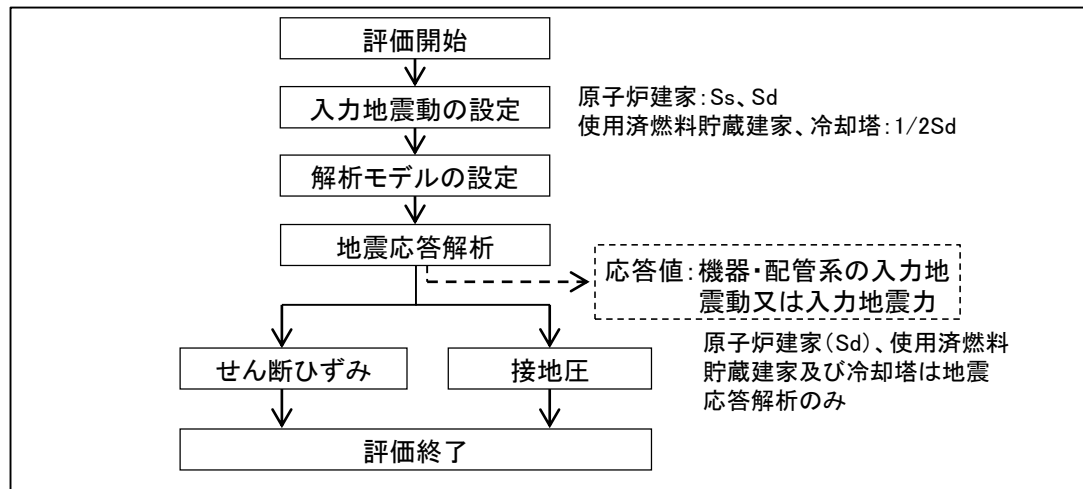


# 耐震評価の結果概要

# 建物・構築物の耐震性評価(地震応答解析)

- 添付書類1-2-1.から添付書類1-2-4.では、建物・構築物及び機器・配管系の評価に用いる床応答スペクトルの算出に必要な原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び冷却塔の地震応答解析を実施した。
- 原子炉建家については、Sクラス施設の間接支持構造物として、添付書類1-2-1. で基準地震動Ssに対して耐震余裕を有していることも確認した。



地震応答解析のフロー

地震応答解析に使用した解析コード

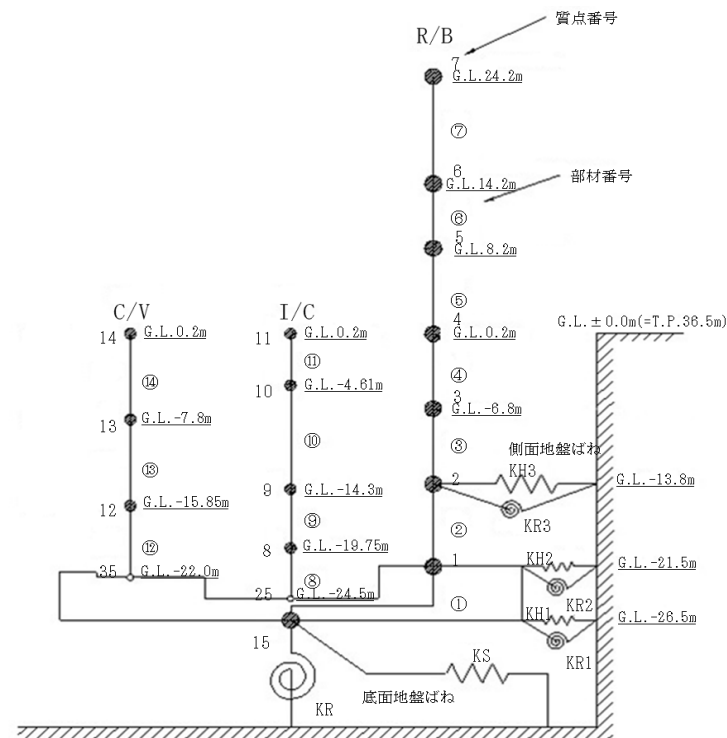
	入力地震動算定	建家の地震応答解析
原子炉建家	D-PROP※1	DYNA2E※1
使用済燃料貯蔵建家	KSHAKE※2	DYNA2E※1
冷却塔	KSHAKE※2	DYNA2E※1

※1 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

※2 清水建設株式会社

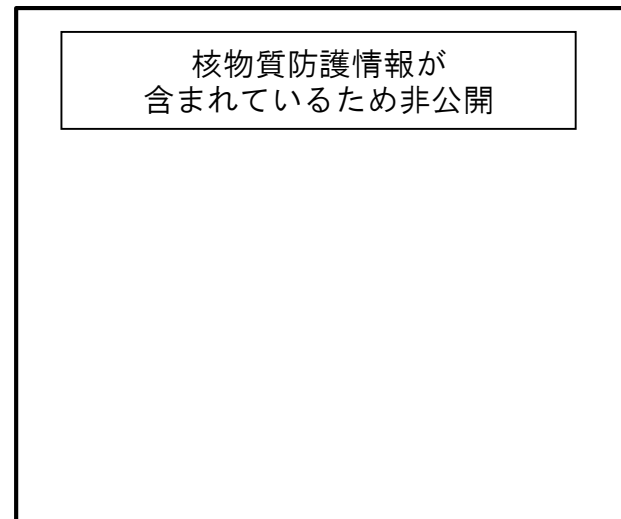
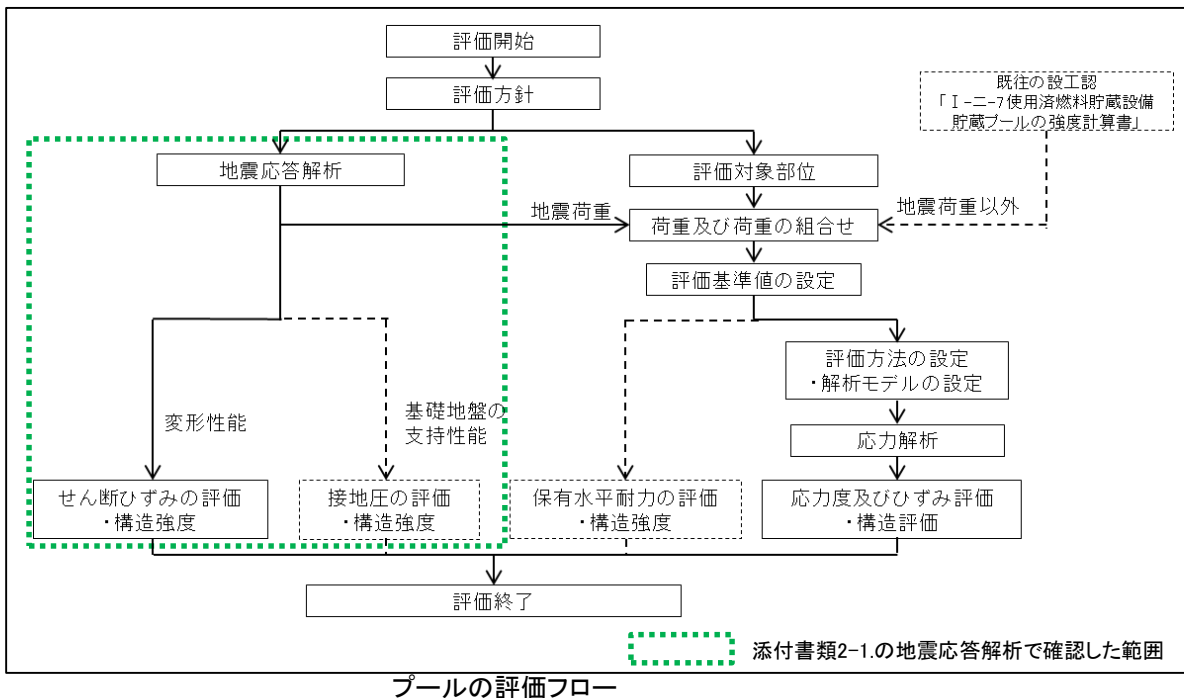
評価結果(原子炉建家)

評価項目	評価結果	評価基準値
耐震壁のせん断ひずみ	$0.20 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
最大接地圧	880kN/m <sup>2</sup>	1,900kN/m <sup>2</sup>



# 建物・構築物の耐震性評価（貯蔵プール）

- 添付書類1-3-1.では、貯蔵プールが、基準地震動 $S_s$ 、弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力 $3.0C_i$ に対して耐震余裕を有することを確認した。



解析モデル(プール周辺)

応力解析に使用した解析コード

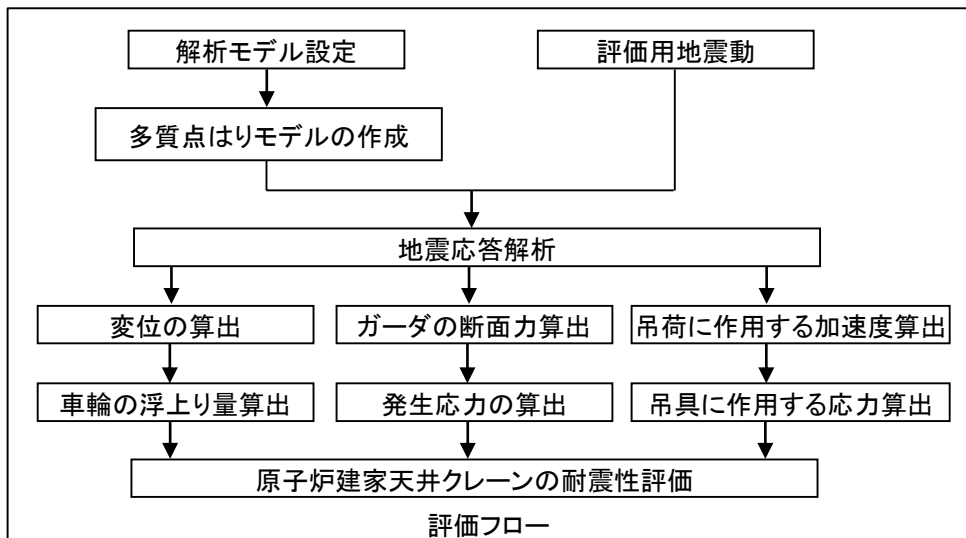
$S_d$  : MSC NASTRAN(MSC Software Corporation)

$S_s$  : FINAL(株式会社大林組)

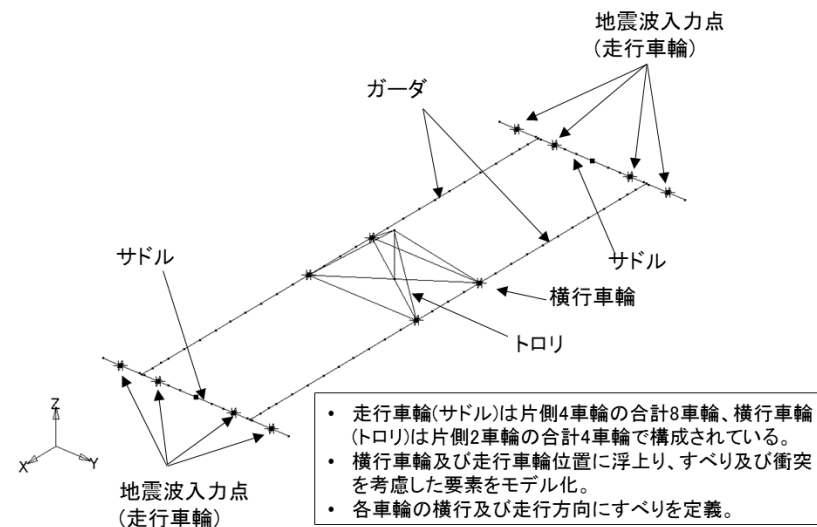
## 評価結果

地震動	評価項目	評価結果	評価基準値
$S_d$	鉄筋断面積	必要鉄筋断面積 鉛直方向: 25.2cm <sup>2</sup> 水平方向: 60.5cm <sup>2</sup>	設計鉄筋断面積が 必要鉄筋断面積以上であること 鉛直方向: 47.8cm <sup>2</sup> 水平方向: 95.7cm <sup>2</sup>
$S_s$	部材(コンクリート)の最大ひずみ	0.16 × 10 <sup>-3</sup>	3.00 × 10 <sup>-3</sup>
	部材(鉄筋)の最大ひずみ	0.32 × 10 <sup>-3</sup>	5.00 × 10 <sup>-3</sup>
	応力度(圧縮)	3.25N/mm <sup>2</sup>	23.5N/mm <sup>2</sup>
	応力度(面外せん断)	0.92N/mm <sup>2</sup>	1.48N/mm <sup>2</sup>

- 添付書類1-3-2.では、原子炉建家天井クレーンが1/2Sdに対して耐震余裕を有することを確認した。



- 幾何学的非線形を考慮した時刻歴応答解析を実施した。
- 車輪とレールの“すべり/浮上り/衝突”を考慮した。



解析モデル

応力解析に使用した解析コード:  
ABAQUS (Dassault Systemes株式会社)

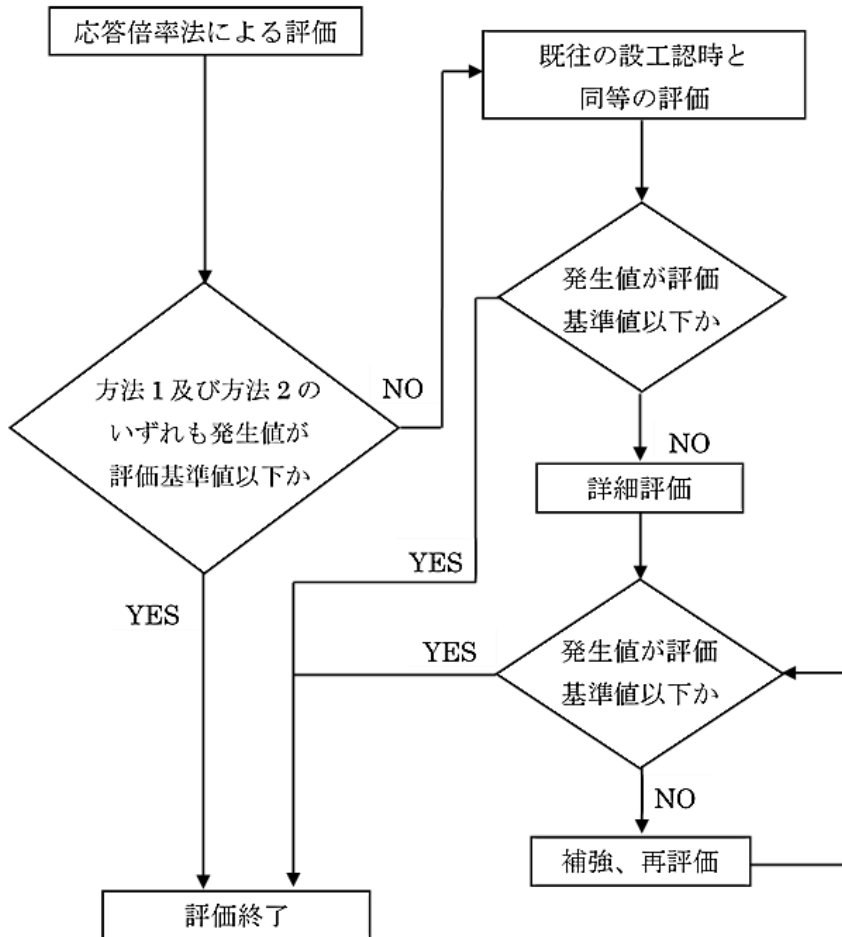
## 評価結果

評価箇所		評価応力	発生値*	評価基準値	
クレーン 本体	ガーダ中央部	組合せ (垂直+せん断)	133MPa	244MPa	
	ガーダ端部		119MPa	244MPa	
車輪	横行車輪	車輪つば	せん断	4MPa	310MPa
	走行車輪	車輪つば	せん断	5MPa	310MPa
レール	横行レール	取付ボルト	せん断	35MPa	135MPa
	走行レール	取付金物	せん断	16MPa	135MPa
吊具		ワイヤ	吊荷重量	2,436kN	7,600kN

\* 合計6波のうち1波の結果を代表例として記載

# 機器・配管系の耐震性評価(概要)

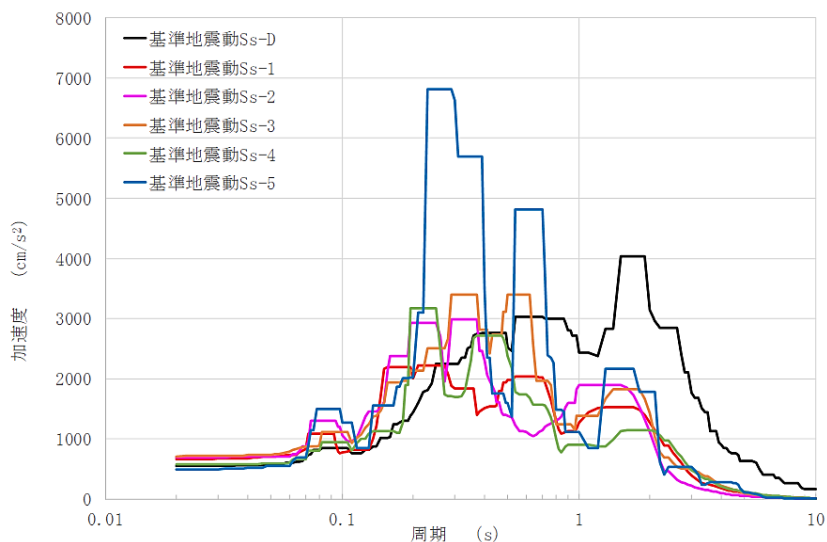
- 添付書類1-4.では、「原子炉本体」、「核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設」、「原子炉冷却系統施設」、「計測制御系統施設」、「放射性廃棄物の廃棄施設」、「放射線管理施設」、「原子炉格納施設」及び「その他原子炉の附属施設」を対象として、耐震性評価を実施した。
- 添付書類1-4-1.では、機器・配管系の評価手法及び解析に用いる床応答スペクトル(FRS)を記載した。



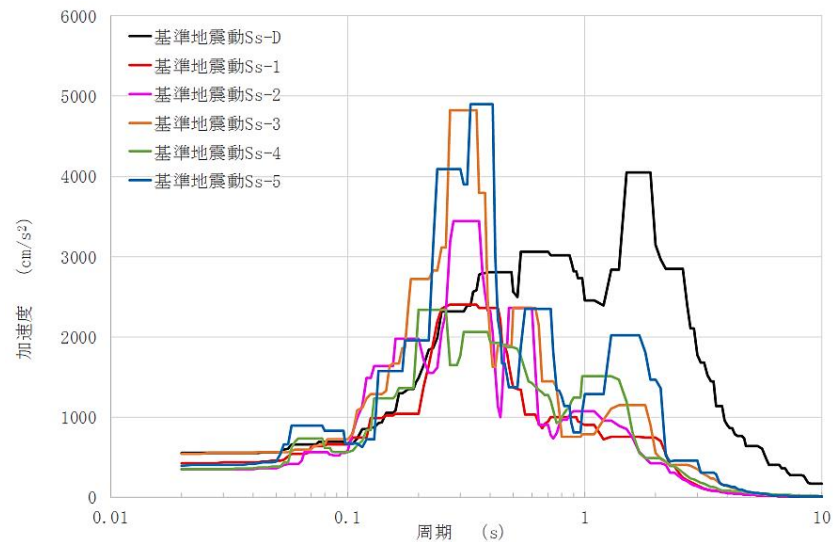
耐震性評価のフロー

- ✓ 機器・配管系の評価は、以下の3つにより行う。
  - 応答倍率法による評価
  - 既往の設工認時と同等の評価
  - 詳細評価
- ✓ 評価フローは、左図のとおりとする。
- ✓ 床応答スペクトルは、時刻歴加速度応答にて作成し、周期軸方向の±10%拡幅する
- ✓ なお、Bクラスの機器・配管系については、共振のおそれのあるもの(1次固有周期が20Hz未満)に対して、1/2Sdの時刻歴加速度及び床応答スペクトルを用いて評価する。

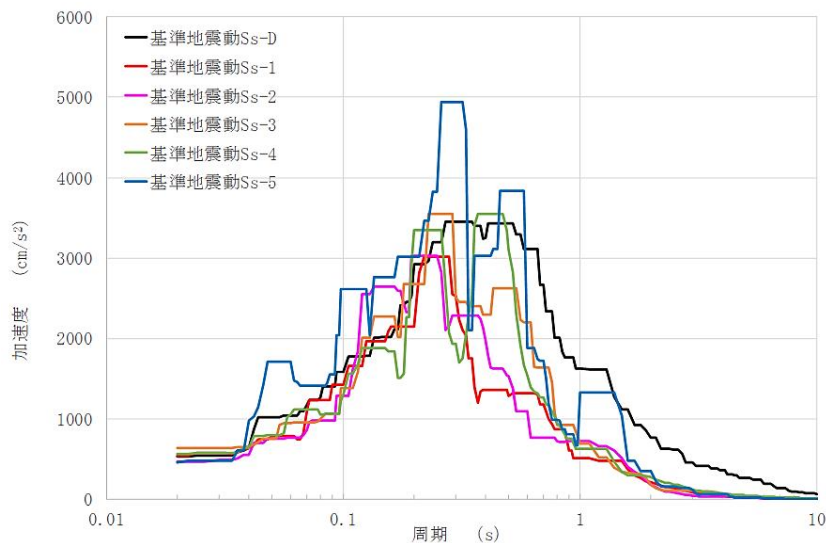
# 機器・配管系の耐震性評価(FRS)(1/2)



(NS成分)



(EW成分)

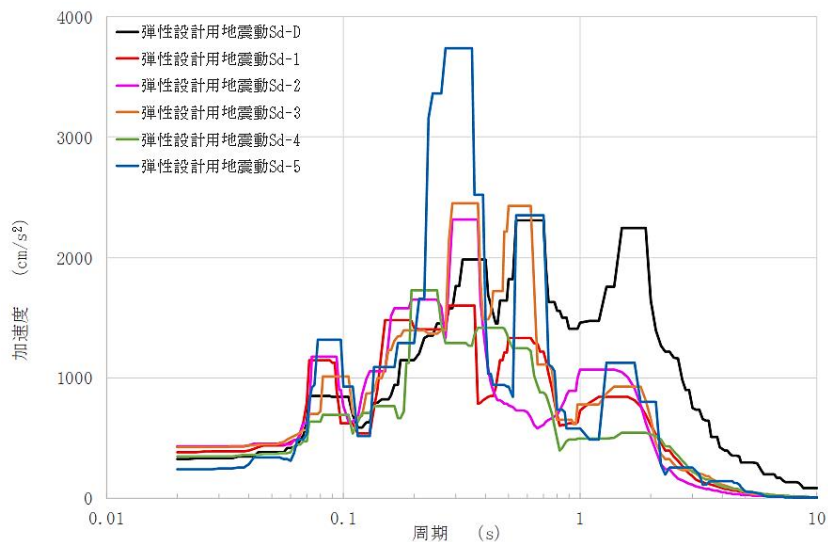


(UD成分)

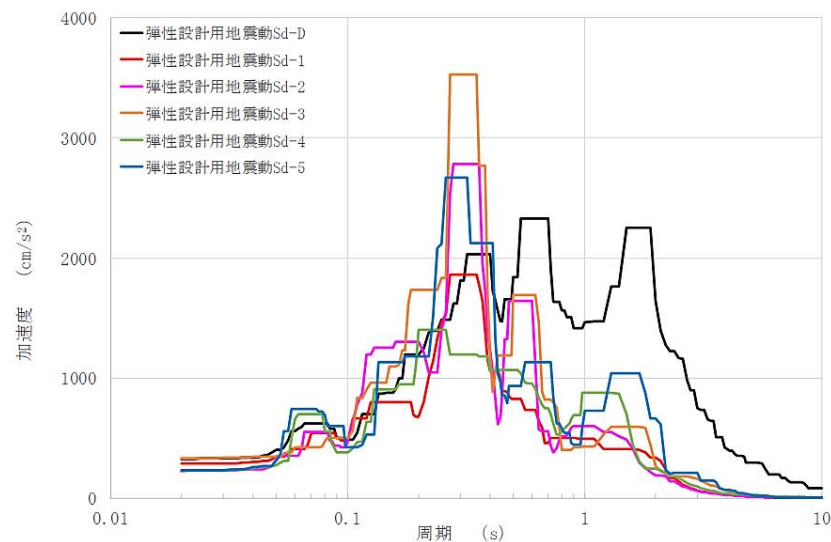
解析に用いる原子炉建家の床応答スペクトル

【代表例】  
基準地震動 Ss  
原子炉建家地上1階  
(減衰定数0.5%)

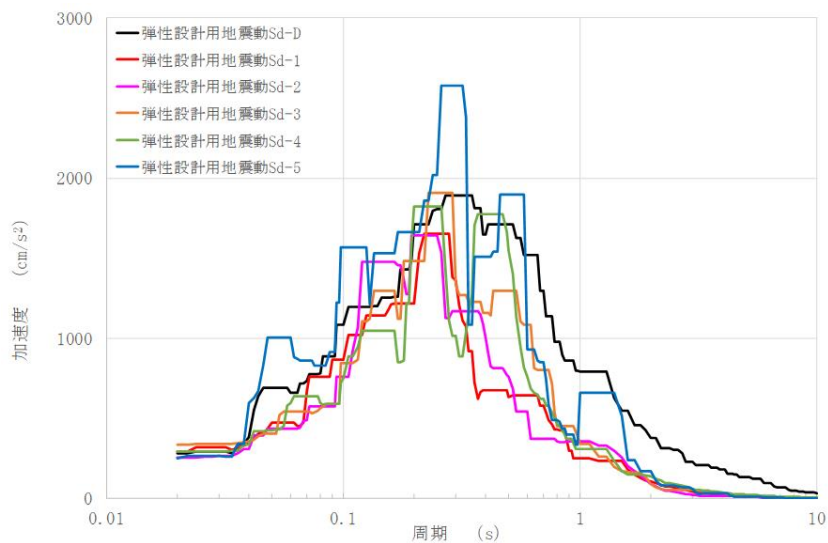
# 機器・配管系の耐震性評価(FRS) (2/2)



(NS成分)



(EW成分)

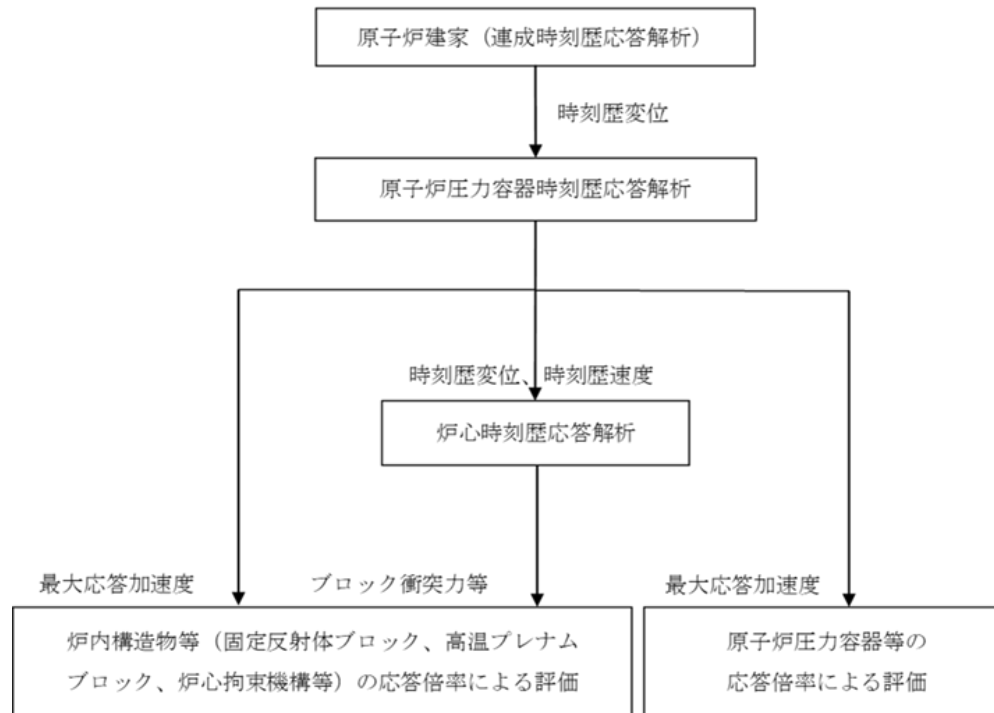


(UD成分)

解析に用いる原子炉建家の床応答スペクトル

【代表例】  
弾性設計用地震動 Sd  
原子炉建家地上1階  
(減衰定数0.5%)

- 添付書類1-4-2.では、原子炉本体の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 原子炉圧力容器に対して、既往の設工認と同等の評価を実施した。
- サポートポスト、レストレイントリング、拘束バンド等に対して、応答倍率法による評価を実施した。
- 原子炉圧力容器、炉内構造物については、解析に用いる地震力(加速度、せん断力、モーメント、軸力、衝突力等)と既往の設工認時の地震力との比を求め、応答倍率法による評価を実施した。
- 炉心構成要素(制御棒案内ブロック、燃料体、可動反射体ブロック)の評価に用いる地震動は、制御棒案内ブロックに対しては $S_s$ 、左記以外に対しては $1/2S_d$ とする。



原子炉圧力容器、炉内構造物の解析フロー



## 原子炉圧力容器、炉内構造物等の解析の概念図

核物質防護情報が含まれているため非公開

原子炉建家モデル 概念図

原子炉圧力容器モデル 概念図

炉内構造物モデル 概念図

原子炉建家の時刻歴  
応答解析の結果を入力

原子炉圧力容器の時刻歴  
応答解析の結果を入力

炉内構造物の解析より、加速度、ブロック衝突力等の結果を入手し、応答倍率法による評価に用いる。

原子炉本体の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

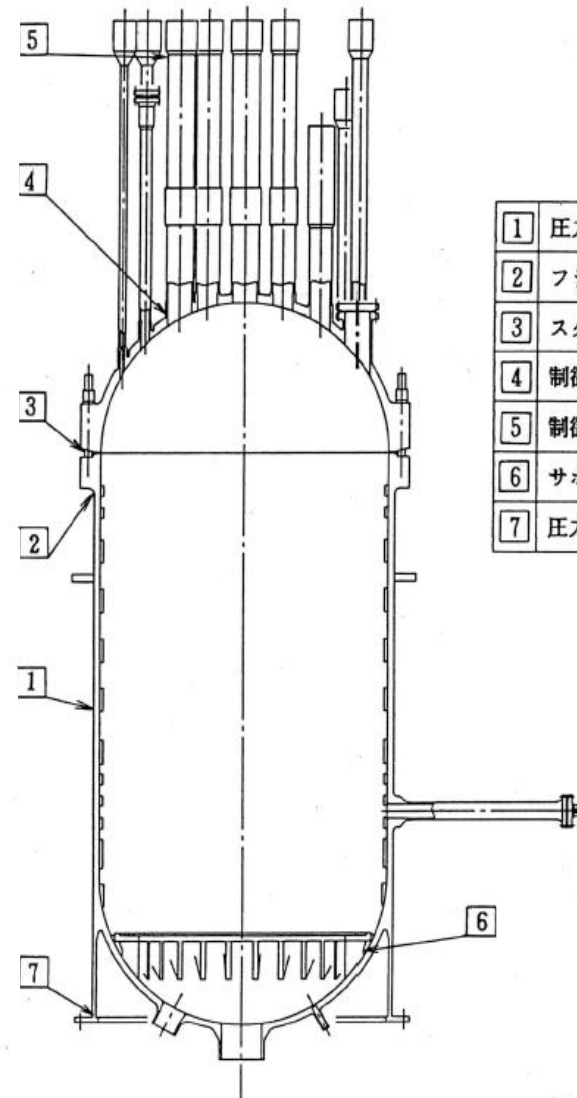
評価対象設備	耐震クラス	分類	方法1	方法2	許容値
サポートポスト	S	軸圧縮荷重	10 [MPa]	14 [MPa]	30 [MPa]

## 原子炉圧力容器の解析

- ✓ 原子炉本体の解析で得られた機械的荷重を原子炉圧力容器の部分モデルに入力することで解析する。

圧力容器円筒胴の評価結果(一次応力の制限)(一例)

運転状態	評価項目	温度 (°C)	時間 (hr)	計算値 (MPa)	許容値 (MPa)	備考
運転状態Ⅲ	$\langle P_m + P_m^* \rangle \leq 1.2 S_m$	401	-	106	169	
	$\langle P_m \rangle \leq S_t$	401	$6.63 \times 10$	103	270	
	$\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq 1.2 K_s S_m$	401	-	106	254	$K_s = 1.50$
	$\langle P_L + P_b \rangle \leq K_t S_t$	401	$6.63 \times 10$	103	312	$K_t = 1.16$
運転状態Ⅳ	$\langle P_m + P_m^* \rangle \leq S_{mIV}$	515	-	110	233	$S_{mIV} = 2 S_u/3$
	$\langle P_m \rangle \leq 2S_R/3$	515	$1.50 \times 10^2$	105	124	
	$\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq K_s S_{mIV}$	515	-	111	350	$K_s = 1.50$
	$\langle P_L + P_b \rangle \leq 2K_t S_R/3$	515	$1.50 \times 10^2$	105	129	$K_t = 1.04$



評価箇所

1	圧力容器円筒胴
2	フランジ
3	スタッドボルト
4	制御棒スタンドパイプ管台
5	制御棒スタンドパイプ
6	サポートリブ
7	圧力容器スカート

原子炉圧力容器の評価箇所

- 添付書類1-4-3.では、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 全ての設備(原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック、燃料交換機、床上ドアバルブ等)に対して、応答倍率法による評価を実施した。

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値[MPa]
原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック	S	胴部	膜	18	30	254
			1次+2次	24	54	315
		取付ボルト	引張	30	67	153
燃料交換機	B	上部胴	一次一般膜	68	76	196
		取付ボルト	引張	229	257	371
			せん断	35	39	285

- 添付書類1-4-4.では、原子炉冷却系統施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 1次ヘリウム配管(二重管)、1次ヘリウム主配管(単管)、1次加圧水冷却器、中間熱交換器、1次ヘリウム循環機、1次冷却設備の主要弁等に対して、既往の設工認時と同等の評価を実施した。
- 1次ヘリウム純化設備入口フィルタ、補助冷却水系主配管、炉容器冷却設備主配管等に対して、応答倍率法による評価を実施した。

原子炉冷却施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値[MPa]
1次ヘリウム純化設備 入口フィルタ	S	胴部	1次一般膜	127	92	253
			1次	127	92	379
			1次+2次	6	13	309
		基礎ボルト	引張	24	53	212
			せん断	7	16	163
補助冷却水系 (主配管1)	B	配管	一次応力	61	57	167
			一次+二次	35	59	335

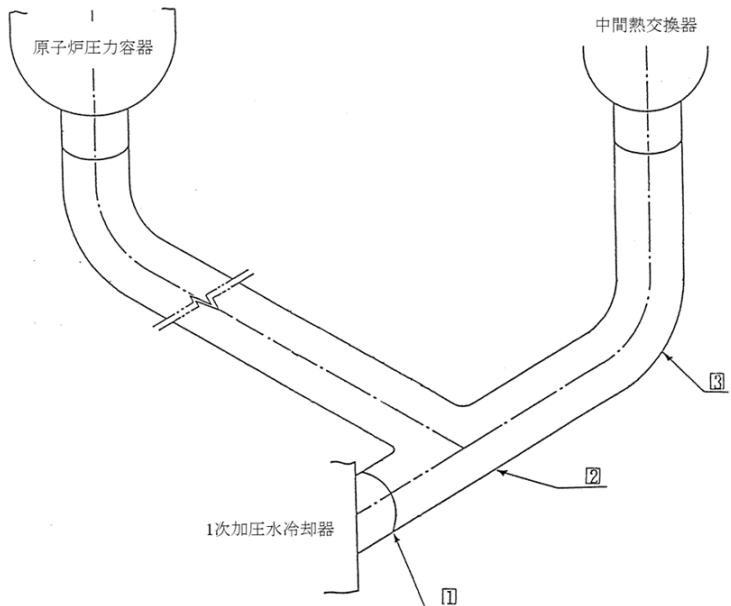
## 1次ヘリウム配管(二重管)の解析

- ✓ 原子炉本体の解析で作成したFRSを1次ヘリウム配管(二重管)モデルに入力し、評価を実施する。
- ✓ 1次ヘリウム配管(二重管)モデルには、右記のモデルを組み込んでいる。
- ✓ 組み込まれたモデルは、配管解析で得られた荷重を用いて評価を実施する。

### 組み込んでいるモデル

- 加圧水冷却器(PPWC)まわり配管
- 中間熱交換器(IHX)まわり配管
- PPWC
- IHX
- 1次ヘリウム循環機
- 1次冷却設備の主要弁

①	1次加圧水冷却器管台接続部
②	ティー
③	エルボ



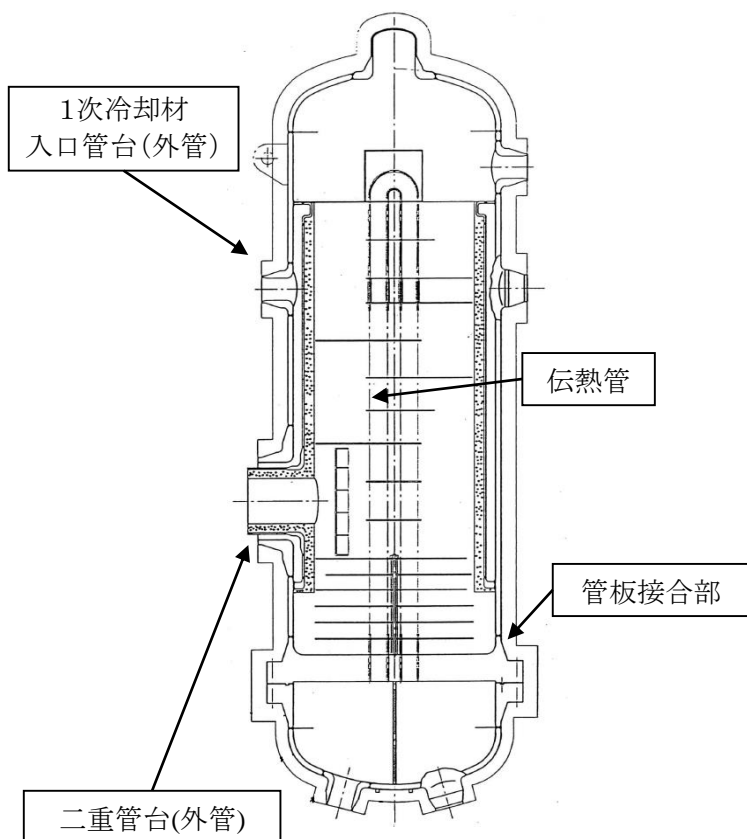
1次ヘリウム配管(二重管)の評価箇所

### 1次加圧水冷却器管台接続部の評価結果(一次応力の制限)(一例)

運転状態	評価項目	温度 (°C)	時間 (hr)	計算値 (MPa)	許容値 (MPa)	備考
運転状態 III	$P_s + P_s^* \leq 1.2 S_m$	430	-	45	166	
	$P_s \leq S_t$	430	$3.00 \times 10^2$	44	202	
	$< P_L + P_L^* + P_b + P_b^* > \leq 1.2 K_s S_m$	430	-	54	222	$K_s=1.34$
	$< P_L + P_b > \leq K_t S_t$	430	$3.00 \times 10^2$	44	230	$K_t=1.13$
運転状態 IV	$P_s + P_s^* \leq 2 S_m$	430	-	48	278	
	$P_s \leq 2S_R/3$	430	$3.00 \times 10$	47	252	
	$< P_L + P_L^* + P_b + P_b^* > \leq 2K_s S_m$	430	-	62	371	$K_s=1.34$
	$< P_L + P_b > \leq 2K_t S_R/3$	430	$3.00 \times 10$	47	287	$K_t=1.14$

## 1次加圧水冷却器 (PPWC) の解析

- ✓ PPWCの解析は、1次ヘリウム配管(二重管)の解析で得られた荷重を、別途作成するPPWCの解析モデルに入力することで実施する。

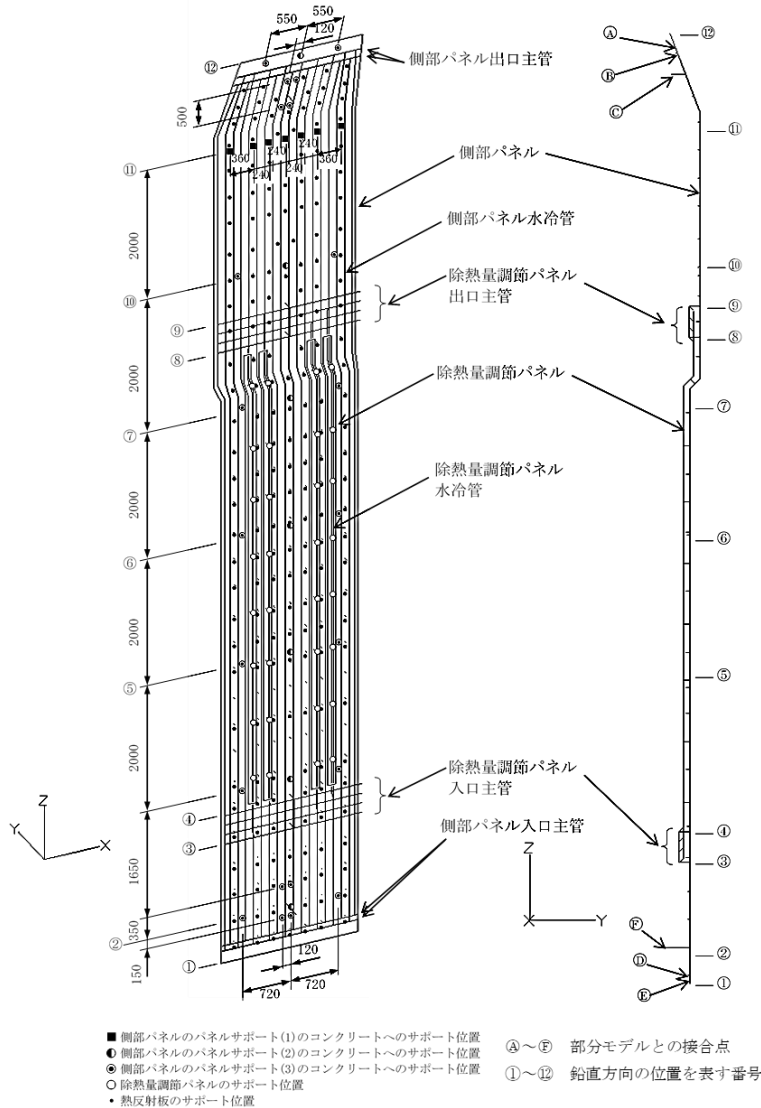


PPWCの評価箇所

1次冷却材入口管台の評価結果(一次応力の制限)(一例)

運転状態	評価項目	温度 (°C)	時間 (hr)	計算値 (MPa)	許容値 (MPa)	備考
運転状態 III	$\langle P_m + P_m^* \rangle \leq 1.2 S_m$	410	-	93	169	
	$\langle P_m \rangle \leq S_t$	410	1.00 × 10	84	276	
	$\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq 1.2 K_s S_m$	410	-	175	253	$K_s = 1.50$
	$\langle P_L + P_b \rangle \leq K_t S_t$	410	1.00 × 10	146	309	$K_t = 1.12$
運転状態 IV	$\langle P_m + P_m^* \rangle \leq S_{mIV}$	399	-	95	284	$S_{mIV} = 2 S_u/3$
	$\langle P_m \rangle \leq 2 S_R/3$	375	1.40 × 10	84	285	
	$\langle P_L + P_L^* + P_b + P_b^* \rangle \leq K_s S_{mIV}$	399	-	177	427	$K_s = 1.50$
	$\langle P_L + P_b \rangle \leq 2 K_t S_R/3$	375	1.40 × 10	146	320	$K_t = 1.12$

## 炉容器冷却パネルの解析



## 解析条件

- ✓ 炉容器冷却パネルは同型のパネル12面で構成され、解析モデルは12面のうち1面とする。
- ✓ 炉容器冷却パネルはパネルの剛性があるため、ほとんど面内には応答せず、面外方向に応答する。
- ✓ そのため、パネル面外方向にNS方向地震+鉛直地震、パネル面外方向にEW方向地震+鉛直地震の2パターンを実施する。

### 評価対象部位

No.	名称
1	側部パネル水冷管
2	側部パネル水冷管と主管の接続部
3	側部パネル主管の入口管台(N-4)
4	除熱量調節パネル水冷管
5	除熱量調節パネル水冷管と主管の接続部
6	パネルサポート(1)
7	パネルサポート(2)
8	パネルサポート(3)
9	側部パネル水冷管フィン
10	除熱量調節パネル水冷管フィン

### 側部パネル水冷管の評価結果(一例)

地震種別	許容応力状態	発生応力				一次応力評価		一次+二次応力評価	
		① 内圧 (MPa)	② 自重 (MPa)	③ 面外地震 (MPa)	④ 鉛直地震 (MPa)	計算応力(MPa) ①+②+③+④	許容応力 (MPa)	計算応力(MPa) 2×(③+④)	許容応力 (MPa)
1/2Sd-1 EW+UD	ⅢAS	2	112	14	18	146	234	64	468
1/2Sd-1 NS+UD	ⅢAS	2	112	2	22	138	234	48	468

側部パネル及び除熱量調節パネルの解析モデル

- 添付書類1-4-5.では、計測制御系統施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 制御棒に対して、既往の設工認時と同等の評価を実施した。
- 制御棒駆動装置、中央制御盤、後備停止系駆動装置等に対して、応答倍率法による評価を実施した。

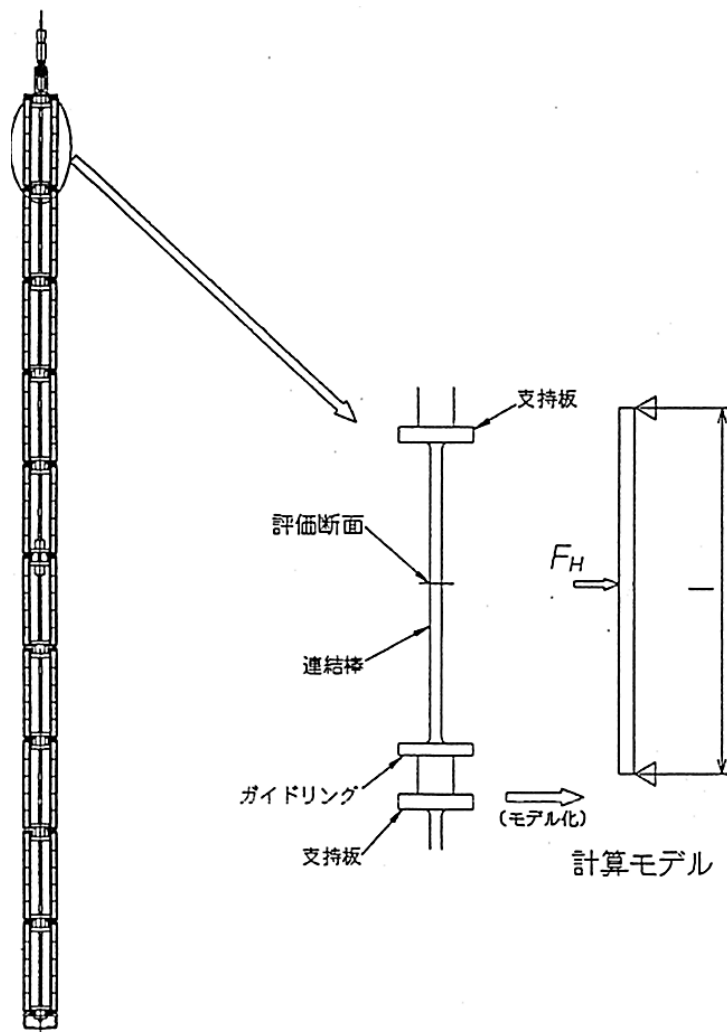
計測制御系統施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値[MPa]
制御棒駆動装置	S	制御棒案内管	膜	13	9	255
			膜+曲げ	184	295	383
中央制御盤主盤	S	溶接	組合せ	2	4	161
後備停止系駆動装置	B	ホツパ	膜	4	4	159
			膜+曲げ	44	69	239



## 制御棒の評価

- 発生する応力が許容応力以下であることを確認する。
- 許容応力及び応力の算出式を以下に示す。



### 【算出式】

- $\sigma_{m1} = \frac{W}{A}$
- $\sigma_{b1} = \frac{M_b}{Z}$
- $M_b = \frac{1}{4} F_H l$
- $\sigma_{m2} = \frac{F_v}{A}$

$\sigma_{m1}$  評価断面部の軸方向膜応力(自重)  
 $\sigma_{b1}$  評価断面部の軸方向曲げ応力  
 $M_b$  評価断面部の曲げモーメント  
 $\sigma_{m1}$  評価断面部の軸方向膜応力(鉛直地震)  
 $W$  制御棒1本当たりの重量  
 $A$  評価断面部の断面積  
 $Z$  評価断面部の断面係数  
 $l$  はり計算モデルにおけるはりの全長  
 $F_H$  水平方向地震力  
 $F_v$  鉛直方向地震力

### 評価結果

評価点	地震動	一次一般膜応力 [MPa]		一次一般膜応力 + 一次曲げ応力 [MPa]	
		計算値 $\sigma_{m1} + \sigma_{m2}$	許容値	計算値 $\sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \sigma_{b1}$	許容値
連結棒	Sd	18	156	198	234
	Ss	21	249	283	374

制御棒の計算モデル(左)と応力評価断面(右)

- 添付書類1-4-6.では、放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- バッファタンク、減衰タンクに対して、応答倍率法による評価を実施した。

放射性廃棄物の廃棄施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

機器	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値[MPa]
バッファタンク	B	胴板	1次一般膜	6	6	192
			1次	7	7	192
		基礎ボルト	引張	2	2	176
			せん断	1	1	135
減衰タンク	B	胴板	1次一般膜	74	68	170
			1次	76	69	170
		基礎ボルト	引張	4	4	161
			せん断	4	4	124

- 添付書類1-4-7.では、放射線管理施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 事故時ガンマ線エリアモニタ検出器、事故時ガンマ線エリアモニタ前置増幅器に対して、応答倍率法による評価を実施した。

放射線管理施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値 [MPa]
事故時ガンマ線 エリアモニタ検出器	S	取付ボルト	引張	7	15	198
			せん断	3	5	152
事故時ガンマ線 エリアモニタ前置増幅器	S	取付ボルト	引張	3	7	220
			せん断	2	4	169

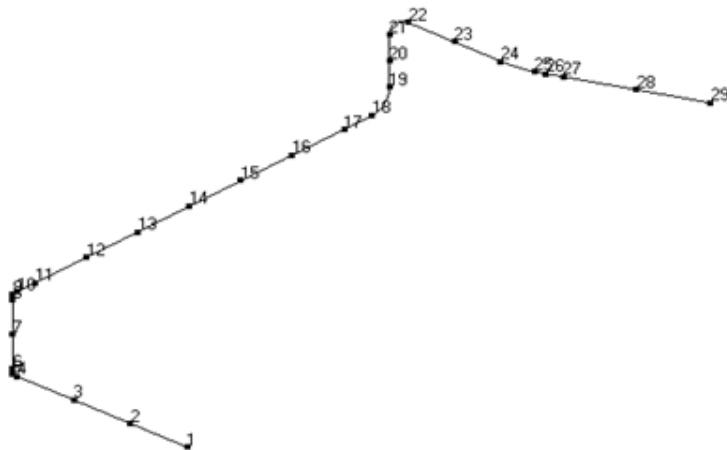
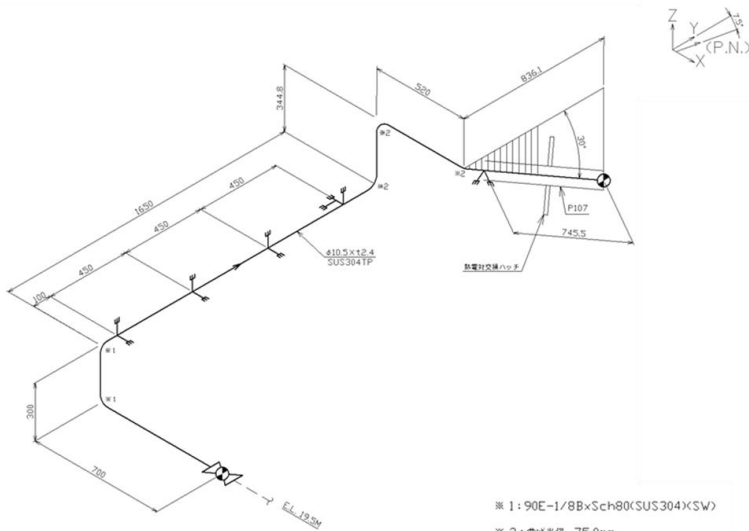
- 添付書類1-4-8.では、原子炉格納施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 原子炉格納容器貫通部配管、非常用空気浄化設備主ダクトに対して、応答倍率法による評価を実施した。
- 原子炉格納容器貫通部配管(応答倍率法による評価でNGのもの)に対して、既往の設工認時と同等の評価を実施した。

原子炉格納施設の評価結果(応答倍率法による評価)(一例)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値 [MPa]
P101(1100) 「容器外」	S	配管	1次	23	21	379
			1次+2次	43	95	309
主ダクト	B	配管	1次	70	82	196

## 評価方針

- ✓ Sクラス配管に対しては、基準地震動Ssによる発生値と許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとの比較を行う。発生値が許容値以下であれば、弾性設計用地震動Sdによる発生値についても、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S以下であることから弾性設計用地震動Sdによる評価を満足するものとする。
- ✓ 上記にて、基準地震動Ssによる発生値と許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sを上回った場合は、弾性設計用地震動Sdによる発生値と許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sを比較するものとする。
- ✓ Bクラス配管に対しては、弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じた地震動による発生値と許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとの比較を行う。



## 動的地震力

入力地震動	地震の種類	設計用床応答スペクトル	減衰定数
スペクトル波	Ss波(Sクラス) 0.5Sd波(Bクラス)	水平方向X方向	保温材有1.0% 保温材無0.5%
		水平方向Y方向	
		鉛直方向Z方向	

## 応力評価結果(一次応力)(一例)

節点番号	許容応力状態	一次応力評価 [MPa]				
		発生応力			評価	
		① 内圧応力	② 自重応力	③ 地震応力	計算応力 ①+②+③	許容応力
1	Ⅲ <sub>A</sub> S	6	4	6	16	126

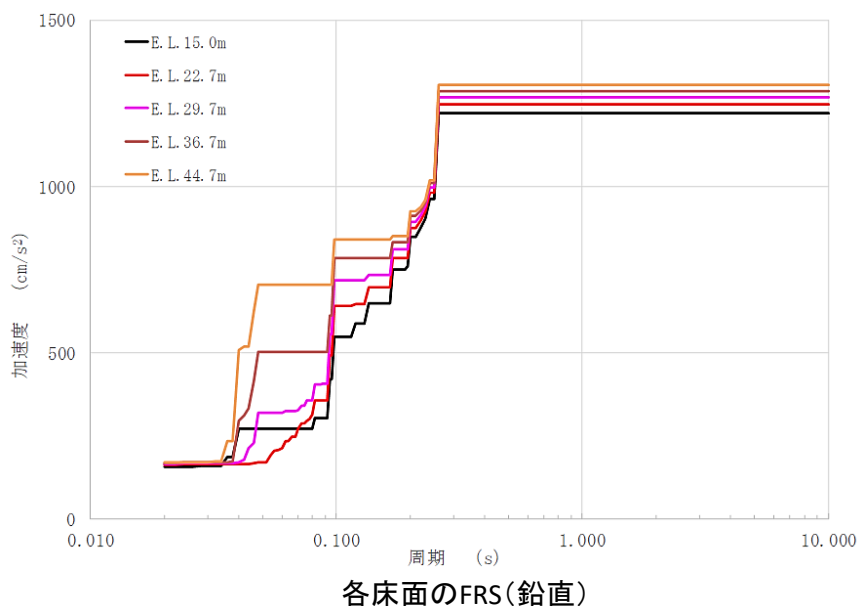
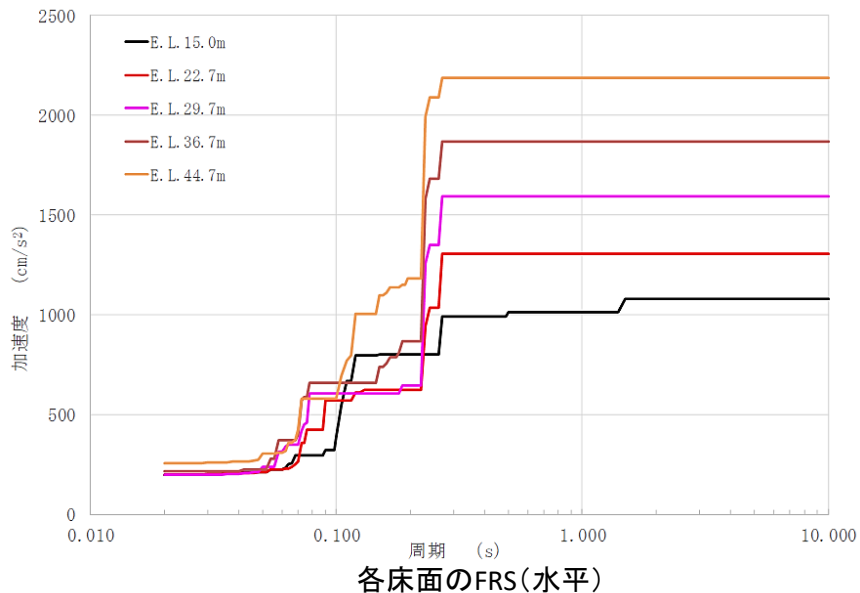
配管のアイソメ図(上)と解析モデル(節点番号)(下)

- 添付書類1-4-9.では、その他試験研究用等原子炉の附属施設の耐震性評価を実施し、耐震余裕を有していることを確認した。
- 非常用発電機の主配管(始動用空気配管)に対して、既往の設工認時と同等の評価を実施した。
- 制御棒交換機に対して、応答倍率法による評価を実施した。

制御棒交換機の評価結果(応答倍率法による評価)

評価対象設備	耐震クラス	評価部位	分類	方法1 [MPa]	方法2 [MPa]	許容値 [MPa]
制御棒交換機	B	本体胴	一次一般膜	33	31	202
		取付ボルト	引張	75	70	537

## 非常用発電機の主配管(始動用空気配管)の評価



### 計算方法 (定ピッチスパン法)

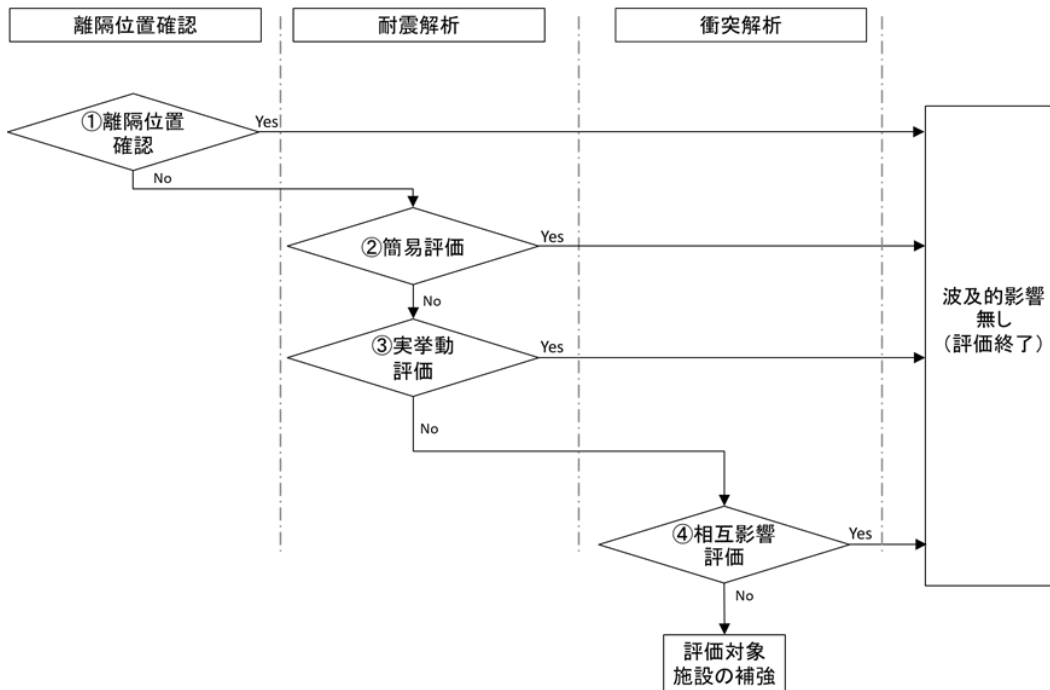
- ・ 計算に用いる加速度  
 水平方向: 2,187 [gal]  
 鉛直方向: 1,305 [gal]
- ・ 配管重量  
 配管自体の重量に保守的に安全率1.05を乗じる。
- ・ 配管応力  
 配管に生ずる応力としては、地震力による応力の他に、内圧、自重による各応力を求める。

### 直管部最大支持間隔及び応力の解析結果

主要寸法		支持間隔 [m]	一次応力		一次+二次応力	
外径 [mm]	厚さ [mm]		応力 [MPa]	許容値 [MPa]	応力 [MPa]	許容値 [MPa]
27.2	2.9	4.0	157	179	299	358
60.5	3.9	6.3	166	179	307	358

# 波及的影響評価

- 添付書類1-5-1.では、波及的影響に関する解析の方針及び評価方法を記載した。
- 添付書類1-5-2.から1-5-7.では、「原子炉建家屋根トラス」、「原子炉格納容器」、「原子炉建家天井クレーン」、「排気筒」、「燃料交換機」及び「制御棒交換機」を対象として、波及的影響評価を実施した。



※評価の順序を限るものではない。

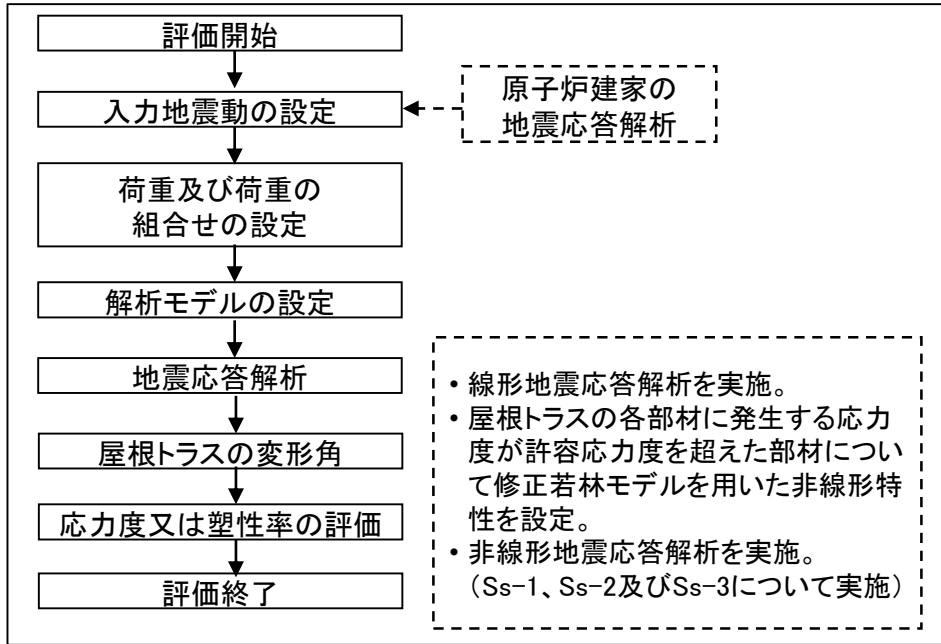
- ✓ 機器・配管系の評価は、以下の3つにより行う。
  - 離隔位置確認
  - 簡易評価
  - 実挙動評価
  - 相互影響評価(衝突解析)
- ✓ 評価フローは、左図のとおりとする。

波及的影響評価のフロー

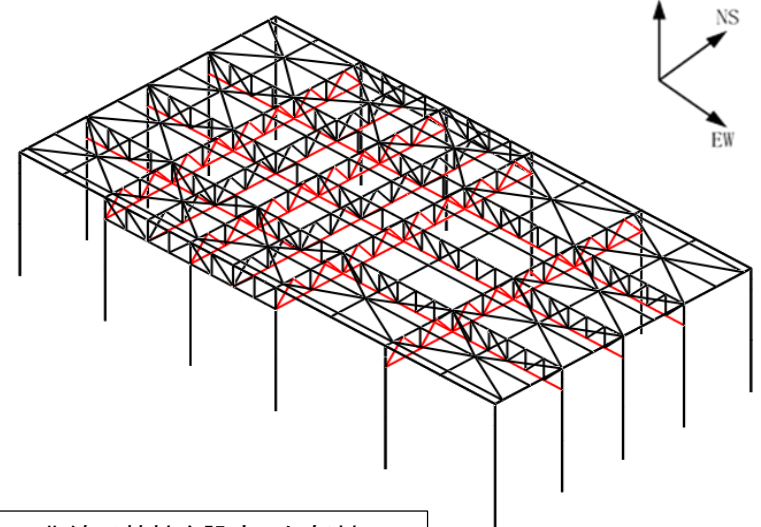


# 波及的影響評価(原子炉建家屋根トラス)

- 添付書類1-5-2.では、原子炉建家屋根トラスは、基準地震動 $S_s$ の地震が発生した場合でもSクラスの貯蔵プール及び原子炉格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。



屋根トラスの評価フロー



—: 非線形特性を設定した部材  
—: 線形部材

解析モデル

地震応答解析に使用した解析コード:  
Soil Plus(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)

## 評価結果

評価項目	評価結果	評価基準値
屋根トラスの変形角	0.20/100	1/100

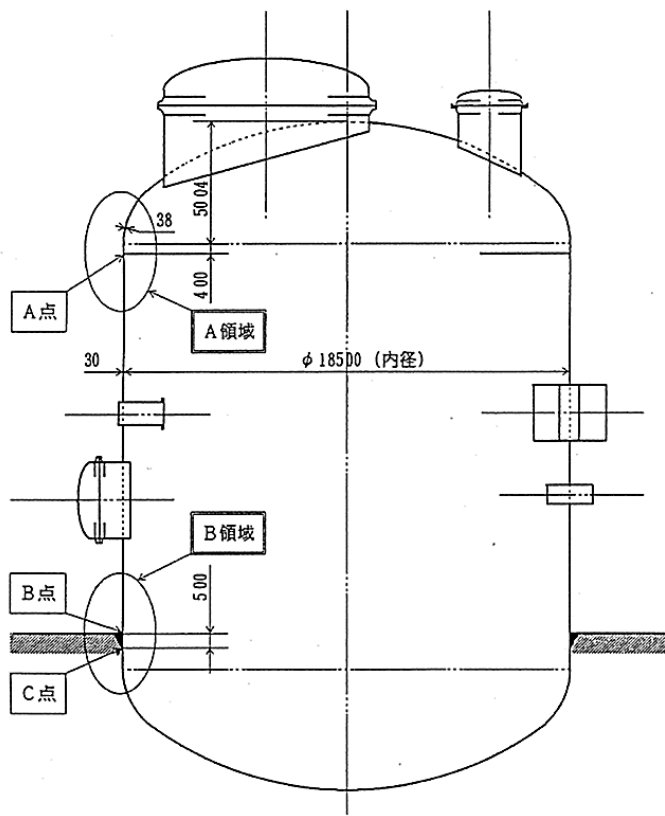
評価項目	評価結果	評価基準値
最大塑性率	下弦材:0.6	4.0
	斜材:0.8	

評価項目		発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	組合せ 検定値	評価 基準値
上弦材	軸力	79.4	258	0.31	0.54	1.00
	曲げ	115.2	258	0.45		
下弦材	軸力	105.3	190	0.55	0.80	
	曲げ	75.0	249	0.30		
斜材	軸力	183.8	258	0.71	0.89	
	曲げ	46.1	256	0.18		
束材	軸力	70.3	204	0.34	0.34	
	曲げ	—	—	—		

# 波及的影響評価(原子炉格納容器)

- 添付書類1-5-3.では、原子炉格納容器は、基準地震動 $S_s$ の地震が発生した場合でも格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。
- 原子炉格納容器の本体胴及び原子炉格納容器の附属機器の取付部の評価は、既往の設工認時の評価に対して、簡易的かつ保守的に $S_s$ による発生値を足し合わせて実施した。

本体胴の応力計算  
・ 計算式による計算



- ✓  $S_s$ の地震荷重により、軸方向応力は9MPaとなる。
- ✓ 既往の設工認の計算結果に対して9MPaを足し合わせて評価を実施した。
- ✓  $\sigma_2 - \sigma_3$ は、地震荷重が加わらないため足し合わせを実施しない。

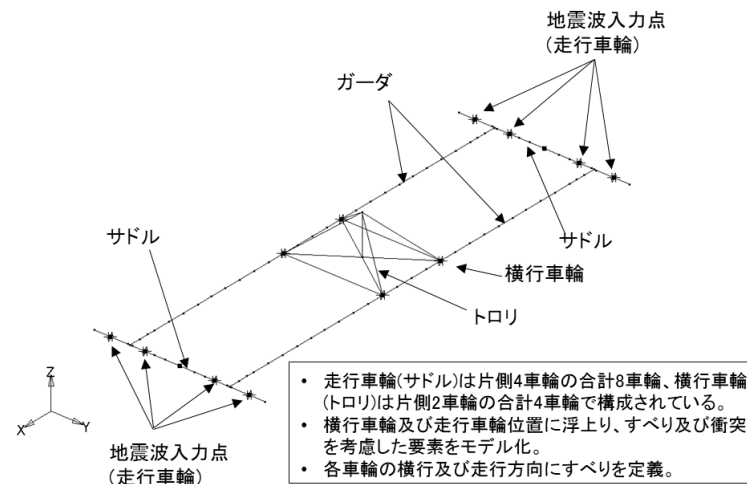
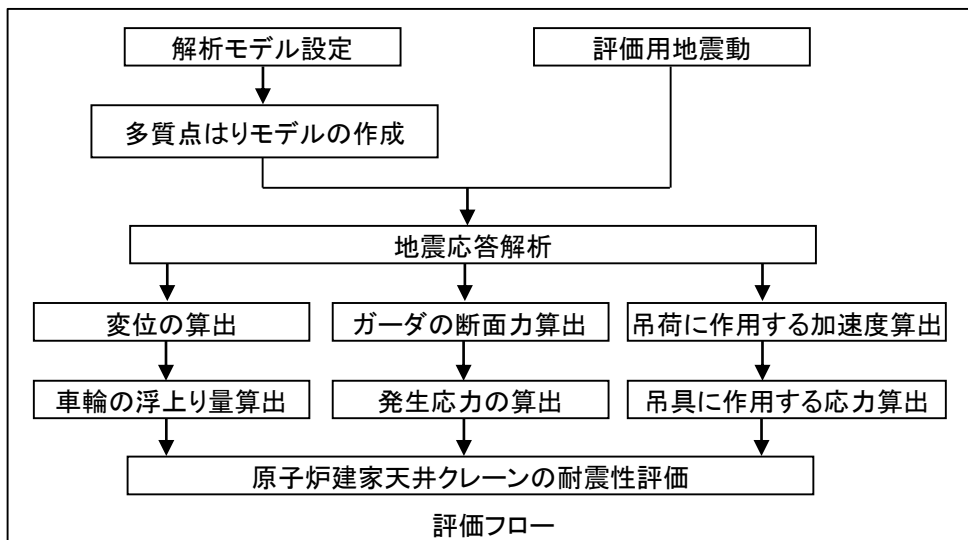
応力強さ(一例)

領域 \ 応力		一次一般膜応力強さ (MPa)			一次応力強さ (MPa)		
		$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
A	内側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-78 (=-69-9)	145 (=136+9)	-77 (=-68-9)
	外側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-78 (=-69-9)	145 (=136+9)	-77 (=-68-9)
B	内側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-68 (=-59-9)	135 (=126+9)	-76 (=-67-9)
	外側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-68 (=-59-9)	135 (=126+9)	-76 (=-67-9)
許容値		S = 131			1.5S = 197		

原子炉格納容器の本体胴の評価点

# 波及的影響評価(原子炉建家天井クレーン)

- 添付書類1-5-4.では、原子炉建家天井クレーンは基準地震動Ssの地震が発生した場合でもSクラスの貯蔵プール及び原子炉格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。



解析モデル

応力解析に使用した解析コード:

ABAQUS (Dassault Systemes株式会社)

- 幾何学的非線形を考慮した時刻歴応答解析を実施した。
- 車輪とレールの“すべり/浮上り/衝突”を考慮した。

## 評価結果

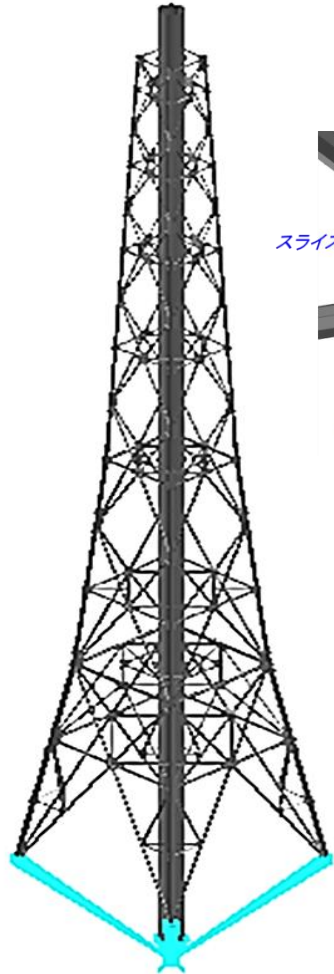
評価箇所		評価応力	発生値*	評価基準値	
クレーン 本体	ガーダ中央部	組合せ (垂直+せん断)	273MPa	279MPa	
	ガーダ端部		178MPa	279MPa	
浮上り*	横行 車輪	1車輪	浮上り回数	0回	∞
		2車輪	浮上り回数	1回	∞
		3車輪	浮上り回数	0回	0回
		4車輪	浮上り回数	0回	0回
	走行 車輪	1車輪	浮上り回数	0回	∞
		2車輪	浮上り回数	0回	∞
		3車輪	浮上り回数	0回	0回
		4車輪	浮上り回数	0回	0回
車輪	横行車輪	車輪つば	せん断	4MPa	310MPa
	走行車輪	車輪つば	せん断	12MPa	310MPa
レール	横行レール	取付ボルト	せん断	35MPa	160MPa
	走行レール	取付金物	せん断	40MPa	160MPa
吊具		ワイヤ	吊荷重量	4,482kN	7,600kN

\* 合計6波のうち1波の結果を代表例として記載

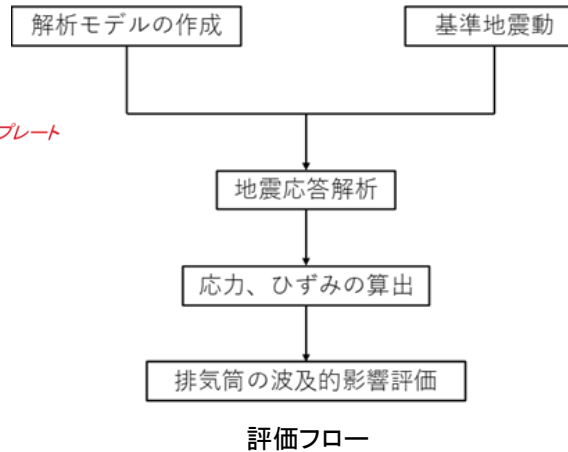
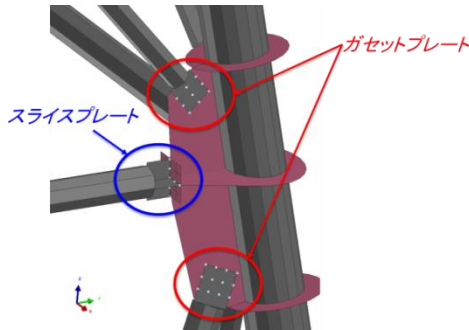
※横行車輪、走行車輪について、3車輪以上に浮上りが発生した場合に落下の危険性があると判断する。

# 波及的影響評価(排気筒)

- 添付書類1-5-5.では、排気筒は基準地震動 $S_s$ の地震が発生した場合でもSクラスの貯蔵プール及び原子炉格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。
- 排気筒は3次元の実形状モデルを用いて、 $S_s$ が発生した際の挙動を評価する。
- 排気筒の損傷、転倒及び落下等が発生するか否かは塑性変形を考慮して評価する。



排気筒の解析モデル



- 解析プログラム  
Virtual Performance Solution  
(日本イーエスアイ株式会社)
- 解析モデル  
地盤近傍のアンカーボルト等(水色部)は、剛体としてモデル化
- 地震動及び地盤ばね  
地震動及び地盤ばねは、筒身直下のT.P.+28.7mに入力

判断基準は、筒身及び鉄塔の破断の有無とした。筒身及び鉄塔が破断する場合とは、鉄塔の破断塑性ひずみの閾値0.156(15.6[%])を超過することである。

評価結果

	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ[%]	破断伸び(塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	0.9	15.6	256	469
鉄塔	13.3	15.6	535	574

# 波及的影響評価(燃料交換機)

- 添付書類1-5-6.では、燃料交換機は基準地震動 $S_s$ の地震が発生した場合でもSクラスの貯蔵プール及び原子炉格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。
- 取付ボルトの破断の有無を評価し、燃料交換機の損傷、転倒及び落下等が発生するか否かを判断する。

## 算出式

【せん断応力】

$$\tau_b = \frac{F_H}{NA_b}$$

【引張応力】

$$\sigma_b = \frac{F_V + N_v}{NA_b}$$

【許容せん断応力】

$$f_{sb} = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

【許容引張応力】

$$f_{ts} = 1.4Su - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq Su$$

$$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$\tau_b$  せん断応力

$\sigma_b$  引張応力

$F_H$  水平方向地震によるせん断力

$F_V$  水平方向地震による引張力

$N_v$  鉛直方向地震による引張力

$N$  ボルト本数

$A_b$  ボルト断面積

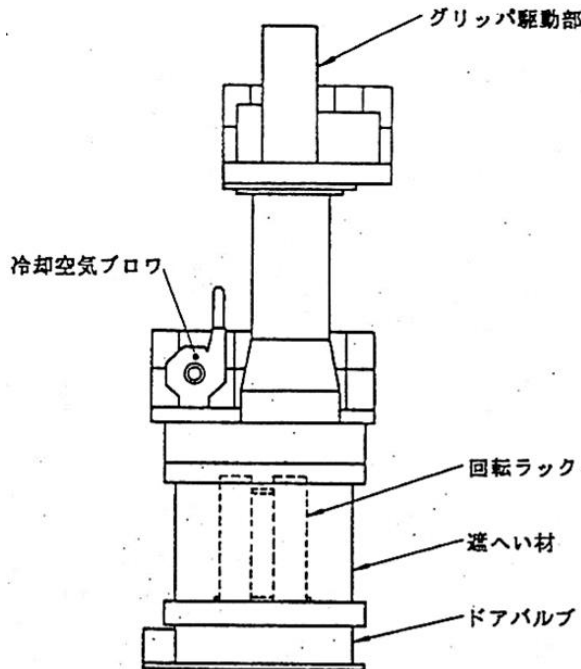
$F^*$  許容応力算定用の基準値

$f_{sb}$  許容せん断応力

$f_{ts}$  許容引張応力

$S_y$  設計降伏点

$S_u$  設計引張強さ



燃料交換機の概略形状

判断基準は、取付ボルトの破断の有無とした。取付ボルトが破断する場合とは、取付ボルトに発生する応力が設計引張強さを超過することである。

燃料交換機の評価結果(一例)

評価対象設備	評価部位	分類	発生値 [MPa]	許容値 [MPa]
燃料交換機	ドアバルブの 取付ボルト	せん断	153	323
		引張	446	800

# 動的機器の機能維持確認

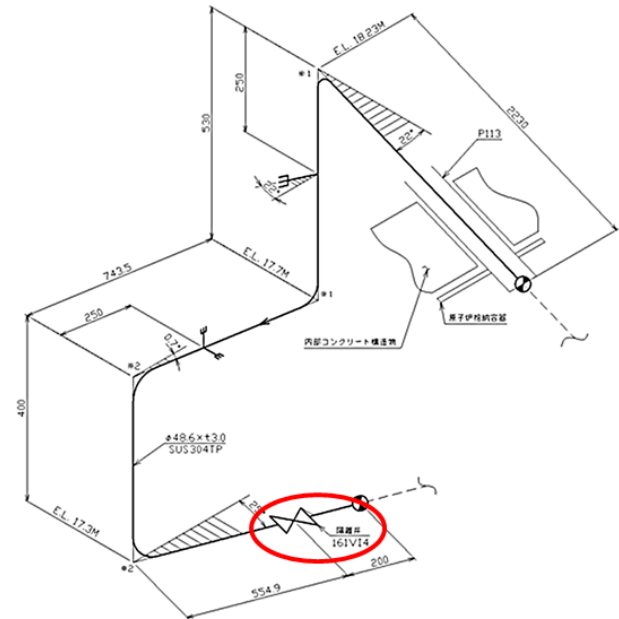
- 添付書類1-6.及び1-6-1では、地震時に動作を要求する動的機器は基準地震動Ssの地震が発生した場合でも、当該設備に要求される機能が維持されることを確認した。
- 地震時に動作を要求する動的機器は、原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)である。
- 当該弁に発生する基準地震動による応答加速度が、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)に定められた弁駆動部の機能確認済加速度以下であることの確認をもって、地震時の機能維持を満足するものとする。

## 【発生する応答加速度】

- 完全固定点に設置されている弁に当たっては、添付書類1-2-1.に示す最大応答加速度の1.2倍とする。
- 上記以外の弁に当たっては、配管系の解析により求める。

## 【確認結果】

- 完全固定点に設置されている弁の応答加速度は、添付書類1-2-1.の示す最大応答加速度の1.2倍の中で最大値の水平1.5G及び鉛直0.9Gである。左記に対して、機能維持確認済加速度は、水平6.0G及び鉛直6.0G(逆止弁)である。
- 上記以外の弁の結果は、下表のとおり。



弁の機能維持確認結果

弁番号	設備	応答加速度 [G]		機能維持確認済加速度 [G]		備考
		水平	鉛直	水平	鉛直	
161VI4	1次ヘリウム 純化設備	0.51	0.44	6.0	6.0	逆止弁
161VI6	1次ヘリウム 純化設備	0.36	0.38	6.0	6.0	逆止弁