

液状化評価の手順について

1. 液状化の検討手法の流れ(設2-補-013-02「6.3 液状化検討手法について」*P34 参照)

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FL値による判定(=繰返しせん断応力比(R)/地震時せん断応力比(L))を用いている。

※ 設2-補-013-02 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

その流れは、図1のとおりである。

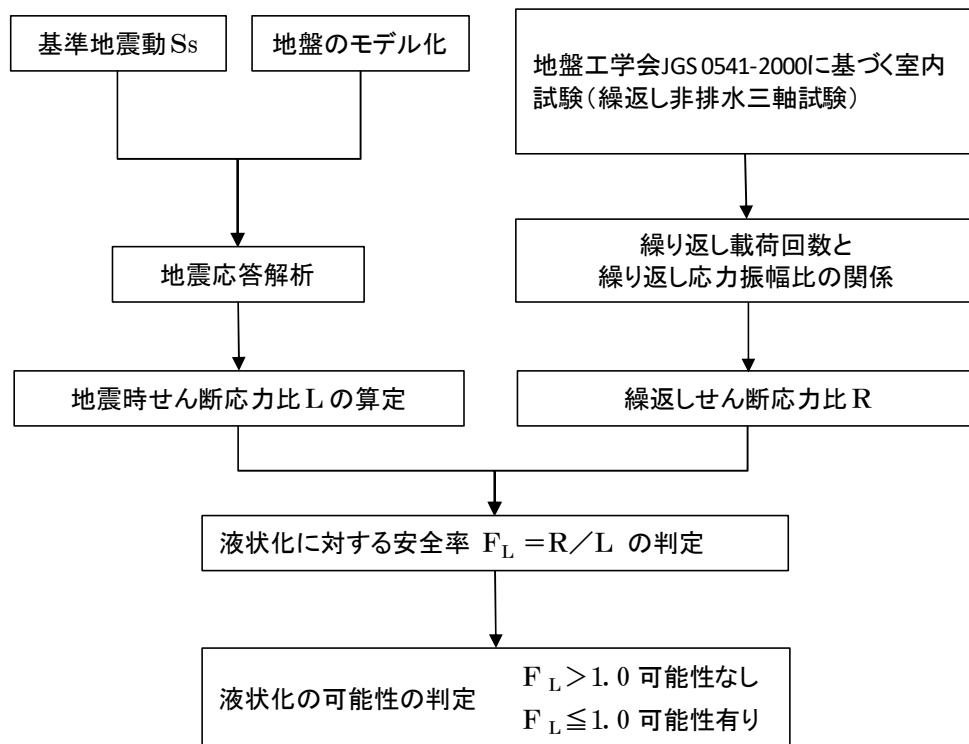


図1 液状化判定の流れ

上記のように、基準地震動による地盤の地震応答解析結果から求まる「地震時せん断応力比(L)」と室内試験結果から求まる「繰返しせん断応力比(R)」を用いて求めた液状化に対する下式の安全率(F_L)によって判定する。

$$F_L = R/L$$

以下手順に従って、それぞれの項目の詳細を記載する。

2. 地下水位の設定と液状化判定対象層の選定(設2-補-013-02 「6.3 液状化検討手法について」*P33～P35 およびコメント回答(管理 No.0209-58,59)参照)

(1) 地下水位の設定

液状化判定には、地下水位の設定が必要となるが、この値は地下水位の観測記録(2016.4.1～2021.3.31)に基づき T.P.14.0m(地表面下 2.0m)としている。観測位置とその記録は図2及び図3に示すとおりであり、貯蔵建屋東側の3-E 孔の値を参考にして保守的に設定している。

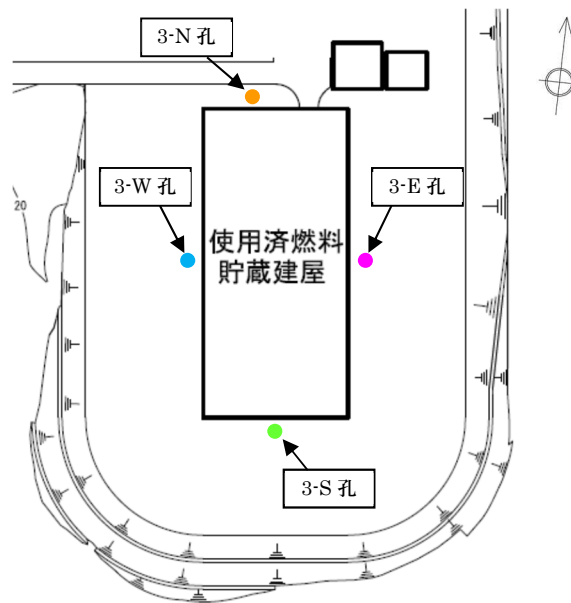


図2 地下水位観測位置

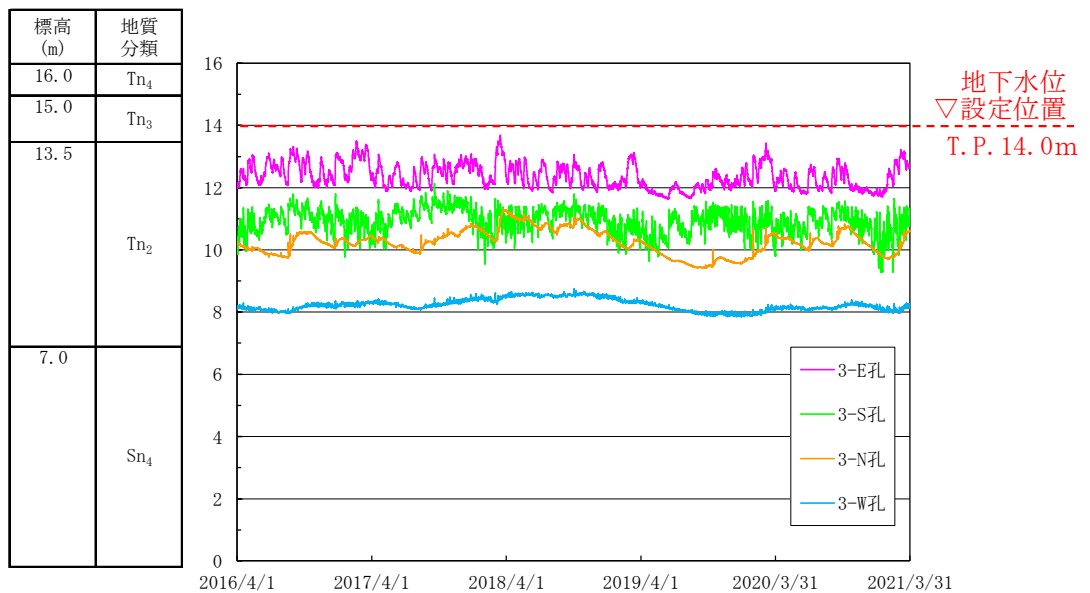


図3 地下水位の観測結果(2016.4.1～2021.3.31)

(2) 液状化判定対象層の選定

液状化対象層の選定にあたっては、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、以下の記載を踏まえて対象層を決定している。*

※ 設2-補-013-02 「6.3 液状化検討手法について」P33 およびコメント回答(管理表 No.0209-58)参照

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。

※ 「(2)の手順」とは液状化危険度予測

日本建築学会「建築基礎構造設計指針」の記載から、液状化判定を行う層の条件は以下のとおりである。

- (1) 地表面から20m程度以浅の沖積層で、細粒分含有率が35%以下の土(飽和土層)
- (2) 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。
- (3) 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

上記の3つの条件と貯蔵建屋設置位置直下地盤との関係は以下のとおりである。

(1)の条件

貯蔵建屋設置位置直下地盤は田名部層および砂子又層からなり、建屋を支持する基礎杭の先端は根入れ部先端で T.P.-21.5m(地表面標高は T.P.16.0m)であることから、考慮の対象となるのは、田名部層および砂子又層となるが、地下水位以浅の田名部層は検討対象層から除外している。

また、砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn4)は、土ではなく岩に分類されていることから液状化検討対象層から除外している。

(2)の条件

貯蔵建屋の設置されている地盤は自然地盤(地山)であり、「埋立地盤等の造成地盤」に当たらないことから、この条件で液状化対象層となることはない。

(3)の条件

貯蔵建屋の設置されている地盤のうち、田名部層については自然地盤であり、「埋立あるいは盛土地盤」に当たらないことから、この条件で液状化対象層となることはない。また、「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」の条件にも当てはまらないことから、この条件で液状化対象層となることはない。(細粒分含有率は表1「田名部層の細粒分含有率、粘土分含有率及び塑性指数」を参照)

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 ₄	田名部層中部砂質土	1.0	33.8	5.5	22.9
Tn ₃	田名部層中部粘性土	1.5	55.3	19.6	8.5
Tn ₂	田名部層下部砂質土	6.5	13.5	4.4	49.4

地下水位
▽ 設定位置
T. P. 14. 0m

以上より、液状化検討対象層は田名部層下部砂質土(Tn2)とする。下表に建屋直下地盤の概要を示す。

No.	地層名	地盤分類		上端深度 T.P.(m)	層厚 (m)
1	田名部層	Tn ₄	田名部層中部 砂質土	16.0	1.0
		Tn ₃	田名部層中部 粘性土	15.0	1.5
3		Tn ₂	田名部層下部 砂質土	13.5	6.5
	砂子又層	Sn ₄	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4 建屋直下地盤の概要

なお、上記のように砂子又層については液状化検討対象としていないが、念のためとして、砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn4 層)についても FL 値を別途算定しており、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。(判定結果については後述)

3. 地震時せん断応力比 L の算定

地震時せん断応力比 L は、地盤の地震応答解析から求まるせん断応力度 τ と土被り圧の比として算定される。その詳細は以下のとおりである。

(1) 地震時せん断応力度の算定

地震時せん断応力度 τ の算定は、基準地震動を解放基盤表面に入力した地盤の地震応答解析から求めており、モデルは「添付 5-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」の表 3-1 解析用物性値及びその設定根拠に示す地盤モデルを用いている。検討に用いるせん断応力度は、検討対象の深度におけるせん断応力度を採用することとしている。

(2) 有効上載圧(土被り圧)の算定

有効上載圧の算定は、当該深さより上部の土の重量により算定するが、水による浮力を考慮して下式にて算定する。

$$\sigma'_v = (\gamma_s - \gamma_w)H$$

ここに

σ'_v	: 有効土被り圧
γ_s	: 土の密度(地盤の地震応答解析モデルで採用している密度)
γ_w	: 水の密度
H	: σ_z を算定する深さ

(3) 地震時せん断応力比 L の算定

地震時せん断応力比 L は、上記の地震時せん断応力度と有効上載圧の比率であり、下式で算定される。

$$L = \tau / \sigma_z$$

この値は、後述の繰返しせん断応力比 R と比較し、その比率(R/L)が 1.0 以上であれば、液状化に対する安全性が確保されていることとなる。

4. 繰返しせん断応力比 R の算定

繰返しせん断応力比 R は、地盤工学会で定められた試験法である「JGS 0541-2020 土の繰返し非排水三軸試験方法」に従って、その値を定めている。室内試験においては、一定振幅の繰返し载荷においてひずみが5%に達した際の繰返し応力振幅比($\alpha_0 / 2\alpha'$)として求めている。これが、いわゆる液状化の抵抗値となる。

5. 液状化の判定結果

液状化の判定においては、上記の地震時せん断応力比 L と繰返しせん断応力比 R の比率で下式の FL 値を算出し、この値が 1.0 以上であることを確認することとしている。

$$F_L = R/L$$

対象となる田名部層の液状化判定の結果を以下に記す。(設2-補-013-02 「6.4 液状化検討結果について」P36 参照)

田名部層下部砂質土(Tn₂)の判定結果

表2 田名部層下部砂質土(Tn₂)の判定結果

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

注:ハッチングは F_L 値の最小値を示す。

液状化判定は田名部層下部砂質土(Tn₂)について検討しているが、念のためとして、砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn₄層)についても FL 値を別途算定しており、その結果は以下のとおりである。(コメント回答管理表 No.0209-58 参照)

砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn₄層)の判定結果

表3 砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn₄層)の判定結果

地震動	有効上載圧 σ_v (kN/m ²)	繰返し応力 振幅比 R	地震時 せん断応力 τ (kN/m ²)	地震時 せん断応力比 $L = \tau / \sigma_v$	F _L 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_L 値の最小値を示す。

さらに、水平動 2 方向と上下動を同時入力した場合の液状化判定も行っており、その結果は以下のとおりである。(コメント管理表 No.0209-60 参照)

田名部層下部砂質土(Tn₂)の判定結果

表4 田名部層下部砂質土(Tn₂)の判定結果(水平上下同時入力)

地震動	有効上載圧 σ_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 τ (kN/m ²)	F _L 判定 (=R/L*)	地震時 せん断応力 τ (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。