

柏崎刈羽原子力発電所 7号機  
新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る  
点検・評価における地震応答解析

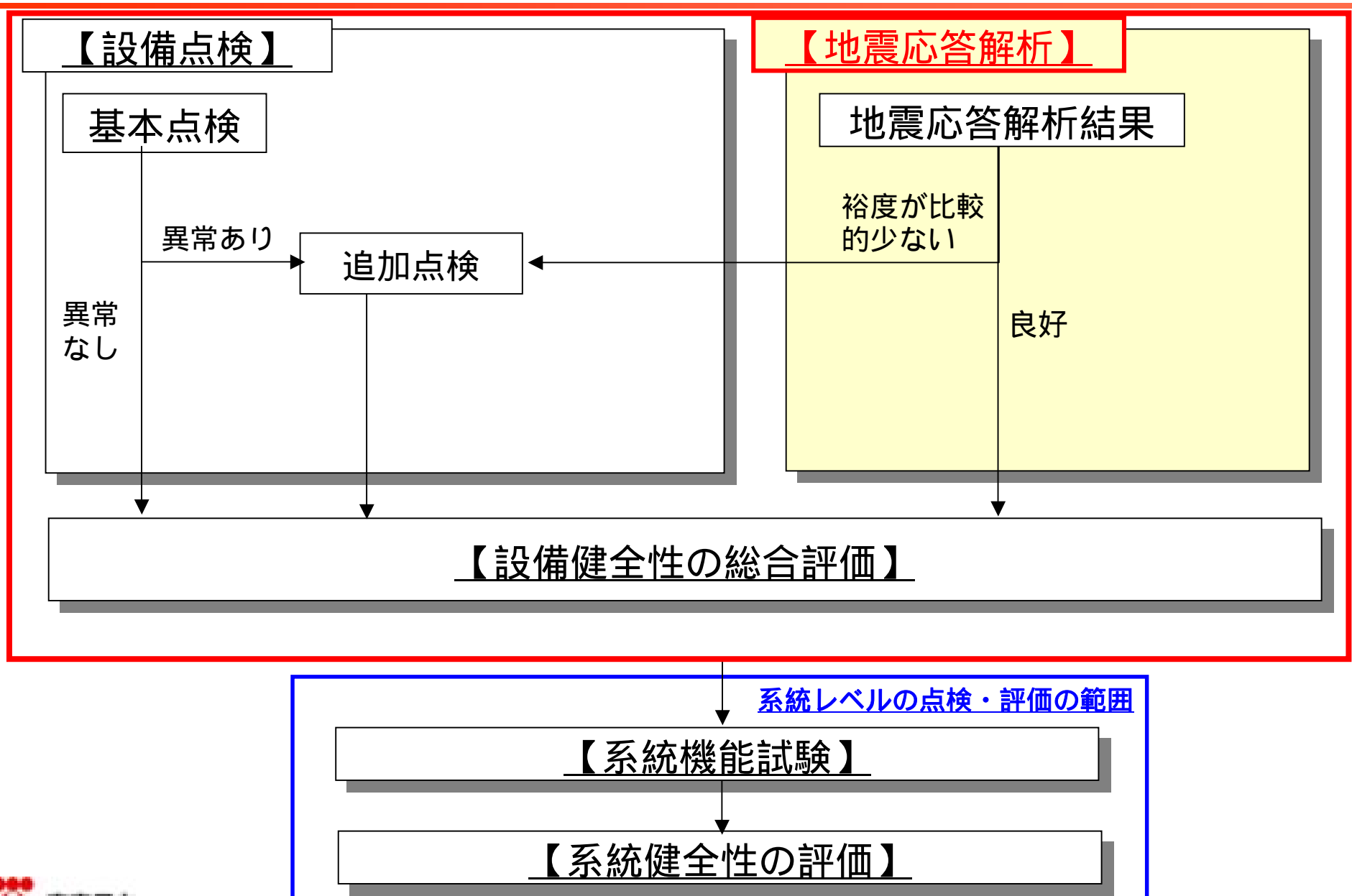
平成20年11月28日



東京電力

---

# 設備健全性に係る点検・評価の流れ



# 地震応答解析の概要

## ■ 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

## ■ 評価基準値

- 構造強度評価
  - 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-補・1984, JEAG4601-1991追補版」に規定される許容応力状態 Asにおける許容応力を基本とする。
- 動的機能維持に関する評価
  - 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版」に示される機能確認済加速度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た。

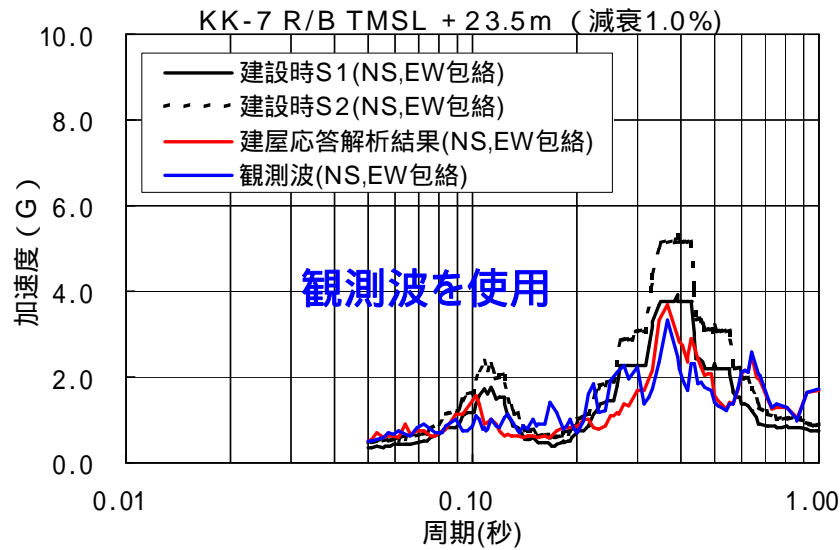
# 解析的影響評価の方針

- 原則として現状の規格基準に基づくが，地震による影響を可能な限り正確に把握するという観点から，地震時の状態を考慮
- 評価に観測波（原子炉建屋最地下階と中間階で観測）を用い，各階の応答を再現
  - ✓ 地震動が観測された最地下階と中間階      観測地震動
  - ✓ それ以外の階      建屋シミュレーションで得られた地震動
  - ✓ 設計時には静的地震力のみ考慮されていた上下動についても，観測値を用いて動的に考慮

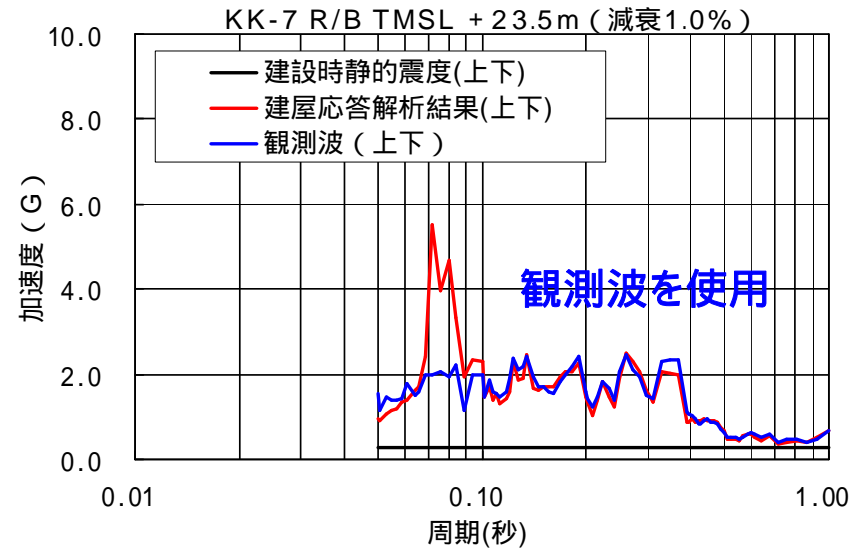
# 7号機原子炉建屋 床応答スペクトル

3階

(水平方向)

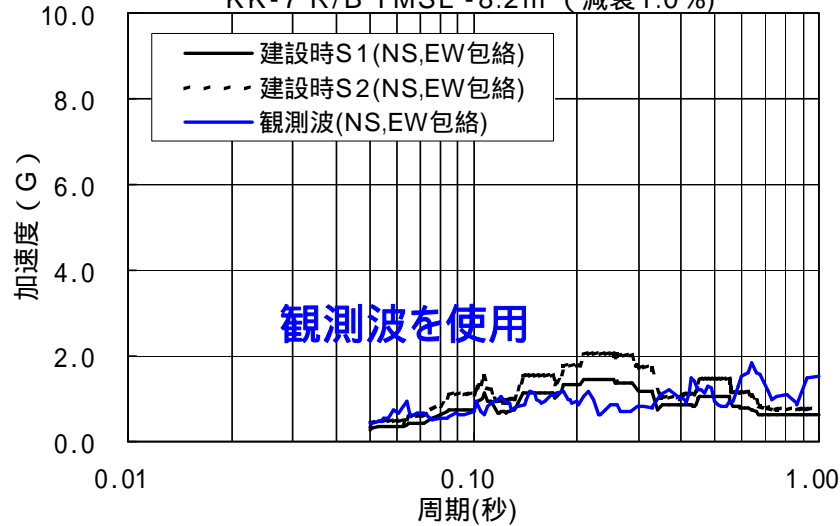


(上下方向)

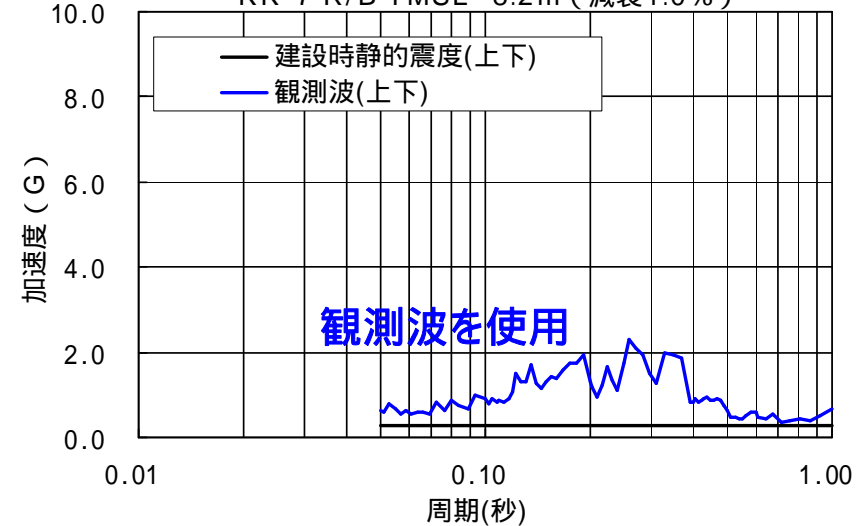


基礎版上

KK-7 R/B TMSL -8.2m (減衰1.0%)



KK-7 R/B TMSL -8.2m (減衰1.0%)



## 設計時と異なる条件（例）

<b>建屋応答解析，応答スペクトル</b>	
床応答スペクトルの拡幅なし	床置き設備 配管
<b>試験・研究等により妥当性が確認された評価手法，パラメータの取込</b>	
水平と上下方向の応答を二乗和平方根で組合せ（上下方向地震力は動的に扱う）	配管系の解析に適用
形状係数（全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方）	容器に適用
<b>現実の運転状態の反映</b>	
主蒸気系配管の主蒸気逃がし安全弁の吹き出しによる機械的荷重なし	
ほう酸水注入系配管のほう酸水注入による機械的荷重なし	

## 7号機評価結果（主要設備の構造強度評価）

- 評価対象設備の算出値は評価基準値を満足することを確認した

確認対象	評価部位	応力分類	算出値	評価基準値 (AS)	評価方法 <sup>1</sup>
			MPa	MPa	
原子炉压力容器 (基礎ボルト)	基礎ボルト	引張	115	499	A
炉心支持構造物 (シュラウドサポート)	レグ	軸圧縮	32	243	B
残留熱除去系配管	配管	一次	239	274	B
	支持構造物	スナッパ耐荷重	87kN	88kN	B
残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	基礎ボルト	せん断	5	350	A
主蒸気系配管	配管	一次	136	281	B
	支持構造物	スナッパ耐荷重	31kN	44kN	B
原子炉格納容器 (ドライウェル)	フランジプレート	曲げ	27	264	A

1 Aは「簡易評価」、Bは「設計時と同等の評価」を示す

## 7号機評価結果（主要設備の動的機能維持評価）

確認対象	相対変位 (mm)	
	算出値	機能確認済相対変位 <sup>1</sup>
制御棒挿入性 (地震時の挿入性)	7.1	40

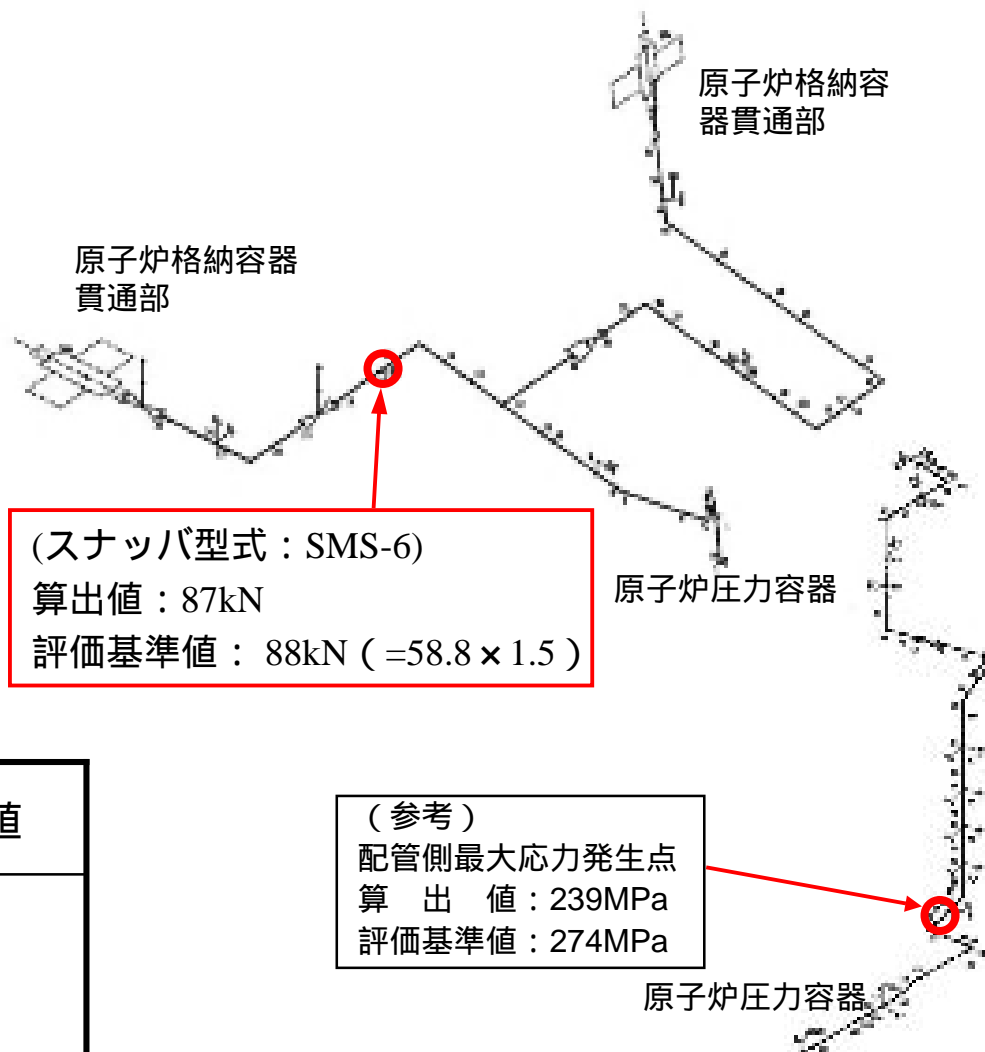
確認対象	水平加速度 ( $G^2$ )		鉛直加速度 ( $G^2$ )	
	算出値	機能確認済加 速度 <sup>3</sup>	算出値	機能確認済加 速度 <sup>3</sup>
残留熱除去系ポンプ	0.4	10.0	0.4	1.0

- 1 機能確認済相対変位とは、加振時の挿入性試験により、目安時間内に制御棒が挿入されたことが確認された値である。
- 2  $G = 9.80665 (m/s^2)$
- 3 機能確認済加速度は、「原子力発電所耐震設計審査指針 JEAG4601-1991 追補版」に水平方向しか規定されていない。既往の試験等をもとに上下方向の機能確認済加速度を定めるとともに水平方向の機能確認済加速度についても見直された値を用いた。



# JNESによるクロスチェック解析結果

- JNESによるクロスチェックの結果，残留熱除去系の配管支持構造物について評価基準値以上の結果が出された。



(スナッパ型式：SMS-6)  
 算出値：87kN  
 評価基準値：88kN (=58.8 × 1.5)

(参考)  
 配管側最大応力発生点  
 算出値：239MPa  
 評価基準値：274MPa

	算出値	評価基準値
東電評価	87 kN	88 kN
JNESクロスチェック評価	106kN	

スナッパには規格基準に定める許容値がないため，メーカー保証値（定格荷重の1.5倍）を評価基準値としている

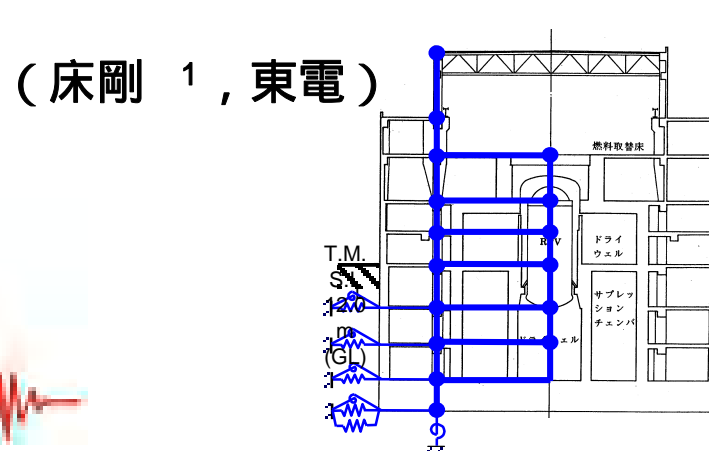
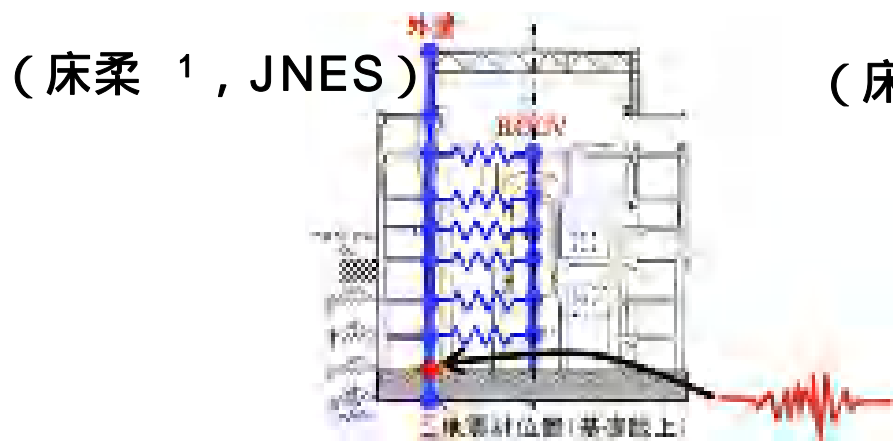
# JNES解析と東京電力解析との差異

項目	東京電力	JNES
建屋床の剛性	床を剛として評価	床の柔性を考慮
観測記録と解析結果の差異の補正	当該算出値を計算する過程では実施せず (別途, 差異が解析結果に与える影響を考察)	実施
地震荷重の組合せ	NS/EW方向の最大値とUD方向との二乗和平方根 (SRSS)	3方向地震動による荷重の二乗和平方根 (SRSS)

# 原子炉建屋応答解析における床の柔性の考慮について

## ■ JNESにおける原子炉建屋応答解析モデルの検討

- ✓ 床の柔性を考慮し，水平方向は床ばね多質点系はりモデル，鉛直方向は軸対象モデルを適用



1：以下，原子炉建屋の床の柔性を考慮した評価を「床柔」，床を剛とした評価を「床剛」と呼ぶ

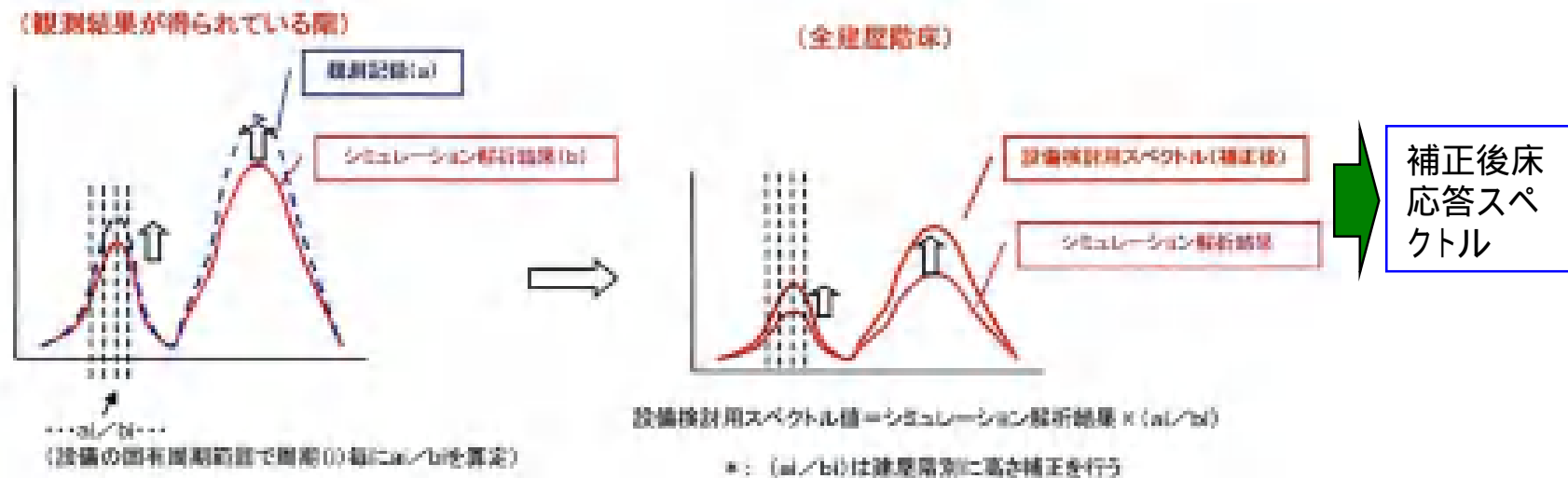
項目	JNES	東電
モデル	2軸床ばね質点系	2軸床剛質点系
コンクリートヤング係数	コンクリート圧縮強度試験にもとづく	
コンクリート減衰定数	3% <sup>2</sup>	5% <sup>2</sup>
床の変形	床の柔性を考慮(せん断ばね)	床は剛ばね

2：地盤の減衰が大きいいため，地盤-建屋の全体の減衰を考えれば差異は殆どない

# 7号機 床柔モデル及び観測波との相違の考慮について

## ■ 床柔建屋モデルと観測波との相違を考慮した設備評価

- ✓ 床柔の原子炉建屋モデルで得られた床応答スペクトルと観測記録を比較し（観測記録のある中間階TMSL+23.5mにて）、各周期における両者の比を求める
- ✓ 上記の比率を他フロアの床応答スペクトルに乗じて補正する
- ✓ 補正後の床応答スペクトル（床柔）を用いて設備の評価を実施



出典：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機器配管系の地震応答解析結果について、JNES, H20年8月27日

## 残留熱除去系支持構造物に対する当社の対応

---

- 原子力安全・保安院より当社の地震応答解析について考察するよう指示が出され、現在対応を検討中
- 点検にて低速走行試験等を実施し、異常のないことを確認した
- 当該メカニカルスナッパは、耐震強化工事の一環でより大きな容量のメカニカルスナッパに取替済み

# (参考) メカニカルスナッパの点検結果について

## < メカニカルスナッパの機能 >

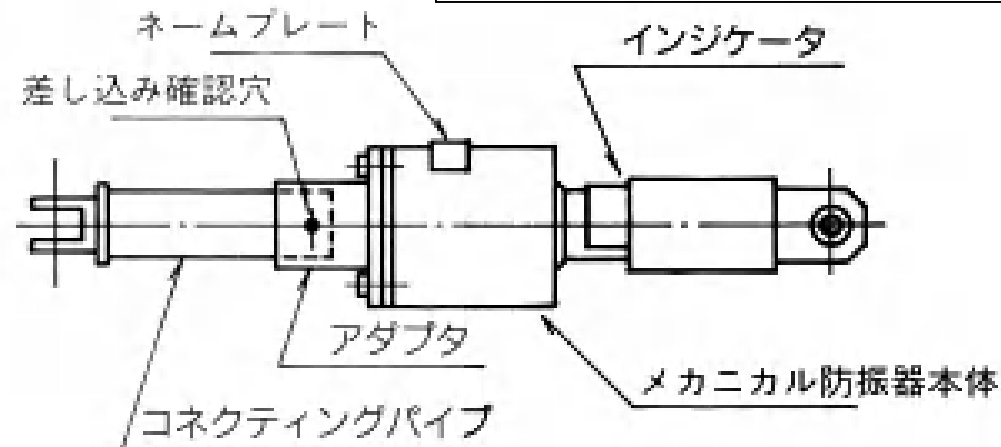
- 1 . 1 方向の地震等の短期的荷重の拘束
- 2 . 熱移動等の低速移動を拘束しない

### 強度部材 / 機能の健全性確認

- ・ 概ね外観目視点検で健全性の確認が可能
- ・ 内部の強度部材となるボールねじ・ナットの健全性は低速走行試験により確認

## < 機能確認・点検内容 >

- 1 . 外観目視点検 (全数)  
変形等がないことを確認した
- 2 . インジケータ位置を確認 (全数)  
過去データ他から総合的に異常のないことを確認した
- 3 . 低速走行試験 (抜き取り)  
走行抵抗が小さいことを確認した  
(低速移動機能に対する確認試験)



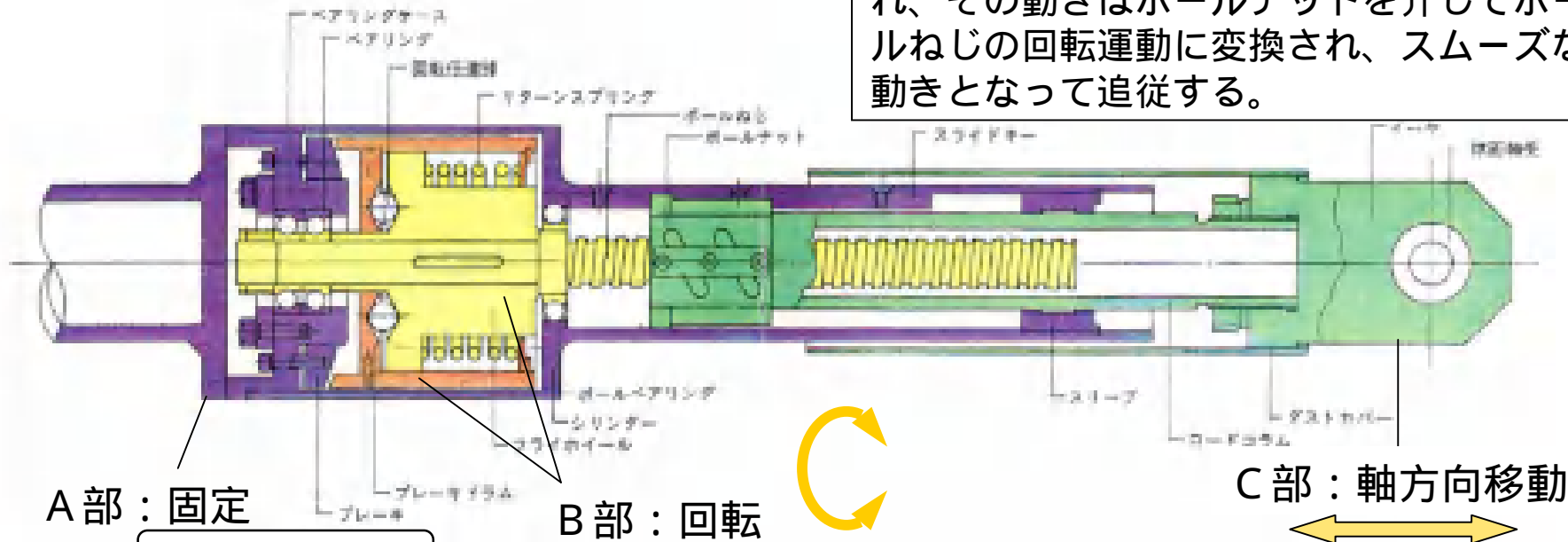
# (参考) メカニカルスナップの構造について

## メカニカルスナップの機能

1. 1方向の地震等の短期荷重を拘束する。
2. 熱膨張等の低速移動を拘束しない。

### 機能2について

配管、機器の熱膨張等による動きは、C部からメカスナの軸方向の動きとして伝達され、その動きはボールナットを介してボールねじの回転運動に変換され、スムーズな動きとなって追従する。



A部：固定

B部：回転

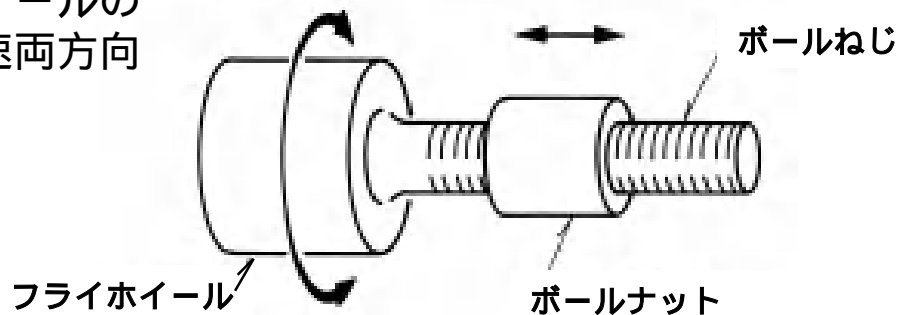
C部：軸方向移動

### 機能1について

メカニカルスナップはフライホイールの慣性抵抗力によって地震等の高速両方向変位を拘束する。

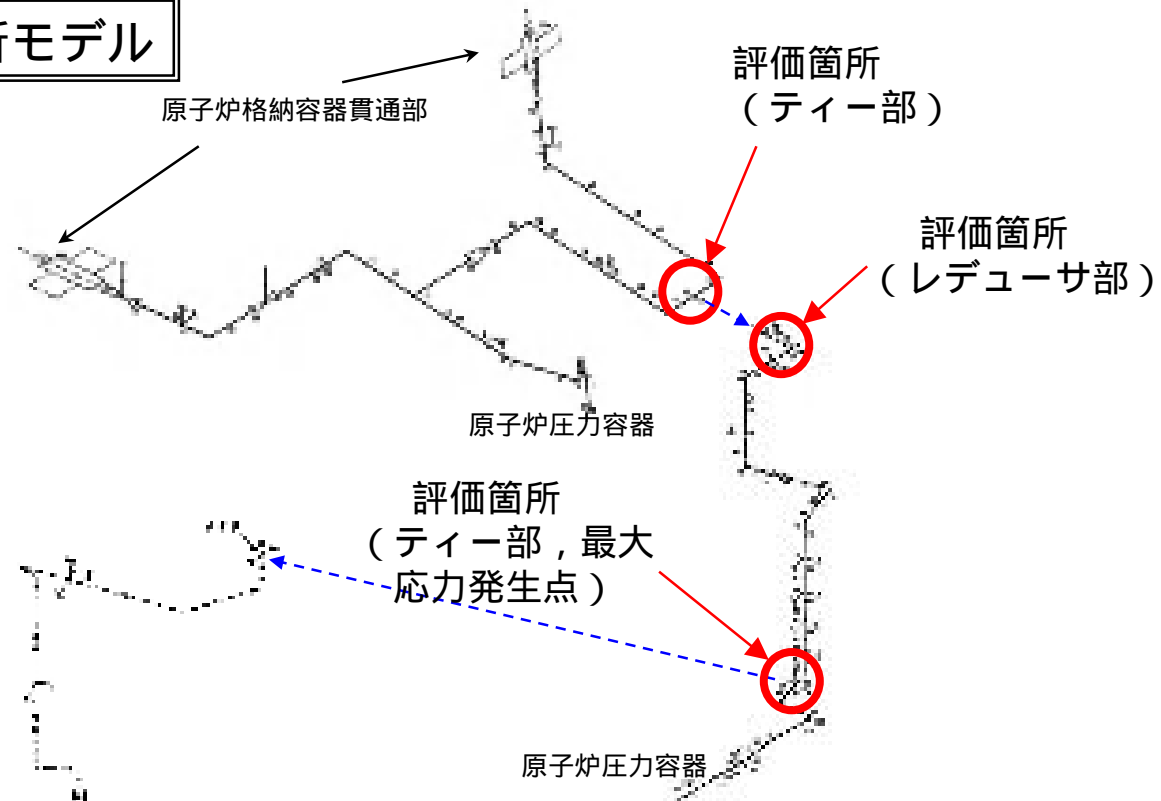
その慣性抵抗力は、  
 $\text{フライホイール質量} \times \text{加速度}$   
 で表される。

作動原理図



# (参考) 動的解析における保守性の定量的評価

残留熱除去系配管解析モデル



評価点	1次応力 (MPa)			評価基準値 (AS) (MPa)
	合計	地震以外による	地震による	
評価箇所 (ティー部)	205	55	150	274
評価箇所 (レデューサ部)	194	54	140	
評価箇所 (ティー部)	239	129	110	

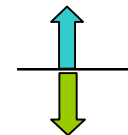


# (参考) 動的解析における保守性の定量的評価

- 残留熱除去系配管を例に3箇所選出し，下表のケースA～Yで解析を実施

ケース	解析方法		減衰定数	許容値 (許容応力状態 <sub>A</sub> S) <sup>*1</sup>	
	FRS拡幅	水平・上下組合せ			
A	スペクトルモデル	±10%	絶対値和	2.0%	規格基準値
B		なし	絶対値和	2.0%	規格基準値
C 本評価手法		なし	SRSS <sup>*2</sup>	2.0%	規格基準値
D	時刻歴解析	-	代数和	2.0%	規格基準値
X	時刻歴解析	-	代数和	7.5% <sup>*3</sup>	規格基準値
Y	時刻歴解析	-	代数和	7.5% <sup>*3</sup>	材料証明書 <sup>*4</sup>
Z	主蒸気系配管管台FEMによる応力係数の保守性をケースYに乗じて余裕度を算出				

JEAG  
の範疇



JEAG  
範疇外

\*1：余裕度 = (許容値 - 地震以外の応力) / 地震による応力

\*2：SRSS = 二乗和平方根

\*3：減衰定数の現実的な値としては，過去の試験等から想定される平均値として7.5%を用いた。

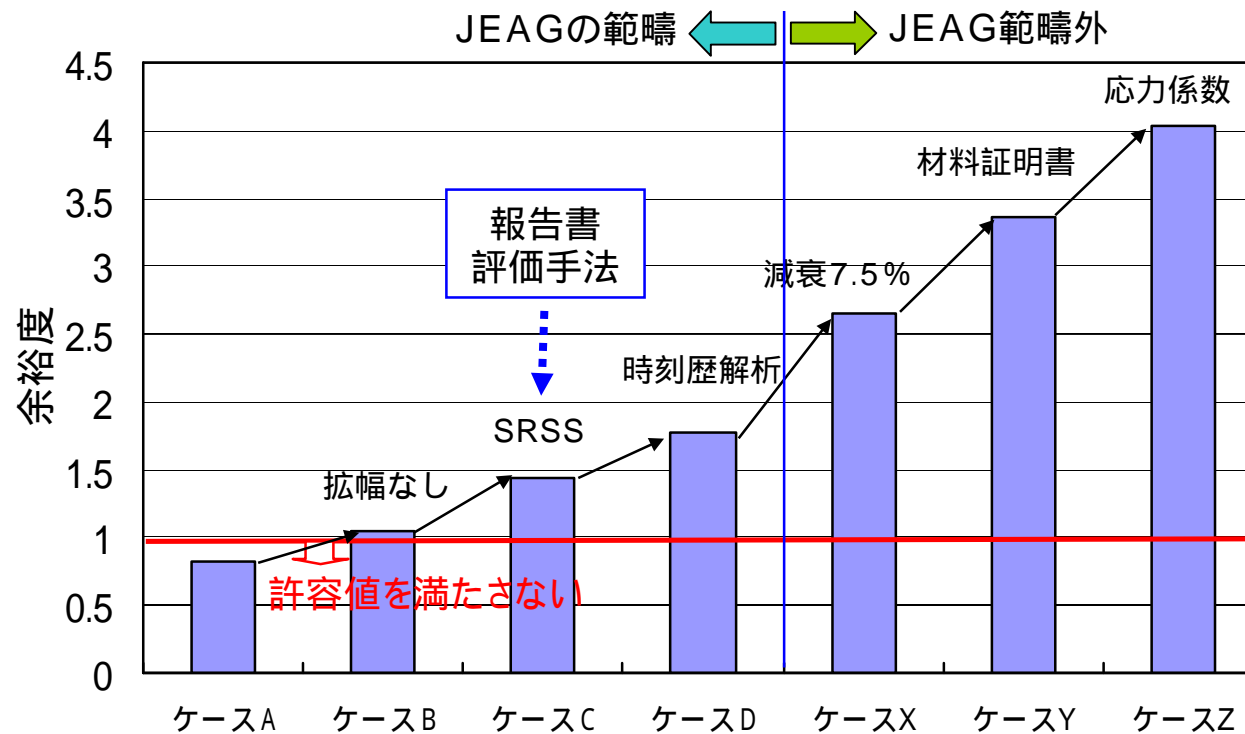
\*4：材料証明書より求めたSm=167MPaと20 でのJSME規格値137MPaの比を規格基準による許容値 (274MPa) に乗じた

- ケースZの応力係数の保守性については，主蒸気系配管の管台部（ティール部）を例として，FEM解析にて算出された応力と，応力係数で算出された応力を比較

# (参考) 動的解析における保守性の定量的評価

## ■ 評価結果の3箇所平均 (下図)

- 報告書で用いた評価手法 (ケースC) や規格基準の範疇での手法 (ケースD) では余裕度は1.5倍程度である
- 規格基準の範疇を超えて現実的な応答と現実的な許容値で評価すれば, 余裕度は3~4倍程度ある



：主蒸気系配管管台のFEM評価結果と応力係数による算出結果の比をケースYに乗じた

各ケースの余裕率比較 (3箇所の平均)