

リサイクル燃料備蓄センター設工認
設 1-補-009-01
2021 年 5 月 28 日

リサイクル燃料備蓄センター  
設計及び工事の計画の変更認可申請書  
(補足説明資料)

耐震Cクラス施設，設備の耐震，地盤  
に関する説明

令和3年5月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

## 目次

1. 本補足説明資料の目的	1
2. 耐震Cクラス施設, 設備の地盤	1
2.1 基本方針	1
2.2 地盤の物性値	1
2.3 極限鉛直支持力	2
3. 耐震Cクラス施設, 設備の評価	5
3.1 電気設備の耐震評価について	5
3.2 電気設備の設計用地震力について	5
3.3 荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	6
3.5 耐震Cクラス評価の具体例 (無停電電源装置)	7

## 1. 本補足説明資料の目的

本資料は、電気設備をはじめとする耐震Cクラス施設、設備について耐震評価及び地盤について説明を行う。

また、今回申請設備の電気設備について各電気設備の具体的な耐震評価方法について説明を行い、評価の具体例を説明するものである。

## 2. 耐震Cクラス施設、設備の地盤

### 2. 1 基本方針

使用済燃料貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）は、使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則（令和2年4月1日施行。以下「技術基準規則」という。）第六条に適合するため、事業許可基準規則第八条第一項の地震力が作用した場合においても当該貯蔵施設を十分に支持することができる地盤に設置されたものとする。貯蔵施設のうち、電気設備をはじめとする耐震Cクラス施設、設備は、「3. 2 電気設備の設計用地震力について」にて示す地震力が作用した場合においても当該施設、設備を十分に支持することができる地盤に設置されたものとする。

使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）は杭基礎とし、杭先端は基準地震動 $S_s$ による地震力が作用した場合においても十分な支持性能をもつ地盤に支持させる。貯蔵建屋内に設置される耐震Cクラス設備は、貯蔵建屋に支持されるため、当該設備を十分に支持することができる地盤に設置されたものとなる。貯蔵建屋外に設置される耐震Cクラス施設、設備は、重量が小さく接地圧も小さいため、直接基礎にて当該施設、設備を十分に支持することができる地盤に設置されたものとする。

貯蔵施設において、対象施設、設備を設置する地盤の物性値については、各種試験に基づき設定する。極限鉛直支持力の算定に用いる物性値は、事業変更許可申請書（添付書類四）に記載した値を用いることを基本とする。

貯蔵建屋外に設置される耐震Cクラス施設、設備を設置する地盤の地震時における支持性能評価については、「3. 2 電気設備の設計用地震力について」にて示す地震力と常時作用している荷重により地盤に作用する接地圧が、地盤の極限鉛直支持力に基づき算定される短期許容支持力以下であることを確認する。

極限鉛直支持力は、建築基準法施行令、及び建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会）に基づき、対象施設、設備の支持地盤の室内土質試験や標準貫入試験結果等から原地盤の地盤定数を推定し支持力公式を用いる方法によるか、原位置の平板載荷試験によって算定する。

### 2. 2 地盤の物性値

極限鉛直支持力の算定に用いる物性値として、事業変更許可申請書に記載された物性値を「表2-1 地盤の物性値」に、設定根拠を「表2-2 地盤の物性値の設定根拠」に示す。事業変更許可申請書に記載された物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

## 2. 3 極限鉛直支持力

極限鉛直支持力を算定するための支持力式を以下に示す。

$$R_u = q_u \cdot A = (i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \cdot A$$

$R_u$  : 直接基礎の極限鉛直支持力 (k N)

$q_u$  : 単位面積当たりの極限鉛直支持力度 (k N/m<sup>2</sup>)

$A$  : 基礎の底面積 (m<sup>2</sup>)

$N_c, N_\gamma, N_q$  : 支持力係数

$c$  : 支持地盤の粘着力 (k N/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 支持地盤の単位体積重量 (k N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 根入れ部分の土の単位体積重量 (k N/m<sup>3</sup>)

( $\gamma_1, \gamma_2$ には、地下水位以下の場合には水中単位体積重量を用いる)

$\alpha, \beta$  : 基礎の形状係数

$\eta$  : 基礎の寸法効果による補正係数

$i_c, i_\gamma, i_q$  : 荷重の傾斜に対する補正係数

$B$  : 基礎幅 (m)

$D_f$  : 根入れ深さ (m)

表 2-1 地盤の物性値

	物理特性	強度特性		静的変形特性			動の変形特性		
	湿潤密度 $\rho_t$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	ピーク強度 $C$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	残留強度 $C_r$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	初期変形係数 $E_0$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	静ポアソン比 $\nu$	動せん断弾性係数 $G_0$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	動ポアソン比 $\nu_d$	正規化せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	減衰率のひずみ依存性 $h \sim \gamma$
盛土・埋土 (bk)	1.75	0.035	0.033	16.4	0.19	50.6	0.49	$\frac{1}{1+(\gamma/0.000495)^{0.860}}$	$\frac{\gamma}{6.06 \cdot \gamma + 0.00455} + 0.0259$
ローム (Lm)	1.47	0.085	0.084	21.8	0.21	231	0.46	$\frac{1}{1+(\gamma/0.000743)^{0.744}}$	$\frac{\gamma}{12.3 \cdot \gamma + 0.00625} + 0.0226$
中位段丘堆積物 (M)	1.79	0.073	0.071	11.6	0.13	71.8	0.49	$\frac{1}{1+(\gamma/0.000463)^{0.796}}$	$\frac{\gamma}{10.9 \cdot \gamma + 0.00270} + 0.0216$
上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> )	1.80	0.231	0.213	29.1	0.19	227	0.48	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00151)^{0.775}}$	$\frac{\gamma}{14.2 \cdot \gamma + 0.00876} + 0.0165$
中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )	1.59	0.140	0.116	26.3	0.09	256	0.47	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00147)^{0.632}}$	$\frac{\gamma}{13.0 \cdot \gamma + 0.0122} + 0.0404$
中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )	1.91	0.297	0.233	13.4	0.19	284	0.47	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00105)^{0.730}}$	$\frac{\gamma}{14.5 \cdot \gamma + 0.00549} + 0.0252$
下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )	1.92	0.621	0.551	172	0.11	376	0.45	$\frac{1}{1+(\gamma/0.000819)^{0.814}}$	$\frac{\gamma}{12.3 \cdot \gamma + 0.00287} + 0.0094$
下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )	1.69	0.277	0.184	106	0.20	333	0.46	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00594)^{0.448}}$	$\frac{\gamma}{24.6 \cdot \gamma + 0.00273} + 0.0116$
上部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>4</sub> )	1.82	$0.301 - 0.0152 \cdot Z$	$0.300 - 0.0140 \cdot Z$	$104 - 4.91 \cdot Z$	0.15	$326 - 5.11 \cdot Z$	0.45	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00173)^{0.809}}$	$\frac{\gamma}{11.7 \cdot \gamma + 0.00784} + 0.0237$
中部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>3</sub> )	1.83	$0.728 - 0.00289 \cdot Z$	$0.741 - 0.00239 \cdot Z$	386	0.15	$288 - 4.54 \cdot Z$	0.44	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00228)^{0.957}}$	$\frac{\gamma}{5.46 \cdot \gamma + 0.0205} + 0.0177$
火山礫凝灰岩 (Sn <sub>2</sub> )	2.01	1.34	1.24	422	0.19	1,230	0.41	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00180)^{0.801}}$	$\frac{\gamma}{6.45 \cdot \gamma + 0.0236} + 0.0229$
下部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>1</sub> )	1.77	1.12	1.04	606	0.14	$172 - 3.77 \cdot Z$	0.42	$\frac{1}{1+(\gamma/0.00271)^{0.956}}$	$\frac{\gamma}{6.27 \cdot \gamma + 0.0232} + 0.0118$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Z は標高 (m) を示す。</li> <li>・ 強度特性 (ピーク強度・残留強度) は右図により設定する。 ただし、残留強度の場合は C を C<sub>r</sub> に置き換える。</li> <li>・ すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土 (bk) , ローム層 (Lm) , 中位段丘堆積物 (M) の強度は無視する。</li> </ul>							<p><math>(\sigma - C)^2 + \tau^2 = C^2</math> <math>\tau = C</math> (一定)</p>	

表 2-2 地盤の物性値の設定根拠

	物理特性	強度特性		静的変形特性		動的変形特性		
	湿潤密度 $\rho_t$	ピーク強度 $C$	残留強度 $C_r$	初期変形係数 $E_0$	静ポアソン比 $\nu$	動せん断弾性係数 $G_0$	動ポアソン比 $\nu_d$	$G/G_0, h$ の ひずみ依存性
盛土・埋土 (bk)	ブロック試料から採取した供試体の湿潤密度	ブロック試料から採取した供試体の三軸圧縮試験			ブロック試料から採取した供試体の超音波速度測定による $V_s$ と湿潤密度により算定	ブロック試料から採取した供試体の超音波速度測定による $V_p, V_s$ により算定	ブロック試料から採取した供試体の繰返し三軸試験 (変形特性)	
ローム (Lm)								
中段段丘堆積物 (M)								
上部砂質・粘性土 (Tn5)	ボーリングコア試料から採取した供試体の湿潤密度	ボーリングコア試料から採取した供試体の三軸圧縮試験			PS 検層による $V_s$ と湿潤密度により算定	PS 検層による $V_p, V_s$ により算定	ボーリングコア試料から採取した供試体の繰返し三軸試験 (変形特性)	
中部砂質土 (Tn4)								
中部粘性土 (Tn3)								
下部砂質土 (Tn2)								
下部粘性土 (Tn1)								
上部軽石混じり砂岩 (Sn4)								
中部軽石混じり砂岩 (Sn3)								
火山礫凝灰岩 (Sn2)								
下部軽石混じり砂岩 (Sn1)								
								<ul style="list-style-type: none"> <li>動的 FEM 解析は、動せん断弾性係数 <math>G_0</math> 及び動ポアソン比 <math>\nu_d</math> からあらかじめ体積弾性係数 <math>K</math> を求めておき、<math>G_0</math> が変動しても <math>K</math> は常に初期値一定になるように、<math>\nu_d</math> を変更する手法 (体積弾性係数 <math>K</math> 一定) を用いている。  <math display="block">K = \frac{2(1+\nu_d)}{3(1-2\nu_d)} \cdot G_0</math> </li> <li>盛土・埋土 (bk) は砂質土と粘性土から構成されることから、それぞれについて物性値を設定し、解析用物性値は両者の平均値とした。</li> </ul>

### 3. 耐震Cクラス施設、設備の評価

電気設備をはじめとする耐震Cクラス施設、設備の直接支持構造物及び間接支持構造物について、要求させる設計用地震力、荷重の組合せと許容限界を考慮し、評価する方針とする。

設備毎の具体的な評価方法について以下に記載する。なお、以下に記載のない設備については、転倒や衝突、落下等によりその設備が有する安全機能を損なわないことを確認する。

#### (1) 容器

胴本体、支持脚、基礎ボルト部等の必要評価部位の評価

#### (2) 機器

基礎ボルト部の評価

#### (3) 配管

定ピッチスパン法による評価

#### (4) 電気計装機器

盤、装置、器具、回路類に分類し構造的健全性について評価

### 3. 1 電気設備の耐震評価について

電気設備は、基本的には盤で構成された設備である。盤は基礎ボルトで固定されており、耐震計算は水平地震力に対する基礎ボルトのせん断応力の評価を行う。また、ベースの上に複数の盤が据付けられている場合は、ベース単位で評価を行う。

盤以外の設備である電源車については、Cクラス施設、設備の設計用地震力により転倒及び衝突しないことの確認を行う。

また、軽油貯蔵タンク（地下式）については、消防法の評価方法に基づく地震の影響を地震動による慣性力を用いて評価を行う。

### 3. 2 電気設備の設計用地震力について

耐震Cクラスである電気設備の設計用地震力は静的地震力とする。

電気設備は、貯蔵建屋、受変電建屋、施設南側高台に設置される。各建屋、設置場所における水平震度について以下に記載する。

#### (1) 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度

貯蔵建屋内に設置される電気設備の水平震度について「表3-2 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 ( $1.2C_i$ )」に記載する。

なお、記載する水平震度については「添付5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」（以下「耐震設計の基本方針」とする。）に記載の地震層せん断力係数： $C_i$ に1.2（耐震Cクラスの耐震設計上の重要度分類に応じた係数1.0を乗じ20%増した値）を乗じた値を記載する。

表 3-2 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 (1.2C<sub>i</sub>)

T. P. (m)	水平震度	
	NS	EW
43.5	0.324	0.281
39.3	0.269	0.271
33.22	0.257	0.262
29.22	0.24	0.24
16.3		

(2) 受変電建屋に設置される電気設備の水平震度

受変電建屋は地表面に設置されており、1階のみの構造である。そのため受変電建屋に設置される電気設備の水平震度は「表 3-2 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 (1.2C<sub>i</sub>)」の T. P. 16.3 (m) と同様の値となり、NS, EW とともに 0.24 である。

(3) 施設南側高台に設置される電気設備の水平震度

施設南側高台に配置、設置する設備は、電源車と軽油貯蔵タンク（地下式）である。

電源車の配置面は地表面であり、電源車の水平震度は「表 3-2 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 (1.2C<sub>i</sub>)」の T. P. 16.3 (m) と同様の値となり、NS, EW とともに 0.24 である。

軽油貯蔵タンク（地下式）の水平震度は、消防法関連告示「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」に示された計算方法により算定される値の最大値である 0.3 とする。

この値は、地表面に設置される耐震Cクラス設備の耐震設計に求められる水平震度 0.24 より大きな値である。

3. 3 荷重の組合せ

静的地震力と貯蔵時の状態で作用する荷重とを組み合わせる。（「耐震設計の基本方針」5.3 荷重の組合せ (2)機器・配管系 c. Cクラス 記載）

電気設備については、貯蔵時の状態で作用する荷重はないため、静的地震力と常時作用している荷重、すなわち死荷重を組み合わせる。

3. 4 許容限界

発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態に留まる限度を許容限界とする。

### 3. 5 耐震Cクラス評価の具体例（無停電電源装置）

耐震Cクラス施設，設備の評価の具体例について添付に記載する。

## 無停電電源装置（予備電源）の耐震計算書

## 1. はじめに

無停電電源装置は、複数の盤で構成された耐震Cクラスの設備である。盤は基礎ボルトで固定されており、耐震計算は水平地震力に対する基礎ボルトのせん断応力の評価を行う。また、ベースの上に複数の盤が据付けられている場合は、ベース単位で評価を行う。

耐震計算は以下のとおり行うものとする。なお、本計算書について提出済みの補足説明資料から水平震度について見直しを図ったものである。

## 2. 計算方法

## (1) 盤の仕様

盤名称	盤重量 W [kg]	基礎ボルト本数 Nb [本]	基礎ボルト 材質	基礎ボルト呼径 と軸面積 Ab [mm <sup>2</sup> ]
充電器盤	2400	6	SS400	M16 2.01
整流器盤				
インバータ盤	1700	6		
出力盤				
蓄電池盤 1・2	6400	22		
蓄電池盤 3・4	6400	22		
蓄電池盤 5	2200	8		

## (2) 設計条件

盤名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
充電器盤 整流器盤 インバータ盤 出力盤 蓄電池盤 1・2 蓄電池盤 3・4 蓄電池盤 5	Cクラス	使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. +21.6	0.262	—	40

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.218$

(設置床レベルが中間階の T.P. +21.6m であることから、 $C_i$  は T.P. 29.22m～33.22m の 0.218 (EW) と 0.214 (NS) の大きい値を用いる)

(3) 盤にかかる荷重

設計用水平地震力により盤に水平方向にかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } Goh = 1.2Ci \times W \times 9.80665$$

(4) 基礎ボルトの許容応力

ボルトの材質 SS400

$$\text{SS400 のボルトの許容応力 } T = 10.1 \text{ kN/cm}^2 = 101 \text{ N/mm}^2$$

(5) 基礎ボルトにかかるせん断応力

基礎ボルトの軸断面積は以下のとおりとする。

単位：cm<sup>2</sup>

呼び径	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M22	M24
軸面積 Ab	0.283	0.503	0.785	1.13	2.01	3.14	3.8	4.52

$$\text{基礎ボルトにかかるせん断応力 } \tau = Goh / (Nb \times Ab)$$

(6) 判定

$\tau \leq T$  の場合、良と判断する。

3. 耐震計算結果

(1) 無停電電源装置の各盤の計算結果

盤名称	設計用水平地震力 1.2Ci	水平方向荷重 Goh [N]	基礎ボルトに かかる せん断応力 $\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	SS400 のボ ルトの許容 応力 T [N/mm <sup>2</sup> ]	判定
充電器盤	0.262	6166.5	5.12	101	良
整流器盤					
インバータ盤	0.262	4367.9	3.63	101	良
出力盤					
蓄電池盤 1・2	0.262	16443.8	3.72	101	良
蓄電池盤 3・4	0.262	16443.8	3.72	101	良
蓄電池盤 5	0.262	5652.6	3.52	101	良