

## 島根原子力発電所2号炉 耐震設計の論点に係る整理表

## I. 耐震設計に係る主な論点

分類	整理 No.	項目	適用実績・審査実績	適用実績・審査実績との共通事項	新規もしくはサイトマターの論点※1	備考	審査可能時期	
共通	A	評価対象の網羅性	PWR (川内1.2, 高浜1.2.3.4, 伊方3) BWR (柏崎6.7)	方針は先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・別表第二及び耐震重要度分類の区分に照らし、過去の工認及び最新プラントの建設工認の評価実績を踏まえて、評価対象施設、評価部位、評価項目の網羅性を確認した結果を整理する。	— (ただしプラント型式の相違等による施設の違いあり)	○	—	11月中旬
	B	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針	PWR (川内1.2, 高浜1.2.3.4, 伊方3) BWR (柏崎6.7)	方針は先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・水平2方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことに伴う、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに係る影響評価方針を整理する。	— (ただしプラント型式の相違等による施設の違いあり)	○	—	11月下旬
	C	耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響 (影響検討対象施設の抽出プロセス・抽出結果)	PWR (川内1.2, 高浜1.2.3.4, 伊方3) BWR (柏崎6.7)	方針は先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・耐震重要施設の安全機能への波及的影響検討のうち、敷地全体を俯瞰した調査・検討等の結果及び波及的影響を及ぼす可能性のある施設、設備の選定結果を整理する。	プラントにより配置や施設が異なるため、島根2号炉における抽出過程および抽出結果を説明する。 ※防波壁へ波及的影響を及ぼす可能性がある建物として抽出されるサイト/バンカ建物(増築部分)については、エネルギー収支の観点等から建物が損傷・転倒しないことについて、その考え方を説明する。	△	別紙-1	11月下旬
	D	重大事故等による荷重と地震動の組合せの設定の考え方	PWR (川内1.2, 高浜1.2.3.4, 伊方3) BWR (柏崎6.7)	方針は先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・重大事故等対処施設に必要な耐震設計条件に適用する荷重条件と地震動の組合せを明確にし、重大事故等対処施設の耐震設計におけるその考え方の妥当性を整理する。	設定の考え方及び想定事故シーケンス(PCV過圧過温破損)は柏崎6.7号炉と同じであるが、プラント型式及び重大事故発生後のマネジメントが異なるため、島根2号炉における温度・圧力等のパラメータ変化及びこれに基づく評価条件について説明する。	△	—	11月中旬
個別	E	耐震重要度分類の変更	—	—	設置許可基準規則の解釈を踏まえ、Bクラス施設のうち「放射性廃棄物を内蔵している施設」を対象として、公衆への放射線影響を定量的に評価し、公衆への放射線影響が十分に小さいことが確認できた設備の重要度分類をCクラスに変更する。	●	審査中	11月上旬
共通 / 個別	G	既工認からの解析評価条件の変更	—	—	詳細については、下表「II. 既工認からの主な解析評価条件の変更点」参照。	—	—	—

※1 凡例  
○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの  
△: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの  
●: 先行実績がないもの

II. 既工認からの主な解析評価条件の変更点

分類	整理No.	変更項目	適用実績・審査実績	適用実績・審査実績との共通事項	新規もしくはサイトマターの論点※1	備考	審査可能時期	
建物・構築物	2	建物の地震応答解析モデル 建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用 (廃棄物処理建物及び制御室建物のみ対象)	PWR (高浜3.4中間建屋、川内1.2ディーゼル建屋、主蒸気管室建屋)	・高浜3.4号中間建屋では、建物基礎底面の付着力の考慮及びジョイント要素を考慮した3次元FEM地盤モデルを適用しており、先行審査の地震応答解析で審査実績がある。 ・川内1.2号ディーゼル建屋及び主蒸気管室建屋では、基礎固定モデルで地震応答解析を実施する際、基礎浮上りが発生しないために必要な建物基礎底面の付着力が、JNESによる付着力試験結果を超えないことから、基礎浮上りは発生しないことを確認しており、建物基礎底面の付着力を考慮した審査実績がある。	・廃棄物処理建物の地震応答解析に、ジョイント要素を考慮した3次元FEM地盤モデルを採用する。 ・制御室建物の地震応答解析に、建物基礎底面の付着力を考慮し、基礎浮上り線形解析を採用する。 ・高浜及び川内との違いは、サイト固有の数値である建物の基礎底面と地盤間に考慮する付着力の設定値であり、その妥当性・適用性については、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき説明する。 (対象)廃棄物処理建物、制御室建物	△	別紙ー2 11月下旬	
	6	弾塑性解析の適用	BWR (柏崎6.7)	柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・基準地震動の増大に対し、より現実的な挙動把握のため、原子炉格納容器コンクリート部の応力解析において、材料(コンクリート、鉄筋)の非線形特性を考慮した弾塑性解析を採用する。 ・弾塑性特性について、コンクリート(圧縮側)にCEB-FIPモデル、コンクリート(引張側)にRC規準(ひび割れ点の評価)及び同村・出雲モデル(ひび割れ点以降の引張軟化曲線)、鉄筋(圧縮・引張側)に完全弾塑性型を適用する。	(対象)原子炉建物、制御室建物の基礎等	○	ー	12月中旬
		原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用	PWR (川内1.2タービン建屋、伊方3タービン建屋) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・基準地震動の増大に対し、より現実的な挙動把握のため、原子炉建物の屋根トラスの地震応答解析及び部材応力評価において、材料(鉄骨)の非線形特性を考慮した3次元FEMモデルによる弾塑性解析を採用する。 ・3次元フレームモデル及び弾塑性特性(修正若林モデル)を適用する。	(対象)原子炉建物屋根トラス	○	ー	12月中旬
屋外重要土木構築物	7	時刻歴応答解析	PWR (川内1.2、高浜1.2.3.4、伊方3) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・地震応答解析にFEMモデルによる非線形解析手法(時刻歴応答解析)及び限界状態設計法による評価基準値を適用する。 ・地震応答解析時の鉛直地震動を静的入力から動的入力へ変更(水平・上下同時入力)する。	(対象)取水槽等	○	ー	11月中旬
		減衰定数の変更	PWR (川内1.2、高浜1.2.3.4、伊方3) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・地震応答解析手法の変更に伴い、減衰定数にも非線形特性を適用(履歴減衰、レーリー減衰)する。	(対象)取水槽等	○	ー	11月中旬
	8	解析モデルの精緻化	PWR (川内1.2、高浜1.2.3.4、伊方3) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・現実的な挙動特性を考慮する場合、隣接構築物をモデル化することによる精緻化を実施する。	(対象)屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	○	ー	11月下旬
	新規	後施工せん断補強による耐震補強	PWR (美浜3)	先行電力と同様であり、以下の通り。 ・島根2号炉取水槽スクリーン室の耐震計算において、後施工せん断補強工法(Phb工法)を適用する。	(対象)取水槽スクリーン室	○	ー	1月下旬

※1 凡例  
○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの  
△: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの  
●: 先行実績がないもの

分類	整理 No.	変更項目	適用実績・審査実績	適用実績・審査実績との共通事項	新規もしくはサイトマターの論点※1	備考	審査可能時期	
機器・配管系	9	サプレッションチェンバ内部水質量の考え方変更	—	—	・既工認では、サプレッションチェンバの内部水を剛体とみなして地震荷重評価に水の全質量を用いていたが、今回評価では流体としての特性を考慮し、水の有効質量を用いる。 ・実機模範の縮小試験体による加振試験及び検証解析結果に基づき説明する。	●	別紙-3	11月中旬
	11	機器・配管系への制震装置の設置(Sクラス以外)	—	—	・配管系(Sクラスを除く)に対し、制震装置として地震時の振動エネルギーを吸収し、並進3方向に減衰機能を発揮する粘性ダンバを採用する。 ・粘性ダンバを適用した機器・配管系の設計法の妥当性を、試験等により説明する。  (対象)配管(Sクラス以外)	●	別紙-4	11月中旬
	12	クレーン類のギャップ非線形モデルの採用	PWR (伊方3) BWR (大間、柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・鉛直1Gを超える加速度への対応として、車輪部に滑り、浮上り、衝突を模擬した要素(ギャップ、減衰、ばね)による3次元非線形はりモデルを適用する。	—  (対象)原子炉建物天井クレーン、取水槽ガントリクレーン	○	—	11月中旬
		ポンプ等の応答解析モデルの精緻化	PWR (川内1.2, 高浜1.2,3.4, 伊方3) BWR (大間、柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・最新工認実績及び最新知見(JEAG4601等)を踏まえ、応答解析モデルの変更(質点位置、ばね定数の変更等)を行う。	—  (対象) ・たて軸ポンプ解析モデルの変更 ・局部出力領域核出器集合体解析モデルの変更 ・原子炉炉力容器、原子炉格納容器スタビライザ解析モデルの変更	○	—	11月中旬
	15	容器等の応力解析へのFEMモデルの適用	PWR (川内1.2, 高浜1.2,3.4, 伊方3) BWR (大間)	先行電力と同様であり、以下の通り。 ・既工認で公式等による応力評価を実施している設備について、今回工認では容器等の一部設備に対してFEMモデルによる応力解析を実施する。	—  (対象)熱交換器、タンク、原子炉格納容器(胴他)	○	—	11月中旬
		クレーン類、配管系の減衰定数の変更	PWR (川内1.2, 高浜3.4, 伊方3) 他BWR (大間、柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・振動試験結果を踏まえ、クレーン類及び配管系について、JEAG4601-2008に規定されている減衰定数に変更する。	—	○	—	11月中旬
共通	17	鉛直方向の動的地震力の適用	PWR (川内1.2, 高浜1.2,3.4, 伊方3) BWR (大間、柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・鉛直方向への動的地震力の適用に伴い、鉛直方向に柔な設備について鉛直方向の減衰定数を新たに考慮し、鉛直方向の解析モデルを追加する。	—	○	—	11月中旬
		水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法の変更	PWR (川内1.2, 高浜1.2,3.4, 伊方3) BWR (大間、柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号炉と同様であり、以下の通り。 ・鉛直方向への動的地震力の適用に伴い、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法を、絶対値和法から組合せ係数法やSRSS法に一部変更する。	—	○	—	11月中旬

※1 凡例  
○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの  
△: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの  
●: 先行実績がないもの

Ⅲ. その他

分類	整理 No.	項目	適用実績・審査実績	適用実績・審査実績との共通事項	新規もしくはサイトマターの論点※1	備考	審査可能時期
共通	a	地盤の液状化	PWR (高浜1,2,3,4,伊方3) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号と同様であり、以下の通り。 ・地盤物性及びその代表性・網羅性の整理及び構造物影響評価を実施する。	(対象)防波壁 -	○ 別紙-5	12月下旬
	b	保管場所・アクセスルート(斜面他)	PWR (高浜1,2,3,4,伊方3) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号と同様であり、以下の通り。 ・保管場所の沈下及び斜面評価、並びにアクセスルートの段差及び斜面前壊を考慮した仮復旧評価を実施する。	-	○ -	11月下旬
	c	耐津波設計	PWR (高浜1,2,3,4) BWR (柏崎6.7)	先行電力及び柏崎6.7号と同様であり、以下の通り。 ・入力津波、外郭防護及び内郭防護の妥当性検証、並びに入力津波に基づき設計で考慮する漂流物選定について評価する。	-	○ -	11月下旬

※1 凡例  
 ○: 先行電力と同様であり大きな論点はないと考えるもの  
 △: 基本的な考え方は先行電力と同様であるが、一部相違点があるもの  
 ●: 先行実績がないもの

耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響  
(サイトバンカ建物の評価について)

サイトバンカ建物の増築部分については、上位クラス施設の防波壁に近接していることから地震による建物の損傷・転倒による波及的影響を評価する方針としている。

評価にあたって、サイトバンカ建物（増築部分）の既工認では地震応答解析を実施していないことから、今回工認で地震応答解析モデルを設定し、基準地震動  $S_s$  に対して損傷・転倒しない（防波壁に衝突しない）ことを説明する予定である。

評価にあたっての説明方針は、以下の損傷に対する評価及び転倒に対する評価を行うことを考えている。

1. 損傷に対する評価

先行審査で適用実績のある基礎固定モデルを用いた地震応答解析により建物上部構造の健全性を確認し、建物が損傷し倒壊しないことを説明する。

2. 転倒に対する評価

地震時の応答に伴うエネルギー収支の観点から建物が転倒しない（防波壁に衝突しない）ことを説明する。具体的には図1に示す状態(i)及び(ii)を想定し、(i) < (ii)となることを確認する。

- (i) 建物直立時の初速として基準地震動  $S_s$  の速度応答スペクトルの最大値を入力した運動エネルギー
- (ii) 建物が防波壁に衝突する角度 ( $17.4^\circ$ ) に到達するのに必要なエネルギー（建物が防波壁に衝突する位置まで建物重心が上昇する）

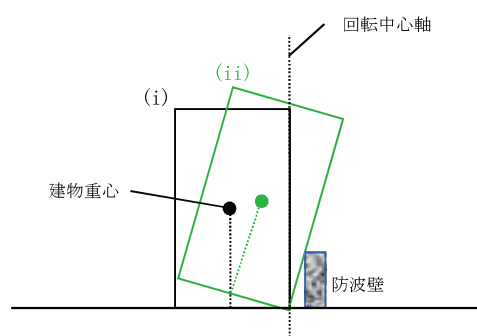


図1 転倒に対する評価

## 建物基礎底面の付着力及び3次元 FEM モデルの採用について

## 1. はじめに

既工認では、原子炉建物等の地震応答解析における基礎浮上り評価について、線形地震応答解析または浮上り非線形地震応答解析を実施している。

今回工認では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動  $S_s$  による検討においては、一部解析結果で浮上り非線形地震応答解析を適用できる接地率に満たない可能性が高いことから、個別に解析の妥当性を確認した上で採用する解析手法を選定する予定である。

## 2. 検討方針

島根2号炉の地震応答解析にあたっては、建物形状に応じ、建物と地盤の相互作用を考慮することとしている。「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(以下、JEAG4601 という。)-1987」においては、建物と地盤の相互作用の影響を適切に考慮できるモデルとしてSRモデルや離散系モデル(FEMモデルを含む)が列挙されている。また、JEAG4601-1991においては、接地率に応じた地震応答解析手法の適用性が示されており、接地率  $\eta < 65\%$  の場合は別途検討となっている(図1参照)。

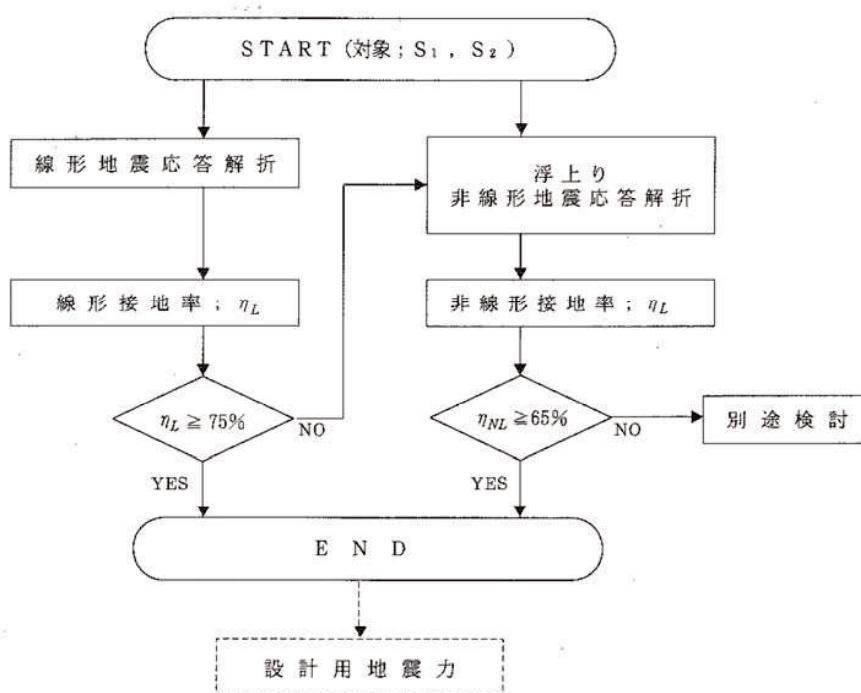


図1 基礎浮上り評価フロー (JEAG4601-1991 より抜粋)

## 2. 1 廃棄物処理建物に関する検討

### (1) 検討概要

廃棄物処理建物は、接地率  $\eta < 65\%$  となる場合の別途検討手法として先行審査で適用実績のあるジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデルによる地震応答解析を行う。

検討の結果、ジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデルによる接地率が適用範囲内であることを確認する。

### (2) 採用する基礎浮上り評価法

廃棄物処理建物はジョイント要素（付着力<sup>\*</sup>考慮）を考慮した3次元 FEM 地盤モデルの適用範囲を確認した上で、地震応答解析に際しては、ジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデルを採用することとする。

なお、ジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデルは、先行審査（高浜3，4号炉中間建屋）の地震応答解析で適用実績がある。ジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデルを図2に示す。

※：島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値

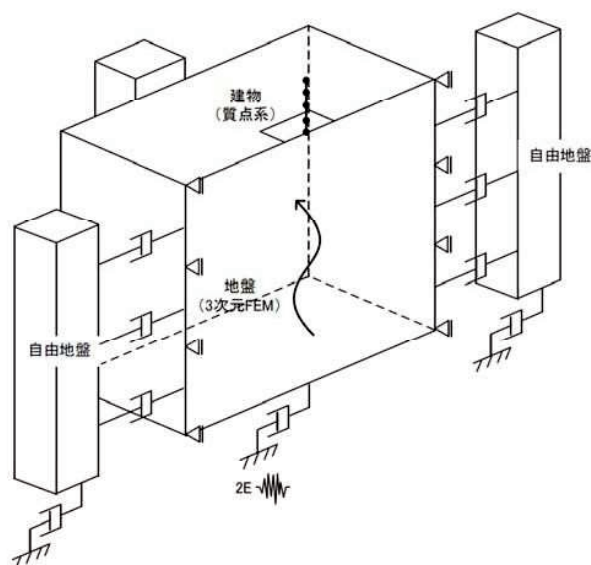


図2 ジョイント要素を考慮した3次元 FEM 地盤モデル

## 2. 2 制御室建物に関する検討

## (1) 検討概要

制御室建物について JEAG4601-1991 に示される浮上り線形地震応答解析を実施し、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定を行う。

検討の結果、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値を超えないことを確認する。

## (2) 採用する基礎浮上り評価法

制御室建物は基礎浮上りが発生しないことを確認した上で、地震応答解析に際しては、基礎浮上り線形解析を採用することとする。

なお、建物基礎底面の付着力の考慮は、先行審査（高浜3，4号炉中間建屋，川内1，2号炉ディーゼル建屋，主蒸気管室建屋）の地震応答解析で適用実績がある。

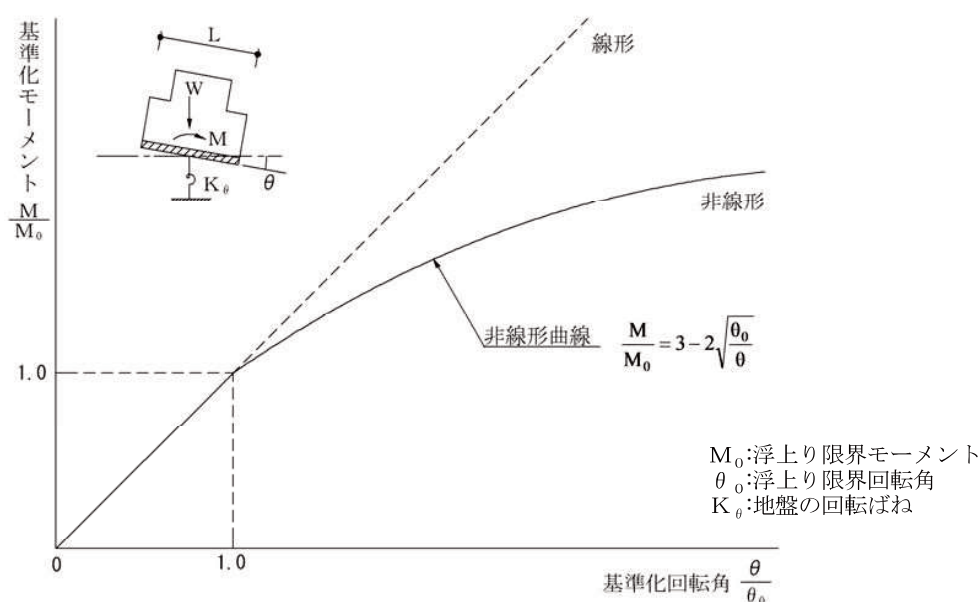


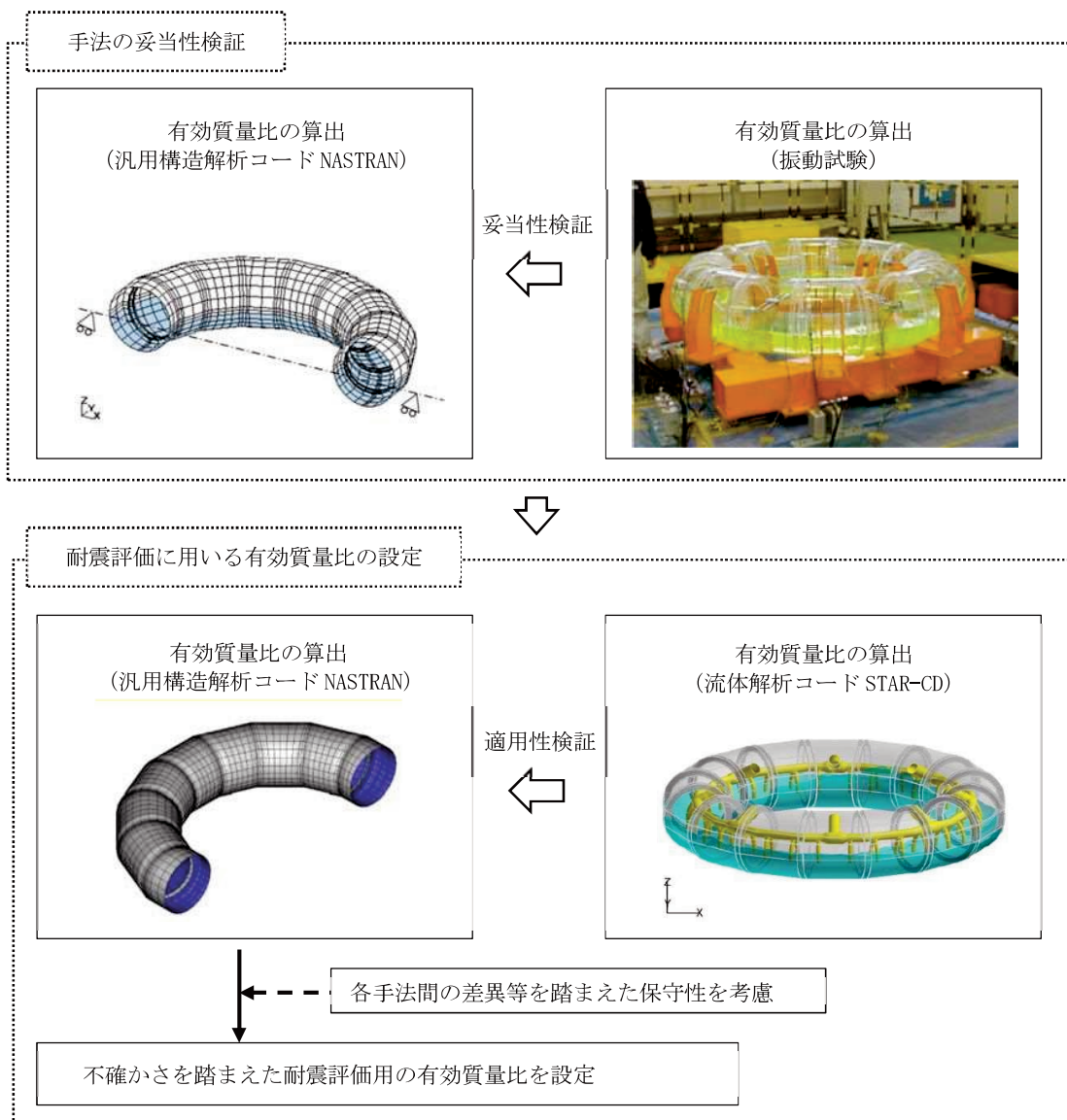
図3 地盤の回転ばねのモーメントー回転角関係



サプレッションチェンバ内部水質量の考え方について

既工認では、サプレッションチェンバの内部水を剛体とみなして地震荷重評価に水の全質量を用いていたが、今回評価では流体としての特性を考慮し、水の有効質量を用いる。

有効質量は、球形タンクや円筒タンクの耐震設計では一般的に用いられている考え方であり、汎用構造解析コード NASTRAN を用いて容易に算出することが可能であるが、トーラス形状の容器に対する計算の妥当性の確認はされていないため、サプレッションチェンバ内部水の有効質量を汎用構造解析コード NASTRAN にて算出することについて、振動試験及び流体解析結果との比較により妥当性を確認する。



## 機器・配管系への制震装置の設置（Sクラス以外）に関する検討について

## 1. 概要

機器・配管系に制震装置を設置することにより、機器・配管系の減衰比が大きくなり、地震応答を大幅に低減することができ、また、耐震構造による設計に加えて、制震装置を用いた設計を行うことで、設計の多様化が可能である。

島根2号炉においては、Sクラス以外の配管系を対象に制震装置を適用した設計を行う。制震装置としては、地震時の振動エネルギーを吸収し、並進3方向に減衰機能を発揮する粘性ダンパを用いる（図1）。粘性ダンパは、4パラメータ Maxwell モデルによりモデル化し、そのパラメータは性能試験により決定する（図2）。粘性ダンパを適用した機器・配管系の地震応答解析モデルは水平2方向及び鉛直方向地震動の同時入力に対応可能なモデルとし、時刻歴応答解析法による地震応答解析を行う（図3）。

## 2. 妥当性の説明方針

## (1) 粘性ダンパの有効性

粘性ダンパを機器・配管系に設置した場合の制震性能を確認するため、機器・配管系の中でも形状が複雑かつ3方向の応答が生じると考えられる配管系で振動試験を実施した。この試験結果から、配管系においても粘性ダンパを設置することは、地震応答の低減に有効であることを確認しており、当該試験結果等に基づき粘性ダンパの有効性を説明する。

## (2) 粘性ダンパを適用した機器・配管系の設計法及びその妥当性

「免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を踏まえ、粘性ダンパの減衰性能の変化をもたらす要素・特性を試験等により把握した。粘性ダンパの減衰性能の変化をもたらす要素・特性（地震時の性能変化、制震装置の構造・原理に起因する性能変化及び性能のばらつき）を考慮した設計法とその妥当性を説明する。

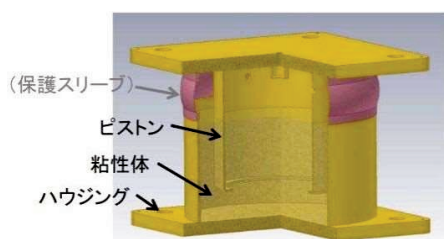


図1 粘性ダンパの構造

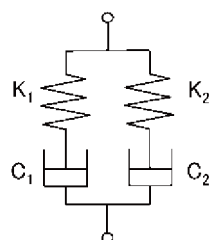


図2 4パラメータ Maxwell モデル

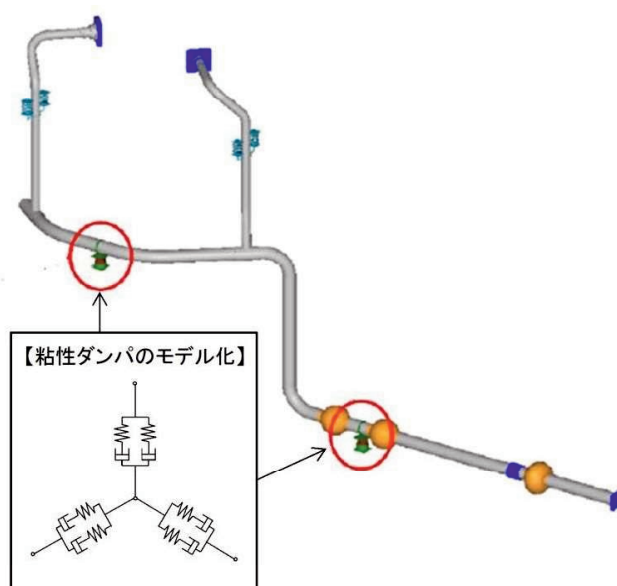


図3 地震応答解析モデル

地盤の液状化

防波壁等の浸水防護施設および取水槽等の屋外重要土木構造物は、岩盤支持されているが、防波壁の3号機北側の一部で液状化の可能性のある砂堆積部（幅約40m、厚さ約5m）が介在する。

防波壁については、有効応力モデルを用いた地震応答解析（FLIP）により耐震安全性評価を行う。解析に用いる地盤の物性値（液状化強度特性）は、物理試験および液状化試験の結果を踏まえ設定する。また、地盤改良部は、施工後に所定の品質を満足していることを確認する。

上記の評価は、先行審査（高浜、柏崎）にて適用実績のある手法であり、論点とはならないと考えられる。

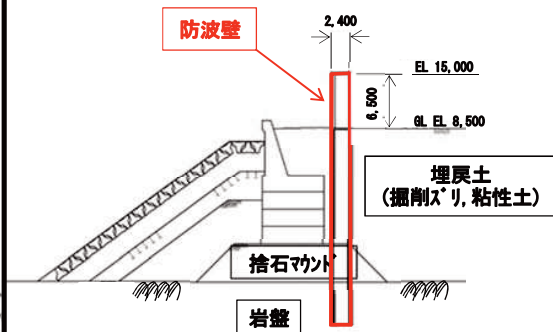
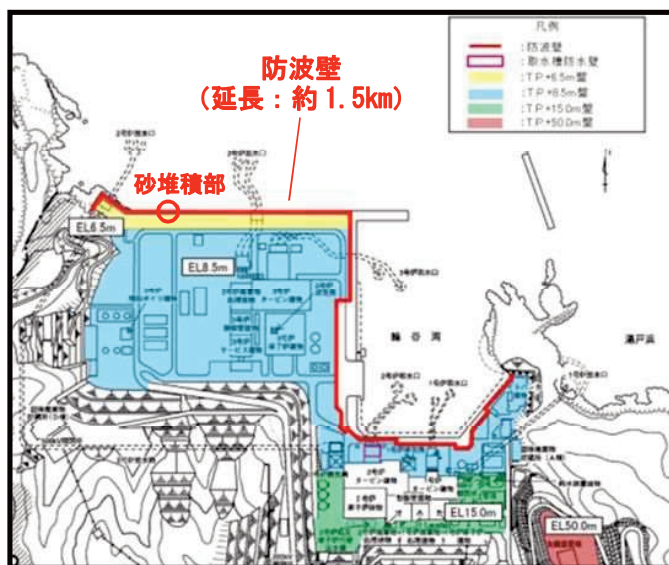


図1 防波壁(1, 2号炉北側)標準断面図

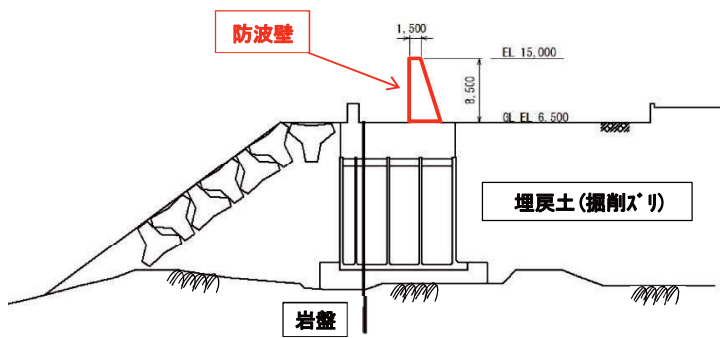


図2 防波壁(3号炉北側)標準断面図

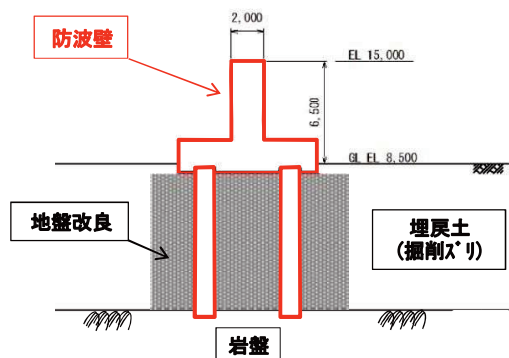


図3 防波壁(3号炉東側)標準断面図

(対象構造物)

- ・防波壁