
7号機設備地震応答解析 追加指示事項に関する検討

平成20年12月3日
東京電力株式会社

保安院追加指示事項と当社の検討方針

■ 保安院指示事項

耐震・構造設計小委員会構造WGの審議を踏まえ、念のため原子炉建屋の床の柔性を考慮した解析を行うことを指示。本評価が7号機の設備地震応答解析結果に及ぼす影響を評価すること

解析の結果、評価基準値と差が小さい支持構造物について、建屋応答解析波と観測波の相違が発生応力に与える影響を定量的に評価すること

JNESのクロスチェック解析では、
を踏まえた解析により、
残留熱除去系配管の支持構造物の算出値が評価基準値を超えている。
当社の地震応答解析について詳細に分析すること

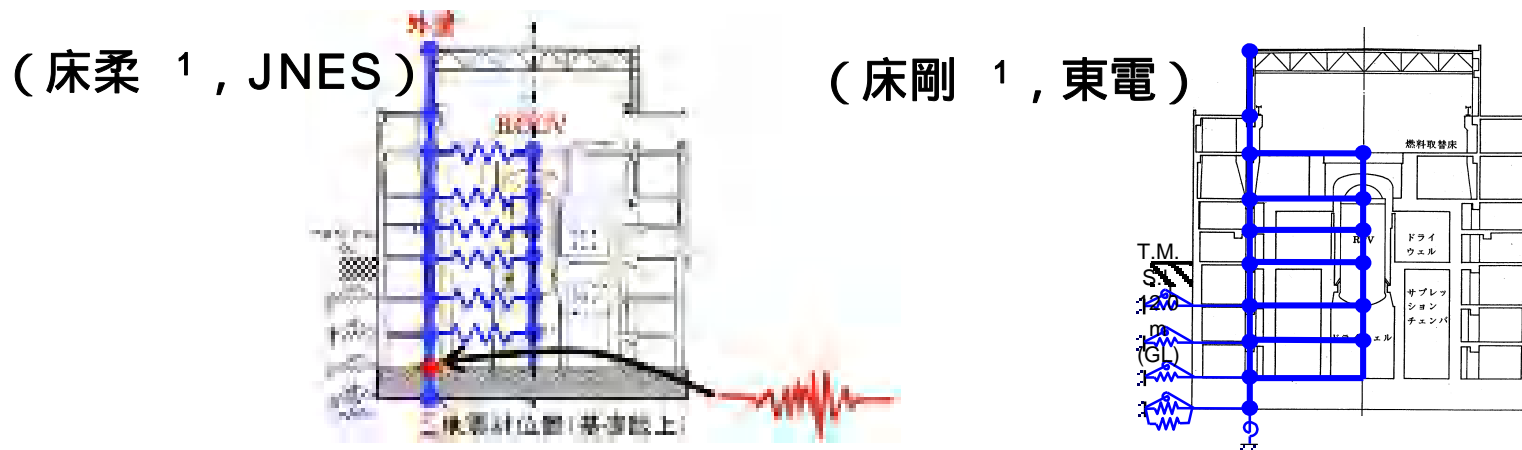
■ 当社検討方針

- 残留熱除去系配管を含む比較的評価結果の厳しい配管系支持構造物について、
の影響を定量的に評価する
- JNES評価または当社上記評価により評価基準値を超えた支持構造物の健全性について検討する

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（2008年8月8日耐震構造設計小委員会にて審議）



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% ²	5% ²
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

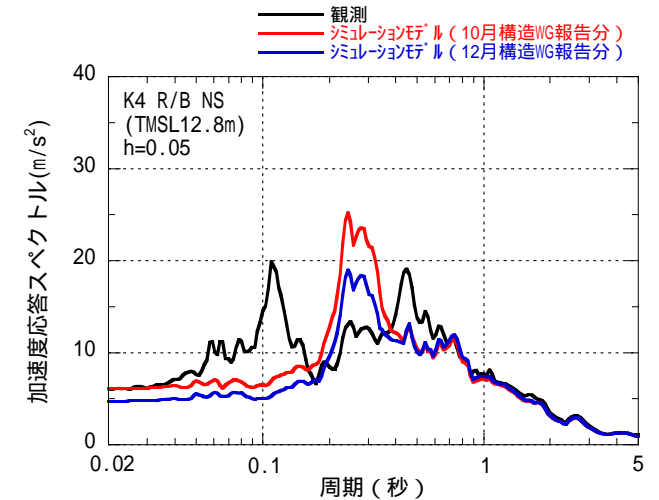
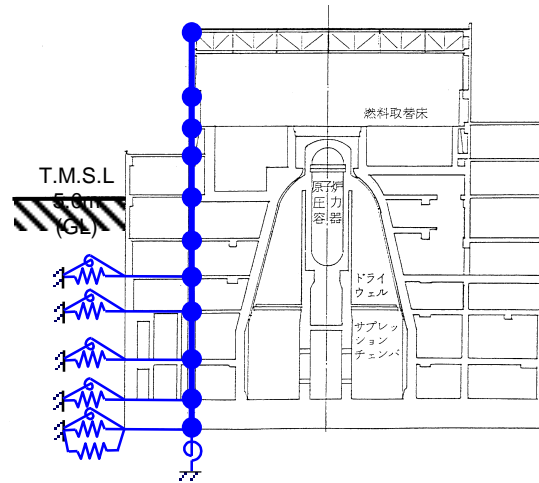
原子炉建屋応答解析における床の柔性の考慮について

■ 当社における床柔を考慮した原子炉建屋モデルの検討

● 原子炉建屋水平方向（4号機の例）

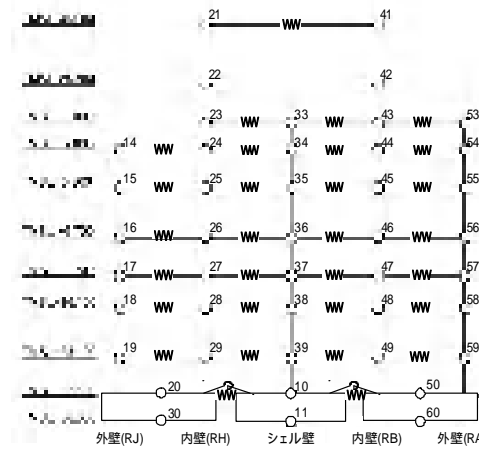
（床剛モデル）

- ✓ 床剛モデルではピークを適切に表現できていない

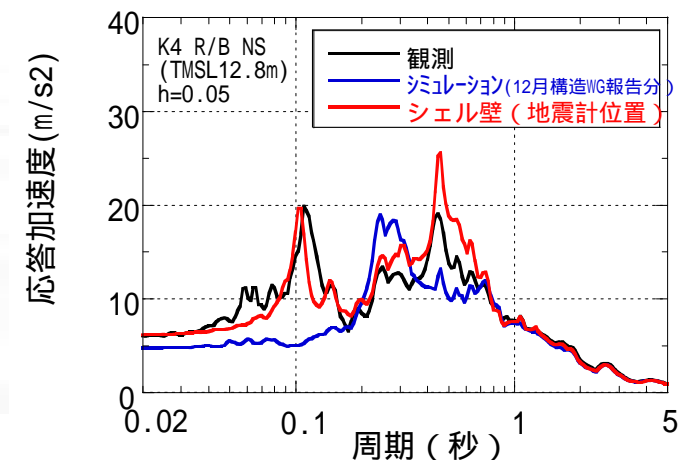


（床柔モデル）

- ✓ 床柔モデルを適用した結果，観測波と比較的よい一致を示した



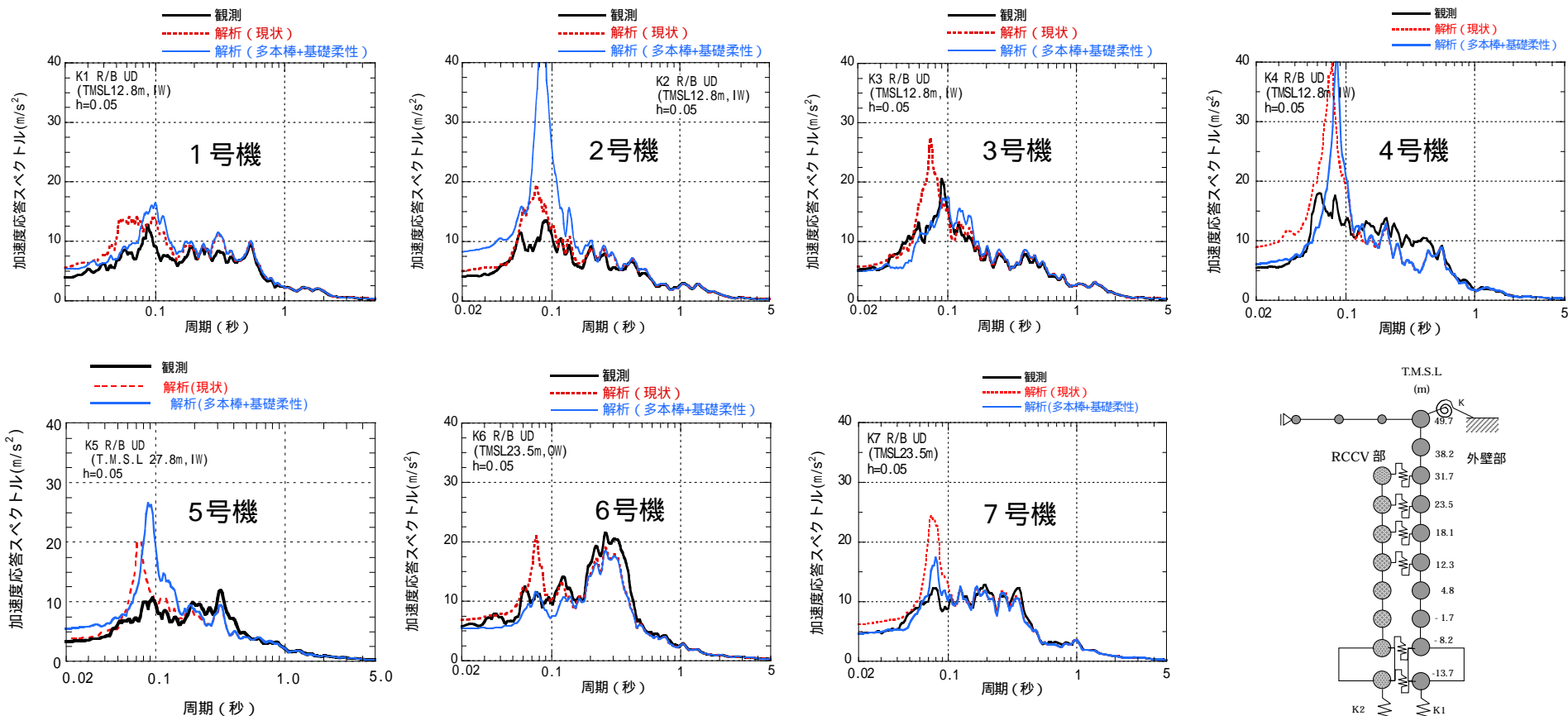
地盤ばねについて記載を省略



原子炉建屋応答解析における床の柔性の考慮について

■ 当社における床柔を考慮した原子炉建屋モデルの検討

● 原子炉建屋上下方向（全号機）



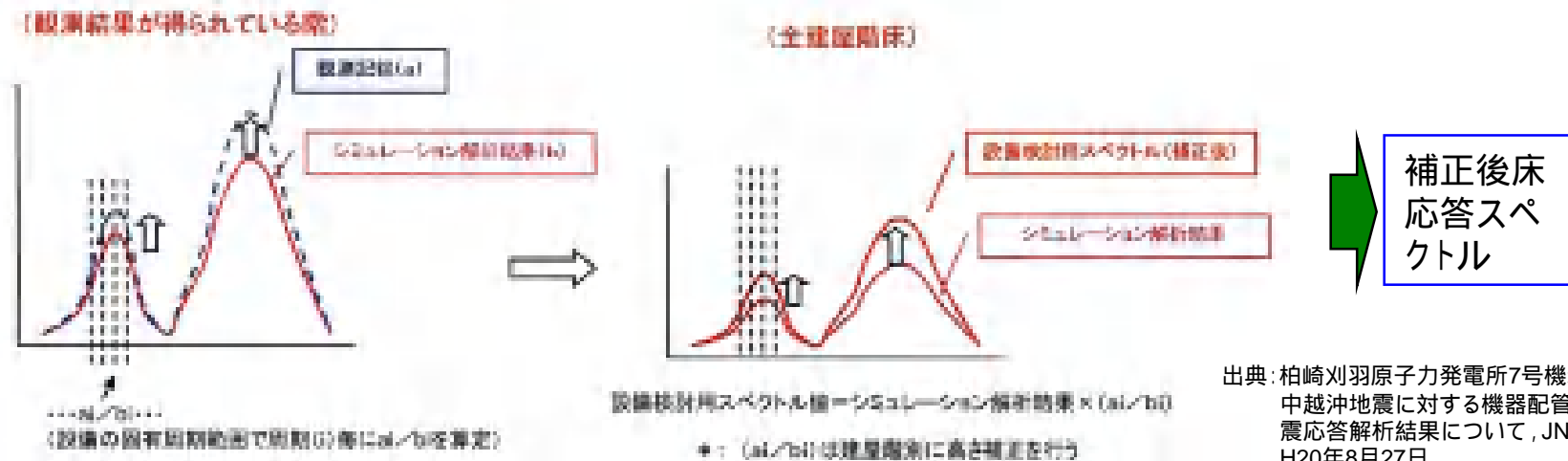
全号機での改善にはならない（2号機では乖離が大きくなる）
 短期的な解決は難しく，今後の継続的な検討が必要

7号機モデル図
 （上下方向）

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
 - ✓ 原子炉建屋の床応答スペクトルと原子炉遮へい壁の床応答スペクトルについての例を6ページ，7ページに示す

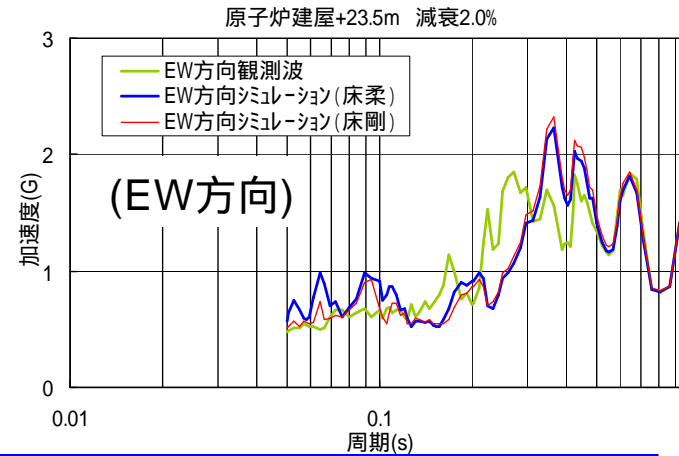
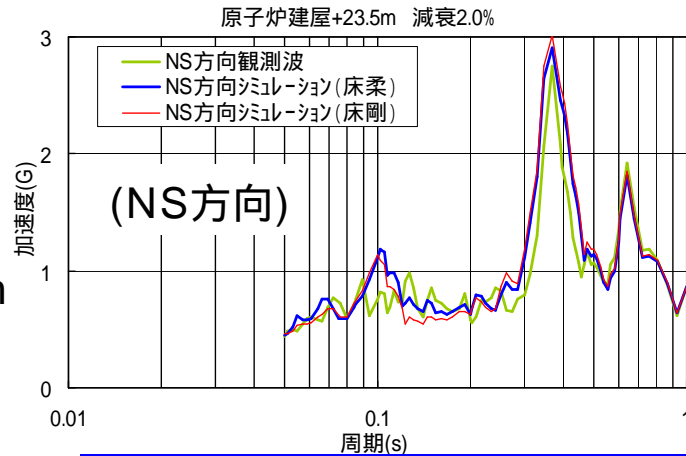


7号機 床柔モデル及び観測波との相違の考慮について

■ 建屋応答解析（床柔）の観測波による補正の例

● 原子炉建屋床応答スペクトル

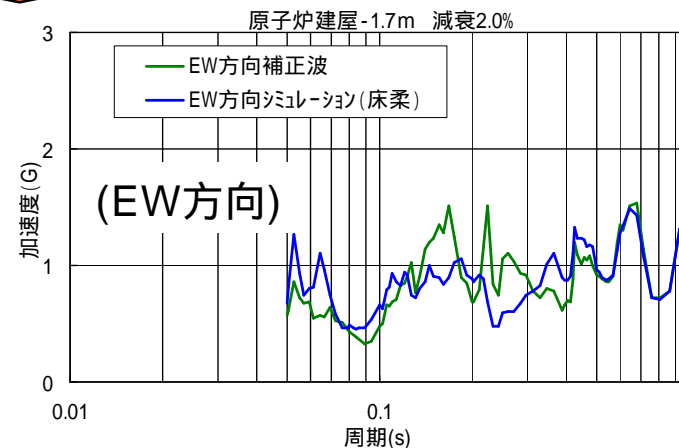
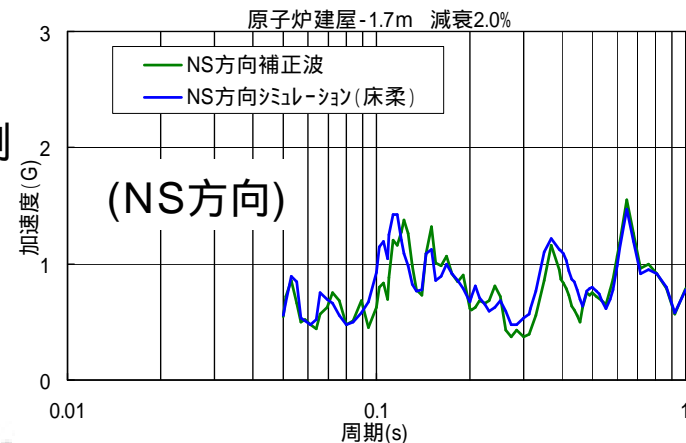
中間階
TMSL
+23.5m



青：建屋応答解析（床柔）
薄緑：観測波

床柔を考慮した建屋応答解析（青）と観測波（薄緑）の各周期での比率を他フロアの床柔建屋応答解析に乗じる

補正の例
地下2階
TMSL
-1.7m



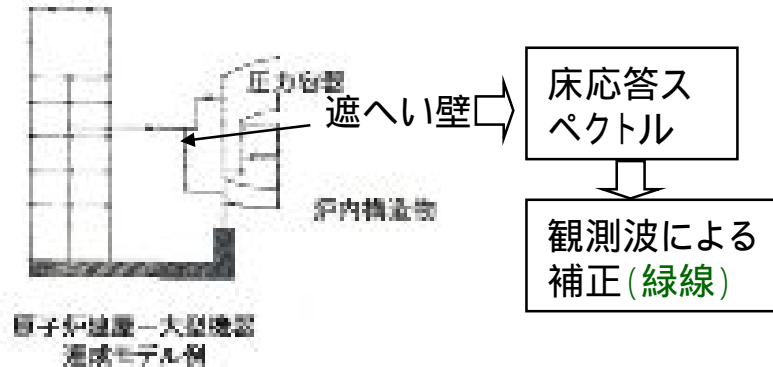
青：建屋応答解析（床柔）
緑：建屋応答解析（床柔）の補正

7号機 床柔モデル及び観測波との相違の考慮について

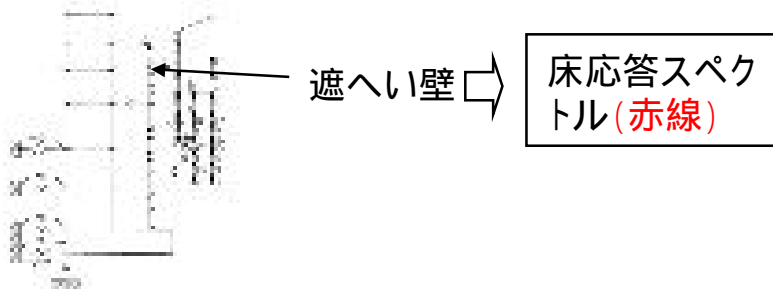
■ 建屋応答解析（床柔）の観測波による補正の例

● 原子炉遮へい壁床応答スペクトル

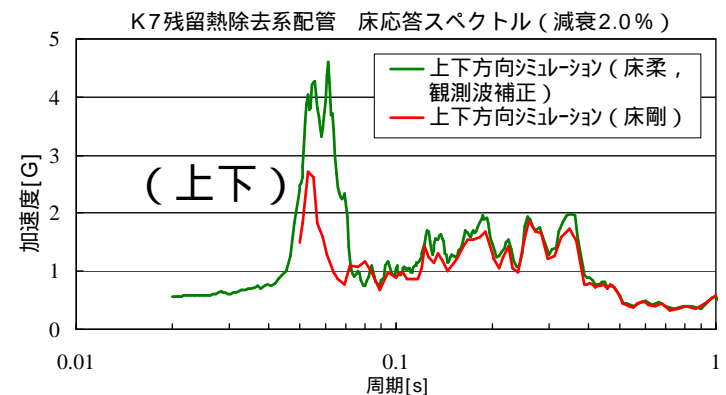
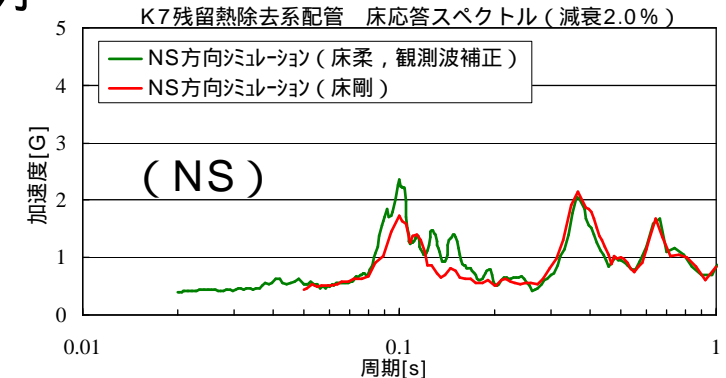
✓ 建屋-機器連成解析モデル（床柔）; JNES検討を拝借



✓ 建屋 機器連成解析モデル（床剛）



: 原子炉建屋モデルへ床柔性を反映し観測記録との適合性を向上させるには長期的な検討が必要であり（特に上下方向）、さらに原子炉建屋に大型機器を連成させたモデルの開発には至っていない。

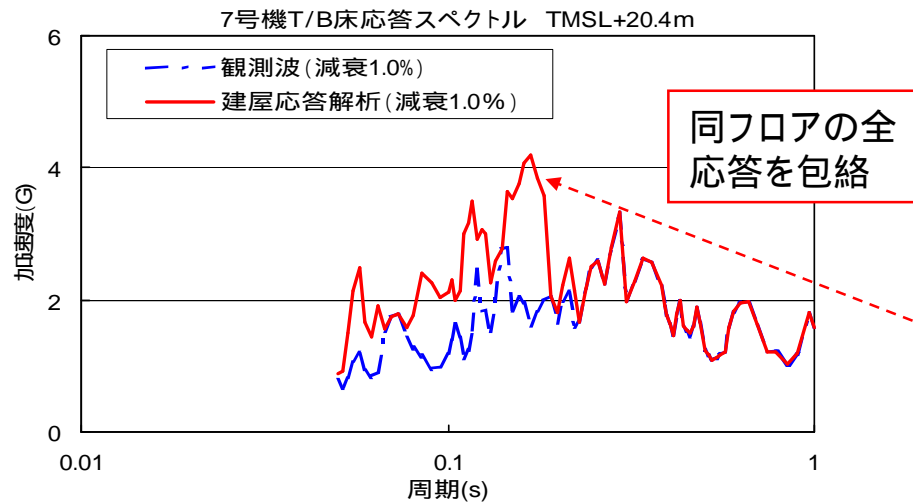


7号機 影響評価の対象設備

- 評価結果の比較的厳しい（評価基準値/算出値 < 1.5）支持構造物を選出
 - ✓ 制御棒駆動系 （算出値: 219 MPa , 評価基準値: 235 MPa）
 - ✓ 不活性ガス処理系 （算出値: 0.6 , 評価基準値: 1.0）
 - ✓ 残留熱除去系 （算出値: 87 kN , 評価基準値: 88 kN）
- 下記支持構造物については下記理由から対象としない
 - ✓ 燃料プール冷却浄化系 観測波を用いた解析
 - ✓ 放射性ドレン移送系 , ほう酸水注入系
固有周期が , 建屋応答解析より観測波の方が小さい周期帯にある
 - ✓ 原子炉隔離時冷却系 （算出値: 13 kN[絶対値和] , 評価基準値: 14 kN）
SRSSによる算出値は9.3kNであり評価基準値14.7kNとの差は1.5倍以上
 - ✓ 主蒸気系 （算出値: 31 kN , 評価基準値: 44 kN）
SRSSによる算出値は28kNであり評価基準値44kNとの差は1.5倍以上
 - ✓ 給水系 , 原子炉補機冷却水系 , 原子炉補機冷却海水系
タービン建屋の床応答スペクトルで評価される設備。タービン建屋は多軸モデルで応答を求めており , 同フロアの多数の応答を包絡して設備の応答解析に用いているため , 保守的な評価となっている（次ページ参照）

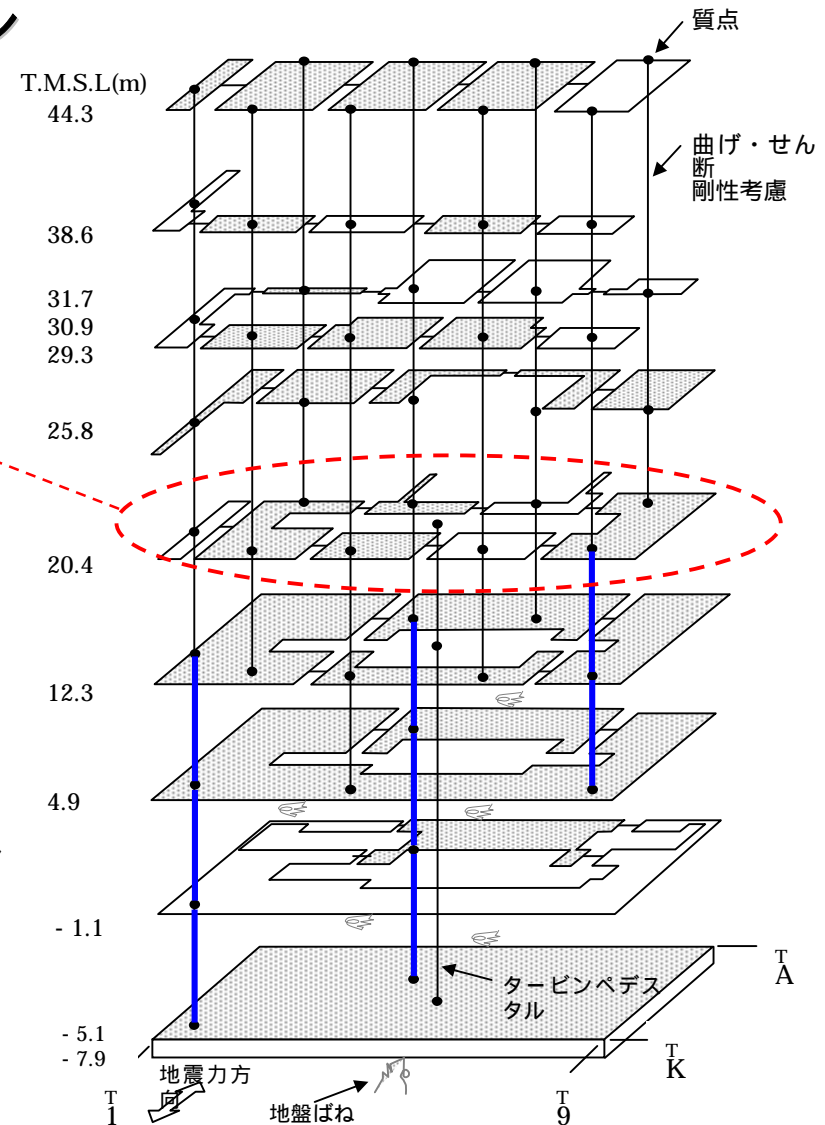
7号機 影響評価の対象設備

7号機タービン建屋床応答スペクトル



7号機タービン建屋地震応答解析モデル
(東西方向の例)

- ✓ 各階の床を同一変形するとみなせる領域の数ブロックに分割し、そこに質量を集中させた多質点系モデル



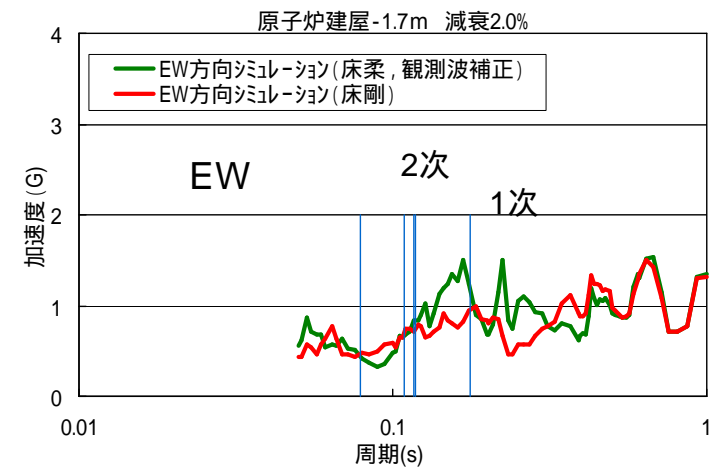
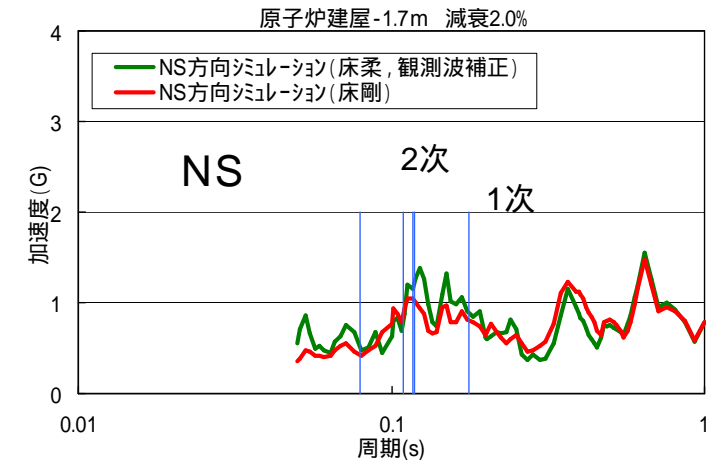
制御棒駆動系配管支持構造物の評価

■ 制御棒駆動系配管支持構造物（架構算出値:219 MPa , 評価基準値:235 MPa）

固有周期		刺激係数			加速度（床剛）		加速度（床柔）	
		NS	EW	UD	NS	EW	NS	EW
1	0.177	0.051	0.001	0.003	0.81	0.95	0.89	1.16
2	0.118	0.023	0.023	0.008	1.03	0.74	1.20	0.83
3	0.117	0.015	0.010	0.018	1.05	0.72	1.16	0.83
4	0.109	0.023	0.029	0.000	0.86	0.70	0.79	0.67
5	0.079	0.003	0.001	0.049	0.43	0.47	0.52	0.45

代表的振動モードは1次, 2次 → 1次, 2次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔(緑)の差異は17% (=1.20/1.03)

- 床応答スペクトル（床柔，観測波補正）による配管支持構造物（架構）の評価
 $39（地震による） \times 1.17 + 186（地震以外） = 232\text{MPa}$
 評価基準値：235MPaを満足



緑：建屋応答解析（床柔，観測波補正）
 赤：建屋応答解析（床剛）

不活性ガス系配管支持構造物の影響評価

- 不活性ガス系配管支持構造物（架構算出値：0.6，評価基準値：1.0）

固有周期		刺激係数			加速度（床剛）		加速度（床柔）	
		NS	EW	UD	NS	EW	NS	EW
1	0.175	0.023	0.510	0.030	0.54	0.50	0.59	0.74
2	0.141	0.050	0.659	0.072	0.60	0.60	0.68	0.77
3	0.112	0.174	0.025	0.089	1.12	0.81	1.11	0.75
4	0.112	0.145	0.241	0.143	1.12	0.81	1.11	0.75
5	0.101	0.102	0.030	0.135	1.38	0.74	1.13	0.71

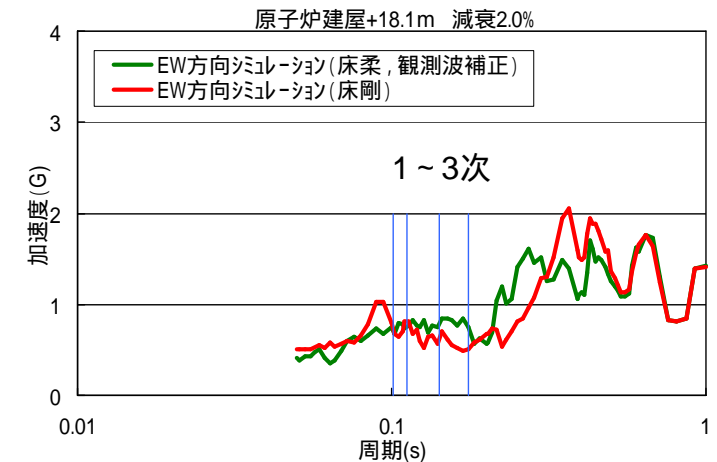
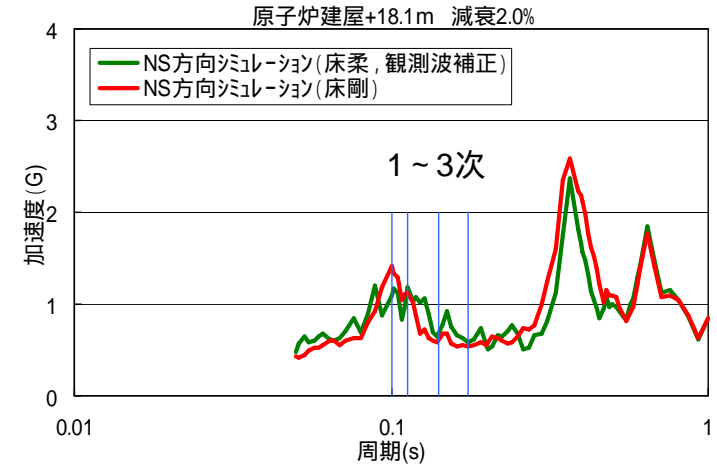
代表的振動モード
は1～3次



1～3次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔(緑)の差異は48% (=0.74/0.50)

- 床応答スペクトル（床柔，観測波補正）による配管支持構造物（架構）の評価
 0.22 （地震による） $\times 1.48 + 0.38$ （地震以外）
 $= 0.8$

評価基準値：1.0 を満足



緑：建屋応答解析（床柔，観測波補正）
赤：建屋応答解析（床剛）

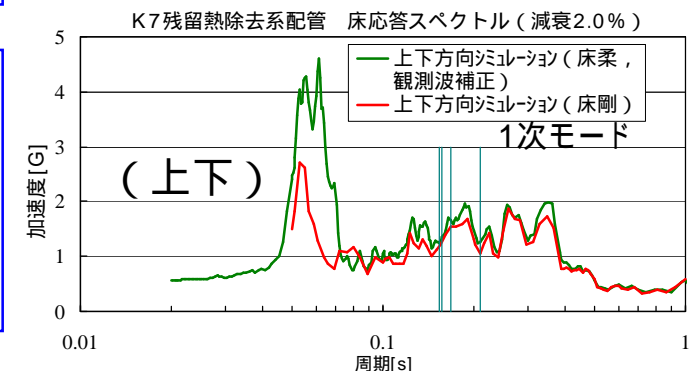
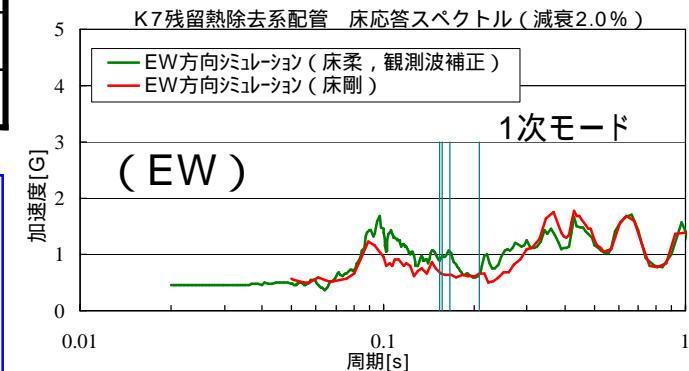
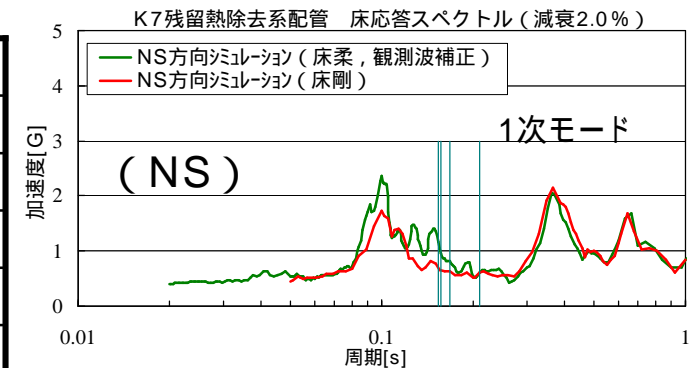
残留熱除去系配管支持構造物の評価

■ 残留熱除去系配管支持構造物（メカスナ算出値:87 kN，評価基準値:88 kN）

固有周期		刺激係数			加速度（床剛）			加速度（床柔）		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
1	0.209	0.317	0.233	0.749	0.61	0.66	1.07	0.58	0.66	1.25
2	0.167	0.166	0.035	0.256	0.62	0.64	1.53	0.81	1.06	1.66
3	0.157	0.122	0.041	0.05	0.65	0.66	1.28	0.95	0.98	1.36
4	0.154	0.31	0	0.4	0.69	0.69	1.19	1.16	0.89	1.23
5	0.123	0.101	0.113	0.13	0.91	0.80	1.38	1.17	1.01	1.51

代表的振動モードは1次 → 1次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔(緑)の差異は17% (=1.25/1.07)

● 床応答スペクトル（床柔，観測波補正）による配管支持構造物（メカスナ）の評価
 $87 \times 1.17 = 102 \text{ kN}$
 評価基準値(定格荷重 × 1.5)を超える



残留熱除去系配管支持構造物の評価

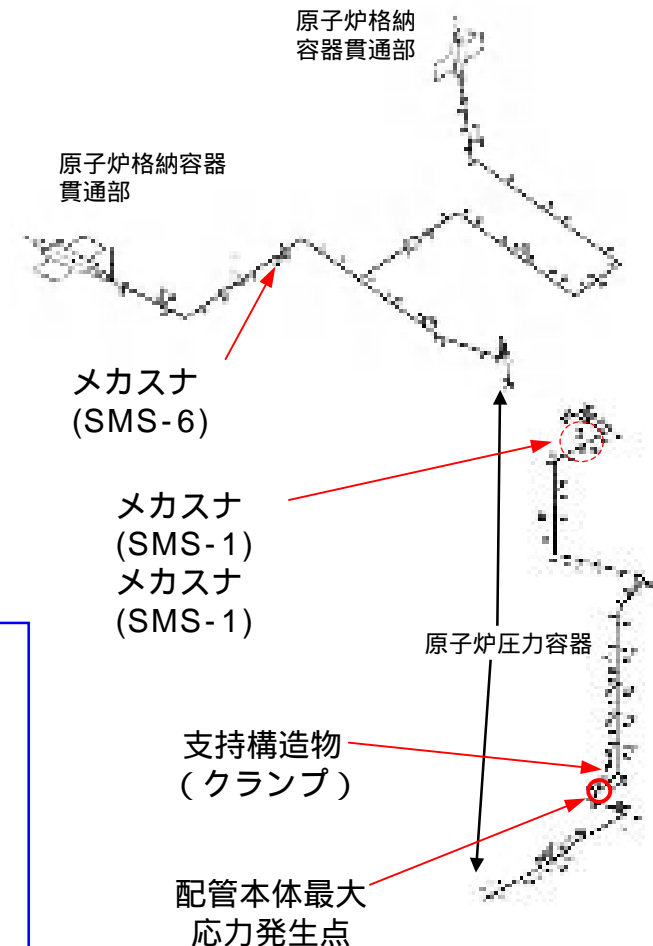
■ その他配管支持構造物の評価

- ✓ 点検・評価報告書にて報告した支持構造物（メカスナ）に加えて、他の支持構造物についても同様の評価を実施。その結果比較的厳しい支持構造物を下記表に示す

	床剛評価	床柔評価	評価基準値
メカスナ	87 kN	102 kN ¹	88 kN
メカスナ	14.4 kN	16.9 kN (=14.4 × 1.17)	14.7 kN
メカスナ	11.8 kN	13.9 kN (=11.8 × 1.17)	14.7 kN
支持構造物 (クランプ)	77 MPa	80 MPa (=15 × 1.17 + 62)	83 MPa
配管本体	239 MPa	258 MPa (=110 × 1.17 + 129)	274 MPa



- ✓ メカスナに加えメカスナが評価基準値を超える
1: JNES評価結果は106 kNで同様に評価基準値を超える
- ✓ メカスナ以外の支持構造物および配管本体については床柔と観測波との相違を考慮しても評価基準値を満足することを確認

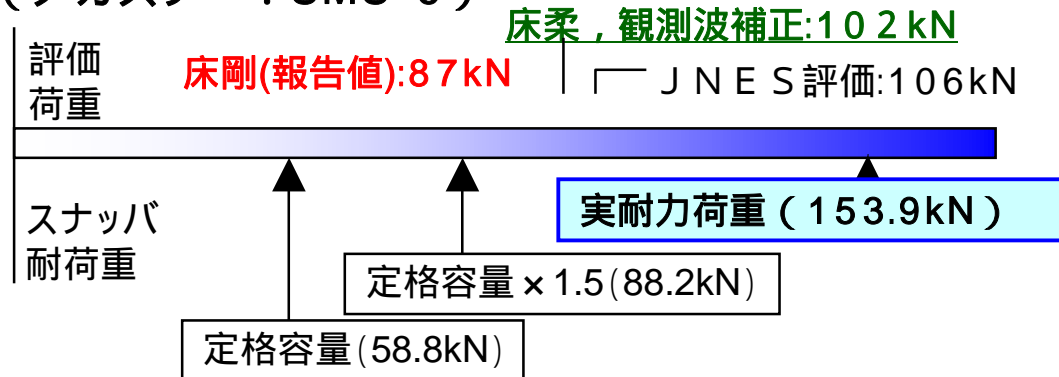


残留熱除去系メカニカルスナッパ評価結果への対応

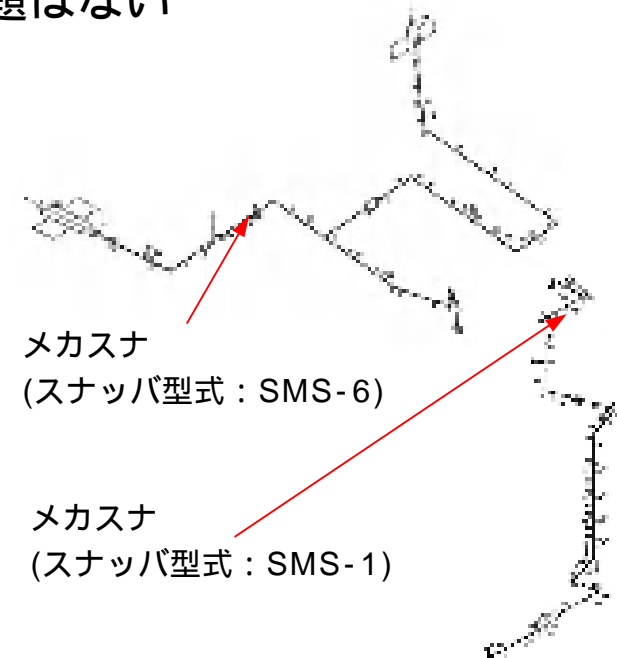
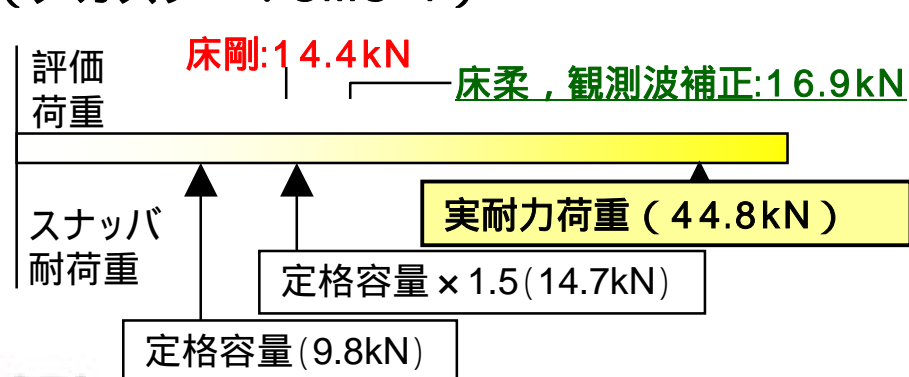
■ メカニカルスナッパの実耐力について

- ✓ 規格基準に定める許容値がなく，設計荷重（定格容量 × 1.5）を評価基準値としている
- ✓ メカスナの試験にて確認された実耐荷重を考慮すれば，床柔と観測波との相違を考慮した値より十分に大きく，健全性に問題はない

（メカスナ : SMS-6）



（メカスナ : SMS-1）



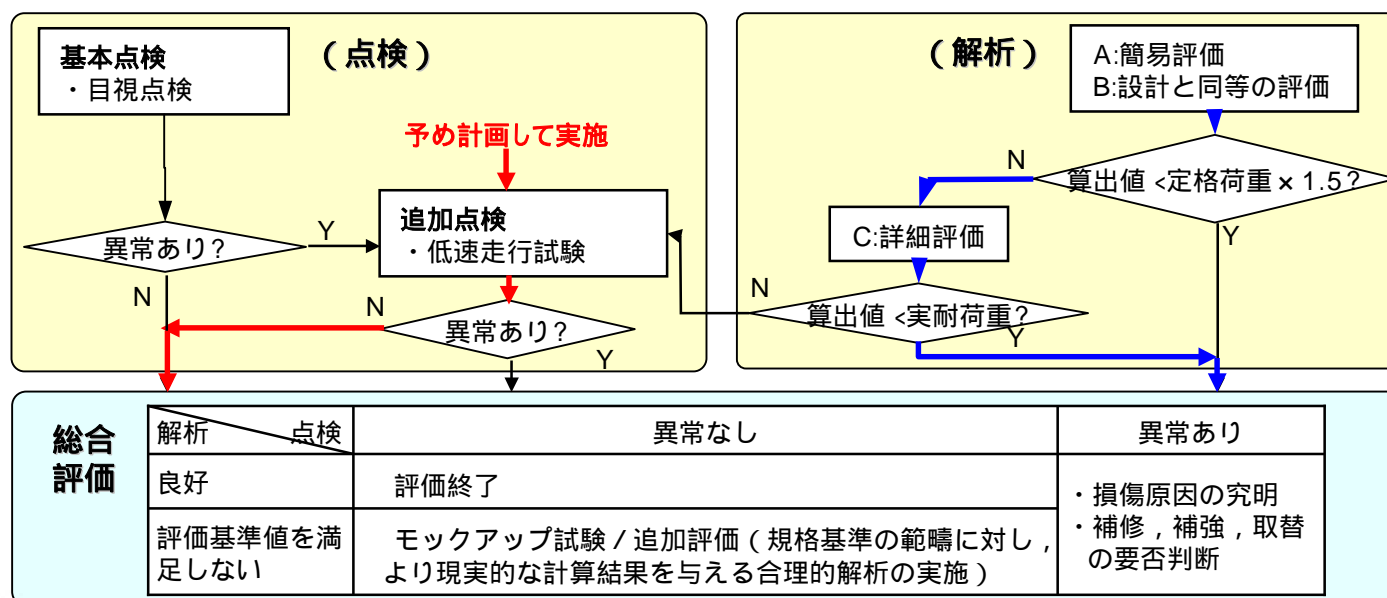
スナッパの実耐荷重

（スナッパ損傷時の荷重ではなく，安定作動が確認された荷重）

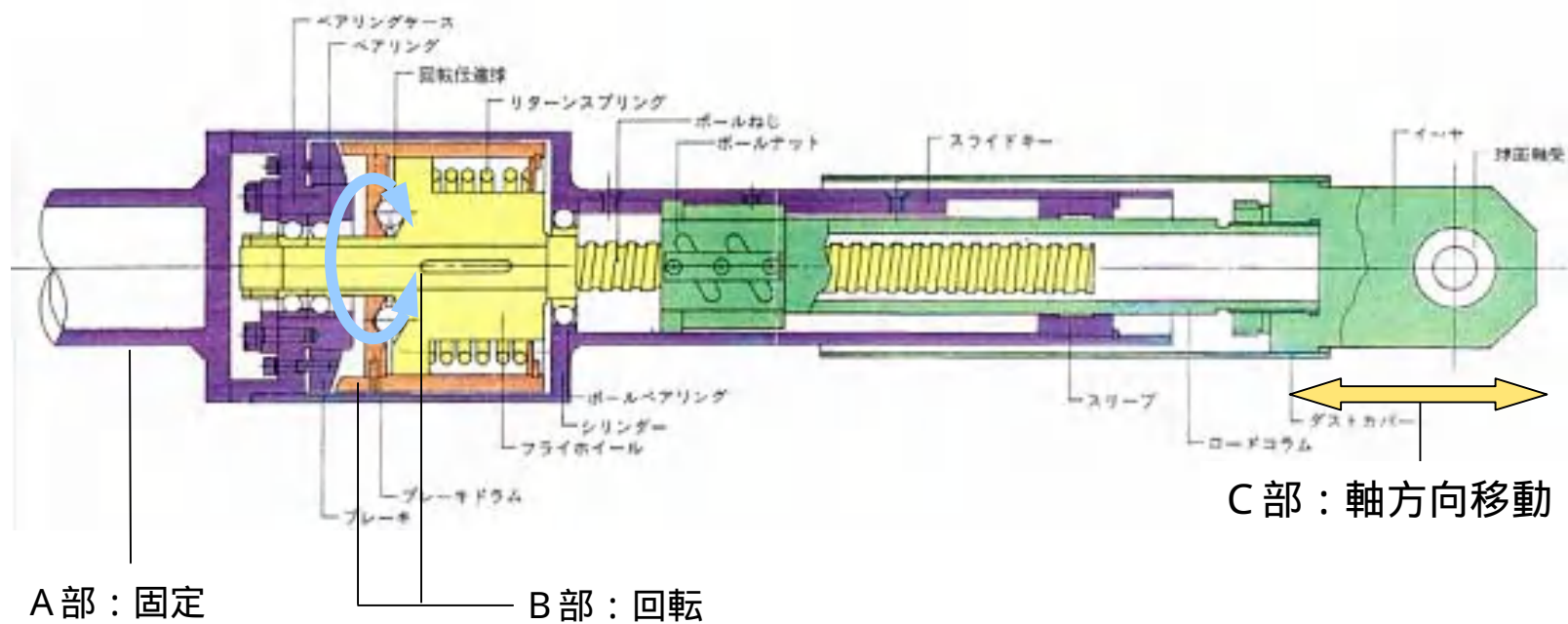
Investigation on Ultimate Strength Evaluation of Snubber in Piping System of Japanese NPP, Eiichi Yamazaki&Nobuyuki Kojima, SMiRT19, 2007年8月より

まとめ（点検・評価報告書での扱い）

- 床柔，観測波との相違を考慮した残留熱除去系配管支持構造物の評価
 - ✓ 評価の結果，設計荷重（定格荷重 × 1.5）で設定した評価基準値は超えるが，詳細評価にて試験による実耐荷重を評価基準値とすることで，評価基準値を満足（青線）
 - ✓ 地震応答解析の結果，地震の影響が比較的大きいため追加点検を予め計画して実施（赤線）
 - メカスナ ~ （SMS-6;容量6t × 1台，SMS-1;容量1t × 2台）の低速走行試験を実施しいずれも異常のないことを確認
 - ✓ 点検・解析において問題のないことから評価終了



参考：メカニカルスナッチ構造図



参考：固有値解析の東電とJNESの比較

▶ 残留熱除去系配管の固有値解析比較

モード	刺激係数（東電）				刺激係数（JNES）			
	固有周期(s)	NS	EW	UD	固有周期(s)	NS	EW	UD
1	0.209	0.317	0.233	0.749	0.209	0.312	0.231	0.749
2	0.167	0.166	0.035	0.256	0.167	0.172	0.053	0.265
3	0.157	0.122	0.041	0.050	0.157	0.119	0.037	0.044
4	0.154	0.310	0.000	0.400	0.154	0.306	0.009	0.395
5	0.123	0.101	0.113	0.13	0.123	0.105	0.111	0.129