

島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止 (耐震設計の論点)

[サブプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更]

令和元年12月
中国電力株式会社

目次

論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点

<機器・配管系>

No.	論点	説明頁
1	[論点Ⅱ - 5] サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更	2~41

論点Ⅱ－5：サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

1. 概要

■ 耐震設計の論点

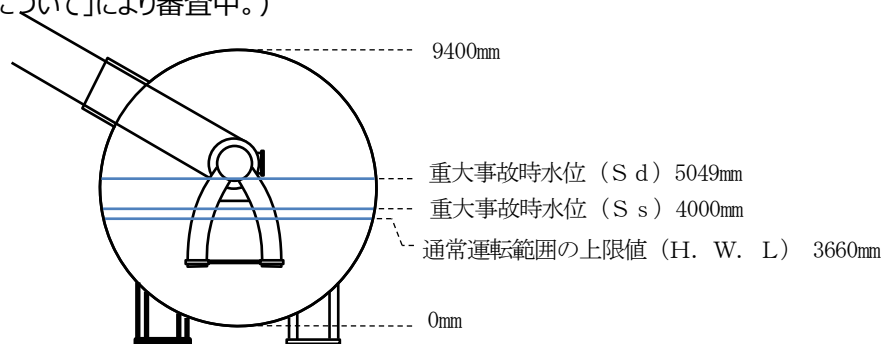
【論点Ⅱ－5：サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更】（論点の重み付け：A）

○既工認ではサプレッションチェンバ内部水全体を剛体と見なし，水的全質量を用いていたが，今回工認ではタンクの耐震設計に一般的に用いられている有効質量の考え方を適用する。

■ 論点に係る説明概要

- ・ 島根2号炉の既工認では，サプレッションチェンバに加わる地震荷重の算出において内部水を剛体とみなし，内部水的全質量を適用していた。
- ・ 今回工認ではタンクの耐震設計に一般的に用いられている有効質量の考え方を適用し，サプレッションチェンバに加わる地震荷重を現実的に見直す。
- ・ 本資料では，サプレッションチェンバ内部水に対して有効質量を適用することの考え方及びその妥当性について説明する。

(重大事故時におけるサプレッションチェンバの水位条件は「重大事故等対処設備について 補足説明資料 39条地震による損傷の防止 39-4 重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」により審査中。)



内部水の有効質量を考慮する水位条件

■ 先行プラント実績

- ・ 工事計画認可実績はないが，女川2号炉の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同じ

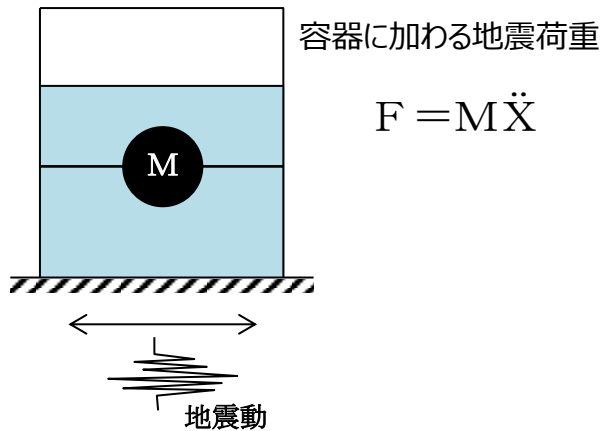
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

2. 既工認と今回工認の耐震評価手法 (1)

2.1 有効質量の概要

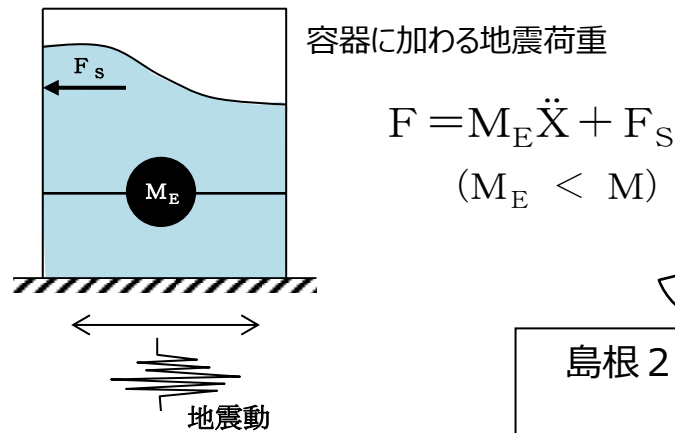
- 容器の振動方向に地震荷重として付加される荷重は、内部水を剛体として扱う場合の荷重よりも小さいことが知られており、このときのみかけの質量は有効質量（又は付加質量、仮想質量等）と呼ばれている。
- 円筒容器における有効質量は「容器構造設計指針・同解説（日本建築学会）」にも定義されており、一般的に適用されている。
- 容器の形状と水位が既知であれば、有効質量は汎用構造解析プログラム N A S T R A N を用いて算出可能である。
- 島根 2 号炉のサプレッションチェンバ（円環形状容器）では、N A S T R A N を用いて有効質量を算出し、地震荷重を評価する。

M : 容器と一体で挙動する
内部水質量 (= 全質量)
 \ddot{X} : 容器の応答加速度



内部水を剛体として扱うイメージ

F_S : スロッシング荷重
 M_E : 容器と一体で挙動する
内部水質量 (= 有効質量)



有効質量のイメージ

N A S T R A N による
有効質量算出モデル

島根 2 号炉サプレッションチェンバへ
有効質量を適用

※スロッシング荷重は個別に評価

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

2. 既工認と今回工認の耐震評価手法 (2)

2.2 サプレッションチェンバの構造

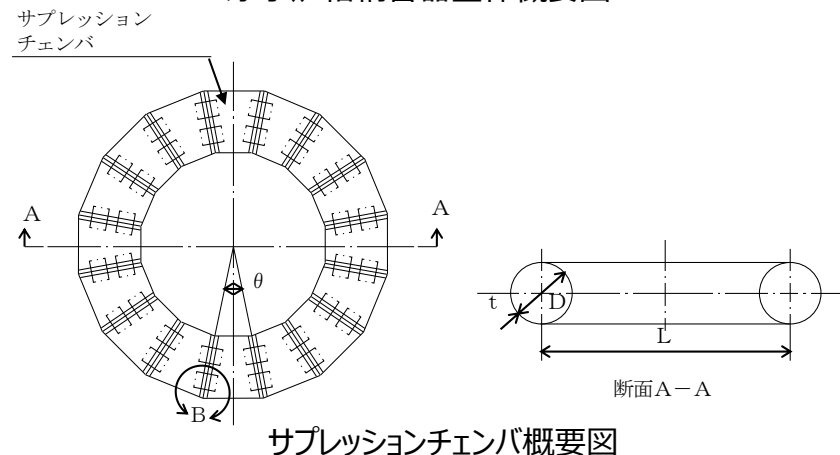
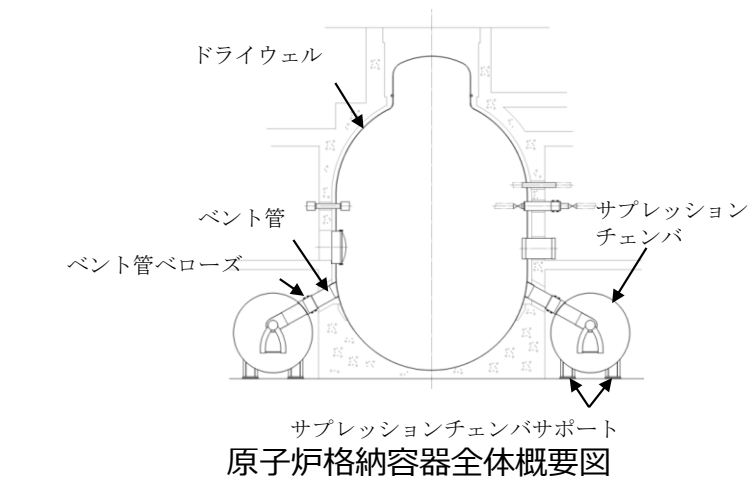
- 16セグメントの円筒を繋ぎ合わせた円環形状容器であり、各セグメントの継ぎ目に2箇所ずつ設けられた全32箇所の支持脚（以下「サプレッションチェンバサポート」という。）により、原子炉建物基礎版上に自立している。
- ドライウェルとベント管を介して接続されており、ベント管に設けられたベント管ベローズにより相対変位を吸収する構造である。
- 自由表面を有する内部水が貯留されている。

島根2号炉サプレッションチェンバ諸元

項目	内容	備考
耐震クラス	Sクラス	
設置建物	原子炉建物	
設置高さ	EL.1300 mm	基礎版上
主要寸法	D	記号は図中に示す
	L	
	t	
	θ	
内部水量	通常運転範囲の上限値 (H. W. L)	
	重大事故時水位 (S s) 注1	
	重大事故時水位 (S d) 注2	

注1 重大事故後 2×10^{-1} 年 (約70日) 以降で基準地震動 S s と組み合わせる水位

注2 重大事故後 $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年 (約3.5~70日) で弾性設計用地震動 S d と組み合わせる水位



論点Ⅱ－5：サブレーション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

2. 既工認と今回工認の耐震評価手法（3）

2.3 既工認と今回工認の耐震評価手法の比較

・ 島根2号炉のサブレーションチェンバの耐震評価における既工認からの変更は以下のとおり。

- ① 水平方向の地震荷重算出は、より現実的な内部水による地震荷重を考慮するため、サブレーションチェンバの内部水質量に対して有効質量を適用
- ② 有効質量の適用に伴い、スロッシング荷重を流体解析により個別評価

既工認と今回工認の比較

項目		既工認	今回工認 ^{注1}	変更理由	
荷重評価	地震荷重算出に考慮する質量	水平	鋼材質量＋ 水質量（全質量）	鋼材質量＋ 水質量（ <u>有効質量</u> ）	現実的な水の地震荷重を 評価するため
		鉛直	鋼材質量＋ 水質量（全質量）	同左	－
	スロッシング荷重		注2	個別評価	有効質量の適用に伴いス ロッシング荷重を個別評価
	死荷重（自重）に考慮する質量		鋼材質量＋ 水質量（全質量）	同左	－
	地震荷重 解析手法	水平	動的解析（スペクトルモーダル解 析等）	同左	－
		鉛直	静的解析	同左	－
応力評価	応力評価手法		構造解析コードによる解析（本体 部） 公式等による評価（サポート部）	同左	－
	許容応力		J E A G 4 6 0 1に基づく	同左	－

下線部は既工認からの変更点を示す

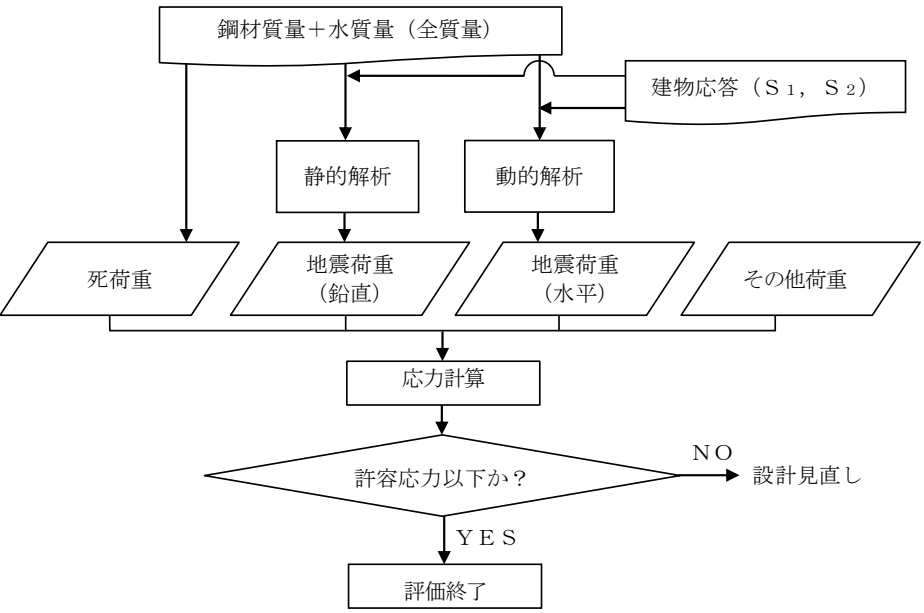
注1 静的地震力による評価は水質量（全質量）を用いて既工認と同様に評価

注2 サブレーションチェンバ内部水全体を剛体とみなし保守的に地震荷重を考慮しており、スロッシング荷重は水平地震荷重に包含される

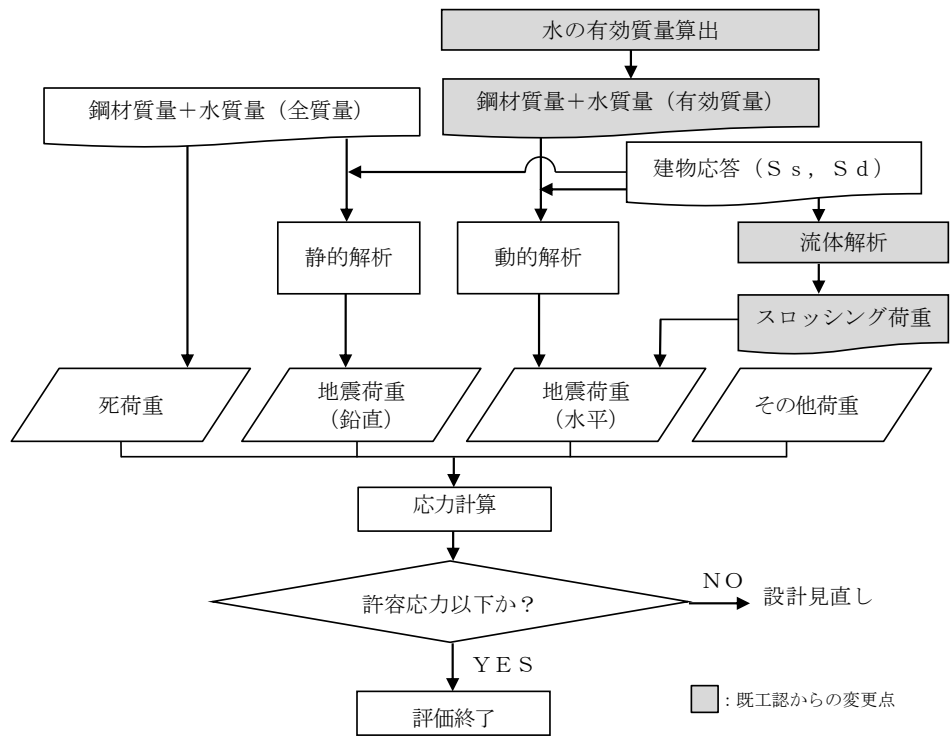
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

2. 既工認と今回工認の耐震評価手法 (4)

既工認



今回工認



■ : 既工認からの変更点

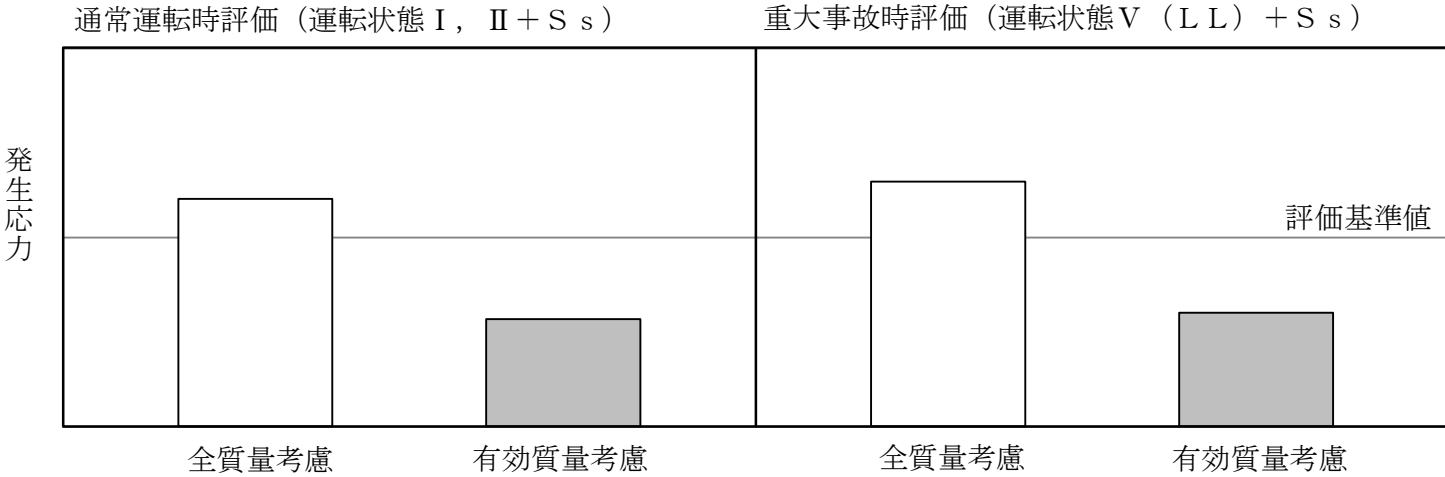
サプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フロー

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

2. 既工認と今回工認の耐震評価手法 (5)

2.4 有効質量を適用する目的と効果

- 容器の内部水が自由表面を有する場合、実際に地震荷重として付加される内部水の質量は、内部水の全質量でなく、一部の質量（有効質量）である。
- この知見に基づいて、島根2号炉の今回工認では、より現実に近いサプレッションチェンバの内部水の挙動を考慮した評価を行うことを目的に、耐震計算における内部水の扱いとして、汎用構造解析プログラムNASTRANを用いて算出した有効質量を適用する。
- 本手法を用いてサプレッションチェンバサポートの構造強度評価を実施する場合、発生応力が低減する見込みである。



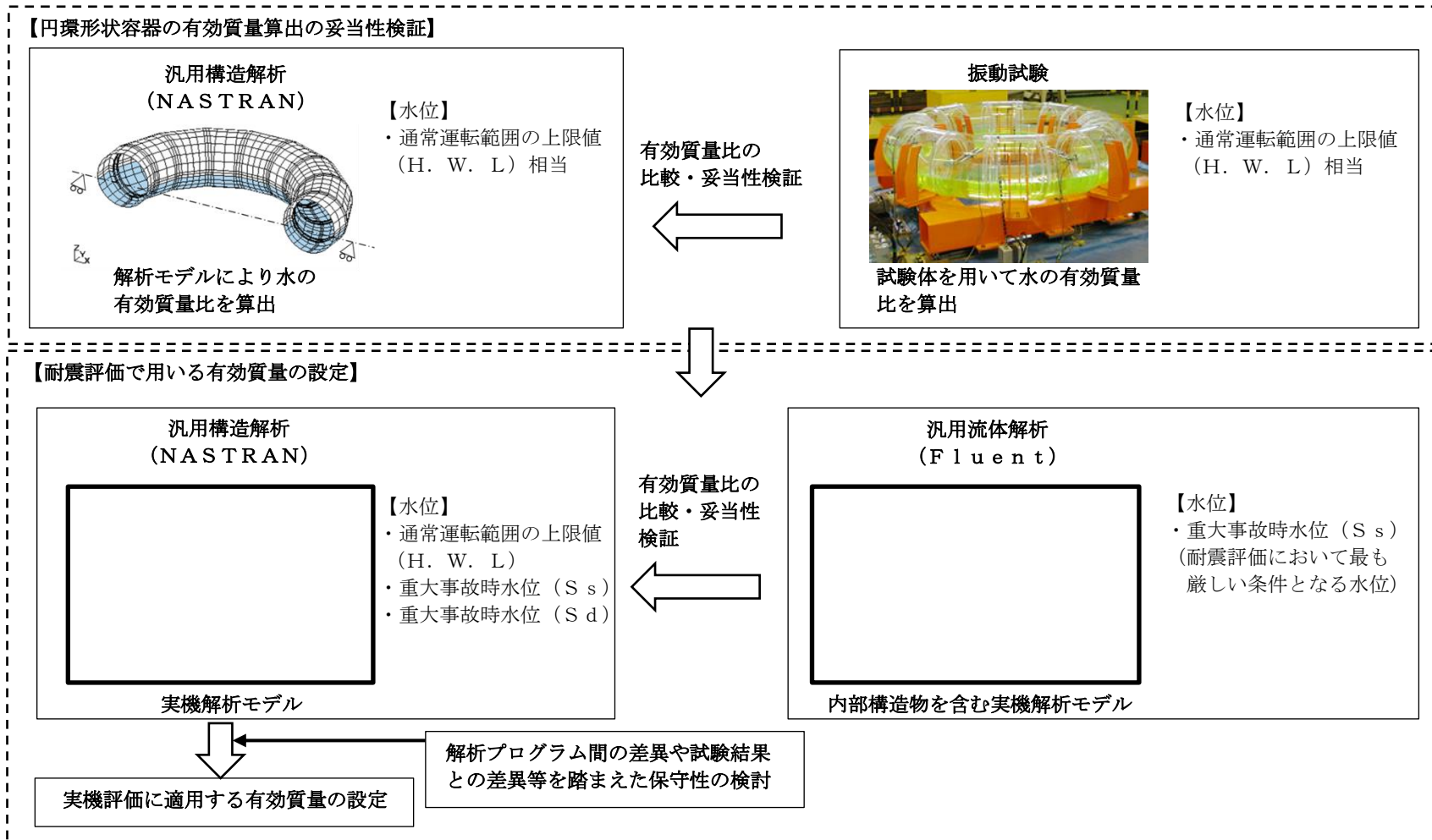
通常運転時及び重大事故時のサプレッションチェンバサポートの評価の見通し

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

3. 有効質量の適用方針 (1)

3.1 概要

- 汎用構造解析プログラム N A S T R A N によるサプレッションチェンバ内部水の有効質量算出の妥当性検証及び島根 2 号炉のサプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量の設定の流れを以下に示す。



論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

3. 有効質量の適用方針 (2)

3.2 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証

・ 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証の流れを以下に示す。

- ① サプレッションチェンバ解析モデルを作成し， N A S T R A Nにより有効質量比を算出
- ② 縮小試験体を用いて振動試験を行い， 試験データから有効質量比を算出
- ③ 上記①， ②で得られた有効質量比※を比較し， N A S T R A Nで算出した円環形状容器の内部水の有効質量比の妥当性を検証

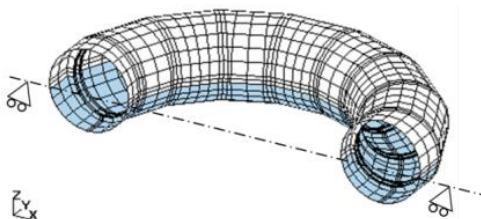
※ 以下の式により算出する。

$$(\text{有効質量比}) = \frac{(\text{実際に地震荷重として付加される内部水の質量 (= 内部水の有効質量))}{(\text{内部水の全質量})}$$

【円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証】

①

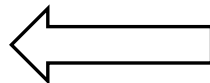
汎用構造解析
(N A S T R A N)



解析モデルにより水の
有効質量比を算出

③

有効質量比の
比較・妥当性検証



②

振動試験



試験体を用いて水の有効質量
比を算出

※円環形状容器の代表として島根1号炉サプレッションチェンバを選定

有効質量設定の流れ

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

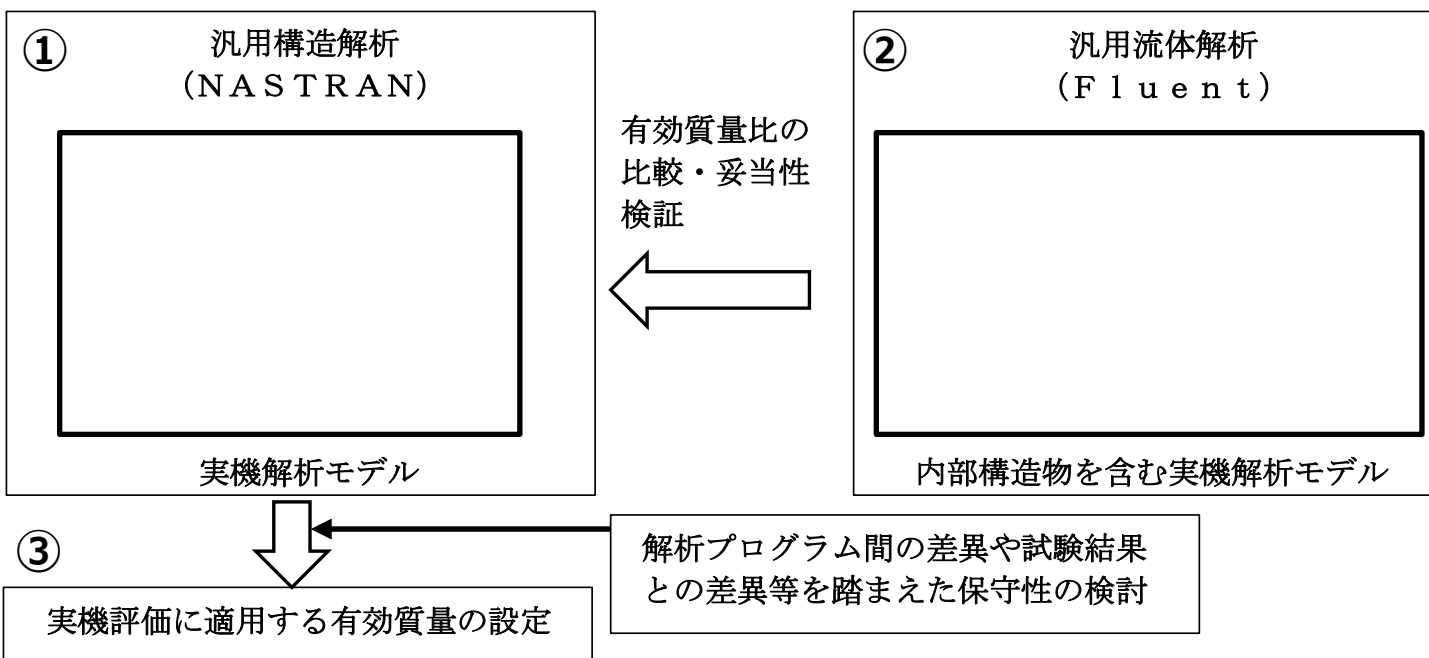
3. 有効質量の適用方針 (3)

3.3 耐震評価に用いる有効質量の設定

・ サプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量の設定法を以下に示す。

- ① 第3.2項により妥当性を確認した N A S T R A N を用いて、島根 2 号炉の実機解析モデルにより有効質量比を算出
- ② N A S T R A N の実機解析の妥当性を検証するため、汎用流体解析コード F l u e n t を用いて、島根 2 号炉の主要な内部構造物をモデル化した実機解析モデルにより有効質量比を算出し比較
- ③ N A S T R A N に対する流体解析及び振動試験の値の差異等を踏まえ、N A S T R A N で算出された値の保守性を検討し、島根 2 号炉の実機評価に適用する有効質量を設定

【耐震評価で用いる有効質量の設定】



論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

4. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証（1）

4.1 構造解析による有効質量比の算出

- 円環形状容器の内部水の有効質量は、N A S T R A Nにて算出可能であり、入力波によらず、容器の構造（形状及び寸法）と内部水の水位により有効質量が定まる。なお、N A S T R A Nで算出される有効質量には、スロッシング荷重は考慮されない。
- 島根 1 号炉サプレッションチェンバを円環形状容器の代表として妥当性検証の対象とする。
- 解析モデルはサプレッションチェンバの通常運転範囲の上限値（H.W.L）相当を設定し、サプレッションチェンバシェル及び強め輪をモデル化対象とする。

N A S T R A Nによる
有効質量比の算出結果

項目	算出結果
有効質量比	0.21

構造解析モデル

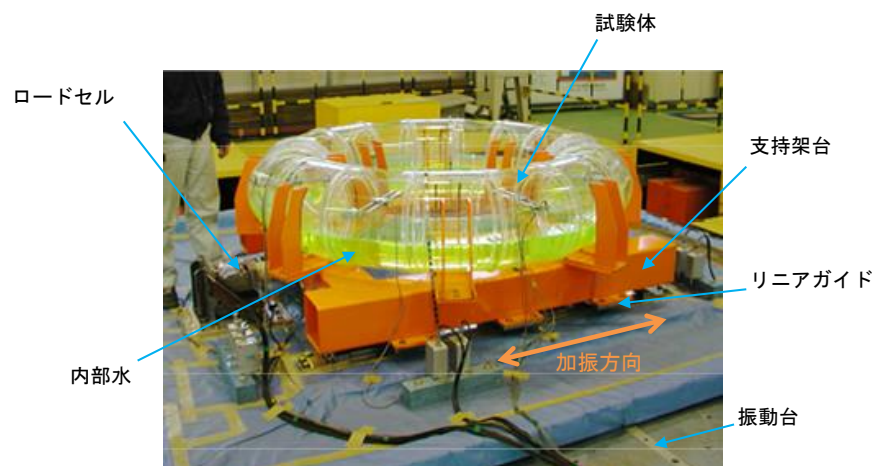
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

4. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証 (2)

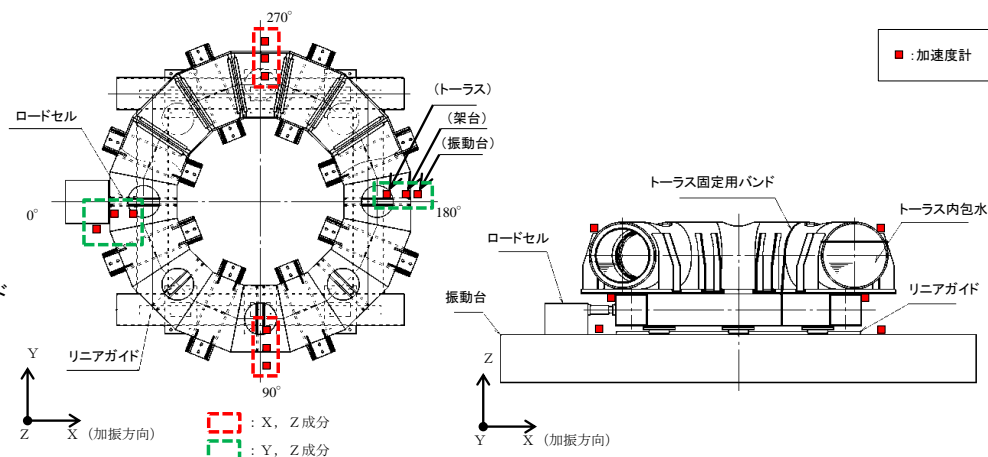
4.2 振動試験 (試験体)

- 円環形状容器の内部水の有効質量算出にNASTRANを用いることの妥当性を検証するため、試験体を用いて振動試験を行う。
- 試験体は実機（島根1号炉）サプレッションチェンバの1/20とし、材質は内部水の挙動を確認するためアクリルにて製作し、サプレッションチェンバシェル及び強め輪を試験体として模擬する。
- 振動台の上に試験体を支持する架台を設け、振動台と架台の間には加振方向に2本のリニアガイドを並行に配置し、試験体及び架台が加振方向に移動できる構造とした。
- 試験体及び架台はロードセルを介して振動台に固定されるため、試験体及び架台の振動応答による水平方向反力はロードセルで確認することができる。

【研究体制】中国電力(株), (株)日立製作所
 【研究時期】平成14年度
 【試験場所】日立製作所機械研究所



試験装置写真



試験装置概要

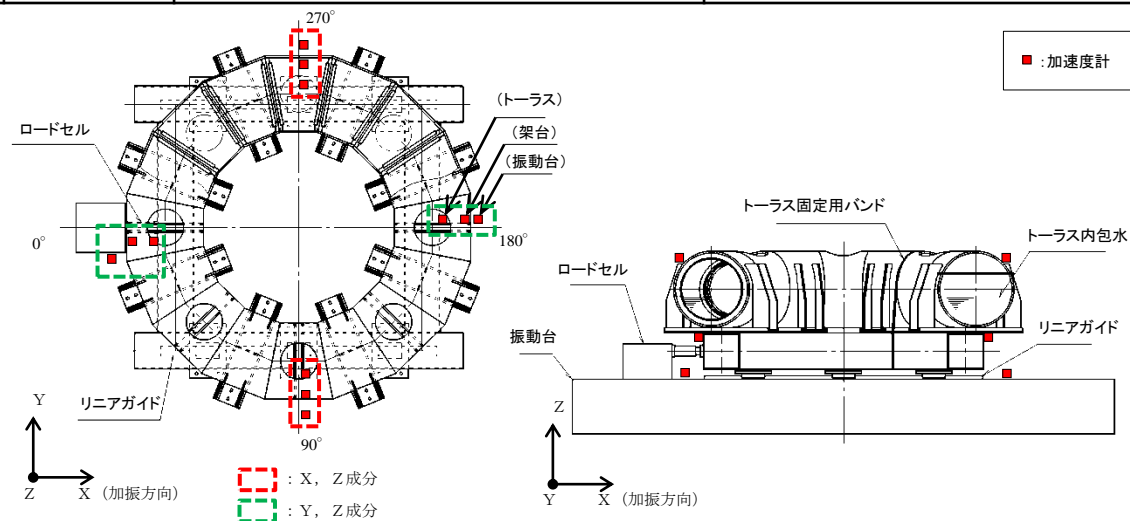
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

4. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証 (3)

4.2 振動試験 (計測項目及び計測機器設置位置)

計測項目

計測項目	計測機器	位置	計測チャンネル数 (設置位置)
反力	ロードセル	振動台 - 架台間	X成分
加速度	加速度計	振動台上	X成分 : 2 (90°, 270°) Y成分 : 2 (0°, 180°) Z成分 : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)
		架台上	X成分 : 2 (90°, 270°) Y成分 : 2 (0°, 180°) Z成分 : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)
		試験体上	X成分 : 2 (90°, 270°) Y成分 : 2 (0°, 180°) Z成分 : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)



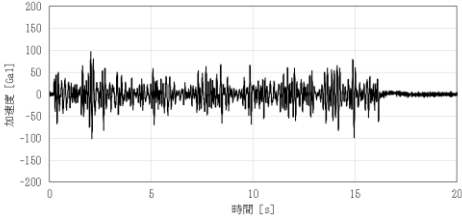
計測機器設置位置

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

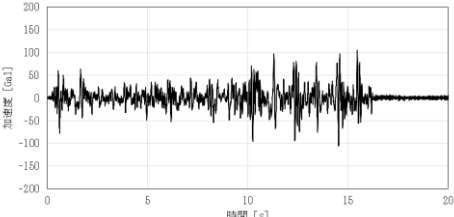
4. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証 (4)

4.2 振動試験 (試験条件)

- 振動台への入力波として, スロッシング周期帯に加速度成分を含まないランダム波 A 及びスロッシング周期帯に加速度成分を含むランダム波 B の模擬地震波を適用。
- それぞれのランダム波の最大応答加速度を100Gal, 200Gal, 300Gal, 400Galとする4ケースの試験を実施。
- 試験水位レベルは, 内部水なし, 内部水あり (H. W. L相当) の計 2 ケースとする。

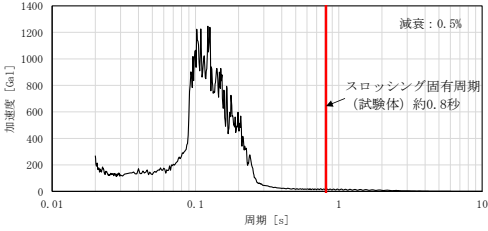


ランダム波 A

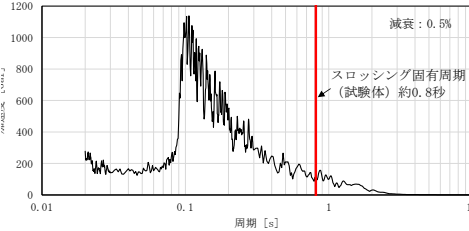


ランダム波 B

振動台加速度時刻歴波形

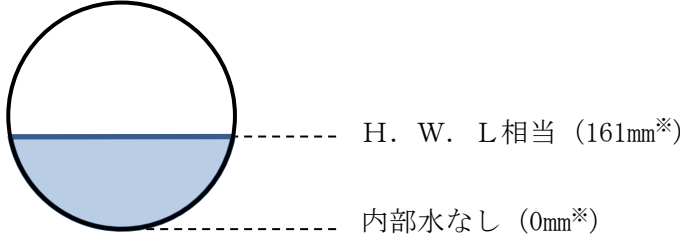


ランダム波 A



ランダム波 B

振動台応答加速度スペクトル



※試験体底面からの高さ

試験水位レベル

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

4. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証 (5)

4.2 振動試験 (試験結果)

- 計測荷重 F と架台上の計測加速度 (=試験体への入力加速度) との関係は、下記の運動方程式で表されるため、試験体 (構造体) の質量 M と内部水の有効質量 M_E の合計値 ($M + M_E$) は、計測加速度 \ddot{x} に対する計測荷重 F の比 (傾き) となる
- 内部水ありの試験結果及び内部水なしの試験結果の計測加速度 \ddot{x} と計測荷重 F の関係から回帰直線の傾きをそれぞれ求め、両者の回帰直線の傾きの差から内部水の有効質量が算出可能

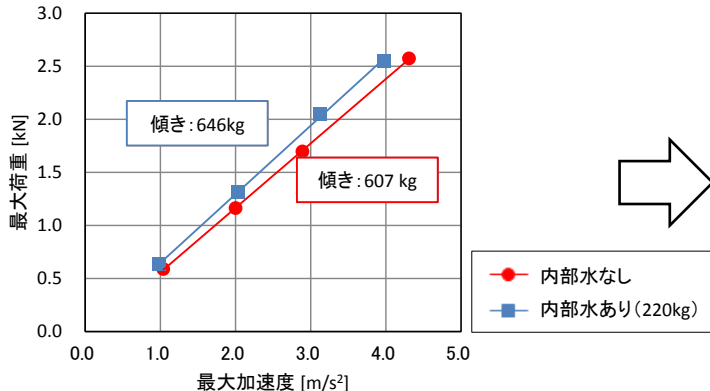
【運動方程式】

$$F = (M + M_E) \ddot{x}$$

ここで、

M : 試験体の質量

M_E : 内部水の有効質量



傾き差 : $M_E =$ 有効質量

$$\text{有効質量比} = \frac{\text{有効質量}}{\text{内部水の全質量}}$$

振動試験から算出した有効質量比

入力地震波	有効質量比
ランダム波 A	0.18
ランダム波 B	0.20

振動試験における最大加速度と最大荷重の関係 (ランダム波 A)
及び有効質量比の算出方法

論点Ⅱ－５：サブレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

４．円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証（６）

4.3 妥当性検証

- 入力波の特性に関係なく、容器の形状及び水位により有効質量比が定まるN A S T R A Nにより算出した有効質量比に対し、内部水の流動を直接考慮した振動試験から算出した有効質量比が同等であることを確認したことから、N A S T R A Nにより算出される有効質量比は妥当であると考えられる。
- 内部水の密度は 1000kg/m^3 として、実際の内部水温度を考慮した密度に対して大きい値を適用し、有効質量が保守的に算出される条件を適用する。

各方法による有効質量比の評価結果

項目	N A S T R A N	振動試験	
		ランダム波A	ランダム波B
有効質量比	0.21	0.18	0.20

論点Ⅱ－5：サブプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

5. 耐震評価に用いる有効質量の設定（1）

5.1 実機の有効質量比の算出（1 / 2）

- 円環形状容器の内部水に対する有効質量比の妥当性を確認した N A S T R A N を用いて、島根 2 号炉の実機サブプレッションチェンバの内部水に対する有効質量（通常運転範囲の上限値（H. W. L）、重大事故時水位（S s）及び重大事故時水位（S d））を算出する。

重大事故時水位（S s）：重大事故後 2×10^{-1} 年（約70日）以降で基準地震動 S s と組み合わせる水位

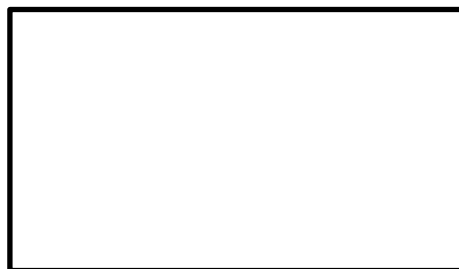
重大事故時水位（S d）：重大事故後 $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年（約3.5～70日）で弾性設計用地震動 S d と組み合わせる水位

（重大事故時におけるサブプレッションチェンバの水位条件は「重大事故等対処設備について 補足説明資料 39条地震による損傷の防止 39-4 重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」により審査中。）

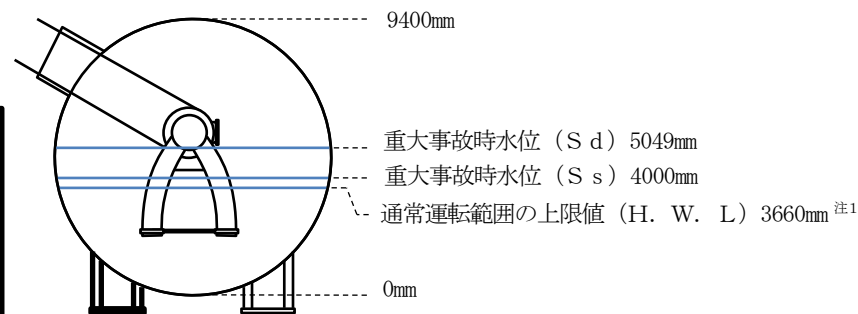
- 通常運転時におけるサブプレッションチェンバの耐震評価においては、保守的な評価条件として重大事故時水位（S s）における内部水の有効質量を適用する。
- 内部水の流動影響を確認するため、内部構造物をモデル化した F l u e n t により算出した有効質量比と比較し、妥当性を確認する。



N A S T R A N の実機解析モデル



F l u e n t の実機解析モデル



注1 通常運転時の耐震評価では重大事故時水位（S s）を適用

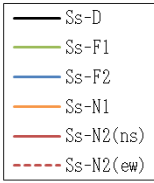
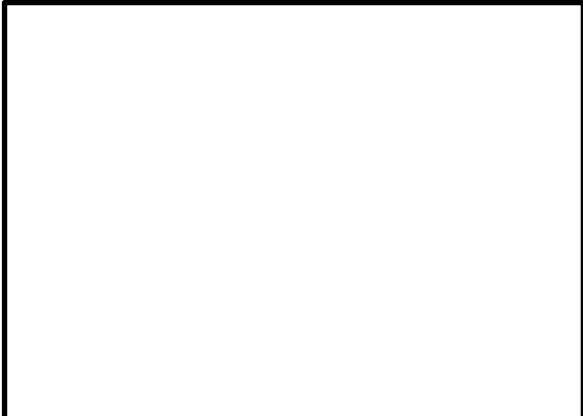
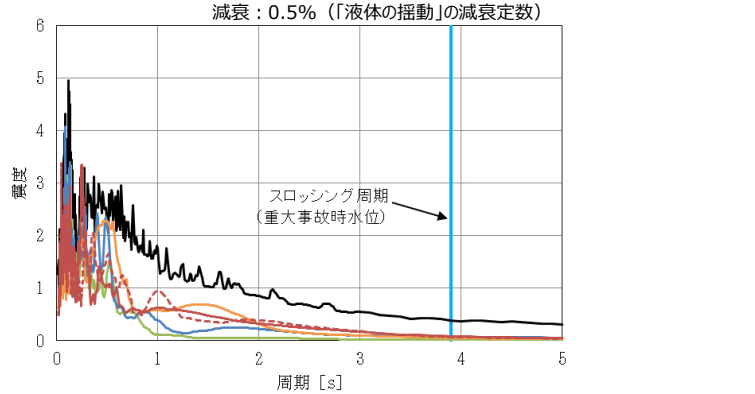
解析水位ケース

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

5. 耐震評価に用いる有効質量の設定 (1)

5.1 実機の有効質量比の算出 (2 / 2)

- F l u e n t の入力地震動は、スロッシングの固有周期帯の応答加速度及び設備の固有周期帯の応答加速度が大きい S s - D を用いる。
- F l u e n t において適用する水位条件は、サプレッションチェンバの耐震評価において最も厳しい条件となる、重大事故時に基準地震動 S s と組み合わせる水位 (重大事故時水位 (S s)) とする。
- N A S T R A N により算出した有効質量比は F l u e n t から得られる有効質量比と同程度の値となっている。



サプレッションチェンバ床の応答加速度スペクトル

島根 2 号炉の実機有効質量比算出結果

水位	実機解析モデル ^{注3}	
	N A S T R A N	F l u e n t
通常運転範囲の上限値 (H . W . L) ^{注2}	0.22	—
重大事故時水位 (S s)	0.23	0.23
重大事故時水位 (S d)	0.28 ^{注1}	—

- 注 1 内部構造物を含まない条件による有効質量比を参考として示す。
- 注 2 通常運転時におけるサプレッションチェンバの耐震評価においては、保守的な評価条件として重大事故時水位 (S s) における内部水の有効質量を適用する。
- 注 3 実際の内部水温度を考慮した密度に対して大きい値を適用し、有効質量が保守的に算出される条件を適用する。

論点Ⅱ－５：サブプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

5. 耐震評価に用いる有効質量の設定（２）

5.2 実機評価に適用する有効質量

- N A S T R A N及び振動試験により算出した有効質量比は同等であり，N A S T R A Nの値が保守的な傾向を示す。
- 実機解析モデルに対する有効質量比はN A S T R A Nと流体解析の算出結果が同等の値として得られている。
- 容器構造設計指針・同解説に記載されている球形タンク及び円筒タンクの有効質量比に対して，N A S T R A Nを用いて有効質量比の確認解析を実施したところ，いずれのタンクに対しても有効質量比がほぼ一致している，若しくはN A S T R A Nの値が保守的な傾向となっている。
- したがって，島根２号炉の地震応答解析に考慮する有効質量は，N A S T R A Nにより算出される有効質量比が，他評価手法に対して一致もしくはおおむね保守的な傾向（有効質量比が大きくなる）を示すことから，N A S T R A Nにより算出される有効質量を適用する。

各方法による有効質量比の評価結果（再掲）

項目	N A S T R A N	振動試験	
		ランダム波A	ランダム波B
有効質量比	0.21	0.18	0.20

島根２号炉の実機有効質量比算出結果（再掲）

水位	実機解析モデル ^{注3}	
	N A S T R A N	F l u e n t
通常運転範囲の上限値（H. W. L） ^{注2}	0.22	—
重大事故時水位（S s）	0.23	0.23
重大事故時水位（S d）	0.28 ^{注1}	—

注1 内部構造物を含まない条件による有効質量比を参考として示す。

注2 通常運転時におけるサブプレッションチェンバの耐震評価においては，保守的な評価条件として重大事故時水位（S s）における内部水の有効質量を適用する。

注3 実際の内部水温度を考慮した密度に対して大きい値を適用し，有効質量が保守的に算出される条件を適用する。

注1 液量率 = 液体の体積 / 球形タンクの容積

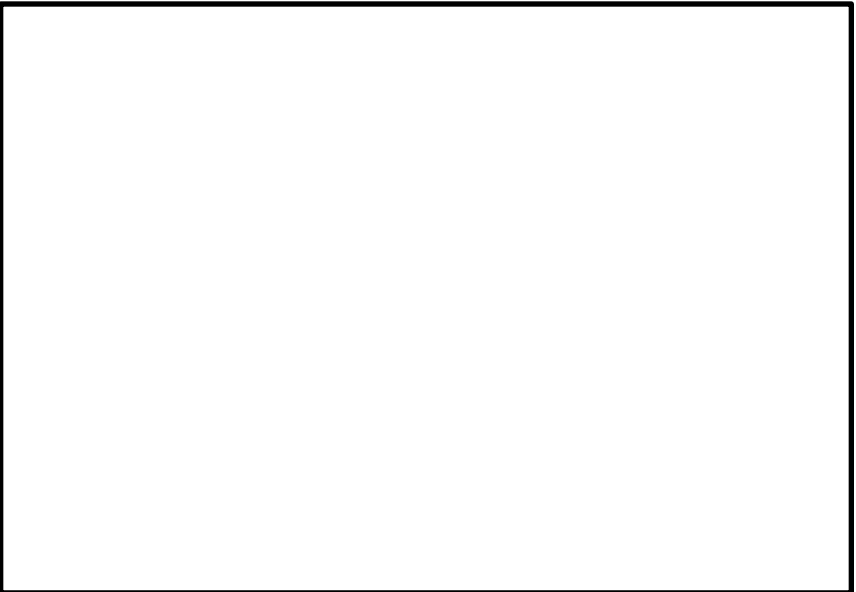
注2 容器指針の有効質量比は試験により得られている。

球形タンクの有効質量比


論点Ⅱ－5：サブレーション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

6. 今回工認の地震応答解析

- ・ 島根2号炉サブレーションチェンバの耐震評価は既工認と同様に、3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析により地震荷重を算出する。
- ・ サブレーションチェンバ内部水の有効質量は、NASTRANの実機解析モデルにより算定された各要素の有効質量及び位置（高さ）を考慮し、サブレーションチェンバシェル（はり要素による3次元解析モデル）の各質点に付加（縮約）する。
- ・ 水平方向の地震荷重に考慮するスロッシング荷重は、流体解析により個別に評価する。



サブレーションチェンバ地震応答解析モデル全体図
（動的地震力）



サブレーションチェンバ地震応答解析モデル断面概略図
（動的地震力）

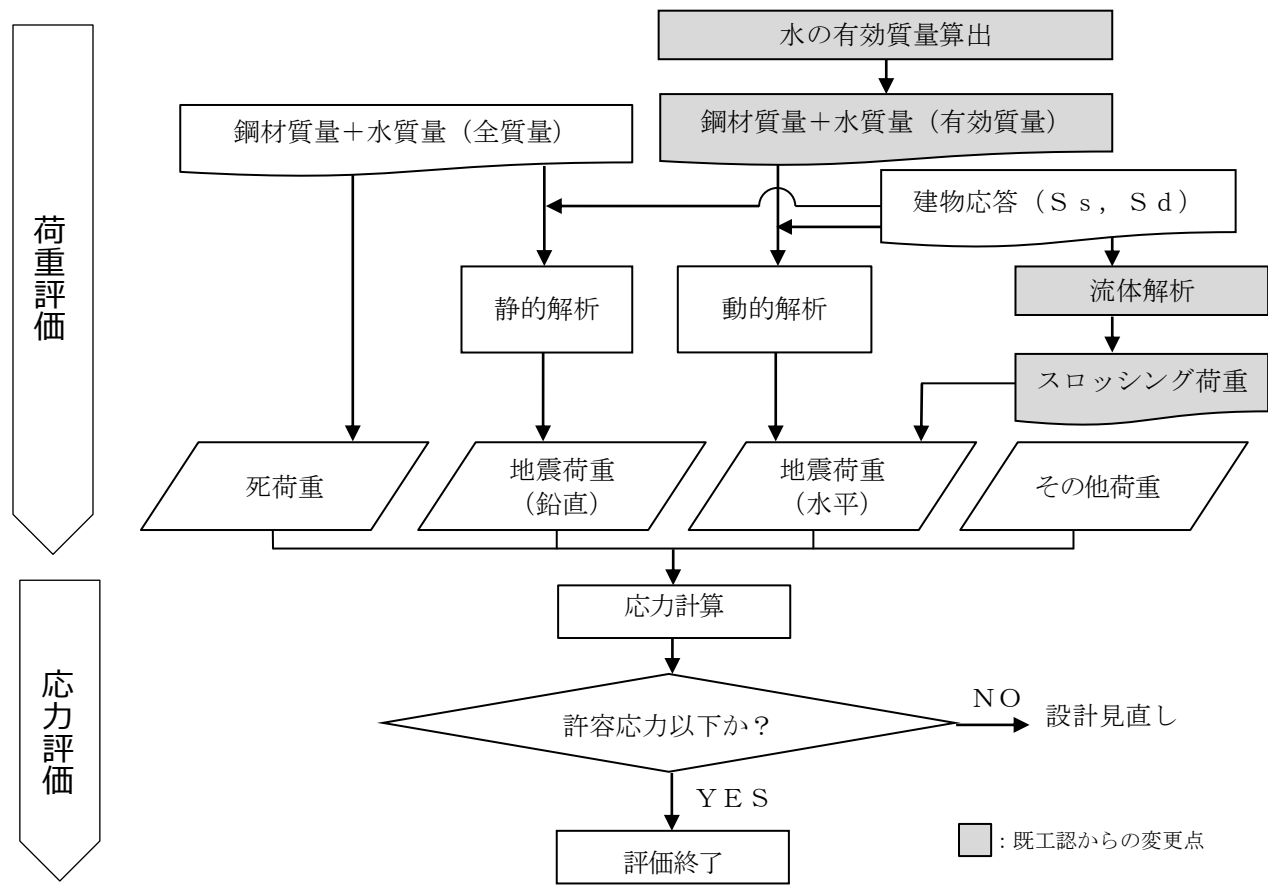
論点Ⅱ－5：サブレーション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

7. まとめ

- ・ 島根2号炉サブレーションチェンバの水平方向の地震応答解析に用いるサブレーションチェンバの内部水質量に対して汎用構造解析プログラムNASTRANを用いて算出した有効質量を適用する。この妥当性を確認するため、以下に示す比較・検証を行い、NASTRANから算出される有効質量が試験及び他の評価手法と同等若しくは、概ね保守的な傾向を示すことを確認した。
 - ・ 振動試験体を用いて算出した有効質量比との比較・検証
 - ・ 実機解析モデルに対してFluentから算出される有効質量比との比較・検証
 - ・ 容器構造設計指針・同解説の球形タンク等の有効質量と比較
- ・ サブレーションチェンバの評価に用いるスロッシング荷重は、流体解析により個別評価する。

別添

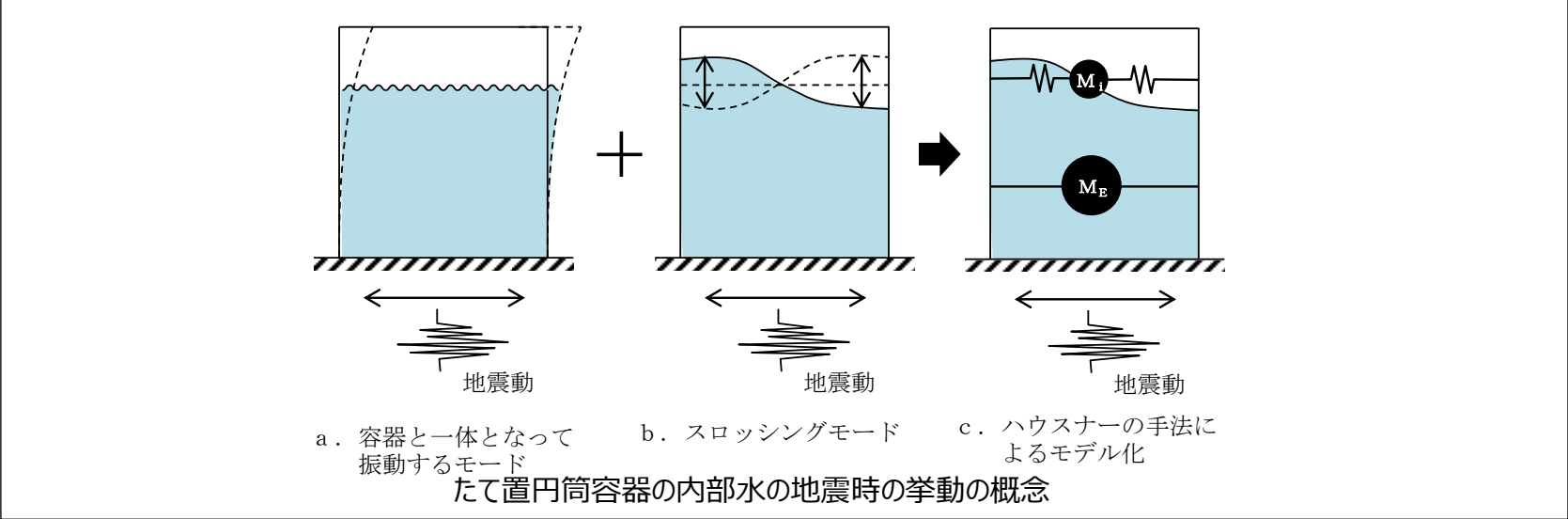
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添1 既工認からの変更点と目的



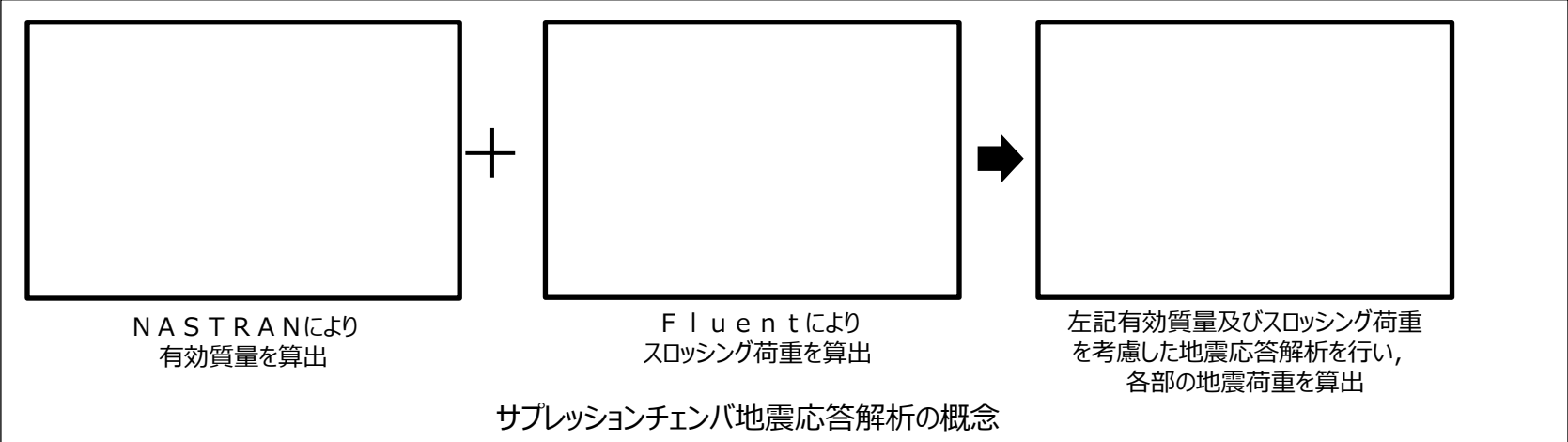
既工認からの変更点	目的
①有効質量の適用	現実的な水の地震荷重を評価するため、NASTRANを用いて算出した有効質量を適用する。
②スロッシング荷重の個別評価	地震荷重算定に有効質量を適用するため、地震時の内部水の挙動を考慮し、流体解析によりスロッシング荷重を算出する。

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添2 内部水の地震時の挙動の概念

【ハウスナーの考え方^[1]】



【今回工認で適用】

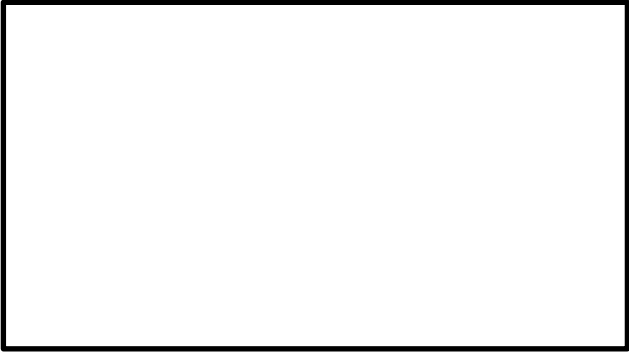


参考文献 [1] : Housner, G. W.: Nuclear Reactors And Earthquakes, TID Rep. 7024, 1963.

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添3 実機スロッシング荷重の算定方法

- 今回工認では水平方向の地震荷重算出に有効質量を適用するため、地震時の内部水の挙動を考慮し、スロッシング荷重を流体解析により算出し、スロッシング荷重の最大値をサプレッションチェンバ等の耐震評価に考慮する。



解析モデル図

解析条件

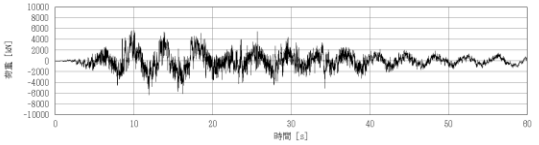
項目	内容
モデル化範囲	サプレッションチェンバ内
水位	重大事故時水位 (S s)
評価用地震動	基準地震動 S s (水平方向と鉛直方向) に対する原子炉建物基礎版上の建物床応答
解析コード	Fluent Ver.18.2 (汎用流体解析コード) VOF法を用いた流体解析
その他	内部構造物のモデル化範囲：ベントヘッダ、ダウンカマ、クエンチャ、ECCSストレナー

【運動方程式】

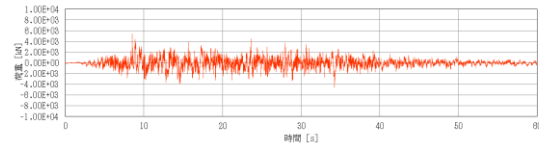
$$F_s = F - M_E \cdot \ddot{x}$$

ここで、

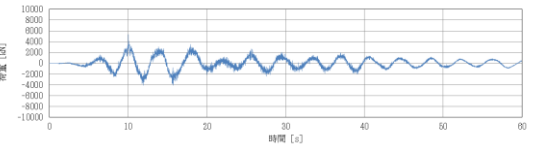
- F : Fluentで算出される荷重
- F_s : スロッシング荷重
- M_E・ \ddot{x} : 容器と一体となって振動するモードによる荷重
- M_E : 有効質量
- \ddot{x} : 入力加速度



Fluentで算出される荷重



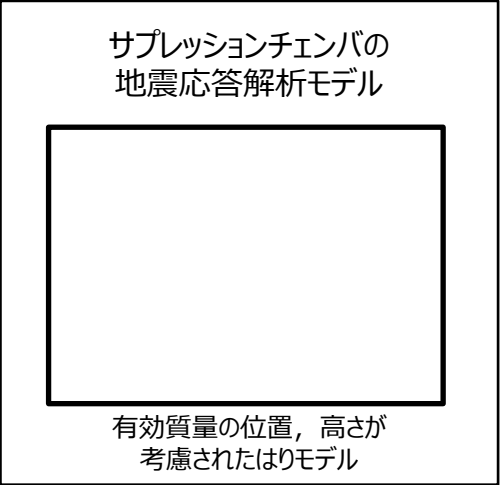
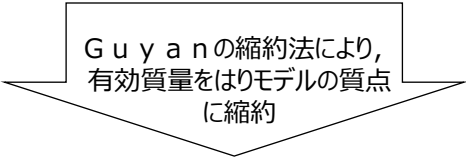
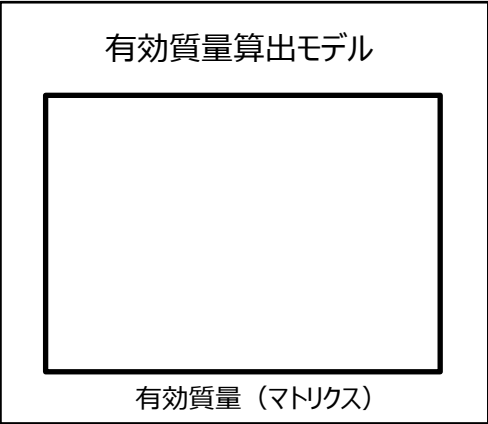
容器と一体となって振動するモードによる荷重



スロッシング荷重

各モードの荷重時刻歴例
(S s – D, 重大事故時水位 (S s))



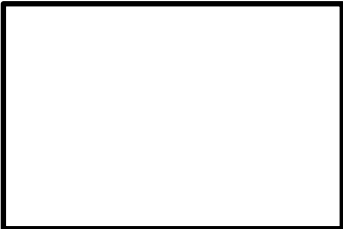
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添4 サプレッション・チェンバ内部水のはりモデルへの考慮方法



G u y a n の縮約法のイメージ

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添5 今回工認のサプレッション・チェンバの耐震設計への配慮

既工認からの変更点	検討内容	検討結果	設計への配慮事項
①有効質量の適用 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ N A S T R A Nにより算出される有効質量の妥当性 ・試験体を用いた振動試験結果との比較・検証 ・実機解析モデルに対して F l u e n t から算出される有効質量との比較・検証 ・容器構造設計指針・同解説に示される球形タンク等の有効質量との比較 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ N A S T R A Nにより算出される有効質量が試験及び他の評価手法と同等若しくは保守的な傾向を示すことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ N A S T R A Nにより算出される有効質量は保守的に算定される傾向であるため、地震応答解析には N A S T R A Nにより算出される有効質量を適用 ➢ 有効質量によりサプレッションチェンバの固有周期が変動することが考えられるため、地震応答解析に用いる床応答スペクトルとの関係にも配慮する
②地震応答解析手法の変更 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ N A S T R A Nにより算出された有効質量の3次元はりモデルへの設定方法（G u y a nの縮約法）の妥当性 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 実機応答解析モデルにおいて G u y a nの縮約有無による応答解析結果の比較により妥当性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ G u y a nの縮約法を適用する
③スロッシング荷重の個別評価 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 流体解析（F l u e n t）によるスロッシング荷重の算定 ➢ 地震荷重とスロッシング荷重の比較 ➢ スロッシング荷重に対する入力地震動、入力方向の組合せ及び水位条件の影響 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ F l u e n tの荷重時刻歴からスロッシング荷重を算出可能であることを確認 ➢ スロッシング荷重は地震荷重に比べて十分に小さいことを確認 ➢ 各評価条件に対してスロッシング荷重は地震荷重に比べて十分に小さいことを確認。また、水平1方向+鉛直方向によるスロッシング荷重の$\sqrt{2}$倍は、水平2方向+鉛直方向のスロッシング荷重よりも保守的に算出されることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ F l u e n tにより算出されるスロッシング荷重は水平1方向+鉛直方向のスロッシング荷重の$\sqrt{2}$倍の荷重を考慮することにより保守的に算出する ➢ 地震荷重とスロッシング荷重の最大値が発生する時刻は互いに異なると考えられるが、保守的に各荷重の最大値を組み合わせる ➢ 地震荷重とスロッシング荷重の最大値は入力地震動によって異なるが、保守的に各荷重の最大値を組み合わせる

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添6 解析モデルの相違点を踏まえた設計反映事項

項目	実機と今回評価に用いる解析モデルの相違点					設計への反映事項	
	相違点	寸法・形状		水位	流動		地震動
		内部構造物	強め輪				
① 有効質量の適用 ①-1 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証  NASTRAN (振動試験体モデル) / 振動試験体	相違あり (縮小モデルで実施) 有効質量への影響なし (容器の形状及び水位により定まる)	相違なし	相違あり (内部構造物なし) 有効質量への影響なし (実機では内部構造物を考慮(「5.1.1 NASTRANの実機解析モデル」参照))	相違あり (通常運転範囲の上限値相当の水位で実施) 有効質量への影響なし (実機解析で水位をモデル化(5.1.1 NASTRANの実機解析モデル」参照))	相違なし (振動試験で流動を考慮)	相違あり (試験用地震波を適用) 有効質量への影響なし (異なる地震波により同程度の結果が得られることを確認(「参考資料3」参照))	> 実機と今回評価に用いる解析モデルの相違点に対する検討結果から、NASTRANにより算出される有効質量は適切に算出されるため、地震応答解析には、NASTRANにより算出される有効質量を適用し、地震荷重を算出する。 > 有効質量によりサプレッションチェンバの固有周期が変動することが考えられるため、地震応答解析に用いる床応答スペクトルとの関係にも配慮する。
①-2 耐震評価で用いる有効質量の設定  NASTRAN (実機解析モデル)	相違なし	相違なし	相違なし	相違あり (重大事故時水位を適用) 有効質量への影響あり(保守的) (通常運転範囲の上限値よりも保守的な条件を設定)	相違あり (考慮しない) 有効質量への影響なし (流体解析(Fluent)と同程度であることを確認)	相違あり (考慮しない) 有効質量への影響なし (流体解析(Fluent)と同程度であることを確認(「5.1.3 解析結果」参照))	
② 地震応答解析手法  NASTRAN (実機解析モデル)	相違なし	相違なし	相違あり (内部構造物なし) 地震応答解析への影響なし (ベント系はベント管ペローズを介して接続されており、地震応答に与える影響は軽微であることを確認。それ以外の内部構造物は質量として考慮。(「参考資料8」参照))	相違あり (Guyan縮約法を用いて有効質量をモデル化) 地震応答解析への影響なし (Guyan縮約法を用いた地震応答解析モデルは妥当であることを確認。(「別紙4」参照))	相違あり (考慮しない) 地震応答解析への影響なし (水平方向の地震荷重に考慮するスロッシング荷重はFluentにより個別に算出(「6.今回工認の評価手法」及び「別紙3」参照))	相違なし	> 地震応答解析への反映事項はない。 > 地震応答解析では流動を考慮しないため、水平方向の地震荷重に考慮するスロッシング荷重をFluentにより個別に算出する。
③ スロッシング荷重の個別評価  Fluent (実機解析モデル)	相違なし	相違なし	相違なし	相違あり (SA時水位として設定) スロッシング荷重への影響あり(保守的) (通常運転範囲の上限値よりも保守的に算出(「別紙3 4.3.2 スロッシング荷重算定方法」参照))	相違なし	相違あり (水平1方向+鉛直方向) スロッシング荷重への影響あり(保守的) (水平2方向入力による影響が軽微であることを確認(「別紙3 4.3.3 スロッシング荷重及び有効質量に与える各種影響検討」参照))	> 実機と今回評価に用いる解析モデルの相違点に対する検討結果から、Fluentにより算出されるスロッシング荷重は、水平1方向+鉛直方向のスロッシング荷重の√2倍の荷重を考慮することにより保守的に評価する。

※サプレッションチェンバの耐震設計については4条だけではなく3.9条にも該当するため、重大事故時の設計条件も考慮

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添7 サプレッションチェンバの振動モードに対する配慮 (1)

- 薄肉円筒容器の振動モードでは、既往の知見^[1]から3つの振動モードが発生すると言われており、それらの振動モード（特徴）に対してサプレッションチェンバの耐震設計における考え方について整理した。

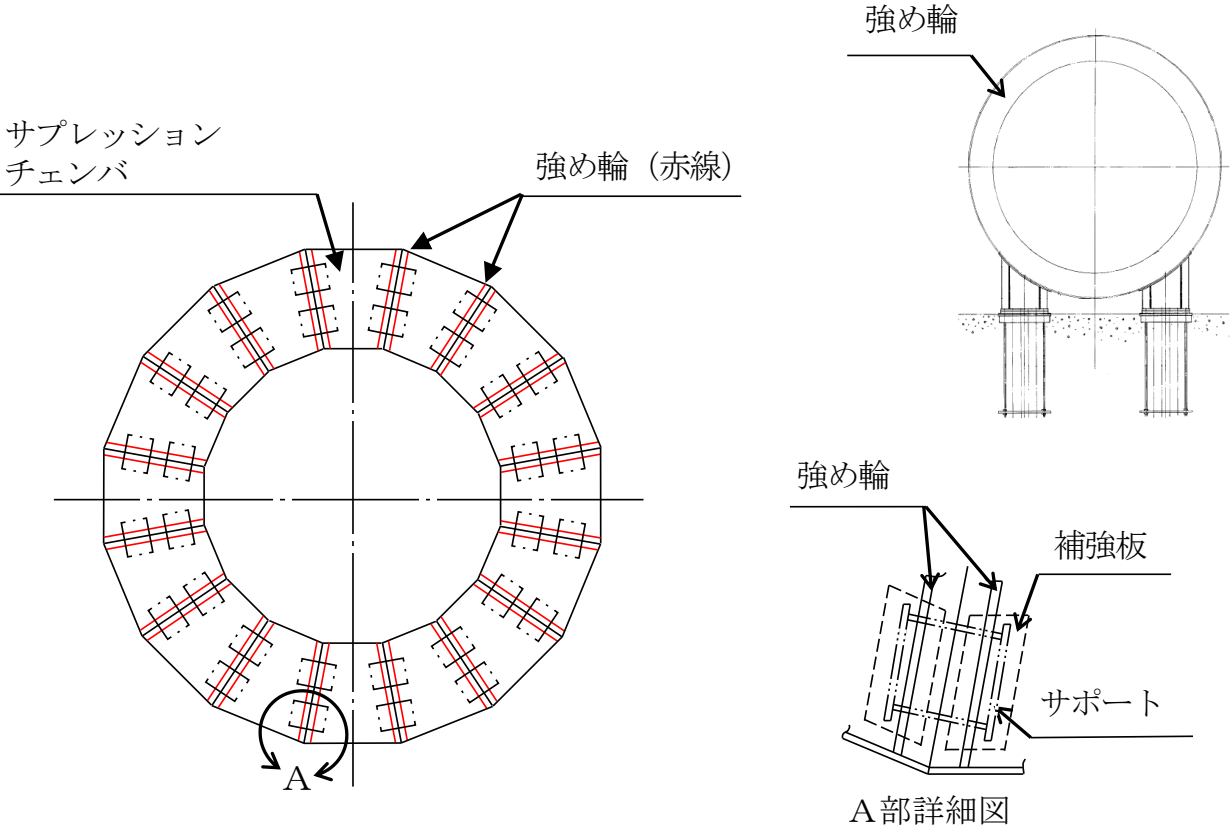
振動モードに対するサプレッションチェンバの耐震設計における配慮

振動モード		振動の特徴	サプレッションチェンバの耐震設計
スロッシング		大きな液面変動を伴い揺動	汎用流体解析コード F l u e n t により算出したスロッシング荷重を考慮
バルジング	ビーム振動	タンクがあたかも梁のように振動	N A S T R A N により算出した有効質量を考慮した3次元はりモデルによる地震荷重を考慮
	オーバル振動	タンク壁面が花びら状に変形する振動	サプレッションチェンバ内部に強め輪（合計32枚）を取り付け、サプレッションチェンバの変形を防止（オーバル振動を抑制）

参考文献[1] 振動試験による円筒形貯水タンクの耐震性評価－動液圧分布の入力加速度依存性について－, INSS JOURNAL, Vol.11, pp.117-128 (2004)

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添7 サプレッションチェンバの振動モードに対する配慮 (2)

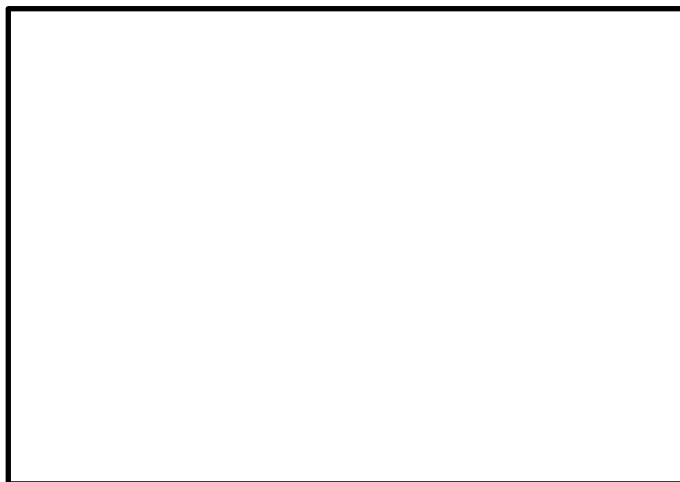
- サプレッションチェンバには座屈防止を目的として、板厚36mmの強め輪が設置されている。
- 強め輪は32枚設置されており、サプレッションチェンバの変形防止（オーバル振動抑制）を図っている



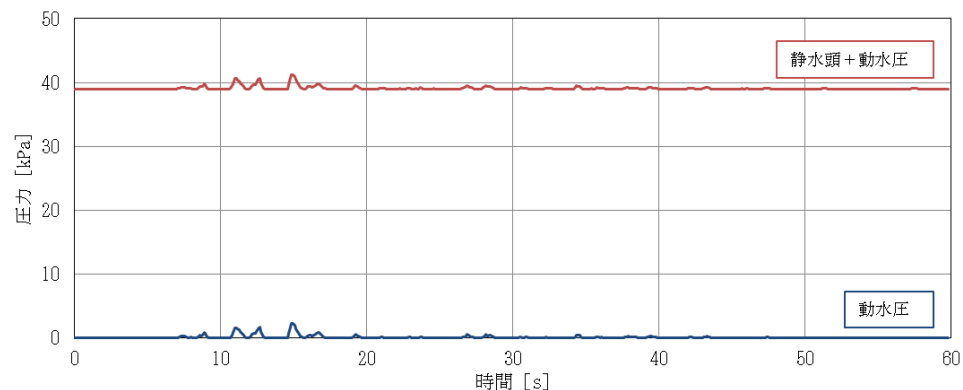
サプレッションチェンバ断面図

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添7 サプレッションチェンバの振動モードに対する配慮 (3)

- F l u e n t によるサプレッションチェンバ内部水の流動解析を実施した結果、局所的な圧力は 3 kPa程度であり、サプレッションチェンバの設計圧力 (427kPa) 及びS A 耐性条件 (853kPa) と比較し、十分に小さく部分的であるため、内部水の流動による局所的な圧力がサプレッションチェンバの地震応答解析に与える影響はない。
- 圧力コンター図に示すような圧力の分布についてはN A S T R A Nにより算出される有効質量分布と同様であり、N A S T R A Nによる有効質量がG u y a nの縮約法により、サプレッションチェンバのはりモデルへ適切に反映される。



サプレッションチェンバの圧力コンター図



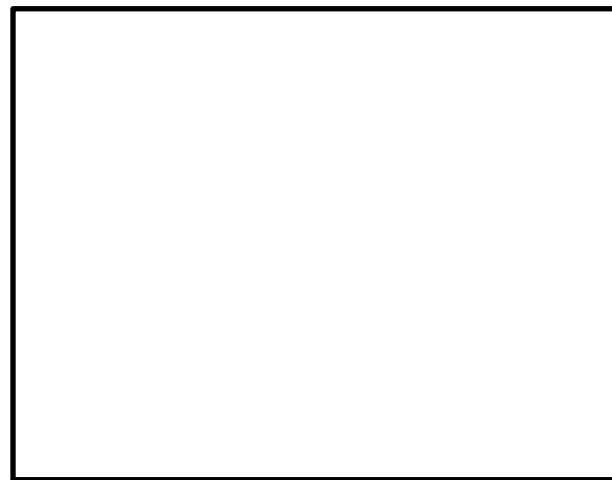
最大圧力発生位置の圧力時刻歴
(S s - D, 重大事故時水位 (S s))

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添7 サプレッションチェンバの振動モードに対する配慮 (4)

- ・ サプレッションチェンバの耐震評価は、強め輪の効果によりオーバル振動が抑制されること、流動によるサプレッションチェンバ内面の局所的な圧力が設計圧力等よりも十分に小さく部分的であることを踏まえると、サプレッションチェンバに有効質量を考慮したはりモデルにより、ビーム振動及び円環の変形を模擬できることから、サプレッションチェンバ各部の地震荷重を算出するのに適した地震応答解析モデルである
- ・ なお、今回工認におけるサプレッションチェンバの耐震評価では、3次元はりモデルを用いた地震応答解析により変位及び荷重を求め、これらを3次元FEM(シェル)モデルに入力し、各評価部位の応力評価を実施する。また、エビ継部に生じる応力を精緻に確認するため、応力評価モデルについては見直しを行う。



地震応答解析モデル



応力解析モデル

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添 8 スロッシングによる内部構造物への影響

- サプレッションチェンバの内部構造物のうち表面積が大きく、スロッシング荷重の影響が大きいと考えられるダウンカム（重大事故時水位（ S_s ））を代表として、水平1方向入力及び水平2方向入力によるスロッシング荷重を比較し、その影響を確認した
- スロッシングによる内部構造物への影響は、サプレッションチェンバに関連する設備に対するスロッシング影響検討の要否を整理した結果を踏まえ、影響検討を必要とした設備について工認段階で詳細に説明する方針

【影響確認結果】

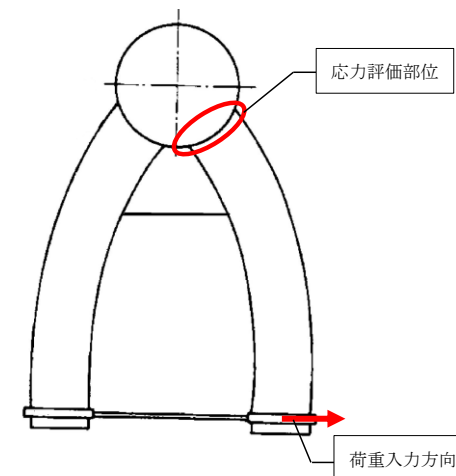
- 水平2方向入力によるスロッシング荷重は、水平1方向入力によるスロッシング荷重（水平1方向荷重の $S_R S_S$ ）よりも小さく、設計基準事故に想定されるダウンカムに対するチャギング荷重より小さい

内部構造物に対するスロッシング荷重

対象構造物	水位条件	入力方向	荷重 (kN) (水平1方向)	荷重 (kN) (水平2方向)	チャギング荷重 (kN)
ダウンカム	重大事故時 水位 (S_s)	水平1方向 +鉛直方向 ^{注1}	7.41	10.49 ($S_R S_S$)	18.4
		水平2方向 +鉛直方向 ^{注2}	-	9.78	

注1 $S_s - D$

注2 NS方向, 鉛直方向: $S_s - D$, EW方向: 位相特性の異なる $S_s - D$



ダウンカム構造図

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添9 水平2方向の地震入力の影響

【影響検討結果（スロッシング荷重）】

- 基本ケース（合成荷重：水平1方向入力の最大荷重値の $\sqrt{2}$ 倍）に比べ、影響検討ケース（水平2方向入力の時刻歴荷重の最大値）は、小さいことを確認。これは、スロッシング荷重が周方向へ分散していること及びEW方向地震動の位相特性によるものと考えられる。
- よって、サプレッションチェンバのスロッシング荷重評価は、基本ケースの通り水平1方向入力（合成荷重）とすることで保守的になることを確認した。

【影響検討結果（有効質量比）】

- 基本ケースと影響検討ケースの有効質量比は一致している。

水平2方向入力による影響確認結果

検討ケース		①基本ケース (水平1方向入力)	②影響検討ケース (水平2方向入力)	①/②
スロッシング 最大荷重 ^{注1} (kN)	NS	5,363	5,364 ^{注2}	1.00
	EW	—	3,699 ^{注2}	1.45
	合成荷重	7,584 ^{注3}	5,372 ^{注4}	1.41
有効質量比	NS	0.23	0.23	1.00
	EW		0.23	1.00

注1 スロッシング最大荷重は地震波に依存することから、今後作成する建物応答に対するスロッシング荷重を確認する必要があるため暫定値

注2 1方向成分（NS又はEW）のみに着目した場合の最大荷重

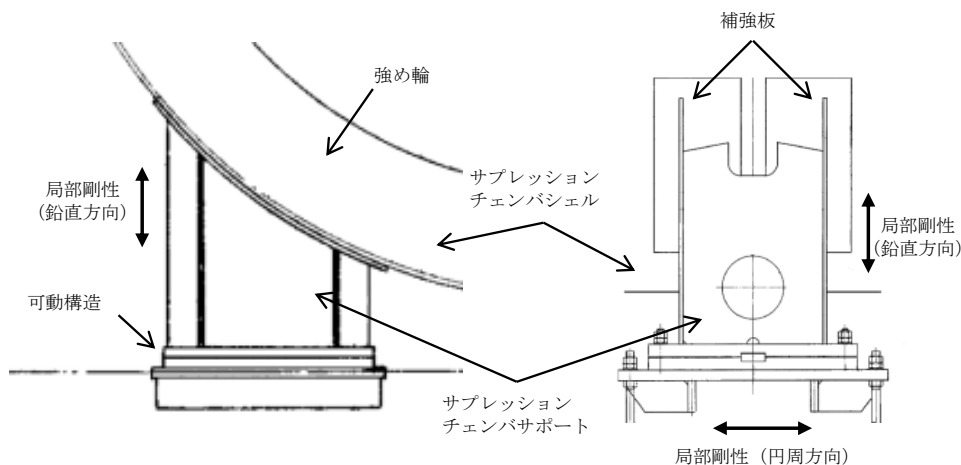
注3 基本ケースの最大荷重の $\sqrt{2}$ 倍の荷重

注4 各方向に加わるスロッシング荷重を時刻毎に合成（ $\sqrt{NS^2+EW^2}$ ）した値の最大値

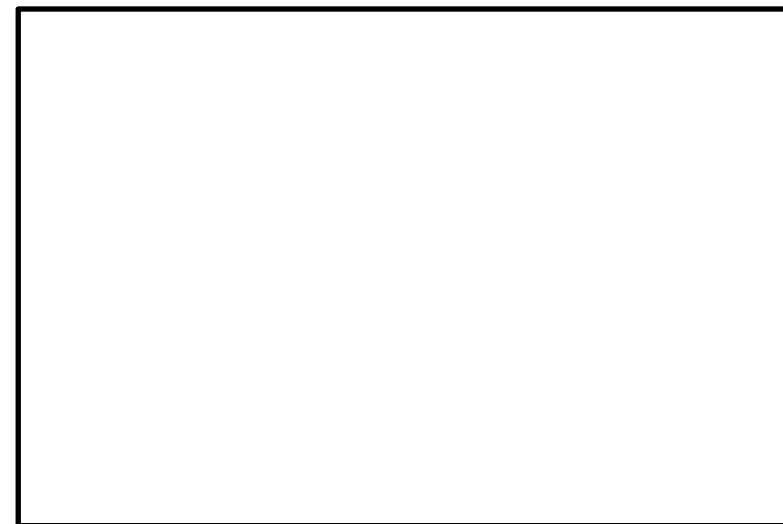
論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添10 サプレッションチェンバサポート取付部の剛性の影響

- 以下の理由により、サプレッションチェンバの地震応答解析に用いる3次元はりモデルでは、サプレッションチェンバサポート付け根部を剛構造としている。
 - サプレッションチェンバシエルの局部変形を防止するため、サプレッションチェンバサポートは補強板を介してサプレッションチェンバシエルに取り付けられている。
 - サプレッションチェンバシエルの変形を防止するため、内部に強め輪が取り付けられており、サプレッションチェンバサポート付け根部の剛性は高い。
- 本検討では、サプレッションチェンバサポート付け根部の局部剛性を考慮した応答解析を行い、サプレッションチェンバシエルの局部変形による影響の定量的な確認により、3次元はりモデルの妥当性を確認する方針とする。
(サプレッションチェンバサポートは水平（半径）方向に可動する構造であり、サプレッションチェンバサポート付け根部の水平（半径）方向の剛性は、地震応答解析へ影響を与えるものではないため、剛構造とする。)
- 検討結果については、詳細設計段階にて説明する。



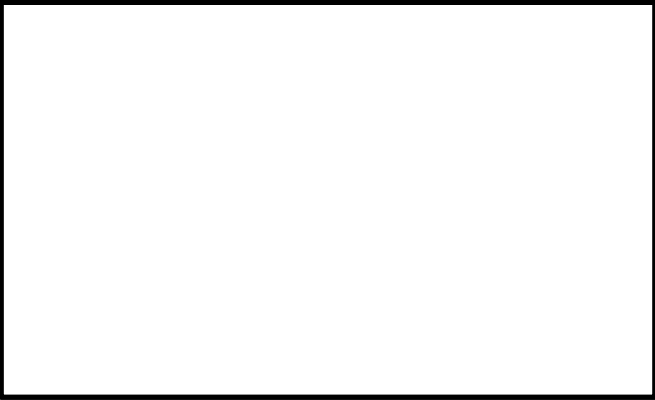
サプレッションチェンバサポート構造図



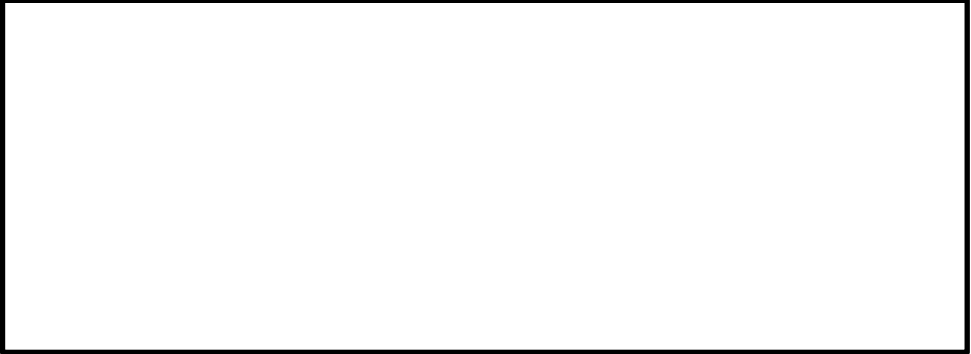
サプレッションチェンバ地震応答解析モデル

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添11 応答解析モデルの妥当性について（鉛直方向圧力）

- ・ サプレッションチェンバにおける地震応答解析では、水平方向の地震応答解析モデルに対し、N A S T R A Nにより算出された有効質量を適用することとしている。
- ・ 本検討では、N A S T R A N（3次元シェルモデル）により算出される鉛直方向の有効質量比と、F l u e n tによる流体解析結果から得られる鉛直方向の有効質量比との比較により、N A S T R A Nの有効質量算出モデルにおける鉛直方向圧力の妥当性の確認を行う。
- ・ 3次元シェルモデル及び流体解析モデルにより算出した有効質量比はほぼ一致しており、N A S T R A Nによる鉛直方向圧力は適切である。



3次元シェルモデル (N A S T R A N)



流体解析モデル (F l u e n t)

鉛直方向の有効質量比算出結果

	3次元シェルモデル (N A S T R A N)	流体解析モデル (F l u e n t)
鉛直方向の有効質量比	0.98	0.99

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添12 応答解析モデルの妥当性について (G u y a n縮約法) (1)

1. 概要

- サプレッションチェンバの地震応答解析モデルにおいては、内部水の等価高さを適切に考慮するため、N A S T R A Nの機能であるG u y a n縮約法により算出される有効質量を3次元はりモデルの質点位置に設定している。
- サプレッションチェンバ実機解析モデルにおいて、G u y a n縮約法を適用(3次元はりモデル)、非適用(3次元シェル+はりモデル)の解析モデルにより得られる応答加速度を比較し、サプレッションチェンバにおけるG u y a n縮約法の妥当性の確認を行う。

解析条件

項目		内容注3	
解析モデル		3次元シェル+はりモデル注1	3次元はりモデル注1
モデル	内部水	シェル要素	質点に縮約
	鋼材部分	はりモデル	
内部水の有効質量の算定方法		N A S T R A Nにより有効質量を算定	
内部水の有効質量のモデル化		シェル要素として付加	G u y a n縮約法を用いて試験体のはり要素に付加
水位条件		重大事故時水位 (S s)	
入力地震動		S s - D (水平方向, 鉛直方向)	
解析コード		N A S T R A N	

注1 N A S T R A Nで算定した有効質量をシェル要素とし、サプレッションチェンバの構造部分をはりモデルとした応答解析モデル

注2 N A S T R A Nで算定した有効質量をG u y a n縮約法により試験体のはり要素に付加した応答解析モデル(今回工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデル)

注3 記載していない内容については耐震評価用の応答解析と同様



3次元はりモデル



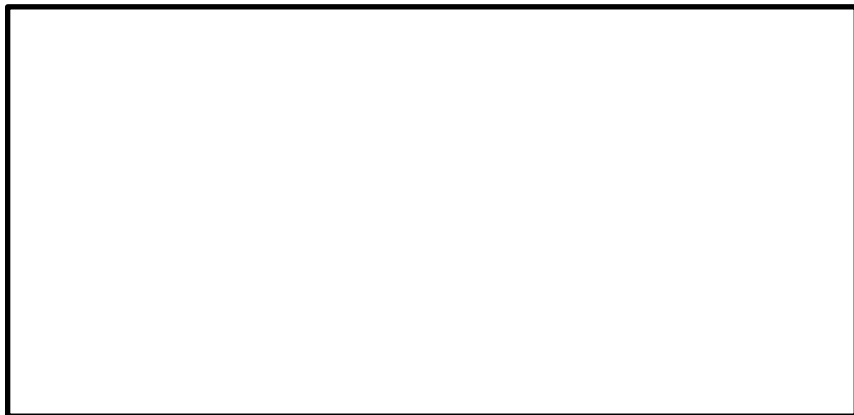
3次元シェル+はりモデル

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更

別添12 応答解析モデルの妥当性について (Guyan縮約法) (2)

2. 妥当性確認

- 3次元シェル+はりモデル及び3次元はりモデルにおいて、各方向の時刻歴応答加速度、最大応答加速度及び最大荷重の比較を行う。
- 最大応答加速度と最大荷重は概ね一致しており、時刻歴応答加速度はよく一致した結果が得られていることから、Guyan縮約法は妥当である。



応答加速度の比較位置



荷重の比較位置



荷重の比較項目

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添12 応答解析モデルの妥当性について (Guyan縮約法) (3)

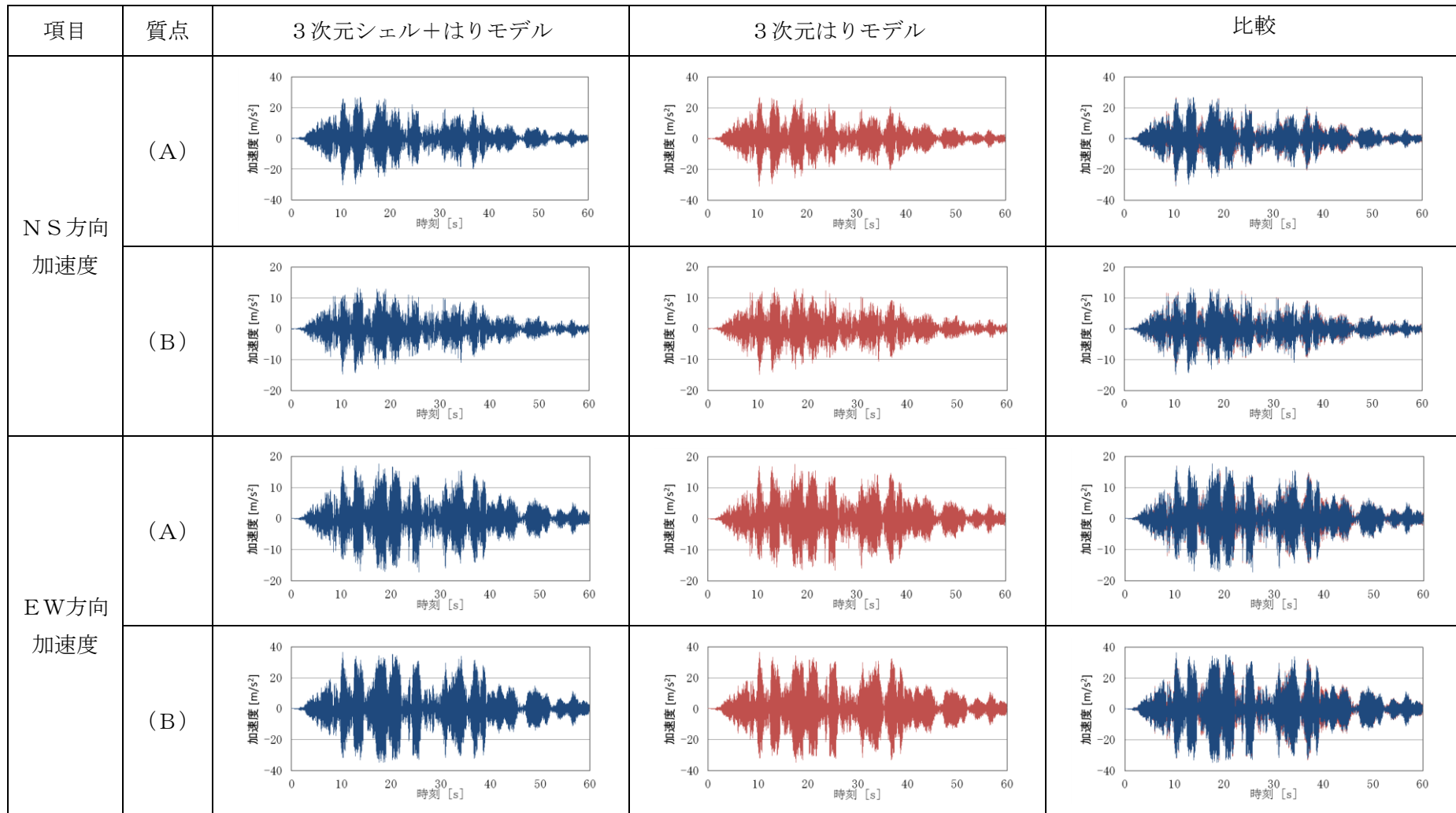
最大応答加速度の比較

項目	節点	最大加速度 (m/s ²)		加速度比 (①/②)
		① 3次元 シェル+はり モデル	② 3次元 はりモデル	
N S方向 加速度	(A)	30.3	30.8	0.98
	(B)	14.6	14.8	0.99
E W方向 加速度	(A)	17.7	17.6	1.01
	(B)	36.4	36.5	1.00
鉛直方向 加速度	(A)	7.4	8.2	0.90
	(B)	7.4	8.4	0.88

最大荷重の比較

項目	節点	① 3次元 シェル+はり モデル	② 3次元 はりモデル	荷重比 (①/②)
周方向反力 (kN)	(a)	4.00E+03	4.06E+03	0.98
	(b)	2.58E+03	2.63E+03	0.98
	(c)	3.45E+03	3.51E+03	0.98
	(d)	2.23E+03	2.27E+03	0.98
鉛直方向反力 (kN)	(a)	1.01E+03	1.04E+03	0.98
	(b)	1.50E+03	1.58E+03	0.95
	(c)	1.06E+03	1.08E+03	0.98
	(d)	1.68E+03	1.77E+03	0.95
半径軸回り モーメント (N・m)	(a)	4.55E+06	4.62E+06	0.98
	(b)	3.21E+06	3.26E+06	0.98
	(c)	3.92E+06	3.98E+06	0.98
	(d)	2.77E+06	2.82E+06	0.98
接線軸回り モーメント (N・m)	(a)	5.76E+04	5.52E+04	1.04
	(b)	5.76E+04	5.52E+04	1.04
	(c)	6.71E+04	6.42E+04	1.05
	(d)	6.71E+04	6.42E+04	1.05
鉛直軸回り モーメント (N・m)	(a)	1.82E+05	1.85E+05	0.98
	(b)	1.82E+05	1.85E+05	0.98
	(c)	1.57E+05	1.59E+05	0.98
	(d)	1.57E+05	1.59E+05	0.98

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添12 応答解析モデルの妥当性について (Guyan縮約法) (4)



時刻歴応答加速度の比較 (水平方向)

論点Ⅱ – 5 : サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更 別添12 応答解析モデルの妥当性について (Guyan縮約法) (5)

項目	質点	3次元シェル+はりモデル	3次元はりモデル	比較
鉛直方向 加速度	(A)			
	(B)			

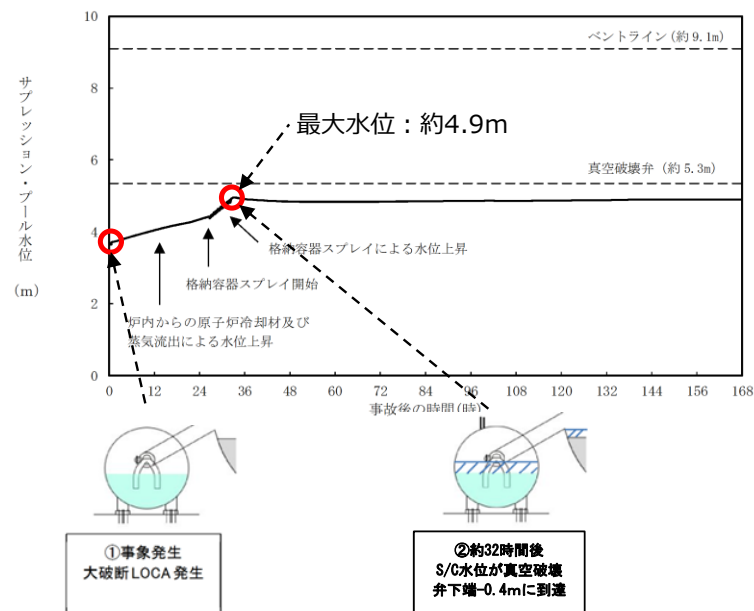
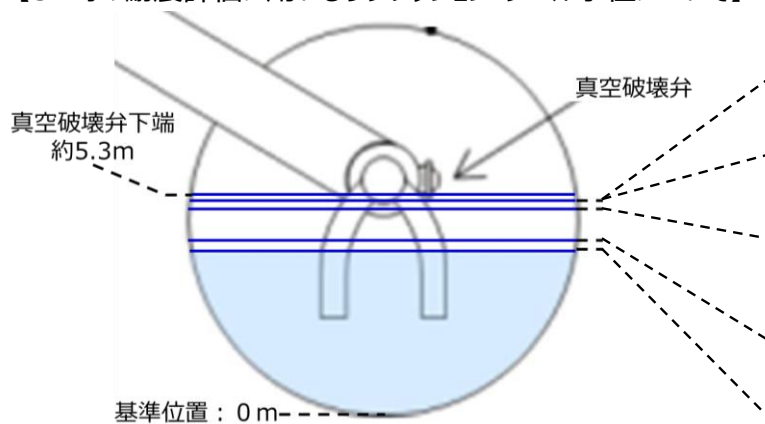
時刻歴応答加速度の比較 (鉛直方向)

論点Ⅱ - 5 : サプレッション・チェンバ内部水質の考え方の変更

別添13 サプレッションチェンバにおける重大事故時の水位について

- 外部水源を用いた総注水量の制限値の変更について
 - ・外部水源を用いた総注水量の制限値は、炉心損傷後の格納容器ベント実施基準の1つとして定めている。
 - ・外部注水の実施により真空破壊弁が水没すると、以降はベント管に水位が形成されることから、外部からの総注水量を真空破壊弁の設置高さ以下となるように制限する。
 - ・真空破壊弁下端位置が約5.3mであることから、これに不確かさを考慮して、外部水源を用いた総注水量の制限値をサプレッション・プール水位4.9m（通常運転水位+約1.3m到達）到達に変更する。
 - ・Sdと組み合わせる格納容器内の水位条件としては、水位が高い方が地震時の応答が大きくなる傾向があることから、ダウンカム取付け部下端水位である約5.05mを用いる。
 - ・制限値変更後においても、有効性評価の各評価項目に対して、判断基準を満足することを確認した。

【SA時の耐震評価に用いるサプレッション・プール水位について】



【外部水源を用いた総注水量の制限値変更後】格納容器過圧・過温破損
(残留熱代替除去系を使用しない場合)におけるサプレッション・プール水位の推移

水位	水量	位置	事故シーケンス等
約5.05m	約4,580m ³	ダウンカム取付け部下端位置	SAの耐震評価(Sd)に用いる水位
約5.03m	約4,550m ³	—	格納容器過圧・過温破損 残留熱代替除去系を使用しない場合 (不確かさケース：2Pdに到達)
約4.9m	約4,410m ³	真空破壊弁下端位置 -0.4m	格納容器過圧・過温破損 残留熱代替除去系を使用しない場合 (ベースケース)
約4m	約3,390m ³	—	SAの耐震評価(Ss)に用いる水位 格納容器過圧・過温破損 残留熱代替除去系を使用する場合
約3.7m	約3,010m ³	通常運転範囲の上限值 (H.W.L)	DBの耐震評価 (Ss,Sd) に用いる水位

參考資料

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (1)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-5] サブプレッション・チェンバ内部 水質量の考え方の変更	・既工認では内部水全体を剛体と見なし、 水の全質量を用いていたが、今回工認 ではタンクの耐震設計に一般的に用いら れている有効質量の考え方を適用する。	—	A	○	—
	[論点Ⅱ-6] 機器・配管系への制震装 置の適用	・取水槽ガントリクレーン及びSクラス以外 の配管系に制震装置を設置するため、 地震応答解析において制震装置の特性 を適切にモデル化し、時刻歴応答解析 を適用する。	BWR (柏崎6,7号 既工認他) ^{注1}	A	—	第796回審査会合 (R元年11月12日) にて説明(コメント回 答予定)
	[論点Ⅱ-7] 地震時の燃料被覆管の 閉じ込め機能の維持	・燃料被覆管の閉じ込め機能維持の観 点で、地震時の荷重を考慮した一次+ 二次応力の評価を実施する。	—	A	—	第759回審査会合 (R元年8月27日) にて説明
	[論点Ⅱ-8] 規格適用範囲外の動的 機能維持評価の実施	・燃料移送ポンプ等の動的機能維持評 価について、JEAG4601の考え方及び 既往研究の知見を用いて詳細評価(異 常要因分析や構造強度評価)を実施 する。	BWR (東海第二)	B1	—	—
	[論点Ⅱ-9] 一定の余裕を考慮した弁 の動的機能維持評価	・弁等の機器の動的機能維持評価にあ たって、応答加速度が当該機器を支持 する配管の地震応答により増加すると考 えられるときは、配管の地震応答の影 響を考慮し、一定の余裕を見込んだ評 価を行う。	PWR BWR (東海第二他)	B2	—	—

※(論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの(新規性:高)

B1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの(新規性:中), B2 : 新規制審査実績が十分にあるもの(新規性:低), B3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの(新規性:低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

注1 : 排気筒への制震装置の適用例がある。

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (2)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-10] 取水槽ガントリクレーンへの 非線形時刻歴応答解析 の適用	・取水槽ガントリクレーンの耐震性評価に おいて、浮き上がりやすべりを考慮した解 析モデルによる非線形時刻歴応答解析 を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	—	第796回審査会合 (R元年11月12日) にて説明(コメント回 答予定)
	[論点Ⅱ-11] 原子炉格納容器スタビライ ザばね定数の変更	・既工認では、1対のトラス(パイプ2 本)の荷重-変位関係によりばね定数 を算定していたが、今回工認では、取り 合い部であるガセットプレート及びシヤラグ もモデル化対象に含め、全体系モデルに よるFEM解析により、実現象に即した ばね定数を算定する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明(コメント回 答予定)
	[論点Ⅱ-12] 容器等の応力解析へのF EMモデルの適用	・既工認において公式等による評価にて 耐震計算を実施していた設備について、 3次元FEMモデルを適用した耐震評 価を実施する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-13] 水平方向の原子炉建物 -大型機器連成モデルの 変更(原子炉圧力容器 スタビライザのばね定数変 更を含む)	・水平方向の応答解析モデルについて、 既工認ではPCV-RPVモデルとRPV-Rin モデルの2種類のモデルを用いていたが、 今回工認ではPCV-RPV-Rinモデルを用 いる。 ・RPVスタビライザのばね定数算出方法 を変更する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※(論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの(新規性:高)

B1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの(新規性:中), B2 : 新規制審査実績が十分にあるもの(新規性:低), B3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの(新規性:低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (3)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-14] 鉛直方向応答解析モデル の追加	・鉛直方向の動的地震力に対する考慮 が必要となったことから、鉛直方向につい ても動的地震力の算定を行うための解析 モデルを作成する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-15] 鉛直方向の減衰定数の 考慮	・鉛直方向の動的地震力を適用するこ とに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を 新たに設定する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-16] 最新知見として得られた減 衰定数の採用	・今回工認では最新知見として得られた 減衰定数を採用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-17] 水平方向と鉛直方向の二 乗和平方根 (SRSS) 法 による組合せ	・水平方向及び鉛直方向ともに動的な 地震力での評価となったことから、方向ご との最大加速度の生起時刻に差がある という実挙動を踏まえて、二乗和平方根 (SRSS) 法による組合せ法を適用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)

B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (4)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-18] 原子炉建物天井クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用	・浮き上がりやすさを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第796回審査会合 (R元年11月12日) にて説明
	[論点Ⅱ-19] 立形ポンプの応答解析モデルの精緻化	・既工認モデルに対してJEAG4601-1991追補版に基づくモデルの精緻化を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-20] 動的機能維持評価の実施	・地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動Ssによる応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とした評価を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	—
	[論点Ⅱ-21] 等価繰返し回数の設定	・基準地震動の変更に伴い、機器・配管系の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数を見直しを行う。 (第701回審査会合(平成31年4月9日)における指摘事項「機器・配管系の地震等価繰返し回数の設定については、論点として抽出した上で、既工認、他プラントとの比較の観点から重み付けを行い、その結果を説明すること。」の回答)	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)

B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの