

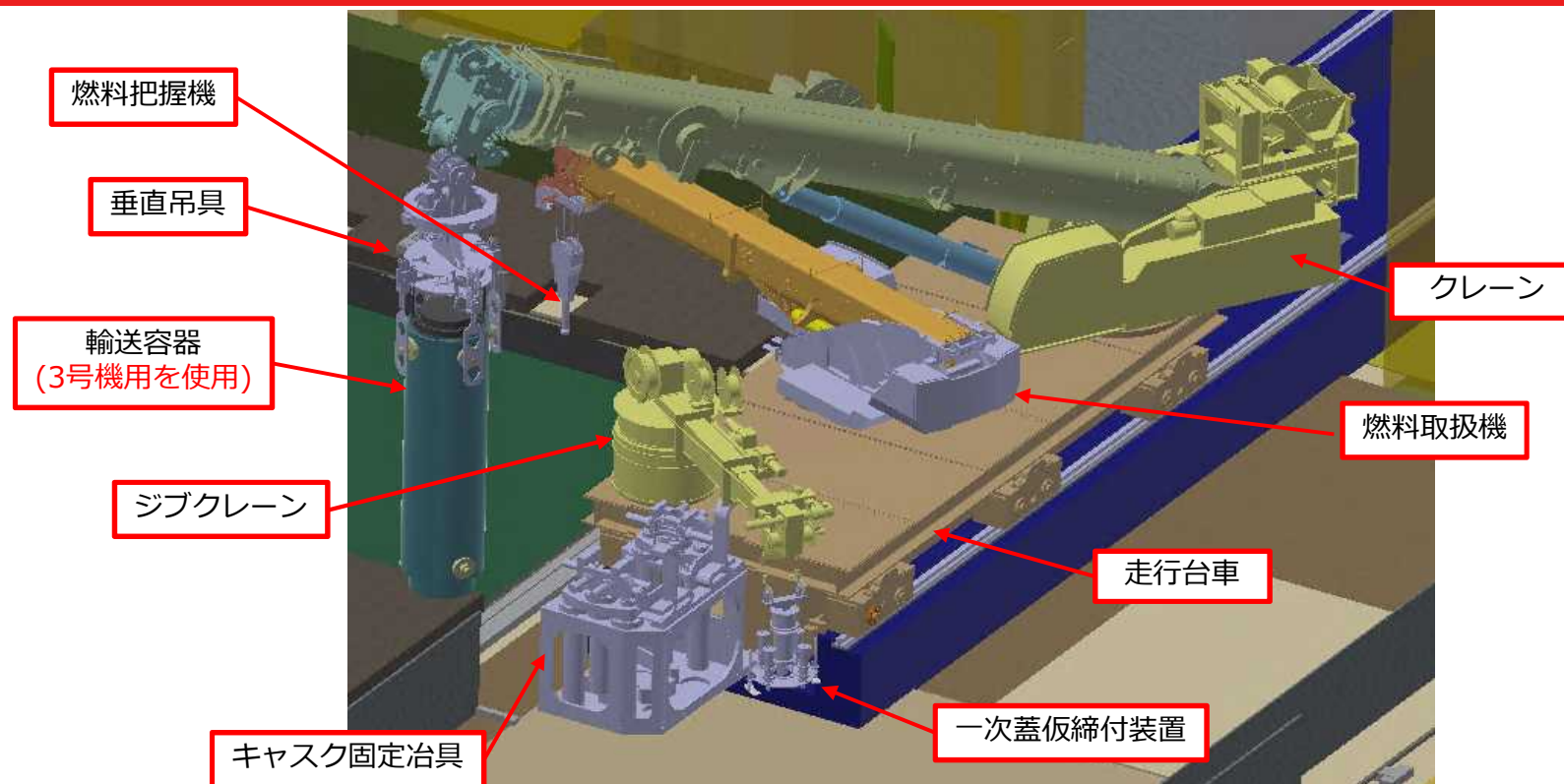
# 2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 の設置について

2021年3月9日（第8回）

The logo for TEPCO, consisting of the letters "TEPCO" in a bold, red, sans-serif font.

---

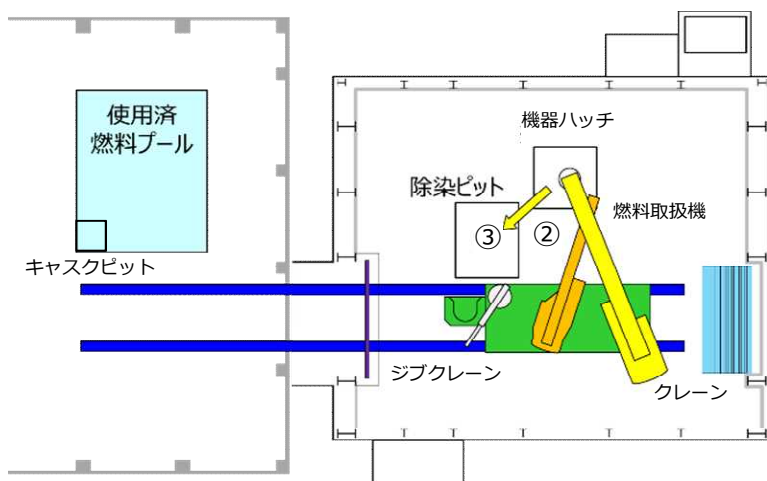
東京電力ホールディングス株式会社



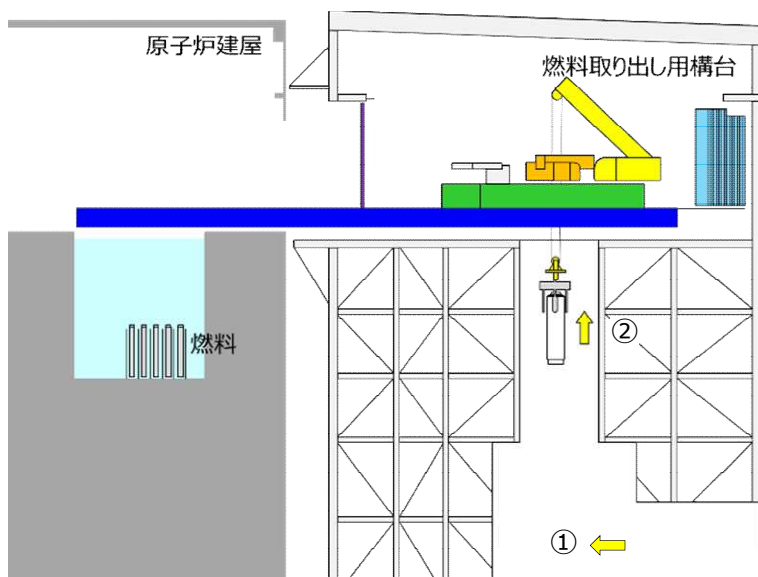
## 構成機器の目的、機能

- **燃料取扱機**：燃料を把持する燃料把握機を介して燃料を輸送容器へ収納する。
- **クレーン**：輸送容器を把持する垂直吊具を介し、原子炉建屋内及び燃料取り出し用構台内で輸送容器を移動する。
- **走行台車**：燃料取扱機、クレーン及びジブクレーンを搭載し、原子炉建屋及び燃料取り出し用構台間を移動する。また、キャスク固定治具を介し原子炉建屋への輸送容器の搬出入を行う。
- **ジブクレーン**：一次蓋仮締付装置を介し、輸送容器の一次蓋の取外し・取付けを行う。
- **キャスク固定治具**：走行台車走行時に輸送容器を積載、固定する。  
(原子炉建屋南側小開口をクレーンで輸送容器を懸架した姿勢では通過できないため)

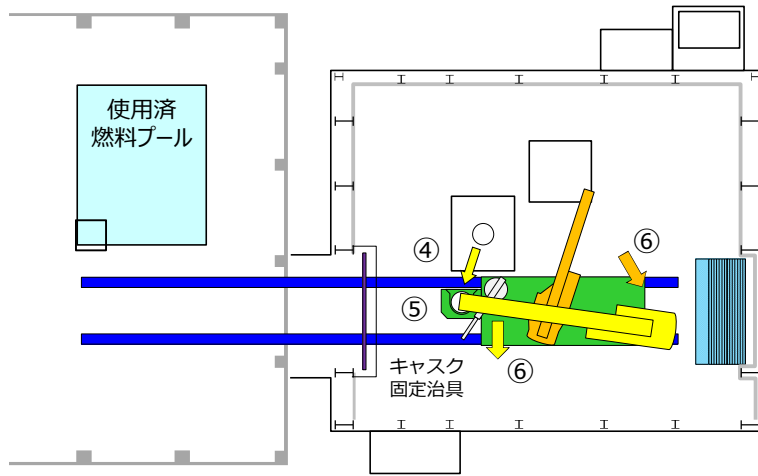
# 燃料取り出し手順 (1/12)



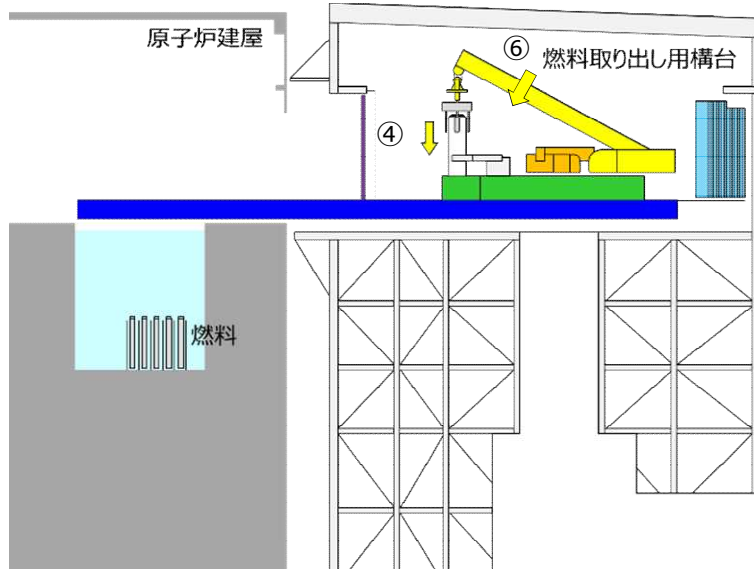
- ① 燃料取り出し用構台へ輸送容器を搬入
- ② 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を前室内まで引き上げ、除染ピットに設置する。
- ③ 除染ピットにて垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、輸送容器の二次蓋を取り外す。



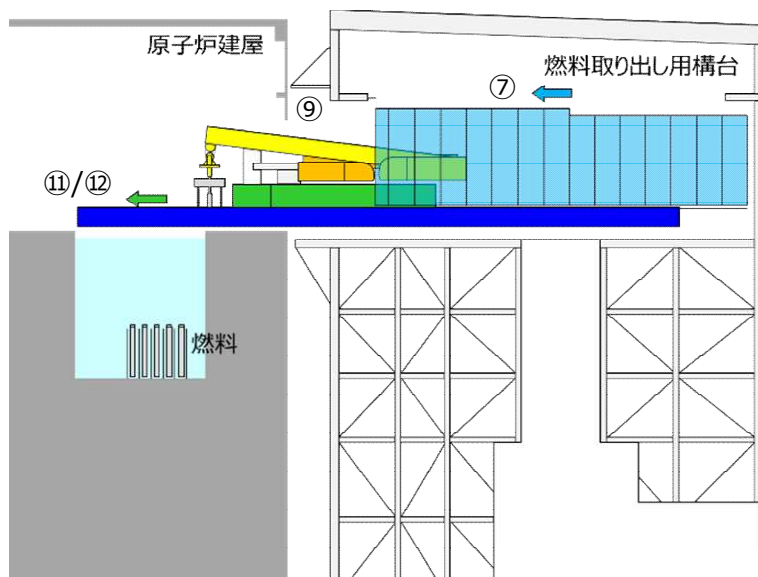
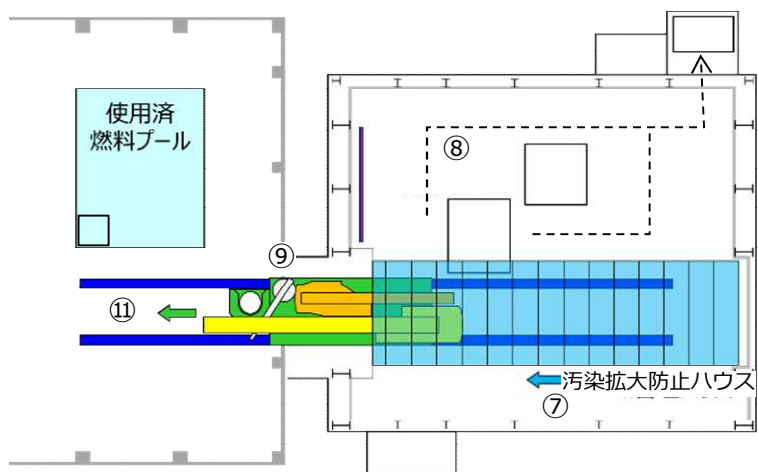
# 燃料取り出し手順 (2/12)



- ④ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を除染ピットからキャスク固定治具に移動する。
- ⑤ 輸送容器をキャスク固定治具にて固定する。  
「キャスク固定治具の概要」参照
- ⑥ 垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、クレーンと燃料取扱機を収納姿勢にする。

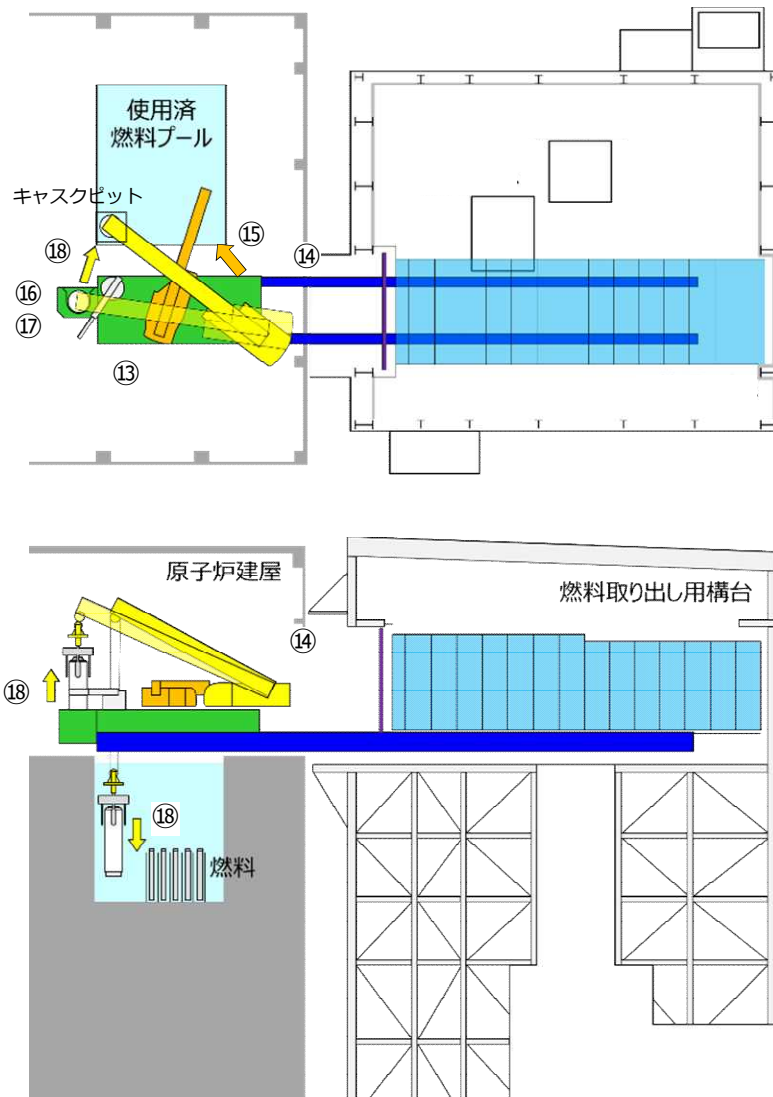


# 燃料取り出し手順 (3/12)



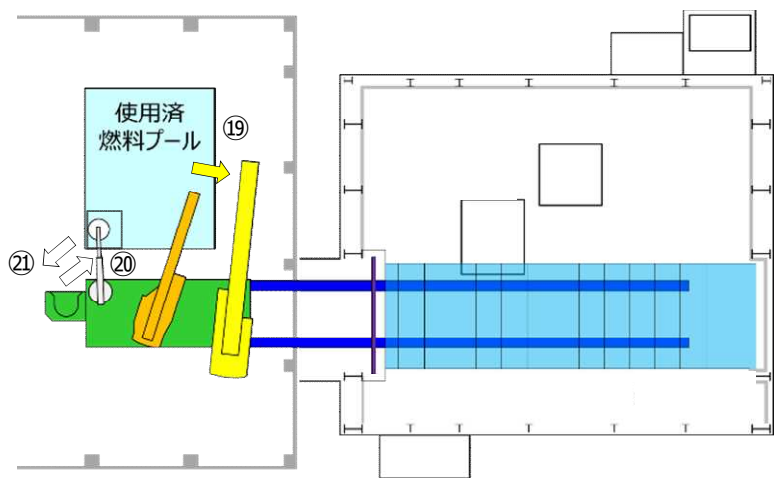
- ⑦ 汚染拡大防止ハウスを展開する。
- ⑧ 前室から作業員を退避させる。  
(以降, 遠隔操作)
- ⑨ 原子炉建屋南側シャッターを開放する。
- ⑩ アウトリガーピンを格納し, ランウェイガータとの固定を解除する。  
(「アウトリガーピンの概要」参照)
- ⑪ 燃料取扱設備を原子炉建屋内に移動する。
- ⑫ 所定の位置で燃料取扱設備の移動を停止する。

# 燃料取り出し手順 (4/12)

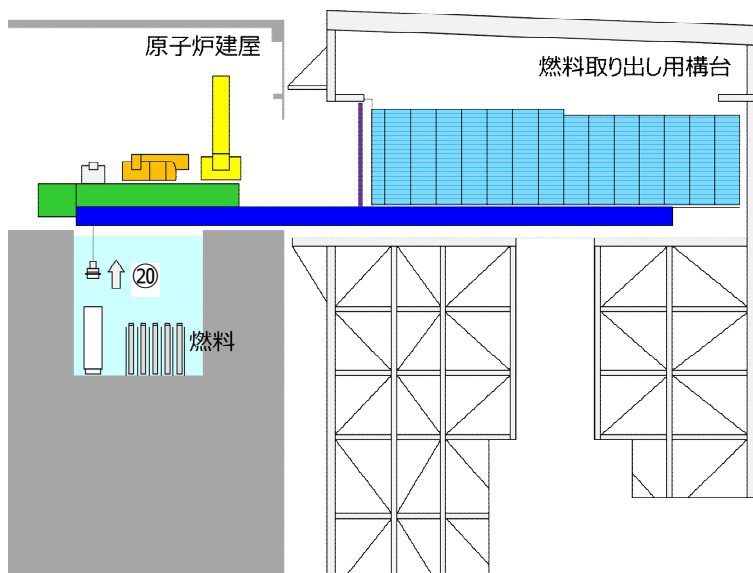


- ⑬ アウトリガーピンを展開し，燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。
- ⑭ 原子炉建屋南側シャッターを閉止する。
- ⑮ 燃料取扱機を退避姿勢とする。
- ⑯ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を把持する。
- ⑰ 輸送容器のカスク固定治具による固定を解除する。
- ⑱ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をカスク固定治具からカスクピットに移動する。

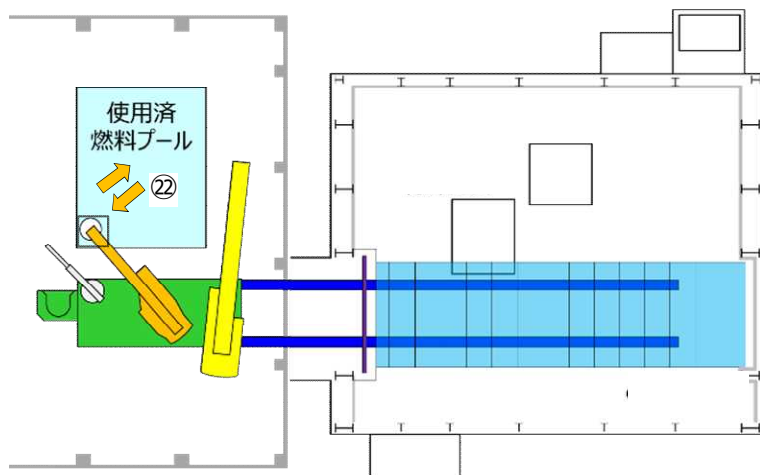
# 燃料取り出し手順 (5/12)



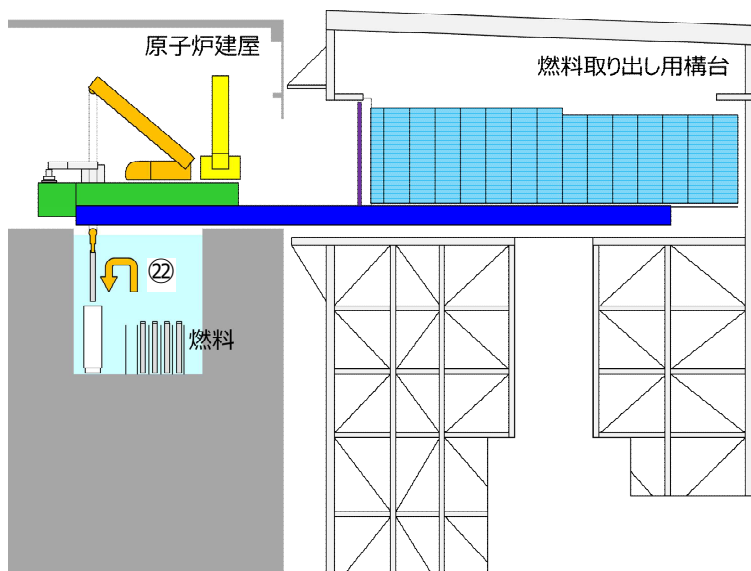
- ①⑨ クレーンを退避姿勢にする。
- ②⑩ ジブクレーンをキャスクピット上に移動し、  
輸送容器一次蓋を取り外す。
- ②⑪ ジブクレーンを退避姿勢にする。



# 燃料取り出し手順 (6/12)

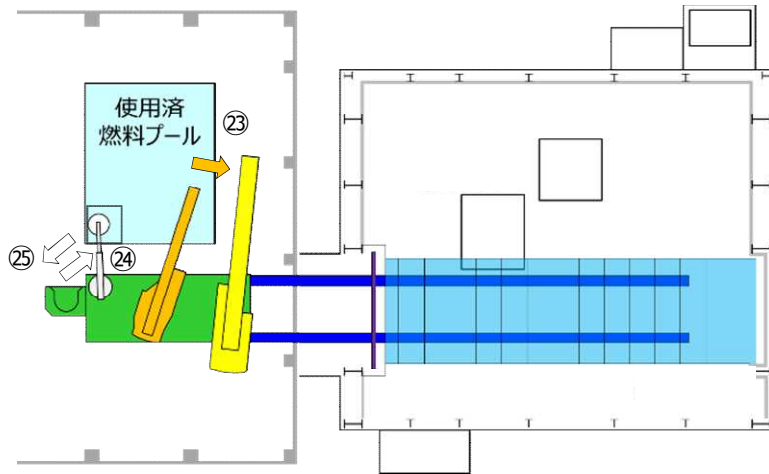


- ② 燃料把握機を介し燃料取扱機にて燃料7体を1体ずつ使用済燃料貯蔵ラックから輸送容器に移動する。

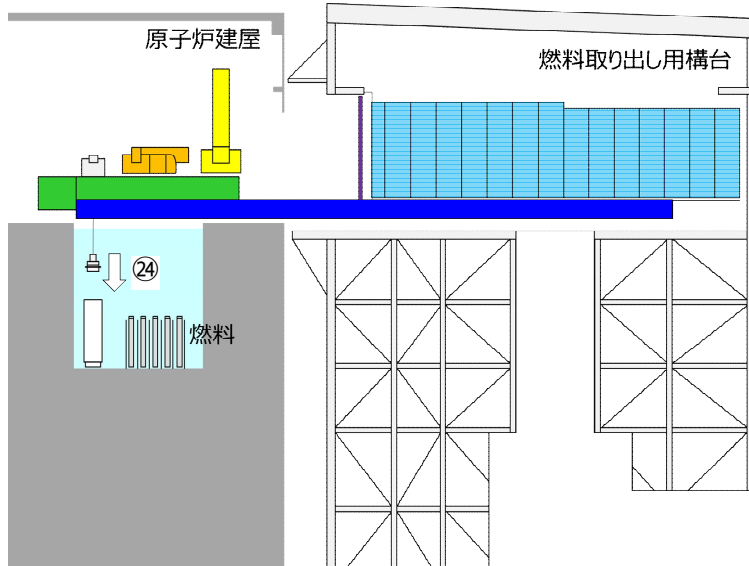




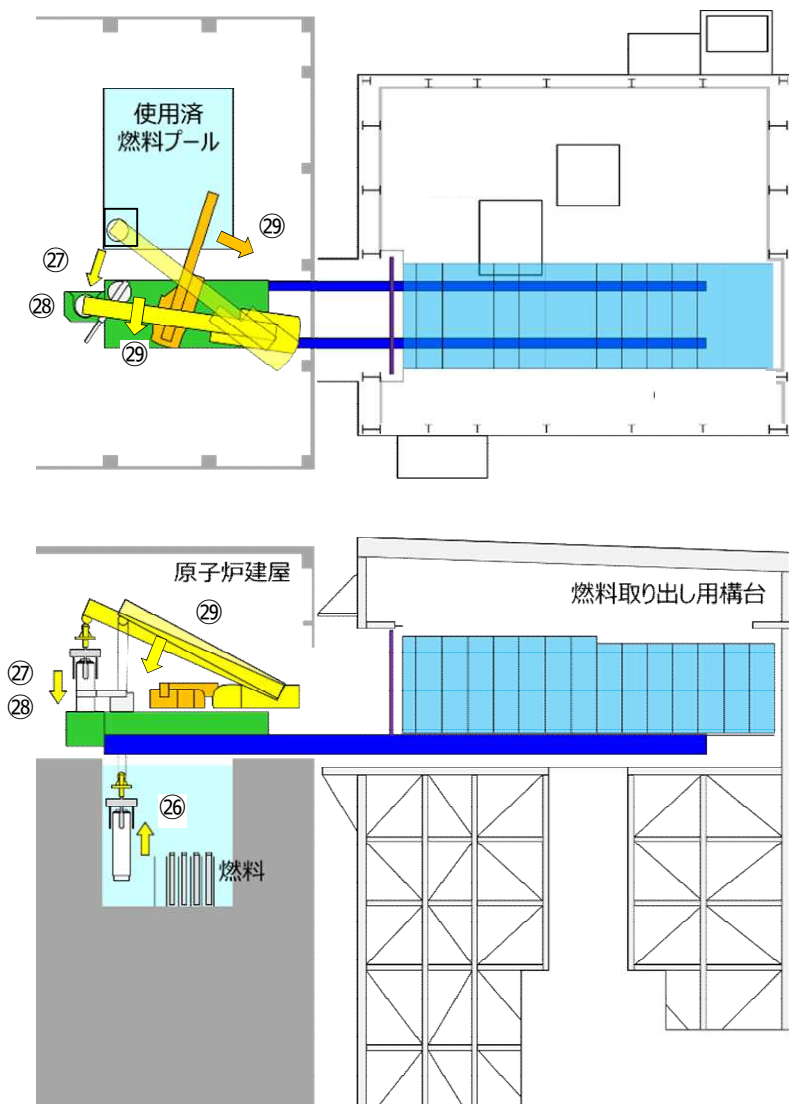
# 燃料取り出し手順 (7/12)



- ②③ 燃料取扱機を退避姿勢にする。
- ②④ ジブクレーンをキャスクピット上に移動し、輸送容器一次蓋を取りつける。
- ②⑤ ジブクレーンを退避姿勢にする。

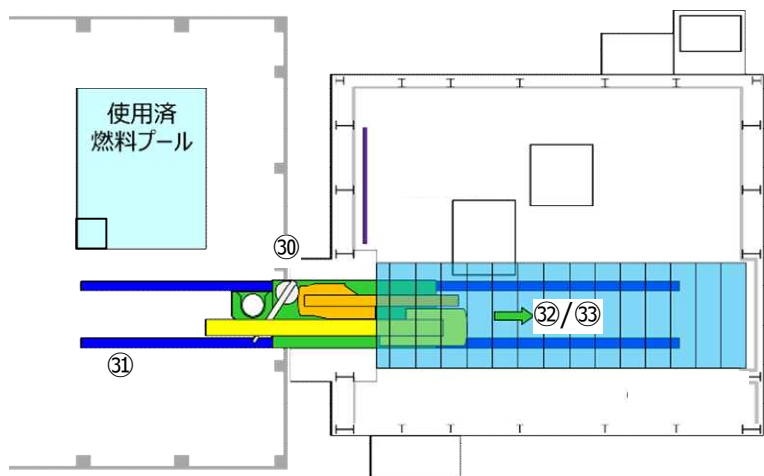


# 燃料取り出し手順 (8/12)

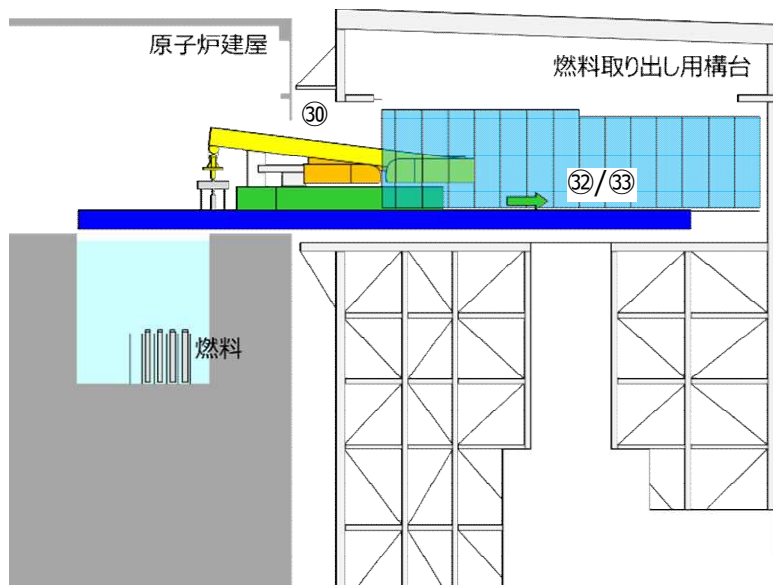


- ②⑥ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をキャスクピットから吊り上げる。クレーンの上昇動作に合わせてキャスク表面のプール水を洗浄する。
- ②⑦ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をキャスクピット上からキャスク固定治具に移動する。
- ②⑧ 輸送容器をキャスク固定治具にて固定する。
- ②⑨ 垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、クレーンと燃料取扱機を収納姿勢にする。

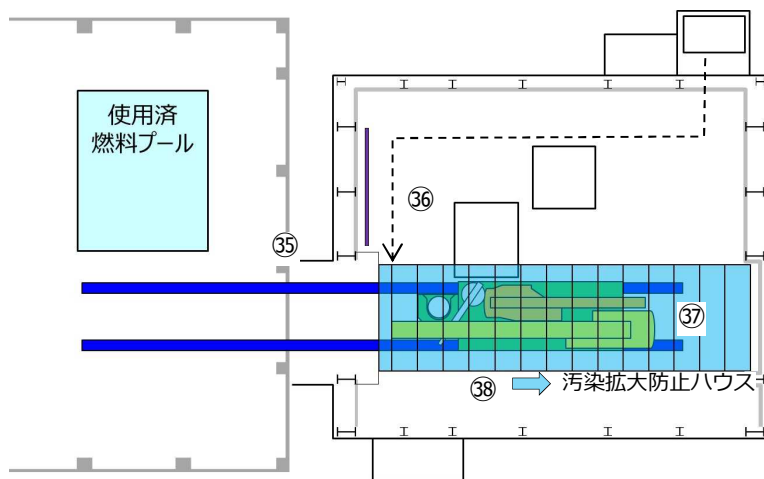
# 燃料取り出し手順 (9/12)



- ③0 原子炉建屋南側シャッターを開放する。
- ③1 アウトリガーピンを格納する。
- ③2 燃料取扱設備を燃料取り出し用構台前室内に移動する。
- ③3 所定の位置で燃料取扱設備の移動を停止する。



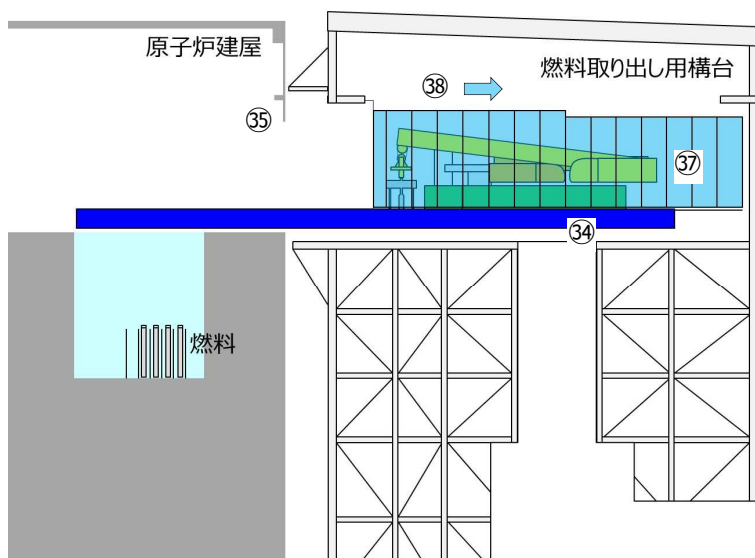
# 燃料取り出し手順 (10/12)



③④ アウトリガーピンを展開し，燃料取扱設備をランウェイガードに固定する。

③⑤ 原子炉建屋南側シャッターを閉止する。

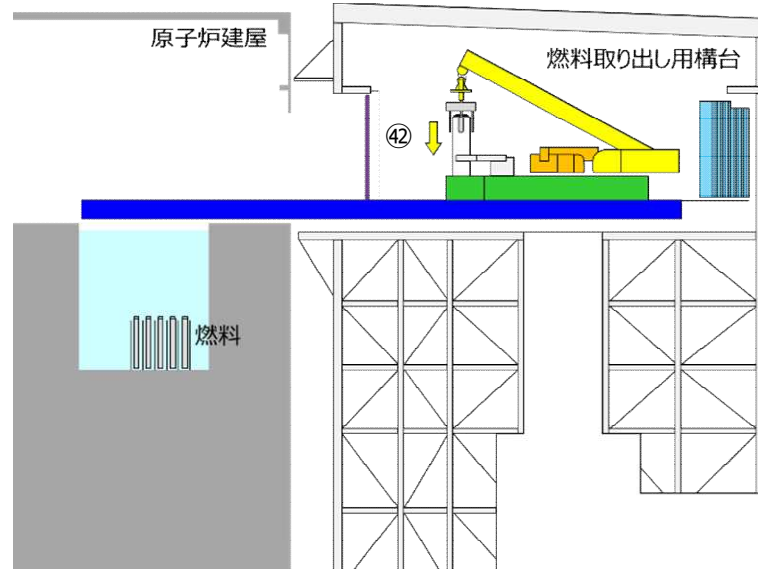
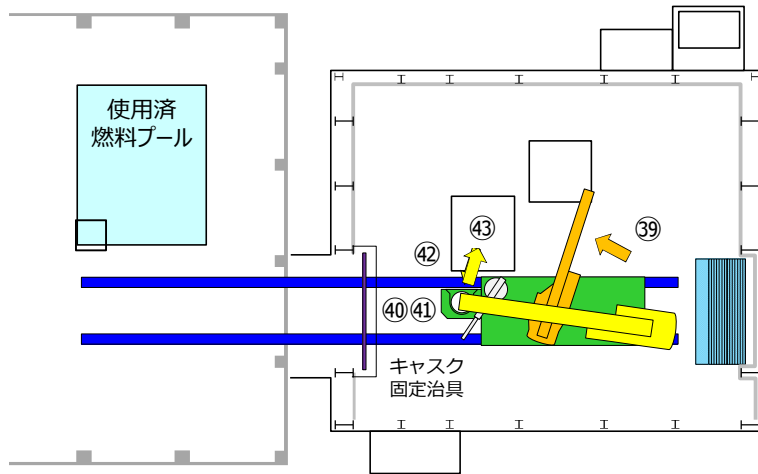
③⑥ エリア放射線モニタに変動のないことを確認し，作業員を前室に入れる。  
(以降，有人作業)



③⑦ 汚染拡大防止ハウス内で輸送容器及び燃料取扱設備表面の汚染の有無を確認する。(汚染部はふき取り除染)

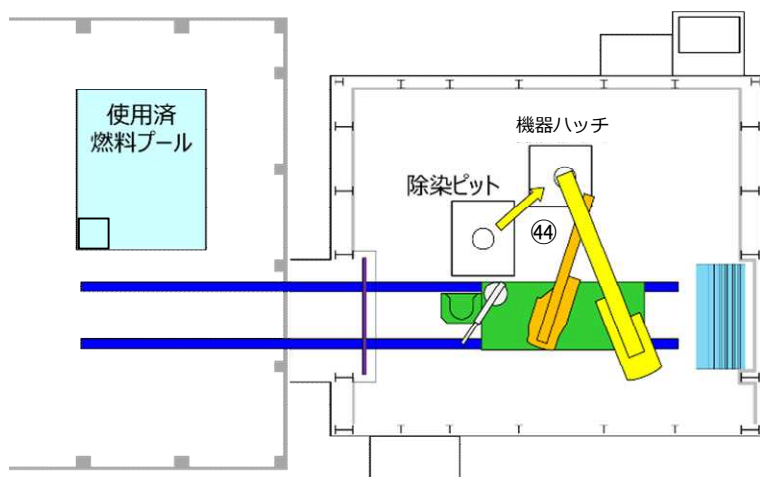
③⑧ 輸送容器及び燃料取扱設備表面に汚染のないことを確認し，汚染拡大防止ハウスを収納する。

# 燃料取り出し手順 (11/12)



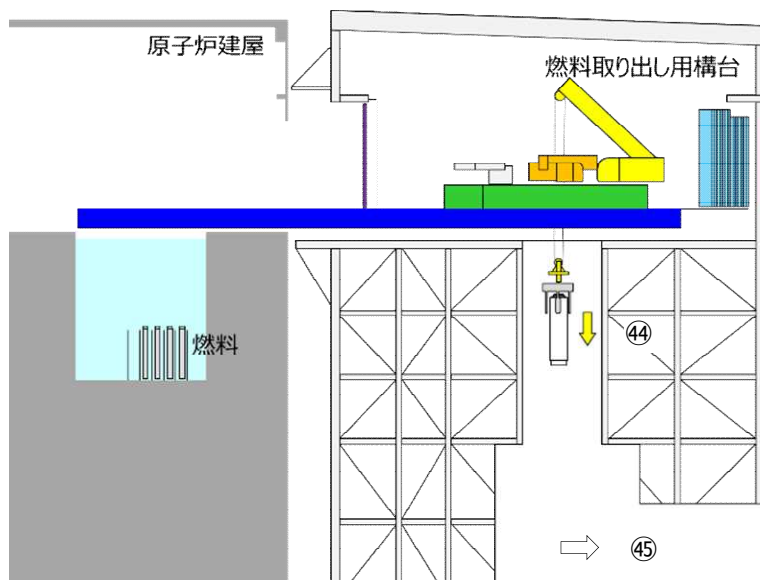
- ③⑨ 燃料取扱機を退避姿勢にする
- ④⑩ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を把持する。
- ④⑪ 輸送容器のカスク固定治具による固定を解除する。
- ④⑫ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をカスク固定治具から除染ピットに移動する。
- ④⑬ 除染ピットにてカスク表面の拭き取り除染，二次蓋の取付を行う。

# 燃料取り出し手順 (12/12)



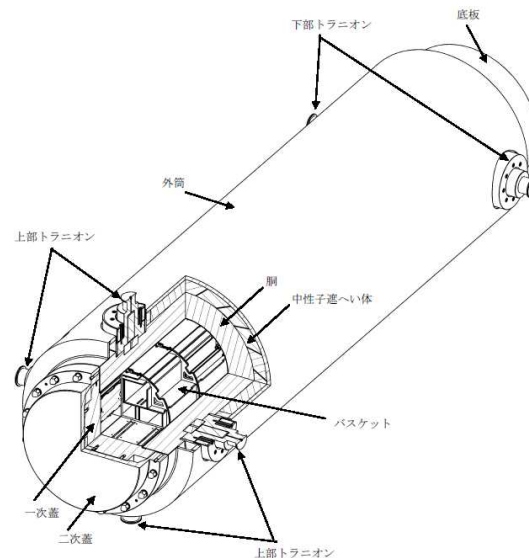
④④ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を  
除染ピットから地上階に吊り下ろす。

④⑤ 燃料取り出し用構台から輸送容器を搬出する。



■ 各機器の定格荷重の設定根拠を示す。

項目	定格荷重	根拠
燃料取扱機	1t	✓ 破損燃料（ワイヤ補修燃料）の取扱のため、既設の燃料取扱機の定格荷重460kgに倍以上の設計裕度を設け、左記定格荷重とした
クレーン	47t	✓ 輸送容器（3号機用を使用）の重量46.3t
ジブクレーン	3.9t	✓ 輸送容器の一次蓋重量1.25t



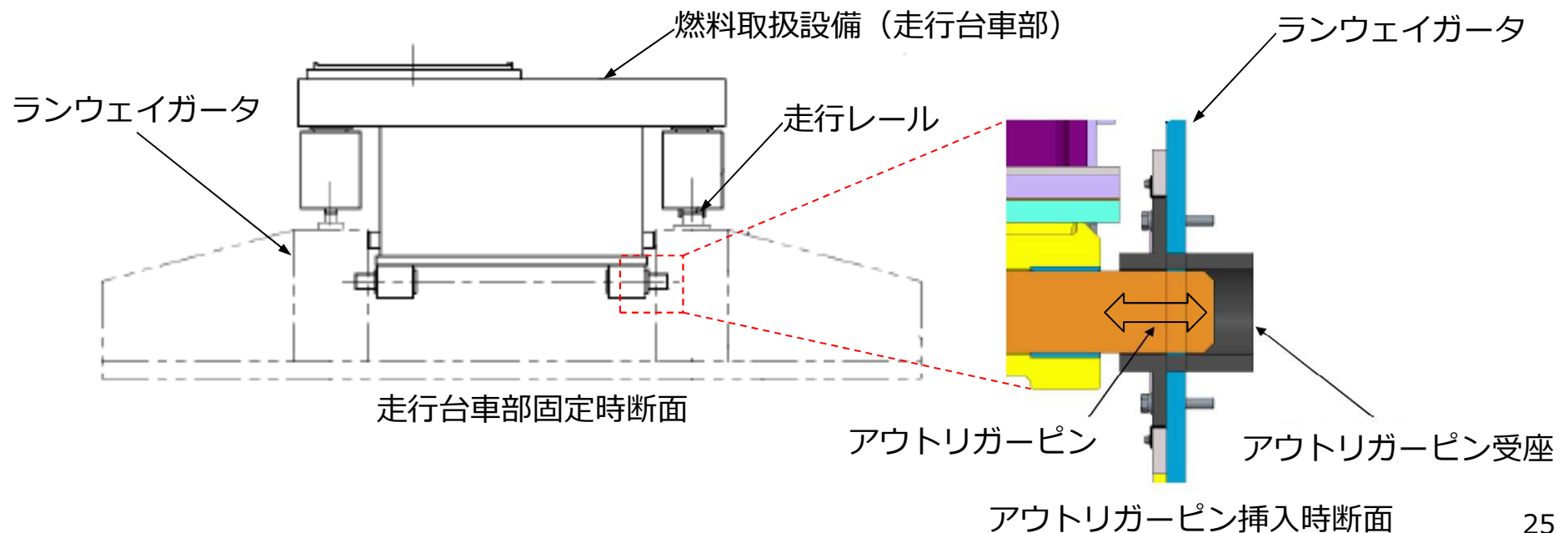
輸送容器（3号機用） 概要図

## ■ 目的

燃料取扱設備の揚重作業時の地震時の転倒を防止するため、燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。

## ■ 概要

- アウトリガーピンは燃料取扱設備走行台車部下面4箇所を設置される。
- 燃料取扱設備停止位置に設けるアウトリガーピン受座にアウトリガーピンを挿入することで燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。
- 走行台車停止位置は原子炉建屋内、燃料取り出し用構台前室内の二カ所。



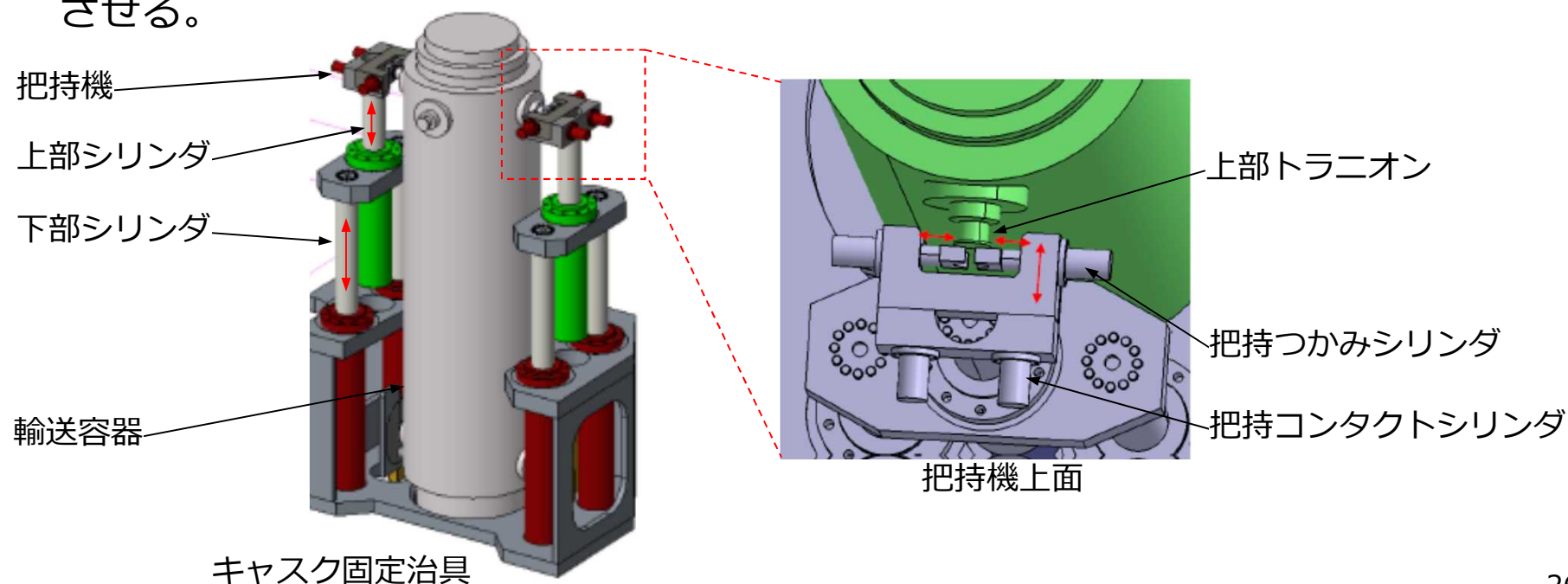


## ■ 目的

燃料取扱設備が原子炉建屋，燃料取り出し用構台間を移動する際に，輸送容器の転倒を防止するための機器。

## ■ 概要

- 把持機を介して輸送容器の上部トラニオンを固定する。
- 輸送容器取扱時は垂直吊具もしくはキャスク固定治具にて常に支持された状態とすることで輸送容器の転倒を防止する。
- 格納状態ではジブクレーンとの干渉を回避するため上部／下部シリンダを収縮させる。



# 説明スケジュール

■ 本申請内容は、下記スケジュールに沿って説明する。

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											
回	説明内容(実施計画の構成に基づいて説明)	2020年度						2021年度					
		12月	1月		2月		3月		4月	5月	6月		
全体スケジュール		申請(12/25) ▼	監視評価検討会(1/25) ▼					コメント	回答期間		規制庁取扱い 補正申請予定 ▼	締め期間	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	第1回(12/25) ▼											
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2回(1/13) ▼								第10回(3/22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3回(1/21) ▼				第8回(3/9) ▼	第9回(3/17) ▼				
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4回(1/28) ▼				第8回(3/9) ▼	第9回(3/17) ▼				
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5回(2/4) ▼						第11回(3/29週) ▼		
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6回(2/10) ▼					第11回(3/29週) ▼		
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7回(2/18) ▼					第11回(3/29週) ▼		
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12回(補正申請後に実施) ▼		

- 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

# 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

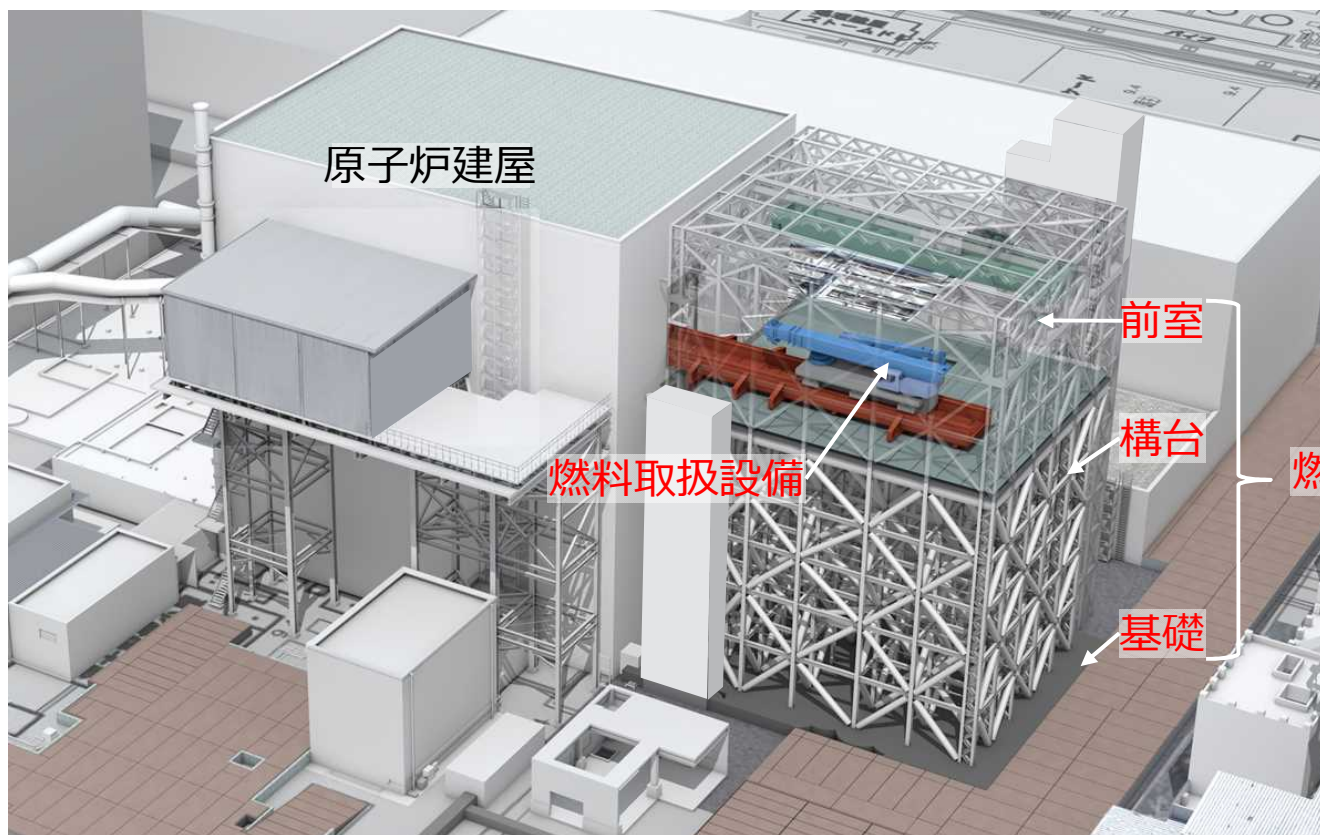
**TEPCO**

---

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。



赤字：新設設備

燃料取り出し用構台概念図（鳥瞰図）

## 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ドから構成され、ランウェイガード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 $S_s$ 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。

## 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。
- 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。水平方向は構台からの片持形式である。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。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はばね付きオイルダンパを設置する。弾性支承と同様に、ばね付きオイルダンパと原子炉建屋床面の固定は行わない。

## オイルダンパ，弾性支承の設置目的・役割

### ■ 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

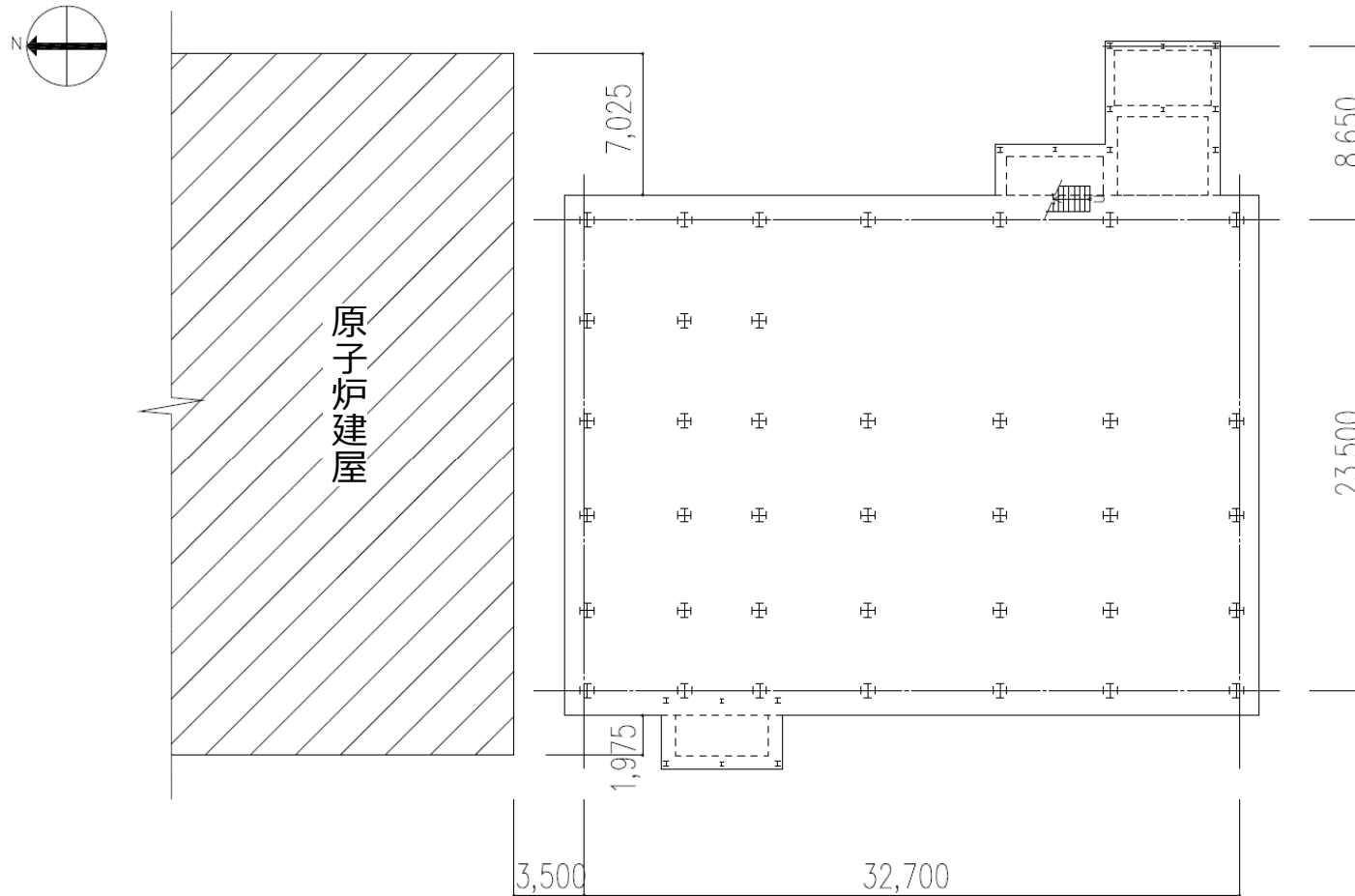
ランウェイガーダ～オペフロ床間にオイルダンパ(バネ付)を設置し，ランウェイガーダの鉛直方向加速度応答スペクトルの低減を図る。

### ■ 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到に用いている。免震で用いる弾性支承を用いることにより安全に鉛直荷重を支持することができる。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。



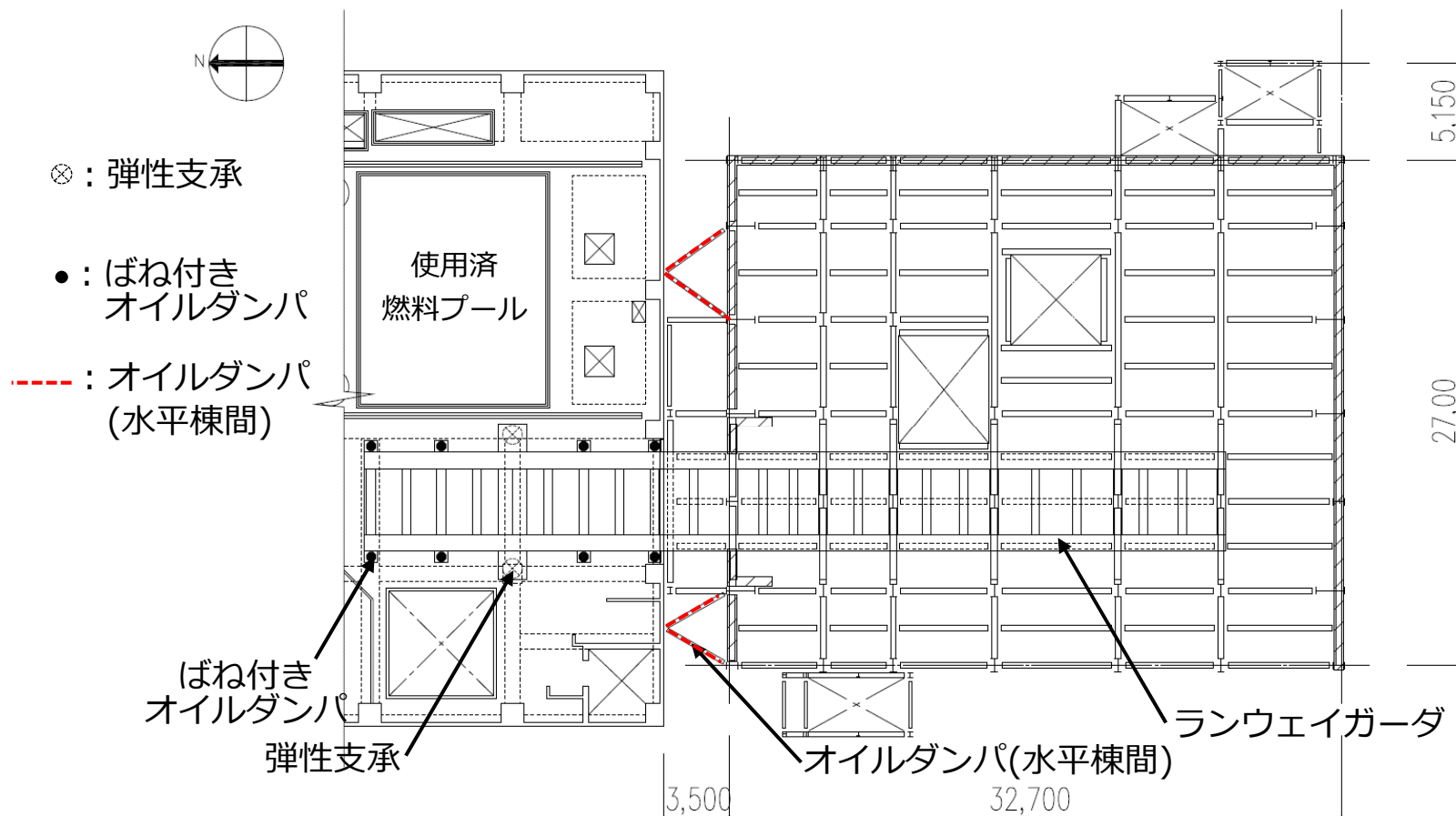
## 4.1.2 構造概要 (燃料取り出し用構台)



(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)

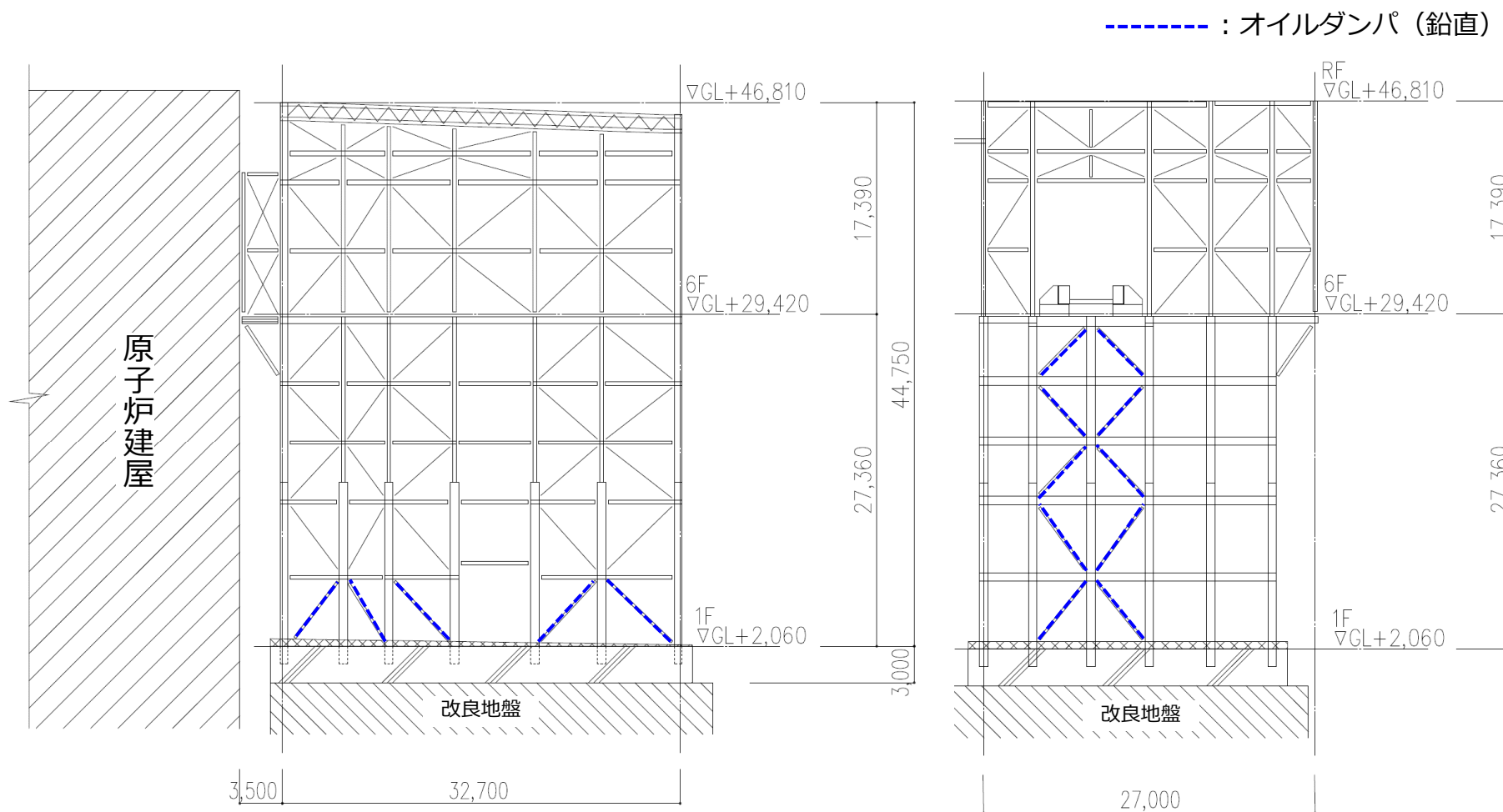
## 4.1.2 構造概要 (燃料取り出し用構台)



(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)

## 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

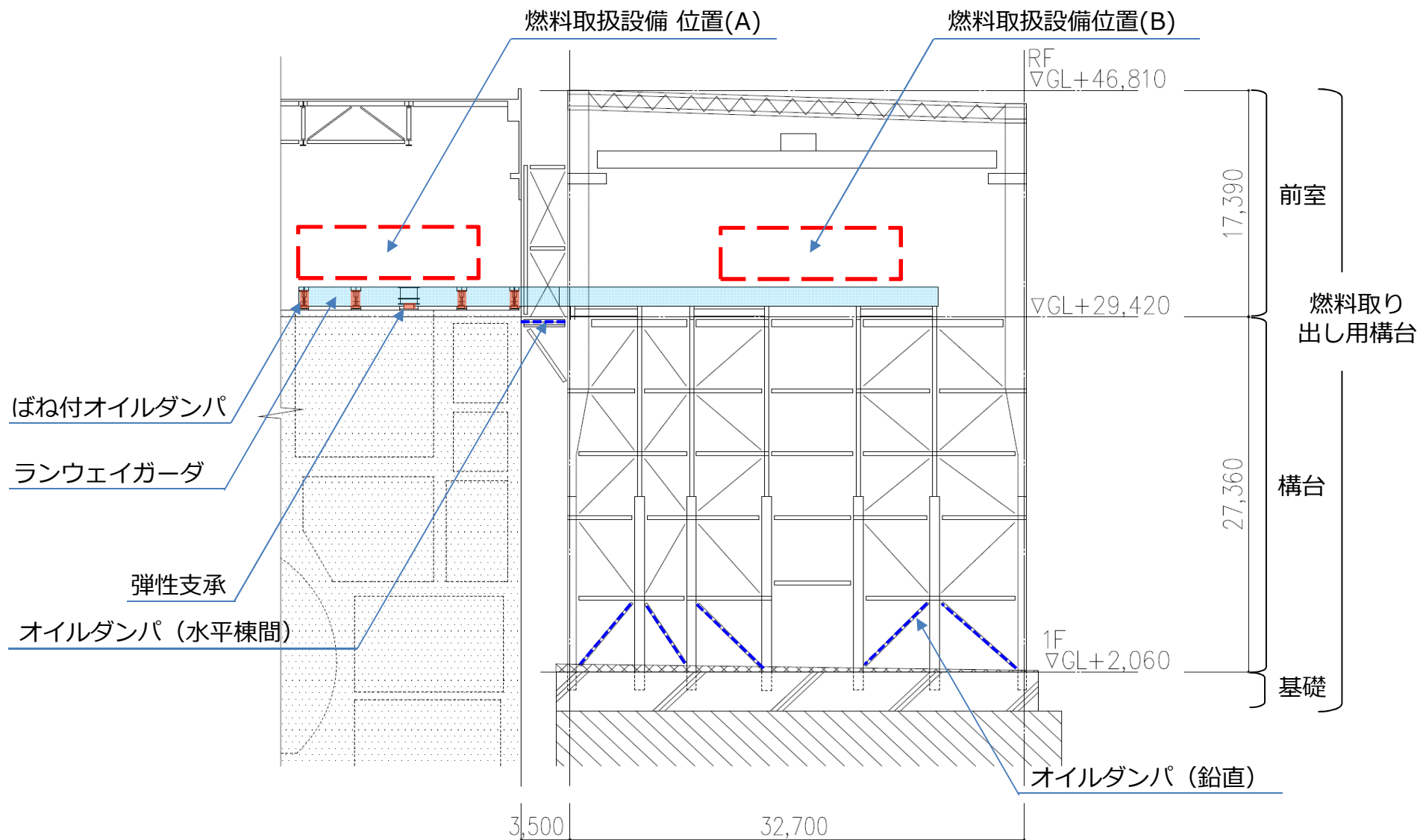


(a) 構台最西側軸組図

(b) 構台最北側軸組図

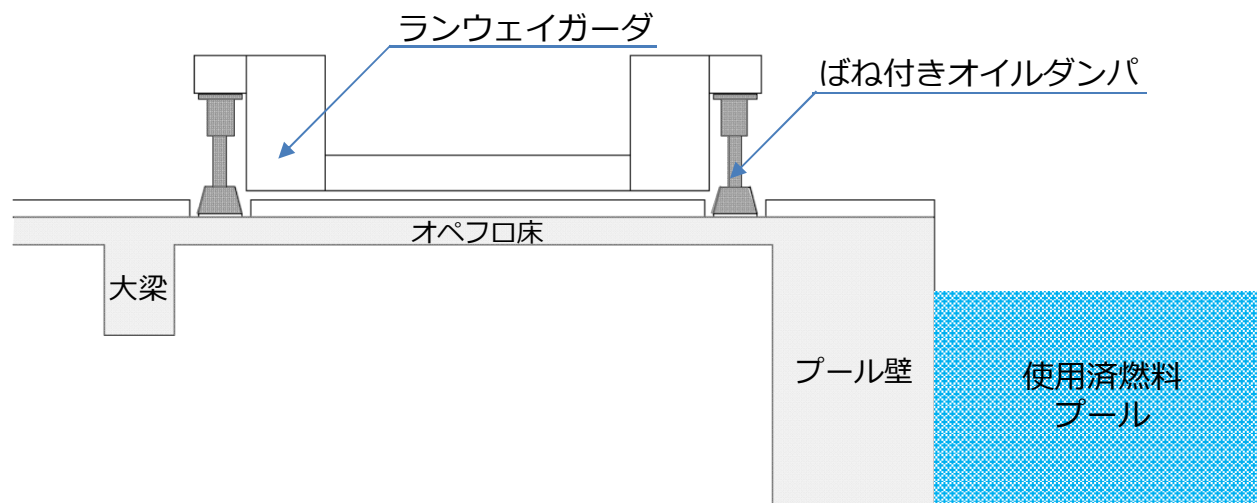
図 4.1.2-3 燃料取り出し用構台の概要（単位：mm）

# オイルダンパ，弾性支承の配置

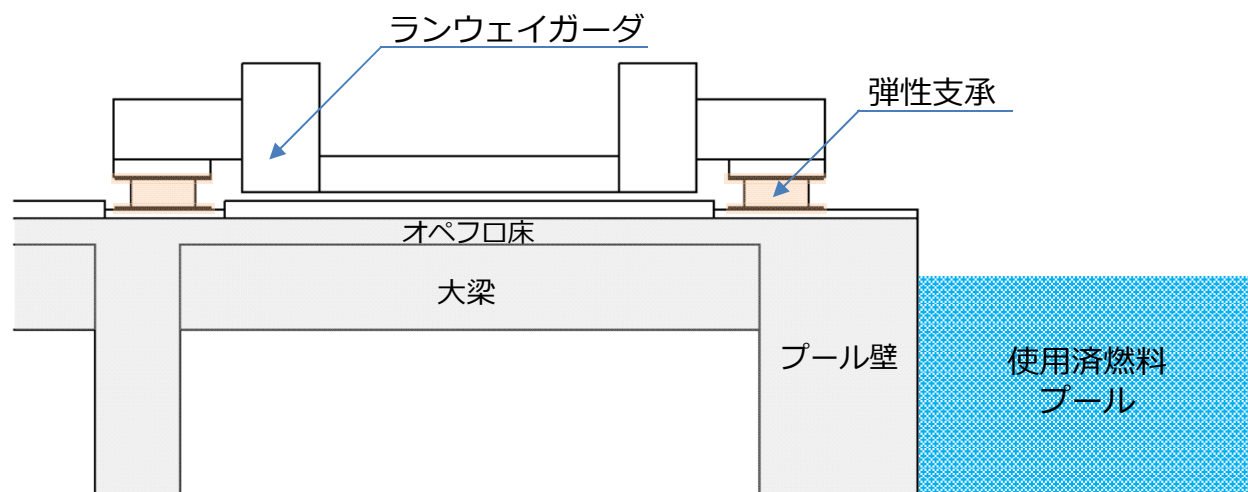


ランウェイガード部断面図

# オイルダンパ，弾性支承の配置



ばね付きオイルダンパ部



弾性支承部

## 4.1.3 検討フロー

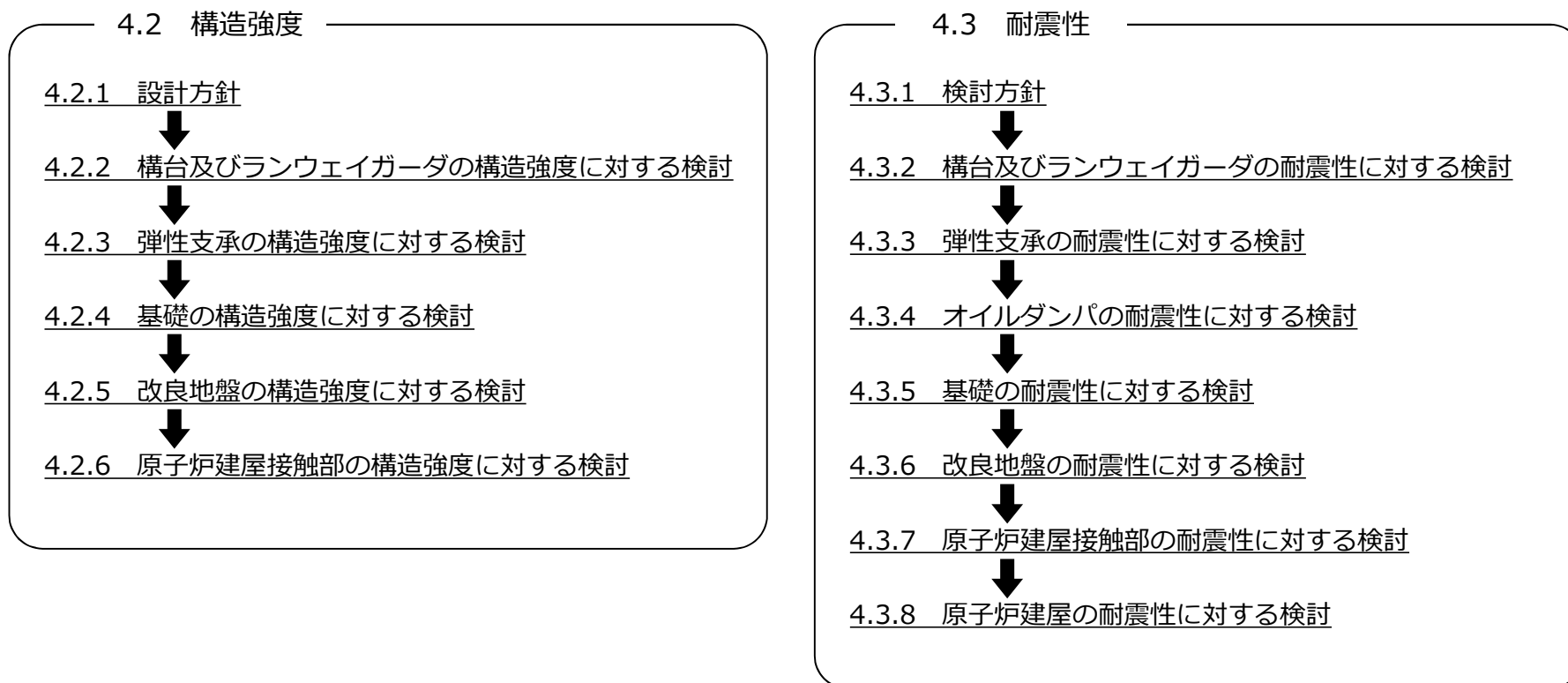


図 4.1.3-1 燃料取り出し用構台の検討フロー

## 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 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 <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

## 4.2.1 設計方針

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/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
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/mm <sup>2</sup> )
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。



## 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	
積層ゴム	ゴム径 (mm)	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。

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

\* 1 : 設計圧縮強度 = 5000kN/m<sup>2</sup>

\* 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 <sup>2</sup> )		
種別	長期* <sup>3</sup>	短期* <sup>3</sup>
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。

## 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、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 <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 4.2.1-6,7 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	—	—	—	—	—

## 4.2.1 設計方針

### ■ 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。

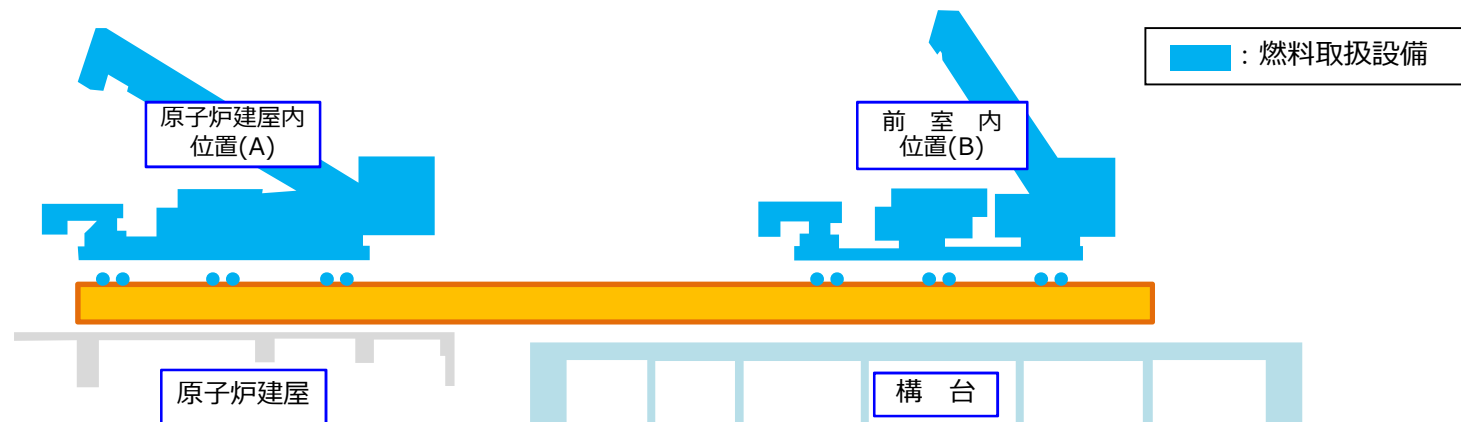


図 4.2.1-1 燃料取扱設備の位置

## 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。

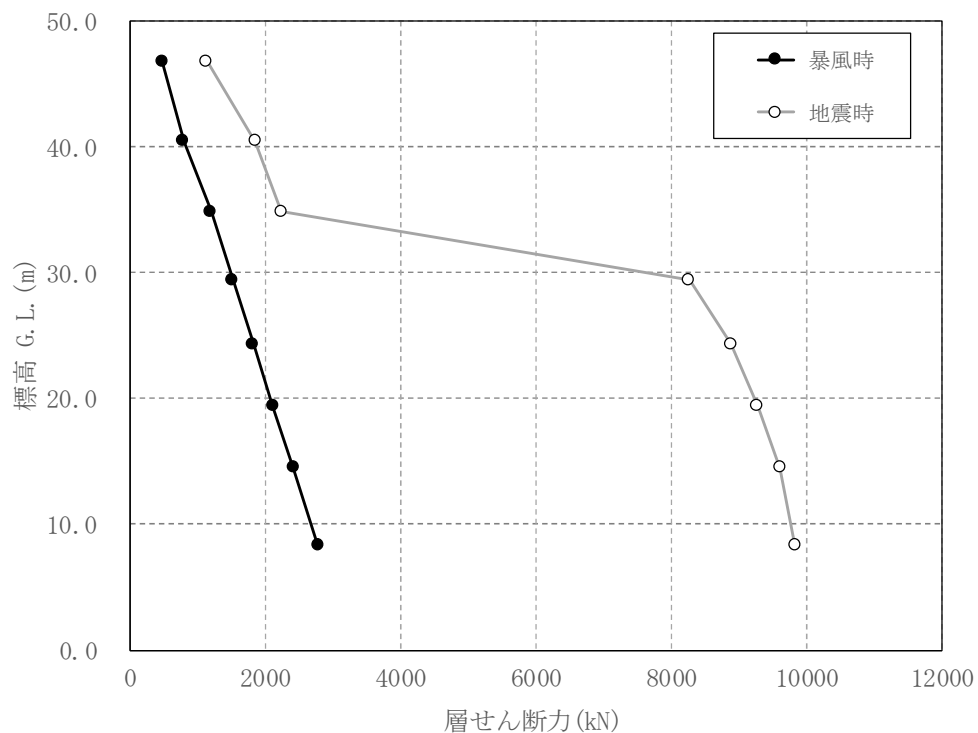


図4.2.1-2 地震時と暴風時の層せん断力の比較 (EW方向)

## 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**

### ■ 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。

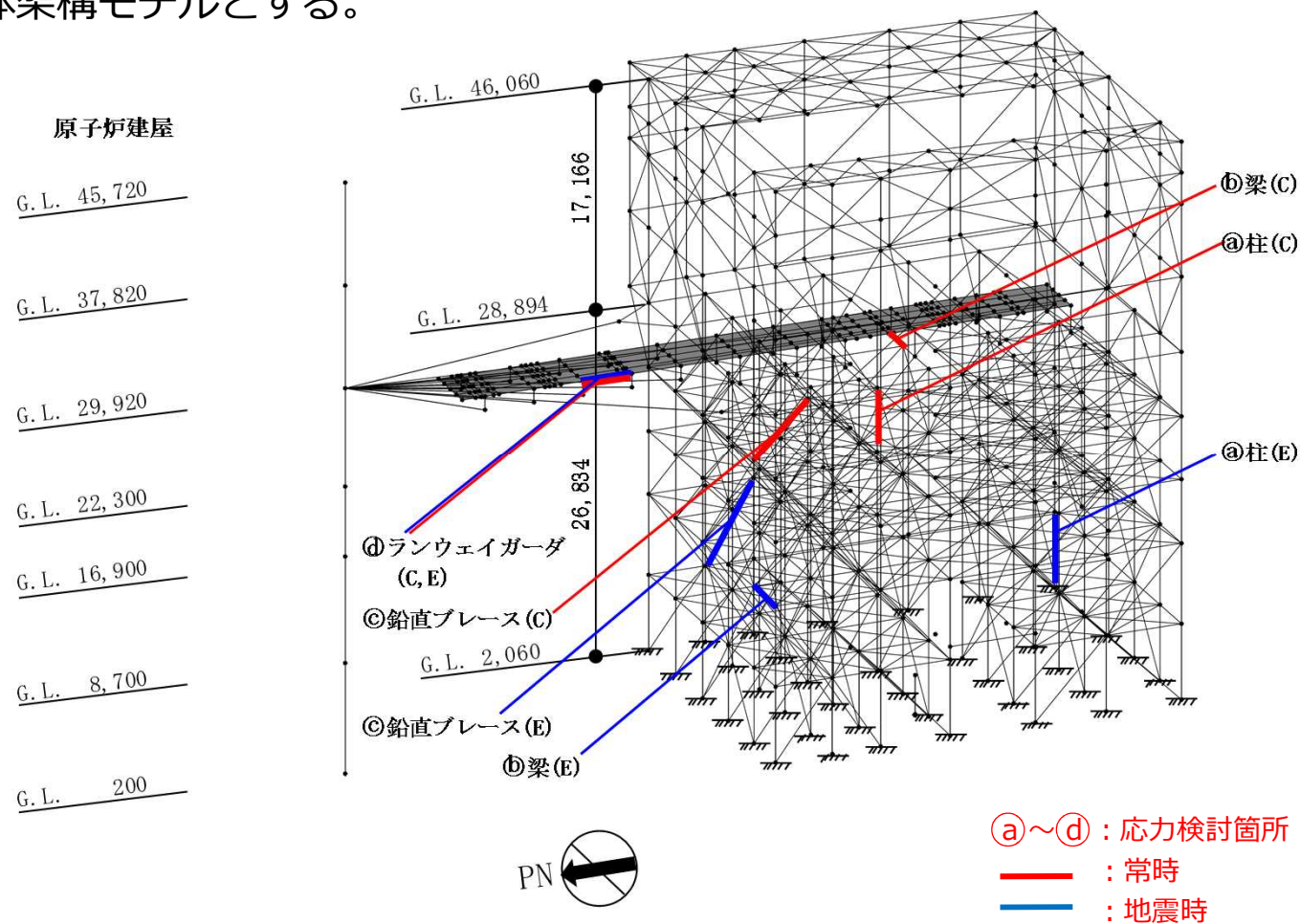


図 4.2.2-1 解析モデル



## 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。

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

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>)

$f_s$  : 許容せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

## 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**

### ■ 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>)

## 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**

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	㉑	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			
				$\tau$	3.8	$f_s$	125			
	㉒	梁	H-800×350 ×19×36 <SM490A> <SN490B>	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		
					$\tau$	41.4	$f_s$	125		
	㉓	鉛直 ブレース	$\Phi$ -355.6×9.5 <STK490> <STKN490B>	C (B)	$\sigma_c$	21.4	$f_c$	142	0.16	O.K.
	㉔	ランウェイ イガーダ	$\square$ -1500×900× (80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	C (B)	$\sigma_c$	0.0	$f_c$	196	0.25	O.K.
					$\sigma_b$	45.7	$f_b$	196		
					$\tau$	9.2	$f_s$	113		

\*1：㉑～㉔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）

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

表 4.2.2-2 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	㉑	柱	E1 (A)	$\sigma_c$	42.5	$f_c$	285	0.68	O.K.	
				$\sigma_{by}$	11.2	$f_{by}$	312			
				$\sigma_{bz}$	154.4	$f_{bz}$	324			
				$\tau$	7.3	$f_s$	187			
	㉒	梁	H-700×350 ×19×36 <SM490A> <SN490B>	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		
					$\tau$	38.1	$f_s$	187		
	㉓	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490> <STKN490B>	E2 (B)	$\sigma_t$	83.8	$f_t$	324	0.26	O.K.
	㉔	ランウェイ イガード	□-1500×900× (80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	E3 (B)	$\sigma_c$	14.3	$f_c$	294	0.22	O.K.
					$\sigma_b$	45.7	$f_b$	294		
					$\tau$	9.2	$f_s$	169		

\*1 : ㉑～㉔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）

## 4.2.3 弾性支承の構造強度に対する検討

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

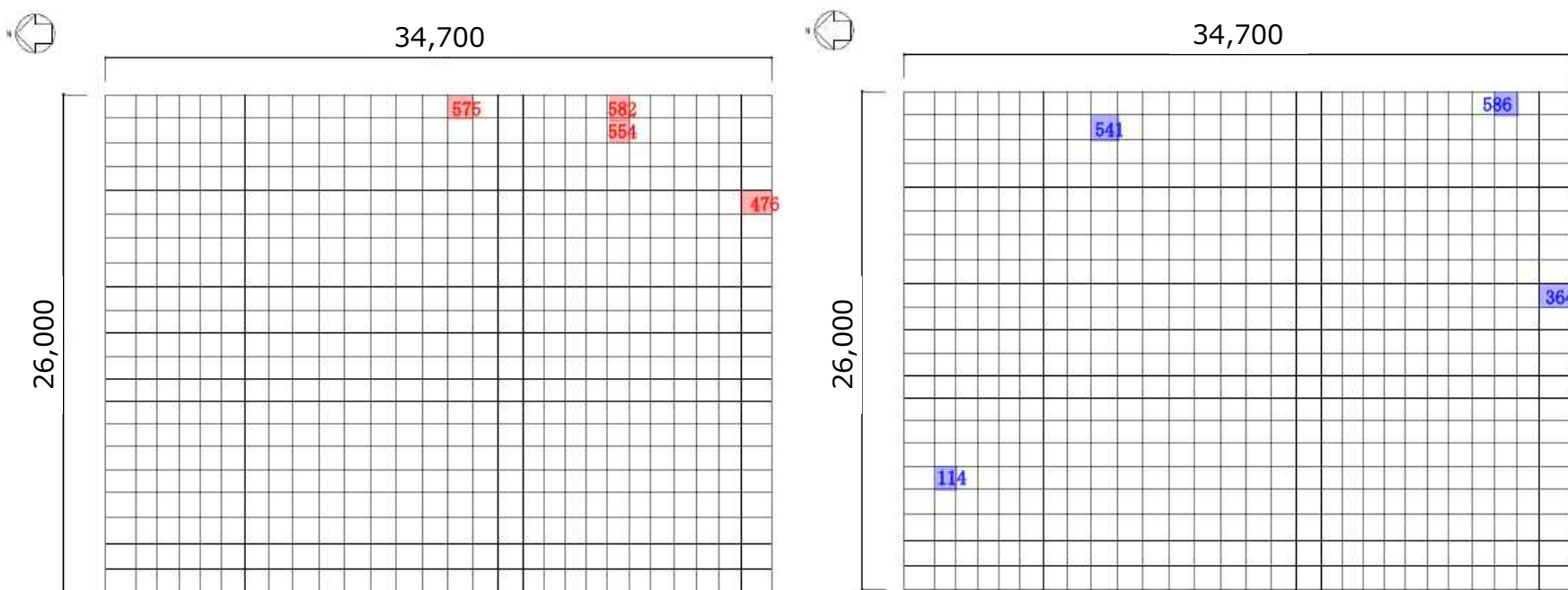
設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_D/\sigma_v$	判定
西側	E2(A)	43.00	6.37	0.15	O.K.
東側	E2(A)	43.00	6.36	0.15	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

## 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)

凡例  : 断面算定要素(地震時:E1~E4) (数字は要素番号)

(常時:C)

(地震時:E1~E4)

図 4.2.4-1,2 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)*1	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 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) <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 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。

## 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討

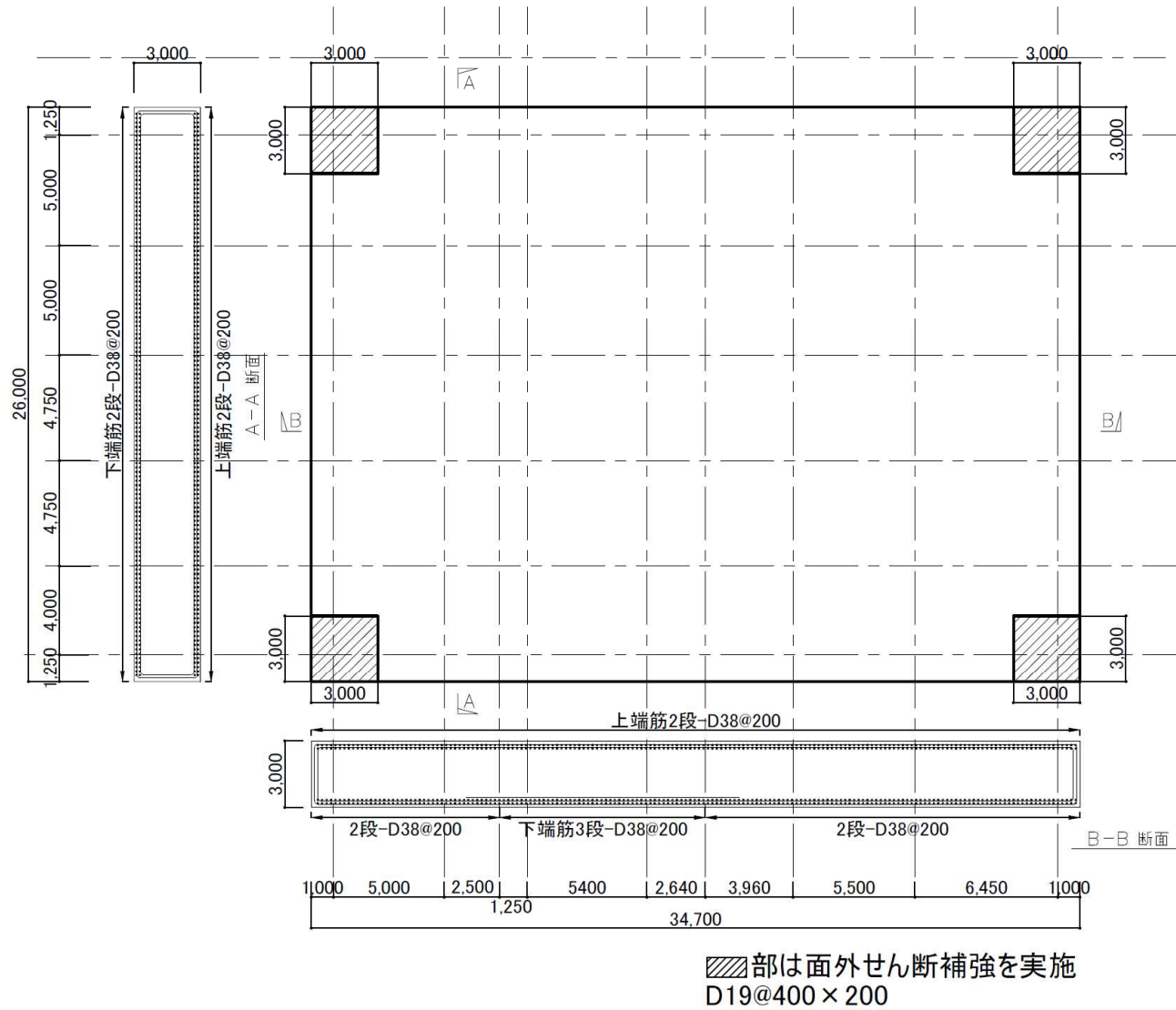


図 4.2.4-3 基礎の配筋図 (単位 : mm)



## 4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討

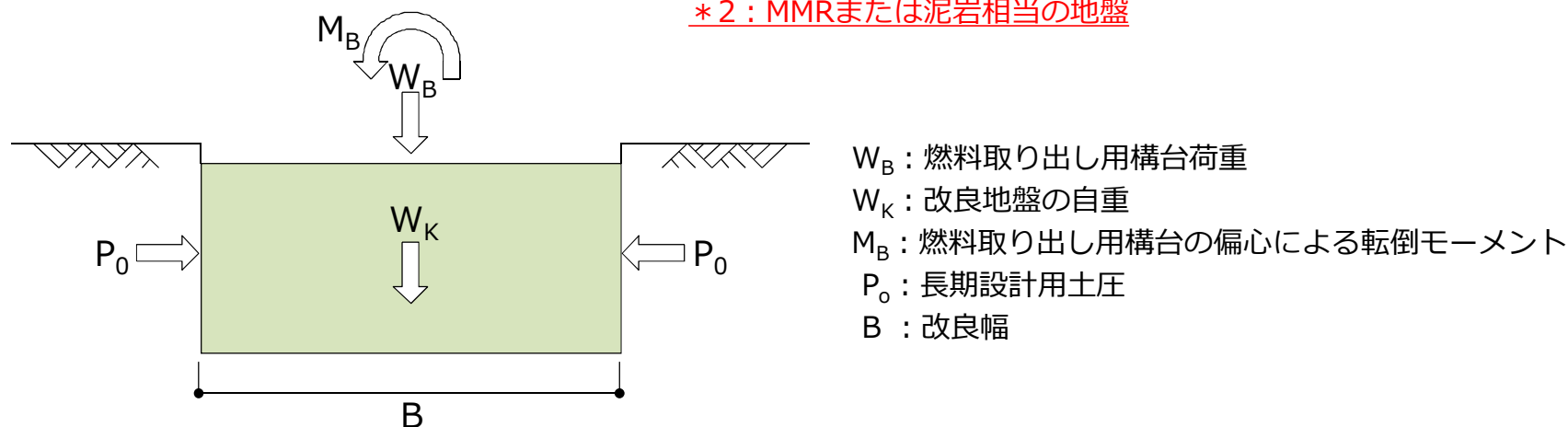
### ■ 常時に対する検討

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、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

$P_0$ ：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  $q_r = 279 \text{ kN/m}^2 \leq$  長期許容圧縮応力度  ${}_L f_{SC} = 980 \text{ kN/m}^2$

#### ◆ 支持力の検討

最大接地圧  $q_r = 279 \text{ kN/m}^2 \leq$  長期許容支持力度  ${}_L q_a = 1960 \text{ kN/m}^2$

#### ◆ 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

## 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。

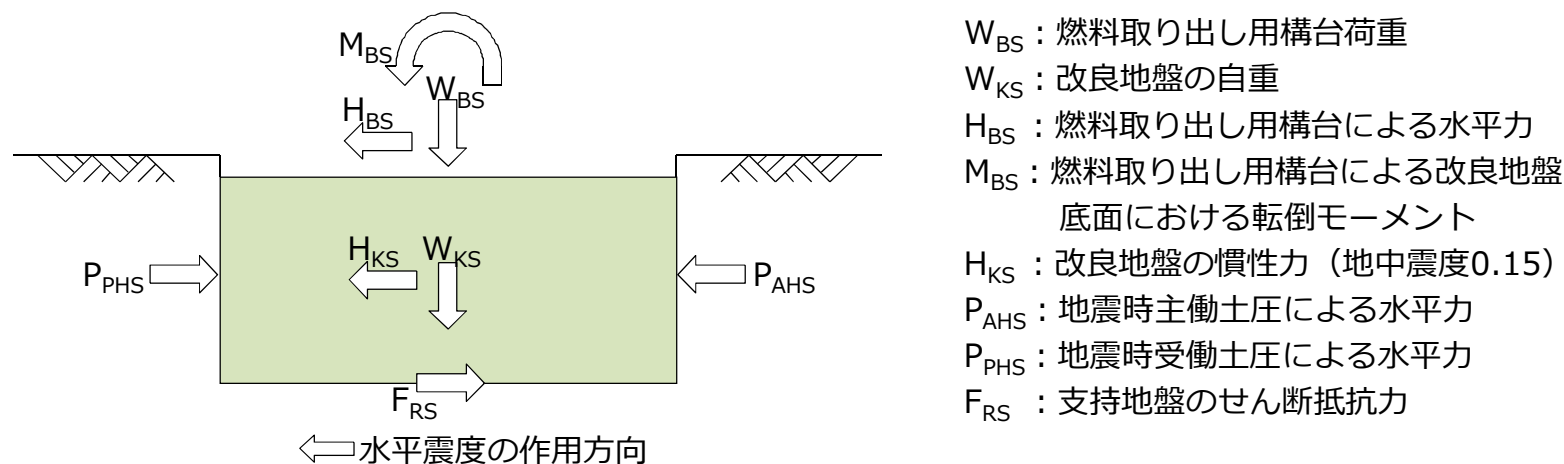


図 4.2.5-2 作用荷重 (地震時:E1~E4)

#### ◆ 改良地盤の検討

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

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

#### ◆ 支持力の検討

最大接地圧  $q_{1S} = 440 \text{ kN/m}^2 \leq$  短期許容支持力度  $s_{qa} = 3920 \text{ kN/m}^2$

## 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。

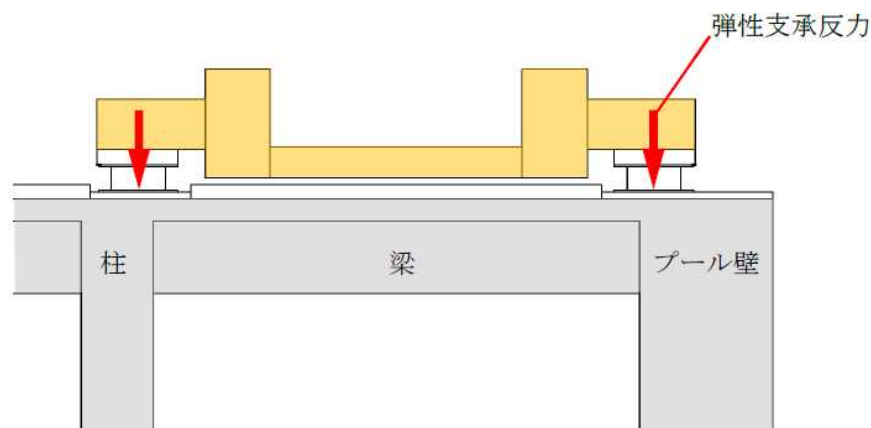


図 4.2.6-1 弾性支承からの反力

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)

### 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ド、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方向及び鉛直方向を同時に入力する

## 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 **TEPCO**

---

### ■ 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 $S_s$ を用いる。

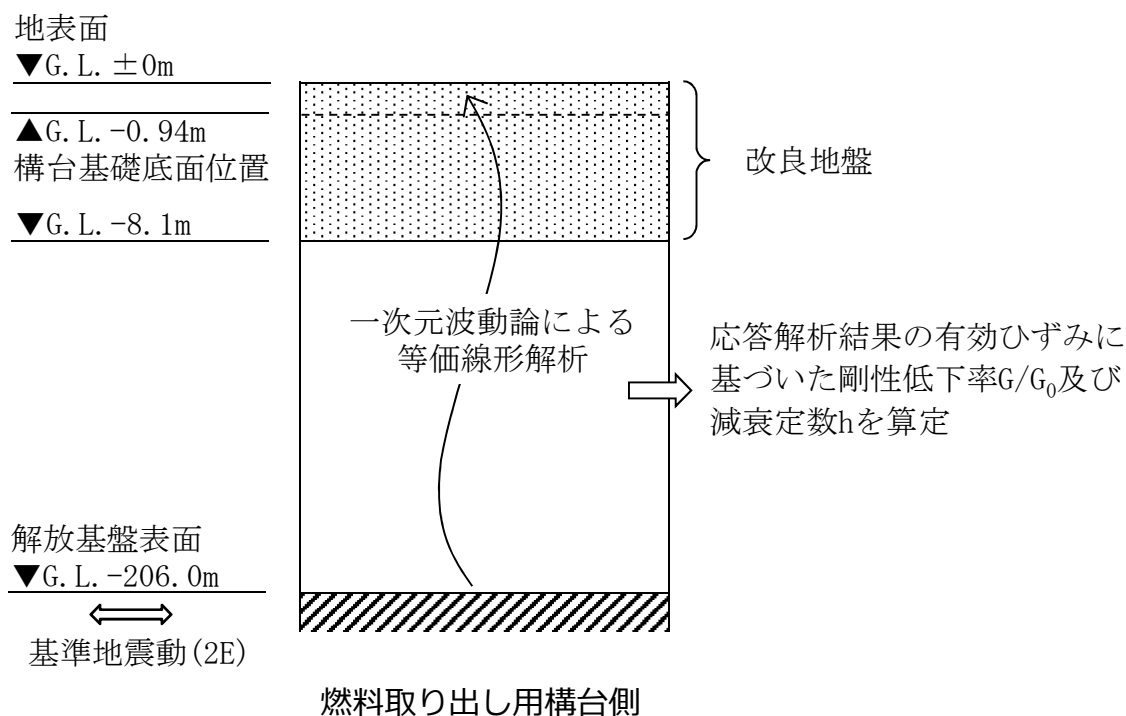
モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき, 解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ に対する地盤の応答として評価する。

# 入力地震動の策定について

## ■ 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。



## 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 **TEPCO**

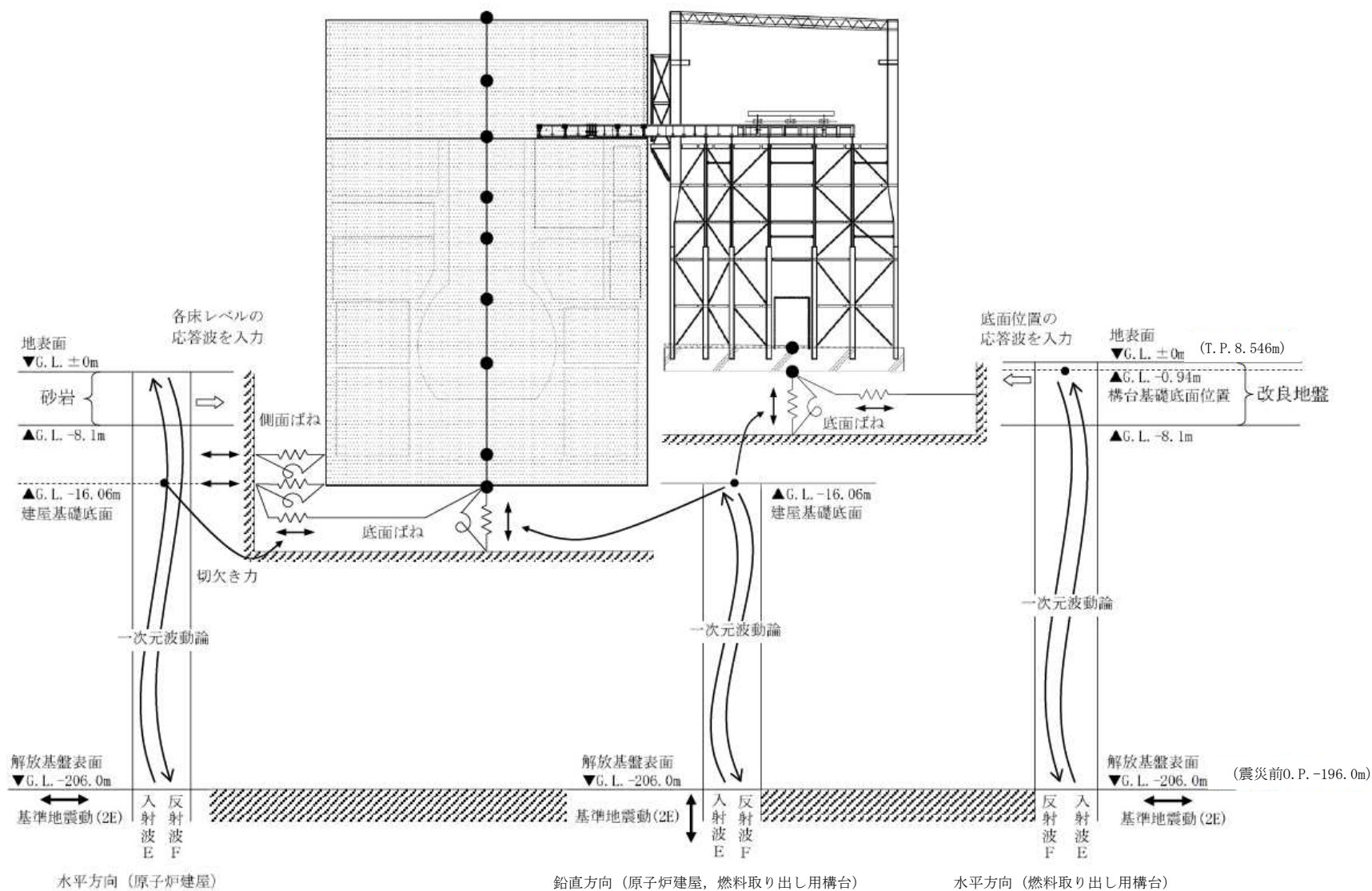


図 4.3.2-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

## 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 **TEPCO**

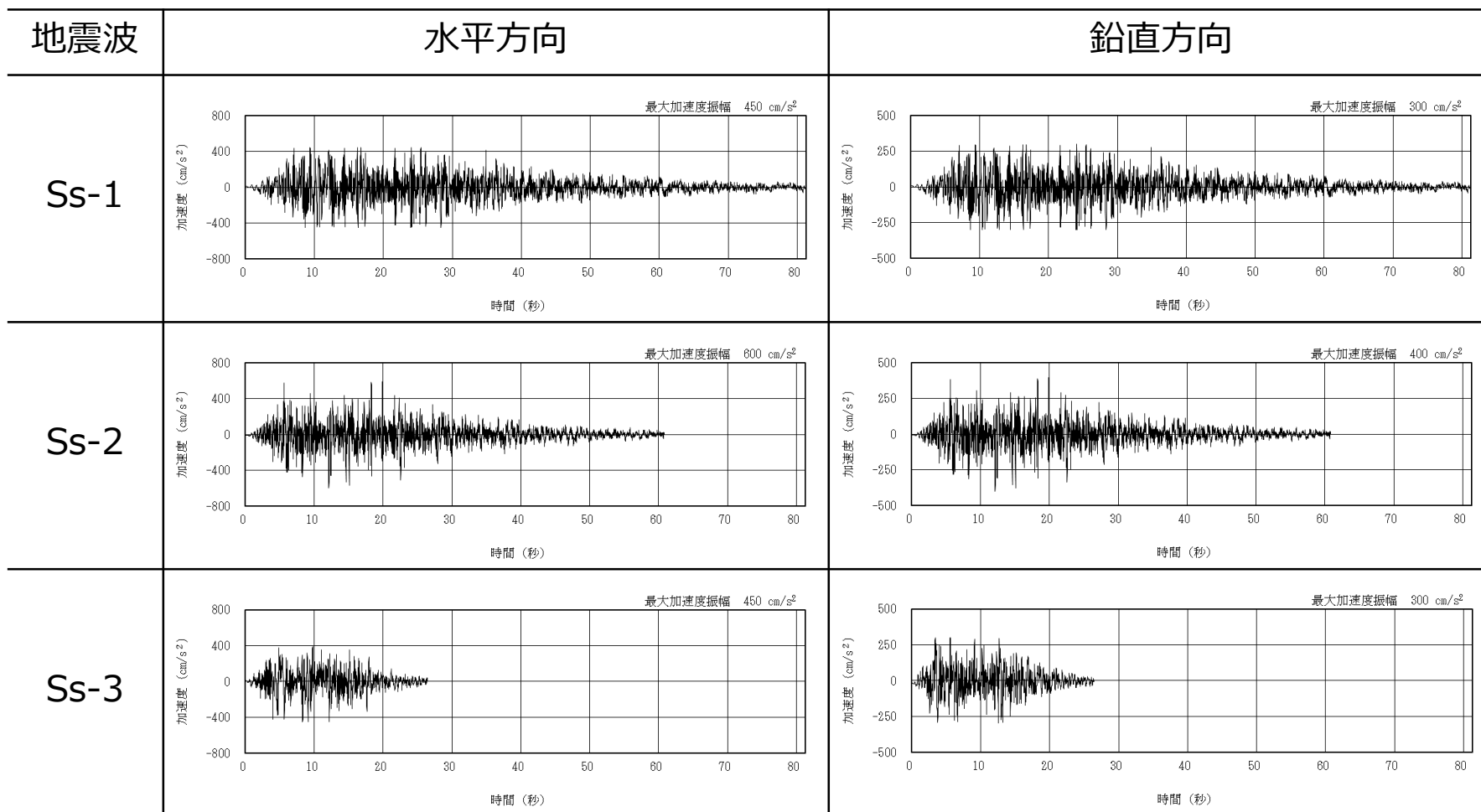


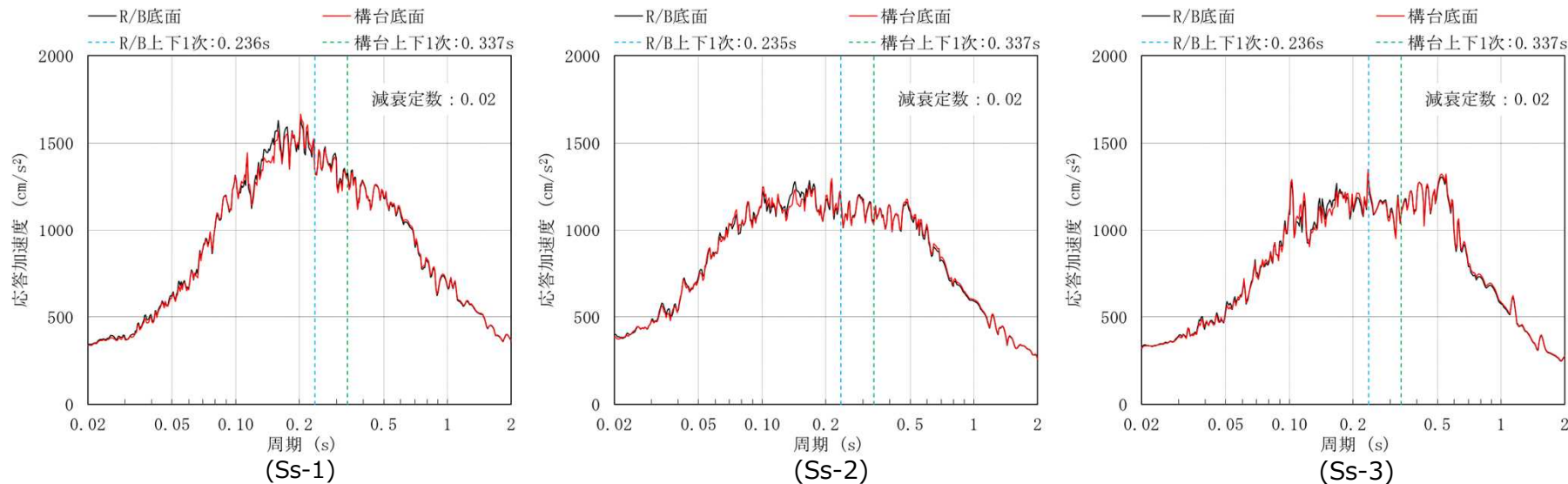
図 4.3.2-2,3 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形



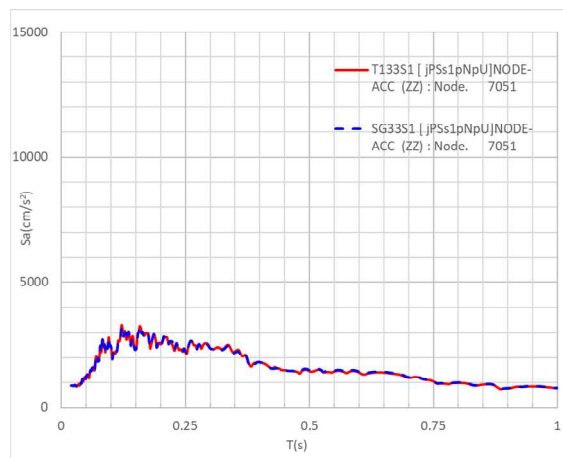
## 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)

- 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

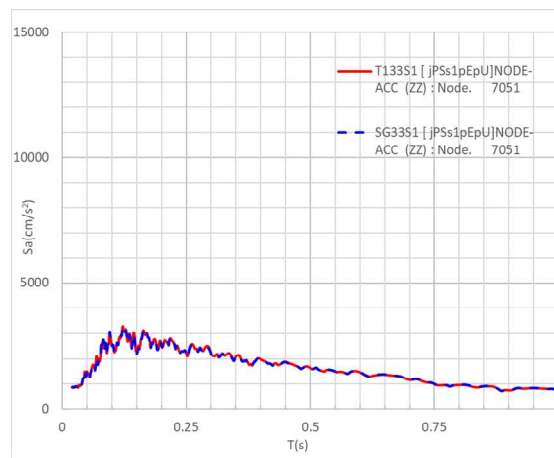
# 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)



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

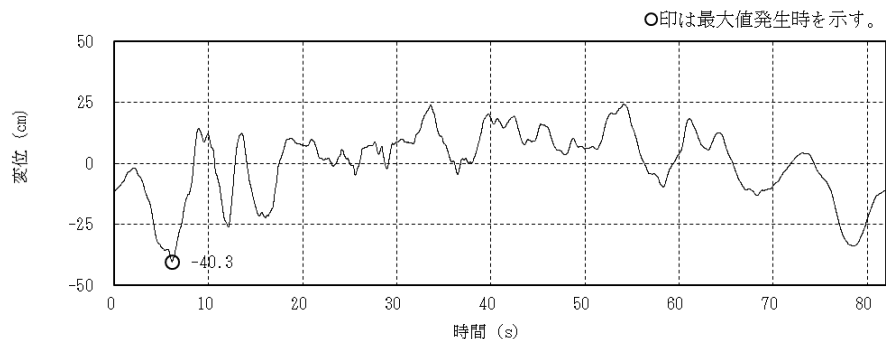


EW+UD加力時 UD方向

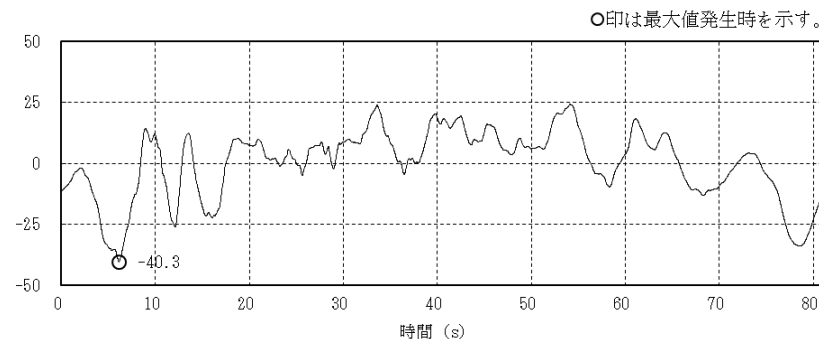
- 凡例
- : 原子炉建屋基礎底面位置地震応答入力
  - - - : 燃料取り出し用構台基礎底面位置地震応答入力

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)

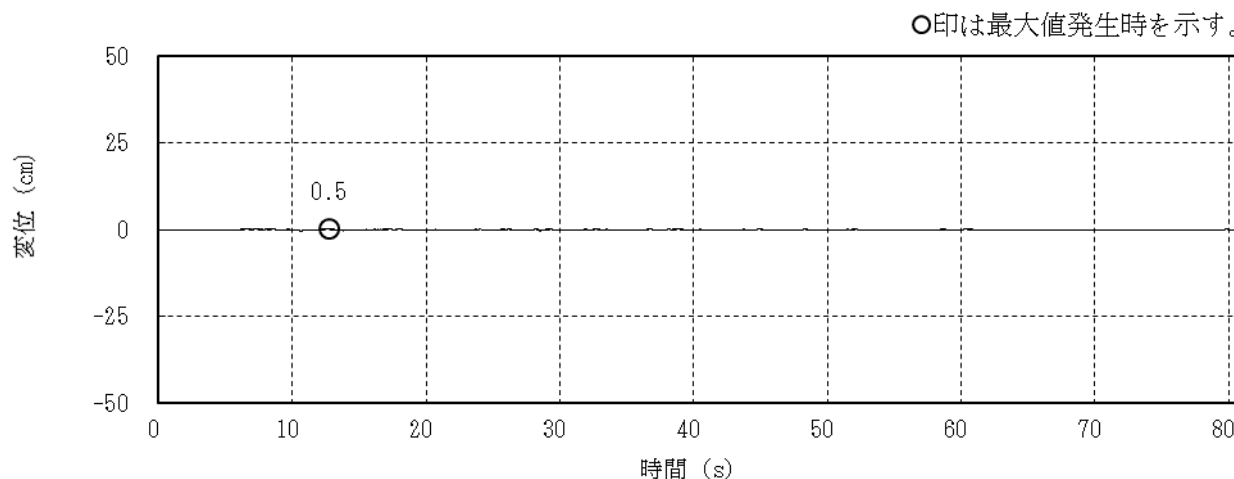
# 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)



原子炉建屋 (G.L. -16.06 m)



燃料取り出し用構台 (G.L. -0.94 m)



相対変位

## 基礎底面位置 変位時刻歴波形比較

## 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 **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。

## 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 **TEPCO**

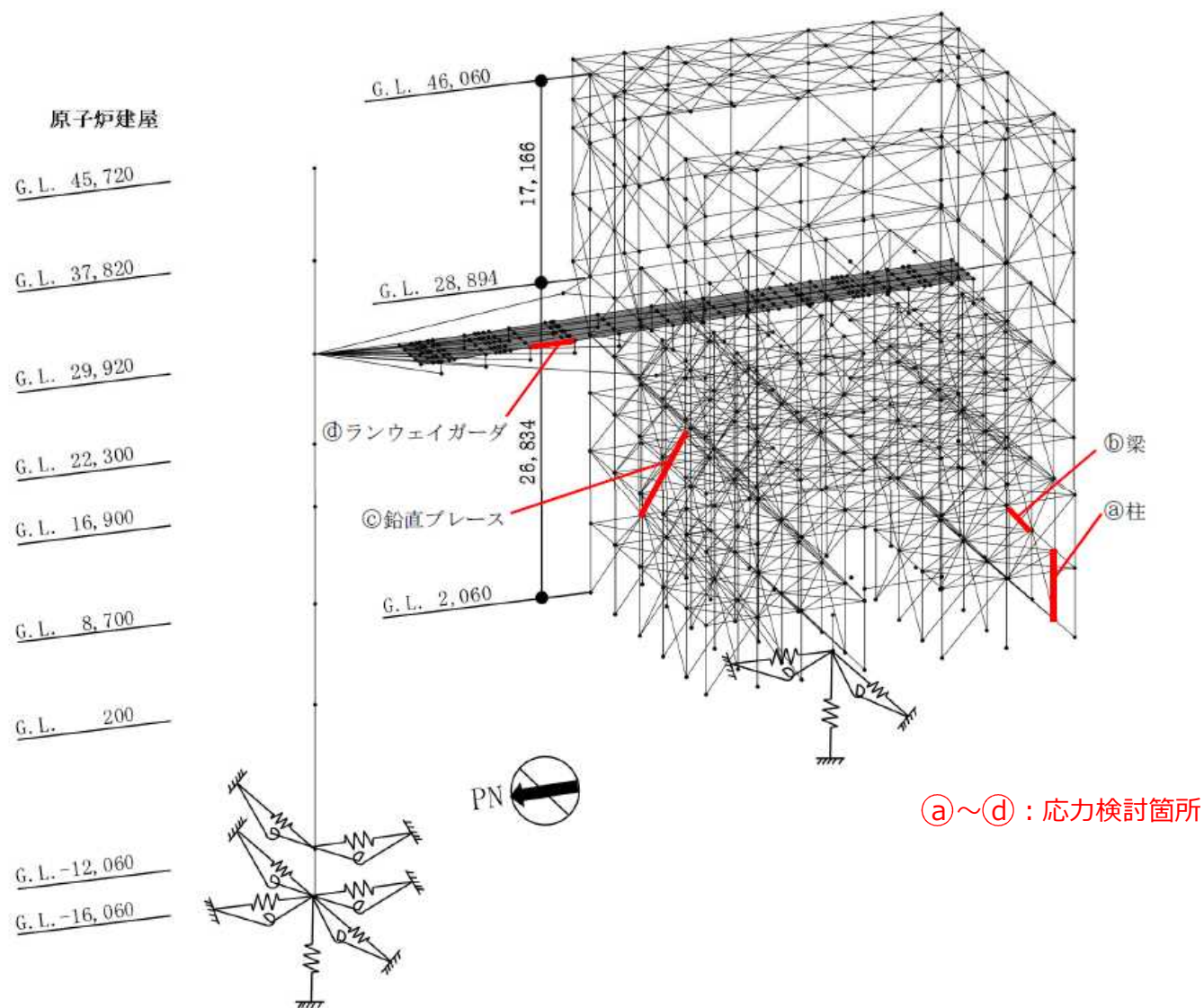


図 4.3.2-4 地震応答解析モデル (単位: mm)

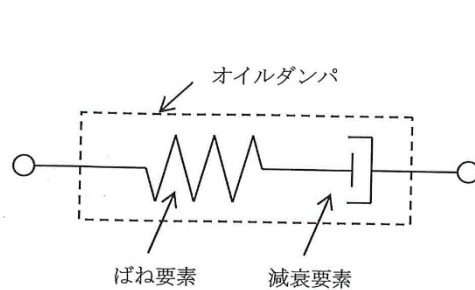
## 4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 TEPCO

表 4.3.2-1 地震応答解析に用いる物性値

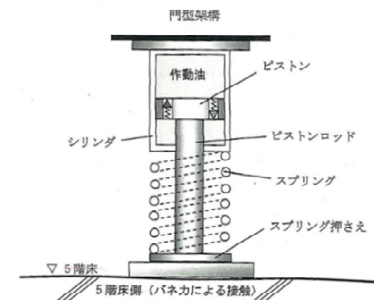
部位	材料	ヤング係数 E(N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )	減衰定数 h(%)	備考
燃料取り出し用構台	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	77.0	2	SS400, STK400, SM490A, <u>STK490</u> , SN490B, SN490C, STKN490B

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)	<u>1970</u>	1700	<u>0.70</u>	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	<u>1.00</u>	5000	395	<u>±100</u>



オイルダンパのモデル化

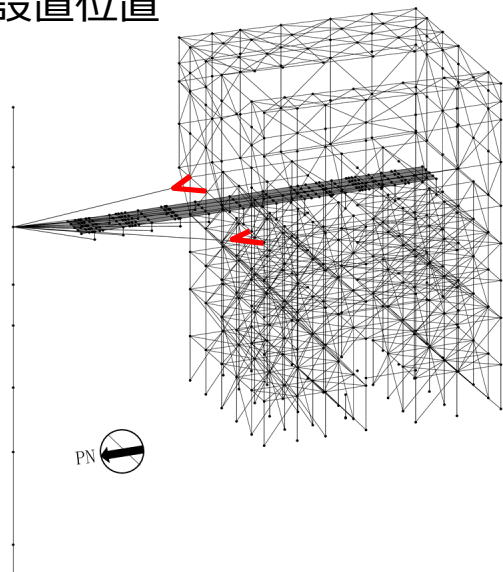


ばね付きオイルダンパ概念図

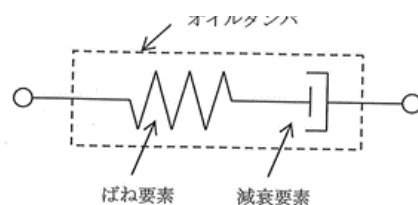
# オイルダンパ（水平棟間）の物性について

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

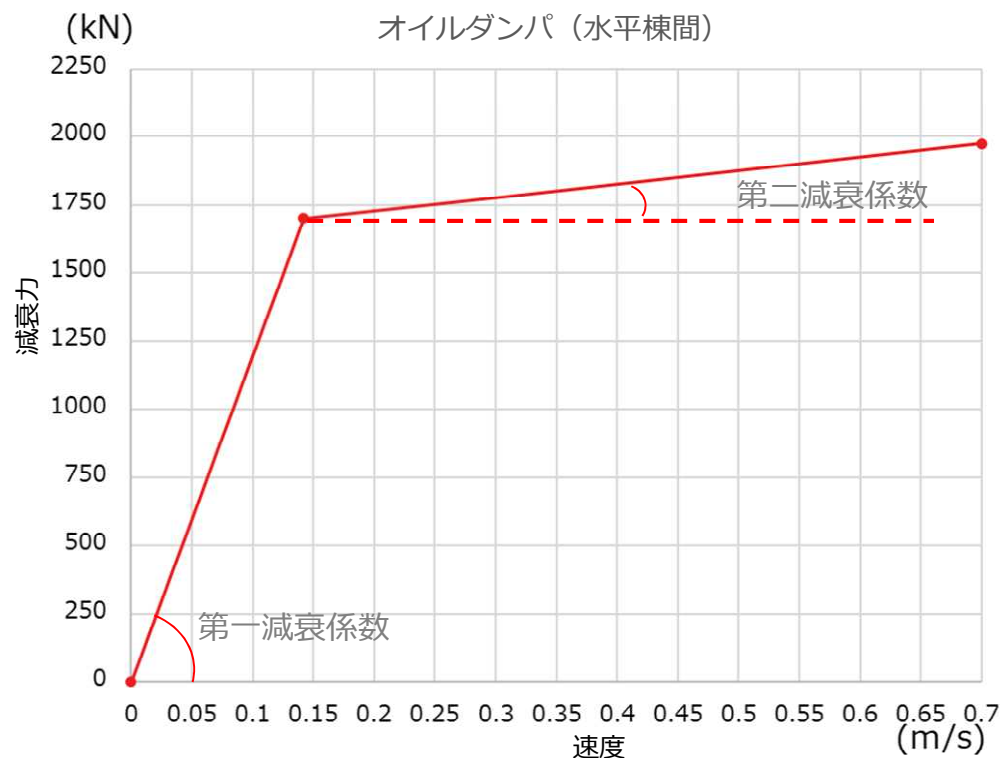


## ■ モデル化



## ■ 物性値及び許容値

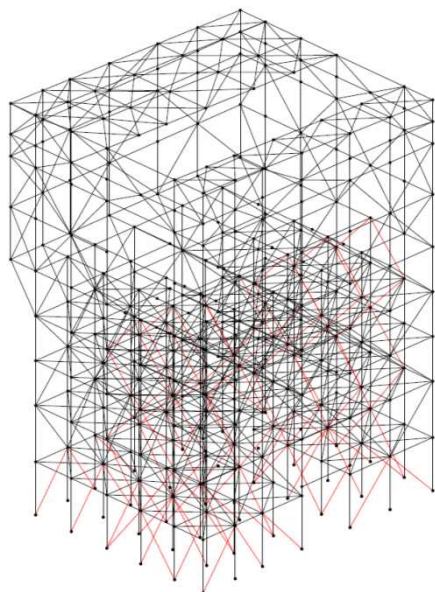
## ■ 設計特性



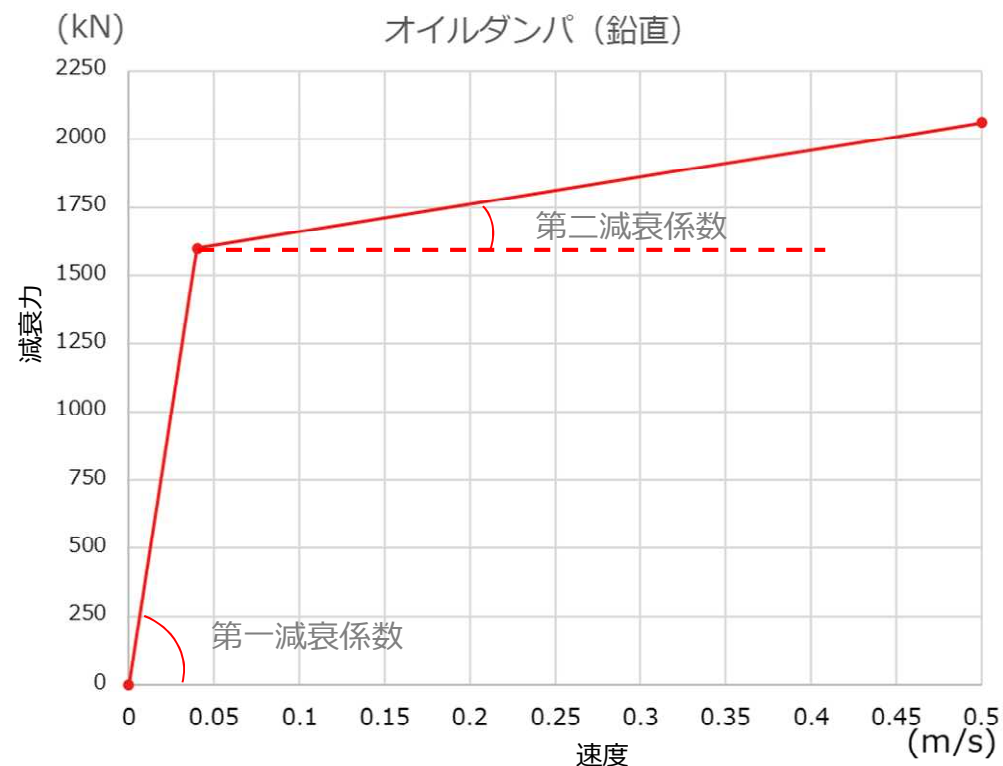
最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
1970	1700	0.70	12000	490	±100

# オイルダンパ（鉛直）の物性について

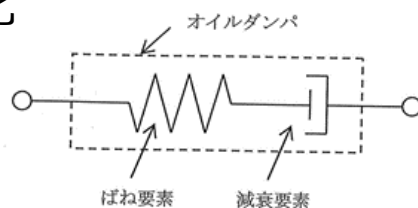
## ■ 設置位置



## ■ 設計特性



## ■ モデル化



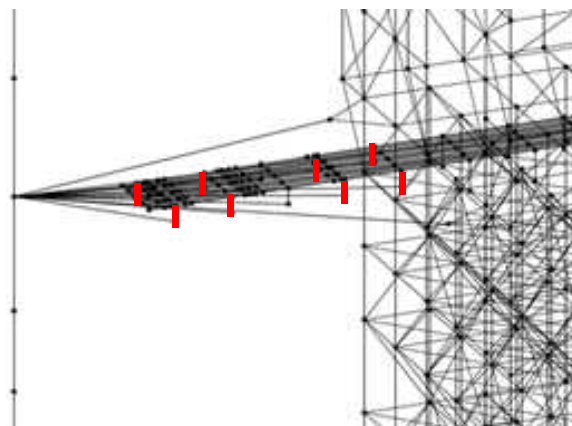
## ■ 物性値及許容値

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

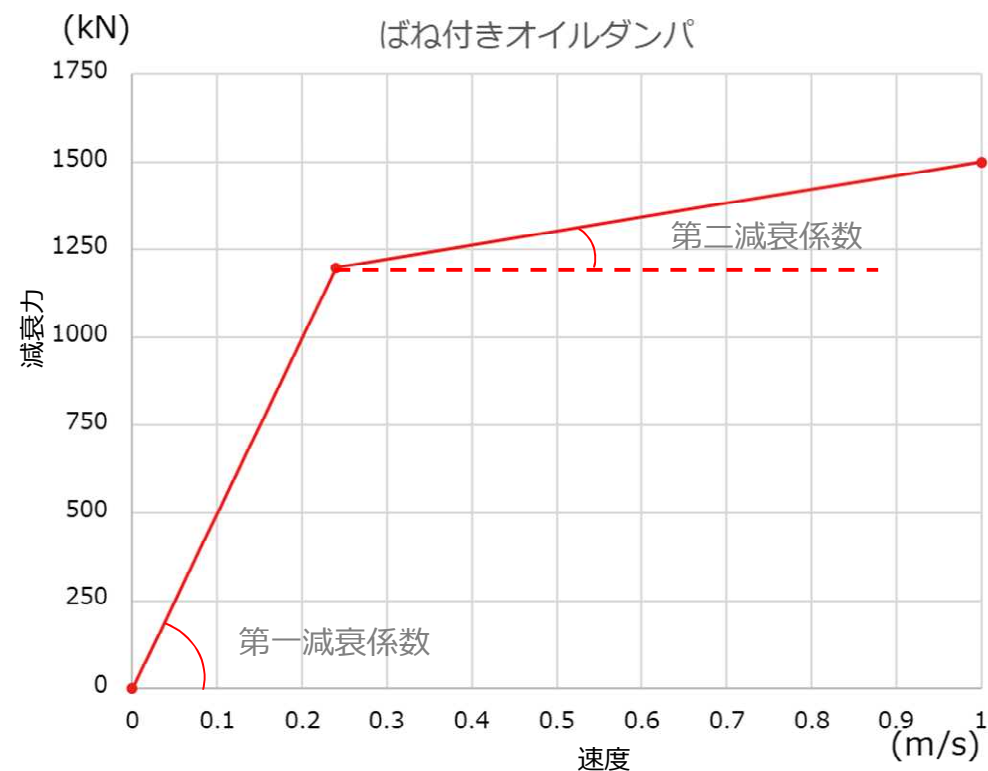


## ばね付きオイルダンパの物性について

## ■ 設置位置

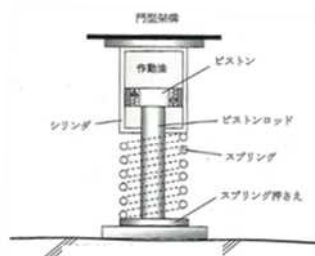


## ■ 設計特性



(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

## 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 **TEPCO**

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 $I_c (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	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		
			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 $E_c$	$2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$	
		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%	

## 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 **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 $I_G (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	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	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 $E_c$	$2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
			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%

## 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 **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

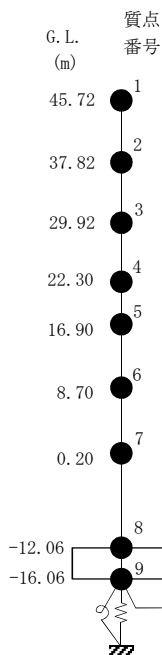
標高 G. L. (m)	質点重量 W (kN)	軸断面積 $A_N$ (m <sup>2</sup> )	軸ばね剛性 $K_A$ ( $\times 10^8$ kN/m)
45.72	12880		
		43.0	1.40
37.82	10220		
		42.5	1.38
29.92	74470		
		291.9	9.84
22.3	79440		
		295.1	14.04
16.9	107720		
		437.5	13.71
8.7	116670		
		359.4	10.87
0.2	201190		
		627.4	13.15
-12.06	341290		
		2656.2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

# 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)

(申請モデル)  
(NS 方向)



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_c (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	14,380	25.99		
2	10,220	18.53	18.6	10,154
3	58,470	105.81	18.6	10,675
4	70,440	127.49	184.3	22,551
5	107,720	194.96	166.8	24,629
6	116,670	211.14	249.3	44,401
7	199,190	360.49	157.1	40,661
8	277,540	502.20	456.8	110,444
9	125,030	226.24	2,656.2	480,675
合計	979,660			

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_c (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	12880 <1500> *1	23.28 <2.71> *1		
2	10220	18.53	18.6	10154
3	74470 (15000) *2 [1000] *3	134.76 (27.14) *2 [1.81] *3	16.1 <1.3> *6 [1.2] *7	10626 <24> *6 [25] *7
4	79440 (9000) *4	143.78 [16.29] *4	184.3	22551
5	107720	194.96	166.8	24629
6	116670	211.14	249.3	44401
7	201190 (2000) *4	364.11 [3.62] *4	157.1	40661
8	341290 [63750] *5	617.55 [115.35] *5	456.8	110444
9	125030	226.24	2656.2	480675
合計	1068910			

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

■ せん断断面積及び断面二次モーメント

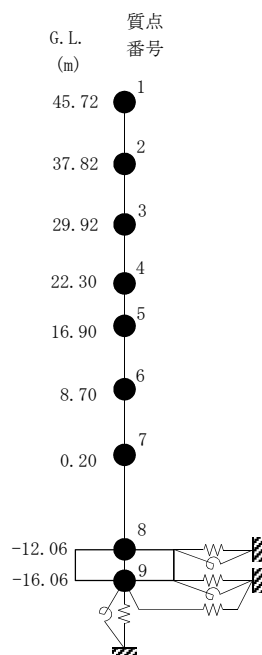
- \* 6 : ブローアウトパネル開口考慮による減少
- \* 7 : 西側外壁開口による減少

原子炉建屋解析モデル諸元比較 (NS方向)

# バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由

(バックチェックモデル)  
(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 $I_G (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	14,380	14.71	14.0	5,941
2	10,220	10.40		
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 $E_C$ せん断弾性係数 $G$ ポアソン比 $\nu$ 減衰 $h$ 基礎形状	$2.57 \times 10^7$ (kN/m <sup>2</sup> ) $1.07 \times 10^7$ (kN/m <sup>2</sup> ) 0.20 5% 46.6m (NS方向) × 57.0m (EW方向)	

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	12880 <1500> *1	13.18 <1.53> *1	13.6 <0.4> *6	5926 <15> *6
2	10220	10.40	12.6 <1.4> *6	6255 <52> *6
3	74470 (15000) *2 [1000] *3	76.06 (15.32) *2 [1.02] *3	108.2	11927
4	79440 (9000) *4	81.06 (9.18) *4	117.3	14199
5	107720	194.96	185.7	33796
6	116670	211.14	173.1	41960
7	201190 (2000) *4	544.79 (5.42) *4	418.1	132121
8	341290 [63750] *5	923.98 [172.59] *6	2656.2	719166
9	125030	338.53		
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2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)

# バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由

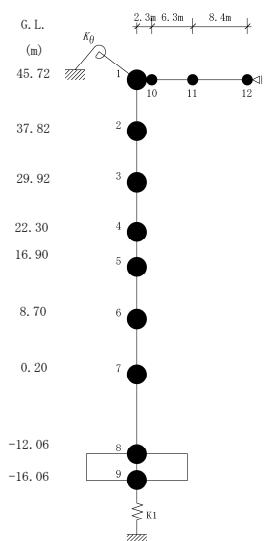
(バックチェックモデル)  
(鉛直方向)

建屋			
質点番号	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>s</sub> (×10 <sup>8</sup> kN/m)
1	8,560		
2	10,220	44.4	1.44
3	58,470	46.4	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 <sub>s</sub> (×10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> )	断面2次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	-		
10	1,580	8.46	0.664
11	2,700	5.48	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<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  $\nu$  0.20  
 減衰  $\lambda$  5%
- ②鉄骨部  
 ヤング係数  $E_s$  2.05 × 10<sup>8</sup> (kN/m<sup>2</sup>)  
 せん断弾性係数  $G$  7.90 × 10<sup>7</sup> (kN/m<sup>2</sup>)  
 ポアソン比  $\nu$  0.30  
 減衰  $\lambda$  2%

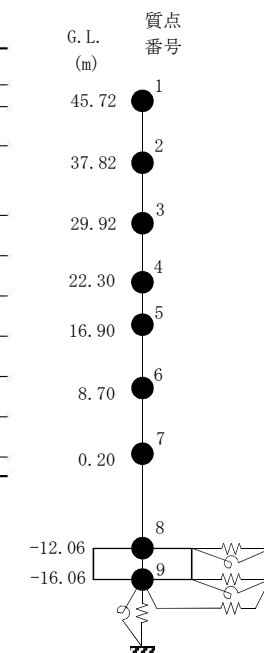
トラス端部回転拘束ばね  $K_0$  2.11 × 10<sup>7</sup> (kN·m/rad)  
 基礎形状 46.6m(NS方向) × 57.0m(EW方向)



- 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)

(鉛直方向)			
質点番号	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>s</sub> (×10 <sup>8</sup> kN/m)
1	12880 <1500> *1		
2	10220	43.0 <1.4> *6	1.40 <0.04> *6
3	74470 (15000) *2 [1000] *3	42.5 <1.4> *6 <1.3> *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		

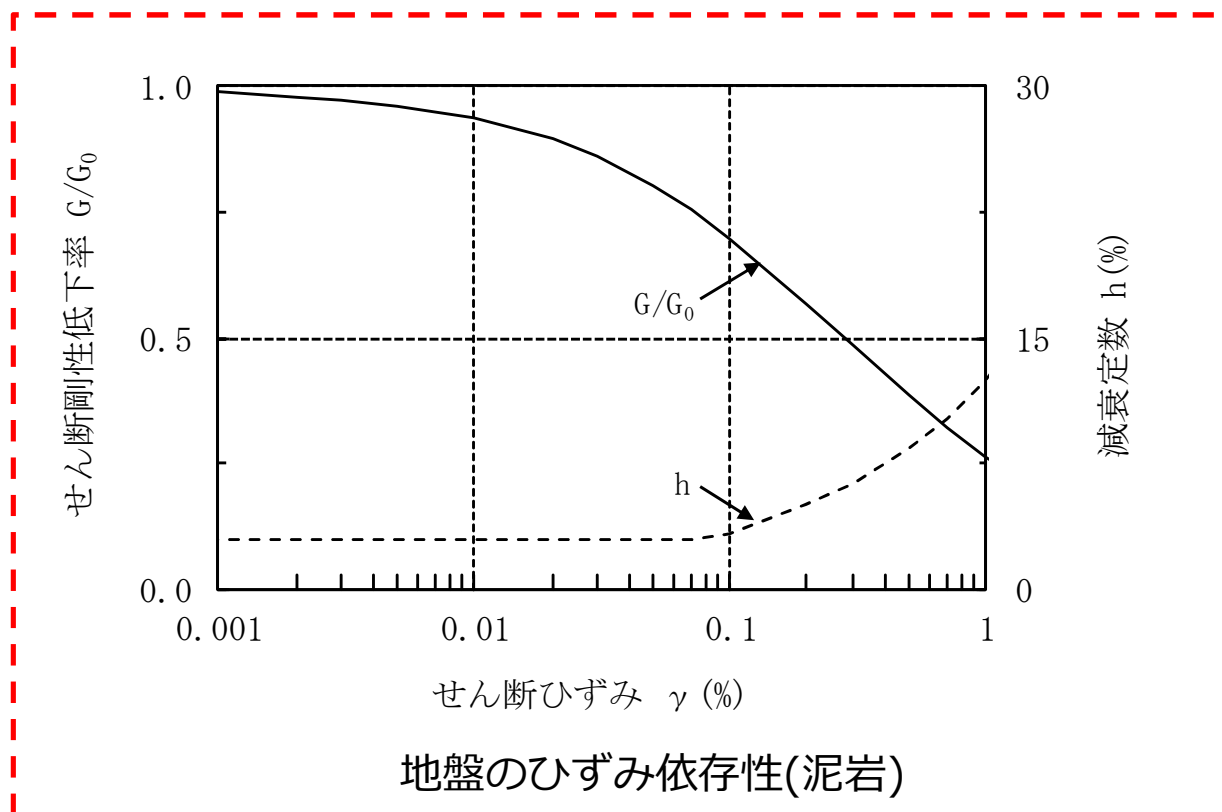


- 軸断面積及び軸ばね剛性
- \* 6: 南側開口による減少
- \* 7: ブローアウトパネル開口考慮による減少
- \* 8: 西側外壁開口による減少

原子炉建屋解析モデル諸元比較 (UD方向)

## 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 **TEPCO**

- 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 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比* $\nu$	初期せん断弾性係数 G0( $\times 10^5$ 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

## 改良地盤物性の設定について

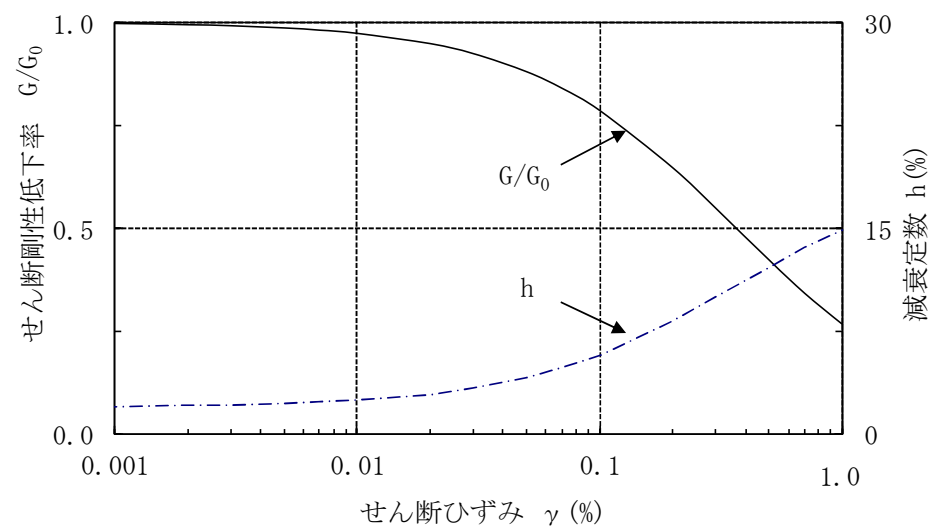
- 燃料取り出し用構台基礎直下は支持層（泥岩）に到達していないため、高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行う
- 物性値は、本件と同様に、原地盤が砂質埋め戻し土および砂岩であり、改良方法が高圧噴射攪拌工法を用いた類似条件下での物性を参照する

(a) 設計仕様

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

4号機実施工後の試験結果

- ・圧縮強度 4.498N/mm<sup>2</sup>
- ・設計基準強度 2.300N/mm<sup>2</sup>
- ・せん断波速度 836m/s

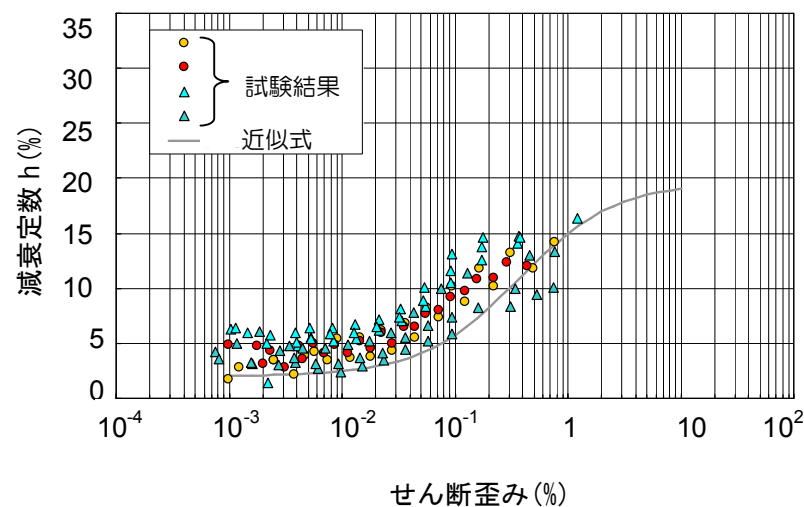
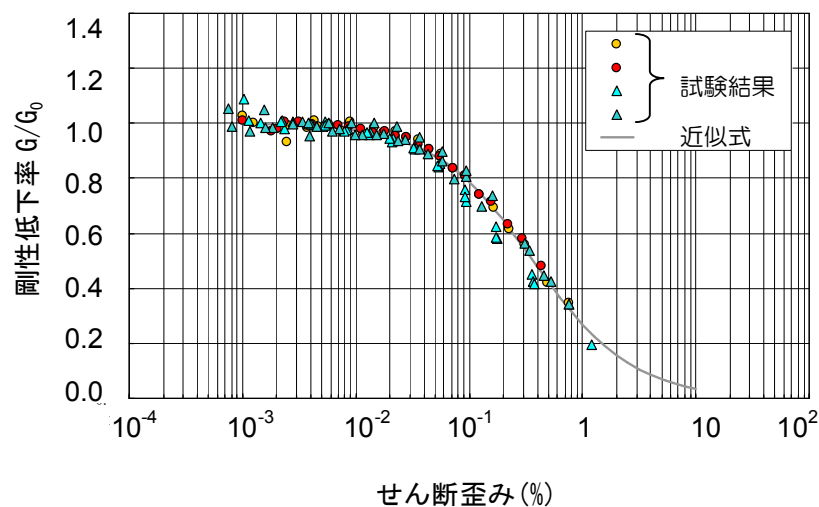


地盤のひずみ依存性(改良地盤)

# 改良地盤物性の設定について

- 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



## 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 **TEPCO**

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 $\gamma$ (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									
-8.1		800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-206.0		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	-	-

## 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 **TEPCO**

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/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	2.73	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	-

## 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 **TEPCO**

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 $\gamma$ (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									
-8.1		800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.63	3.41	0.77	7.70	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.36	4.36	0.77	9.78	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.34	5.63	0.77	12.55	3	28.0
-206.0		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	-	-

## 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 **TEPCO**

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 $\gamma$ (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	砂岩									
-8.1		380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-206.0		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	-	-

## 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 **TEPCO**

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 $\gamma$ (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	砂岩									
-8.1		380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-206.0		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	-	-

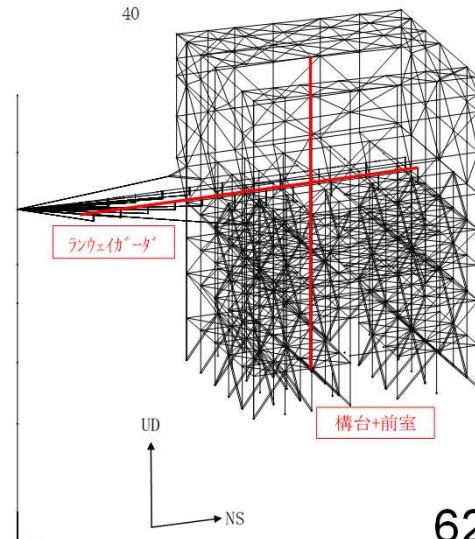
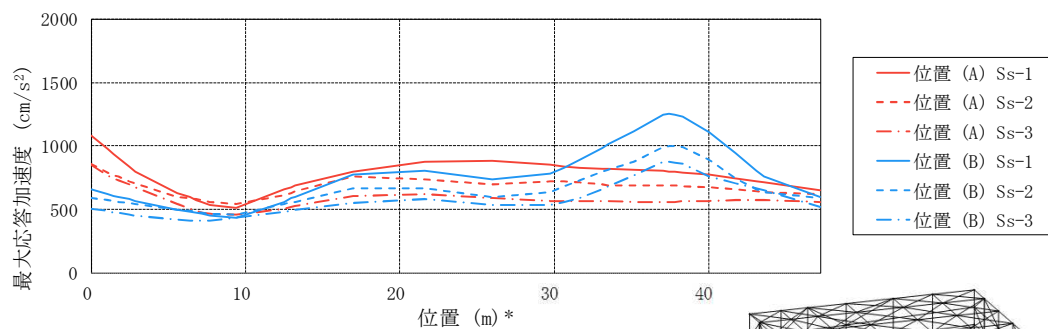
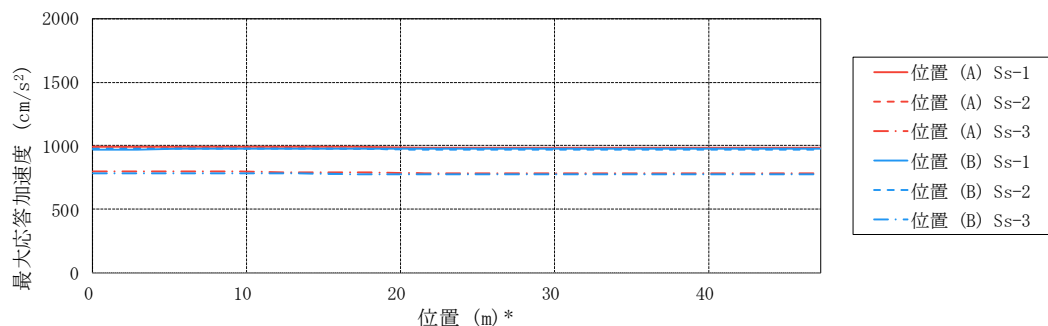
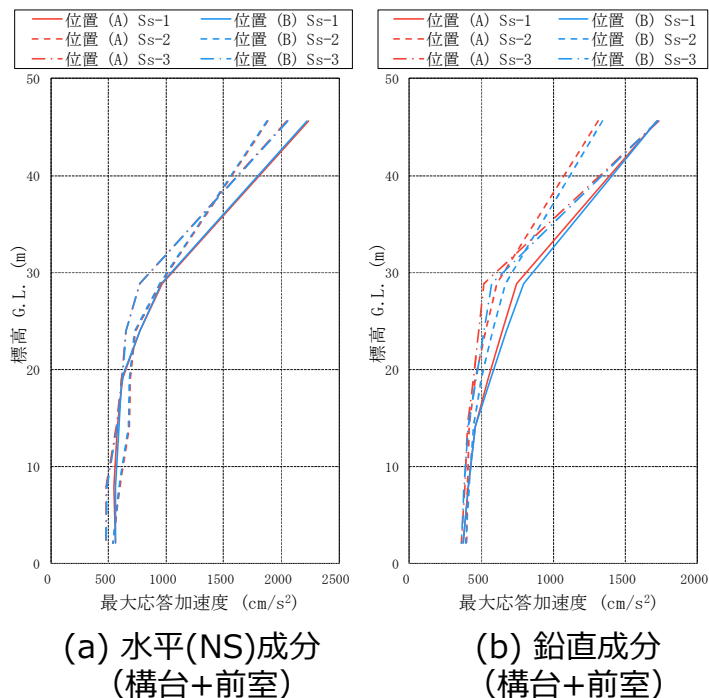


## 4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

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/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									
-8.1		380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-206.0		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	-	-

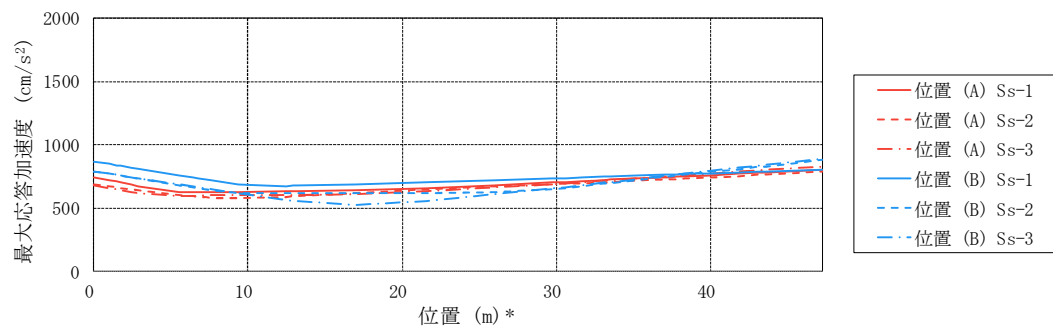
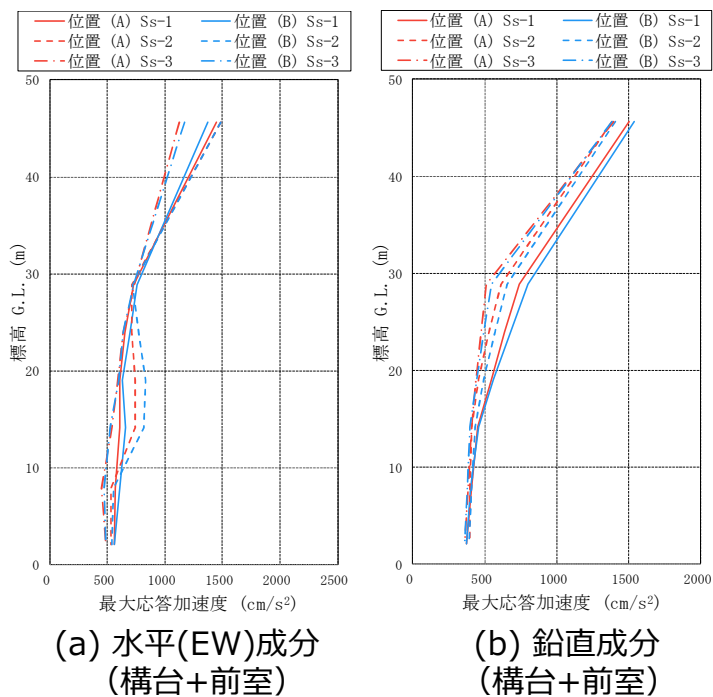
# 4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 TEPCO



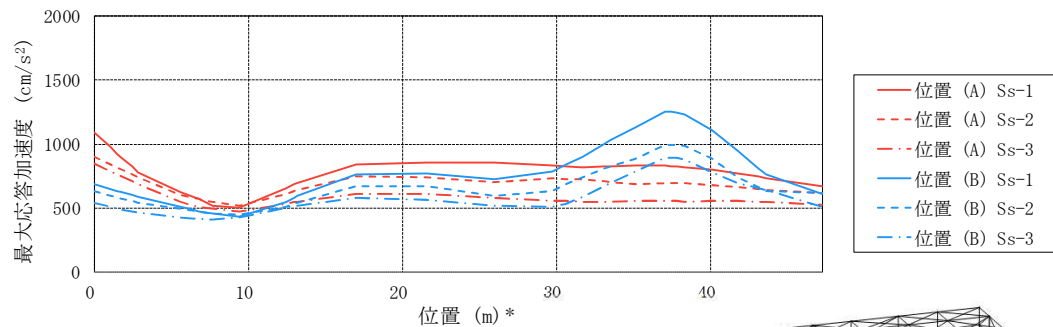
注：凡例位置の条件は表4.2.1-4に示す。  
 \*：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す。

図 4.3.2-5(1) 最大応答加速度分布 (+NS+UD方向加力時)

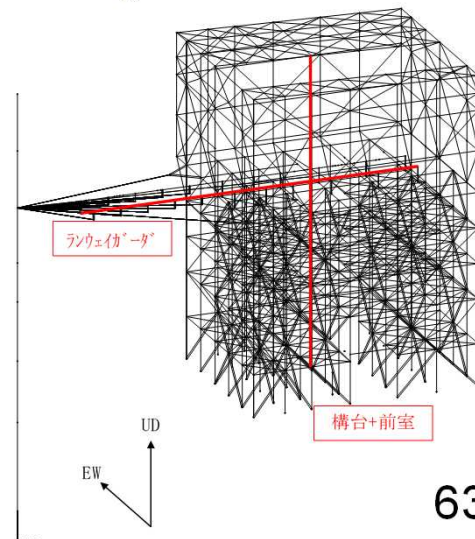
# 4.3.2 構台およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 TEPCO



(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)

## 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 **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）

## 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 **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「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/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		応力度比	判定	
鉄骨 部材	㉑	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A> <SN490B>	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			
				$\tau$	18.8	$f_s$	205			
	㉒	H-750×350 ×40×40 <SM490A> <SN490B>	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			
				$\tau$	41.5	$f_s$	205			
	㉓	鉛直 ブレース	$\Phi$ -406.4×9.5 <STK490> <STKN490B>	Ss-1 +NS-UD (B)	$\sigma_c$	214.2	$f_c$	294	0.73	O.K.
	㉔	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		
					$\tau$	14.9	$f_s$	186		

\*1 : ㉑～㉔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)

## 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	構造骨組 (層)	$Q$	$Q_y$	$Q_u$			
		$\mu$	1.0	$\mu_u / 2.0$	$\mu_u / 1.33$ < $\mu_u / 1.50$ >	$\mu_u = 4.0$ < $\mu_u = 3.0$ >	
	$\eta$	JASS6 型	0	$\eta_u / 4.0$	$\eta_u / 1.77$	$\eta_u = 10.7(\delta_v/\delta_{eq})$	
		ノスカラップ°	0	$\eta_u / 4.0$	$\eta_u / 1.77$	$\eta_u = 18.2(\delta_v/\delta_{eq})$	
		梁端混用	0	$\eta_u / 4.0$	$\eta_u / 1.77$	$\eta_u = 6.7(\delta_v/\delta_{eq})$	
	構造部材	$\gamma$ (%)	0	30	60	100	
		$\mu_m$	1.0	$\mu_{mu} / 2.0$	$\mu_{mu} / 1.33$	$\mu_{mu} = 5.0$	
		$\eta_m$	JASS6 型	0	$\eta_{mu} / 4.0$	$\eta_{mu} / 1.77$	$\eta_{mu} = 21.5$
			ノスカラップ°	0	$\eta_{mu} / 4.0$	$\eta_{mu} / 1.77$	$\eta_{mu} = 36.5$
			梁端混用	0	$\eta_{mu} / 4.0$	$\eta_{mu} / 1.77$	$\eta_{mu} = 13.5$
制振 免震部材	$\eta_d$	—	$\eta_{du} / 4.0$	$\eta_{du} / 1.77$	$\eta_{du}$		
	$W_d$	—	$W_{du} / 4.0$	$W_{du} / 1.77$	$W_{du}$		
	$\delta_l$	—	$\delta_{lu} / 2.0$	$\delta_{lu} / 1.33$	$\delta_{lu}$		
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		

※&lt;&gt;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）

# JSCA性能メニューと損傷レベル

## ■ 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



梁端部ウェブ材の破断



ブレース交差点の局部変形



鋼管ブレース中央継ぎ手部の座屈



立体トラス支持部・構造全体の破損



屋根支安アンカー部の破損



立体トラス支持部・柱頭コンクリートの破損

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）

## 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		-	295
		SD345	JIS G3112, JIS G3117	-	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。



### 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: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		フランジ一体型
	ゴム外径 : $D_o$ (mm)	
	ゴム内径 : $D_i$ (mm)	
	ゴム内径数 : $n_i$	
	有効断面積 : $A$ ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	
	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 $S_1 = (D_o^2 - n_i \cdot D_i^2) / 14 \cdot t_r \cdot (D_o + n_i \cdot D_i)$	
	2次形状係数 $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$	
	フランジ外径 : $D_f$ (mm)	
	フランジ厚さ: 端部 / 中央部 : $t_f / t_{fc}$ (mm)	
	取付ボルト穴 PCD : P.C.D (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)		
		フランジ組立型

## 弾性支承の耐震性に対する検討

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。

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

## ■圧縮限界強度 (右図参照)

- せん断ひずみ 0 時の座屈面圧
- $\sigma_{cr}$
- 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、 $E_b = E(1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2) / \{1 + E(1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2) / E_\infty\}$   
 $\alpha_c$ : 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:  $\alpha_c = 0.10 \cdot (S_2 - 5) + 1$

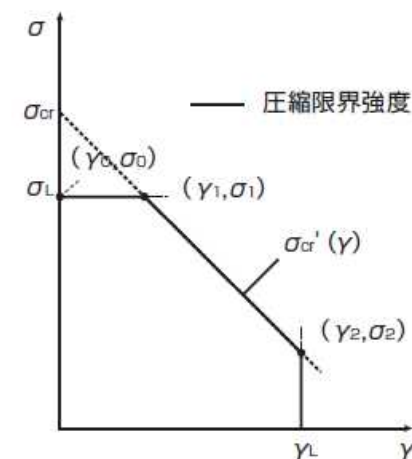
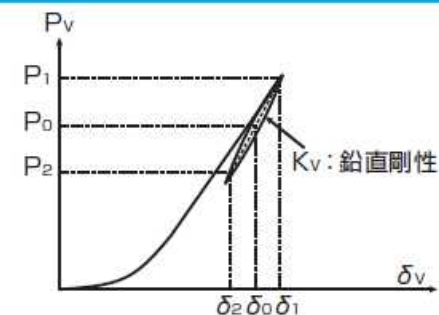
- 任意のせん断ひずみ
- $\gamma$
- における圧縮限界強度
- $\sigma_{cr}'(\gamma)$
- は、
- $\sigma_{cr}$
- を用いて次式で決定しています。

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

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



# 弾性支承の耐震性に対する検討

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)

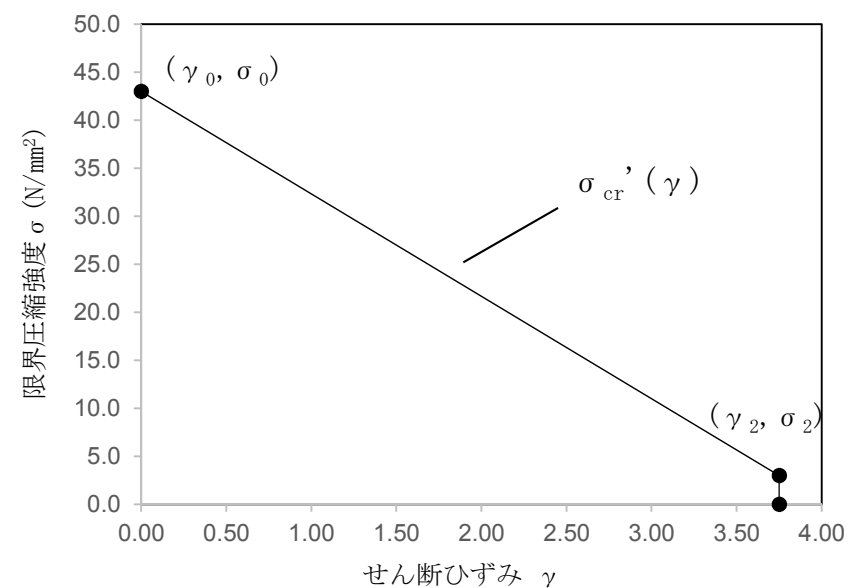
認定番号 MVBR-0509/MVBR-0518(G4)  
(ご注意) 一部製造工程の違いにより認定番号が2つあります。  
 設計図書への記載方法についてはP.111のご使用時の注意事項をご確認ください。

●NHシリーズ(ゴム総厚 20cm タイプ)

項目		NH0304	NH0354	NH0404	NH0454	NH0504	NH0554	NH0604	NH0654	NH0704	NH0754	NH0804	NH0854	NH0904	NH0954	NH1004	NH1054	NH1104	NH1154	NH1204	NH1254	NH1304	NH1354	NH1404	NH1454	NH1504	
ゴム外径 (mm)		600	650	700	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	55	65												
有効断面積(×10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup> )		2826	3317	3841	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9490	11266	13249	15361	17639												
ゴム層厚 (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	20												
ゴム総厚 (mm)		200	198	200	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200												
1次形状係数 (-)		36.6	36.1	36.1	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9												
2次形状係数 (-)		3.00	3.28	3.41	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	6.40	7.02	7.50												
フランジ外径* (mm)		900	950	1000	1100	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900													
フランジ径* (内径/外径) (mm)		22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	26/36	26/36	28/36	32/40	32/40	32/40	37/45	42/50												
ボルト穴 PCD** (mm)		775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750												
ボルト穴径×数** (mm)		φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ33×12	φ39×12	φ39×12	φ39×12	φ39×12	φ42×12	φ42×12												
標準ボルトサイズ** (-)		M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39												
内部層厚さ (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	388.9	376.9	22.2	413.1	410.9	402.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	410.2												
製品総重量 (tonf)		0.66	0.72	0.8	0.90	1.21	1.3	1.49	1.59	1.77	2.05	2.38	2.85	3.46	4.05												
製品総重量 (KN)		6.5	7.0	7.6	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	28.0	33.9	39.7												
せん断弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )		31	35	36	43	47	51	56	61	64	70	77	84	90	97												
圧縮限界強度 (N/mm <sup>2</sup> )	( $\gamma_0, \sigma_0$ )	(0.0, 31)	(0.0, 35)	(0.0, 36)	(0.0, 43)	(0.0, 47)	(0.0, 51)	(0.0, 56)	(0.0, 61)	(0.0, 64)	(0.0, 70)	(0.0, 77)	(0.0, 84)	(0.0, 90)	(0.0, 97)												
	( $\gamma_1, \sigma_1$ )	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.076, 64.4)	(0.080, 68.6)	(0.084, 72.8)	(0.088, 77.0)	(0.092, 81.2)	(0.096, 85.4)												
	( $\gamma_2, \sigma_2$ )	(2.78, 0)	(3.21, 0)	(3.45, 0)	(3.75, 0)	(4.00, 0)	(4.00, 10)	(4.00, 21)	(4.00, 25)	(4.00, 29)	(4.00, 39)	(4.00, 39)	(4.00, 44)	(4.00, 51)	(4.00, 57)												
標準弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )		8.0	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	3000	3930	4920	6130	7630	9200	11800	14200	16900	19900	23000	26500												
引張弾性率 ( $\gamma=100\%$ 時) (N/mm <sup>2</sup> )		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 (×10 <sup>4</sup> KN/m)	0.554	0.657	0.74	0.866	0.986	1.11	1.26	1.40	1.53	1.68	1.86	2.21	2.60	3.02												

装置性能

	せん断ひずみ	限界圧縮強度	
$\gamma_0$	0.00	$\sigma_0$	43.0
$\gamma_2$	3.75	$\sigma_2$	3.0



## 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

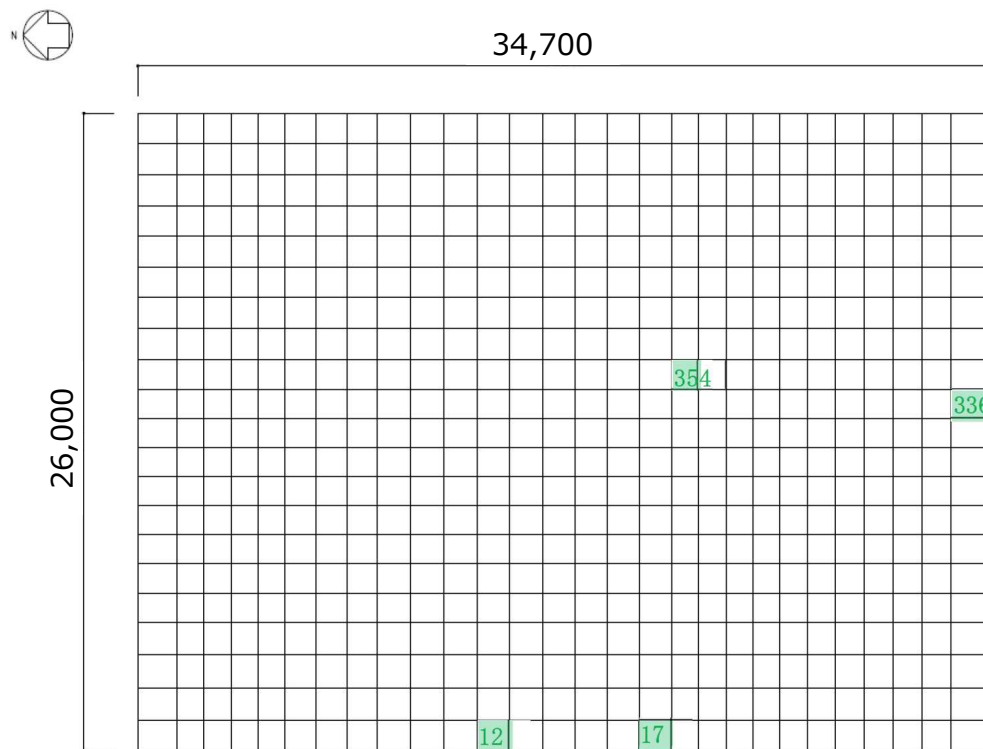
検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-1	NS (A)	18	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (A)	0.14	1.00	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

## 4.3.5 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 4.3.5-1 基礎モデル(Ss 地震時)

## 4.3.5 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「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) <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 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。

## 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)*1	設計応力		N/(b・D) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) ( $\times 10^{-2}$ 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 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ Qa (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)	—	562.1	2663	O.K.
17	NS	Ss-1+NS-UD (A)	401.3	6844.2	0.134	0.760	0.217	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	—	2048.4	2663	O.K.
354	EW	Ss-2-EW+UD (B)	852.3	8006.6	0.284	0.890	0.239	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

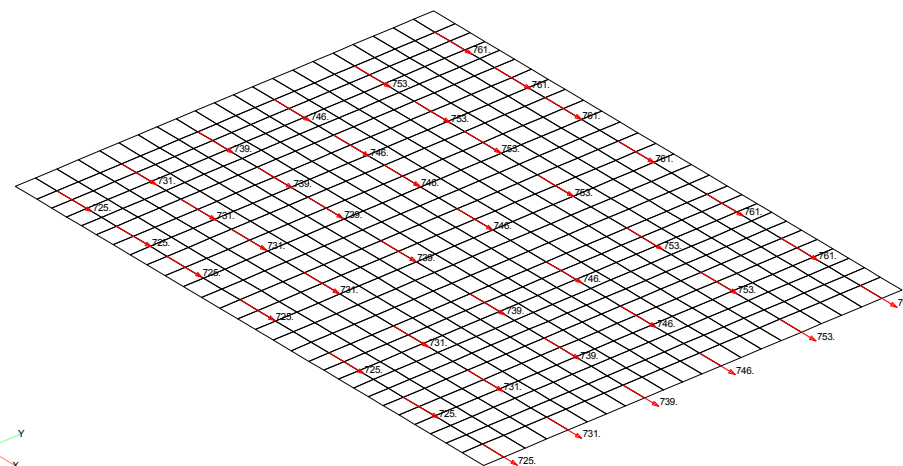
要素番号	方向	荷重ケース (位置)*1	設計応力		N/(b・D) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外 せん断力 Q (kN/m)	許容せん断力 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ Qa (kN/m)	判定
			N*2 (kN/m)	M (kN・m/m)								
587	NS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

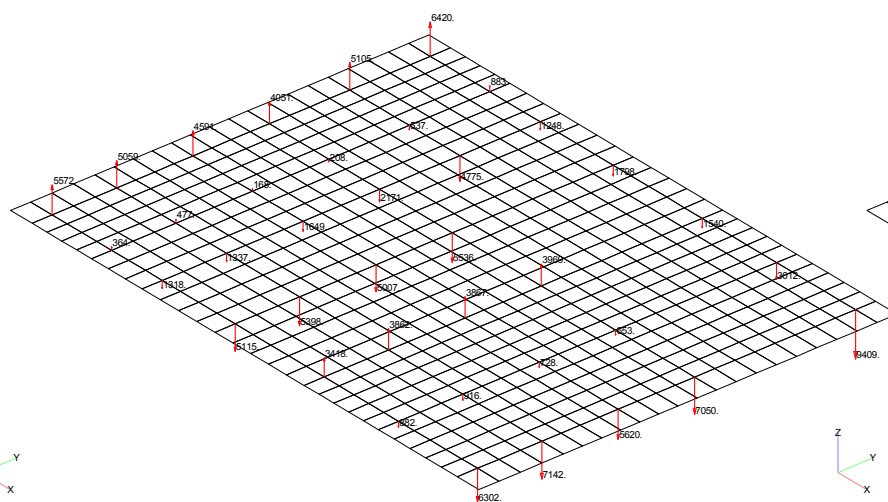


# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

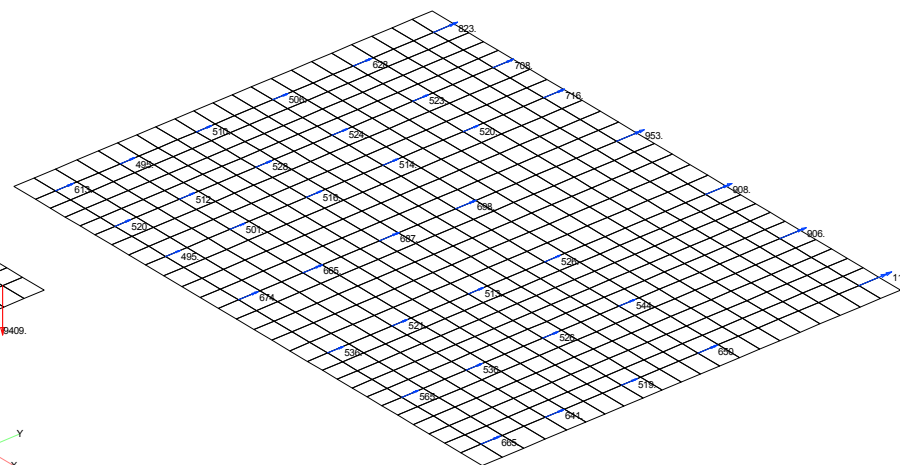
- 基礎の耐震性に対する検討では，基礎上部から受ける荷重として，柱反力（柱脚軸力・曲げモーメント・せん断力）を各柱位置の接点に入力する
- 上記に加え，基礎自重，水平方向並びに鉛直方向の慣性力，付加曲げ応力を入力する



柱脚せん断力Q



柱脚軸力N



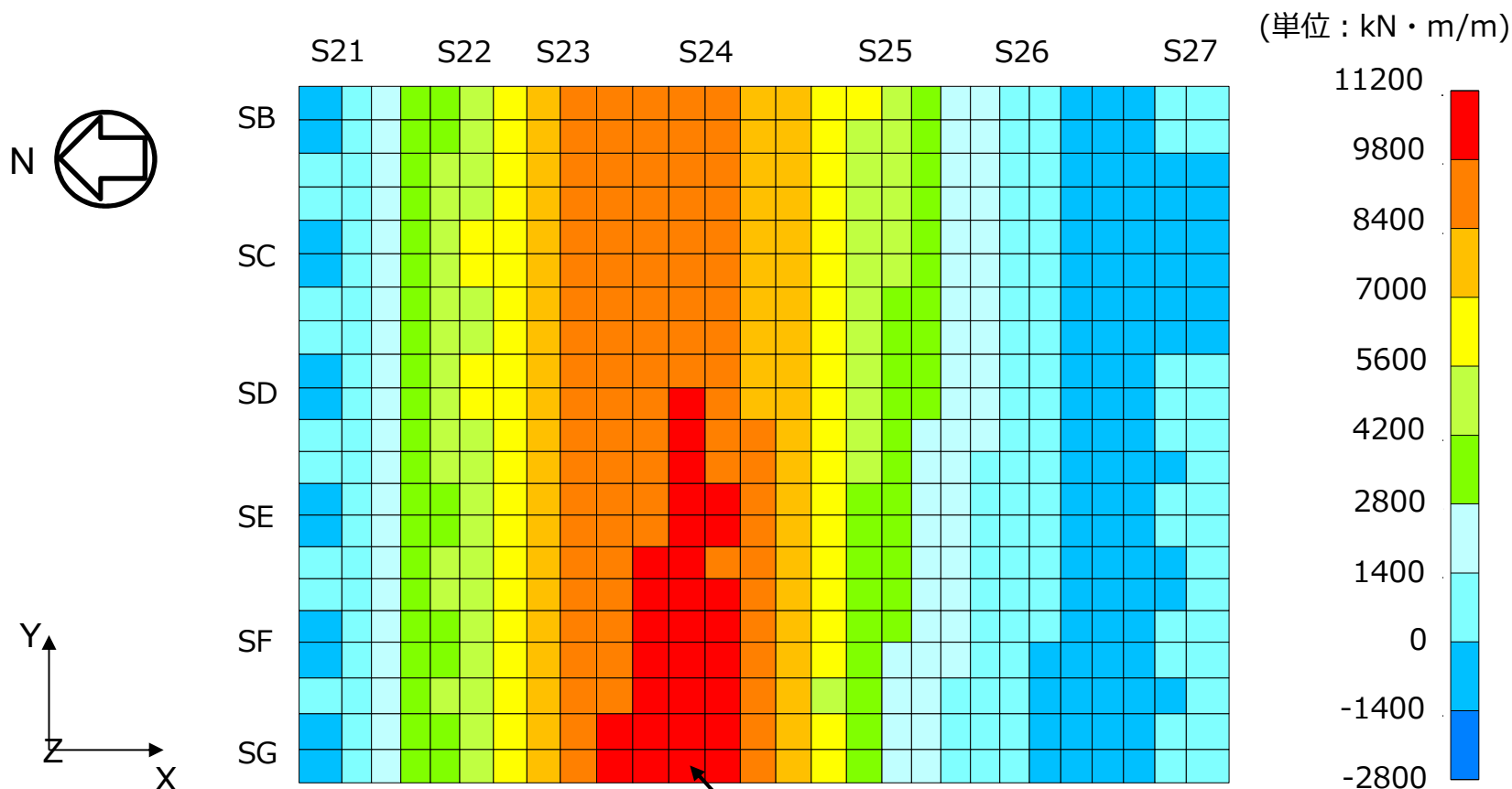
柱脚曲げモーメントM

荷重条件例：Ss-1+NS-UD(A)

V1  
L10022

V1  
L10021

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

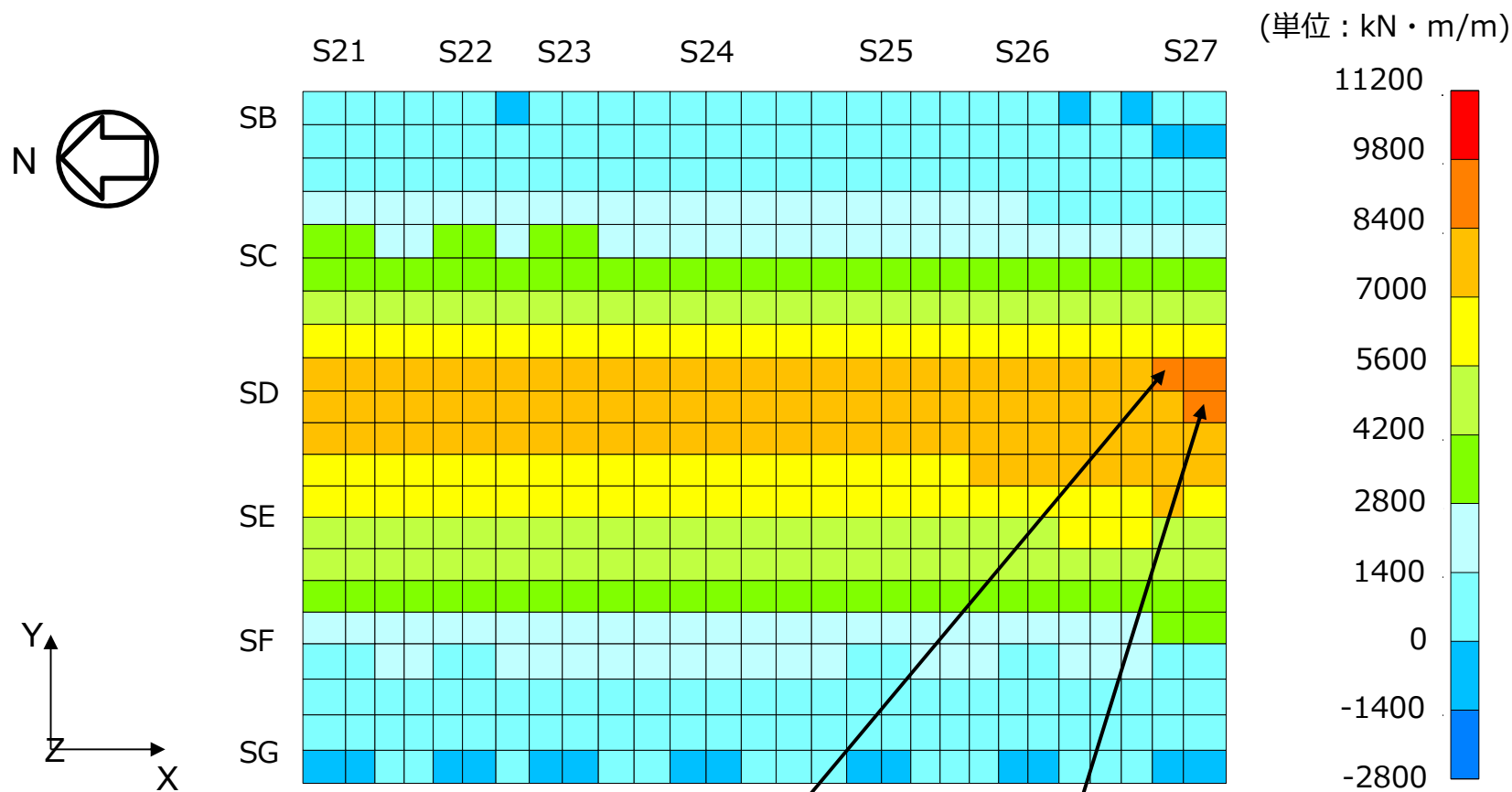


応力\*1及び検定比最大要素：  
11137.8 kN・m/m

\*1：本ケースにおける応力最大要素を示す

応力コンター（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)

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

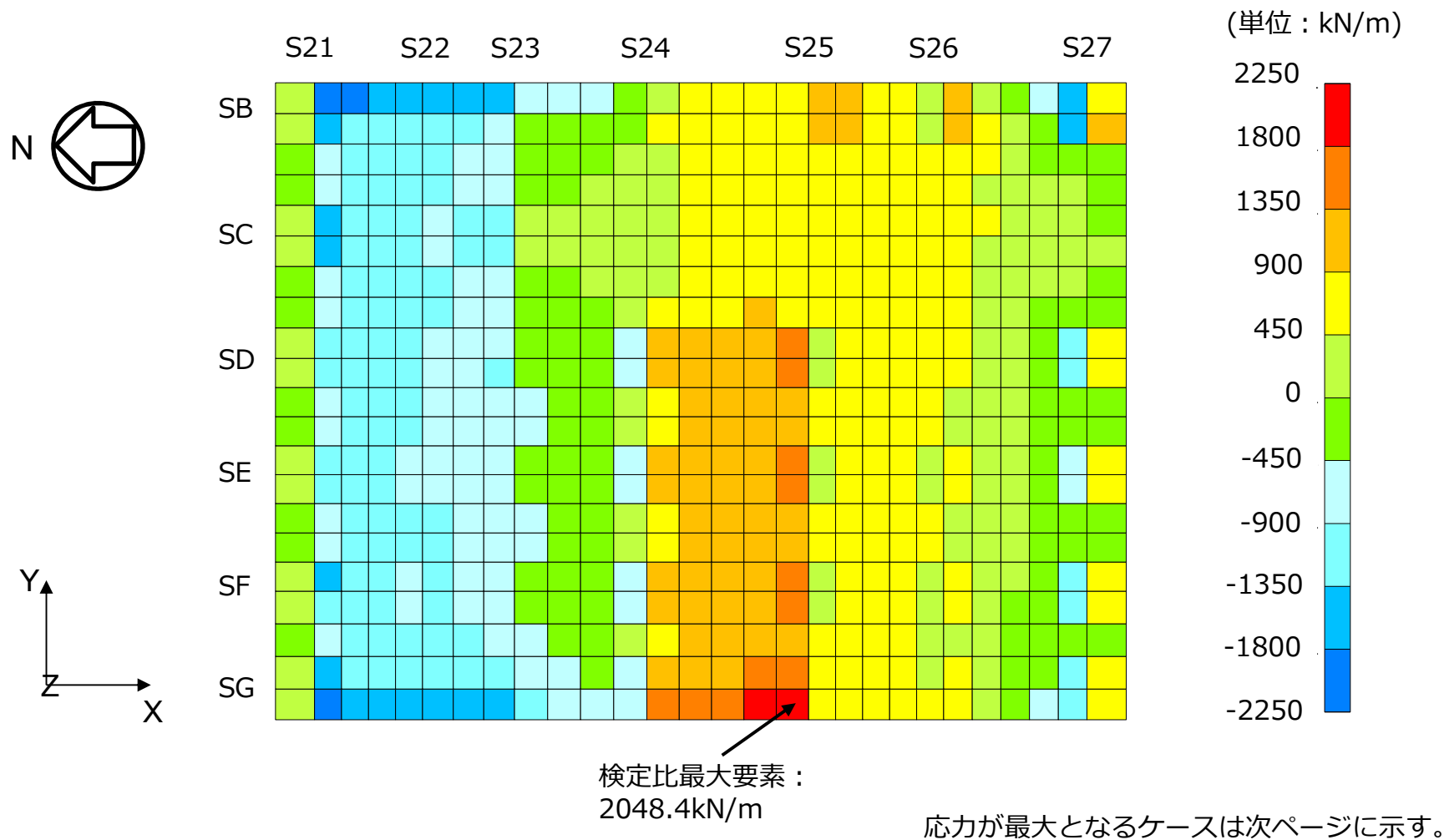


応力最大要素\*1 : 8515.4kN·m/m  
 検定比最大要素 : 8453.6kN·m/m

\*1 : 本ケースにおける応力最大要素を示す

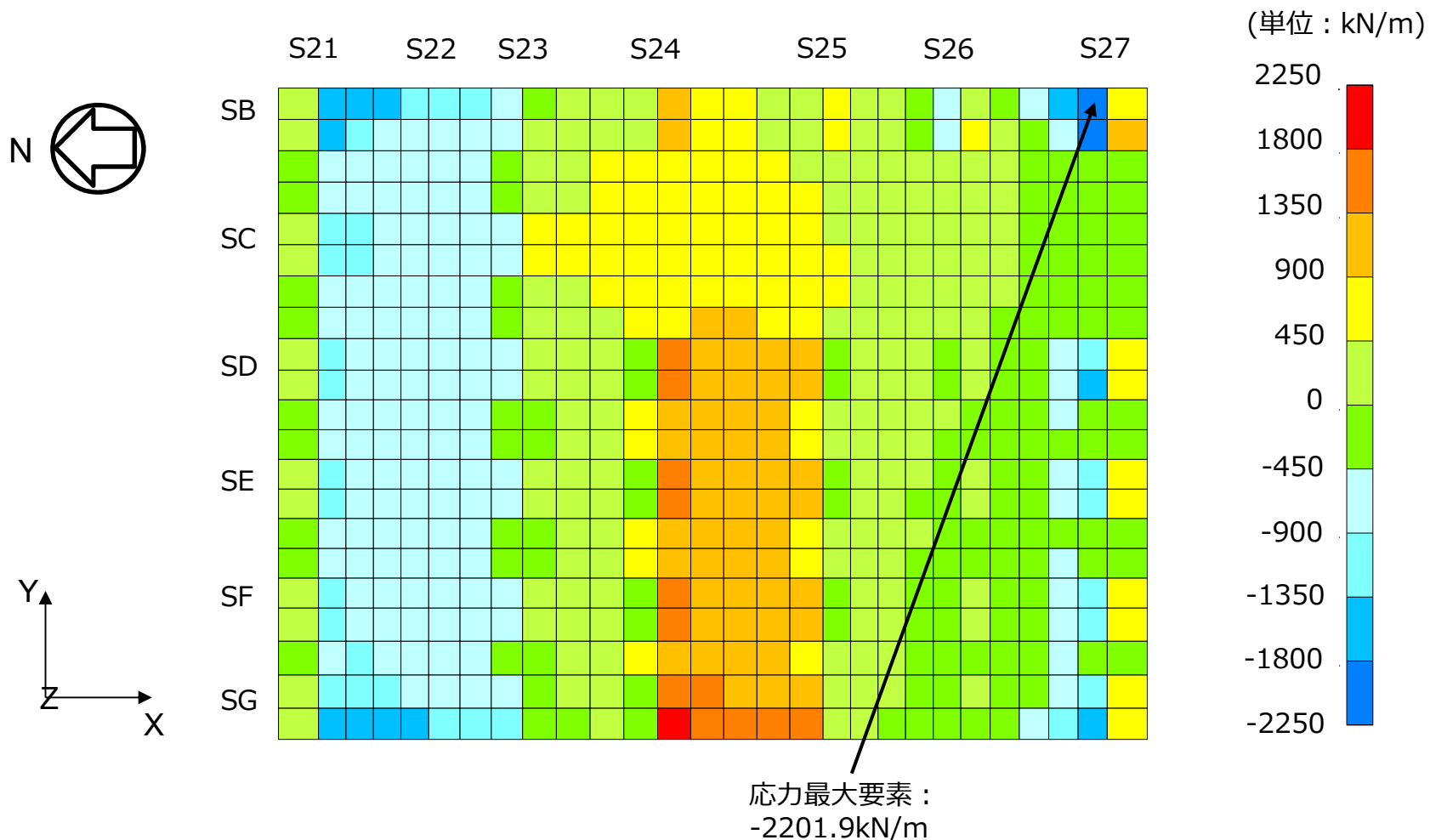
応力コンター (X軸まわり曲げモーメント)  
 応力及び検定比最大値発生荷重ケース : Ss-3+EW-UD(B)

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター



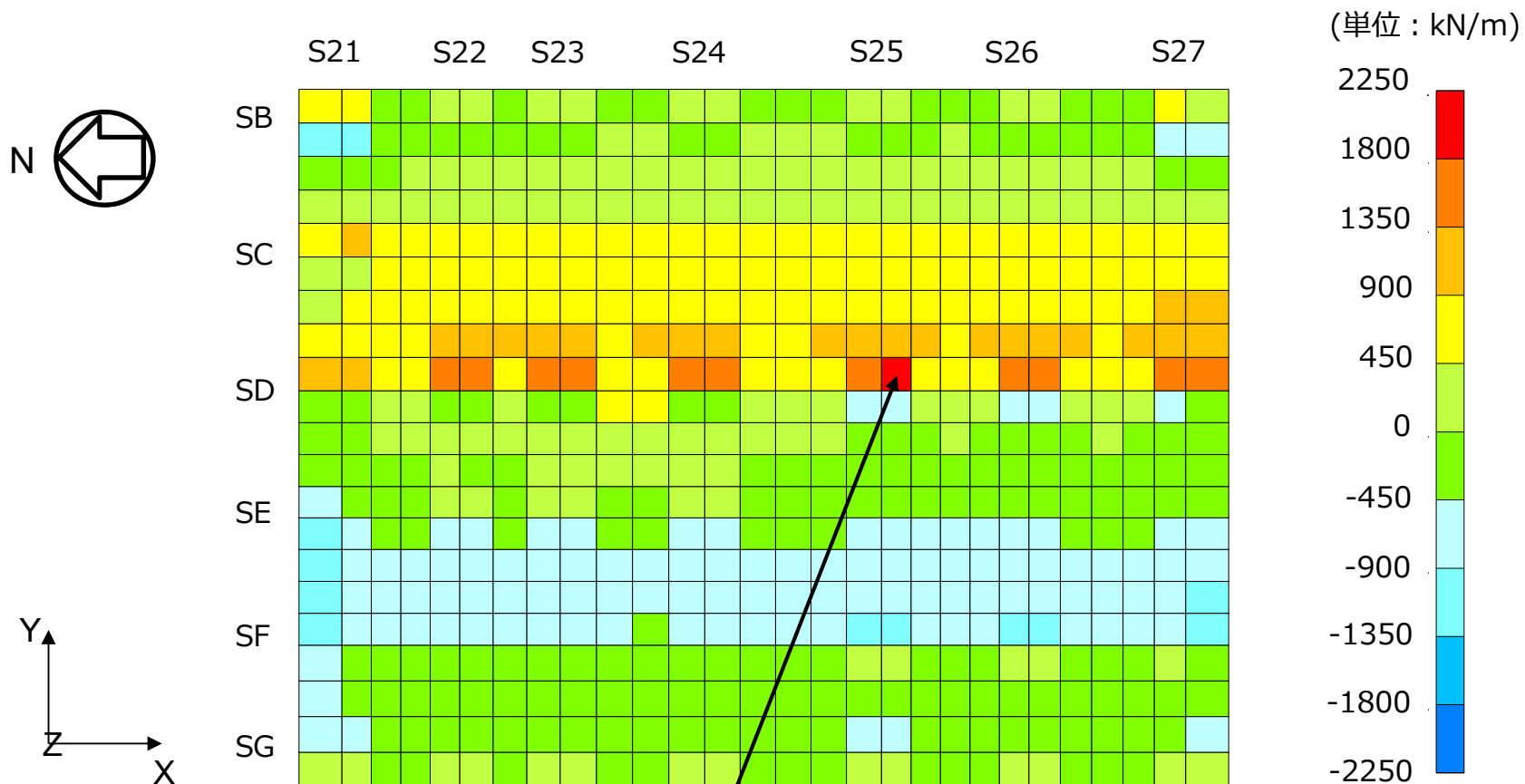
応力コンター (NS方向せん断力)  
 検定比最大値発生荷重ケース : Ss-1+NS-UD(A)

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター



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)

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

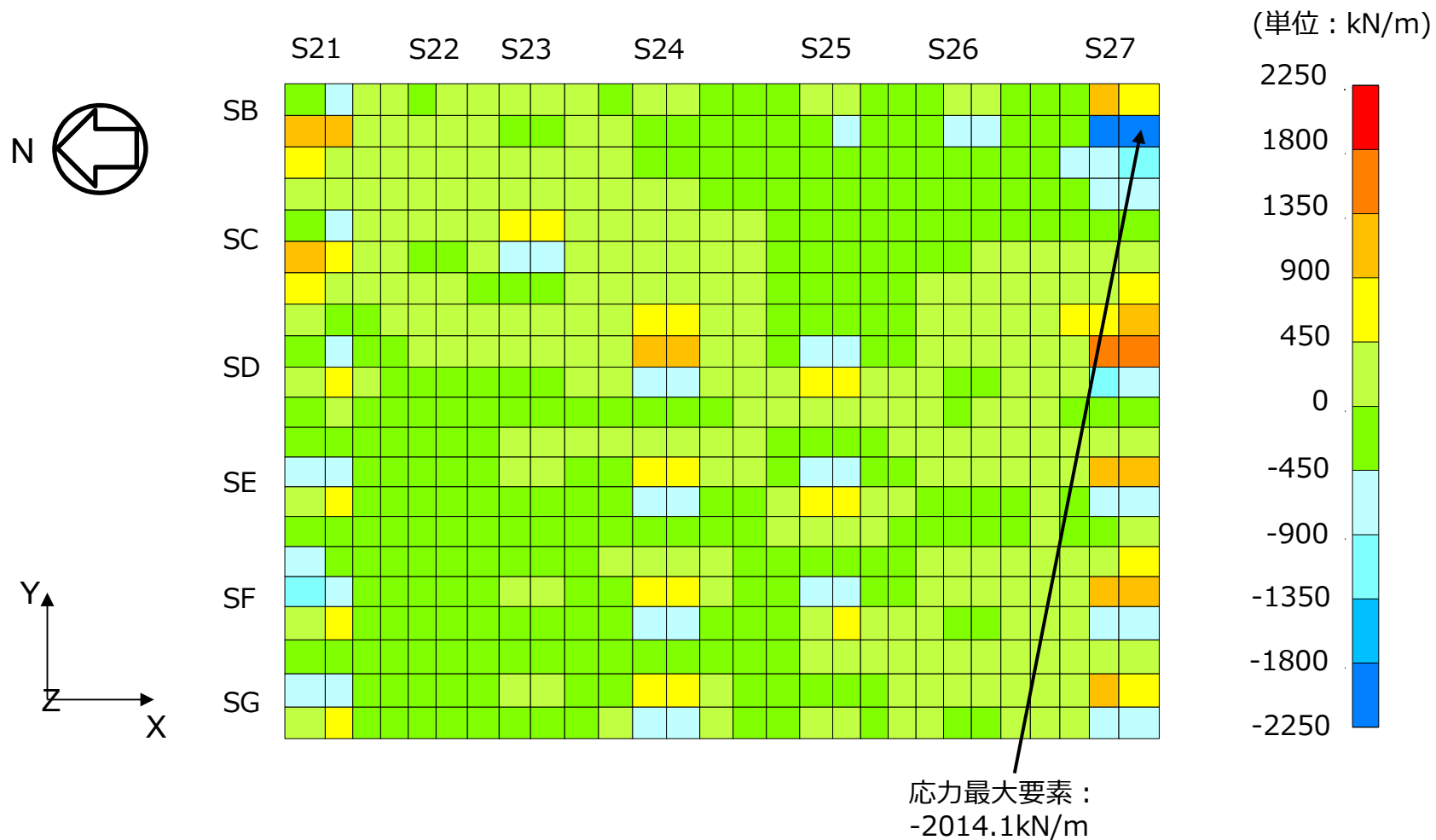


検定比最大要素：  
1806.0kN/m

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（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)

# 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター



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)

## 4.3.6 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。

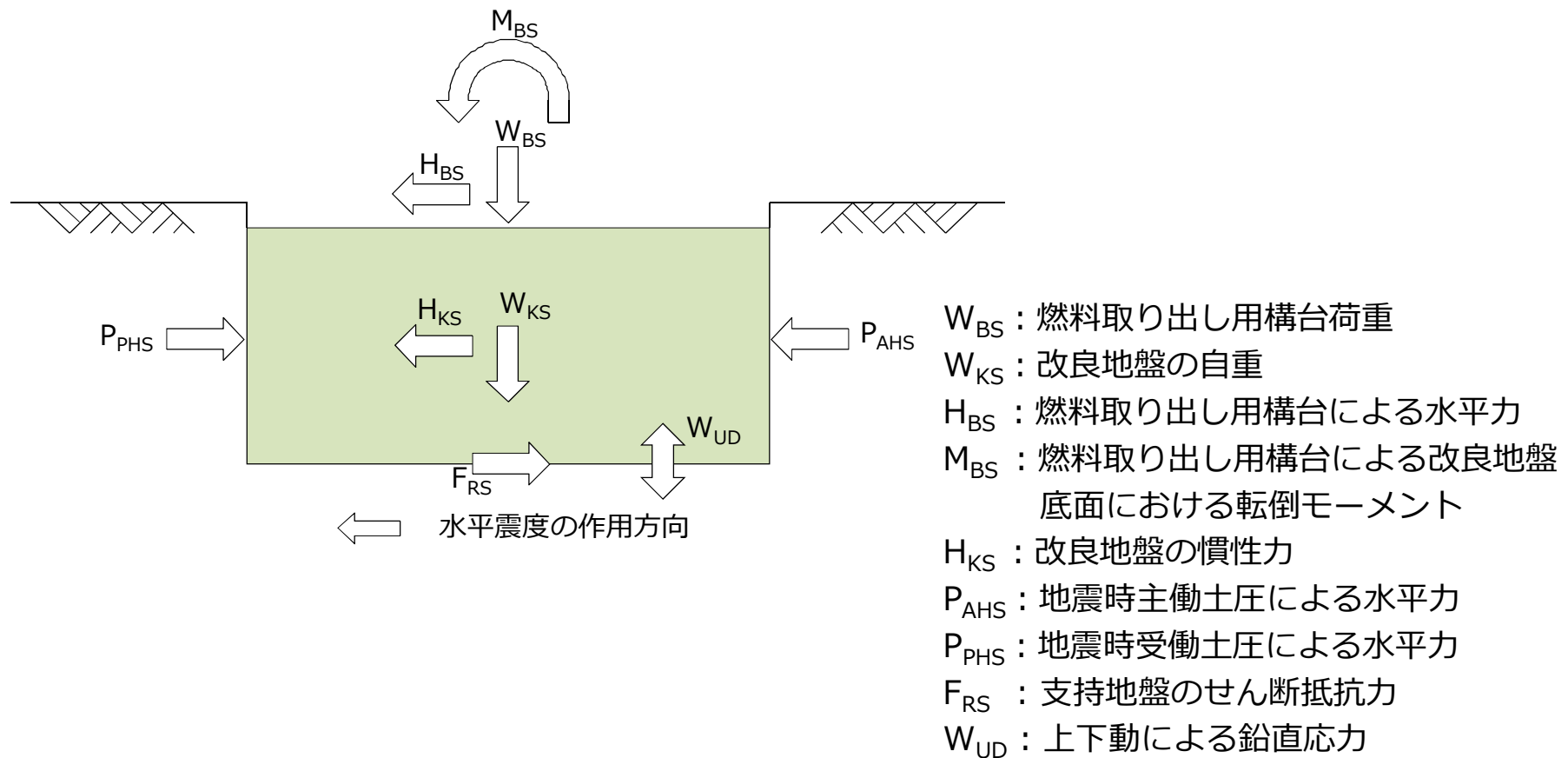


図4.3.6-1 作用荷重（基準地震動Ss時）



## 4.3.6 改良地盤の耐震性に対する検討

### ■ 改良地盤に生じる鉛直応力に対する検討

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

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

ここで、 $ssf_{sc}$ ：改良地盤の圧縮強度

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

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

表4.3.6-1 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 <sup>2</sup> )	圧縮強度 $ssf_{sc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	安全率	クイテリア	判定
NS	Ss-1	761	4900	6.43	1.50	OK
EW	Ss-2	793	4900	6.17	1.50	OK

## 4.3.6 改良地盤の耐震性に対する検討

### ■ 改良地盤に作用するせん断力に対する検討

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

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

ここで、 $F_S$ :せん断に対する安全率

$F_R$ :せん断面上の地盤の水平抵抗力 (kN)

$F_H$ :せん断面上の地盤のせん断力 (kN)

表 4.3.6-2 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

## 4.3.6 改良地盤の耐震性に対する検討

### ■ 支持力の検討

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

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

ここで， $R_u$ ：極限鉛直支持力度

$V$ ：地震応答解析から得られる最大鉛直応力

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

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

## 4.3.7 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。

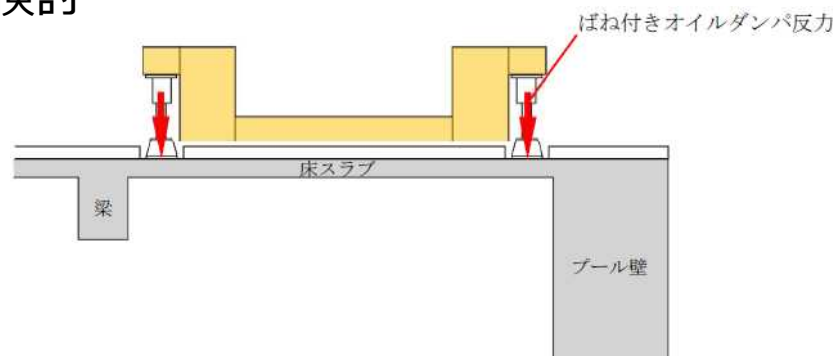


図 4.3.7-1 ばね付きオイルダンパ反力概要図

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)

## 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。

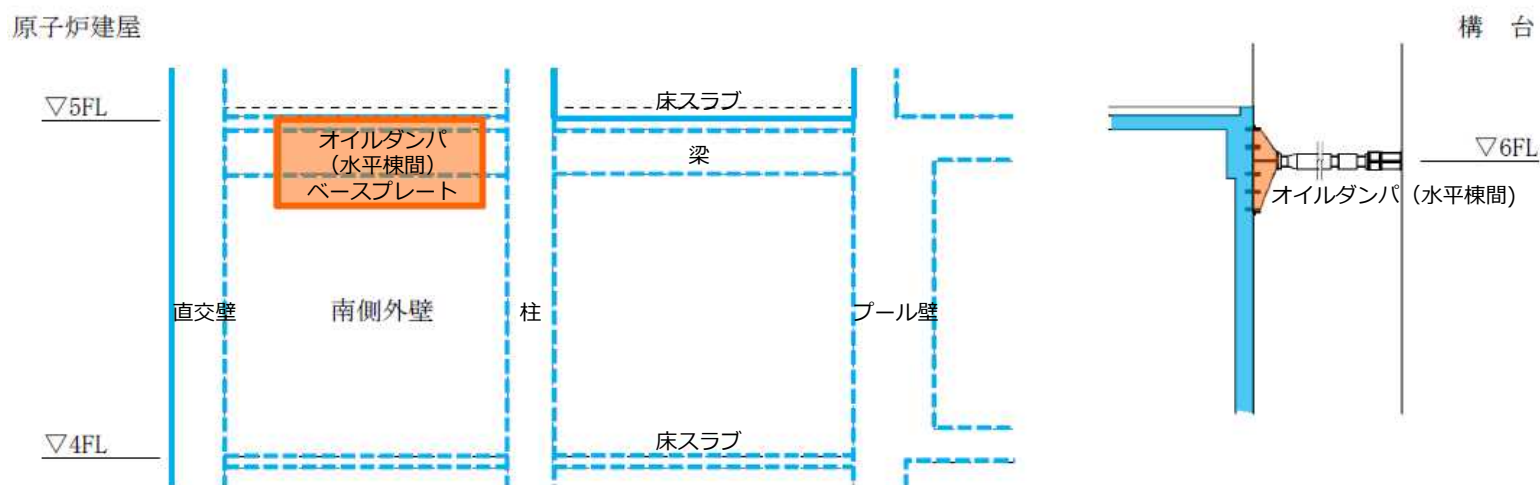


図 4.3.7-2 オイルダンパ（水平棟間）ベースプレート概要図

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)

## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

### ■ 検討方針

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

### ■ 解析に用いる入力地震動

原子炉建屋上部架構の地震応答解析に用いる入力地震動は、基準地震動Ssを入力したときの原子炉建屋G.L.29.92mの時刻歴応答加速度とし、水平方向、回転方向及び鉛直方向の同時入力とする。入力地震動の概念図を図 4.3.8-1に示す。

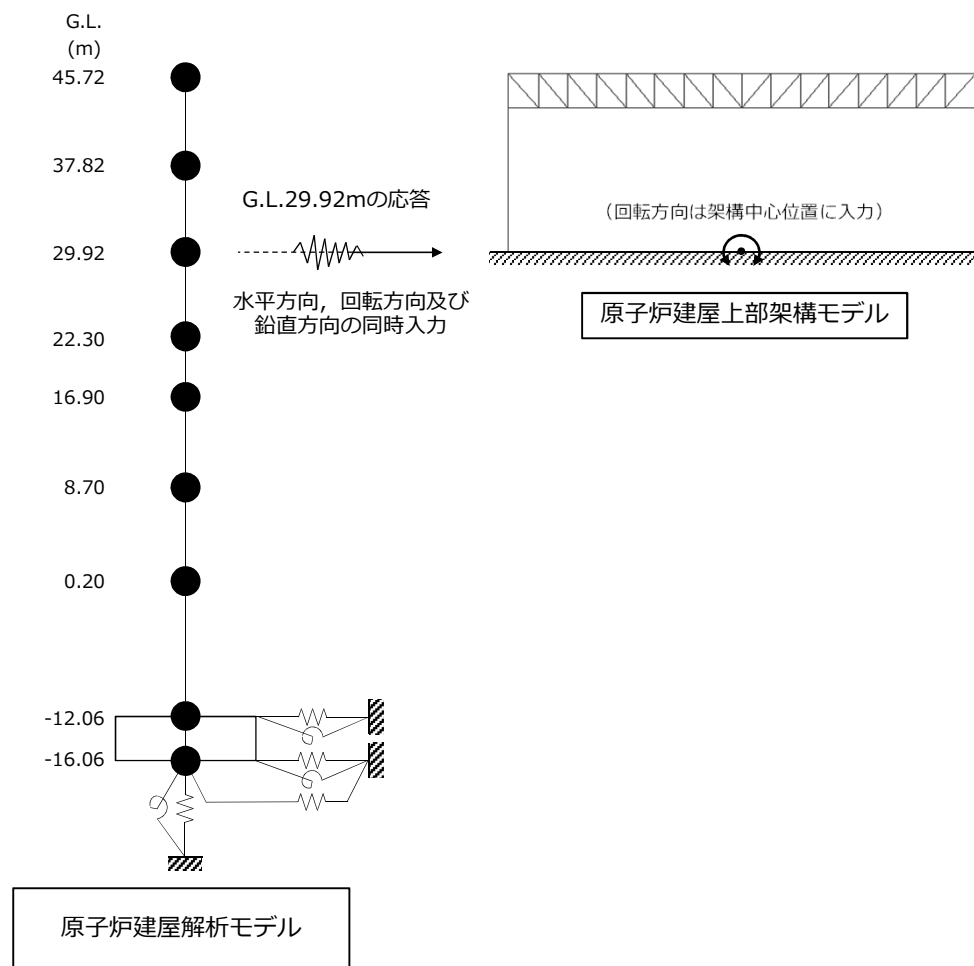


図 4.3.8-1 入力地震動の概念図

## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

### ■ 地震応答解析モデル

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

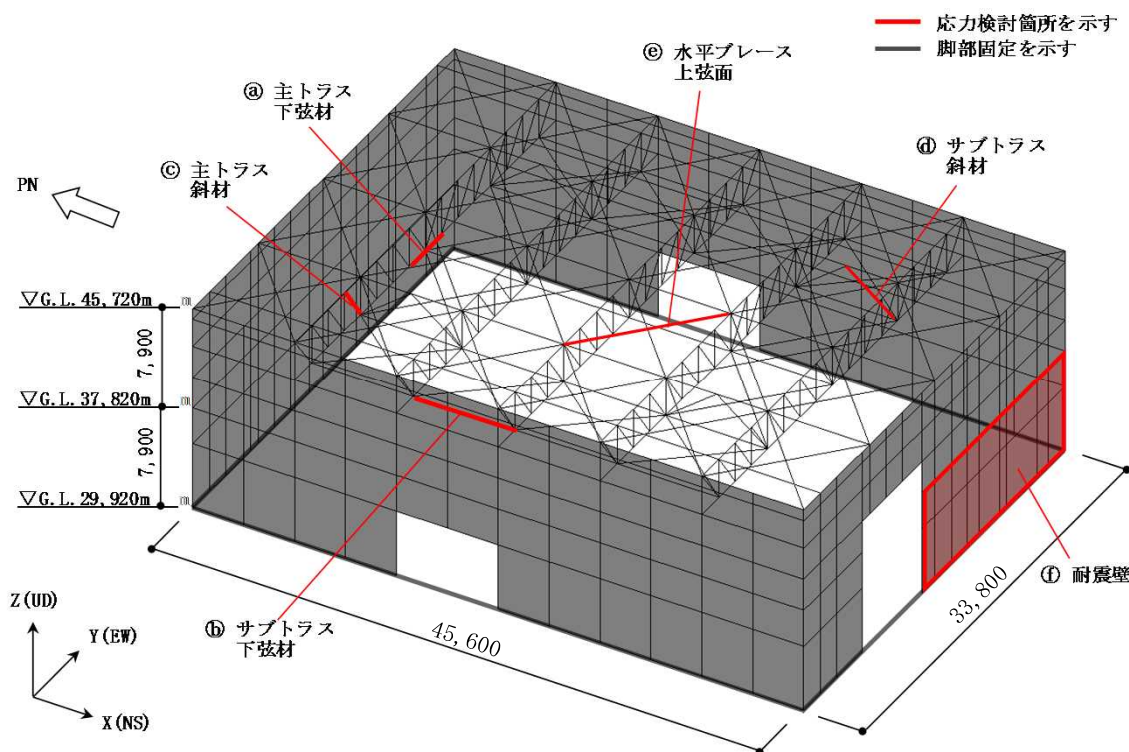


図 4.3.8-2 原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデル

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

\* : 実強度(Fc35)に基づく物性値を示す。

## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

### ■ 波及的影響の評価

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

### ■ 応力度比及び塑性率の検討

部材の応力度比は、2方向の曲げ、軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表され、部材の塑性率は、引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。なお、各許容応力度、引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「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。



## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

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/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	判定
主 ト ラ ス	Ⓐ	下弦材	H-400×400×13×21 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	$\sigma_t$	108.4	258	0.72	O.K.
					$\sigma_{by}$	49.7	190		
					$\sigma_{bz}$	7.4	258		
					$\tau$	5.0	148		
サ ブ ト ラ ス	Ⓑ	下弦材	H-248×249×8×13 <SS400>	Ss-1+EW-UD (A)	$\sigma_c$	53.1	142	0.38	O.K.
					$\sigma_{by}$	0.0	157		
					$\sigma_{bz}$	0.0	258		
					$\tau$	0.0	148		

\*1 : Ⓐ, Ⓑ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)

$\sigma_t$  : 引張応力度の最大値

$\sigma_c$  : 圧縮応力度の最大値

$\sigma_{by}$  : 強軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\sigma_{bz}$  : 弱軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\tau$  : せん断応力度の最大値

## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

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	㉔	斜材	2Ls-100×100×13 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	T/Tu	0.82	O.K.
サブトラス	㉕	斜材	2Ls-100×100×7 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	C/Cu	0.58	O.K.
水平ブレース	㉖	上弦面	CT-125×250×9×14 <SS400>	Ss-2+EW-UD (A)	C/Cu	1.68	O.K.

\*1 : ㉔, ㉕, ㉖ 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

## 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

### ■ 耐震壁のせん断ひずみの検討

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

表 4.3.8-4 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 ( $\times 10^{-3}$ )	判定
耐震壁	ⓕ	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)

### 4.3.8 原子炉建屋の耐震性に対する検討

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

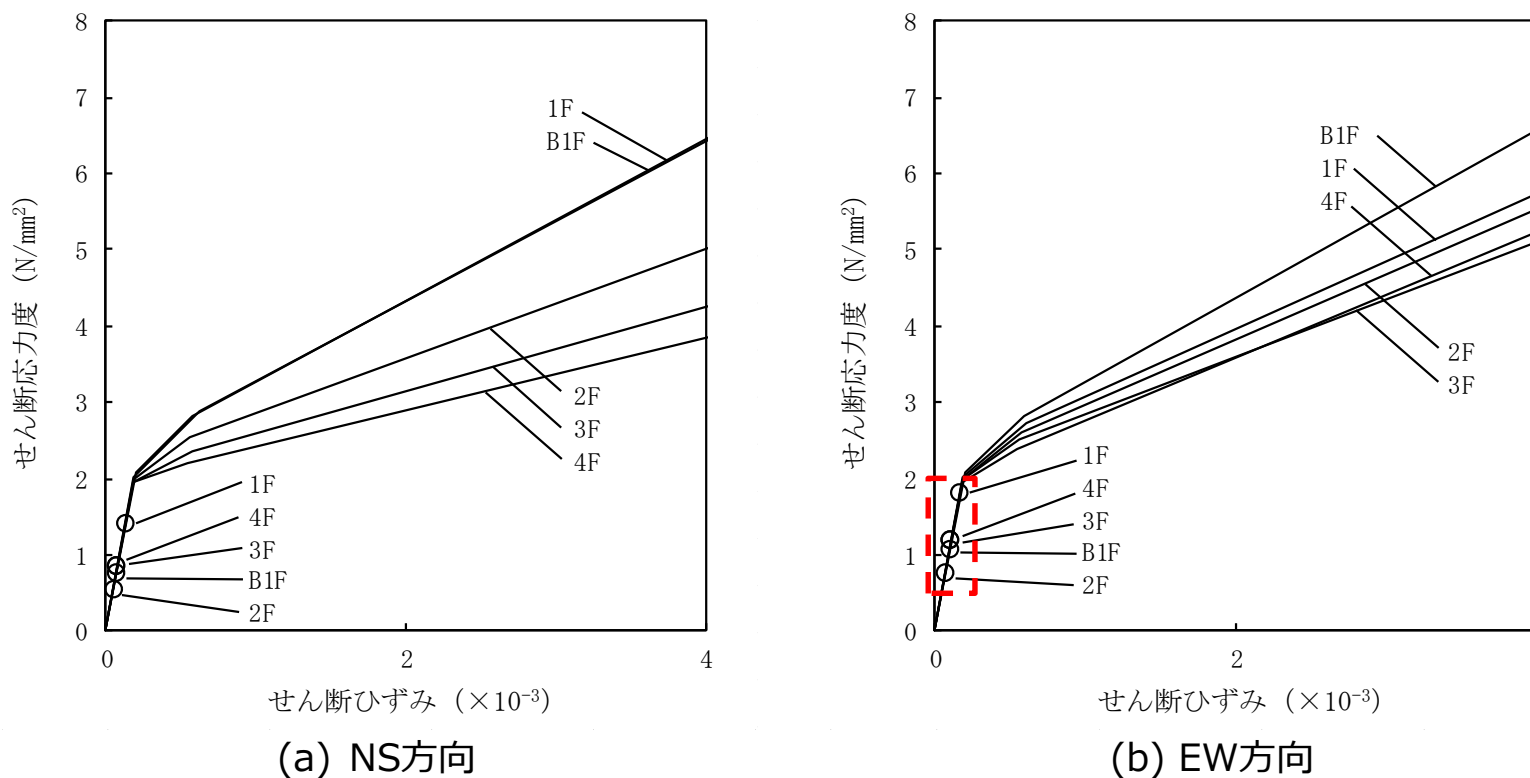


図4.3.8-3 せん断スケルトン曲線上の最大応答値

燃料取扱設備の耐震性についての計算書

## I. 燃料取扱設備に係る耐震設計の基本方針

### 1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
燃料取扱設備	B 相当	Ss 又は Sd

### 2. 構造設計

#### (1) 構造概要

燃料取扱設備は、輸送容器を取り扱うブーム型クレーン、燃料を取り扱うブーム型クレーン、キャスクを積載し転倒を防止するキャスク固定治具、それらを支持する走行台車から構成される。

### 3. 評価に適用する確認用地震動

使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラックへの波及的影響を考慮するための地震動として、確認用地震動を適用する。波及的影響を考慮する必要のある設備状態の作業時間と地震の発生確率から確認用地震動を決定する。

#### 3.1. 設備姿勢の継続時間

ここで各作業時間は機器の定格速度での移動時間に、位置決め、状態確認の時間を考慮した。燃料取扱状態は Ss 地震動で評価するため、作業時間評価の対象外とした。

設備状態	輸送 1 回あたりの作業時間	当該手順
燃料取扱状態	—	②②
輸送容器取扱状態	2h	①⑥, ①⑦, ①⑧ ②⑥, ②⑦, ②⑧
輸送容器移送状態	0.5h	①①, ①② ③①, ③②
輸送容器固定状態	0.5h	①③, ①④, ①⑤ ②⑨, ②⑩

ここで、

燃料取扱状態 : 燃料取扱機で燃料を取り扱う状態

輸送容器取扱状態 : クレーンで輸送容器を取り扱う状態

輸送容器移送状態 : 燃料取扱設備に輸送容器を積載し、走行台車部がアウトリガーピンでランウェイガータに固定されていない状態

輸送容器固定状態 : 燃料取扱設備に輸送容器を積載し、走行台車部がアウトリガーピンでランウェイガータに固定されている状態

## 3.2. 設備状態と地震動の組合せ

設備状態が確認用地震と重畳する確率を以下に示す。輸送容器取扱状態，輸送容器移送状態，輸送容器固定状態と Ss 地震動が重畳する可能性は十分低くなることから，各状態での耐震評価では Sd 地震動を用いる。

単位：/年		10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
		輸送容器 取扱状態	Ss 地震動			
	Sd 地震動	←		→		
輸送容器 移送状態	Ss 地震動				↔	
	Sd 地震動		←		→	
輸送容器 固定状態	Ss 地震動				↔	
	Sd 地震動		←		→	

ここで，各設備状態と確認用地震動が重畳する確率は以下にて算定した。

各設備状態と確認用地震動が重畳する確率(/年)

$$= \frac{\text{設備状態の継続時間} \cdot \text{輸送回数}}{\text{燃料取り出し期間}} \cdot \text{確認用地震動の発生確率}$$

輸送回数 : 89 回

燃料取り出し期間 : 2 年

Ss 地震動の発生確率 : 10<sup>-4</sup>～10<sup>-5</sup>/年(\*)

Sd 地震動の発生確率 : 10<sup>-2</sup>～10<sup>-4</sup>/年(\*)

(\*)原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601・補-1984)より引用

## 4. 設計用地震力

評価に用いる地震力は確認用地震動を燃料取り出し用構台へ入力した際にランウェイガータの原子炉建屋側での燃料取扱設備停止位置から得られる応答加速度の時刻歴を入力波として求めた床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルは Ss 地震動については Ss-1, Ss-2 及び Ss-3, Sd 地震動については Sd-1, Sd-2 及び Sd-3 を包絡し，かつ，走行台車車輪位置 6 点を包絡したものを，周期軸方向に±10%拡幅して求める。水平方向それぞれの地震力に鉛直方向地震力を組合せ，いずれか厳しい方を設計用地震力とする。

評価対象機器が剛構造の場合は，確認用地震動を燃料取り出し用構台へ入力した際にランウェイガータの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置から得られる応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて地震力とする。

## 5. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

Ss : Ss 地震動により求まる地震力

Sd : Sd 地震動により求まる地震力

1.5f<sub>t</sub>: 許容引張応力

ボルト以外の支持構造物に対しては設計・建設規格 SSB-3121.3, ボルト材  
 に対しては設計・建設規格 SSB-3133 により規定される値

1.5f<sub>s</sub>: 許容せん断応力

同上

1.5f<sub>c</sub>: 許容圧縮応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f<sub>b</sub>: 許容曲げ応力

同上

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

注) 組合せ応力についても評価する。



## II. 燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本計算書は燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書である。

#### 1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱機(旋回体)の耐震性の評価は確認用地震動, 評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる燃料取扱状態で代表する。
- (2) 燃料取扱機(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定されるものとする。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, **NS** 方向, **EW** 方向の地震力を燃料取扱機(旋回体)に対して厳しい方向に作用するものとする。

## 2. 計算方法

## 2.1. 固有周期の計算方法

## 2.1.1 条件

- (1) 燃料取扱機の重量として構造物及び搭載機器を考慮する。燃料取扱機(旋回体)の重量を表 1 及び構造概要を図 1 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部に支持されているものとする。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)の重量には, 定格荷重を考慮する。

表 1 燃料取扱機(旋回体)の重量

名称	重量(t)
燃料取扱機(旋回体)	22.5
定格荷重	1

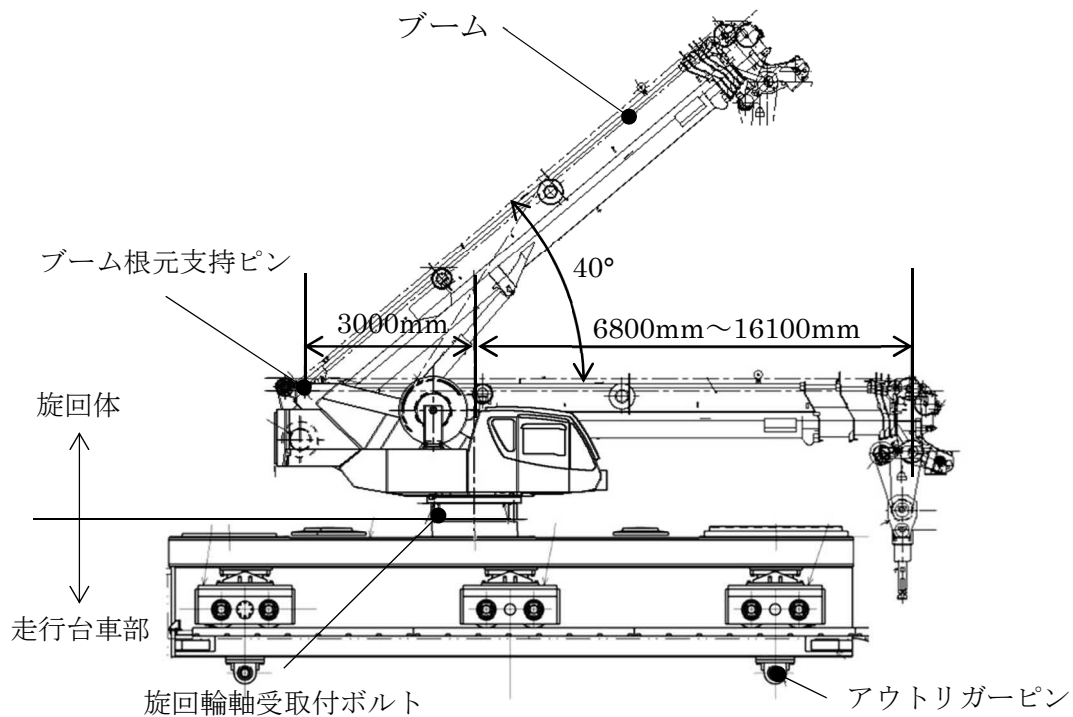


図 1 燃料取扱機 構造概要

## 2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 2 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)は燃料移送時にブーム長さ, 起伏角を変化させて移動するため, 評価は最も厳しい姿勢を考慮し, ブーム長 19.1m, 起伏角  $0^{\circ}$  とする。

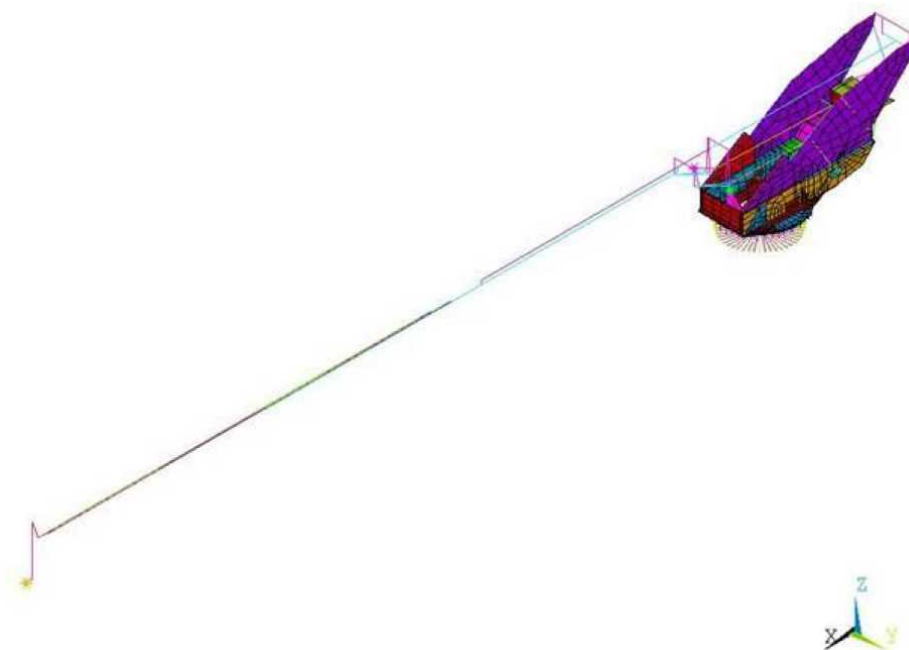


図 2 燃料取扱機(旋回体) 計算モデル

## 2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として EW 方向+UD 方向の Ss 地震動を燃料取り出し用構台へ入力し得られる応答加速度の時刻歴から求めた床応答スペクトルを用いる。ランウェイガーダへの負荷荷重として燃料取扱設備重量に燃料取扱機定格荷重を考慮した。本評価で用いる床応答スペクトルを図 3 に示す。

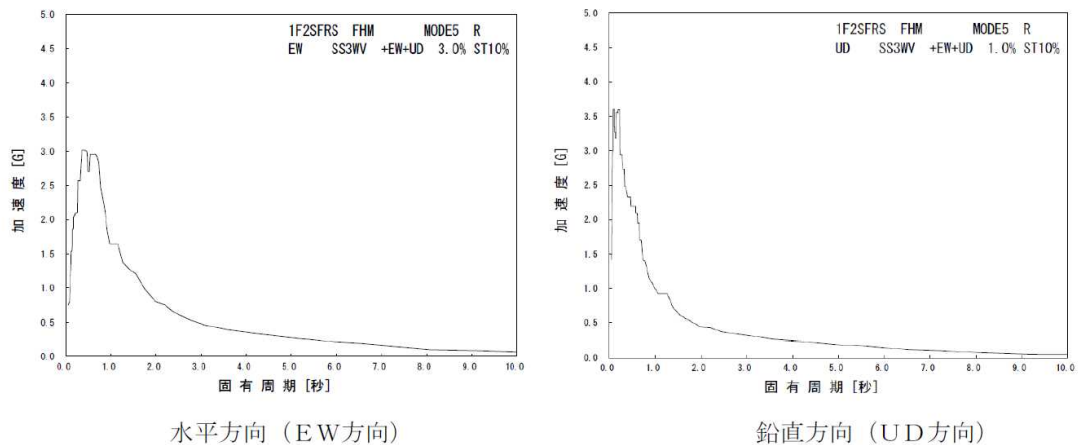


図 3 床応答スペクトル

## 3. 評価方法

### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 2 に示す。

表 2 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686
		せん断	396
		曲げ	686
		組合せ	686
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	687
		せん断	529
		組合せ	687
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	687
		せん断	529
		組合せ	687

## 4. 結論

算出応力は、表 3 に示すように、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 3 算出応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686	132
		せん断	396	18
		曲げ	686	434
		組合せ	686	567
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460	186
		曲げ	1088	136
		組合せ	798	350
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	687	183
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		せん断	529	54
		組合せ	687	183
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	687	262
		せん断	529	65
		組合せ	687	262

### III. クレーン(旋回体)の耐震性についての計算書

#### 1. 概要

##### 1.1. 一般事項

本計算書はクレーン(旋回体)の耐震性についての計算書である。

##### 1.2. 計算条件

- (1) 輸送容器取扱状態以外ではクレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上になく, クレーン停止時の姿勢は維持されることから, クレーン(旋回体)の耐震性の評価は評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる輸送容器取扱条件で代表する。
- (2) クレーン(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定されるものとする。
- (3) クレーン(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, NS 方向, EW 方向の地震力はクレーン(旋回体)に対して厳しい方向に作用するものとする。

## 2. 計算方法

## 2.1. 固有周期の計算方法

## 2.1.1 条件

- (1) クレーンの重量として構造物及び搭載機器を考慮する。クレーン(旋回体)の重量を表 4 及び概要図を図 4 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車に支持されているものとする。
- (3) クレーン(旋回体)の重量には, 定格荷重を考慮する。

表 4 クレーンの重量

名称	重量(t)
クレーン(旋回体)	54
定格荷重	47

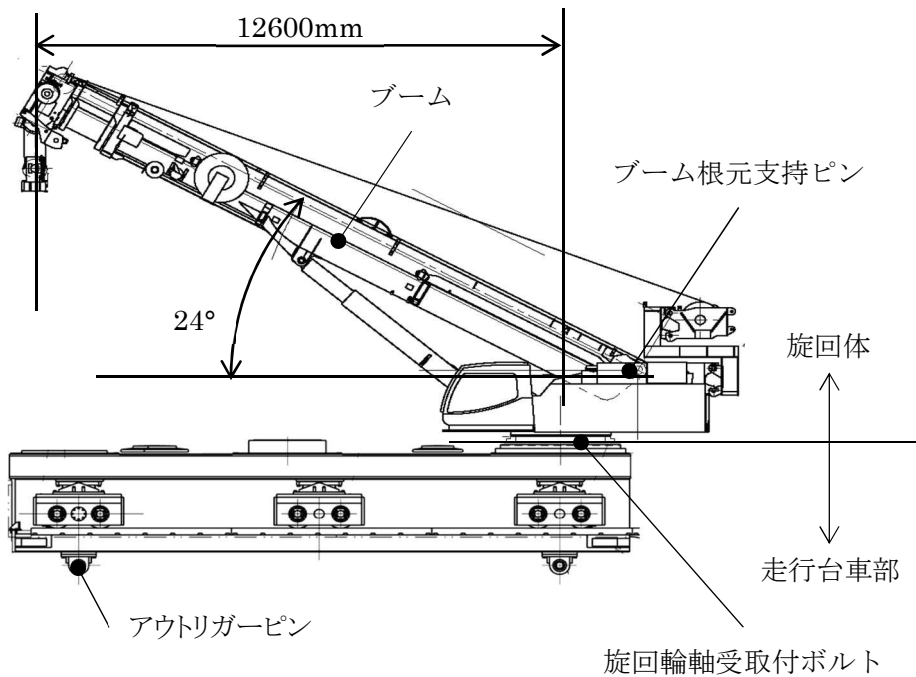


図 4 クレーン 構造概要

### 2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 5 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) クレーンは輸送容器取扱時の姿勢である旋回半径 12.6m, 起伏角  $24^\circ$  とする。

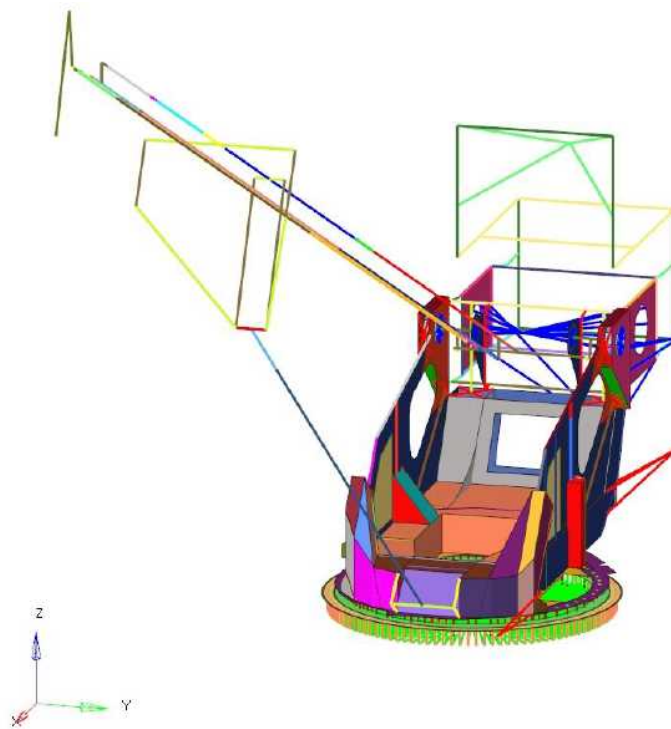


図 5 クレーン(旋回体) 計算モデル

### 2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。



2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として EW 方向+UD 方向の Sd 地震動を燃料取り出し用構台へ入力し得られる応答加速度の時刻歴から求めた床応答スペクトルを用いる。ランウェイガーダへの負荷荷重として燃料取扱設備重量にクレーン定格荷重を考慮した。本評価で用いる床応答スペクトルを図 6 に示す。

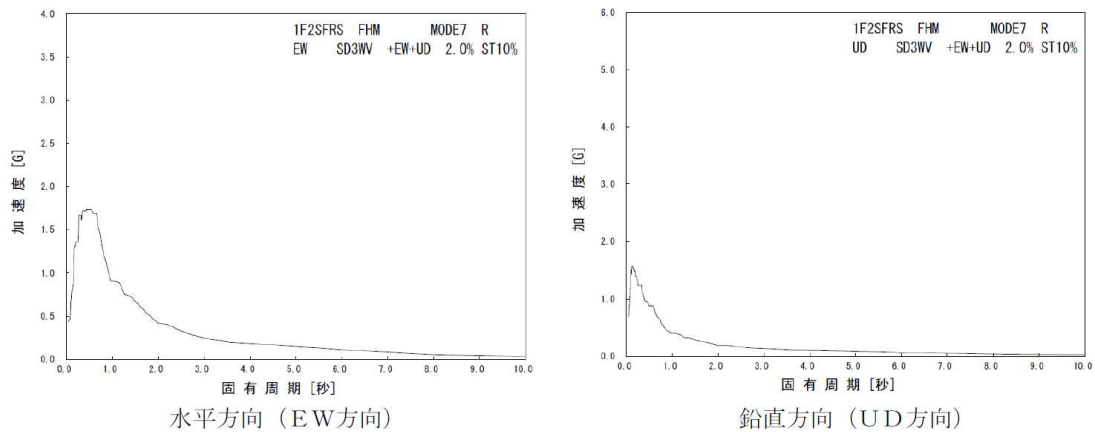


図 6 床応答スペクトル

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 5 に示す。

表 5 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支持ピン	42CrMo4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	687

## 4. 結論

算出応力は、表 6 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 6 算出応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E	引張	875	101
		せん断	505	16
		曲げ	875	265
		組合せ	875	367
ブーム根元支持ピン	42CrMo4	せん断	303	187
		曲げ	525	71
		組合せ	525	332
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	687	580

#### IV. 燃料取扱機／クレーン(走行台車部)の耐震性についての計算書

##### 1. 概要

##### 1.1. 一般事項

本書は燃料取扱機及びクレーンを構成する走行台車部の耐震性についての計算書である。

##### 1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱設備全体が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ため、燃料取扱状態、輸送容器取扱状態、輸送容器移送状態、輸送容器固定状態について評価を行う。輸送容器固定状態は評価姿勢のより厳しい輸送容器取扱状態で代表する。
- (2) 走行台車部は走行レール上を走行し、燃料取扱時及び輸送容器取扱時、輸送容器固定状態ではアウトリガーピンによりランウェイガードに固定されるものとする。
- (3) 走行台車部には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし、水平方向地震力は走行台車に対して、NS 方向、EW 方向から作用する場合を考慮する。

##### 2. 計算方法

##### 2.1. 固有周期の計算方法

##### 2.1.1 条件

- (1) 走行台車部の重量として構造物及び搭載機器を考慮する。走行台車部の重量を表 7 に示す。
- (2) 走行台車部の構造物及び搭載機器に作用する地震力は、搭載機器を支持する構造物フレームからアウトリガーピン及び転倒防止ラグを介してランウェイガードに支持される。このとき、アウトリガーピンは走行台車の走行方向である水平(NS)方向及び鉛直(UD)方向の荷重を、転倒防止ラグは水平(EW)方向の荷重を伝達する。

表 7 走行台車部の重量

名称	重量(t)	各状態において追加で考慮する重量
走行台車部	153.6	—
燃料取扱機(旋回体)	22.5	燃料取扱状態において定格荷重(1t)を考慮
クレーン(旋回体)	54	輸送容器取扱において定格荷重(47t)を考慮
キャスク固定治具	28	輸送容器移送状態、輸送容器固定状態において輸送容器重量(46.3t)を考慮

## 2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 7 に示す。

- (1) 走行台車部の計算モデルは、H 形又は箱型断面を有する構造物フレームにより構成される。

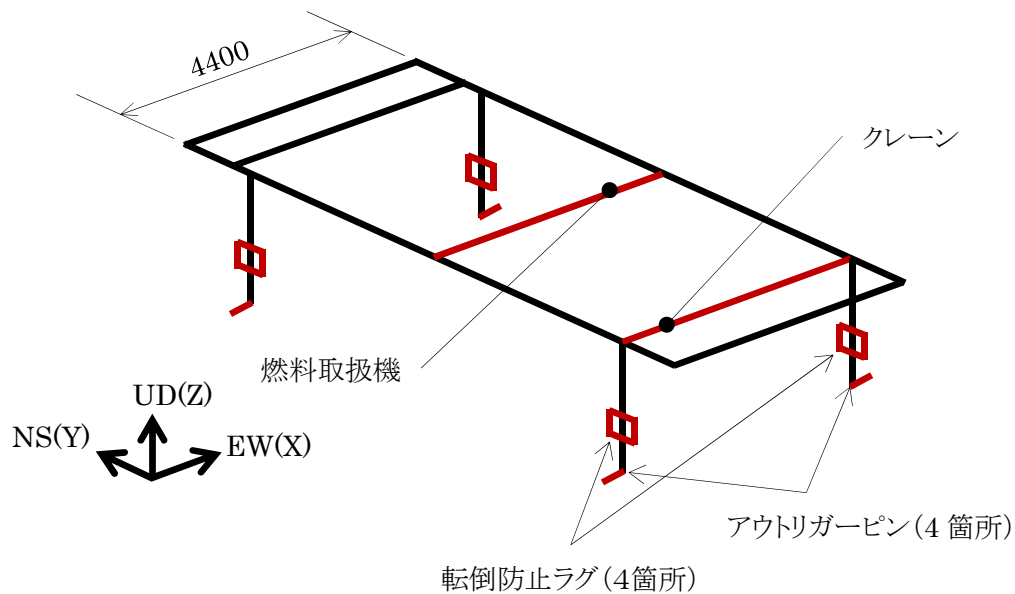


図 7 走行台車 計算モデル

## 2.1.3 計算

燃料取扱機及びクレーンを支持する構造物フレームの固有周期を次式により求める。

$$T = 2L^2/\pi \cdot \sqrt{w/1000EI}$$

T :固有周期

L :はりの長さ

w :単位長さ当りのはりの重量

E :はりの縦弾性係数

I :はりの断面二次モーメント

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

2.1 項で求めた固有周期から、耐震設計の基本方針に基づき、設計用震度を決定する。表 8 に示す通り、構造フレームは剛構造と考えられるため、ランウェイガータの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置から得られる最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計用震度とする。

表 8 固有周期と適用する地震動

	燃料取扱機 支持部	クレーン 支持部	設計用震度	
			Ss 地震動	Sd 地震動
鉛直方向	0.01s 以下	0.01s 以下	0.90	0.50
水平方向	0.01s 以下	0.01s 以下	1.22	0.67

## 3. 評価方法

## 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 9 に示す。

表 9 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490 ( $16 < t \leq 40$ )	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
転倒防止ラグ	SM490 ( $40 < t \leq 100$ )	支圧	977

## 4. 結論

算出応力は、表 10 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 10 算定応力の評価(燃料取扱状態及び輸送容器取扱状態)

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力(MPa)		
				燃料 取扱状態	輸送容器 取扱状態	輸送容器 移送状態
構造物フレーム (燃料取扱機支持部)	SM490 ( $16 < t \leq 40$ )	引張	343	1	燃料 取扱状態 に包絡	燃料 取扱状態 に包絡
		せん断	198	13		
		曲げ	343	45		
		組合せ	343	52		
構造物フレーム (クレーン支持部)	SM490 ( $16 < t \leq 40$ )	引張	343	評価 不要	1	輸送容器 取扱状態 に包絡
		せん断	198		36	
		曲げ	343		211	
		組合せ	343		221	
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460	126	89	評価 不要
		曲げ	1088	112	79	
		組合せ	798	246	174	
転倒防止ラグ	SM490 ( $40 < t \leq 100$ )	支圧	977	85	49	51

## 5. 数値計算

## 5.1. 形状・寸法

走行台車の構造概要を図 8 に示す。

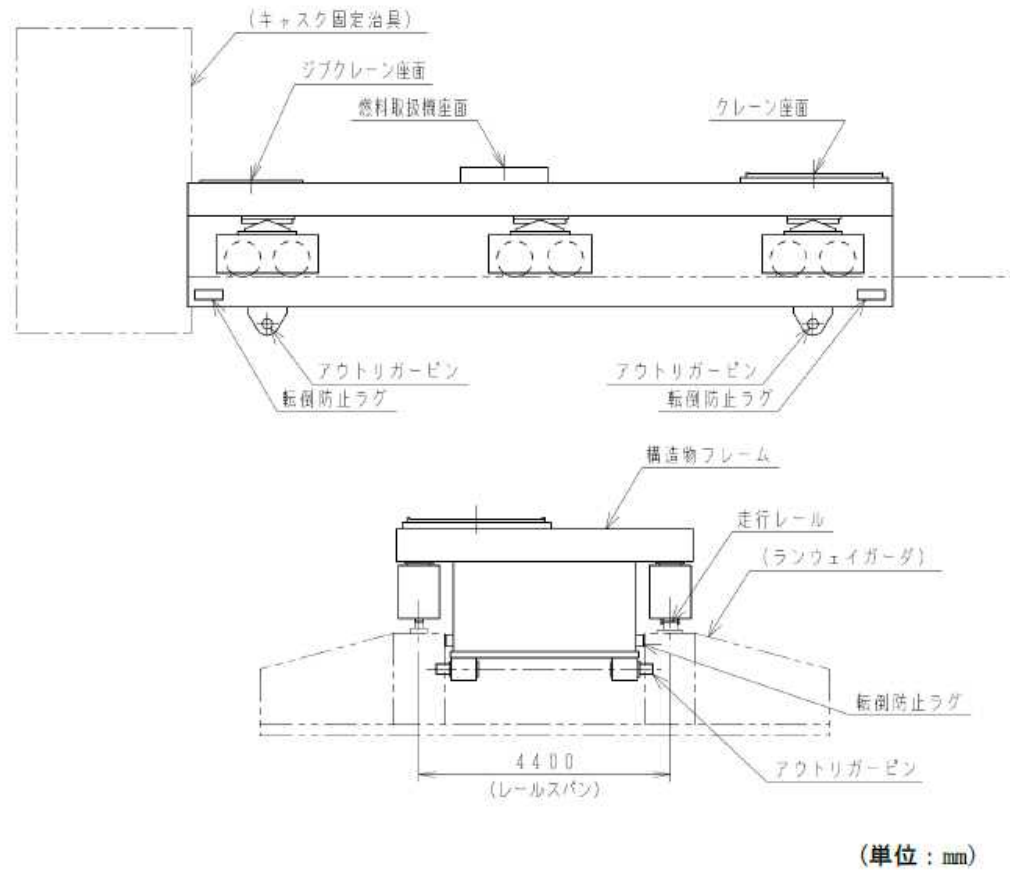


図 8 走行台車 構造概要

## 5.2. 燃料取扱状態における各部の強度

## 5.2.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

## (1) 引張り応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 1(\text{MPa})$$

$P_{t1}$  : 構造物フレームに作用する軸方向引張力  $1.693 \times 10^5 (\text{N})$

$A_1$  : 構造物フレームの断面積  $1.734 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

## (2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{\tau y1} + P_{\tau z1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 13(\text{MPa})$$

$$P_{\tau y1} : \text{構造物フレームに作用する } y \text{ 軸方向せん断力} \quad 3.729 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{\tau z1} : \text{構造物フレームに作用する } z \text{ 軸方向せん断力} \quad 4.994 \times 10^5(\text{N})$$

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりトルク} \quad 3.126 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i1} : \text{構造物フレームの内側境界断面} \quad 9.402 \times 10^5(\text{mm}^2)$$

$$t_1 : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22(\text{mm})$$

## (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 45(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する } y \text{ 軸まわりのモーメント} \quad 1.473 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する } z \text{ 軸まわりのモーメント} \quad 5.071 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z1} : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } z \text{ 方向の長さ} \quad 288(\text{mm})$$

$$B_{y1} : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } y \text{ 方向の長さ} \quad 850(\text{mm})$$

$$I_{yy1} : \text{構造物フレームにおける } y \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.074 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1} : \text{構造物フレームにおける } z \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 9.279 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

## (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 52(\text{MPa})$$

## 5.2.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

輸送容器取扱状態以外ではクレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上になく, クレーン停止中の姿勢は維持されることから, 使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼすことはない。



## 5.2.3 アウトリガーピンの強度検討

## (1) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3} / (\pi d^2 / 4) = 126(\text{MPa})$$

$P_{\tau 3}$  : ピンに作用するせん断力

$3.206 \times 10^6 (\text{N})$

$d$  : ピンの外径

180 (mm)

## (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = (P_{\tau 3} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = 112(\text{MPa})$$

$L_3$  : ピンの曲げ長さ

40 (mm)

## (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_3^2} = 246(\text{MPa})$$

## 5.2.4 転倒防止ラグの強度検討

## (1) 支圧応力

$$\sigma_{p4} = P_{p4} / A_4 = 85(\text{MPa})$$

$P_{p4}$  : 転倒防止ラグに作用する水平力

$1.699 \times 10^6 (\text{N})$

$A_4$  : 支圧面積

$2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$

## 5.3. 輸送容器取扱状態における各部の強度

## 5.3.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

5.2.1 の評価に包含される。

## 5.3.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

## (1) 引張り応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 1(\text{MPa})$$

$P_{t2}$  : 構造物フレームに作用する軸方向引張力  $1.545 \times 10^5 (\text{N})$

$A_2$  : 構造物フレームの断面積  $1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

## (2) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{\tau y2} + P_{\tau z2})/A_2 + T_2/(2 \cdot A_{i2} \cdot t_2) = 36(\text{MPa})$$

$P_{\tau y2}$  : 構造物フレームに作用する y 軸方向せん断力  $5.490 \times 10^5 (\text{N})$

$P_{\tau z2}$  : 構造物フレームに作用する z 軸方向せん断力  $3.057 \times 10^6 (\text{N})$

$T_2$  : 構造物フレームに作用する捩じりトルク  $9.935 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$

$A_{i2}$  : 構造物フレームの内側境界断面  $1.273 \times 10^6 (\text{mm}^2)$

$t_2$  : 構造物フレームの最小板厚  $22 (\text{mm})$

## (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_{y2} \cdot H_{z2}/I_{yy2} + M_{z2} \cdot B_{y2}/I_{zz2} = 211(\text{MPa})$$

$M_{y2}$  : 構造物フレームに作用する y 軸まわりのモーメント  $9.096 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$

$M_{z2}$  : 構造物フレームに作用する z 軸まわりのモーメント  $7.675 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$

$H_{z2}$  : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの z 方向の長さ  $288 (\text{mm})$

$B_{y2}$  : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの y 方向の長さ  $1150 (\text{mm})$

$I_{yy2}$  : 構造物フレームにおける y 軸まわりの断面二次モーメント  $1.276 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$

$I_{zz2}$  : 構造物フレームにおける z 軸まわりの断面二次モーメント  $1.793 \times 10^{11} (\text{mm}^4)$

## (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma\tau 2} = \sqrt{(\sigma_{t2} + \sigma_{b2})^2 + 3\tau_2^2} = 221(\text{MPa})$$

## 5.3.3 アウトリガーピンの強度検討

## (1) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau 4} / (\pi d^2 / 4) = 89(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 4} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 2.255 \times 10^6 (\text{N})$$

$$d \quad : \text{ピンの外径} \quad 180 (\text{mm})$$

## (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b4} = (P_{\tau 4} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = 79(\text{MPa})$$

$$L_3 \quad : \text{ピンの曲げ長さ} \quad 40 (\text{mm})$$

## (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_4^2} = 174(\text{MPa})$$

## 5.3.4 転倒防止ラグの強度検討

## (1) 支圧応力

$$\sigma_{p5} = P_{p5} / A_4 = 49(\text{MPa})$$

$$P_{p5} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 9.650 \times 10^5 (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

## 5.4. 輸送容器移送状態における各部の評価

## 5.4.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

5.2.1 の評価に包絡される。

## 5.4.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

5.3.2 の評価に包絡される。

## 5.4.3 アウトリガーピンの強度検討

格納状態のため、評価不要。

## 5.4.4 転倒防止ラグの強度検討

## (1) 支圧応力

$$\sigma_{p6} = P_{p6} / A_4 = 51(\text{MPa})$$

$$P_{p6} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 1.018 \times 10^6 (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

## V. キャスク固定治具の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本計算書はキャスク固定治具の耐震性についての計算書である。

#### 1.2. 計算条件

- (1) キャスク固定治具に積載する輸送容器が転倒して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ため、輸送容器移送状態、輸送容器固定状態について評価を行う。床応答スペクトルは走行台車車輪位置 6 点を包絡したものを使用するため輸送容器移送状態は輸送容器固定状態で代表する。
- (2) キャスク固定治具には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし、水平方向地震力はキャスク固定治具に対し、NS 方向から作用する場合と EW 方向から作用する場合を考慮する。

### 2. 計算方法

#### 2.1. 固有周期の計算方法

##### 2.1.1 条件

- (1) キャスク固定治具の重量として構造物及び搭載機器(輸送容器)を考慮する。キャスク固定治具の重量を表 11 に、構造概要を図 9 に示す。
- (2) キャスク固定治具取付ボルトは剛な走行台車に支持されているものとする。
- (3) キャスク固定治具取付ボルトにせん断力が生じないよう、走行台車接続部に発生するせん断力は構造物フレームで支持する構造とする。

表 11 キャスク固定治具の重量

名称	重量(t)
キャスク固定治具	28
搭載機器(輸送容器)	46.3

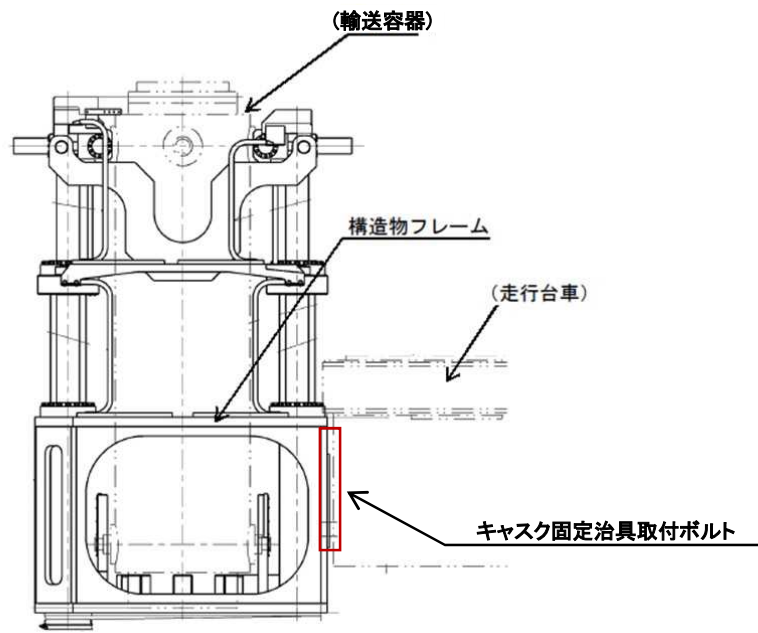


図 9 キャスク固定治具 構造概要

### 2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 10 に示す。

- (1) 輸送容器を支持する構造物フレームははり要素でモデル化する。

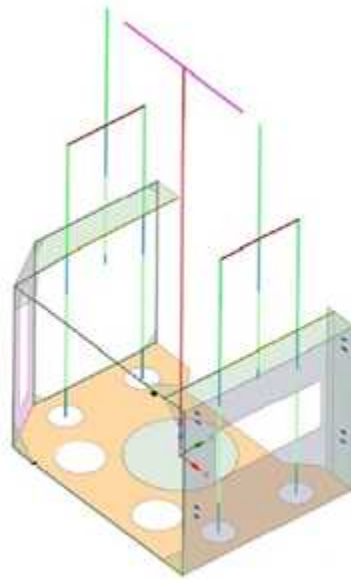


図 10 キャスク固定治具 計算モデル

### 2.1.3 計算

計算は計算機(計算機コード ANSYS)を用いて計算した。

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として NS 方向+UD 方向の Sd 地震動を燃料取り出し用構台へ入力し得られる応答加速度の時刻歴から求めた床応答スペクトルを用いる。ランウェイガータへの負荷荷重として燃料取扱設備重量に輸送容器重量を考慮した。本評価で用いる床応答スペクトルを図 11 に示す。

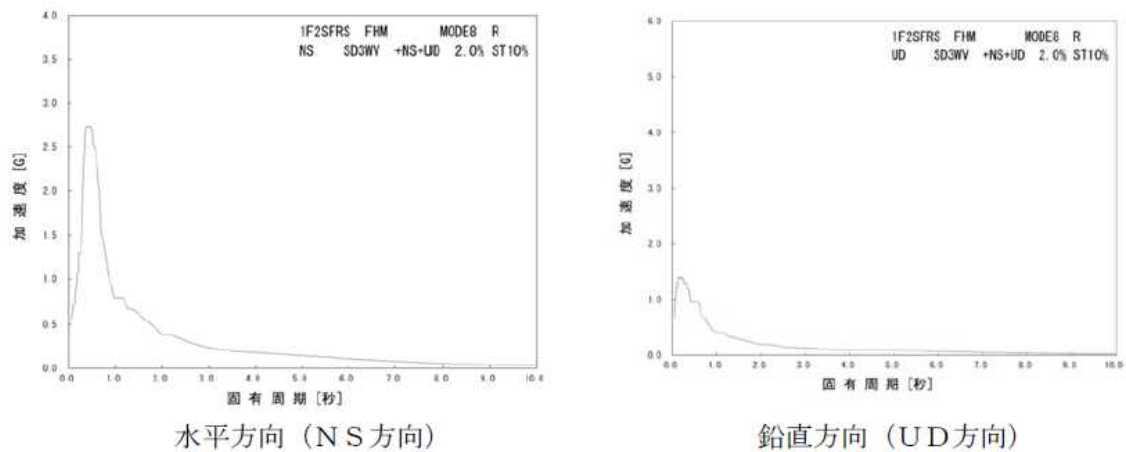


図 11 床応答スペクトル

## 3. 評価方法

### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 12 に示す。

表 12 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B (40 < t ≤ 100)	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	598

## 4. 結論

算出応力は, 表 13 に示す通り全て許容応力値以下であることを確認した。

表 13 算出応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B ( $40 < t \leq 100$ )	引張	343	13
		せん断	198	22
		曲げ	343	162
		組合せ	343	180
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	598	101