

設備健全性サブWGにおける 指摘事項に対する回答

平成21年1月28日



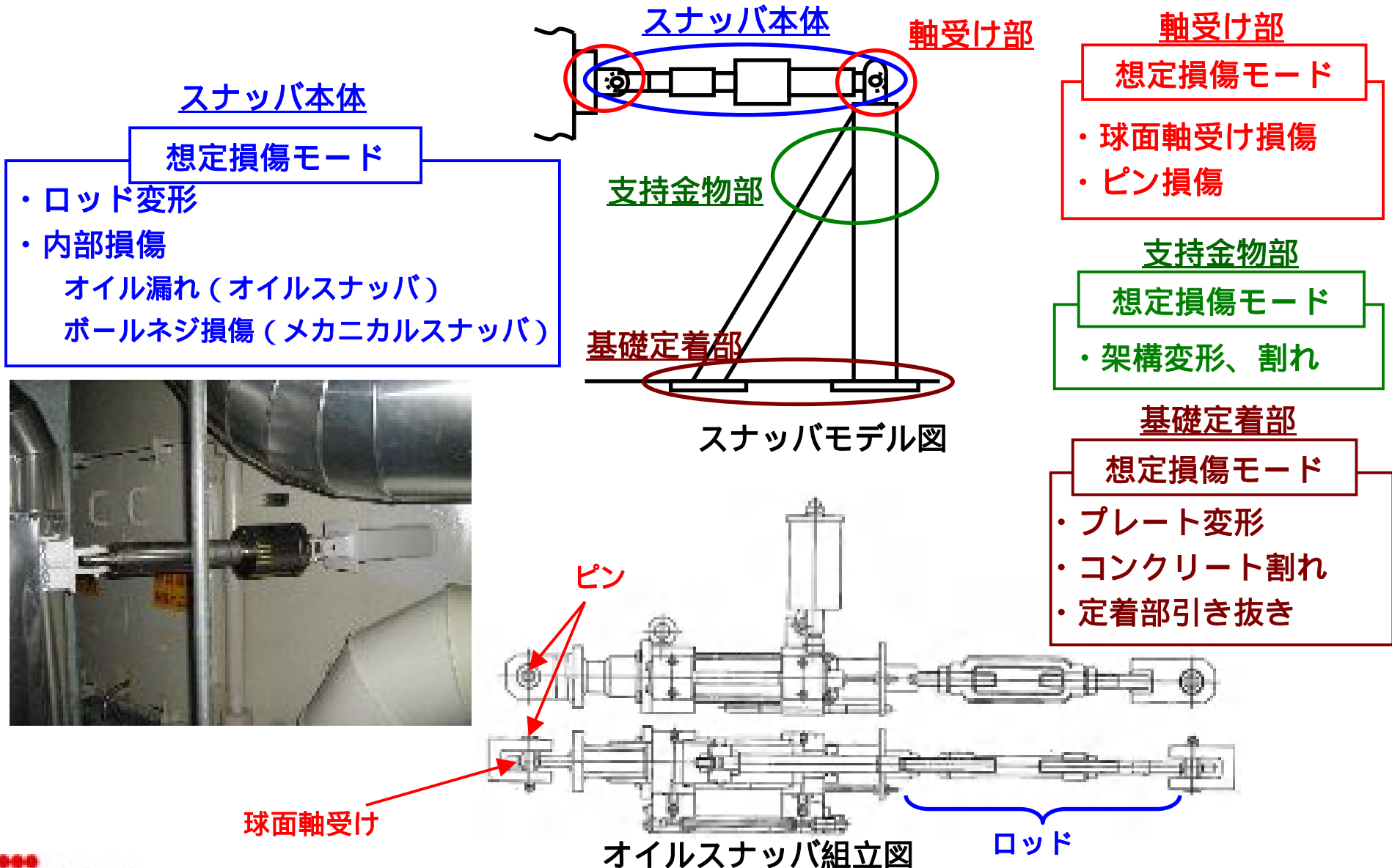
東京電力

ご指摘に関する補足説明内容

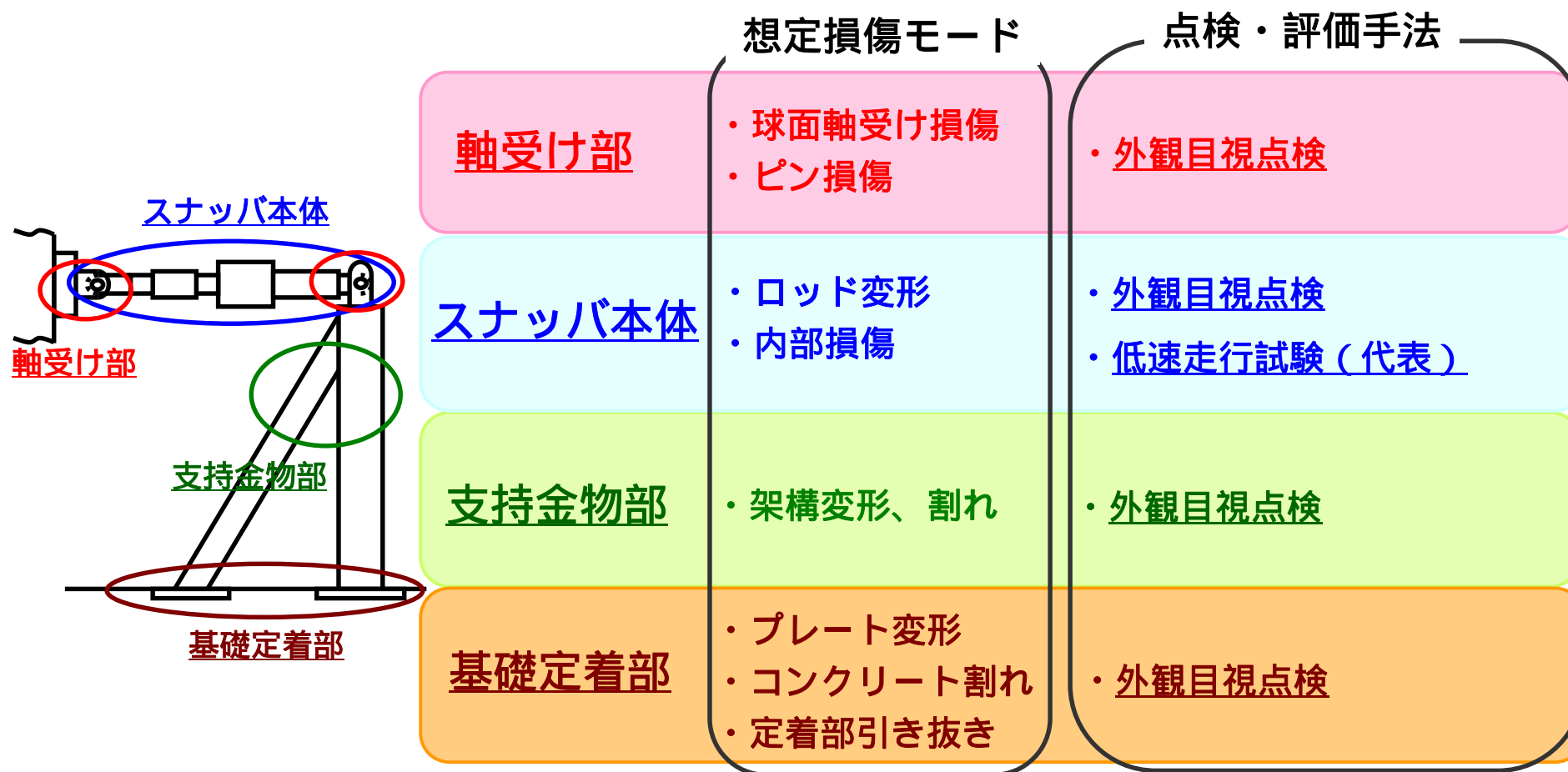
- 1．スナッパの健全性確認方法について
別紙：配管支持装置（メカニカルスナッパ）の
評価基準値について
- 2．レストレイントの機能について（補足説明）
- 3．テノン部の硬さ測定について（低圧タービン翼）
- 4．追加指示事項に関する検討（床柔の考慮）

1 . スナツバの健全性確認方法について

地震荷重によるスナッパ各部の想定損傷モード



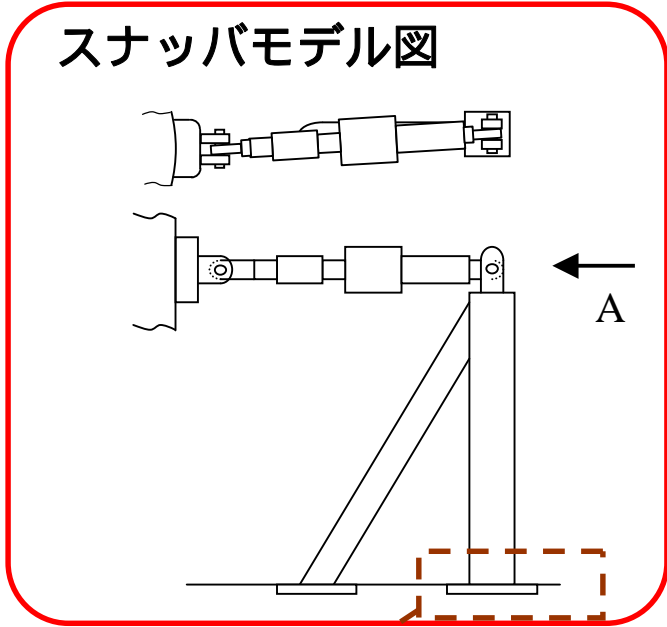
スナツバ各部に対して実施している点検手法



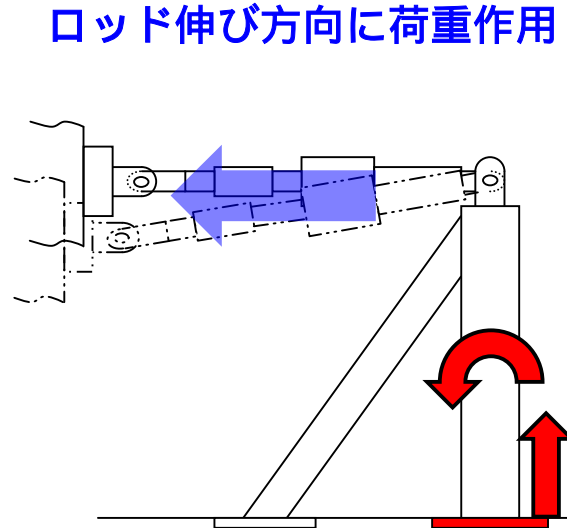
地震荷重によるスナツバ各部の想定損傷モードを確認できる手法にて点検・評価を実施している

地震荷重を受けたスナツバ基礎定着部に想定される挙動

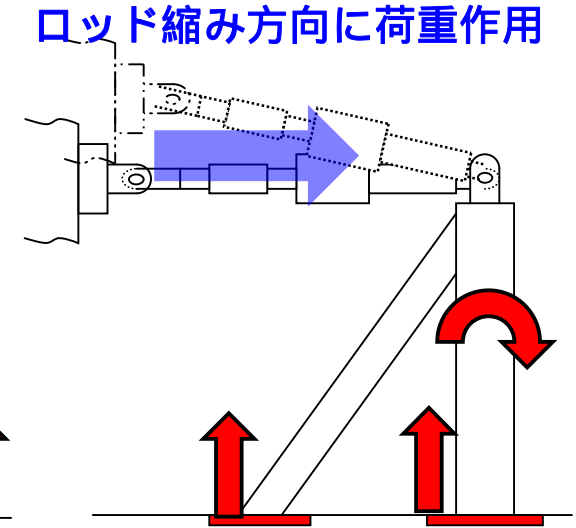
スナツバモデル図



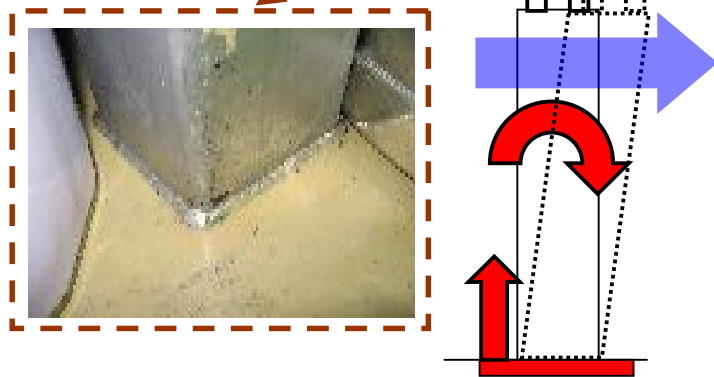
ロッド伸び方向に荷重作用



ロッド縮み方向に荷重作用

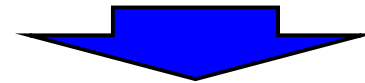


水平方向に荷重作用



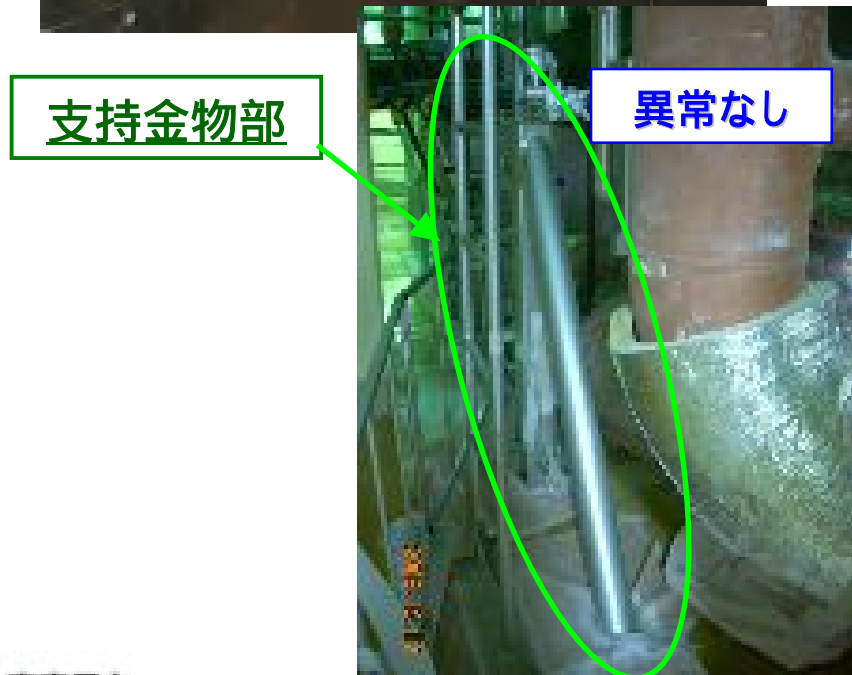
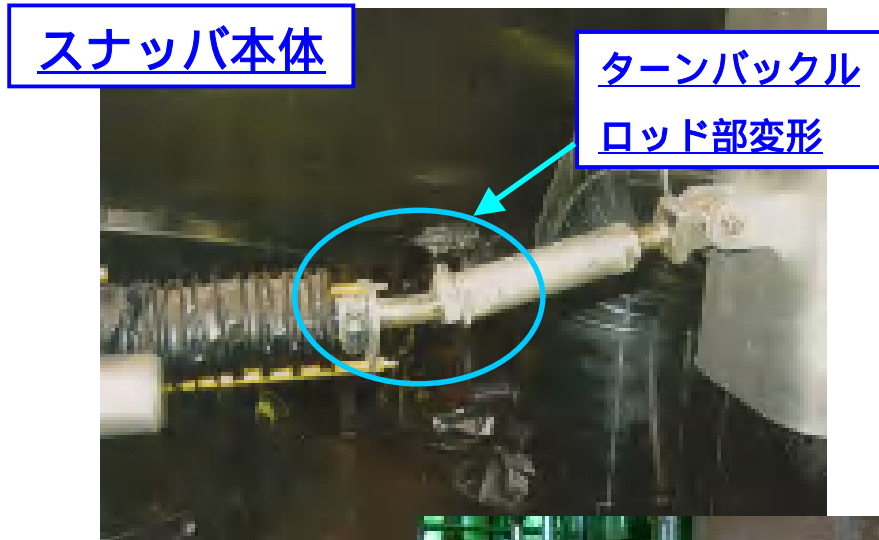
A矢視図

地震荷重を受けたスナツバの基礎定着部には転倒モーメントによる引き抜き力が作用する



定着部金物の「浮き」の有無を目視により確認することで基礎定着部の健全性を評価

オイルスナッパ（ターンバックルロッド部の変形）周りの支持部材の状況



まとめ

- スナッパの健全性確認は、スナッパが取り付けられている支持金物部や基礎定着部を含めて総合的に評価している。
- スナッパ本体、軸受け部、支持金物部、基礎定着部それぞれに対して、地震荷重による損傷モードを想定し、それを検知できる点検・評価手法を選定している。

2．レストレイントの機能について（補足説明）

2. レストレイントの機能について（補足説明）

- 拘束が必要な方向に対して、全ての荷重による配管移動を拘束する。
- 設計上考慮する荷重は次の通り。
 - ✓ JSME要求：自重・熱膨張などの長期荷重および安全弁吹き出し反力などによる短期機械荷重
 - ✓ JEAG要求：地震による短期荷重
- 実機においては配管振動もあり、レストレイントの他にばね防振器等を用いて、振動抑制を図っている。

6号機でひびが確認されたレストレイントの配管熱解析

ひびが確認されたレストレイント

下流側からの写真



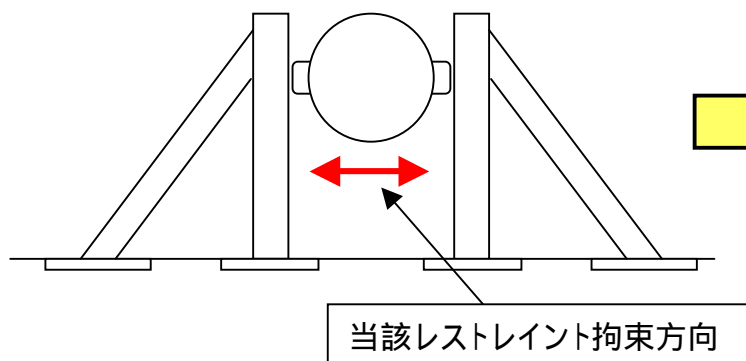
----- : 運転時 (熱移動方向)
— : 停止時



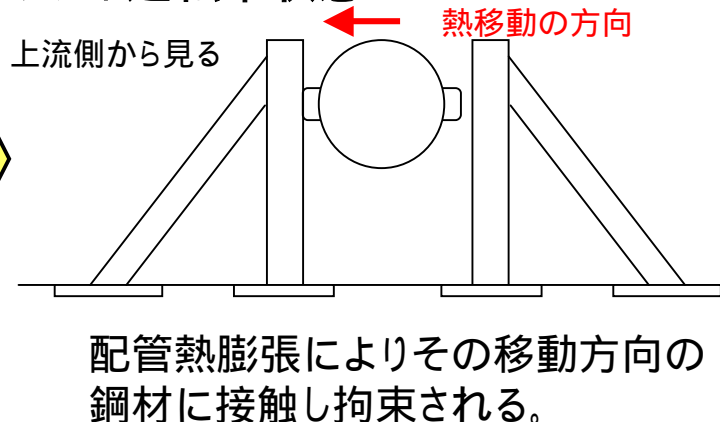
当該レストレイントは、運転時の熱移動方向に対して、配管を拘束するよう設計されている。

当該事象に関する推定メカニズム

プラント停止中状態



プラント運転中状態

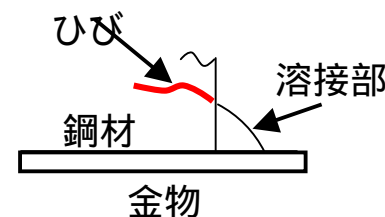
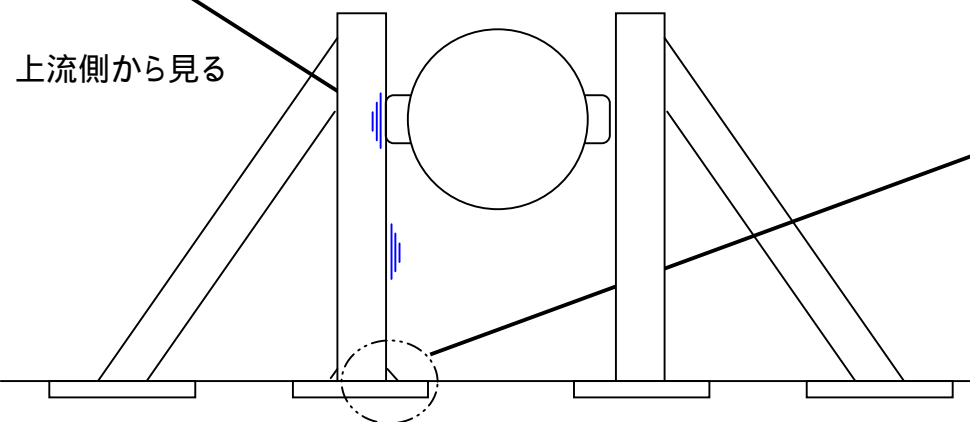


拘束方向に対し考慮する設計荷重

設計荷重	ton
自重	0.2
熱	22.0
地震（静的）	8.3
地震（動的）	2.8
地震（相対変位）	25.7
機械荷重	1.1

プラント運転中流体振動が加わった状態

主蒸気系は高流速の蒸気が流れ、配管流体振動が発生している。



配管の振動が鋼材に伝わり、金物との溶接部の止端部（応力集中部）でひびが発生し、進展した。

主蒸気配管系レストレイントの脚部溶接部のひび

原因究明

(1) 地震影響について

以下の理由から当該事象は地震影響ではないと評価した。

- ・ 表面観察の結果、腐食生成物の付着が確認されており、地震前からひびが存在していたと思われること。
- ・ 破面観察の結果、破面上にストライエーション状模様が確認されたことから高サイクル疲労により発生したものと推定されること。

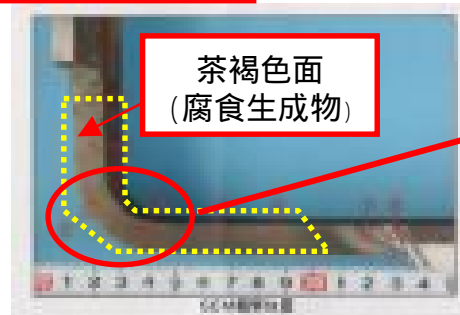
(2) 損傷の推定原因

今回ひびが確認された架鋼の脚部は、配管熱解析の結果、運転中熱荷重が常時加わる方向にあり、そこに配管の流体振動が鋼材に伝わり、応力集中部である溶接止端部にき裂が発生し進展したものと推定した。

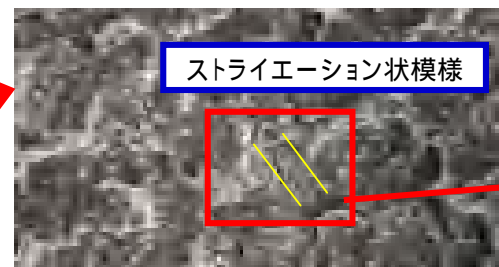


表面観察・破面観察の結果

表面観察結果



破面観察結果



拡大図



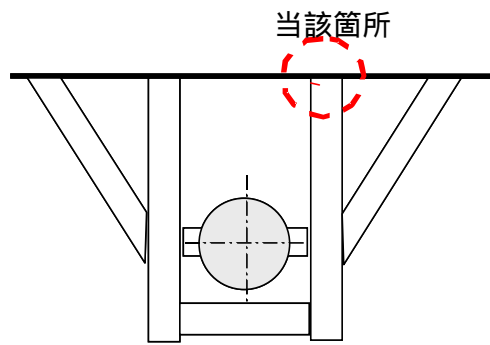
類似箇所の確認

類似箇所の確認

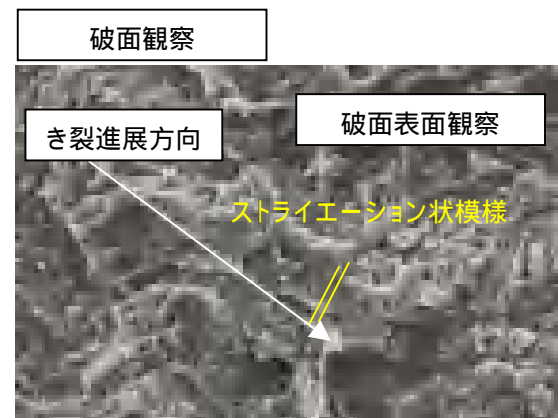
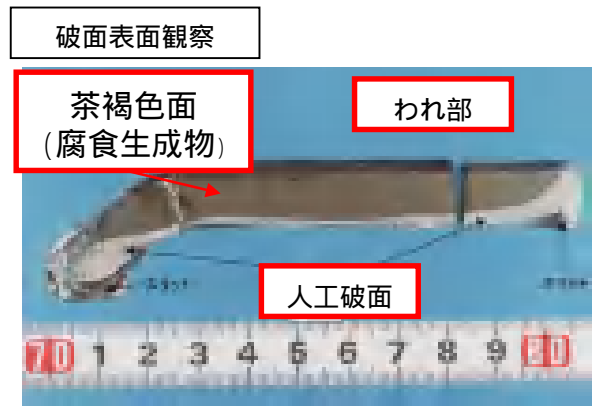
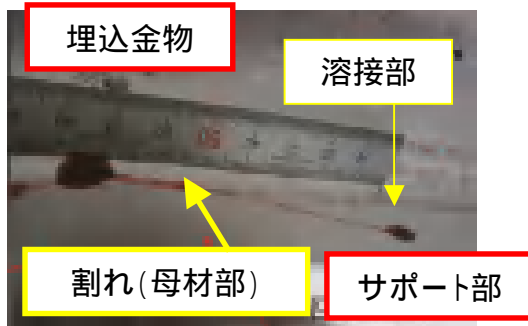
今回確認されたひびが、流体振動による疲労と評価したため、主蒸気系(3ライン)の同位置に設置されているレストレイントについて、類似箇所として浸透探傷試験を実施した。

確認結果

サポートRE-MS-T029の1箇所に指示模様を確認した。破面観察の結果ストライエーション状模様を確認した。以上により地震の影響ではないと推定した。



サポート番号 :RE-MS-T029



まとめ

- 確認されたひびについては、表面観察及び破面観察を行った結果、ストライエーション状模様が確認されており、流体振動による高サイクル疲労にて発生したものと推定された。従って、地震影響によるものではないことがわかった。
- レストレイント全体に変形がなかったこと、ならびに破面観察の結果、延性破面が確認されていないことから、本地震時における配管支持機能は維持されていたものとする。
- 支持している配管についても変形等は、確認されていない。
- これまでの保全プログラムでは、配管系は、高サイクル疲労の影響を考慮していたが、今回の点検によって、レストレイントへの影響も確認されたことを受け、主蒸気系の類似のレストレイントについて点検周期の見直しを行うなど、保全プログラムの改善の検討を行う。
- 当該箇所については、念のため鋼材の開先加工後の溶接および仕上げ加工を実施し、溶接強度の向上と応力集中の低減を図る。

3 . テノン部の硬さ測定について（低圧タービン翼）

3 . テノン部の硬さ測定について（低圧タービン翼）

低圧タービンの翼の健全性については、テノン部の硬さ測定を項目として追加した方が良いと考える。これは、シュラウドカバー（翼の先端部）はL-0を除きテノンをかしめており、火災の熱による影響を受ける可能性があるためである。（第6回WG，平成20年12月19日）

火災の影響を受けたと思われる部位（Level 3）と影響が小さいと思われる部位（Level 1）について、テノン部の硬さ測定を実施した。測定の結果、各Levelの部位について、硬さのデータに有意な差は無く、また、硬さのバラツキも認められなかったことから、火災の影響はごく小さいものであり、健全性に問題は無いものと判断される。

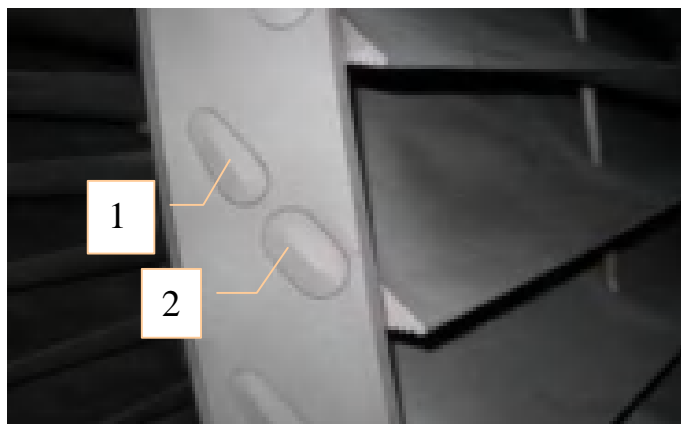


図 テノン部硬さ測定箇所

1. Level 3 (Heat Affected) (Brinell hardness Number)

Stage	Bucket No	Tenon		
		1	2	
GE	L-1	111	235	247
	1	1	243	248
	82	251	257	

2. Level 1 (No heat) (Brinell hardness Number)

Stage	Bucket No	Tenon		
		1	2	
TE	L-1	28	255	258
	72	242	258	
	28	251	254	

なお、テノン部の硬さについては、動翼製造後にカシメ加工を行うことから、硬さの判定値は存在しない。（参考）翼材料製造時の硬さ管理値・・・223～269（Brinell）

4 . 保安院指示事項 床の柔性に関する補足説明

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

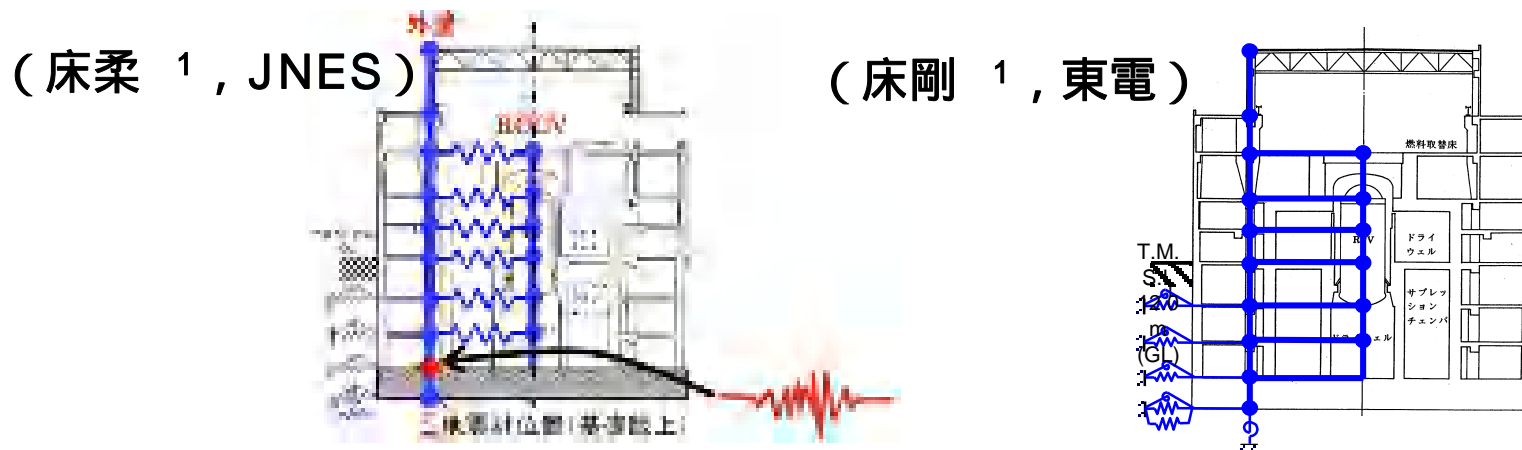
■ 当社検討方針

- 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

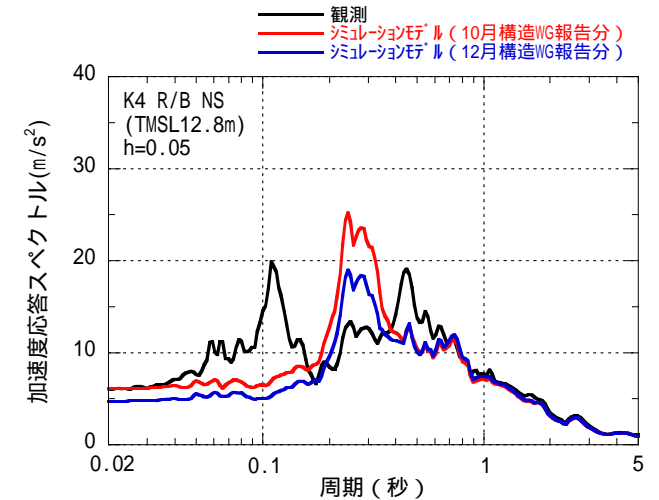
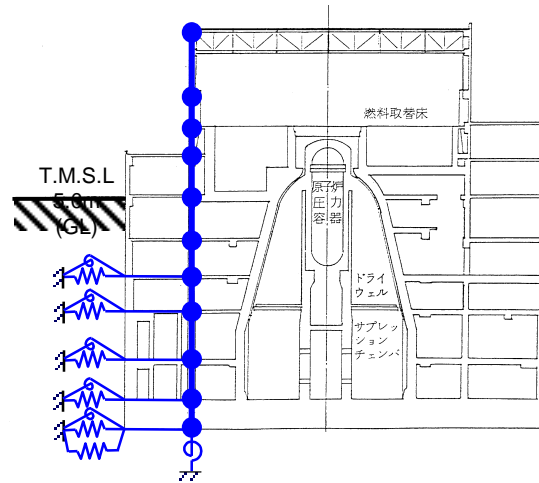
原子炉建屋応答解析における床の柔性の考慮について

■ 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）

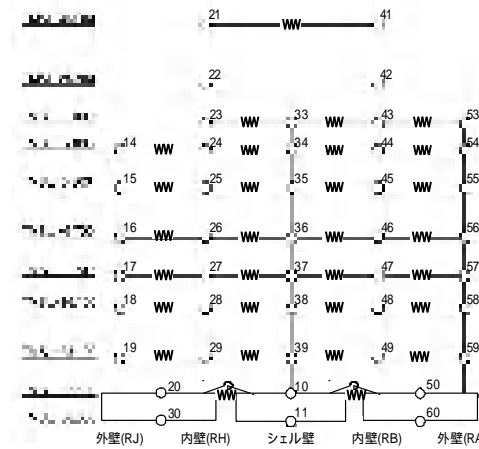
（床剛モデル）

- ✓ 床剛モデルではピークを適切に表現できていない

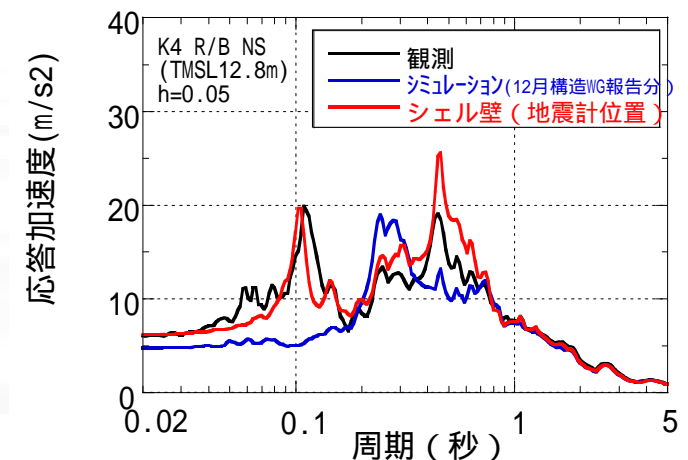


（床柔モデル）

- ✓ 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



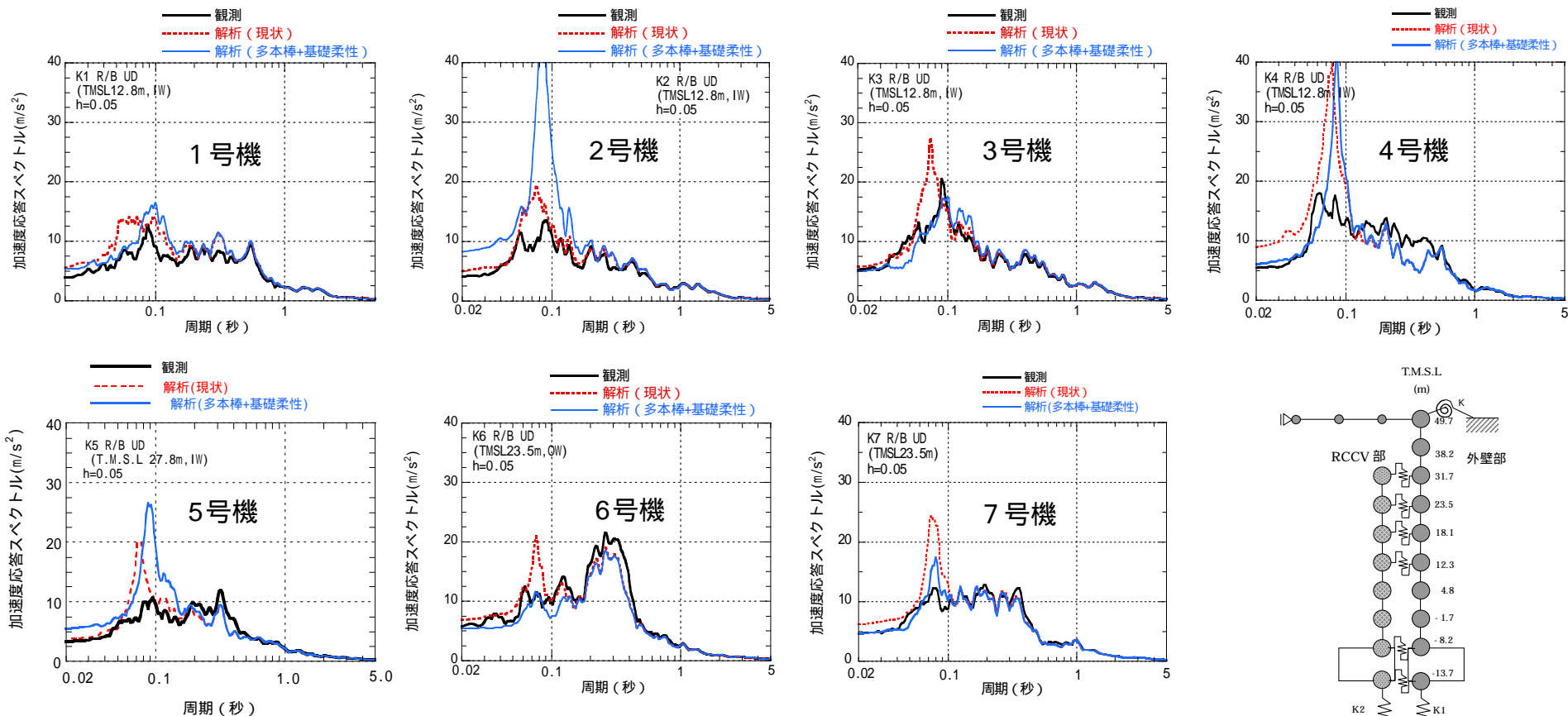
地盤ばねについて記載を省略



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）

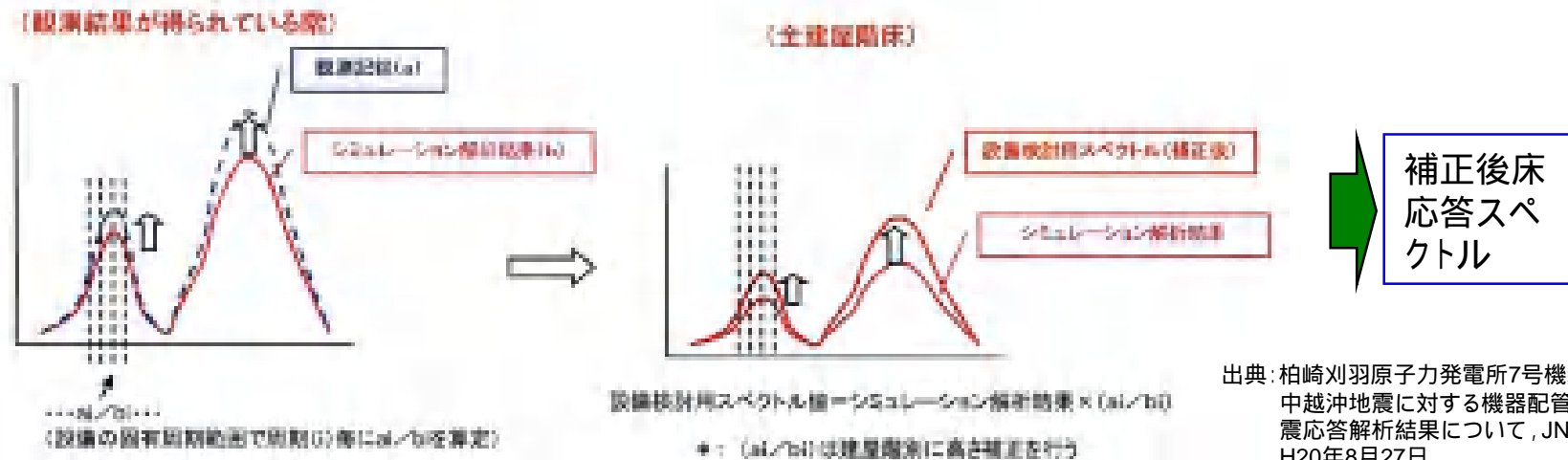


全号機での改善にはならない（2号機では乖離が大きくなる）
 短期的な解決は難しく，今後の継続的な検討が必要

7号機 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23ページ，24ページに示す

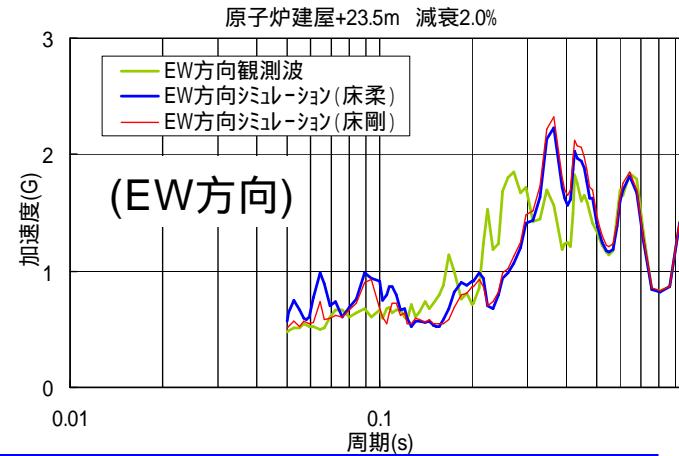
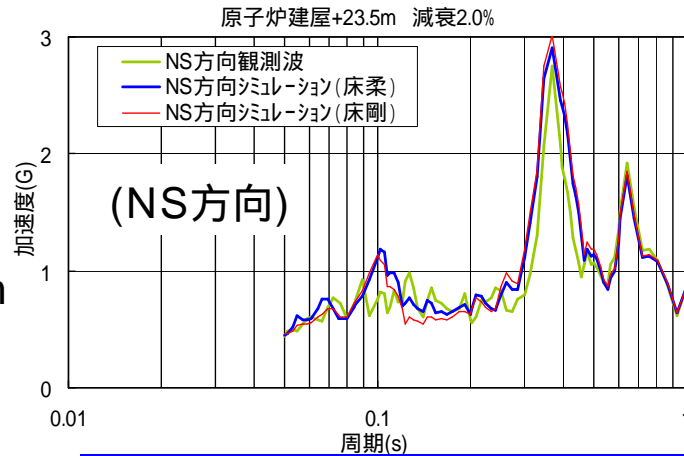


7号機 床柔モデル及び観測波との相違の考慮について

■ 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

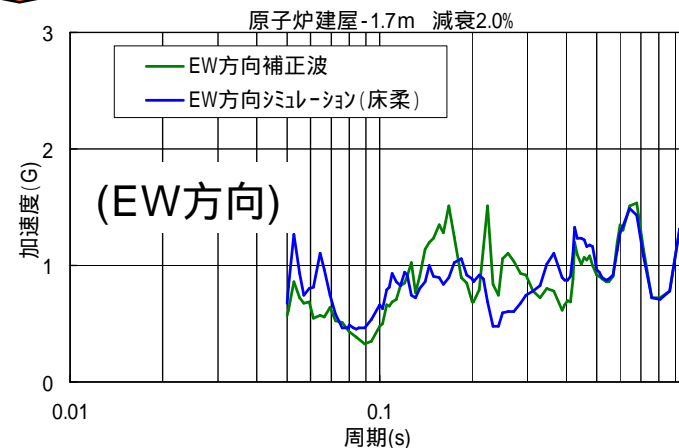
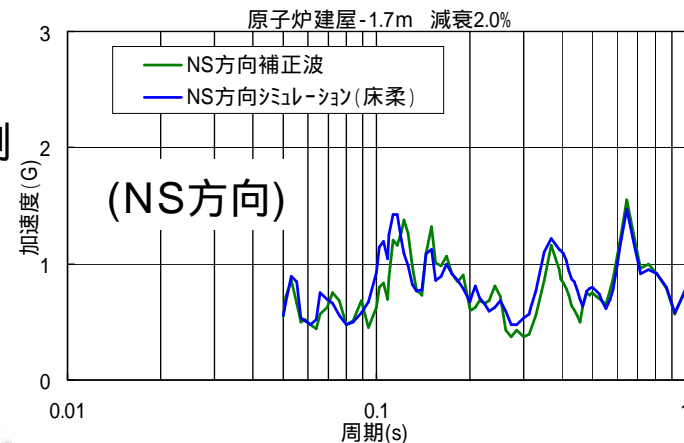
中間階
TMSL
+23.5m



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



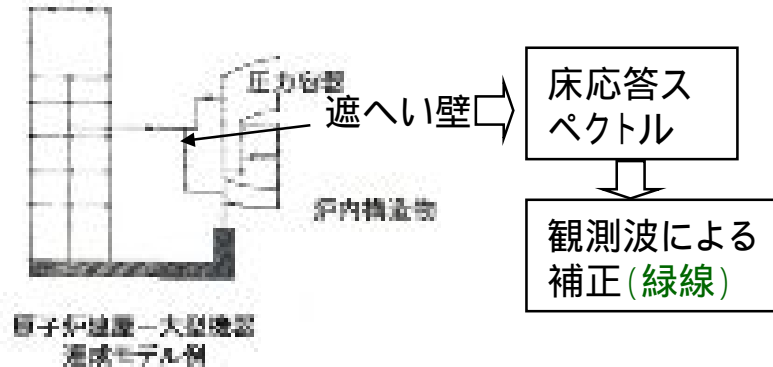
青：建屋応答解析（床柔）
緑：建屋応答解析（床柔）の補正

7号機 床柔モデル及び観測波との相違の考慮について

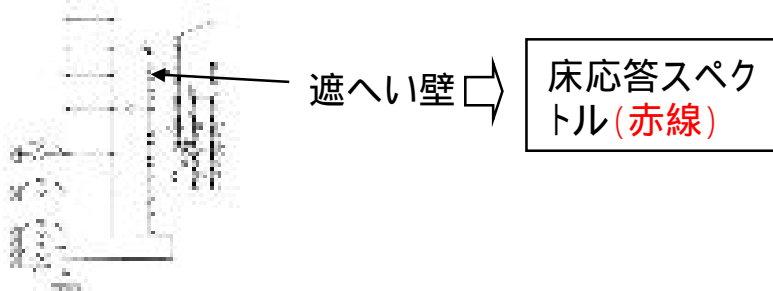
■ 建屋応答解析（床柔）の観測波による補正の例

● 原子炉遮へい壁床応答スペクトル

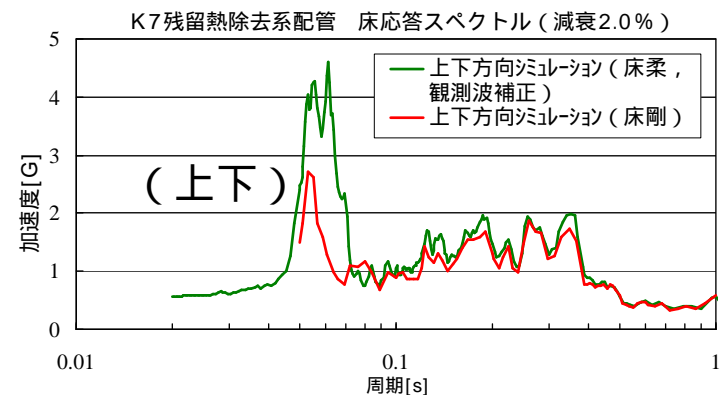
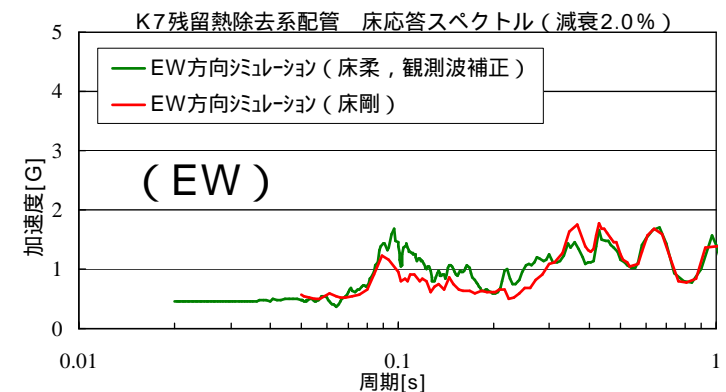
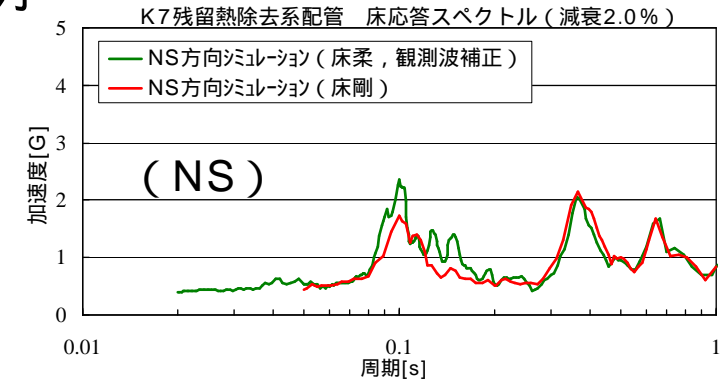
✓ 建屋-機器連成解析モデル（床柔）; JNES検討を拝借



✓ 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。

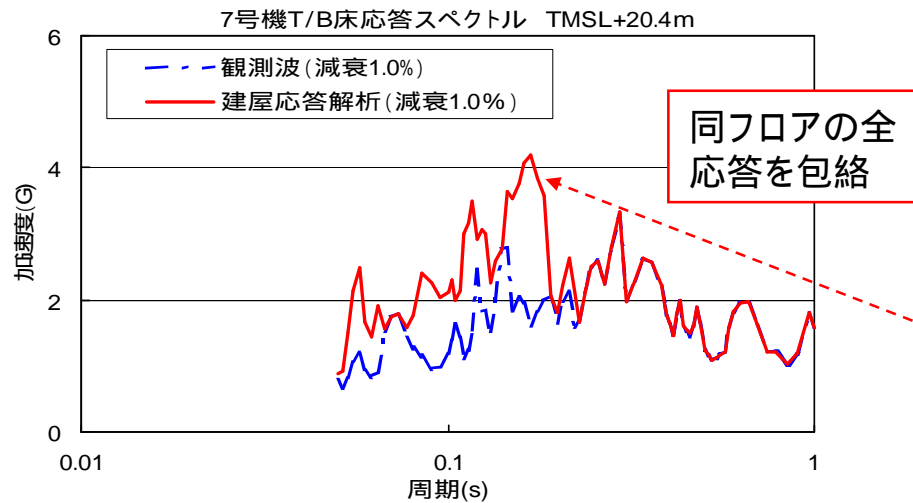


7号機 影響評価の対象設備

- 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）

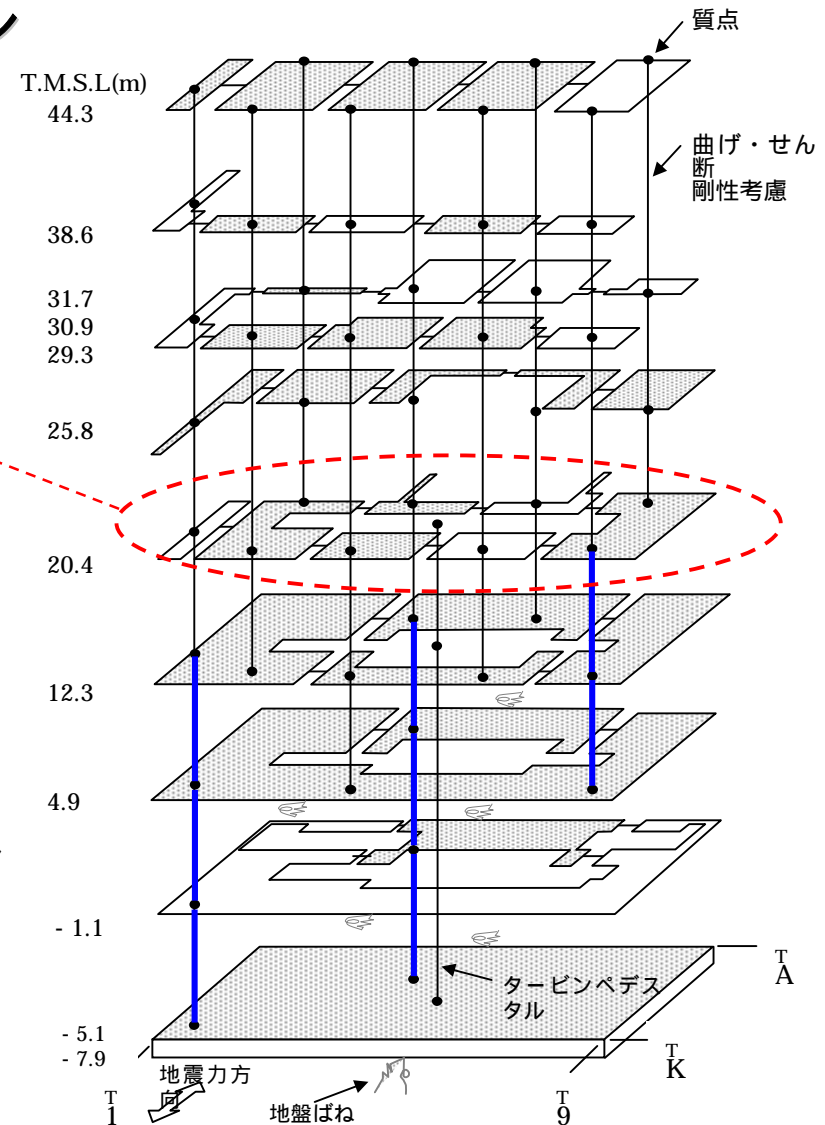
7号機 影響評価の対象設備

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

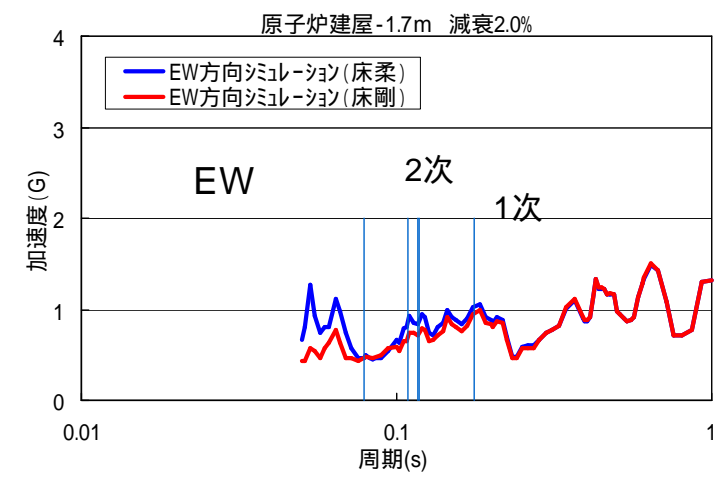
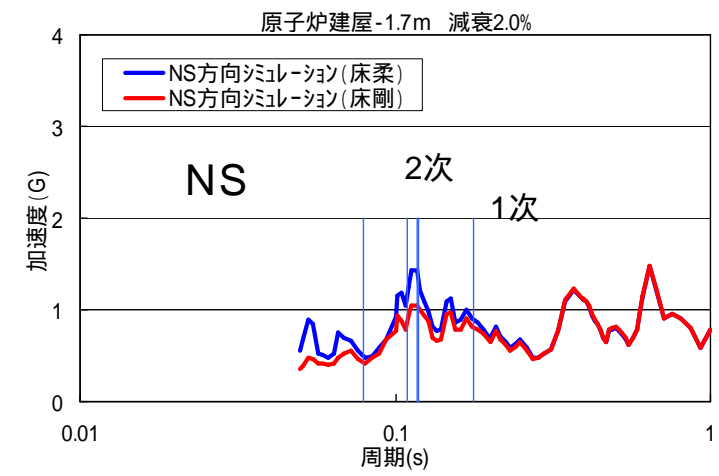
- 制御棒駆動系配管支持構造物（架構算出値:219 MPa , 評価基準値:235 MPa）
（床柔のみ考慮）

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	0.90	1.03
2	0.118	0.023	0.023	0.008	1.03	0.74	1.36	0.87
3	0.117	0.015	0.010	0.018	1.05	0.72	1.43	0.83
4	0.109	0.023	0.029	0.000	0.86	0.70	1.15	0.87
5	0.079	0.003	0.001	0.049	0.43	0.47	0.49	0.47

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(青)の差異は33% (=1.36/1.03)

● 床応答スペクトル（床柔）による配管支持構造物（架構）の評価
 $39（地震による） \times 1.33 + 180（地震以外） = 232\text{MPa}$ 評価基準値を満足

地震による応力, 地震以外による応力は単独でそれぞれ39MPa, 186MPaとなるが, 合成された応力は219MPaで絶対値和とならない。ここでは保守的に地震による応力は39MPa, 地震以外の応力を180MPaとして絶対値和する。



緑：建屋応答解析（床柔）
 赤：建屋応答解析（床剛）

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）

（床柔，観測記録との相違を考慮）

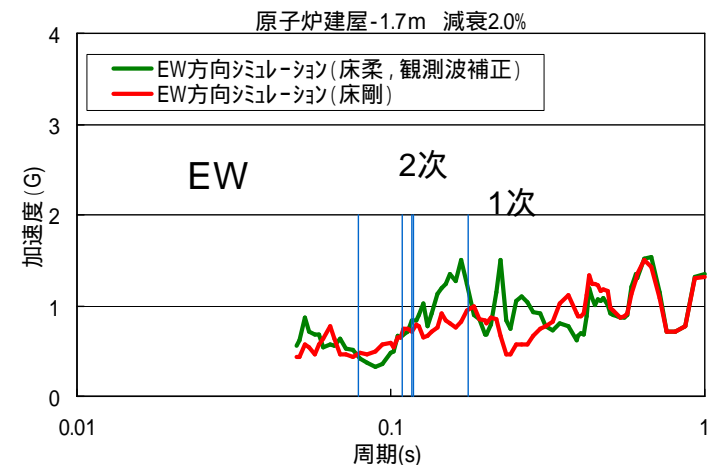
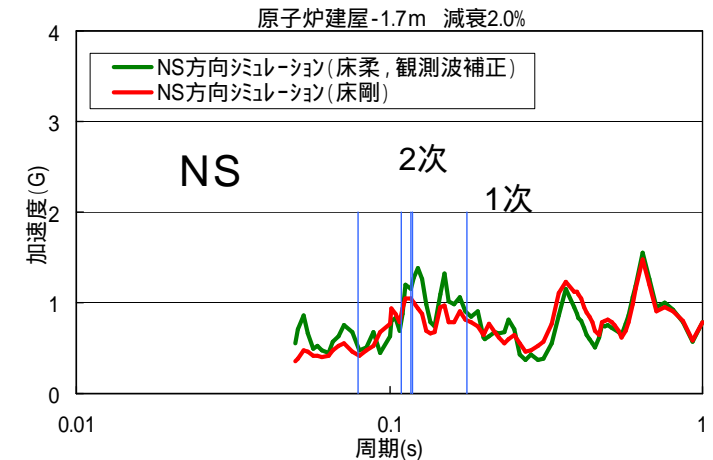
固有周期		刺激係数			加速度（床剛）		加速度（床柔，観測記録補正）	
		NS	EW	UD	NS	EW	NS	EW
1	0.177	0.051	0.001	0.003	0.81	0.95	0.89	1.16
2	0.118	0.023	0.023	0.008	1.03	0.74	1.20	0.83
3	0.117	0.015	0.010	0.018	1.05	0.72	1.16	0.83
4	0.109	0.023	0.029	0.000	0.86	0.70	0.79	0.67
5	0.079	0.003	0.001	0.049	0.43	0.47	0.52	0.45

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&観測記録補正(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

$$39（地震による） \times 1.17 + 180（地震以外） = 226 \text{ MPa}$$

評価基準値：235 MPa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）

（床柔のみ考慮）

固有周期	刺激係数	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	0.61
2	0.141	0.050	0.659	0.072	0.60	0.60	0.71	0.60
3	0.112	0.174	0.025	0.089	1.12	0.81	1.40	0.95
4	0.112	0.145	0.241	0.143	1.12	0.81	1.40	0.95
5	0.101	0.102	0.030	0.135	1.38	0.74	1.65	0.95

代表的振動モード
は1～3次

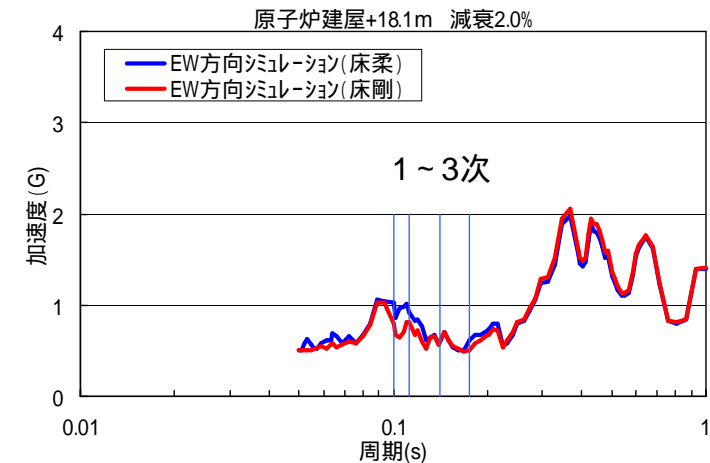
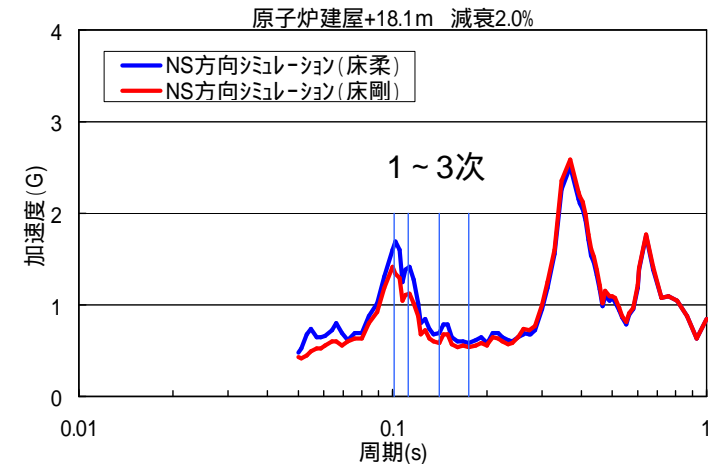


1～3次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔(青)の差異は25% (=1.40/1.12)

- 床応答スペクトル（床柔）による配管支持構造物（架構）の評価

$$0.22（地震による） \times 1.25 + 0.38（地震以外） = 0.7$$

評価基準値：1.0 を満足



緑：建屋応答解析（床柔）

赤：建屋応答解析（床剛）

1

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）

（床柔，観測記録との相違を考慮）

固有周期	刺激係数	刺激係数			加速度（床剛）		加速度（床柔，観測記録補正）	
		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

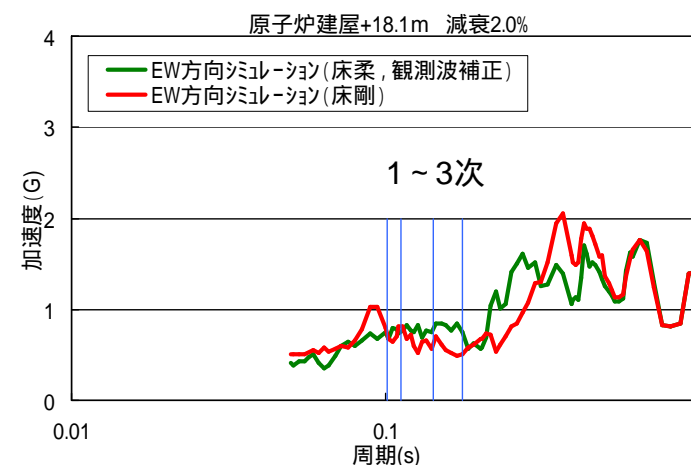
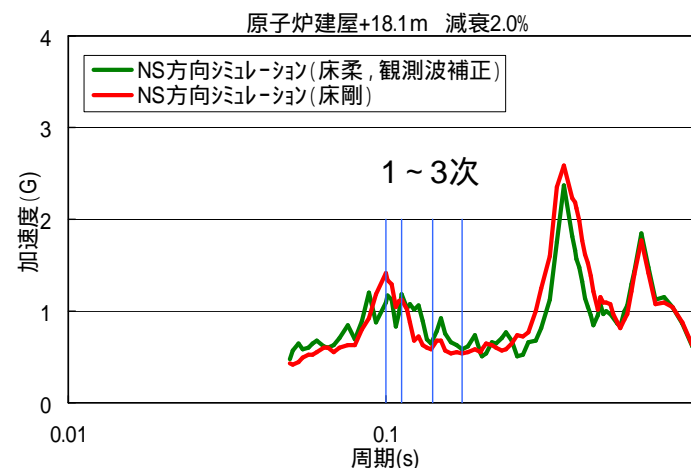


1～3次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔&観測記録補正(緑)の差異は48% (=0.74/0.50)

- 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）

（床柔のみ考慮）

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	0.64	0.69	1.15
2	0.167	0.166	0.035	0.256	0.62	0.64	1.53	0.66	0.66	1.70
3	0.157	0.122	0.041	0.05	0.65	0.66	1.28	0.70	0.70	1.46
4	0.154	0.31	0	0.4	0.69	0.69	1.19	0.80	0.71	1.15
5	0.123	0.101	0.113	0.13	0.91	0.80	1.38	0.94	0.96	1.39

代表的振動モード
は1次

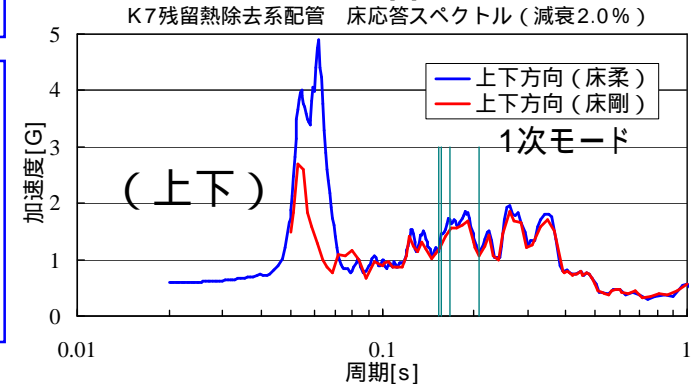
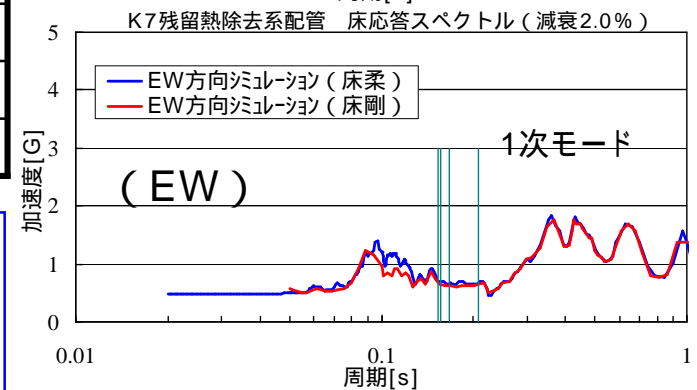
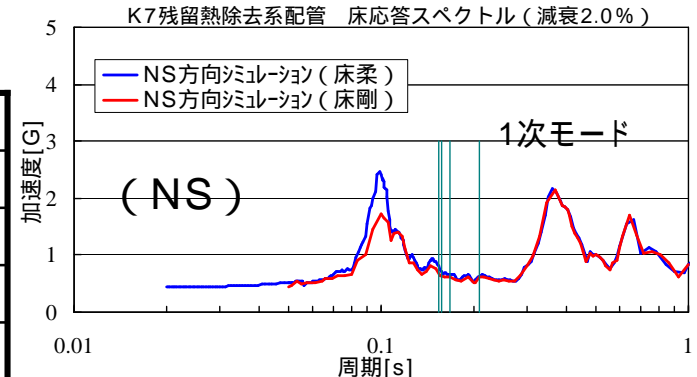


1次における床応答スペクトルの床剛(赤)と床柔(青)の差異は8% (=1.15/1.07)

- 床応答スペクトル（床柔）による配管支持構造物（メカスナ）の評価

$$87 \times 1.08 = 94 \text{ kN}$$

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

■ 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）

（床柔，観測記録との相違を考慮）

固有周期		刺激係数			加速度（床剛）			加速度（床柔，観測記録補正）		
		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

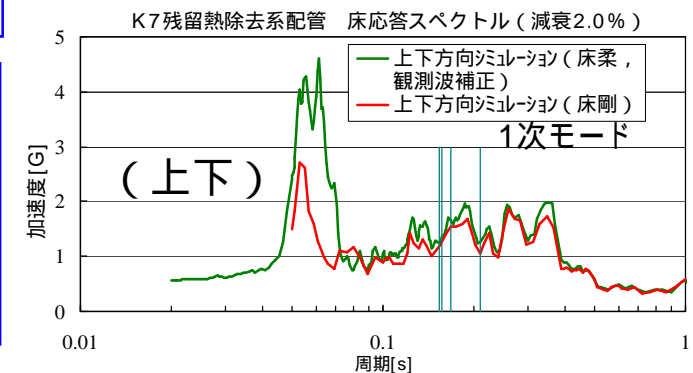
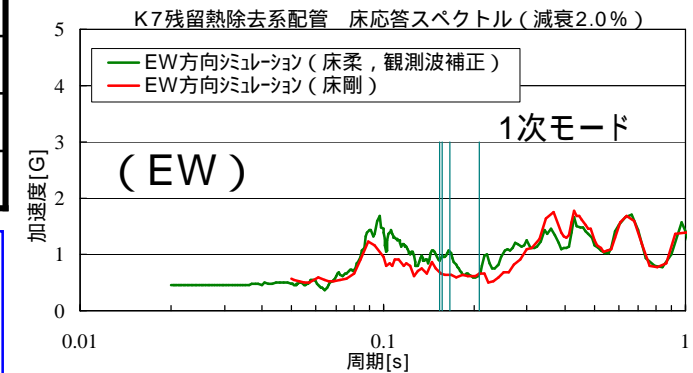
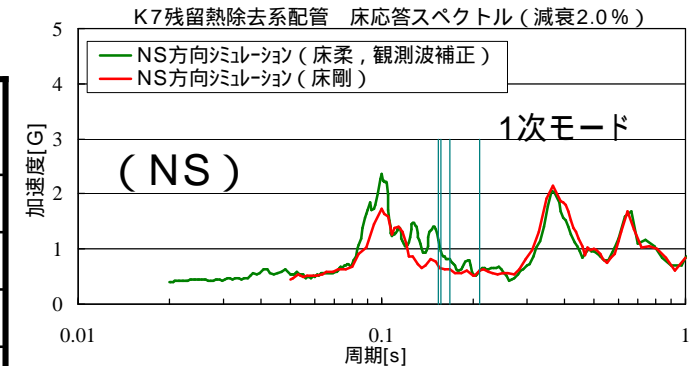


1次における床応答スペクトルの
床剛(赤)と床柔&観測記録補正(緑)
の差異は17% (=1.25/1.07)

- 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

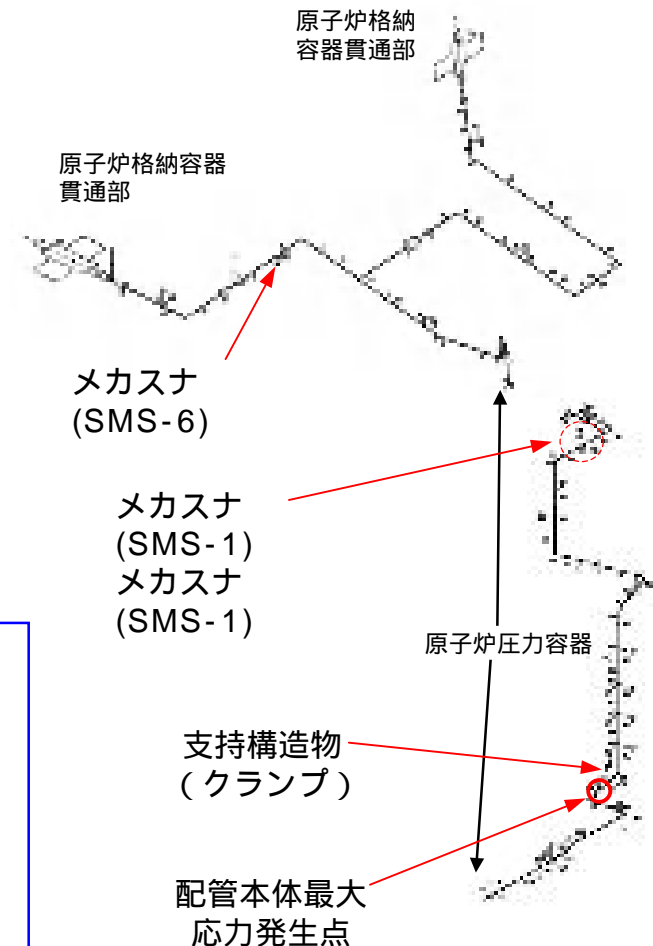
■ その他配管支持構造物の評価

- ✓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)	77MPa	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

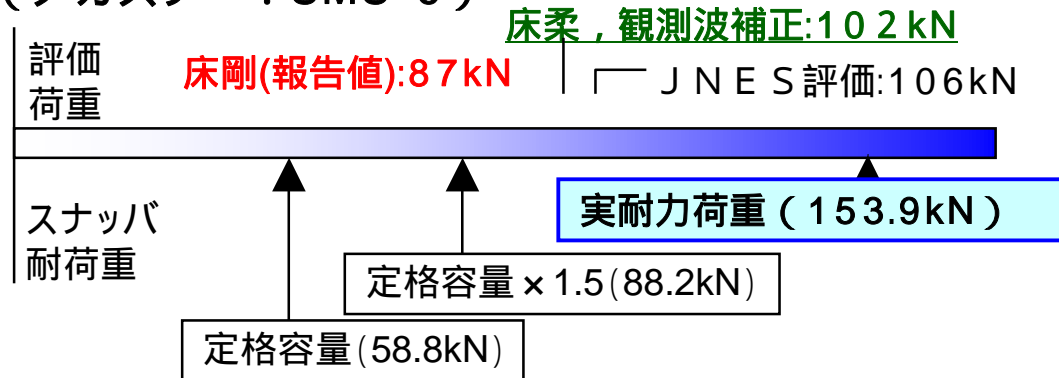


残留熱除去系メカニカルスナッパ評価結果への対応

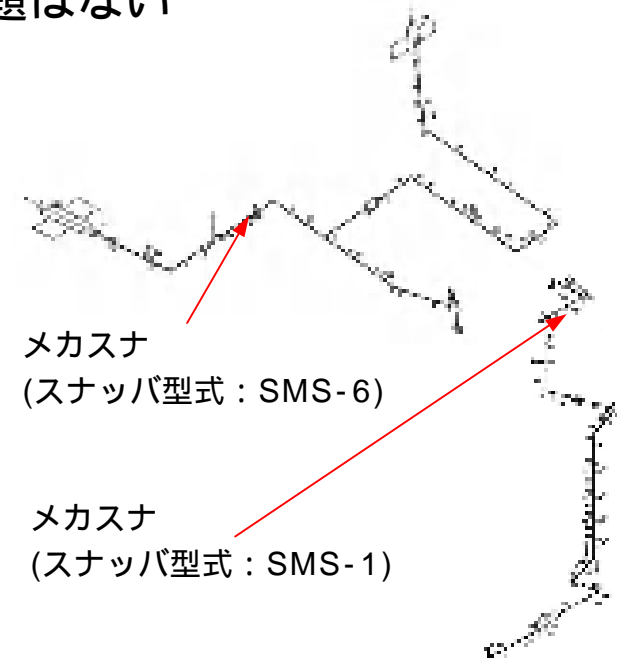
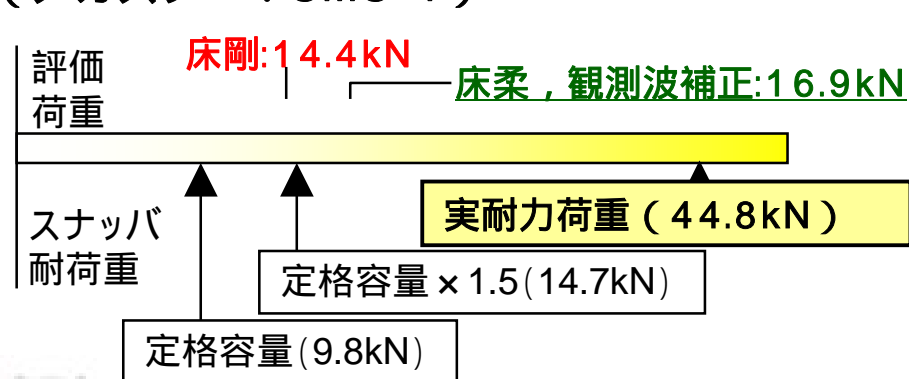
■ メカニカルスナッパの実耐力について

- ✓ 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）



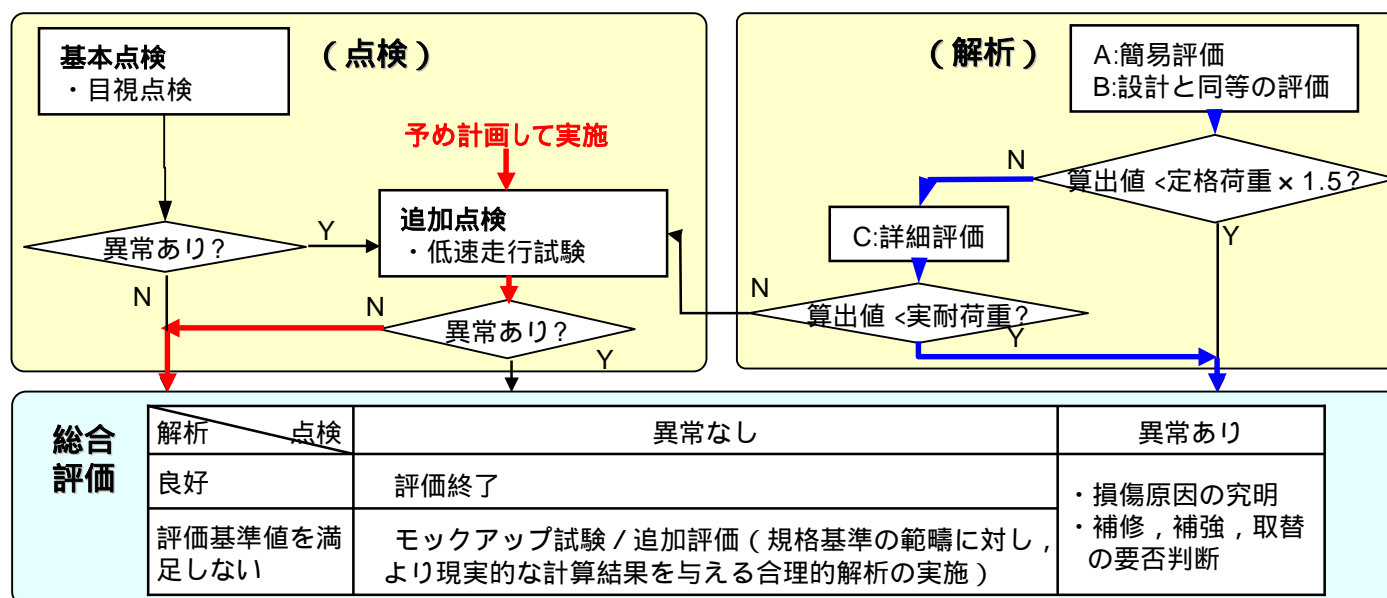
スナッパの実耐荷重

（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）

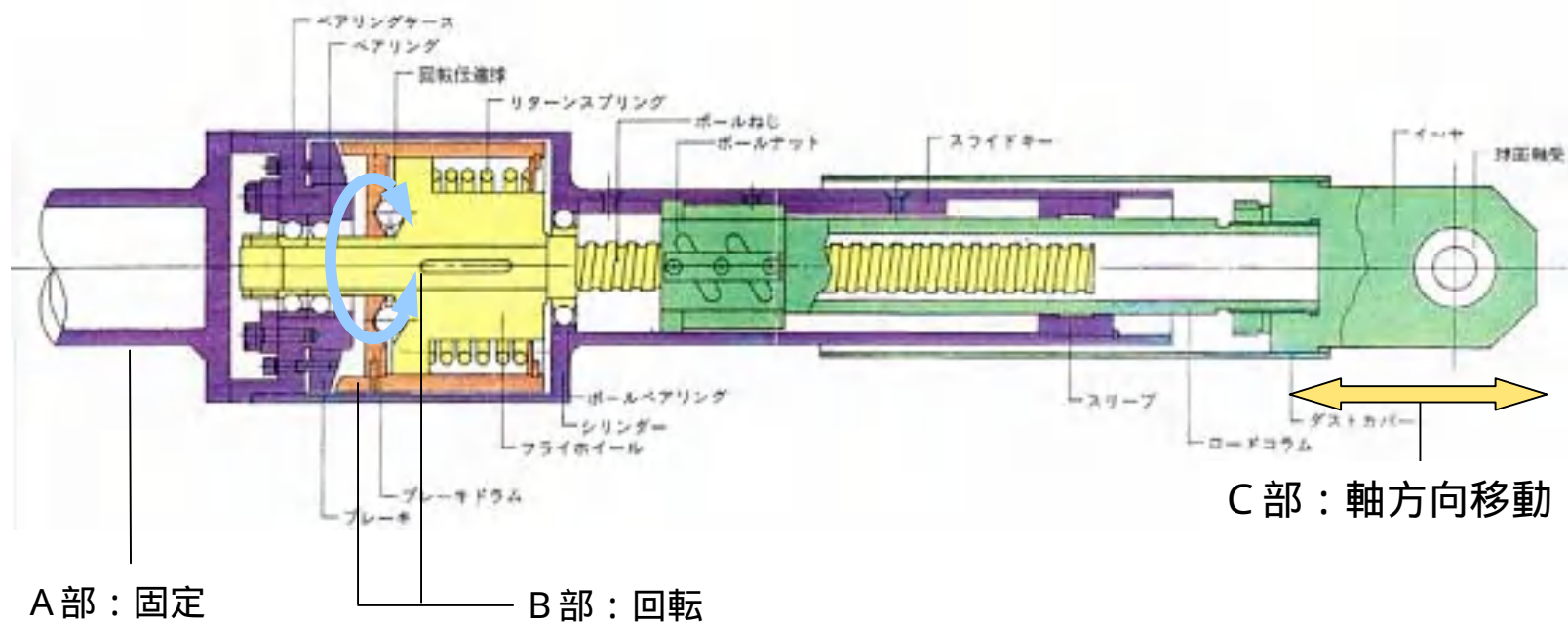
Investigation on Ultimate Strength Evaluation of Snubber in Piping System of Japanese NPP, Eiichi Yamazaki&Nobuyuki Kojima, SMiRT19, 2007年8月より

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

配管支持装置（メカニカルスナップ）の評価基準値について

1. はじめに

原子力発電施設が建設されはじめた当初は，配管系の防振装置として油圧防振器（オイルスナップ）が多用されてきた。その後，機械式防振器（メカニカルスナップ）が開発された。メカニカルスナップは，オイルスナップに比べてメンテナンス性が高く，防火対策上の利点があることなどから，現在では，配管の防振器として主流をなしているものである。

1.1 メカニカルスナップの機能

メカニカルスナップは，地震によって生じる振動等に対して拘束するとともに，熱膨張などによって生じる低速度移動に対しては拘束せず自由に伸縮する機能を有する支持装置である。図 1 にメカニカルスナップ構造図を示す。

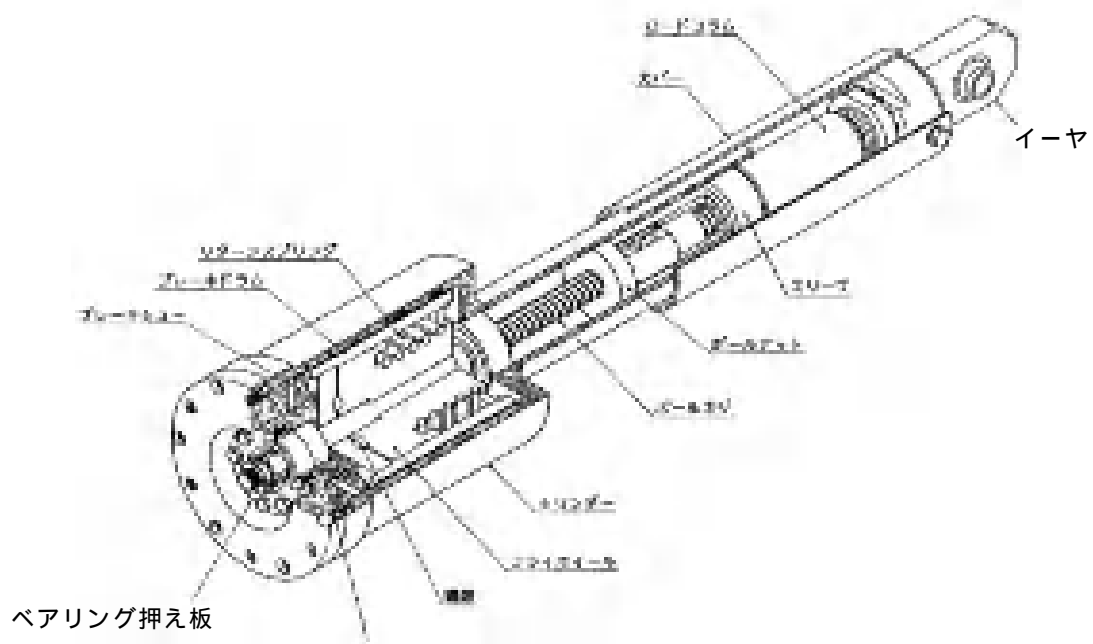


図 1 メカニカルスナップ構造図

1.2 既往の研究

a．メカニカルスナップの実用化の検討

メカニカルスナップが開発されたころ，原子力発電施設への実用化の可否を判断するために，各電力会社と各プラントメーカーの共同研究で，メカニカルスナップの試験が行われた（「メカニカルスナップの実証に関する研究 昭和 55～56 年度」）。そのなかの一環として，メカニカルスナップの負荷振動試験が行われた。

メカニカルスナップには，その製造メーカーが定める定格容量（荷重値）が存在する。スナップ製造メーカーは，定格容量の 1.5 倍までの配管反力であれば，メカニカルスナップの性能を保証している。この当時の共同研究における負荷振動試験では，この 1.5 × 定格容量の負荷による振動試験を行い，スナップ製造メーカーの性能保証の妥当性を確認した。

b．耐震設計の高度化に伴う検討

前述したメカニカルスナップの実用化の研究では，スナップ製造メーカーの性能保証値の確認にとどまっていた。その後においても，各電力会社と各プラントメーカーは，メカニカルスナップの知見拡充を図っていた（「耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase2) 平成 12 年」）。その知見拡充の研究では，スナップ製造メーカーの保証値である 1.5 × 定格容量を超える範囲の負荷による負荷振動試験を行い，配管反力に対するメカニカルスナップの設計上の適用範囲の明確化を図った。本評価では，この知見拡充の研究による成果を評価基準値とした。

知見拡充の研究では，メカニカルスナップの適用範囲について，1) 試験によりその機能が維持される負荷荷重の確認，2) 各部材の構造強度評価に基づく許容荷重の確認，の 2 つの手法を用いて確認を実施して

いる。

前者の試験による確認は、定格容量を超える荷重を段階的に負荷し、その機能が維持される荷重を確認するものであり、後者は規格等に準拠した構造評価を行い許容される荷重を算出するものである。

1.3 設備健全性評価における評価基準値

7号機の残留熱除去系配管の支持装置については、前述の知見拡充の研究のうち、試験により機能維持が確認された負荷荷重が得られていたため、その値を評価基準値として適用した。表1に、関連する評価基準値を示す。

表1. メカニカルスナップ(SMS-6; 定格荷重6t)の評価基準値と新潟県中越沖地震による評価荷重

新潟県中越沖地震による評価荷重 [kN]	スナップメーカー保証値[kN]	知見拡充による評価基準値[kN]	
		試験による評価基準値	構造強度評価に基づく評価基準値
102 ¹	88 (1.5×定格容量)	153.9 ²	170.6

1: 原子炉建屋応答解析と観測記録の相違並びに原子炉建屋の床柔軟性を考慮して算出した値(これらを考慮しない場合は既報告値の87kN)

2: メカニカルスナップ損傷時の荷重ではなく、安定動作が確認された荷重

配管支持装置としてのメカニカルスナップの構造強度評価基準値については、ここまで述べてきたとおり、下記の3種類が存在する。

スナップメーカーによる保証値

試験による評価基準値

スナップ構成部品の構造強度評価に基づく評価基準値

および は、ともに試験に基づく許容基準値である。メカニカルスナップの実用化の研究では、 の妥当性を確認した。メカニカルスナップの知見拡充の研究では、 の妥当性を確認した試験方法と同様の試験方法を用いて、 を超える条件でも、スナップ製造メーカーが保証する範囲と同等の性能でメカニカルスナップを使用できることが確認された。また、 については、規格等に基づく構造強度評価から、メカニカルスナップの評価基準値を設定した。

設備健全性評価においては、これらのどの評価基準値を用いることもできると考えている。

2. メカニカルスナップの機能確認試験と構造強度評価について

2.1 機能確認試験

試験のフローを図 2 に示す。試験は、加振試験と低速走行試験を一連として実施し、設定した変位量（負荷容量）での加振試験を実施したのち、低速走行試験を実施し、健全性が確認されていることを確認する。加振試験での負荷容量を段階的に増加させることにより、機能維持が保たれている負荷容量を確認している。

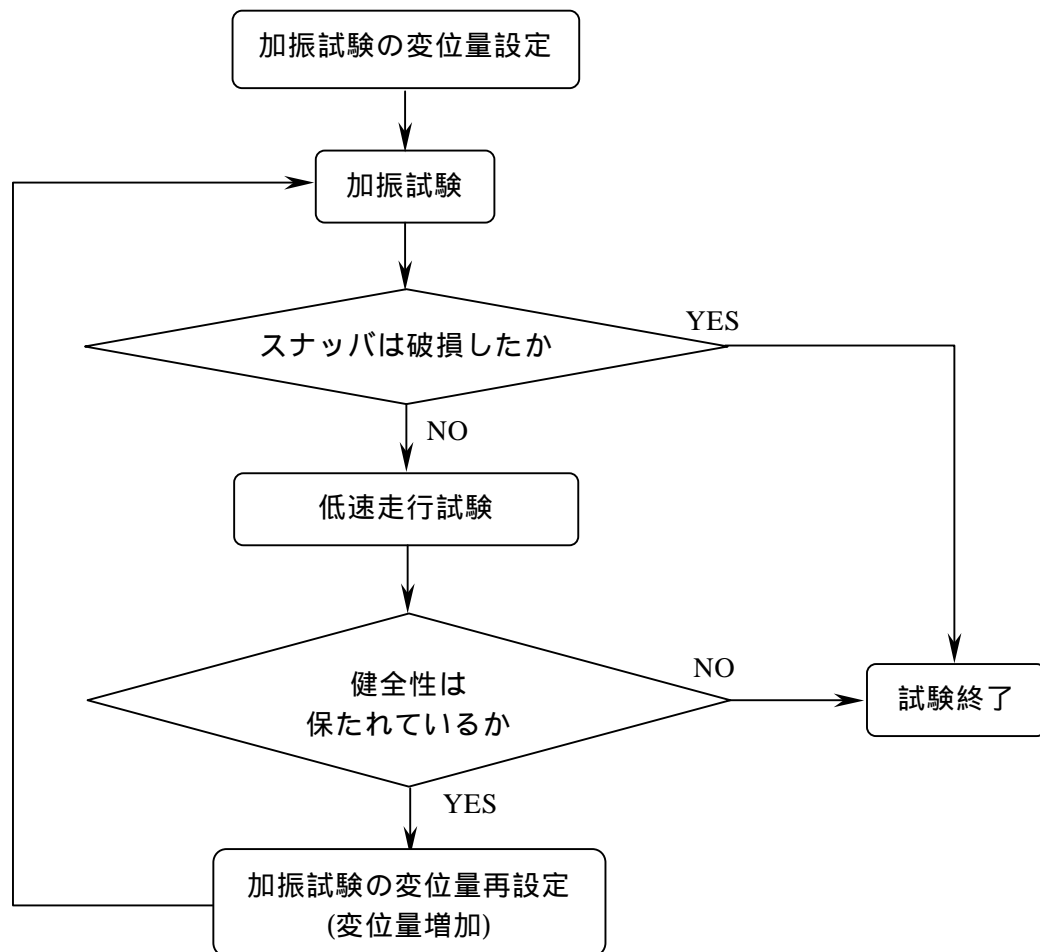


図 2 . 試験フロー

なお、メカニカルスナップのこれらの機能は、通常以下の試験により確認を行っている。

加振試験

メカニカルスナップに繰り返し荷重（振動荷重）を負荷し、振動に対して拘束していることを確認。

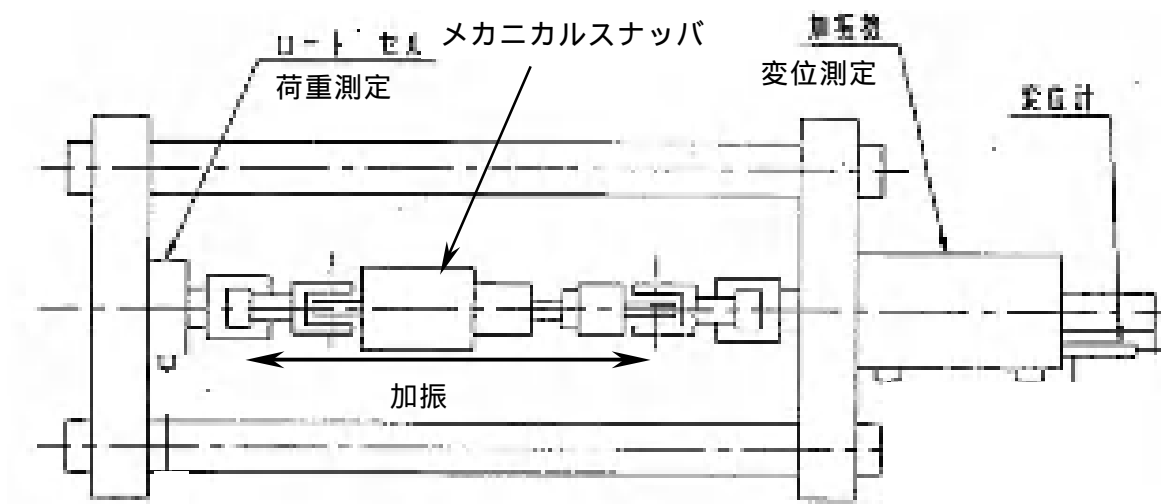


図3．加振試験装置概要

低速速走行試験

低速での引張り・圧縮試験により抵抗力を測定し、健全性が保たれていることを確認。

2.2 各部材の構造強度評価

メカニカルスナップが機能維持されるためには、各部品の構造健全性が維持されることが必要である。この観点から、負荷される荷重に対して各部品の荷重伝達及び損傷形態を想定したうえで規格等に準拠した構造強度評価に基づく許容荷重を評価する。各部品毎の許容荷重のうち、最も小さい荷重を、メカニカルスナップの許容荷重として採用する。

メカニカルスナップ部品の評価法について、ベアリング押え板を例として以下に示す。ベアリング押え板及びボルト部拡大図を図4に示す。

当該部品の耐力算出式は下記のように与えられる。

$$F = \frac{0.7Su}{\beta} \times h^2 \times 0.9$$

- F : ベアリング押え板の許容荷重
- h : ベアリング押え板の厚さ
- β : 応力係数 (機械工学便覧に基づく)
- Su : 引張強さ

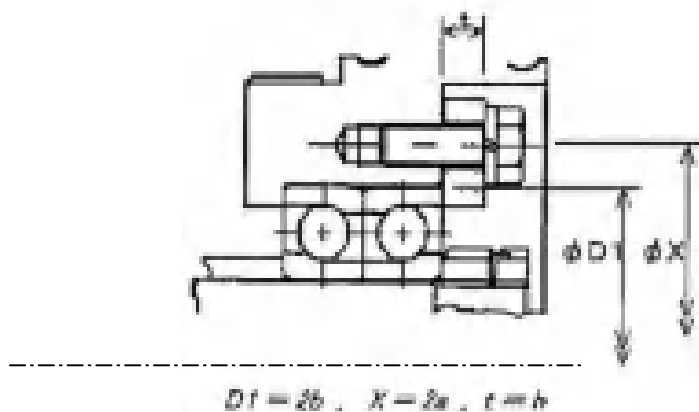


図4. ベアリング押え板及びボルト部拡大図

同様の評価を各部品に対してそれぞれ実施し、全部品のうち最小値を評価基準値とするものである。メカニカルスナッパ型式「SMS-6（定格容量6t）」の評価例を表2.に示す。

表2. メカニカルスナッパ各部品の構造強度評価

部品	評価	構造強度評価に基づく 許容荷重 [kN]		
		...	SMS-6	...
イーヤ	引張			
ロードコラム	引張		× × ×	
ベアリングケース	せん断			
ベアリング押え板	曲げ		170.6 (最小値)	
六角ボルト	引張			
ベアリングナット	せん断			
球面軸受	-			
座屈				
最小値 (許容荷重)		...	170.6	...