

柏崎刈羽原子力発電所 7号機

新潟県中越沖地震に対する 地震応答解析結果について

平成20年2月6日

東京電力株式会社



東京電力

地震応答解析の範囲

■ 地震応答解析の対象範囲

- 重要度分類クラス1の設備
- 重要度分類クラス2の設備
 - ✓耐震安全上重要度が高い設備（耐震クラスがAs, Aのもの及びその他動的地震動による耐震評価の対象としているもの）
B/Cクラス設備のうちAs/Aクラス設備に波及的影響を及ぼす可能性のある設備
燃料取替機および原子炉建屋クレーン

■ 解析対象代表設備の選定

- 同一の設備が複数存在する場合
据付床の床応答等を考慮して選定
- 配管系のように類似設備が多数存在する場合
設計時の余裕度, 仕様, 使用条件等の観点から選定

地震応答解析の概要

■ 構造強度評価

- 評価基準 許容応力状態 A_S
- 設備の評価箇所は以下の観点から選定
 - ✓地震力が大きく作用すると考えられる固定部（基礎ボルト，脚等）
 - ✓設計時応力の許容値に対する余裕度が比較的小さい部位

■ 動的機能維持評価

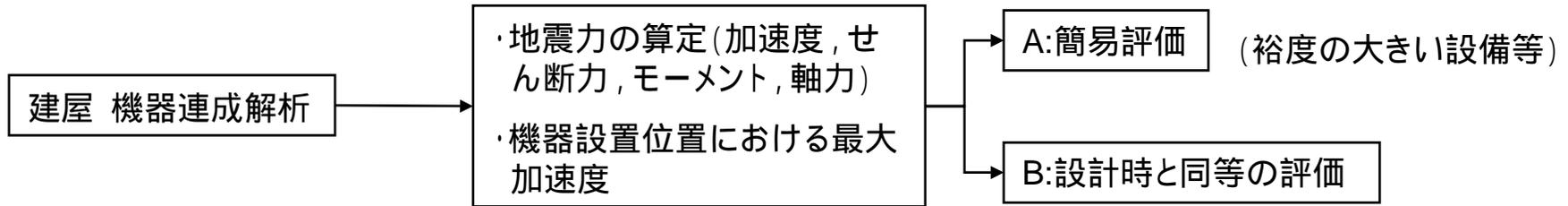
- ポンプ，弁および制御棒等の地震時の動的機能が要求される動的機器について，応答加速度と機能確認済加速度 とを比較する
- 評価基準値
 - ✓機能確認済加速度は，JEAG4601-1991追補版に準拠するとともに，試験等で妥当性が確認された値も用いる

立形ポンプ，横形ポンプおよびポンプ駆動用タービン，弁等，機種ごとに試験あるいは解析により，動的機能維持が確認された加速度

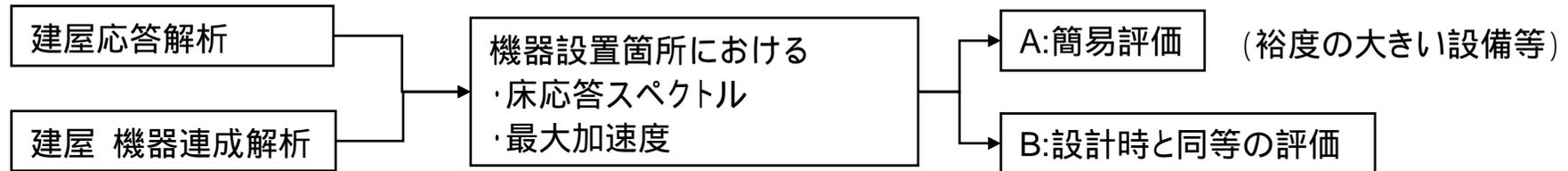
構造強度評価

構造強度評価の概要

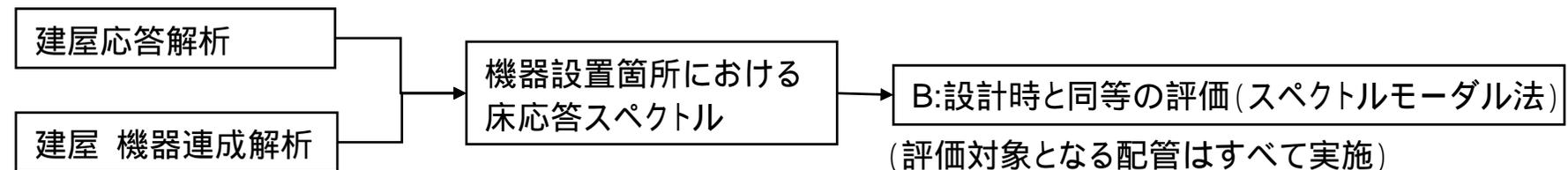
■ 大型機器（格納容器，圧力容器，炉内構造物）



■ 床置機器（ポンプ，熱交換器，換気空調設備等）



■ 配管系



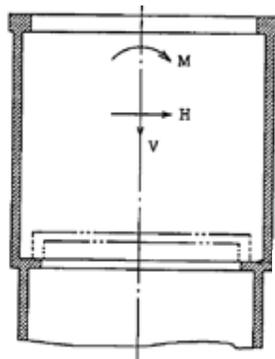
大型機器の評価

応力評価の例（円筒容器）

建屋 機器連成解析(時刻歴解析)

作用する地震力を算出
(鉛直力, 水平力, モーメント)

荷重の組み合わせ
地震力 + 自重 + 圧力(差圧)



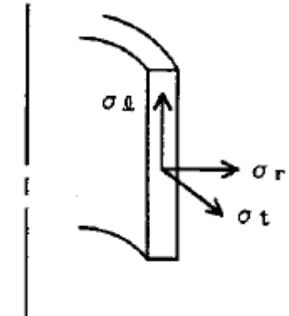
< 荷重成分 >

V: 鉛直力(地震力 + 自重 + 差圧)
H: 水平力(地震力 + 差圧)
M: モーメント(地震力 + 差圧)

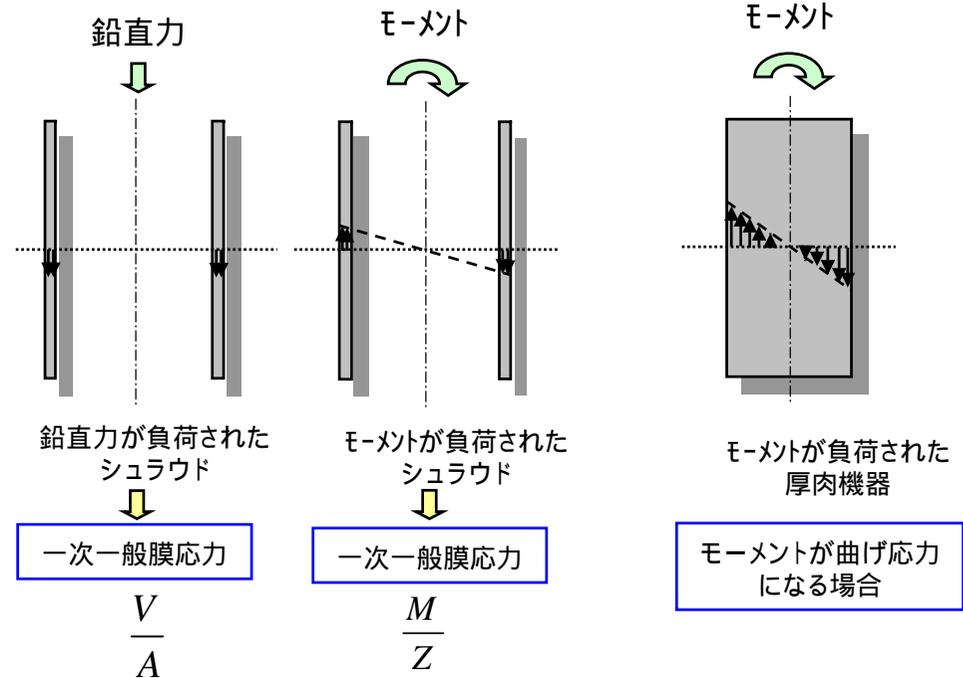
一次一般膜応力 の算出

$$\sigma_l = \frac{V}{A} + \frac{M}{Z} \quad \tau_{tl} = \frac{H}{A}$$

(A: 断面積, Z: 断面係数)



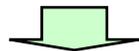
不連続部から離れた円筒部分に機械的な引張力(又は圧縮力)が加わる場合生ずる応力(膜応力)は、外荷重との平衡の法則を満足する応力であって、Pm(膜応力)に分類



応力評価の例

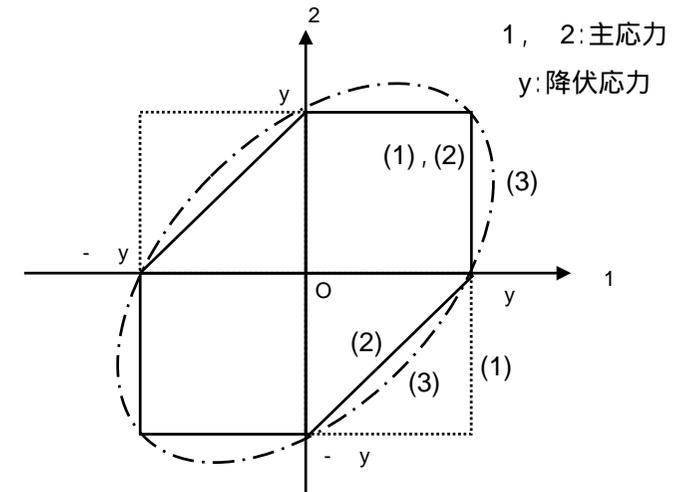
主応力($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)の算出
 ・次式 を満足する解を求める

$$\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \quad \dots \text{式}$$



応力強さの算出
 ・最大せん断応力説を適用(規格基準)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{12} &= |\sigma_1 - \sigma_2| \\ \sigma_{23} &= |\sigma_2 - \sigma_3| \\ \sigma_{31} &= |\sigma_3 - \sigma_1| \end{aligned} \right\} \text{の最大値}$$



2次元応力状態の場合の降伏条件(イメージ図)

(応力強さの考え方)

● 材料の破壊理論

(1)最大主応力説, (2)最大せん断応力説, (3)ひずみエネルギー説

● 実際の現象への適合性, 保守性, 実設計への応用性を考慮し最大せん断応力説を技術基準に適用

● 最大せん断応力の2倍をもって「応力強さ」と定義

大型機器の評価方法（簡易評価） 1 / 2

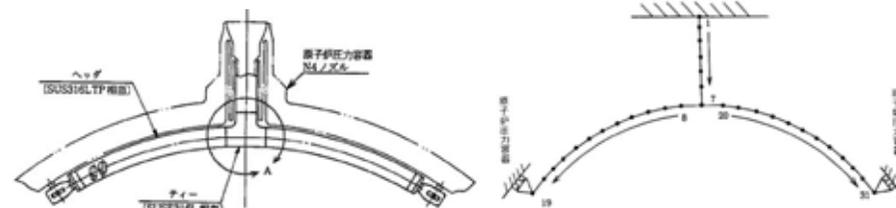
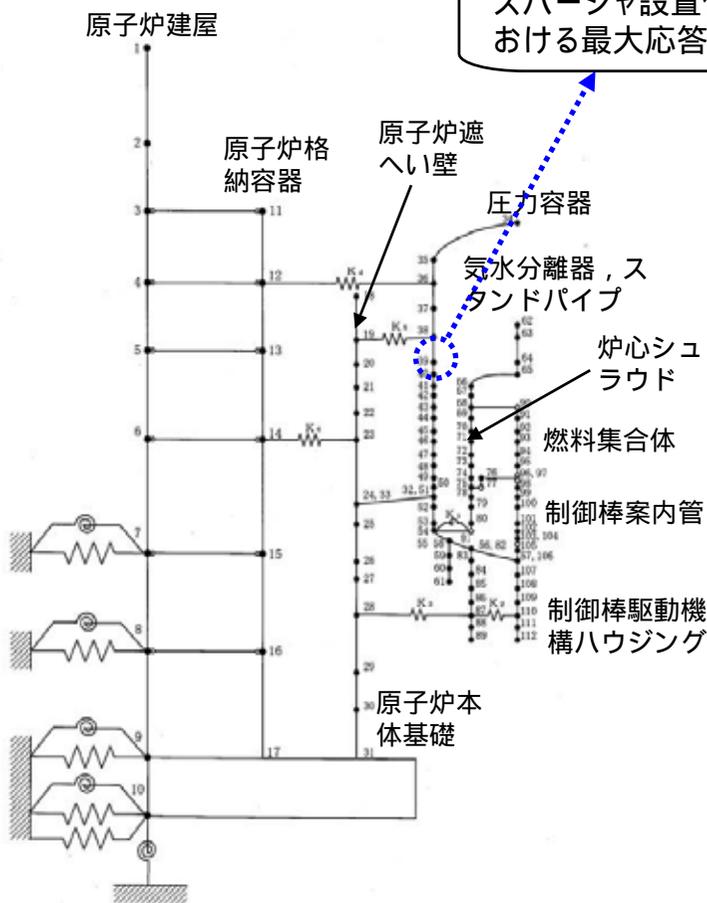
■ 簡易評価の例 : 給水スパージャ

- 設計時における給水スパージャの評価方法

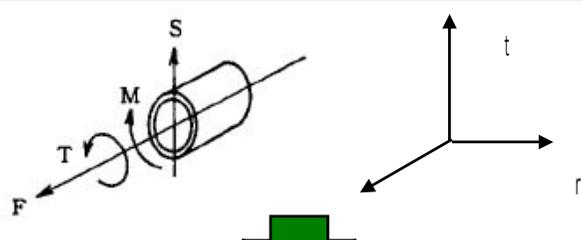
建屋-機器連成解析(時刻歴)

- ・給水スパージャをモデル化
- ・静的評価(全体に一定加速度を適用)

スパージャ設置位置における最大応答加速度



評価点における軸力(F), せん断力(S), ねじりモーメント(T), 曲げモーメント(M)



主応力の計算
(1, 2, 3)
...式 (P7)

一次一般膜 + 一次曲げ応力の算出

$$\sigma_{\ell} = \frac{F}{A} + \frac{M}{Z} \qquad \tau_{tl} = \frac{S}{A} + \frac{T}{2 \cdot Z}$$

A: 断面積, Z: 断面係数, D₀: 外径

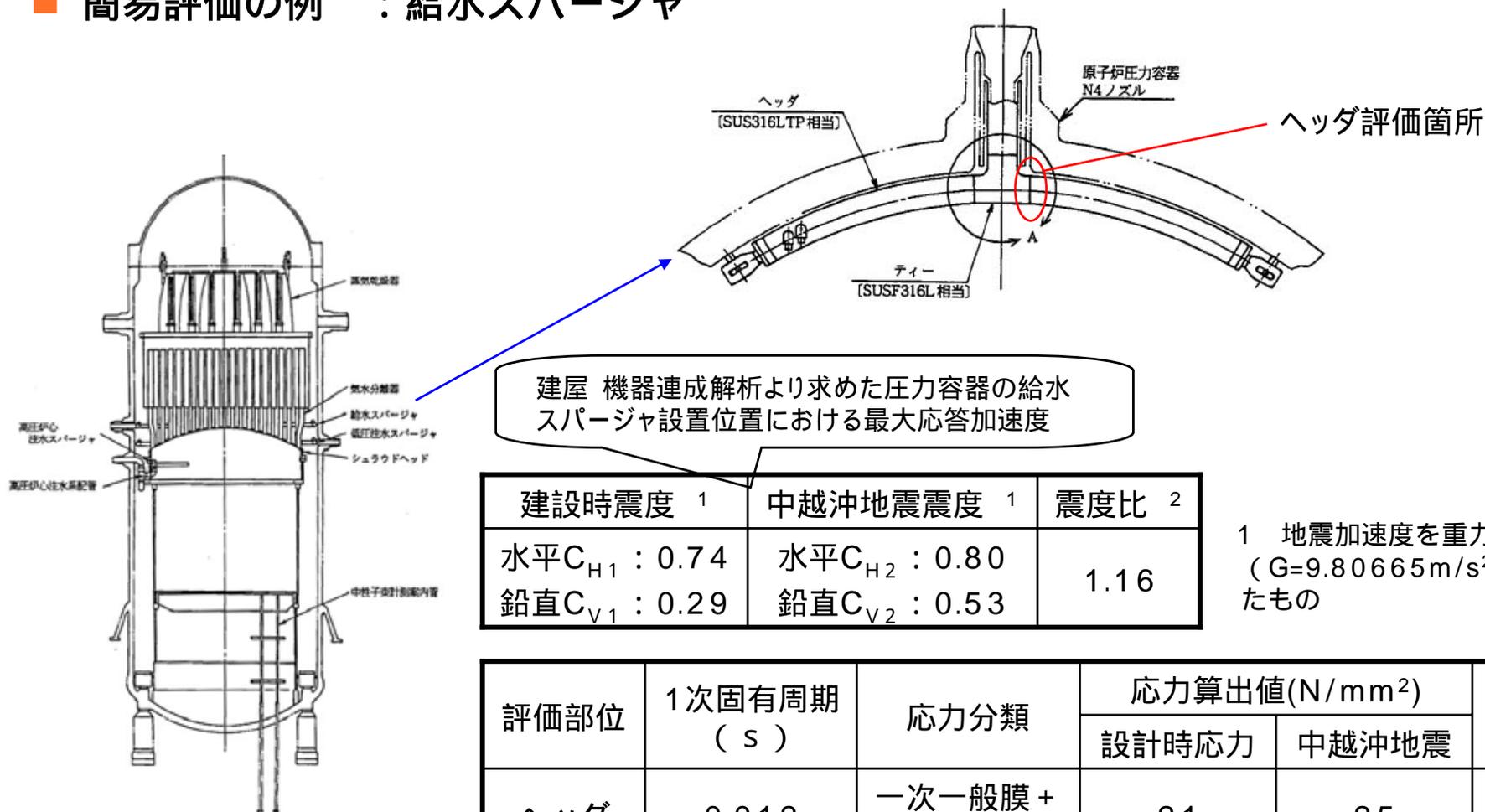
応力強さ
(最大せん断応力説)

1	2
2	3
3	1

の最大値

大型機器の評価方法（簡易評価）2 / 2

■ 簡易評価の例 : 給水スパージャ



建屋 機器連成解析より求めた圧力容器の給水スパージャ設置位置における最大応答加速度

建設時震度 ¹	中越沖地震震度 ¹	震度比 ²
水平 C_{H1} : 0.74	水平 C_{H2} : 0.80	1.16
鉛直 C_{V1} : 0.29	鉛直 C_{V2} : 0.53	

1 地震加速度を重力加速度 ($G=9.80665\text{m/s}^2$) で割ったもの

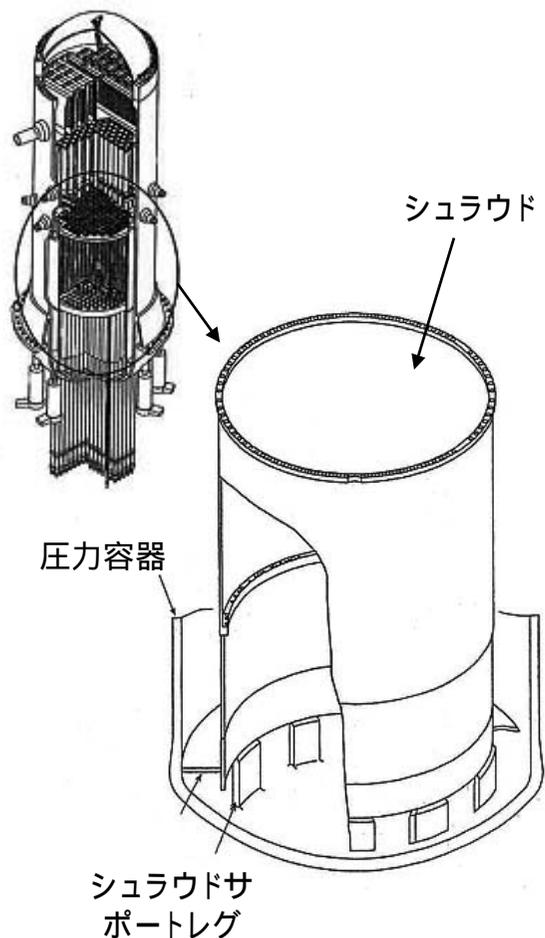
評価部位	1次固有周期 (s)	応力分類	応力算出値(N/mm ²)		許容値
			設計時応力	中越沖地震	
ヘッド	0.012	一次一般膜 + 一次曲げ応力	21	25	213

× 震度比

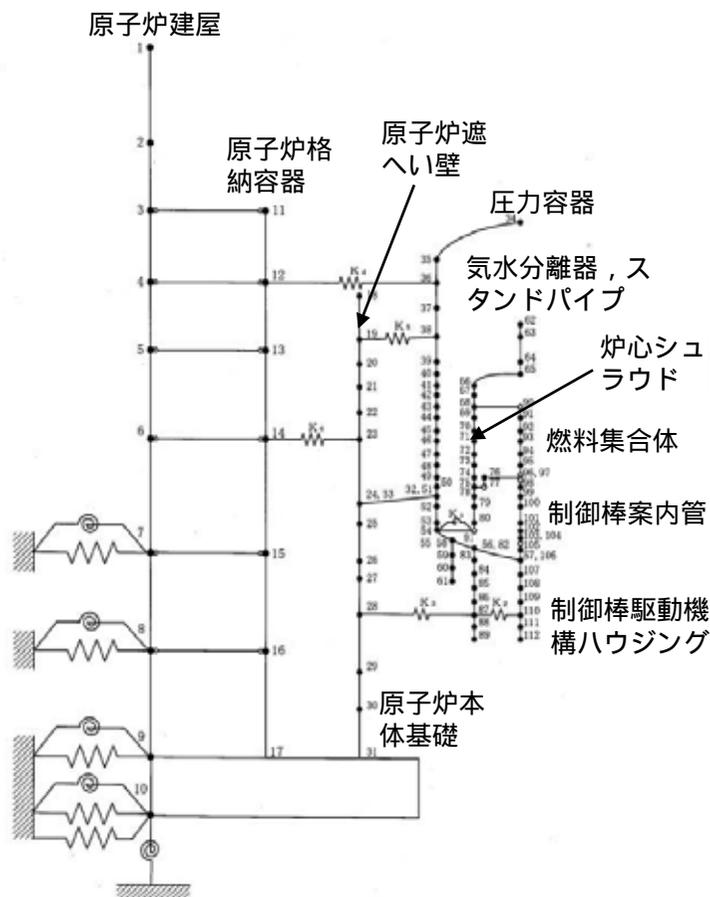
2 中越沖地震による水平震度と鉛直震度の二乗和平方根と設計時の水平震度と鉛直震度の二乗和平方根との比

大型機器の評価方法（設計と同等の評価）

- 設計時と同等の評価の例 : シュラウドサポートレグ



建屋 機器連成解析(時刻歴解析)

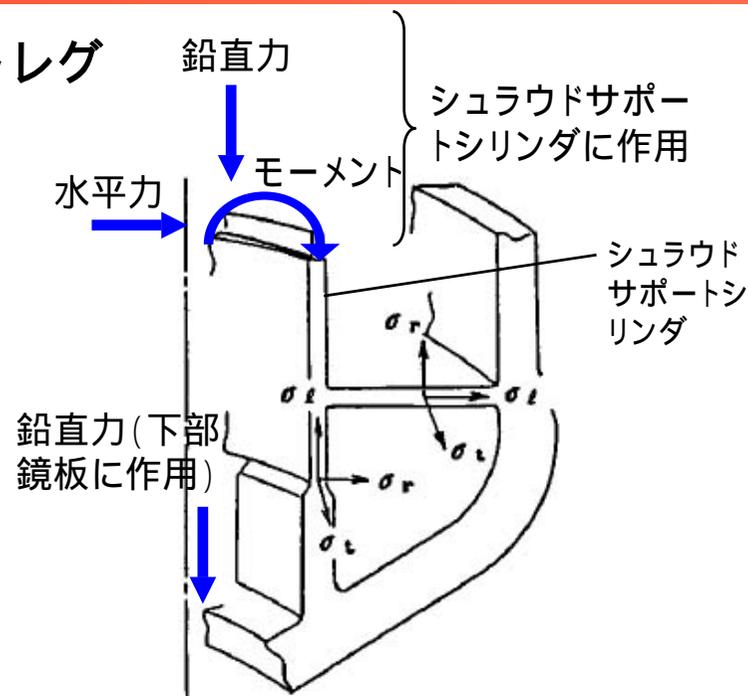
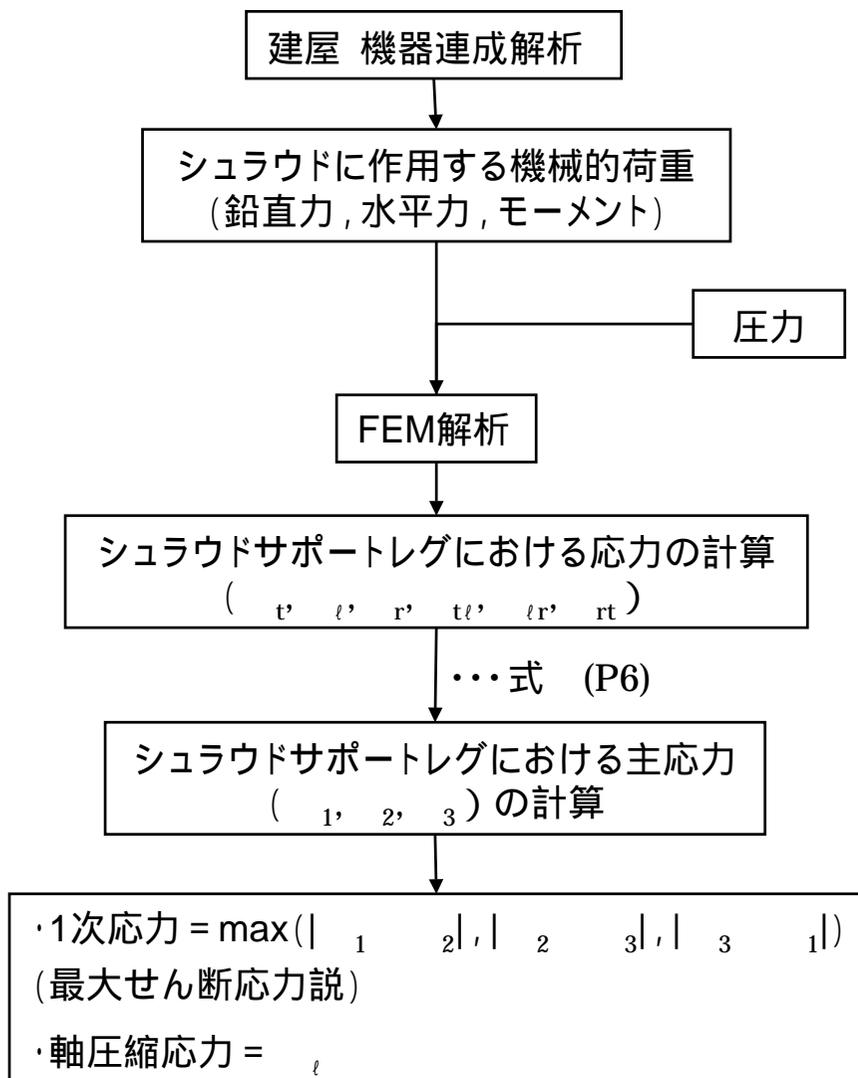


シュラウドに作用する機械的荷重を算出
(鉛直力, 水平力, モーメント)

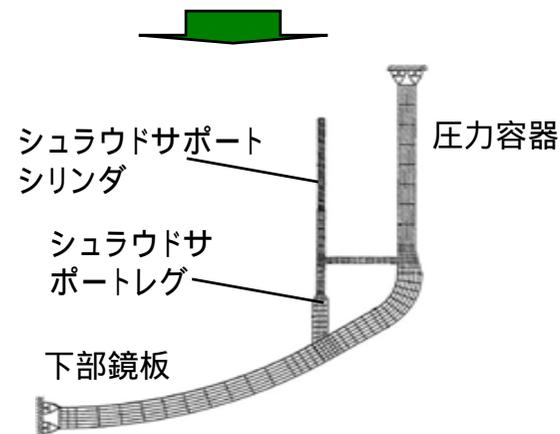
建屋 炉内構造物連成解析モデル
(水平NS方向解析モデル)

大型機器の評価方法（設計と同等の評価）

■ 設計時と同等の評価の例 : シュラウドサポートレグ

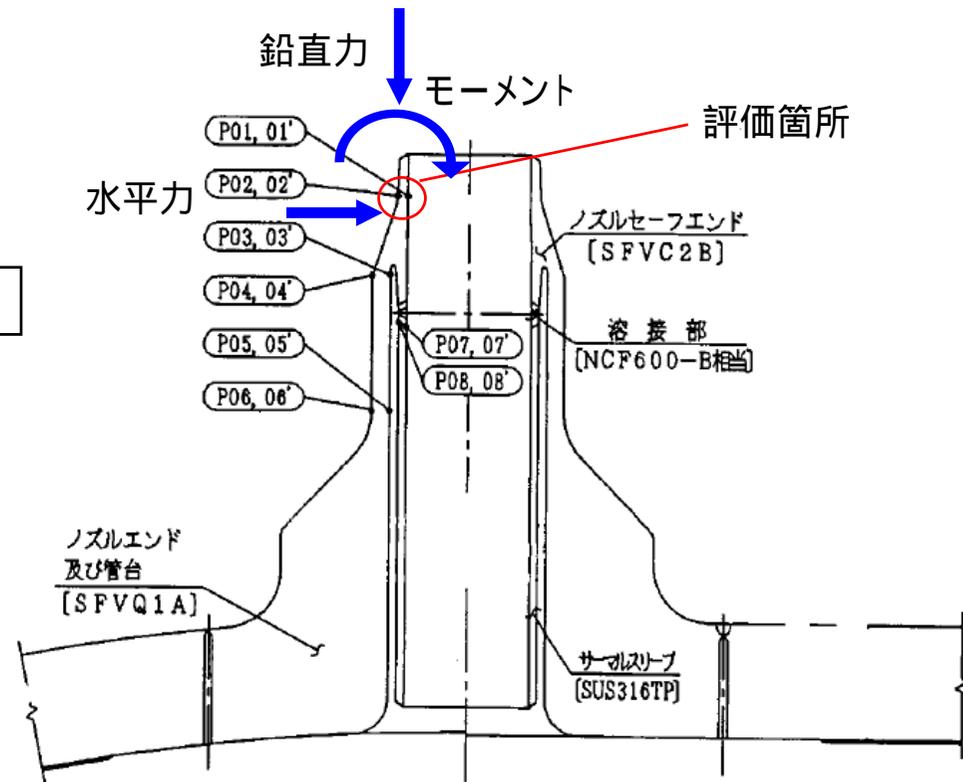
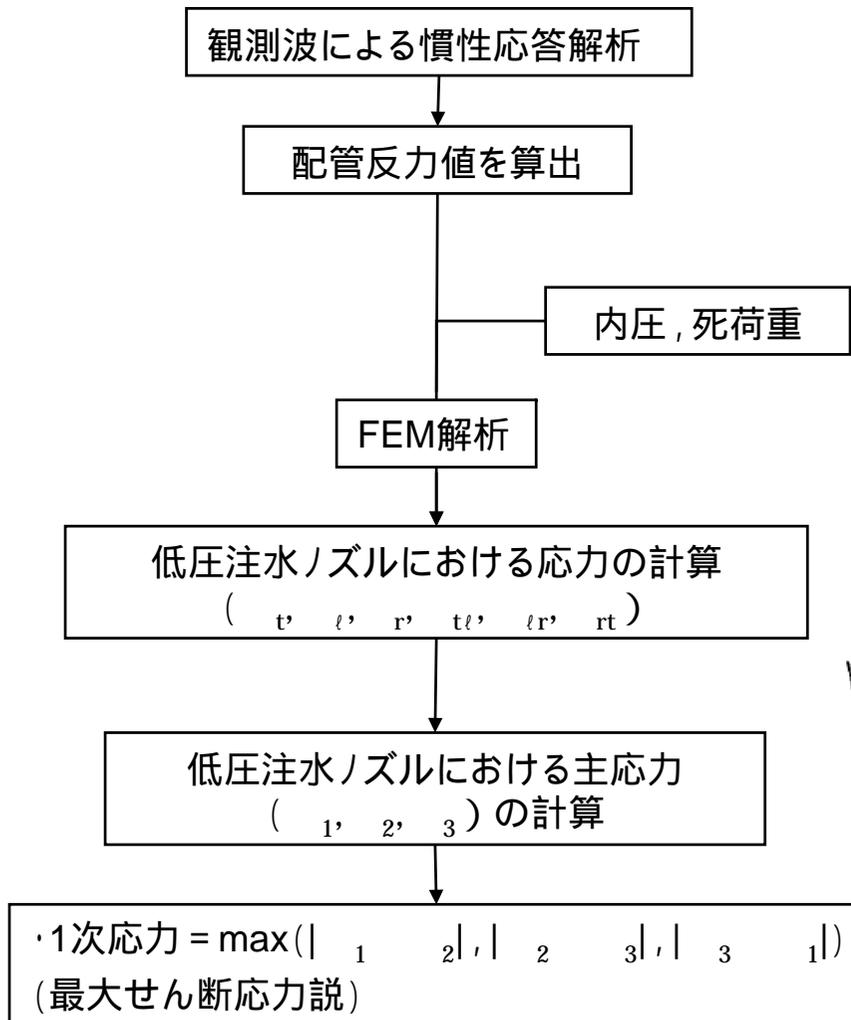


上記機械的荷重と圧力をFEMに入力



大型機器の評価方法（設計と同等の評価）

■ 設計時と同等の評価の例：低圧注水ノズル（N6）



大型機器の評価方法（設計と同等の評価）

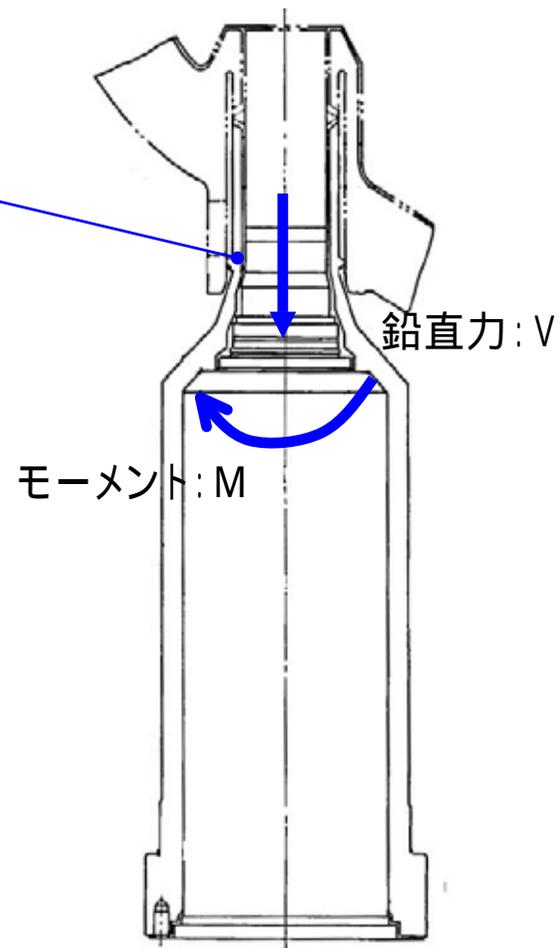
- 設計時と同等の評価の例 : 原子炉冷却材再循環ポンプ

ケーシング部の
軸圧縮応力の算出

$$\sigma_c = \frac{V}{A} + \frac{M}{Z}$$

A: 断面積

Z: 断面係数



構造強度評価結果：大型機器（1 / 5）

原子炉圧力容器

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (AS) (N/mm ²)	評価 方法
R P V円筒胴	胴板	膜	177	303	B
下部鏡板	球殻部	膜	186	303	B
制御棒駆動機構 ハウジング貫通孔	スタブチューブ	軸圧縮	68	98	B
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通部	ケーシング側付け根部	膜+曲げ	224	418	B
支持スカート	スカート	圧縮	25	387	B
		座屈	0.1	1 ¹	B
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	引張	115 ²	499	A

A:簡易評価, B:設計時と同等の評価

- 1 座屈に対する評価式により, 発生値は評価基準値に対する比率で示す
- 2 荷重比が1以下のため, 工認値を記載

構造強度評価結果：大型機器（2 / 5）

原子炉压力容器

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (^A S) (N/mm ²)	評価 方法
主蒸気ノズル (N3)	ノズルセーフエンド	膜	97	303	B
給水ノズル (N4)	ノズルセーフエンド	膜+曲げ	111	252	B
低圧注水ノズル (N6)	ノズルセーフエンド	膜+曲げ	177	252	B
原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10)	ノズルセーフエンド	膜+曲げ	140	252	B
原子炉压力容器スタビライザ	ロッド	引張	221	513	B
制御棒駆動機構ハウジングレス トレントビーム	レストレントビーム	曲げ	61	176	B
原子炉冷却材再循環ポンプ	モーターケーシング	軸圧縮	105	123	B
ブラケット類	上部ガイドロッドブラケッ ト	膜+曲げ	99	205	B

A: 簡易評価, B: 設計時と同等の評価

構造強度評価結果：大型機器（3 / 5）

炉内構造物

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価 方法
蒸気乾燥器	耐震用ブロック	平均せん断	20	155	A
シュラウドヘッド	鏡板	膜+曲げ	60	139	B
気水分離器	スタンドパイプ	膜+曲げ	46	128	B
給水スパージャ	ヘッド	膜+曲げ	25	213	A
高圧炉心注水スパージャ	ヘッド	膜+曲げ	38	213	A
低圧注水スパージャ	ヘッド	膜+曲げ	20	213	A
高圧炉心注水系配管（原子 炉压力容器内）	パイプ	膜+曲げ	19	213	A
中性子束計測案内管	中性子束案内管	膜+曲げ	6	139	A

炉心支持構造物

炉心シュラウド	下部胴	膜+曲げ	19	128	B
シュラウドサポート	レグ	軸圧縮	32	243	B
上部格子板	グリッドプレート	膜+曲げ	24	213	B
炉心支持板	補強ビーム	膜+曲げ	91	213	A
制御棒案内管	下部溶接部	膜+曲げ	6	139	B

A: 簡易評価, B: 設計時と同等の評価

構造強度評価結果：大型機器（4 / 5）

格納施設

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(A S) (N/mm ²)	評価 方法
ドライウェル上鏡	フランジプレート	曲げ	27	264	A
下部ドライウェルアクセス口	原子炉本体 フレキシブルジョイント部	組合せ	206	427	A
配管貫通部	フランジプレート	曲げ	160	202	A
電気配線貫通部	フランジプレート	曲げ	195	264	A
ベント管	リアラインの垂直管と の結合部	膜+曲げ	52	127	A
ドライウェルスプレイ管	スプレイ管案内管	一次	52	211	A
ダイアフラムフロア	シアプレート	曲げ	51 ¹	304	A

1 荷重比が1以下のため、工認値を記載

核計測装置

局部出力モニタ検出器集合体	カバーチューブ	膜+曲げ	106	141	A
起動領域モニタドライチューブ	パイプ	膜+曲げ	122	257	A

A: 簡易評価, B: 設計時と同等の評価

構造強度評価結果：大型機器（5 / 5）

原子炉冷却材再循環系

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(^A S) (N/mm ²)	評価 方法
原子炉冷却材再循環ポンプ	スタッドボルト	平均引張 応力	175	300	A

原子炉本体の基礎

アンカボルト	アンカボルト	引抜力	335.1 ¹ (t/4.5°)	434.7 (t/4.5°)	A
圧力容器ブラケット	水平プレート	曲げ	2.11 ¹ (t/cm ²)	4.34 (t/cm ²)	A

1 荷重比が1以下のため、工認値を記載

床置機器の評価

床置機器の評価方法（簡易評価）

■ 簡易評価の例：残留熱除去系ポンプ基礎ボルト

✓設計時応力(せん断) : 4 N/mm^2 (自重が地震による転倒モーメントを上回っているため引張は発生しない)

✓応答比の算出

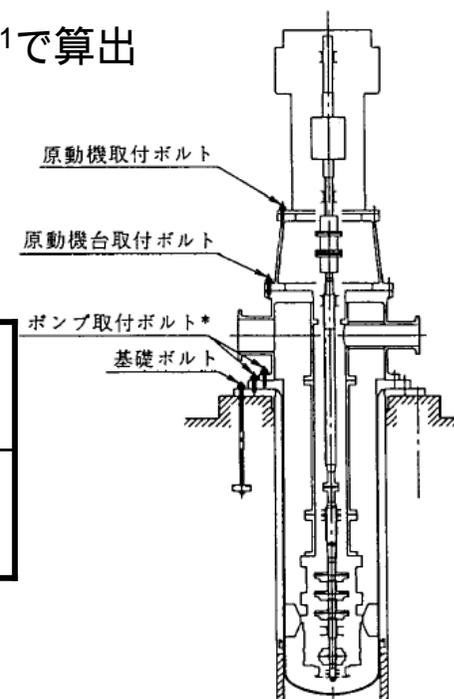
固有周期: 0.05秒以下 剛とみなし設置床の最大加速度 $\times 1.2$ ¹で算出

設置床 (-8.2m) における最大応答加速度の比較

1 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1991追補版) に基づき, 強度設計では剛な場合の地震力として床加速度の1.2倍を用いて計算を行った

	TMSL-8.2mにおける床の最大加速度 $\times 1.2$		震度比 ²
	水平方向: C_H (g)	鉛直方向: C_V (g)	
設計時	$C_{H1} = 0.33$	$C_{V1} = 0.28$	1.14
中越沖地震	$C_{H2} = 0.44$	$C_{V2} = 0.44$	

2 中越沖地震による水平震度と鉛直震度の二乗和平方根と設計時の水平震度と鉛直震度の二乗和平方根との比

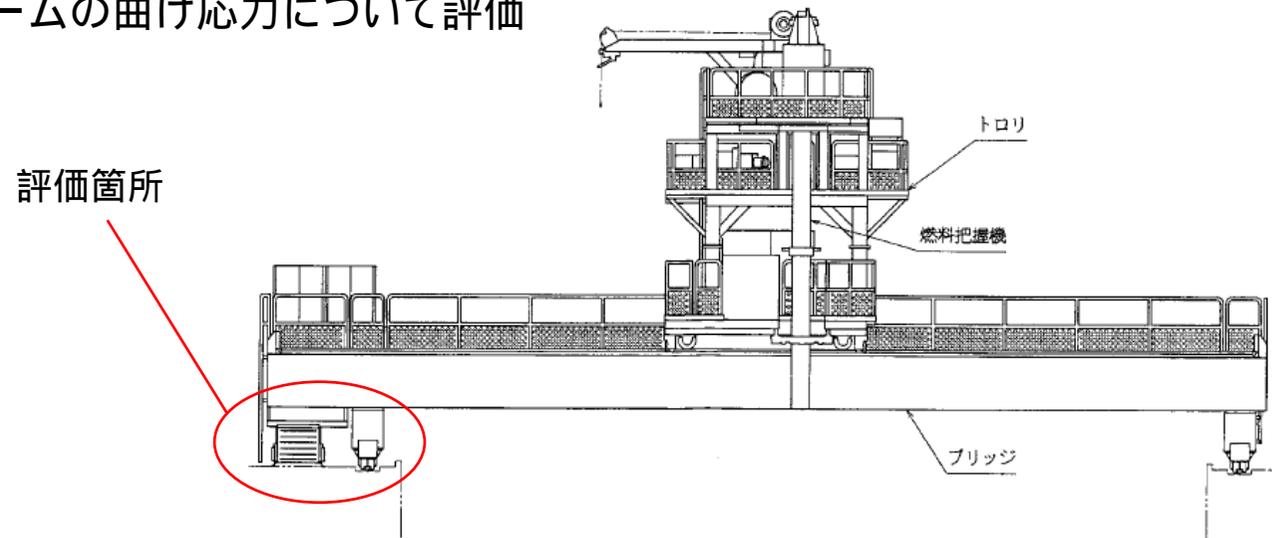


✓中越沖地震による発生応力(せん断) = $4 \text{ N/mm}^2 \times 1.14 = 5 \text{ N/mm}^2$

床置機器の評価方法（簡易評価）

■ 簡易評価の例 ： 燃料取替機

- ✓ フレームの曲げ応力について評価



- フレーム曲げ応力 = $F/A + M/Z$

F：自重，水平地震力，鉛直地震力による部材力

M：自重，水平地震力，鉛直地震力による部材モーメント

A：断面積

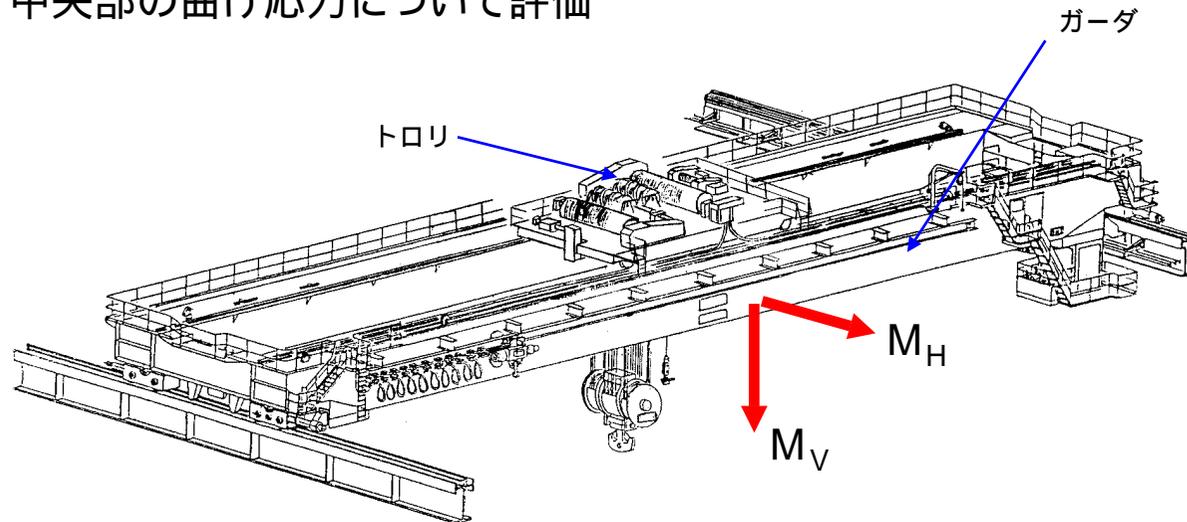
Z：断面係数

工認時の発生応力を自重，水平地震力，垂直地震力に成分分解し，各方向の振動モードを考慮した固有周期の結果を基に求めた震度比を乗し，組み合わせて評価。

床置機器の評価方法（設計時と同等の評価）

■ 設計時と同等な評価の例：原子炉建屋クレーン

- ✓ ガーダ中央部の曲げ応力について評価



- ガーダ中央部曲げ応力 = $M_V/Z_X + M_H/Z_Y$

- ✓ $M_V = (M_1 + M_2 + M_3) \cdot (1 + C_V)$

- ✓ $M_H = (M_1 + M_2) \cdot C_H$

M_1, M_2, M_3 : ガーダ重量, トロリ重量, 定格荷重による曲げモーメント

Z_X, Z_Y : 断面係数

C_V : 鉛直方向震度（クレーン設置階の鉛直方向床応答スペクトルより読み取り）

C_H : 水平方向震度（駆動輪における最大静止摩擦係数より導出）

構造強度評価結果：床置機器（1 / 4）

制御棒駆動水系

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価 方法
水圧制御ユニット	フレーム	組合せ	36	211	A
	取付ボルト	引張	16	158	A

残留熱除去系

残留熱除去系熱交換器	胴板	一次	97	372	A
	脚	組合せ	18	224	A
	基礎ボルト	せん断	17	118	A
残留熱除去系ポンプ	取付ボルト	せん断	4	341	A
	基礎ボルト	せん断	5	350	A
残留熱除去系ストレーナ	取り付け部 フランジ	膜+曲げ	61	169	A

原子炉隔離時冷却系

原子炉隔離時冷却系ポンプ	取付ボルト	せん断	6	341	A
	基礎ボルト	引張	30	456	A
原子炉隔離時冷却系蒸気駆動 タービン	取付ボルト	引張	20	443	A
	基礎ボルト	引張	12	456	A

構造強度評価結果：床置機器（2 / 4）

高压炉心注水系

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価方法
高压炉心注水系ポンプ	取付ボルト	せん断	6	341	A
	基礎ボルト	せん断	7	350	A
高压炉心注水系ストレーナ	取り付け部 フランジ	膜+曲げ	51	169	A

主蒸気系

主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	胴板	膜	29	150	A
	脚	組合せ	3	201	A
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	胴板	膜	36	150	A
	脚	組合せ	8	201	A

ほう酸水注入系

ほう酸水注入系ポンプ	取付ボルト	せん断	15	121	A
	基礎ボルト	せん断	10	133	A
ほう酸水注入系貯蔵タンク	基礎ボルト	せん断	38	133	A

構造強度評価結果：床置機器（3 / 4）

放射線管理用計測装置

燃料取替エリア排気放射線モニタ	検出器取付ボルト	せん断	2	139	A
	架台取付ボルト	せん断	2	139	A

計測制御系統設備

現場盤 原子炉系（系）計装ラック	取付ボルト	せん断	2	133	A
---------------------	-------	-----	---	-----	---

可燃性ガス濃度制御系

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価方法
可燃性ガス制御系プロア	ブレース	圧縮	5	177	A
可燃性ガス制御系再結合装置	取付ボルト	せん断	32	350	A

非常用ガス処理系

非常用ガス処理系 排風機	取付ボルト	引張	51	148	A
	基礎ボルト	せん断	15	129	A
非常用ガス処理系 乾燥装置	取付ボルト	せん断	33	341	A
	基礎ボルト	せん断	12	129	A
非常用ガス処理系 フィルタ装置	取付ボルト	せん断	105	341	A
	基礎ボルト	せん断	13	129	A

構造強度評価結果：床置機器（４／４）

非常用ディーゼル発電設備

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価方法
ディーゼル機関	基礎ボルト	せん断	21	194	A
空気だめ	胴板	膜	118	241	A
	スカート	組合せ	6	258	A
		座屈	0.03	1	A
	基礎ボルト	せん断	7	133	A
燃料ディタンク	スカート	組合せ	13	241	A
		座屈	0.08	1	A
	基礎ボルト	せん断	6	121	A
空気圧縮機	基礎ボルト	せん断	4	139	A
発電機	軸受台下部ベアリング取付ボルト	引張	31	180	A
	基礎ボルト	せん断	9	194	A

座屈に対する評価式により、発生値は評価基準値に対する比率で示す

構造強度評価結果：床置機器（4 / 4）

燃料設備

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm ²)	許容応力(AS) (N/mm ²)	評価 方法
燃料取替機	構造物フレーム	組合せ	204 ¹	241	A
原子炉建屋クレーン	ガード中央部	曲げ	228	319	B
使用済燃料貯蔵ラック	基礎ボルト	引張	100 ²	153	A
制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	上部基礎ボルト	引張	75	153	A
	底部基礎ボルト	せん断	24	118	A

A: 簡易評価, B: 設計時と同等の評価

- 1 発生応力を水平地震力, 鉛直地震力, 自重に分解し, それぞれの震度比を乗じて評価
- 2 ラックの振動方向別の発生応力を考慮し, それぞれの震度比を乗じて評価

配管系の評価

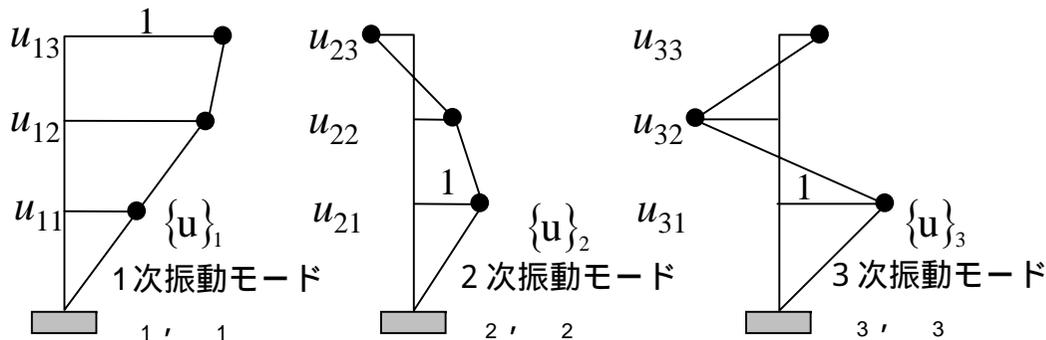
配管系の評価方法 (1 / 3)

- 本地震応答解析の対象 設計時と同様にスペクトルモーダル法で評価

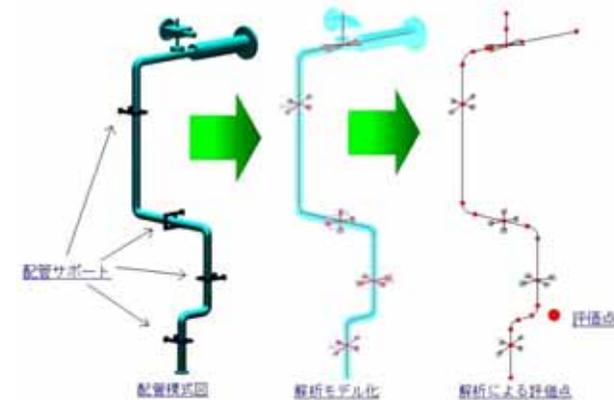
固有値解析：配管を3次元多質点モデルで解析し以下を求める

- ✓ 固有モード： $\{u\}_i$ $\{ \}$ ：ベクトルを示す
- ✓ 各固有モードにおける固有周期： T_i ，刺激係数： α_i

(3自由度の例)



刺激係数 α_i ：各モードの振れやすさを表す値

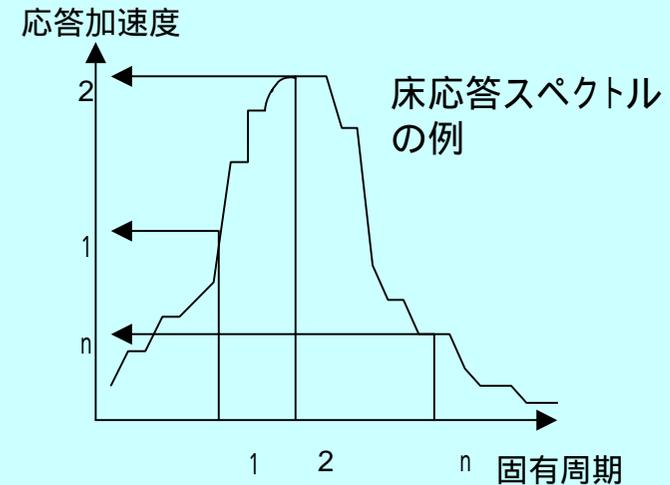


配管の解析モデル化の例

配管系の評価方法 (2 / 3)

スペクトルモーダル法

- 床応答スペクトルを作成
 - ✓ 配管の設置位置における建屋応答と評価対象の配管の減衰定数から作成
- 床応答スペクトルから各固有周期(T_i)における応答加速度(A_i)を読み取る



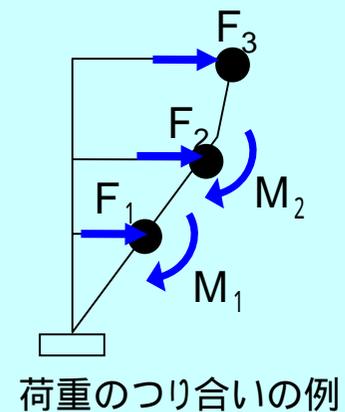
各モードの重ね合わせ

- スペクトルモーダル法により、各モードの荷重、モーメントを算出

【荷重の例】

$$\{F\}_i = m \cdot \{u\}_i \cdot \omega_i \cdot \omega_i \quad m: \text{質量マトリクス}$$

- モードの重ね合わせ (2乗和平方根) : $\{M\} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \{M\}_i^2}$



配管系の評価方法 (3 / 3)

応力の計算

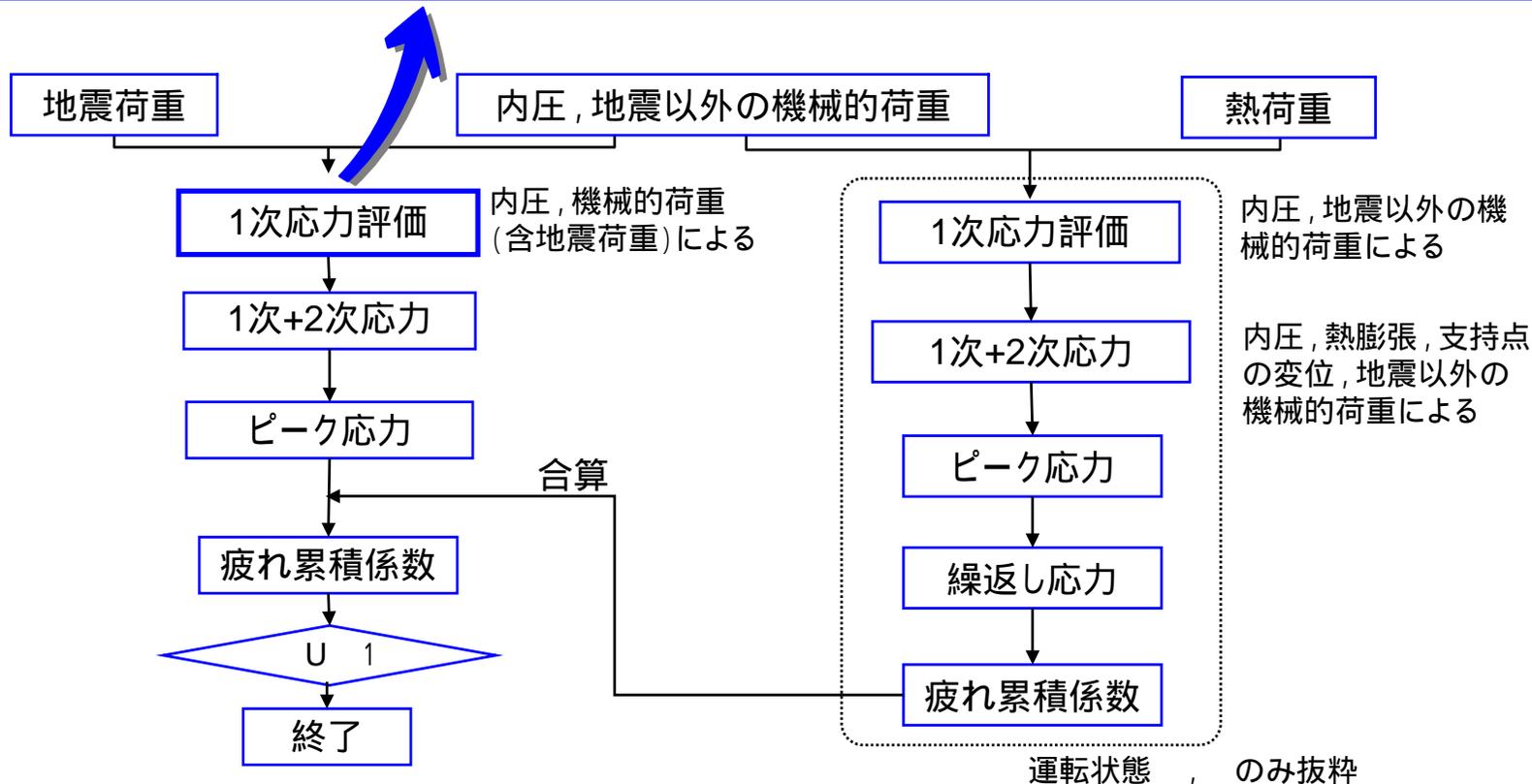
- 地震による荷重，内圧，自重等考慮し下式により1次応力を求める（第1種管の例）

✓ 直管部
$$: S = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

✓ 管台及び突合せ溶接式ティール
$$: S = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_2 b M_{bp}}{Z_b} + \frac{B_2 r M_{rp}}{Z_r}$$

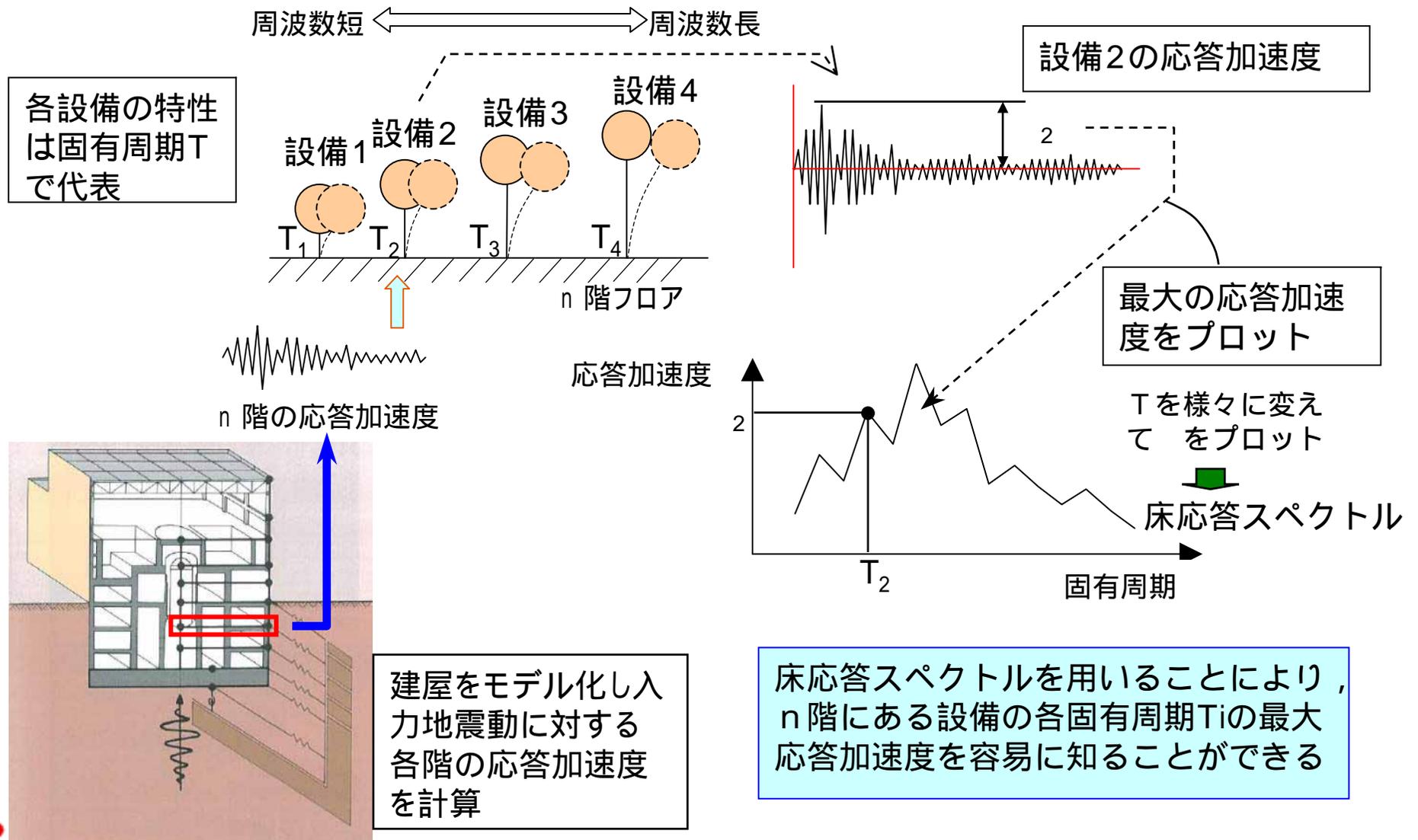
Z_i : 管の断面係数
 Z_b, Z_r : 分岐管, 主管の断面係数
 B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r} : 応力係数
 D_0, t : 管の外径, 厚さ
 P : 圧力
 M_{ip} : 機械的荷重 (自重, 地震) によるモーメント
 M_{bp}, M_{rp} : 分岐管, 主管の 機械的荷重によるモーメント

配管解析 全体の流れ



補足：床応答スペクトルの求め方

■ 床応答スペクトル



構造強度評価結果：配管

確認対象	評価部位	応力分類	発生応力 (N/mm^2)	許容応力(AS) (N/mm^2)	評価 方法
主蒸気系	配管	一次	134	281	B
残留熱除去系	配管	一次	199	274	B

応力に及ぼす地震力の影響について

■ 建設時の条件における地震力の影響

機器	部位例	考慮すべき荷重 ¹			発生応力 ¹	裕度 ¹
		自重 ²	圧力	地震力		
原子炉圧力容器	RPV胴	1	30	2	33	67
	基礎ボルト	5	-	20	25	75
原子炉格納容器	ドライウェル上鏡	2	2	1	6	94
炉内構造物	蒸気乾燥器	6	-	2	8	92
炉心支持構造物	シュラウド	1	1	5	7	93
容器 (熱交換器等)	胴板	10	5	5	20	80
	基礎ボルト	-	-	10	10	90
ポンプ	基礎ボルト	0	-	1	1	99
配管(主蒸気系)		30	15	20	65	35

1 許容応力を100とした場合の応力の割合(%)

2 配管反力,スクラム反力等の活荷重を含む

(表の見方)

例えば配管の場合,地震力による応力が20%で、許容値に対する裕度が35%なので、地震力が2倍程度の増倍までは耐えられると判断できる。

動的機能維持の評価

動的機能維持評価の概要

■ 床置設備（ポンプ等の回転機器）

- 剛な場合（1次固有周期 0.05秒）
 - ✓ 設置床の最大加速度を機能確認済み加速度と比較
- 剛でない場合（1次固有周期 > 0.05秒）
 - ✓ 設備の応答加速度を機能確認済み加速度と比較

■ 弁

- 配管+弁のスペクトルモーダル解析
 - ✓ 弁の応答加速度を求め、機能確認済み加速度と比較

■ 制御棒挿入性

- ✓ 建屋-機器連成解析により求めた燃料の相対変位を機能確認済み相対変位と比較

動的機能維持評価結果（機器）

評価対象設備	機能確認済加速度との比較			
	水平加速度（G ¹ ）		鉛直加速度（G ¹ ）	
	応答加速度	機能確認済加速度 ²	応答加速度	機能確認済加速度 ²
ほう酸水注入系ポンプ	0.45	1.6	0.48	1.0
残留熱除去系ポンプ	0.37	10.0	0.37	1.0
原子炉隔離時冷却系ポンプ	0.37	1.4	0.37	1.0
原子炉隔離時冷却系タービン	0.37	2.4	0.37	1.0
高圧炉心注水系ポンプ	0.37	10.0	0.37	1.0
可燃性ガス濃度制御系プロア	0.48	2.6	0.55	1.0
非常用ガス処理系排風機	0.45	2.3	0.48	1.0
非常用ディーゼル機関	0.48	1.1	0.55	1.0

1 G = 9.80665(m/s²)

2 適用する機能確認済加速度

JEAG4601-1991追補版

試験等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに水平方向についても見直された値（現行JEAGは水平方向のみ規定）

動的機能維持評価結果：弁（1 / 2）

評価対象設備	機能確認済加速度との比較			
	水平加速度 (G ¹)		鉛直加速度 (G ¹)	
	応答加速度	機能確認済 加速度 ²	応答加速度	機能確認済 加速度 ²
主蒸気系 (主蒸気内側隔離弁)	3.0	10.0	3.4	6.2
主蒸気系 (主蒸気逃がし安全弁)	2.7	9.6	1.4	6.1
給水系 (FDW原子炉給水ライン内側隔離弁)	0.7	6.0	0.6	6.0
原子炉冷却材浄化系 (CUW吸込ライン内側隔離弁)	1.0	6.0	0.8	6.0
放射性ドレン移送系 (ドライウェルLCWサンプ内側隔離弁)	1.0	6.0	0.5	6.0
ほう酸水注入系 (SLC PCV外側逆止弁)	0.7	6.0	0.9	6.0

1 G = 9.80665(m/s²)

2 適用する機能確認済加速度
JEAG4601-1991追補版

試験等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに水平方向についても見直された値（現行JEAGは水平方向のみ規定）

動的機能維持評価結果：弁（2 / 2）

評価対象設備	機能確認済加速度との比較			
	水平加速度（G）		鉛直加速度（G）	
	応答加速度	機能確認済 加速度 ²	応答加速度	機能確認済 加速度 ²
残留熱除去系 （RHR停止時冷却内側隔離弁）	0.6	6.0	0.6	6.0
原子炉隔離時冷却系 （RCICタービン止め弁）	1.1	6.0	1.4	6.0
高圧炉心注水系 （HPCF第一試験用調節弁）	1.1	6.0	0.6	6.0
非常用ガス処理系 （SGTSフィルタ装置出口弁）	0.7	6.0	0.9	6.0
可燃性ガス濃度制御系 （FCS入口第一隔離弁）	1.5	6.0	0.8	6.0
不活性ガス系 （PCVパージ用空気供給隔離弁）	0.8	6.0	1.6	6.0

1 $G = 9.80665(m/s^2)$

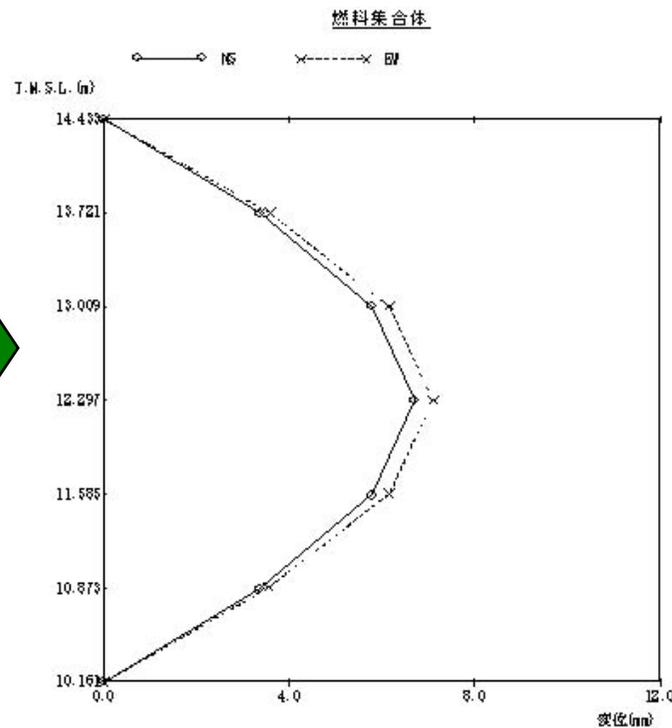
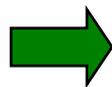
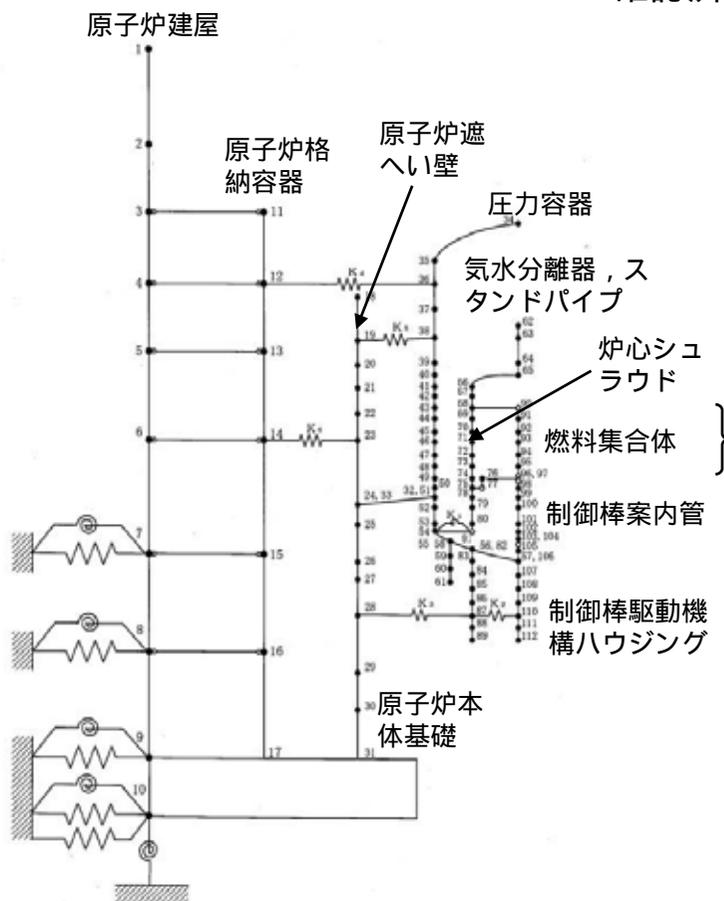
2 適用する機能確認済加速度
JEAG4601-1991追補版

試験等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに水平方向についても見直された値（現行JEAGは水平方向のみ規定）

動的機能維持評価結果（制御棒挿入性）

評価対象設備	燃料集合体の中越沖地震時 相対変位 (mm)	確認済相対変位 (mm)
制御棒 (地震時の挿入性)	7.1	40.0

確認済相対変位：加振時の挿入性試験により、規定時間内に制御棒が挿入されたことが確認された燃料変位



建屋-機器連成解析により求めた燃料相対変位

補足：機能確認済加速度（ 1 / 2 ）

● 機能確認済加速度

- ✓ ポンプ，ポンプ駆動用タービン，弁等の機種ごとに試験あるいは解析により，動的機能維持が確認された加速度
- ✓ 機能確認済加速度は，振動台の制限で定まることが多く，設備機能維持が可能な最大加速度には余裕度が存在すると考えられる

● 機能確認済加速度は，JEAG4601-1991追補版に規定

- ✓ 水平方向のみ。鉛直方向については規定されていない
- ✓ 試験・研究等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに，水平方向についても見直した値を適用

（「水平・鉛直地震動に対する動的機器の地震時機能維持評価法の改定案について」，(社)日本電気協会，第15回機器・配管系検討会資料No. 15-4-4-2，平成18年9月11日）

種別	機種	加速度確認部位	機能確認済加速度 1	
			水平方向(G)	鉛直方向(G)
立形ポンプ	ピットバレル形ポンプ	コラム先端部	10.0	<u>1.0</u>
	立形斜流ポンプ			
	立形単段床置形ポンプ	ケーシング 下端部		
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2（軸直角方向）	<u>1.0</u>
	横形多段遠心式ポンプ		1.4（軸方向）	
ポンプ駆動用タービン	RCICタービン	重心位置	2.4	<u>1.0</u>

機能確認済加速度（ 2 / 2 ）

種別	機種	加速度確認部位	機能確認済加速度 ¹	
			水平方向(G)	鉛直方向(G)
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	<u>1.0</u>
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			
ファン	遠心直結型ファン	軸受部およびメカシールケージ	2.3	<u>1.0</u>
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	
非常用ディーゼル発電機	中速形ディーゼル機関	機関重心位置	1.1	<u>1.0</u>
		ガバナ取付位置	<u>1.8</u>	
往復動式ポンプ	横形3連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	<u>1.0</u>
弁（一般弁および特殊弁）	一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁、逆止弁）	駆動部	6.0	<u>6.0</u>
	主蒸気隔離弁		<u>10.0</u>	<u>6.2</u>
	主蒸気逃がし安全弁		<u>9.6</u>	<u>6.1</u>
	制御棒駆動系スクラム弁		<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
制御棒挿入性		—	確認済相対変位 40mm以下 ²	

1: 「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」に追加および変更した箇所を下線で示す

2: 挿入性試験により、規定時間内に制御棒が挿入されたことが確認された値

配管系解析の考察 (1 / 2)

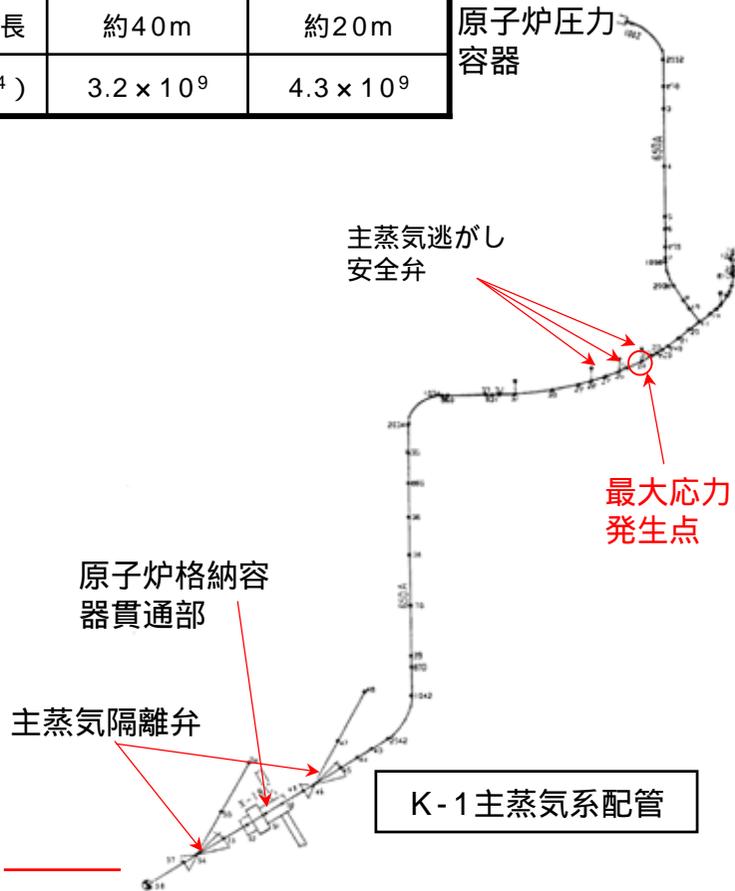
■ 主蒸気系配管の計算値が、1号機と7号機で大きく異なることに関する考察

- 応力算出値：1号機 (290N/mm^2) > 7号機 (140N/mm^2)

<理由1>

改良型BWRである7号機の主蒸気系配管は1号機と比較してコンパクトな引き回しでかつ口径が大きく剛な構造になっている。

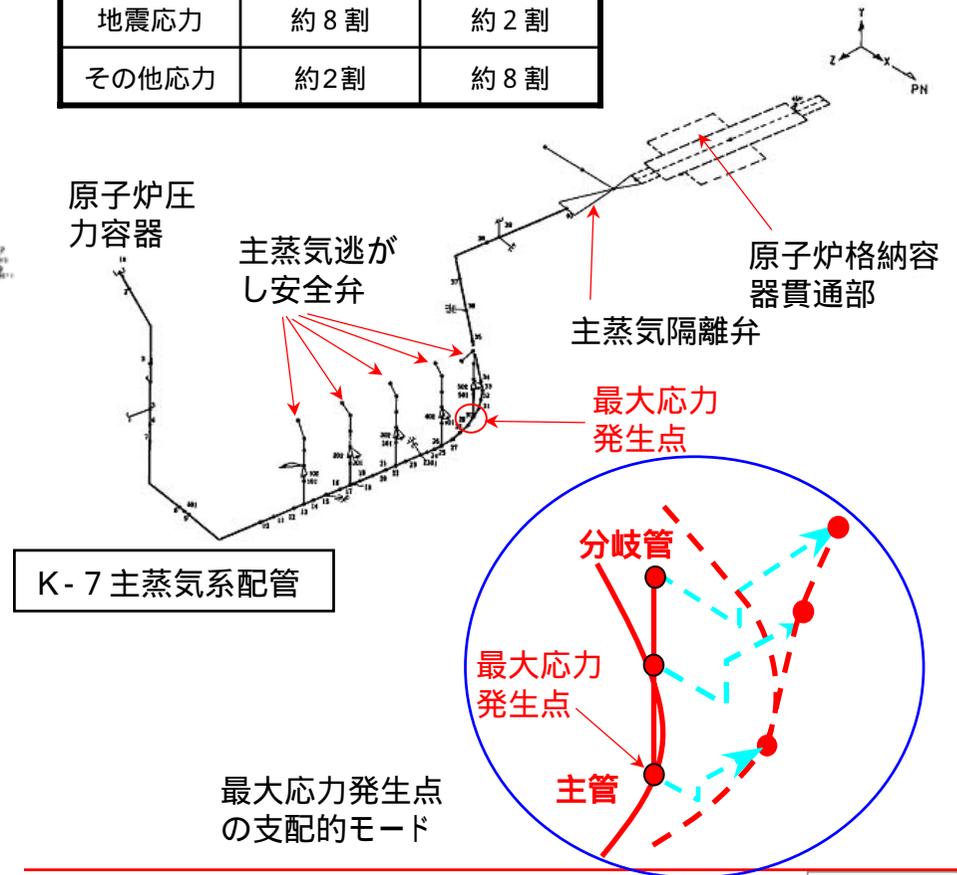
	1号機	7号機
主配管の全長	約40m	約20m
剛性 (mm^4)	3.2×10^9	4.3×10^9



<理由2>

7号機と比較して1号機の地震力が大きいいため、1号機の地震力は大きいものになっている。

	1号機	7号機
地震応力	約8割	約2割
その他応力	約2割	約8割

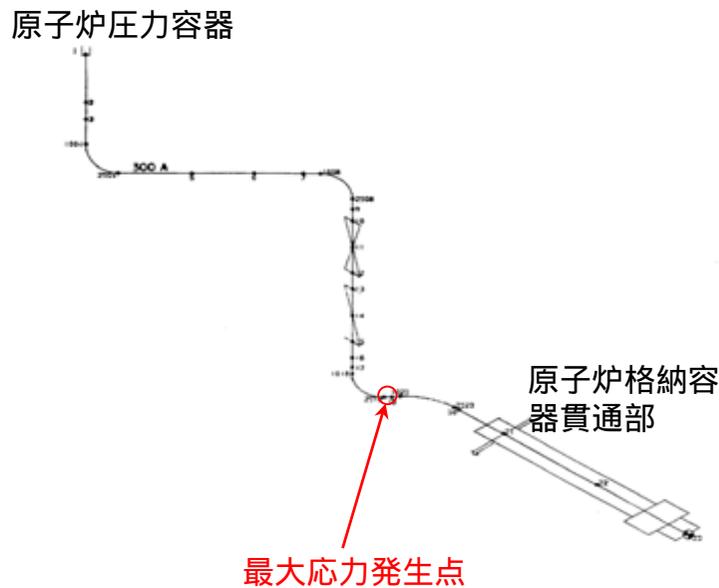


配管系解析の考察 (2 / 2)

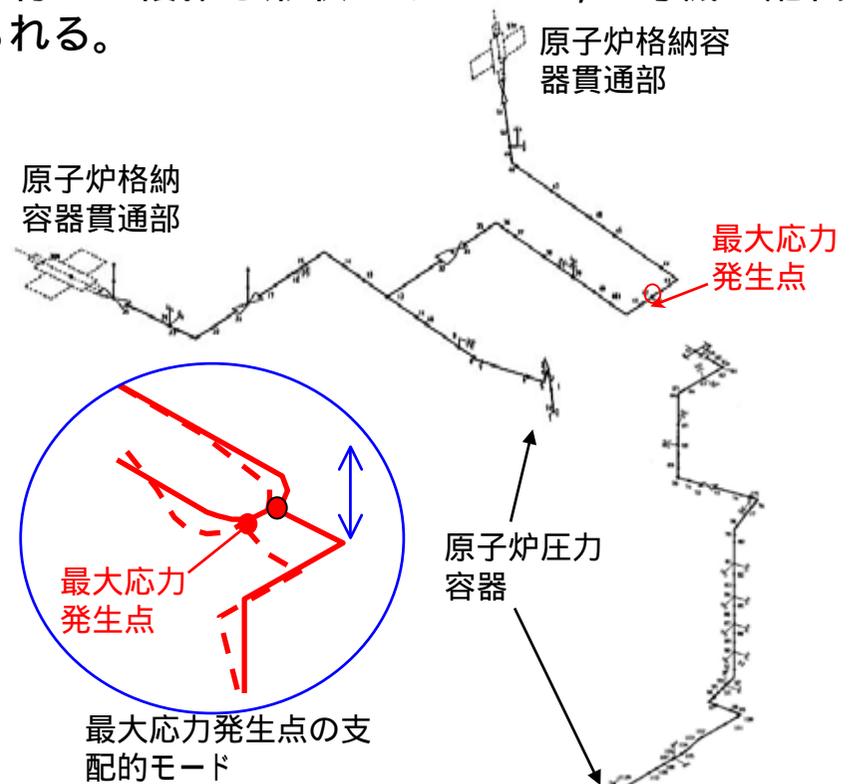
■ 残留熱除去系配管の計算値が1号機と7号機で大きく異なることに関する考察

- 応力算出値：1号機 (90N/mm^2) < 7号機 (200N/mm^2)

- ✓ 7号機の地震動は1号機に対して小さいものの、1号機の配管は単純な引き回しで剛あるのに対して、7号機は分岐部を有した複雑な形状であるため、7号機の配管応力のほうが大きくなるものと考えられる。



K-1 残留熱除去系配管



K-7 残留熱除去系配管

今後の予定

■タービン建屋およびコントロール建屋に設置されている設備，及び配管（主蒸気系，残留熱除去系系以外）については現在解析中である。具体的には下記の通り。

- 原子炉補機冷却水系および海水系
 - ◆熱交換器
 - ◆ポンプ
 - ◆海水ストレーナ
 - ◆配管
- 中央制御室制御盤
- 中央制御室換気空調系設備
 - ◆送・排風機類
 - ◆フィルタ装置
- 蓄電池および充電器設
- バイタル交流電源設備
- 配管（原子炉冷却材浄化系，原子炉隔離時冷却系 等）