

別冊 28

2号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明

本資料は、2号機使用済燃料プールからの燃料取り出しを目的とした設備に係る実施計画画面談資料のうち、実施計画本文や添付資料の補足として必要な部分、及び評価の根拠を示すための計算書を取り纏めたものである。

I 燃料取り出し用構台 補足説明資料

# 2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台の設置について

## 燃料取り出し用構台 補足説明資料



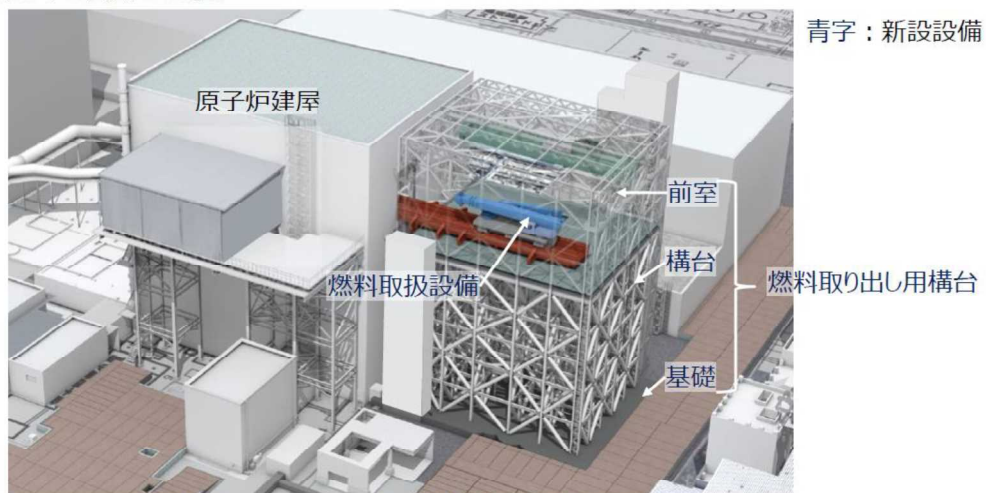
### 東京電力ホールディングス株式会社

©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

#### 概要（燃料取り出し用構台）



- 原子炉建屋上部を全面解体せず、建屋南側に燃料取り出し用構台を設置した上で、南側外壁の小開口から燃料と輸送容器を取り扱う。
- ブーム型クレーン式の燃料取扱設備を採用することで、南側外壁の開口部は小さくなり、原子炉建屋の構造部材のうち柱と梁の解体を回避できる。
- 燃料取扱設備は、燃料取り出し用構台上での組立・保守作業が可能となることから、作業員被ばくを低減できる。



燃料取り出し用構台概念図（鳥瞰図）

©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



#### 4.1.1 一般事項（燃料取り出し用構台）



- 2号機燃料取り出し用構台は、原子炉建屋の南側に設置される基礎・構台・前室と、原子炉建屋に延伸して設置されるランウェイガーダ、弾性支承、オイルダンパから構成され、改良地盤上に設置する。また、ランウェイガーダ上を燃料取扱設備が走行する。ここでは、本燃料取り出し用構台の構造強度と耐震性について検討を行う。なお、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行う\*とともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし、具体的にはB+クラスに分類される燃料取出設備の間接支持構造物として、B+クラス相当の地震力に対する耐震評価を行う。

\*：耐震設計における耐震クラス分類は、「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、地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を行い、BクラスもしくはB+クラスと判断されるが、通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件として挙げられる使用済燃料を移動させるために必要な燃料取出設備の間接支持構造物としてB+クラス相当とする。なお、耐震クラス分類に係わる被ばく評価については、「別冊28 2号機使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明」（以下、別冊28と記載）P113～P110（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）参照。

©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

#### 4.1.1 一般事項（燃料取り出し用構台）



- 燃料取り出し用構台の構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し、耐震性は検討用地震動（最大加速度900gal）の1/2の最大加速度450galの地震動（以下、1/2Ss450と記載）に対する地震応答解析を実施し、燃料取り出し用構台の損傷が原子炉建屋、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。ここで、波及的影響の確認は、燃料取り出し用構台が崩壊機構に至らないことを確認する。検討用地震動（最大加速度900gal）は「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（東京電力株式会社、平成26年10月3日、特定原子力施設監視・評価検討会（第27回））にて提示した地震動とする。
- なお、2号機燃料取り出し用構台については、実施計画変更認可申請の審査期間中に、適用地震動見直しが行われたことから、一部の評価については、「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）（以下、バックチェックと記載）にて作成した解放基盤表面で定義される新規基準によらない従来のSs（最大加速度600gal）（以下、Ss600と記載）に対する地震応答解析結果との比較から耐震性を確認する。
- 上記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（I 燃料取り出し用構台 補足説明資料）への記載は省略し、Ss600（本資料では基準地震動Ssと記載）に対する評価を記載する。

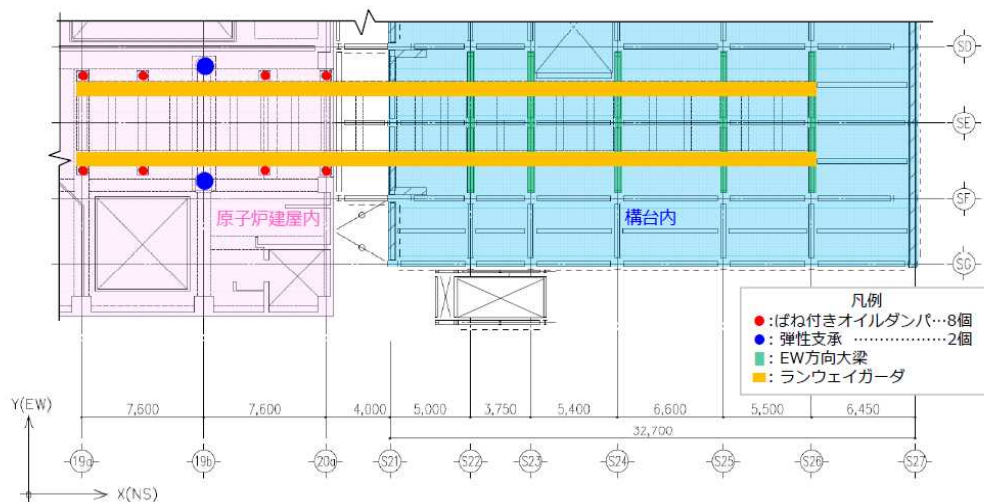
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

- 燃料取り出し用構台は、東西方向27.0m、南北方向32.7m、高さ44.75mの矩形架構で構造種別は鉄骨造である。
- 1. 原子炉建屋と燃料取り出し用構台の間にオイルダンパ（水平棟間）を設置する。
- 2. 構台は5層の柱・梁・ブレース及びオイルダンパ（鉛直）から成る架構とし、オイルダンパ（鉛直）はブレース状に配置する。
- 3. 前室は、柱・梁・ブレース及び屋根トラスから成る架構とする。
- 4. ランウェイガーダは、原子炉建屋南側外壁に開口を設け、構台と原子炉建屋に跨がる形で設置する。構台内ではEW方向の大梁に接続し、水平方向、鉛直方向ともに支持する。原子炉建屋内では水平方向の支持は行わないため、構台からの片持形式であり、鉛直方向は弾性支承で支持する。なお、弾性支承と原子炉建屋床面の固定は行わない。また、ランウェイガーダと原子炉建屋床面との間にばね付きオイルダンパを設置する。ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材を取付け、原子炉建屋床面上に設置したすべり板との間で接触させ、水平方向に滑動可能な構造とする。

©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

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

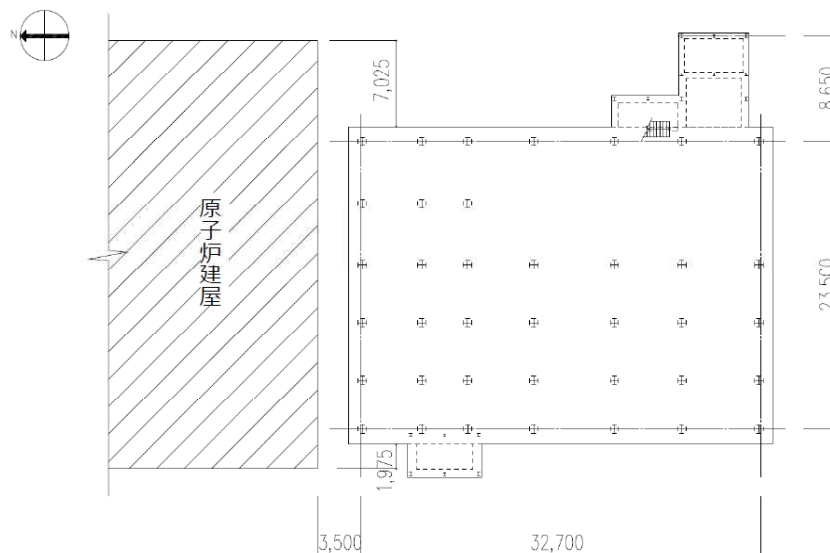


©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

- オイルダンパ（水平棟間）  
 原子炉建屋は剛構造（＝短周期）であり，長周期の燃料取り出し用構台と地震時の揺れ方が異なるため，2棟の相対変位を制御するとともに，構台上部の変形を抑制するためにオイルダンパを棟間に計4台設置する。
- オイルダンパ（鉛直）  
 地震時のランウェイガーダの水平方向加速度応答スペクトルの低減を目的として，構台にオイルダンパをブレース状に計98台配置し構台の減衰の付与を図る。
- ばね付きオイルダンパ  
 ランウェイガーダ～オペフロ床間にはばね付きオイルダンパを計8台設置し，ランウェイガーダの鉛直方向加速度応答スペクトルの低減を図る。原子炉建屋床面との固定を行わないことにより，鉛直方向（原子炉建屋に対して下向き挙動時）のみ減衰力が作用し，水平方向には減衰力は作用しない。
- 弾性支承  
 ランウェイガーダ及び燃料取扱設備の重量を原子炉建屋内で支持する支点とするため，計2台設置する。免震で用いる弾性支承を用い，原子炉建屋床面との固定を行わないことにより，鉛直方向力（圧縮）を支持し，水平方向力を負担しない機構としている。また，軸剛性が剛でなく積層ゴムの剛性であることにより，燃料取扱設備の地震時鉛直方向の加速度応答低減の役割も有する。

©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

4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

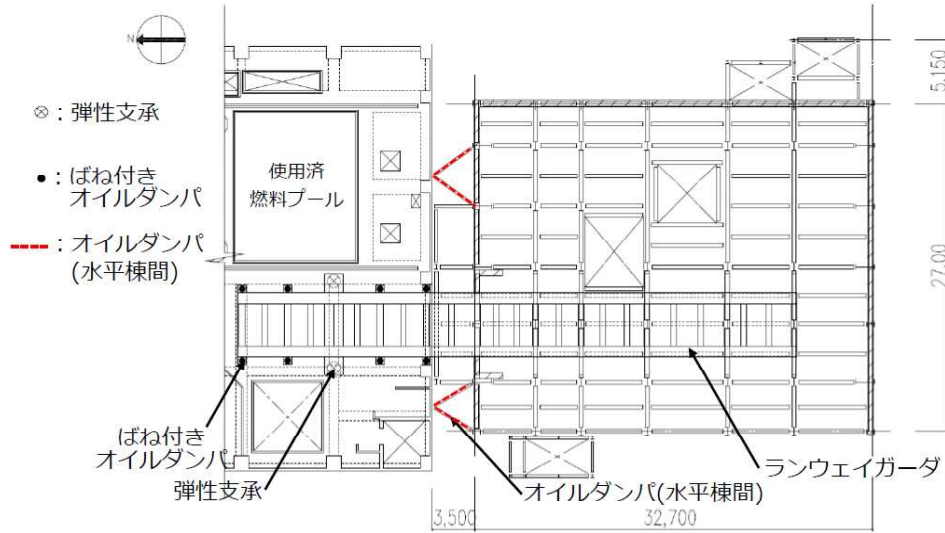


(a) 1F伏図 (G.L.2,060)  
 図 4.1.2-1 燃料取り出し用構台の概要 (単位：mm)

©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



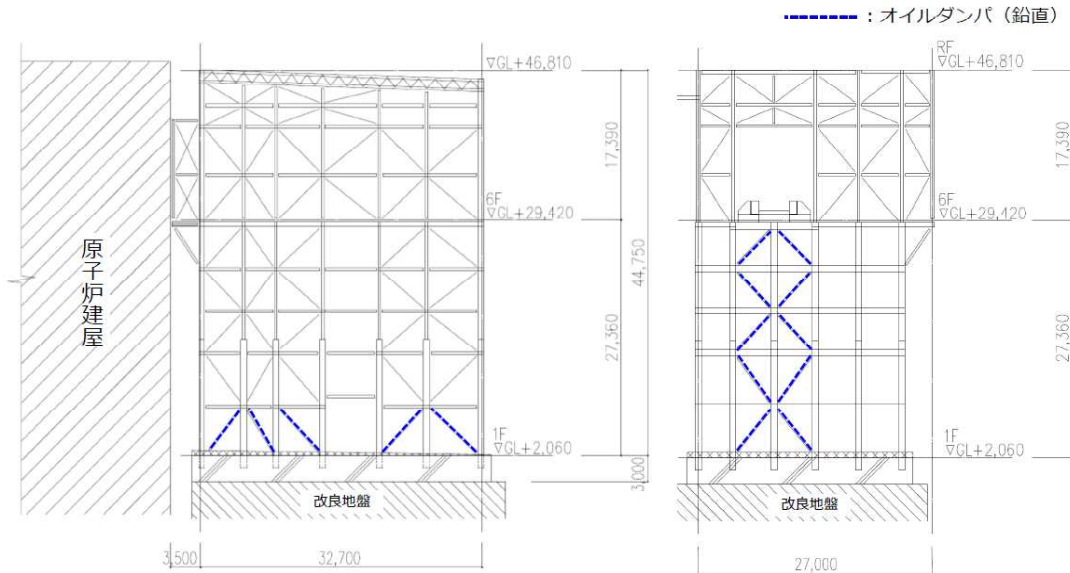
#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）



(b) 6F伏図 (G.L.29,420)  
 図 4.1.2-2 燃料取り出し用構台の概要 (単位: mm)

©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

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

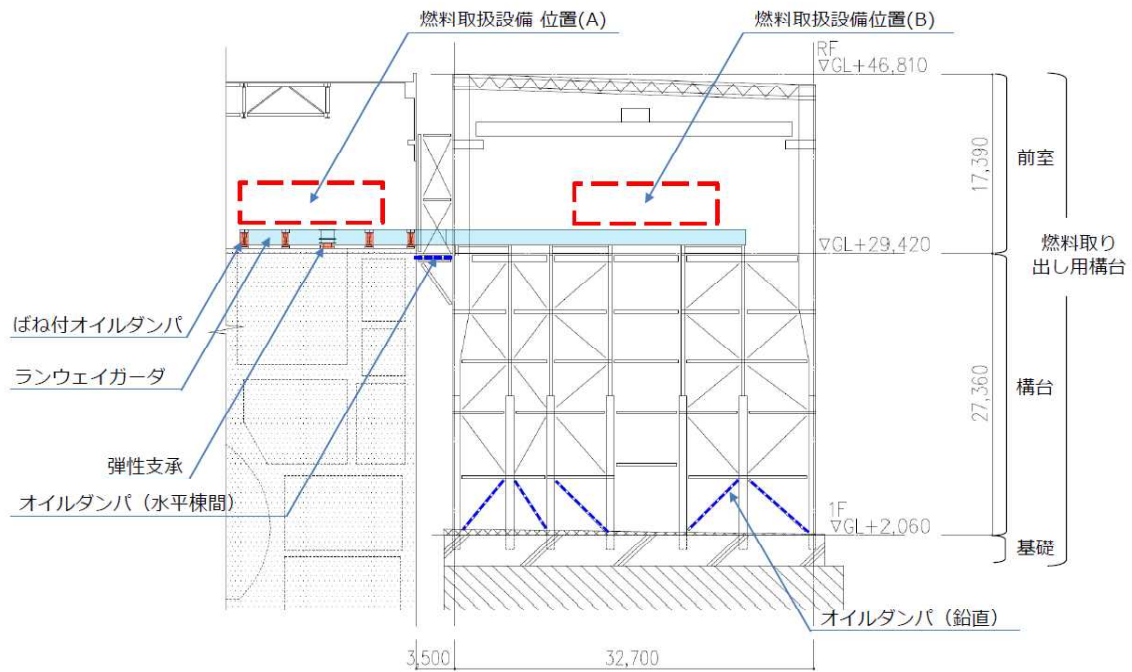


(a) 構台最西側軸組図 (b) 構台最北側軸組図  
 図 4.1.2-3 燃料取り出し用構台の概要 (単位: mm)

©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

## オイルダンパ, 弾性支承の配置

TEPCO

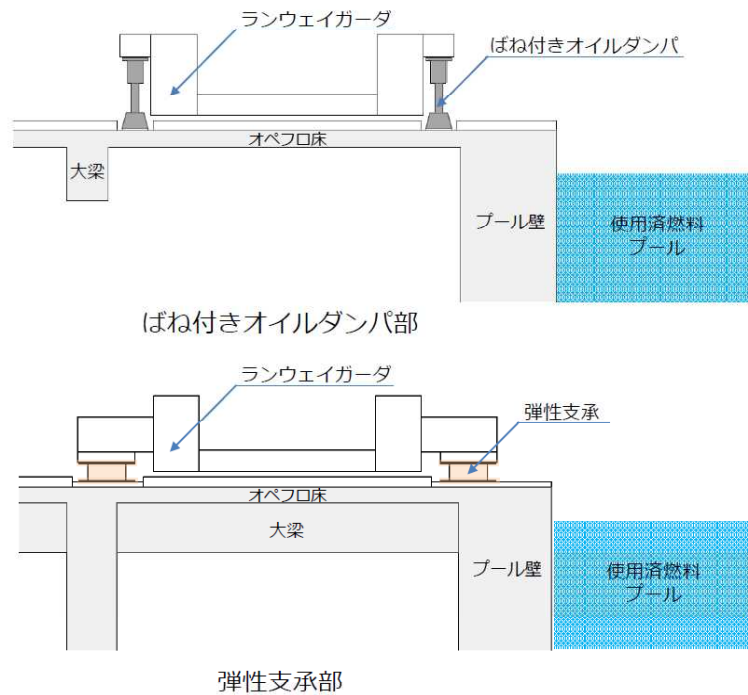


ランウェイガーダ部断面図

©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

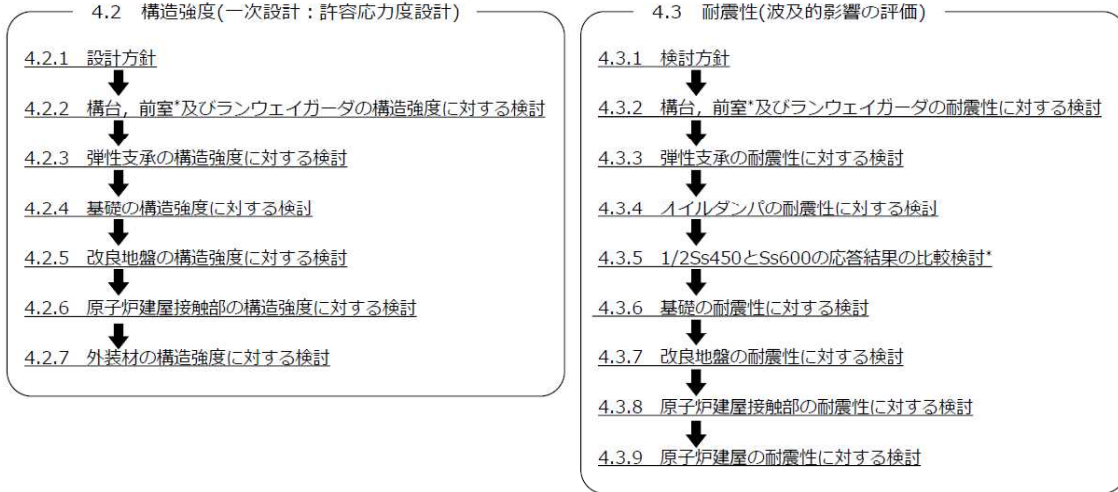
## オイルダンパ, 弾性支承の配置

TEPCO



©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

### 4.1.3 検討フロー



\* : 「IV 2号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

図 4.1.3-1 燃料取り出し用構台の検討フロー

©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

### 4.2.1 設計方針（構造強度）

構造強度の検討は、構台及びランウェイガーダ、弾性支承、基礎及び改良地盤について許容応力度設計を実施する。

表 4.2.1-1(1) 燃料取り出し用構台の物性値及び許容応力度

材料定数				
部位	材料	ヤング係数 F (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )
架 構	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	77.0
床・基礎スラブ	コンクリート	2.27×10 <sup>4</sup>	0.2	23.0

コンクリートの許容応力度 (単位: N/mm <sup>2</sup> )						
設計基準強度	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
24	8.0	-	0.73	16.0	-	1.095

[引用文献]

- 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - (日本建築学会2005年 9月)
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会2018年12月)

©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

## 4.2.1 設計方針

表 4.2.1-1(2) 燃料取り出し用構台の物性値及び許容応力度

鉄筋の許容応力度		(単位：N/mm <sup>2</sup> )			
記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295	—	195	195	295	295
SD345	D29未満	215	195	345	345
	D29以上	195			

構造用鋼材の許容応力度		(単位：N/mm <sup>2</sup> )		
板厚	材料	基準強度F	許容応力度	
T≤40mm	SGLCC	205	JIS G 3321に従い、左記Fの値（降伏点又は耐力）より求める	
	SS400	235*	「建設省告示第2464号」に従い、左記Fの値より求める *：終局強度は基準強度F値の1.1倍とする	
	SM490A, STK490	325*		
	SN490B, SN490C	325*		
T>40mm	SN490B	295*		
	TMCP325	325		

©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

## 4.2.1 設計方針

表 4.2.1-2 弾性支承の物性値

弾性支承の物性値					
種別	ゴム			鋼材	
	ゴム径 (mm)	鉛直剛性 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	水平剛性 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	フランジプレート	内部鋼板
積層ゴム	750	2140	0*	SS400	SS400

\*：ローラー支承と仮定。

ブリヤストン「建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2019 Vol.1」による。

表 4.2.1-3 改良地盤・支持地盤の許容応力度

改良地盤の許容応力度		(単位：kN/m <sup>2</sup> )					
設計基準強度=3000* <sup>1</sup>		長期			短期		
		圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
改良地盤		1000	—	200	2000	—	400
断面欠損を考慮* <sup>2</sup>		980	—	150	1960	—	300

\*<sup>1</sup>：設計圧縮強度 = 5000kN/m<sup>2</sup>

\*<sup>2</sup>：「JEAC4616-2009」に準拠し、断面欠損を鉛直方向に2%、せん断方向に25%考慮した。

支持地盤の許容支持力度		(単位：kN/m <sup>2</sup> )	
種別	長期* <sup>3</sup>	短期* <sup>3</sup>	
泥岩（岩盤）	1960	3920	

\*<sup>3</sup>：「福島第一原子力発電所第4号機工事計画認可申請書」による。

©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

## 4.2.1 設計方針

### ■ 荷重

- 鉛直荷重 (VL)  
燃料取り出し用構台に作用する鉛直方向の荷重で、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。
- 燃料取扱設備荷重 (CL)  
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とする。

表 4.2.1-4 燃料取扱設備荷重

位置	合計重量(t)
原子炉建屋内(A)	310
前室内(B)	310

## 4.2.1 設計方針

- 積雪荷重 (SL)  
積雪荷重は建築基準法施行令第86条及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。  
なお、国土交通省告示594号による多雪区域以外の区域における積雪後の降雨を見込んだ割増係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m<sup>2</sup>/cm

- 風圧力 (WL)  
風圧力は建築基準法施行令第87条および建設省告示第1454号に基づき、基準風速を30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

表 4.2.1-5 速度圧の算定結果

建物高さ* H(m)	平均風速の 鉛直分布係数 Er	ガスト 影響係数 Gf	建物高さと粗度 区分による係数 E	基準風速 Vo(m/s)	速度圧 q(N/m <sup>2</sup> )
46.81	1.26	2.00	3.16	30	1707

\*：建物高さは、安全側に水上鉄骨天端とする。



## 4.2.1 設計方針

- 地震荷重 (K)  
燃料取り出し用構台に作用させる地震荷重は、G.L.+2.06m（構台基礎上端レベル）を基準面とした構台の水平地震力の算定結果より設定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o$$

ここで、

- $Q_i$  : 層せん断力 (kN)
- $n$  : 施設の重要度に応じた係数  
建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。
- $C_i$  : 地震層せん断力係数       $W_i$  : 当該部分が支える重量 (kN)
- $Z$  : 地震地域係数 ( $Z=1.0$ )       $R_t$  : 振動特性係数 ( $R_t=0.8$ )
- $A_i$  : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で、燃料取り出し用構台の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）により求める。
- $C_o$  : 標準せん断力係数 ( $C_o=0.2$ )

$i$ 層の水平震度 $k_i$ は、下式によって算定する。

$$P_i = Q_i - Q_{i-1}$$

$$k_i = P_i / w_i$$

ここで、

- $P_i$  : 当該階とその直下階の水平地震力の差 (kN)
- $w_i$  : 各階重量 (kN)

## 4.2.1 設計方針

表 4.2.1-6 燃料取り出し用構台の水平震度の算定結果

標高 G.L.(m)	各階重量 $w_i$ (kN)	NS方向		EW方向	
		水平地震力 $P_i$ (kN)	水平震度 $k_i$	水平地震力 $P_i$ (kN)	水平震度 $k_i$
46.81	3523.2	1068	0.304	1147	0.326
46.81~40.42	2275.1	655	0.288	719	0.317
40.42~34.82	1316.1	354	0.269	376	0.286
34.82~29.42	22168.4	5631	0.254	6033	0.273
29.42~24.30	2805.8	638	0.228	609	0.217
24.30~19.38	2426.8	487	0.201	394	0.163
19.38~14.46	2957.4	524	0.178	339	0.115
14.46~8.26	3530.4	484	0.138	224	0.064
8.26~2.06	—	—	—	—	—

- 燃料取り出し用構台設置時に必要な足場（歩廊）を設置後に転用し、耐震安全上重要であるオイルダンパの点検を行うための歩廊として活用
- 必要に応じ歩廊の追加設置を行う予定
- 歩廊は2次部材であるため剛性は考慮せず、重量のみ解析モデルに反映

©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

## 今後の申請のうち構台の評価に取り込む条件について

- 燃料取り出し用構台設置に係る実施計画変更認可申請以降の申請内容（燃料取扱設備設置、南側開口設置）および遮蔽体重量について、以下の通り解析条件に取り込んでいる
- 後段の申請にあたり、取り込んだ条件に変更が生じた場合、速やかに燃料取り出し用構台への影響を確認のうえ、影響が生じる場合は燃料取り出し用構台の変更認可申請を実施する

### 【燃料取扱設備】

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下記重量を、燃料取扱設備の動作姿勢（R/B内：キャスクピ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（ランウェイガーダ上）に分配

機器名	重量 (t)
キャスク	50
クレーン	54
燃料取扱機	23
ジブクレーン	13
走行台車	170
全体	310

※現設計における概算重量は設計裕度に収まる

### 【南側開口】

6.75m（幅）× 8.3m（高さ）を考慮し、原子炉建屋のEW方向解析モデルのせん断断面積および断面二次モーメント、UD方向の軸断面積および軸ばね剛性を低減

### 【遮蔽体】

原子炉建屋オペフロ上および燃料取り出し用構台前室に設置する遮蔽体の重量を、下記の通り想定したうえで、それを上回る重量を原子炉建屋および構台の解析モデルに配置

名称	重量 (t)
オペフロ遮蔽体 (R/B)	1560
前室遮蔽体 (構台)	230

※現設計における概算重量は設計裕度に収まる

©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

## 4.2.1 設計方針

### ■ 荷重組合せ

表 4.2.1-7 荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL	長期
積雪時	S	VL+SL	短期
暴風時	W	VL+WL	
地震時	E1	VL+K(+NS)	
	E2	VL+K(-NS)	
	E3	VL+K(+EW)	
	E4	VL+K(-EW)	

注：各荷重ケースにおいて、燃料取扱設備の位置は原子炉建屋内位置(A)と前室内位置(B)の2ケース考慮する。



図 4.2.1-1 燃料取扱設備の位置

©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

## 4.2.1 設計方針

### ■ 層せん断力

地震時と暴風時の燃料取り出し用構台の層せん断力について、風荷重の受圧面積が大きい EW 方向で比較した結果を図 4.2.1-2 に示す。図 4.2.1-2 より、地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており、支配的な荷重である。

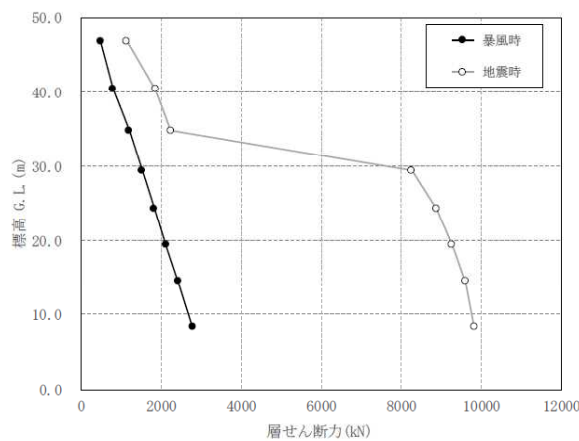


図4.2.1-2 地震時と暴風時の層せん断力の比較 (EW方向)

©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

## 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

### ■ 解析モデル

架構の解析モデルは、構台及び前室とランウェイガーダを構成する主要な鉄骨部材からなる立休架構モデルとする。構造強度に対する検討は静的検討であるため、動的荷重（応答速度）に対し減衰力を発揮するオイルダンパはモデル化しない。

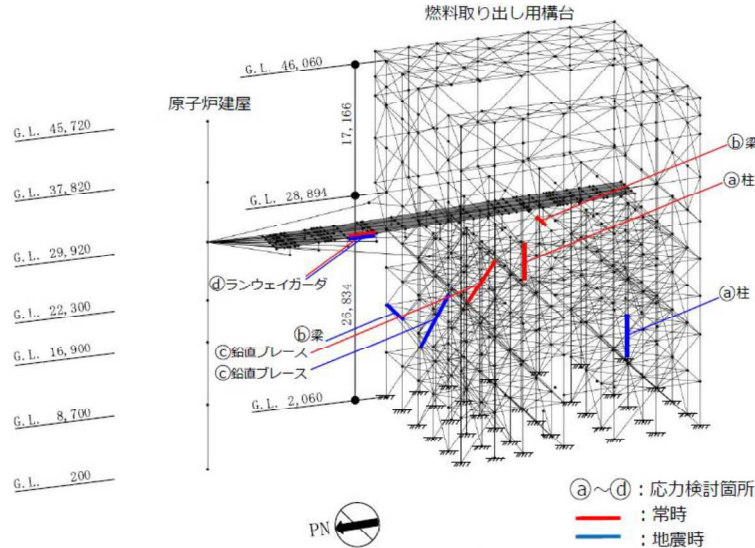


図 4.2.2-1 解析モデル

©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

## 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

### ■ 柱及び梁部材の検討

部材の応力度比は、「鋼構造設計規準（2005年9月）」に従い、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る値で表される。

$$\cdot \text{軸圧縮の場合} \quad \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leq 1 \quad \cdot \text{軸引張の場合} \quad \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leq 1$$

ここで、

- $\sigma_c, \sigma_t$  : 圧縮応力度 (N/A) 及び引張応力度 (T/A) (N/mm<sup>2</sup>)
- N : 圧縮力(N), T : 引張力(N), A : 断面積(mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{by}, \sigma_{bz}$  : 強軸まわりの曲げ応力度 ( $M_y/Z_y$ ) 及び弱軸まわりの曲げ応力度 ( $M_z/Z_z$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_y, Z_y$  : 強軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm<sup>3</sup>)
- $M_z, Z_z$  : 弱軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm<sup>3</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 ( $Q/A_s$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- Q : せん断力(N),  $A_s$  : せん断断面積(mm<sup>2</sup>)
- $f_c$  : 許容圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_t$  : 許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{by}$  : 強軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{bz}$  : 弱軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : 許容せん断心力度(N/mm<sup>2</sup>)

©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



## 4.2.2 構台、前室及びランウェイガードの構造強度に対する検討 **TEPCO**

### ■ トラス梁の斜材、ブレースの検討

応力度比の検討は、「鋼構造設計規準（2005年9月）」に従い、軸力に対し下式にて検討を行う。

・ 軸圧縮の場合  $\frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$

・ 軸引張の場合  $\frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1$

ここで、 $\sigma_c$ ,  $\sigma_t$ : 圧縮応力度 (N/A) 及び引張応力度 (T/A) (N/mm<sup>2</sup>)  
 N: 圧縮力(N), T: 引張力(N), A: 断面積(mm<sup>2</sup>)  
 $f_c$ : 許容圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_t$ : 許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

©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

## 4.2.2 構台、前室及びランウェイガードの構造強度に対する検討 **TEPCO**

表 4.2.2-1 断面検討結果 (常時)

部位*1		部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (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	
鉄骨 部材	①	柱	C (B)	$\sigma_c$	48.7	$f_c$	144	0.48	O.K.	
				$\sigma_{by}$	20.5	$f_{by}$	161			
				$\sigma_{bz}$	2.1	$f_{bz}$	216			
				T	3.8	$f_s$	125			
	②	梁	C (B)	$\sigma_c$	0.0	$f_c$	200	0.44	O.K.	
				$\sigma_{by}$	59.0	$f_{by}$	207			
				$\sigma_{bz}$	0.0	$f_{bz}$	216			
				T	41.4	$f_s$	125			
	③	鉛直 ブレース	Φ-355.6×9.5 <STK490>	C (B)	$\sigma_c$	21.4	$f_c$	142	0.16	O.K.
	④	ランウェイ ガード	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	C (B)	$\sigma_c$	0.0	$f_c$	196	0.25	O.K.
					$\sigma_b$	45.7	$f_b$	196		
					T	9.2	$f_s$	113		

\*1: ①~④の符号は図 4.2.2-1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)

©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

## 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

表 4.2.2-2 断面検討結果（地震時）

部位*1		部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (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	
鉄骨 部材	①	柱	E1 (A)	$\sigma_c$	42.5	$f_c$	285	0.67	O.K.	
				$\sigma_{by}$	11.2	$f_{by}$	312			
				$\sigma_{bz}$	154.4	$f_{bz}$	324			
				$T$	7.3	$f_s$	187			
	②	梁	H-700×350 ×19×36 <SM490A>	E3 (A)	$\sigma_c$	1.0	$f_c$	241	0.57	O.K.
					$\sigma_{by}$	134.0	$f_{by}$	261		
					$\sigma_{bz}$	2.1	$f_{bz}$	324		
					$T$	38.1	$f_s$	187		
	③	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490>	E2 (B)	$\sigma_t$	83.8	$f_t$	231	0.37	O.K.
	④	ランウェイ イガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	E3 (B)	$\sigma_c$	14.3	$f_c$	294	0.22	O.K.
					$\sigma_b$	45.7	$f_b$	294		
					$T$	9.2	$f_s$	169		

\*1: ①~④の符号は図 4.2.2-1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)

©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

## 4.2.3 弾性支承の構造強度に対する検討

**TEPCO**

弾性支承に作用する圧縮力による面圧が、弾性支承の圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

表 4.2.3-1 弾性支承の構造強度に対する検討結果

設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_D/\sigma_v$	判定
西側	E2(A)	43.00	6.37	0.15	O.K.
東側	E2(A)	43.00	6.36	0.15	O.K.

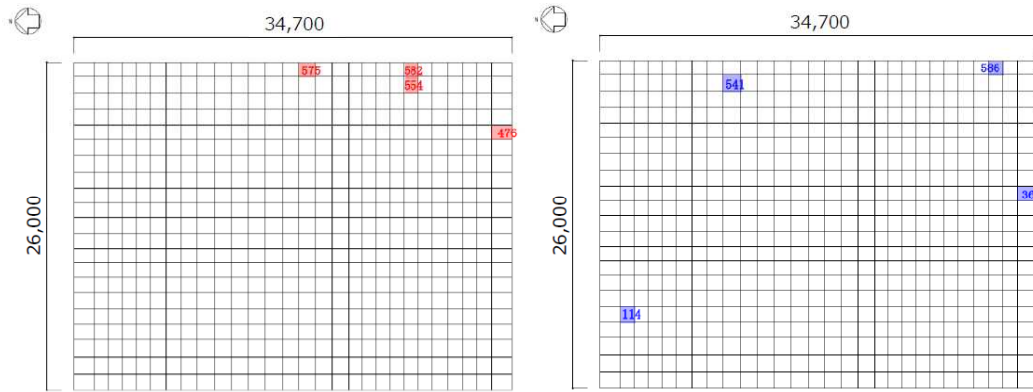
\*: ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©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

## 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討

### ■ 解析モデル

基礎の応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行い、解析モデルは下図に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し、浮き上がった場合は、ばねの剛性が0となる。



凡例 ■■■ : 断面算定要素(常時:C) (数字は要素番号)

(常時:C)

図 4.2.4-1 解析モデル図 (単位: mm)

凡例 ■■■ : 断面算定要素(地震時:E1~E4) (数字は要素番号)

(地震時:E1~E4)

図 4.2.4-2 解析モデル図 (単位: mm)

## 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討

### ■ 断面検討

組合せた応力より、各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2013年8月)」より求め、設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。

表 4.2.4-1 断面検討結果 (常時:C)

要素番号	方向	荷重ケース(位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段:上端筋 (pt:%) 下段:下端筋 (pt:%)	設計面外せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 f <sub>s</sub> ・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
575	NS	C(B)	-0.5	408.2	0.000	0.045	0.026	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	75.5	1775	O.K.
476	EW	C(B)	-0.8	798.1	0.000	0.089	0.051	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	101.1	1775	O.K.
582	NS	C(B)	1.6	75.3	0.001	0.008	0.005	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	466.3	1775	O.K.
554	EW	C(B)	-0.7	22.0	0.000	0.002	0.001	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	488.7	1775	O.K.

表 4.2.4-2 断面検討結果 (地震時:E1~E4)

要素番号	方向	荷重ケース(位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段:上端筋 (pt:%) 下段:下端筋 (pt:%)	設計面外せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 f <sub>s</sub> ・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
541	NS	E2(B)	-119.5	969.9	0.040	0.108	0.061	2-D38@200 (0.38) 3-D38@200 (0.57)	50.8	2616	O.K.
114	EW	E4(A)	-104.7	1140.3	0.035	0.127	0.046	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	14.4	2663	O.K.
586	NS	E3(A)	29.4	316.8	0.010	0.035	0.010	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	748.8	2663	O.K.
364	EW	E1(B)	26.5	109.7	0.009	0.012	0.003	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	677.2	2663	O.K.

\*1: 燃料取扱設備の位置を示す。 \*2: 圧縮を正とする。

#### 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討

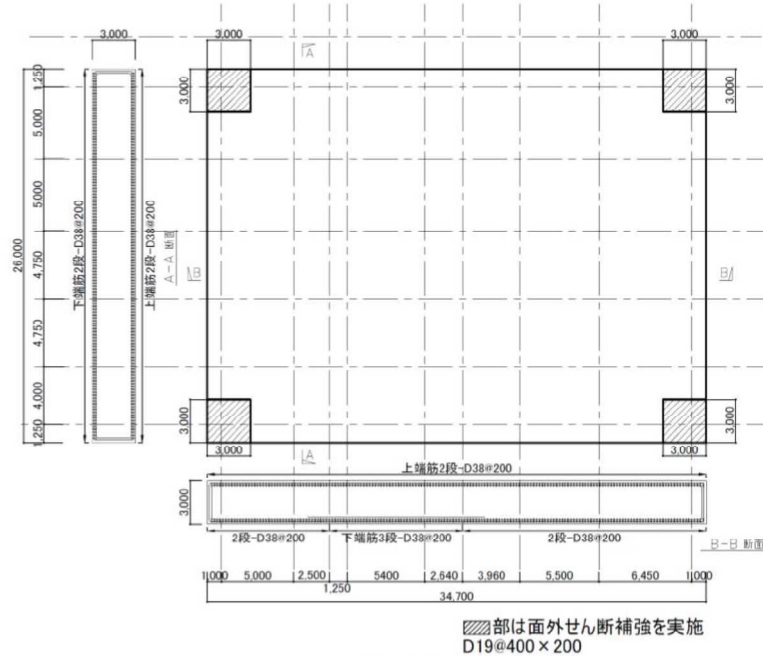


図 4.2.4-3 基礎の配筋図 (単位: mm)

©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

#### 4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討

##### ■ 常時に対する検討

燃料取り出し用構台を支持する改良地盤は、基礎直下の地盤を南北方向に 34.7m、東西方向に 26.0m、改良厚さ 7.16m程度\*1とし、G.L.-8.1mの支持地盤\*2に支持する。検討は「JEAC4616-2009」に準拠し、常時及び地震時の改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認する。

さらに、改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して、改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。

- \* 1 : MMR等の既存地下構造物のため、位置により異なる
- \* 2 : MMRまたは泥岩相当の地盤

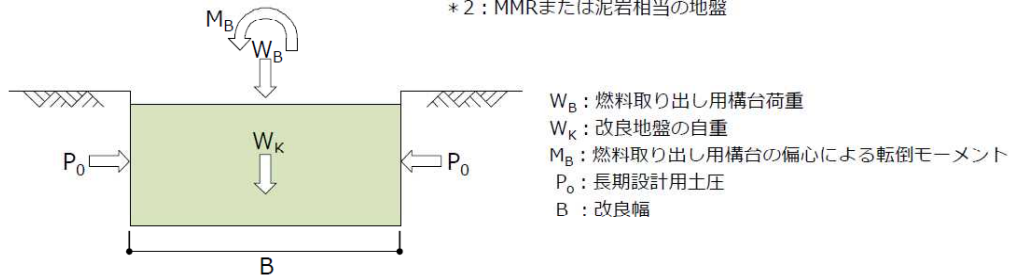


図 4.2.5-1 作用荷重 (常時:C)

- ◆ 改良地盤の検討  
最大接地圧  $qr = 279 \text{ kN/m}^2 \leq \text{長期許容圧縮心力度 } \lfloor f_{sc} = 980 \text{ kN/m}^2$
- ◆ 支持力の検討  
最大接地圧  $qr = 279 \text{ kN/m}^2 \leq \text{長期許容支持力度 } \lfloor q_a = 1960 \text{ kN/m}^2$
- ◆ 沈下の検討  
支持地盤は泥岩(岩盤)であるため、沈下の検討は不要

©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



## 4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討

### ■ 地震時に対する検討

地震時において、改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が、改良地盤の短期許容応力度以下であることを確認する。

さらに、改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して、改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する

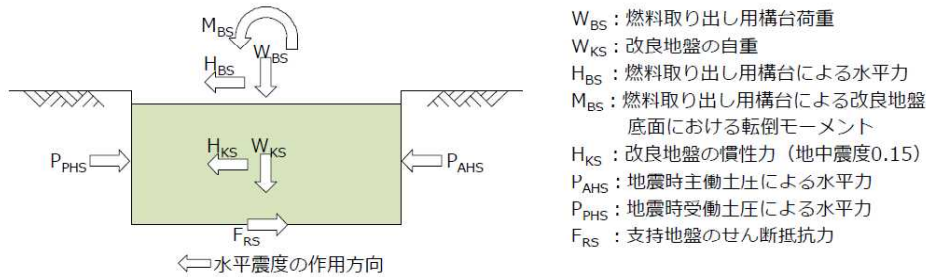


図 4.2.5-2 作用荷重 (地震時:E1~E4)

#### ◆ 改良地盤の検討

$$\text{最大接地圧 } q_{15} = 440 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容応力度 } s f_{SC} = 1960 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{最大せん断応力 } T_{\max} = 50 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容応力度 } s f_{SS} = 300 \text{ kN/m}^2$$

#### ◆ 支持力の検討

$$\text{最大接地圧 } q_{15} = 440 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容支持力度 } s q_a = 3920 \text{ kN/m}^2$$

©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

## 4.2.6 原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

### ■ 弾性支承反力に対する検討

弾性支承からの反力によって原子炉建屋RC梁に生じるせん断力が、梁の長期許容せん断耐力以下となることを確認する。弾性支承の反力は基本的に、プール壁及び下階柱に直接かかるように配置するが、一部梁端に作用するため、それを考慮する。

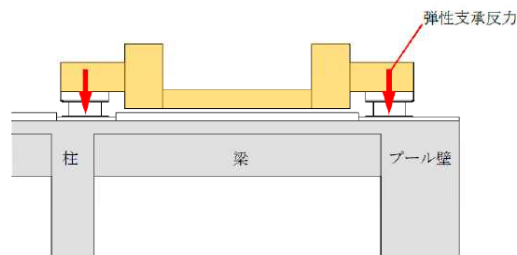


図 4.2.6-1 弾性支承からの反力

表 4.2.6-1 弾性支承反力に対する検討結果

部位	荷重ケース (位置)*	梁端せん断力 Q(kN)	長期許容せん断力 Qa(kN)	耐力比 Q/Qa	判定
弾性支承受梁	C (A)	760	1486	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)

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 設置目的

燃料取り出し用構台前室周囲には、燃料取り出し作業環境の整備並びに放射性物質の飛散・拡散防止のため、外装材を設置する。

### ■ 評価方針

架構の屋根材、壁材には金属製外装材を用いる。断面検討は、屋根材、壁材それぞれに風圧力によって生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

### ■ 検討箇所

短期事象においては、暴風時の影響が支配的であることから、積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図4.2.7-1に示す。

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 検討箇所

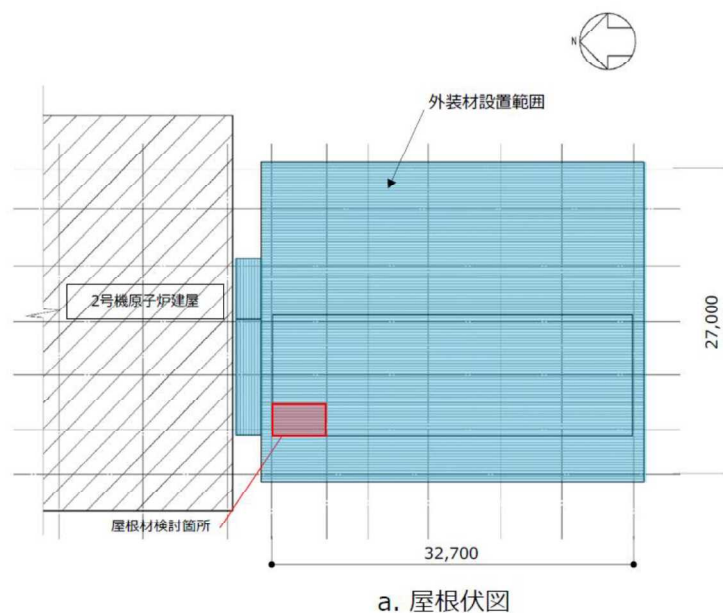
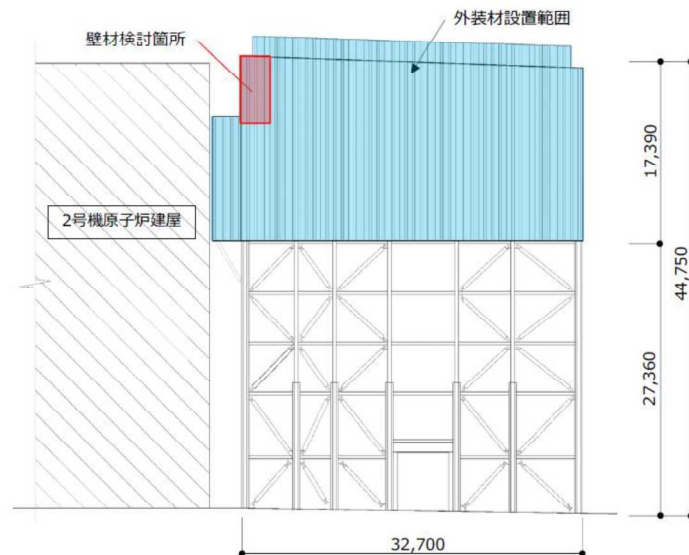


図 4.2.7-1(1) 外装材検討箇所 (単位 : mm)

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 検討箇所



b. 西側立面

図 4.2.7-1(2) 外装材検討箇所 (単位 : mm)

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 設計用荷重の算定

設計用風圧力は、建築基準法施行令第82条の4及び建設省告示第1458号に基づき、基準風速30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

表 4.2.7-1 速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の高さ方向の 分布を表す係数 $E_r$	基準風速 $V_0$ (m/s)	平均速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
47	1.258	30	855

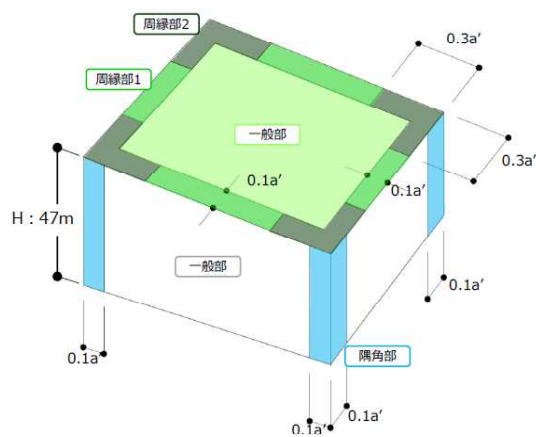
表 4.2.7-2 ピーク風力係数 (屋根)

建物高さ* H (m)	正圧	負圧		
		一般部	周縁部1	周縁部2
47	0.50	-2.50	-3.20	-4.30

表 4.2.7-3 ピーク風力係数 (壁)

建物高さ* H (m)	正圧	負圧	
		一般部	隅角部
47	2.60	-1.88	-2.31

\* : 建物高さは、安全側に建築物の高さと軒の高さ(水上側鉄骨天端)との平均値以上とした



a'は平面の短辺の長さ $a$ とHの2倍の数値のうちいずれか小さな数値(30を超えるときは、30とする)(単位:m)

図 4.2.7-2 風力係数の算定箇所

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 外装材の強度検討

- 検討は、応力が厳しくなる部位について行う。ここでは、外装材の自重は考慮しないものとする。外装材の支持間隔は、保守的な評価となるように最長スパンを用いて評価するものとし、屋根材の間隔は、3.3mで連続支持、壁材が0.75mで連続支持されているものと仮定する。
- 屋根材及び壁材の材料諸元を表4.2.7-4、4.2.7-5に示す。また、検討結果を表4.2.7-6に示す。
- 断面検討の結果、全ての外装材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

#### ① 屋根材

$$w = 855 \times (-4.30) = -3678 \Rightarrow -3680 (\text{N/m}^2)$$

$$M = w \times L^2 / 8 = (-3680) \times 3.3^2 \times 10^{-3} / 8 = -5.0 (\text{kNm/m})$$

$$\sigma_b = M / Z_x = 5.0 \times 10^6 / (40.6 \times 10^3) = 123.2 \Rightarrow 124 (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_b / f_b = 124 / 205 = 0.61 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

#### ② 壁材

$$w = 855 \times (2.60) = 2223 \Rightarrow 2230 (\text{N/m}^2)$$

$$M = w \times L^2 / 8 = (2230) \times 0.75^2 \times 10^{-3} / 8 = 0.16 (\text{kNm/m})$$

$$\sigma_b = M / Z_x = 0.16 \times 10^6 / (1.67 \times 10^3) = 95.8 \Rightarrow 96 (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_b / f_b = 96 / 205 = 0.47 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

ただし

w : 風圧力(N/m<sup>2</sup>)  
M : 単位幅当りの外装材に生ずる最大曲げモーメント(kNm/m)  
L : スパン(m)  
σ<sub>b</sub> : 曲げモーメントによる応力度(N/mm<sup>2</sup>)  
Z<sub>x</sub> : 単位幅当りの断面係数(mm<sup>3</sup>/m)  
f<sub>b</sub> : 許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

©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

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

### ■ 外装材の強度検討

表 4.2.7-4 屋根材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次モーメント	断面係数	断面2次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> /m)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> /m)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> /m)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> /m)
0.8	118	360	43.6	347	40.6

表 4.2.7-5 壁材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次モーメント	断面係数	断面2次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> /m)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> /m)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> /m)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> /m)
0.6	59	2.31	1.67	2.31	1.67

表 4.2.7-6 応力度に対する検討結果

部位	材料	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
屋根材	SGLCC*1	124	205*2	0.61	O.K.
壁材	SGLCC*1	96	205*2	0.47	O.K.

\*1 : 溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板  
\*2 : 「JIS G 3321」の「降伏点又は耐力」とする

©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



#### 4.3.1 検討方針（耐震性）



- 耐震性の検討は、構台及びランウェイガーダ、弾性支承、オイルダンパ、基礎、改良地盤、原子炉建屋接触部及び原子炉建屋の健全性について行い、基準地震動 $S_s$ に対して、これら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。
- 地震応答解析は水平1方向及び鉛直方向を同時に入力する。

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討



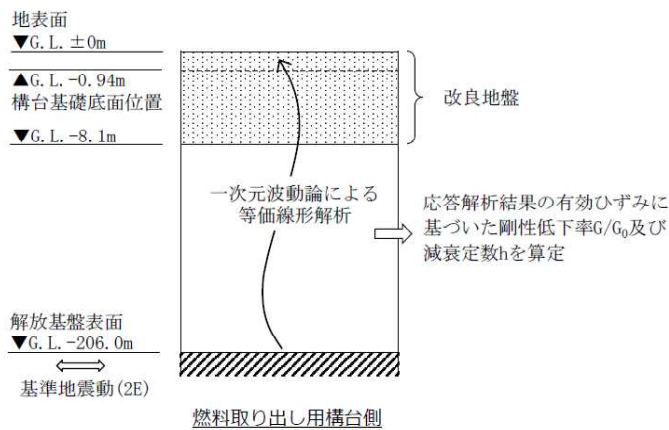
- 解析に用いる入力地震動  
入力地震動は、バックチェックにて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を用いる。

モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ に対する地盤の応答として評価する。

©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

■ 地震応答解析モデルへの入力地震動策定

水平地震動は、基準地震動 $S_s$ をG.L.-206.0mの解放基盤位置に入力し、初期地盤物性に対して一次元波動論に基づいた等価線形解析を行い、各層で生じる地盤のひずみ依存特性を考慮した等価な剛性低下率 $G/G_0$ 及び減衰定数 $h$ を定め、定めた地盤物性値をもとに、線形解析を行っている。  
 なお、鉛直地震動は、等価線形解析を実施せず、水平方向の等価地盤物性から $V_p$ を算定し、線形解析により設定する。



©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

4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

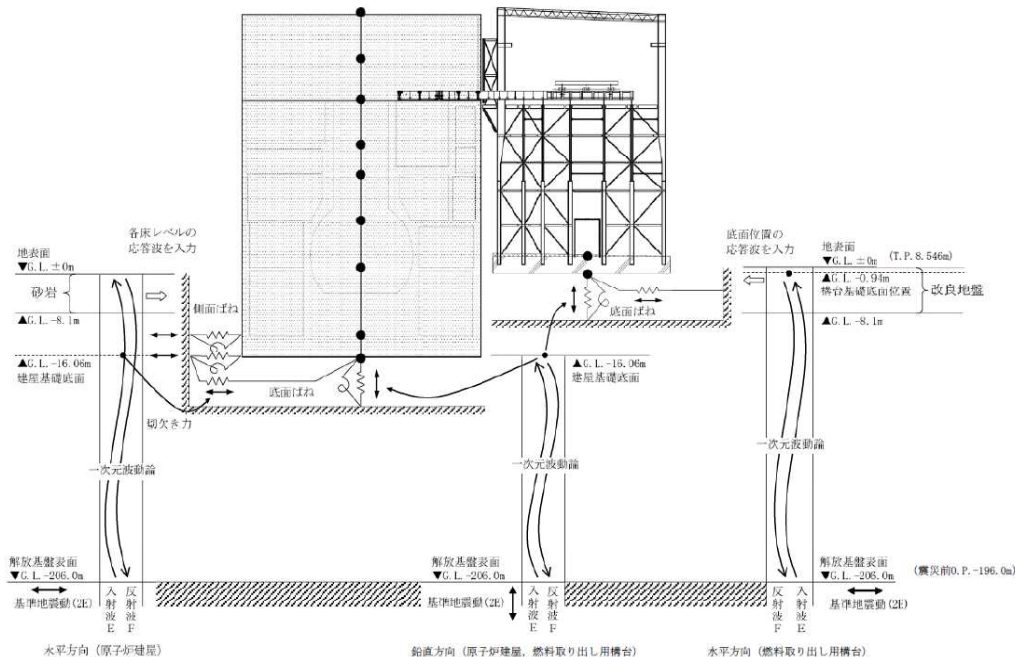


図 4.3.2-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

©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

### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

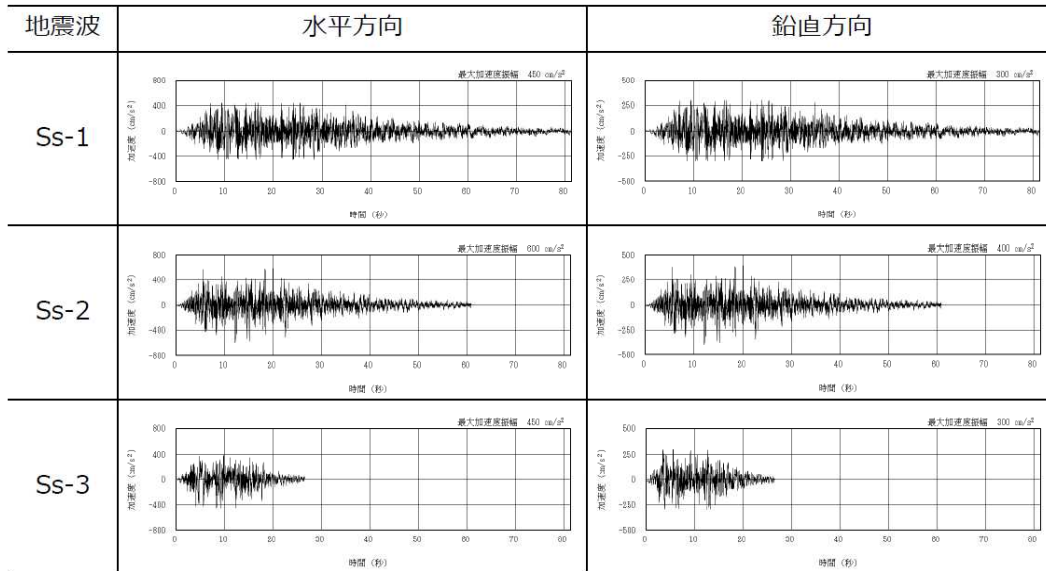


図 4.3.2-2 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形

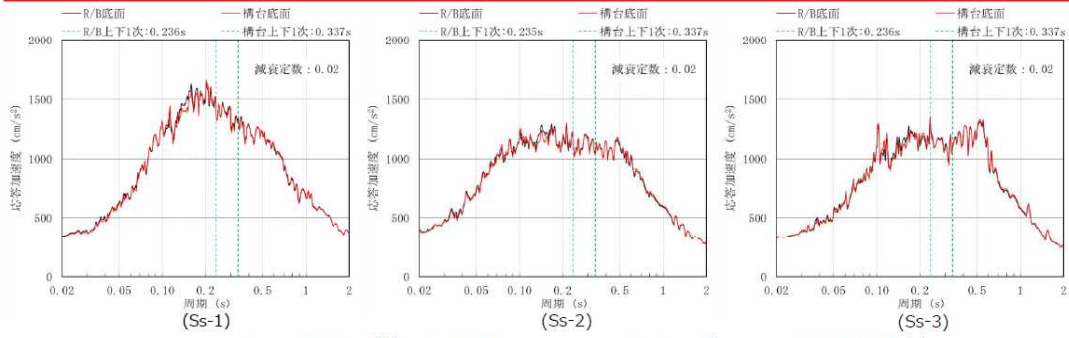
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動) **TEPCO**

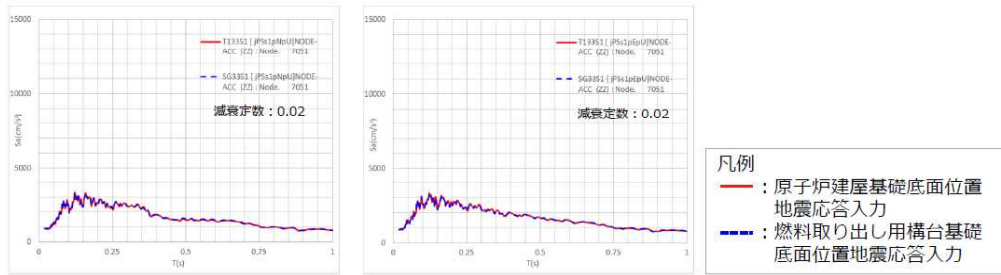
- 使用する解析コードの制約から上下動の入力波は1つに限られるため、燃料取り出し用構台についても原子炉建屋底面位置での上下動を、入力波として使用している。
- 原子炉建屋及び構台の基礎底面位置の上下方向の地盤応答加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると、原子炉建屋及び構台の上下方向の1次固有周期で双方にほとんど差がみられず、その他の周期帯でも、0.1~0.2秒の周期帯を除き、はほとんど差が見られない
- また、原子炉建屋底面及び構台基礎底面位置の上下動を入力波とした場合のランウェイガーダ先端部の加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると、双方に全ての周波数帯でほとんど差がみられない。
- さらに、原子炉建屋、燃料取り出し用構台それぞれの基礎底面位置での変位時刻歴波形と、相対変位時刻歴波形を次々頁に示す。相対変位がほとんど生じないことを確認した。
- 上記から、原子炉建屋基礎底面位置の地盤応答を構台に入力することによる構台の応答結果には影響が無く、妥当だと判断した

©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

## 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)



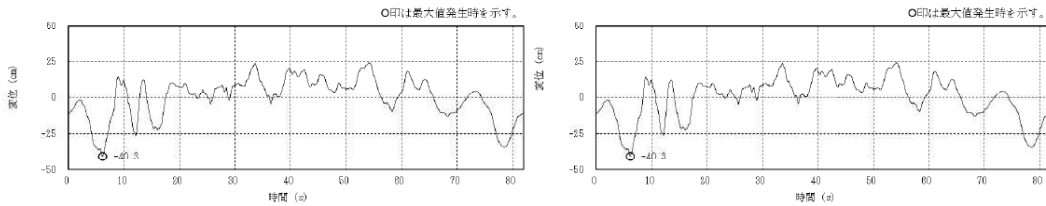
原子炉建屋及び構台の基礎底面位置の加速度応答スペクトル比較



NS+UD加力時 UD方向      EW+UD加力時 UD方向  
ランウェイガーダ先端部の加速度応答スペクトル比較 (Ss-1)

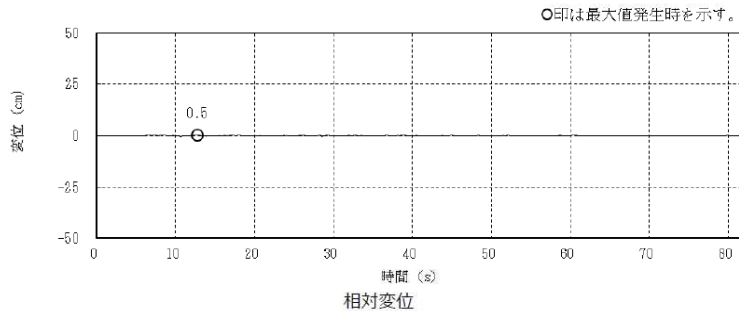
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)



原子炉建屋 (G.L. -16.06 m)

燃料取り出し用構台 (G.L. -0.94 m)



基礎底面位置 変位時刻歴波形比較

©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



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

- 地震応答解析モデルは、曲げ、せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に、三次元立体骨組でモデル化した燃料取り出し用構台を接続し、地盤との相互作用を考慮した建屋-地盤連成系モデルとする。
- 原子炉建屋のモデルは「Ⅱ章2.11 添付資料-9 別添-1 第2号機原子炉建屋西側外壁開口設置後の原子炉建屋の耐震安全性」で用いた解析モデルを基本に、南側外壁開口や遮蔽コンクリート等の設置を考慮して、重量や剛性を増減させたモデルとする。なお、原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。
- 燃料取り出し用構台の部材接合部の節点は機器荷重・仕上げ材等を考慮した重量とし、原子炉建屋の質点は表 4.3.2-3 に示す重量とする。燃料取り出し用構台の柱、梁は弾性部材の梁要素、鉛直ブレースは弾性部材のトラス要素とする。
- 構台と原子炉建屋南側壁間、構台鉛直面、およびランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置するオイルダンパは、減衰要素とばね要素を直列に結合したモデルとする。
- ランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置する弾性支承の鉛直方向は軸ばねとし、水平方向はローラーとする。なお、床上のオイルダンパ・弾性支承とも、圧縮専用ばねを原子炉建屋質点との間に設けることにより浮き上りを許容したモデルとする。
- 原子炉建屋の質点系モデルは、軸方向は弾性とし、曲げとせん断に非線形特性を考慮する。

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

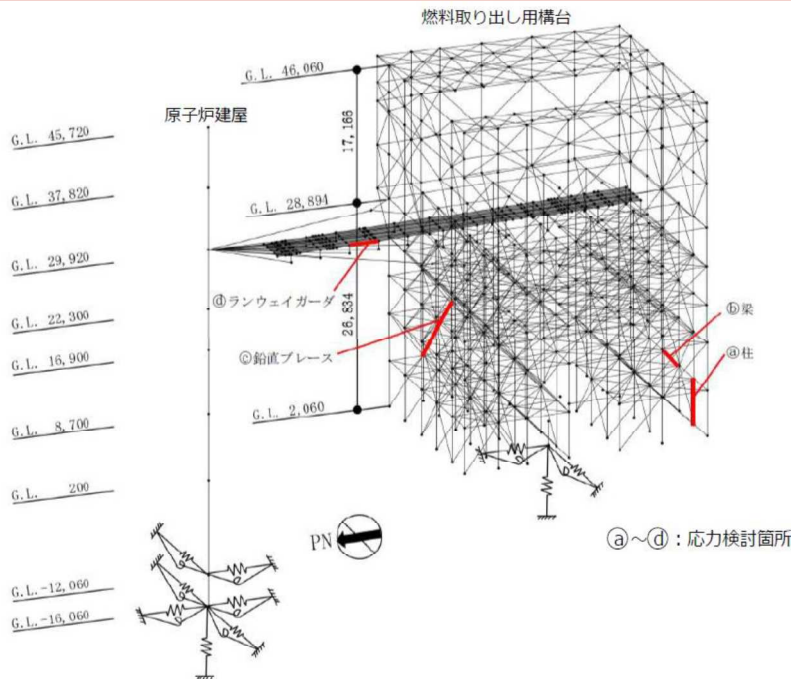
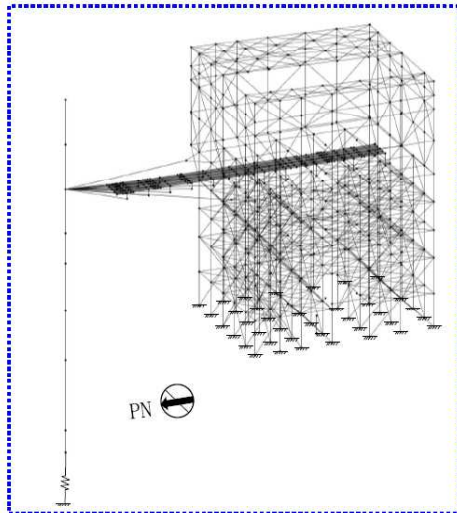


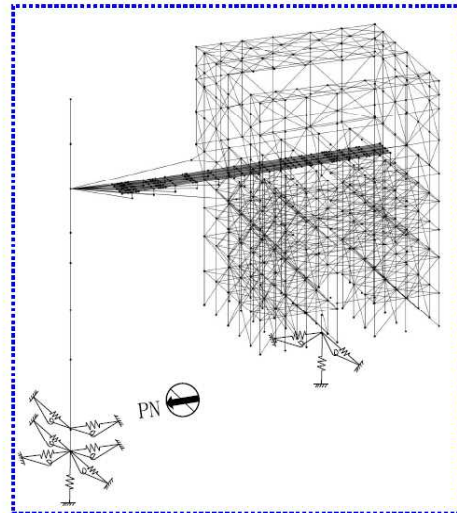
図 4.3.2-3 地震応答解析モデル (単位: mm)

©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

- 耐震性の検討（動的解析）に使用する解析モデルは、構造強度の検討（静的解析）と比較し、脚部境界条件およびオイルダンパのモデル化の点が異なる



■ 構造強度(1.5Ci 静的解析)  
脚部境界条件：鉄骨柱脚部を固定  
その他：ダンパ考慮しない



■ 耐震性(Ss-1~Ss-3 動的解析)  
脚部境界条件：地盤をSRばねとして考慮  
その他：ダンパ考慮

©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

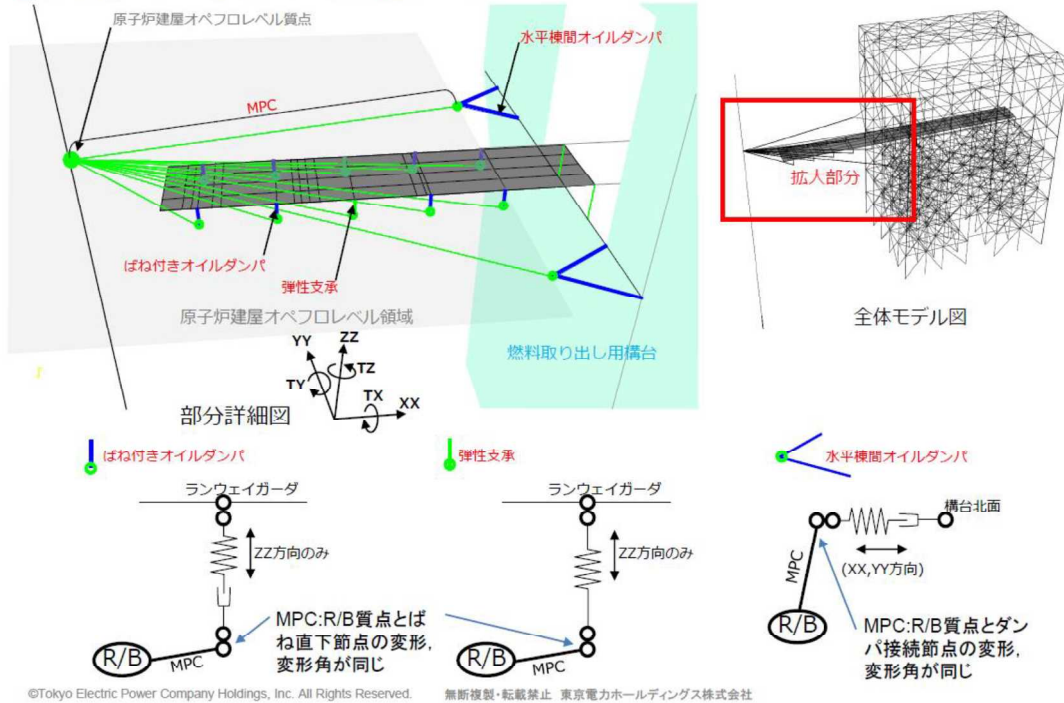
解析モデル詳細（原子炉建屋～構台間の接続条件）

- 次頁に記載の通り、解析モデル上、原子炉建屋～構台間の接続にはMPC\*を用いる
- 原子炉建屋オペレーティングフロア床面上に配置する弾性支承およびばね付きオイルダンパは、鉛直方向の軸力のみ作用するモデルとするため、上下方向のみの自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点と、弾性支承およびばね付きオイルダンパ各々のばね直下質点とをMPC要素で拘束する
- 水平棟間オイルダンパは水平面内の軸力のみ作用するモデルとするため、水平面内のみ自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点とMPC要素で拘束する

\* : Multi Point Constraint（多点拘束）  
節点自由度を他の1つ、または複数の節点自由度により定義するもの。

©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～構台間の接続条件について



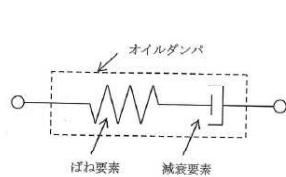
4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-1 地震応答解析に用いる物性値

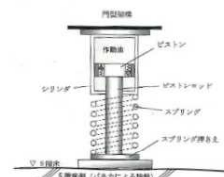
部位	材料	ヤング係数 E(N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )	減衰定数 h(%)	備考
燃料取り出し用構台	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	77.0	2	SS400, SM490A, STK490, SN490B, SN490C, TMCP325

表4.3.2-2 オイルダンパの物性値及び許容値

ダンパ種類	最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
オイルダンパ (水平棟間)	1970	1700	0.70	12000	490	±100
オイルダンパ (鉛直)	2060	1600	0.50	40000	1000	±60
ばね付き オイルダンパ	1500	1200	1.00	5000	395	±100



オイルダンパのモデル化



ばね付きオイルダンパ概念図

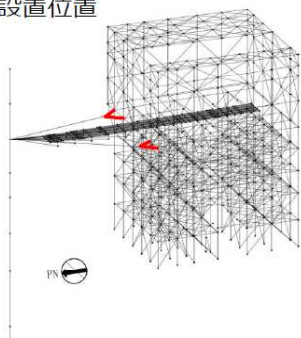


## オイルダンパ（水平棟間）の物性について

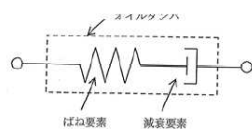
TEPCO

オイルダンパは特注品となるため、仕様(物性値及び許容値)に従ったオイルダンパを製作し、全数製品試験を行い性能を満たしていることを確認する。

### ■ 設置位置



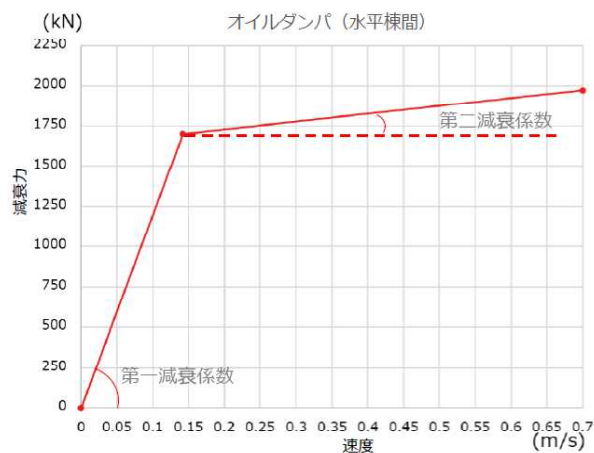
### ■ モデル化



### ■ 物性値及び許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
1970	1700	0.70	12000	490	±100

### ■ 設計特性

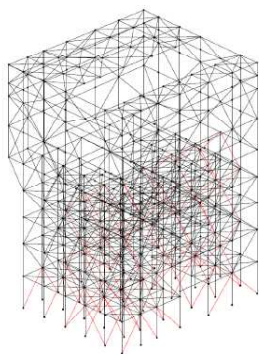


©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

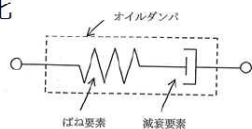
## オイルダンパ（鉛直）の物性について

TEPCO

### ■ 設置位置



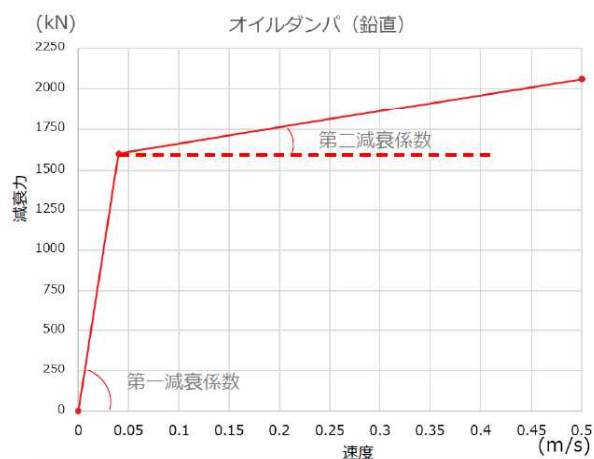
### ■ モデル化



### ■ 物性値及び許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
2060	1600	0.50	40000	1000	±60

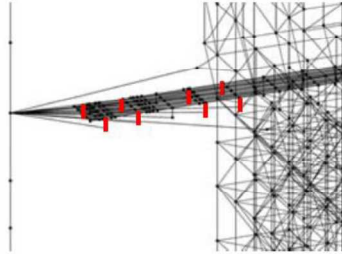
### ■ 設計特性



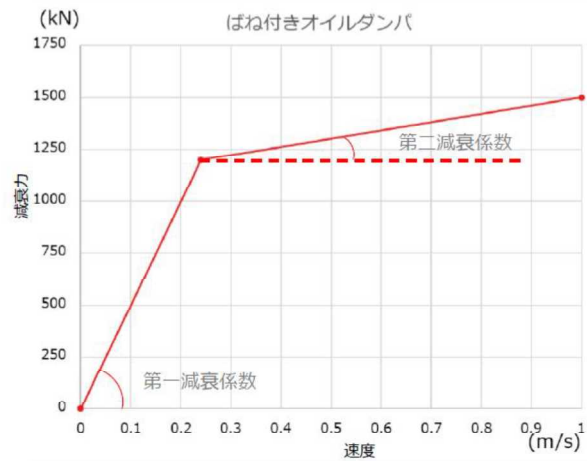
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの物性について

### ■ 設置位置

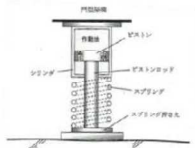


### ■ 設計特性



(圧縮側を示す)

### ■ 概念図



### ■ 物性値及許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
1500	1200	1.00	5000	395	±100

©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

## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表 4.3.2-3(1) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(a) 水平 (NS) 方向

標高 G.L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント $I (\text{m}^4)$
45.72	12880	23.28	18.6	10154
37.82	10220	18.53		10626
29.92	74470	134.76	184.3	22551
22.3	79440	143.78	166.8	24629
16.9	107720	194.96	249.3	44401
8.7	116670	211.14	157.1	40661
0.2	201190	364.11	456.8	110444
-12.06	341290	617.55	2656.2	480675
-16.06	125030	226.24		
合計	1068910			

ヤング係数  $E_c$   $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$   
 せん断弾性係数  $G$   $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$   
 ポアソン比  $\nu$  0.20  
 減衰  $h$  5%

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-3(2) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(b) 水平 (EW) 方向

標高 G.L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>0</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m <sup>2</sup> )	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
45.72	12880	13.18	13.6	5926
37.82	10220	10.40		
29.92	74470	76.06	12.6	6255
22.3	79440	81.06	108.2	11927
16.9	107720	194.96	117.3	14199
8.7	116670	211.14	185.7	33796
0.2	201190	544.79	173.1	41960
-12.06	341290	923.98	418.1	132121
-16.06	125030	338.53	2656.2	719166
合計	1068910		ヤング係数 E <sub>c</sub> 2.57×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) せん断弾性係数 G 1.07×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%	

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-3(3) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(c) 鉛直方向

標高 G.L. (m)	質点重量 W (kN)	軸断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	軸ばね剛性 K <sub>a</sub> (×10 <sup>8</sup> kN/m)
45.72	12880	43.0	1.40
37.82	10220		
29.92	74470	42.5	1.38
22.3	79440	291.9	9.84
16.9	107720	295.1	14.04
8.7	116670	437.5	13.71
0.2	201190	359.4	10.87
-12.06	341290	627.4	13.15
-16.06	125030	2656.2	170.66
合計	1068910	ヤング係数 E <sub>c</sub> 2.57×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) せん断弾性係数 G 1.07×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%	

©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

# バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由



■ バックチェック時と今回実施計画変更認可申請時の原子炉建屋解析モデル諸元の比較を行い、変更点とその理由を以下に記載する



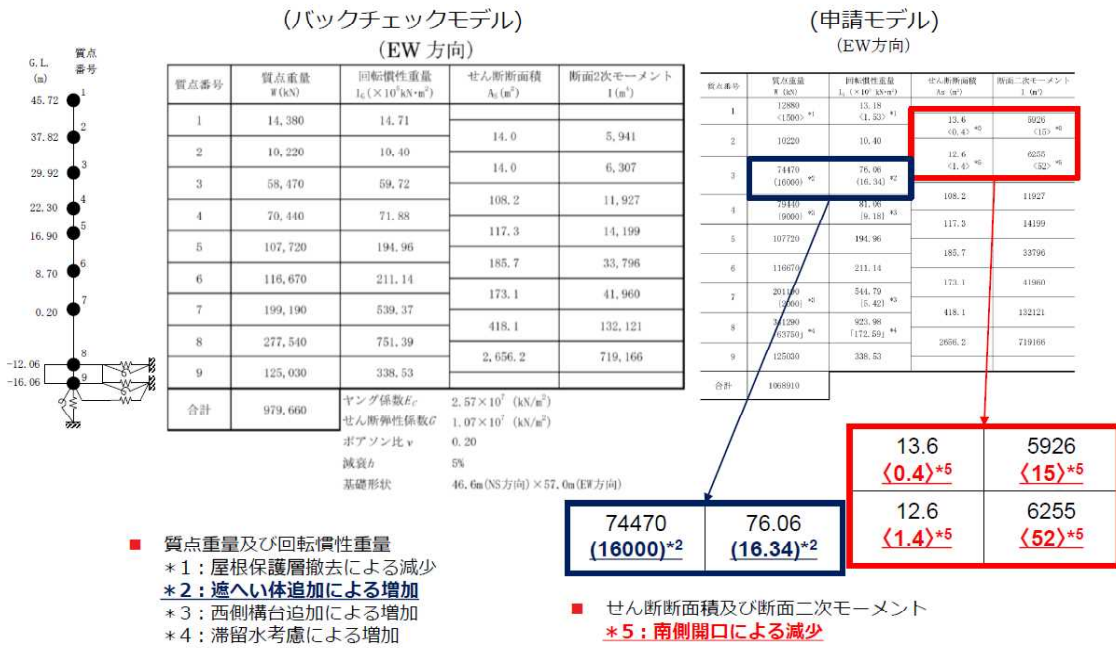
- 質点重量及び回転慣性重量
  - \* 1: 屋根保護層撤去による減少
  - \* 2: 遮へい体追加による増加
  - \* 3: 西側構台追加による増加
  - \* 4: 滞留水考慮による増加

- せん断断面積及び断面二次モーメント
  - \* 5: フローアウトパネル開口考慮による減少
  - \* 6: 西側外壁開口による減少

原子炉建屋解析モデル諸元比較 (NS方向)

©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

# バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由



- 質点重量及び回転慣性重量
  - \* 1: 屋根保護層撤去による減少
  - \* 2: 遮へい体追加による増加
  - \* 3: 西側構台追加による増加
  - \* 4: 滞留水考慮による増加

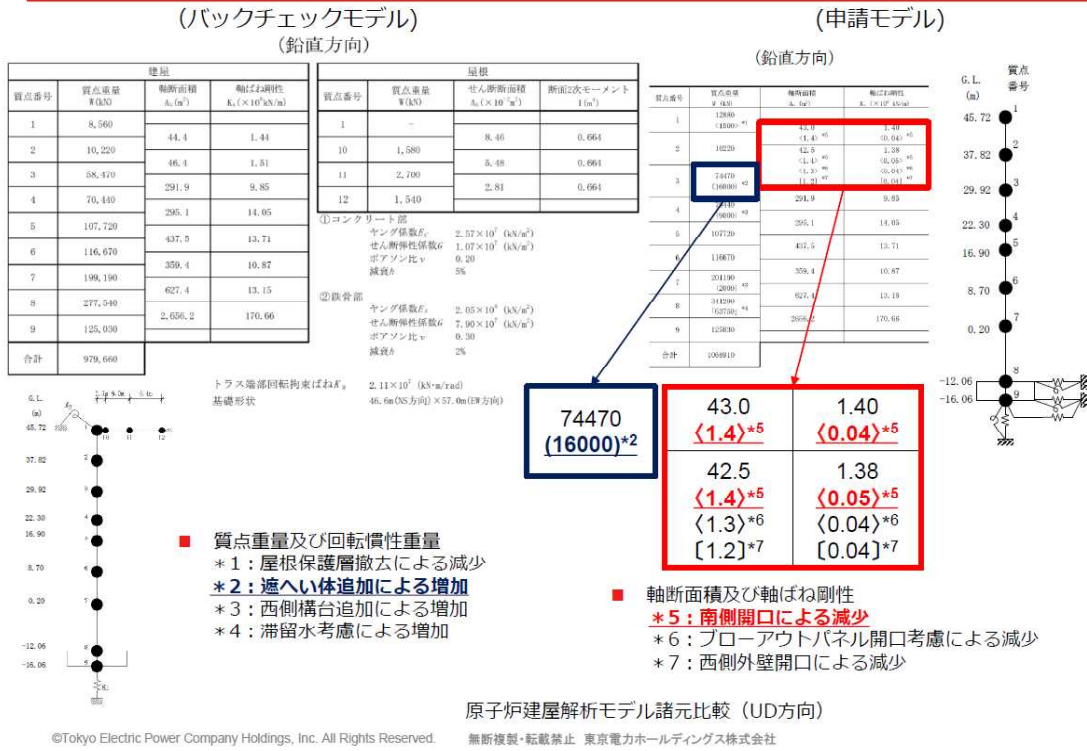
- せん断断面積及び断面二次モーメント
  - \* 5: 南側開口による減少

原子炉建屋解析モデル諸元比較 (EW方向)

©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

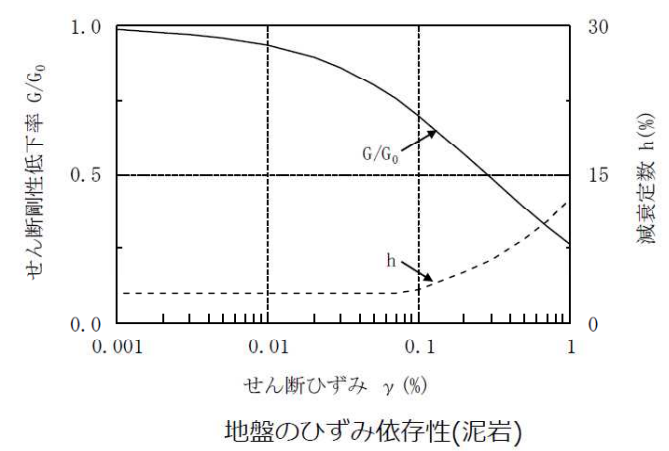


# バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由



## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

- 燃料取り出し用構台の地盤定数は、バックチェック時の地盤定数を参考に、水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた
- 原子炉建屋の地盤定数は、バックチェック時に作成したモデルと同様としている





### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-4 改良地盤の諸元

せん断波速度* Vs(m/s)	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比* ν	初期せん断弾性係数 G0(×10 <sup>2</sup> kN/m <sup>2</sup> )
800	17.7	0.31	11.52

\*：『柏崎刈羽原子力発電所1号機 建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答）』（平成22年2月19日 東京電力株式会社），総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG（第46回）会合資料

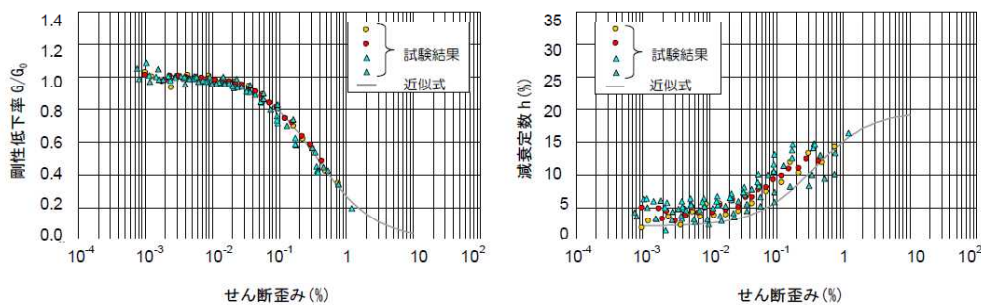
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 改良地盤物性の設定について

**TEPCO**

- 類似条件下での改良地盤の試験結果を以下に示す。

出典：『柏崎刈羽原子力発電所1号機 建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答）』（平成22年2月19日 東京電力株式会社），総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG（第46回）会合資料



©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(1) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(a) Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 $\nu$	せん断 弾性係数 G ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(2) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(b) Ss-2

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 $\nu$	せん断 弾性係数 G ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(3) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）  
(c) Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.63	3.41	0.77	7.70	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.36	4.36	0.77	9.78	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.34	5.63	0.77	12.55	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.03	6.53	0.77	14.51	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(1) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(a) Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(2) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(b) Ss-2

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(3) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(c) Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

©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



## 改良地盤物性の設定について

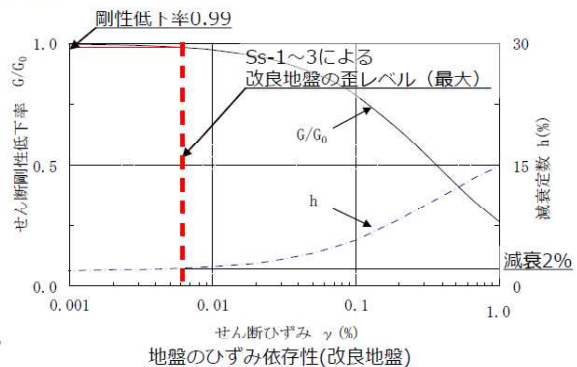


- 燃料取り出し用構台基礎直下は支持層（泥岩）に到達していないため、高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行う。
- 物性値のうち圧縮強度とせん断波速度は、2号機燃料取り出し用構台と同一条件の4号機燃料取り出し用カバーでの実績値に基づき設定している。
- ひずみ依存特性は、本件と同様に、原地盤が砂質埋め戻し土及び砂岩であり、改良方法が高圧噴射攪拌工法を用いた類似条件下での物性を参照する。
- ひずみ依存性は、福島サイトでの実績値はないが、上記理由のほか、今回の入力地震動では剛性低下をほぼ起こさない応答レベルであり、減衰についても下限値の2%としている。
- 施工例が少なく、同工法、同設計値（剛性、強度）でのひずみ依存特性の実績値は上記を除き確認できなかったため、パラメトリックスタディを実施し、改良地盤のひずみ依存特性が応答に与える影響を確認した。（次頁以降記載）

	2号燃料取り出し用構台	(参考) 4号機燃料取り出し用カバー	
	設計仕様	設計仕様	実施後の試験結果
せん断波速度 Vs(m/s)	800	800	836
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5	5	4.498*
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	3	3	2.300*

\* : 設計バックフィットを実施し、設計成立性を確認している

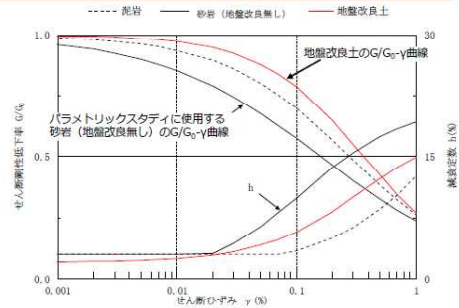
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 改良地盤物性の設定について



- 地盤改良を実施すると、改良前地盤よりせん断剛性低下率のひずみ依存性が改善される
- ここでは仮に、地盤改良を実施しない砂岩のせん断剛性低下率のひずみ依存性を用いて基礎下入力動に及ぼす影響を確認する
- 一方、初期せん断剛性や減衰定数は、地盤改良土の物性をそのまま用いる
- 上記条件の場合、剛性低下しやすくなり、応答が大きくなる傾向となる
- 入力波基準地震動Ss-1とする



地盤改良土の物性をそのまま使用

ひずみ依存特性を変更したことにより変更

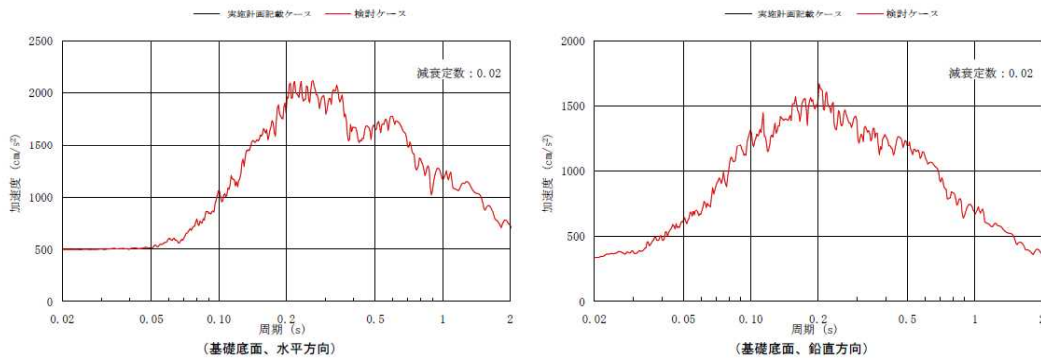
標高 G.L. (m)	地質	初期 せん断波速度 Vs0 (m/s)	単位体積 重量 γt (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G0 (×10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G0	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup> )	剛性低下後 せん断波速度 Vs (m/s)	剛性低下後 縦波速度 Vp (m/s)	減衰 定数 h (%)	層厚 h (m)
0.0	(地盤改良土)	800	17.7	0.310	11.52	0.93	10.71	770	1470	2	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	3.41	0.78	2.66	398	1530	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	4.36	0.78	3.40	442	1540	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	5.63	0.78	4.39	495	1580	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	6.53	0.78	5.09	530	1640	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	-	9.24	700	1890	-	-

【参考】  
砂岩の物性値

©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

## 改良地盤物性の設定について

- 基礎下入力動の比較を以下に示す
- 地盤改良を実施しない砂岩のひずみ依存特性を適用した場合においても、基礎下入力動は地盤改良を実施した類似条件下のひずみ依存性を用いた場合とほぼ同等であり、改良地盤のひずみ依存特性が応答に与える影響は十分小さいことを確認した

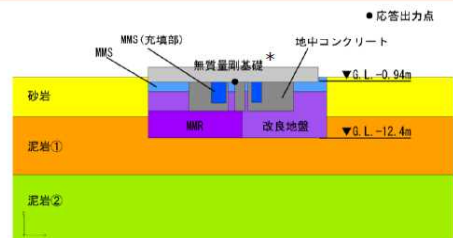


基礎下入力動の加速度応答スペクトルの比較（基準地震動Ss-1）

©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

## 改良地盤部の地中構築物影響について

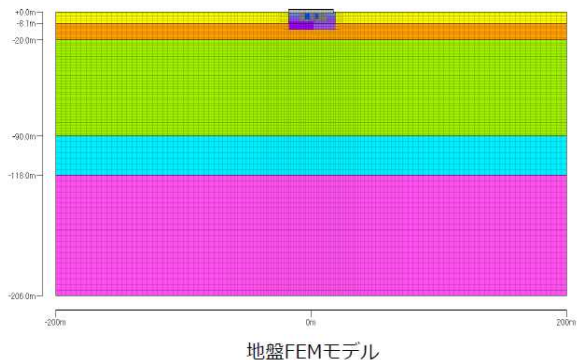
- 改良地盤部には、地中構築物（コンクリート）やMMRが残置されており、これらの影響について2D-FEMモデルを用いて確認する
- 地中コンクリート及びMMRは、建設時の工事記録の設計基準強度を参照し、剛性を設定する
- 2D-FEMモデル下端は解放基礎（G.L.-206.0m）までとし、下端には粘性境界を、側方はエネルギー伝達境界を設定する
- 検討用地震動は、3波のうち最も応答が大きくなる傾向がある基準地震動Ss-1とする
- 入力方法は、水平と鉛直の同時入力とする



\*：一次元波動論により算出した応答との比較を行うため、一次元波動論での算出時にモデル化していない基礎は、無質量剛基礎とした

	改良地盤・MMS (設計仕様)	地中コンクリート	MMR
せん断波速度 Vs(m/s)	800	—	—
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5	—	—
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	3	22.1*	13.7*

\*：剛性の算定は日本建築学会RC規準に基づく

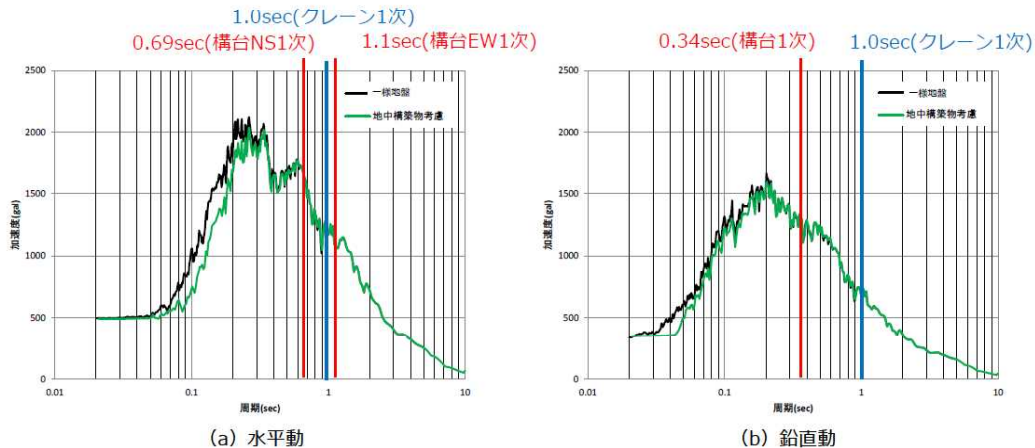


地盤FEMモデル

©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

## 改良地盤部の地中構築物影響について

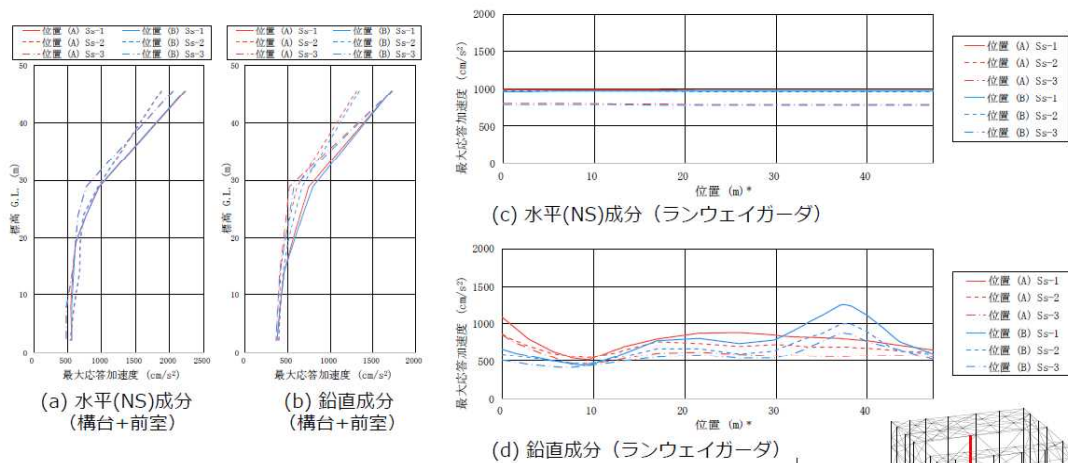
- 基礎下入力動の比較を以下に示す
- 水平動および鉛直動ともに、地中構築物を考慮した解析結果は、実施計画変更認可申請に記載した結果（地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤と仮定し次元波動論により算出（以下「一様地盤」と呼ぶ））と比較して、ほぼ同等で一部周期帯では下回る結果となった
- 以上より、架構、燃料取扱設備とも地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤として評価する方が保守的な評価になっており、妥当であることを確認した



基礎下入力動の加速度応答スペクトルの比較（基準地震動Ss-1, h=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

## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討



(a) 水平(NS)成分  
(構台+前室)

(b) 鉛直成分  
(構台+前室)

(c) 水平(NS)成分（ランウェイガーダ）

(d) 鉛直成分（ランウェイガーダ）

注：凡例位置の条件は表4.2.1-4に示す。

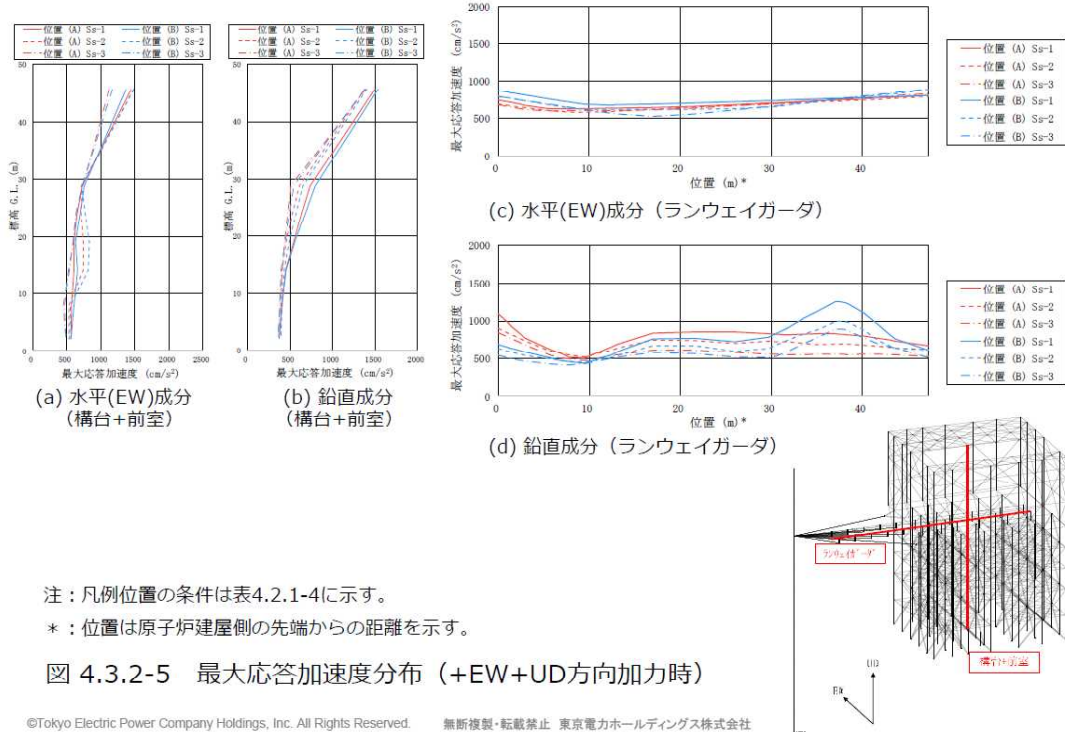
\*：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す。

図 4.3.2-4 最大応答加速度分布（+NS+UD方向加力時）

©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



### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**



### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

#### ■ 波及的影響の評価

地震応答解析結果が、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（「層間変形角は1/75 以下，層の塑性率は4 以下，部材の塑性率は5 以下」\*及びせん断力はせん断耐力以下）を満足することを確認する。

\*：北村春幸，宮内洋二，浦木弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第604号，2006年6月

表 4.3.2-7 最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波	入力方向 (位置)*	最大応答値	クライテリア	判定
構台 (1F-6F間) G.L.28.894(m) ~G.L.2.060(m)	Ss-1	NS (B)	1/443	1/75	O.K.
		EW (B)	1/320	1/75	O.K.
	Ss-2	NS (B)	1/461	1/75	O.K.
		EW (B)	1/280	1/75	O.K.
	Ss-3	NS (A)	1/591	1/75	O.K.
		EW (B)	1/262	1/75	O.K.

\*：( )内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）



### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

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る。なお、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。

表 4.3.2-8 断面検討結果

部位*1	部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (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	
			$\sigma_c$	$\sigma_{by}$	$f_c$	$f_{by}$			
鉄骨 部材	③ 柱	Ss-3 +EW-UD (B)	$\sigma_c$	43.4	$f_c$	343	0.91	O.K.	
			$\sigma_{by}$	246.2	$f_{by}$	337			
			$\sigma_{bz}$	17.1	$f_{bz}$	357			
			T	18.8	$f_s$	205			
	④ 梁	Ss-3 +EW-UD (B)	$\sigma_c$	24.1	$f_c$	350	0.87	O.K.	
			$\sigma_{by}$	265.9	$f_{by}$	352			
			$\sigma_{bz}$	5.0	$f_{bz}$	357			
			T	41.5	$f_s$	205			
	⑤ 鉛直 ブレース	$\Phi$ -406.4×9.5 <STK490>	Ss-1 +NS-UD (B)	$\sigma_c$	214.2	$f_c$	294	0.73	O.K.
	⑥ ランウェイ イガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	Ss-1 +NS-UDと +EW-UDと の包絡 (A)	$\sigma_c$	24.2	$f_c$	323	0.35	O.K.
				$\sigma_b$	85.4	$f_b$	323		
				T	14.9	$f_s$	186		

\*1 : ③~⑥の符号は図 4.3.2-4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)

©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

### JSCA性能メニューと損傷レベル



#### ■ JSCA性能メニューに定められた各クライテリアの損傷レベルについて

対象	性能評価項目	損傷限界	安全限界余裕度 I <性能限界余裕度 I >	安全限界余裕度 II <性能限界余裕度 II >	安全限界 <性能限界>		
建物挙動	R (rad)	1/200	1/150	1/100	1/75		
構造 体	Q	Q <sub>y</sub>	Q <sub>u</sub>				
	μ	1.0	μ <sub>u</sub> / 2.0	μ <sub>u</sub> / 1.33 < μ <sub>u</sub> / 1.50 >	μ <sub>u</sub> = 4.0 < μ <sub>u</sub> = 3.0 >		
	η	JASS6 型	0	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> / 1.77	η <sub>u</sub> = 10.7(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )	
		ノックダウン	0	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> / 1.77	η <sub>u</sub> = 18.2(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )	
		梁端混用	0	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> / 1.77	η <sub>u</sub> = 6.7(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )	
	γ (%)	γ (%)	0	30	60	100	
		μ <sub>m</sub>	1.0	μ <sub>mu</sub> / 2.0	μ <sub>mu</sub> / 1.33	μ <sub>mu</sub> = 5.0	
		η <sub>m</sub>	JASS6 型	0	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> / 1.77	η <sub>mu</sub> = 21.5
			ノックダウン	0	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> / 1.77	η <sub>mu</sub> = 36.5
	梁端混用		0	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> / 1.77	η <sub>mu</sub> = 13.5	
制振 免震部材	η <sub>d</sub>	—	η <sub>du</sub> / 4.0	η <sub>du</sub> / 1.77	η <sub>du</sub>		
	W <sub>d</sub>	—	W <sub>du</sub> / 4.0	W <sub>du</sub> / 1.77	W <sub>du</sub>		
	δ <sub>I</sub>	—	δ <sub>Iu</sub> / 2.0	δ <sub>Iu</sub> / 1.33	δ <sub>Iu</sub>		
建物の状態		無被害 機能維持 修復不要	軽微な被害 主要機能確保 軽微な修復	小破 指定機能確保 小規模修復	中破 限定機能確保 中規模修復		

※<>内は 2017 年版 JSCA 性能設計説明書において変更した項目

出典：JSCA性能設計説明書2017年版【耐震性能編】（社団法人日本建築構造技術者協会）

©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

■ 地震によるS造建物の状態

被害の程度	軽微な被害	小 破	中 破	大 破
構造部材	無被害	ほぼ無被害	ブレースなどの一部に座屈などの損傷が生じる	建物を支持する部材に座屈・破断が生じる
外 壁	ほぼ無被害	継目のシール材に剥離、すれなどの損傷が生じる	外装材の一部に損傷が生じるが、脱落はしない	外装材が破損し、脱落が生じる
内 壁	下地材の継目で仕上げ材(クロス)に亀裂などの損傷が生じる	下地材の一部に損傷が生じる	下地材に損傷が生じ、一部で脱落する	下地材が破損し、脱落が生じる
天 井	ほぼ無被害	天井材の一部に損傷が生じる	天井材に損傷が生じ、一部で脱落する	天井材が破損し、脱落が生じる

■ 中破の被災イメージ



出典：JSCA性能設計説明書2017年版【耐震性能編】（社団法人日本建築構造技術者協会）

©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

No.25 国交省で定められたF値の1.1倍適用の考え方

■燃料取り出し用構台に用いる鋼材は以下告示に定めるJIS規格品を用いるため適用可能。

告示 平12建告第2464号 第1・第3

鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第90条，第92条，第96条及び第98条の規定に基づき，鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに鋼材等及び溶接部の材料強度の基準強度を次のように定める。

第1 表 鋼材等の許容応力度の基準強度（抜粋）

鋼材等の種類及び品質					基準強度(単位1平方ミリメートルにつきニュートン)
炭素鋼	構造用鋼材	SS400	JIS G3101	鋼材の厚さが40ミリメートル以下のもの	235
		SM490A	JIS G3106	鋼材の厚さが40ミリメートルを超え100以下のもの	215
		SN490B	JIS G3136	鋼材の厚さが40ミリメートル以下のもの	235
		SN490C	JIS G3136		
		STK490	JIS G3444	鋼材の厚さが40ミリメートルを超え100以下のもの	295
異形鉄筋		SD295	JIS G3112,	-	295
		SD345	JIS G3117	-	345

第3 鋼材等の材料強度の基準強度

一 鋼材等の材料強度の基準強度は，次号に定めるもののほか，第1の表の数値とする。ただし，炭素鋼の構造用鋼材，丸鋼及び異形鉄筋のうち，同表に掲げるJISに定めるものについては，同表の数値のそれぞれ1.1倍以下の数値とすることができる。

©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

### 4.3.3 弾性支承の耐震性に対する検討

- 弾性支承に作用する圧縮力による面圧が、圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

表 4.3.3-1 弾性支承の耐震性に対する検討結果

設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_D/\sigma_v$	判定
西側	Ss-1+NS-UD(A)	43.00	10.83	0.26	O.K.
東側	Ss-1+NS-UD(A)	43.00	10.83	0.26	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

### 弾性支承の耐震性に対する検討

- 下記製品相当品を使用予定

出典: プリチソン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1

**天然ゴム系積層ゴム (NRB)**  
 国土交通省免震材料認定番号 MVBR-0295 (N3, G3, G5) 取得: 2006年1月  
 MVBR-0509/MVBR-0518 (G4) 取得: 2014年12月

**●製品形状**

項目	目	解説
ゴム外径	: $D_o$ (mm)	
ゴム内径	: $D$ (mm)	
ゴム内径数	: $n$	
有効断面積	: $A$ ( $\times 10^3$ mm <sup>2</sup> )	
ゴム一層厚	: $t$ (mm)	
ゴム層数	: $n$	
ゴム総厚	: $H = n \cdot t$ (mm)	
1次形状係数	$S_1 = (D_o^2 - n \cdot D^2) / (4 \cdot t \cdot (D_o + n \cdot D))$	
2次形状係数	$S_2 = D_o / (n \cdot t)$	
フランジ外径	: $D_1$ (mm)	
フランジ厚さ・距離 / 中央部	: $t/t_c$ (mm)	
取付ボルト穴PCD	: PCD (mm)	
取付ボルト穴径×数	: $d_s$ (mm) × 数	
想定ボルトサイズ	: $M$ ( $d_s - S$ )	
内部鋼板厚さ	: $t_s$ (mm)	
製品総高さ	: $H_1$ (mm)	
製品総重量 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)		



出典: プリチストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1(つづき)

**鉛直性能**

**鉛直剛性  $K_V$**

- 鉛直剛性  $K_V$  は以下の式より算出します。

$$K_V = E_c \cdot \frac{A}{H} \quad E_c = \frac{E(1+2\kappa S_2^2)}{1+E(1+2\kappa S_2^2)/E_w}$$

**圧縮限界強度 (右図参照)**

- せん断ひずみ 0 時の座屈面圧  $\sigma_{cr}$  は次式で決定しています。

$$\sigma_{cr} = \pi / 4 \cdot \alpha_c \cdot (G_m \cdot E_b)^{0.5} \cdot S_2$$

ただし、 $E_b = E(1+2/3 \cdot \kappa \cdot S_2^2) / \{1+E(1+2/3 \cdot \kappa \cdot S_2^2)/E_w\}$   
 $\alpha_c$ : 弊社試験データより定めた  $S_2$  による補正係数  
 $S_2 \geq 5$  の場合:  $\alpha_c = 1.0$   $S_2 < 5$  の場合:  $\alpha_c = 0.10 \cdot (S_2 - 5) + 1$

- 任意のせん断ひずみ  $\gamma$  における圧縮限界強度  $\sigma_{cr}'(\gamma)$  は、 $\sigma_{cr}$  を用いて次式で決定しています。

$$\sigma_{cr}'(\gamma) = \sigma_{cr} \cdot (1 - \beta_c \cdot \gamma / S_2)$$

$\beta_c$ : 弊社試験データより定めた  $S_2$  による補正係数  
 $S_2 \geq 5$  の場合:  $\beta_c = 0.76$   $S_2 < 5$  の場合:  $\beta_c = 0.76 / \{0.15 \cdot (S_2 - 5) + 1\}$

- 圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて以下の上限度  $\sigma_c$  を超えない領域までとし、ひずみ領域としては 0 面圧時の限界ひずみ  $\gamma_L$  を超えない範囲までで規定しています。

ゴム材料 (呼称) G0.30, G0.35 の場合:  $\sigma_c = 40$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 ゴム材料 (呼称) G0.40, G0.45 の場合:  $\sigma_c = 60$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_L = 400\%$  または  $S_2 \times 100\%$  のうち小さい値

©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

出典: プリチストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1(つづき)

認定番号: MVR0-0509/MVR0-0518(C4)  
 (C2)型 積層ゴム製品に適用可能な認定番号のリストです。  
 (注) 積層ゴム製品に適用可能な認定番号は、製品仕様書に明記されています。

**NHシリーズ (ゴム厚 20cm タイプ)**

品名	積層ゴムの寸法 (mm)										積層ゴムの性能 (N/mm <sup>2</sup> )		
	幅	厚	径	径	径	径	径	径	径	径	径	径	径
積層ゴムの寸法 (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
積層ゴムの性能 (N/mm <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

**装置性能**

せん断ひずみ	限界圧縮強度
$\gamma_0$	$\sigma_0$
$\gamma_2$	$\sigma_2$

©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



## 弾性支承の設置条件

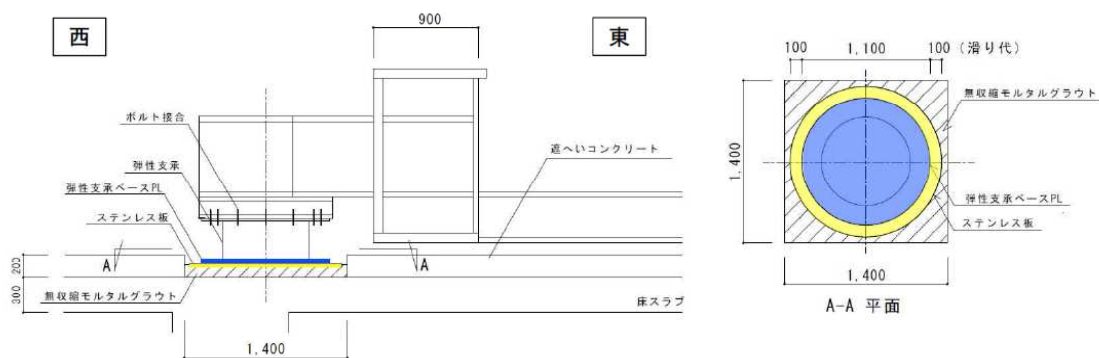
TEPCO

- 次頁に示すように、弾性支承は原子炉建屋床面上にステンレス板を設置し、その上に直接設置する計画としているが、被ばく量の低減のためテフロン板、防塵カバーの設置や床面への固定は行わない
- Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、NS方向で45mm、EW方向で71mmであり、滑り代100mm以下であるため、弾性支承がステンレス板上を滑動しても問題無い
- Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、弾性支承のせん断変形に対する許容値400 mm（せん断歪み $\gamma = 200\%$ に相当）と比較し十分小さいことから、ベースプレートとステンレス板の摩擦により弾性支承が滑動しなかったとしても、地震により発生するせん断歪みで損傷することは無い
- 水平方向の摩擦力は地震時にランウェイガードの応答を抑制する側に作用するため、地震応答解析では摩擦力を考慮せず、フリーの条件とすることは、ランウェイガードの応答を保守的に評価することとなる
- 以上から、現状の摩擦力を考慮しない境界条件は、妥当だと判断している

©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

## 弾性支承の設置条件

TEPCO



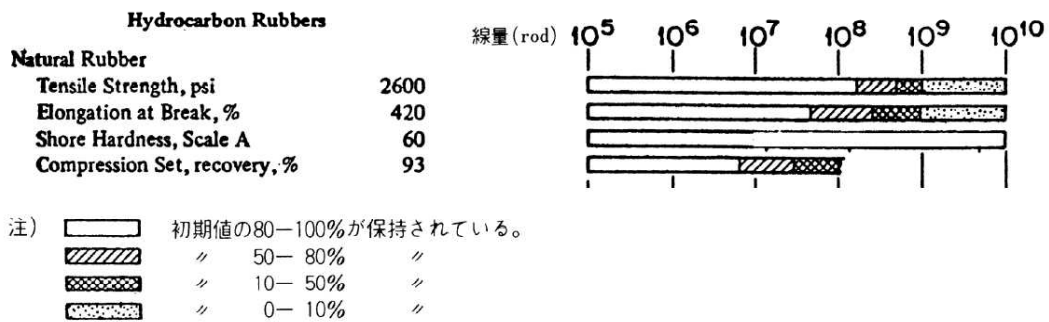
弾性支承設置概要図（単位：mm）

©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

【弾性支承（天然ゴム系積層ゴム）の耐放射線性】

- 弾性支承の放射線に対する耐久性は以下の文献を参照し、 $10^6 \text{rad}$  ( $=1.0 \times 10^4 \text{Gy}$ ) 程度であれば大きな劣化は起こらず問題無いと判断している
- 設置環境を仮定し、どの程度の照射量となるか試算した  
 $2 \text{年} \times 365 \text{日} \times 24 \text{時間} \times 19 \text{mSv/h}^* = 332.9 \text{Sv} \rightarrow 332.9 \text{Gy} < 1.0 \times 10^4 \text{Gy}$   
 使用限界線量に対し十分小さいことを確認した

\* : 2021年2月～3月（除染及び遮蔽未実施）の実測値であり今後低減させる見込み



出典：日本ゴム協会誌 第52巻 第2号(1979) ゴムの耐放射線性 町 木男

©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

4.3.4 オイルダンパの耐震性に対する検討

各部位で用いられるオイルダンパの耐震性に対する検討は、地震応答解析における最大応答値が許容値以下であることを確認する。

表 4.3.4-1 オイルダンパ（水平棟間）の検討結果

検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-1	NS (B)	50	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-2	NS (B)	0.54	0.70	O.K.

表 4.3.4-2 オイルダンパ（鉛直）の検討結果

検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-3	EW (B)	18	±60	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (B)	0.16	0.50	O.K.

表 4.3.4-3 はね付きオイルダンパの検討結果

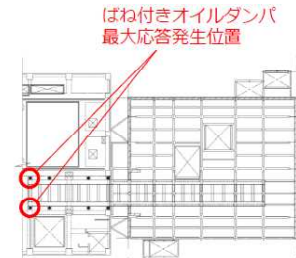
検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-1	NS (A)	18	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (A)	0.14	1.00	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©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

## ばね付きオイルダンパの設置条件

- 次頁に示すように、ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材（テフロン板）を取付け、原子炉建屋床面上に設置したすべり板（ステンレス板）との間で接触させ、水平方向に滑動できる計画としており、剛すべり支承\*1の機構を参考に水平力を負担しない条件とした
  - Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、NS方向で45mm、EW方向で76mmであり、滑り代100mm以下となっている
  - Ss時の最大面圧は13.4N/mm<sup>2</sup>であり、基準面圧\*2（20N/mm<sup>2</sup>）を下回ることから、面圧によるテフロンの損傷は起こらない
  - ステンレス板（テフロンコーティング）とテフロン板との基準摩擦係数は0.013であり、非常に小さい
  - 摩擦係数はばらつきや次頁の通り速度依存性や面圧依存性があるため、設置条件を考慮し、保守的に摩擦係数を0.040と仮定すると、Ss時の応答解析結果から得られる最大発生軸力に、上記摩擦係数を掛けて得た最大摩擦力は、28kN（0.04×680kN（最大軸力））となり、ばね付きオイルダンパのせん断許容値である40kNを下回る
  - 一般的にオイルダンパは両端固定し設置し、伸方向/縮方向両方向で減衰力を発揮
  - 一方剛すべり支承は長期荷重を負担し、地震時に荷重を逃がす形で設置
  - 今回の設置方法は、オイルダンパ下部にすべり材（テフロン板）を備えており、縮方向のみ減衰力を発揮することや、長期荷重を負担しない部分にすべり材を設置することが一般的な設置条件と異なる
  - なお、3号機燃料取り出し用カバーで2号燃料取り出し用構台と同様の設置方法を用いており、実績がある
- \*1 すべり材（テフロン板）を備え、すべり板（ステンレス板）上を滑らせる構造とした、「剛すべり支承」は、一般建物の渡り廊下や免震建物の付属施設（エレベータ、階段、周辺低層部）の下部に用いられている
- \*2 長期許容面圧に相当

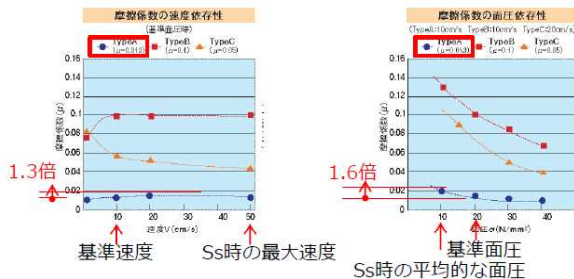


©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの設置条件

	TypeA μ=0.013	TypeB μ=0.1	TypeC μ=0.05
長期鉛直荷重	100kN~10000kN		
短期鉛直荷重	200kN~20000kN(長期鉛直荷重x2.0)		
摩擦係数※1	0.013	0.1	0.05
基準面圧	20N/mm <sup>2</sup>		30N/mm <sup>2</sup>
変位量※2	±500mm		

※1. TypeA, TypeBは正強減最大速度10cm/sの時、TypeCは20cm/sの時を示しております。  
 ※2. 変位量は設計を考慮して広げることができます。



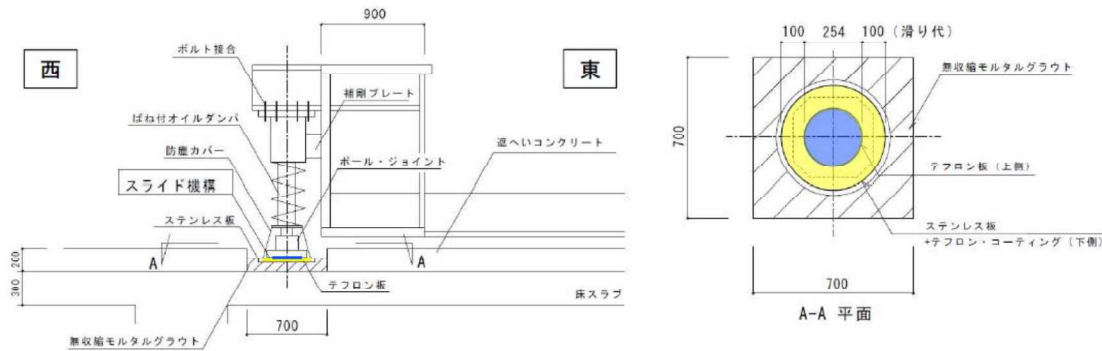
- ・摩擦係数のばらつき\*：±30%
  - ・速度依存性：+30%
  - ・面圧依存性：+60%
- 変動要因をすべて考慮した摩擦係数  
 $0.013 \times 1.3 \times 1.3 \times 1.6 = 0.035 \rightarrow 0.04$ と仮定

\*：設計で参照したカタログ（MVBR-0293）には記載がないものの、最新の大臣認定（MVBR-0606）のカタログを参照し設定

基準摩擦係数および摩擦係数の速度および面圧依存特性（出典：日本ピラー工業（株）カタログ）

©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





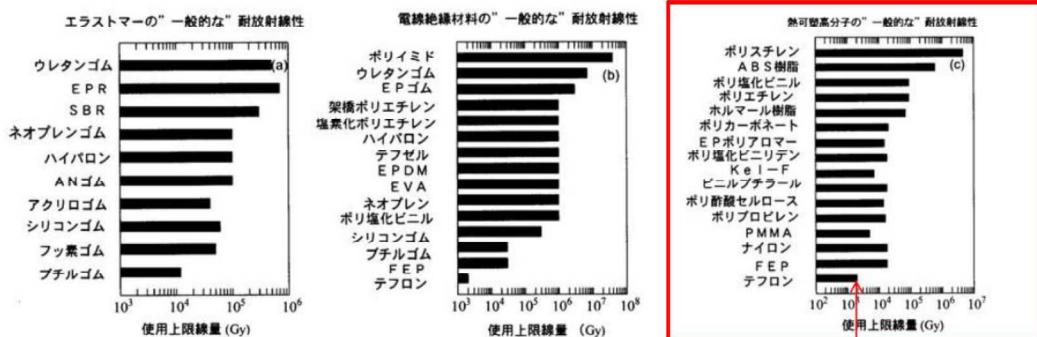
ばね付きオイルダンパ設置概要図 (単位 : mm)

©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

【テフロン耐放射線性】

- テフロンの放射線に対する耐久性は以下によると、約 $2 \times 10^3$  Gyと評価されている
- 設置環境を仮定し、どの程度の照射量となるか試算した  
 $2年 \times 365日 \times 24時間 \times 19mSv/h^* = 332.9Sv \rightarrow 332.9Gy < 2000Gy$   
 使用限界線量に対し十分小さいことを確認した

\* : 2021年2月～3月 (除染及び遮蔽未実施) の実測値であり今後低減さる見込み



出典 : 日本原子力研究所 高分子系材料の耐放射線特性とデータ集 (2003年9月)

©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



## 燃料取扱設備位置選定の妥当性について

TEPCO

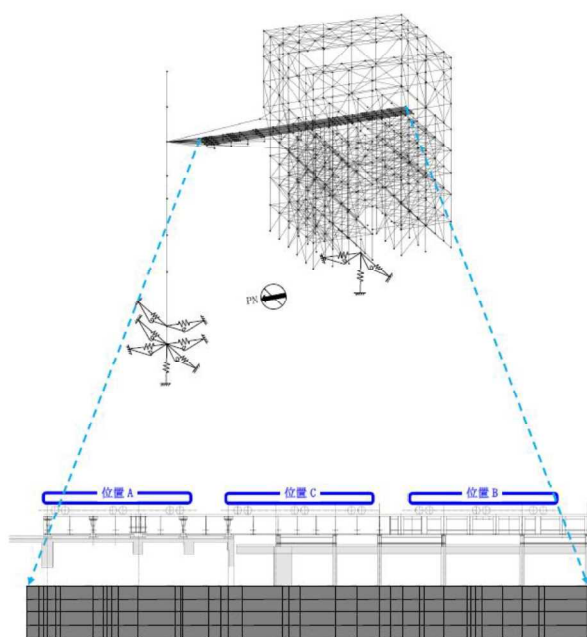
- 実施計画変更認可申請書において、燃料取扱設備が原子炉建屋側にある場合（位置 A）と構台内にある場合（位置 B）を、構造強度および耐震性の検討条件としていることの妥当性を確認するため、中間位置にある場合（以降 位置 C）における走行台車位置応答、および燃料取り出し用構台を構成する各部材の応答結果の比較を行った

©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

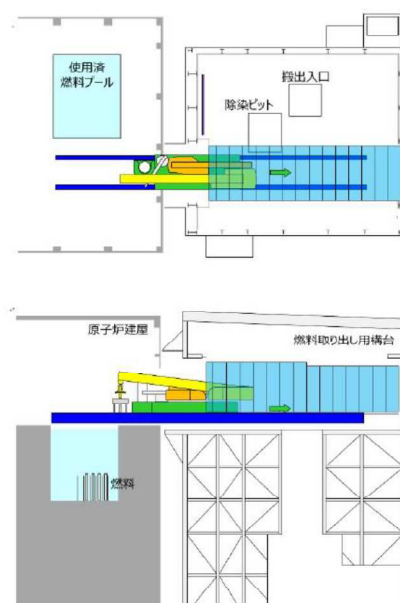
## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 燃料取扱設備の位置、および位置 C における作業姿勢は下図のとおり



燃料取扱設備位置図



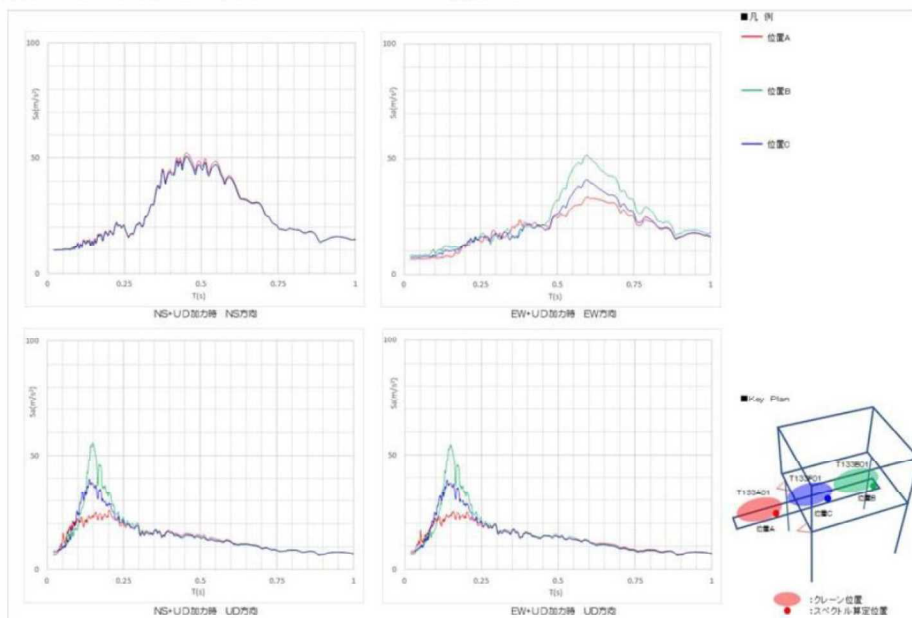
燃料取扱設備台車上の機器の姿勢

©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

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 位置Cにおける燃料取扱設備作業台車車輪位置での加速度応答スペクトルは、位置Aおよび位置Bにおける加速度応答スペクトルにほぼ包絡される形となり、中間位置での応答が燃料取扱設備に与える影響は十分に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

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 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
- 位置の違いによる最大応力度比発生位置に違いは無く、位置Cの応答結果が位置A,Bの包絡値を下回ることを確認した

部位			部材形状(mm) <使用材料>	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		位置A,B包絡値		位置C応答結果	
				$f_c$	$f_s$	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比
鉄骨部材	a	柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A>	$f_c$	343	43.4	0.91	44.6	0.81
				$f_{by}$	337			246.2	
				$f_{bz}$	357			17.1	
				$f_s$	205			18.8	
	b	梁	H-750×350 ×40×40 <SM490A>	$f_c$	350	24.1	0.87	21.1	0.76
				$f_{by}$	352			265.9	
				$f_{bz}$	357			5.0	
				$f_s$	205			41.5	
	c	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490>	$f_c$	294	214.2	0.73	213.3	0.73
	d	ランウエイ ゲータ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	$f_c$	323	24.2	0.35	10.3	0.27
				$f_b$	323			85.4	
				$f_s$	186			14.9	

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較

©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

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

- 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
- 位置Cでの応答結果が位置A,Bの包絡値を下回ることを確認した
- 前頁に記載した、燃料取扱設備台車車輪位置での加速度応答スペクトル、燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果と併せ、位置Aおよび位置Bを構造強度および耐震性の検討条件として選定することの妥当性を確認した

		許容値	位置A,B	位置C			位置A,B	位置C
			包絡値	最大応答値			包絡値	最大応答値
オイルダンパ° (水平棟間)	変位 (mm)	±100	50	47	設置 位置	圧縮限界 強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )
	速度 (m/s)	0.70	0.54	0.52				
オイルダンパ° (鉛直)	変位 (mm)	±60	18	16	西側	43.00	10.83	5.87
	速度 (m/s)	0.50	0.16	0.15	東側	43.00	10.83	5.92
ばね付き オイルダンパ°	変位 (mm)	±100	18	8	弾性支承の応答結果比較			
	速度 (m/s)	1.00	0.14	0.12				

オイルダンパの応答結果比較

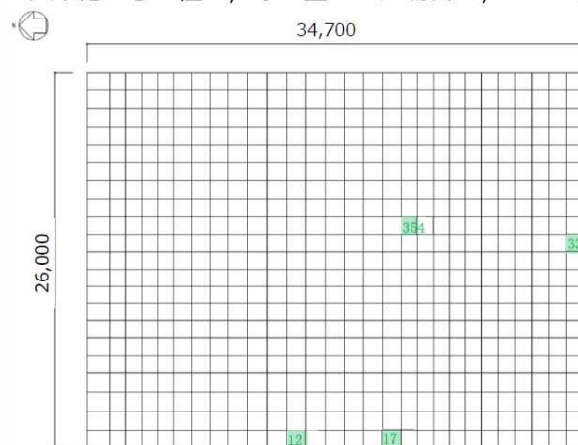
\* : 【4.3.5 1/2Ss450とSs600の応答結果の比較検討】については、「IV 2号燃料取り出し関連設備に対する1/2Ss450評価について」に記載するため、本資料では省略する

©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

## 4.3.6 基礎の耐震性に対する検討

### ■ 解析モデル

基礎の応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは下図に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し、浮き上がった場合は、ばねの剛性が0となる。



凡例 ■■■ : Ss 地震時断面算定要素 (数字は要素番号)

図 4.3.6-1 基礎モデル(Ss 地震時)

©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



### 4.3.6 基礎の耐震性に対する検討

#### ■ 断面検討

組合せた応力より、各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2013年8月）」より求め、設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。なお、各許容応力度及び引張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。

表 4.3.6-1 断面検討結果

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 f <sub>s</sub> ・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
12	NS	Ss-1 +NS-UD (A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200 3-D38@200 (0.38) (0.57)	542.8	2616	O.K.
336	EW	Ss-3 +EW-UD (B)	702.3	8453.6	0.234	0.939	0.261	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	513.9	2663	O.K.
17	NS	Ss-1 +NS-UD (A)	485.8	3585.9	0.162	0.398	0.099	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	2048.4	2663	O.K.
354	EW	Ss-2 -EW+UD (B)	700.2	4994.3	0.233	0.555	0.139	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	1806.0	2663	O.K.

\*1：燃料取扱設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。

### 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

- 基礎版の断面検定において最大検定比となる荷重ケースを下表に示す。検定比最大ケースの応力コンター図を次ページ以降に示す。

表：検定比最大ケース一覧

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 f <sub>s</sub> ・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)								
12	NS	Ss-1+NS -UD(A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200 3-D38@200 (0.38) (0.57)	—	542.8	2616	O.K.
336	EW	Ss-3+EW -UD(B)	702.3	8453.6	0.234	0.939	0.261	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	513.9	2663	O.K.
17	NS	Ss-1+NS -UD(A)	485.8	3585.9	0.162	0.398	0.099	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	2048.4	2663	O.K.
354	EW	Ss-2-EW +UD(B)	700.2	4994.3	0.233	0.555	0.139	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	1806.0	2663	O.K.

\*1：燃料設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。

- 最大検定比が生じる要素が応力最大要素ではない。①配筋が異なること、②断面検定が応力の組み合わせを考慮しているためである。せん断力については最大検定比と最大応力の発生要素の領域が大きく異なるため、せん断力最大時の荷重ケースとコンター図も示す。

表：せん断力最大ケース一覧

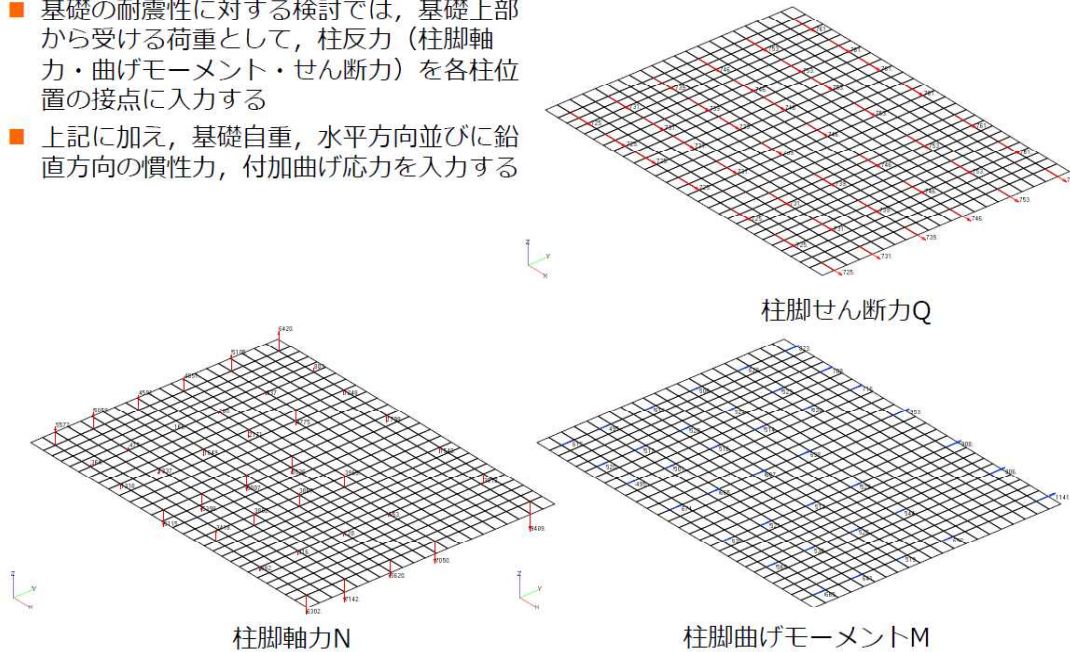
要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 α・f <sub>s</sub> ・b・j Q <sub>a</sub> (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)								
587	NS	Ss-1+NS+UD (A)	-152.6	431.5	0.051	0.048	0.021	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	D19@400×200 (0.36)	2201.9	5992	O.K.
560	EW	Ss-1+NS+UD (A)	7.4	13.4	0.002	0.001	0	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	D19@400×200 (0.36)	2014.1	5992	O.K.

\*1：燃料設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。



## 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

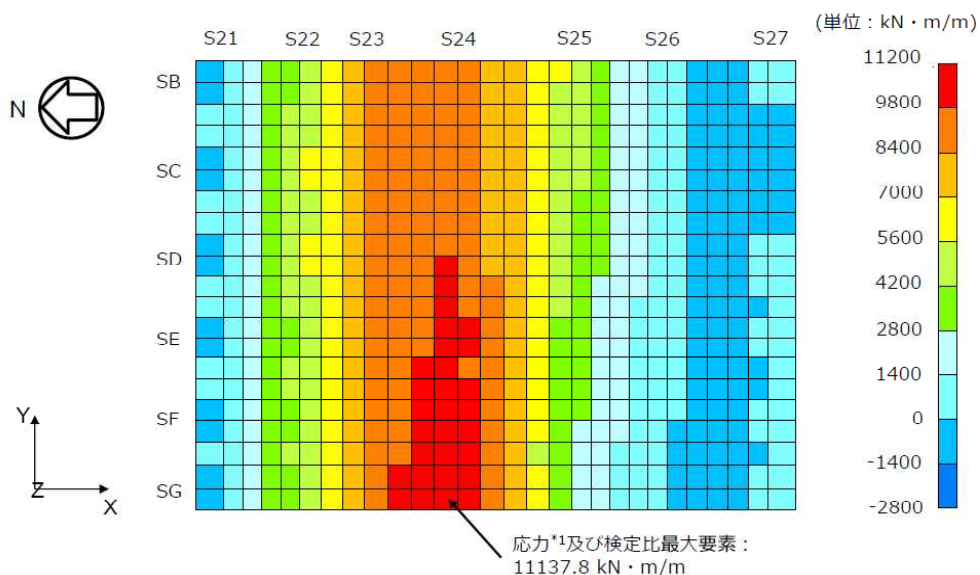
- 基礎の耐震性に対する検討では、基礎上部から受ける荷重として、柱反力（柱脚軸力・曲げモーメント・せん断力）を各柱位置の接点に入力する
- 上記に加え、基礎自重、水平方向並びに鉛直方向の慣性力、付加曲げ応力を入力する



荷重条件例：Ss-1+NS-UD(A)

©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

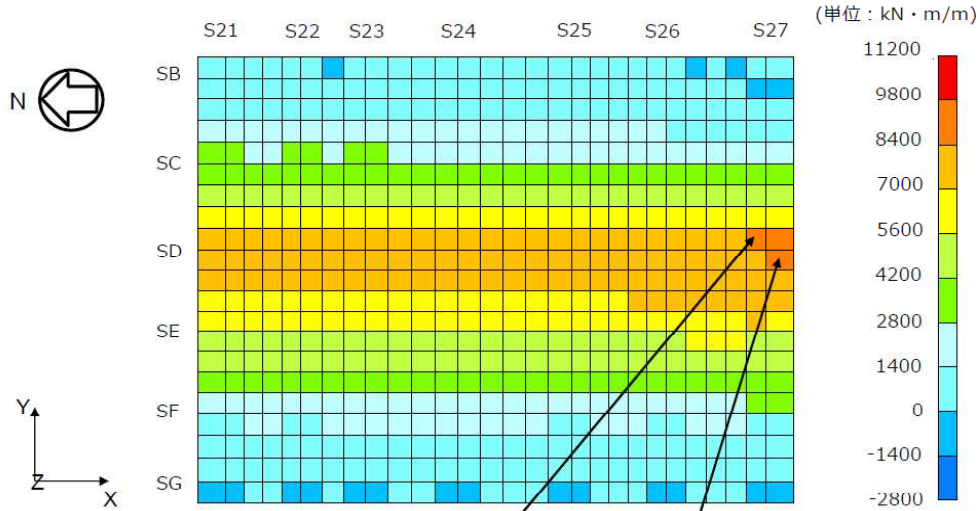
## 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター



\*1：本ケースにおける応力最大要素を示す。

応力コンター（Y軸まわり曲げモーメント）  
応力及び検定比最大値発生荷重ケース：Ss-1+NS-UD(A)

©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

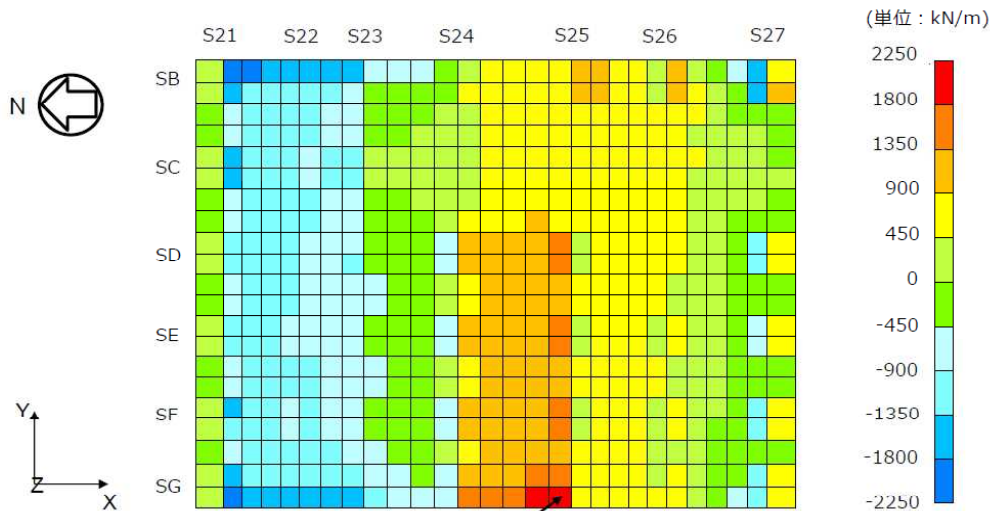


応力最大要素\*1: 8515.4kN·m/m  
 検定比最大要素: 8453.6kN·m/m

\*1: 本ケースにおける応力最大要素を示す。

応力コンター (X軸まわり曲げモーメント)  
 応力及び検定比最大値発生荷重ケース: Ss-3+EW-UD(B)

©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

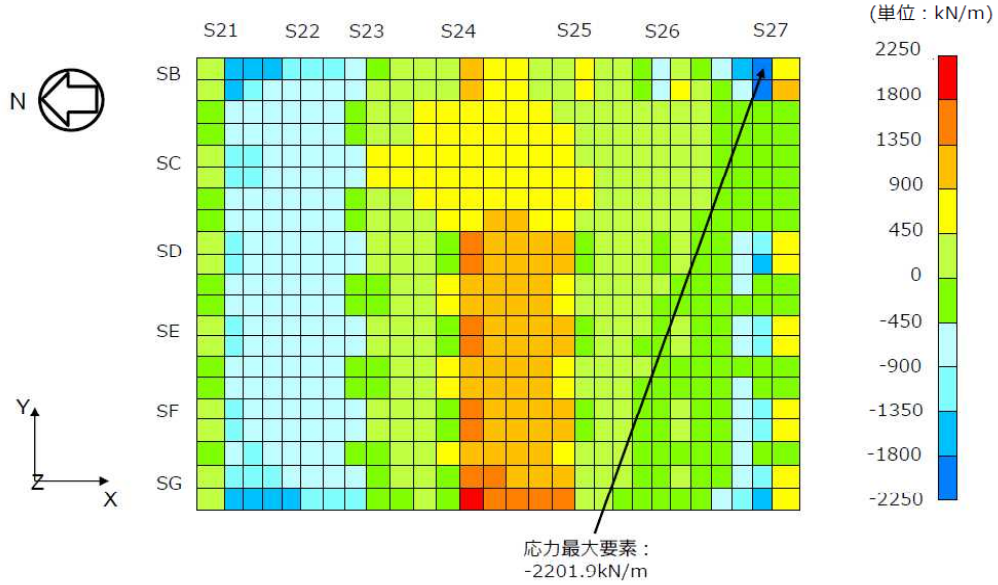


検定比最大要素:  
 2048.4kN/m

応力が最大となるケースは次ページに示す。

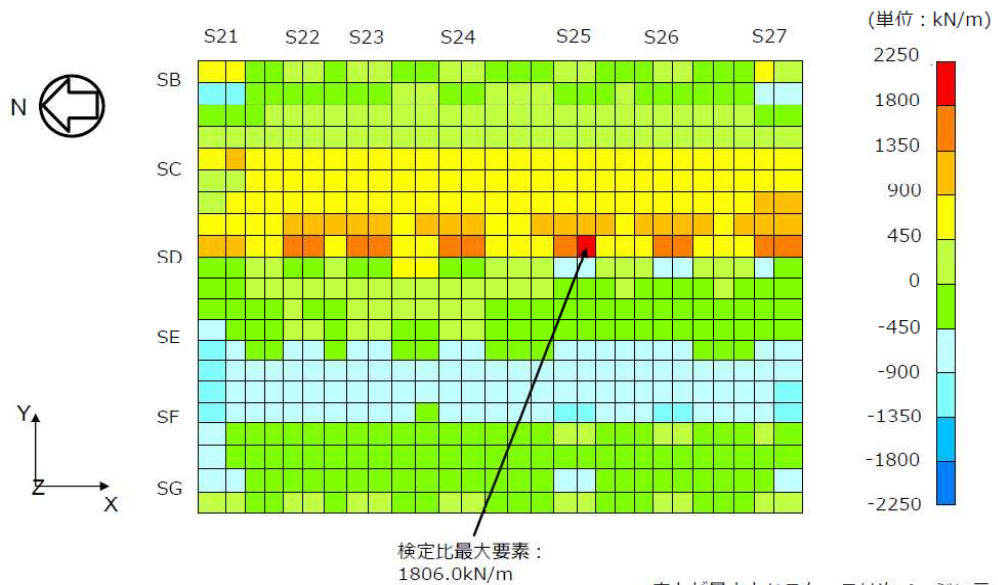
応力コンター (NS方向せん断力)  
 検定比最大値発生荷重ケース: Ss-1+NS-UD(A)

©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



応力コンター (NS方向せん断力)  
応力最大値発生荷重ケース : Ss-1+NS+UD(A)

©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

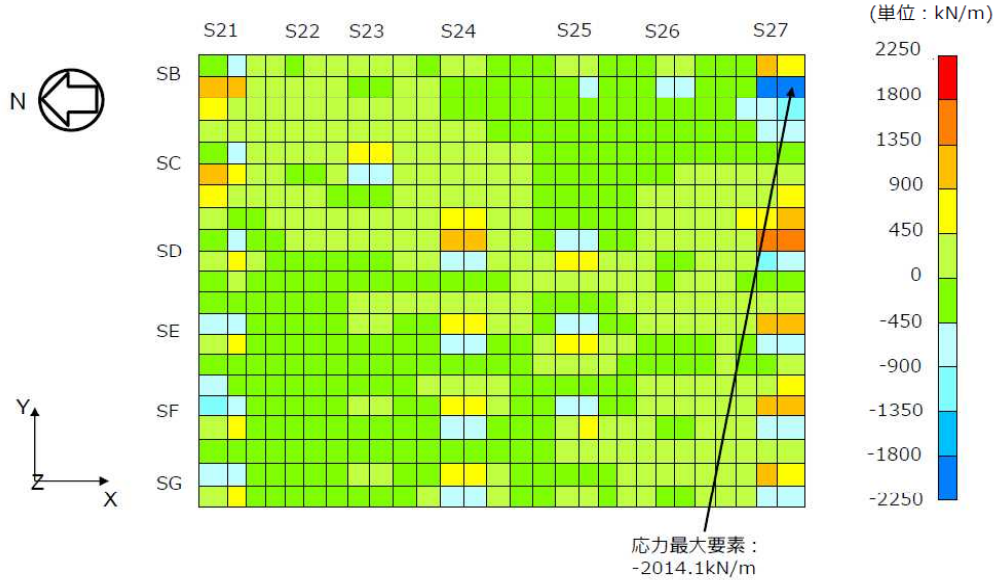


応力コンター (EW方向せん断力)  
検定比最大値発生荷重ケース : Ss-2-EW+UD(B)

応力が最大となるケースは次ページに示す。

©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





応力コンター（EW方向せん断力）  
応力最大値発生荷重ケース：Ss-1+NS+UD(A)

©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

### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

#### ■ 基準地震動Ss時に対する検討

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、基準地震動Ssにより発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。地震時において、改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が、改良地盤の短期許容応力以下であることを確認する。

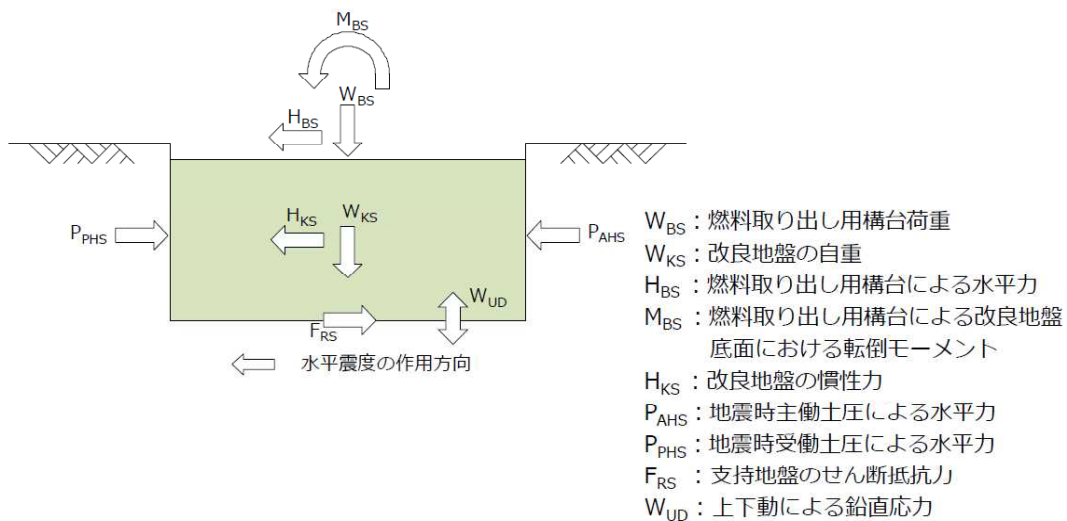


図4.3.7-1 作用荷重（基準地震動Ss時）

©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