

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

資料番号 TK-1-1927 改1

平成30年9月13日
日本原子力発電株式会社

原子炉格納容器の地震時のスロッシングに対する考え方について

1. 概要

MARK-II型原子炉格納容器はサプレッション・チェンバに原子炉圧力容器等の冷却に必要な水（以下「プール水」という。）を保有している特徴から、地震時にプール水によるスロッシングが生じる。このため、スロッシングによる影響評価は既往の試験*で検討がなされており、解析上の考慮は必要ないとされている。このことを踏まえ、今回の工事計画における耐震評価の考え方を以下に示す。

注記 *：原子力発電施設信頼性実証試験の現状（(財)原子力発電技術機構）

2. MARK-II型原子炉格納容器のスロッシングの影響評価

原子炉格納容器の耐震評価は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）に基づき、地盤、原子炉建屋及び原子炉圧力容器を連成したモデルで評価しており、サプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなし、全ての質量を固定質量とみなし、耐震評価を実施している。一方、スロッシングを考慮した評価をする場合は、図1で示すように揺動しない部分は固定質量として負荷するが、揺動する部分は自由質量となる。

上記で示すように評価方法に相違があるものの、既往の試験でスロッシングの影響を検討しており、以下のことが確認されている。図2に既往の試験で用いた試験体を示す。

- ・縮尺したMARK-II型原子炉格納容器を用いてスロッシングの影響の確認し、スロッシングにより発生する応力は、水による慣性力の [] 程度のオーダーであることを確認
- ・スロッシングの固有振動数は1次～3次で [] Hz～ [] Hz であり、原子炉格納容器の固有振動数 [] Hz～ [] Hz であり、共振しない

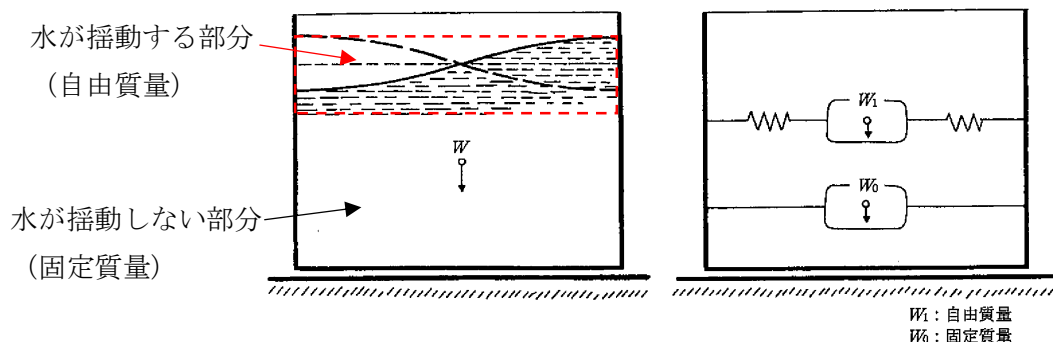


図1 スロッシングの解析モデル*

注記 *：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

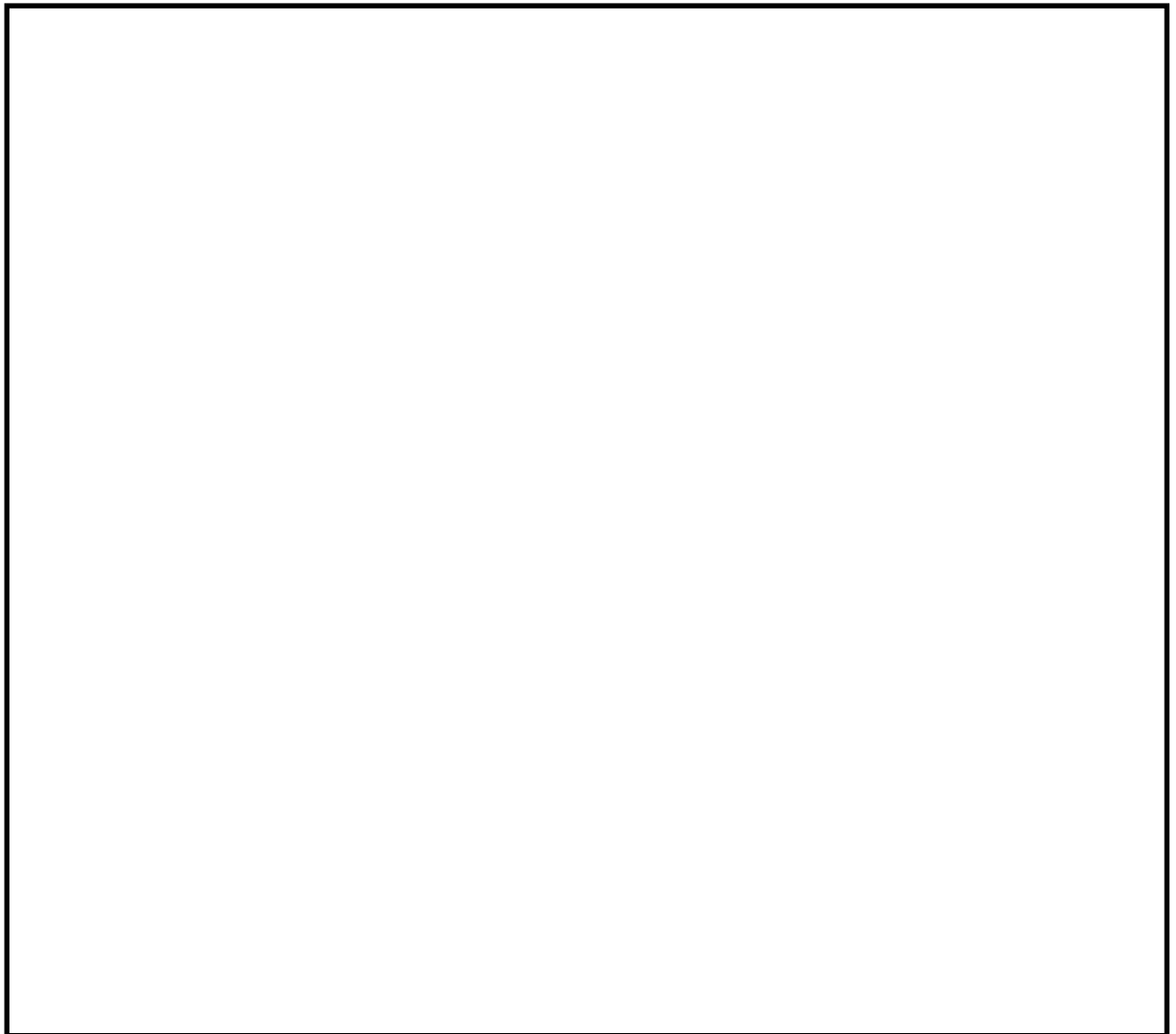


図2 既往の試験概要及び結果

3. 東海第二の原子炉格納容器に対するスロッシング評価

既往の試験において、スロッシングの影響が小さいことを確認したが、東海第二の原子炉格納容器に生じる基準地震動 S_0 と地震が異なることから、その影響について確認する。

3.1 固有振動数の影響

既往の文献（多重円筒型分割タンクの耐震設計（吉田ら，甲陽建設工業（株））に基づき、固有振動数を算出し、東海第二の原子炉格納容器の固有振動数を比較した結果、表1に示す。表1で示すように東海第二の原子炉格納容器についても既往の試験と同様に共振しないことを確認した。

表1 東海第二における固有振動数

| | スロッシングの固有振動数 | 原子炉格納容器の固有振動数 |
|--------------------------------------|--------------|---------------|
| 固有振動数 (Hz) (H. W. L 時 (水位 7.08m)) | | |

3.2 スロッシングによる設備の影響について

既往の文献に基づき、原子炉格納容器、内部構造物であるベント管及び原子炉圧力容器基礎に生じる荷重を算出し、スロッシングによる設備の影響を確認する。なお、スロッシングによる設備の健全性への影響は、スロッシングに対して地震の影響が大きくなる低振動数の波（ S_s-14 ）と設備に対して地震の影響が大きくなる高振動数の波（ S_s-31 ）を区別して、実施する（図3）。理由は、図1で示すようにスロッシングによる影響を考慮すると、固定質量が小さくなることから、その効果を検討するためである。また、スロッシングによるモーメントは最も厳しくなる基準地震動 S_s-8 波包絡条件を用いて評価する。

上記の考えに基づき、スロッシングによる影響評価を実施した結果を表2に示す。

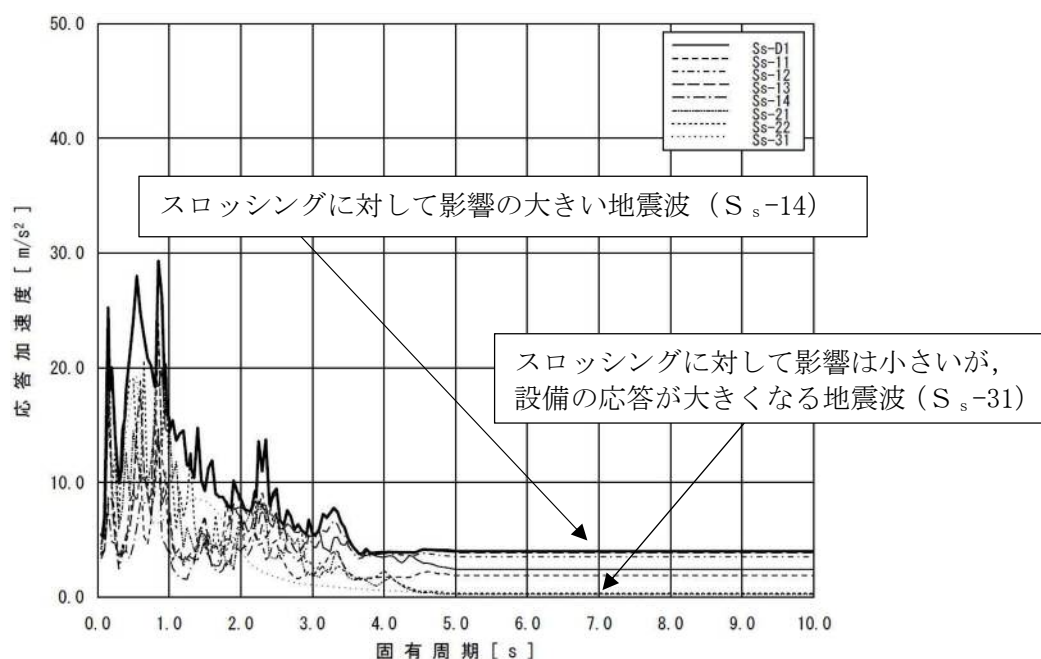


図3 東海第二の設計用床応答スペクトル

表2 スロッシングによる影響評価

| | 地震によるモーメント*1 (kN・m) | | スロッシングによるモーメント (kN・m) | |
|-----------|---------------------|----------|-----------------------|-----------|
| | S_s-8 波*2 | S_s-14 | S_s-31 | S_s-8 波 |
| 原子炉格納容器 | | | | |
| ベント管*3 | | | | |
| 原子炉圧力容器基礎 | | | | |

注記 *1：モーメントの数値はプール水を全て固定質量とした場合の結果である。

*2：基準地震動 S_s-8 波包絡条件は S_s-31 と同じ。

*3：ベント管については床応答スペクトル解析を行っており応答する地震波の特定が出来ないため、基準地震動 S_s-8 波包絡条件の結果を示す。

表 2 で示すように高振動数においては、設備に対する荷重が大きくなるがスロッシングによる影響は既往の試験と同様に非常に小さく、耐震評価結果に対して影響を与えない。

また、低振動数においては、スロッシングによる荷重が大きくなるものの、設備に対しての応答が小さくなるため、設備の健全性に影響を与えないことを確認した。

上記で示すようにスロッシングによる影響は、小さく、プール水質量の全てを剛体とみなして、現在の評価方法で設備の健全性を確認できることが確認できた。

3.3 スロッシングによる凝縮性能への影響

スロッシングに波高によって、事故時の蒸気等を凝縮する内部構造物が露出し、凝縮性能に影響を及ぼす可能性があることから、その影響を検討する。地震時の波高を表 3 に示すとともに波高に伴う原子炉格納容器内の影響を図 4 に示す。

表 3 地震の波高

| | S _s -31 | 基準地震動 S _s -8 波包絡条件 |
|--------|--------------------|-------------------------------|
| 波高 (m) | | |



図 4 スロッシングによる波高の影響

原子炉冷却材喪失事故時においては、原子炉冷却材圧力バウンダリから放出される蒸気がベント管を通じてプール水により凝縮されるが、原子炉圧力容器については、基準地震動 S_s に耐える設計であることから、原子炉冷却材喪失事故と重畳することはなく、原子炉格納容器の健全性は確保される。なお、荷重の組合せにおいてもこのような考慮は不要とされている。このため、図 4 で示すようにスロッシングによって、ベント管の下端が露出しても凝縮性能に影響はない。

また、地震によって、原子炉スクラムをした場合、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧となり、逃がし安全弁の一部が作動することが考えられる。図 4 で示すようにクエンチャは露出しないものの、スロッシングにより最低水位となるとき、クエンチャの近傍付近まで水位は低下する。水位が低い時は凝縮性能が低下するものの、水位の変動によって、水位が高くなれば凝

縮性能は高くなると考えられ、結果として、スロッシングのサプレッション・チェンバ全体の凝縮性能としては、平均化され、通常水位のときの凝縮性能と相違がないと考えられる。

4. まとめ

MARK-II型原子炉格納容器はサプレッション・チェンバにプール水を保有するという特徴を踏まえ、スロッシングによる影響を確認した。確認した結果、原子炉格納容器に対するスロッシングによる影響は、基準地震動 S_s の高振動数及び低振動数の波それぞれを評価し、設備の健全性に影響を及ぼさないことを確認した。

上記のことから、今回の工事計画で実施したサプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなして、評価する方法は妥当である。