

リサイクル燃料備蓄センター設工認

設2-補-013-02

2022年1月21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)

使用済燃料貯蔵建屋の耐震性

令和4年1月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

## 目次

1. 添付記載事項と補足説明資料の関係	1
2. 基準地震動の見直しについて	4
3. 地盤の地震応答解析（地盤の剛性及び減衰）について	11
4. 基準地震動見直しに伴う応力及びひずみの変化について	18
5. 水平 2 方向入力検討について	20
5.1 水平 2 方向入力検討に用いる三次元モデルについて	20
5.2 水平 2 方向入力における加速度と応力の比較について	23
5.3 水平 2 方向入力の影響検討結果について	24
6. 液状化の検討について	25
6.1 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質・地質構造について	25
6.2 液状化検討対象層の選定について	33
6.3 液状化検討手法について	34
6.4 液状化検討結果について	36
7. 遮蔽扉の検討について	37
7.1 遮蔽扉 SSD-1	39
7.2 遮蔽扉 SSD-2	59
7.3 遮蔽扉 SSD-4	62

## 6.2 液状化検討対象層の選定について

建築基礎構造設計指針では、「液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、原則的に地表面から 20m程度以浅の土層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋立地盤等の造成地盤で地表面から 20m程度以深まで連続している場合には、造成地盤の下端まで以下の（2）の手順などにより液状化判定を行う必要がある。」とされている（「（2）の手順」とは液状化危険度予測）。なお、貯蔵建屋設置位置直下地盤は、埋立による造成は行っていない。

貯蔵建屋設置位置直下地盤のうち、砂子又層上部軽石混じり砂岩（Sn<sub>4</sub>）より深い位置にある土層は、地表面から 20m程度を上回る深さの土層であるため液状化検討対象層から除外する。砂子又層上部軽石混じり砂岩（Sn<sub>4</sub>）は、一部風化の影響が見られ、N値が小さい箇所があるものの、軽石混じり砂岩であり細粒分含有率が 35%以下とならないことから液状化検討対象層から除外する。田名部層下部粘性土（Tn<sub>1</sub>）及び中部粘性土（Tn<sub>3</sub>）は、粘性土であり細粒分含有率が 35%以下とならないことから液状化検討対象層から除外する。中部砂質土（Tn<sub>4</sub>）は地下水面より上部にあり飽和土層とならないことから液状化検討対象層から除外する。

以上より、液状化検討対象層は田名部層下部砂質土（Tn<sub>2</sub>）とする。

### 6.3 液状化検討手法について

#### (1) 検討方法

液状化検討は、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程（以下、「JEAC4616-2009」という。）に示される方法に基づく  $F_L$  判定（=繰返しせん断応力比 (R) / 地震時せん断応力比 (L)）とする。

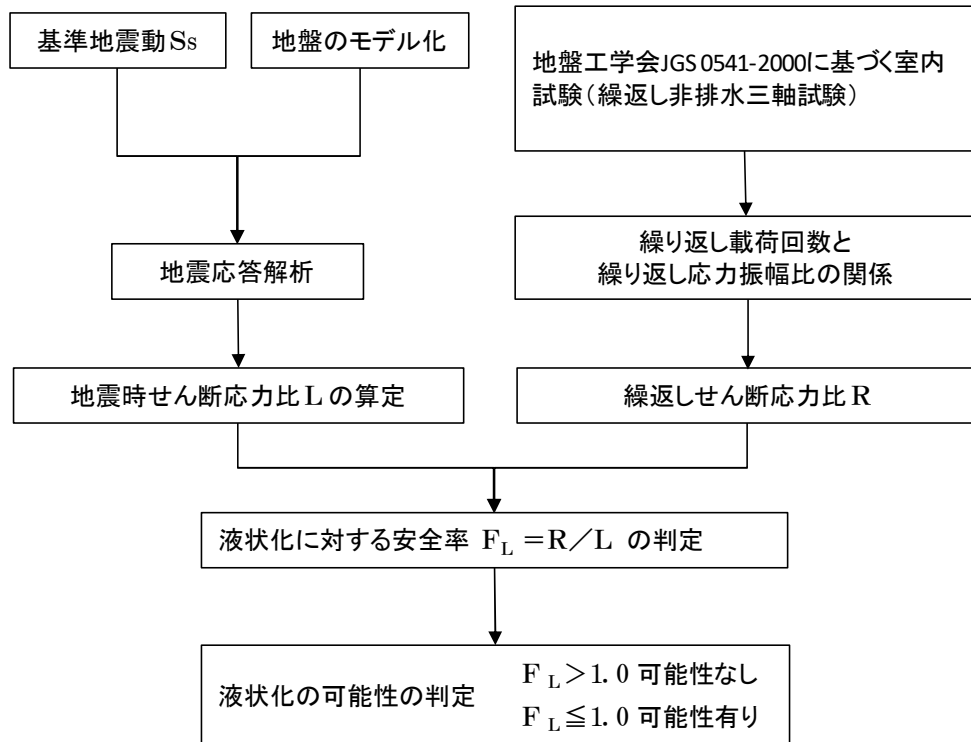


図9 地盤の地震応答解析を用いた液状化判定フロー

#### (2) 検討条件

##### a. 液状化検討対象層

液状化検討対象層は、地下水位以深の飽和砂質土層を対象とし、図 10 に示す建屋直下地盤のうち田名部層下部砂質土 (Tn<sub>2</sub>) 層とする。

##### b. 地下水位

地下水位は、観測記録（2016. 4. 1～2021. 3. 31）に基づき T.P. 14. 0m とする。

##### c. 繰返しせん断応力比

液状化対象層の繰返しせん断応力比 R は、図 11 に示す繰返し非排水三軸試験より以下のとおりとする。

田名部層下部砂質土 (Tn<sub>2</sub>) : 0.956

##### d. 地盤の地震応答解析

地盤の地震応答解析は、基準地震動 Ss-A 及び Ss-B1～Ss-B4 に対して、一次元波動論に基づく等価線形解析とする。

No.	地層名	地盤分類		上端 深度 T. P. (m)	層厚 (m)
1	田名部層	Tn <sub>4</sub>	田名部層中部 砂質土	16.0	1.0
2		Tn <sub>3</sub>	田名部層中部 粘性土	15.0	1.5
3		Tn <sub>2</sub>	田名部層下部 砂質土	13.5	6.5
4	砂子又層	Sn <sub>4</sub>	砂子又層上部 軽石混じり砂岩	7.0	46.5

地下水位  
▽設定位置  
T. P. 14.0m

液状化検討  
対象層

図 10 建屋直下地盤の概要

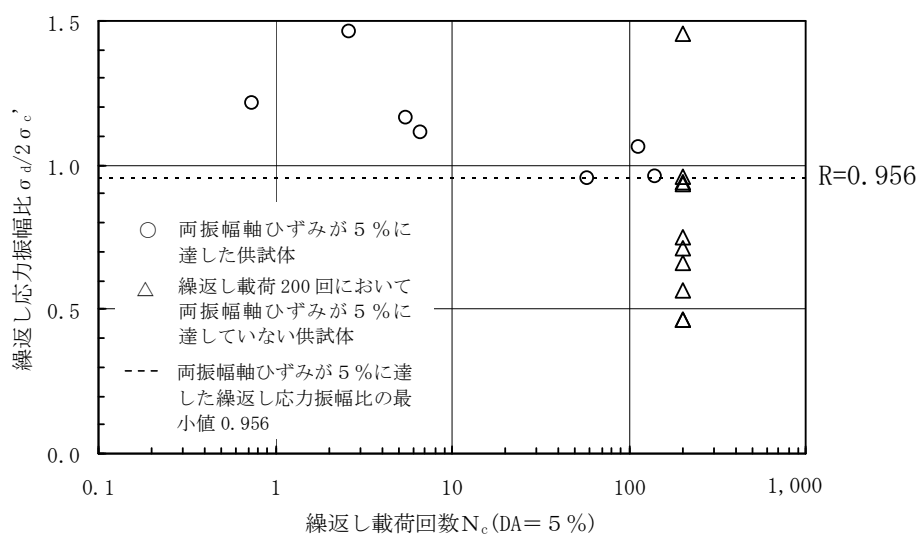


図 11 繰返し非排水三軸試験結果（田名部層下部砂質土（Tn<sub>2</sub>））

#### 6.4 液状化検討結果について

基準地震動 S<sub>s</sub> に対する液状化判定結果を表 11 に示す。これらの結果，S<sub>s</sub>-B1 に対して F<sub>L</sub> 値が 1.40 と最小となり，液状化の判定基準 1.0 より大きいことから液状化の可能性はないと判断される。

表 11 液状化判定結果 田名部層下部砂質土 (Tn<sub>2</sub>)

地震動	有効上載圧 $\sigma'v$ (kN/m <sup>2</sup> )	繰返し応力 振幅比 R	地震時 せん断応力 $\tau$ (kN/m <sup>2</sup> )	地震時 せん断応力比 $L = \tau / \sigma'v$	F <sub>L</sub> 判定 (=R/L)
S <sub>s</sub> -AH	86.15	0.956	57.94	0.673	1.42
S <sub>s</sub> -B1H			58.64	0.681	1.40
S <sub>s</sub> -B2H1			27.00	0.313	3.05
S <sub>s</sub> -B2H2			36.17	0.420	2.27
S <sub>s</sub> -B3H1			30.75	0.357	2.67
S <sub>s</sub> -B3H2			32.54	0.378	2.52
S <sub>s</sub> -B4H1			34.64	0.402	2.37
S <sub>s</sub> -B4H2			45.47	0.528	1.81

注：ハッチングは F<sub>L</sub> 値の最小値を示す。

リサイクル燃料貯蔵株式会社	
提出日	2022年2月24日
管理表No.	0209-58 改訂00

項目	コメント内容
地盤	<p>砂子又層に関しては液状化に対する考慮は不要としている点について、次のいずれかの方法により説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「砂子又層が半固結の岩石であること」及び、このことから「液状化に対する考慮は不要」とすることについての具体的な根拠を示す。</li> <li>砂子又層について、「塑性指数 <math>I_p</math> が 15 を超える」、「粘土分含有率 <math>P_c</math> が 10% を超える」等の定量的な根拠を示す。</li> <li>砂子又層について、物性値を保守的に設定して実施した液状化判定 (<math>F_L</math>, 液状化解析等) に基づき液状化の有無を確認し、液状化が発生しないことを示す。発生が予想される場合は、それを考慮しても貯蔵建屋の基本的安全機能が損なわれるおそれがないことを示す。</li> </ul>

(回答)

液状化判定については、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」の「第4章 4.5節 地盤の液状化 1.液状化判定」の項に、以下の記載がある。

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35% 以下の土とする。ただし、埋立地盤等の造成地盤で地表面から 20m 程度以深まで連続している場合には、造成地盤の下端まで以下の (2) の手順などにより液状化判定を行う必要がある。また、埋立地盤等の造成地盤では、細粒分含有率が 35% 以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分 (0.05mm 未満の粒径を持つ土粒子) 含有率が 10% 以下、または塑性指数が 15% 以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。ただし、20m 以深に関しては、(2) の液状化危険度予測の精度が悪くなるので、地盤応答解析を用いることが推奨される。また、細粒分を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫、洪積層でも  $N$  値が小さな土層では液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

田名部層について、細粒分含有率、粘土分含有率及び塑性指数は、以下表 1 のとおりである。

表 1 田名部層の細粒分含有率、粘土分含有率及び塑性指数

地層分類		層厚 m	細粒分含有率 %	粘土分含有率 %	塑性指数 %	
Tn <sub>4</sub>	田名部層中部砂質土	1.0	33.8	5.5	22.9	
Tn <sub>3</sub>	田名部層中部粘性土	1.5	<u>55.3</u>	19.6	8.5	▽ 地下水位 設定位置  T.P. 14.0m
Tn <sub>2</sub>	田名部層下部砂質土	6.5	<u>13.5</u>	4.4	49.4	

田名部層中部砂質土 (Tn<sub>4</sub>層) については、地下水位以深とならないことから、液状化検討対象層としていない。

田名部層中部粘性土 (Tn<sub>3</sub>層) については、細粒分含有率が 55.3% の粘性土であり、埋立あるいは盛土地盤にも当たらないことから、液状化検討対象層としていない。

砂子又層について、砂子又層上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>層) は、半固結の岩石であるため、液状化検討対象層としていない。

念のためとして、砂子又層上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>層) についても  $F_L$  値を算定した結果は、以下表 2 のとおりであり、最小でも 2.07 で 1.0 を十分に上回ることから、液状化の可能性はなく、貯蔵建屋の基本的安全機能が損なわれるおそれはないと考えられる。

表2 液状化判定結果 砂子又層上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>層)

地震動	有効上載圧 $\sigma'v$ (kN/m <sup>2</sup> )	繰返し応力 振幅比 R	地震時 せん断応力 $\tau$ (kN/m <sup>2</sup> )	地震時 せん断応力比 $L = \tau / \sigma'v$	F <sub>L</sub> 判定 (=R/L)
Ss-AH	127.58	1.504	91.07	0.714	2.10
Ss-B1H	147.68		107.23	0.726	2.07
Ss-B2H1	127.58		42.09	0.330	4.55
Ss-B2H2	147.68		64.92	0.440	3.41
Ss-B3H1	107.48		38.04	0.354	4.24
Ss-B3H2	147.68		59.60	0.404	3.72
Ss-B4H1	107.48		43.82	0.408	3.68
Ss-B4H2	127.58		70.16	0.550	2.73

注：ハッチングはF<sub>L</sub>値の最小値を示す。

以上



項目	コメント内容
地盤 (第6条)	実測に基づき地下水位を地下2mと設定していることの妥当性について、観測井戸の分布を示し、観測記録に対して分析、考察を行い説明すること。

(回答)

当社敷地では、地下水位把握のため継続的に地下水位観測を実施している。

図1に示す通り、貯蔵建屋周囲の4地点において地下水位観測を実施している。2016年4月1日～2021年3月31日の地下水位の観測結果を図2に示す。

4地点全てにおいて、観測期間中における地下水面は、多少の変動はあるものの、地表面下2m～8mの田名部層内にあることから、液状化の検討において、地下水位を地表面下2m (T.P. 14.0m) と保守的に観測結果を上回る位置に設定することは妥当であると考えます。

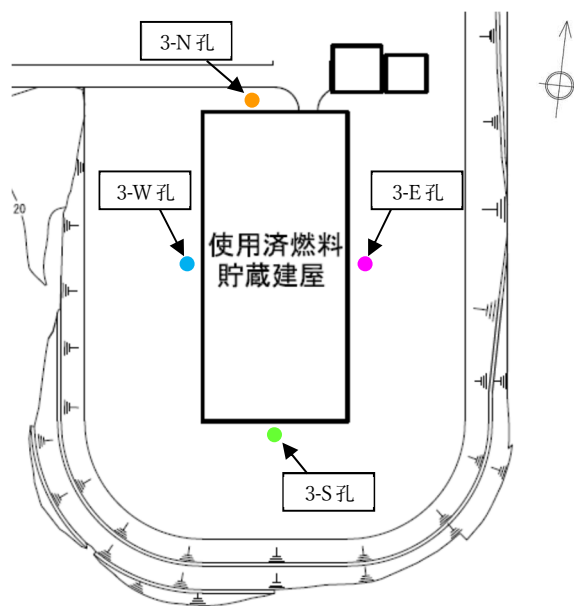


図1 地下水位観測位置

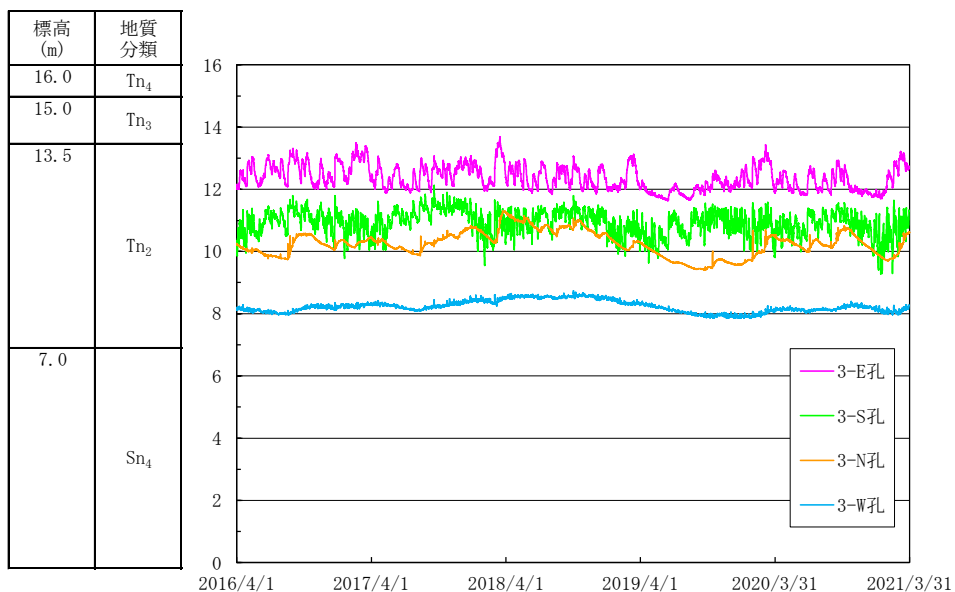


図2 地下水位の観測結果 (2016. 4. 1～2021. 3. 31)

以上

## 添付 5-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 地盤の物性値	3
4. 基礎の許容支持力	13
4.1 直接基礎の許容支持力	13
4.2 杭基礎の許容支持力	14
5. 地質断面図	16
6. 使用済燃料貯蔵建屋の耐震評価における地盤のモデル化	20
6.1 入力地震動算定に用いる地下構造モデル	20
6.2 地震応答解析に用いる地盤の解析モデル	22

\* : 令和3年8月20日付け原規規発第2108202号にて認可され、今回申請で変更がない事項については、当該事項を記載した章、節又は項等の表題に「前回申請に同じ」と記載する。

1. 概要 前回申請と同じ

本資料は、「5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」に基づき、使用済燃料貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）の耐震安全性評価を実施するに当たり、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の地盤物性値の設定及び支持性能評価で用いる地盤諸元の基本的な考え方を示したものである。

## 2. 基本方針 前回申請に同じ

貯蔵施設は、技術基準規則第6条に適合するため、耐震設計上の重要度に応じた地震力が作用した場合においても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。

貯蔵施設には、施設に大きな影響を及ぼすような地震の発生によって崩壊するおそれがある斜面は存在せず、貯蔵施設は耐震設計上の重要度に応じた地震力が作用した場合においても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る。

貯蔵施設のうち、使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）は杭基礎とし、耐震Bクラス施設に適用される地震力及び基準地震動 $S_s$ による地震力が作用した場合においても貯蔵建屋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、耐震Cクラス施設に適用される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。

施設、設備は、貯蔵建屋に設置される施設、設備、貯蔵建屋以外の建屋に設置される施設、設備、直接地盤に設置される施設、設備のいずれかに類別される。

貯蔵建屋に設置される施設、設備は、貯蔵建屋に支持させる。貯蔵建屋は杭基礎とし、耐震Bクラス施設に適用される地震力及び基準地震動 $S_s$ による地震力が作用した場合においても貯蔵建屋を十分に支持することができる地盤に支持させるため、貯蔵建屋に設置される施設、設備は、施設に適用される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なる。

貯蔵建屋以外の建屋に設置される施設、設備は、当該建屋に支持させる。当該建屋は直接基礎とし、施設に適用される地震力と同等である建築基準法に基づく地震力が作用した場合においても当該建屋を十分に支持することができる地盤に支持させるため、貯蔵建屋以外の建屋に設置される施設、設備は、施設に適用される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なる。

直接地盤に設置される施設、設備は直接基礎とし、重量や形状を考慮し、地盤が当該施設、設備を十分に支持することができるものであることを確認する。これにより、建屋外に設置される施設、設備は、施設に適用される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なる。

第3-1表 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 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	ピーク強度 $C$ (N/mm <sup>2</sup> )	残留強度 $C_r$ (N/mm <sup>2</sup> )	初期変形係数 $E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	静ポアソン比 $\nu$	動せん断弾性係数 $G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	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 (Tn5)	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 (Tn4)	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 (Tn3)	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 (Tn2)	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 (Tn1)	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 (Sn4)	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 (Sn3)	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 (Sn2)	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 (Sn1)	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>	

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.	0209-60 改訂00

項目	コメント内容
地盤 (第6条)	水平2方向+鉛直地震動に対して、液状化を考慮する必要がない理由を説明すること。液状化の判定基準を使う場合は、適用範囲を明確にすること。

(回 答)

事業許可に記載の水平1方向入力による地盤の等価線形解析 (SHAKE) に基づく  $F_L$  値による液状化判定に加え、水平2方向及び鉛直方向同時入力による地盤の等価線形解析に基づく  $F_L$  値による液状化判定を行った。ここで、検討に用いた基準地震動は、水平1方向入力による  $F_L$  値による判定で厳しい結果となった Ss-A 及び Ss-B1 とする。地盤の液状化解析に基づく  $F_L$  値による液状化判定は、コメント回答資料 No. 0209-74 (SHAKE の適用性) で示した考え方と同じ考え方により、適用範囲にあると考えている。

液状化判定結果を表1に示す。

これらの結果、水平1方向入力時より水平2方向及び鉛直方向同時入力の方が、地盤のせん断応力度は Ss-A で約14%大きくなるものの、 $F_L$  値は1.24であり許容値の1.0を上回ることから、水平2方向+鉛直地震動に対しても液状化の生じる可能性はないと考えられる。

表1 液状化判定結果 田名部層下部砂質土 ( $Tn_2$ )

地震動	有効上載圧 $\sigma'v$ ( $kN/m^2$ )	繰返し応力 振幅比 R	水平1方向入力時		水平2方向+鉛直方向入力時	
			地震時 せん断応力 $\tau$ ( $kN/m^2$ )	$F_L$ 判定 ( $=R/L^*$ )	地震時 せん断応力 $\tau$ ( $kN/m^2$ )	$F_L$ 判定 ( $=R/L^*$ )
Ss-A	86.15	0.956	57.94	1.42	66.08	1.24
Ss-B1			58.64	1.40	59.79	1.37

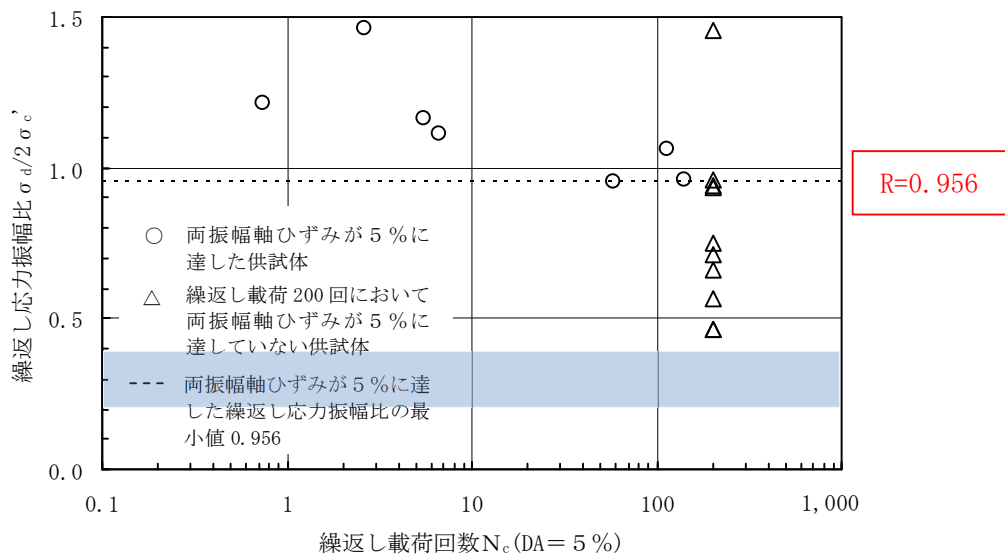
注記\* : 地震時せん断応力比  $L = \tau / \sigma'v$

注 : ハッチングは  $F_L$  値の最小値を示す。

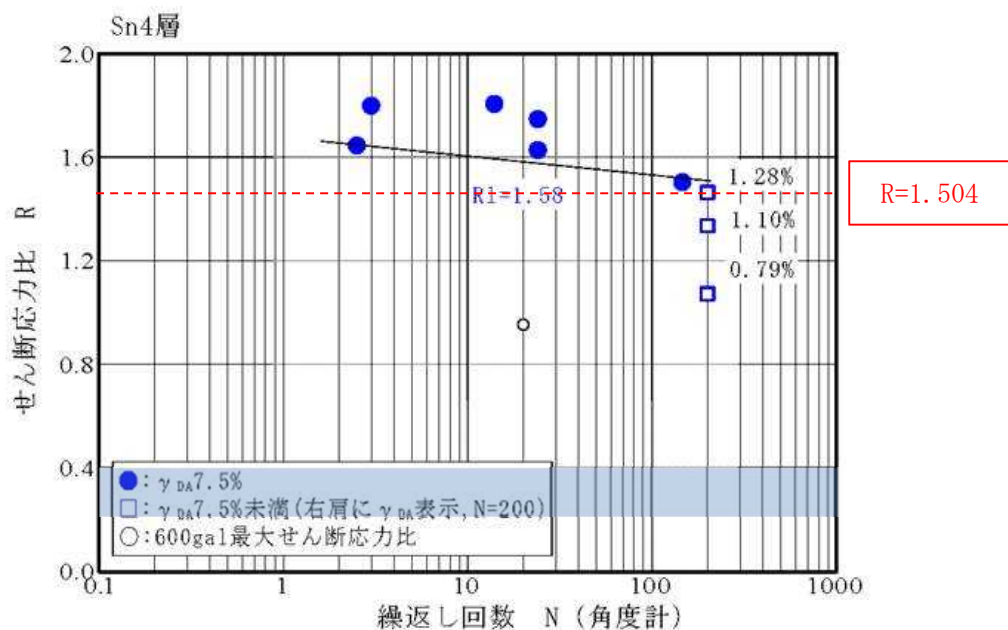
以上

### 液状化抵抗について

貯蔵建屋直下地盤から採取した田名部層下部砂質土（Tn<sub>2</sub>層）と砂子又層（Sn<sub>4</sub>層）の室内試験による液状化に対応する繰返しせん断応力比 R の値は以下のとおりであり、一般的な緩い砂層の R に比べて大きな値となっている。



※ 通常砂地盤で液状化が問題となる場合の繰返しせん断応力比の範囲(0.2~0.4)  
 図1 室内試験結果（田名部層下部砂質土（Tn<sub>2</sub>））



※ 通常砂地盤で液状化が問題となる場合の繰返しせん断応力比の範囲(0.2~0.4)  
 図2 室内試験結果（砂子又層（Sn<sub>4</sub>））