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

2021年5月11日（第13回）

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

燃料取扱設備耐震設計に適用する減衰定数

＜追加＞ TEPCO

■ 目的

燃料取扱機，クレーンは多層に重なり合ったブームが伸縮する構造を有しており，その減衰定数を把握するため，同型式の移動式クレーンを用いた試験を実施した。

■ 実施内容

- 振動特性試験（燃料取扱機及びクレーンについて実施）
  移動式クレーン自体の運転操作の範囲内で加振した。
- 加振試験（燃料取扱機について実施）
  移動式クレーンの旋回体部を加振台に設置し加振した。

■ 振動特性試験方法

- 旋回方向
  ブームの旋回動作から急停止させることで，ブームを旋回方向に加振した。
- 鉛直方向
  クレーンワイヤ先端と吊荷間に吊荷重量以下の荷重で切断する切断ピンを設置し，クレーン巻上げにより切断ピンを切断することで，ブームを鉛直に加振した。

振動特性試験

<追加>

■ 試験姿勢

① 燃料取扱機　起伏角度0°／ブーム長さ9.8m
② 燃料取扱機　起伏角度0°／ブーム長さ19.1m
③ クレーン　　起伏角度24°／作業半径12.6m

①燃料取扱機（起伏角度0°／ブーム長さ9.8m）

③クレーン（起伏角度24°／作業半径12.6m）

②燃料取扱機（起伏角度0°／ブーム長さ19.1m）

加振試験

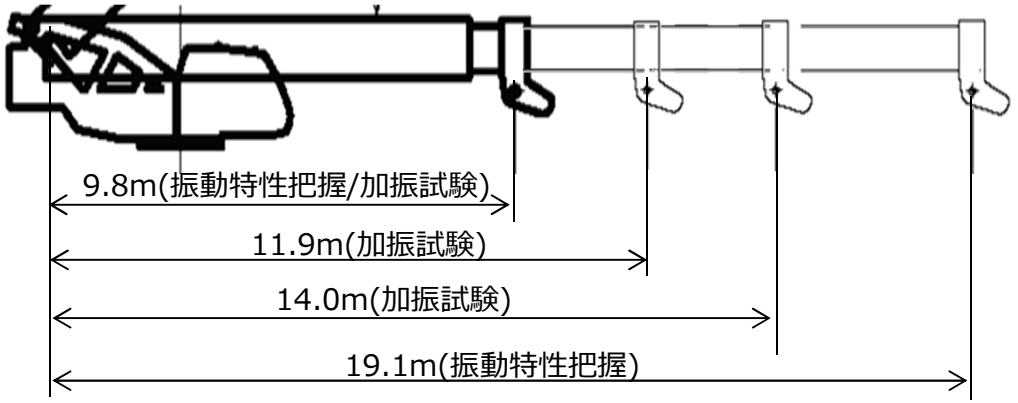
<追加>

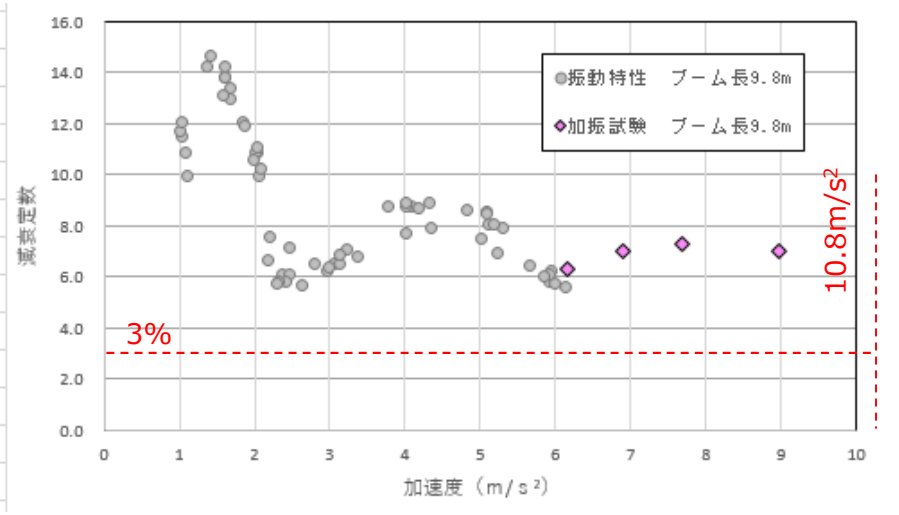
- 試験方法
  - 燃料取扱機の旋回体部を試験架台を介して加振台に設置した。
  - 旋回方向，起伏方向またはブーム伸縮方向に加振した。
- 試験姿勢
  - 起伏角度0°／ブーム長さ9.8m，11.9m，14m（ブーム長さの影響確認）
  - ブーム長さ9.8m／起伏角度0°，19°，40°（起伏角度の影響確認）

燃料取扱機　ブーム長さの減衰定数への影響(水平方向)　＜追加＞

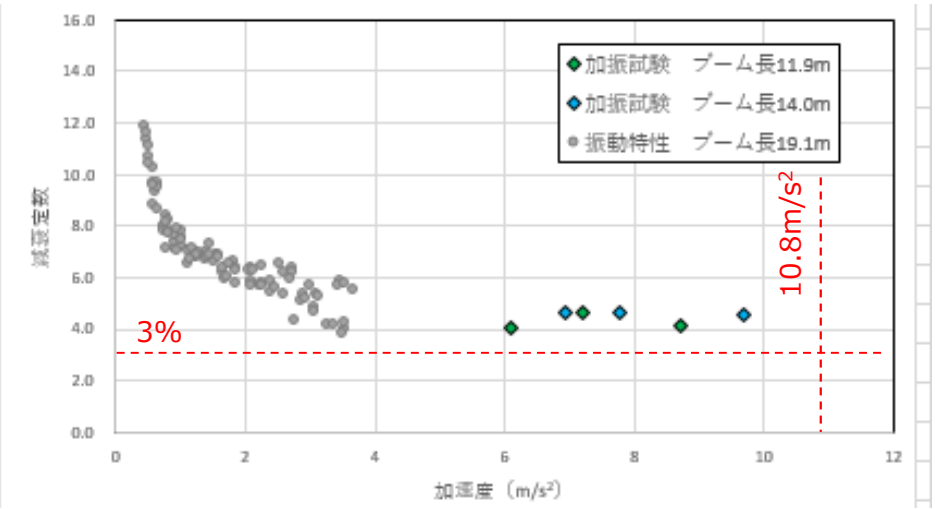
- ブーム長さ9.8mとそれ以外のブーム長さを比較すると減衰率の低下が見られたが，ブームを延ばした状態では水平方向の減衰率は安定することを確認した。
- 水平方向の減衰定数は加速度増加に伴い安定することを確認した。

試験姿勢





ブーム長さ9.8m，起伏角度0°



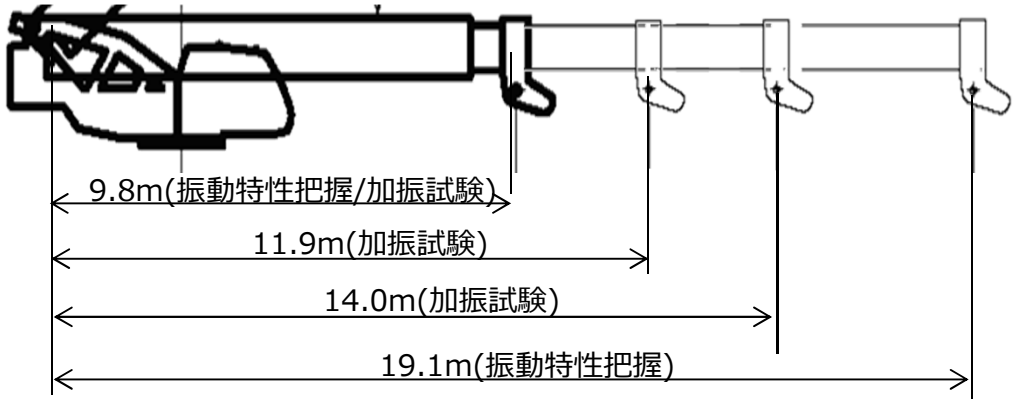
ブーム長さ11.9m/14m/19.1m，起伏角度0°

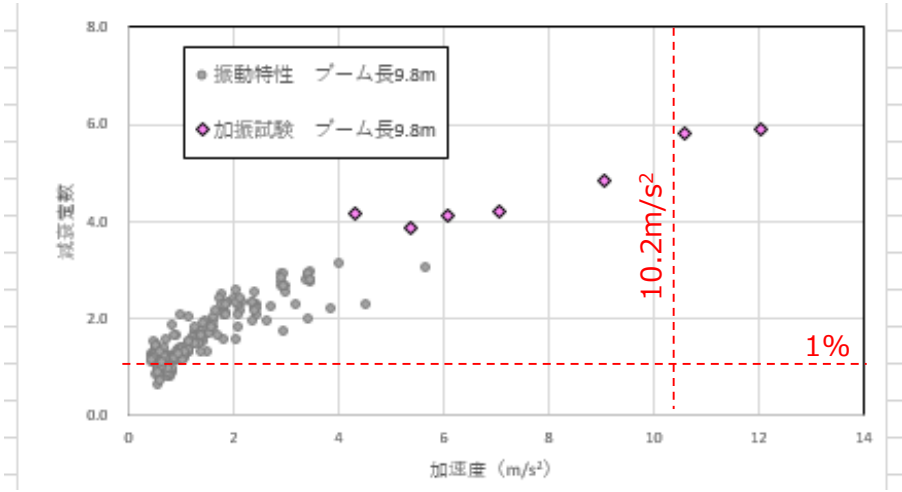
減衰定数（水平方向）

燃料取扱機　ブーム長さの減衰定数への影響(上下方向)　＜追加＞

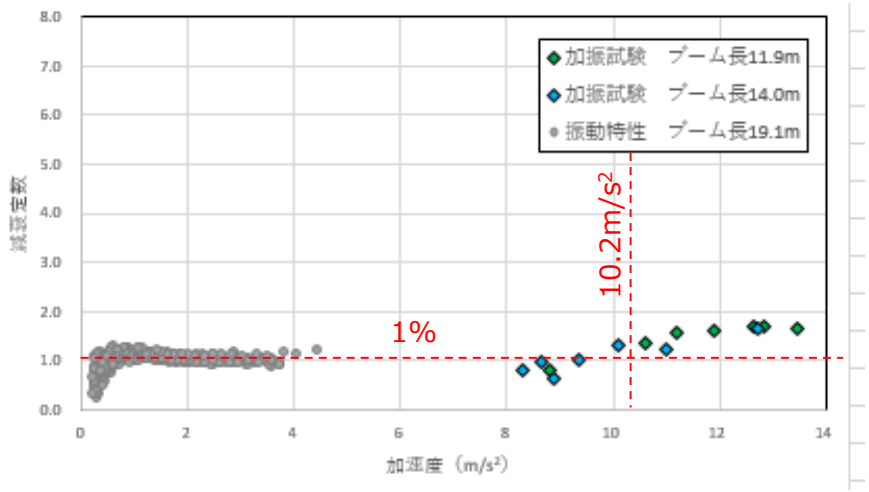
- ブーム長さ9.8mとそれ以外のブーム長さを比較すると減衰率の低下が見られたが，ブームを延ばした状態では上下方向の減衰率は安定することを確認した。
- 上下方向の減衰定数は加速度増加に伴い安定することを確認した。

試験姿勢





ブーム長さ9.8m，起伏角度0°

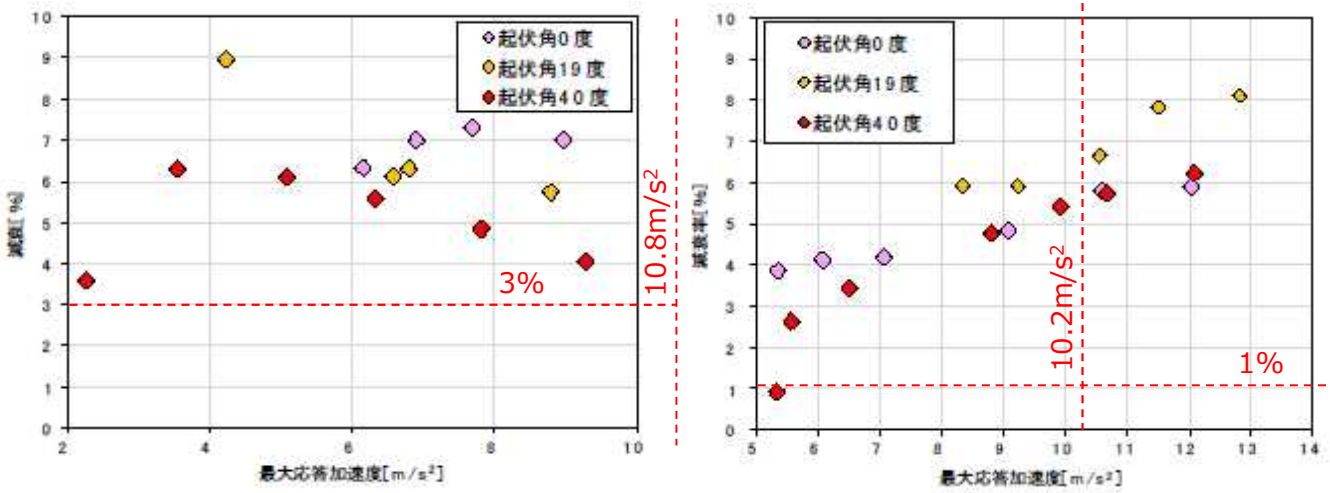


ブーム長さ11.9m/14m/19.1m，起伏角度0°

減衰定数（上下方向）

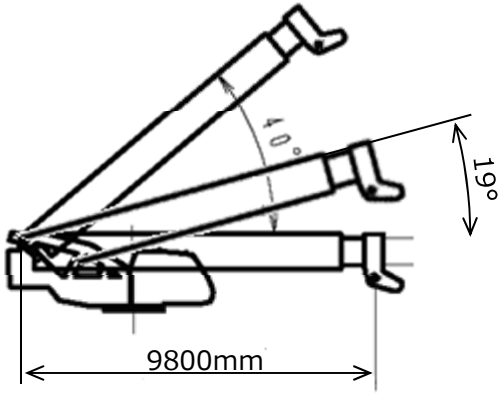
燃料取扱機　起伏角度変化による減衰定数への影響　＜追加＞

- 加振試験の結果より水平方向／上下方向ともに起伏角度の変化による減衰定数への影響は小さいことを確認した。
- 上下方向については，起伏角度に関わらず最大応答加速度の増加に伴い減衰定数が大きくなる傾向を確認した。



減衰定数

（左：水平方向、右：上下方向）

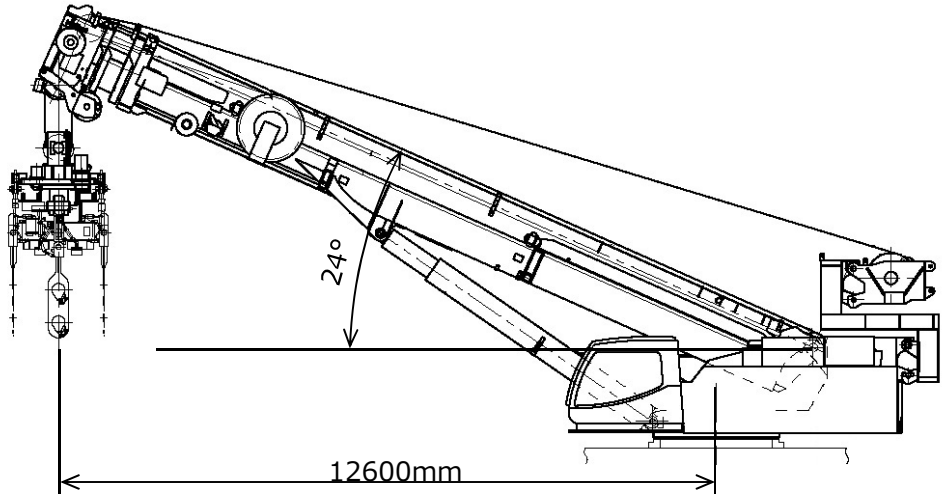


試験姿勢

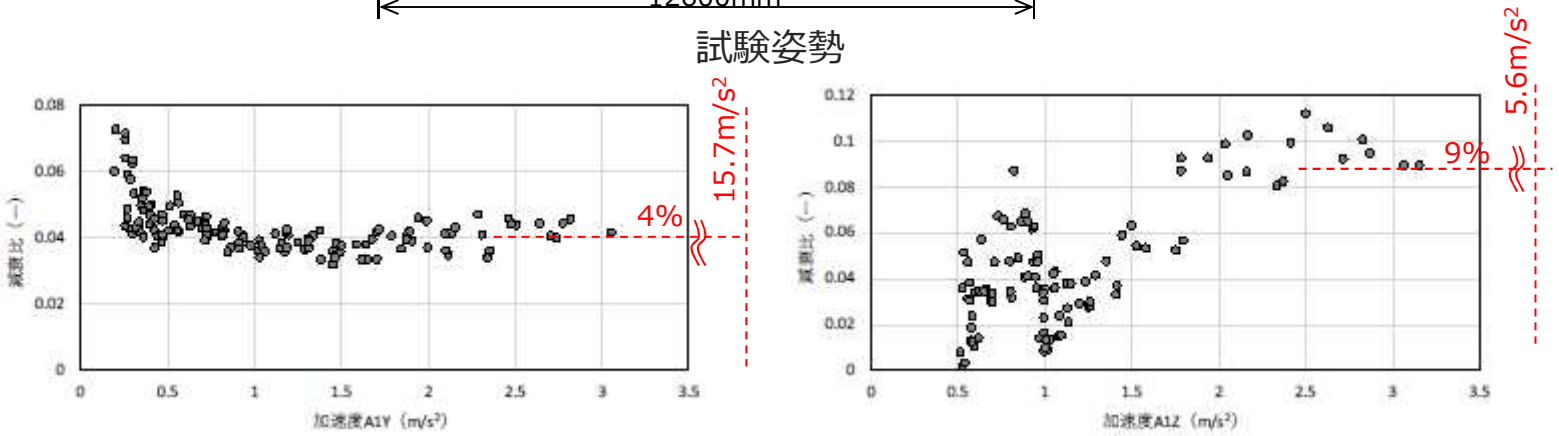
クレーン　減衰定数

<追加>

- 水平方向の減衰定数は加速度の増加に伴い安定する傾向を確認した。
- 上下方向の減衰定数は加速度の増加に伴い上昇後，安定する傾向を確認した。



試験姿勢

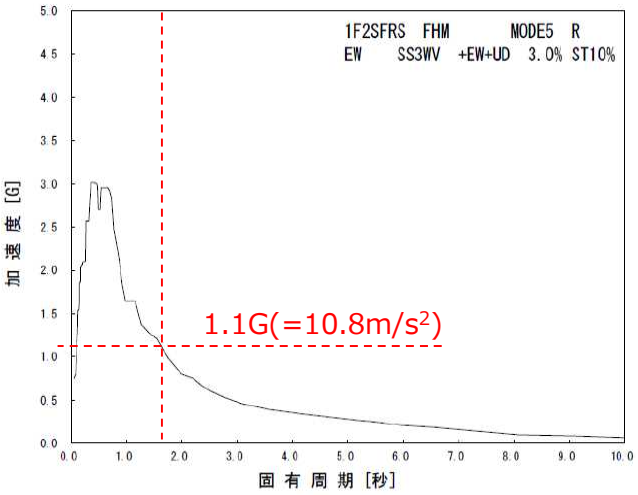


減衰定数

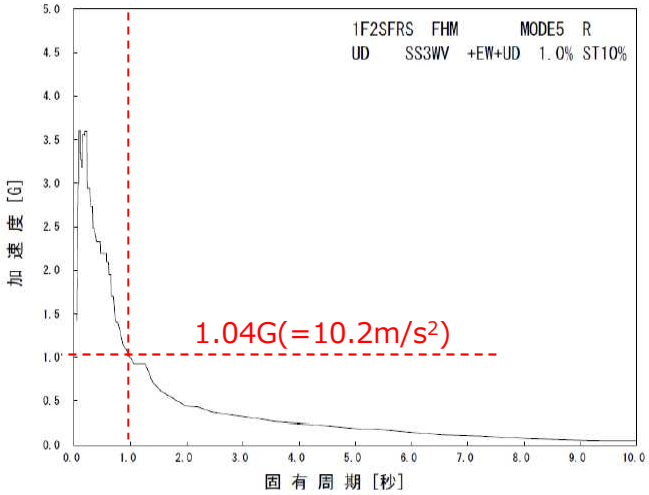
（左：水平方向、右：上下方向）

燃料取扱機耐震設計に適用する減衰定数について　＜追加＞

- 燃料取扱機の各姿勢で確認された減衰定数から水平3%，鉛直1%を適用する。
- 床応答スペクトルから燃料取扱機の固有周期における設計震度を求め，各試験結果において当設計震度近傍の減衰定数が設定値を下回らないことを確認した。



水平方向（ＥＷ方向）



鉛直方向（ＵＤ方向）

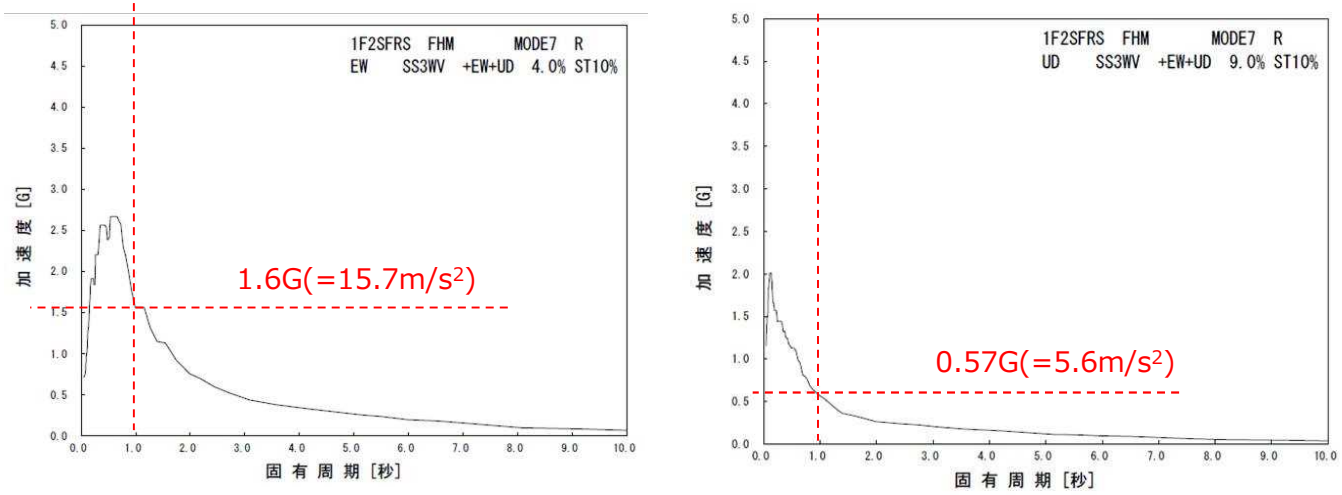
床応答スペクトル

燃料取扱機の固有周期

	固有周期 (s)	設計震度 (m/s²)
水平1次	1.6	10.8 (1.1G)
上下1次	1.0	10.2 (1.04G)

クレーン耐震設計に適用する減衰定数について　＜追加＞

- クレーンで確認された減衰定数から水平4%，鉛直9%を適用する。
- 床応答スペクトルから求まるクレーンの固有周期における設計震度は，各試験結果における入力加速度を上回るが，いずれも安定領域に入っていることを確認した。



床応答スペクトル

クレーンの固有周期

	固有周期 (s)	設計震度 (m/s²)
水平 1次	1.0	15.7 (1.6G)
上下 1次	1.0	5.6 (0.57G)

その他　耐震評価に適用する減衰定数について　＜追加＞

- ジブクレーン，キャスク仮置き架台については燃料取扱機やクレーンと異なり多層に重なりあったブーム構造を有さないため，JEAG4601-1991に規定される「ボルト及びリベット構造物（型鋼等を用いた支持構造物）」に該当するため，上下方向／水平方向ともに減衰定数2%を適用する。

燃料取扱設備に適用する許容応力について　＜追加＞

- Ｓｓ地震動にて燃料取扱設備が使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼさないことの確認において，吊荷または設備本体の落下防止の観点から引張応力の許容応力を設計引張り強さ(Su)とする。
- せん断応力，曲げ応力，支圧応力，組合せ応力の許容応力はJEAG 4601・補-1984に従い引張応力の許容応力から換算して設定する。

許容応力

	ボルト以外の許容応力	ボルトの許容応力
引張応力	$1.5f_t^*=Su$	$1.5f_t^*=Su\times1.5/2$
せん断応力	$1.5f_s^*=Su/\sqrt{3}$	－
支圧応力	$1.5f_p^*=Su\times1.5/1.1$	－
組合せ応力	$1.5f_t^*=Su$	－

説明スケジュール

＜修正＞ TEPCO

2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台　実施計画変更申請の説明スケジュール(案)

※説明進捗に合わせて適宜変更

No.	説明内容（実施計画の構成に基づいて説明）	2021年度 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
全体スケジュール		コメント回答期間					補正申請予定 ▽	規制庁殿取り纏め期間	認可希望 ▽
1	申請，申請範囲と措置を講ずべき事項への適合性に関する説明								
2	燃料取扱設備概要と燃料取扱いに関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料－1－1 燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料－5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表	第12回(4/14) ▽		第16回(5/31週) ▽					
3	燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11 添付資料－4－2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書		第13回(5/11) ▽ 第14回(5/18) ▽			耐震関係のコメント回答準備中（8月頃予定）			
4	燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料－4－1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書		第13回(5/11) ▽ 第14回(5/18) ▽						
5	換気設備の設備概要，構造強度と耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料－3－1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料－4－3 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書	第12回(4/14) ▽							
6	原子炉建屋オペレーティングフロアに設置する遮蔽体に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料－4－2 別添8　2号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について	第12回(4/14) ▽							
7	放射線管理関係設備，保安措置に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料－1－2 放射線モニタリングに関する説明書 2.15.1 基本設計 2.15.2 基本仕様 2.15 添付資料－1 ダスト放射線モニタ系統概略図 Ⅲ 第1編 第42条 気体廃棄物の管理 Ⅲ 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定 Ⅲ 第1編 第61条 放射線計測器類の管理 Ⅲ 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理 Ⅲ 第3編 3.1.2 放射線管理	第11回(4/1) ▽							
8	燃料の健全性及び移送操作中の燃料集合体の落下に係る説明 【記載箇所】 2.11 添付資料－1－3 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書 2.11 添付資料－3－3 移送操作中の燃料集合体の落下		第15回(5/24週) ▽						
9	使用前検査に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料－1－1 燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料－1－2 放射線モニタリングに関する説明書 2.11 添付資料－3－1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料－4－1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書 2.11 添付資料－4－2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書		第16回(5/31週) ▽						

■ 補足説明資料

- ■添付資料1　燃料取り出し用構台　補足説明資料
- ■添付資料2　燃料取扱設備の耐震性についての計算書
- ■添付資料3　換気設備　換気風量について
- ■添付資料4　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
- ■添付資料5　使用前検査時の確認事項について

添付資料１

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

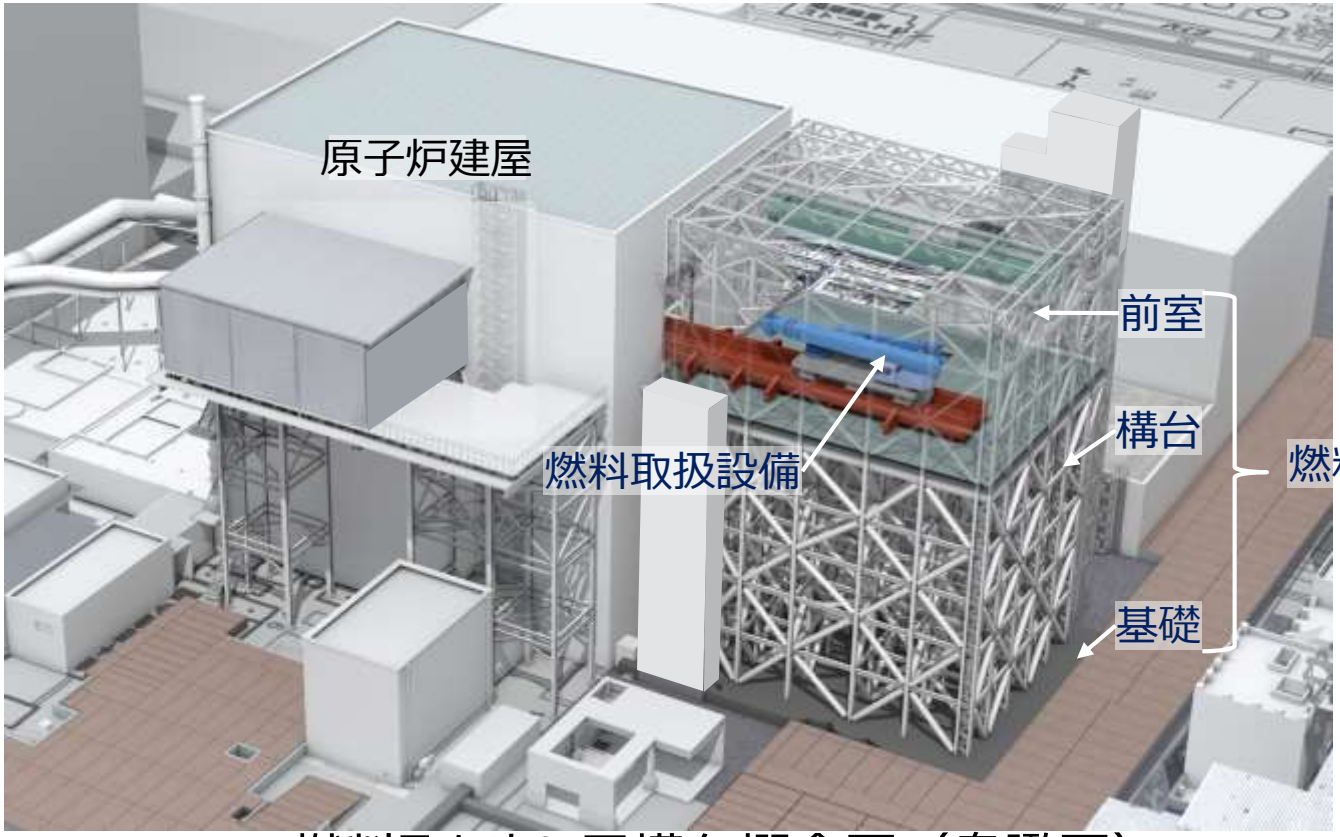
東京電力ホールディングス株式会社

©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）

＜変更なし＞

- 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。



青字：新設設備

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）

＜修正＞

- 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から構成され，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，耐震設計上の重要度分類は，燃料取扱設備の間接支持構造物としてBクラス相当とする。
- 燃料取り出し用構台（原子炉建屋の南側に設置される基礎，構台，ランウェイガーダ、弾性支承、オイルダンパ、接触部及び地盤改良体）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，耐震性は基準地震動Ss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。

©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）

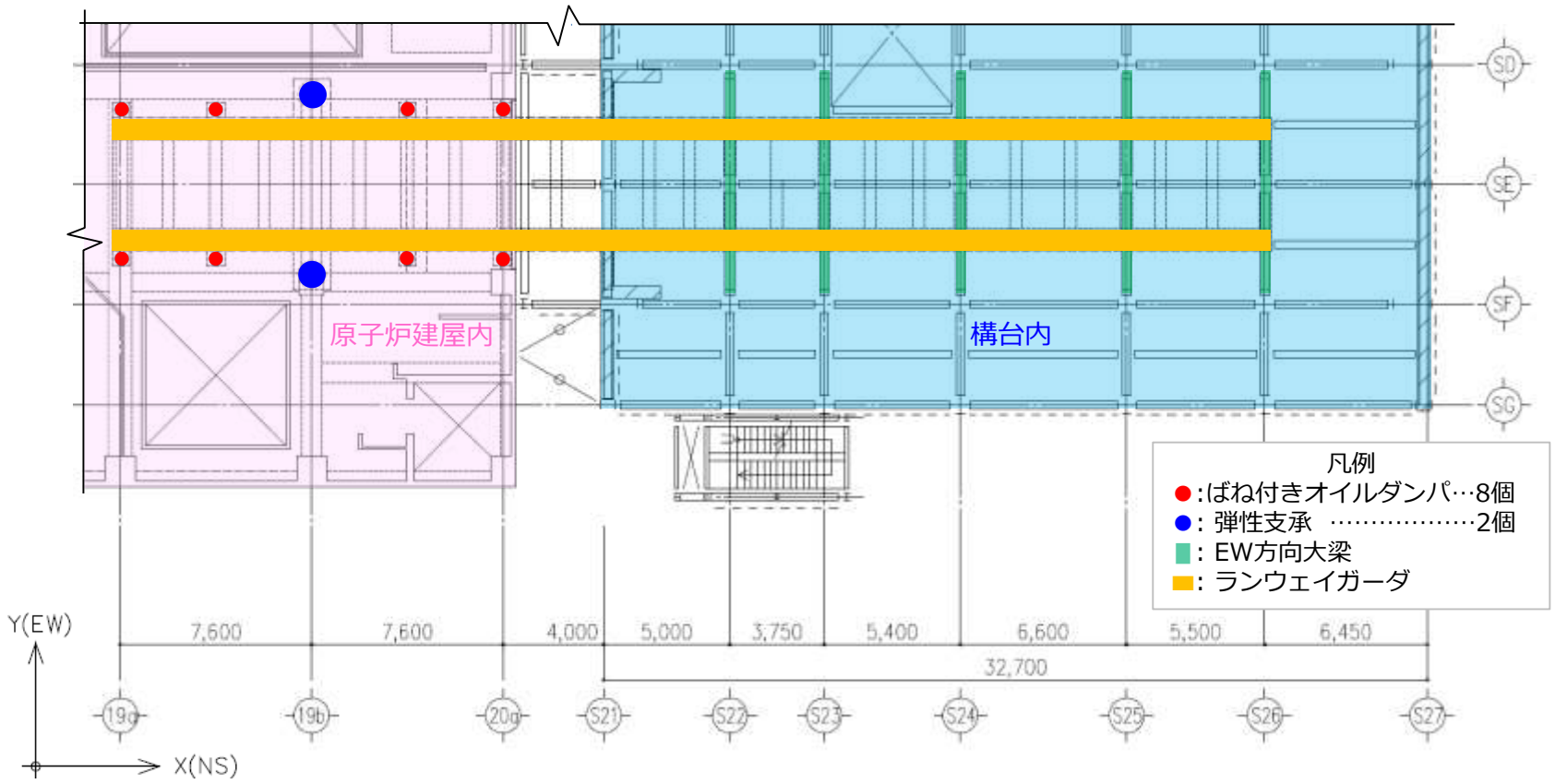
＜修正＞

- 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。
- 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。
- 構台は地上面から作業床までを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。
- 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。ランウェイガーダと原子炉建屋床面の間には弾性支承およびばね付きオイルダンパを設置する。弾性支承、ばね付きオイルダンパ共にランウェイガーダには固定するが、原子炉建屋床面との固定は行わず、水平方向の荷重を負担しないため、ランウェイガーダの水平方向は構台内のEW方向の大梁のみで拘束する片持形式である。鉛直方向は構台内ではEW方向の大梁で支持し，原子炉建屋内では弾性支承で支持する。

©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）

<追加>



©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，弾性支承の設置目的・役割　＜修正＞

■ 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

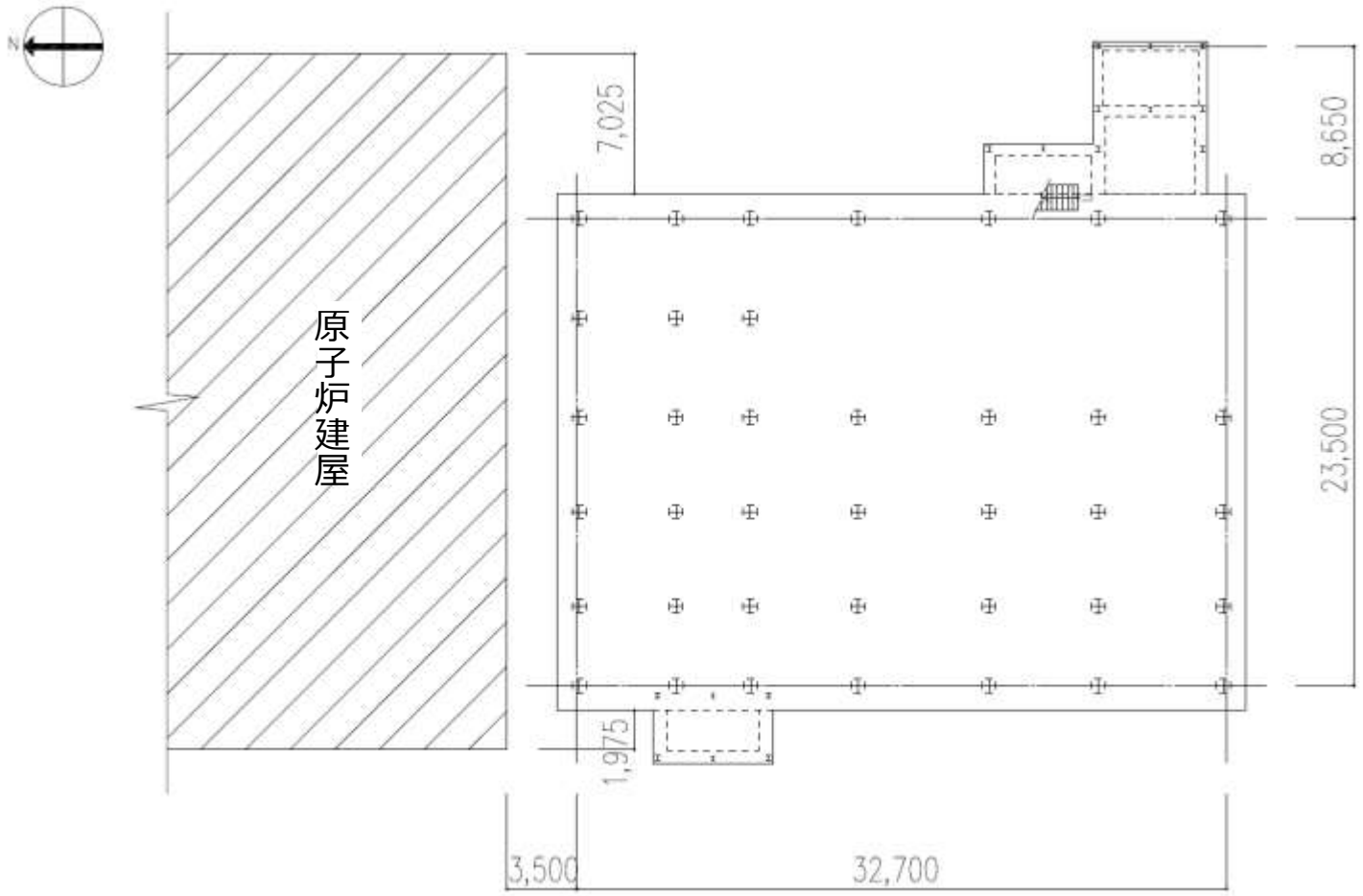
ランウェイガーダ～オペフロ床間にオイルダンパ(バネ付)を計8台設置し，ランウェイガーダの鉛直方向加速度応答スペクトルの低減を図る。原子炉建屋床面との固定を行わないことにより、鉛直方向（原子炉建屋に対して下向き）のみ減衰力が作用し、水平方向は減衰力は作用しない。

■ 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）　＜変更なし＞

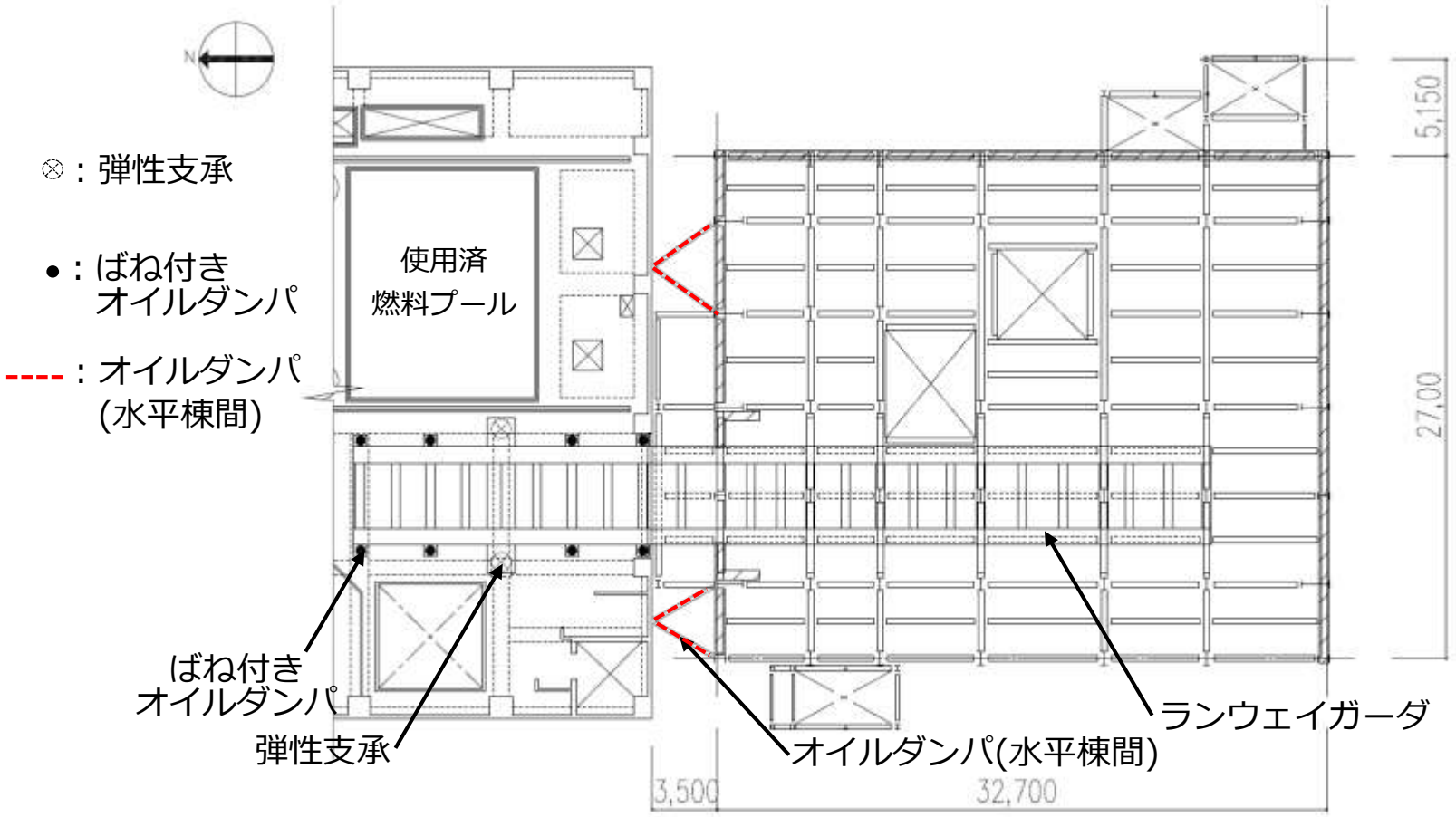


(a) 1F伏図 (G.L.2,060)

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）　＜変更なし＞

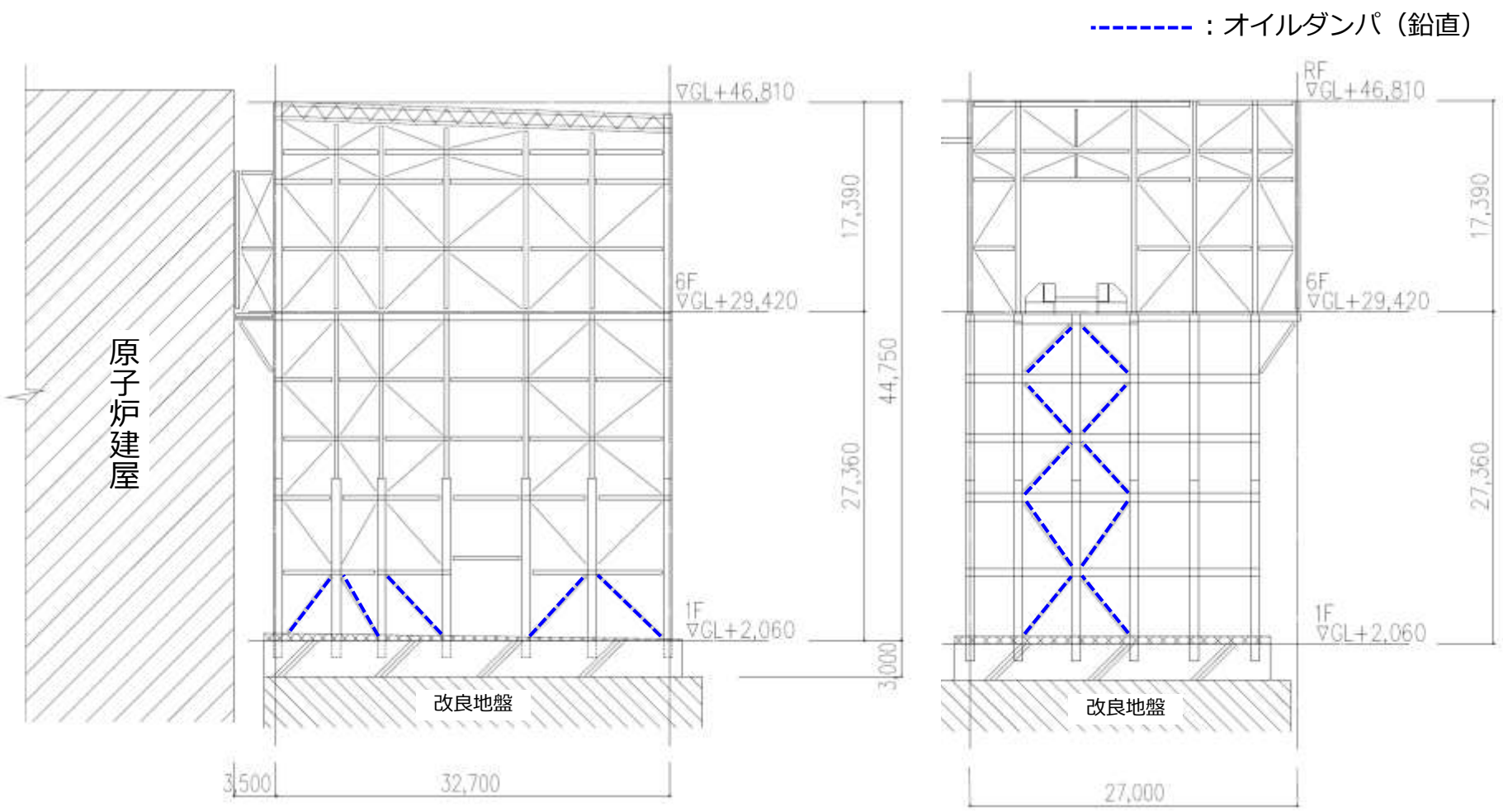


(b) 6F伏図 (G.L.29,420)

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）　＜変更なし＞



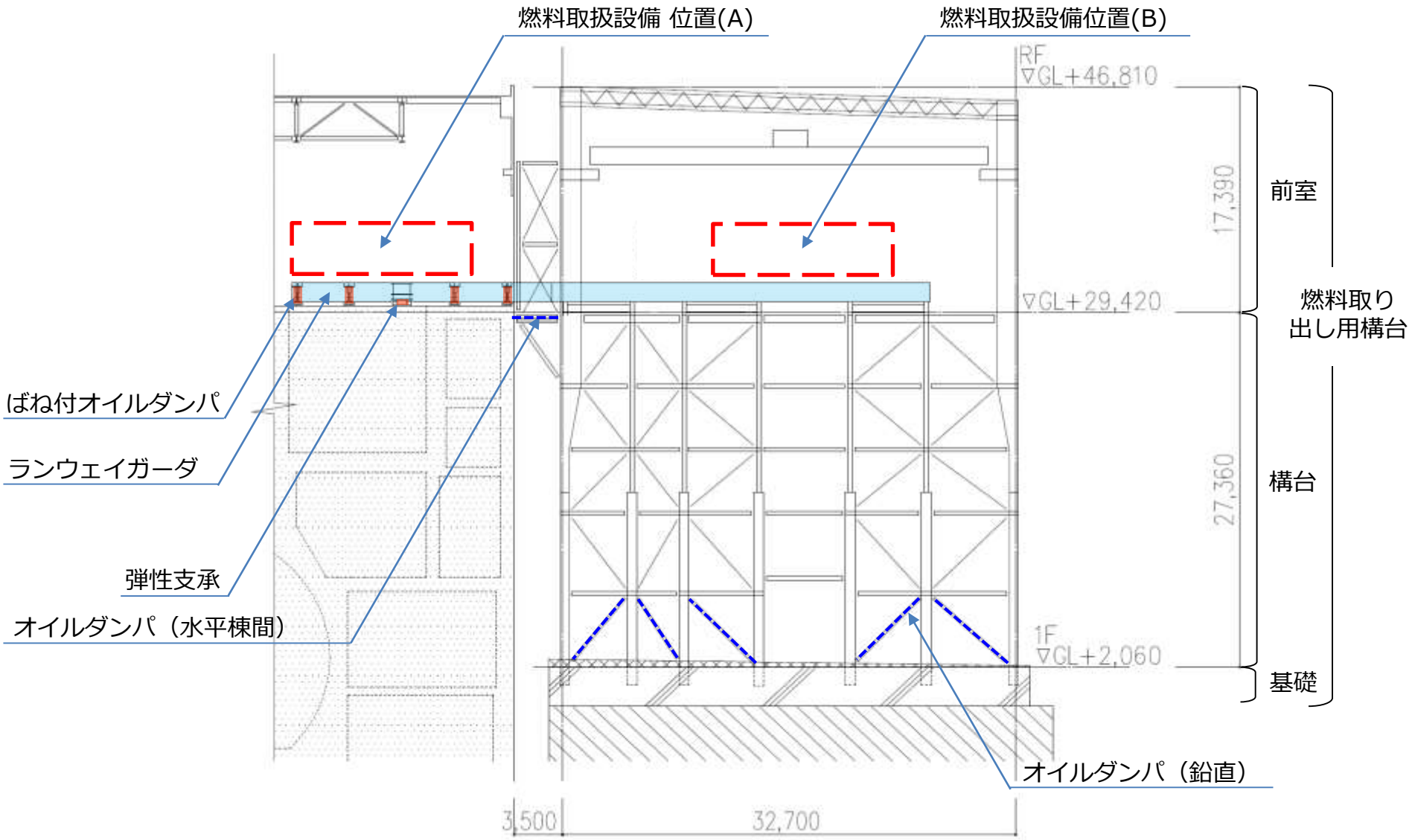
(a) 構台最西側軸組図　　(b) 構台最北側軸組図

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

＜変更なし＞

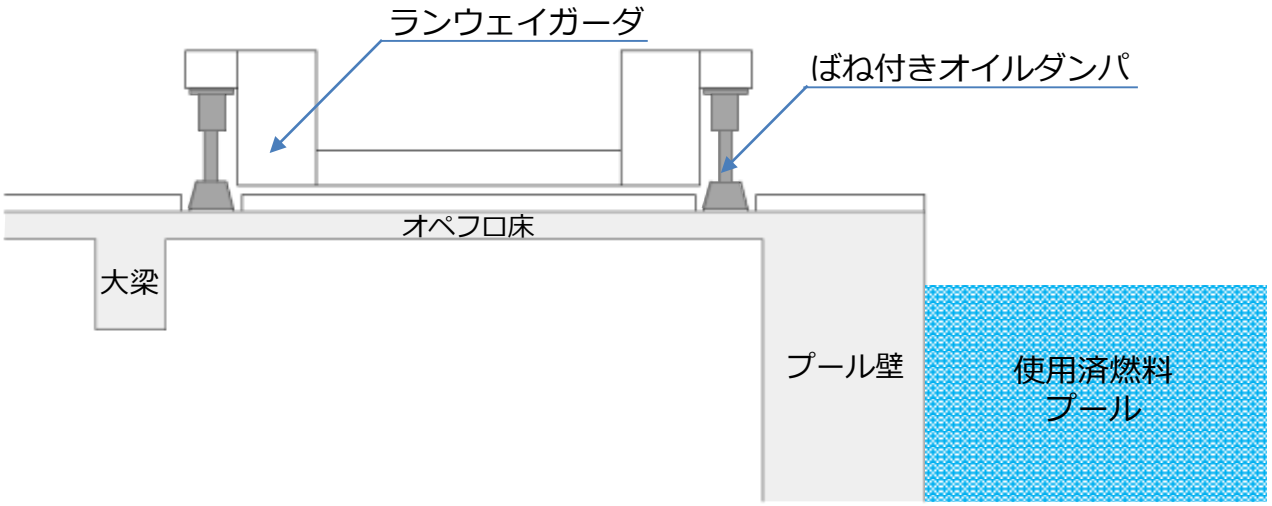


ランウェイガーダ部断面図

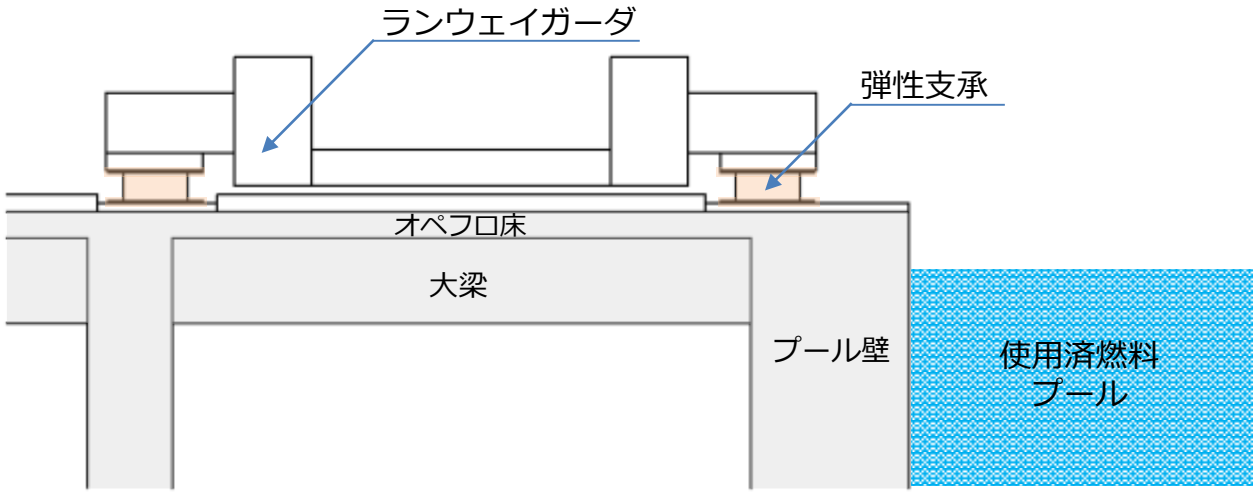
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.
無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

オイルダンパ，弾性支承の配置

＜変更なし＞



ばね付きオイルダンパ部



弾性支承部

©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

<修正>

4.2　構造強度(一次設計：許容応力度設計)

4.2.1　設計方針
↓
4.2.2　構台及びランウェイガーダの構造強度に対する検討
↓
4.2.3　弾性支承の構造強度に対する検討
↓
4.2.4　基礎の構造強度に対する検討
↓
4.2.5　改良地盤の構造強度に対する検討
↓
4.2.6　原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

4.3　耐震性(波及的影響の評価)

4.3.1　検討方針
↓
4.3.2　構台及びランウェイガーダの耐震性に対する検討
↓
4.3.3　弾性支承の耐震性に対する検討
↓
4.3.4　オイルダンパの耐震性に対する検討
↓
4.3.5　基礎の耐震性に対する検討
↓
4.3.6　改良地盤の耐震性に対する検討
↓
4.3.7　原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討
↓
4.3.8　原子炉建屋の耐震性に対する検討

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）

＜修正＞ TEPCO

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 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 E（N/mm^2）	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ（kN/m^3）
架　　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
床・基礎スラブ	コンクリート	2.27×10^4	0.2	23.0

コンクリートの許容応力度　　(単位：N/mm^2)

設計基準強度	長期			短期		
24	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	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

<変更なし>

表 4.2.1-1 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/mm²)

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
SD345	D29未満	215	195	345	345
	D29以上	195			
SD390	D29未満	215	195	390	390
	D29以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　(単位：N/mm²)

板厚	材料	基準強度F	許容応力度*
T≦40mm	SS400，STK400	235	「国土交通省告示第2464号」に従い，左記Fの値より求める
T≦40mm	SM490A，STK490	325	
T≦40mm	SN490B，SN490C，STKN490B	325	
T＞40mm	SN490B	295	

*終局強度は許容応力度を1.1倍とする。

©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

4.2.1 設計方針

<修正>

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	
積層ゴム	ゴム径 (㎜)	鉛直剛性 ($\times 10^3$ kN/m)	水平剛性 ($\times 10^3$ kN/m)	フランジ プレート	内部鋼板
	750	2140	0*	SS400	SS400

＊：ローラー支承と仮定。

ブリヂストン「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^2)

設計基準強度=3000*1	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*2	980	–	150	1960	–	300

＊1：設計圧縮強度 = 5000kN/m^2
＊2：「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^2)

種別	長期*3	短期*3
泥岩（岩盤）	1960	3920

＊3：「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

<変更なし>

■ 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

©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

<変更なし>

- 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，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^2/cm

- 風圧力（WL）
  風圧力は建築基準法施行令第87条および国土交通省告示第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^2)
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。

©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

<変更なし>

- 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。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$

$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi ：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。

Ci ：地震層せん断力係数　　Wi ：当該部分が支える重量（kN）

Z ：地震地域係数（Z=1.0）　　Rt ：振動特性係数（Rt=0.8）

Ai ：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。

Co ：標準せん断力係数（ Co=0.2）

i層の水平震度kiは，下式によって算定する。

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

$$ki = Pi/wi$$

ここで，

Pi：当該階とその直下階の水平地震力の差（kN）

wi：各階重量（kN）

©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

<変更なし>

表 4.2.1-6,7 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 wi(kN)	NS方向		EW方向	
		水平地震力 Pi (kN)	水平震度 ki	水平地震力 Pi (kN)	水平震度 ki
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	—	—	—	—	—

©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

<変更なし>

■ 荷重組合せ

表 4.2.1-8 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。

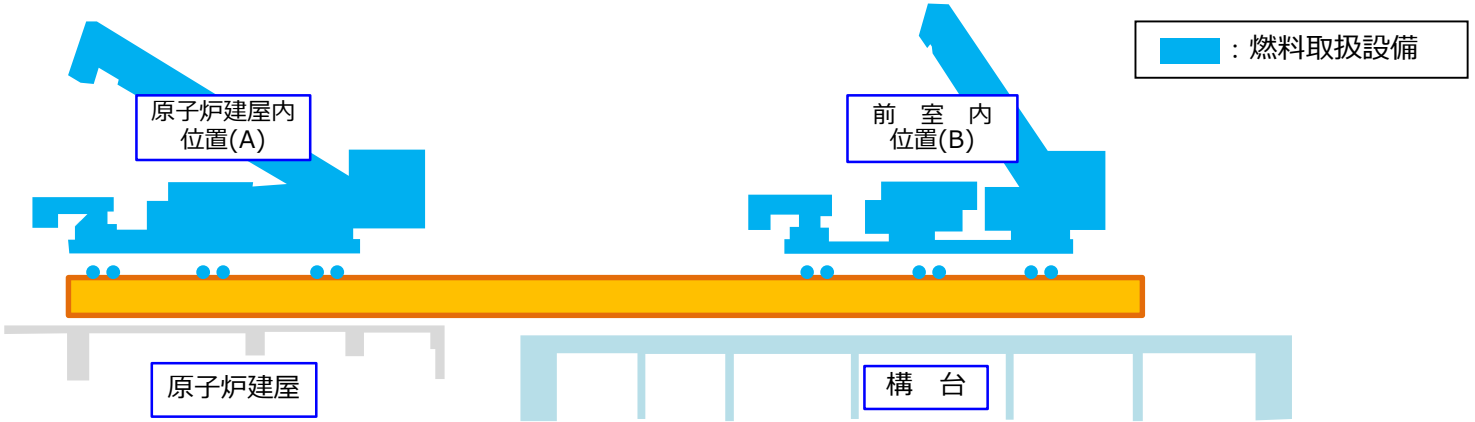


図 4.2.1-1 燃料取扱設備の位置

©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

<変更なし>

■ 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。

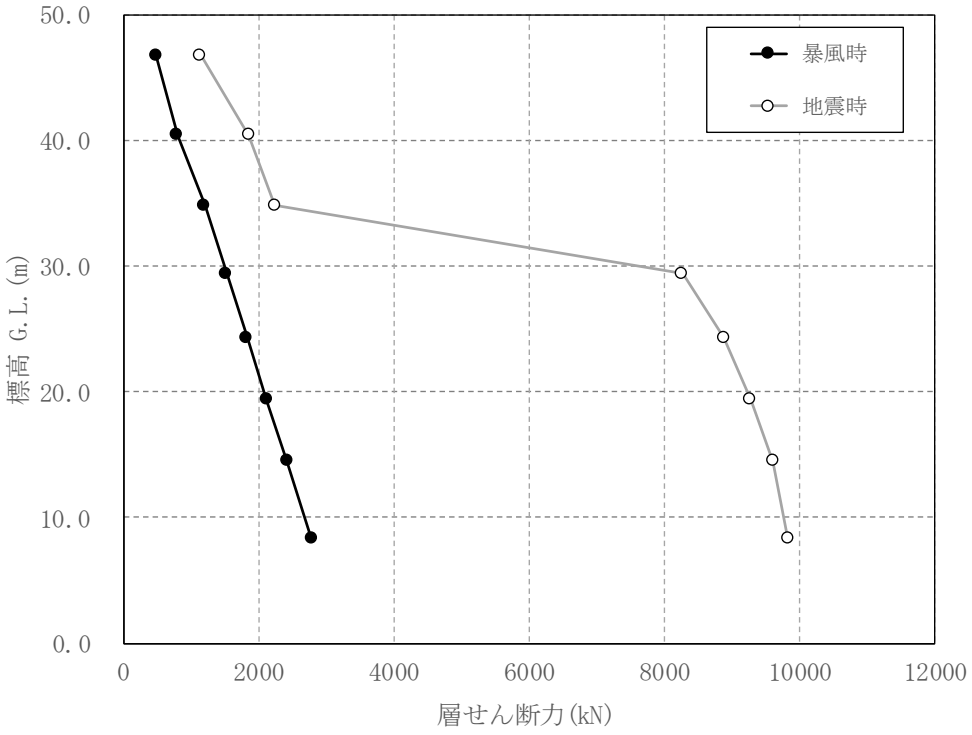


図4.2.1-2　地震時と暴風時の層せん断力の比較（EW方向）

©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 構台及びランウェイガーダの構造強度に対する検討

<修正>

■ 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体架構モデルとする。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。

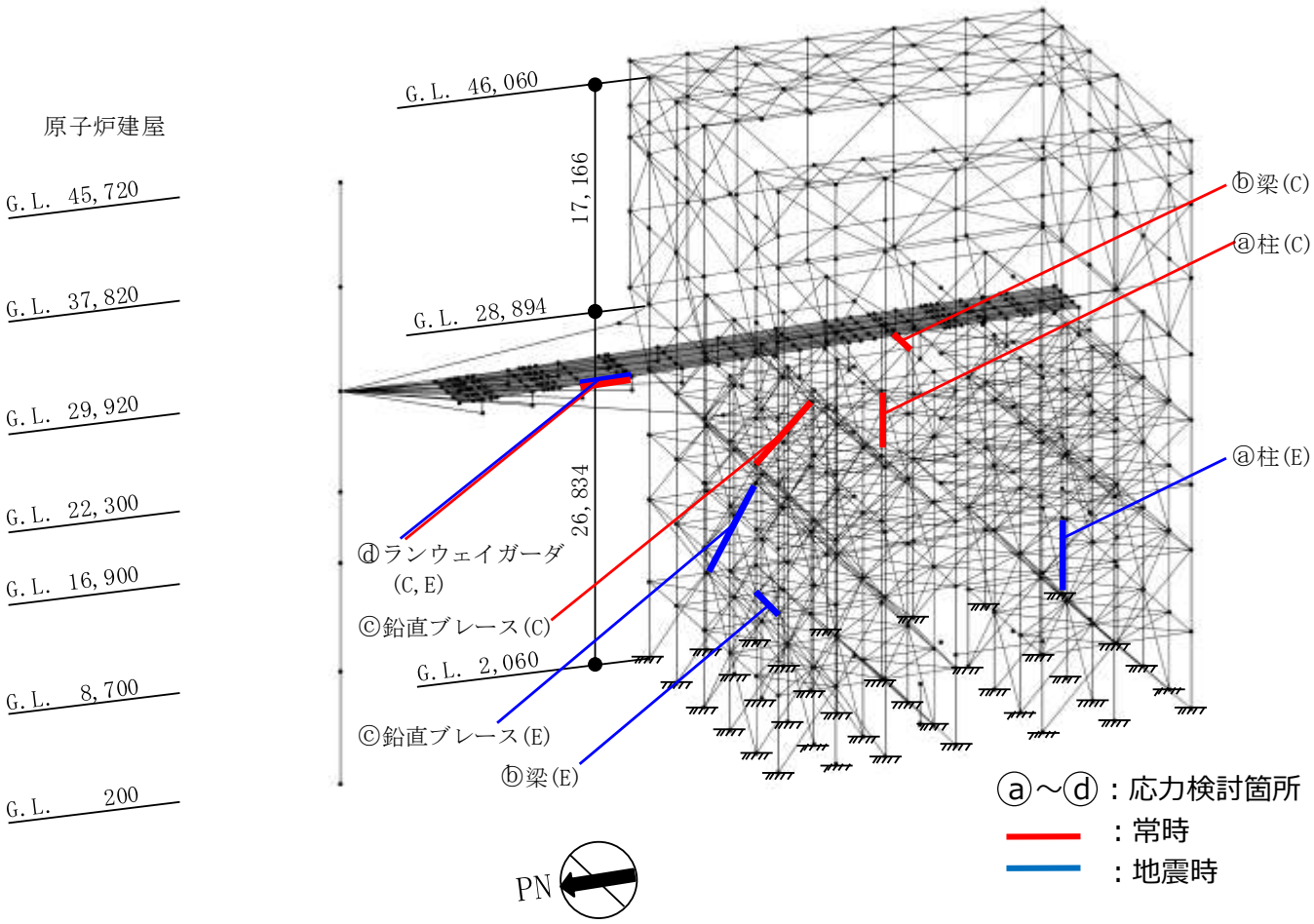


図 4.2.2-1 解析モデル

©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

<変更なし>

4.2.2 構台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た値で表される。

・軸圧縮の場合 $\sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_{by}}{f_{by}}+\frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leqq 1$

・軸引張の場合 $\sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{f_t}+\frac{\sigma_{by}}{f_{by}}+\frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leqq 1$

ここで，

σ_c，σ_t：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

σ_{by}，σ_{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^2)

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^3)

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^3)

τ：せん断応力度（Q/A_s）(N/mm^2)

Q：せん断力(N)，A_s：せん断断面積(mm^2)

f_c：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t：許容引張応力度(N/mm^2)

f_{by}：強軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_{bz}：弱軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_s：許容せん断応力度(N/mm^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

<変更なし>

4.2.2 構台及びランウェイガーダの構造強度に対する検討

■ 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　$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

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

ここで，　σ_c，σ_t：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

f_c：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t：許容引張応力度(N/mm^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

<変更なし>

4.2.2 構台及びランウェイガーダの構造強度に対する検討

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/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
鉄骨部材	ⓐ	柱	(Y)H-700×300 ×16×32 <SM490A> <SN490B>	C (B)	σ_c	48.7	f_c	144	0.48	O.K.
					σ_{by}	20.5	f_{by}	161		
					σ_{bz}	2.1	f_{bz}	216		
					τ	3.8	f_s	125		
	ⓑ	梁	H-800×350 ×19×36 <SM490A> <SN490B>	C (B)	σ_c	0.0	f_c	200	0.44	O.K.
					σ_{by}	59.0	f_{by}	207		
					σ_{bz}	0.0	f_{bz}	216		
					τ	41.4	f_s	125		
	ⓒ	鉛直 ブレース	Φ-355.6×9.5 <STK490> <STKN490B>	C (B)	σ_c	21.4	f_c	142	0.16	O.K.
	ⓓ	ランウェ イガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	C (B)	σ_c	0.0	f_c	196	0.25	O.K.
					σ_b	45.7	f_b	196		
					τ	9.2	f_s	113		

*1：ⓐ～ⓓ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

<変更なし>

4.2.2 構台及びランウェイガーダの構造強度に対する検討

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/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
鉄骨部材	ⓐ	柱	(X)H-700×300 ×40×40 (Y)H-700×350 ×40×40 <SM490A> <SN490B>	E1 (A)	σ_c	42.5	f_c	285	0.68	O.K.
					σ_{by}	11.2	f_{by}	312		
					σ_{bz}	154.4	f_{bz}	324		
					τ	7.3	f_s	187		
	ⓑ	梁	H-700×350 ×19×36 <SM490A> <SN490B>	E3 (A)	σ_c	1.0	f_c	241	0.57	O.K.
					σ_{by}	134.0	f_{by}	261		
					σ_{bz}	2.1	f_{bz}	324		
					τ	38.1	f_s	187		
	ⓒ	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490> <STKN490B>	E2 (B)	σ_t	83.8	f_t	324	0.26	O.K.
	ⓓ	ランウェイガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	E3 (B)	σ_c	14.3	f_c	294	0.22	O.K.
					σ_b	45.7	f_b	294		
					τ	9.2	f_s	169		

*1：ⓐ～ⓓ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　＜変更なし＞

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 σv (N/mm^2)	最大圧縮面圧 σ_D(N/mm^2)	$\sigma_D/\sigma v$	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.

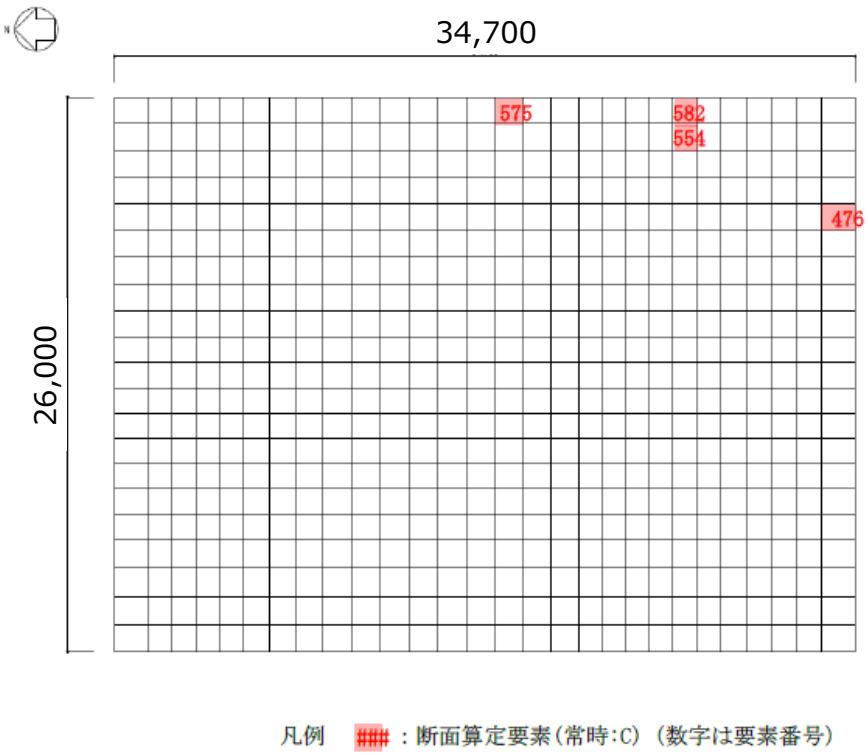
*：( )内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

©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

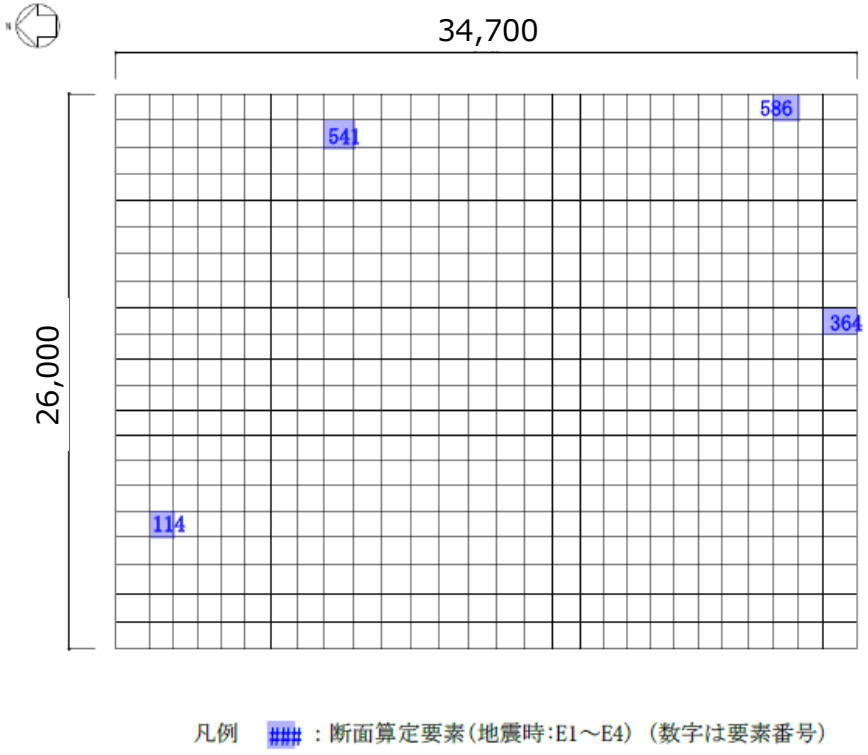
4.2.4 基礎の構造強度に対する検討　　<変更なし>

■ 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。



(常時:C)



(地震時:E1～E4)

図 4.2.4-1,2　解析モデル図（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

4.2.4 基礎の構造強度に対する検討　＜変更なし＞

■ 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）*1	設計応力		N/(b・D)*2 (×10^{-2} N/mm^2)	M/(b・D^2) (×10^{-2} N/mm^2)	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 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (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）*1	設計応力		N/(b・D)*2 (×10^{-2} N/mm^2)	M/(b・D^2) (×10^{-2} N/mm^2)	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 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (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。

©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

<変更なし>

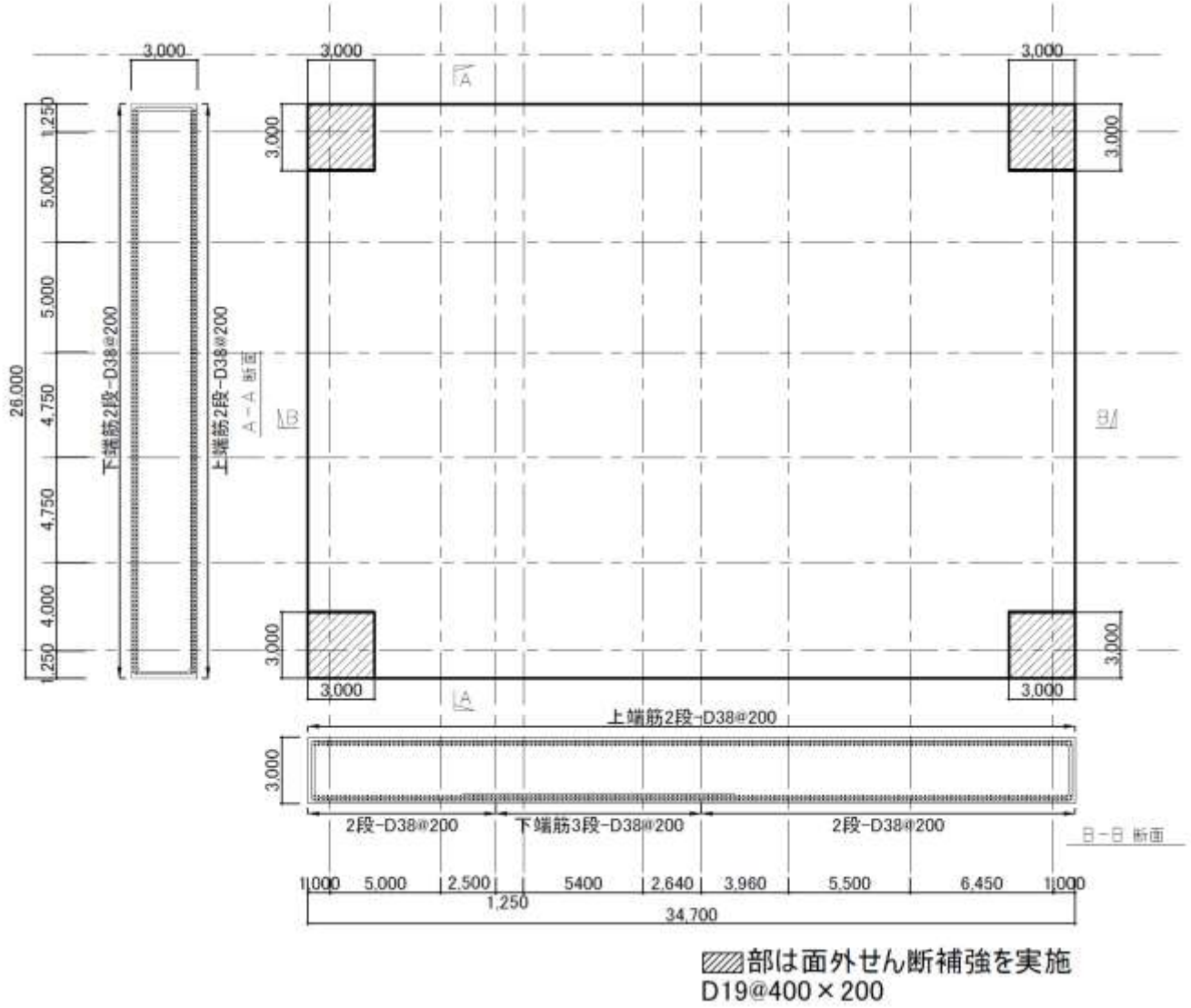


図 4.2.4-3　基礎の配筋図（単位：mm）

©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

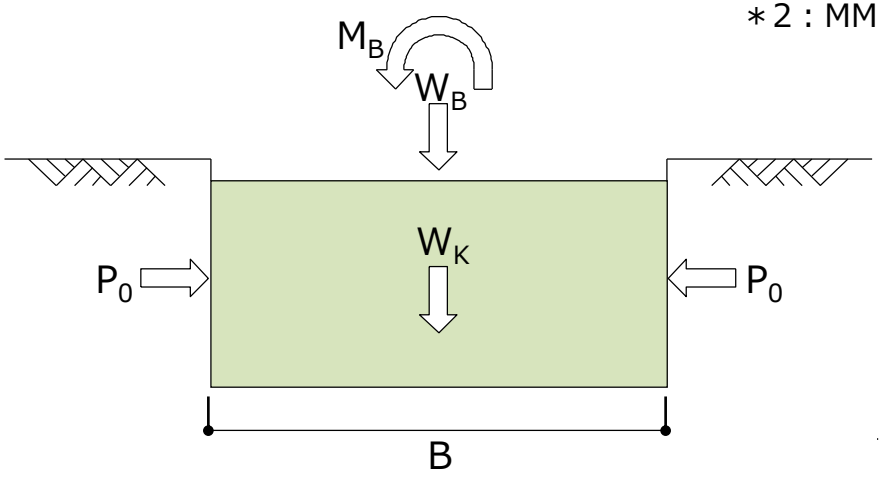
4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討　＜変更なし＞

■ 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，常時及び地震時の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



W_B：燃料取り出し用構台荷重
W_K：改良地盤の自重
M_B：燃料取り出し用構台の偏心による転倒モーメント
P_o：長期設計用土圧
B ：改良幅

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 kN/m^2 ≦ 長期許容圧縮応力度 $_Lf_{SC}$ = 980 kN/m^2

◆ 支持力の検討

最大接地圧 qr = 279 kN/m^2 ≦ 長期許容支持力度 $_Lq_a$ = 1960 kN/m^2

◆ 沈下の検討

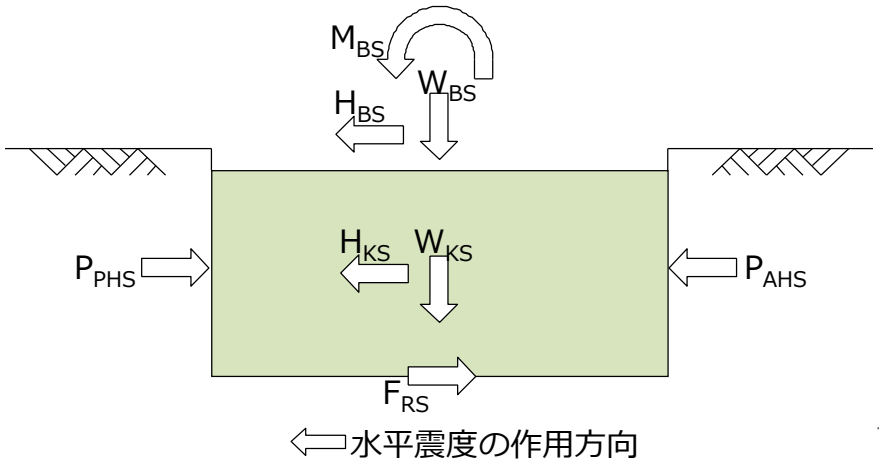
支持地盤は泥岩（岩盤）であるため，沈下の検討は不要

©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　＜変更なし＞

■ 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。



W_{BS}：燃料取り出し用構台荷重
W_{KS}：改良地盤の自重
H_{BS}：燃料取り出し用構台による水平力
M_{BS}：燃料取り出し用構台による改良地盤底面における転倒モーメント
H_{KS}：改良地盤の慣性力（地中震度0.15）
P_{AHS}：地震時主働土圧による水平力
P_{PHS}：地震時受働土圧による水平力
F_{RS}：支持地盤のせん断抵抗力

図 4.2.5-2 作用荷重（地震時:E1～E4）

◆ 改良地盤の検討

最大接地圧 q_{1S} = 440 kN/m^2 ≦ 短期許容応力度 $_sf_{SC}$ = 1960 kN/m^2

最大せん断応力 Tmax = 50 kN/m^2 ≦ 短期許容応力度 $_sf_{SS}$ = 300 kN/m^2

◆ 支持力の検討

最大接地圧 q_{1S} = 440 kN/m^2 ≦ 短期許容支持力度 $_sq_a$ = 3920 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

<変更なし>

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。

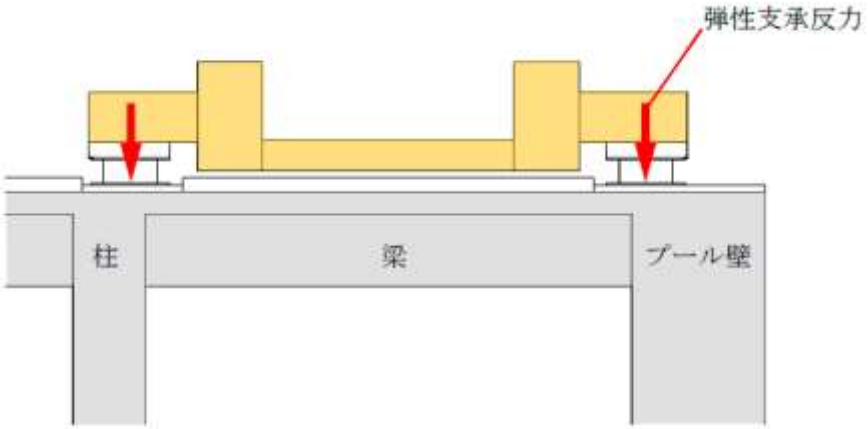


図 4.2.6-1　弾性支承からの反力

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

4.3.1 検討方針（耐震性）

＜変更なし＞

- 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Ss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

<変更なし>

4.3.2 構台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，「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基準地震動Ss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Ssに対する地盤の応答として評価する。

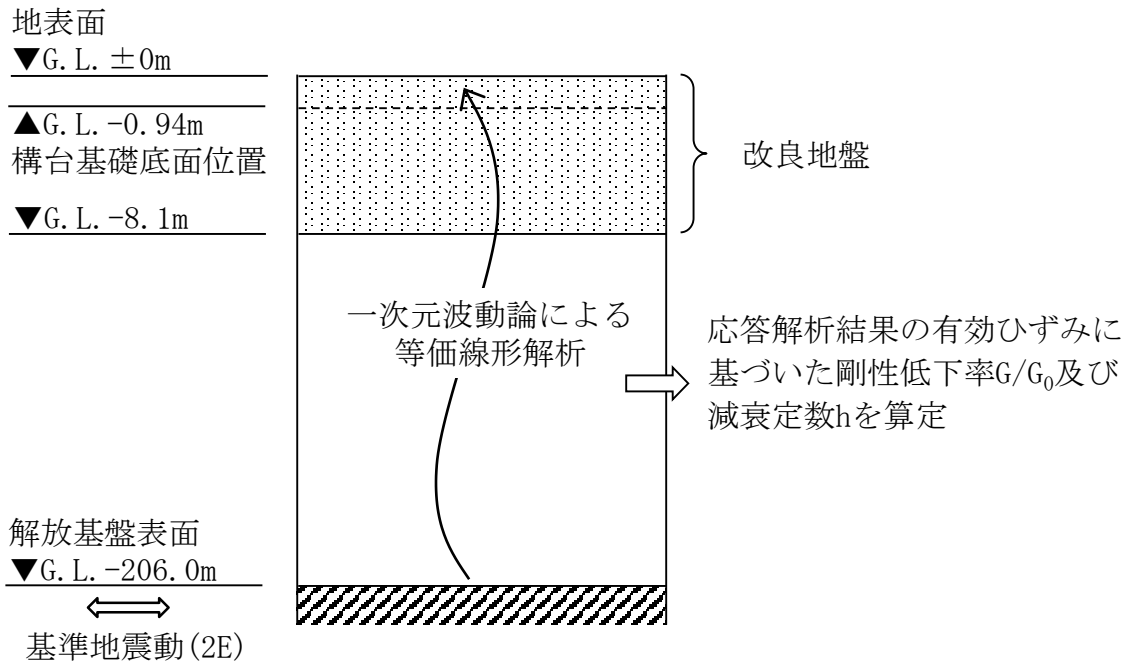
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

入力地震動の策定について

<変更なし>

■ 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Ss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/G0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Vpを算定し，線形解析により設定する。



燃料取り出し用構台側

©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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

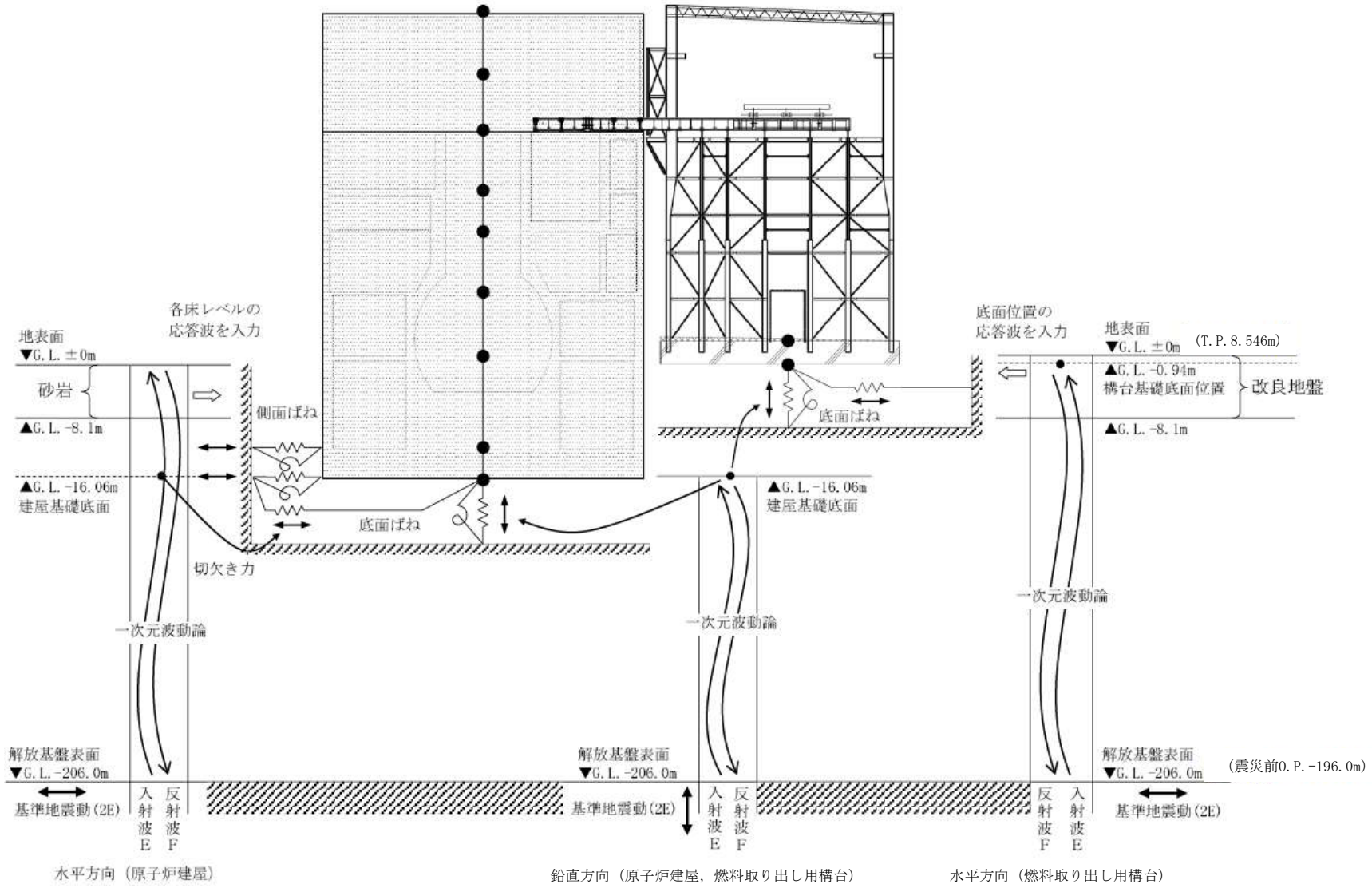


図 4.3.2-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

©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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

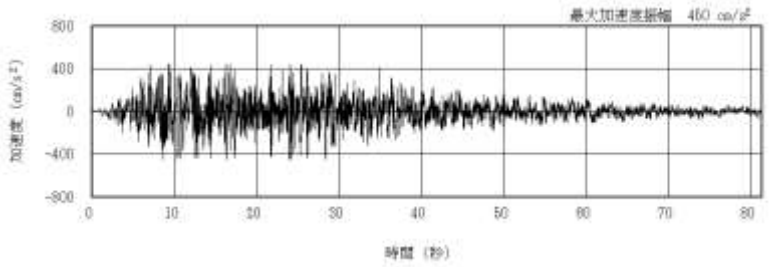
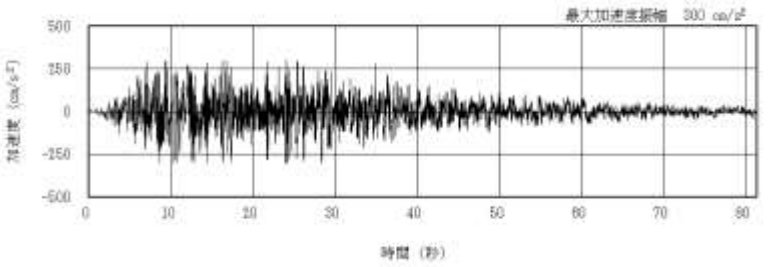
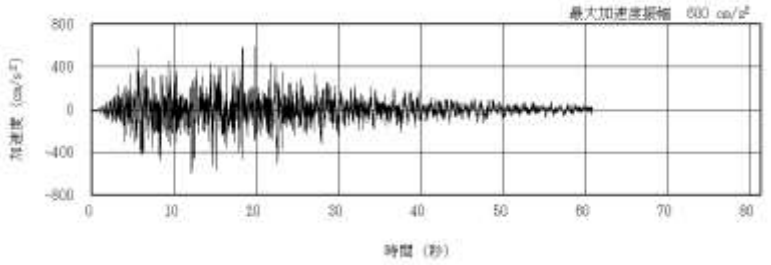
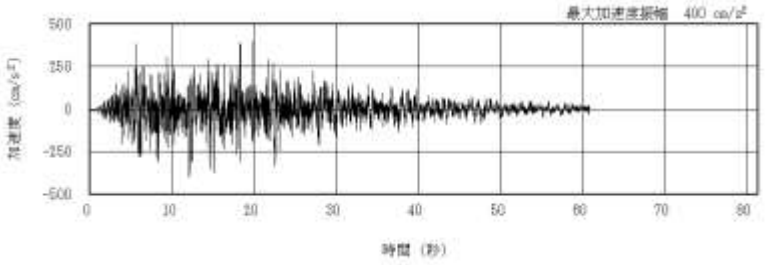
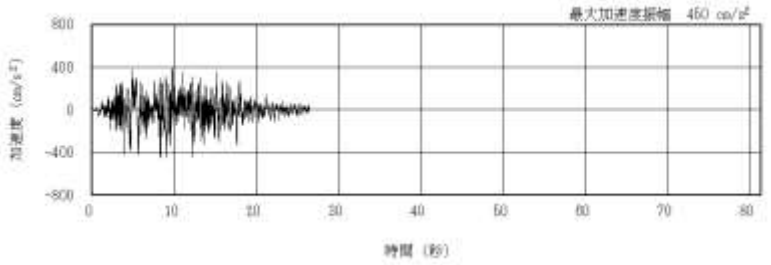
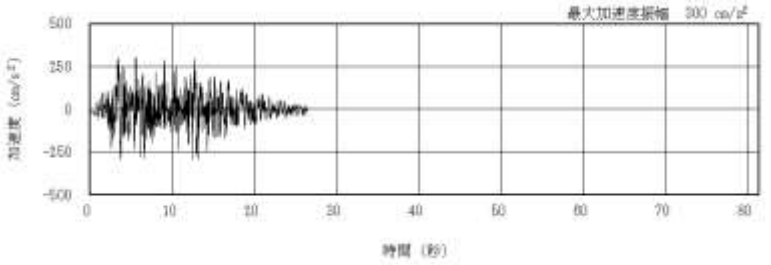
地震波	水平方向	鉛直方向
Ss-1		
Ss-2		
Ss-3		

図 4.3.2-2,3　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形

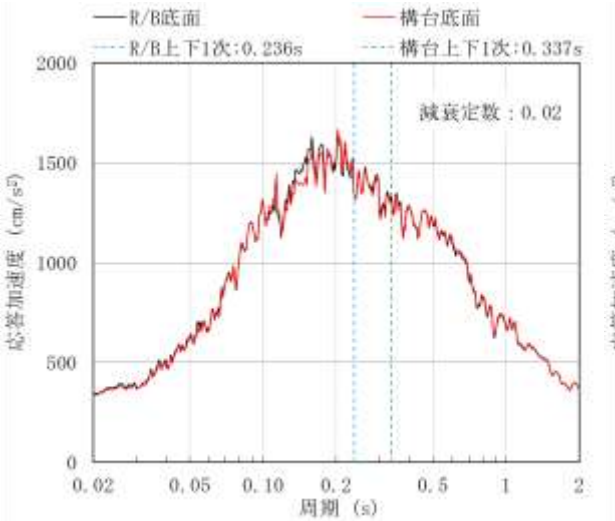
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)

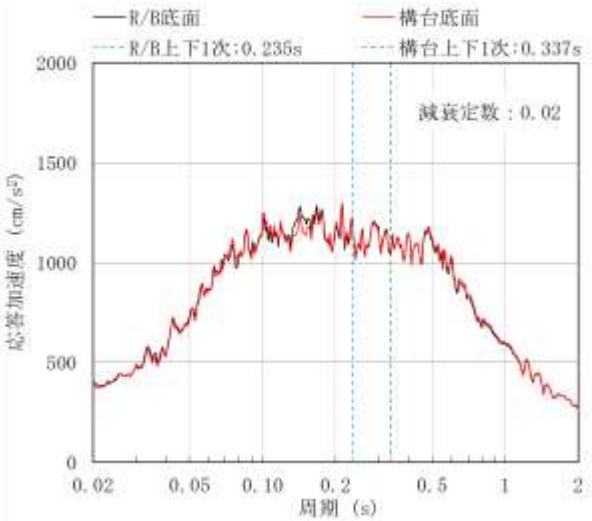
- 使用する解析コードの制約から上下動の入力波は１つに限られるため，燃料取り出し用構台についても原子炉建屋底面位置での上下動を，入力波として使用している。
- 原子炉建屋及び構台の基礎底面位置の上下方向の地盤応答加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると，原子炉建屋及び構台の上下方向の1次固有周期で双方にほとんど差がみられず，その他の周期帯でも，0.1～0.2秒の周期帯を除き，はほとんど差が見られない
- また，原子炉建屋底面及び構台基礎底面位置の上下動を入力波とした場合のランウェイガーダ先端部の加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると，双方に全ての周波数帯でほとんど差がみられない。
- 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

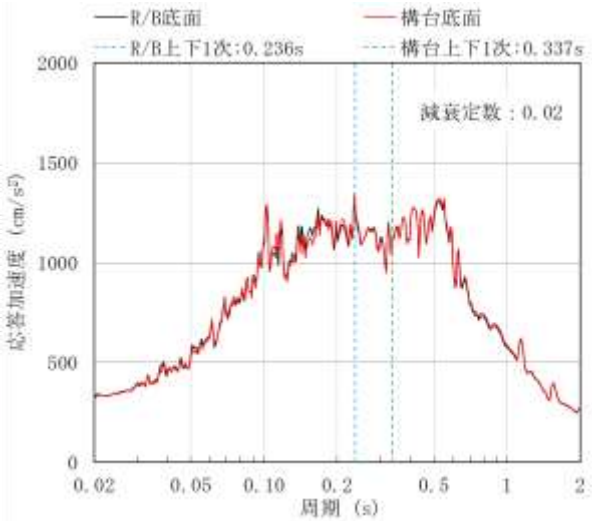
解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動) ＜修正＞



(Ss-1)

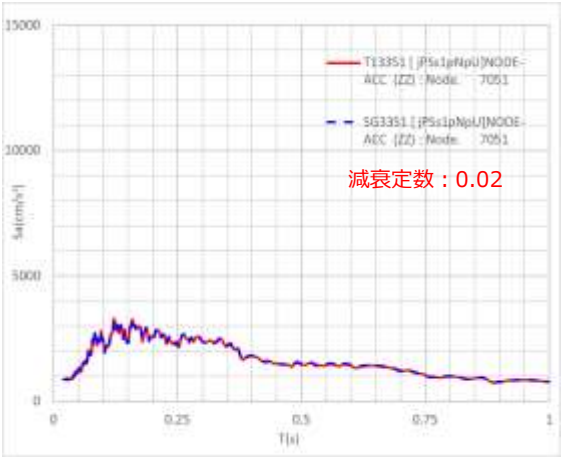


(Ss-2)

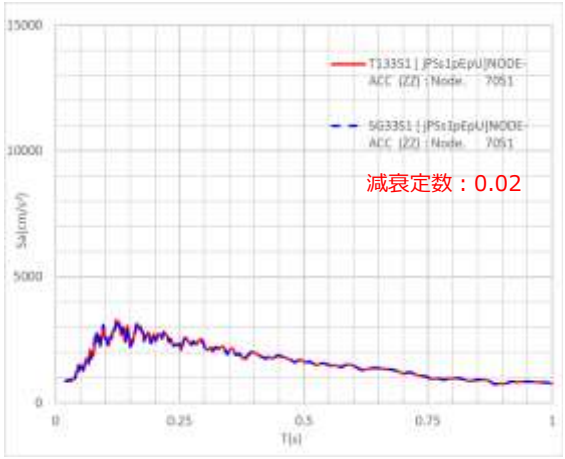


(Ss-3)

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

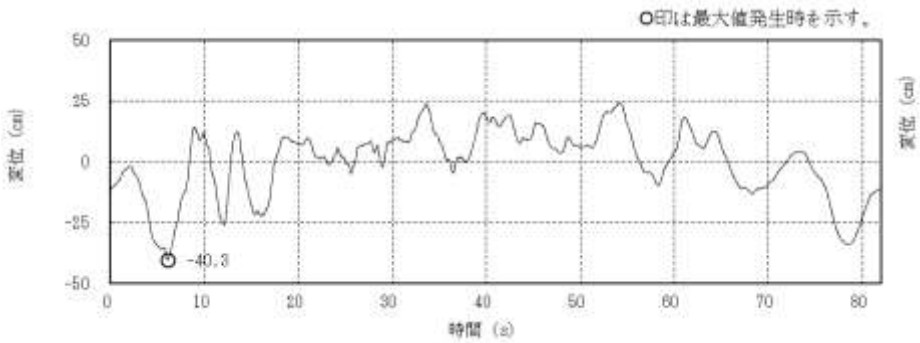
凡例
- ：原子炉建屋基礎底面位置地震応答入力
- ：燃料取り出し用構台基礎底面位置地震応答入力

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）

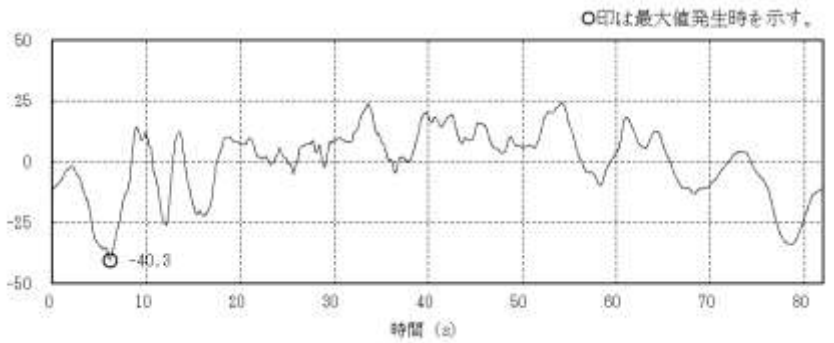
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)

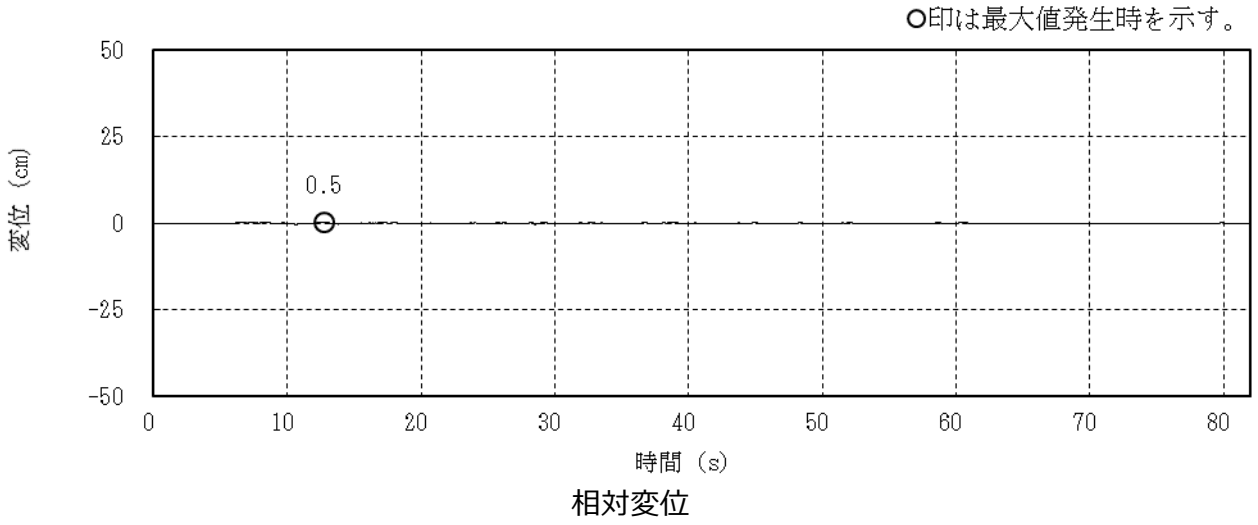
<変更なし>



原子炉建屋（G．L．-16.06 m）



燃料取り出し用構台（G.L. -0.94 m）



相対変位

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 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

- 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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

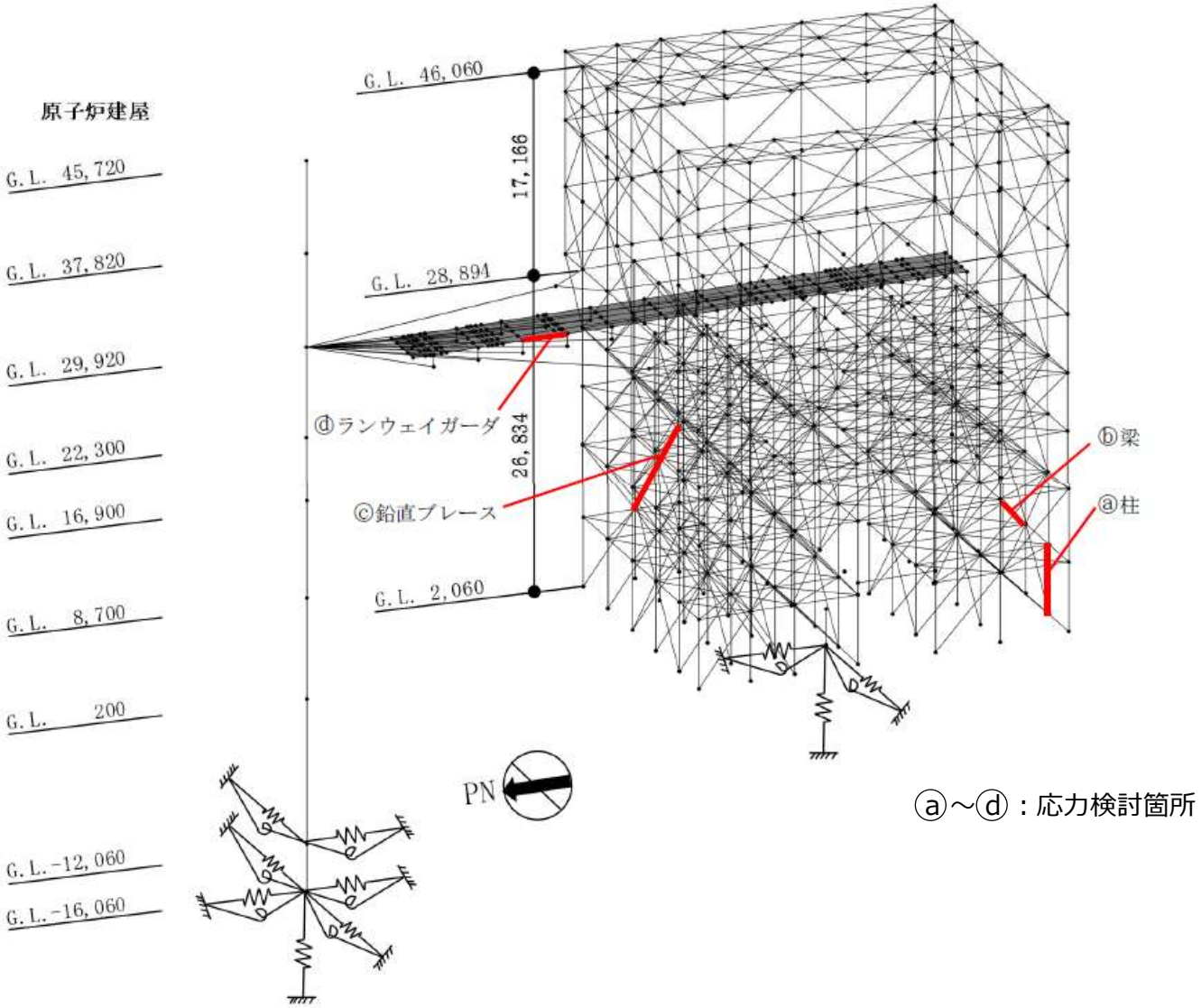


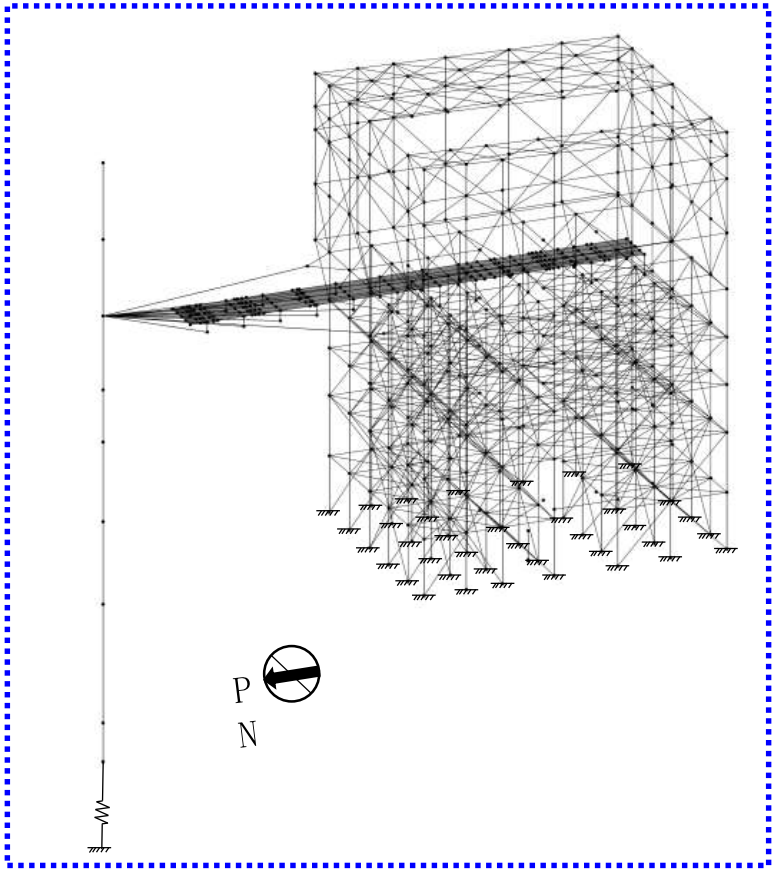
図 4.3.2-4　地震応答解析モデル（単位：mm）

©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

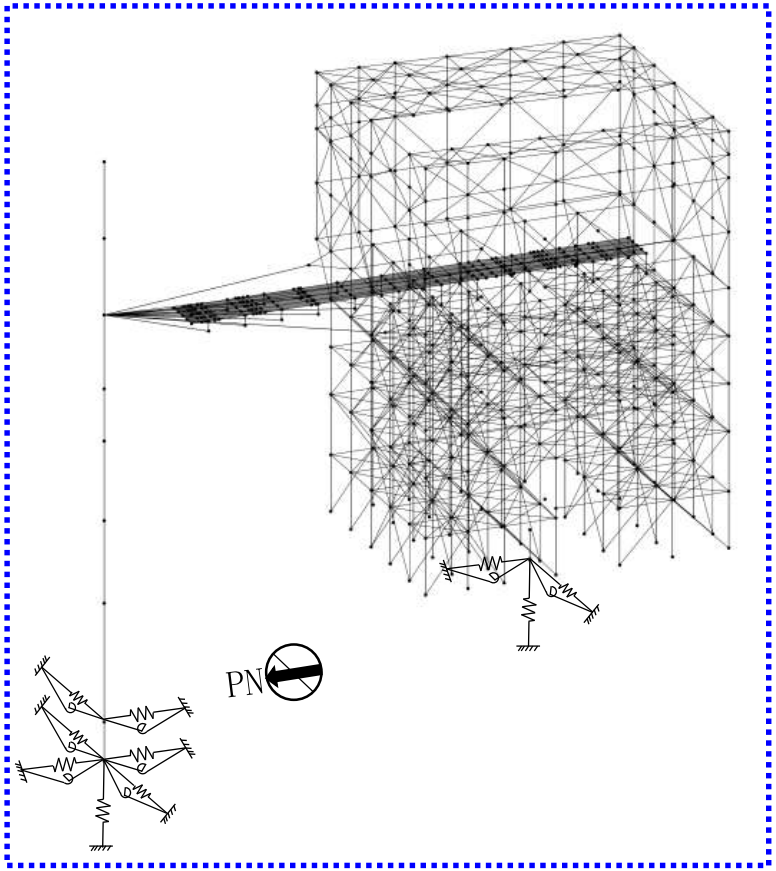
解析モデルの比較

<追加>

- 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）<追加>

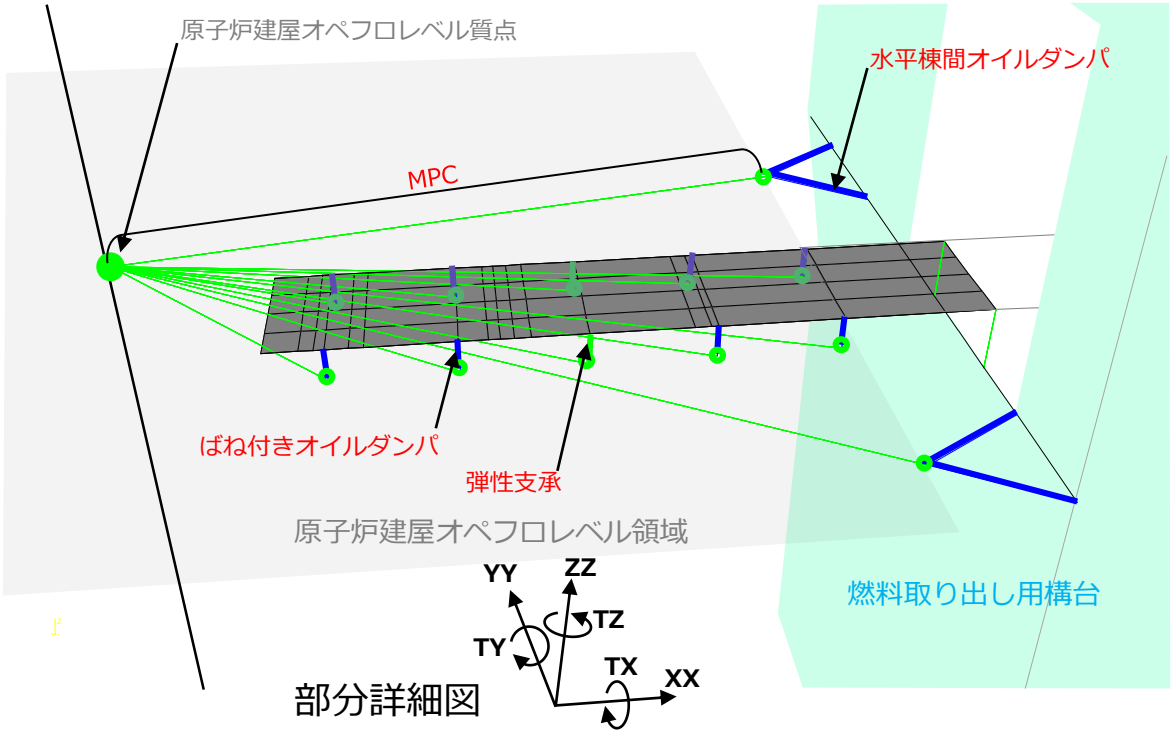
- 次頁に記載の通り、解析モデル上、原子炉建屋～構台間の接続にはMPC*を用いる
- 原子炉建屋オペレーティングフロア床面上に配置する弾性支承およびばね付きオイルダンパは、鉛直方向の軸力のみ作用するモデルとするため、上下方向のみの自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点と、弾性支承およびばね付きオイルダンパ各々のばね直下質点とをMPC要素で拘束する
- 水平棟間オイルダンパは水平面内の軸力のみ作用するモデルとするため、水平面内のみ自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点とMPC要素で拘束する

＊ 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。

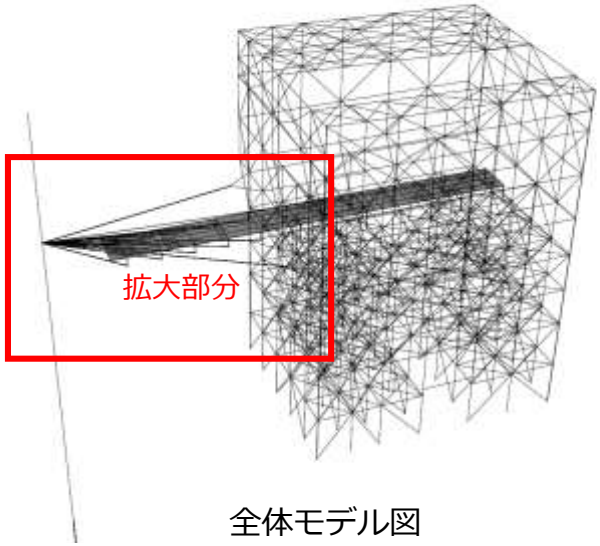
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

解析モデル詳細（原子炉建屋～構台間の接続条件）<追加>

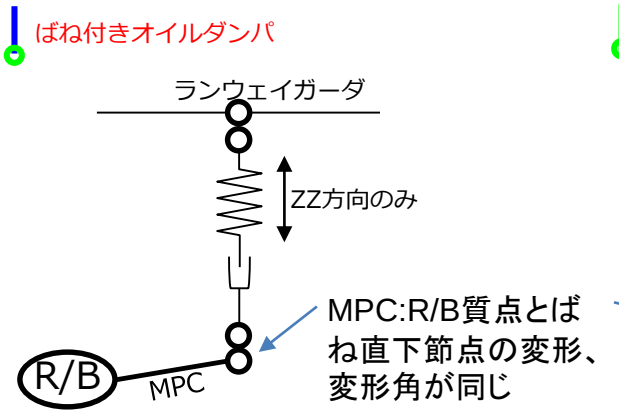
■ 原子炉建屋～構台間の接続条件について

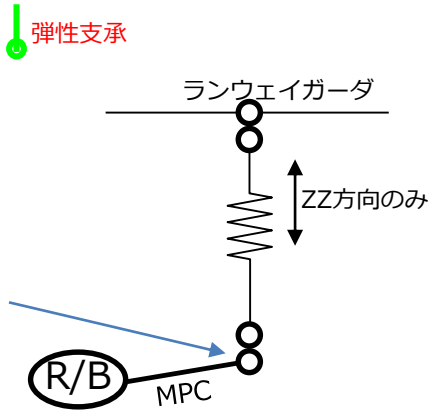


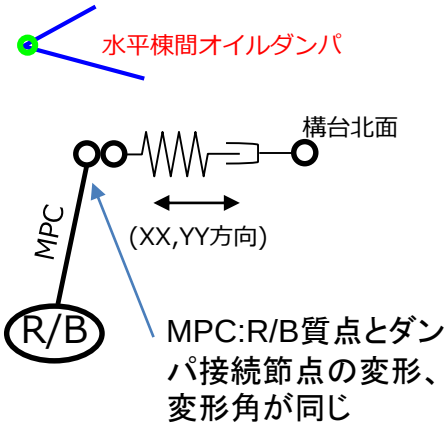
部分詳細図



全体モデル図







©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

<変更なし>

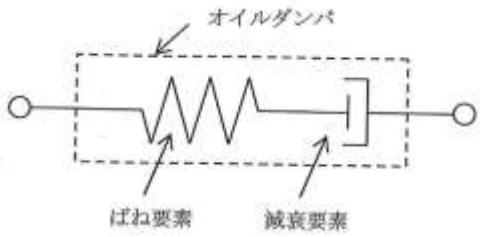
4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表 4.3.2-1　地震応答解析に用いる物性値

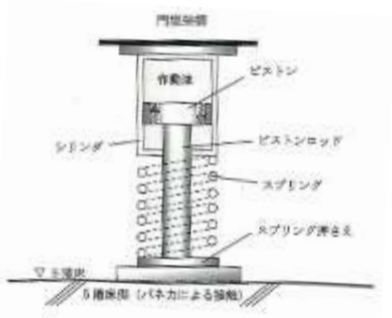
部位	材料	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ(kN/m^3)	減衰定数 h(%)	備考
燃料取り出し用構台	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400, STK400, SM490A, STK490, SN490B, SN490C, STKN490B

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)	リリーフ荷重 (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 (㎜)
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



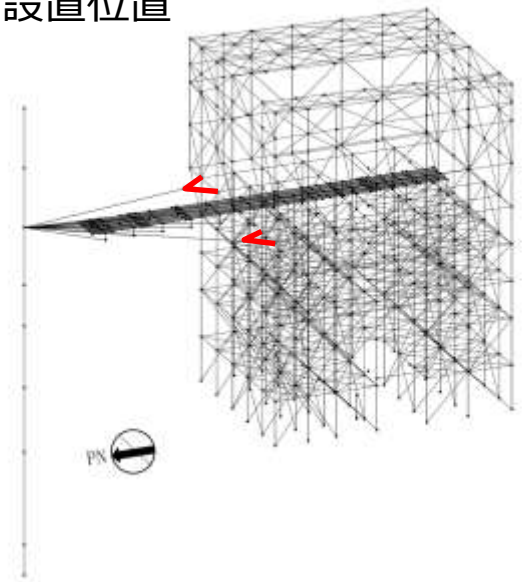
ばね付きオイルダンパ概念図

©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

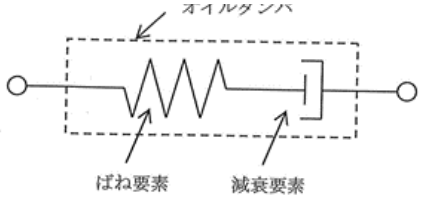
オイルダンパ（水平棟間）の物性について　＜変更なし＞

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。

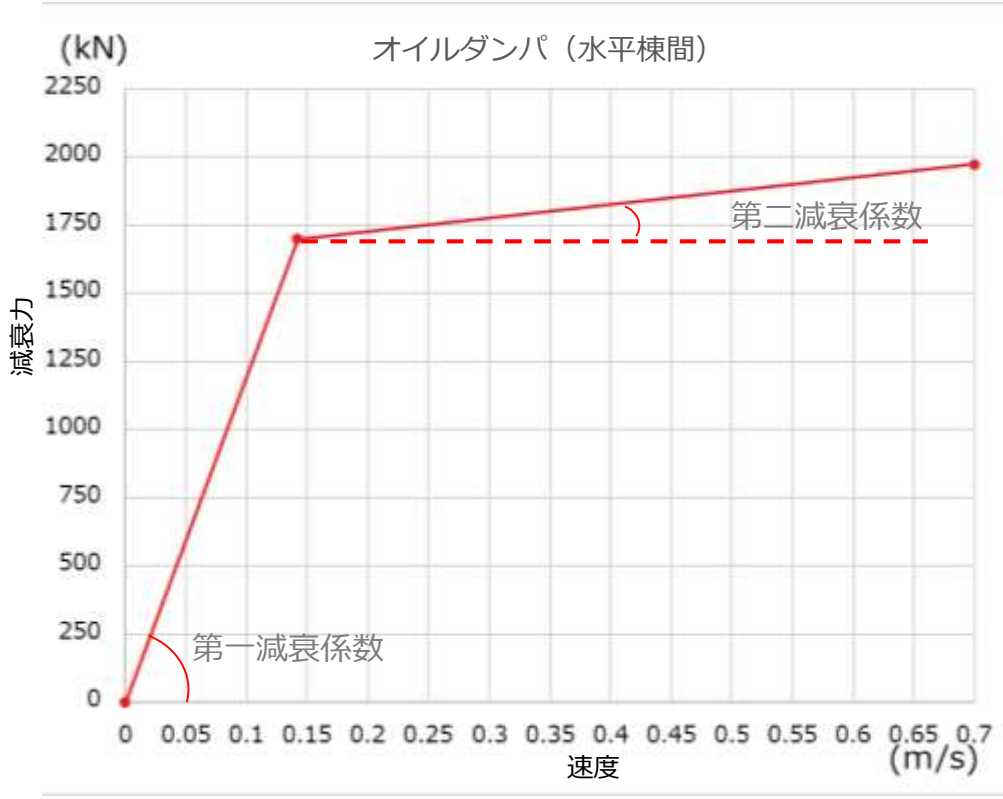
■ 設置位置



■ モデル化



■ 設計特性



■ 物性値及び許容値

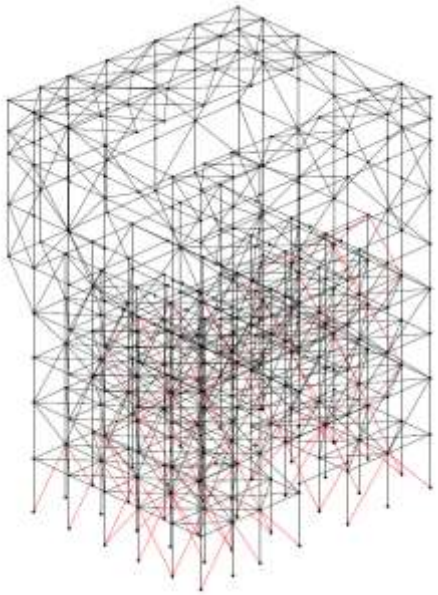
最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN･s/m)	第二減衰係数 (kN･s/m)	ストローク (㎜)
1970	1700	0.70	12000	490	±100

©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

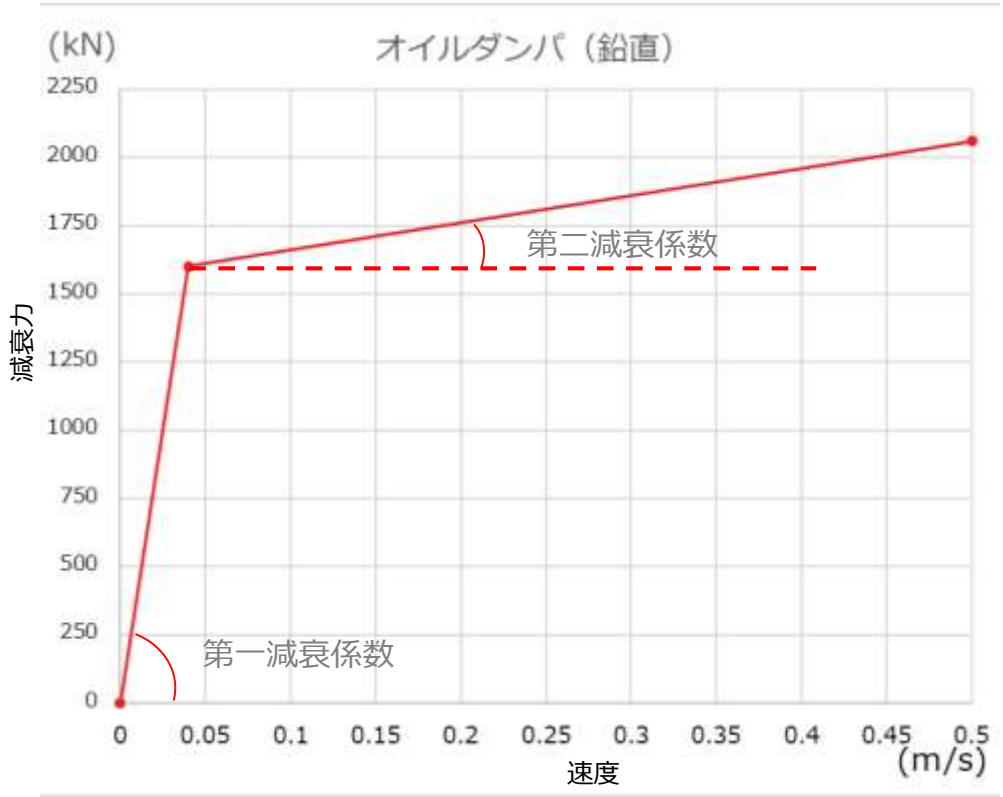
オイルダンパ（鉛直）の物性について

<変更なし>

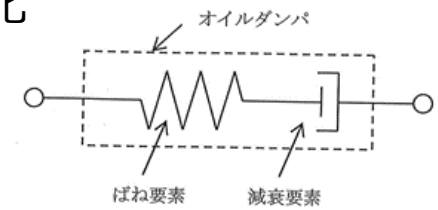
■ 設置位置



■ 設計特性



■ モデル化



■ 物性値及許容値

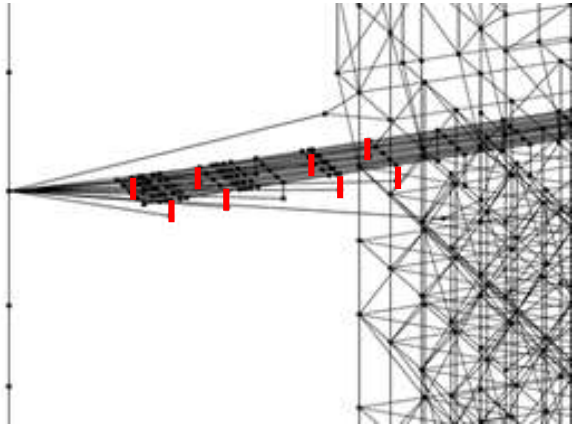
最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN･s/m)	第二減衰係数 (kN･s/m)	ストローク (㎜)
2060	1600	0.50	40000	1000	±60

©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

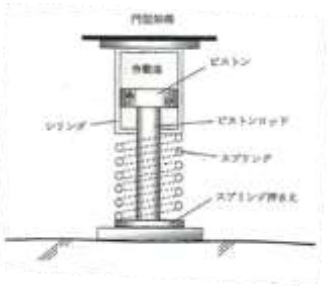
ばね付きオイルダンパの物性について

<変更なし>

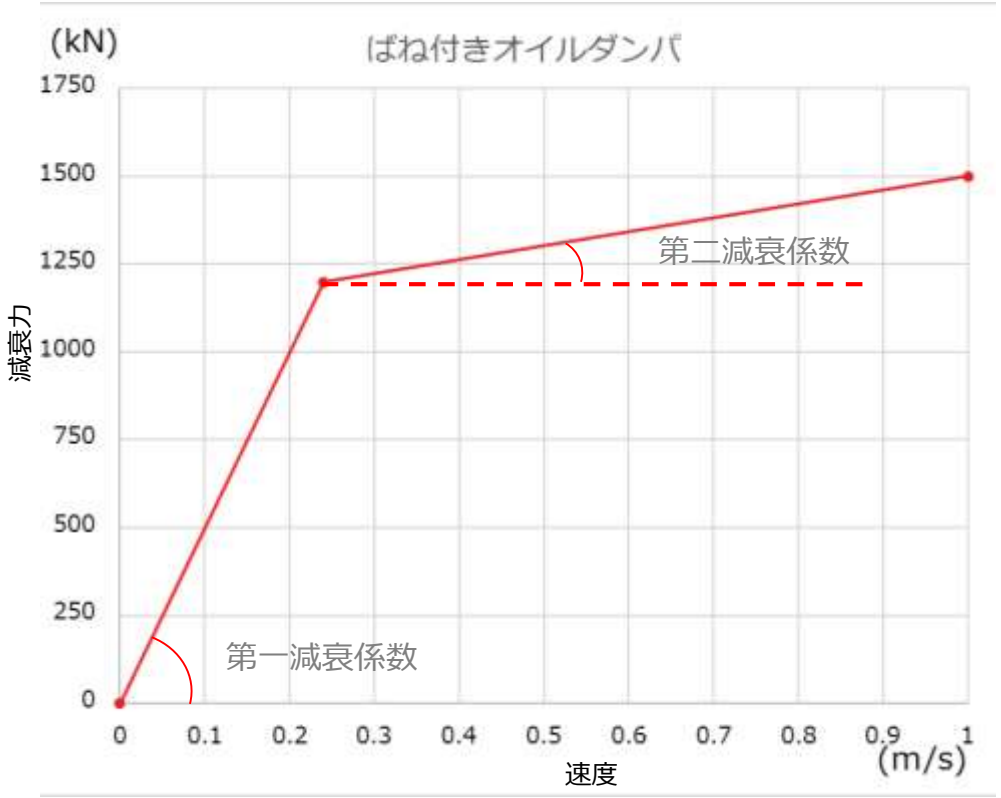
■ 設置位置



■ 概念図



■ 設計特性



（圧縮側を示す）

■ 物性値及許容値

最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (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 (㎜)
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

<変更なし>

4.3.2 構台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 ($\times 10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
45.72	12880	23.28		
			18.6	10154
37.82	10220	18.53		
			16.1	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 Ec	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m^2)
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

<変更なし>

4.3.2 構台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(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_G（$\times 10^5$ kN・m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
45.72	12880	13.18		
			13.6	5926
37.82	10220	10.40		
			12.6	6255
29.92	74470	76.06		
			108.2	11927
22.3	79440	81.06		
			117.3	14199
16.9	107720	194.96		
			185.7	33796
8.7	116670	211.14		
			173.1	41960
0.2	201190	544.79		
			418.1	132121
-12.06	341290	923.98		
			2656.2	719166
-16.06	125030	338.53		
合計	1068910			

ヤング係数 Ec	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m^2)
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

<変更なし>

4.3.2 構台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(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_N (m^2)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
45.72	12880		
		43.0	1.40
37.82	10220		
		42.5	1.38
29.92	74470		
		291.9	9.84
22.3	79440		
		295.1	14.04
16.9	107720		
		437.5	13.71
8.7	116670		
		359.4	10.87
0.2	201190		
		627.4	13.15
−12.06	341290		
		2656.2	170.66
−16.06	125030		
合計	1068910		

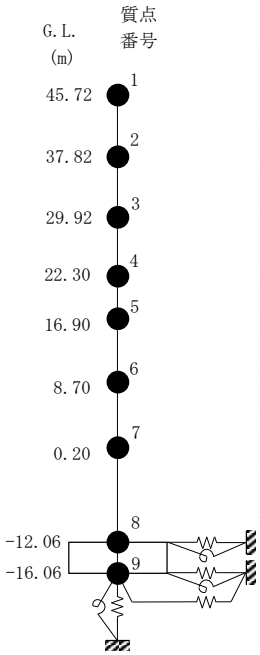
ヤング係数 Ec　2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

©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

<＜変更なし＞

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



（バックチェックモデル）
（NS 方向）

質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G(×10⁵kN·m²)	せん断断面積 A_S(m²)	断面2次モーメント I(m⁴)
1	14, 380	25. 99		
			18. 6	10, 154
2	10, 220	18. 53		
			18. 6	10, 675
3	58, 470	105. 81		
			184. 3	22, 551
4	70, 440	127. 49		
			166. 8	24, 629
5	107, 720	194. 96		
			249. 3	44, 401
6	116, 670	211. 14		
			157. 1	40, 661
7	199, 190	360. 49		
			456. 8	110, 444
8	277, 540	502. 20		
			2, 656. 2	480, 675
9	125, 030	226. 24		
合計	979, 660			

ヤング係数E_c	2.57×10^{7} (kN/m²)
せん断弾性係数G	1.07×10^{7} (kN/m²)
ポアソン比 ν	0. 20
減衰h	5%
基礎形状	46. 6m(NS方向)×57. 0m(EW方向)

(申請モデル)
（NS方向）

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G (×10⁵ kN·m²)	せん断断面積 A_S (m²)	断面二次モーメント I (m⁴)
1	12880 〈1500〉 *1	23. 28 〈2. 71〉 *1		
			18. 6	10154
2	10220	18. 53		
			16. 1 〈1. 3〉 *6 [1. 2] *7	10626 〈24〉 *6 [25] *7
3	74470 〈15000〉 *2 [1000] *3	134. 76 〈27. 14〉 *2 [1. 81] *3		
			184. 3	22551
4	79440 〈9000〉 *4	143. 78 〈16. 29〉 *4		
			166. 8	24629
5	107720	194. 96		
			249. 3	44401
6	116670	211. 14		
			157. 1	40661
7	201190 〈2000〉 *4	364. 11 〔3. 62〕 *4		
			456. 8	110444
8	341290 〔63750〕 *5	617. 55 〔115. 35〕 *5		
			2656. 2	480675
9	125030	226. 24		
合計	1068910			

■ 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：プール養生追加による増加
＊4：西側構台追加による増加
＊5：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
＊6：ブローアウトパネル開口考慮による減少
＊7：西側外壁開口による減少

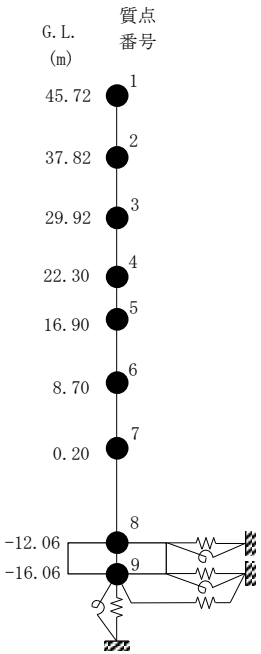
原子炉建屋解析モデル諸元比較（NS方向）

©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

<変更なし>

TEPCO



(バックチェックモデル)

(EW 方向)

質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G($\times 10^3$kN·m^2)	せん断断面積 A_s(m^2)	断面2次モーメント I(m^4)
1	14,380	14.71		
2	10,220	10.40	14.0	5,941
3	58,470	59.72	14.0	6,307
4	70,440	71.88	108.2	11,927
5	107,720	194.96	117.3	14,199
6	116,670	211.14	185.7	33,796
7	199,190	539.37	173.1	41,960
8	277,540	751.39	418.1	132,121
9	125,030	338.53	2,656.2	719,166
合計	979,660			

ヤング係数E_c	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数G	1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰h	5%
基礎形状	46.6m(NS方向)×57.0m(EW方向)

(申請モデル)

(EW方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	12880 〈1500〉 *1	13.18 〈1.53〉 *1		
2	10220	10.40	13.6 〈0.4〉 *6	5926 〈15〉 *6
3	74470 (15000) *2 [1000] *3	76.06 (15.32) *2 [1.02] *3	12.6 〈1.4〉 *6	6255 〈52〉 *6
4	79440 {9000} *4	81.06 {9.18} *4	108.2	11927
5	107720	194.96	117.3	14199
6	116670	211.14	185.7	33796
7	201190 {2000} *4	544.79 {5.42} *4	173.1	41960
8	341290 「63750」 *5	923.98 「172.59」 *5	418.1	132121
9	125030	338.53	2656.2	719166
合計	1068910			

- 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：プール養生追加による増加
  - ＊4：西側構台追加による増加
  - ＊5：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
  - ＊6：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

<変更なし>

TEPCO

（バックチェックモデル）

（鉛直方向）

壁部

質点番号	質点重量 W(kN)	軸断面積 A_s(m²)	軸ばね剛性 k_s(×10⁶kN/m)
1	8,560		
2	10,220	44.4	1.44
3	38,470	66.4	1.51
4	70,440	291.9	9.85
5	107,720	295.1	14.05
6	116,670	437.5	13.71
7	199,190	359.4	10.87
8	277,540	627.4	13.15
9	125,030	2,656.2	170.66
合計	979,660		

屋根

質点番号	質点重量 W(kN)	せん断断面積 A_s(×10⁻²m²)	断面2次モーメント I(m⁴)
1	-		
10	1,580	8.46	0.664
11	2,700	5.49	0.664
12	1,540	2.81	0.664

①コンクリート部

ヤング係数 E_c　2.57×10^{7} (kN/m²)

せん断弾性係数 G　1.07×10^{7} (kN/m²)

ポアソン比 ν　0.20

減衰 h　5%

②鉄骨部

ヤング係数 E_s　2.05×10^{8} (kN/m²)

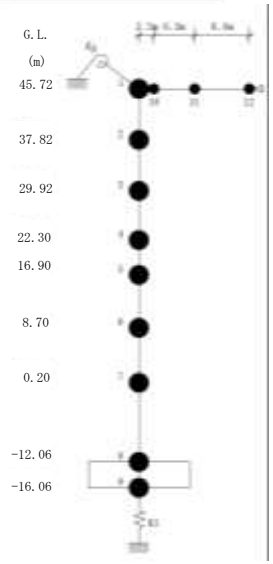
せん断弾性係数 G　7.90×10^{7} (kN/m²)

ポアソン比 ν　0.30

減衰 h　2%

トラス端部回転拘束ばね k_θ　2.11×10^{7} (kN·m/rad)

基礎形状　46.6m(NS方向)×37.0m(EW方向)



■ 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：プール養生追加による増加

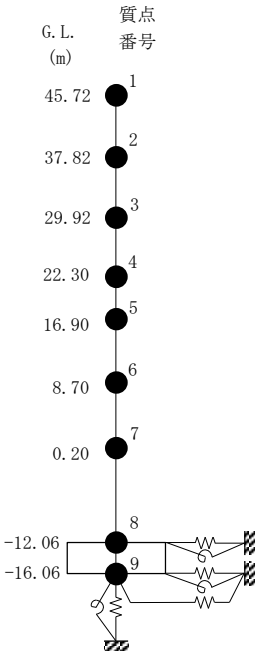
＊4：西側構台追加による増加

＊5：滞留水考慮による増加

（申請モデル）

（鉛直方向）

質点番号	質点重量 W (kN)	軸断面積 A_s (m²)	軸ばね剛性 k_s (×10⁶ kN/m)
1	12880 (15000) *1		
2	10220	43.0 (1.4) *6	1.40 (0.04) *6
3	74470 (15000) *2 [1000] *3	42.5 (1.4) *6 (1.5) *7 [1.2] *8	1.38 (0.05) *6 (0.04) *7 [0.04] *8
4	79440 (9000) *4	291.9	9.84
5	107720	295.1	14.04
6	116670	437.5	13.71
7	201190 (2000) *4	359.4	10.87
8	341290 (63750) *5	627.4	13.15
9	125030	2656.2	170.66
合計	1068910		



■ 軸断面積及び軸ばね剛性

＊6：南側開口による減少

＊7：ブローアウトパネル開口考慮による減少

＊8：西側外壁開口による減少

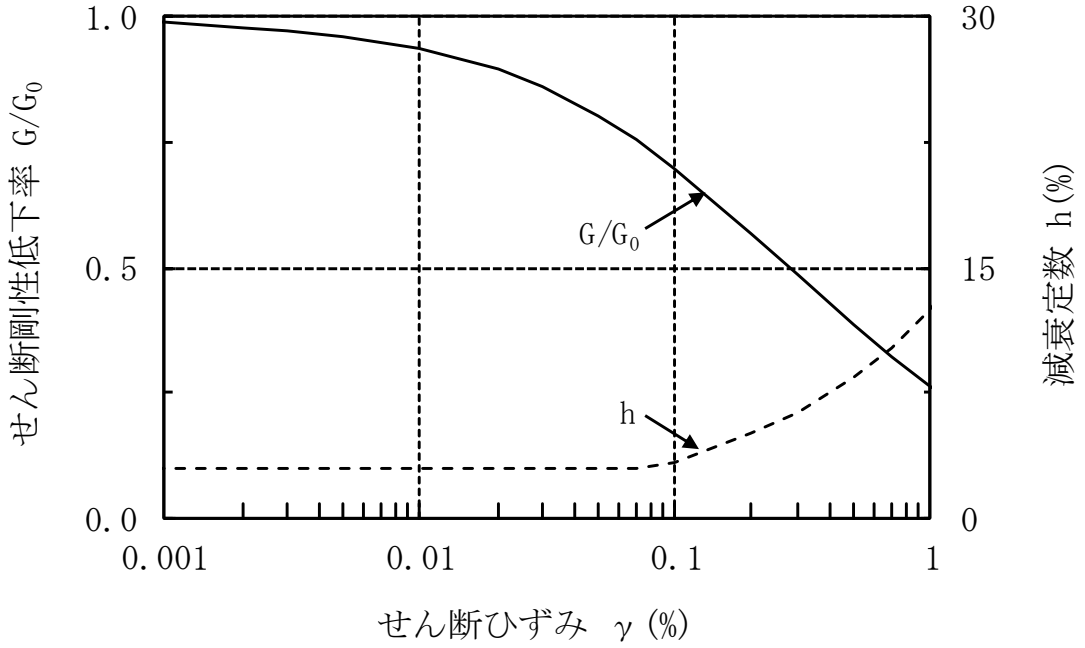
原子炉建屋解析モデル諸元比較（UD方向）

©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

<変更なし>

4.3.2 構台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



地盤のひずみ依存性(泥岩)

©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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表 4.3.2-4　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^3)	ポアソン比* ν	初期せん断弾性係数 G0(×10^{5}kN/m^2)
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

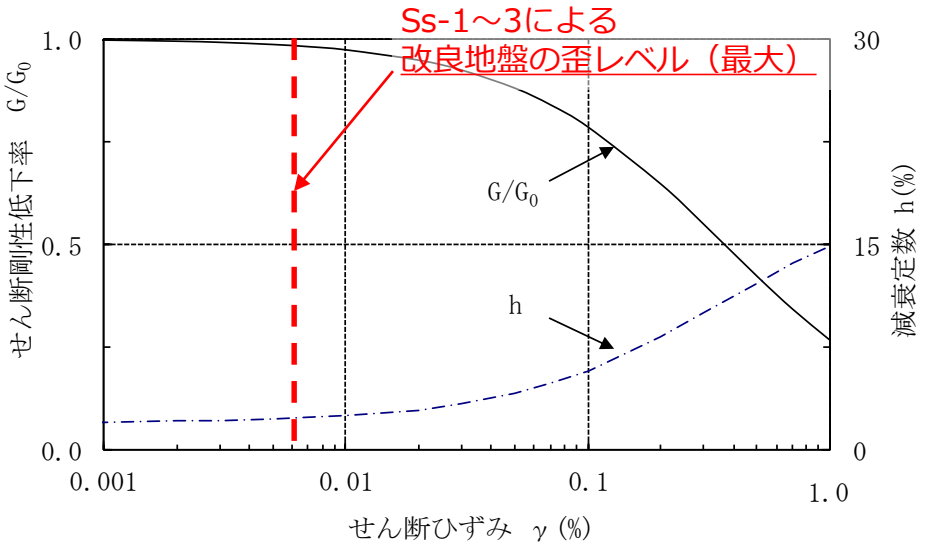
改良地盤物性の設定について

<修正>

- 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
- 物性値は，本件と同様に，原地盤が砂質埋め戻し土および砂岩であり，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
- 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工法の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ることと，減衰についても下限値の2%としていることから，妥当だと判断している

	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	実施工後の試験結果
せん断波速度 Vs(m/s)	800	800	836
圧縮強度 (N/mm^2)	5	5	4.498*
設計基準強度 (N/mm^2)	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



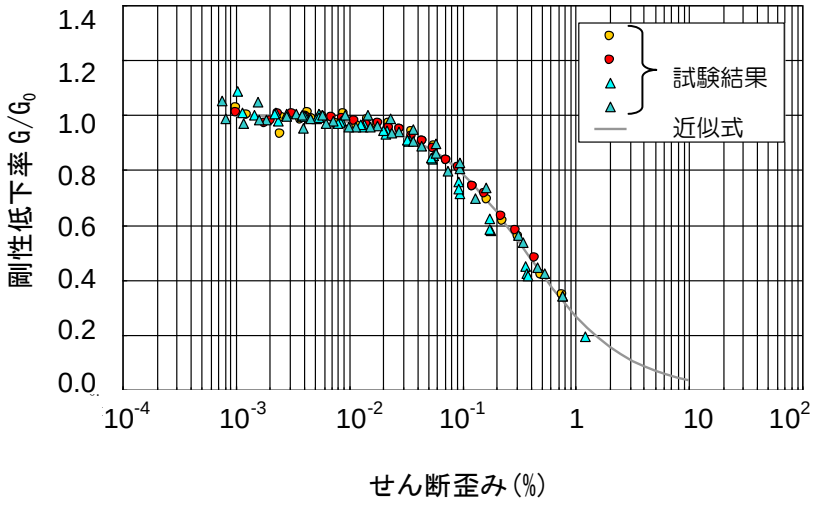
地盤のひずみ依存性(改良地盤)

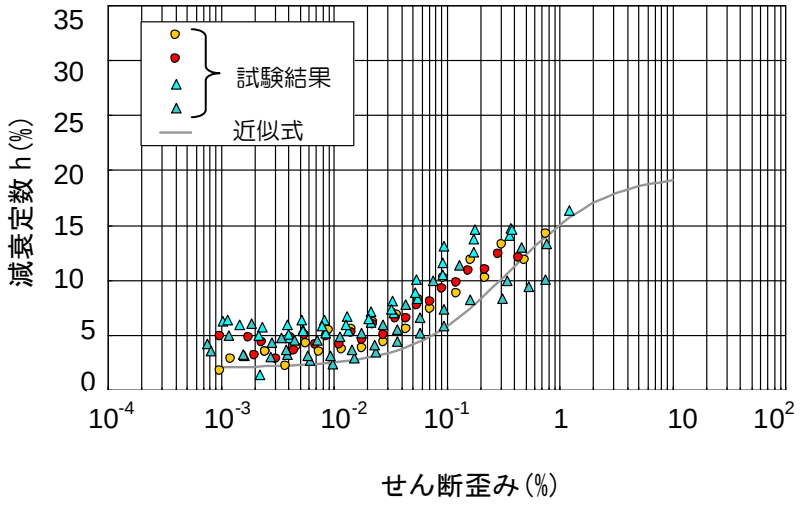
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

改良地盤物性の設定について　＜変更なし＞

■ 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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表4.3.2-5　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 γ (kN/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		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

<＜変更なし＞

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表4.3.2-5　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 γ (kN/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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	泥岩	450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0		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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表4.3.2-5　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/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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	泥岩	450	16.5	0.464	2.63	3.41	0.77	7.70	3	11.9
-20.0		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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表 4.3.2-6　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/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

表 4.3.2-6　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/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0		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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

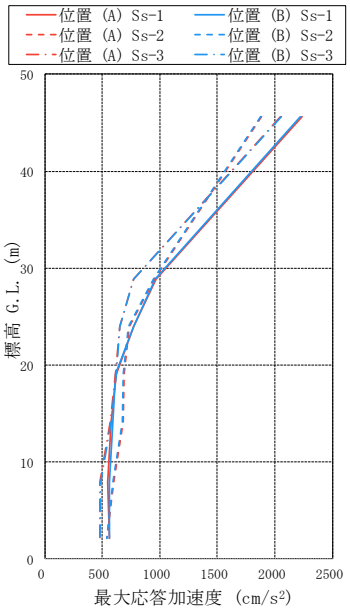
表 4.3.2-6　地盤定数の設定結果（原子炉建屋）
(c) Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10⁵kN/m²)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10⁵kN/m²)	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										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		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	-	-

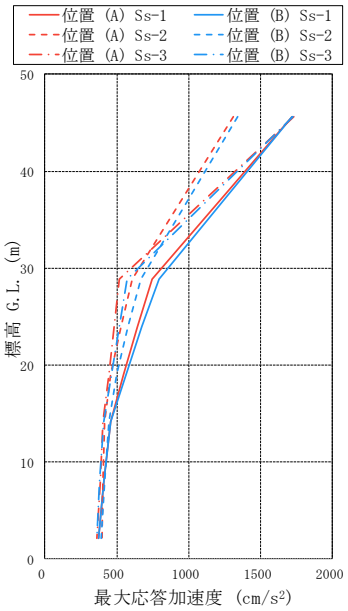
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

<変更なし>

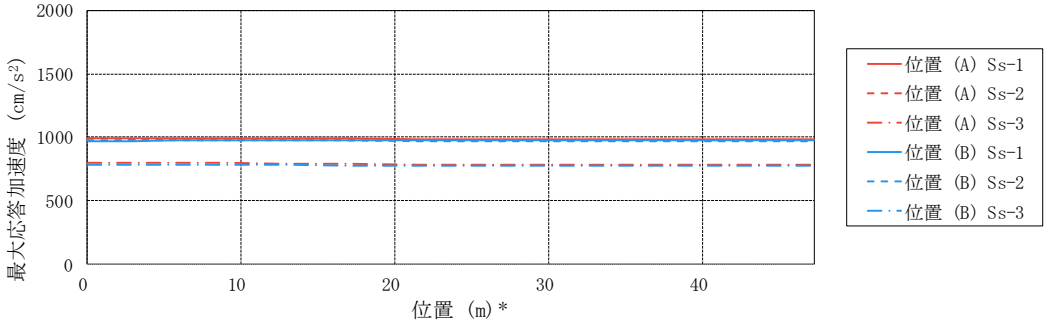
4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討



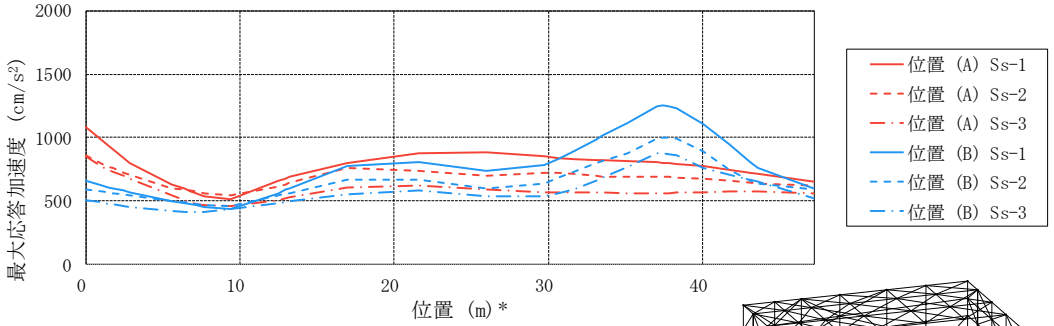
(a) 水平(NS)成分
（構台+前室）



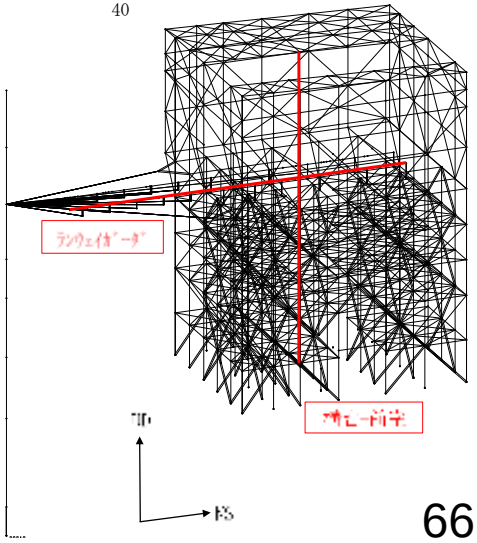
(b) 鉛直成分
（構台+前室）



(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。

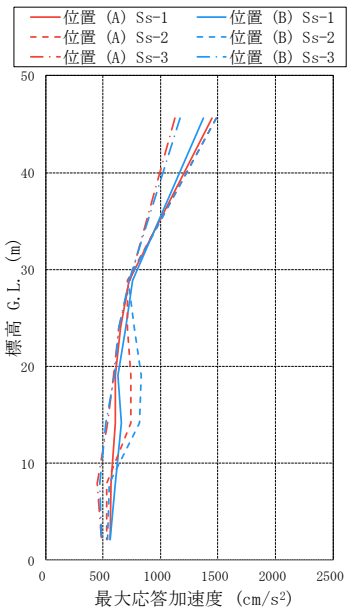
＊：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す。

図 4.3.2-5(1)　最大応答加速度分布（+NS+UD方向加力時）

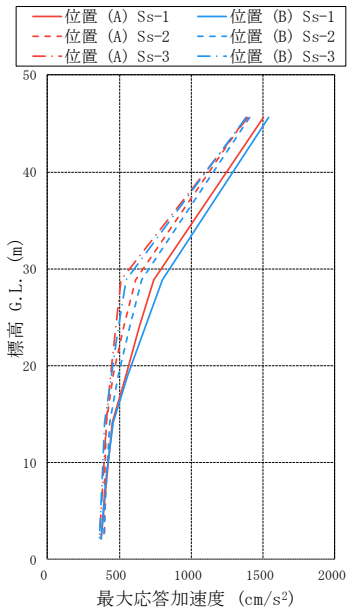
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.　無断複製・転載禁止　東京電力ホールディングス株式会社

<変更なし>

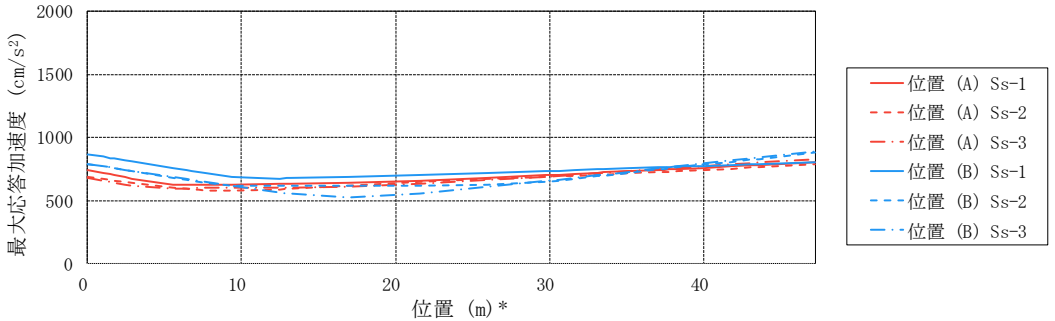
4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討



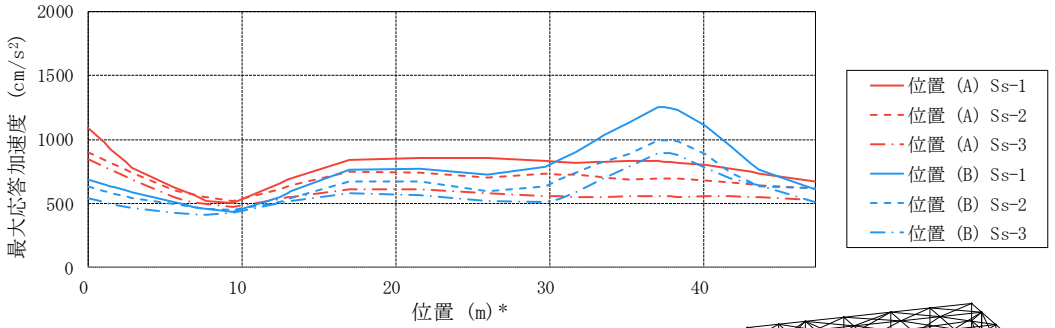
(a) 水平(EW)成分
（構台+前室）



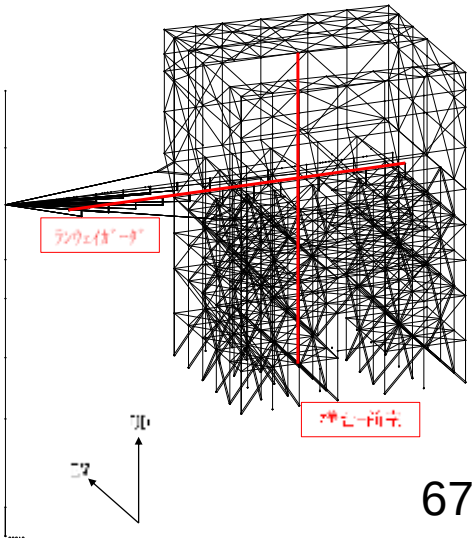
(b) 鉛直成分
（構台+前室）



(c) 水平(EW)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 4.3.2-5(2)　最大応答加速度分布（+EW+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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

■ 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，浦本弥樹「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）

©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

<変更なし>

4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

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る。なお，材料強度は「国土交通省告示第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/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
鉄骨部材	ⓐ	柱	(X)H-700×300×36×36 (Y)H-700×350×36×40 <SM490A> <SN490B>	Ss-3 +EW-UD (B)	σ_c	43.4	f_c	343	0.91	O.K.
					σ_{by}	246.2	f_{by}	337		
					σ_{bz}	17.1	f_{bz}	357		
					τ	18.8	f_s	205		
	ⓑ	梁	H-750×350×40×40 <SM490A> <SN490B>	Ss-3 +EW-UD (B)	σ_c	24.1	f_c	350	0.87	O.K.
					σ_{by}	265.9	f_{by}	352		
					σ_{bz}	5.0	f_{bz}	357		
					τ	41.5	f_s	205		
	ⓒ	鉛直ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490> <STKN490B>	Ss-1 +NS-UD (B)	σ_c	214.2	f_c	294	0.73	O.K.
	ⓓ	ランウェイガーダ	□-1500×900×(80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	Ss-1 +NS-UDと+EW-UDとの包絡 (A)	σ_c	24.2	f_c	323	0.35	O.K.
					σ_b	85.4	f_b	323		
					τ	14.9	f_s	186		

*1：ⓐ～ⓓ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　＜変更なし＞

■ 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	構造骨組(層)	Q		Q_y	Q_u		
		μ		1.0	μ_u / 2.0	μ_u / 1.33 ＜μ_u / 1.50＞	μ_u = 4.0 ＜μ_u = 3.0＞
		η	JASS6 型	0	η_u / 4.0	η_u / 1.77	η_u =10.7(δ_v/δ_{eq})
			ﾉﾝｽｶﾗｯﾌﾟ	0	η_u / 4.0	η_u / 1.77	η_u =18.2(δ_v/δ_{eq})
			梁端混用	0	η_u / 4.0	η_u / 1.77	η_u = 6.7(δ_v/δ_{eq})
	構造部材	γ (%)		0	30	60	100
		μ_m		1.0	μ_{mu} / 2.0	μ_{mu} / 1.33	μ_{mu} = 5.0
		η_m	JASS6 型	0	η_{mu} / 4.0	η_{mu} / 1.77	η_{mu} = 21.5
			ﾉﾝｽｶﾗｯﾌﾟ	0	η_{mu} / 4.0	η_{mu} / 1.77	η_{mu} = 36.5
			梁端混用	0	η_{mu} / 4.0	η_{mu} / 1.77	η_{mu} = 13.5
制振免震部材		η_d		—	η_{du} / 4.0	η_{du} / 1.77	η_{du}
		W_d		—	W_{du} / 4.0	W_{du} / 1.77	W_{du}
		δ_l		—	δ_{lu} / 2.0	δ_{lu} / 1.33	δ_{lu}
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

JSCA性能メニューと損傷レベル

＜変更なし＞

■ 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、ず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

<変更なし>

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
		STKN490B	JIS G3475		
異形鉄筋		SD295	JIS G3112, JIS G3117	-	295
		SD345		-	345
		SD390		-	390

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 <変更なし>

- 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σv (N/mm^2)	最大圧縮面圧 σ_D(N/mm^2)	$\sigma_D/\sigma v$	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）

©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

弾性支承の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

- 下記製品相当品を使用予定

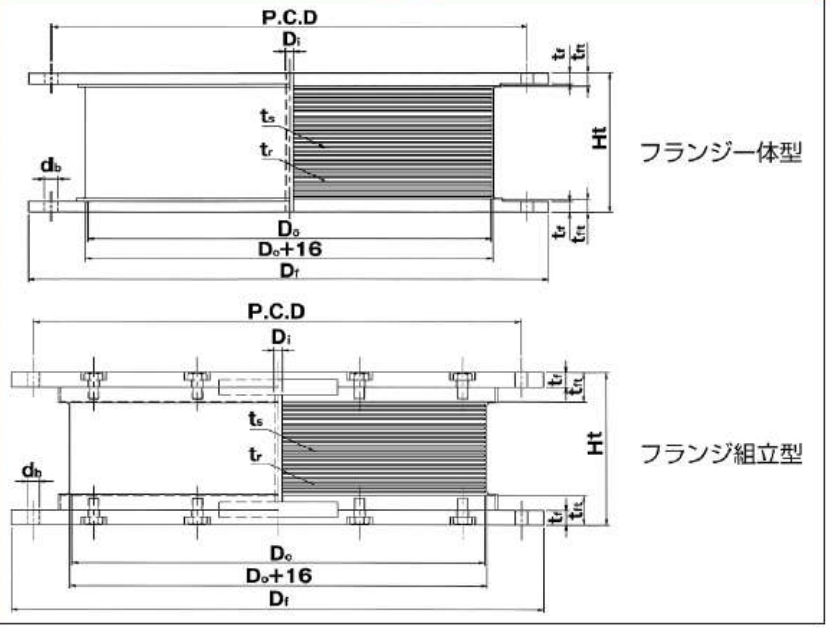
出典：ブリヂストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1

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		解説
各部の形状、寸法	ゴム外径	: D_0 (mm)	
	ゴム内径	: D_i (mm)	
	ゴム内径数	: n_i	
	有効断面積	: A ($\times 10^2 mm^2$)	
	ゴム一層厚	: t_r (mm)	
	ゴム層数	: n	
	ゴム総厚	: $H = n \cdot t_r$ (mm)	
	1次形状係数	$S_1 = (D_0^2 - n_i \cdot D_i^2)/\{4 \cdot t_r \cdot (D_0 + n_i \cdot D_i)\}$	
	2次形状係数	$S_2 = D_0/(n \cdot t_r)$	
	フランジ外径	: D_f (mm)	
	フランジ厚さ：端部 / 中央部	: t_f/t_{ft} (mm)	
	取付ボルト穴 PCD	: PCD (mm)	
	取付ボルト穴径×数	: d_b (mm) ×数	
	想定ボルトサイズ	: M (d_b−3)	
	内部鋼板厚さ	: t_s (mm)	
	製品総高さ	: H_t (mm)	
	製品総重量 1 (kN)	= 1/9.80665 (tonf)	



©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：ブリヂ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。

$$K_V = E_C \cdot \frac{A}{H} \qquad E_C = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_\infty}$$

■ 圧縮限界強度（右図参照）

●せん断ひずみ 0 時の座屈面圧 σ_{cr} は次式で決定しています。

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

ただし、$E_b = E(1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2) / \{1 + E(1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2)/E_\infty\}$

α_c：弊社試験データより定めた S_2 による補正係数

$S_2 \geqq 5$ 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 γ における圧縮限界強度 $\sigma_{cr}'(\gamma)$ は、σ_{cr} を用いて次式で決定しています。

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

β_c：弊社試験データより定めた S_2 による補正係数

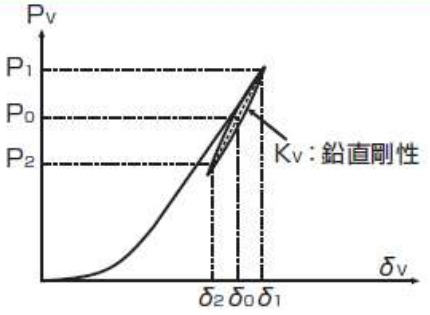
$S_2 \geqq 5$ の場合：$\beta_c = 0.76$　$S_2 < 5$ の場合：$\beta_c = 0.76/\{0.15 \cdot (S_2 - 5) + 1\}$

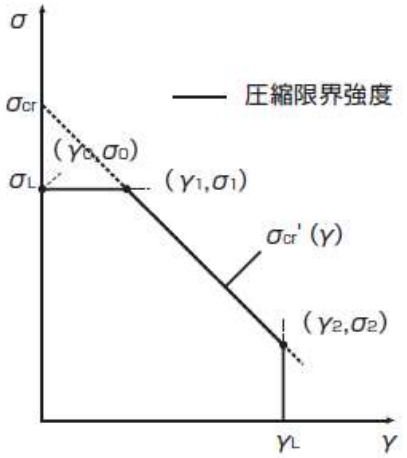
●圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて以下の上限値 σ_L を超えない領域までとし、ひずみ領域としては 0 面圧時の限界ひずみ γ_L を超えない範囲までで規定しています。

ゴム材料（呼称）G0.30、G0.35 の場合：$\sigma_L = 40$　(N/mm^2)

ゴム材料（呼称）G0.40、G0.45 の場合：$\sigma_L = 60$　(N/mm^2)

$\gamma_L = 400\%$ 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

弾性支承の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

出典：ブリヂ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　MVBR-0509/MVBR-0518(G4)

（ご注意）一部製造工程の違いにより認定番号が2つあります。
設計図書への記載方法についてはP.11のご使用時の注意事項をご参照ください。

● NHシリーズ（ゴム総厚20cmタイプ）

ゴムコード

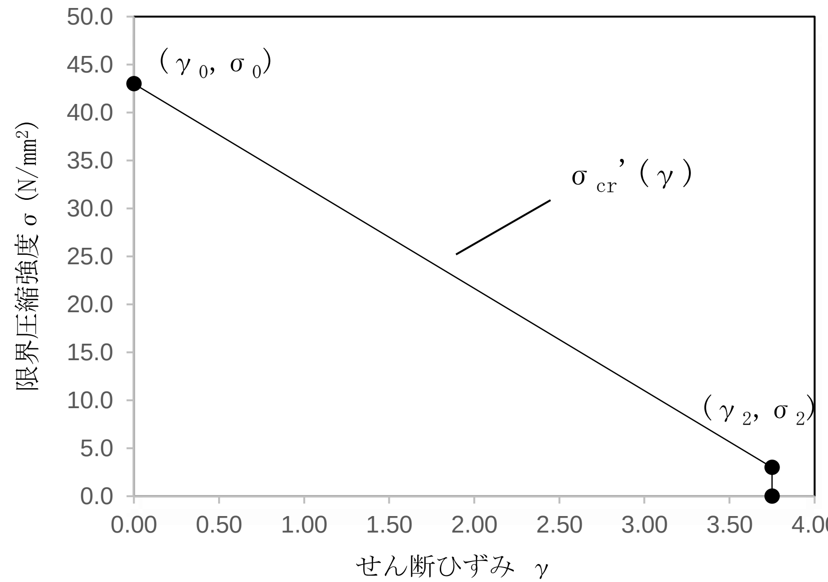
ゴム種記号	ゴム呼称	せん断弾性率 (N/mm²)
G4	G0.40	0.392

項目	NH060G4	NH065G4	NH070[illegible]	NH075G4	[illegible]080G4	NH085G4	NH090G4	NH095G4	NH100G4	NH110G4	NH120G4	NH130G4	NH140G4	NH150G4
支承の形状、寸法　ゴム外径 (mm)	600	650	[illegible]	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500
ゴム内径 (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65
有効断面積 (×10²mm²)	2826	3317	[illegible]	4416	[illegible]	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638
ゴム一層厚 (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0
ゴム層数 (−)	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	[illegible]
ゴム総厚 (mm)	200	198	[illegible]	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200
1次形状係数 (−)	36.6	36.1	[illegible]	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	[illegible]	35.9
2次形状係数 (−)	3.00	3.28	[illegible]	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	[illegible]	7.02	7.50
フランジ外径※2 (mm)	900	950	[illegible]	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	[illegible]	1700	1800	1900
フランジ厚さ※1（端部／中央部）(mm)	22/28	22/28	[illegible]	22/28	[illegible]4/32	24/32	26/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50
ボルト穴PCD※2 (mm)	775	825	[illegible]	950	1000	1050	1100	1150	1250	[illegible]	1450	1550	1650	1750
ボルト穴径×数※2 (mm)	φ33×12	φ33×12	[illegible]	φ33×12	[illegible]	φ33×12	φ33×12	φ33×12	[illegible]	φ39×12	φ39×12	φ39×12	φ42×12	φ42×16
想定ボルトサイズ※2 (−)	M30	M30	[illegible]	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39
内部鋼板厚さ (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8
製品総高さ (mm)	407.9	390.4	[illegible]	376.9	[illegible]	413.1	[illegible]	402.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	410.2
製品総重量 (tonf)	0.66	0.72	[illegible]	0.90	1.21	[illegible]	1.49	1.59	1.77	2.05	2.38	2.65	3.46	4.05
製品総重量 (KN)	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	26.0	33.9	39.7
鉛直性能　[illegible]	31	35	38	43	47	51	56	61	64	70	77	84	90	97
圧縮限界強度 (N/mm²) (γ0, σ0)	(0.00,31)	(0.00,35)	[illegible]	(0.00,43)	[illegible]	(0.00,51)	(0.00,56)	(0.00,60)	(0.00,60)	(0.00,60)	(0.00,60)	(0.00,60)	(0.00,60)	(0.00,60)
圧縮限界強度 (N/mm²) (γ1, σ1)	−	−	−	−	−	−	−	(0.07,60)	(0.44,60)	(1.08,60)	(1.76,60)	(2.42,60)	(3.05,60)	(3.74,60)
圧縮限界強度 (N/mm²) (γ2, σ2)	(2.76,0)	(3.21,0)	[illegible]	(3.75,3)	[illegible]	(4.00,10)	(4.00,16)	(4.00,21)	(4.00,25)	(4.00,32)	(4.00,38)	(4.00,44)	(4.00,51)	(4.00,57)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2750	3110	3450	3770	4530	5420	6350	7330	8470
基準面圧 (N/mm²)	6.0	7.0	7.8	8.9	9.8	10.8	12.0	13.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
長期軸力 (kN)	1700	2320	[illegible]	3930	[illegible]	6130	7630	9200	11800	14200	16900	19900	23000	26500
引張限界強度 (γ=100%時) (N/mm²)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
水平性能　水平剛性 (×10³kN/m)（せん断ひずみ γ=±100%時）	0.554	0.657	[illegible]	0.866	[illegible]	1.11	1.26	1.40	1.53	1.86	2.21	2.60	3.02	3.46

※1：フランジ厚さについては、増厚仕様もあります。詳しくは上表をご参照ください。
※2：表に記載した数値以外の対応も可能な場合があります。詳細はお問い合わせください。

装置性能

せん断ひずみ		限界圧縮強度	
γ_0	0.00	σ_0	43.0
γ_2	3.75	σ_2	3.0



©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　＜変更なし＞

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

4.3.5 基礎の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

■ 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。

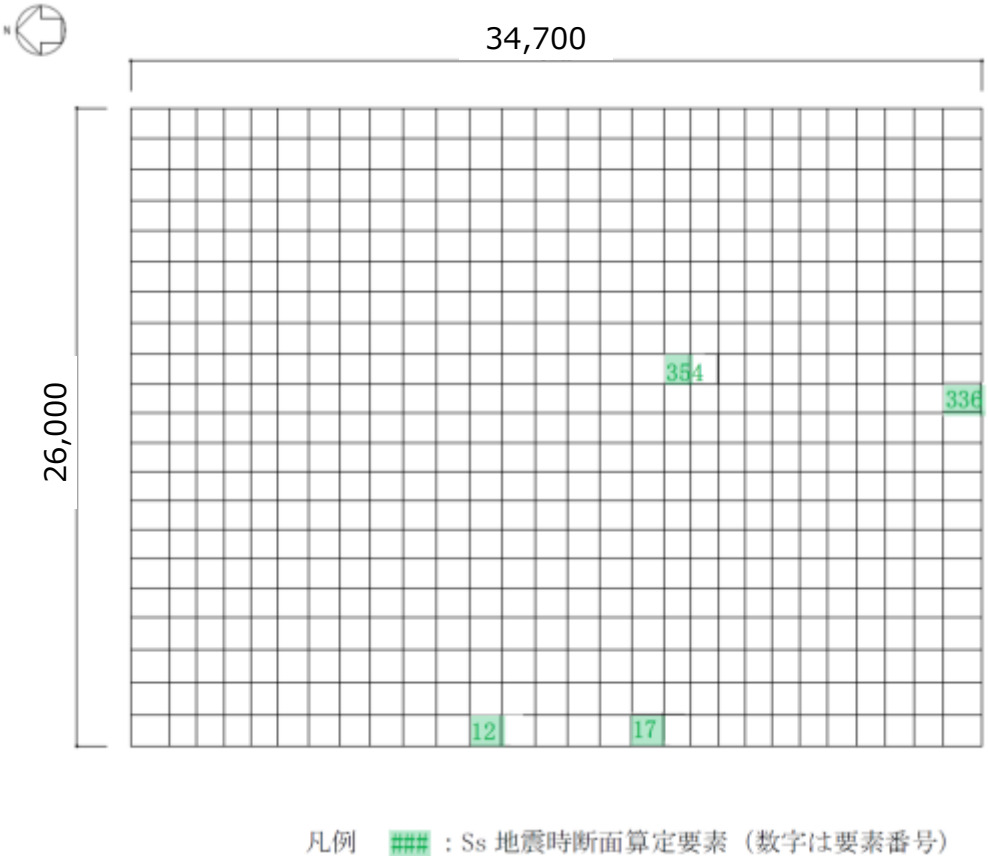


図 4.3.5-1　基礎モデル(Ss 地震時)

©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

4.3.5 基礎の耐震性に対する検討

<変更なし>

■ 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「国土交通省告示第2464号」に定められた基準強度F 値の1.1 倍を用いる。

表 4.3.5-1　断面検討結果

要素番号	方向	荷重ケース (位置)*1	設計応力		N/(b・D)*2 (×10^{-2} N/mm^2)	M/(b・D^2) (×10^{-2} N/mm^2)	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 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (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 (0.38) 3-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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。

©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

<修正>

- 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)*1	設計応力 N*2 (kN/m)	設計応力 M (kN・m/m)	N/(b・D)*2 (×10^{-2} N/mm^2)	M/(b・D^2) (×10^{-2} N/mm^2)	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 fs・b・j (kN/m)	判定
12	NS	Ss-1+NS -UD(A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200 (0.38) 3-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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：せん断応力最大ケース一覧

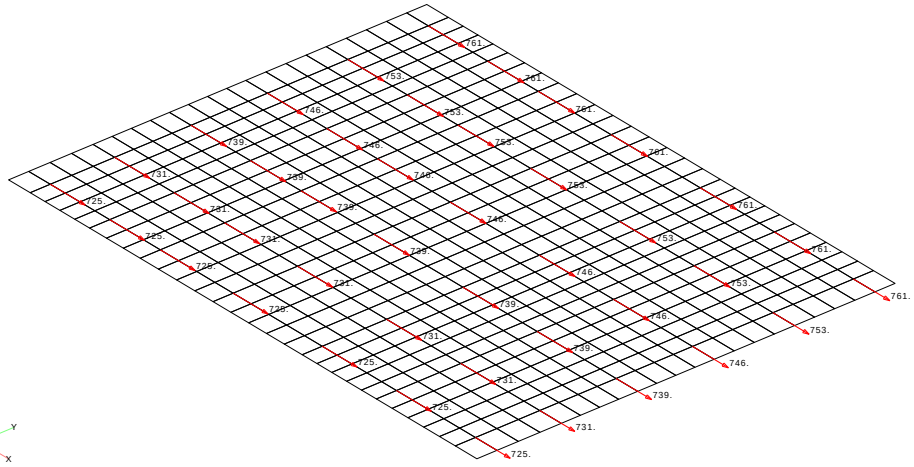
要素番号	方向	荷重ケース(位置)*1	設計応力 N*2 (kN/m)	設計応力 M (kN・m/m)	N/(b・D) (×10^{-2} N/mm^2)	M/(b・D^2) (×10^{-2} N/mm^2)	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 α・fs・b・j Qa(kN/m)	判定
587	NS	Ss-1+NS+UD (A)	-152.6	431.5	0.051	0.048	0.021	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	D19@400×200 (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 (0.38) 2-D38@200 (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。

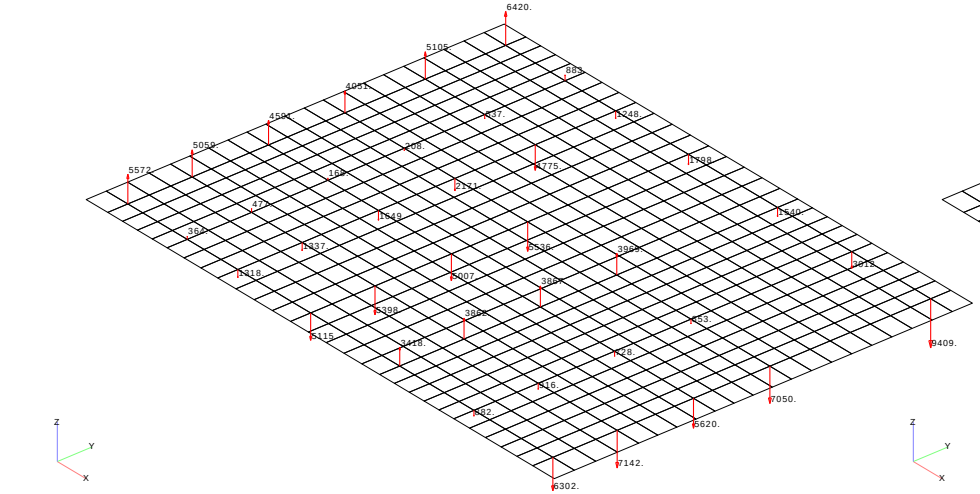
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

基礎版FEMの荷重条件と応力コンター　＜変更なし＞

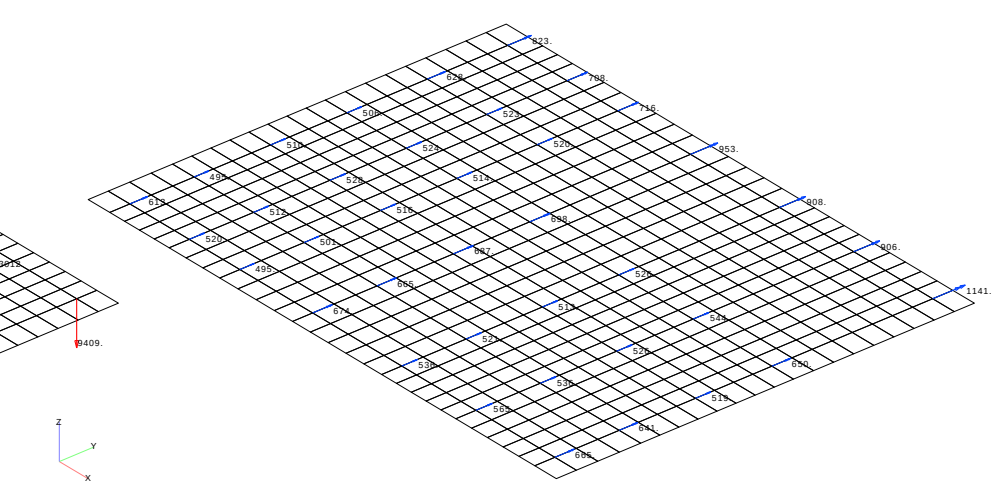
- 基礎の耐震性に対する検討では，基礎上部から受ける荷重として，柱反力（柱脚軸力・曲げモーメント・せん断力）を各柱位置の接点に入力する
- 上記に加え，基礎自重，水平方向並びに鉛直方向の慣性力，付加曲げ応力を入力する



柱脚せん断力Q



柱脚軸力N

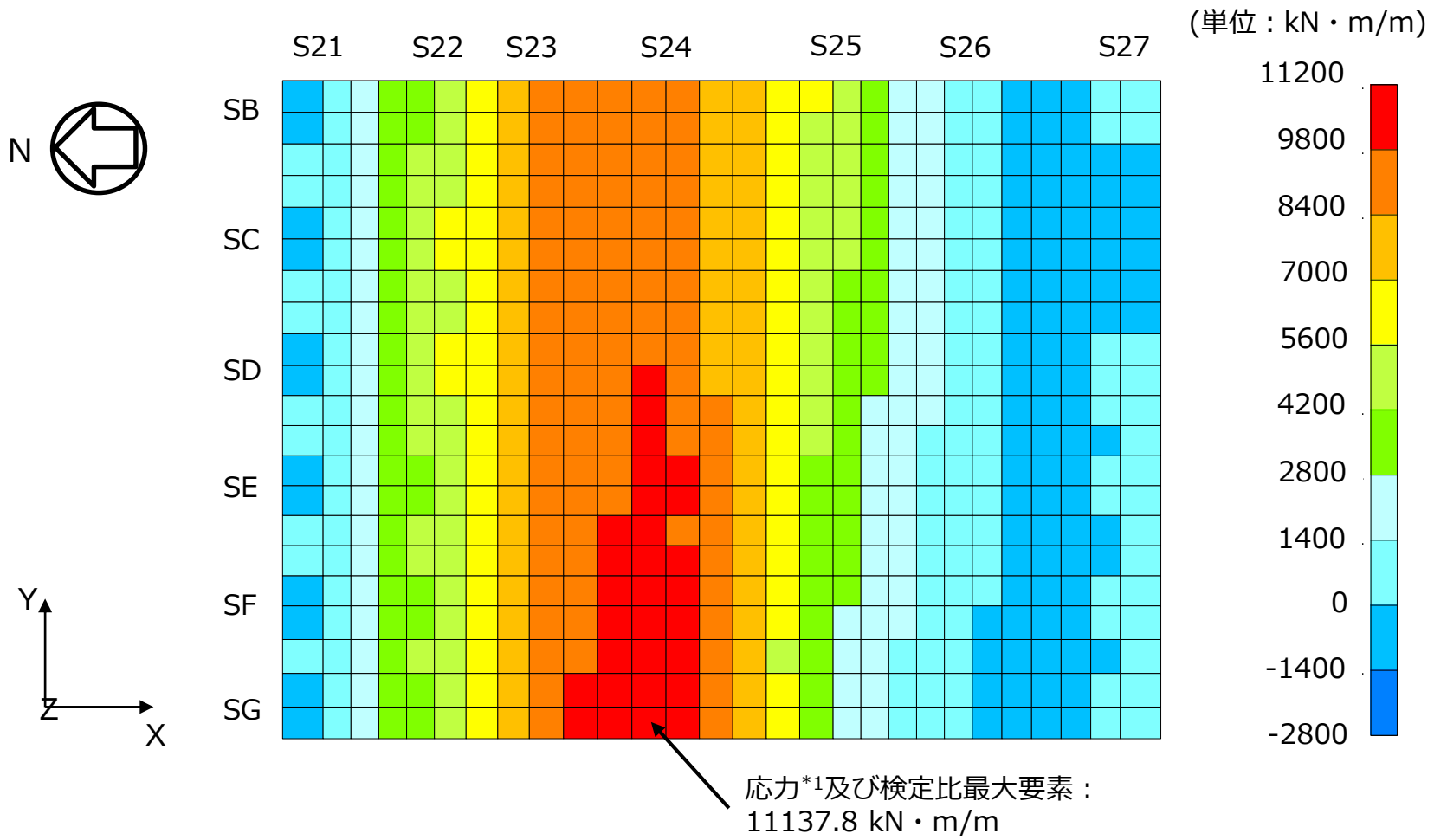


柱脚曲げモーメントM

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　＜変更なし＞

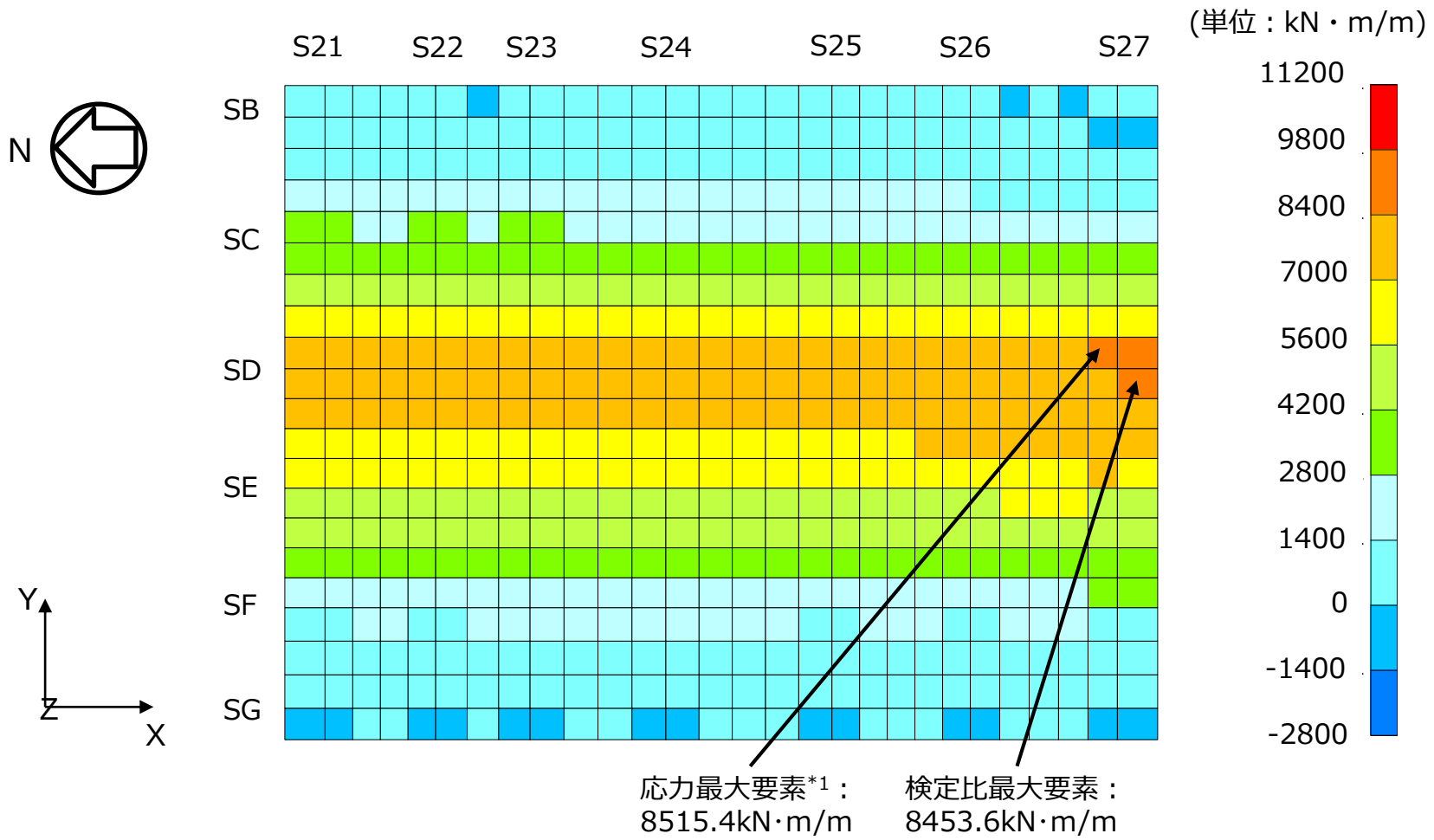


*1：本ケースにおける応力最大要素を示す

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

基礎版FEMの荷重条件と応力コンター　＜変更なし＞

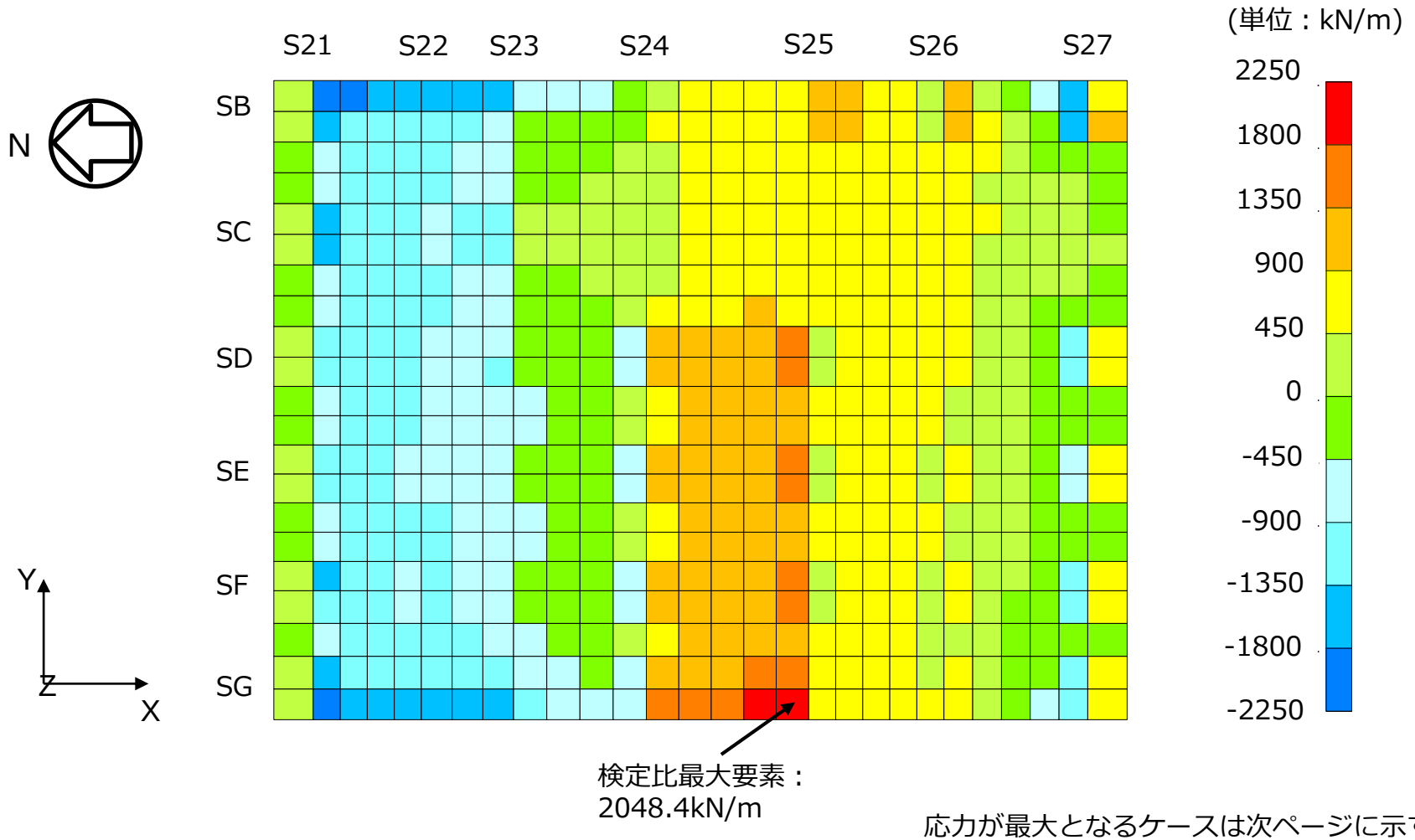


*1：本ケースにおける応力最大要素を示す

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

基礎版FEMの荷重条件と応力コンター　＜変更なし＞

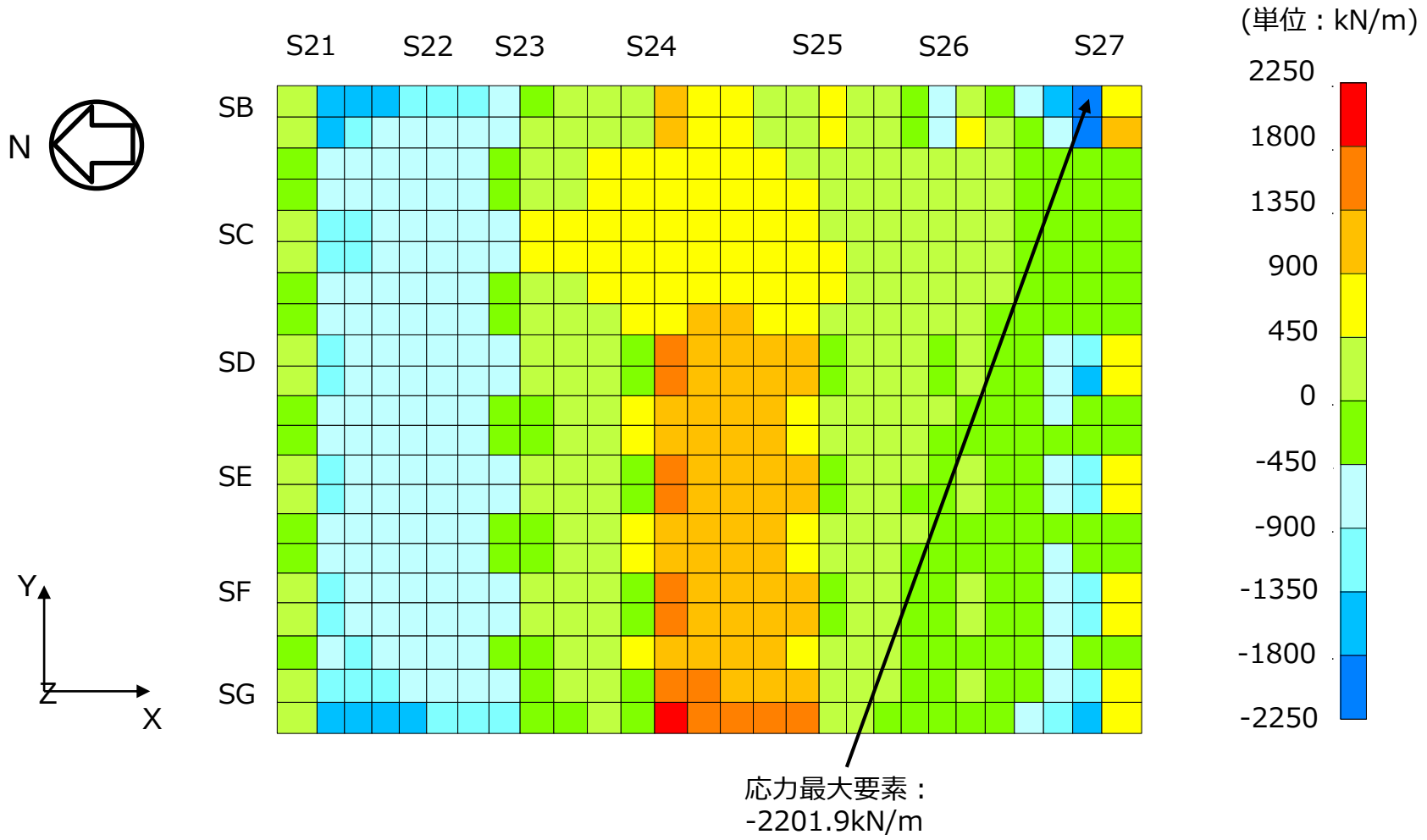


応力が最大となるケースは次ページに示す。

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

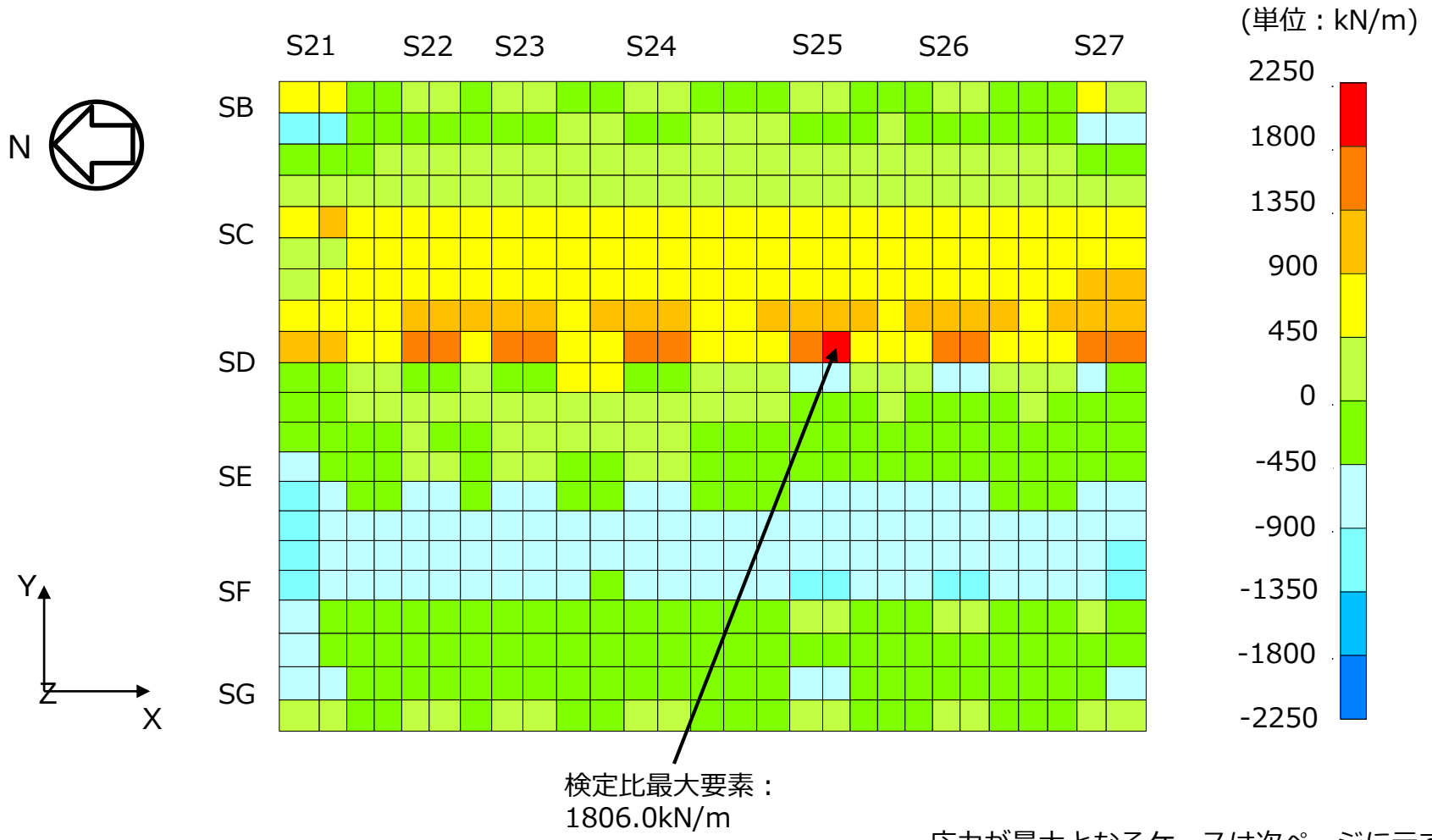
基礎版FEMの荷重条件と応力コンター　＜変更なし＞



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

基礎版FEMの荷重条件と応力コンター　＜変更なし＞

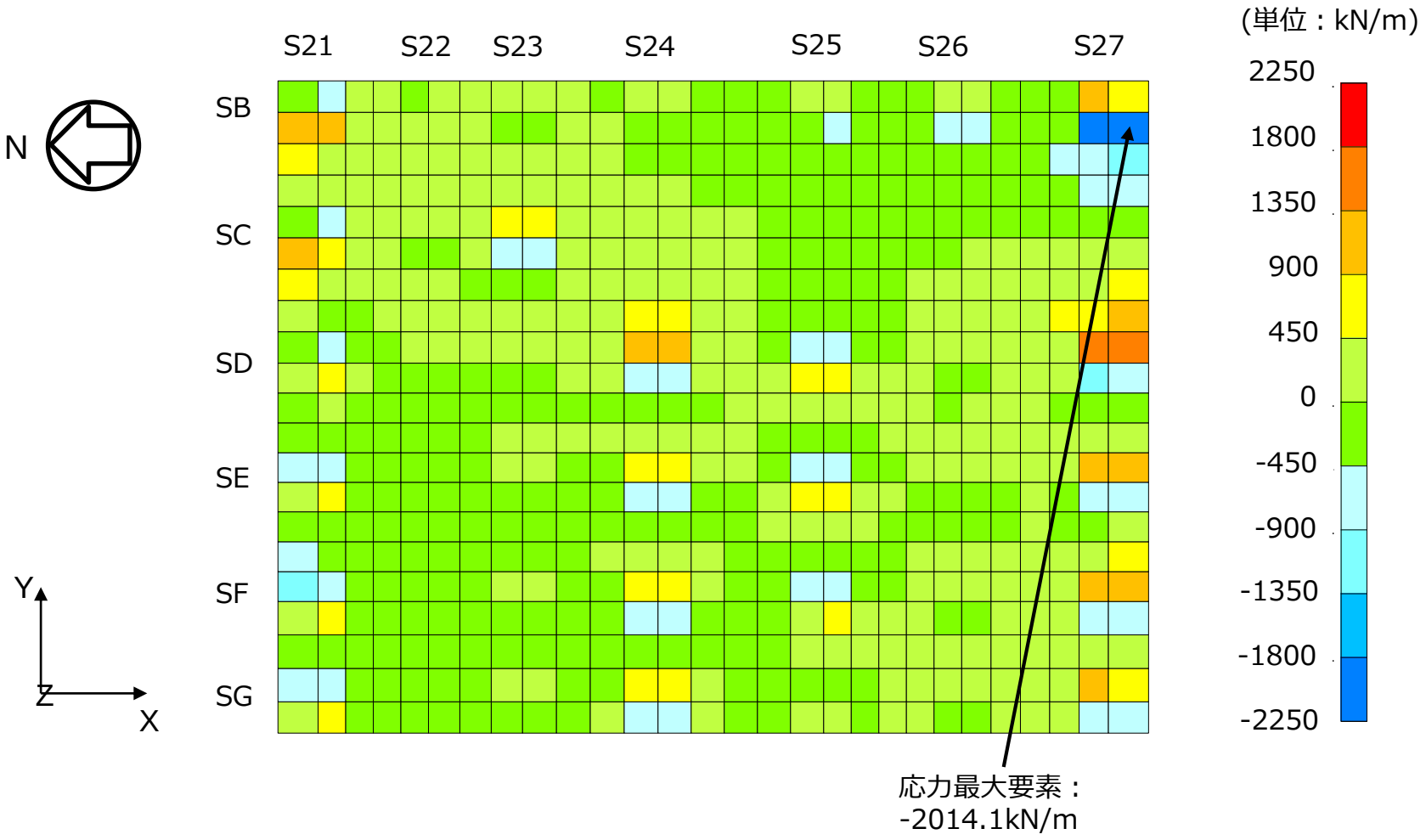


応力が最大となるケースは次ページに示す。

応力コンター（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)

©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　＜変更なし＞



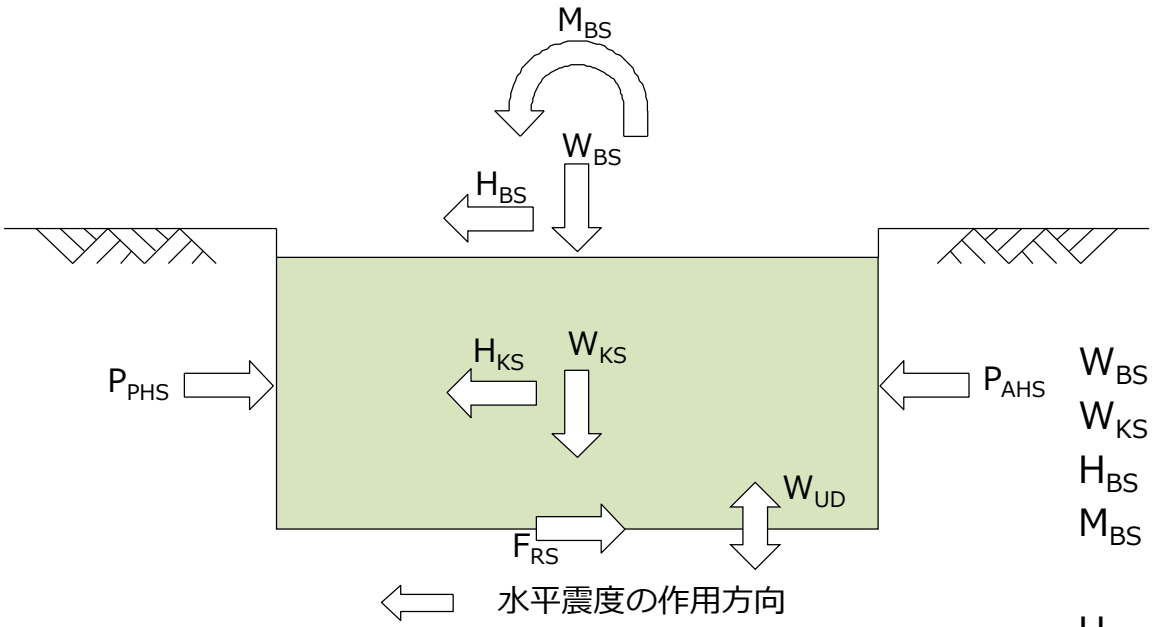
応力コンター（EW方向せん断力）
応力最大値発生荷重ケース： Ss-1+NS+UD(A)

©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

4.3.6 改良地盤の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

■ 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。



W_{BS}：燃料取り出し用構台荷重
W_{KS}：改良地盤の自重
H_{BS}：燃料取り出し用構台による水平力
M_{BS}：燃料取り出し用構台による改良地盤底面における転倒モーメント
H_{KS}：改良地盤の慣性力
P_{AHS}：地震時主働土圧による水平力
P_{PHS}：地震時受働土圧による水平力
F_{RS}：支持地盤のせん断抵抗力
W_{UD}：上下動による鉛直応力

図4.3.6-1　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

4.3.6 改良地盤の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

■ 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。

$$\frac{{}_{SS}f_{SC}}{\sigma_{y\,max}} \geqq 1.5$$

ここで，${}_{SS}f_{SC}$：改良地盤の圧縮強度

σ_{ymax}：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（${}_{SS}f_{SC}$）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^{2}とし，断面欠損を考慮した場合 4900 kN/m^{2}とする。

表4.3.6-1　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^2)	圧縮強度 ${}_{SS}f_{SC}$(kN/m^2)	安全率	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	Ss-1	761	4900	6.43	1.50	OK
EW	Ss-2	793	4900	6.17	1.50	OK

©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 改良地盤の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

■ 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。

$$F_S = \frac{F_R}{F_H} \geqq 1.5$$

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 4.3.6-2　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	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	Ss-2	56816	676650	11.90	1.50	OK
EW	Ss-1	55076	676650	12.28	1.50	OK

表 4.3.6-3　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	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	Ss-2	105335	676650	6.42	1.50	OK
EW	Ss-1	106956	676650	6.32	1.50	OK

©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 改良地盤の耐震性に対する検討　＜変更なし＞

■ 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て1.5以上の安全率を有していることを確認する。

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

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

方向	最大鉛直応力発生地震波	最大鉛直応力 V (kN/m²)	支持地盤の極限支持力度 Ru (kN/m²)*	安全率 F_S	ｸﾗｲﾃﾘｱ	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。

©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

<変更なし>

4.3.7 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 4.3.7-1　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.

■ 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。

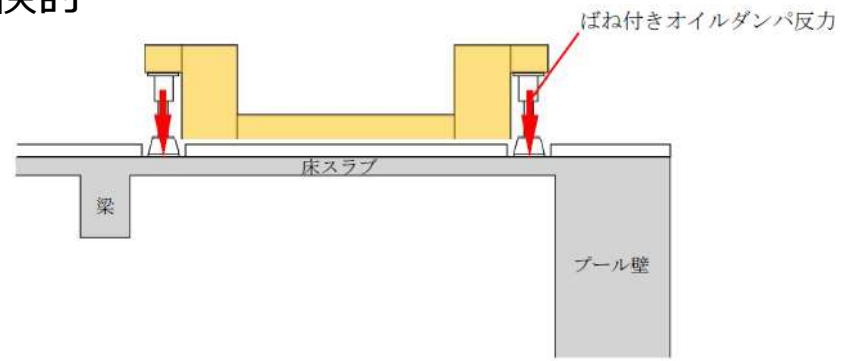


図 4.3.7-1　ばね付きオイルダンパ反力概要図

表 4.3.7-2　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）

©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

<変更なし>

4.3.7 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。

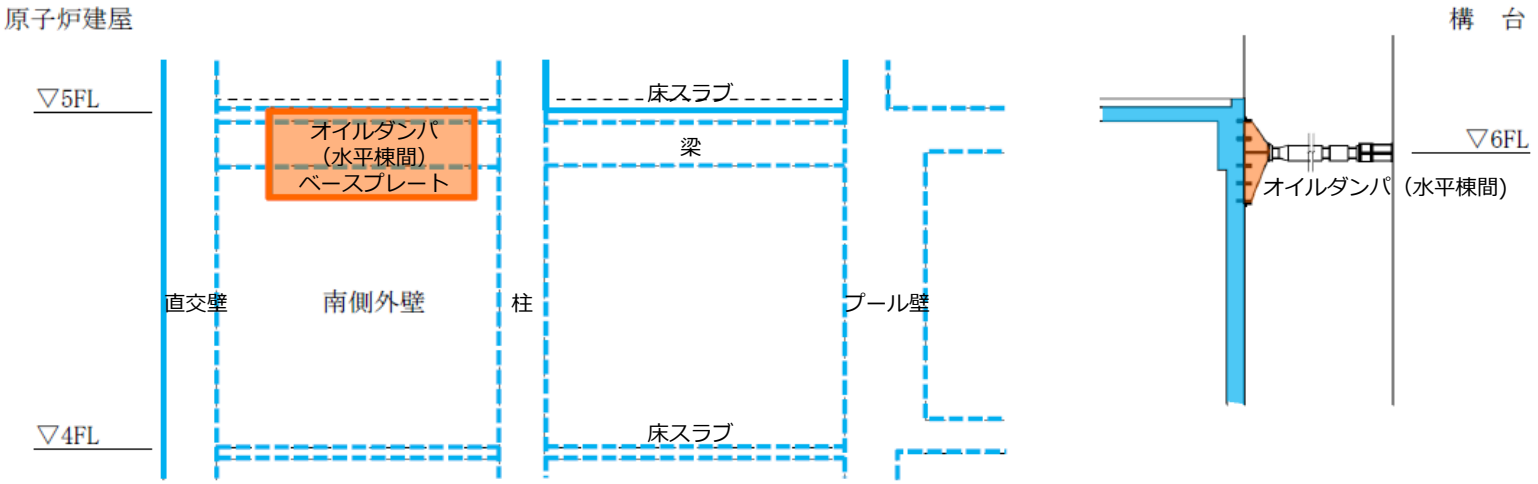


図 4.3.7-2　オイルダンパ（水平棟間）ベースプレート概要図

表 4.3.7-3　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.

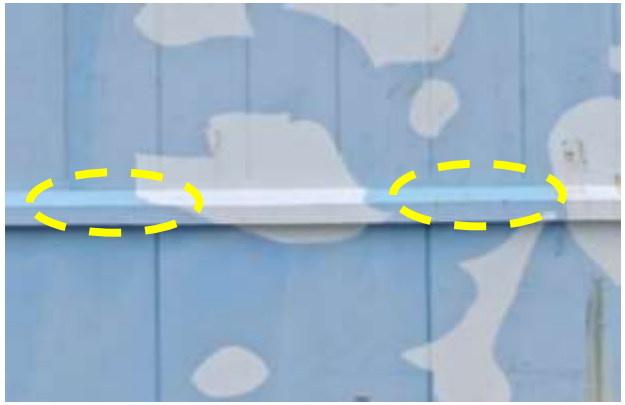
*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

©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）

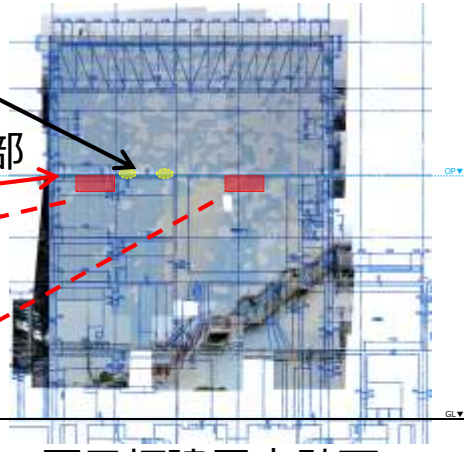
<追加>

- 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。
- 水平棟間ダンパ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。

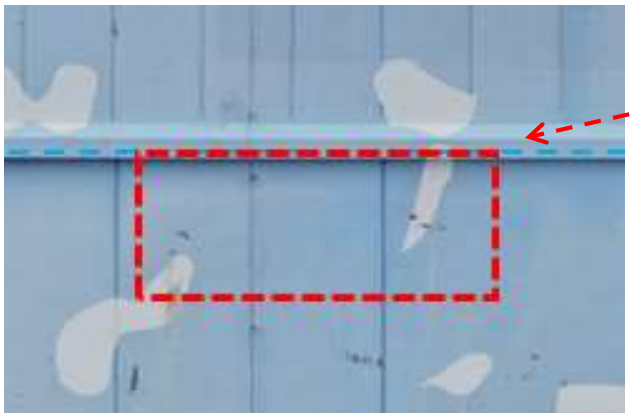


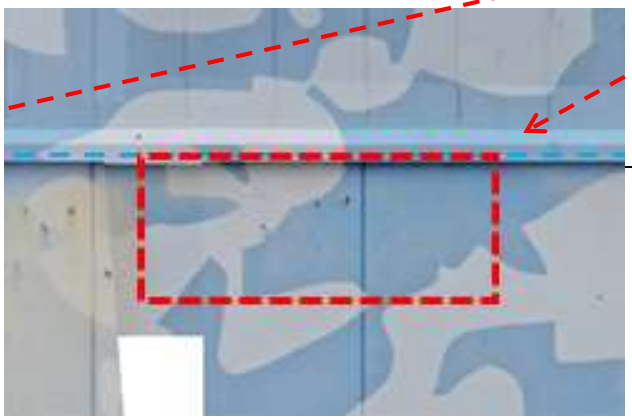
ばね付きオイルダンパ設置部
（外壁付き梁上部）

水平棟間オイルダンパ取り合い部
（アンカープレート位置）



原子炉建屋南壁面
合成写真





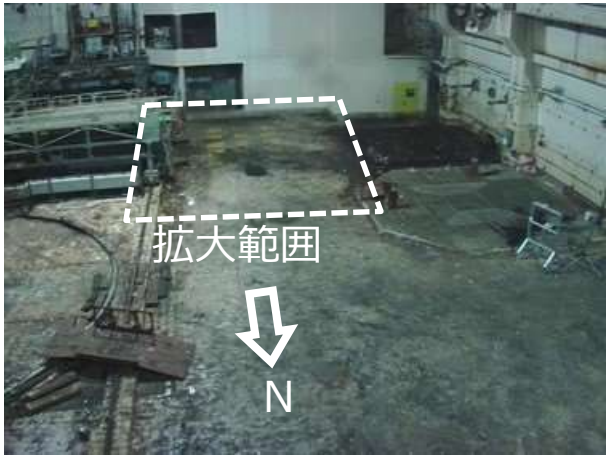
ドローンカメラによる遠隔撮影（2020/6/29）

©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）

<追加>

- 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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

■ 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 4.3.8-1に示す。

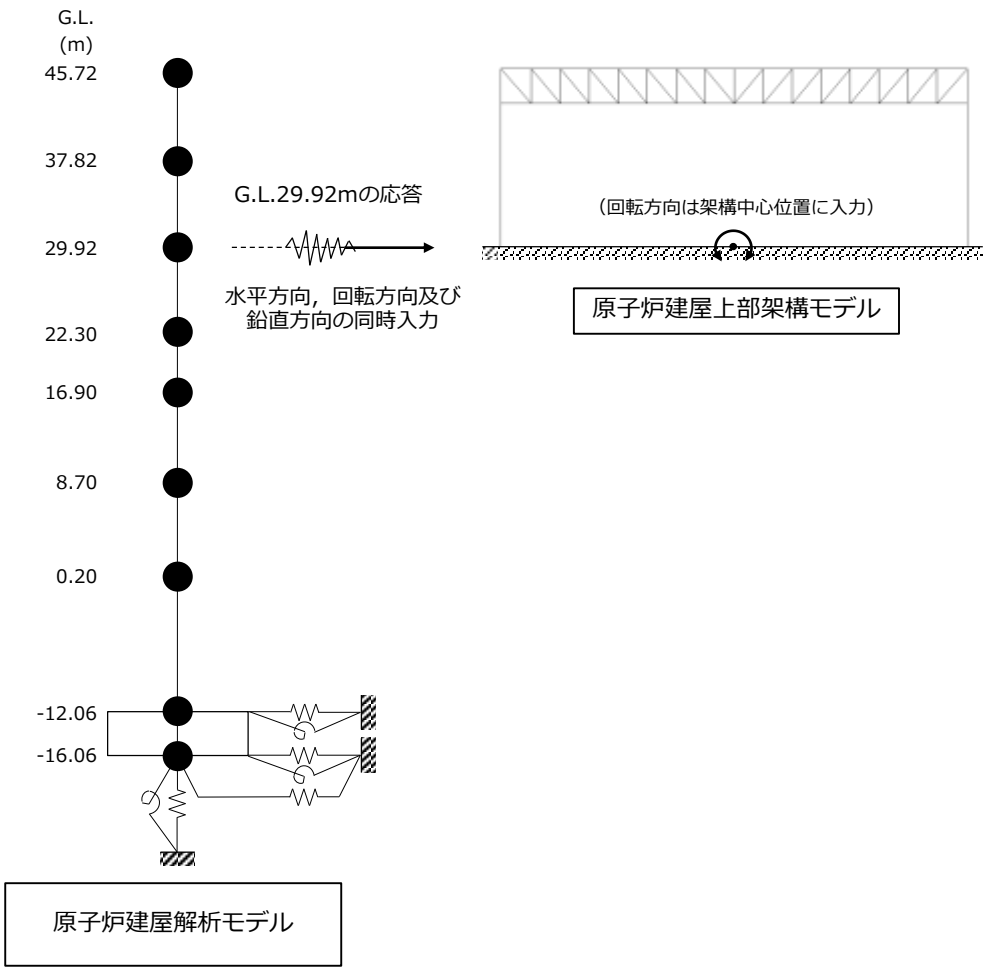


図 4.3.8-1　入力地震動の概念図

©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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

■ 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。

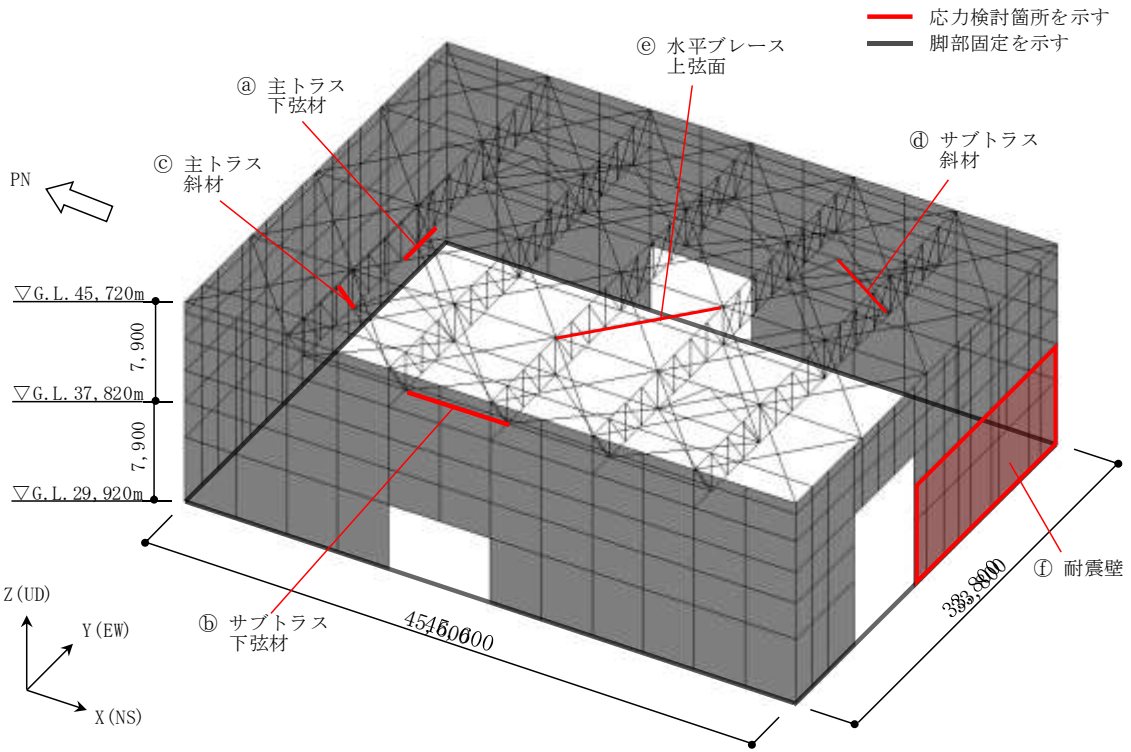


図 4.3.8-2　原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデル

表 4.3.8-1　地震応答解析に用いる物性値

部　位	材　料	ヤング係数 E (N/mm²)	せん断弾性係数 G (N/mm²)	減衰定数 h (%)
屋根	鉄骨	2.05×10^5	7.90×10^4	2
外周部	コンクリート*	2.57×10^4	1.07×10^4	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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 ＜変更なし＞

■ 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（4.0×10^{-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「国土交通省告示第2464号」に定められた基準強度F値の1.1倍を用いる。

©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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

表 4.3.8-2 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/mm²)		許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
主トラス	ⓐ	下弦材	H-400×400×13×21 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	σ_t	108.4	258	0.72	O.K.
					σ_{by}	49.7	190		
					σ_{bz}	7.4	258		
					τ	5.0	148		
サブトラス	ⓑ	下弦材	H-248×249×8×13 <SS400>	Ss-1+EW-UD (A)	σ_c	53.1	142	0.38	O.K.
					σ_{by}	0.0	157		
					σ_{bz}	0.0	258		
					τ	0.0	148		

＊1 :ⓐ, ⓑの符号は図 4.3.8-2 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）

σ_t ：引張応力度の最大値
σ_c ：圧縮応力度の最大値
σ_{by} ：強軸まわりの曲げ応力度の最大値
σ_{bz} ：弱軸まわりの曲げ応力度の最大値
τ ：せん断応力度の最大値

©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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

表4.3.8-3 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 4.3.8-2 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

©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

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

■ 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4.0×10^{-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 4.3.8-4 耐震壁の最大せん断ひずみの検討結果

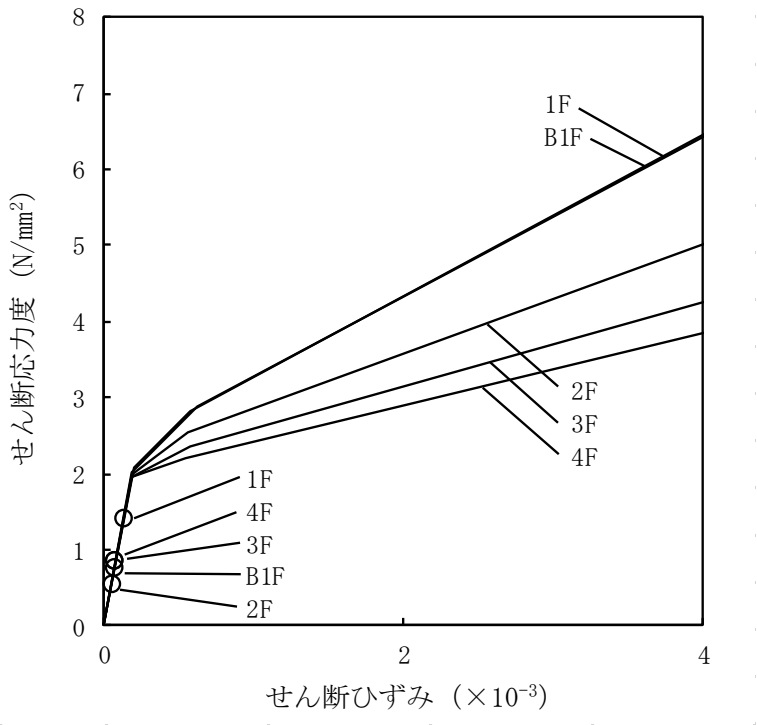
部 位*1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	せん断ひずみ ($\times10^{-3}$)	判定
耐震壁	ⓕ	建屋南側 5F	t=200 <Fc22.1>	Ss-1+EW+UD (A)	0.24	O.K.

＊1：ⓕ の符号は図 4.3.8-2 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）

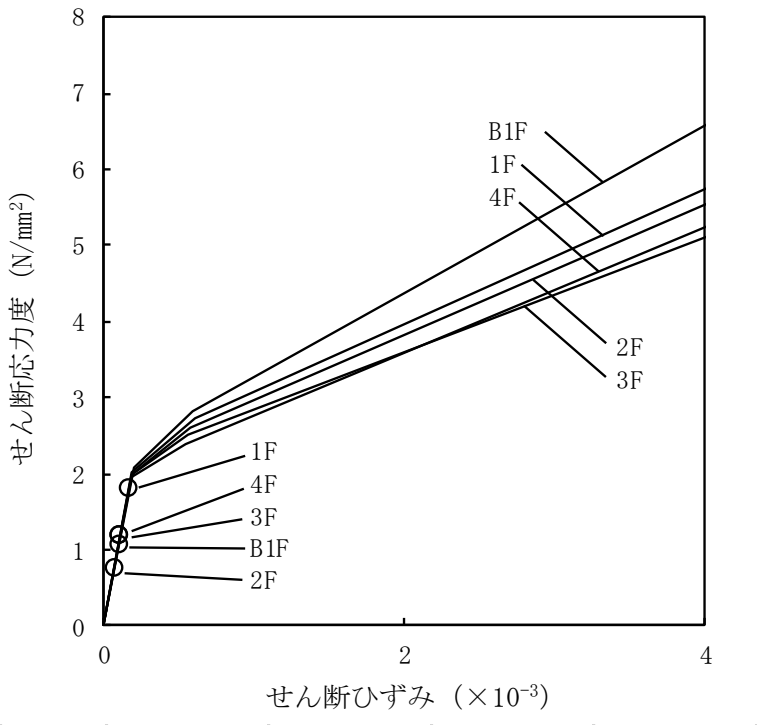
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討 <変更なし>

「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。



(a) NS方向



(b) EW方向

図4.3.8-3　せん断スケルトン曲線上の最大応答値

©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