

大型廃棄物保管庫の揚重設備及び架台設置に係る実施計画の変更について (2/13地震を受けた対応)

2021年4月22日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

耐震評価方針・スケジュール【機器】

【機器：揚重設備（クレーン）及び使用済吸着塔架台】

■ 2月13日に発生した地震に関する影響評価について検討を進める中で、当該設備については、以下の理由により耐震裕度を見直すこととした。

- ・長期に使用する設備であること
- ・これから設置する設備であるため、今回の地震を踏まえてより裕度の大きい設計にする

<対応方針>

- ・地盤改良後の地震動 $1/2S_d$ 及び上位地震動による耐震評価の実施
- ・構造設計を見直し、必要に応じて部材の変更や再製作の実施

実施項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
床応答スペクトル作成	地震応答解析								
機器 (揚重設備・使用済吸着塔架台) 対応	耐震評価								
	設計見直し								
						部材の変更・再製作*			

* 改修・再製作期間は設計結果によるため工程未定

耐震評価方針・スケジュール【建屋】

【大型廃棄物保管庫建屋：既認可】

- 建屋については、現在建設中であるが、2月13日の地震に関する影響評価として以下の対応を実施することとした。

＜対応方針＞

- ・地盤改良後の地震動1/2Sd及び上位地震動による耐震評価の実施
- ・必要に応じ影響緩和策の検討実施

実施項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
床応答スペクトル作成	地震応答解析							
建屋対応	耐震評価							
	影響緩和策の検討							
	耐震評価の結果によるため工程は未定							

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る 実施計画の変更認可申請について

(弾性設計用地震動 S_d に関する評価結果 ー第2棟の建屋ー)

2021年4月22日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 第2棟建屋の評価方針

◆ 評価目的

- 第2棟建屋は、耐震Bクラスであり静的地震力(水平方向: $1.5C_i$)に耐えることについて確認している。2月13日の地震は解放基盤表面レベルの観測記録において、耐震Bクラスの機器共振影響評価用地震動より大きい可能性があるため、基準地震動 S_s に係数 $1/2$ を乗じて設定した弾性設計用地震動 S_d (水平方向) を用いて評価を行い、耐震余裕を確認する。

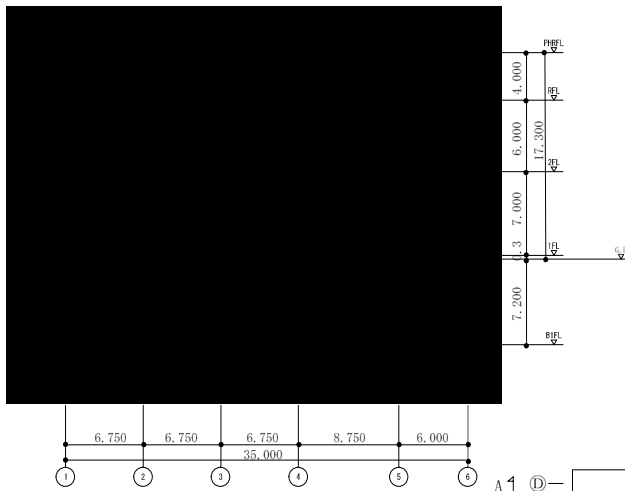
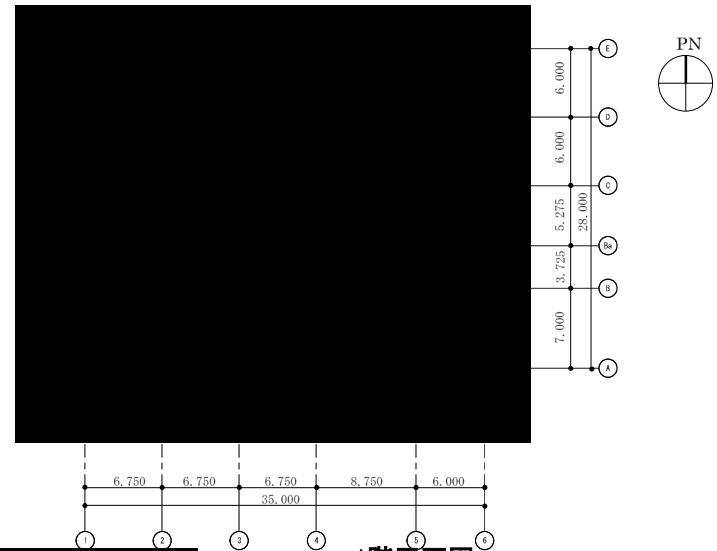
◆ 評価方針

- 評価基準値は、概ね弾性とし各層のひずみにより評価する。
- 地震応答解析は、建屋の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデル(水平(NS, EW)方向)を設定し実施する。また、解析で得られる応答値(最大応答加速度)を設備の評価に用いる。
- 評価にあたっては、柱、耐震壁で構成される各層に生じるひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

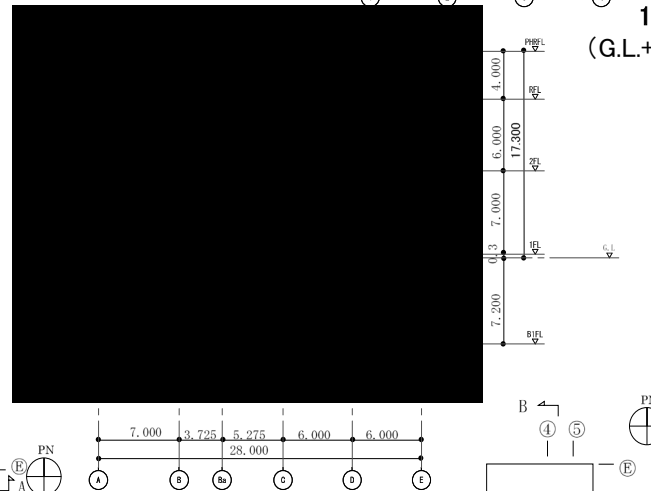
	評価項目	評価基準値
鉄筋コンクリート部の耐震安全性	柱, 耐震壁のひずみ	S_d : 概ね弾性範囲
基礎の検討	最大接地圧	S_d : 2000kN/m^2 未満

2. 地震応答解析 (1) 第2棟建屋の概要

構造 : 鉄筋コンクリート造
階数 : 地上2階, 地下1階
基礎 : 直接基礎で人工岩盤を介して富岡層に支持
平面寸法 : 35.0m (EW方向) × 28.0m (NS方向)
地上高さ : 17.3m

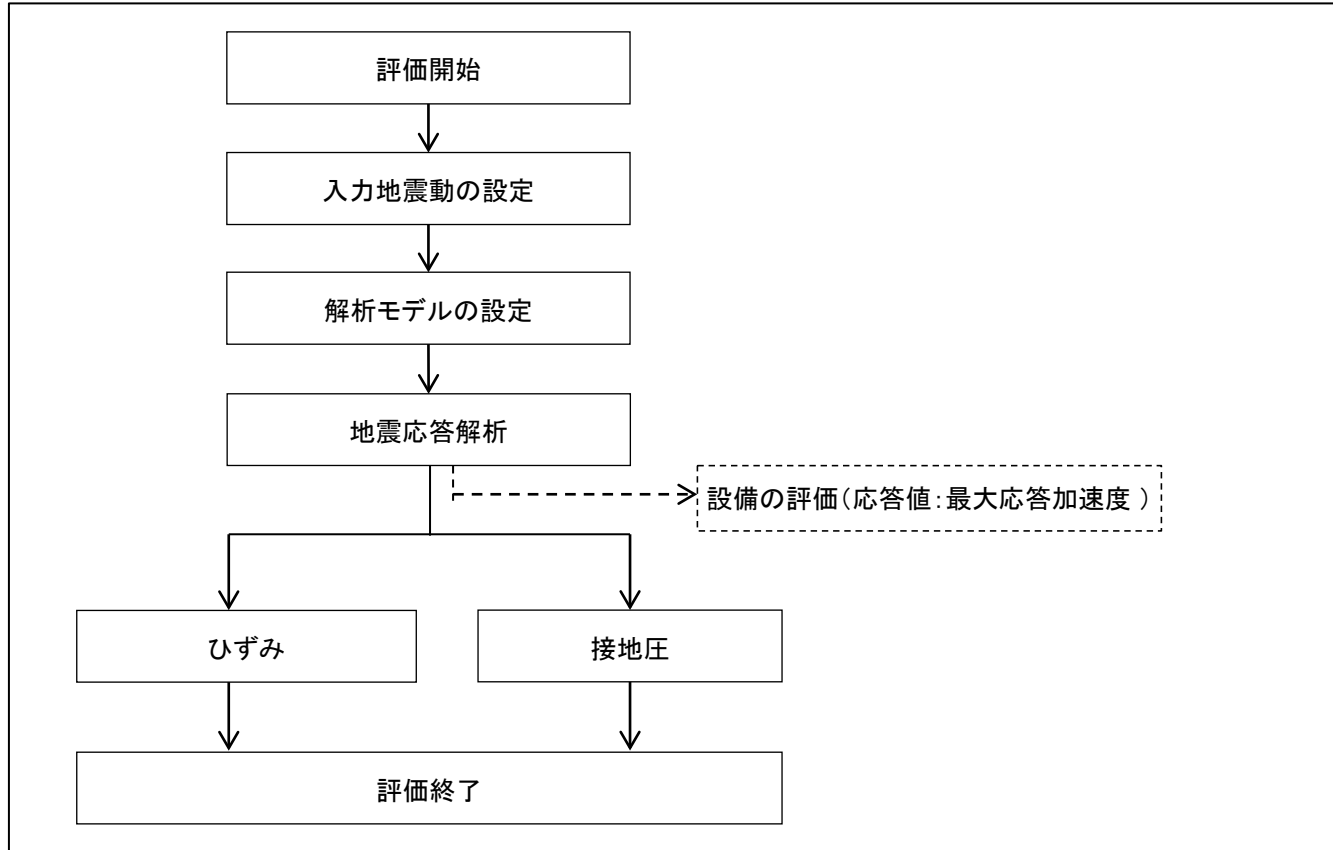


A-A断面図 (EW方向)
(単位:m)



B-B断面図 (NS方向)
(単位:m)

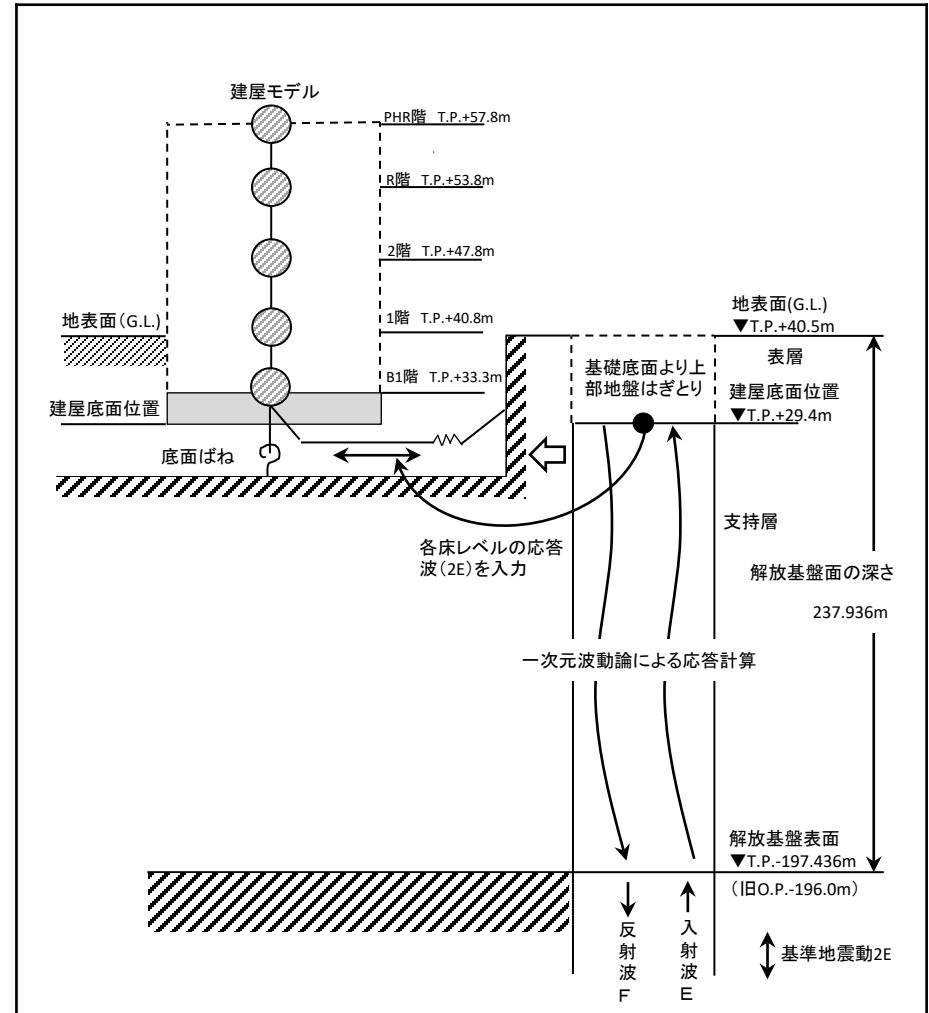
2. 地震応答解析 (2) 地震応答解析の評価フロー



地震応答解析の評価フロー

2. 地震応答解析 (3) 地盤応答解析モデルの概要

- 入力地震動は解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1/2倍した弾性設計用地震動 S_d を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定する。
- 水平方向の入力地震動は基礎底面ばね位置の応答波(2E波)とする。
- 算定に用いる地盤モデルは当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。



地盤応答解析モデルの概要 (水平方向)

2. 地震応答解析 (4) 入力地震動の算定 (評価に用いる地震動)

◆ 評価に用いる地震動

- 1Fにおける基準地震動 S_s (S_s-1 , S_s-2 , S_s-3)に対する弾性設計用地震動 S_d ($1/2 \times S_s$)を設定する。
- 解放基盤面をT.P.約-197mと定義する。

評価に用いる地震動

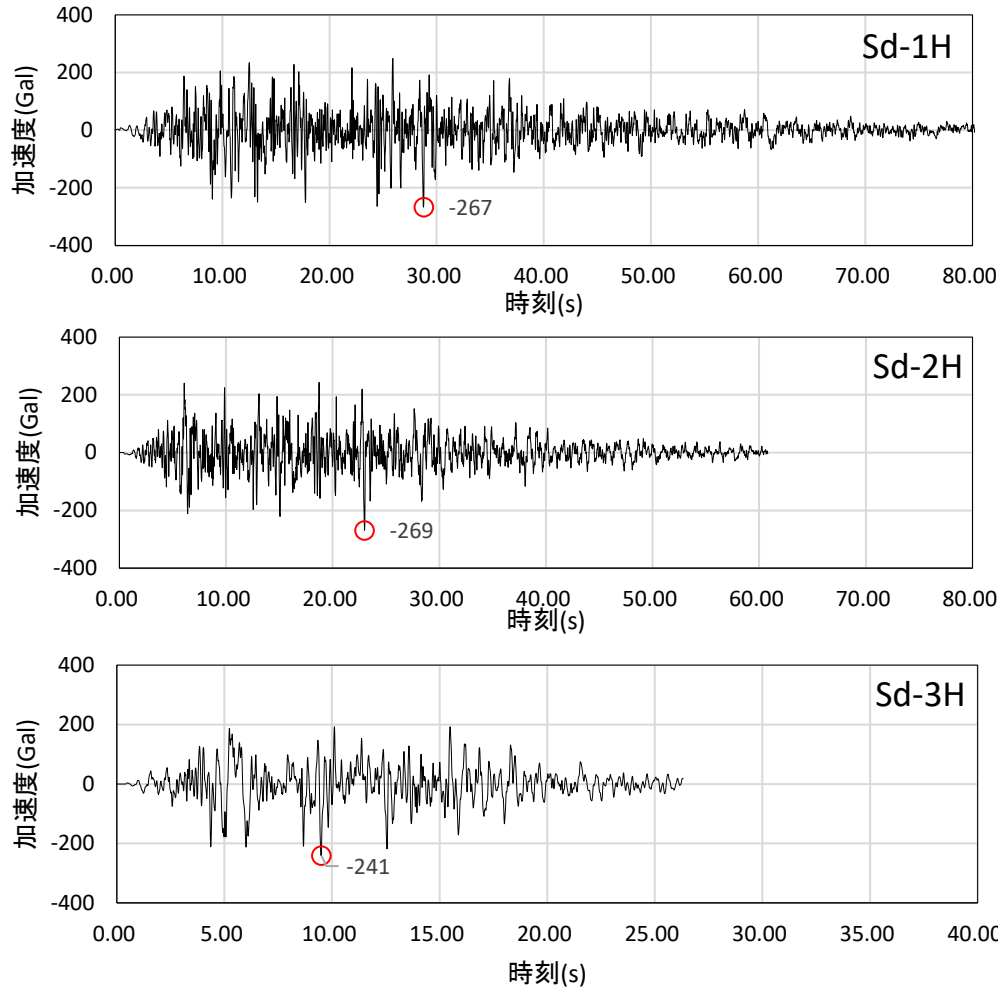
	地震動名	方向	地震波名	最大加速度 (Gal)
弾性設計用 地震動 S_d	Sd-1	水平	Sd-1H	225
	Sd-2	水平	Sd-2H	300
	Sd-3	水平	Sd-3H	225

2. 地震応答解析 (4) 入力地震動の算定 (地盤の物性値)

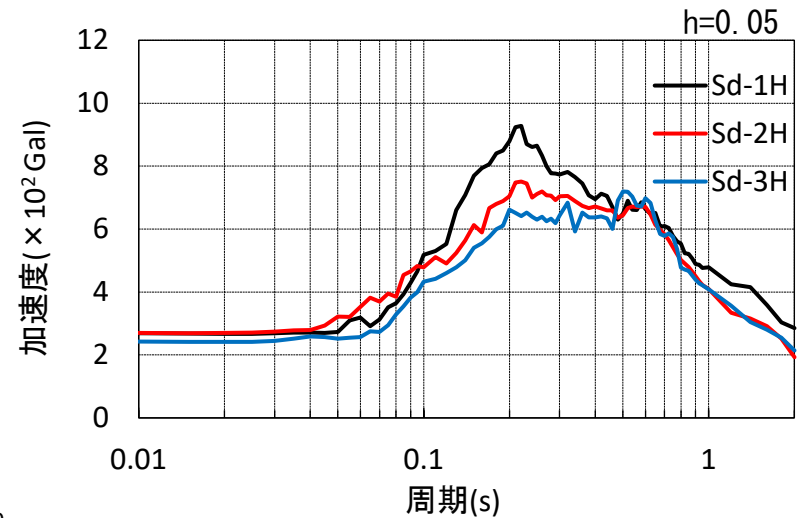
地盤の物性値

深さ T. P. (m)	地層名	せん断波 速度 V_s (m/s)	湿潤密度 ρ (t/m ³)	動ポワソン比 ν_d	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	$G/G_0 \sim \gamma$ (γ : %)	$h \sim \gamma$ (h, γ : %)
+29.40	▽建屋基礎底面						
+24.00	人工岩盤	1913	2.35	0.20	8580000	—	—
+18.45	T3 部層	互層部	414	1.76	302000	$1/(1+3.257\gamma^{0.688})$	$17.57/(1+0.084/\gamma)$
+16.23		泥質部	500	1.71	427000	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
+14.47		細粒砂岩	338	1.84	210000	$1/(1+3.009\gamma^{0.604})$	$21.80/(1+0.122/\gamma)$
+12.22		泥質部	500	1.71	427000	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
+11.40		細粒砂岩	338	1.84	210000	$1/(1+3.009\gamma^{0.604})$	$21.80/(1+0.122/\gamma)$
-18.07		泥質部	500	1.71	427000	$1/(1+3.600\gamma^{0.962})$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$
-110.47		T2部層	420~582 (深度依存)	1.76~1.80 (深度依存)	0.44~0.46 (深度依存)	308000~ 605000 (深度依存)	$1/(1+2.845\gamma^{0.918})$
-183.18	T1部層	610	1.79	0.44	667000	$1/(1+2.586\gamma^{0.722})$	$15.04\gamma^{0.517}$
-197.436	先富岡層	712	1.88	0.42	954000	$1/(1+2.714\gamma^{0.920})$	$14.69\gamma^{0.583}$

2. 地震応答解析 (4) 入力地震動の算定 (入力地震動)



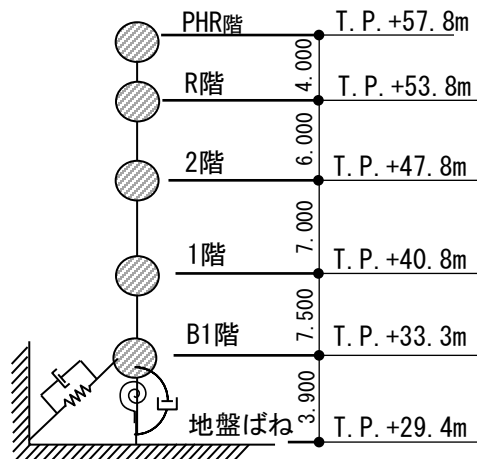
入力地震動の時刻歴波形
(基礎底面位置, Sd (水平動))



入力地震動の加速度応答スペクトル
(基礎底面位置, Sd (水平動))

2. 地震応答解析 (5) 地震応答解析モデル

(地震応答解析モデル, 建屋質量, 地盤ばね)



地震応答解析モデル

- 水平方向の地震応答解析モデルは建屋と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。
- 基礎底面地盤ばねは小堀のDGC理論により評価し, 基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。
- 側面地盤ばねは考慮しない。
- 減衰は剛性比例減衰 ($h=3\%$) とする。

建屋質量

階		質量
PHR階		578 t
R階		3582 t
2階		6049 t
1階		8667 t
スウェイ		17680 t
B1階	ロッキング	NS方向 $4.31 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{m}^2$
		EW方向 $4.87 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{m}^2$

地盤ばね

地震波	方向	水平ばね		回転ばね	
		剛性 (kN/m)	減衰係数 (kN · s/m)	剛性 (kN · m/rad)	減衰係数 (kN · m · s/rad)
Sd-1H	NS	4.55×10^7	1.21×10^6	1.75×10^{10}	1.60×10^8
	EW	4.52×10^7	1.23×10^6	1.90×10^{10}	2.12×10^8
Sd-2H	NS	4.56×10^7	1.21×10^6	1.75×10^{10}	1.60×10^8
	EW	4.53×10^7	1.24×10^6	1.91×10^{10}	2.12×10^8
Sd-3H	NS	4.60×10^7	1.22×10^6	1.77×10^{10}	1.62×10^8
	EW	4.58×10^7	1.25×10^6	1.93×10^{10}	2.14×10^8

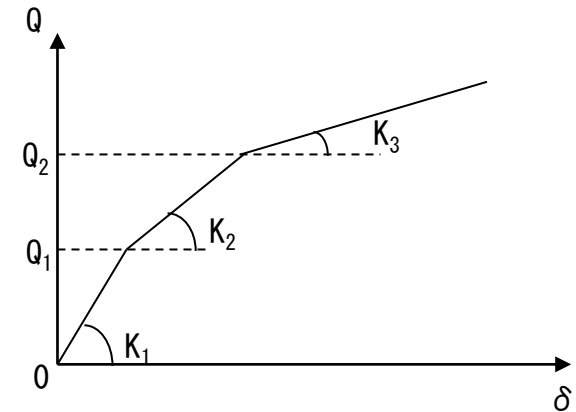
2. 地震応答解析 (5) 地震応答解析モデル (復元力特性)

復元力特性 (NS方向)

	K_1 (kN/m)	K_2 (kN/m)	K_3 (kN/m)	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)
R階	1.15×10^7	3.59×10^6	5.99×10^5	1.61×10^4	3.29×10^4
2階	2.58×10^7	1.08×10^7	2.07×10^6	3.24×10^4	1.07×10^5
1階	3.39×10^7	1.28×10^7	2.12×10^6	5.00×10^4	1.98×10^5
B1階	4.05×10^7	1.68×10^7	3.68×10^6	4.62×10^4	2.66×10^5

復元力特性 (EW方向)

	K_1 (kN/m)	K_2 (kN/m)	K_3 (kN/m)	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)
R階	2.62×10^7	6.76×10^6	5.62×10^5	1.27×10^4	3.84×10^4
2階	5.64×10^7	1.75×10^7	1.46×10^6	4.72×10^4	1.59×10^5
1階	4.54×10^7	1.43×10^7	2.48×10^6	7.50×10^4	2.43×10^5
B1階	7.13×10^7	2.31×10^7	3.95×10^6	7.95×10^4	3.51×10^5



Q_1 : 第1折点のせん断力
 Q_2 : 第2折点のせん断力
 K_1 : 初期剛性 (弾性剛性)
 K_2 : 第2分岐剛性
 K_3 : 第3分岐剛性

スケルトンカーブ

2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (固有値解析結果)

固有値解析結果 (Sd-1H)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.335	2.98	17.03	EW	1	0.321	3.12	17.33
	2	0.116	8.60	5.80		2	0.112	8.90	5.09
	3	0.077	12.92	1.31		3	0.067	15.02	2.48

固有値解析結果 (Sd-2H)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.335	2.99	17.02	EW	1	0.320	3.13	17.33
	2	0.116	8.61	5.81		2	0.112	8.91	5.10
	3	0.077	12.93	1.30		3	0.067	15.02	2.48

固有値解析結果 (Sd-3H)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.334	3.00	17.02	EW	1	0.319	3.14	17.33
	2	0.116	8.64	5.82		2	0.112	8.95	5.11
	3	0.077	12.95	1.28		3	0.067	15.03	2.47

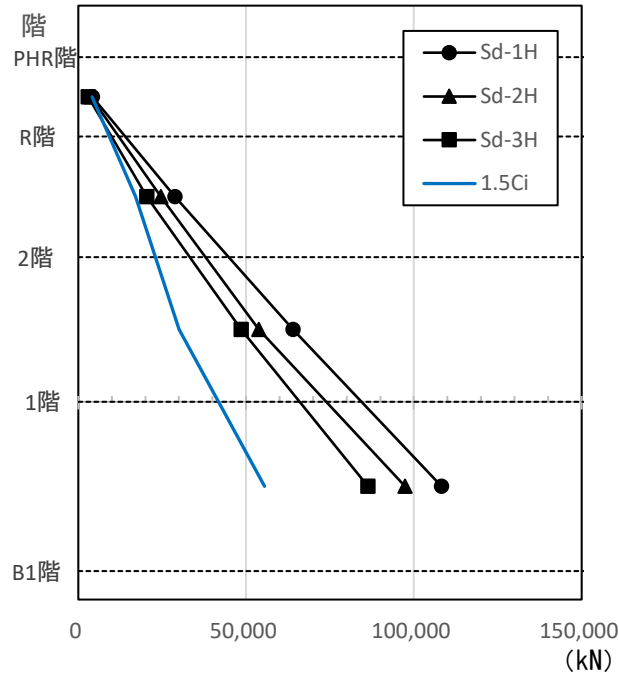
2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (最大応答加速度)

最大応答加速度 (水平方向)

単位 : Gal

	NS方向			EW方向		
	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H
PHR階	728	636	521	631	579	526
R階	691	586	490	605	552	506
2階	611	537	483	555	488	465
1階	540	517	443	534	450	403
B1階	324	333	284	362	345	252

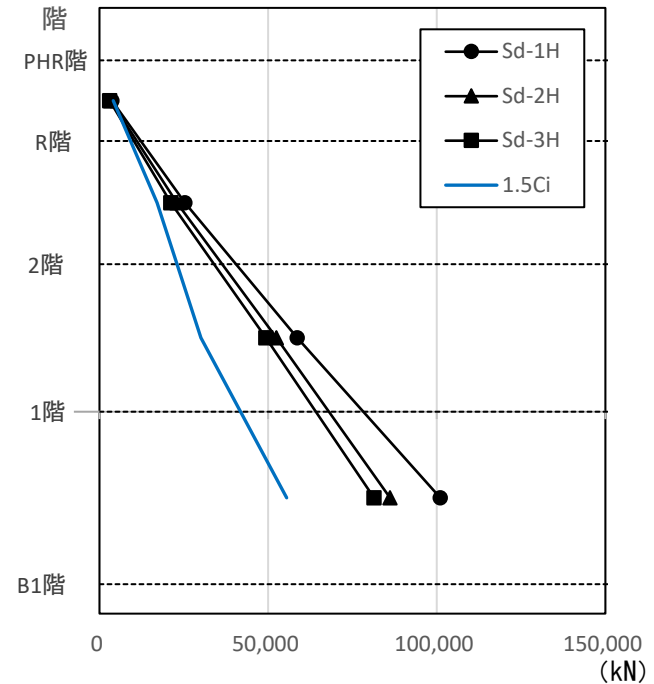
2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (最大応答せん断力)



単位 : kN

	1.5Ci	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H
PHR階	4089	4200	3693	3003
R階	17043	28845	24589	20462
2階	30013	64019	53823	48577
1階	55493	108273	97344	86277
B1階				

最大応答せん断力 (NS方向)

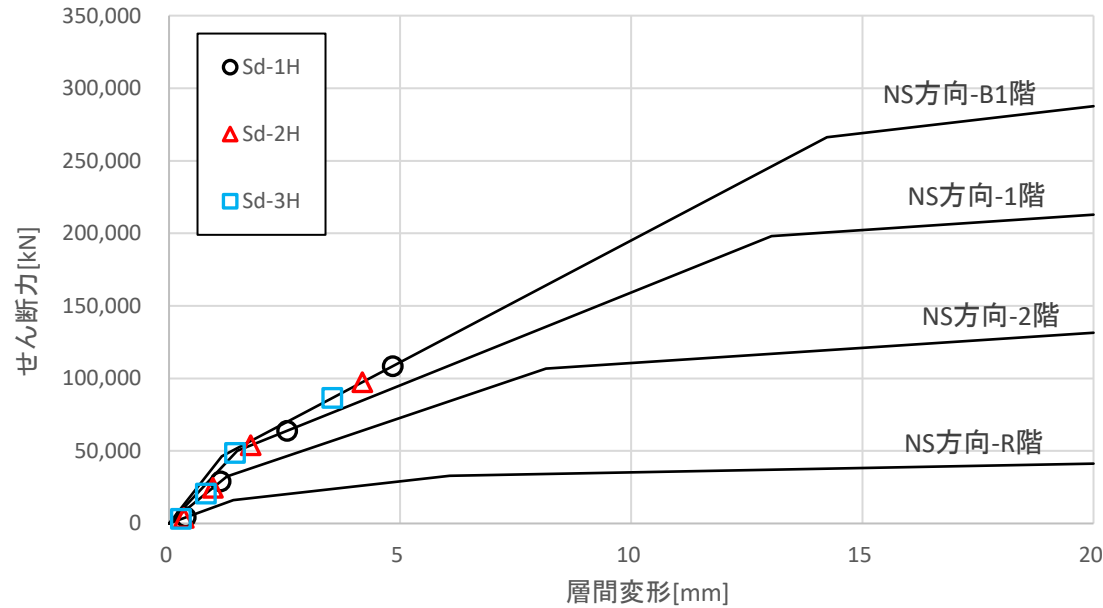


単位 : kN

	1.5Ci	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H
PHR階	4089	3639	3316	3031
R階	17043	25314	22959	21149
2階	30013	58639	52480	49278
1階	55493	101079	86160	81367
B1階				

最大応答せん断力 (EW方向)

2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (層間変形, ひずみ NS方向 Sd)

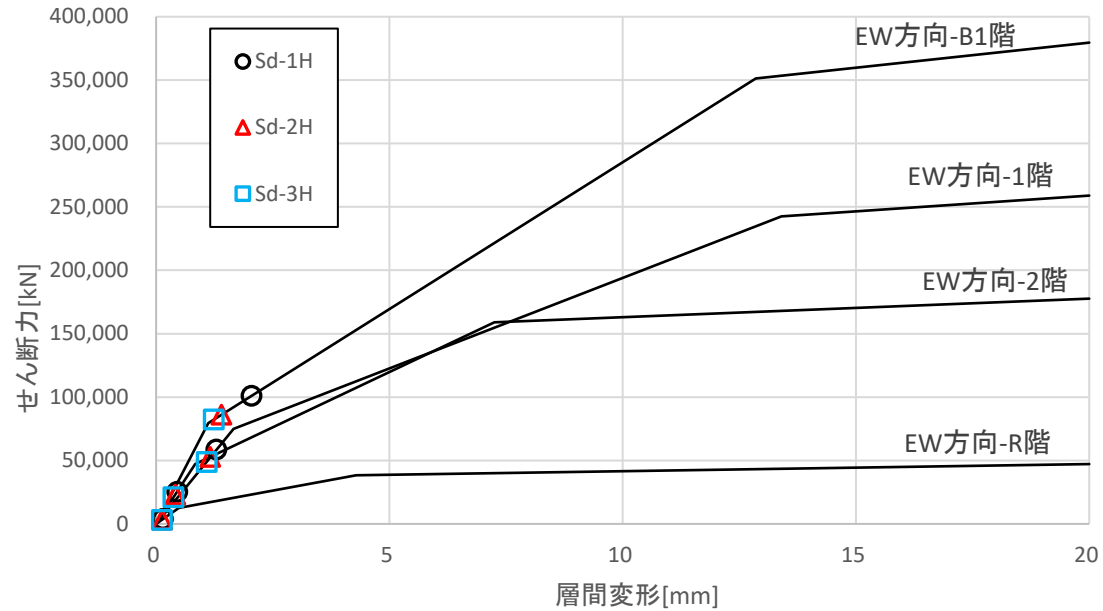


スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS方向 Sd)

	層間変形 (mm)			ひずみ※1			最大応答値	評価基準値
	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H		
PHR階	0.4	0.3	0.3	0.09×10^{-3}	0.08×10^{-3}	0.07×10^{-3}	第1折点以下	第2折点以下 (概ね弾性)
R階	1.1	1.0	0.8	0.18×10^{-3}	0.16×10^{-3}	0.13×10^{-3}	第1折点以下	
2階	2.6	1.8	1.4	0.35×10^{-3}	0.24×10^{-3}	0.20×10^{-3}	第2折点以下	
1階	4.8	4.2	3.5	0.57×10^{-3}	0.49×10^{-3}	0.41×10^{-3}	第2折点以下	
B1階								

※1: ひずみは, 層間変形/階高より算出。

2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (層間変形, ひずみ EW方向 Sd)



スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW方向 Sd)

	層間変形 (mm)			ひずみ※1			最大応答値	評価基準値
	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H	Sd-1H	Sd-2H	Sd-3H		
PHR階	0.1	0.1	0.1	0.04×10^{-3}	0.03×10^{-3}	0.03×10^{-3}	第1折点以下	第2折点以下 (概ね弾性)
R階	0.5	0.4	0.4	0.07×10^{-3}	0.07×10^{-3}	0.06×10^{-3}	第1折点以下	
2階	1.3	1.2	1.1	0.18×10^{-3}	0.16×10^{-3}	0.15×10^{-3}	第1折点以下	
1階	2.0	1.4	1.2	0.24×10^{-3}	0.16×10^{-3}	0.14×10^{-3}	第2折点以下	
B1階								

※1: ひずみは, 層間変形/階高より算出。

2. 地震応答解析 (6) 解析結果 (接地圧 Sd)

◆ 接地圧

- 接地圧はNS方向425kN/m², EW方向400kN/m²であり, 地盤の許容応力度2000kN/m²に対して十分な余裕がある。

接地圧の評価結果 (Sd)

地震動	方向	最大接地圧 (kN/m ²)	許容応力度 (kN/m ²)
Sd-1H	NS	425	2000
	EW	400	
Sd-2H	NS	402	
	EW	382	
Sd-3H	NS	387	
	EW	377	

2. 地震応答解析 (7) まとめ

◆ まとめ

- 第2棟建屋の柱, 耐震壁で構成される各層に生じるひずみは, 概ね弾性範囲を超えないことを確認した。
- 接地圧が, 評価基準値である支持地盤の許容応力度を超えないことを確認した。

以上より, 弾性設計用地震動 S_d に対して第2棟建屋は耐震余裕を有することを確認した。

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(弾性設計用地震動SdIに関する評価結果 一第2棟の設備一)

2021年4月22日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 耐震Bクラス設備の評価方針

◆ 評価目的

- 第2棟設備は、耐震Bクラスの剛構造(固有振動数:20Hz以上)であり静的地震力(水平方向:1.8Ci)に耐えることを確認している。今回、2月13日の地震を考慮して、弾性設計用地震動Sd(Sd-1、Sd-2、Sd-3)に対する発生応力を評価し、耐震余裕を確認する。

◆ 評価方針

- 機器及び主要給排気管(鋼管)の評価にあたっては、応答倍率法^{※1}で弾性設計用地震動Sdに対する発生応力を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。
- 応答倍率法では、弾性設計用地震動Sdによる建屋の地震応答解析結果の最大加速度(以下「最大加速度」という。)と設計加速度の比率(応答比)を各設備の発生応力に乗じて弾性設計用地震動Sdに対する発生応力を算出する。
- 評価基準値は、各設備の許容応力とする。
- 主要排気管(ダクト)の評価にあたっては、設計加速度と最大加速度の比率を許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔に乗じて弾性設計用地震動Sdに対する支持間隔を算出し、固有振動数より定まる支持間隔を超えている^{※2}ことを確認する。

※1: 弾性範囲であれば、入力加速度に比例して応力も増加するものとして評価する手法であり、発電炉の耐震評価でも用いている。

→ 耐震設計審査指針改定に伴う耐震性評価(耐震バックチェック)において、応答倍率法として広く使われている手法。

※2: 耐震支持間隔は、モーメント及び振動数から定まる支持間隔の短い値で設定する。

2. 建屋の地震応答解析結果と応答比

◆ 弾性設計用地震動Sdによる建屋の地震応答解析結果 (各床面での最大加速度)

(単位: gal)

階層	水平方向					
	NS方向			EW方向		
	Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-1	Sd-2	Sd-3
2階	611	537	483	555	488	465
1階	540	517	443	534	450	403
地下1階	324	333	284	362	345	252

◆ 設計加速度と弾性設計用地震動Sdの加速度比

階層	①設計加速度※1	②弾性設計用地震動Sd での最大加速度	応答比 (②/①)
2階	353gal	611gal	1.74
1階	353gal	540gal	1.54
地下1階	353gal	362gal	1.03

※1: 設計加速度は、設計用地震力 $1.8C_i=0.36$ に重力加速度 $980\text{cm}/\text{sec}^2$ (980gal)を乗じた値。

3. 設備（機器）の評価結果

設備名		設置床面	①発生応力(MPa)		②応答比	③弾性設計用地震動Sdでの発生応力(①×②)	許容応力(MPa)
鉄セル	遮へい体	1階	引張	—※1	1.54	—	175
			せん断	86	1.54	132.5	135
	インナーボックス	1階	引張	—※1	1.54	—	183
			せん断	5	1.54	7.7	141
グローブボックス(GB-No.1,2,4)		1階	引張	—※1	1.54	—	183
			せん断	1	1.54	1.6	141
グローブボックス(GB-No.3)		1階	引張	—※1	1.54	—	183
			せん断	2	1.54	3.1	141
セル・グローブボックス用排風機		地下1階	引張	—※1	1.03	—	170
			せん断	4	1.03	4.2	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B		地下1階	引張	1	1.03	1.1	170
			せん断	6	1.03	6.2	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D		地下1階	引張	3	1.03	3.1	170
			せん断	6	1.03	6.2	131
コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B		2階	引張	—※1	1.74	—	170
			せん断	2	1.74	3.5	131
鉄セル用給気フィルタユニットA,B,C,D		1階歩廊(2階)	引張	1	1.74	1.8	153
			せん断	1	1.74	1.8	118
グローブボックス用給気フィルタユニットA~H		1階歩廊(2階)	引張	1	1.74	1.8	153
			せん断	1	1.74	1.8	118

※1: 引張応力は発生しない。

弾性設計用地震動Sdに対する発生応力が各機器の許容応力を超えないことを確認した。

4. 設備(主要給排気管)の評価結果①

配管分類	主要排気管(鋼管)							
配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S					40		
設計圧力(MPa)	0.0095							
①発生応力(MPa)	8	8	8	8	8	8	8	8
②応答比 ^{※1}	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
③弾性設計用地震動Sdでの発生応力 (①×②)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
④許容応力(MPa)	153	153	153	153	153	153	153	153

※1: 地下1階、1階天井等に設置されることから、最も加速度比が大きい2階の値を使用した。

4. 設備(主要給排気管)の評価結果②

評価部材	主要排気管(ダクト)		
	材料	SS400	
設計温度(°C)	60		
寸法(mm)	559.0×559.0	659.0×659.0	φ706.4 ^{※1}
板厚(mm)	4.5	4.5	3.2
①ダクト系の固有振動数より定まる支持間隔(m)	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔(m) ^{※2}	43.9	42.0	32.0
耐震支持間隔(=Min[①, ②])(m)	6.6	7.1	7.0

※1: 寸法706.4mm×706.4mm、板厚3.2mmの矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

※2: 支持間隔の計算式より設計加速度と最大加速度の比率を評価し、弾性設計用地震動Sdに対する支持間隔を算出した。

$$L_{R2} = \sqrt{\frac{8 \times M}{w \times g \times \alpha}} = \sqrt{\left(\frac{8 \times M}{w}\right) \left(\frac{1}{g \times \alpha}\right)}$$

L_{R2} : 許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔

M: 許容座屈曲げモーメント

w: ダクト単位長さ質量

g: 重力加速度

α : 設計震度

$g \times \alpha$: 設計加速度又は弾性設計用地震動Sdでの最大加速度

4. 設備(主要給排気管)の評価結果③

配管分類	主要給気管(鋼管)				
配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力(MPa)	0.001			0.0005	
①発生応力(MPa)	8	8	8	8	8
②加速度比 ^{※1}	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
③弾性設計用地震動Sdでの発生応力 (①×②)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
④許容応力(MPa)	153	153	153	153	153

※1:地下1階、1階天井等に設置されることから、最も加速度比が大きい2階の値を使用した。

弾性設計用地震動Sdに対する発生応力又は支持間隔が、主要給排気管の許容応力を超えないこと、又は固有振動数より定まる支持間隔を超えていることを確認した。

5. まとめ

弾性設計用地震動Sdに対する耐震Bクラス設備への影響について確認した。

- 弾性設計用地震動Sdに対する発生応力を算出し、機器又は主要給排気管(鋼管)の許容応力を超えないことを確認した。
- 弾性設計用地震動Sdに対する支持間隔を算出し、主要排気管(ダクト)の固有振動数から定まる支持間隔を超えていることを確認した。

以上より、弾性設計用地震動Sdに対して第2棟設備は耐震余裕を有することを確認した。