

1 F 汚染水貯留タンクの 耐震性評価について



1. 施設運営計画における耐震性評価

汚染水貯留タンクに関して「実施計画」に記載されている耐震性評価の考え方は、「施設運営計画※」を踏襲している。
施設運営計画における耐震性評価の考え方は、以下の通り。

※：福島第一原子力発電所1～4号機に対する「中期的安全確保の考え方」に基づく施設運営計画に係る報告書
<平成23年10月17日初回報告・初回報告以降適宜変更及び補正・平成25年3月12日変更（最終）>

➤ 基本方針

汚染水処理設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、耐震設計審査指針上のBクラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態にあわせたものを採用する場合もある。

➤ 耐震構造

中低濃度タンクは低重心構造とする。

➤ 耐震性評価

地震により転倒しないことを確認する。 ※汚染水貯留タンクは基礎ボルトで締結せず平置きされている。

➤ 地震時の対応

地震が発生した際には設備の巡視点検を行い設備の健全性を確認する。

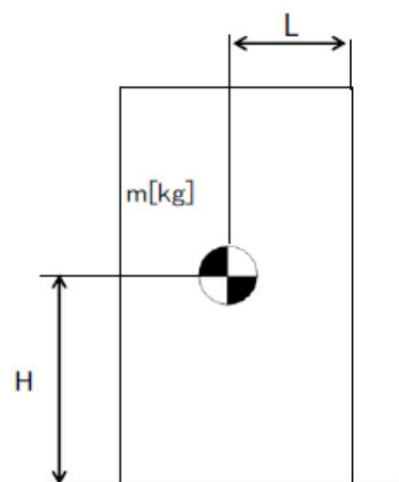
➤ 要求事項に対する代替措置

汚染水処理設備等は、概ね設計方針を満足するものであるが、「構造強度」及び「耐震性」については、本来の原子力設備に求められる設計・建設規格で規定された材料や耐震Bクラスの要求事項を一部満足しないものもある。このため、汚染水処理設備等の運用にあたっては、本来の原子力設備に対して構造強度や耐震性が劣るものと想定し、必要な対応を定めておくこととする。

転倒評価で用いる水平方向設計震度は、建物・構築物の耐震設計に用いる設計用地震力を適用する。
Bクラス施設の場合は、「0.3」である。
(考え方は、JEAG4601を参考にしている。)

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらと比較することにより転倒評価を行った。評価の結果、地震による転倒モーメント<自重による安定モーメントとなることから、転倒しないことを確認した。(表 13, 14)



- C_H : 水平方向設計震度
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント : $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

汚染水貯留タンクを設置する地盤の評価として、滑動評価及び支持力評価を実施している。

b. 滑動評価

タンクに作用する水平荷重と基礎底面地盤のせん断抵抗力を比較して、地震時の滑動に対する評価を行った。基礎底面地盤のせん断抵抗力は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に基づき次式を用いた。評価の結果、タンクに作用する水平荷重<基礎底面地盤のせん断抵抗力となり滑動しないことを確認した。（表 14）

$$H_u = c_B A_e + V \tan \phi_B$$

H_u ：基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力

c_B ：基礎底面と地盤との間の付着力

ϕ_B ：基礎底面と地盤との間の摩擦角

A_e ：有効載荷面積

V ：基礎底面に作用する鉛直加重

c. 支持力評価

タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して、地震時の支持力に対する評価を行った。支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に基づき次式を用いた。評価の結果、タンクの鉛直加重<タンク基礎底面地盤の支持力となり、安全性を有していることを確認した。（表 14）

$$Q_u = A_e \left(\alpha k c N_c S_c + k q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta_e N_r S_r \right)$$

Q_u ：荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極度支持力

c ：地盤の粘着力

q ：上載荷重

A_e ：有効載荷面積

γ_1, γ_2 ：支持地盤及び根入れ地盤の単位重量

B_e ：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅

B ：基礎幅

e_B ：荷重の偏心量

D_f ：基礎の有効根入れ深さ

α, β ：基礎の形状係数

k ：根入れ効果に対する割増し係数

N_c, N_q, N_r ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_r ：支持力係数の寸法効果に関する補正係数

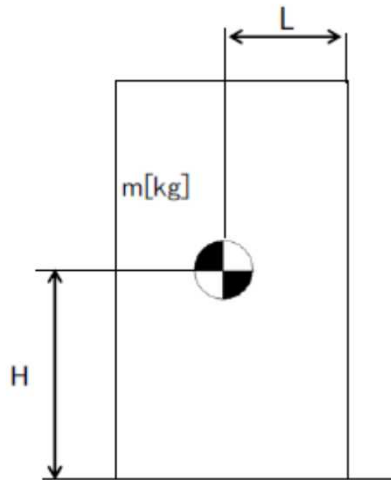
2. 実施計画における耐震性評価（初回認可内容）

汚染水貯留タンクに関して「実施計画」に記載されている耐震性評価の考え方は、「施設運営計画」を踏襲しているが、実施計画の策定にあたり、部分的に耐震性評価の設計用地震力の変更、円筒型タンクの基準地震動 S_s 評価の追加をしている。

※：福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画 <平成25年8月14日初回認可>

➤ 転倒評価

水平方向設計震度を、機器・配管系の耐震設計に用いる設計用地震力を適用する。Bクラス機器の場合、「0.36」である。



C_H ：水平方向設計震度
 m ：機器重量
 g ：重力加速度
 H ：据付面からの重心までの距離
 L ：転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

➤ 円筒型タンクの基準地震動 S_s 評価：次スライド参照

汚染水貯留タンクのうち、円筒型タンク（1,000m³）については、比較的大容量であること、設置基数が多いこと、RO濃縮水を貯留していることから、Sクラス相当の評価として基準地震動Ssに対する耐震性評価を参考扱いで実施する。

➤ 評価方針

- 入力地震動として、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官19第603号 平成20年3月31日付け）にて作成した開放基盤表面レベルに想定する基準地震動Ss-1, Ss-2, Ss-3を用いることとする。なお、評価に当たっては、これらの基準地震動のうち、タンクの固有周期で卓越する基準地震動Ss-1を使用する。
- 入力地震動に対して、円筒型タンクの側板の応力評価及び座屈評価を実施する。評価にあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）を準用し、側板の座屈は座屈評価式を満足していること、側板は側板で発生する最大ミーゼス応力が許容値を満足していることを確認する。
- 円筒型タンクのうち、フランジタンクについては、側板同士がボルトで接続される構造であるため、接続ボルトで発生する最大引張応力が許容応力を満足していることを確認する。

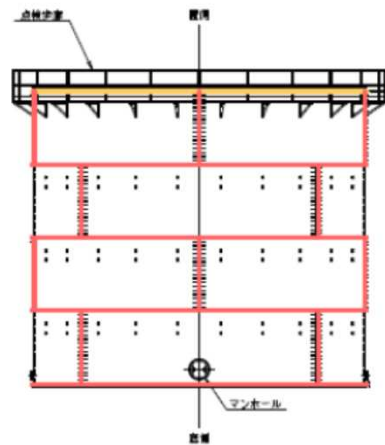


図-1 タンク概略図

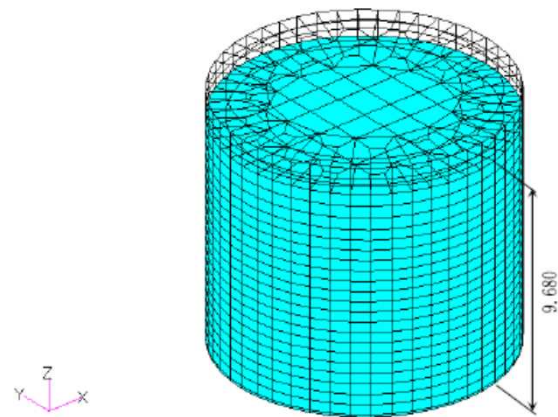


図-2 解析モデル(鳥瞰図) 単位:m

➤ 評価結果

- 各評価部位の算出値は評価基準値以下であり、地震に対するタンクの構造健全性を確認した。

表-1 タンク各部位の評価結果

(Ss-1による評価)

評価対象・部位	応力 分類	評価結果		備考
		算定値	評価基準値	
側板	膜応力	246MPa	360 MPa	図-4
	座屈	0.66	1	表-2
側板間連結ボルト (水平方向)	引張	355MPa	525 MPa	最下端位置
側板間連結ボルト (鉛直方向)	引張	506MPa	525 MPa	最下端位置

表-2 タンク側板の座屈評価結果

(Ss-1による評価)

発生最大平均 軸圧縮応力	発生最大平均 曲げ応力	軸圧縮に対する 座屈応力	曲げモーメントに 対する座屈応力	安全率	座屈 評価値
P/A [MPa]	M/Z [MPa]	f_c [MPa]	f_b [MPa]	α_B	(※)
2.19	44.8	78.3	109	1.5	0.66

※ JEAC4601-2008 より、座屈評価値 $\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b}$ が1を超えないことを確認する。

➤ 計算方法

- 解析コード：汎用非線形構造解析システム
FINAS V20.1
- 解析手法：時刻歴解析（直接積分法）
- 減衰条件：構造減衰1%考慮

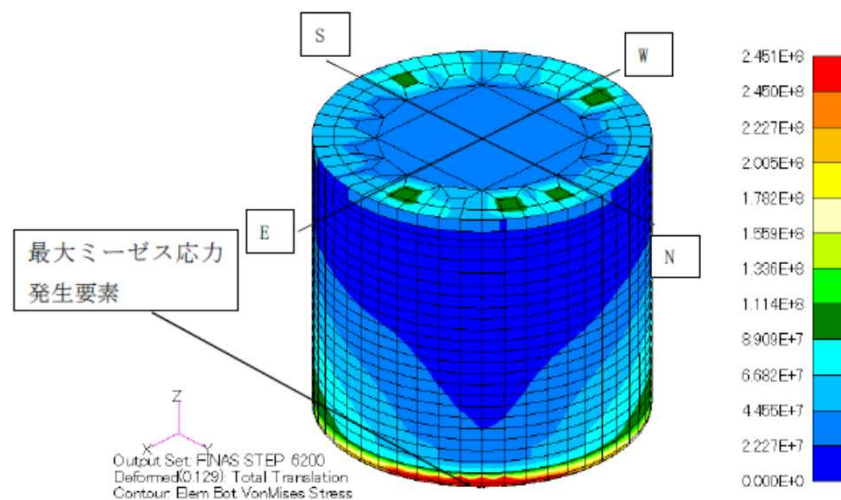


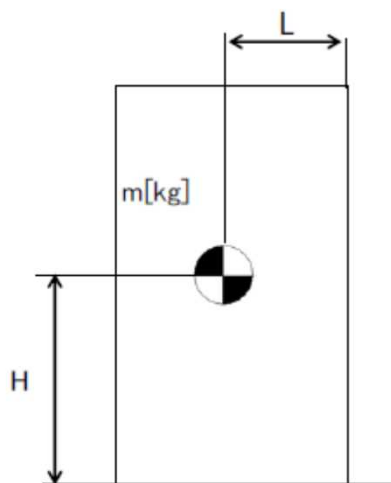
図-4 ミーゼス応力分布 (鳥瞰図)
(Ss-1 内面: 31.00 秒時 単位:Pa)

3. 実施計画における耐震性評価（変更認可内容）

実施計画の初回認可（平成25年8月14日）後、汚染水貯留タンクに関する実施計画変更認可（平成26年9月3日）において、中低濃度タンク（円筒型）に対する耐震Sクラス相当の転倒評価を参考資料として追加している。以降の新設タンクに関する実施計画変更認可では当該評価をその都度反映している。

➤ 転倒評価

水平方向設計震度を、機器・配管系の耐震設計に用いる設計用地震力を適用する。
Sクラス機器の場合、「0.72」である。



- C_H : 水平方向設計震度
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント : $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

【参考】汚染水貯留タンク

鋼製円筒型タンク（溶接型）	鋼製円筒型タンク（フランジ）	鋼製横置タンク	鋼製角形タンク
			
容量：約1,000m ³ 他 材料：SS400他	容量：約1,000m ³ 他 材料：SS400	容量：約100m ³ 材料：SS400	容量：約40m ³ 材料：SS400