

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（検討の進捗）

（2/13地震を受けた対応）
2021年7月5日

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, uppercase letters.

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】

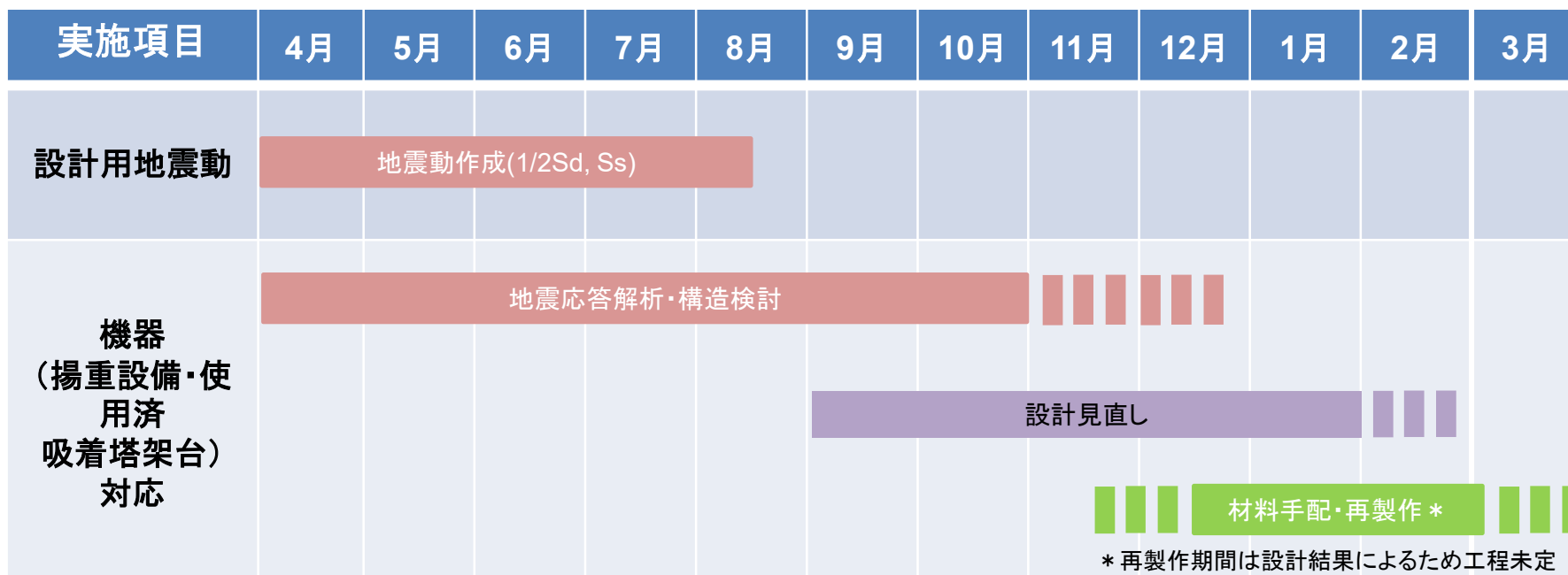
【機器：揚重設備（クレーン）及び使用済吸着塔架台】

■ 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 $1/2S_d$ や上位地震動 S_s (600gal)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



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＞

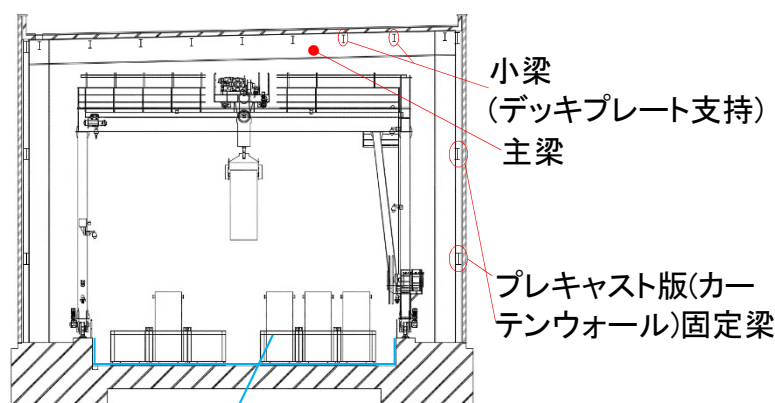
- ・地盤改良後の地震動1/2Sdや上位地震動Ss(600gal)による耐震評価の実施
- ・必要に応じ影響緩和策の検討実施



実施項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
設計用地震動	地震応答解析(1/2Sd,Ss)											
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					

公衆への放射線影響評価イメージ

- 建屋(既認可)には200mm厚のコンクリート遮蔽があり、敷地境界線量(BP78)の増を0.066mSv/yに抑制
- 遮蔽性能が損傷した場合の影響を検討
 - 最悪、Cs線源に対し概ね1/10の遮蔽効果を有する屋根・外壁がゼロになった場合、最寄り敷地境界への影響増は0.59mSv/y程度と見込まれ、Sクラスと分類すべき5mSv/事象を下回る。(全施設合計では1mSv/y超となる評価点があり得る)
 - Ss地震を受けると架構の変形が大きくなるが、屋根のコンクリートはデッキプレートにより支持されており、損傷する可能性は低いと考えられ、遮蔽機能のほとんどは失われないと想定(評価中)
 - 屋根のひびや側壁PCa版の欠けは補修/交換可能(影響緩和措置)
- 建屋はBクラスのため、1.5Ci(概ね300gal)に裕度のある設計となっているため、Ss(概ね600gal)で建屋が倒壊するほどの損傷が発生する可能性は低いものと推定。(評価中)



貯蔵エリア(堰)



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

2021年7月5日（第11回面談）

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, uppercase letters.

東京電力ホールディングス株式会社

- 大型廃棄物保管庫における揚重設備及び架台設置に係る実施計画の変更に伴う面談において、建屋の動的解析に関するご指摘を頂いた内容について、基礎底面への入力地震動見直し点をお示しし、建屋の応答解析結果について提示するものです。

～建屋の動的解析に関する面談～

第4回（2020年10月15日） 地盤改良前の地盤に関する動的解析資料提示

第6回（2020年11月26日） 地盤改良を考慮した地盤モデル資料提示

第9回（2021年 3月 5日） 改良地盤のばらつきを変動係数0.5として解析した入力地震動を提示

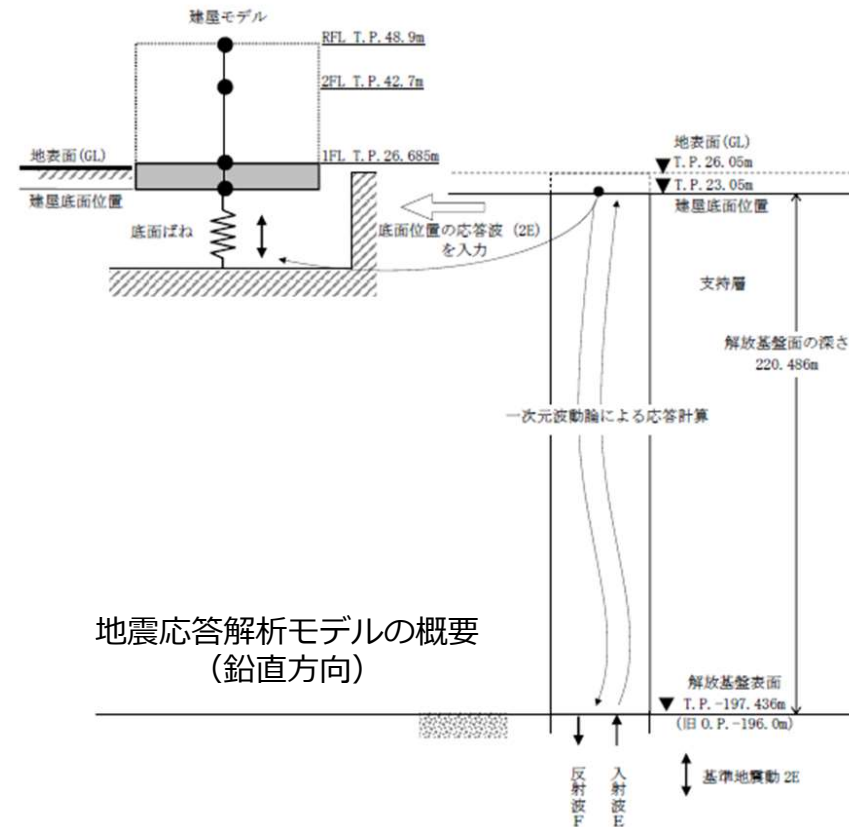
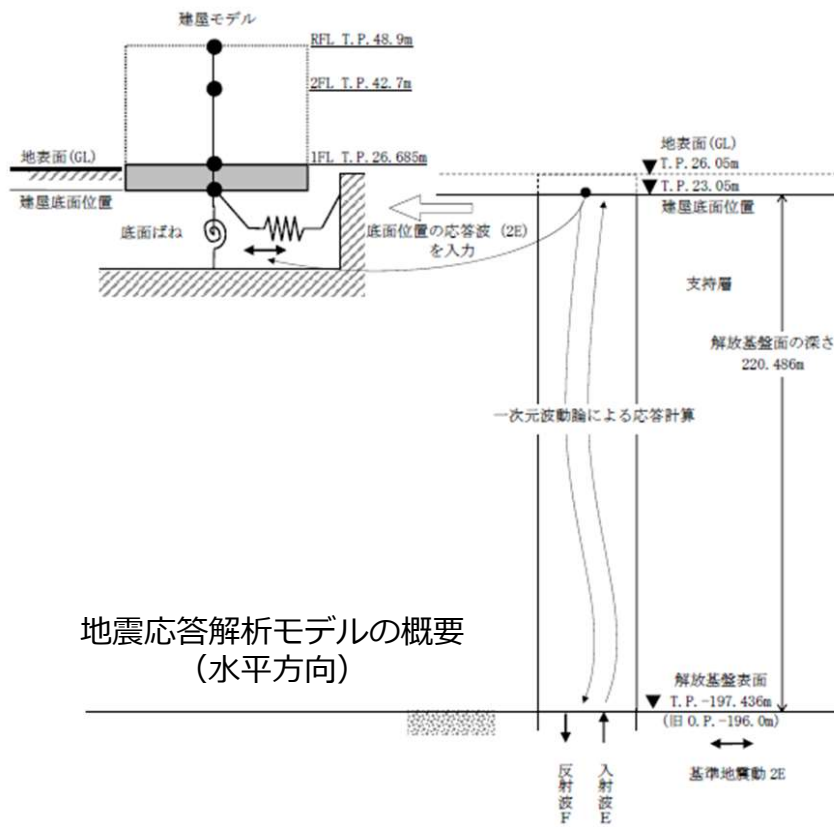
今回（2021年 7月 5日） 改良地盤の一軸圧縮試験結果に基づき、初期地盤モデルを設定し、解析した入力地震動および建屋の応答加速度結果を提示

大型廃棄物保管庫の動的解析について (1/14)

<変更なし>

■ 解析方法

- 動的解析に用いる建屋-地盤連成地震応答解析モデルは、水平動は建屋と地盤相互作用を評価したスウェイ・ロッキングモデルとし、鉛直動は上下バネマスモデルを使用。
- 建屋は、形状及び構造特性等を考慮し、水平モデルは質点とはり要素からなる集中質点系に置換した解析モデルとし、鉛直モデルは質点とばね要素とした集中質点系解析モデルを設定。
- 地盤は、建屋の埋込み効果を無視し、建屋底面位置で地盤を剥ぎ取り底面ばねによってモデル化する。また、入力地震動は、自由地盤の一次元波動論による解析より求められる建屋底面位置での応答波(2E波)とする。



大型廃棄物保管庫の動的解析について（2/14）

<変更なし>

■ 検討に用いる地震動

- 1 F 耐震安全性評価にて用いる基準地震動 S_s を影響する断層等を考慮し3波として算出し、基準地震動 S_s に対する弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ を設定する。
- 解放基盤面をT.P.約-197mと定義する。

	地震動名	方向	地震波名	最大加速度 (Gal)	備考
弾性 設計用 地震動 1/2Sd	1/2Sd-1	水平	1/2Sd-1H	112.5	鉛直動は水平動の 2/3になるよう設定。
		鉛直	1/2Sd-1V	75.0	
	1/2Sd-2	水平	1/2Sd-2H	150.0	鉛直動は水平動の 2/3になるよう設定。
		鉛直	1/2Sd-2V	100.0	
	1/2Sd-3	水平	1/2Sd-3H	112.5	
		鉛直	1/2Sd-3V	75.0	

大型廃棄物保管庫の動的解析について (3/14)

<変更なし>

■ 地震応答解析を行うにあたり以下の条件を設定。

➤ 建屋の振動諸元

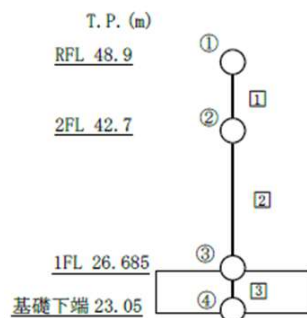
(1) 水平動モデル

- 建屋は、曲げとせん断変形を考慮した集中質量系モデルとする。
- 重量は原則として各床上端の位置に集中させ、かつ回転慣性重量を考慮する。
- 剛性は、曲げ及びせん断剛性をもつ無質量のはり要素とする。なお、上屋（鉄骨部）は、フレーム解析によるQ- δ 曲線結果より求める等価せん断剛性とする。
- 建屋は、NS方向及びEW方向の2方向について各々モデル化する。

(2) 鉛直動モデル

- 建屋は、鉛直方向軸変形を考慮した集中質量系モデルとする。
- 重量は、原則として各床上端の位置に集中させる。
- 剛性は、軸剛性をもつ無質量のばね要素とする。

建屋の振動諸元
(鉛直方向)



建屋の振動諸元
(水平方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G (kN·m ²)	部材番号	せん断断面積 A_s (m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)
①	3400	5.560×10^4	—	—	—
②	67870	2.102×10^7	①	1.371×10^{-2}	∞
③	745100	2.170×10^9	②	1.572×10^{-1}	∞
④	105510	3.068×10^8	③	4.455×10^3	1.296×10^7
—	—	—	—	—	—

・総重量：921880 kN
 ・基礎形状：186.8m(NS)×23.85m(EW)×2.9m(厚さ)
 ・鉄骨部 (①, ②)：E=2.05×10⁸kN/m², G=7.90×10⁷kN/m², h=2%
 ・基礎部 (③)：E=2.27×10⁷kN/m², G=9.45×10⁶kN/m², h=5%
 ・鉄骨部 (①, ②)の A_s はフレーム解析による等価せん断剛性

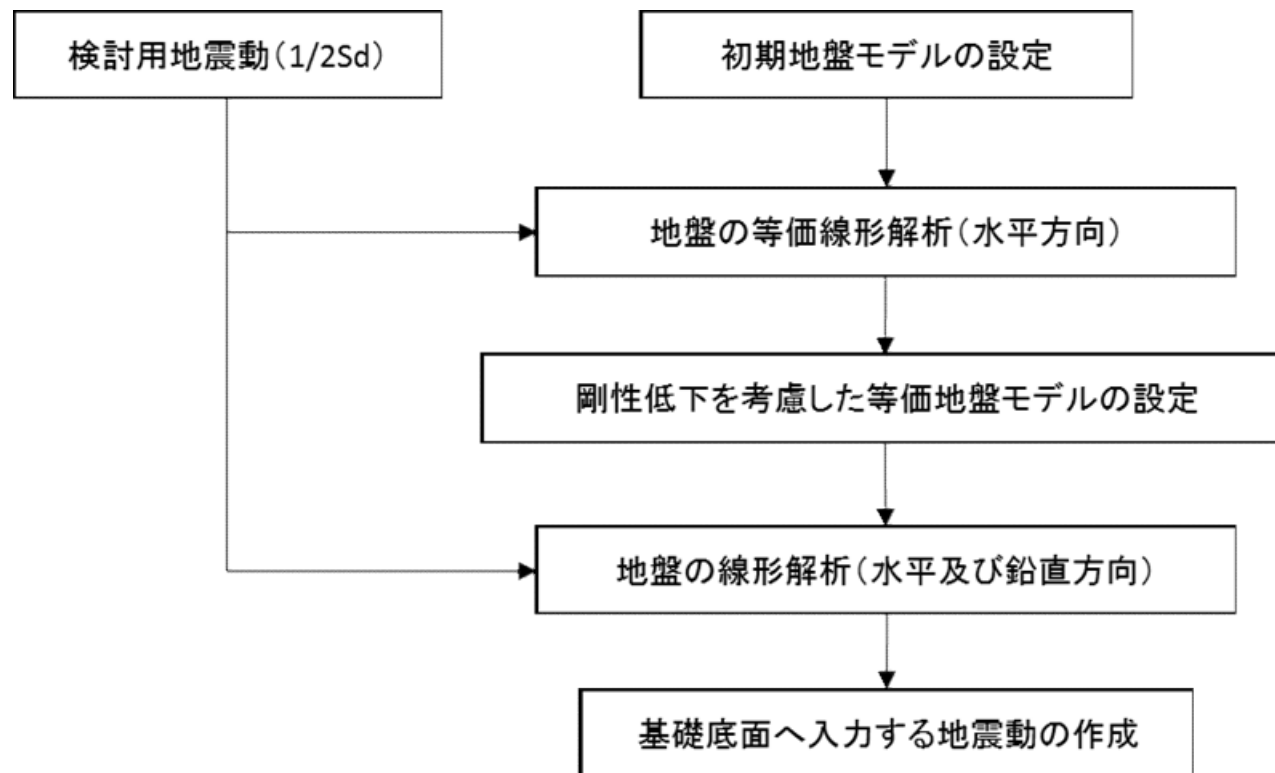
質点番号	質点重量 W (kN)	部材番号	軸断面積 A (m ²)
①	3400	—	—
②	67870	①	5.554×10^{-1}
③	745100	②	5.210
④	105510	③	4.455×10^3
—	—	—	—

・総重量：921880 kN
 ・基礎形状：186.8m(NS)×23.85m(EW)×2.9m(厚さ)
 ・鉄骨部 (①, ②)：E=2.05×10⁸kN/m², G=7.90×10⁷kN/m², h=2%
 ・基礎部 (③)：E=2.27×10⁷kN/m², G=9.45×10⁶kN/m², h=5%

大型廃棄物保管庫の動的解析について（4/14）

<変更なし>

- 基礎底面へ入力する地震動は、以下に示す算定フローに従い、一次元波動論により地盤の等価線形解析を行い、剛性低下を考慮した等価地盤モデルを設定。
- これらの等価地盤モデルを用いて、水平及び鉛直方向の地盤応答解析（線形解析）により建屋基礎底面における入力地震動を求める。

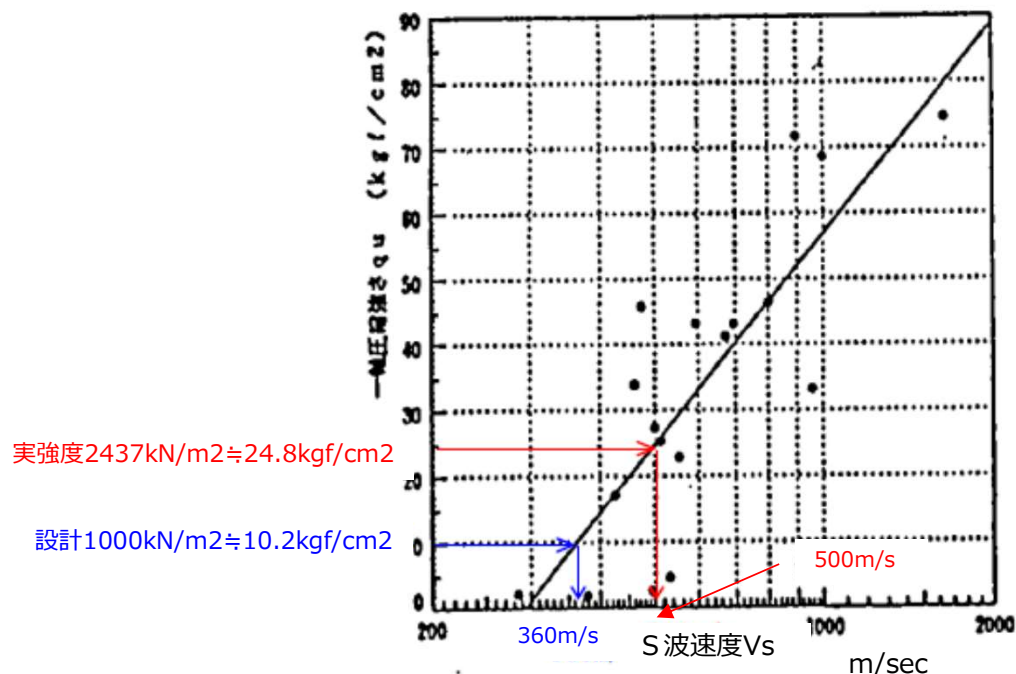


基礎底面へ入力する地震動の算定フロー

大型廃棄物保管庫の動的解析について（5/14）

<変更>

- 初期地盤モデルは、以下の条件により設定する。
 - 改良地盤については、改良地盤の物性値及び設計基準一軸圧縮強度により設定する。
 柏崎刈羽7号機の「地盤の支持性能についての参考資料（K-7工認図書補足説明資料）」設定方法と同様の考え方としていたが、今回は、日本建築センターの設計指針を用いて設定した。
 - 泥岩（富岡層）については、1F5～6-R/Bの地質層及び地盤物性により設定する。
 大型廃棄物保管庫の建設エリアと同様の地質構成であることから、上記物性を採用する。



注：「2018年度版、建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、2018年11月、(一財)日本建築センター、(一財)ベターリビング」より抜粋

<沖積地層>

S波速度と一軸圧縮強度の関係（一部加筆）

大型廃棄物保管庫の動的解析について (6/14)

<変更>

大型廃棄物保管庫 初期地盤モデル

標高 T.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	G/G ₀ ~ γ (γ :%)	h~ γ (h, γ :%)	層厚
23.05	(基礎下端)							
15.40	改良 地盤	360	17.8	0.260	2.35	$\frac{1}{1+\gamma/0.368}$ ※1	$19.7-\frac{17.7}{1+\gamma/0.368}$ ※1	7.65
-74.436 (-73.0)	泥岩	470	17.0	0.459	3.83	$\frac{1}{1+2.818\gamma^{0.813}}$	$12.542^{0.568}$	89.836
-100.436 (-99.0)		530	17.4	0.447	4.98			26.0
-182.436 (-181.0)		580	17.4	0.443	5.97			82.0
-197.436 (-196.0)		750	17.6	0.410	10.10			15.0
	(解放基盤)	750	17.6	0.410	10.10	—	—	—

注：※1 ひずみ依存度特性は、「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 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」に記載されている内容を用いた。

大型廃棄物保管庫の動的解析について（7/14）

<変更>

➤ 等価地盤モデルの設定は、以下の条件により設定する。

a.改良地盤

- K-7「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」の格納容器圧力逃がし装置基礎の「別紙7 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果」を参考に、周辺における施工済の地盤改良体の事後調査結果に基づき設定する。なお、地盤改良体の地盤剛性は設計値を上回るように施工されていることから、+側のみ考慮する。

b.泥岩（富岡層）

- 泥岩（富岡層）のばらつきは、「福島第一原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告）に関する補足説明資料（コメント回答資料）平成21年5月15日、東京電力（株）」を元に設定する。

泥岩（富岡層） O.P.4.5m～O.P.-73.0m : ±15%

泥岩（富岡層） O.P.-73.0m以深 : ±20%

◆第9回面談(2021年3月5日)での“ばらつき”の設定方法

地層	基本ケース	プラス側	マイナス側
改良地盤 (一軸圧縮強度 q_u)	設計値 $q_u=1000\text{kN/m}^2$	+50%	-50%
富岡層 旧O.P.4.5m～ 73.0m	標準地盤	+15%	-15%
富岡層 旧O.P.-73.0m以深	標準地盤	+20%	-20%



◆今回見直した“ばらつき”の設定

地層	基本ケース	プラス側	マイナス側	備考
改良地盤 (一軸圧縮強度 q_u)	設計値 $q_u=1000\text{kN/m}^2$	実強度(平均) $q_u=2437\text{kN/m}^2$	設計値 $q_u=1000\text{kN/m}^2$	資料1
富岡層 旧O.P.4.5m～ 73.0m	標準地盤	+15%	-15%	資料2
富岡層 旧O.P.-73.0m以深	標準地盤	+20%	-20%	資料2

資料1：福島第一原子力発電所 大型廃棄物保管庫第一棟建屋設置に伴う地盤改良工事 一軸圧縮試験報告書、令和2年3月、大成建設(株)、(株)不動テトラ

資料2：福島第一原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告）に関する補足説明資料（コメント回答資料）平成21年5月15日、東京電力(株)

大型廃棄物保管庫の動的解析について (8/14)

<変更>

大型廃棄物保管庫 等価地盤モデル(1/2 Sd-1)

標高 T.P. (m)	地質	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)			剛性低下率 G/G_0			せん断弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)			剛性低下後 P波速度 V_P (m/s)			減衰定数 h (%)			
				基本 ケース	プラス	マイナス	基本 ケース	プラス	マイナス	基本 ケース	プラス	マイナス	基本 ケース	プラス	マイナス	基本 ケース	プラス	マイナス	
23.05	(基礎下端)																		
15.40	改良 地盤	17.8	0.260	2.35	4.54	2.35	0.99	1.00	0.99	2.33	4.54	2.33	630	880	630	2	2	2	
-74.436 (-73.0)	泥岩	17.0	0.459	3.83	4.40	3.26	0.92	0.93	0.91	3.52	4.09	2.97	1640	1760	1500	2	2	2	
-100.436 (-99.0)		17.4	0.447	4.98	5.98	3.98	0.91	0.92	0.90	4.53	5.50	3.58	1630	1800	1450	2	2	2	
-182.436 (-181.0)		17.4	0.443	5.97	7.16	4.78	0.91	0.92	0.90	5.43	6.59	4.30	1730	1910	1540	2	2	2	
-197.436 (-196.0)		17.6	0.410	10.10	12.10	8.08	0.94	0.95	0.92	9.49	11.50	7.43	1860	2050	1650	2	2	2	
	(解放基盤)	17.6	0.410	10.10	10.10	10.10	-	-	-	10.10	10.10	10.10	1920	1920	1920	-	-	-	

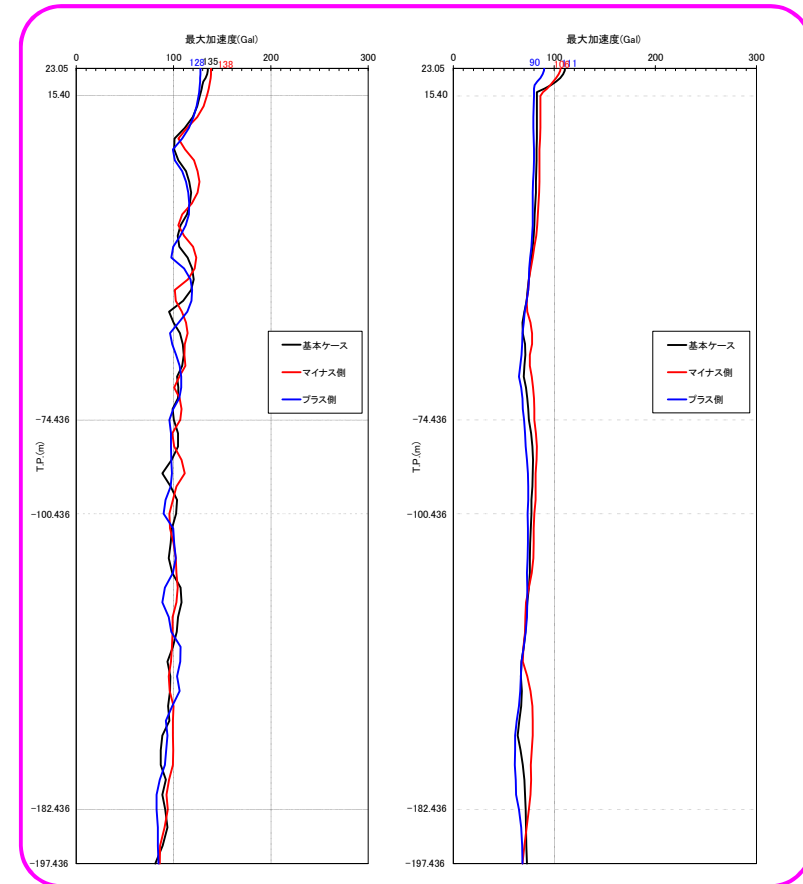
大型廃棄物保管庫の動的解析について (9/14)

<変更>

- 線形解析による入力地震動は、以下の条件を基礎底面へ入力し算定する。
 - 等価線形解析で得られた等価地盤モデルを用いて線形解析により基礎底面の応答（2E）を求める。
 - 鉛直方向は、水平方向の等価線形解析で得られた等価地盤モデルを用い、P波の鉛直入射と仮定して、水平方向と同様に基礎底面の（2E）を求める。

基礎底面位置の最大応答加速度

地震動名	方向	ばらつき	最大加速度 (cm/s ²)
1/2Sd-1	水平	基本ケース	135
		変動率(マイナス)	138
		変動率(プラス)	128
	鉛直	基本ケース	111
		変動率(マイナス)	106
		変動率(プラス)	90



地盤の最大応答加速度分布（今回の検討ケース）

大型廃棄物保管庫の動的解析について（10/14）

<変更>

- 地盤ばねの算定は、以下の方針により行う。
 - 基礎スラブの形状により、矩形基礎の算定式にて底面ばねを設定する。
 - 地層は水平層状と仮定し、一次元波動論による解析を用いた地層構成と同一とし、多治見の方法による成層補正によって等価な半無限弾性地盤とする。

地盤ばね算定結果

X (m)	Y (m)	b (X/2) (m)	c (Y/2) (m)	c/b	A (m ²)	I _y (m ⁴)	I _x (m ⁴)
186.8	23.85	93.4	11.93	0.13	4455.18	12955010.0	211183.9

ポアソン比 ν	単体重量 γ (kN/m ³)	ρ
0.26	17.8	1.82

1F-OHB 1/2Sd-1		等価V _s (m/s)	等価G (kN/m ²)	等価V _p (m/s)	c/b	形状係数B		地盤ばね定数K		等価減衰係数C		
水平	長辺X(NS)	429	334200	-	0.13	B _x	0.498	5.61E+07	kN/m	3.47E+06	kN・s/m	Ch= $\rho \cdot V_s \cdot A$
	短辺Y(EW)					7.83	B _x	4.488	6.46E+07			
回転	長辺X(NS)	440	352000	773	0.13	B ϕ	0.484	2.95E+11	kN・m/rad	1.82E+10	kN・s・m/rad	C ϕ = $\rho \cdot V_p \cdot I_y$
	短辺Y(EW)	414	310800	727	7.83	B ϕ	10.471	1.17E+10	kN・m/rad	2.79E+08	kN・s・m/rad	C ϕ = $\rho \cdot V_p \cdot I_x$
上下	UD	466	394300	818	0.13	B _z	0.533	8.33E+07	kN/m	6.62E+06	kN・s/m	Ch= $\rho \cdot V_p \cdot A$

※記載の数値は、1/2Sd-1 基本ケースでの結果

大型廃棄物保管庫の動的解析について（11/14）

➤ 地震応答解析手法は以下に基づき行うこととする。

- 固有値解析は減衰項を無視して行う。
- 応答解析の条件は以下のとおりとする。
 - 時間刻み 0.01秒
 - 積分法 直接積分 Newmark β 法 ($\beta=1/4$)
 - 材料減衰 歪みエネルギー比例型減衰
 - 線形解析
- 解析プログラムは「DYNA2E Ver.7.2.18」を用いる。

※記載の数値は、1/2Sd-1の解析結果

1/2Sd-1 (NS)	基本ケース			プラス側			マイナス側		
	固有周期	振動数	刺激係数	固有周期	振動数	刺激係数	固有周期	振動数	刺激係数
次数	(秒)	(Hz)		(秒)	(Hz)		(秒)	(Hz)	
1	0.617	1.62	1.476	0.616	1.62	1.412	0.618	1.62	1.509
2	0.272	3.68	-1.317	0.272	3.68	-0.626	0.272	3.68	-2.807
3	0.246	4.07	0.971	0.213	4.69	0.980	0.260	3.84	2.290
4	0.184	5.42	0.009	0.167	6.01	0.013	0.199	5.02	0.010

固有値解析結果（水平方向）

1/2Sd-1 (UD)	基本ケース			プラス側			マイナス側		
	固有周期	振動数	刺激係数	固有周期	振動数	刺激係数	固有周期	振動数	刺激係数
次数	(秒)	(Hz)		(秒)	(Hz)		(秒)	(Hz)	
1	0.212	4.71	1.115	0.193	5.18	1.141	0.229	4.38	1.098
2	0.063	15.86	-0.118	0.063	15.87	-0.146	0.063	15.85	-0.101
3	0.027	37.72	0.003	0.027	37.72	0.004	0.027	37.72	0.003
4	0.004	273.77	0.002	0.004	273.83	0.003	0.004	273.72	0.002

固有値解析結果（鉛直方向）

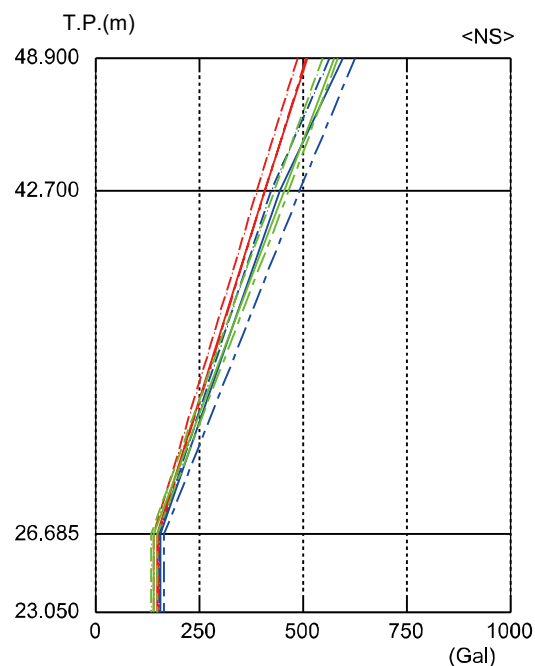
- 建屋動的解析結果より求めた1F床位置の質点の加速度時刻歴を基に、機電側にて設計用減衰定数を用いて床応答スペクトルを作成する。

大型廃棄物保管庫の動的解析について（12/14）

➤ 建屋の最大応答加速度の比較

- 1/2Sd-1H
- - - 1/2Sd-1H(+)
- - - 1/2Sd-1H(-)
- 1/2Sd-2H
- - - 1/2Sd-2H(+)
- - - 1/2Sd-2H(-)
- 1/2Sd-3H
- - - 1/2Sd-3H(+)
- - - 1/2Sd-3H(-)

<NS>
(Gal)



1/2Sd-1H			1/2Sd-2H			1/2Sd-3H		
1/2Sd-1H	1/2Sd-1H(+)	1/2Sd-1H(-)	1/2Sd-2H	1/2Sd-2H(+)	1/2Sd-2H(-)	1/2Sd-3H	1/2Sd-3H(+)	1/2Sd-3H(-)
596	563	624	511	487	508	575	547	583
444	422	492	407	388	408	454	431	465
156	153	165	148	140	152	139	134	148
155	153	164	148	140	151	139	133	148

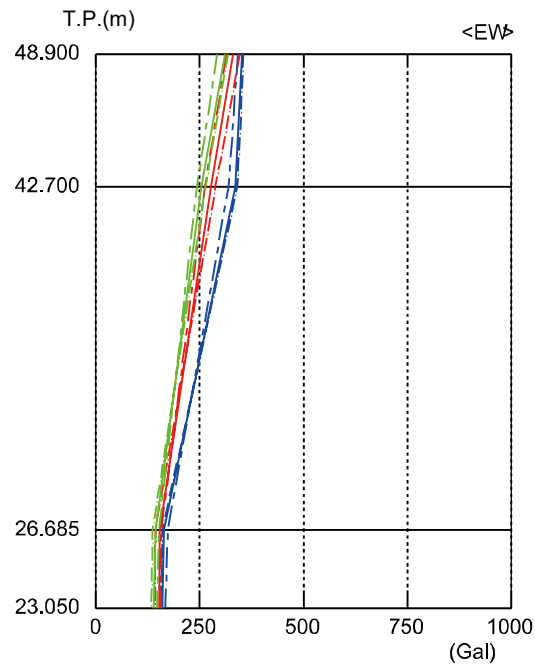
地盤剛性のばらつきを考慮した最大応答加速度の比較 (1/2 × Sd, NS方向)

大型廃棄物保管庫の動的解析について（13/14）

➤ 建屋の最大応答加速度の比較

- 1/2Sd-1H
- - - 1/2Sd-1H(+)
- - - 1/2Sd-1H(-)
- 1/2Sd-2H
- - - 1/2Sd-2H(+)
- - - 1/2Sd-2H(-)
- 1/2Sd-3H
- - - 1/2Sd-3H(+)
- - - 1/2Sd-3H(-)

<EW>
(Gal)



1/2Sd-1H			1/2Sd-2H			1/2Sd-3H		
1/2Sd-1H	1/2Sd-1H(+)	1/2Sd-1H(-)	1/2Sd-2H	1/2Sd-2H(+)	1/2Sd-2H(-)	1/2Sd-3H	1/2Sd-3H(+)	1/2Sd-3H(-)
352	356	342	330	346	315	312	318	293
336	341	320	278	288	263	254	264	243
164	160	173	154	143	157	143	137	152
159	156	167	153	143	156	139	134	147

地盤剛性のばらつきを考慮した最大応答加速度の比較
(1/2 × Sd, EW方向)

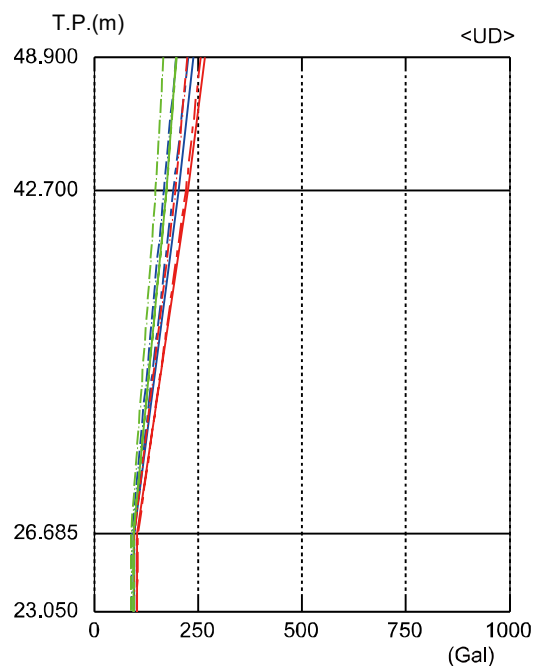
大型廃棄物保管庫の動的解析について（14/14）

<追加>

➤ 建屋の最大応答加速度の比較

- 1/2Sd-1V
- - - 1/2Sd-1V(+)
- - - 1/2Sd-1V(-)
- 1/2Sd-2V
- - - 1/2Sd-2V(+)
- - - 1/2Sd-2V(-)
- 1/2Sd-3V
- - - 1/2Sd-3V(+)
- - - 1/2Sd-3V(-)

<UD>
(Gal)

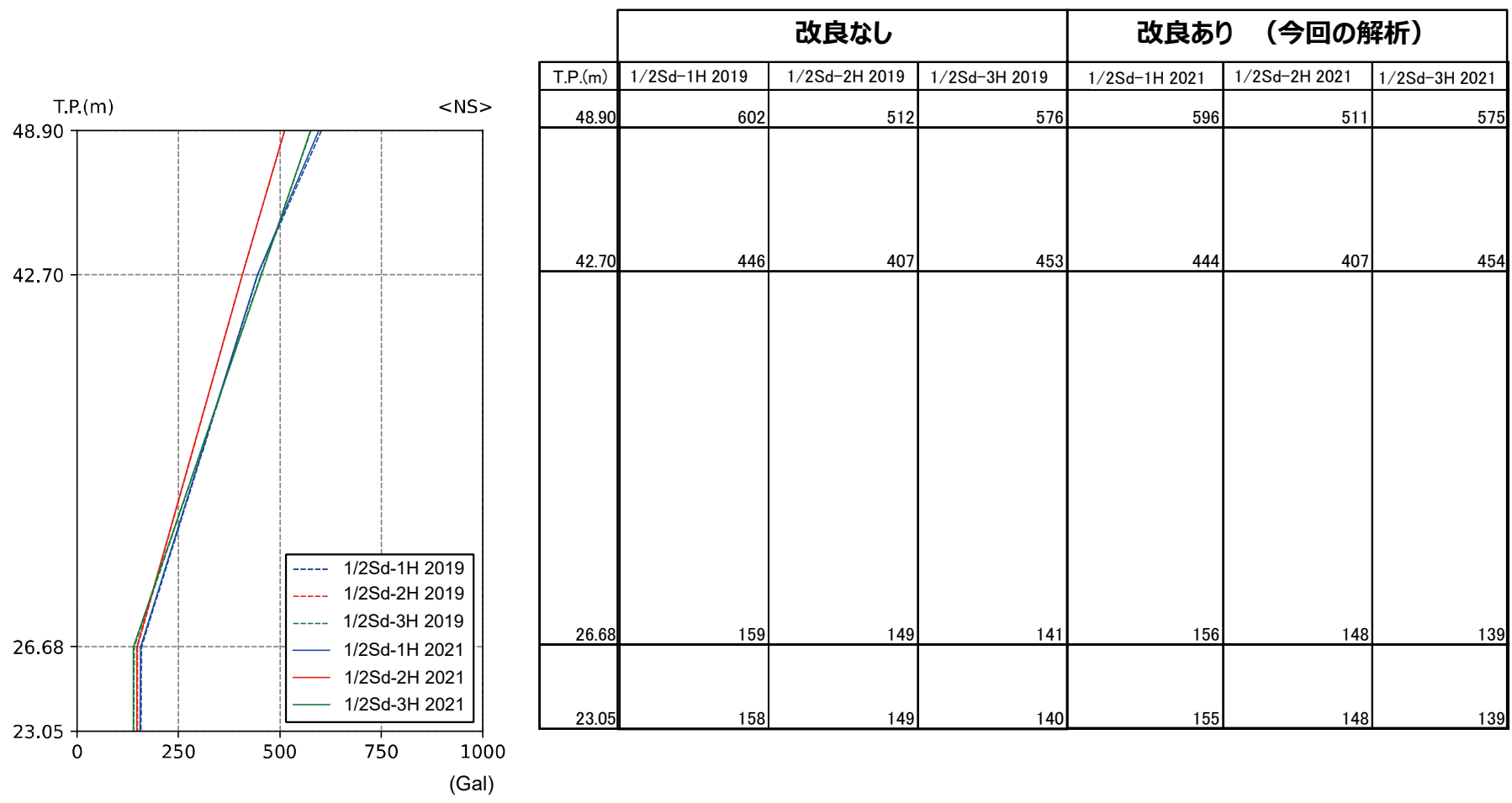


1/2Sd-1V			1/2Sd-2V			1/2Sd-3V		
1/2Sd-1V	1/2Sd-1V(+)	1/2Sd-1V(-)	1/2Sd-2V	1/2Sd-2V(+)	1/2Sd-2V(-)	1/2Sd-3V	1/2Sd-3V(+)	1/2Sd-3V(-)
238	196	226	266	224	255	196	166	197
203	167	190	224	195	220	173	147	174
95	90	95	102	96	105	94	88	94
95	90	95	103	95	103	94	88	93

地盤剛性のばらつきを考慮した最大応答加速度の比較
(1/2 × Sd, UD方向)

参考資料. 大型廃棄物保管庫の動的解析について

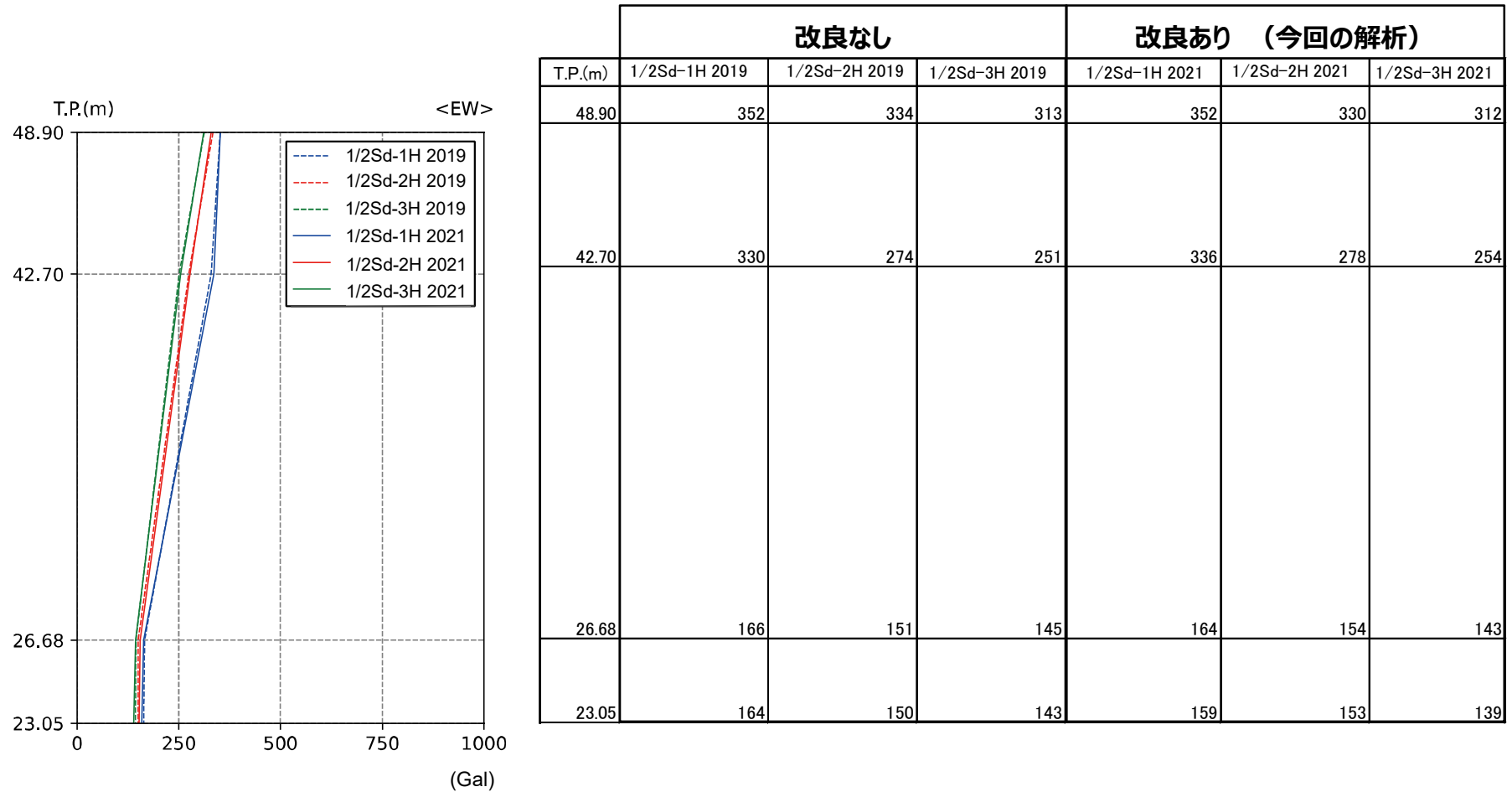
➤ 地盤改良体の考慮の有無による建屋の最大応答加速度の比較



最大応答加速度の比較(1/2 × Sd 基本ケース, NS方向)

参考資料. 大型廃棄物保管庫の動的解析について

➤ 地盤改良体の考慮の有無による建屋の最大応答加速度の比較

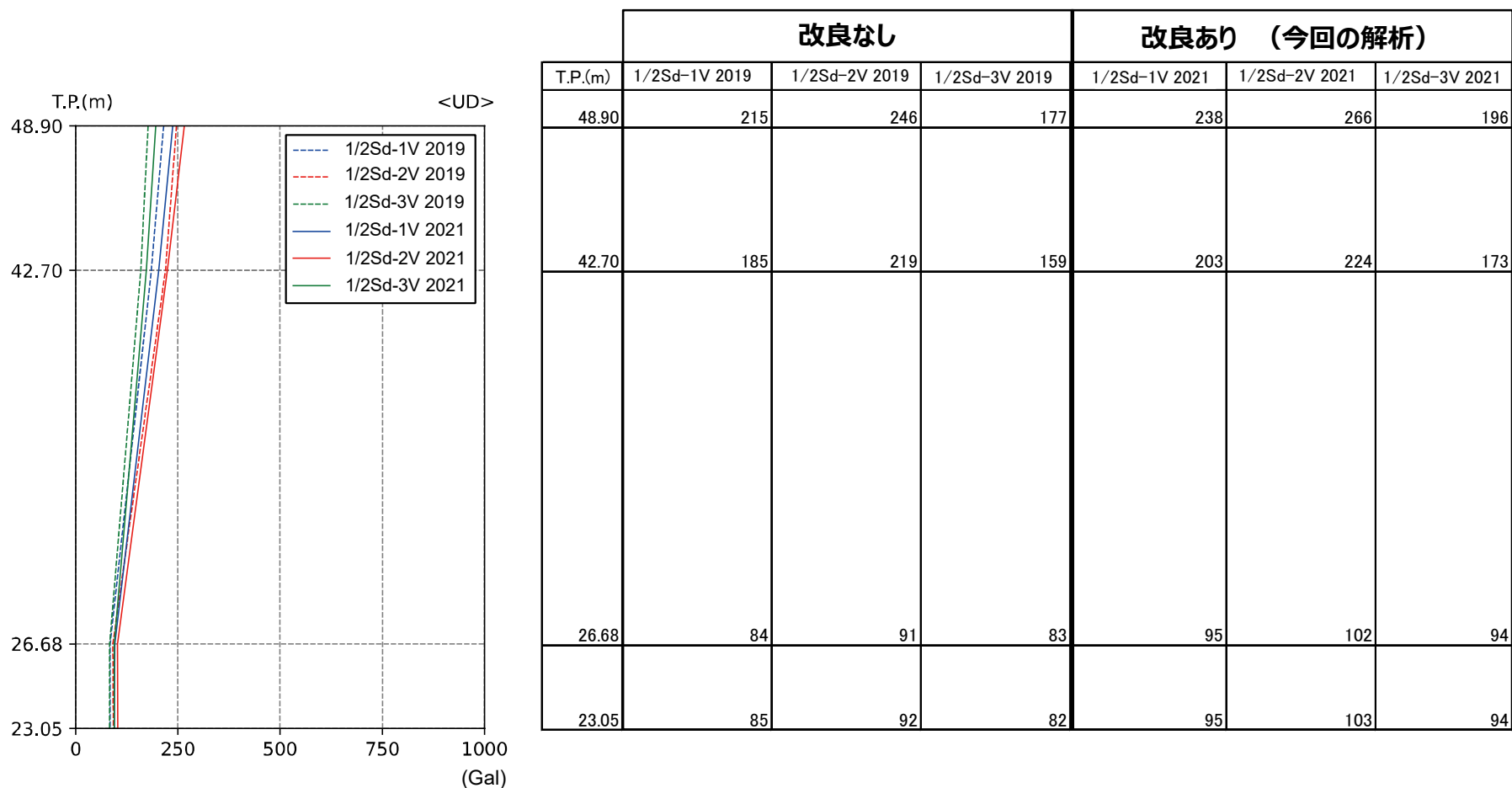


最大応答加速度の比較(1/2 × Sd 基本ケース, EW方向)

参考資料. 大型廃棄物保管庫の動的解析について

<追加>

➤ 地盤改良体の考慮の有無による建屋の最大応答加速度の比較



最大応答加速度の比較(1/2 × Sd 基本ケース, UD方向)