

耐震評価を活用した消火水タンクの荷重評価について

1. 概要

実用炉規則第八十三条の第一号の対応において、消火水タンクを水源として活用する手順があり、消火水タンクの荷重評価を行っている。消火水タンクの荷重評価では既認可の耐震評価の結果を活用して評価を行っており、その有効性について確認を行う。

2. 消火水タンクの荷重評価について

消火水タンク上面に積雪及び火山灰が堆積した場合、それらの質量に重力加速度が加わった荷重が消火水タンクに作用し、各評価部位に応力が発生する。一方、耐震評価においては、タンクの質量に重力加速度と基準地震動 S_s 設計用加速度が加わることで、各評価部位に応力が発生する。消火水タンクの荷重評価では、積雪と火山灰の荷重を加速度に置き換え、その置換した加速度が設計用加速度と比較して十分小さい値になっていることの確認を行い、消火水タンクの健全性確認を行っている。詳細は別紙1のとおり。

3. 耐震評価を活用する前提条件

耐震評価の結果を活用して荷重評価をする場合、地震と火山の事象が重畳しないことが前提となる。

これまでの許認可では、関連規則及びガイド*に示される各荷重に対し、荷重の組合せを含めて各審査の中で確認頂いてきた。具体的には、添付書類八では、「降下火砕物と火山以外の自然現象の組合せについては、荷重の影響において、降下火砕物、風（台風）及び積雪による組合せを考慮する。」と整理している。これについて、地震と火山の事象は重畳しない理由は設置許可のまとめ資料でご説明しており、「基準地震動の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、それぞれ発生頻度が小さいことから組合せを考慮しない。」としている。したがって、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_a 共に火山事象と重畳させて評価する必要はなく、耐震評価の結果を荷重評価に活用することは可能である。添付書類八と設置許可まとめ資料の抜粋を別紙2に示す。

※：実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び整備の基準に関する規則 第六条、原子力発電所の火山影響評価ガイド、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド及び耐震設計に係る設工認審査ガイド

4. 考察

消火水タンクは「添付書類八 1.8.1.4 降下火砕物の影響から防護する施設」に規定される防護対象施設ではないため、防護対象施設である復水タンク及び燃料取替用水タンクで活用した FEM 解析による荷重評価並みに高精度な荷重評価を行っていないが、消火水タンクで実施した荷重評価の結果には、元々の耐震評価の裕度に加えて、置換した加速度と設計用加速度の間に十分な余裕があることから健全性確認を行うことができる。

5. 結論

実用炉規則第八十三条の第一号の要求から消火水タンクの健全性確認を行っており、その手法としては、耐震評価の結果を活用した荷重評価となっている。しかし、本評価を実施する上で地震と火山が重畳しないことが前提となるが、既許可上の整理から地震と火山は重畳しない。本手法は、評価結果に十分な余裕があることから健全性確認を行うことは可能である。

2. 層厚変更に伴い評価対象となる施設の荷重評価

炉規則 8 3 条の対応で使用する施設の内、層厚変更に伴い評価対象となる施設について、炉規則改正に伴う保安規定変更認可申請（以下、「バックフィット保安規定」という。）における補足説明資料での評価に対し、層厚変更に伴う評価結果を以下に示す。

(1) 消火水タンクにおける降下火砕物荷重の影響評価

a. 概要

本資料は、消火水タンクが降下火砕物等堆積時においても、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認する。

b. 構造概要

美浜 3 号炉の消火水タンクは、たて置円筒形タンクであり、上面が曲面となっていることから、タンク上面に降下火砕物が堆積しにくい構造であるため、影響は軽微と考えられる。

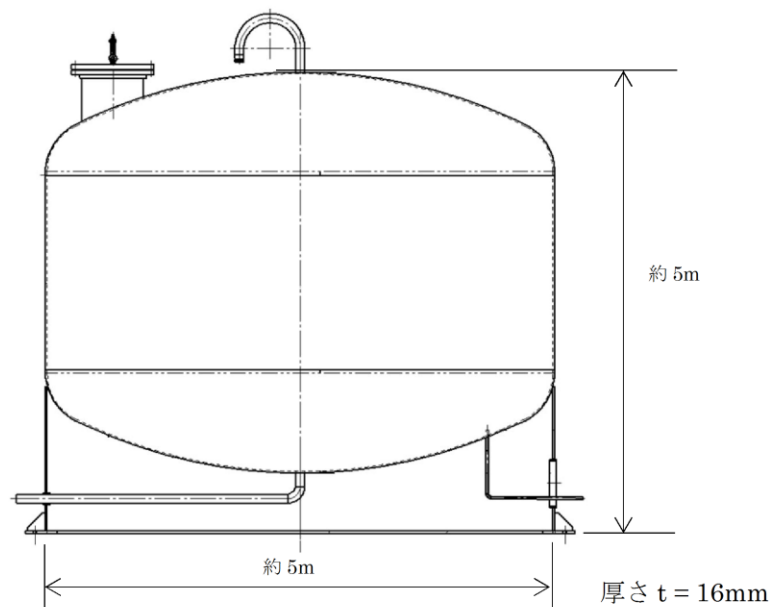


図 1 消火水タンクの構造

耐震評価上の裕度

c. 強度評価

本資料では、保守的な想定としてタンク上面に、積雪 100cm、火山灰 22cm を堆積させた条件で、消火水タンクの胴板ならびに支持脚の評価を行う。

消火水タンクは、「工事計画認可申請書 資料 13 別添 1 火災防護設備の耐震性に関する説明書」にて耐震評価を実施している。具体的には、基準地震動 S_s 設計用加速度（水平 12.59m/s^2 (=約 1.29G)、鉛直 6.71m/s^2 (=約 0.69G)）に対して、胴板の裕度は 14.1 以上、支持脚の裕度は 12.5 以上であることを確認している。

タンク上面への堆積を想定した火山灰及び積雪の質量は 12,780kg であり、消火水タンクの質量 79,200kg の約 17% に相当する。

つまり、タンク上面に積雪および火山灰を堆積させた状態は、胴板および支持脚に対して、タンク単体の自重による荷重に 鉛直加速度 0.17G を加えた状態 と等価である。

一方で、耐震評価では、タンク単体の自重に鉛直加速度 0.69G を加えた状態で応力評価を行っており、その結果、十分な裕度を有していることを確認している。

以上のことから、耐震評価は、火山灰及び積雪を堆積させた強度評価を包含しているものと考えられる。

置換した加速度と設計用加速度を比較した時の裕度

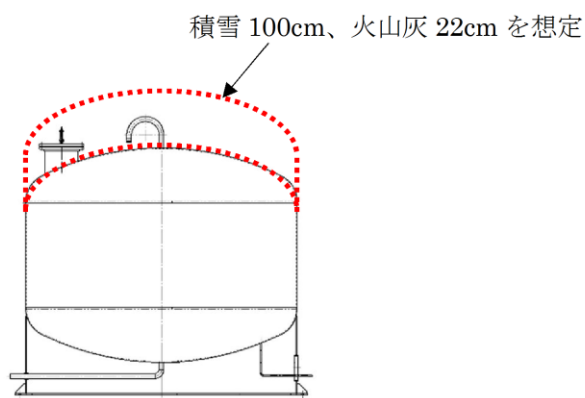


図2 強度評価における積雪・火山灰の想定

表1 消火水タンクの耐震評価結果

評価部位	材料	応力	基準地震動 S_s による応力		裕度
			評価応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
胴板	SM400B	一次一般膜 (周方向)	11	240	21.81
		一次一般膜 (軸方向)	8	240	30.00
		組合せ一次	17	240	14.11
		座屈	0.03	1	33.33
支持脚	SM400B	組合せ	20	279	13.95
		座屈	0.08	1	12.50

を適切に組み合わせる。

添付書類八

b. 設計基準事故時荷重

防護対象施設は、降下火砕物によって設計基準事故の起因とはならない設計とするため、設計基準事故とは独立事象である。

また、降下火砕物の降灰と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と降下火砕物による荷重との組合せは考慮しない。

仮に、防護対象施設への影響が小さく発生頻度が高い少量の降下火砕物の降灰と設計基準事故が同時に発生する場合、防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる施設としては動的機器である海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても海水ポンプの圧力、温度が変わらず、機械的荷重が変化することはないため、設計基準事故時に生じる荷重の組合せは考慮しない。

c. その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

降下火砕物と火山以外の自然現象の組合せについては、荷重の影響において、降下火砕物、風（台風）及び積雪による組合せを考慮する。

(2) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」、並びに降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(3) 磨耗

「磨耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を磨耗させる「水循環系の内部における磨耗」、並びに降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し磨耗させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（磨耗）」である。

(4) 腐食

以下、荷重の性質を考慮して、主荷重同士の組合せ及び主荷重、従荷重である風荷重、常時考慮する積雪荷重の組合せについて検討する。

c. 主荷重同士の組合せ

主荷重同士の組合せについては、従属事象、独立事象であるかを踏まえ検討する。

(a) 地震及び津波

主荷重同士の組合せとしては、地震と津波には因果関係があるため、地震及び津波を設計上考慮する。

(b) 火山及び地震

基準地震動の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、それぞれ発生頻度が小さいことから組合せを考慮しない。

火山性地震については、火山と敷地とは十分な距離があることから、火山性地震とこれに関連する事象による影響はないと判断し、地震と火山の組合せは考慮しない。(設置変更許可申請書添付書類六「4.3.4 その他の地震」参照)

(c) 火山及び津波

基準津波の波源と、火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、それぞれの頻度が十分小さいことから組合せを考慮しない。

火山活動に関する検討結果から想定される津波の規模及び地形的障害を考慮すると、敷地に影響を及ぼすような津波が到達することはなく、火山事象に伴う津波による影響はないと判断し、津波と火山の組合せは考慮しない。(設置変更許可申請書添付書類六「6.2.3.3 火山現象に起因する津波」参照)

d. 主荷重、従荷重及び常時考慮する積雪荷重の組合せ

主荷重と従荷重である風荷重が同時に発生する場合を考慮し、主荷重と組み合わせるべき風荷重について検討する。また、常時考慮する積雪荷重について、組み合わせるべき積雪荷重を検討する。

(a) 地震荷重又は津波荷重と風荷重及び積雪荷重の組合せ

地震又は津波と風については、それぞれ最大荷重の継続時間が短く同時に発生する確率は低いものの、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設については、適切に組合せを考慮する。組み合わせる風速の大きさは、平成12年5月31日建設省告示第1454号に定められた三方郡の基準風速32m/sとする。

また、常時考慮すべき積雪荷重については、建築基準法の多雪区域における地震荷重と積雪荷重の組合せを適用して、建築基準法施行細則(福井県)に定められた三方郡の垂直積雪量100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮する。

(b) 火山灰による荷重と風荷重及び積雪荷重の組合せ