

リサイクル燃料貯蔵株式会社	
提出日	2022年3月9日
管理表No.	0209-70 改訂00

項目	コメント内容
耐震 (第7条)	解放基盤から建屋基礎底盤での入力地震動の作成にあたり、SHAKEによる一次元波動理論に基づく評価を行っているが、基礎杭の拘束効果は考慮されているのか。先行施設での評価例等も確認の上、影響の有無について説明すること。

(回答)

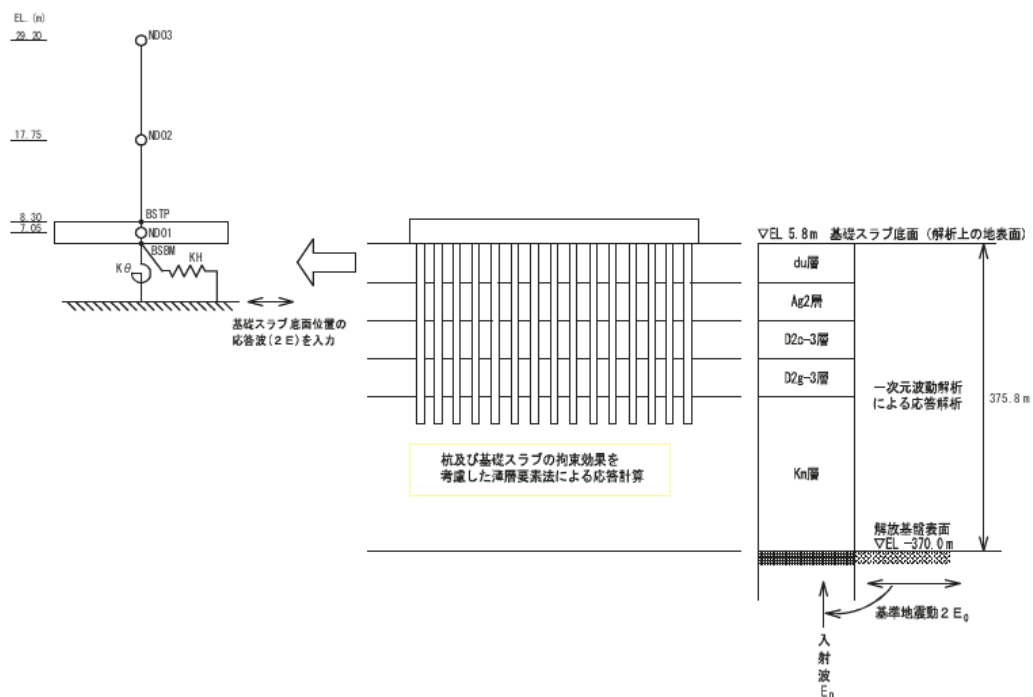
当社の地盤の地震応答解析ではSHAKEを用いているが、杭による拘束効果（群杭効果を考慮した基礎底版の地盤ばね）については、貯蔵建屋地震応答解析モデルの地盤ばねにて考慮している。設工認には、以下のような記載をしている。

「水平ばね、回転ばね及び鉛直ばねは群杭効果を考慮して評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 8.2-19 に示すようにばね定数として実部の代表値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として建屋 1 次形の固有円振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。」

(添付 5-2 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する説明書 8.2.3 地震応答解析モデル (1)地震応答解析モデルの概要) ※

※ 群杭効果を考慮した地盤ばねの算定方法は別添 1 を参照

一方、日本原子力発電東海第二発電所の貯蔵建屋においては、地震応答解析モデルの地盤ばねの算定において、三次元薄層法を用いた地盤ばねの算定を行っている。



日本原子力発電東海第二発電所 工事計画認可申請書 添付資料
V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書より抜粋

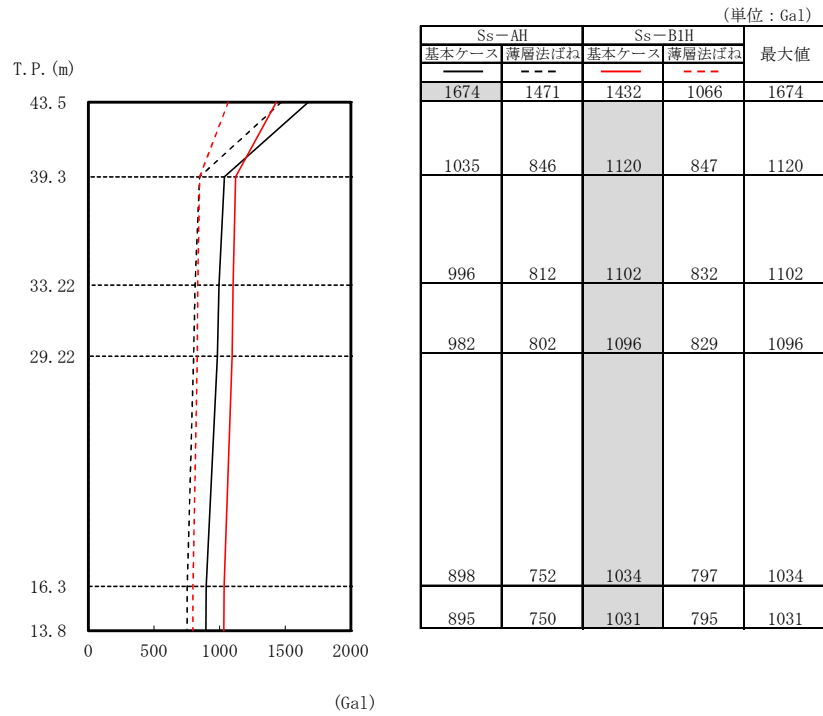
当社の手法による地震応答解析モデル（群杭係数を用いた地盤ばね）と、日本原子力発電が用いている地震応答解析モデル（薄層法[※]を用いた地盤ばね）を用いた地震応答解析を比較する。

検討で用いた地震動は、地震応答解析において最大応答を与える基準地震動 Ss-A および Ss-B1 を用いている。

※ 薄層法による地盤ばねの算出方法は別添2を参照。

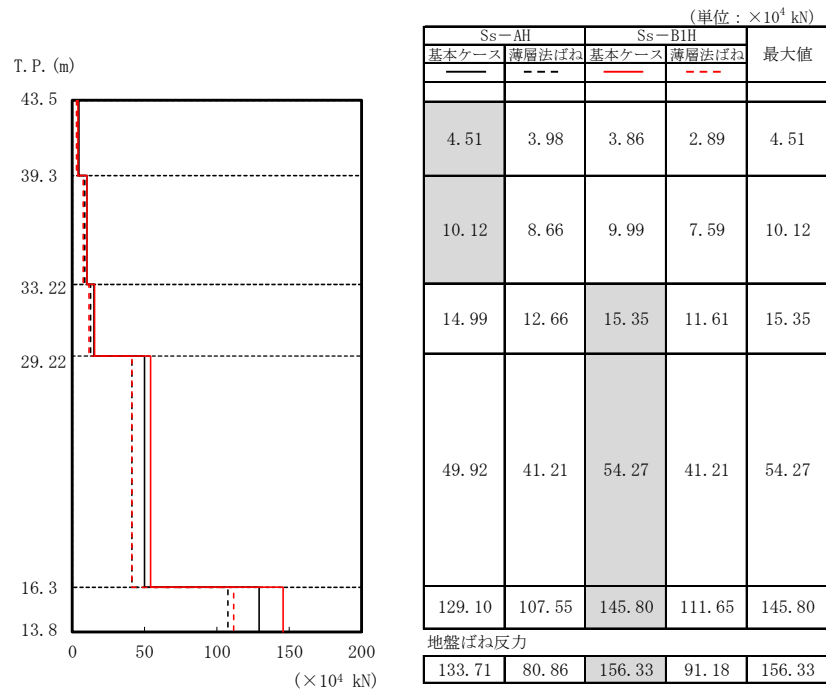
群杭係数法を用いた地盤ばねによる地震応答解析結果（基本ケース）と、薄層法を用いた地盤ばねによる地震応答解析結果を図1に示す。

両者の応答の比較から、群杭係数を用いた地盤ばねを用いた地震応答解析結果の方が、薄層法を用いた地盤ばねによる地震応答解析結果より大きな応答となることから、現状の地盤ばねの設定方法は保守的な評価を与えることとなる。



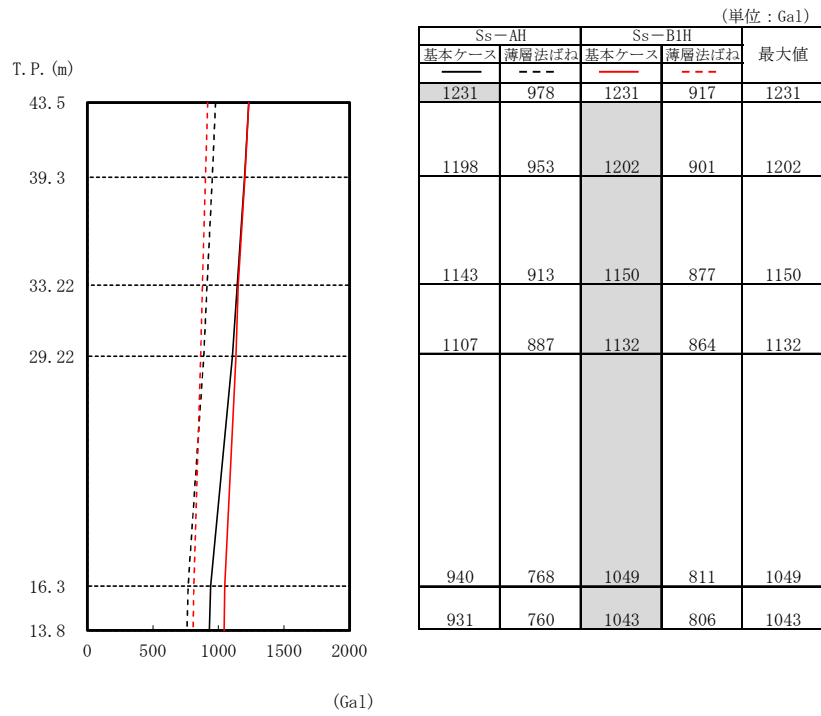
注：網掛けは最大値を示す。

図1(1) 建屋の最大応答加速度の比較 (Ss-A 及び Ss-B1, NS 方向)



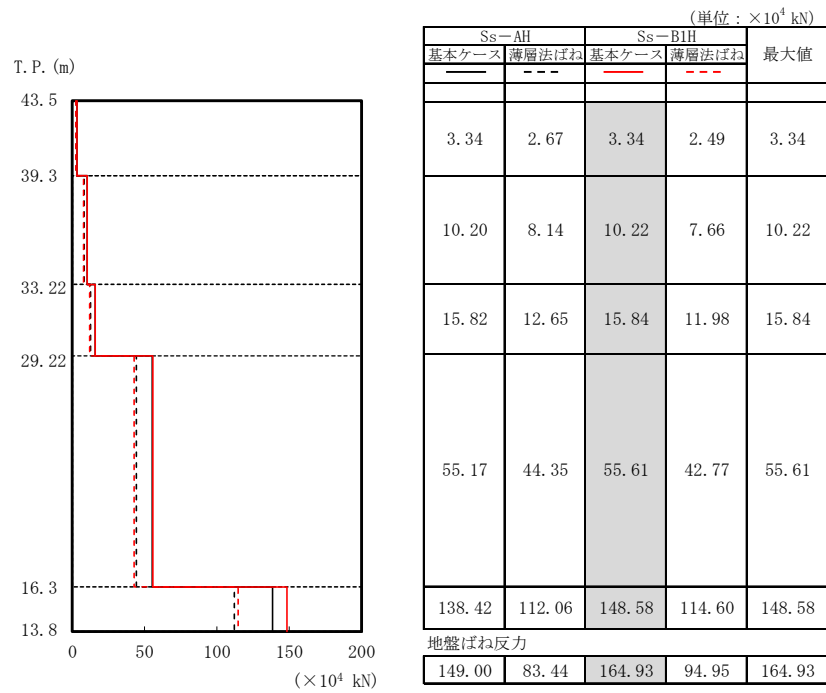
注：網掛けは最大値を示す。

図1(2) 建屋の最大応答曲げモーメントの比較 (Ss-A 及び Ss-B1, NS 方向)



注: 網掛けは最大値を示す。

図1(3) 建屋の最大応答加速度の比較 (Ss-A 及びSs-B1, EW方向)



注: 網掛けは最大値を示す。

図1(4) 建屋の最大応答せん断力の比較 (Ss-A 及びSs-B1, EW方向)

以上

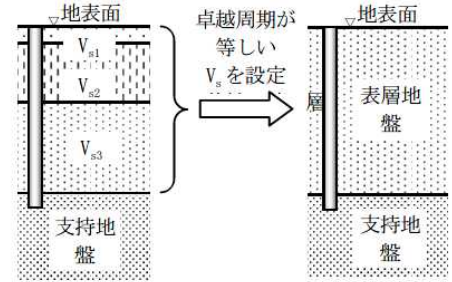
群杭効果を考慮した地盤ばねの算定

群杭係数は、地盤を表層地盤と支持地盤の2層に区分し、それぞれの物性値を用いて評価する。表層地盤は、 Tn_3 層、 Tn_2 層、 Sn_4 層の3層を1層に置換する。具体的には、式(1)で求まる3層の表層地盤の卓越周期が、1層に置換した表層地盤のものと等しくなるようにS波速度を設定する。S波速度以外の物性値（湿潤密度，ポアソン比）は第1層となる Tn_3 層の値を用いる。

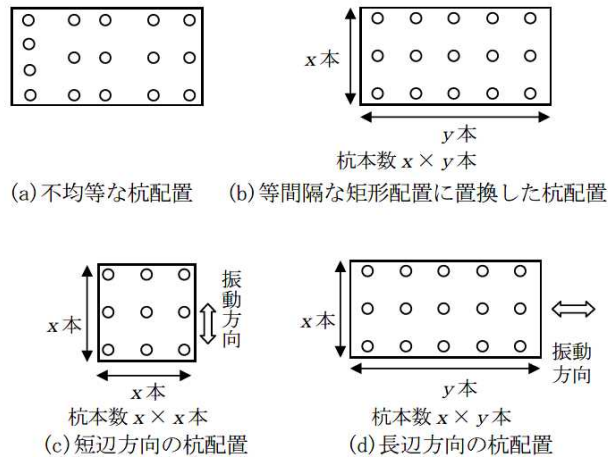
$$T_G = \sqrt{32 \sum_{i=1}^n \left\{ h_i \left(\frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right) \right\} / V_{Si}^2} \quad (1)$$

ここに、

- T_G : 表層地盤の卓越周期 (sec)
- n : 表層地盤の層数
- H_i : 地表面から層下面までの深さ (m) V_{Si} : i 層のS波速度 (m/s)
- h_i : i 層の層厚 (m)



また、貯蔵建屋の杭配置は下図に示す通り不均等な配置であるため、均等な矩形配置に置換してから群杭係数を算定する。

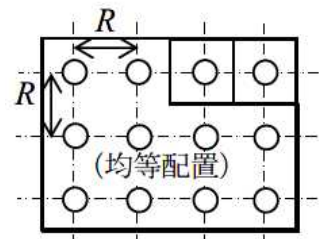


この時、杭中心間隔は式(2)に示すように、杭1本当たりの支配面積と同一面積の正方形の一辺の長さとしている。

$$R = \sqrt{L_x \times L_y / N} \quad (2)$$

ここに

- R : 杭中心間隔 (m)
- L_x, L_y : 短辺方向, 長辺方向の柱芯間隔 (m) (均等配置)
- N : 杭本数 (本)



この杭中心間隔 R を用いて、杭を均等配置に置き換える。すなわち、短辺方向1列当たりの杭本数を x 、長辺方向1列当たりの杭本数を y とすると、 $x = L_x / R$ 、 $y = L_y / R$ となる (x, y は整数に丸める)。

群杭係数を算定する際は、杭が矩形配置 (短辺 x 本 < 長辺 y 本) されている場合、杭本数を以下のように仮定する。

- ① 短辺方向 : $x \times x$ 本
- ② 長辺方向 : $x \times y$ 本

求められた群杭係数を、表1に示す。

表1 群杭係数

		EW 方向	NS 方向
水平方向	α_{HH}	0.126	0.0928
回轉方向	α_{RR}	0.411	0.325
鉛直方向	α_{VV}	0.197	

以 上

薄層法を用いた地盤ばねの算定

薄層法モデルのイメージを図1に示す。薄層法は、地盤を薄い水平成層に分割したモデルにより水平方向に無限に広がる地盤をモデル化することによって、振動が地盤内を3次元的に伝播する現象を評価する手法である。

薄層法モデルの主な特徴は以下の通りである。

- 地盤を薄い水平成層にモデル化し、層毎に物性値を与える
- 杭は設計における杭配置に応じてモデル化し (X, Y, Z) の3次元的に節点座標を与える
- 基礎スラブは無質量な剛基礎にモデル化する

なお、薄層法モデルでは杭の支持層 (Sn₄層) が杭先端以深に半無限状に続いていると仮定する。

① 杭及び地盤のモデル化

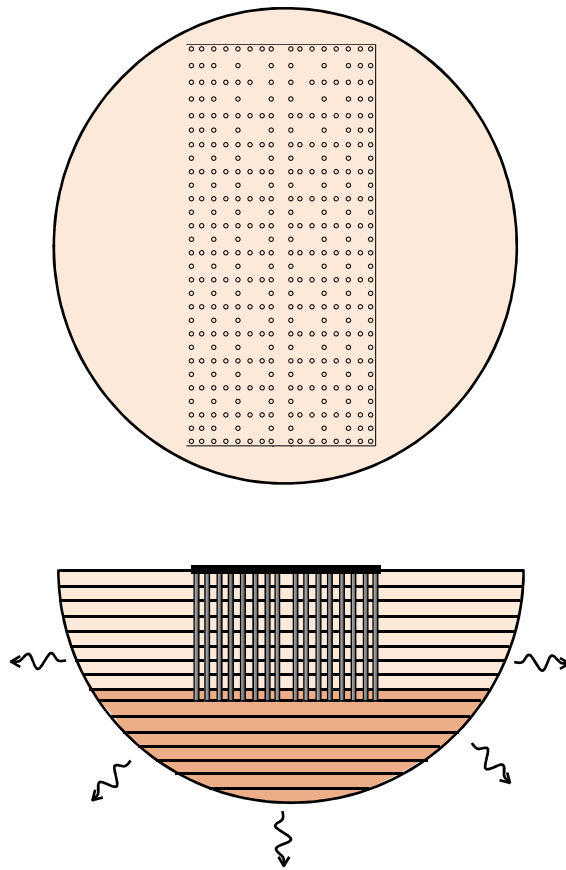


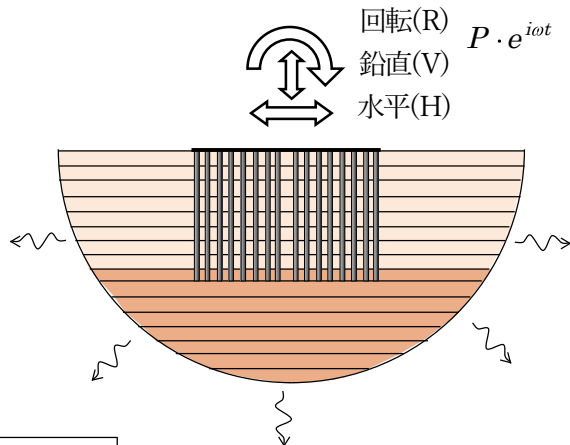
図1 薄層法モデルのイメージ

薄層法モデルを用いた杭頭加振解析により群杭ばねを算出する手順を以下に示す。薄層法による杭頭剛性（複素インピーダンス）は水平・回転・鉛直方向について円振動数 ω ごとに与えられる。

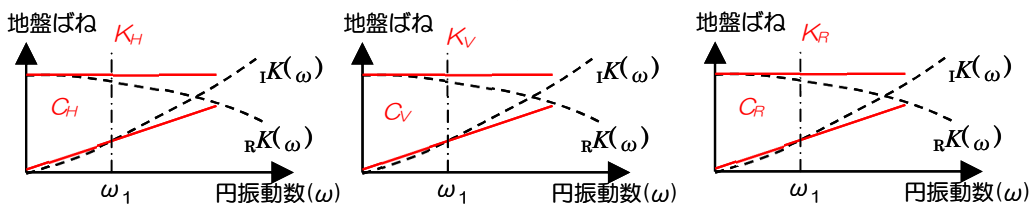
このとき、群杭ばねのばね剛性 K は円振動数 $\omega \approx 0$ におけるインピーダンス実部の値とする。

減衰係数 C は原点と建屋連成系の一次振動数 ω_1 におけるインピーダンス虚部の値を通る ω の一次式の傾きとする。

② 杭頭加振解析



③ 杭頭インピーダンスの出力



④ 群杭ばね値の算出

- ばね剛性 K は、円振動数 $\omega \approx 0$ におけるインピーダンス実部の値 $RK(\omega)$
- 減衰係数 C は、インピーダンス虚部の値 $IK(\omega)$ 及び建屋の一次固有円振動数 ω_1 より次式で算出する。

$$C = IK(\omega) / \omega_1$$

上記の方法で算出した群杭ばねの値を以下に示す。

表1 薄層法に基づく群杭ばね（水平方向）

		群杭ばね		C算定時の固有振動数
N S 方向	水平ばね	K_{HH}^G (kN/m)	7.959E+07	3.43
		C_{HH}^G (kN · sec/m)	5.997E+06	
	回転ばね	K_{RR}^G (kN · m/rad)	5.420E+11	
		C_{RR}^G (kN · m · sec/rad)	2.071E+10	
E W 方向	水平ばね	K_{HH}^G (kN/m)	8.792E+07	3.54
		C_{HH}^G (kN · sec/m)	6.124E+06	
	回転ばね	K_{RR}^G (kN · m/rad)	1.598E+11	
		C_{RR}^G (kN · m · sec/rad)	4.498E+09	

表2 薄層法に基づく群杭ばね（鉛直方向）

	群杭ばね			C算定時の固有振動数
UD方向	鉛直ばね	K_W^G (kN/m)	3.040E+08	6.88
	回転ばね	C_W^G (kN・sec/m)	2.789E+07	

以 上