(1)及び(2)で求めたターンバックル付棒鋼の引張応力度 $\sigma_{ri}$ は下表の許容応力度 $f_{tri}$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による組合せの場合
許容引張応力度 $f_{tri}$	$\frac{F_{ri}}{1.5} \cdot 1.5$

##### (2) ボルトの応力評価

1.4.4(3)及び(7)で求めた吊り金具取付ボルト及び接合ボルトの引張応力度 $\sigma_{bj}$ は許容引張応力度 $f_{tbj}$ 以下であること。ただし、引張力及びせん断力を受ける場合は次式により求めた許容引張応力度 $f_{tsbj}$ 以下であること。ただし、 $f_{tbj}$ は下表による。

$$f_{tsbj} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{tbj} - 1.6 \cdot \tau_{bj}, f_{tbj}]$$

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

	基準地震動 $S_s$ による組合せの場合
許容引張応力度 $f_{tbj}$	$\frac{F_{bj}}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力度 $f_{sbj}$	$\frac{F_{bj}}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) アンカーボルトの応力評価

1.4.4(4), (5)及び(9)で求めたアンカーボルトの引張力 $T_{abk}$ 及びせん断力 $Q_{abk}$ は「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出した短期許容引張力 $p_{ak}$ 及び短期許容せん断力 $q_{ak}$ 以下であること。また、引張力及びせん断力を受ける場合は、以下の式を満たすこと。

$$\left(\frac{T_{abk}}{p_{ak}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{abk}}{q_{ak}}\right)^2 \leq 1$$

(4) ヒンジピンの応力評価

1.4.4(6)及び(10)で求めたヒンジピンの曲げ応力度 $\sigma_{pl}$ 及びせん断応力度 $\tau_{pl}$ は許容曲げ応力度 $f_{bpl}$ 及び許容せん断応力度 $f_{spl}$ 以下であること。また、曲げモーメント及びせん断力を受ける場合は、次式を満たすこと。ただし、 $f_{bpl}$ 及び $f_{spl}$ は下表による。

$$\sqrt{\sigma_{pl}^2 + 3 \cdot \tau_{pl}^2} < f_{bpl}$$

	基準地震動 $S_s$ による組合せの場合
許容曲げ応力度 $f_{bpl}$	$\frac{F_{pl}}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力度 $f_{spl}$	$\frac{F_{pl}}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(5) 鋼材の応力評価

1.4.4(8)及び(11)で求めた固定マスト及び受金具の引張応力度 $\sigma_{t\ s\ m}$ 及び曲げ応力度 $\sigma_{b\ s\ m}$ は許容引張応力度 $f_{t\ s\ m}$ 及び許容曲げ応力度 $f_{b\ s\ m}$ 以下であること。また、引張力及び曲げモーメントを受ける場合は次式を満たすこと。ただし、 $f_{t\ s\ m}$ は下表によるものとし、 $f_{b\ s\ m}$ は建築基準法に定める短期の許容曲げ応力度とする。

$$\frac{\sigma_{t\ s\ m} + \sigma_{b\ s\ m}}{f_{t\ s\ m}} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_{b\ s\ m} - \sigma_{t\ s\ m}}{f_{b\ s\ m}} \leq 1$$

	基準地震動 $S_s$ による組合せの場合
許容引張応力度 $f_{t\ s\ m}$	$\frac{F_{s\ m}}{1.5} \cdot 1.5$



## 1.5 評価結果

ハッチカバー固定装置の構造強度評価結果を以下に示す。発生応力度は許容応力度を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

### 1.5.1 設計条件

原子炉建屋 O.P. 33.2m*	基準地震動 $S_s$	
	水平方向設計震度 $C_H$	鉛直方向設計震度 $C_V$
	2.21	1.47

注記\*：基準床レベルを示す。

### 1.5.2 機器要目

#### (1) 解析モデル

$W_1$ (kg)	$W_2$ (kg)	$W_3$ (kg)	$W_4$ (kg)	$W_5$ (kg)	$W_6$ (kg)
2200	2000	130	332	100	31

$h_{11}$ (mm)	$h_{21}$ (mm)	$h_{31}$ (mm)	$\ell_{11}$ (mm)	$\ell_{21}$ (mm)
1375	1725	3645	228	657

$h_{12}$ (mm)	$h_{22}$ (mm)	$h_{32}$ (mm)	$h_{42}$ (mm)	$h_{52}$ (mm)
1125	3905	475	550	1725

$\ell_{12}$ (mm)	$\ell_{22}$ (mm)	$\ell_{32}$ (mm)	$\ell_{42}$ (mm)	$\ell_{52}$ (mm)
1225	3200	5650	7770	4110

## (2) ターンバックル付棒鋼

部材	$A_{ri}$ ( $\text{mm}^2$ )	$n_{ri}$	$F_{ri}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
ターンバックル付棒鋼① ( $i=1$ )	303	2	235
ターンバックル付棒鋼② ( $i=2$ )	303	2	235

## (3) ボルト

部材	$A_{bj}$ ( $\text{mm}^2$ )	$n_{bj}$	$n_{be}$	$e_b$ (mm)	$L_{b1}$ (mm)	$F_{bj}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
吊り金具取付ボルト ( $j=1$ )	245	6	2	60	200	240
接合ボルト ( $j=2$ )	245	4	—	—	—	240

## (4) ヒンジピン

部材	$R_{p\ell}$ (mm)	$A_{p\ell}$ ( $\text{mm}^2$ )	$Z_{p\ell}$ ( $\text{mm}^3$ )	$L_{p\ell}$ (mm)	$F_{p\ell}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
ヒンジピン① ( $\ell=1$ )	60	2827	21200	170	345
ヒンジピン② ( $\ell=2$ )	65	3318	27000	20	345

## (5) 鋼材

部材	B (mm)	H (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	$A_{sm}$ (mm <sup>2</sup> )
固定マスト (m=1)	150	150	12	19	—
受け金具 (m=2)	—	—	—	—	3865

部材	$Z_{sxm}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{sym}$ (mm <sup>3</sup> )	$L_{s1m}$ (mm)	$L_{s2m}$ (mm)	$F_{sm}$ (N/mm <sup>2</sup> )
固定マスト (m=1)	347000	143000	360	193	325
受け金具 (m=2)	249000	44200	121	—	235

## (6) アンカーボルト

部材	$n_{abk}$	$n'_{ab3}$	$L_{ab1}$ (mm)	$L_{ab2}$ (mm)	$L_{ab3}$ (mm)
アンカーボルト① (k=1)	4	—	—	—	—
アンカーボルト② (k=2)	4	—	—	—	—
アンカーボルト③ (k=3)	8	3	360	193	280

1.5.3 計算数値

(1) ターンバックル付棒鋼に作用する力

(単位：N)

部材	$T_{1i}$
	基準地震動 $S_s$
ターンバックル付棒鋼① ( $i=1$ )	$48.00 \times 10^3$
ターンバックル付棒鋼② ( $i=2$ )	$33.96 \times 10^3$

(2) ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$T_{2i}$
	基準地震動 $S_s$
吊り金具取付ボルト ( $i=1$ )	$24.00 \times 10^3$

(単位：N)

部材	$F_{v1}$	$F_{H1}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
接合ボルト	$21.53 \times 10^3$	$12.60 \times 10^3$

(単位：N)

部材	$F_{v2}$	$F_{H2}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
接合ボルト	$59.27 \times 10^3$	$43.33 \times 10^3$

(3) ヒンジピンに作用する力

(単位：N)

部材	$Q_{p1\ell}$	$Q_{p2\ell}$	$Q_{p3\ell}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
ヒンジピン① ( $\ell=1$ )	$0.09 \times 10^3$	$28.78 \times 10^3$	$40.84 \times 10^3$
ヒンジピン② ( $\ell=2$ )	$11.92 \times 10^3$	$3.92 \times 10^3$	$15.34 \times 10^3$

(4) 鋼材に作用する力

(単位：N)

部材	$F_{v1}$	$F_{H1}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
固定マスト	$21.53 \times 10^3$	$12.60 \times 10^3$
受け金具	$21.53 \times 10^3$	$12.60 \times 10^3$

(単位：N)

部材	$F_{v2}$	$F_{H2}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
固定マスト	$59.27 \times 10^3$	$43.33 \times 10^3$
受け金具	$59.27 \times 10^3$	$43.33 \times 10^3$

(5) アンカーボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$T_{2i}$
	基準地震動 $S_s$
アンカーボルト① ( $i=1$ )	$24.00 \times 10^3$
アンカーボルト② ( $i=2$ )	$16.98 \times 10^3$

(単位：N)

部材	$F_{v1}$	$F_{H1}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
アンカーボルト③	$21.53 \times 10^3$	$12.60 \times 10^3$

(単位：N)

部材	$F_{v2}$	$F_{H2}$
	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
アンカーボルト③	$59.27 \times 10^3$	$43.33 \times 10^3$

### 1.5.4 結論

#### (1) ターンバックル付棒鋼の応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部材	材料	応力度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力度	許容応力度
ターンバックル付棒鋼① (i=1)	SNR400B	引張	$\sigma_{r1}=79$	$f_{r1}=235$
ターンバックル付棒鋼② (i=2)	SNR400B	引張	$\sigma_{r2}=56$	$f_{r2}=235$

すべて許容応力度以下である。

#### (2) ボルトの応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部材	強度区分	応力度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力度	許容応力度
吊り金具取付ボルト (j=1)	4.6	引張	$\sigma_{b1}=31$	$f_{tb1}=240$
接合ボルト (j=2)	4.6	引張	$\sigma_{b2}=13$	$f_{tsb2}=216^*$
		せん断	$\tau_{b2}=75$	$f_{sb2}=138$

すべて許容応力度以下である。注記\*： $f_{tsbj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tbj} - 1.6 \tau_{bj}, f_{tbj}]$

#### (3) ヒンジピンの応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部材	材料	応力度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力度	許容応力度
ヒンジピン① (ℓ=1)	S45C	せん断	$\tau_{p1}=7$	$f_{sp1}=199$
		曲げ	$\sigma_{p1}=82$	$f_{bp1}=345$
		組合せ	$\sqrt{\sigma_{p1}^2 + 3 \cdot \tau_p^2}$ =83	$f_{bp1}=345$
ヒンジピン② (ℓ=2)	S45C	せん断	$\tau_{p2}=5$	$f_{sp2}=199$
		曲げ	$\sigma_{p2}=11$	$f_{bp2}=345$
		組合せ	$\sqrt{\sigma_{p2}^2 + 3 \cdot \tau_p^2}$ =14	$f_{bp2}=345$

すべて許容応力度以下である。

## (4) 鋼材の応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部材	材料	応力度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力度	許容応力度
固定マスト (m=1)	SN490B	曲げ	$\sigma_{b s 1}=142$	$f_{b s 1}=325$
受け金具 (m=2)	SS400	引張	$\sigma_{t s 2}=15$	$f_{t s 2}=235$
		曲げ	$\sigma_{b s 2}=34$	$f_{b s 2}=235$

すべて許容応力度以下である。

部材	材料	組合せ	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出値	許容値
受け金具 (m=2)	SS400	$\frac{\sigma_{t s 2} + \sigma_{b s 2}}{f_{t s 2}}$	0.21	1.00
		$\frac{\sigma_{b s 2} - \sigma_{t s 2}}{f_{b s 2}}$	0.09	1.00

すべて許容値以下である。

## (5) アンカーボルトの応力

(単位：N)

部材	材料	応力度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力
アンカーボルト① (k=1)	SS400	引張	$T_{a b 1}=6.00 \times 10^3$	$p_{a 1}=57.58 \times 10^3$
アンカーボルト② (k=2)	SS400	引張	$T_{a b 2}=4.25 \times 10^3$	$p_{a 2}=57.58 \times 10^3$
アンカーボルト③ (k=3)	SS400	引張	$T_{a b 3}=32.19 \times 10^3$	$p_{a 3}=38.27 \times 10^3$
		せん断	$Q_{a b 3}=5.42 \times 10^3$	$q_{a 3}=40.30 \times 10^3$

すべて許容応力以下である。

部材	材料	組合せ	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出値	許容値
アンカーボルト③ (k=3)	SS400	$\left(\frac{T_{a b 3}}{p_{a 3}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{a b 3}}{q_{a 3}}\right)^2$	0.73	1.00

許容値以下である。

## 2. 燃料取替床面の面外方向加速度による影響評価

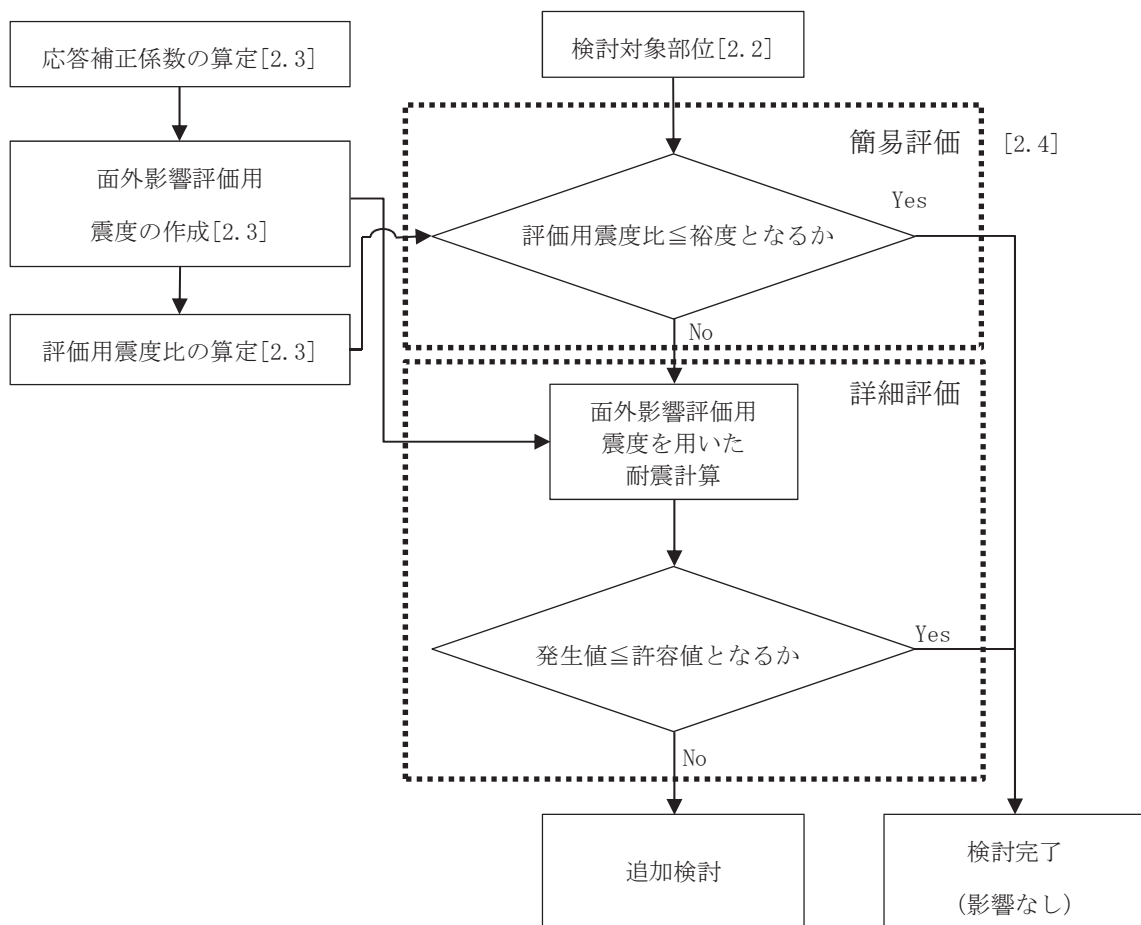
補足説明資料「補足-600-5 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について別紙 4.7 原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの面外加速度に係る機器・配管系への影響検討」においては、原子炉建屋燃料取替床の壁面及び床面に設置された耐震重要度分類 S クラスに属する機器・配管系等を対象に、面外加速度に対する影響検討を行っている。

ハッチカバーは燃料取替床の床面に設置されていることから、同様に燃料取替床面の面外方向（鉛直方向）加速度に対するハッチカバーの影響検討を行う。

### 2.1 一般事項

#### 2.1.1 評価方針

ハッチカバーについて、評価用震度比（詳細は 2.3 項にて説明）と検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価を行う。簡易評価において、評価用震度比が裕度を上回った場合は、面外影響評価用震度（詳細は 2.3 項にて説明）を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 2.1.1-1 に示す。



注：[ ]内は、本資料における章番号を示す。

図 2.1.1-1 原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの面外加速度に係るハッチカバーへの影響検討フロー



## 2.2 評価対象部位

評価対象部位は、「1.5.4 結論」にて最も裕度の小さいアンカーボルト③とする。

## 2.3 面外加速度の影響を評価するための震度の算定

補足説明資料「補足-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について別紙2 3次元FEMモデルを用いた精査」においては、3次元FEMモデルを用いて弾性設計用地震動 $S_d-D2$ に対する地震応答解析を行っていることから、質点系モデルの弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_s$ に対する応答から算定した補正係数を乗じることで、面外加速度による影響を評価に用いる震度を算定する。

材料物性の不確かさによる応答補正比率は、基本ケースの質点系モデルの最大応答加速度に対する材料物性の不確かさを考慮した質点系モデルの最大応答加速度の比（以下、「材料物性の不確かさによる応答比」という。）により算定する。算定した材料物性の不確かさによる応答比を表2.3-1に示す。

$S_s$ 地震時に用いる質点系モデルによる最大応答加速度比は、 $S_d$ 地震時の基本ケースと $S_s$ 地震時の基本ケースの比（以下、「 $S_d$ 地震時に対する $S_s$ 地震時の応答比」という。）により算定する。算定した $S_d$ 地震時に対する $S_s$ 地震時の応答比を表2.3-2に示す。

材料物性の不確かさによる応答比及び $S_d$ 地震時に対する $S_s$ 地震時の応答比から算定した応答補正係数を表2.3-3に示す。

弾性設計用地震動 $S_d-D2$ に対する3次元FEMモデルの応答に応答補正係数を乗算し、重力加速度で除算した震度（以下、「面外影響評価用震度」という。）を算定する。算定した面外影響評価用震度を表2.3-4に示す。

設計震度に対する面外影響評価用震度の比（以下、「評価用震度比」という。）を算定する。算定した評価用震度比を表2.3-5に示す。

影響評価に用いる弾性設計用地震動 $S_d-D2$ に対する3次元FEMモデルの応答は、ハッチカバーの設置箇所に対応する節点の応答について支配幅を考慮した重み付け平均により算定する。影響検討に用いた節点を図2.3-1に、応答の算出方法の概要を図2.3-2に示す。

影響評価に用いる弾性設計用地震動 $S_d-D2$ 及び基準地震動 $S_s-D2$ に対する質点系モデルの応答は、鉛直方向モデルの質点番号6番の応答とする。原子炉建屋の鉛直方向モデルを図2.3-3に示す。

表 2.3-1 質点系モデルに基づく材料物性の不確かさによる応答比 (O. P. 33. 2m)

項目	数値
①基本ケースの最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	785
②材料物性の不確かさを考慮した最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	803
③材料物性の不確かさによる応答比 ②/①	1.03

表 2.3-2 質点系モデルに基づく S<sub>d</sub>地震時に対する S<sub>s</sub>地震時の応答比 (O. P. 33. 2m)

項目	数値
①弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> に対する最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	785
②基準地震動 S <sub>s</sub> -D <sub>2</sub> に対する最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	1353
③ S <sub>d</sub> 地震時に対する S <sub>s</sub> 地震時の応答比 ②/①	1.73

表 2.3-3 応答補正係数 (O. P. 33. 2m)

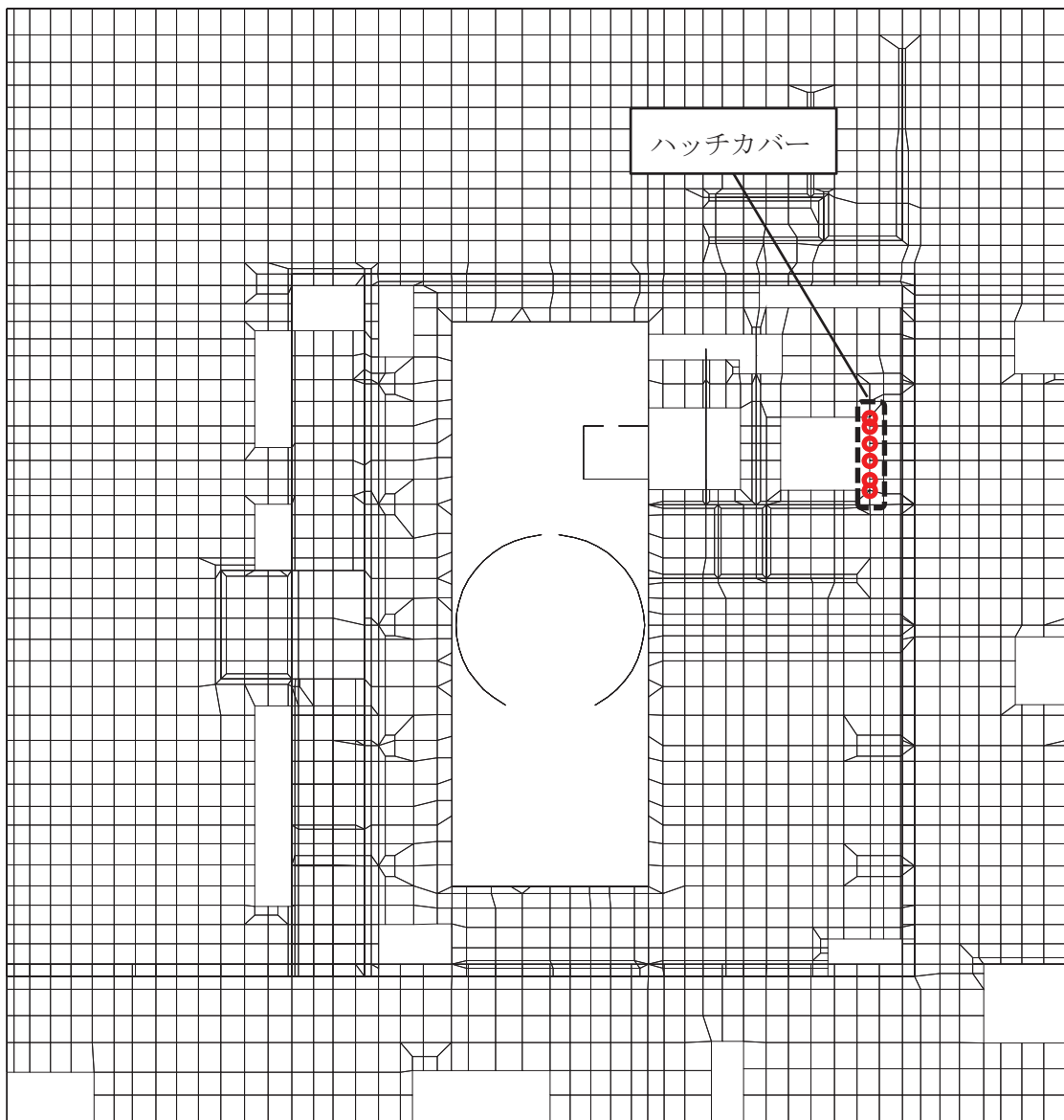
項目	数値
①材料物性の不確かさによる応答比	1.03
② S <sub>d</sub> 地震時に対する S <sub>s</sub> 地震時の応答比	1.73
③応答補正係数 ①×②	1.78

表 2.3-4 面外影響評価用震度 (O. P. 33. 2m)

項目	数値
①弾性設計用地震動 S d - D 2 に対する 3次元 FEM モデルの最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	885
②応答補正係数	1.78
③重力加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	980.665
④面外影響評価用震度 ①×②/③	1.61

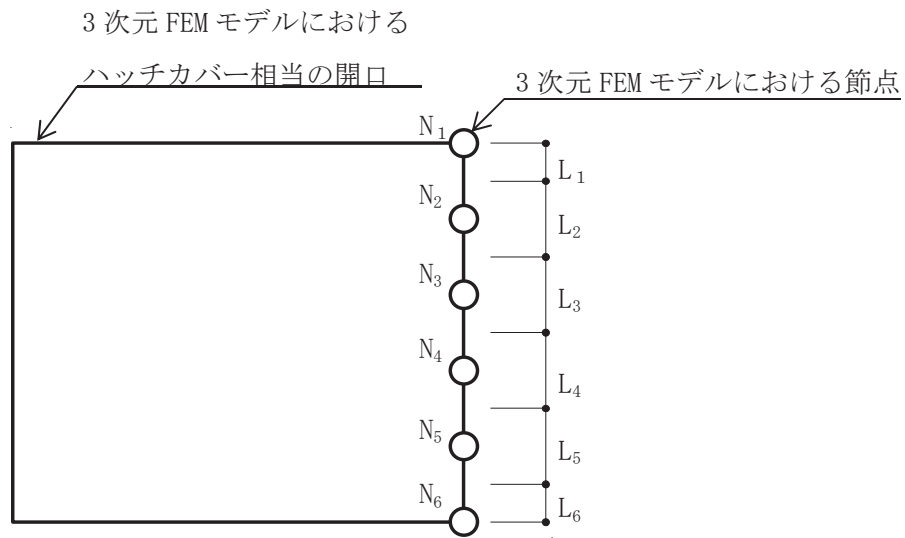
表 2.3-5 評価用震度比 (O. P. 33. 2m)

項目	数値
①面外影響評価用震度	1.61
②設計震度	1.47
③評価用震度比 ①/②	1.10



3次元 FEM モデルの原子炉建屋地上 3 階平面図 (0. P. 33. 2m)

図 2.3-1 ハッチカバー設置箇所に対応する節点の位置



$$\text{ハッチカバーの応答} = \frac{\sum (L_i \times A_i)}{\sum L_i}$$

$A_i$  : 節点  $N_i$  における最大応答加速度

$L_i$  : 節点  $N_i$  の支配幅

図 2.3-2 ハッチカバーの応答の算出方法の概要

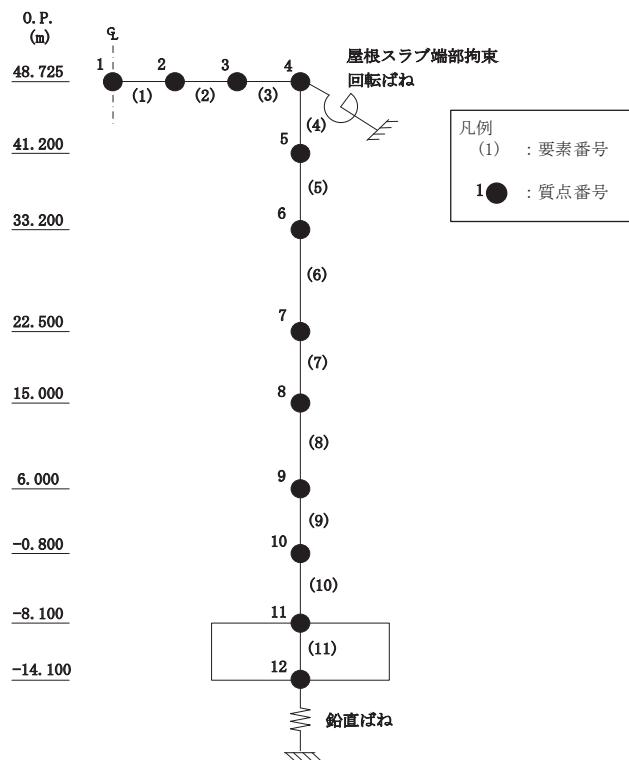


図 2.3-3 地震応答解析モデル (UD 方向)

## 2.4 評価結果

評価結果を表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 評価結果

評価対象部位	評価用震度比	最小裕度	簡易評価
アンカーボルト③	1.10	1.18	○

## 2.5 まとめ

燃料取替床面の面外方向（鉛直方向）加速度による影響を考慮しても、ハッチカバーの耐震性評価に影響がないことを確認した。