

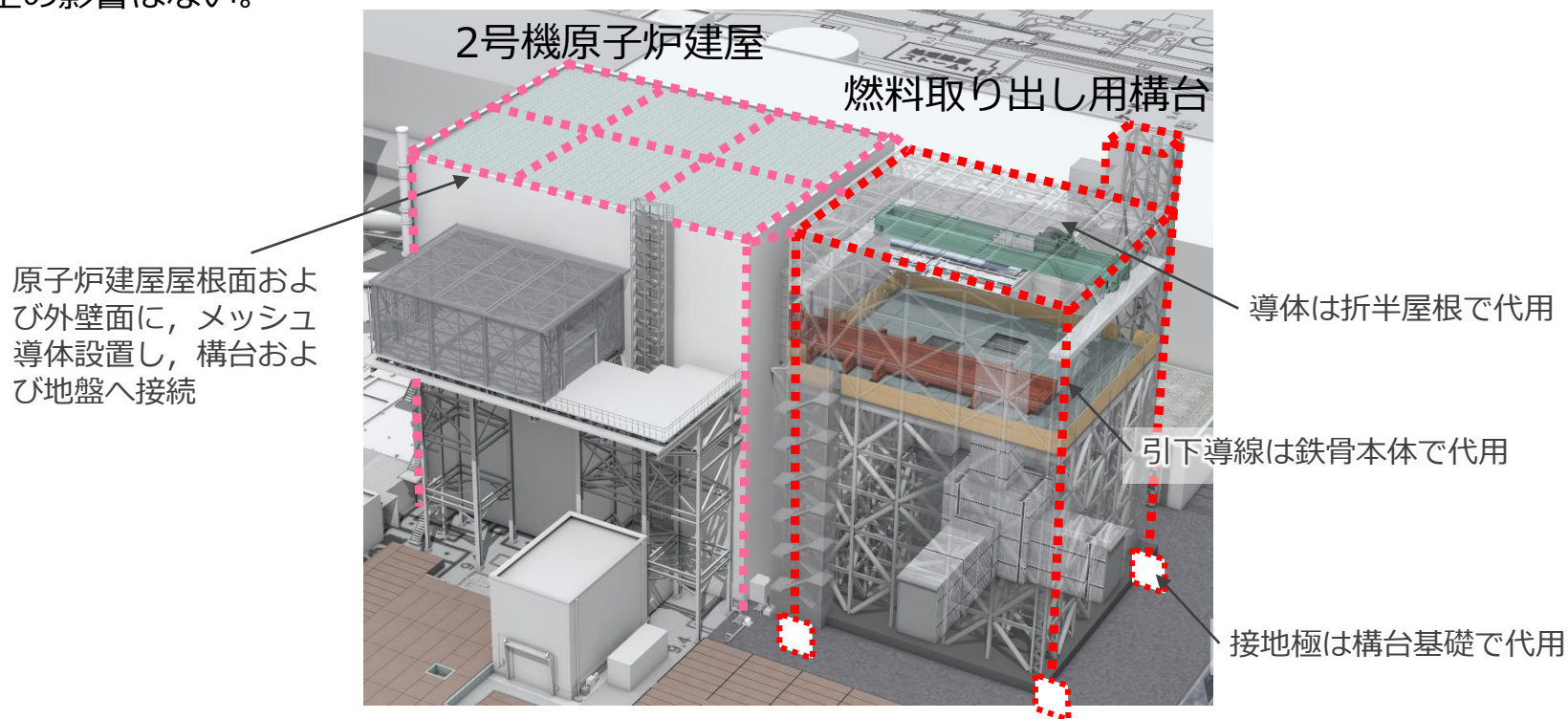
2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 の設置について

2021年8月16日（第20回）

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, uppercase letters. It is positioned on the right side of the slide, above a thick red horizontal line that spans the width of the page.

東京電力ホールディングス株式会社

- 建築基準法，電気技術指針及び日本産業規格に準じた耐雷対策を実施する。
- 新設する燃料取り出し用構台は，雷に対して周囲に保護する避雷設備がないことから耐雷対策を検討し，構台の各部材で代用可能であることを確認した。
- 原子炉建屋屋根面および外壁面には，保護対策用のメッシュ導体を設置し，構台および地盤へ接続する。
- 燃料取扱設備については，構台内に設置されるため，直撃雷の影響はないと考えている。屋外ケーブルから侵入する雷サージ対策としては，光ケーブルの使用（燃料取扱設備／コンテナ間及び遠隔操作室への伝送）またはサージ影響を抑制する保安器の設置（各種計器／コンテナ間）により対策する。
- 燃料取り出し中の落雷の影響については，直撃雷・雷サージに対してそれぞれ対応していることから安全上の影響はない。



落雷に対する設計のイメージ

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

■ 評価方針

架構の屋根材には折板を用い、壁材には角波サイディングを用いる。強度検討は、屋根材、壁材それぞれに風圧力によって生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

■ 検討箇所

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

4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

■ 検討箇所

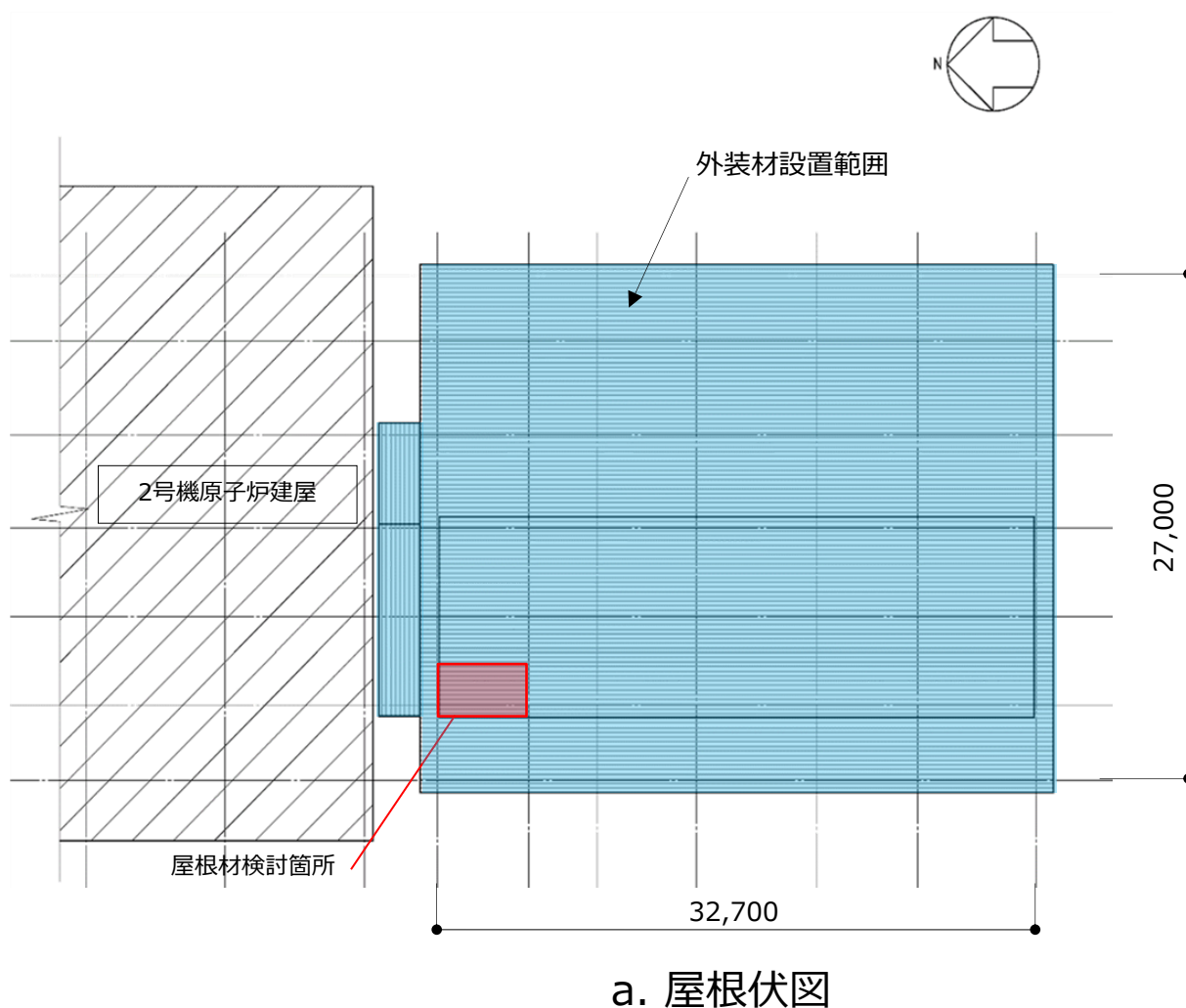


図 4.2.7-1 外装材検討箇所 (単位 : mm)

4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

■ 検討箇所

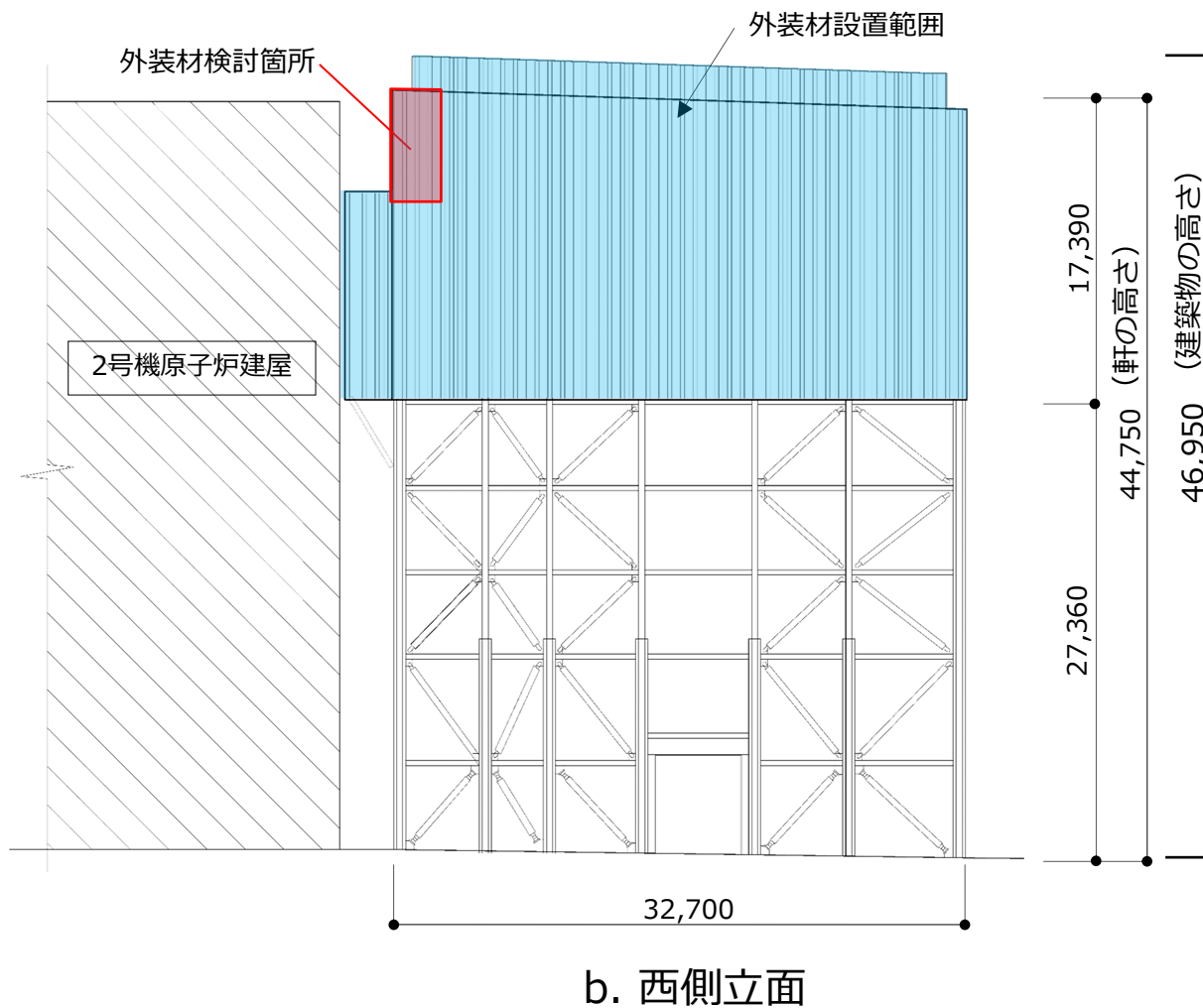


図 4.2.7-1 外装材検討箇所 (単位 : mm)

4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

■ 設計用荷重の算定

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

表 4.2.7-1 速度圧の算定結果

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

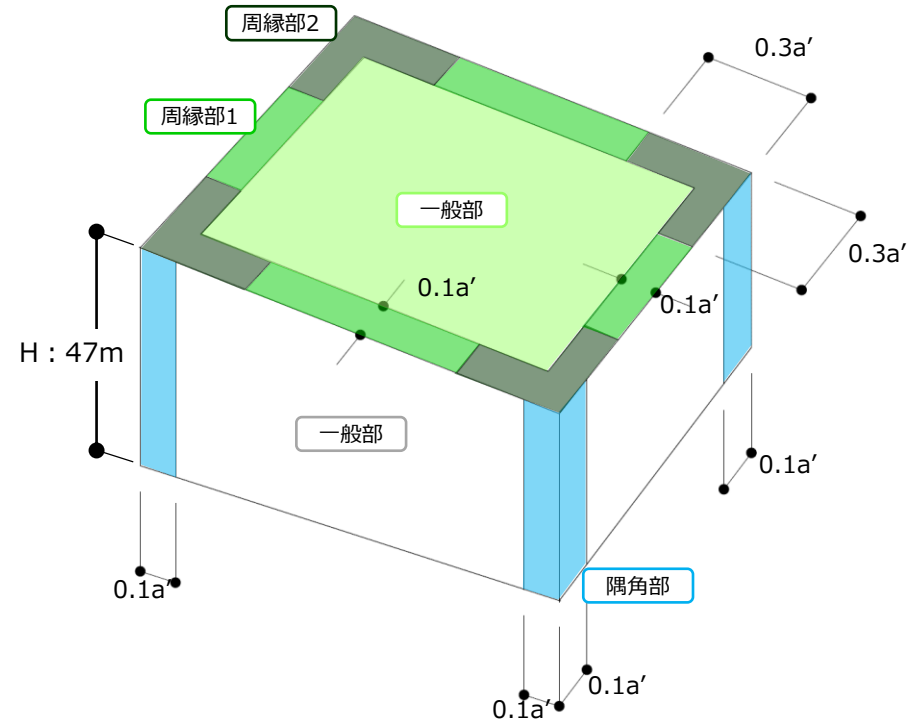
表 4.2.7-2 ピーク風力係数 (屋根)

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

表 4.2.7-3 ピーク風力係数 (壁)

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

*：建物高さは、安全側に建築物の高さと軒の高さ(水上側鉄骨天端)との平均値以上とした (P155参照)



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

図 4.2.7-2 風力係数の算定箇所

■ 外装材の強度検討

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

① 屋根材

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

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

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

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

② 壁材

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

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

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

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

ただし

w : 風圧力(N/m²)

M : 単位幅当りの外装材に生ずる最大曲げモーメント(kNm/m)

L : スパン(m)

σ_b : 曲げモーメントによる応力度(N/mm²)

Z_x : 単位幅当りの断面係数(mm³/m)

f_b : 許容曲げ応力度(N/mm²)

4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

■ 外装材の強度検討

表 4.2.7-4 屋根材の材料諸元

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

表 4.2.7-5 壁材の材料諸元

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

表 4.2.7-6 応力度に対する検討結果

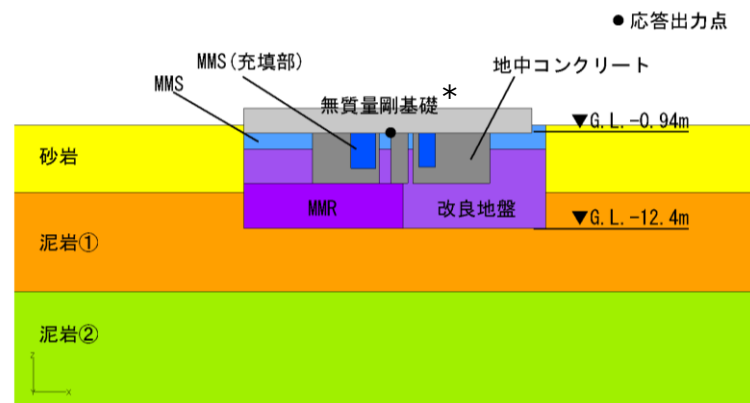
部位	材料	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
屋根材	SGLCC*1	124	205*2	0.61	O.K.
壁材	SGLCC*1	96	205*2	0.47	O.K.

*1：溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板

*2：「JIS G 3321-2019」の「降伏点又は耐力」とする

改良地盤部の地中構築物影響について

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

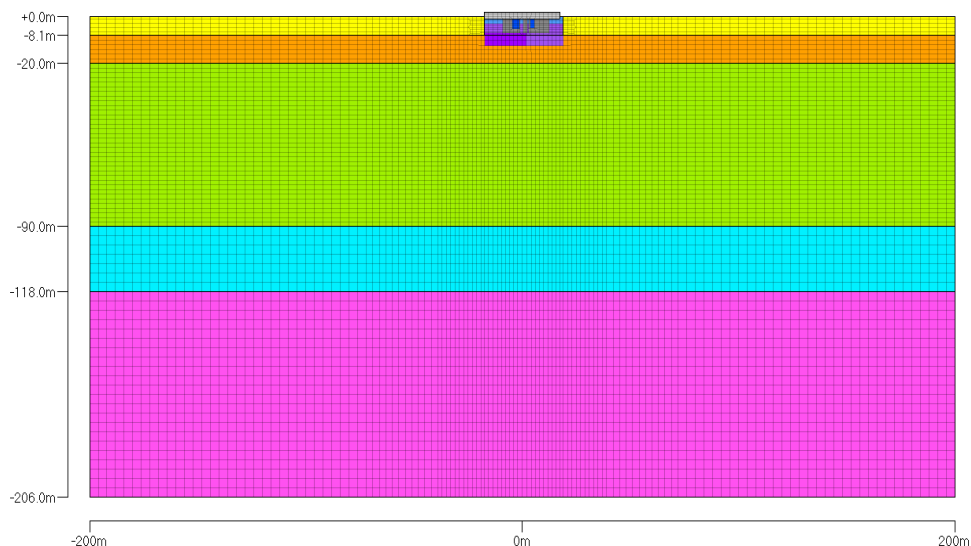


* 一次元波動論により算出した応答との比較を行うため，一次元波動論での算出時にモデル化していない基礎は，無質量剛基礎とした

改良地盤部の地盤物性値

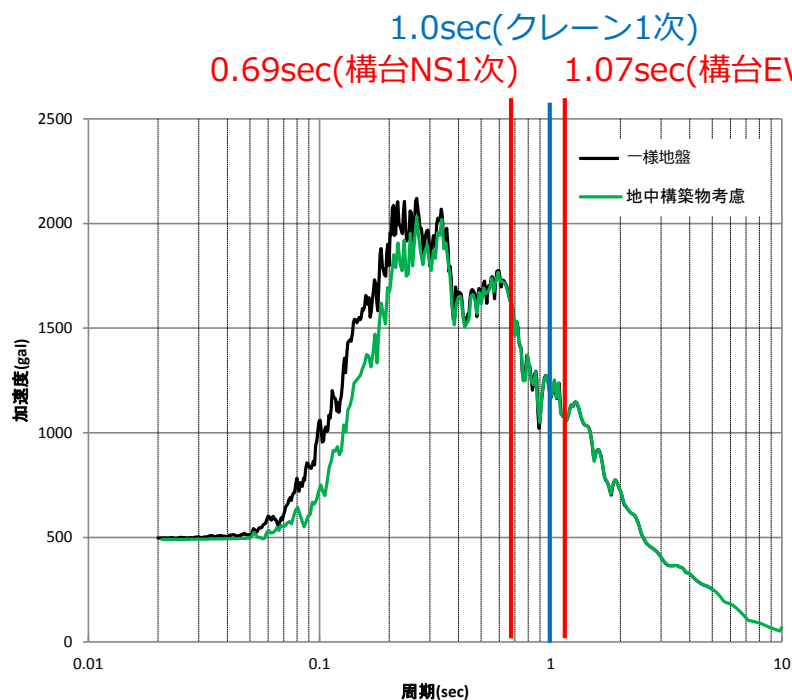
	改良地盤・MMS (設計仕様)	地中コンクリート	MMR
せん断波速度 Vs(m/s)	800	—	—
圧縮強度 (N/mm ²)	5	—	—
設計基準強度 (N/mm ²)	3	22.1*	13.7*

*：剛性の算定は日本建築学会RC規準に基づく

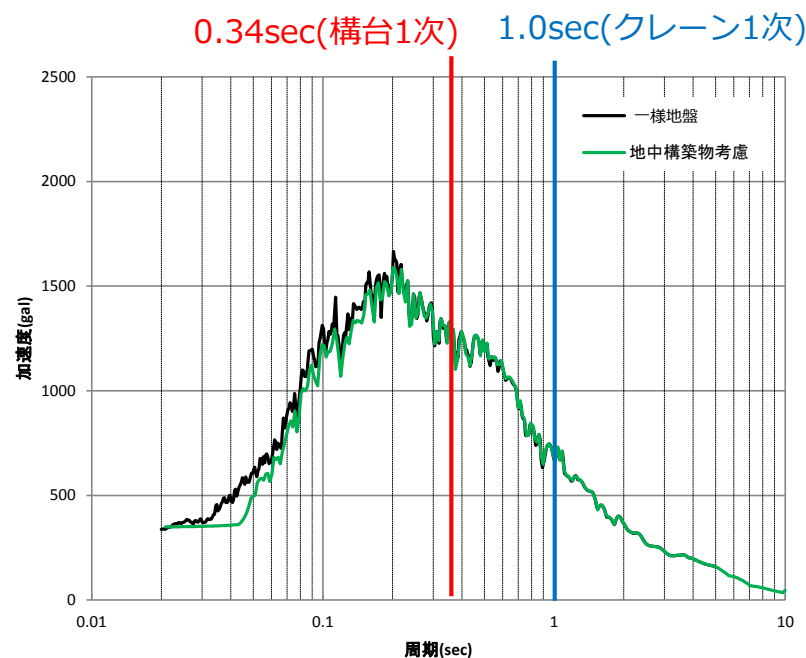


地盤FEMモデル

- 基礎下入力動の比較を以下に示す
- 水平動および鉛直動ともに、地中構築物を考慮した解析結果は、実施計画に記載した結果（地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤と仮定し一次元波動論により算出（以下「一様地盤」と呼ぶ））と比較して、ほぼ同等で一部周期帯では下回る結果となった
- 以上より、架構、燃料取扱設備とも地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤として評価する方が保守的な評価になっており、妥当であることを確認した



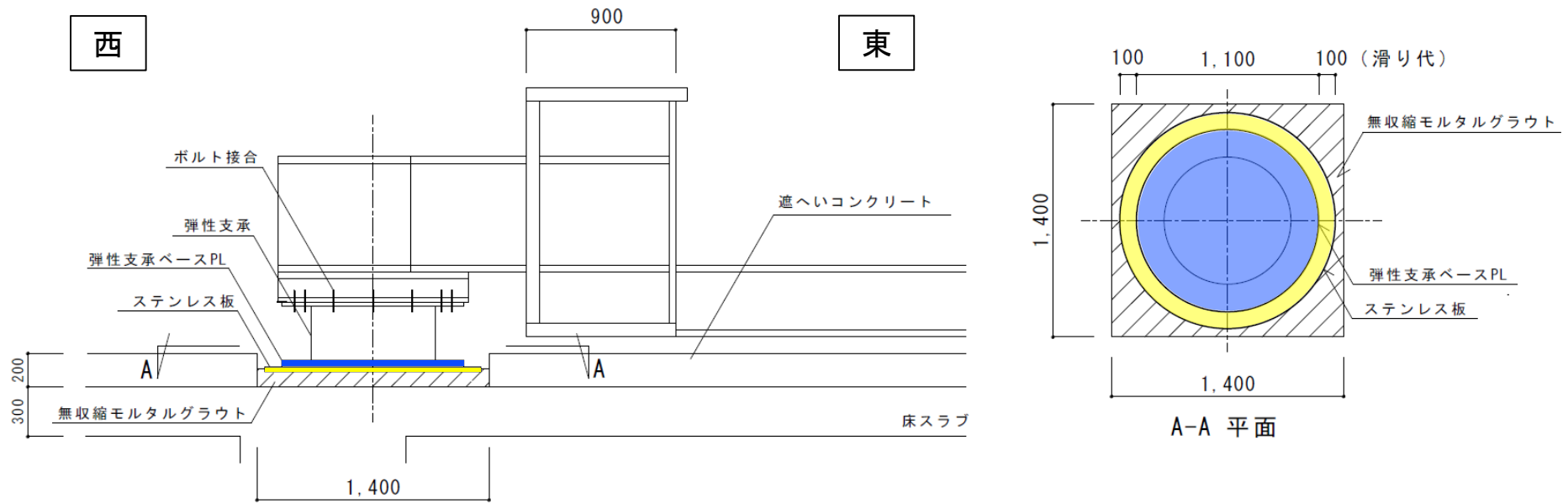
(a) 水平動



(b) 鉛直動

基礎下入力動の加速度応答スペクトルの比較（基準地震動Ss-1, h=2%）

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



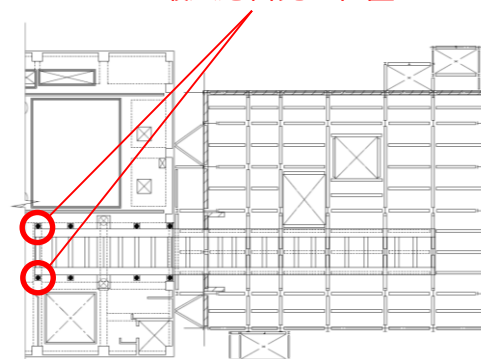
弾性支承設置概要図 (単位 : mm)

- 次頁に示すように、ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材（テフロン板）を取付け、原子炉建屋床面上に設置したすべり板（ステンレス板）との間で接触させ、水平方向に滑動できる計画としており、剛すべり支承*1の機構を参考に水平力を負担しない条件とした
- Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、NS方向で45mm、EW方向で76mmであり、滑り代100mm以下となっている
- Ss時の最大面圧は13.4N/mm²であり、基準面圧*2（20N/mm²）を下回ることから、面圧によるテフロンの損傷は起こらない
- ステンレス板（テフロンコーティング）とテフロン板との基準摩擦係数は0.013であり、非常に小さい
- 摩擦係数はばらつきや次頁の通り速度依存性や面圧依存性が有るため、設置条件を考慮し、保守的に摩擦係数を0.040と仮定すると、Ss時の応答解析結果から得られる最大発生軸力に、上記摩擦係数を掛けて得た最大摩擦力は、28kN（0.04×680kN（最大軸力））となり、ばね付きオイルダンパのせん断許容値である40kNを下回る
- 一般的にオイルダンパは両端固定し設置し、伸方向/縮方向両方向で減衰力を発揮
- 一方剛すべり支承は長期荷重を負担し、地震時に荷重を逃がす形で設置
- 今回の設置方法は、オイルダンパ下部にすべり材（テフロン板）を備えており、縮方向のみ減衰力を発揮することや、長期荷重を負担しない部分にすべり材を設置することが一般的な設置条件と異なる
- なお、3号機燃料取り出し用カバーで2号燃料取り出し用構台と同様の設置方法を用いており、実績がある

*1 すべり材（テフロン板）を備え、すべり板（ステンレス板）上を滑らせる構造とした、「剛すべり支承」は、一般建物の渡り廊下や免震建物の付属施設（エレベータ、階段、周辺低層部）の下部に用いられている

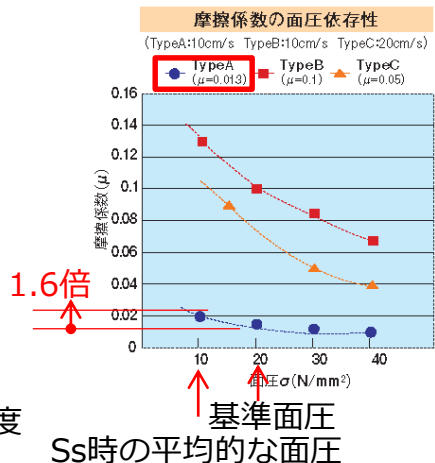
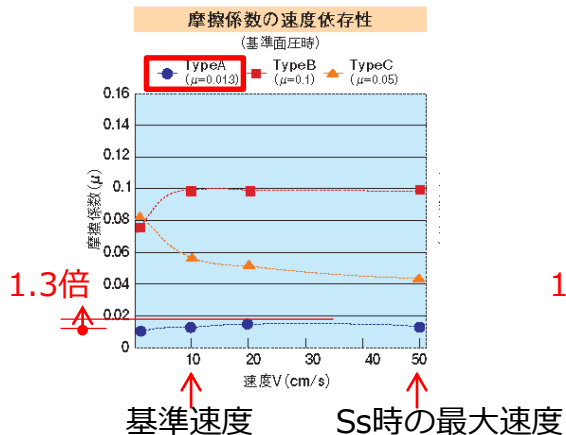
*2 長期許容面圧に相当

ばね付きオイルダンパ
最大応答発生位置



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

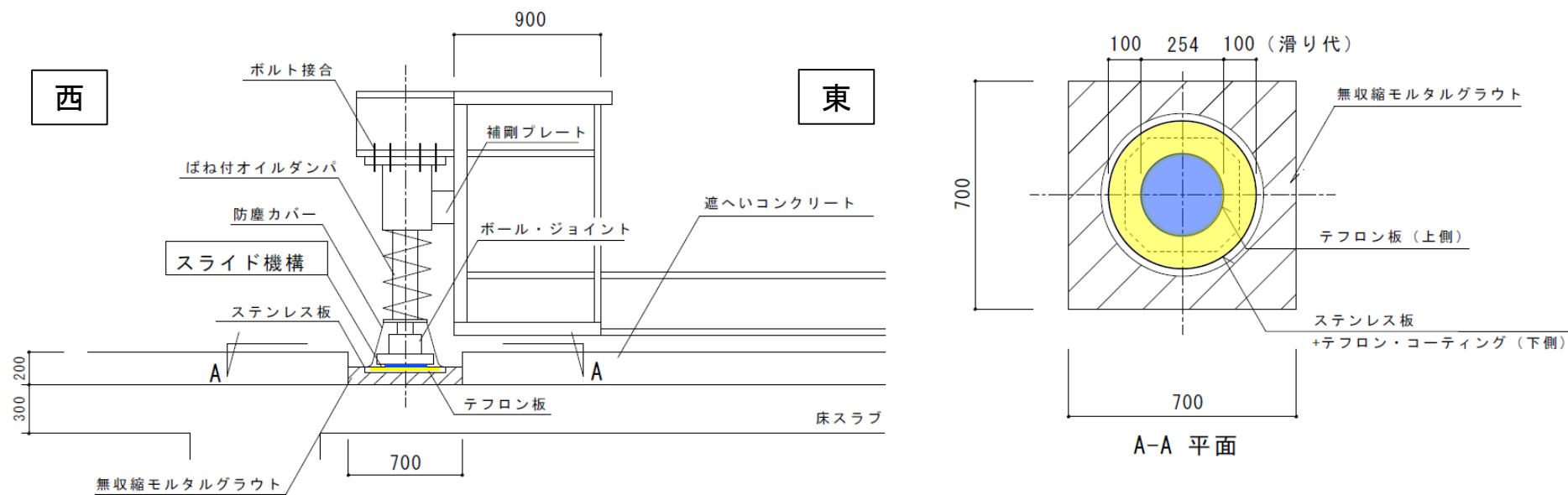
※1. TypeA, TypeBは正弦波最大速度10cm/sの時、TypeCは20cm/sの時を示しております。
 ※2. 変位量は設計を考慮して広げることができます。



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

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

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



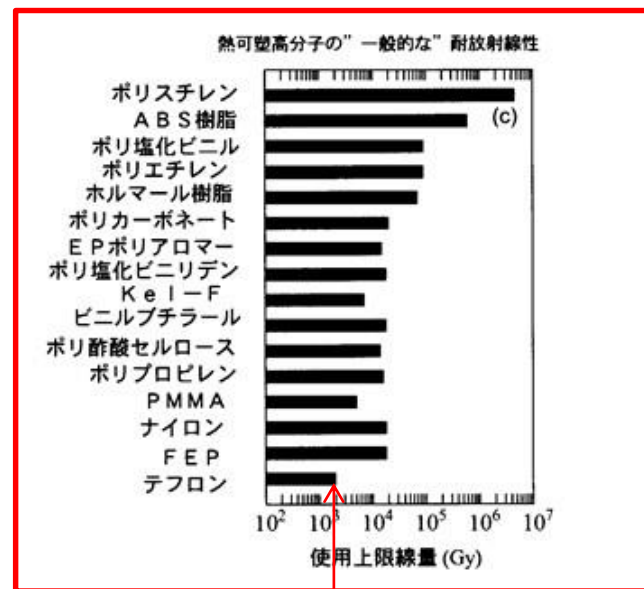
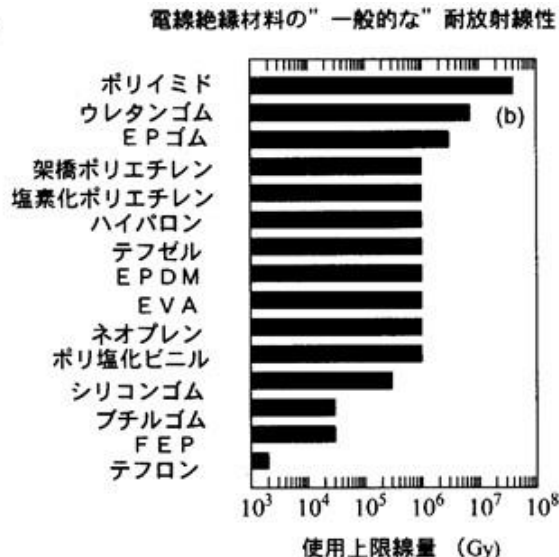
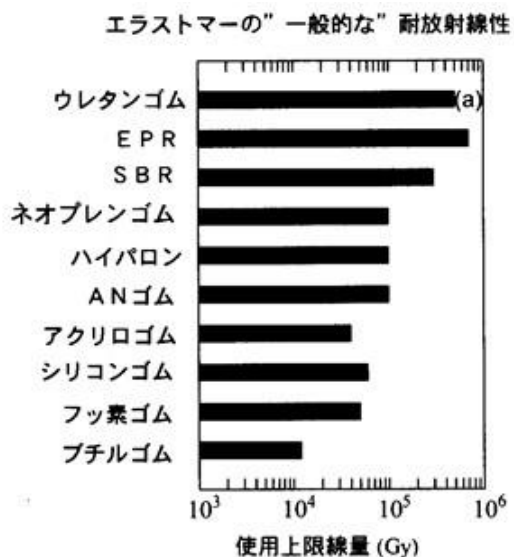
ばね付きオイルダンパ設置概要図 (単位 : mm)

【テフロンの耐放射線性】

- テフロンの放射線に対する耐久性は以下によると、約 2×10^3 Gyと評価されている
- 設置環境を仮定し、どの程度の照射量となるか試算した

$$2\text{年} \times 365\text{日} \times 24\text{時間} \times 2.3\text{mSv/h} = 40.3\text{Sv} \rightarrow 40.3\text{Gy} < 2000\text{Gy}$$

使用限界線量に対し十分小さいことを確認した

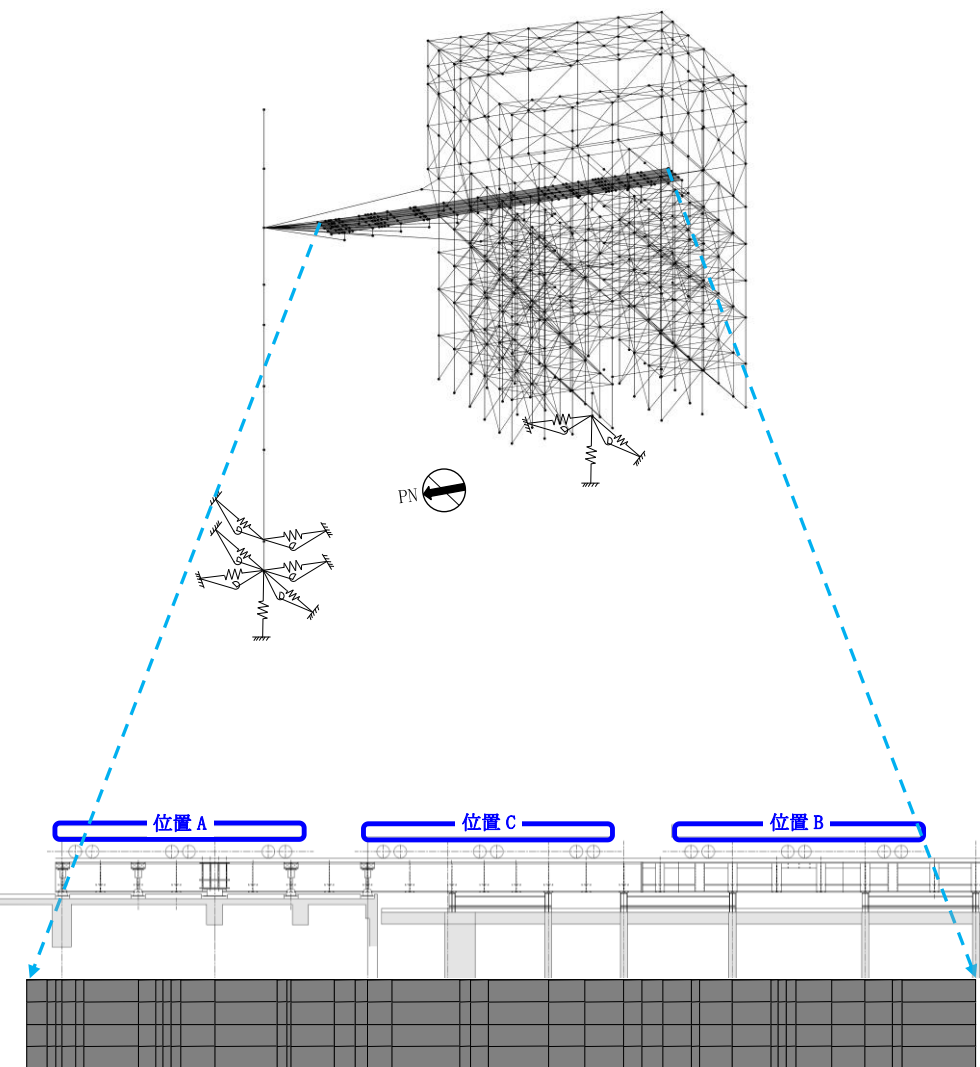


約 2×10^3 Gy

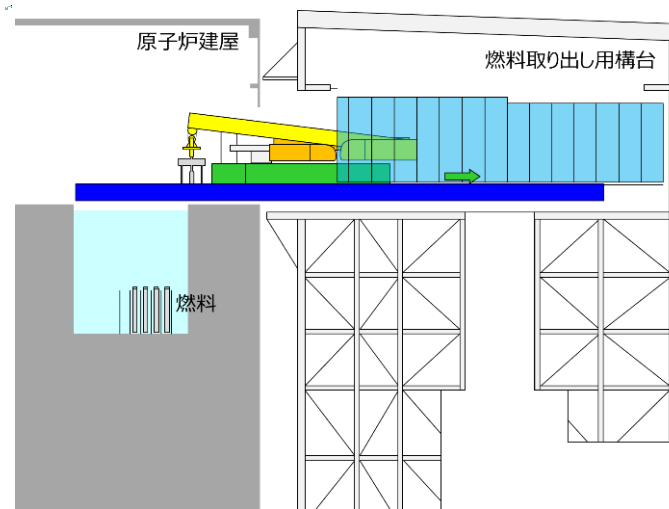
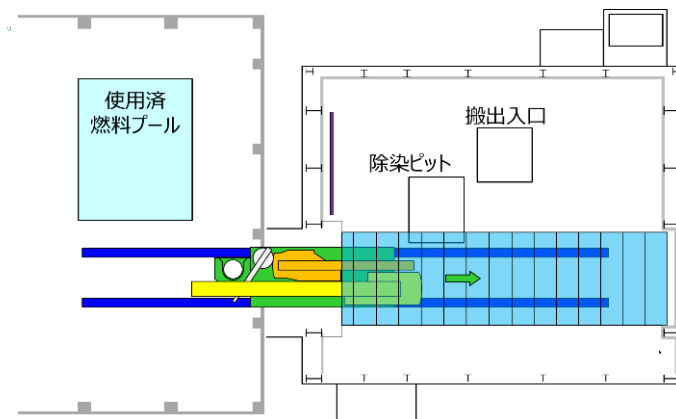
出典：日本原子力研究所 高分子系材料の耐放射線特性とデータ集（2003年9月）

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

- 燃料取扱設備の位置，および位置 C における作業姿勢は下図のとおり



燃料取扱設備位置図

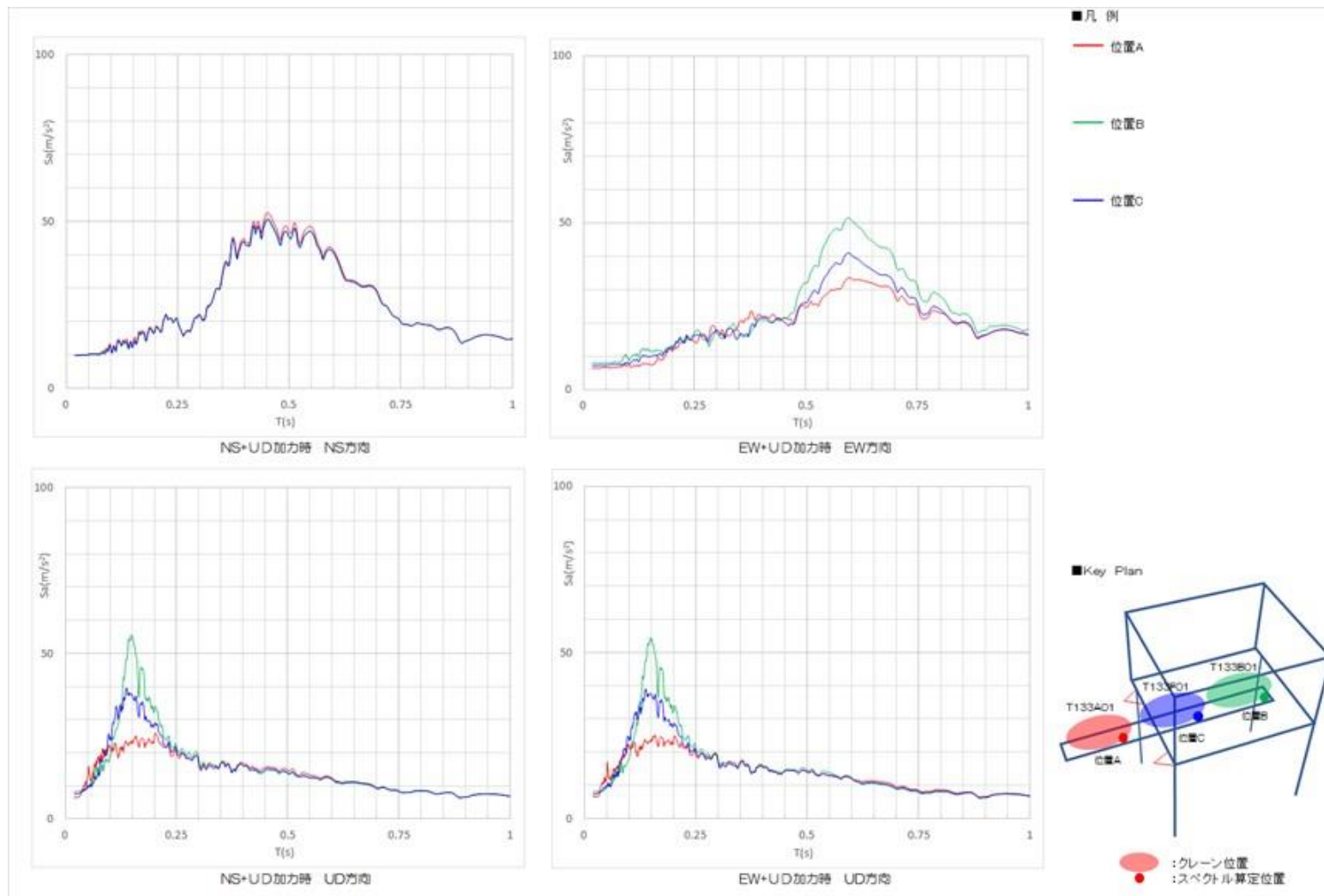


燃料取扱設備台車上の機器の姿勢

燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

<追加> **TEPCO**

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



燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較は以下のとおり
- 位置の違いによる最大応力度比発生位置に違いは無く，位置Cの応答結果が位置A,Bの包絡値を下回ることを確認した

部位			部材形状(mm) <使用材料>	許容応力度 (N/mm ²)		位置A,B包絡値		位置C応答結果	
						作用応力度 (N/mm ²)	応力度比	作用応力度 (N/mm ²)	応力度比
鉄骨部材	a	柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A> <SN490B>	f _c	343	43.4	0.91	44.6	0.81
				f _{by}	337	246.2		215.6	
				f _{bz}	357	17.1		11.6	
				f _s	205	18.8		16.5	
	b	梁	H-750×350 ×40×40 <SM490A> <SN490B>	f _c	350	24.1	0.87	21.1	0.76
				f _{by}	352	265.9		231.4	
				f _{bz}	357	5.0		4.3	
				f _s	205	41.5		36.2	
	c	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490> <STKN490B>	f _c	294	214.2	0.73	213.3	0.73
	d	ランウェイ イガード	□-1500×900× (80+40)×80 <SM490A> <SN490B>	f _c	323	24.2	0.35	10.3	0.27
				f _b	323	85.4		73.3	
				f _s	186	14.9		12.7	

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較

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

			位置A,B 包絡値	位置C 応答結果
		許容値	最大応答値	最大応答値
オイルダンパ° (水平棟間)	変位 (mm)	±100	50	47
	速度 (m/s)	0.70	0.54	0.52
オイルダンパ° (鉛直)	変位 (mm)	±60	18	16
	速度 (m/s)	0.50	0.16	0.15
ばね付き オイルダンパ°	変位 (mm)	±100	18	8
	速度 (m/s)	1.00	0.14	0.12

オイルダンパの応答結果比較

		位置A,B 包絡値	位置C 応答結果
設置 位置	圧縮限界 強度 σ_v (N/mm ²)	最大圧縮 面圧 σ_D (N/mm ²)	最大圧縮 面圧 σ_D (N/mm ²)
西側	43.00	10.83	5.87
東側	43.00	10.83	5.92

弾性支承の応答結果比較

- M30アンカーボルトの設計は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会）」「4.5接着系アンカーボルトの設計」、及び「あと施工アンカー工法・製品評価認証書 セメフォースアンカー150, セメフォースアンカー500」（日本建築あと施工アンカー協会 認証番号：第17-0005号）による

- 以下の通り，M30のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
 - 躯体コンクリートの設計基準強度は 22.1N/mm^2 であり，各種合成構造設計指針の適用範囲内（ $18\sim 48\text{N/mm}^2$ ）である
 - アンカーボルト材料はSNR400であり，各種合成構造設計指針の適用範囲内である
 - 接着材は「あと施工アンカー工法・製品評価認証書」を取得した材料を用いる
 - セメフォースアンカーの製品評価認証書に定めてあるアンカーボルト径はD22までだが，D22を超える太径アンカー筋に対する無機系あと施工アンカーの付着強度に対する知見は土木学会論文に記載されており，D51まで各種合成構造設計指針の付着強度以上が確保されていることを確認していることから，適用には問題無い

- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており，耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である

- M60のアンカーボルトの設計は、「評定書（工法等） FMボルト工法」（日本建築センター BCJ評定-SS0031-01）による
- 本評定書において、構造設計方法及び工法が妥当であることが示されている

- 以下の通り、M60のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
 - 躯体コンクリートの設計基準強度は 22.1N/mm^2 であり、評定書の適用範囲内（ $21\sim 42\text{N/mm}^2$ ）である
 - アンカーボルト材料はSNR400であり、評定書の適用範囲内である
 - 接着材は評定書で指定された材料である
 - アンカーボルト径M60は評定書の適用範囲内（ $30\sim 60\text{mm}$ ）である

- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である