

### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

#### ■ 改良地盤に生じる鉛直応力に対する検討

改良地盤に作用する鉛直応力に対し改良地盤の圧縮強度の安全率が1.5以上であることを確認する。

$$\frac{ssf_{sc}}{\sigma_{y\max}} \geq 1.5$$

ここで、 $ssf_{sc}$ ：改良地盤の圧縮強度

$\sigma_{y\max}$ ：有限要素解析による各要素の鉛直応力の最大値

改良地盤の圧縮強度 ( $ssf_{sc}$ ) は、「JEAC 4616-2009」により改良地盤の圧縮強度の平均値である設計圧縮強度5000 kN/m<sup>2</sup>とし、断面欠損を考慮した場合 4900 kN/m<sup>2</sup>とする。

表4.3.7-1 改良地盤の鉛直応力に対する検討結果

方向	最大鉛直応力 発生地震波	最大鉛直応力 $\sigma_{y\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	圧縮強度 $ssf_{sc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	安全率	クイリア	判定
NS	Ss-1	761	4900	6.43	1.50	OK
EW	Ss-2	793	4900	6.17	1.50	OK

### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

#### ■ 改良地盤に作用するせん断力に対する検討

検討は、改良地盤の基礎直下及び改良地盤下端のせん断力について行う。改良地盤上端及び下端にせん断面を想定し、せん断に対する安全率 $F_s$ が1.5以上であることを確認する。

$$F_s = \frac{F_R}{F_H} \geq 1.5$$

ここで、 $F_s$ ：せん断に対する安全率

$F_R$ ：せん断面上の地盤の水平抵抗力 (kN)

$F_H$ ：せん断面上の地盤のせん断力 (kN)

表 4.3.7-2 改良地盤のせん断力に対する検討結果 (基礎直下)

方向	最大せん断力 発生地震波	最大せん断力 $F_H$ (kN)	水平抵抗力 $F_R$ (kN)	安全率 $F_s$	クイリア	判定
NS	Ss-2	56816	676650	11.90	1.50	OK
EW	Ss-1	55076	676650	12.28	1.50	OK

表 4.3.7-3 改良地盤のせん断力に対する検討結果 (改良地盤下端)

方向	最大せん断力 発生地震波	最大せん断力 $F_H$ (kN)	水平抵抗力 $F_R$ (kN)	安全率 $F_s$	クイリア	判定
NS	Ss-2	105335	676650	6.42	1.50	OK
EW	Ss-1	106956	676650	6.32	1.50	OK

### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

#### ■ 支持力の検討

支持力の評価は、改良地盤下端における最大鉛直応力が支持地盤の極限支持力度に対し1.5以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V} \geq 1.5$$

ここで、 $R_u$ ：極限鉛直支持力度  
 $V$ ：地震応答解析から得られる最大鉛直応力

表 4.3.7-4 支持地盤の鉛直応力に対する検討結果

方向	最大鉛直応力 発生地震波	最大鉛直応力 V (kN/m <sup>2</sup> )	支持地盤の極限支持 力度 $R_u$ (kN/m <sup>2</sup> )*	安全率 $F_s$	クイリア	判定
NS	Ss-1	761	6860	9.01	1.50	OK
EW	Ss-2	793	6860	8.65	1.50	OK

\*：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（4号炉増設）」による。

### 4.3.8 原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

#### ■ 弾性支承反力に対する検討

地震応答解析で得られる弾性支承に生ずる最大圧縮軸力の反力として原子炉建屋のRC梁に生じるせん断力が、梁の許容せん断耐力以下となることを確認する。

表 4.3.8-1 弾性支承反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	梁端せん断力Q(kN)	許容せん断耐力Qa(kN)	耐力比	判定
弾性支承受梁	Ss-1	NS(A)*	1203	2313	0.52	O.K.

\*：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

#### ■ ばね付きオイルダンパの反力に対する検討

ばね付きオイルダンパの反力を受ける原子炉建屋床架構を有限要素法を用いてモデル化し弾性解析を行う。床スラブは板要素で、大梁は線材でモデル化する。

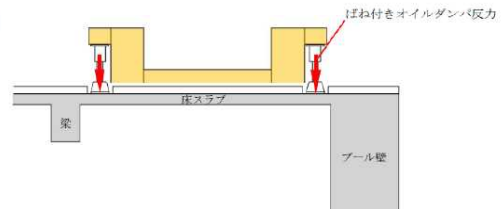


図 4.3.8-1 ばね付きオイルダンパ反力概要図

表 4.3.8-2 ばね付きオイルダンパの反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
ばね付き オイルダンパ 受け床スラブ	Ss-1	NS(A)*	曲げM (kNm/m)	79	216	0.37	O.K.
			せん断Q(kN/m)	321	420	0.77	O.K.

\*：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

### 4.3.8 原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

#### ■ オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討

オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける原子炉建屋南側外壁（壁・大梁及び柱）を有限要素法を用いてモデル化し、弾性解析を行う。壁付梁は板要素で、柱は線材でモデル化する。オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける箇所は2箇所あるが、面外方向の反力値が大きく、躯体断面の小さい西側での検定比が支配的となるため西側での検討を代表として行う。

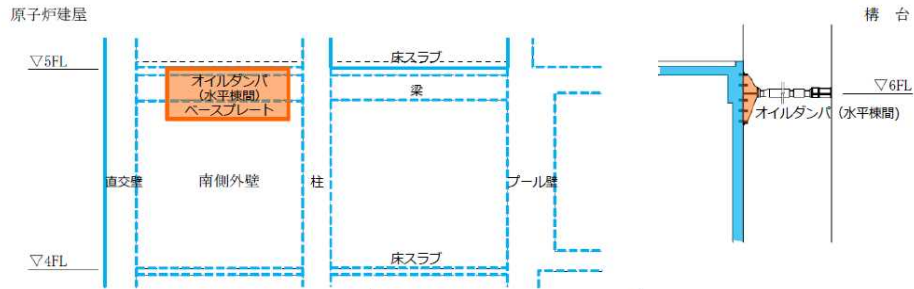


図 4.3.8-2 オイルダンパ（水平棟間）ベースプレート概要図

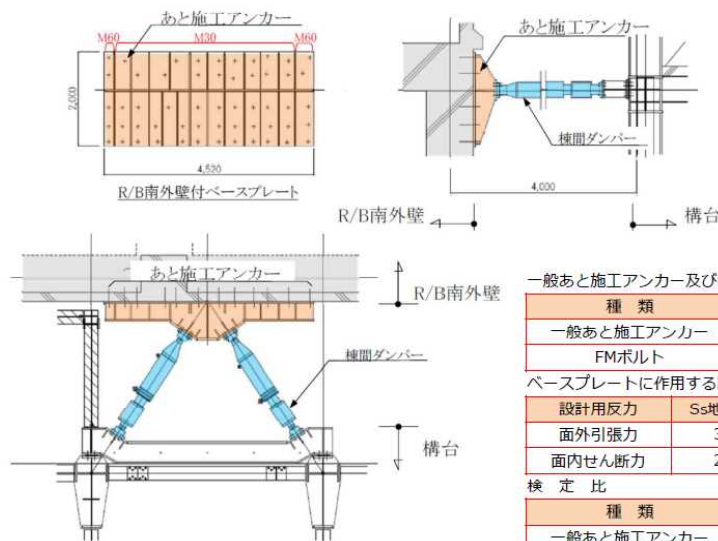
表 4.3.8-3 オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
オイルダンパ (水平棟間) 受け外壁	Ss-2	NS(B)*	曲げM (kNm/m)	206	422	0.49	O.K.
			せん断Q(kN/m)	273	589	0.47	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

### 棟間ダンパー R/B南外壁接続について

- 棟間ダンパーは、R/B南側外壁のオペフロより下がった位置で、あと施工アンカー（M30及びM60の2種類）を用いて壁面に固定されたベースプレートと接続している。
- あと施工アンカーは、地震応答解析で得られた棟間ダンパーのR/B側節点反力（引張及びせん断方向）の最大値に対して短期許容強度を用いて必要本数を算出して配置している。



一般あと施工アンカー及びFMボルトの短期許容強度

種類	径	有効埋込長	短期許容強度
一般あと施工アンカー	M30	300 mm	73 kN/本 引張
FMボルト	M60	265 mm	329 kN/本 せん断

ベースプレートに作用する設計用反力

設計用反力	Ss地震時最大値
面外引張力	3203 kN
面内せん断力	2219 kN

検定比

種類	径	検定比
一般あと施工アンカー	M30	0.98 引張
FMボルト	M60	0.68 せん断

## あと施工アンカーの適用性と妥当性について

TEPCO

- M30アンカーボルトの設計は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会）」「4.5接着系アンカーボルトの設計」、及び「あと施工アンカー工法・製品評価認証書 セメフォースアンカー150、セメフォースアンカー500」（日本建築あと施工アンカー協会 認証番号：第17-0005号）による
- 以下の通り、M30のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
  - 躯体コンクリートの設計基準強度は22.1N/mm<sup>2</sup>であり、各種合成構造設計指針の適用範囲内（18～48N/mm<sup>2</sup>）である
  - アンカーボルト材料はSNR400であり、各種合成構造設計指針の適用範囲内である
  - 接着材は「あと施工アンカー工法・製品評価認証書」を取得した材料を用いる
  - セメフォースアンカーの製品評価認証書に定めてあるアンカーボルト径はD22までだが、D22を超える太径アンカー筋に対する無機系あと施工アンカーの付着強度に対する知見は土木学会論文に記載されており、D51まで各種合成構造設計指針の付着強度以上が確保されていることを確認していることから、適用には問題無い
- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## あと施工アンカーの適用性と妥当性について

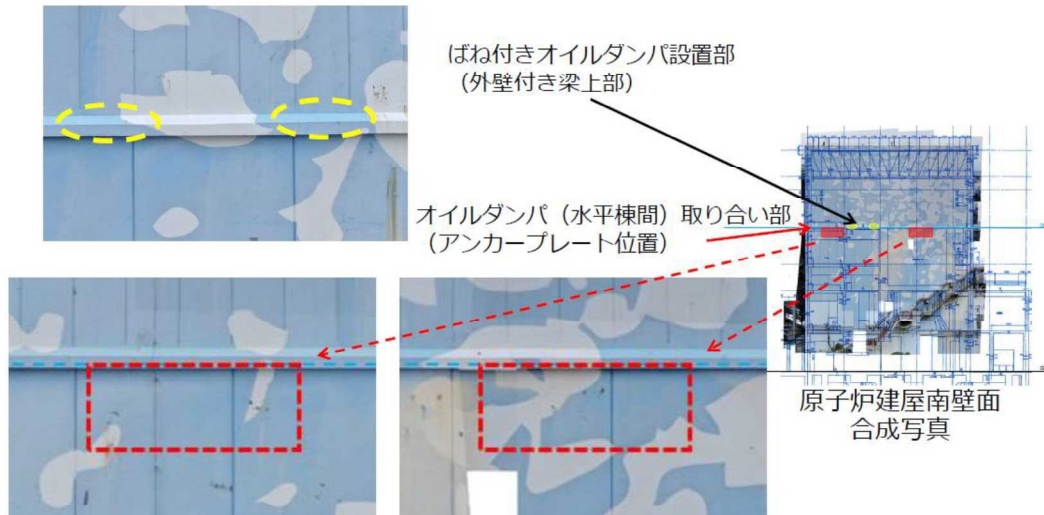
TEPCO

- M60のアンカーボルトの設計は、「評定書（工法等） FMボルト工法」（日本建築センター BCJ評定-SS0031-01）による
- 本評定書において、構造設計方法及び工法が妥当であることが示されている
- 以下の通り、M60のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
  - 躯体コンクリートの設計基準強度は22.1N/mm<sup>2</sup>であり、評定書の適用範囲内（21～42N/mm<sup>2</sup>）である
  - アンカーボルト材料はSNR400であり、評定書の適用範囲内である
  - 接着材は評定書で指定された材料である
  - アンカーボルト径M60は評定書の適用範囲内（30～60mm）である
- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 原子炉建屋接触部の状況について (1)

- 現在に至るまでに該当箇所に損傷や劣化が生じていないかを、遠隔カメラによる画像で確認している。
- オイルダンパ（水平棟間）取り合い部およびばね付きオイルダンパ設置部の損傷は、3号機水素爆発によると思われる塗装面の傷が若干見られる程度であり、躯体構造に及ぼす影響は生じていない。

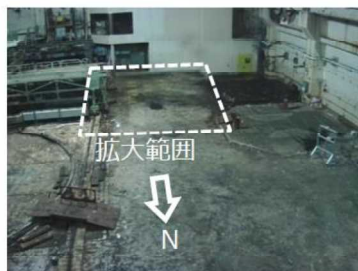


ドローンカメラによる遠隔撮影（2020/6/29）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 原子炉建屋接触部の状況について (2)

- 弾性支承およびばね付きオイルダンパ設置位置となる原子炉建屋オペレーティングフロア床面上部には大きな損傷は無く、躯体構造に及ぼす影響は生じていない。



オペフロ全景



原子炉建屋天井監視カメラにより遠隔撮影した合成写真（2021/4/15）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

#### ■ 検討方針

燃料取り出し用構台を支持する原子炉建屋の耐震性の検討は、耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から、原子炉建屋の耐震壁及び屋根トラス（以下、原子炉建屋上部架構）の健全性について行い、基準地震動Ssに対して原子炉建屋上部架構の応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。

#### ■ 解析に用いる入力地震動

原子炉建屋上部架構の地震応答解析に用いる入力地震動は、基準地震動Ssを入力したときの原子炉建屋G.L.29.92mの時刻歴応答加速度とし、水平方向、回転方向及び鉛直方向の同時入力とする。入力地震動の概念図を図 4.3.9-1に示す。

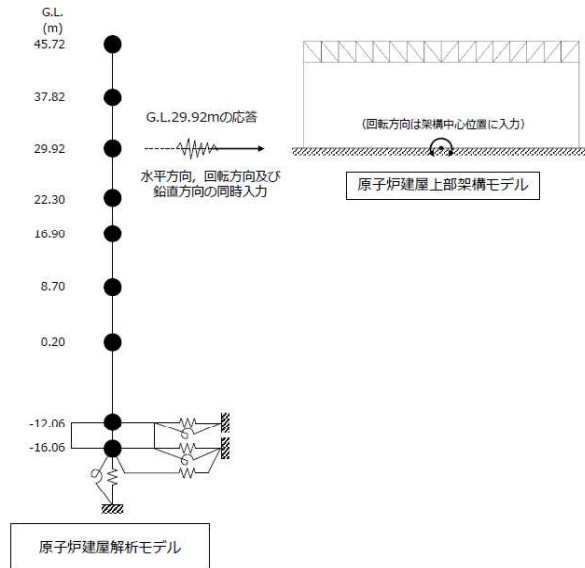


図 4.3.9-1 入力地震動の概念図

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

#### ■ 地震応答解析モデル

原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデルは、G.L.29.92mより上部の鉄骨造の屋根と鉄筋コンクリート造の柱、梁及び耐震壁を組み込んだ立体架構モデルとし、境界条件は柱及び耐震壁脚を固定とする。

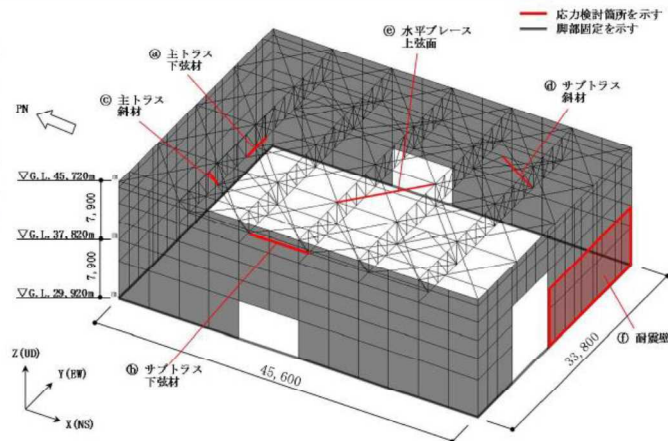


図 4.3.9-2 原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデル

表 4.3.9-1 地震応答解析に用いる物性値

部 位	材 料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
屋根	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	7.90×10 <sup>4</sup>	2
外周部	コンクリート*	2.57×10 <sup>4</sup>	1.07×10 <sup>4</sup>	5

\*：実強度(Fc35)に基づく物性値を示す。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

##### ■ 波及的影響の評価

原子炉建屋上部架構の変形は、JSCA性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会、2018年3月）を参考に定めたクライテリアとして、鉄骨造部材は、塑性率が5以下を満足することを確認する。耐震壁のせん断ひずみは、鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）以下になることを確認する。

##### ■ 応力度比及び塑性率の検討

部材の応力度比は、2方向の曲げ、軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表され、部材の塑性率は、引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。なお、各許容応力度、引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「建設省告示第2464号」に定められた基準強度F値の1.1倍を用いる。

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

表 4.3.9-2 応力度比の検討結果

部 位 *1		部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	判定
主 ト ラ ス	㉑	下弦材 H-400×400×13×21 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	$\sigma_t$	108.4	258	0.72	O.K.
				$\sigma_{by}$	49.7	190		
				$\sigma_{bz}$	7.4	258		
				$\tau$	5.0	148		
サ ブ ト ラ ス	㉒	下弦材 H-248×249×8×13 <SS400>	Ss-1+EW-UD (A)	$\sigma_c$	53.1	142	0.38	O.K.
				$\sigma_{by}$	0.0	157		
				$\sigma_{bz}$	0.0	258		
				$\tau$	0.0	148		

\* 1 : ㉑, ㉒の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。

\* 2 : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)

$\sigma_t$  : 引張応力度の最大値

$\sigma_c$  : 圧縮応力度の最大値

$\sigma_{by}$  : 強軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\sigma_{bz}$  : 弱軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\tau$  : せん断応力度の最大値

### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

表4.3.9-3 塑性率の検討結果

部 位*1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	塑性率		判定
主トラス	Ⓒ	斜材	2Ls-100×100×13 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	T/Tu	0.82	O.K.
サブトラス	Ⓓ	斜材	2Ls-100×100×7 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	C/Cu	0.58	O.K.
水平ブレース	Ⓔ	上弦面	CT-125×250×9×14 <SS400>	Ss-2+EW-UD (A)	C/Cu	1.68	O.K.

\*1 : Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。  
\*2 : ( )内は, 燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)

C : 部材軸方向の圧縮力の最大値  
Cu : 座屈耐力  
T : 部材軸方向の引張力の最大値  
Tu : 引張耐力

### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

#### ■ 耐震壁のせん断ひずみの検討

耐震壁の最大せん断ひずみは $4.0 \times 10^{-3}$ 以下となり, クライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.9-4 耐震壁の最大せん断ひずみの検討結果

部 位*1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	判定
耐震壁	Ⓕ	建屋南側 5F	t=200 <Fc22.1>	Ss-1+EW+UD (A)	0.24	O.K.

\*1 : Ⓕ の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。  
\*2 : ( )内は, 燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)



### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

「4.3.2 架構の耐震性に対する検討」で実施した地震応答解析による原子炉建屋の最大せん断ひずみを、「JEAG 4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を示す。

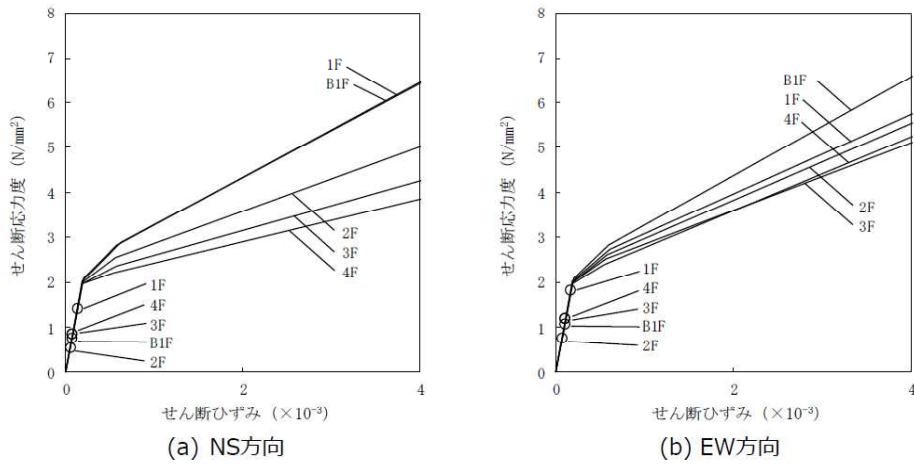


図4.3.9-3 せん断スケルトン曲線上の最大応答値

## II 換気設備 換気風量について

## 1. 必要換気風量の設定

燃料取扱設備等の電気品保護のため、原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台前室内の環境を 40℃以下(設計値)となるよう換気設備の換気風量を設定する。また、各エリアの放射性物質濃度が上がらないよう換気回数 0.5 回/h 以上を確保することを目安とする。これらの要求を満足する換気風量として、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m<sup>3</sup>/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m<sup>3</sup>/h)に設定した。具体的な算定結果を以下に示す。

### 1.1 原子炉建屋オペレーティングフロアの環境維持に必要な換気風量

#### (1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量

$$Q_1 = q_1 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1a} - t_2) \cdot 1/3600) = 15580 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q_1$  :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m<sup>3</sup>/h)

$q_1$  :設計用熱負荷, 約 60 (kW)(機器発熱(照明), 使用済燃料プールからの熱)

$C_p$  :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

$\rho$  :密度, 1.2(kg/m<sup>3</sup>)

$t_{1a}$  :原子炉建屋オペレーティングフロア温度, 40(℃)

$t_2$  :設計用外気温度, 28.5(℃)

#### (2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_1 = \text{Vol}_1 \cdot 0.5 = 13000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q'_1$  :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m<sup>3</sup>/h)

$\text{Vol}_1$  :原子炉建屋オペレーティングフロア内容積, 約 26000(m<sup>3</sup>)

### 1.2 燃料取り出し用構台の環境維持に必要な換気風量

#### (1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m<sup>3</sup>/h)

$$Q_2 = q_2 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1b} - t_2) \cdot 1/3600) = 5193 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q_2$  :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m<sup>3</sup>/h)

$q_2$  :設計用熱負荷, 約 20 (kW)(機器発熱(照明))

$C_p$  :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

$\rho$  :密度, 1.2(kg/m<sup>3</sup>)

$t_{1b}$  :燃料取り出し用構台前室内温度, 40(℃)

$t_2$  :設計用外気温度, 28.5(℃)

#### (2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_2 = \text{Vol}_2 \cdot 0.5 = 8000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q'_2$  :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m<sup>3</sup>/h)

$\text{Vol}_2$  :燃料取り出し用構台前室内内容積, 約 16000(m<sup>3</sup>)

2. 原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台における気流の流れ  
 1 章に基づき, 原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m<sup>3</sup>/h), 燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m<sup>3</sup>/h)に設定した場合の気流の流れを評価する。

2.1 評価モデル

評価モデルを図 1 に, 評価で考慮する隙間を表 1 に示す。

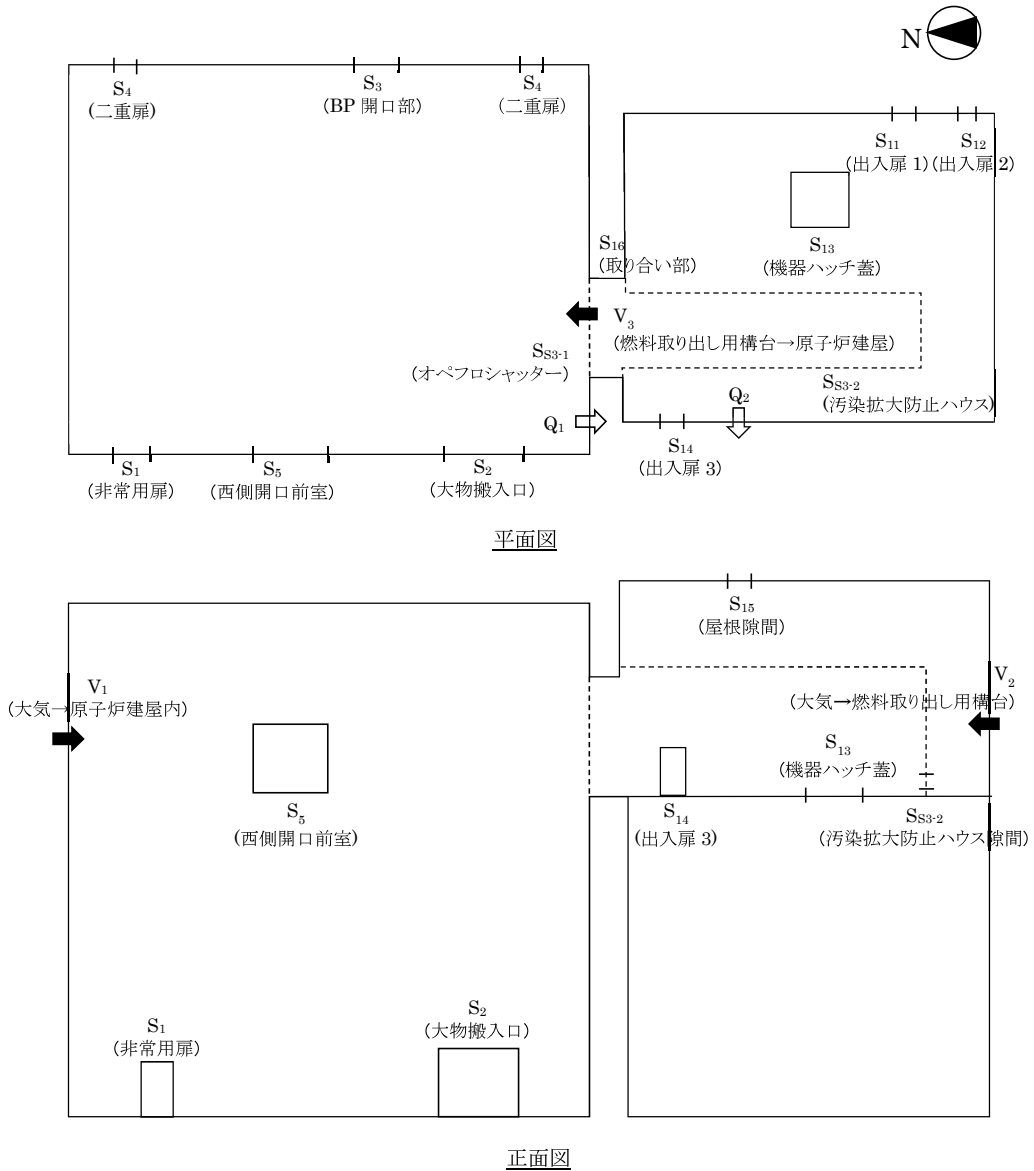


図 1 評価モデル

表 1 評価で考慮する隙間面積

記号	名称	単位	数値(*)	備考
S <sub>S1</sub>	原子炉建屋隙間 合計面積	m <sup>2</sup>	—	
S <sub>1</sub>	非常用扉 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>2</sub>	大物搬入口 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>3</sub>	ブローアウトパネル(BP)開口部 隙間面積(*)	m <sup>2</sup>	0.34	
S <sub>4</sub>	原子炉建屋二重扉(南北)開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>5</sub>	西側開口前室 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0.467	西側開口前室隙間合計
S <sub>S2</sub>	燃料取り出し用構台隙間合計面積	m <sup>2</sup>	—	
S <sub>11</sub>	出入扉 1 隙間	m <sup>2</sup>	0.06	
S <sub>12</sub>	出入扉 2 隙間	m <sup>2</sup>	0.08	
S <sub>13</sub>	機器ハッチ蓋隙間	m <sup>2</sup>	0.2	
S <sub>14</sub>	出入扉 3 隙間	m <sup>2</sup>	0.06	
S <sub>15</sub>	燃料取り出し用構台屋根隙間	m <sup>2</sup>	0.98	
S <sub>16</sub>	燃料取り出し用構台取り合い部隙間	m <sup>2</sup>	0.42	オペプロシャッター開時は S <sub>S1</sub> に加算 オペプロシャッター閉時は S <sub>S2</sub> に加算
S <sub>S3-1</sub>	オペプロシャッター隙間	m <sup>2</sup>	2.33	オペプロシャッター閉時に 適用
S <sub>S3-2</sub>	汚染拡大防止ハウス隙間	m <sup>2</sup>	2.34	オペプロシャッター開時に 適用

(\*)原子炉建屋からの放出量評価適用値。

## 2.2 評価ケース

燃料取り出し作業時に、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流が生じることを確認する。評価ケースは以下の2ケースとする。

### (1) オペフロシャッター閉時

オペフロシャッター閉、汚染拡大防止ハウスは収納状態とした場合の評価モデルを図2に示す。

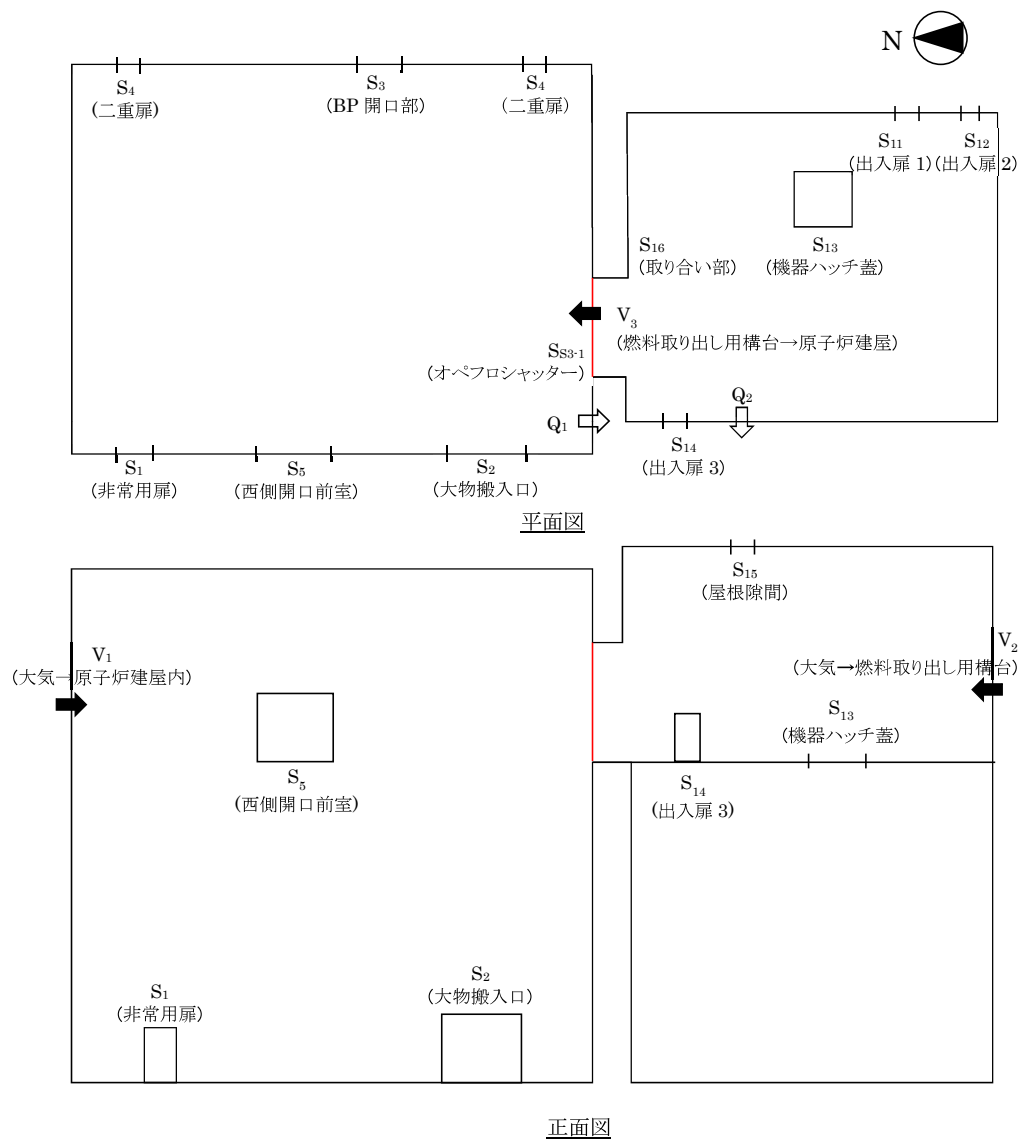


図2 オペフロシャッター閉時 評価モデル

(2) オペプロシャッター開時

オペプロシャッター開, 汚染拡大防止ハウスは展開状態とした場合の評価モデルを図 3 に示す。

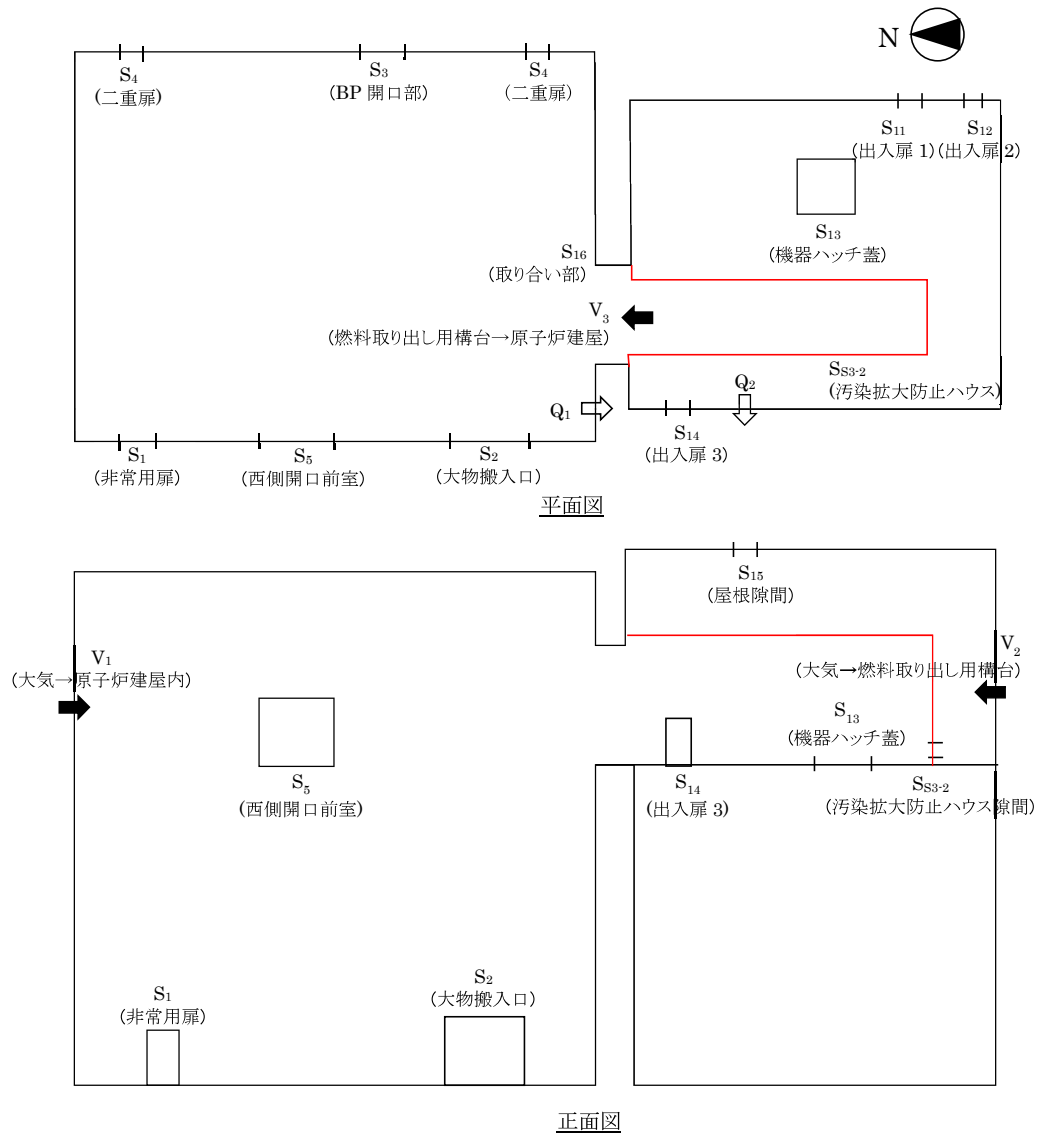


図 3 オペプロシャッター開時 評価モデル





## 2.4 算定結果

2.3 項に記載の方法に従い、原子炉建屋内圧、燃料取り出し用構台内圧を算定し、各流入風速を算定した。

記号	名称	単位	オペフロ シャッター開時	オペフロ シャッター閉時
P <sub>1</sub>	原子炉建屋内圧	Pa	-1.28	-1.38
P <sub>2</sub>	燃料取り出し用構台内圧	Pa	-1.22	-1.20
V <sub>1</sub>	大気から原子炉建屋への 流入風速	m/s	3.2	3.4
V <sub>2</sub>	大気から燃料取り出し用構台へ の流入風速	m/s	3.2	3.1
V <sub>3</sub>	燃料取り出し用構台から 原子炉建屋への流入風速	m/s	0.68	1.2

## 2.5 評価

2.4 項に示す通り、オペフロシャッターの開閉状態に関わらず、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流が生じる。

以上より、ダスト飛散抑制の観点で適切に換気風量が設定されていることを確認した。

## 3. まとめ

1 章及び 2 章に示す通り、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m<sup>3</sup>/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m<sup>3</sup>/h)と設定することで、原子炉建屋及び燃料取り出し構台内の温度維持、換気回数の確保、ダスト飛散抑制のための気流の確保が可能となることを確認した。

### Ⅲ 原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の耐震性についての計算書

1/2Ss450 を用いた評価については、「IV 2号機燃料取り出し関連設備に対する 1/2Ss450 評価について」に記載するため、本資料「III 原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の耐震性についての計算書」への記載は省略する。

## I. 遮蔽体に係る耐震設計の基本方針

### 1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

設備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
遮蔽体	ノンクラス	Ss

2号機原子炉建屋内の作業環境改善のため、原子炉建屋内のオペレーティングフロア床面及び壁側に遮蔽体を設置する計画としている。

遮蔽体の耐震クラス別分類は原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601・補-1984)に規定される放射性物質にかかわる設備には該当しないため、ノンクラスとなる。但し、オペレーティングフロアに設置する遮蔽体のうち使用済燃料プール周りに設置するものが、地震による破損などの事象により、使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。

本資料では、使用済燃料プール周りに設置する下記遮蔽体の支持部材の構造強度の結果を示す。各遮蔽体の配置を図1に示す。なお、本書に示す形状は現場の状況に合わせて変更する可能性がある。

- (1) 使用済燃料プール(SFP)北側遮蔽
- (2) 使用済燃料プール(SFP)南側遮蔽
- (3) 使用済燃料プール(SFP)東側遮蔽
- (4) 使用済燃料プール(SFP)西側遮蔽

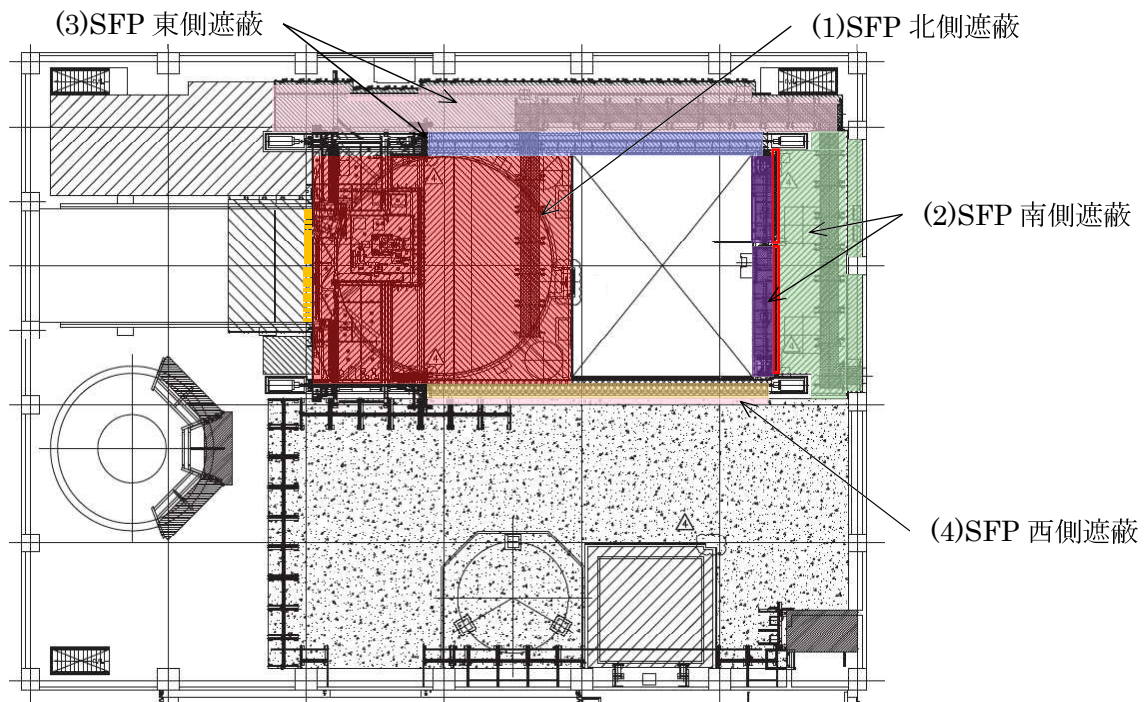


図 1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

## 2. 設計用地震力

遮蔽体の耐震評価には、原子炉建屋オペレーティングフロアの層せん断係数より 1.2 倍の裕度を考慮した静的地震力(水平震度 0.99G, 鉛直震度 0.29), 地震応答解析結果から、遮蔽体を剛構造とみなし 1.2 倍の裕度を考慮した動的地震力(水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54)のうち、保守的となる地震力を選定する。

遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は以下のようにあらわされる。

$$F = mgC_H - \mu(1 - C_V)mg = (C_H - \mu(1 - C_V))mg$$

$m$  : 遮蔽体質量

$g$  : 重力加速度

$C_H$  : 水平方向地震力

$C_V$  : 鉛直方向地震力

$\mu$  : 摩擦係数(=0.25)

上式において静的地震力により遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は、

$$F = 0.8125mg$$

動的地震力による遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は、

$$F = 0.825mg$$

となり、動的地震力の方が大きくなる。以降の評価では、遮蔽体の設計用地震力として動的地震力を適用する。

3. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

Ss : Ss 地震動により求まる地震力

1.5f<sub>s</sub>: 許容せん断応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f<sub>c</sub>: 許容圧縮応力

同上

1.5f<sub>b</sub>: 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界		
	1 次応力		
	せん断	圧縮	曲げ
D+Ss	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>

注) 組合せ応力についても評価する。

## II. 遮蔽体の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本計算書は遮蔽体の耐震性についての計算書である。

### 2. 計算条件

- (1) 遮蔽体は原子炉建屋のオペレーティングフロア上に設置されるため、摩擦係数( $\mu = 0.25$ )\*を考慮し、水平方向地震力からオペレーティングフロアと遮蔽体間の摩擦力を減じた荷重が遮蔽体に負荷されるものとする。

(\* )電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立-地震時のキャスク転倒評価-」(研究報告:U92037)より、コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を様々に変化させた試験結果のうち、最も不利な摩擦係数を適用する。

### 3. 評価方法

#### 3.1. 応力算定方法

各遮蔽体の支持部に発生する曲げ応力, せん断応力, 支圧応力を工学算定式により算出し, それぞれ許容応力以下となることを確認する。また, 曲げ応力とせん断応力が同時に負荷される場合には, 組合せ応力が許容応力以下となることを確認する。

### 3.2. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 1 に示す。

表 1 材料及び許容応力

部位		材質	許容応力 (MPa)	
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280



#### 4. 設計条件

4.1. 耐震上の重要度分類      ランク(Ss)

4.2. 据付場所及び床面高さ    原子炉建屋オペレーティングフロア T.P.38484

4.3. 設計震度

水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54G

4.4. 荷重条件

自重+地震荷重

#### 5. 結論

強度評価の結果を表 2 に示す。使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について、地震時水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力は許容応力を下回るため、遮蔽体が使用済燃料プールへ落下することはない。

表 2 遮蔽体支持部材の構造強度評価結果

部位		材質	許容応力 (MPa)		算出応力 (MPa)
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280	146
			せん断	161	46
			組合せ	280	167
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252	73
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280	244
			せん断	161	17
			組合せ	280	246
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280	270
			せん断	161	20
			組合せ	280	273
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280	52
			せん断	161	3
			組合せ	280	53
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280	23
			せん断	161	6
			組合せ	280	26
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323	201
			せん断	161	13
			組合せ	280	203
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323	57
			せん断	161	2
			組合せ	280	58

## 6. 数値計算

### 6.1. SFP 北側遮蔽

#### 6.1.1 形状・寸法

SFP 北側遮蔽は図 2 に示す通り、SFP 北側のオペレーティングフロア上に並べられた各遮蔽体支持部材間を、かぎ型のフックで接続し、SFP 北側遮蔽全体の地震時水平方向荷重を、北側端部の遮蔽体支持部材のブラケットで支持する構造を有する。そのため、地震時水平方向荷重がブラケットに負荷された場合の強度評価を行う。また、ブラケットと取合い地震時荷重が負荷される D/S プールカバー支持ビームの強度評価を行う。

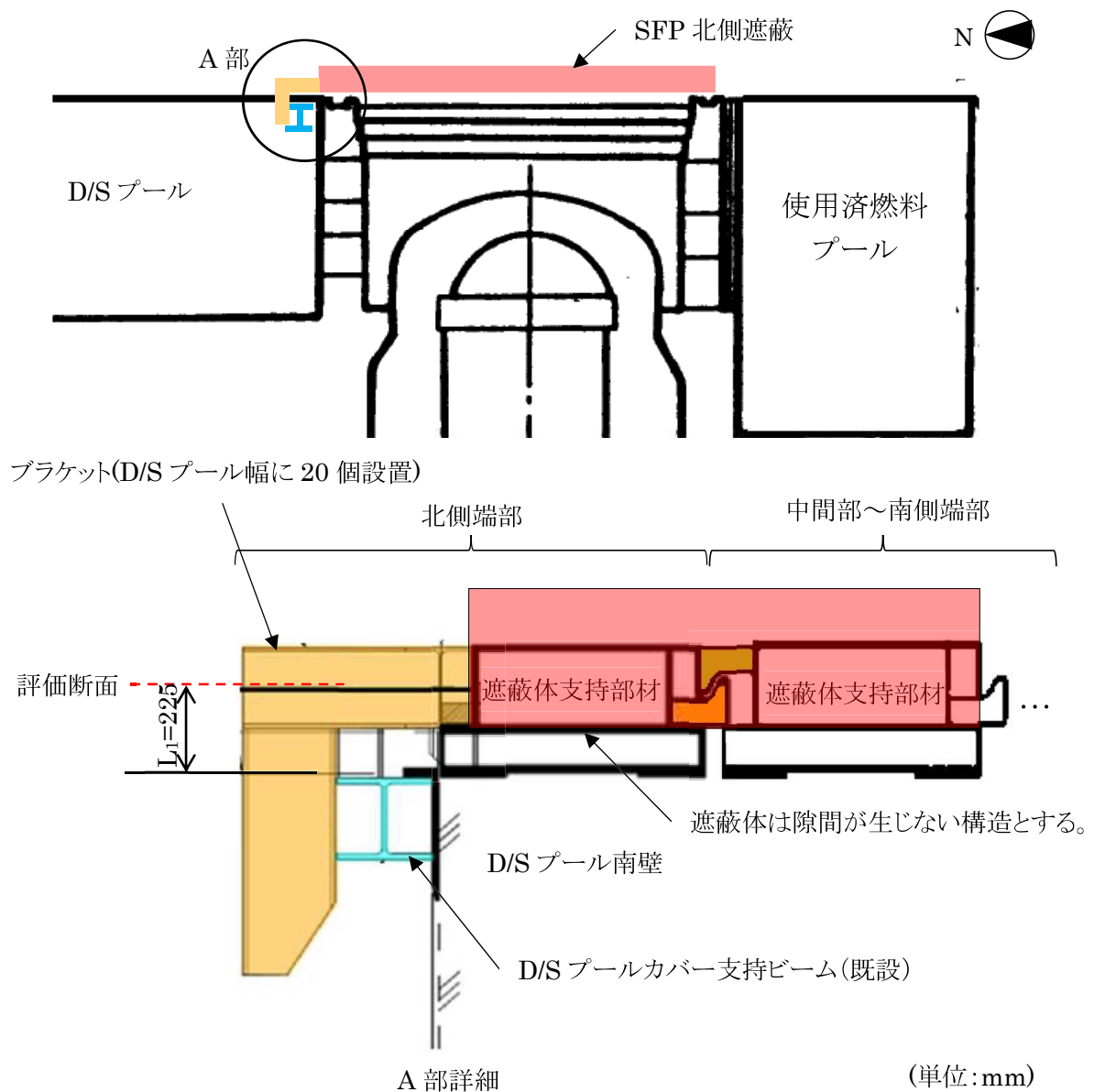


図 2 SFP 北側遮蔽 評価対象部

### 6.1.2 ブラケットの強度

#### (1) 曲げ応力

$$P_1 = W_1 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_1$$

$P_1$  :地震時にブラケット 1 個あたりに生じる荷重(N)

$W_1$  :SFP 北側遮蔽質量 432000(kg)

$g$  :重力加速度 9.80665(m/s<sup>2</sup>)

$C_H$  :水平方向設計震度 0.94

$C_V$  :鉛直方向設計震度 0.54

$\mu$  :摩擦係数 0.25

$N_1$  :ブラケット数量 20

$$M_1 = P_1 \cdot L_1$$

$$\sigma_1 = M_1/Z_1 = 146(\text{MPa})$$

$\sigma_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げ応力(MPa)

$M_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$L_1$  :評価断面から荷重点の距離 225(mm)

$Z_1$  :ブラケットの断面係数 271000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_1 = P_1/A_1 = 46(\text{MPa})$$

$\tau_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じるせん断力(N)

$A_1$  :ブラケットの断面積 3811(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = 167(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa1}$  :ブラケット 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

### 6.1.3 D/S プールカバー支持ビームの強度

#### (1) 支圧応力

$$\sigma_{p1} = P_1/A_2 = 73(\text{MPa})$$

$\sigma_{p1}$  :D/S プールカバー支持ビームに生じる支圧応力(MPa)

$A_2$  :D/S プールカバー支持ビームの支圧断面積 2400(mm<sup>2</sup>)

## 6.2. SFP 南側遮蔽

### 6.2.1 形状・寸法

SFP 南側遮蔽は図 3 に示す通り、SFP 南側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重をジブクレーン及びチャンネル取扱いブーム間に設置する荷重受け部材で支持する構造を有する。ジブクレーン及びチャンネル取扱いブームはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため、地震時水平方向荷重を支持する荷重受け部材の強度評価を行う。また、SFP 南側遮蔽のうち、荷重受け部材より使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平荷重が、同遮蔽体の引っ掛け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

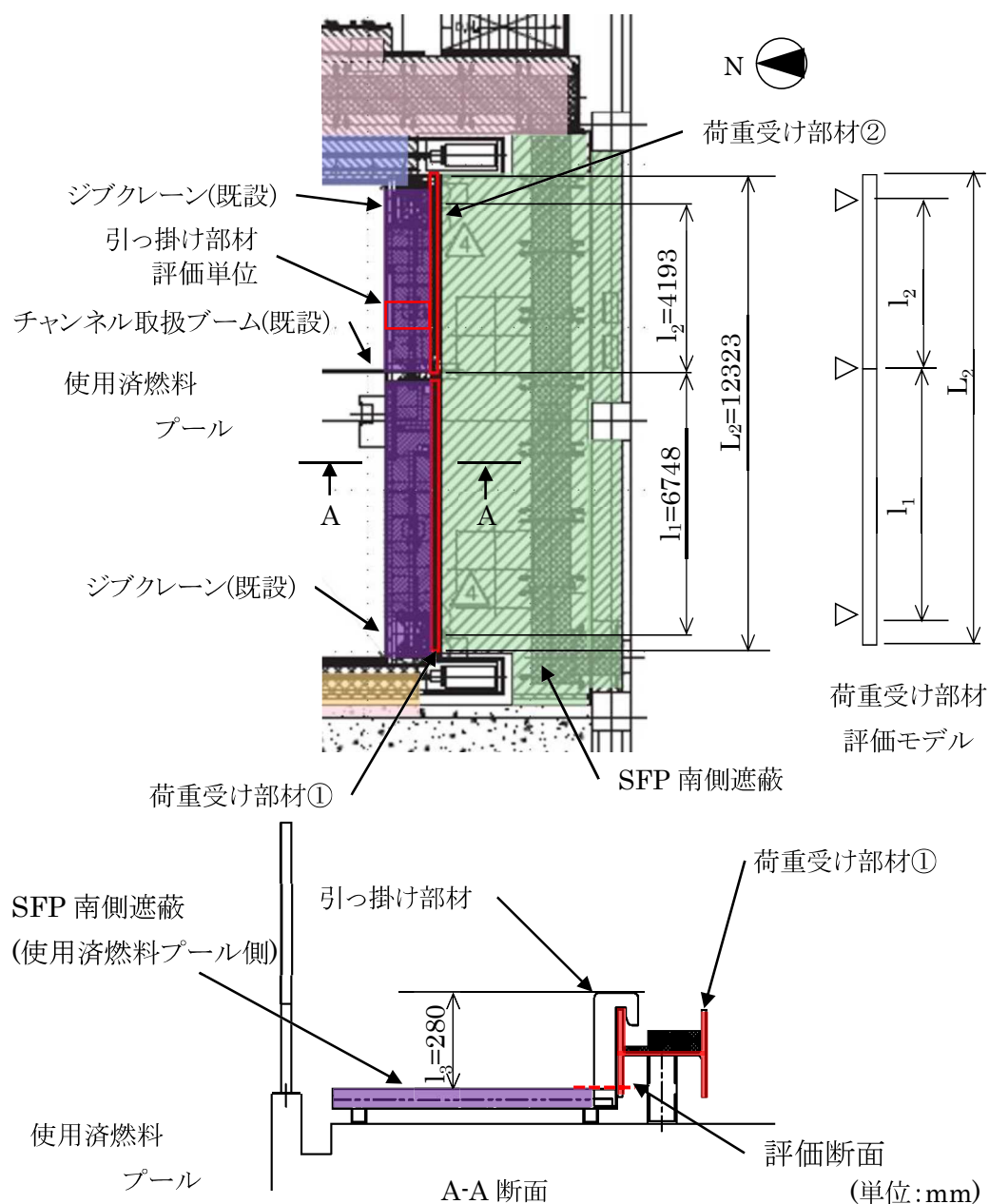


図 3 SFP 南側遮蔽体 評価対象部

### 6.2.2 荷重受け部材①の強度

#### (1) 曲げ応力

$$P_2 = W_2 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/L_2$$

$P_2$  :地震時に荷重受け部材に生じる単位長さ当たりの荷重(N/mm)

$W_2$  :SFP 南側遮蔽質量 88000(kg)

$L_2$  :荷重受け部材が荷重を受ける長さ 12323(mm)

$$M_2 = P_2 \cdot l_1^2/8$$

$$\sigma_2 = M_2/Z_2 = 244(\text{MPa})$$

$\sigma_2$  :荷重受け部材①に生じる曲げ応力 (MPa)

$M_2$  :荷重受け部材①に生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_1$  :荷重受け部材①の支持点間距離 6748(mm)

$Z_2$  :荷重受け部材①の断面係数 1350000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_2 = P_2 \cdot l_1/(2 \cdot A_1) = 17(\text{MPa})$$

$\tau_2$  :荷重受け部材①に生じるせん断応力(MPa)

$A_3$  :荷重受け部材①の断面積 11850(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa2} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = 246(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa2}$  :荷重受け部材①に生じる組合せ応力(MPa)

### 6.2.3 荷重受け部材②の強度

#### (1) 曲げ応力

$$M_3 = P_2 \cdot l_2^2/8$$

$$\sigma_3 = M_3/Z_3 = 270(\text{MPa})$$

$\sigma_3$  :荷重受け部材②に生じる曲げ応力 (MPa)

$M_3$  :荷重受け部材②に生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_2$  :荷重受け部材②の支持点間距離 4193 (mm)

$Z_3$  :荷重受け部材②の断面係数 472000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_3 = P_2 \cdot l_2/(2 \cdot A_4) = 20(\text{MPa})$$

$\tau_3$  :荷重受け部材②に生じるせん断応力(MPa)

$A_4$  :荷重受け部材②の断面積 6353(mm<sup>2</sup>)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa3} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} = 273(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa3}$  : 荷重受け部材②に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.4 引っ掛け部材の強度

SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており、個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため、評価単位での評価とし、評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。引っ掛け部材の評価においては最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_3 = W_3 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_2$$

$P_3$  : 地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)

$W_3$  : SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 380 (kg)

$N_2$  : 遮蔽体 1 個当たりの引っ掛け部材数 2

$$M_4 = P_3 \cdot l_3$$

$$\sigma_4 = M_4 / Z_4 = 52(\text{MPa})$$

$\sigma_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_3$  : 引っ掛け部材高さ 280(mm)

$Z_4$  : 引っ掛け部材の断面係数 8438(mm<sup>3</sup>)

(2) せん断応力

$$\tau_4 = P_3 / A_5 = 3(\text{MPa})$$

$\tau_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

$A_5$  : 引っ掛け部材の断面積 675 (mm<sup>2</sup>)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa4} = \sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} = 53(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa4}$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

## 6.3. SFP 東側遮蔽

### 6.3.1 形状・寸法

SFP 東側遮蔽は図 4 に示す通り、SFP 東側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を燃料取替機レールで支持し、同レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重は引っ掛け部材、荷重受け部材で支持する構造を有する。燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため、燃料取替機レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重が引っ掛け部材及び荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

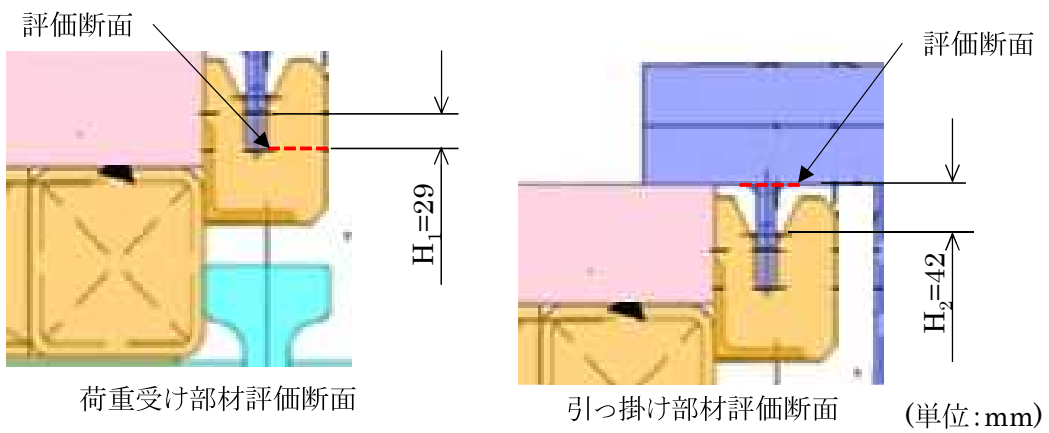
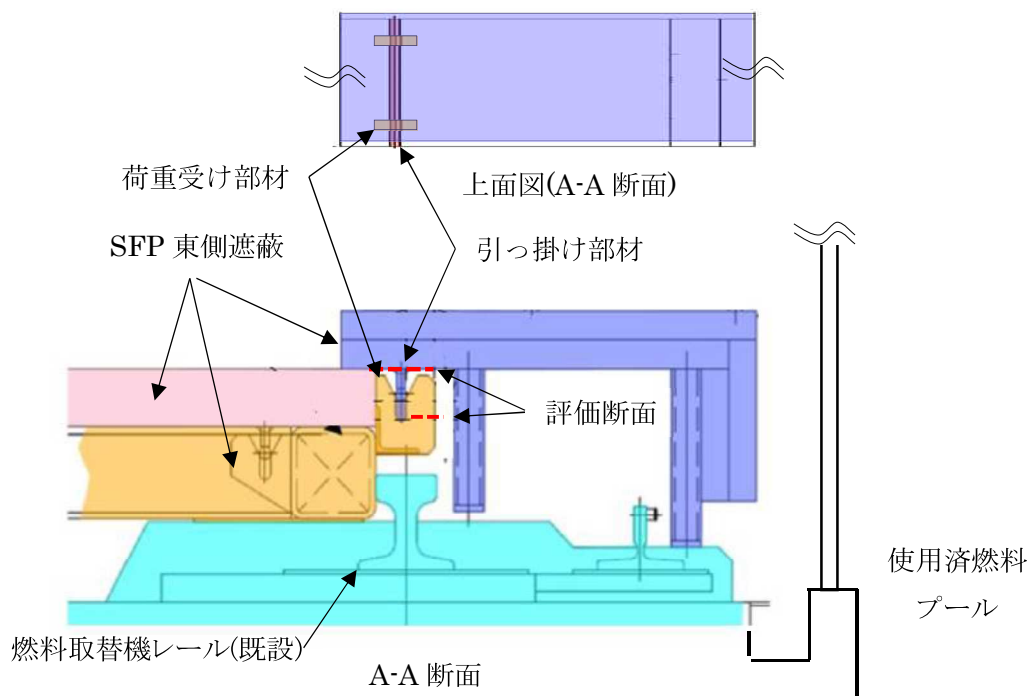
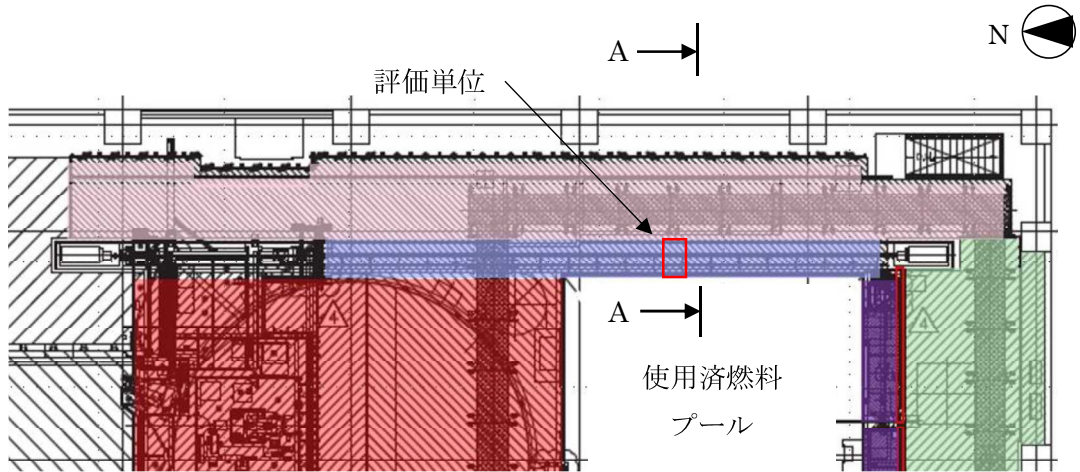


図 4 SFP 東側遮蔽体 評価対象部



### 6.3.2 荷重受け部材の強度

SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており、個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため、評価単位での評価とし、評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては、最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

#### (1) 曲げ応力

$$P_4 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_3$$

$P_4$  :地震時に荷重受け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm)

$W_4$  :SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 570(kg)

$N_3$  : $W_4$ を支持する荷重受け部材数 2

$$M_5 = P_4 \cdot H_1$$

$$\sigma_5 = M_5/Z_5 = 23(\text{MPa})$$

$\sigma_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$H_1$  :荷重受け部材部材高さ 29(mm)

$Z_5$  :荷重受け部材 1 個当たりの断面係数 2888(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_5 = P_4/A_6 = 6(\text{MPa})$$

$\tau_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

$A_6$  :荷重受け部材の断面積 456(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa5} = \sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} = 26(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa5}$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

### 6.3.3 引っ掛け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

#### (1) 曲げ応力

$$P_5 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_4$$

$P_5$  :地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm)

$N_4$  : $W_4$ を支持する引っ掛け部材数 2

$$M_6 = P_5 \cdot H_2$$

$$\sigma_6 = M_6/Z_6 = 201(\text{MPa})$$

$\sigma_6$  :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_6$	: 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)	
$H_2$	: 引っ掛け部材高さ	42(mm)
$Z_6$	: 引っ掛け部材の断面係数	512(mm <sup>3</sup> )

(2) せん断応力

$$\tau_6 = P_5/A_7 = 13(\text{MPa})$$

$\tau_6$  : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じるせん断応力(MPa)

$A_7$  : 引っ掛け部材の断面積 192 (mm<sup>2</sup>)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa6} = \sqrt{\sigma_6^2 + 3 \cdot \tau_6^2} = 203(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa6}$  : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

## 6.4. SFP 西側遮蔽

### 6.4.1 形状・寸法

SFP 西側遮蔽は図 5 に示す通り, SFP 西側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を既設燃料取替機レールで支持する構造を有する。既設燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため, SFP 西側遮蔽体の地震時水平方向荷重が荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

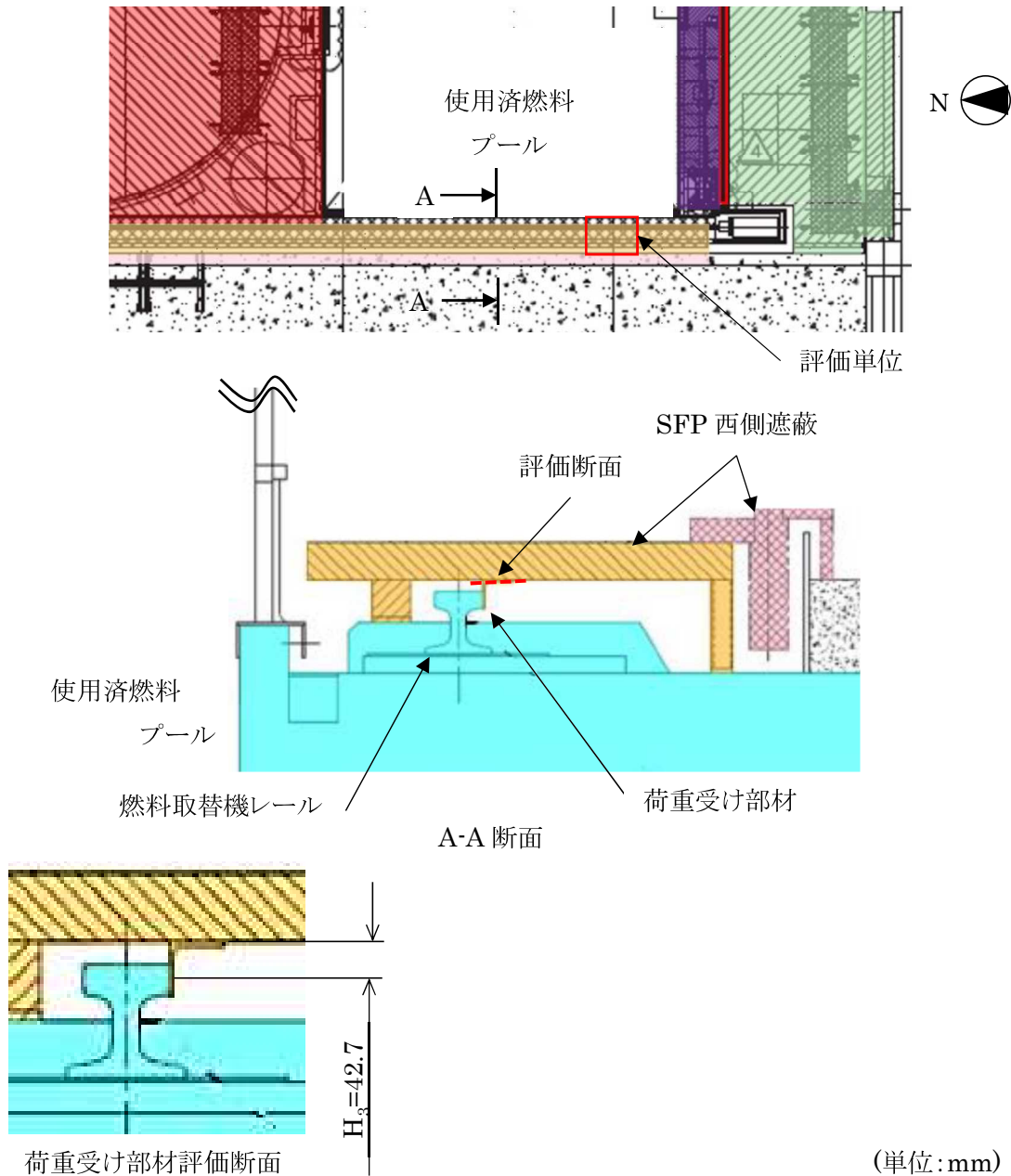


図 5 SFP 西側遮蔽 評価対象部

#### 6.4.2 荷重受け部材の強度

SFP 西側遮蔽は評価単位に分割されており、個々に荷重受け部材で支持されるため、評価単位での評価とし、評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては、最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

##### (1) 曲げ応力

$$P_6 = W_6 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))$$

$P_6$  :地震時に荷重受け部材 1 個あたりに生じる荷重(N)

$W_6$  :SFP 西側遮蔽質量 960(kg)

$$M_7 = P_6 \cdot H_3$$

$$\sigma_7 = M_7 / Z_7 = 57(\text{MPa})$$

$\sigma_7$  :荷重受け部材 1 個あたりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_7$  :荷重受け部材 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$H_3$  :荷重受け部材部材高さ 42.7(mm)

$Z_7$  :荷重受け部材断面係数 5880 (mm<sup>3</sup>)

##### (2) せん断応力

$$\tau_7 = P_6 / A_8 = 2(\text{MPa})$$

$\tau_7$  :荷重受け部材 1 個あたりに生じるせん断応力(MPa)

$A_8$  :引っ掛け部材の断面積 5880(mm<sup>2</sup>)

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa7} = \sqrt{\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2} = 58(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa7}$  :引っ掛け部材 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

#### IV 2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台に対する 1/2Ss450 評価について

## 解析条件比較（燃料取り出し用構台）

- 1/2Ss450（水平2方向+鉛直方向）を適用した場合の影響評価として、実施計画変更認可初回申請書記載の解析結果（以下、Ss600評価結果）と比較する
- 1/2Ss450評価では、地震動の位相反転を考慮せずに解析ケースを絞っているため、位相反転を考慮することによる、断面検討結果の変動から評価ケースの代表性を確認する
- 解析条件

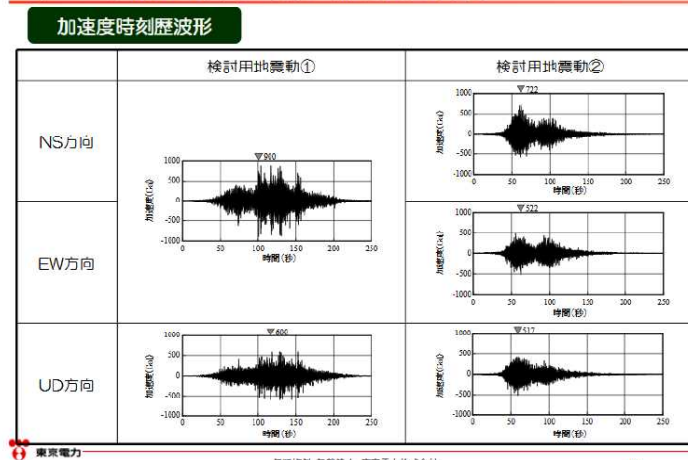
解析条件	条件相違	1/2Ss450評価	Ss600評価
解析に用いる入力地震動	有り	1/2Ss450 次頁以降に示す検討用地震動（最大加速度900gal）の1/2の最大加速度450galの地震動（1波）	Ss600 バックチェックにて作成した基準地震動Ss（最大加速度600gal,450gal）（3波）
地震力の組合せ	有り	水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力	水平1方向及び鉛直方向地震力の同時入力
ケース数	有り	1ケース*	8ケース
地盤定数	有り (手法は同様)	1/2Ss450の水平動を用いて等価線形解析により算出	Ss600の水平動を用いて等価線形解析により算出
地盤バネ	有り (手法は同様)	上記地盤定数を用いて算出	上記地盤定数を用いて算出
原子炉建屋モデル	無し	質点系モデル	
構台モデル	無し	三次元立体モデル	
荷重条件 (燃料取扱設備荷重)	無し	構内用輸送容器揚重時を想定し、構内用輸送容器を含んだ重量を、燃料取扱設備の動作姿勢（R/B内：キャスクヒットへのキャスク揚重、構台内：機器ハッチへのキャスク揚重）を考慮したうえで構台の解析モデル（ランウェイガータ上）に分配 燃料取扱設備位置は原子炉建屋内位置(A)と前室内位置(B)の2ケース考慮	

\* 位相反転を考慮することによる、断面検討結果の変動から代表性確認を実施

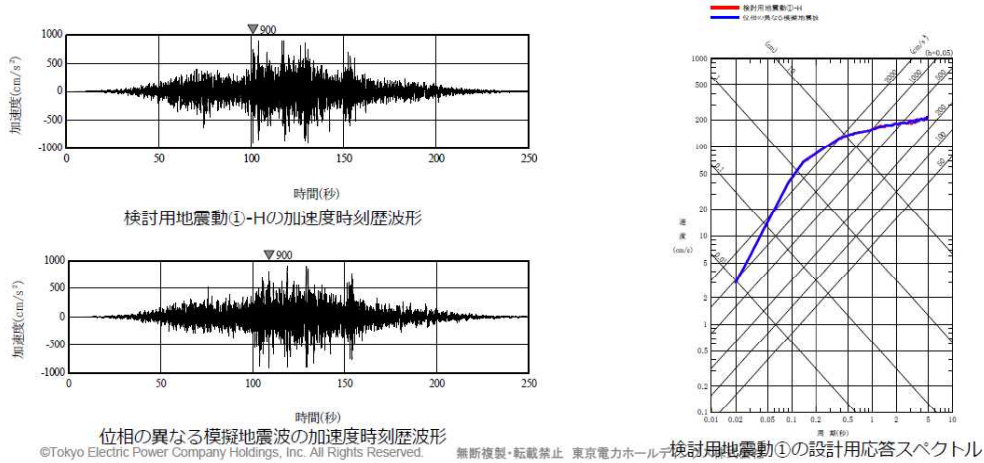
## 検討に用いる地震動の概要

- 本検討に用いる地震動は、第27回特定原子力施設監視・評価検討会にてご説明した、検討用地震動（以下、「Ss900Gal」という）とする。
- Ss900Galは以下の二つの地震動からなる。
- Ss600による評価結果との比較には、Ss900Galの二つの地震動のうち、振幅が大きく、燃料取り出し用構台および燃料取扱設備の応答が大きくなる傾向となる検討用地震動①を用いる。

### 4. 1 検討用地震動の評価（検討用地震動）



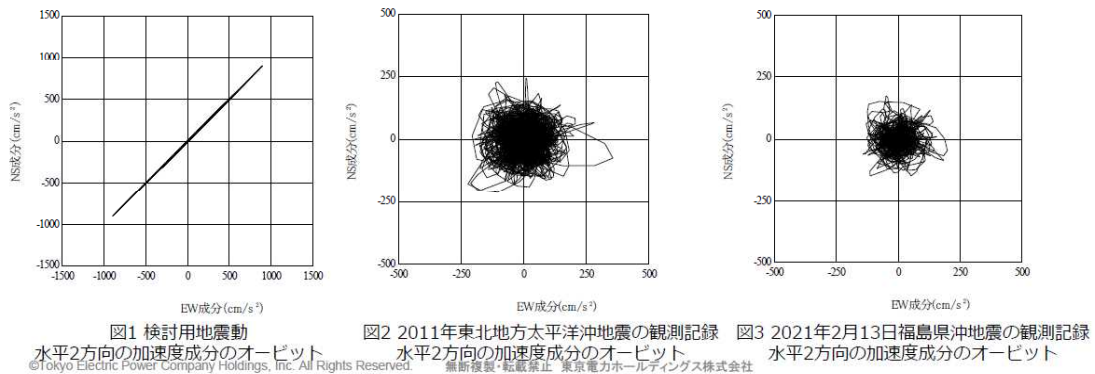
- 水平二方向の影響評価を実施するに当たっては、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力を行う。
- 影響評価に当たっては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を利用する。
- なお、検討用地震動①-Hの位相が、2011年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所敷地内の地震観測記録のNS方向の位相を基に作成していることから、模擬地震波はそれと直交するEW方向の位相を基に作成する。



観測記録を用いた位相差の確認

- なお、念のために自由地盤系南地点（O.P.-200m）の観測記録から、当該サイトにおいて、水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、検討用地震動①を同時に水平2方向に入力した場合のオービット（図1）と、観測記録の水平2方向のオービット（図2及び図3）との比較を行った。図1から、全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい45°方向に直線的な軌跡を示す。一方、図2及び図3より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

本資料におけるO.P.表記は震災前の「旧O.P.表記」を指す。T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への誘導値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。  
 (換算式) T.P. = 旧O.P. - 1,436mm



- また、検討用地震動①と位相の異なる模擬地震波を水平2方向に入力した場合のオービット（図4）と観測記録の水平2方向のオービット（図2及び図3）との比較を行った。図4のオービットはランダムな軌跡を示し、実際の観測記録と似たような軌跡を示すことを確認した。
- このため、位相の異なる模擬地震波はサイト特性を適切に考慮しており、妥当であると考えている。

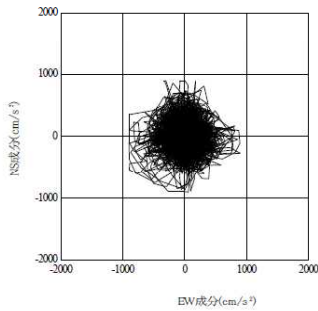


図4 検討用地震動①と位相の異なる模擬地震波の水平2方向の加速度成分のオービット

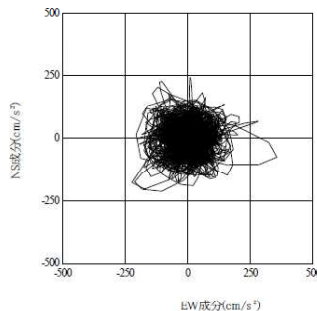


図2 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録 水平2方向の加速度成分のオービット

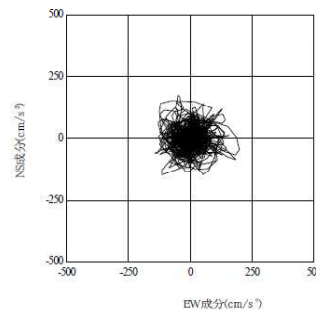
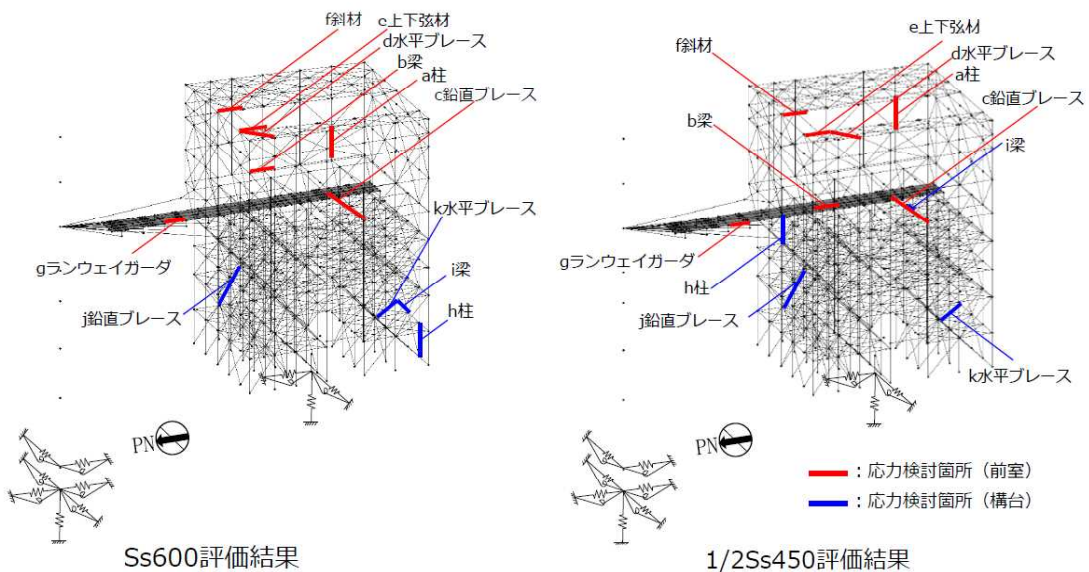


図3 2021年2月13日福島県沖地震の観測記録 水平2方向の加速度成分のオービット

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

影響評価結果（燃料取り出し用構台）

- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較を、前室と構台の層に区分し、より詳細に比較を行った
- 評価の結果、最大応力度比発生部材は下図のとおり



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）



- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較は以下のとおり
- 部位により、同位置の部材が最大になる場合と、異なる場合の両方が存在するが、全ての部位において1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回ることを確認した

部位	Ss600評価結果					1/2Ss450評価結果					比				
	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比					
前室	a	柱	H-700×300 ×14×28 <SM490A>	(A)	f <sub>c</sub>	310	13.7	0.82	H-700×300 ×14×28 <SM490A>	(A)	f <sub>c</sub>	310	24.2	0.71	0.87
					f <sub>by</sub>	298	223.5				f <sub>by</sub>	313	180.8		
					f <sub>bz</sub>	357	3.6				f <sub>bz</sub>	357	17.9		
					f <sub>s</sub>	205	27.6				f <sub>s</sub>	205	3.0		
	b	梁	H-390×300 ×10×16 <SM490A>	(B)	f <sub>t</sub>	357	6.8	0.91	H-390×300 ×10×16 <SM490A>	(B)	f <sub>t</sub>	357	3.8	0.70	0.77
					f <sub>by</sub>	273	0.0				f <sub>by</sub>	273	0.0		
					f <sub>bz</sub>	357	314.6				f <sub>bz</sub>	357	243.8		
					f <sub>s</sub>	205	5.5				f <sub>s</sub>	205	4.2		
c	鉛直 ブレース	φ-355.6×9.5 <STK490>	(A)	f <sub>c</sub>	279	199.6	0.72	φ-355.6×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	279	128.8	0.47	0.66	
d	水平 ブレース	2[s-200×90 ×8×13.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	178.7	0.70	2[s-150×75 ×9×12.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	129.7	0.51	0.73	

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（前室(1)）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）



部位	Ss600評価結果					1/2Ss450評価結果					比				
	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比					
前室	e	屋根 トラス 上下弦 材	H-300×300 ×16×16 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	316	221.0	0.80	H-300×300 ×16×16 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	316	169.2	0.66	0.83
					f <sub>bz</sub>	357	33.3				f <sub>bz</sub>	357	43.7		
					f <sub>s</sub>	205	0.5				f <sub>s</sub>	205	0.7		
	f	屋根 トラス 斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 <SS400>	(B)	f <sub>c</sub>	239	148.7	0.63	2[s-150×75 ×6.5×10 <SS400>	(A)	f <sub>c</sub>	239	117.1	0.49	0.78
	g	ラン ウェイ カーダ	□-1500×900 ×(80+40)×80 <SN490B>	(Λ)	f <sub>c</sub>	323	24.2	0.35	□-1500×900 ×(80+40)×80 <SN490B>	(Λ)	f <sub>c</sub>	323	20.4	0.29	0.83
					f <sub>b</sub>	323	85.4				f <sub>b</sub>	323	69.8		
f <sub>s</sub>					186	14.9	f <sub>s</sub>				186	12.5			

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（前室(2)）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）



部位		Ss600評価結果					1/2Ss450評価結果					比			
		部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比				
構台	h	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	343	43.4	0.91	(X)H1500×400 ×16×32 (Y)H-700×350 ×16×32 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	348	41.6	0.83	0.92	
				f <sub>by</sub>	337	246.2				f <sub>by</sub>	303	120.5			
				f <sub>bz</sub>	357	17.1				f <sub>bz</sub>	357	108.5			
				f <sub>s</sub>	205	18.8				f <sub>s</sub>	205	12.8			
	i	H-750×350 ×40×40 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	350	24.1	0.87	H-800×350 ×19×36 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	342	0.1	0.69	0.80	
				f <sub>by</sub>	352	265.9				f <sub>by</sub>	339	152.4			
				f <sub>bz</sub>	357	5.0				f <sub>bz</sub>	357	0.7			
				f <sub>s</sub>	205	41.5				f <sub>s</sub>	205	106.1			
	j	鉛直 ブレース	φ-406.4×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	294	214.2	0.73	φ-406.4×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	294	137.7	0.47	0.65
	k	水平 ブレース	[-180×75×7 ×10.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	63.3	0.25	[-180×75×7 ×10.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	36.1	0.14	0.56

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（構台）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）



- 弾性支承およびオイルダンパの応答結果の比較は以下のとおり
- 1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回ることを確認した
- 前頁に記載した、燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果と併せ、1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回り、影響が十分小さいことを確認した

オイルダンパの応答結果比較

		許容値	Ss600 評価結果		1/2Ss450評価 結果	
			設備 位置	最大応 答値	設備 位置	最大 応答値
オイルダンパ (水平棟間)	変位 (mm)	±100	(B)	50	(A)	40
	速度 (m/s)	0.70	(B)	0.54	(A)	0.42
オイルダンパ (鉛直)	変位 (mm)	±60	(B)	18	(B)	13
	速度 (m/s)	0.50	(B)	0.16	(B)	0.07
ばね付き オイルダンパ	変位 (mm)	±100	(A)	18	(A)	14
	速度 (m/s)	1.00	(A)	0.14	(A)	0.10

弾性支承の応答結果比較

		Ss600 評価結果		1/2Ss450 評価結果	
		設備 位置	最大圧縮 面圧 σ <sub>D</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	設備 位置	最大圧縮 面圧 σ <sub>D</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
西側	圧縮限界強度 σ <sub>V</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	(A)	10.83	(A)	8.80

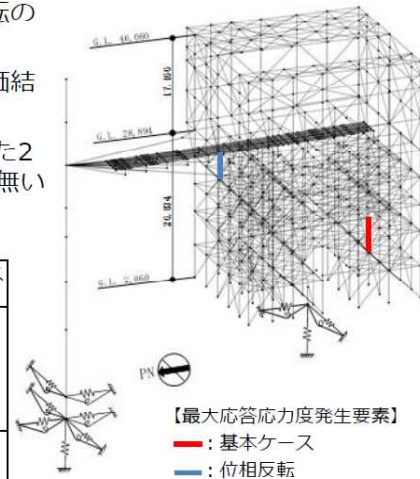
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響確認に用いた評価ケースの代表性について

TEPCO

- 1/2Ss450評価結果で応力度比が最大となるケース（設備位置(B), 要素：柱）に対し、位相反転を考慮した場合（1ケース）の応力度比の変動を下表の通り確認した
- 上記最大応力度比となる部材における変動は6%程度
- 1/2Ss450評価結果とSs600評価結果の差は全頁以前に記載の通り最小でも8%と、1/2Ss450評価における位相反転の変動以上に大きく大小関係は変わらない
- 許容値への裕度は、上記1/2Ss450評価結果とSs600評価結果の差以上に大きい
- 以上から、新耐震方針への変更による影響確認は実施した2ケース（設備位置(A)および(B), 位相反転無し）で問題無いことを確認した

荷重ケース	部材形状(mm) <使用材料>	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	基本ケース との比較	
1/2Ss450 -NS+EW+UD (B) (基本ケース)	(X)H-1500×400 ×16×32 (Y)H-700×350 ×16×32 <SM490A>	$f_c$	348	41.6	0.83	1.00
		$f_{by}$	303	120.5		
		$f_{bz}$	357	108.5		
		$f_s$	205	12.8		
		$f_c$	322	70.9		
$f_{by}$	340	120.5				
$f_{bz}$	357	72.6				
$f_s$	205	5.6				



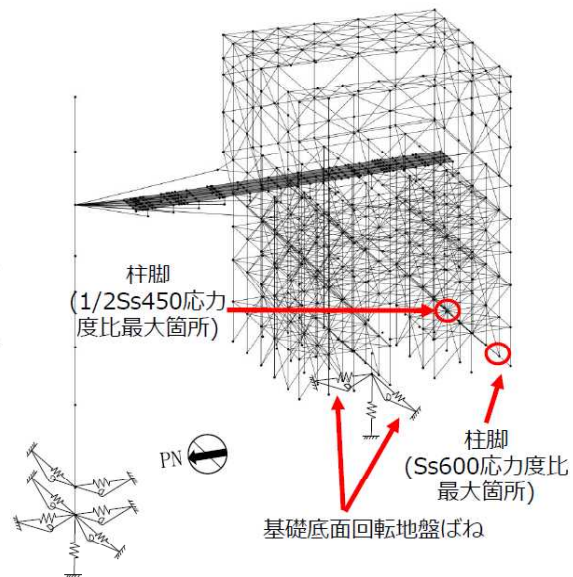
最大応答応力度発生要素位置

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎スラブの影響評価について

TEPCO

- 地震応答解析結果より基礎スラブに作用する検討用応力を次頁の通り比較した
- 基礎全体に掛かる転倒モーメントの比較のため、基礎底面回転地盤ばね反力の最大応答値を用いて比較
- 柱脚反力により局所的に応答が大きくなる箇所が存在すると考えられるため、全体の転倒モーメント比較に加え、柱脚の最大応力度比の比較も実施
- 1/2Ss450の検討用応力はSs600より小さくなるため、基礎の耐震性に対する検討は、1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回り、影響が十分小さいことを確認した



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎スラブの影響評価について

### 【全体応答】

基礎スラブの地震時検討用応力の比較（全体）

地震時検討用応力		Ss600	1/2Ss450	1/2Ss450/Ss600
最大転倒モーメント	M <sub>NS</sub> (kN・m)	1,119,000	649,000	0.58
	M <sub>EW</sub> (kN・m)	843,000	658,000	0.79
最大軸力	N(kN)	49,000	46,000	0.94

1/2Ss450では、水平2方向の影響を考慮する必要があるため、発生時刻の異なるNS方向、EW方向の最大転倒モーメントを、荷重係数法を用いて一方を係数倍(0.4)したうえで、二乗和平方根を用いて合成し、Ss600の1方向の転倒モーメントと比較する。

・NS方向

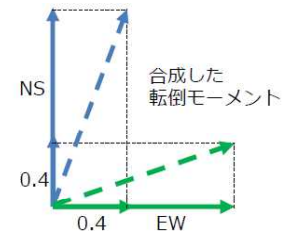
$$\text{合成した転倒モーメント} = \sqrt{649,000^2 + (0.4 \times 658,000)^2} \approx 701,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$701,000 / 1,119,000 = 0.63$$

・EW方向

$$\text{合成した転倒モーメント} = \sqrt{(0.4 \times 649,000)^2 + 658,000^2} \approx 708,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$708,000 / 843,000 = 0.84$$



### 【局所応答】

構台から作用する応力（柱脚柱の断面検討結果）の比較

柱脚柱の断面検討結果	Ss600	1/2Ss450	1/2Ss450/Ss600
応力度比	0.91	0.76	0.84
部材形状(mm)	(X)H-700×300×36×36 (Y)H-700×350×36×40 <SM490A>	(X)H-700×300×40×40 (Y)H-700×350×40×40 <SM490A>	

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎スラブの影響評価について

- 前頁で記載した転倒モーメントの合成方法の妥当性を確認するため、Ss600評価の最大モーメントと、荷重係数法を用いた1/2Ss450評価の最大転倒モーメントに加え、時刻歴評価による1/2Ss450評価の最大転倒モーメントの比較を行った
- 時刻歴評価による1/2Ss450評価の最大転倒モーメントが、Ss600評価の最大モーメントと、荷重係数法を用いた1/2Ss450評価の最大転倒モーメントより小さくなっており、荷重係数法を用いた転倒モーメントの合成方法の妥当性を確認した

基礎スラブの地震時検討用応力の比較（全体）

地震時検討用応力		Ss600	1/2Ss450 (荷重係数法)	1/2Ss450 (時刻歴評価)
最大転倒モーメント	M <sub>NS</sub> (kN・m)	1,119,000	649,000	(648,000)*
	M <sub>EW</sub> (kN・m)	843,000	658,000	(155,000)*
合成した転倒モーメント	M(kN・m)	-	708,000	667,000

\* 合成した転倒モーメントが最大となる時刻のNS方向、EW方向それぞれの転倒モーメントを記載

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

- 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について、新基準による地震水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力が、許容応力を下回ることを確認した。
- また、Ss600と1/2Ss450の評価結果の比較検討を行った。その結果1/2Ss450を用いた場合より保守的であることを確認した。
- 比較検討結果
  - ✓ Ss600 :地震時に遮蔽対に負荷される水平力が大きい動的地震動を用いて評価。
  - ✓ 1/2Ss450:地震時に遮蔽体に負荷される水平力は、Ss600で算出した値を下回る結果となった。
  - ✓ これより、1/2Ss450の評価結果はSs600の評価結果に包絡される。

適用地震動	静的地震力を用いて算出した水平力	動的地震力を用いて算出した水平力
Ss600	0.8125mg	<u>0.825mg</u>
1/2Ss450	0.8125mg	0.61mg

地震時に遮蔽体に負荷される水平力:  $F = (C_H - \mu(1 - CV))mg$

Ss600:静的地震力 ( $C_H$ :水平0.99G,  $C_V$ :鉛直0.29G), 動的地震力 ( $C_H$ :水平0.94G,  $C_V$ :鉛直0.54G)

1/2Ss450:静的地震力 ( $C_H$ :水平0.99G,  $C_V$ :鉛直0.29G), 動的地震力 ( $C_H$ :水平0.74G,  $C_V$ :鉛直0.48G)

$\mu$ :摩擦係数 (0.25)

- 実施計画変更認可申請の審査において、1/2Ss450を用いた場合よりSs600を用いることの適切性を確認した。このため、添付4-2別添8に「Ss600が1/2Ss450を用いた場合より保守的である」旨を記載する。

## 別添資料

### ■ 補足説明資料

- 別添 1 2号機燃料取扱設備の設備停止位置における耐震性についての計算書

別添1 2号機燃料取扱設備の設備停止位置における  
耐震性についての計算書

※本計算書は、「2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台の設置」に関する実施計画申請の内、燃料取扱設備の申請範囲を分割することから、先行して認可を受ける燃料取り出し用構台への影響を確認するため暫定的な評価を行うものである。

## I. 2号機燃料取扱設備に係る耐震設計の基本方針

### 1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

設備名	耐震クラス別	確認用地震動
燃料取扱設備	B+	1/2Ss450

燃料取扱設備は、燃料取扱機及びクレーンによる揚重作業時、原子炉建屋側または燃料取り出し用構台側の所定の停止位置にて4本のアウトリガーピンを介してランウェイガーダに固定し、原子炉建屋側では燃料取扱及び輸送容器取扱作業を、燃料取り出し用構台側では輸送容器取扱作業を行う。また、アウトリガーピンによる固定解除後、ランウェイガーダに設置する走行レール上を走行し、原子炉建屋と燃料取り出し用構台間を移動する。

2号機燃料取扱設備の耐震クラス別分類は、「令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方(2回目)」(原子力規制庁、令和3年9月8日)に基づき、B+クラスに分類される。本計算書では、2号機燃料取り出し用構台の実施計画申請にあたり、別申請にて提示する燃料取扱設備の耐震応答解析の結果が構台の申請内容に影響しないことに当たりをつけるため、各設備停止位置における転倒評価を行うものである。

### 2. 設計用地震力

#### 2.1. 設計用床応答スペクトル

- (1) 床応答スペクトルは、原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルに対して、確認用地震動を用いた時刻歴応答解析を行い、ランウェイガーダ上の走行台車部車輪位置(計6箇所)での加速度応答時刻歴を求める。時刻歴応答解析においては、地震動(1/2Ss450)、入力方向(+NS+EW+UD)、ランウェイガーダに付加する荷重(燃料取扱状態、輸送容器取扱状態、輸送容器固定状態)の組合せを考慮する。
- (2) (1)で求めた各走行台車車輪位置での加速度応答時刻歴を入力として、1自由度系の応答スペクトルを求める。
- (3) (2)で求めた応答スペクトル6点を包絡する応答スペクトルを求める。
- (4) (3)で求めた応答スペクトルに対し、周期方向に±10%の拡幅を行い設計用床応答スペクトルとする。

#### 2.2. 剛構造の機器に適用する設計地震力

評価対象機器が剛構造の場合は、各地震動、入力方向、ランウェイガーダに付加する荷重条件においてランウェイガーダの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置

から得られる最大床応答加速度と燃料取り出し用構台側燃料取扱設備停止位置から得られる最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を地震力とする。

### 3. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

1/2Ss450 : 1/2Ss450 地震動により求まる地震力

1.5f<sub>t</sub> : 許容引張応力

ボルト以外の支持構造物に対しては発電用原子力設備規格 設計・建設規格(以下, 設計・建設規格)SSB-3121.3, ボルト材に対しては設計・建設規格 SSB-3133 により規定される値

1.5f<sub>s</sub> : 許容せん断応力

同上

1.5f<sub>c</sub> : 許容圧縮応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f<sub>b</sub> : 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト等)	
	1 次応力				1 次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
D+1/2Ss450	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>



## II. 燃料取扱設備停止時の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本書は燃料取扱設備が原子炉建屋内及び燃料取り出し用構台内で停止時の耐震性についての計算書である。

#### 1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱設備全体が原子炉建屋内で停止時に使用済燃料プール(以下, SFP)に波及的影響を及ぼさないこと及び通常時における駐機位置として燃料取り出し用構台内で停止時に転倒しないことを確認するため, 各停止時においてアウトリガーピンが挿入されていない状態について評価を行う。
- (2) 燃料取扱機, クレーン, ジブクレーンは格納状態, 固定治具は構内用輸送容器固定状態とする。
- (3) 走行姿勢において評価対象(走行台車部)は剛構造であるため, 停止時の耐震評価についてはランウェイガード上で得られる最大床応答加速度の1.2倍の加速度を地震力とする。
- (4) 走行台車積載構造物の影響を考慮するため, 地震力は構内用輸送容器を含めた設備全体の重心位置に付加する。

#### 1.3. 荷重の伝達経路

図 1-1 及び図 1-2 に荷重伝達経路を示す。(荷重①～③)

本評価においては, 転倒方向である+EWの水平力及び鉛直方向+UDによる転倒モーメントを考慮する。なお, 本計算書は暫定的に走行姿勢で評価しており, 下記荷重伝達経路の内, 転倒防止ラグが転倒モーメントを支持する時間は十分に短いと考えられるため NS 方向の力は考慮しない。

以上に基づき荷重経路を選定すると, 荷重は走行台車(荷重①), 転倒防止ラグ(荷重②), 転倒防止ラグボルト(荷重③)の順に伝達する。

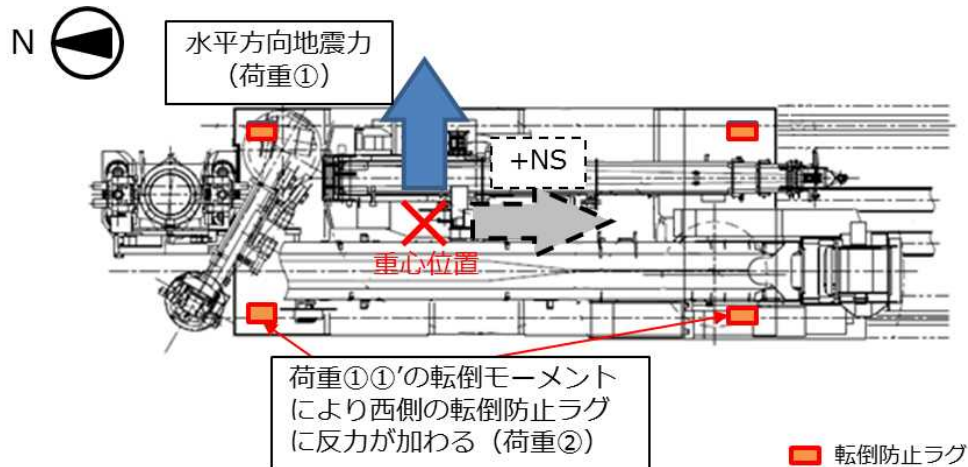


図 1-1 燃料取扱設備荷重経路の概略図(平面)

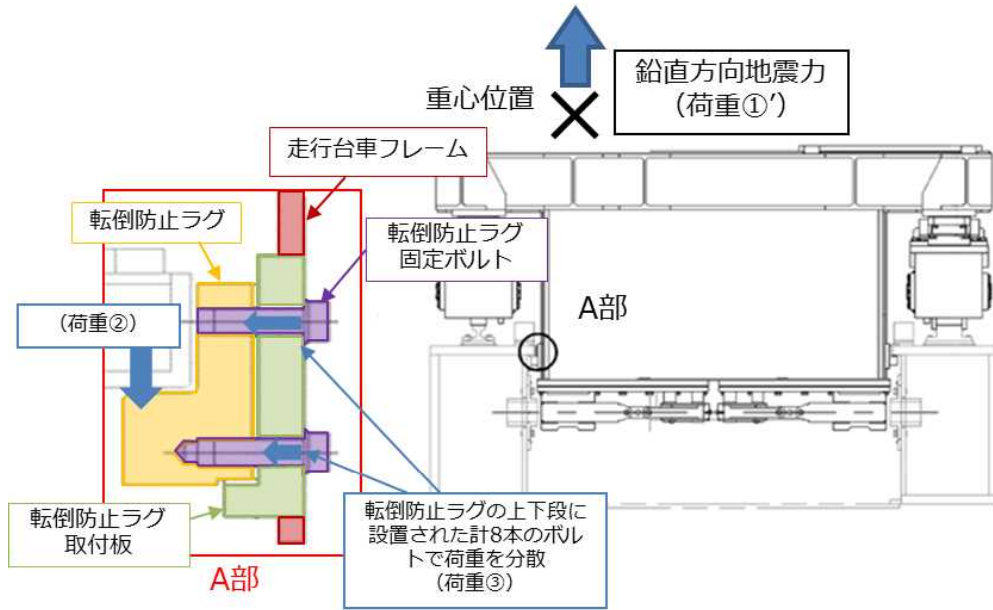


図 1-2 燃料取扱設備荷重経路の概略図(南側から見た図)

## 2. 計算方法

### 2.1. 計算モデル

1.2 及び 1.3 に基づいた計算モデルを図 1 に示す。

転倒防止ラグは転倒防止ラグ取付板を介して走行台車のフレーム部材に取り付けられるため、モーメントに対する強度は十分に有する。また、転倒防止ラグ取付板取付部は十分な溶接脚長を確保できるため、転倒防止ラグ固定ボルトが最も厳しい部位となる。

よって、荷重伝達経路のうち、最も厳しい転倒防止ラグ固定ボルトに生じる応力を評価する。なお、転倒防止ラグ固定ボルトにせん断力が生じないよう転倒防止ラグ取付板につばを設けている。

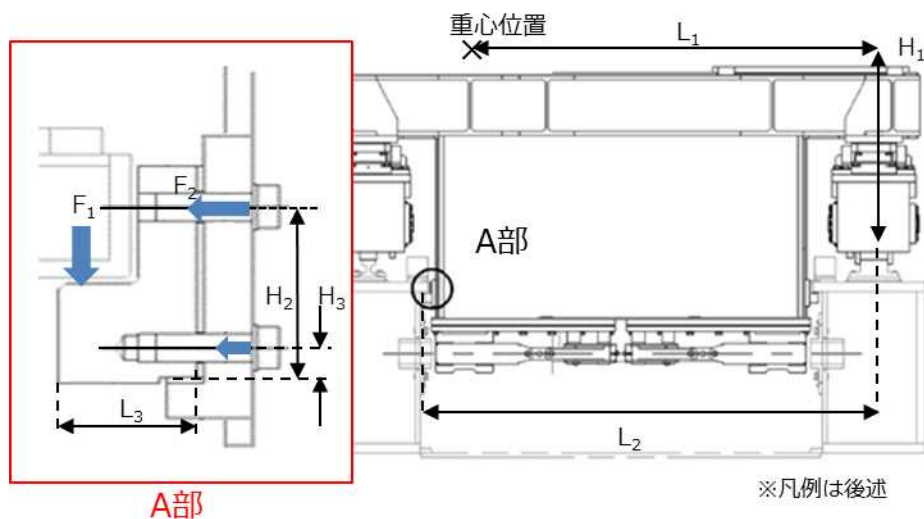


図 2 燃料取扱設備 停止時の計算モデル

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

ランウェイガーダの原子炉建屋側及び燃料取り出し用構台位置での燃料取扱設備車輪位置(6点)で得られる最大応答加速度包絡値の1.2倍の加速度を用いて設計用震度とする。適用する地震動を表1に示す。なお、本計算書は暫定的に走行姿勢で評価しており、転倒防止ラグが転倒モーメントを支持する時間は十分に短いと考えられるためNS方向の力は考慮しない。

表 1 適用する地震動

停止位置	設計用震度	
	原子炉建屋	燃料取り出し用構台
確認用地震動	1/2Ss450	1/2Ss450
鉛直方向	0.77	0.81
水平方向	0.66	1.47

## 3. 評価方法

### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 2 に示す。

表 2 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
転倒防止ラグ固定ボルト	SCM435H	引張	651

### 3.2. 結論

算出応力は、表 3 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 3 算定応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)	
				原子炉建屋	燃料取り出し用構台
転倒防止ラグ固定ボルト	SCM435H	引張	651	110	434

#### 4. 数値計算

##### 4.1. 燃料取扱設備停止時の転倒防止ラグ 固定ボルトの算出応力

###### 4.1.1 原子炉建屋内での評価

###### (1) 引張応力

地震時に燃料取扱設備の転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1$  は、走行台車東側車輪端部を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。走行台車片側に転倒防止ラグは 2 個設置する。

$$F_1 = \frac{W_1 \cdot g \cdot C_H \cdot H_1 + W_1 \cdot g \cdot (C_V - 1) \cdot L_1}{2L_2}$$

$F_1$	: 転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力(N)	
$W_1$	: 燃料取扱設備質量	310000(kg)
$g$	: 重力加速度	9.80665(m/s <sup>2</sup> )
$C_H$	: 水平方向地震力	0.66
$H_1$	: 燃料取扱設備重心高さ(走行レール上面基準)	1793(mm)
$C_V$	: 鉛直方向地震力	0.77
$L_1$	: 燃料取扱設備重心東西位置(走行レール(東側)東端部基準)	2340(mm)
$L_2$	: 走行レール(東側)東端部から転倒防止ラグ荷重点までの距離	4034(mm)

転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1$  より、転倒防止ラグ固定ボルト(上段)1 本あたりに生じる引張応力  $F_2$  は、転倒防止ラグ下端を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。転倒防止ラグ 1 個に転倒防止ラグ固定ボルトは上段/下段に 4 本ずつ設置する。

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot L_3}{4 \cdot (H_2 + \frac{H_3}{H_2})}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_2}{A_1} = 110(\text{MPa})$$

$F_2$	: 転倒防止ラグ固定ボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)	
$\sigma_1$	: 転倒防止ラグ固定ボルト(上段)に生じる引張応力(MPa)	
$L_3$	: 転倒防止ラグ板厚	95(mm)
$H_2$	: 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(上段)	145(mm)
$H_3$	: 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(下段)	25(mm)
$A_1$	: 転倒防止ラグ固定ボルト(M24)有効断面積	353 (mm <sup>2</sup> )

#### 4.1.2 燃料取り出し用構台内での評価

##### (1) 引張応力

地震時に燃料取扱設備の転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1'$  は、走行台車東側車輪端部を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。走行台車片側に転倒防止ラグは 2 個設置する。

$$F_1' = \frac{W_1 \cdot g \cdot C_H' \cdot H_1 + W_1 \cdot g \cdot (C_V' - 1) \cdot L_1}{2L}$$

$F_1'$	: 転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力(N)	
$W_1$	: 燃料取扱設備質量	310000(kg)
$g$	: 重力加速度	9.80665(m/s <sup>2</sup> )
$C_H'$	: 水平方向地震力	0.81
$H_1$	: 燃料取扱設備重心高さ(走行レール上面基準)	1793(mm)
$C_V'$	: 鉛直方向地震力	1.47
$L_1$	: 燃料取扱設備重心東西位置(走行レール(東側)東端部基準)	2340(mm)
$L_2$	: 走行レール(東側)東端部から転倒防止ラグ荷重点までの距離	4034(mm)

転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1'$  より、転倒防止ラグ固定ボルト(上段)1 本あたりに生じる引張応力  $F_2'$  は、転倒防止ラグ下端を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。転倒防止ラグ 1 個に転倒防止ラグ固定ボルトは上段/下段に 4 本ずつ設置する。

$$F_2' = \frac{F_1' \cdot L_3}{4 \cdot (H_2 + \frac{H_3^2}{H_2})}$$

$$\sigma_1' = \frac{F_2'}{A_1} = 434(\text{MPa})$$

$F_2'$	: 転倒防止ラグ固定ボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)	
$\sigma_1'$	: 転倒防止ラグ固定ボルト(上段)に生じる引張応力(MPa)	
$L_3$	: 転倒防止ラグ板厚	95(mm)
$H_2$	: 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(上段)	145(mm)
$H_3$	: 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(下段)	25(mm)
$A_1$	: 転倒防止ラグ固定ボルト(M24)有効断面積	353 (mm <sup>2</sup> )

V 2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書

## 1. 2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価シナリオ

2号機燃料取扱設備の内、地震影響に対する裕度が小さいクレーン旋回輪軸受取付ボルトが破損したと想定し<sup>※1</sup>、公衆被ばくに至るシナリオとして、以下の3つが考えられる。

- ① 燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プール内に落下し、プールのライナーが破損することで水位が低下する
- ② 燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プール内に落下し、燃料が破損する
- ③ 燃料取り出し用構台で吊り下ろし作業中の構内用輸送容器が地上に落下し、燃料が破損する

地震によりこれらのシナリオが発生したと仮定し、敷地境界における線量を評価する。なお、シナリオ①と②については同時に起こることを考える。

## 2. 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下（シナリオ①，②）

### 2.1 使用済燃料プールライナーの破損による線量の上昇（シナリオ①）

#### (1) 評価方法

本シナリオの線量率評価は、以下の前提に基づき評価する。

- a. 2号機使用済燃料プールのプール水が全喪失した場合の使用済燃料および制御棒のスカイシャイン線、直接線による敷地境界へ与える線量影響を評価した。

なお、使用済燃料の冷却期間は10年以上経過しており、短半減期核種は減衰し、長半減期核種が支配的であるため、6号機の解析結果を元に、2号機との使用済燃料の体数比、制御棒の本数、制御棒の種類に応じた線源強度比、冷却期間から比例計算する。6号機の解析条件は別添1の通りであり、その解析結果(6号機原子炉建屋から900m地点)を表1に示す。

表1 6号機解析結果

	使用済燃料[mSv/h]	制御棒[mSv/h]	合計[mSv/h]
900m地点	$2.3 \times 10^{-5}$	$9.0 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$

- b. 放出点を使用済燃料プールとし、評価点は使用済燃料プール中心からの距離が最も短い地点とする。
- c. 図1に評価モデルを示す。

<sup>※1</sup> 公衆被ばくに至るシナリオを定めるため、「福島第一原子力発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書」(東京電力株式会社、平成20年3月31日)にて作成した解放基盤表面で定義される新規制基準によらない従来の基準地震動 Ss(最大加速度 600gal)及び弾性設計用地震動 Sd(最大加速度 300gal)で評価した結果より、地震影響に対する裕度が最も小さいクレーン旋回輪軸受取付ボルトが破損したと想定した。

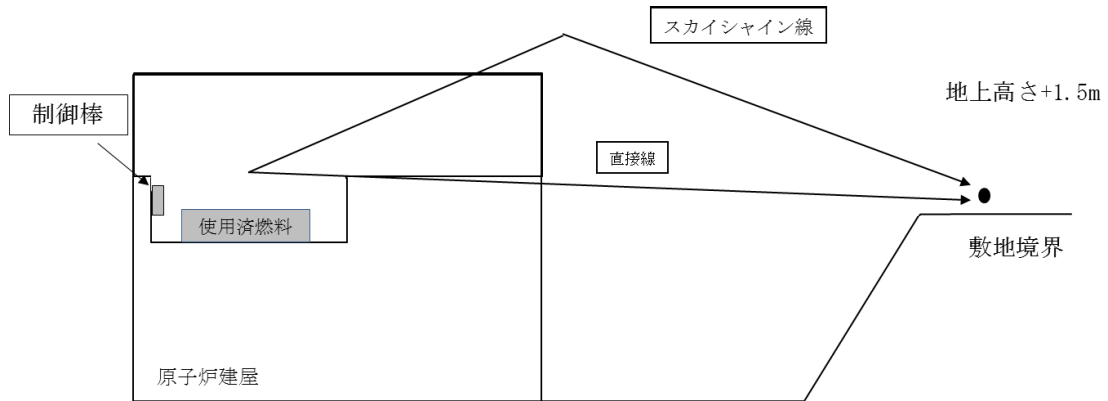


図1 評価モデルの概要

- d. 使用済燃料および制御棒の線量影響は(1)式, (2)式の通り評価する。

$$H_{F1} = H_{F2} \times \frac{N_{F1}}{N_{F2}} \quad (1)式$$

$H_{F1}$  : 2号機の使用済燃料の線量率[mSv/h]

$H_{F2}$  : 6号機の使用済燃料の解析結果[mSv/h]

$N_{F1}$  : 2号機の使用済燃料体数[体]

$N_{F2}$  : 6号機の使用済燃料体数[体]

$$H_{C1} = H_{C2} \times \frac{N_{C1}}{N_{C2}} \times \frac{S_1}{S_2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{(t1-t2)}{T}} \quad (2)式$$

$H_{C1}$  : 2号機の制御棒の線量率[mSv/h]

$H_{C2}$  : 6号機の制御棒の解析結果[mSv/h]

$N_{C1}$  : 2号機の制御棒の本数[本]

$N_{C2}$  : 6号機の制御棒の本数[本]

$S_1$  : 2号機の線源強度比[-]

$S_2$  : 6号機の線源強度比[-]

$t1$  : 2号機の冷却期間[年]

$t2$  : 6号機の冷却期間[年]

$T$  : Co-60の半減期(5.27)[年]

## (2) 評価条件

本シナリオの線量率評価条件を表2に示す。

なお, 制御棒の評価対象はハンガーラックに装荷しているものとする。



表 2 評価条件

	使用済燃料			制御棒		
	体数 [体]	燃焼度 [GWd/t]	冷却期間[年]	本数[本]	線源強度比 ※2[-]	冷却期間 [年]
2号機	587	49	9.8	28	0.64	9.7
6号機	1456	51	9.9	27	1.0	13.8

(3) 評価結果

上記の評価条件に基づき敷地境界線量は表 3 の通りである。

表 3 2号機評価結果

	使用済燃料[mSv]	制御棒[mSv]	合計[mSv]
敷地境界線量	約 $1.2 \times 10^{-3}$	約 $1.3 \times 10^{-2}$	約 $1.4 \times 10^{-2}$

SFP 水の容積及びライナードレンからの最大漏えい量を考慮した BAF までの到達時間は十分に裕度があり、また復旧作業も数時間程度で着手可能と考えるが、保守的に燃料露出継続時間を 5 日間とする。

2.2 使用済燃料プール内の燃料破損による核分裂生成物の放出（シナリオ②）

2.2.1 核分裂生成物の放出量

(1) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」と同様の方法で評価する。

破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料取扱設備に搭載しているクレーンが地震の影響により根元の旋回部から折損し、保守的にクレーンが使用済燃料プールの使用済燃料貯蔵ラック上に落下するものと仮定する。
- b. 使用済燃料プールの西側から 20 列目までの使用済燃料全てが破損すると仮定し、落下による燃料集合体の破損体数は 449 体とする。（図 2 参照）

※2 6号機の制御棒の照射量(Hf, 4.9snvt)に対する線源強度を 1 とした時の線源強度の比を線源強度比と定義し、2号機の制御棒(B4C, 1.4snvt)に対する線源強度比を算出する。

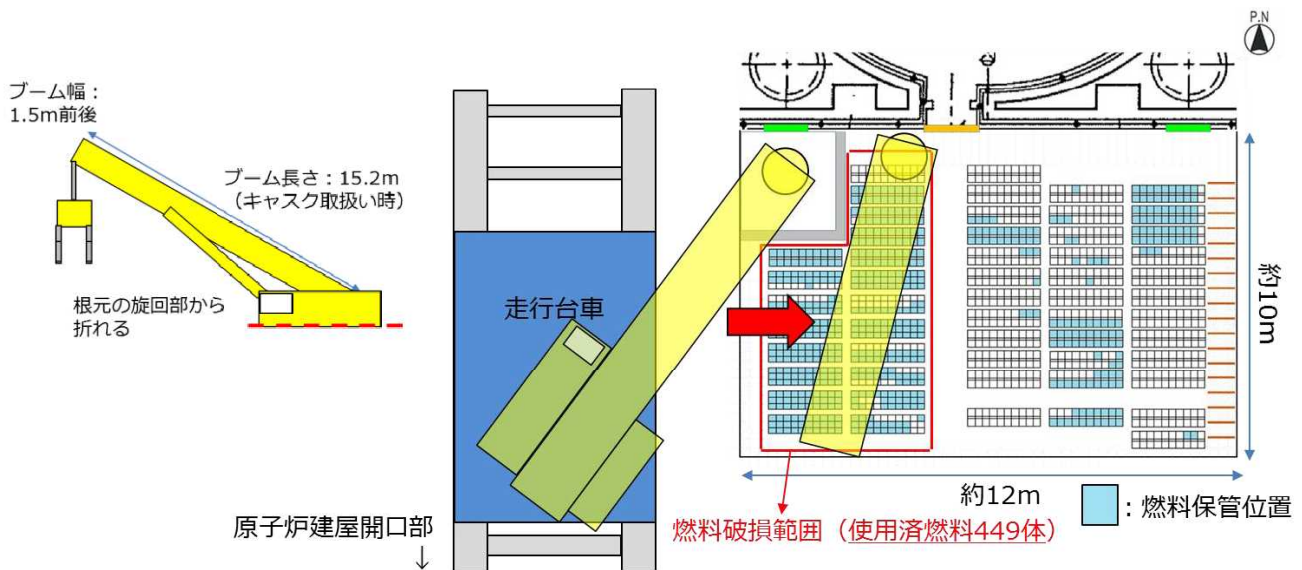


図2 評価モデルの概要

## (2) 評価条件

核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力 2483MW（定格出力の約 105%）で 2000 日運転を行った 9×9 燃料集合体について行う。
- 燃料集合体の冷却期間は 365 日とする。
- 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス (Kr-85) 及びよう素 (I-129) それぞれ 30% とする。
- 放出された希ガスは、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとする。
- 放出されたよう素は、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとするが、同時に水位低下が起こることを想定するため保守的に水による除去は無いものとする。

## (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 4 の通りである。

表4 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー0.5MeV換算値)大気放出量	約 $9.8 \times 10^{13}$ Bq
よう素(I-131等価量(小児実効))大気放出量	約 $5.5 \times 10^{10}$ Bq
よう素(I-131等価量(成人実効))大気放出量	約 $2.1 \times 10^{11}$ Bq

## 2.2.2 線量当量の評価

### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空気中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度( $\chi/Q$ )は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.0 \times 10^{-5}$ s/m<sup>3</sup>を適用する。
- b. 敷地境界外の希ガスによるγ線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量(D/Q)は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.4 \times 10^{-19}$ Gy/Bqを適用する。

### (2) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」ならびに「4.1.1 原子炉冷却材喪失」と同様の方法で評価する。

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量 $H_1$  (Sv) は、(1)式で計算する。

$$H_1 = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_1 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

R : 呼吸率 (m<sup>3</sup>/s) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。

(小児: 0.31m<sup>3</sup>/h, 成人: 1.2m<sup>3</sup>/h)

$H_\infty$  : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量

(小児:  $1.6 \times 10^{-7}$ Sv/Bq, 成人:  $2.0 \times 10^{-8}$ Sv/Bq)

$\chi / Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)

$Q_1$  : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131等価量)

希ガスの $\gamma$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\gamma$  (Sv) は、(2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

K : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1Sv/Gy)

$D/Q$  : 相対線量 (Gy/Bq)

$Q_\gamma$  : 希ガスの大気放出量 (Bq) ( $\gamma$ 線実効エネルギー0.5MeV換算値)

また、希ガスの $\beta$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\beta$  (Sv) は、(3)式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_\beta \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

$\chi/Q$  : 相対濃度 ( $s/m^3$ )

$Q_\beta$  : 希ガスの大気放出量 (Bq)

$E_\beta$  :  $\beta$ 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV Kr-85実効エネルギー)

$W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数はICRP Publ. 60の値を用いる。(0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表5の通りである。

表5 クレーンの使用済燃料プールへの落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $1.1 \times 10^{-1}$ mSv	約 $1.3 \times 10^{-1}$ mSv

2.3 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下シナリオにおける公衆への被ばく影響については、2.1と2.2に示す評価結果を合算し約  $1.4 \times 10^{-1}$  mSv となる。

### 3. 構内用輸送容器の落下による核分裂生成物の放出 (シナリオ③)

3.1 構内用輸送容器が地上に落下することで燃料が破損し、核分裂生成物が放出されたと仮定する。