

島根原子力発電所第2号機 審査資料

資料番号

NS2-他-067改07

提出年月日

2022年8月17日

島根原子力発電所第2号機

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

2022年8月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について、第1018回審査会合（2021年12月7日）にて示した主な説明事項を含め、審査の中で論点として整理された項目について説明する。また、第1018回審査会合（2021年12月7日）での主な説明事項No.1-5に関する指摘事項に対する回答について説明する。
- 本日説明する**機器・配管**関係の主な説明事項は以下のとおり。

【建物・構築物関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	別途説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定 （【指摘事項に対する回答】を含む）	別途説明
	1-8	設計地下水位の設定	別途説明
	1-9	防波壁（逆T擁壁の改良地盤の解析用物性値）	別途説明

【機器・配管関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-6	機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）	P.2～26
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	P.27～81

- なお、今後の審査にて論点として抽出されたものについても審査会合にて説明する。

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用 (三軸粘性ダンパ)

【詳細設計申送り事項に対する回答】

設置変更許可審査時において、「機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）」に関して以下の詳細設計へ申送りした事項（詳細設計申送り事項）があったことから、詳細設計申送り事項に対する回答について説明する。

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	<ul style="list-style-type: none"> 制震装置と対象設備の地震時の構造成立性については、設置許可段階にて示す地震応答解析手法による耐震評価結果を詳細設計段階で示す。 (第796回審査会合（2019年11月12日）における当社の回答内容) 	B	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパを設置した配管について地震応答解析を行った。配管については発生応力が許容応力以下となることを確認した。三軸粘性ダンパについては荷重等の応答値が許容値以下となることを確認した。 単軸粘性ダンパについては、別途説明する。 	P.10~12
2	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法について、非対角成分が存在するモード空間での運動方程式に対して時間積分を行う方法の詳細と手法の妥当性を詳細設計段階で説明すること。 (第876回審査会合（2020年7月14日）) 	B	<ul style="list-style-type: none"> 配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合、三軸粘性ダンパによって付与される減衰が大きく、モード座標における減衰マトリクスが対角化できないため、モード座標で連成した運動方程式により時刻歴応答解析を行う。なお、本手法は、MSC.Nastranに標準実装されている手法である。 一般的に用いられるモーダル時刻歴解析との違いは、減衰マトリクスが非対角項を持つか否かのみであり、妥当な手法であると考える。 	P.8,9

1. はじめに

- 大きな地震力が作用する機器・配管系に対して、耐震構造による補強が困難な場合、制震装置の設置により地震応答を低減することは有効な耐震補強手法のひとつである。
- 島根2号機における主蒸気系配管は、今回工認で考慮する鉛直方向の動的地震力等の影響により、耐震構造による補強が困難であることから、制震装置（三軸粘性ダンパ）を設置する。
- 三軸粘性ダンパの設置範囲及び耐震クラスを図1に示す。三軸粘性ダンパは外側主蒸気隔離弁から低圧タービン、復水器までの主蒸気系配管に設置する。また、外側主蒸気隔離弁以降の主蒸気系配管の耐震クラスはBクラスであり、外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの範囲はS d 機能維持設計（別紙1参照）とする。

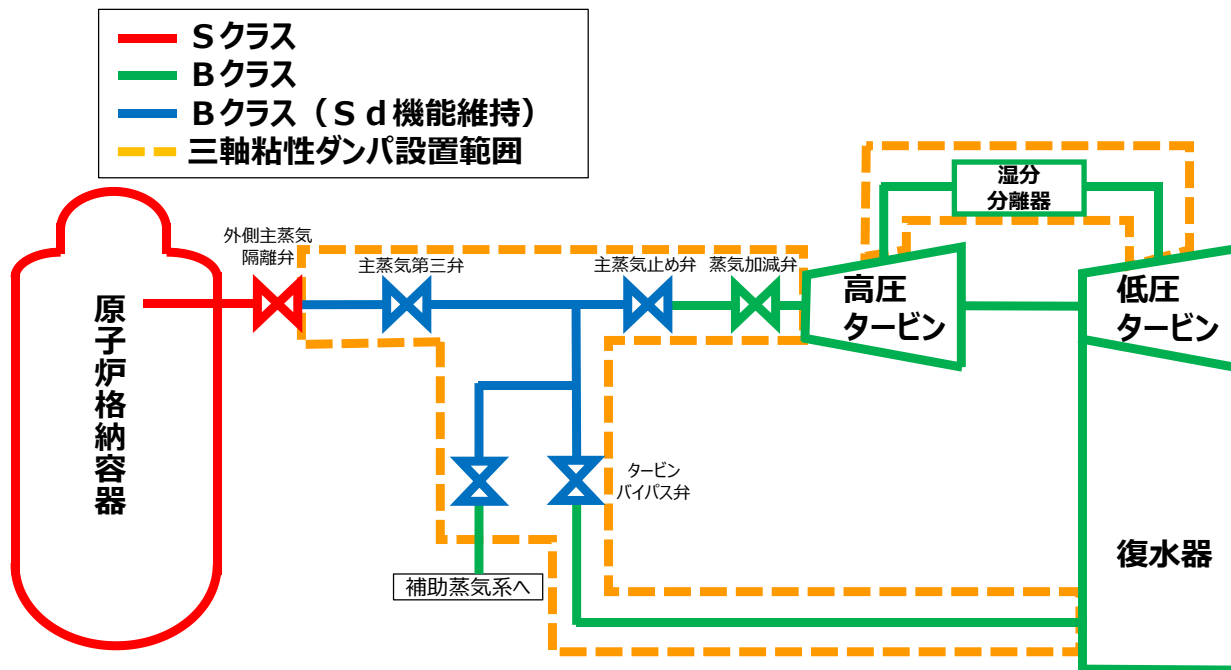


図1 三軸粘性ダンパの設置範囲及び耐震クラス

2.基本方針

2.1 三軸粘性ダンパの構造

- 三軸粘性ダンパは、主にピストン、ハウジング及び粘性体から構成されており、粘性体への異物等の混入防止のために保護スリーブが取り付けられている。三軸粘性ダンパの仕様を表1に、三軸粘性ダンパの外観および構造を図2に示す。

表1 三軸粘性ダンパの仕様

型式	外径 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)		許容変位 (mm)	
				水平	鉛直	水平	鉛直
型式325/159	325	343	111	68	27		
型式630/426	630	586	691	350	140		

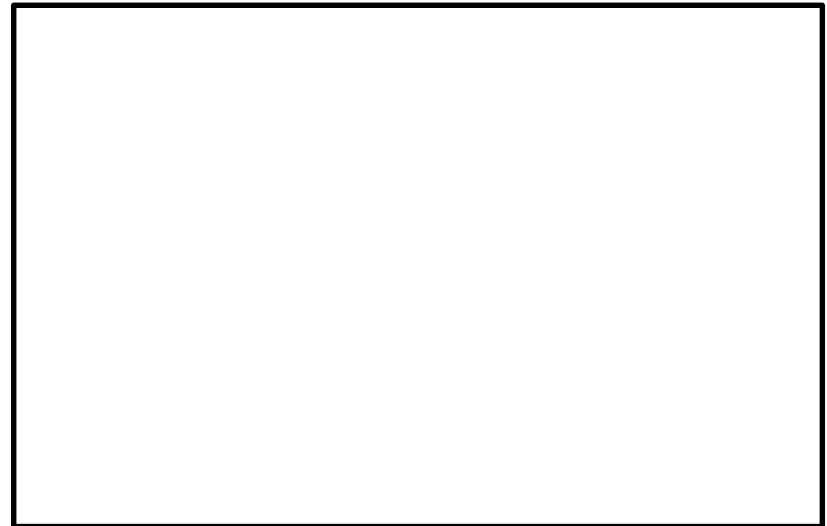
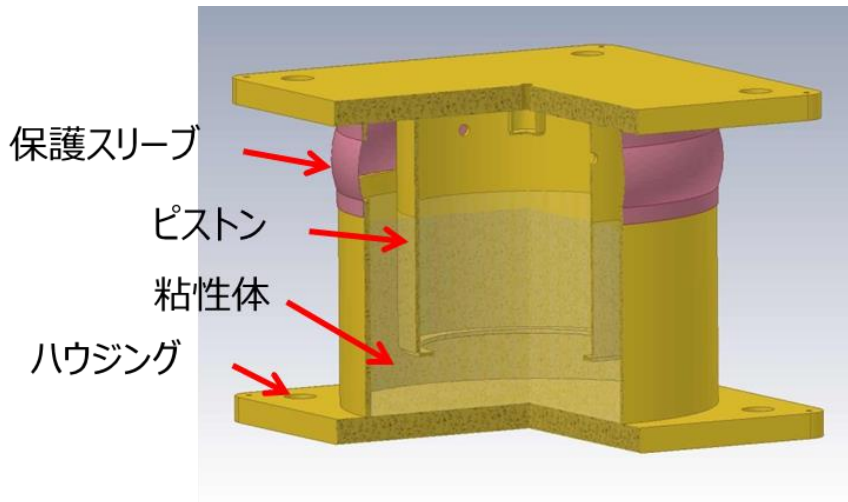


図2 三軸粘性ダンパの外観及び構造

2.2 三軸粘性ダンパの動作原理

- 三軸粘性ダンパの動作機構を図3に示す。三軸粘性ダンパは、粘性体とピストンの間に相対運動が生じることで、相対運動の方向と逆向きに流動抵抗力による減衰性能を発揮する。
- 回転対称構造であることから、水平方向については減衰性能の違いはないが、鉛直方向については動作機構が異なるため、水平方向と鉛直方向では減衰性能が異なる。
- 三軸粘性ダンパは自重等の静的荷重は支持せず、熱膨張のような低速度の運動を拘束しない。

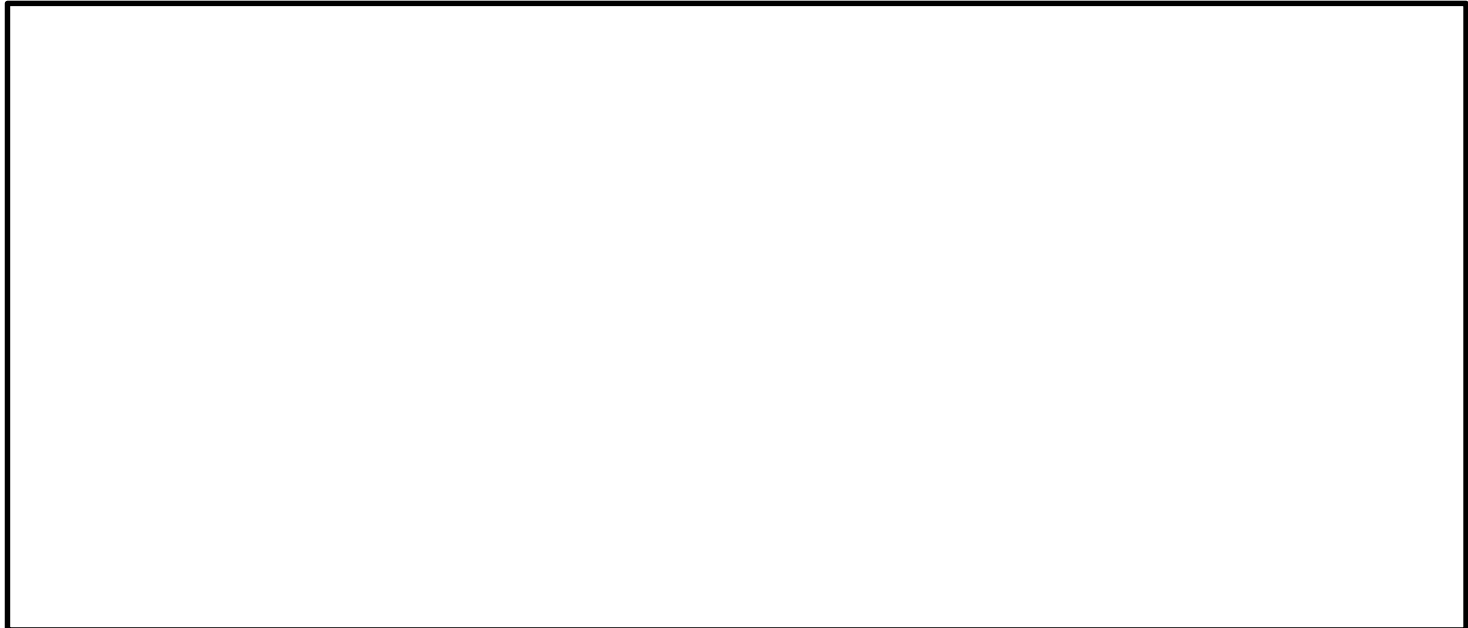


図3 三軸粘性ダンパの動作機構

2.3 設計方針

➤ 耐震設計フローを図4に示す。三軸粘性ダンパの設置に伴い追加または変更した設計プロセスについて以降で説明する。

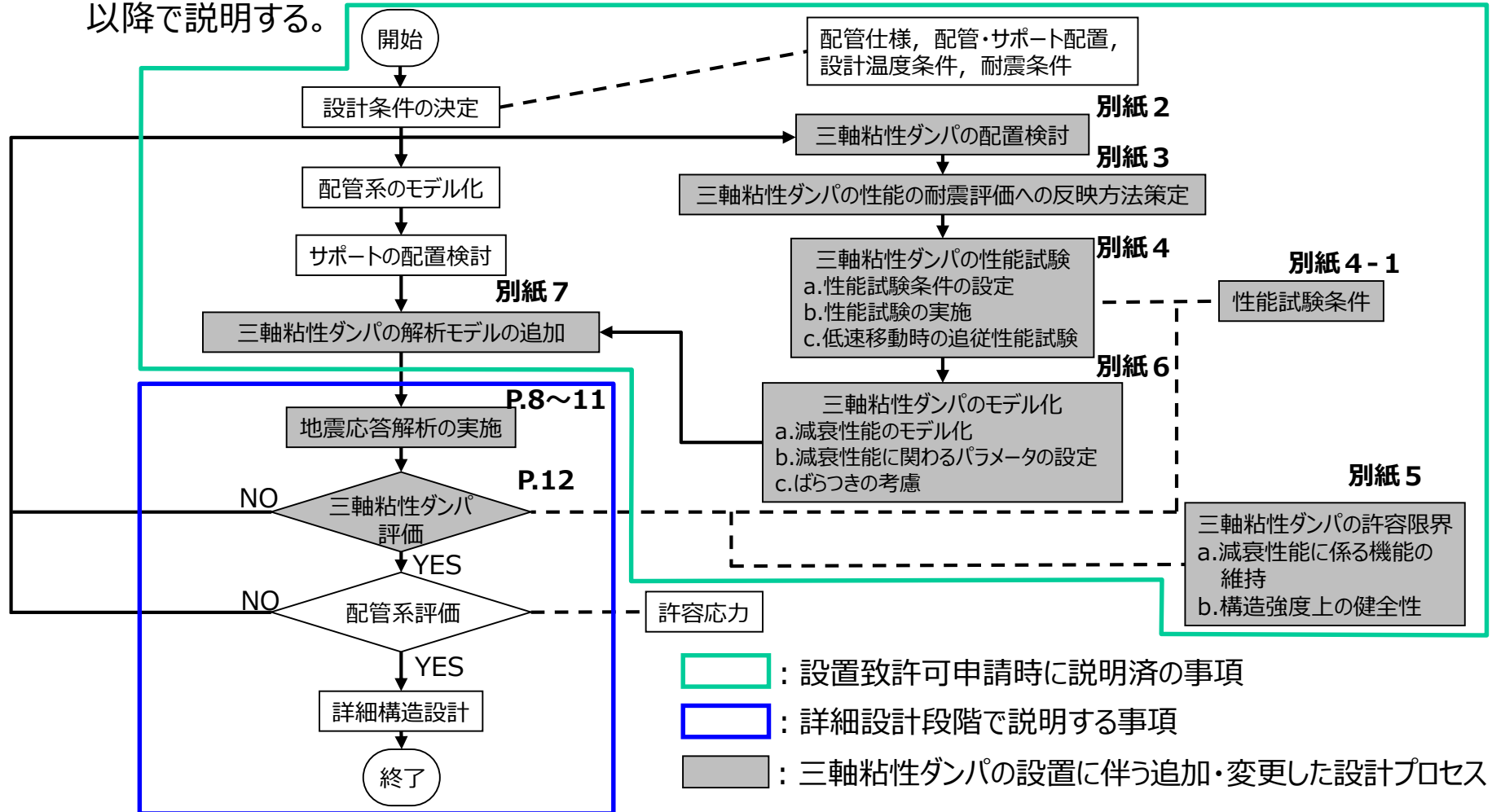


図4 三軸粘性ダンパを設置する配管系の耐震設計フロー

3. 地震応答解析手法（空間座標）

- 三軸粘性ダンパを設置した配管系の**応答**は地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式により求める。
- 三軸粘性ダンパを設置した配管系全体の減衰マトリクス $[C]$ は、各モードに一律付与する配管系の設計用減衰定数に対応した減衰マトリクス $[C_p]$ 及び三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリクス $[C_D]$ の和として設定する。

【空間座標における運動方程式】

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{I\}\ddot{y}$$

$[M]$, $[K]$: 配管系の質量, 剛性マトリクス

$\{\ddot{x}\}$, $\{\dot{x}\}$, $\{x\}$: **空間座標における**配管系の加速度, 速度, 変位ベクトル

$\{I\}$: 単位ベクトル

\ddot{y} : **入力加速度**

$[C]$: **三軸粘性ダンパを設置した配管系全体の減衰マトリクス**

但し, $[C] = [C_p] + [C_D]$

$[C_p]$: 各モードに一律付与する配管系の設計用減衰定数に対応した減衰マトリクス

$[C_D]$: 三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリクス

3. 地震応答解析手法（モード座標）

- $[C_p]$ は減衰が小さいためモード座標で対角化することができる（近似）。一方、 $[C_D]$ は三軸粘性ダンパによって付与される減衰が大きいため、対角化できない。そのため、配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合、モード座標で連成した運動方程式により時刻歴応答解析を行う。
- 一般的に用いられるモーダル時刻歴解析との違いは、減衰マトリクスが非対角項を持つか否かのみであり、妥当な手法であると考え。解析には、本手法が標準実装されているMSC.Nastranを用いる。

【モード座標における運動方程式】

$$[\Lambda]^T [M] [\Lambda] \{\ddot{q}\} + [\Lambda]^T [C] [\Lambda] \{\dot{q}\} + [\Lambda]^T [K] [\Lambda] \{q\} = -[\Lambda]^T [M] \{I\} \ddot{y}$$

$[\Lambda]$: モードマトリクス
 $\{\ddot{q}\}, \{\dot{q}\}, \{q\}$: モード座標における配管系の加速度, 速度, 変位ベクトル

モード座標における三軸粘性ダンパを設置した配管系全体の減衰マトリクス

$$[\Lambda]^T [C] [\Lambda] = \underline{[\Lambda]^T [C_D] [\Lambda]} + \underline{[\Lambda]^T [C_p] [\Lambda]}$$

モード座標における三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリクス

モード座標における各モードに一律付与する配管系の設計用減衰定数に対応した減衰マトリクス

三軸粘性ダンパによって付与される減衰が大きいため、対角化できない。（三軸粘性ダンパのモデル化については別紙6及び7を参照）

一般的な配管系と同様の減衰マトリクスであり、右式のように近似することができる。

$$\frac{[\Lambda]^T [C_p] [\Lambda]}{[\Lambda]^T [M] [\Lambda]} \cong \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & 2\zeta_i \omega_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix}$$

ζ_i : i次のモード減衰比
 ω_i : i次の固有角振動数

4. 入力地震動

- Bクラス（S d 機能維持）の配管の地震応答解析に用いる入力地震動は、弾性設計用地震動 S d - 1, S d - D, S d - F 1, S d - F 2, S d - N 1, S d - N 2とする。
- Bクラス（S d 機能維持）の配管は、原子炉建物、タービン建物及び蒸気タービンの基礎に設置する配管であり、適用する入力地震動の時刻歴応答波（S d - 1）を表2に示す。

表2 入力地震動の時刻歴応答波（S d - 1）

	原子炉建物 <input type="text"/>	タービン建物 <input type="text"/>	蒸気タービンの基礎 <input type="text"/>
N S	<p>Sd1 NS_RB_3 5.928 -5.821</p>	<p>Sd1 NS_TB_25 6.639 -5.792</p>	<p>Sd1 NS_TG_32 9.954 -9.389</p>
E W	<p>Sd1 EW_RB_8 6.297 -6.395</p>	<p>Sd1 EW_TB_16 7.867 -8.217</p>	<p>Sd1 EW_TG_23 11.628 -11.042</p>
U D	<p>Sd1 UD_RB_12 3.927 -3.605</p>	<p>Sd1 UD_TB_3 3.551 -3.268</p>	<p>Sd1 UD_TG_6 3.718 -3.655</p>

5. 地震応答解析モデル

- Bクラス（S d 機能維持）配管の地震応答解析モデルを図5に示す。
- Bクラス（S d 機能維持）配管には37個の三軸粘性ダンパを設置する。

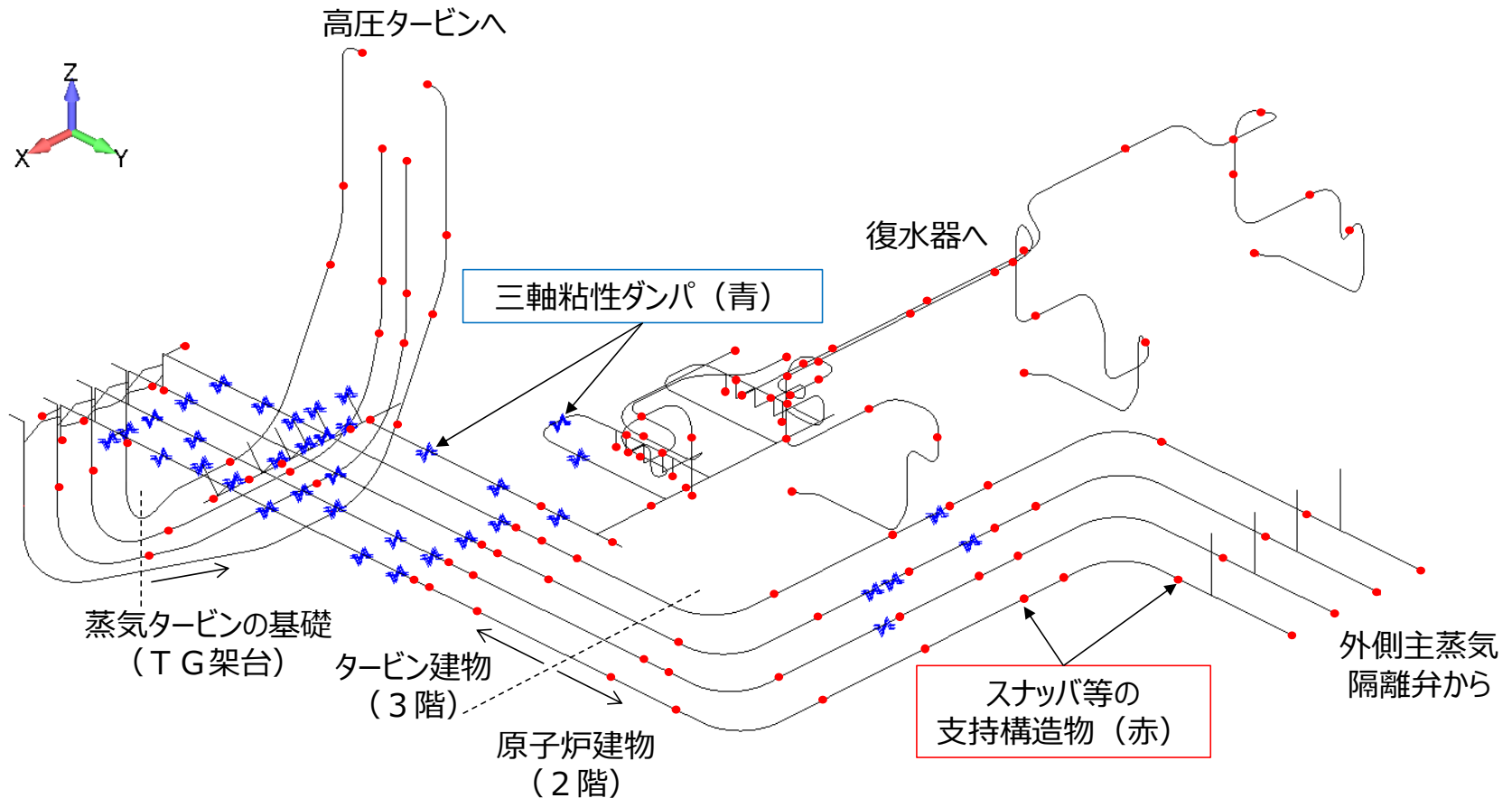


図5 Bクラス（S d 機能維持）配管の地震応答解析モデル

6. 地震応答解析結果

- 三軸粘性ダンパを設置したBクラス（S d機能維持）配管の地震応答解析結果を以下に示す。
 - ・ 配管：発生応力が許容応力以下となることを確認した。
 - ・ 三軸粘性ダンパ
 - 構造強度評価：発生荷重が許容荷重以下となることを確認した。
 - 機能維持評価：地震変位振幅及び累積消費エネルギーが許容値以下となることを確認した。
（許容値は、性能試験条件に基づき設定。別紙4-1参照）

表3 Bクラス（S d機能維持）配管の応力評価結果*

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積 係数
IVAS	一次応力 ($0.9 \cdot S_u$)	MS-T-1	264	108	377	—
	一次+二次応力 ($2 \cdot S_y$)	MS-T-1	264	120	396	—

表4 Bクラス（S d機能維持）配管に取付く三軸粘性ダンパの耐震評価結果*

許容応力 状態	支持構造物 番号	型式	方向	構造強度評価		機能維持評価			
				荷重評価		地震変位振幅評価		累積消費エネルギー 評価	
				計算値 (kN)	許容値 (kN)	計算値 (mm)	許容値 (mm)	計算値 (kJ)	許容値 (kJ)
IVAS	DMP-MS-017	型式630/426	水平	191	350	4.3		18.5	
			鉛直	64	140	2.8		6.7	

注記*：評価上最も厳しい結果となるS d - 1についての評価結果を示す

7. まとめ

- 三軸粘性ダンパを設置した配管について、弾性設計用地震動の6波を入力地震動とし、地震応答解析を行った結果、配管については発生応力が許容応力以下となることを確認した。また、三軸粘性ダンパについては荷重等の応答値が許容値以下となることを確認した。
- 配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合、三軸粘性ダンパによって付与される減衰が大きく、対角化できないため、モード座標で連成した運動方程式により時刻歴応答解析を行った。本手法と一般的に用いられるモーダル時刻歴解析との違いは、減衰マトリックスが非対角項を持つか否かのみであり、妥当な手法であると考える。

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙1）

主蒸気系配管をSd機能維持設計とする理由

- J E A G 4 6 0 1・補-1984 における耐震クラスと被ばく線量に関する記載を図6に示す。主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁より主蒸気止め弁までの範囲及び主蒸気ヘッドから分岐しタービンバイパス弁並びに補助蒸気系との境界弁までの範囲の管）については、仮に破断した場合に、一次冷却系から直接外部へ放射性気体（核分裂生成物）を放出する事象が引き起こされる可能性があることに配慮して、弾性設計用地震動Sdに対して破損しないことの検討を行うこととした。

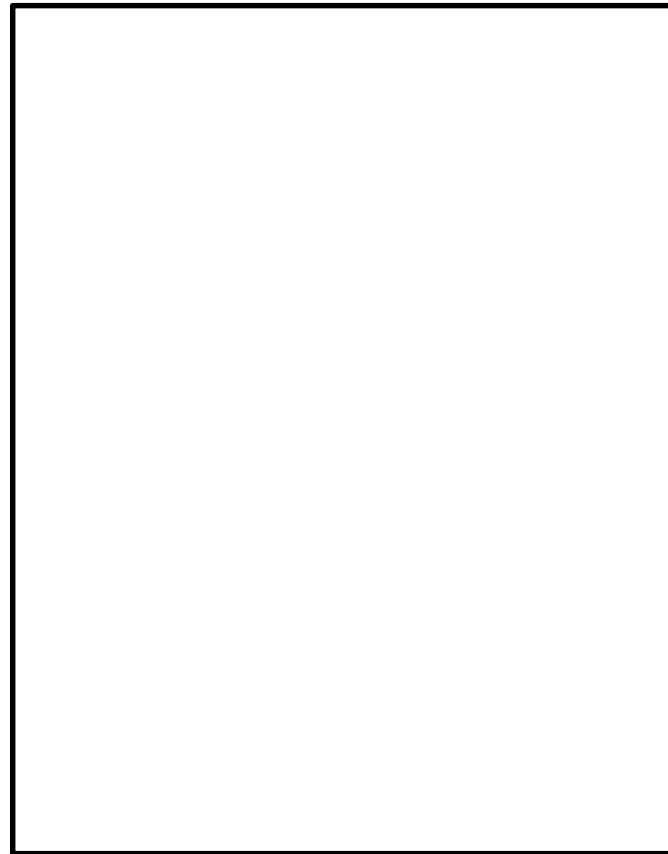
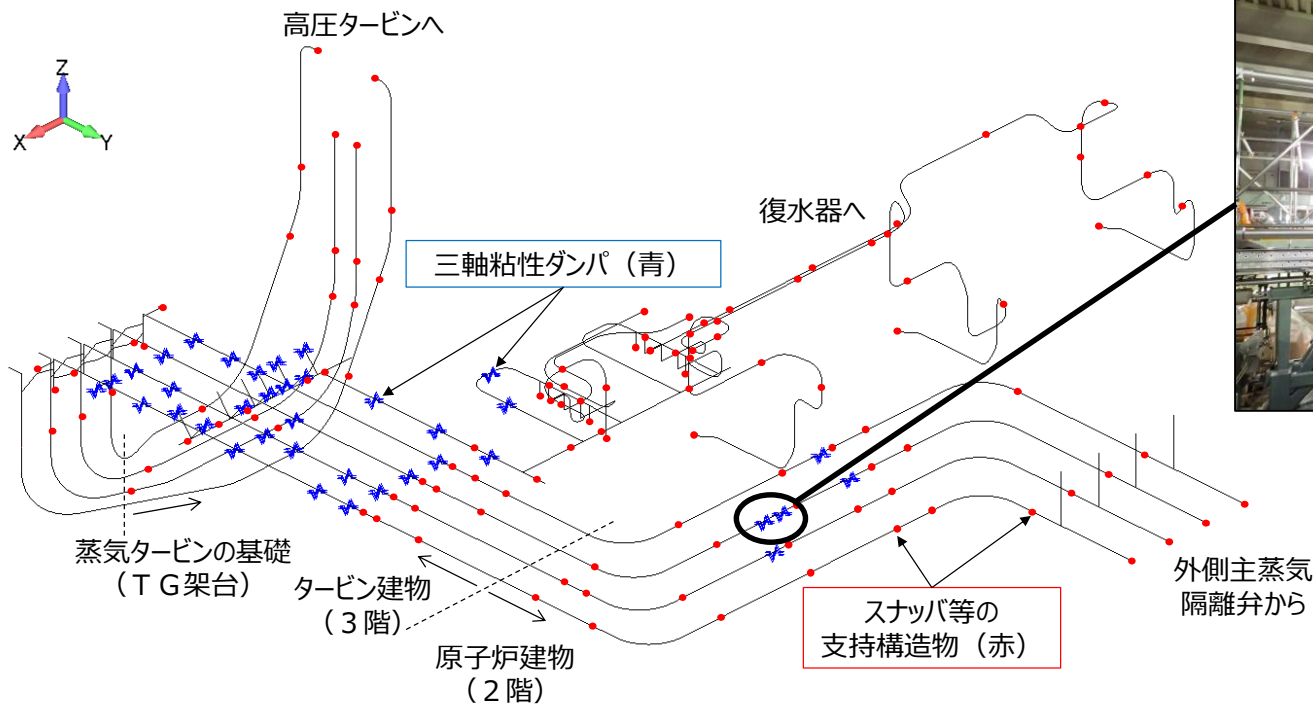


図6 J E A G 4 6 0 1・補-1984 における耐震クラスと被ばく線量に関する記載

三軸粘性ダンパの配置検討

- 主蒸気系配管における三軸粘性ダンパの配置イメージを図7に示す。配管系の地震荷重の低減に効果的な三軸粘性ダンパの配置を検討する。
- 三軸粘性ダンパは粘性体とピストンの間に相対運動が生じることで減衰性能を発揮するため、配管系の変位が大きくなる箇所に設置する。



三軸粘性ダンパの設置例

図7 主蒸気系配管における三軸粘性ダンパの配置

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙3）

三軸粘性ダンパの性能の耐震評価への反映方法策定

- 減衰性能に影響する項目の耐震評価への反映方法を表5に示す。三軸粘性ダンパに使用される粘性体は粘弾性を有しており、その減衰性能は等価剛性及び等価減衰係数により表現できる。
- 三軸粘性ダンパはその構造から水平方向加振に対する減衰性能は各方向で等しいが、水平方向加振と鉛直方向加振では減衰性能が異なるため、各方向で減衰性能を考慮する。
- 減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月）独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して表5のとおり抽出した。

表5 減衰性能に影響する項目の耐震評価への反映方法

No.	影響確認項目	影響確認結果	反映方法
1	水平・鉛直同時加振	水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能に差異がないことを試験により確認している。	—
2	放射線	放射線による減衰性能への影響が十分小さいことを試験により確認している。	—
3	温度	粘性体は高温になるほど粘度が低下する性質があることから、粘性体の温度によって三軸粘性ダンパの減衰性能が変動することを試験により確認している。	減衰性能を取得する性能試験条件の設定において考慮する。
4	振幅	減衰性能は加振振幅が大きいほど低下することを試験により確認している。	
5	連続加振	減衰性能は連続加振により累積消費エネルギーが増大すると低下することを試験により確認している。	
6	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理している。	左記のばらつき要因を合わせて±30%の減衰性能のばらつきを地震応答解析条件に適用することで考慮する。
7	据付公差	減衰性能のばらつきが±20%以内となる範囲をあらかじめ規定し、その値内で管理する。	

三軸粘性ダンパの性能試験（a. 性能試験条件の設定）

- 三軸粘性ダンパの性能試験条件の設定を表6に示す。三軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえ、性能試験条件を設定する。
- 三軸粘性ダンパの減衰性能は、変動及びばらつきを包絡するように上限と下限を設定する。上限及び下限を設定する理由は、減衰性能が低いほど配管系の応答は大きくなる傾向であるが、三軸粘性ダンパを支持する構造物の設計においては上限の減衰性能に基づく最大荷重を適用するためである。
- 温度、振幅及び連続加振による変動を踏まえた性能試験条件により、高側ダンパ試験性能（ K_{High} , C_{High} ）と、低側ダンパ試験性能（ K_{Low} , C_{Low} ）を性能試験で取得する（別紙4-2）。
- 三軸粘性ダンパは水平方向と鉛直方向では減衰性能が異なるため、各方向で性能試験を実施する。

表6 三軸粘性ダンパの性能試験条件の設定

取得性能	試験条件設定の考え方	性能試験条件		
		温度	加振振幅	累積消費エネルギー
高側ダンパ試験性能 (K_{High} , C_{High})	実機使用条件より減衰性能を高く取得するため、室温、微小加振振幅、微小累積消費エネルギーとする。	常温	小	小
低側ダンパ試験性能 (K_{Low} , C_{Low})	実機使用条件より減衰性能を低く取得するため、実機で想定される最高温度、最大加振振幅、最大累積消費エネルギーとする。	高温	大*	大*

注記*：本試験条件により三軸粘性ダンパの減衰性能に係る機能維持評価の許容値を設定する。

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙4-2）

三軸粘性ダンパの性能試験（b. 性能試験の実施）

➤ 高側及び低側ダンパ性能試験結果（型式325/159）を図8に示す。設定した性能試験条件により，実機に設置する各型式の三軸粘性ダンパについて，水平方向及び鉛直方向でそれぞれ高側及び低側ダンパ試験性能を取得した。

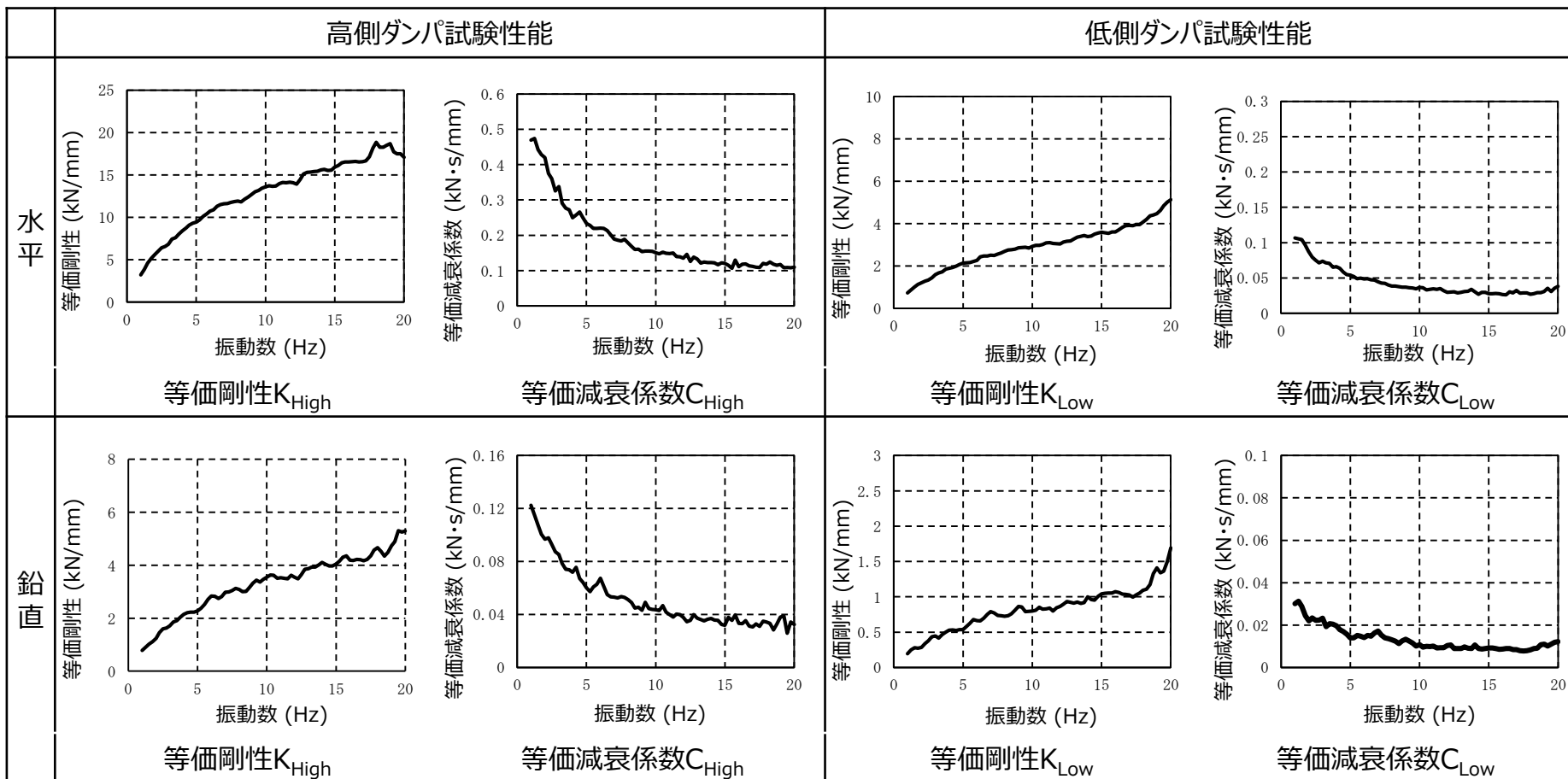
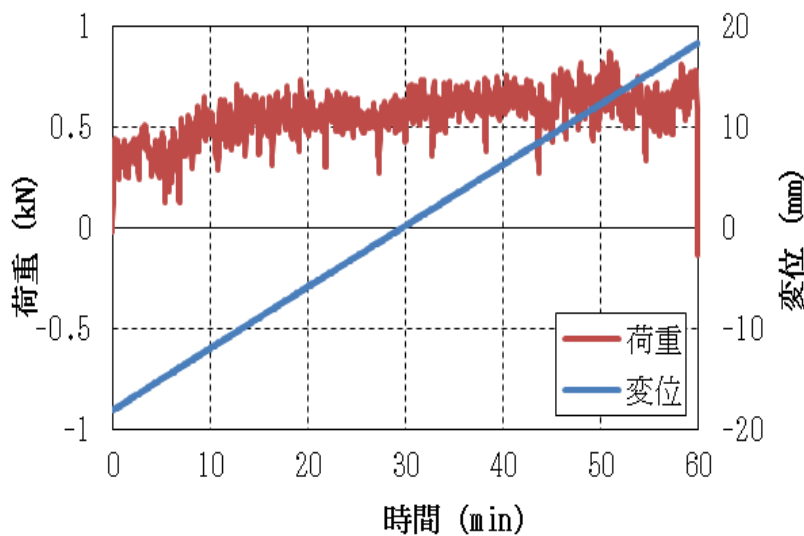


図8 高側及び低側ダンパ性能試験結果（型式325/159の例）

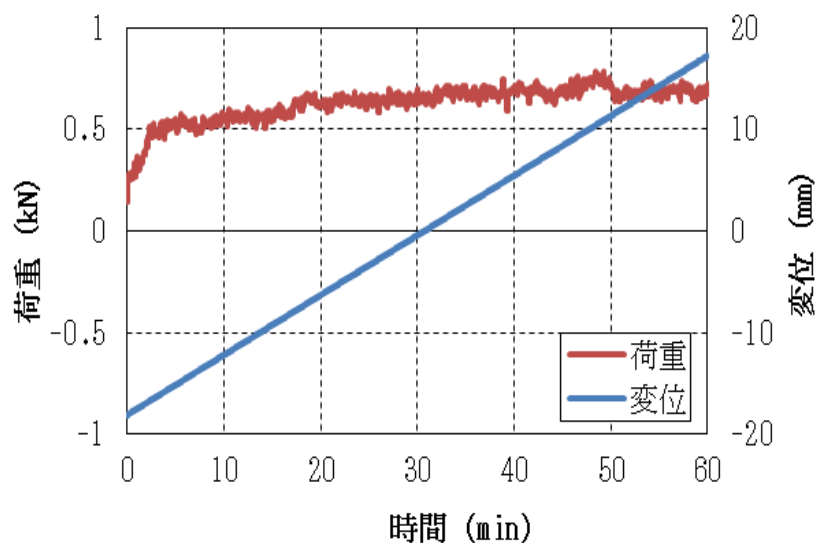
【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙4-3）

三軸粘性ダンパの性能試験（c. 低速移動時の追従性能確認試験）

- 高側及び低側ダンパ性能試験結果（型式325/159）を図9に示す。三軸粘性ダンパは熱膨張のような低速度の運動を拘束しないものであるが、低速移動時の拘束力（抵抗）を定量的に確認するため、低速移動試験を実施した。
- 熱膨張を想定した低速移動に対して三軸粘性ダンパの発生荷重は、三軸粘性ダンパの許容荷重（水平：350kN、鉛直140kN）に対し、1kNを下回る十分に小さな値となった。



水平方向



鉛直方向（ピストンを上げる方向）

図9 高側及び低側ダンパ性能試験結果（型式325/159の例）

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙5）

三軸粘性ダンパの許容限界

- 三軸粘性ダンパ評価方法及び許容限界を表7に示す。三軸粘性ダンパを設置した配管系の応答値が、三軸粘性ダンパの減衰性能を取得した性能試験の試験条件の範囲内であることを確認する。
- 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析によって得られた支持点荷重が、三軸粘性ダンパを構成する部材の許容限界に基づき、あらかじめ設定した許容荷重以下となることを確認する。

表7 三軸粘性ダンパ評価方法及び許容限界

評価する項目	評価方法	確認指標	許容限界
減衰性能に係る機能の維持	地震応答解析で得られる応答値が、減衰性能を確認した性能試験の試験条件の範囲内となることを確認する	地震変位振幅*1 累積消費エネルギー*2	性能試験の試験条件
構造強度上の健全性	地震応答解析で得られる支持点荷重が、使用荷重以下となることを確認する	支持点荷重	使用荷重*3

注記*1：三軸粘性ダンパのピストンとハウジングの相対変位量（片振幅）

*2：三軸粘性ダンパで消費されるエネルギーの総和であり、下式から算出される。

$$W = \int_0^T F(t) \frac{dx(t)}{dt} dt$$

$F(t)$ ：三軸粘性ダンパ反力
 $x(t)$ ：三軸粘性ダンパ変位
 T ：加振継続時間

*3：三軸粘性ダンパを構成する部材に生じる発生応力が J E A G 4 6 0 1 に規定される許容限界を一定の裕度をもって満足するようにあらかじめ設定した許容荷重

三軸粘性ダンパのモデル化（a. 減衰性能のモデル化）

- 三軸粘性ダンパの4パラメータMaxwellモデルを図10に、振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係を図11に、三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化（水平方向）を図12に示す。
- 三軸粘性ダンパの振動数特性は、応答速度と抵抗力がほぼ比例関係にあり、振動数の変化に対して応答速度と抵抗力の関係の変化が大きいことから、各振動数における等価剛性及び等価減衰係数を用いることにより振動数特性を模擬する。
- 等価剛性及び等価減衰定数を用いた解析のモデル化としては、Maxwellモデルを使用する。一般的なMaxwellモデルのパラメータ数は2つであるが、精度良く振動数特性を表現することを目的として、パラメータ数を増やした4パラメータMaxwellモデルを使用する。

k_a, k_b :ばね剛性
 c_a, c_b :ダッシュポットの減衰係数

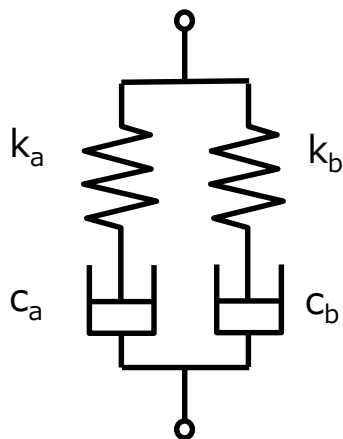


図10 三軸粘性ダンパの4パラメータMaxwellモデル

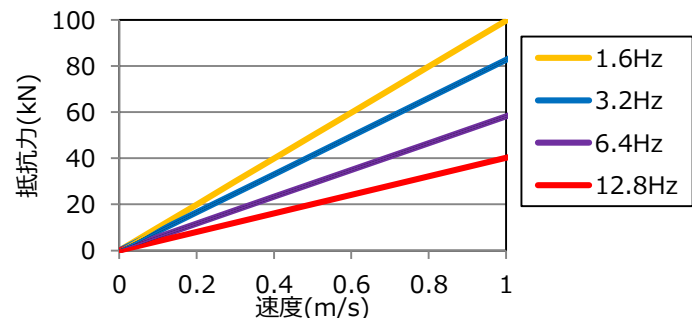


図11 振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係

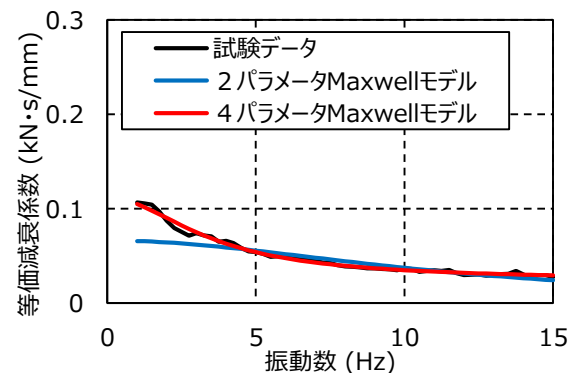
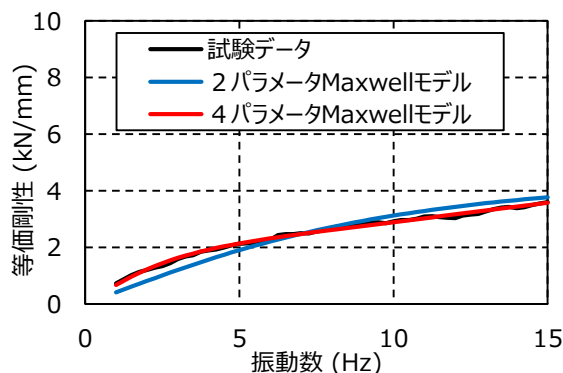


図12 三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化（水平方向）

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙6-2）

三軸粘性ダンパのモデル化（b. 減衰性能に関わるパラメータの設定）

- ▶ ダンパ性能試験のモデル化（型式325/159・低側の例）を図13に示す。性能試験の結果に基づき、三軸粘性ダンパの減衰性能を振動数特性を精度良くモデル化できる4パラメータMaxwellモデルでモデル化する。
- ▶ 三軸粘性ダンパの減衰性能は、水平方向及び鉛直方向でそれぞれ高側及び低側ダンパ試験性能を取得するため、4パラメータMaxwellモデルも同様に各方向に対して高側及び低側を設定する。

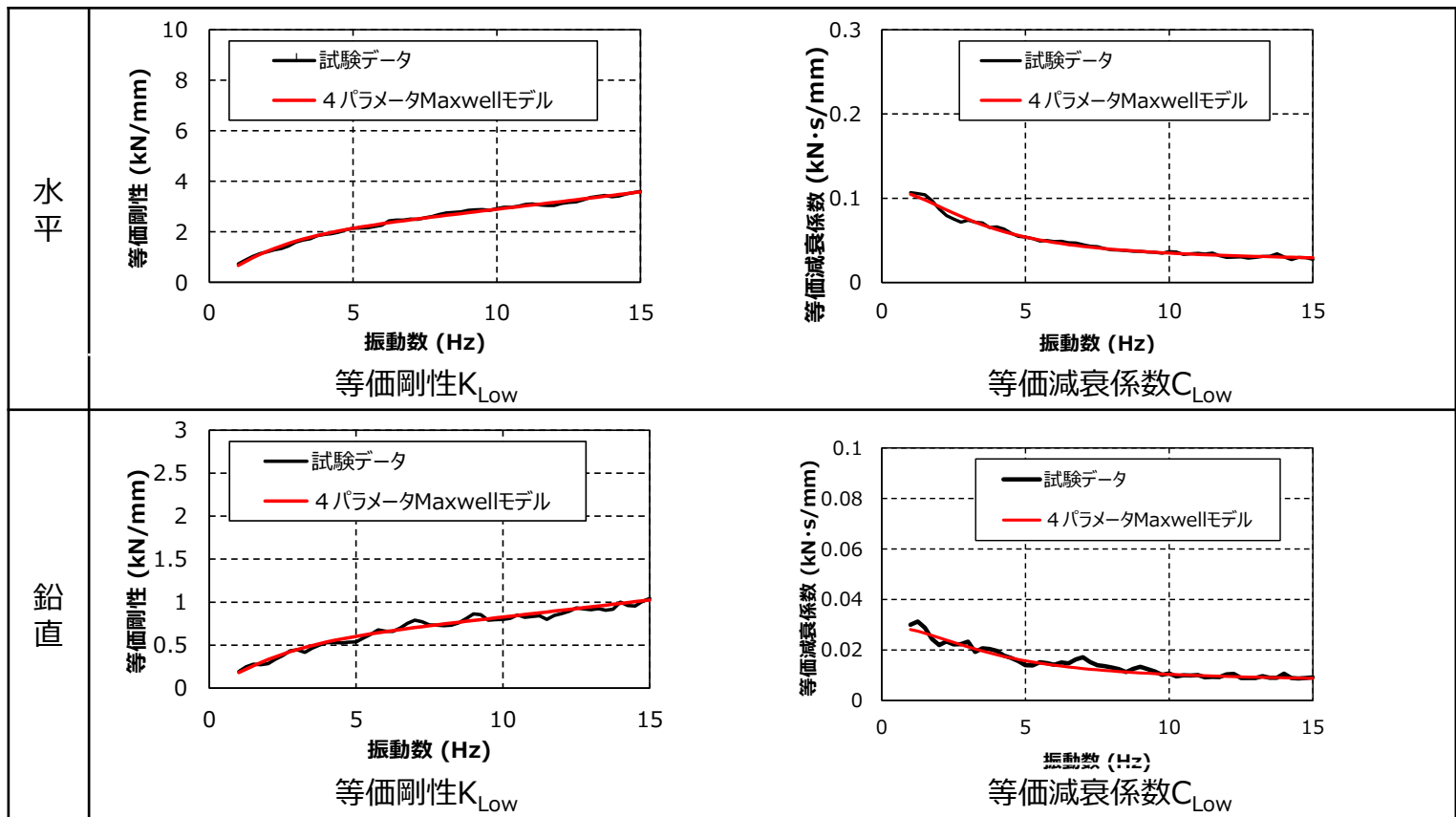


図13 ダンパ性能試験のモデル化（型式325/159・低側の例）

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙6-3）

三軸粘性ダンパのモデル化（c. ばらつきの考慮）

① 上限及び下限の減衰性能のモデル化

- 性能試験による減衰性能の上限と下限の設定（型式325/159の例）を図14に示す。高側及び低側の減衰性能に、さらに±30%のばらつき（製造公差：±10%、据付公差：±20%）を考慮し、解析上の減衰性能の上限（ $K_1 = 1.3 \times K_{High}$, $C_1 = 1.3 \times C_{High}$ ）及び下限（ $K_5 = 0.7 \times K_{Low}$, $C_5 = 0.7 \times C_{Low}$ ）を設定する。

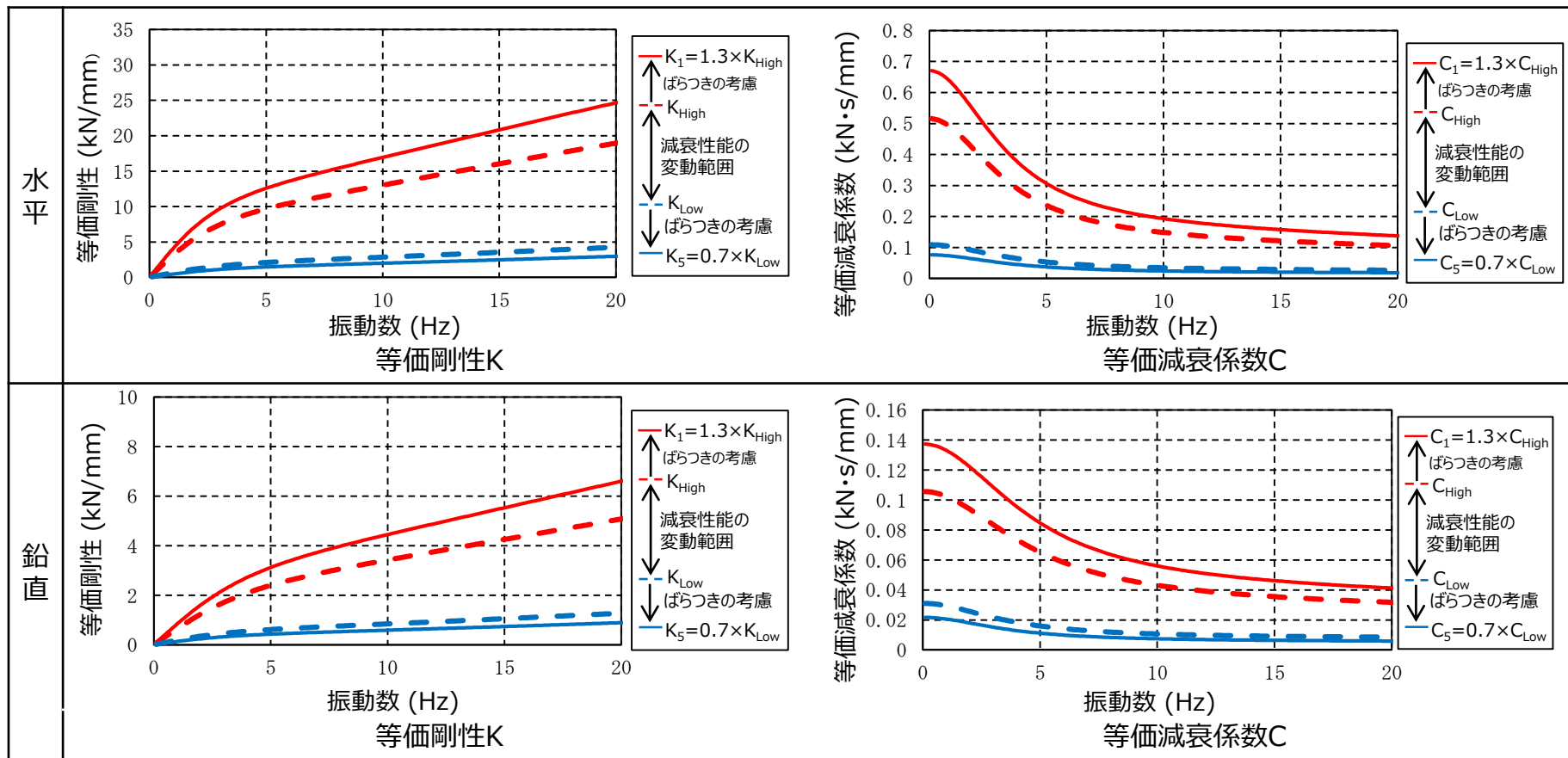


図14 性能試験による減衰性能の上限と下限の設定（型式325/159の例）

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙6-4）

三軸粘性ダンパのモデル化（c. ばらつきの考慮）

② 段階的な減衰性能の設定

- 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定（型式325/159の例）を図15に示す。三軸粘性ダンパの減衰性能は、性能試験結果及び製造公差等のばらつきを考慮することに伴い、上限と下限の減衰性能の差が大きくなるため、5段階の等間隔に補間した減衰性能を設定する。

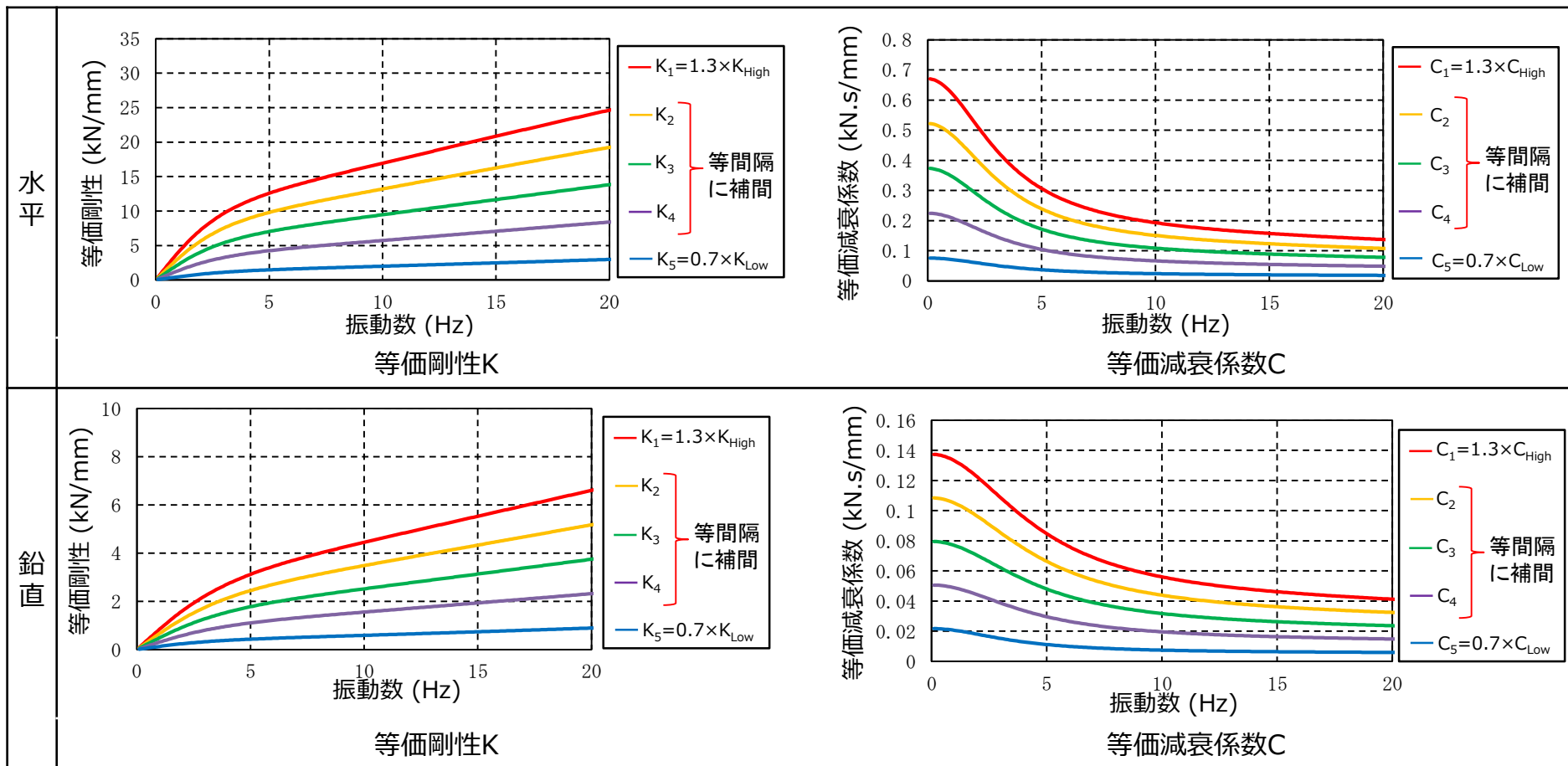


図15 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定（型式325/159の例）

【1-6】機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）（別紙7）

三軸粘性ダンパの解析モデルの追加

- 配管系の地震応答解析モデルの比較を図16に、三軸粘性ダンパの4パラメータMaxwellモデルを図17に示す。
- 配管系は3次元はりモデルによりモデル化する。
- 三軸粘性ダンパを4パラメータMaxwellモデルでモデル化し、その設置位置に追加する。
- 三軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに制震装置を適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様であり、4パラメータMaxwellモデルによるモデル化は海外の原子力発電所において実績のある手法である。

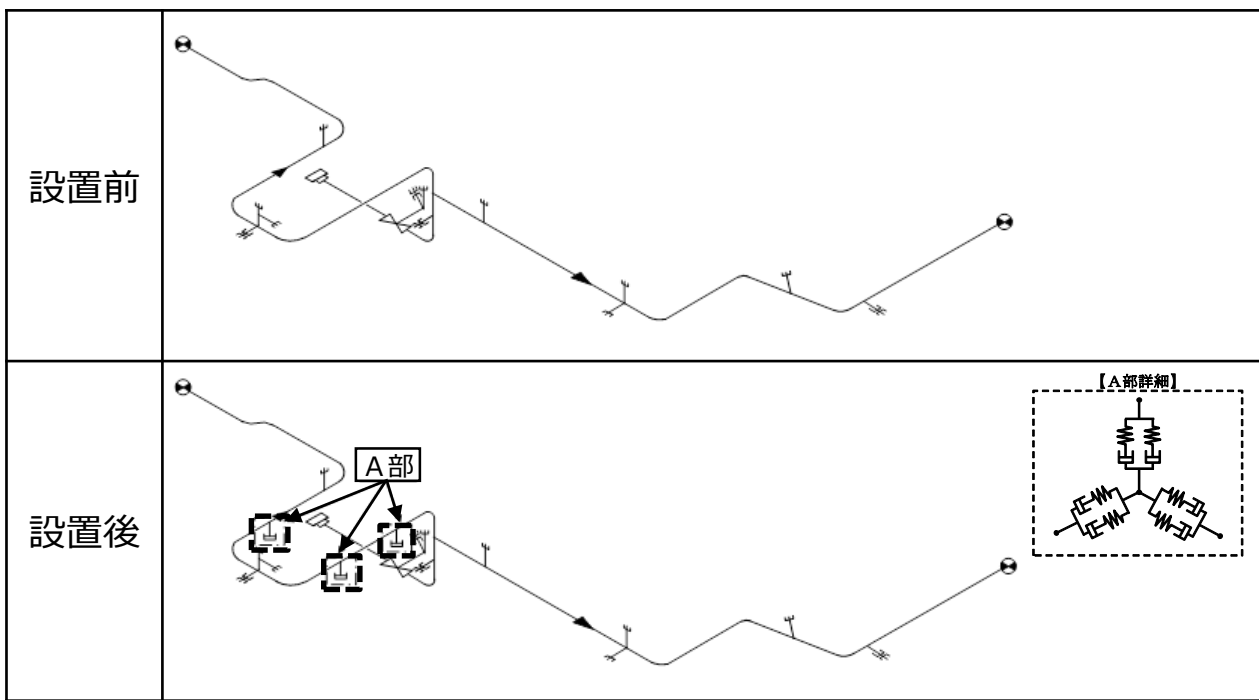


図16 配管系の地震応答解析モデルの比較

k_a, k_b :ばね剛性
 c_a, c_b :ダッシュポットの減衰係数

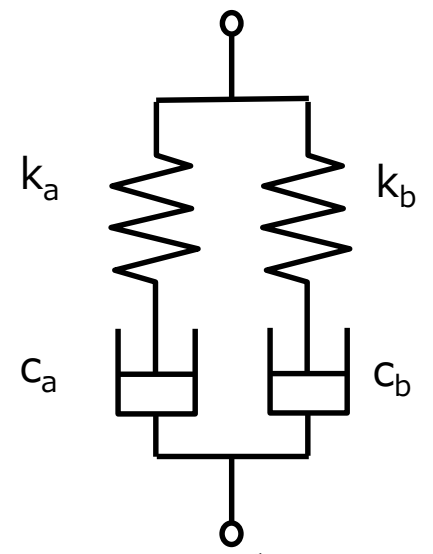


図17 三軸粘性ダンパの4パラメータMaxwellモデル

三軸粘性ダンパの適用実績

- 海外の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置の例を図18に、国内の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置の例を図19に示す。
- 海外の原子力発電所において、地震対策及び振動対策として設置実績がある。
- 国内の原子力発電所において、原子力分野以外で、石油プラントの配管系、コンサートホール等の大規模建物の制振システム及び振動台の機械装置の防振対策等への設置実績がある。

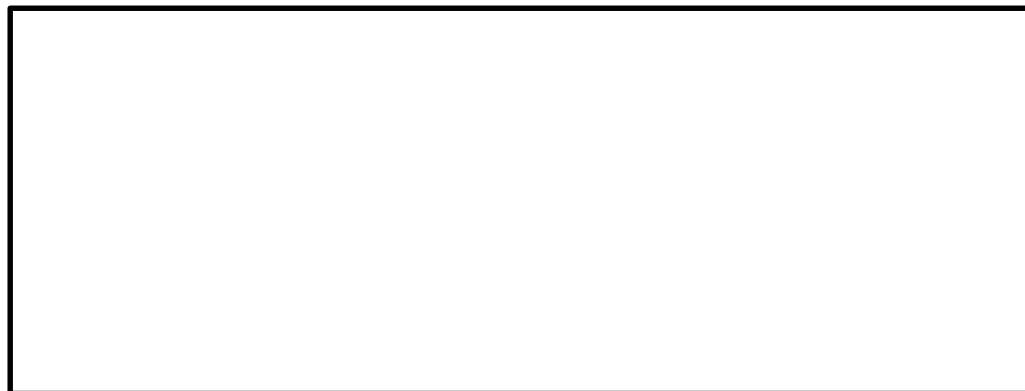


図18 海外の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置の例

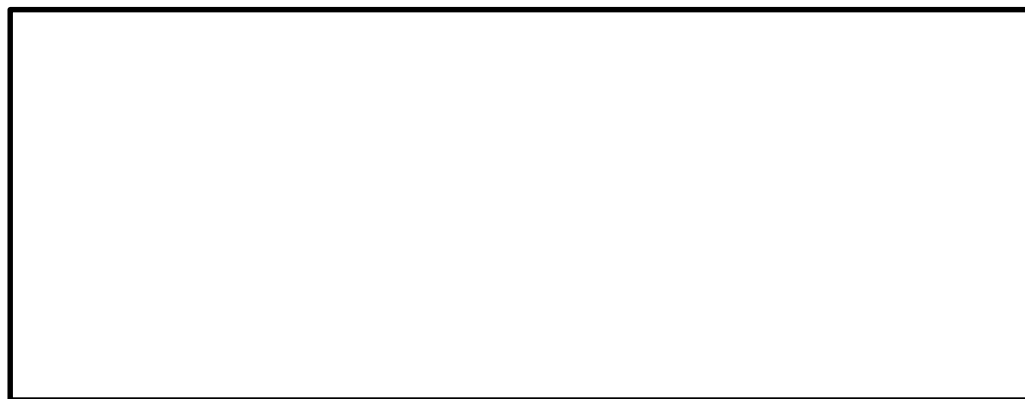


図19 国内の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置の例

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定

1. はじめに

- ▶ 今回工認において、一部の支持装置（メカニカルスナッパ、オイルスナッパ、ロッドレストレイント（以下「支持装置」という。））に対して二次評価として既工認と異なる許容荷重を適用することから、その許容荷重の設定手法を説明する。
- ▶ 既工認における支持装置の評価は、支持装置に負荷される地震時荷重が、定格荷重*¹に基づく許容荷重（以下「設計上の基準値」という。）を満足することを確認している。
- ▶ 今回工認においても、支持装置に負荷される地震時荷重が、設計上の基準値を満足することを確認することを基本とする。ただし、設計用地震力の増大に伴い、支持装置に負荷される地震時荷重が設計上の基準値を超える箇所については、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び耐力試験の限界耐力値を踏まえ、新たに設定した新規基準値*²を適用する。

表 1 既工認と今回工認の許容荷重の比較

支持装置	許容応力状態	発生荷重	許容荷重	
			既工認 (今回工認の一次評価)	今回工認の二次評価
メカニカルスナッパ	ⅢAS	S d 地震荷重	定格荷重	新規基準値
	ⅣAS	S s 地震荷重	定格荷重×1.5	
オイルスナッパ	ⅢAS	S d 地震荷重	定格荷重	
	ⅣAS	S s 地震荷重	定格荷重×1.5	
ロッドレストレイント	ⅢAS	S d 地震荷重	定格荷重	
	ⅣAS	S s 地震荷重	定格荷重×1.2	

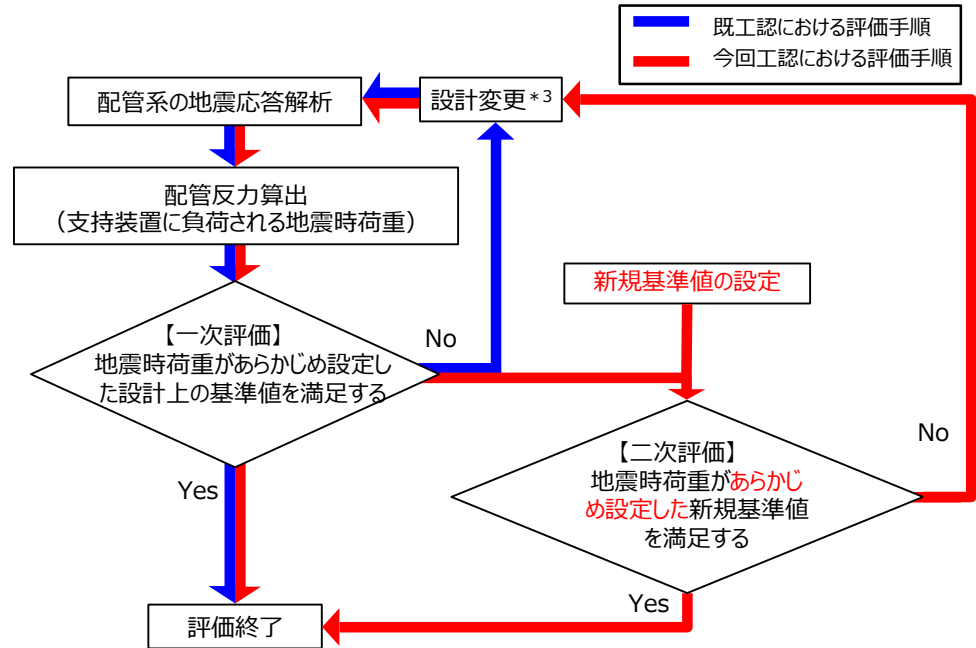


図 1 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

注記 * 1 : 各製品の設計強度に基づき支持装置メーカーが定めた型式別の許容荷重

* 2 : 定格荷重に新規耐力係数を乗じて設定した今回工認の二次評価において適用する評価基準値

* 3 : 支持装置を含む支持構造物の追設、容量変更、位置変更等を実施する。

2. 支持装置の構造

2.1 スナップの構造

- ▶ プラント運転時に熱膨張が発生する高温配管の耐震用の支持装置として、地震時の慣性力のような急速な配管移動は拘束するが、配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は拘束しない機能を持った製品である*。

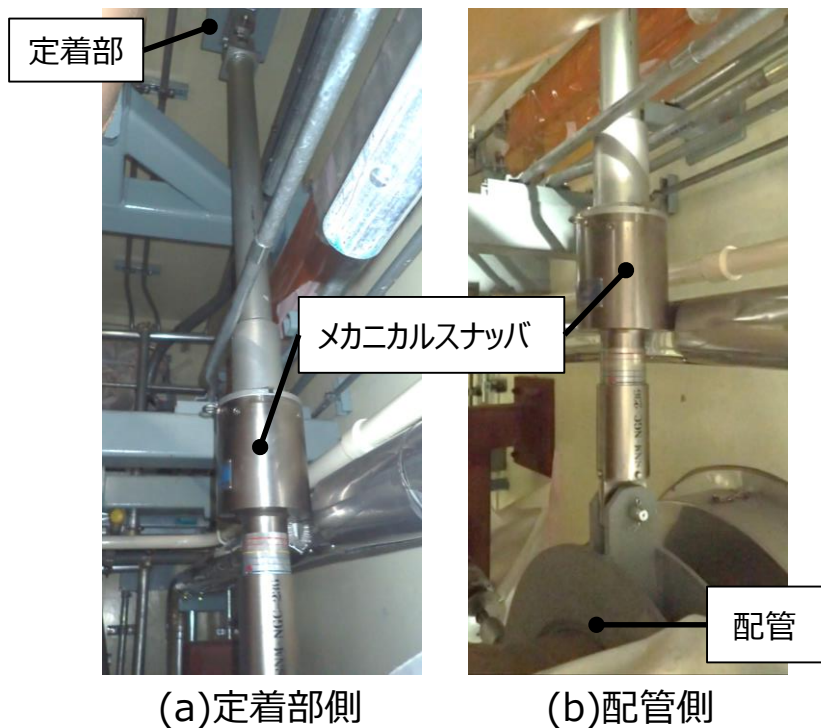


図2 メカニカルスナップの設置例

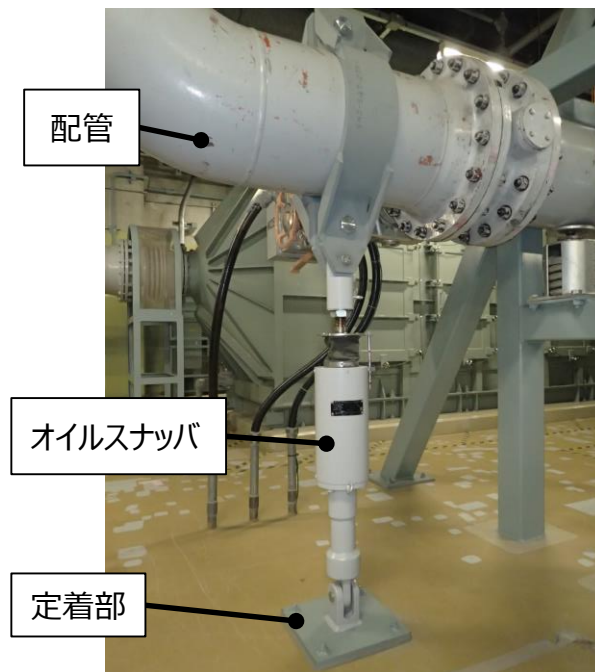


図3 オイルスナップの設置例

注記* : メカニカルスナップはメンテナンス性及び耐放射性に優れ、オイルスナップは設置性に優れる等の特徴があり、これらを総合的に判断し適用する。

2.1.1 メカニカルスナップの構造

- 配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は、ボールナットの往復運動に対して、ボールナット内部でボールねじのねじ溝に沿ってボールが循環することで、ボールねじを介してフライホイールの回転運動に変換する。
- 地震時の慣性力のような急速な配管移動は、フライホイールの慣性によって回転が阻止されるため、ボールナットは往復運動ができずに外力に抵抗する荷重が発生する。

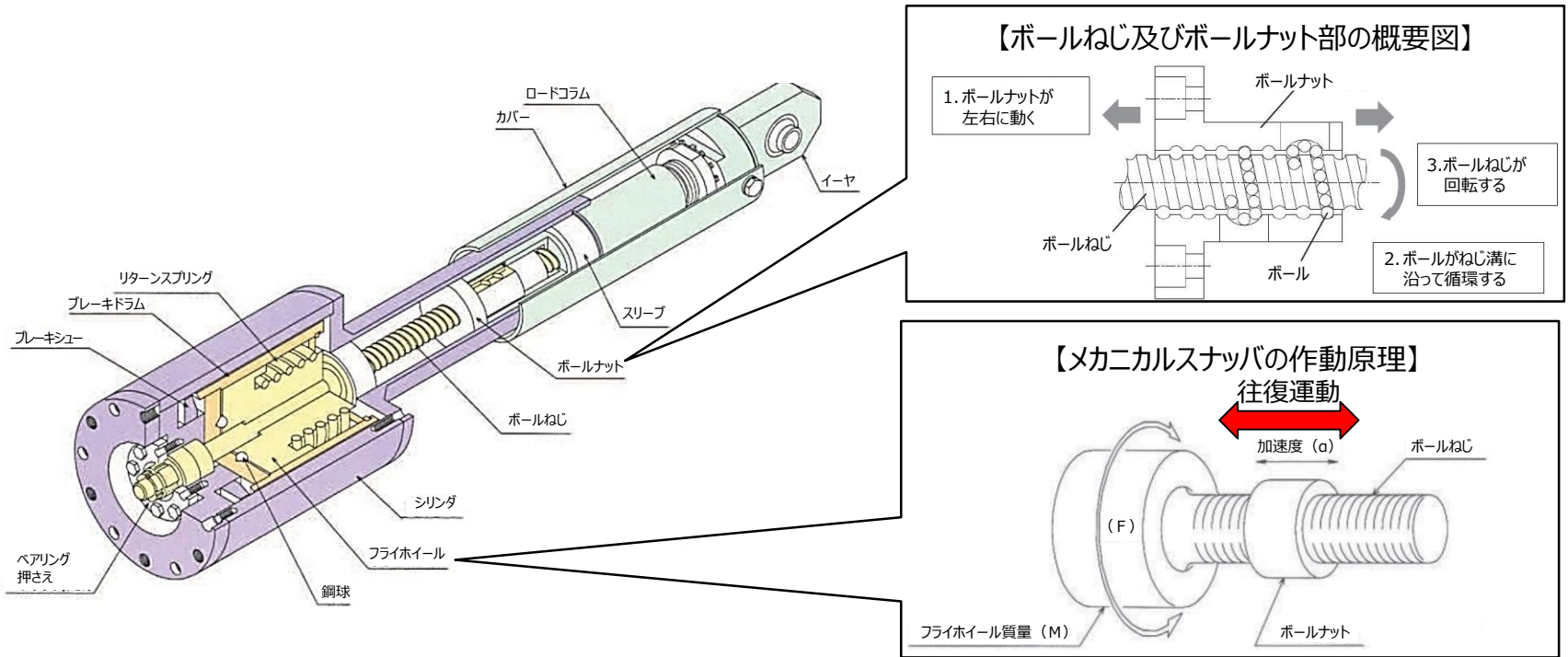


図4 メカニカルスナップの構造概要

2.1.2 オイルスナップの構造

- 配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は、弁体に生じる流体抗力が小さいことから、ポペット弁が開状態で維持されるため、ピストンロッドが移動可能な状態が維持される。
- 地震時では、ポペット弁に生じる流体抗力がばね反力に打ち勝って、弁が閉じることで、ピストンロッドが往復運動をすることができず、外力に抵抗する荷重が発生する。

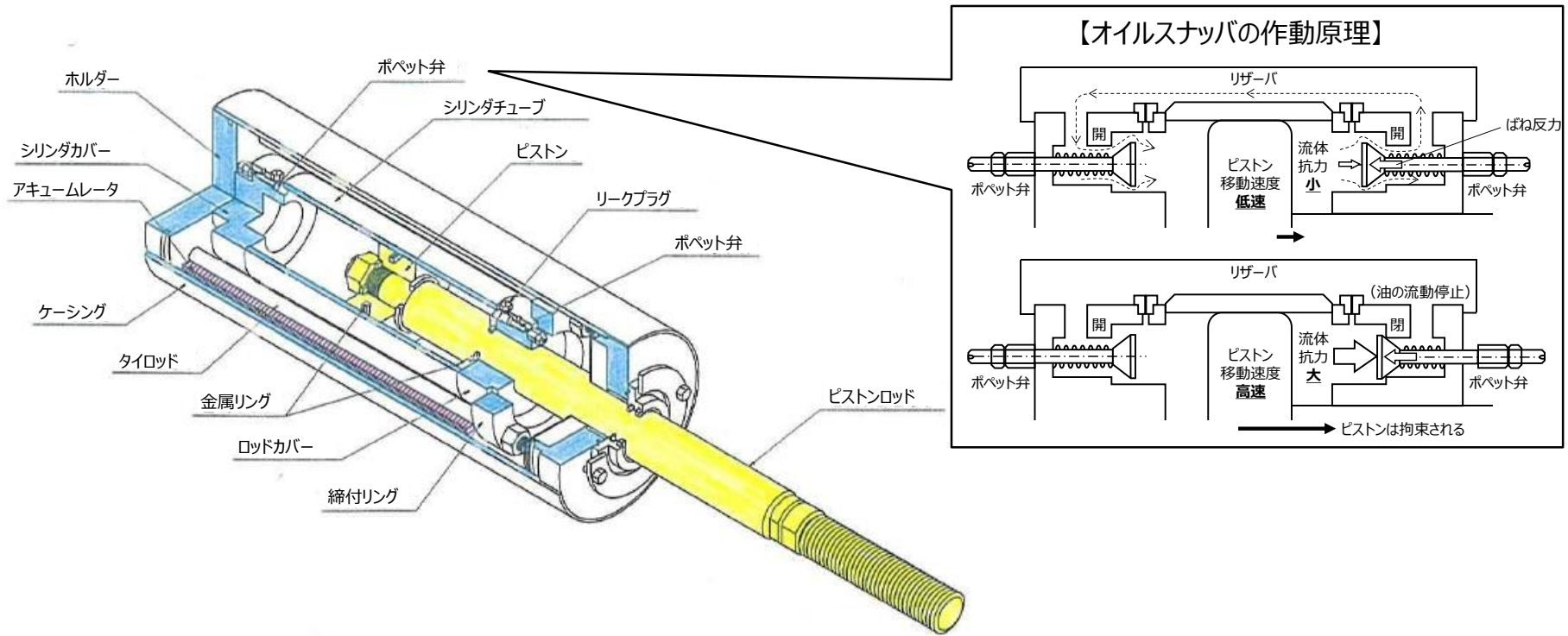


図5 オイルスナップの構造概要

2.2 ロッドレストレイントの構造

- メカニカルスナップやオイルスナップとは異なり、地震時の慣性力のような急速な配管移動に加え、配管の熱膨張のような緩やかな配管移動も拘束する。

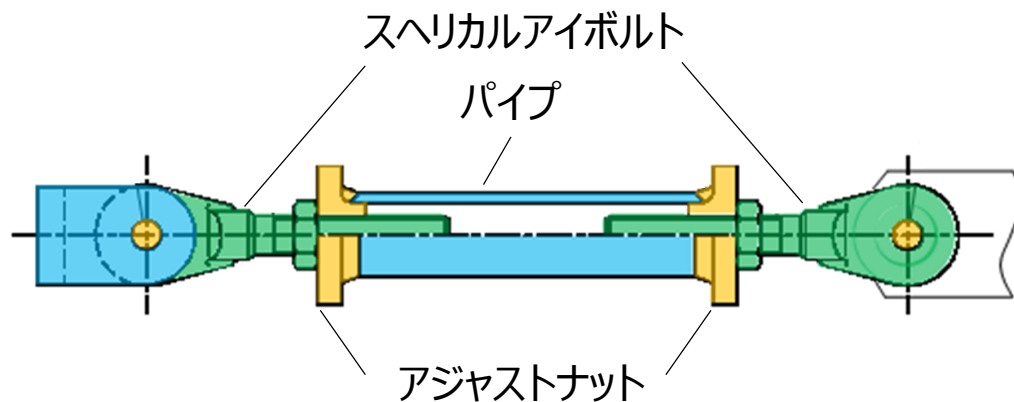


図6 ロッドレストレイントの構造概要

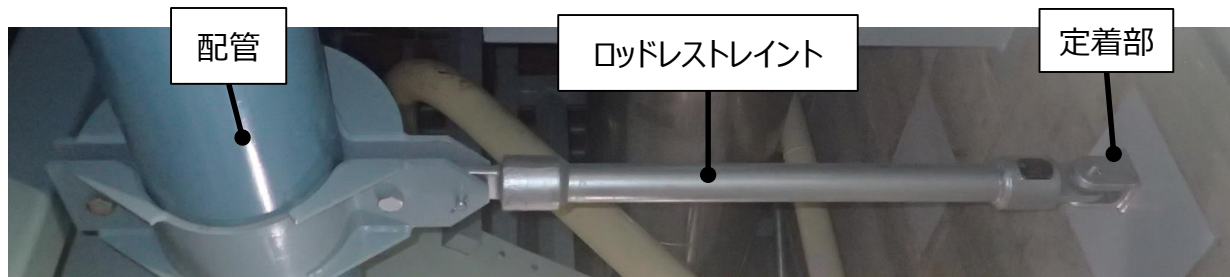


図7 ロッドレストレイントの設置例

3. 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び規格要求

➤ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則

- 機器・配管系の支持構造物である支持装置は、第5条（地震による損傷の防止）に基づき、「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」が要求される。

➤ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1）

- 支持装置は、J E A G 4 6 0 1の直接支持構造物に該当し、配管から伝達される荷重（配管反力）に対する支持装置の発生応力がJ E A G 4 6 0 1に規定の許容限界を満足することが要求される。
- 耐震安全性評価は、解析による設計を基本として、機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計も可能であること、許容限界内にあることの確認では、荷重による評価としてあらかじめ計算により求めた標準荷重等や試験で確認した許容荷重を用いる場合が認められている。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（7/22）

4. 既工認における支持装置の耐震設計方針（図7の青線）

- 配管系の地震応答解析から算出された支持装置に負荷される配管反力（地震時荷重）が、設計上の基準値を満足していることを確認している。

5. 今回工認における支持装置の耐震設計方針（図7の赤線）

- 既工認と同様の評価に加え（一次評価）、支持装置の地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過する場合は、二次評価として、今回工認において新たに設定した新規基準値以下であることを確認する。

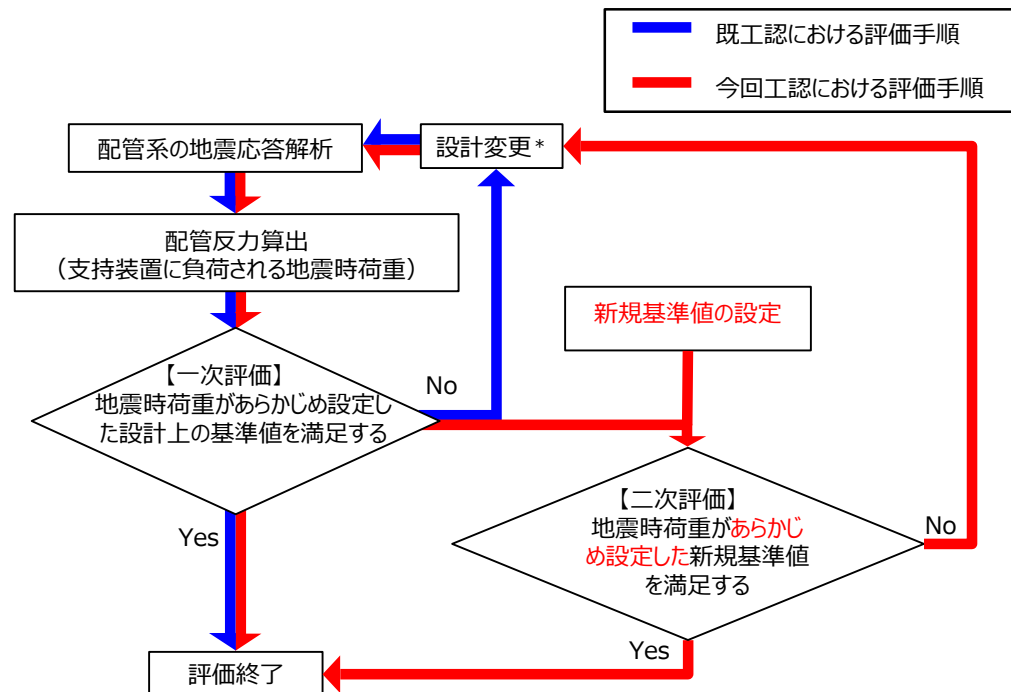
【新規基準値の設定方法】

● メカニカルスナッパ及びオイルスナッパ

J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び**耐力試験**（電共研，JNES）の限界耐力値を踏まえ、新規基準値を設定する。

● ロッドレストレイント

J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び**耐力試験**（自社研究）の限界耐力値を踏まえ、新規基準値を設定する。



注記*：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等

図7 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（8/22）

6. 今回工認の評価基準値に係る考え方

- 今回工認の二次評価における新規基準値は、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び耐力試験において確認された限界耐力値を踏まえて、支持装置の構造部材の強度評価及び機能部品を含む機能確認に係る内容を検討する。

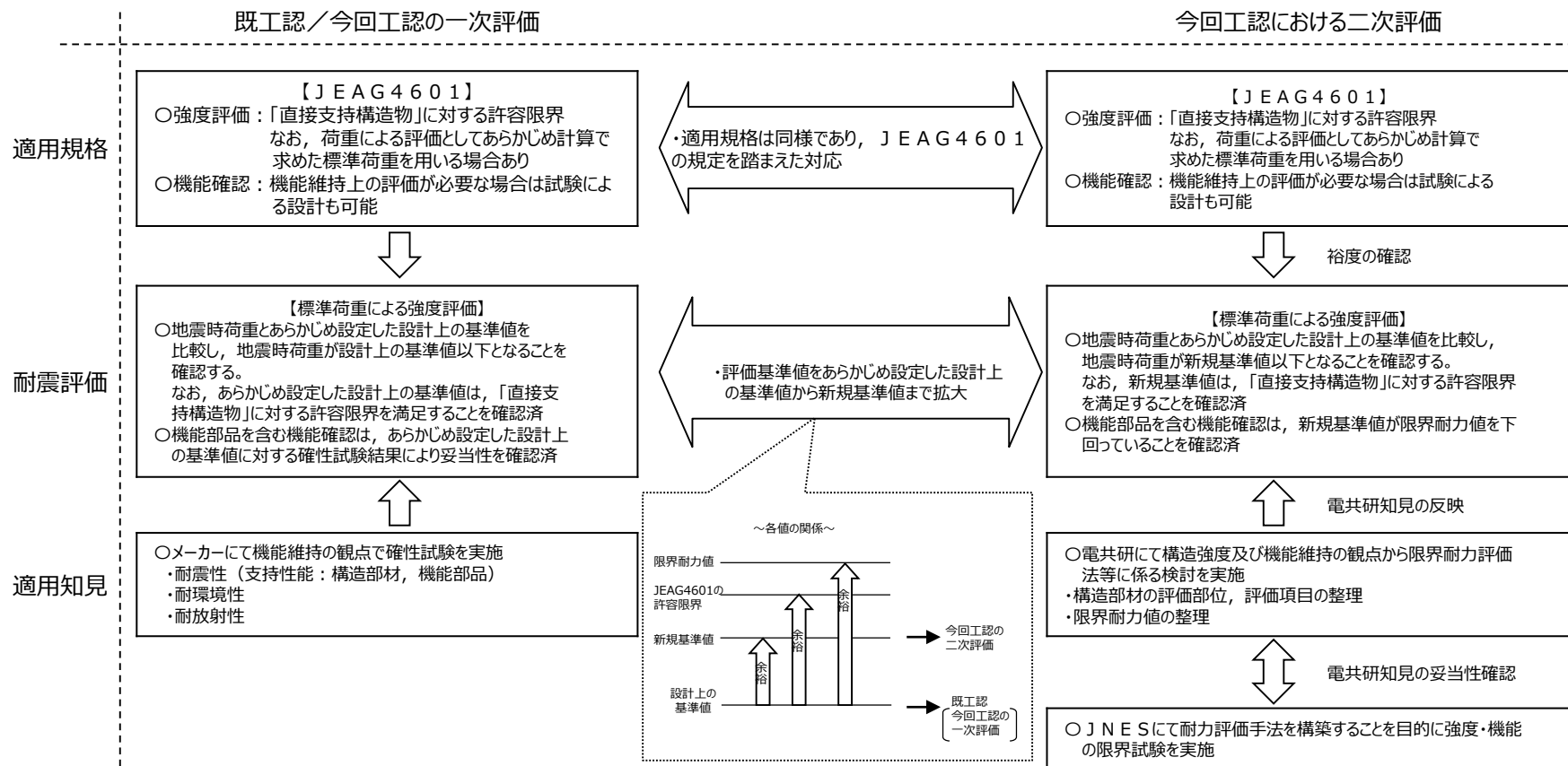
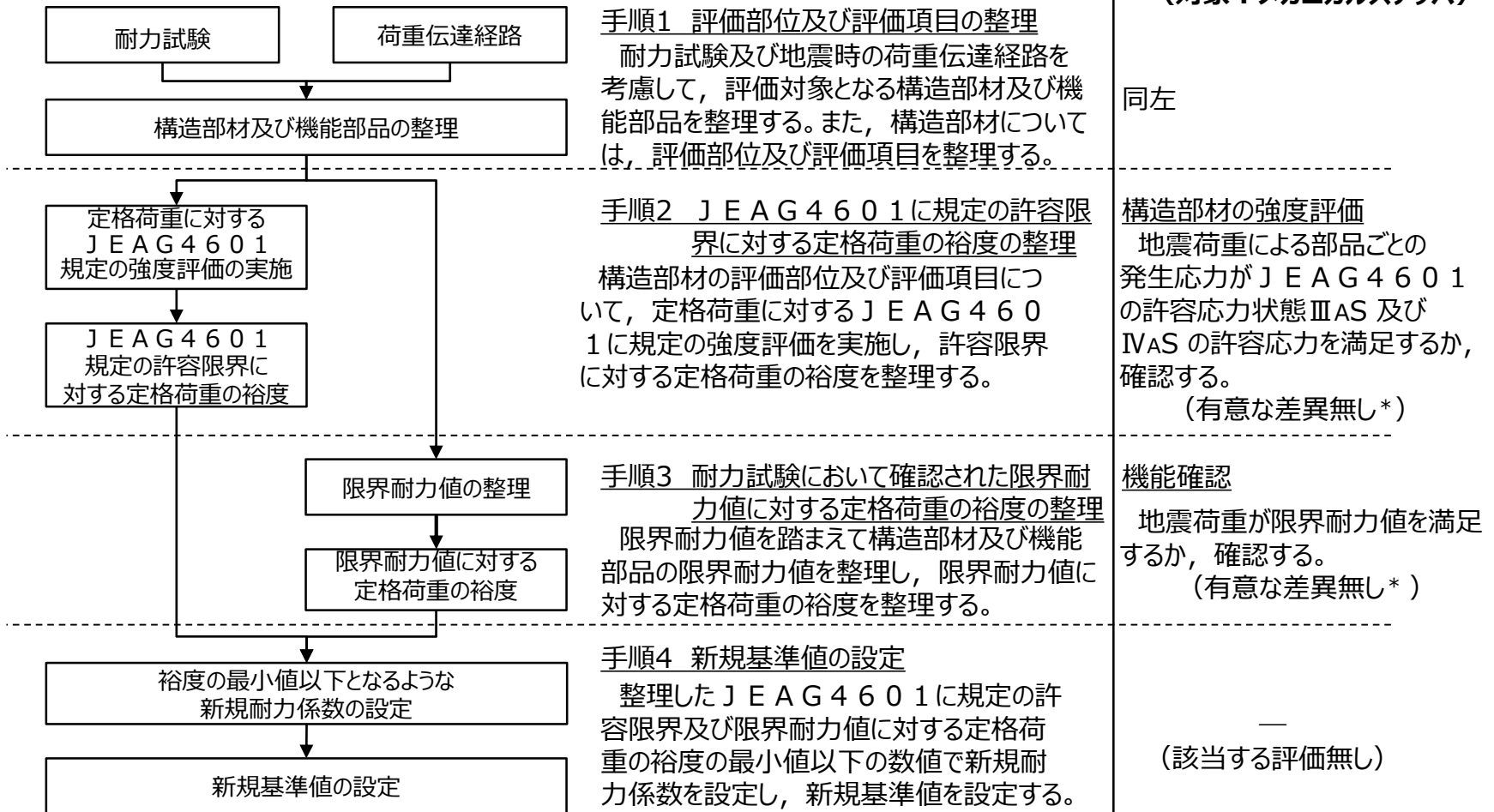


図8 既工認及び今回工認の評価基準値に係る考え方

7. 今回工認において適用する新規基準値の設定手順及び先行実績との比較

島根 2 号機における新規基準値の設定手順
(対象：メカニカルスナッパ、オイルスナッパ、ロッドレストレイント)

先行プラント (女川 2 号機) の詳細評価手法との比較
(対象：メカニカルスナッパ)



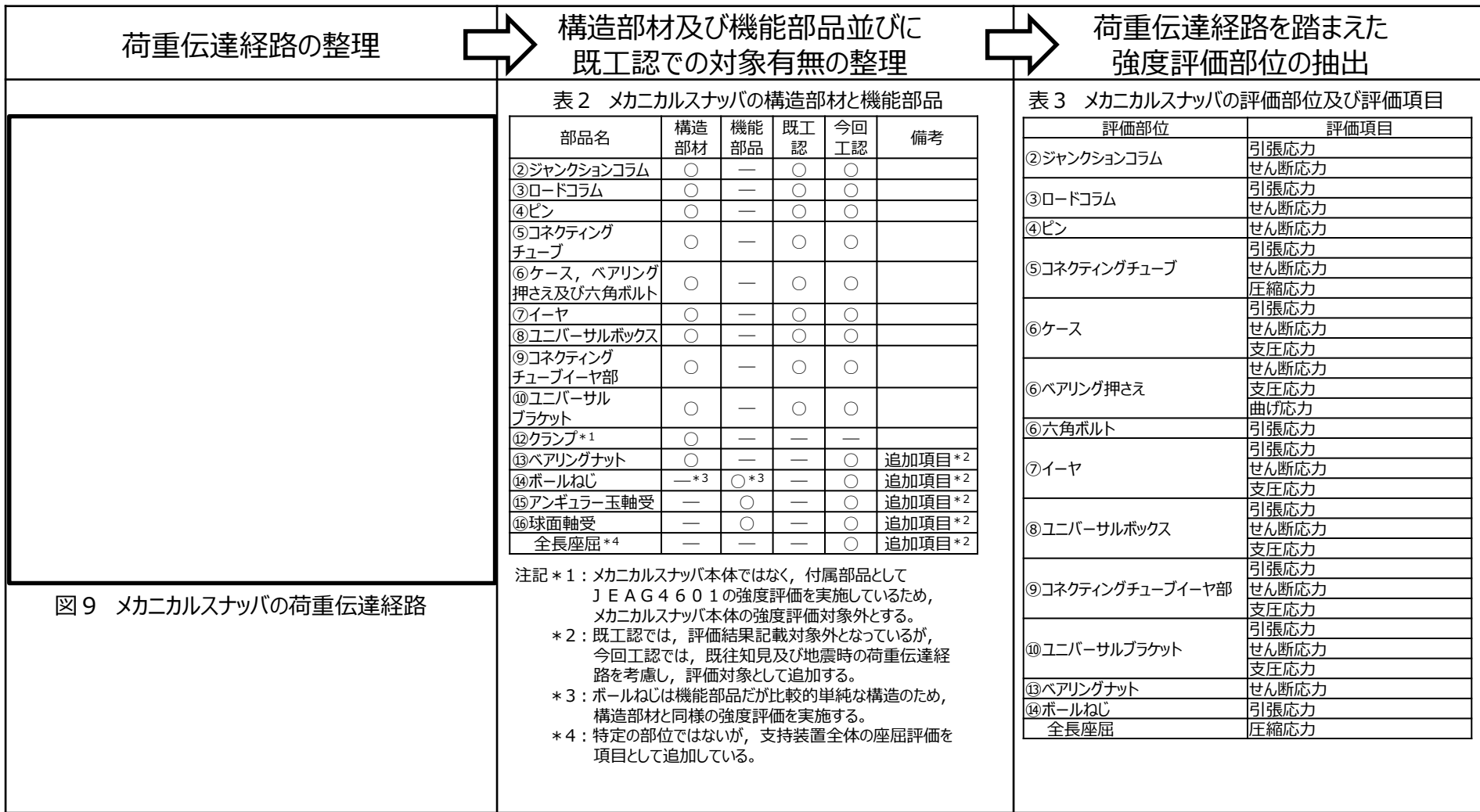
注記*：地震時荷重が一次評価荷重を超過した場合、島根 2 号機では構造部材の強度評価及び機能確認を満足する新規基準値をあらかじめ設定し、地震時荷重と比較するが、先行プラント (女川 2 号機) では、一次評価荷重を超過した支持装置毎に構造部材の強度評価及び機能確認をする方針であることから、確認・整理内容については相違するが、評価手法や考え方は同じであることから、有意な差異無しとした。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（10/22）

7.1 手順1：評価部位及び評価項目の整理

地震時等の荷重伝達経路を考慮して、支持装置の強度評価及び機能確認対象となる構造部材及び機能部品を整理する。

7.1.1 メカニカルスナッパ（SMS型 Aタイプの例）



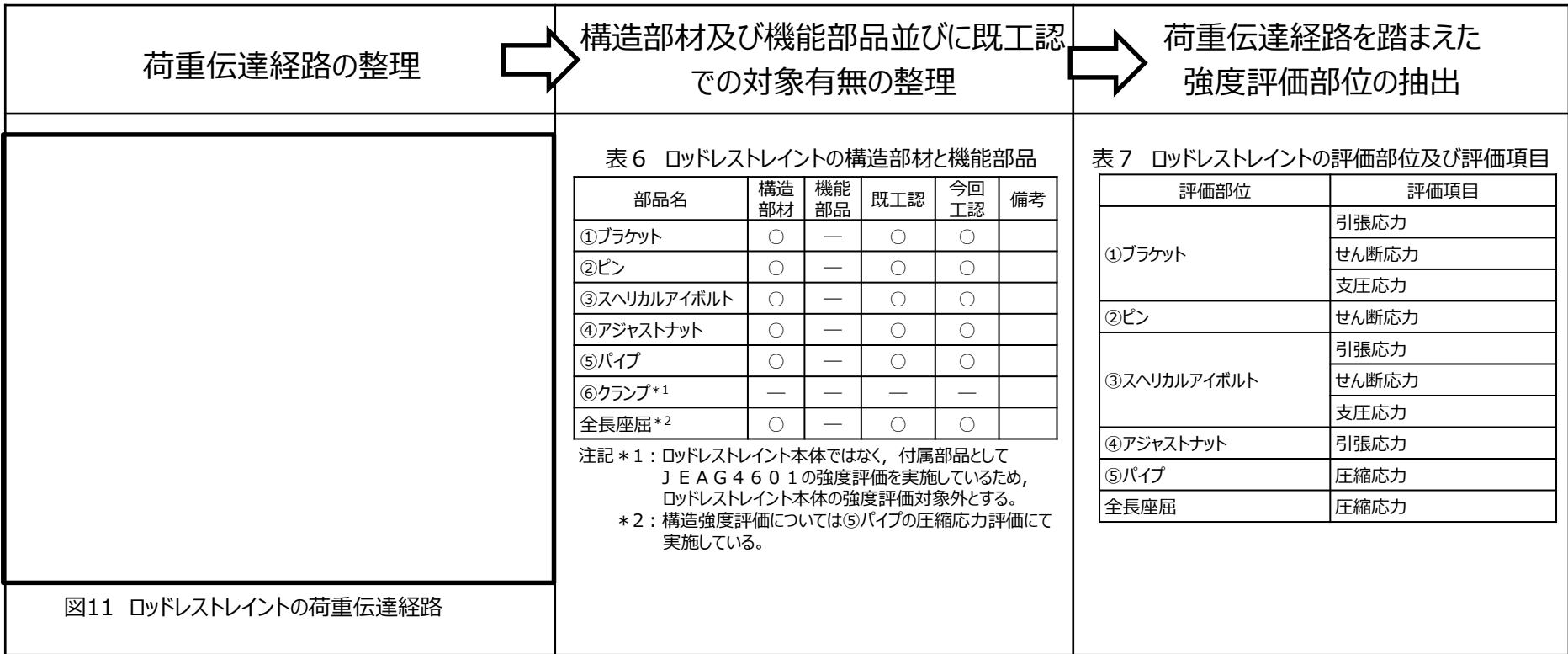
【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定 (11/22)

7.1.2 オイルスナッパ (SHP型)



【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（12/22）

7.1.3 ロッドレストレイント（RSA型）



【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（13/22）

7.2 手順2：J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界に対する検討

構造部材の評価部位及び評価項目について、定格荷重に対するJ E A G 4 6 0 1に規定の強度評価を実施し、許容限界に対する定格荷重の裕度として、許容応力に対する発生応力の裕度を整理する。

7.2.1 メカニカルスナップ

表8 J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度（メカニカルスナップ）

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ A S の評価結果					許容応力状態Ⅳ A S の評価結果				
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
SMS-01	1	六角ボルト					六角ボルト				
SMS-03	3	六角ボルト					六角ボルト				
SMS-06	6	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-1	10	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				
SMS-3	30	ボールねじ					ボールねじ				
SMS-6	60	コネクティングチューブ					ベアリング押さえ				
SMS-10	100	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-16	160	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-25	250	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-40	400	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				
SMS-60	600	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				

注記*：最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次+二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（14/22）

7.2.2 オイルスナツバ

表9 J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度（オイルスナツバ）

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ _{A S} の評価結果					許容応力状態Ⅳ _{A S} の評価結果				
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
SHP-03	3	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-06	6	アダプタ					アダプタ				
SHP-1	10	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-3	30	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-6	60	イーヤ					コンロッド				
SHP-10	100	イーヤ					イーヤ				
SHP-16	160	イーヤ					イーヤ				
SHP-25	250	ターンバックル					ターンバックル				

注記*：最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次+二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（15/22）

7.2.3 ロッドレストレイント

表10 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度（ロッドレストレイント）

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ A S の評価結果					許容応力状態Ⅳ A S の評価結果				
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
RSA-06	9	パイプ (全長座屈)					パイプ (全長座屈)				
RSA-1	15	パイプ (全長座屈)					パイプ (全長座屈)				
RSA-3	45	パイプ (全長座屈)					ピン				
RSA-6	90	スヘリカルアイボルト					スヘリカルアイボルト				
RSA-10	150	スヘリカルアイボルト					スヘリカルアイボルト				
RSA-16	240	スヘリカルアイボルト					スヘリカルアイボルト				
RSA-25	375	スヘリカルアイボルト					スヘリカルアイボルト				

注記*：最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次+二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（16/22）

7.3 手順3：耐力試験の限界耐力値に対する検討

耐力試験において確認された限界耐力値を踏まえて構造部材及び機能部品の限界耐力値を整理し、限界耐力値に対する定格荷重の裕度を整理する。

7.3.1 メカニカルスナッパ

表11 耐力試験において確認された限界耐力値に対する定格荷重の裕度（メカニカルスナッパ）

型式	① 定格 荷重 (kN)	電共研				JNES研究			
		② 限界 耐力値 (kN)	②/① 限界耐力値に 対する定格荷 重の裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類	③ 限界 耐力値 (kN)	③/① 限界耐力値に 対する定格荷重の 裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類
SMS-01	1	19.0	19.00	六角ボルト	構造部材				
SMS-03	3	18.8	6.26	六角ボルト	構造部材				
SMS-06	6	16.8	2.80	ベアリング押さえ	構造部材				
SMS-1	10	53.9	5.39	コネクティング チューブ	構造部材				
SMS-3	30	75.3	2.51	アンギュラー玉軸受	機能部品				
SMS-6	60	170.6	2.84	ベアリング押さえ	構造部材				
SMS-10	100	224.5	2.24	ベアリング押さえ	構造部材				
SMS-16	160	344.2	2.15	ベアリング押さえ	構造部材				
SMS-25	250	490.3	1.96	ベアリング押さえ	構造部材				
SMS-40	400	941.4	2.35	コネクティング チューブ	構造部材				
SMS-60	600	1353.3	2.25	ダイレクトアタッチ ブラケット	構造部材				

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定 (17/22)

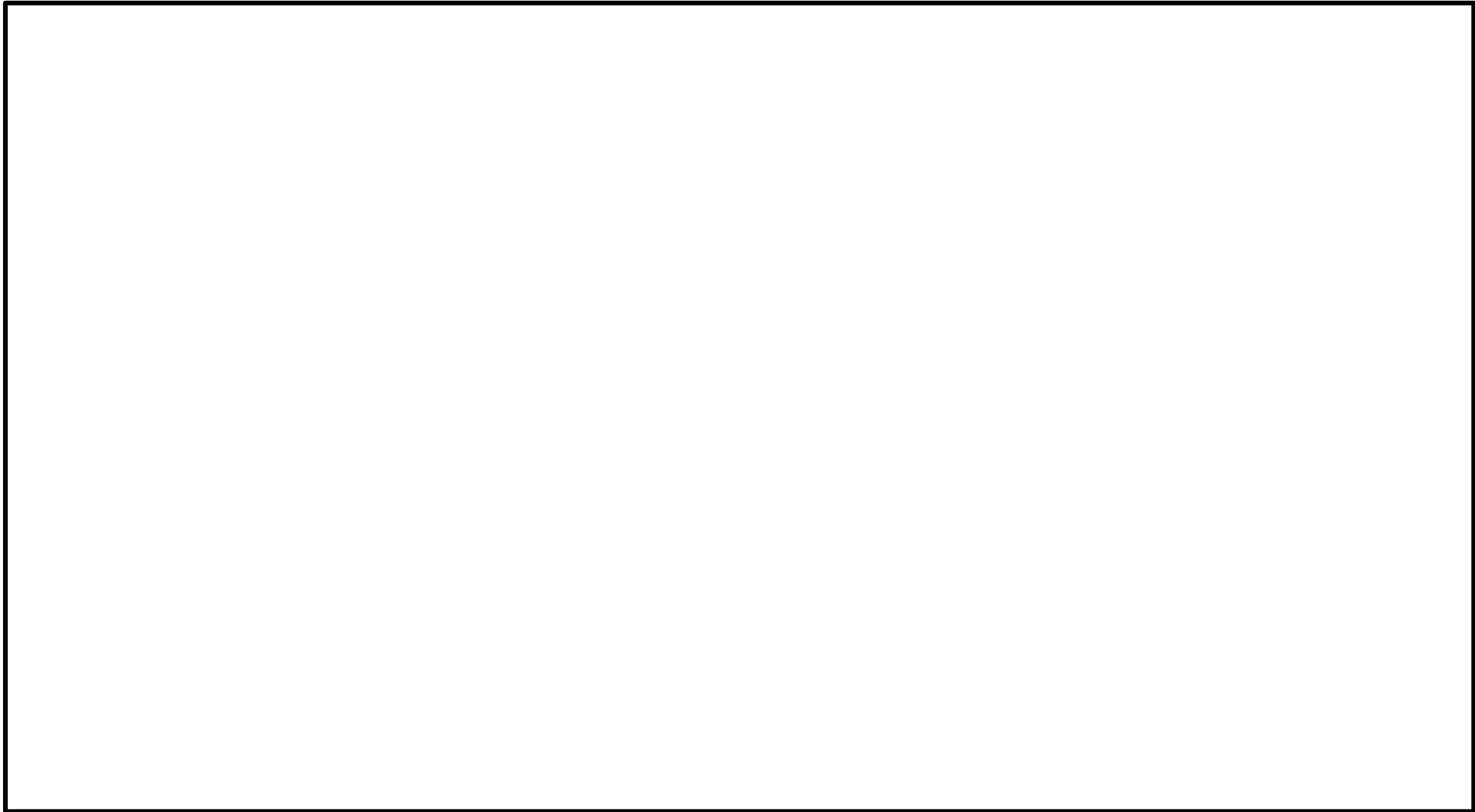
7.3.2 オイルスナップ

表12 耐力試験において確認された限界耐力値に対する定格荷重の裕度 (オイルスナップ)

型式	① 定格 荷重 (kN)	電共研				J N E S 研究			
		② 限界 耐力値 (kN)	②/① 限界耐力値に対 する定格荷重の 裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類	③ 限界 耐力値 (kN)	③/① 限界耐力値に対 する定格荷重の 裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類
SHP-03	3	5.3	1.76	全長座屈	構造部材				
SHP-06	6	14.1	2.35	全長座屈	構造部材				
SHP-1	10	22.7	2.27	全長座屈	構造部材				
SHP-3	30	50.8	1.69	全長座屈	構造部材				
SHP-6	60	141.8	2.36	全長座屈	構造部材				
SHP-10	100	196.1	1.96	全長座屈	構造部材				
SHP-16	160	318.7	1.99	全長座屈	構造部材				
SHP-25	250	514.8	2.05	ターンバックル	構造部材				

7.3.3 ロッドレストレイント

表13 ロッドレストレイント耐力試験結果



7.4 手順4：新規基準値の設定

整理した J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び限界耐力値に対する定格荷重の裕度の最小値以下の数値で新規耐力係数を設定し、定格荷重に乗じることにより、新規基準値を設定する。

新規基準値は、設計の簡便性を考慮して、型式ごとに一律の値で設定することを基本としているが、新規基準値を設定することによる支持装置の評価基準値引き上げの効果も踏まえて設定する。

7.4.1 メカニカルスナッパ、オイルスナッパの新規基準値

7.4.1.1 メカニカルスナッパ

表14 メカニカルスナッパの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数*3		新規基準値*4 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界*1		耐力試験の 限界耐力値*2					
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究	Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S (kN)	Ⅳ A S (kN)
SMS-01	1			19.00					
SMS-03	3			6.26					
SMS-06	6			2.80					
SMS-1	10			5.39					
SMS-3	30			2.51					
SMS-6	60			2.84					
SMS-10	100			2.24					
SMS-16	160			2.15					
SMS-25	250			1.96					
SMS-40	400			2.35					
SMS-60	600			2.25					

注記*1：(J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界) / (定格荷重) により算出

*2：(電共研または J N E S 研究において策定した限界耐力値) / (定格荷重) により算出

*3：構造部材の許容限界に対する定格荷重の裕度及び機能部品の耐力を考慮して設定した係数であって、定格荷重に乗じる係数

*4：(新規耐力係数) × (定格荷重) により算出

7.4.1.2 オイルスナッパ

表15 オイルスナッパの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数*3		新規基準値*4 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界*1		耐力試験の 限界耐力値*2		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究				
SHP-03	3			1.76					
SHP-06	6			2.35					
SHP-1	10			2.27					
SHP-3	30			1.69					
SHP-6	60			2.36					
SHP-10	100			1.96					
SHP-16	160			1.99					
SHP-25	250			2.05					
SN-03	3			3.03					
SN-06	6			2.73					

注記*1：(J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界) / (定格荷重) により算出

*2：(電共研またはJ N E S 研究において策定した限界耐力値) / (定格荷重) により算出

*3：構造部材の許容限界に対する定格荷重の裕度及び機能部品の耐力を考慮して設定した係数であって、定格荷重に乗じる係数

*4：(新規耐力係数) × (定格荷重) により算出

7.4.2 ロッドレストレイントの新規基準値

表16 ロッドレストレイントの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度			新規耐力係数*3		新規基準値*4 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界*1		耐力試験における 耐力確認荷重*2	III A S	IV A S	III A S	IV A S
		III A S	IV A S					
RSA-06	9							
RSA-1	15							
RSA-3	45							
RSA-6	90							
RSA-10	150							
RSA-16	240							
RSA-25	375							

注記*1：(J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界) / (定格荷重) により算出

*2：(耐力試験における耐力確認荷重) / (定格荷重) により算出

*3：構造部材の許容限界に対する定格荷重の裕度及び機能部品の耐力を考慮して設定した係数であって、定格荷重に乗じる係数

*4：(新規耐力係数) × (定格荷重) により算出

8. まとめ

- 島根 2 号機の機器・配管系の支持構造物のうち支持装置の設計では、既工認と同様、地震時における支持装置の発生荷重が J E A G 4 6 0 1 を踏まえてあらかじめ設定した設計上の基準値を満足することを一次評価として確認する。
- 設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を設定し、その基準値を用いた二次評価を評価手順に追加した。
- 今回工認の二次評価において適用する新規基準値は、支持装置の構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能確認に対する荷重評価に基づいて、以下の通り設定した。
 - 構造部材に対する強度評価においては、J E A G 4 6 0 1 に基づく評価方法、耐力試験を踏まえて、評価部位及び評価項目を追加した評価を行い、許容応力状態Ⅲ A S 及びⅣ A S の許容限界を満足するように設定した。
 - 機能部品を含む機能確認に対する荷重評価においては、地震時荷重と限界耐力値との比較を行い、地震時荷重が限界耐力値を下回るように設定した。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙1）

スナバ確性試験の概要

- 支持装置は、支持装置メーカーによる構造部材及び機能部品の市場調達性、製作性等を考慮して標準化された製品であり、製造設計にあたって設定する定格荷重は、構造部材の許容限界や機能部品の限界耐力値に対して十分に余裕のある設計となっている。
- 機能部品を有するメカニカルスナバ及びオイルスナバについて、定格荷重に対する振動応答試験、定格荷重×1.5の荷重に対する過負荷振動試験及び低速走行試験を行い、機能維持を確認している。

表17 確性試験の各試験項目（メカニカルスナバの例）

試験項目	試験内容
振動応答試験 (定格荷重)	
過負荷振動試験 (定格荷重×1.5)	
低速走行試験	
超低速走行試験	
リリース試験*2	
環境試験*3	
耐久試験	

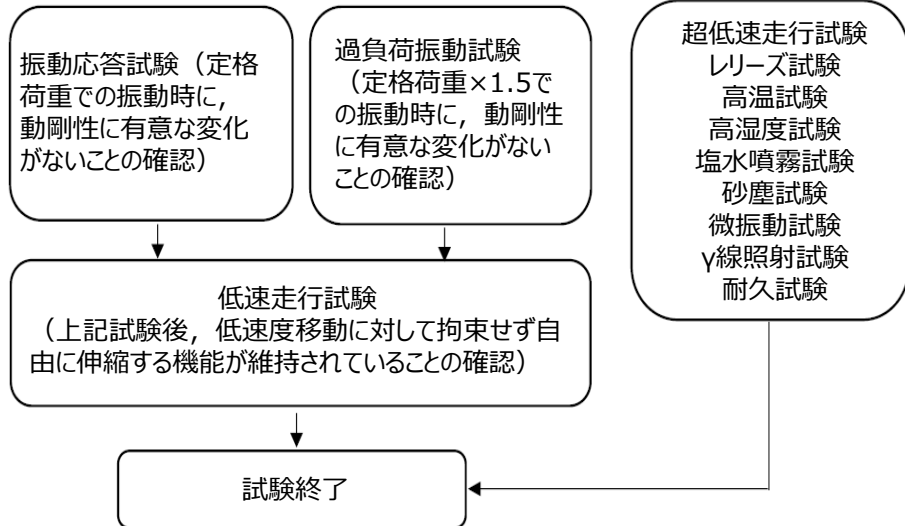


図12 確性試験フロー

* 1：スティックスリップ現象は、機械部品の摩擦面において、静止摩擦力が作用する付着状態と、動摩擦力が作用する滑り状態が交互に発生することによる自励振動現象である。
 * 2：リリース試験は、熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに、地震を想定した素早い変位を与えることで、地震によりブレーキ機構が作動した後の熱移動への追従を確認するものである。
 * 3：各環境試験後に振動試験及び低速走行試験を実施する。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙2） 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格の内容

- 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則
 - 機器・配管系の支持構造物である支持装置は、第5条（地震による損傷の防止）に基づき、「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」が要求される。

- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1）
 - 支持装置の耐震設計では、J E A G 4 6 0 1の「直接支持構造物」に該当するため、配管から伝達される荷重（配管反力）に対する支持装置の発生応力がJ E A G 4 6 0 1に規定される許容限界を満足することが要求される。
 - 耐震評価は、解析による設計を基本として、機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計も可能であること、許容限界内にあることの確認では、荷重による評価として、あらかじめ計算により求めた標準荷重等や試験で確認した許容荷重を用いる場合が認められている。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙3） 支持装置の強度評価方法（構造部材に対する強度評価）

➤ 支持装置（構造部材）の強度評価は、二次評価荷重に対して各強度部位の最弱部に発生する各応力を次の計算式により算出し、許容応力以下であることを確認する。以下にSMS型メカニカルスナッパを例にブラケットの強度評価を示す。その他評価部位においても同様の評価を実施している。

- SMS型メカニカルスナッパ，ブラケットの強度評価の例

- i 引張応力評価

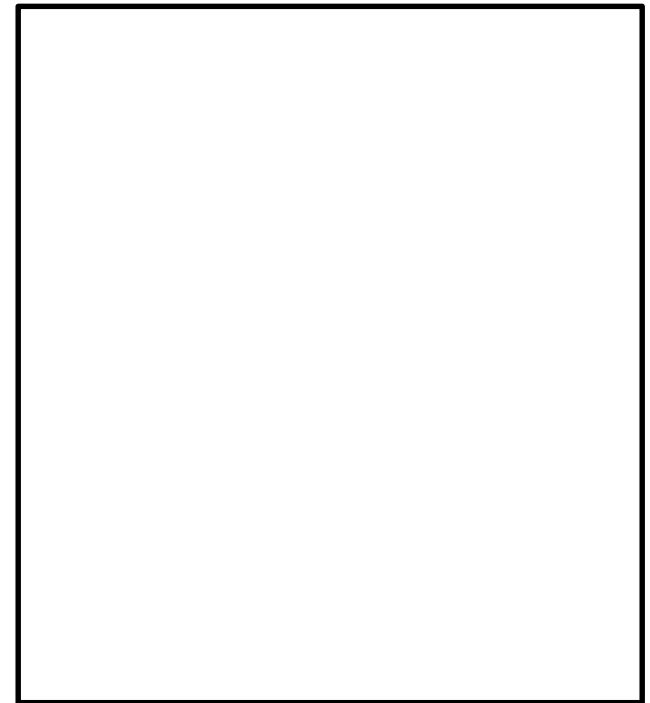
引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

- ii せん断応力評価

せん断応力が許容せん断応力以下であることを確認する。

- iii 支圧応力評価

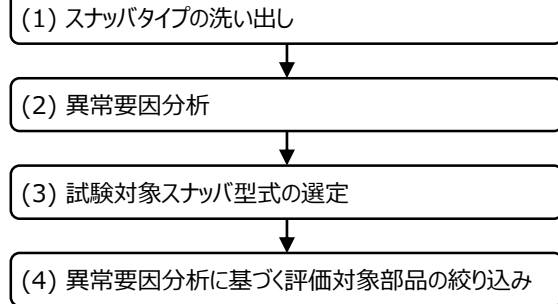
支圧応力が許容支圧応力以下であることを確認する。



スナツバの電力共同研究の概要（1）スナツバ限界耐力評価法の策定方針

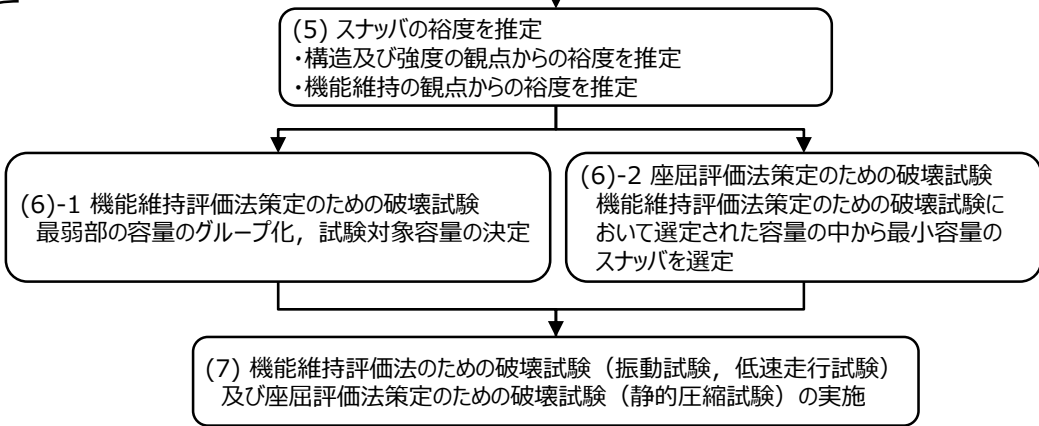
➤ 電共研では、耐震設計評価手法高度化の検討結果として、スナツバの定格荷重を超える荷重に対して、構造強度及び機能維持の面から限界耐力評価法を策定している(平成12年度)。

a. 異常要因分析による評価対象部品の選定

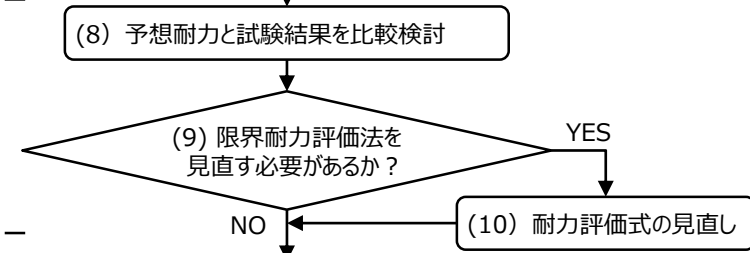


b. 機能を確認する耐力評価法を策定するための破壊試験

- ・ 振動試験及び低速走行試験
- ・ 静的圧縮試験



c. 公式計算等による試験前の予想耐力と試験結果による耐力確認荷重との比較を踏まえた限界耐力評価法の見直し検討



d. スナツバ限界耐力評価法の策定

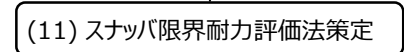


図13 スナツバ限界耐力評価法策定フロー

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナップの電力共同研究の概要（2）異常要因分析に基づく評価項目

- スナップの要求機能として、地震時の機能及び地震後の作動と性能確保の観点で異常要因分析を行い、構造部材の強度評価及び機能部品の機能評価を実施することとした。
- スナップ全長に対する座屈評価を実施することとした。

表18 スナップの異常要因分析

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能
メカニカル スナップ	地震時の機能	配管系応答過大	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材の損傷 <ul style="list-style-type: none"> 構造部材損傷*1 スナップ座屈 機能部品の損傷 <ul style="list-style-type: none"> ボールネジ機能喪失*5 プレーキドラム機能喪失 	スナップ支持機能喪失
	地震後の作動と性能確保	低速走行抵抗増大	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材の損傷 → 構造部材変形*4 機能部品の損傷 → ボールネジ機能喪失*5 	スナップ機能喪失
オイル スナップ	地震時の機能	配管系応答過大	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材の損傷 <ul style="list-style-type: none"> 構造部材損傷*1 スナップ座屈 機能部品の損傷 <ul style="list-style-type: none"> シール性喪失*3 → 油漏れ ポペット弁機能喪失*2 	スナップ支持機能喪失
	地震後の作動と性能確保	低速走行抵抗増大	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材の損傷 → 構造部材変形*4 機能部品の損傷 <ul style="list-style-type: none"> ポペット弁機能喪失 シール性喪失 	スナップ機能喪失

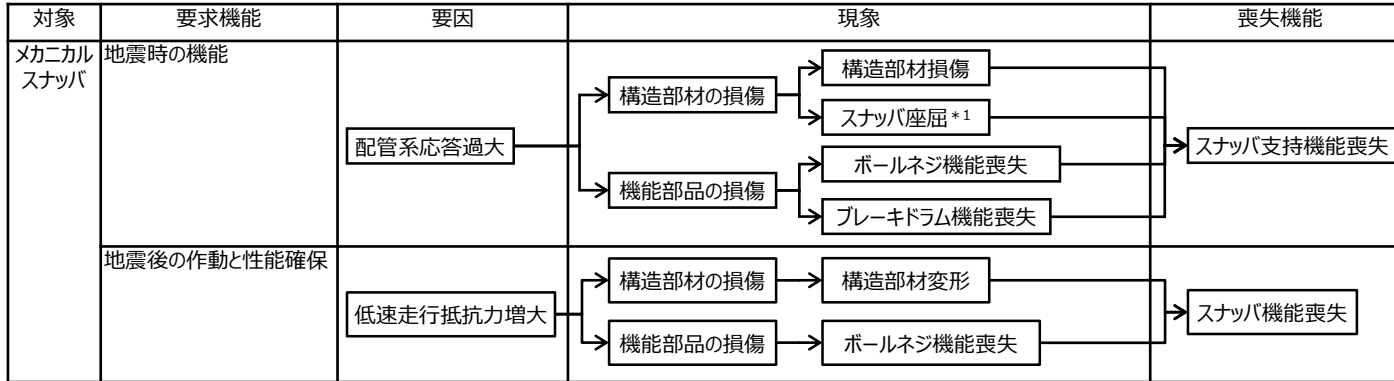
注記*1：各スナップの構造部材の強度評価

- *2：ポペット弁損傷においては、弁のバネ力の変化が考えられる。地震時には所定の抵抗力が得られないことが考えられる。また、地震後においては低速走行時の抵抗増大が考えられる。但し、地震時にはポペット弁のバネ力が変化するような地震荷重は作用しない。
- *3：シール性喪失には、系内リークと系外リークが考えられる。系内リークの場合は、ピストン部のシール性が低下し、所定の抵抗力が得られない事が考えられる。系外リークの場合は、ピストンとロッドカバー間のシール性が低下し、所定の抵抗力が得られない事が考えられる。
- *4：構造部材の変形により、低速走行時の抵抗力を増大させるもの。例えば、ピストンロッド、ロードコラム等の変形
- *5：地震時には、ボールネジ部のボールの圧砕により支持機能喪失が考えられる。地震後においては、低速走行時の抵抗増大が考えられる。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナッパの電力共同研究の概要（3）評価対象部品の選定(1/2)

➤ 異常要因分析を踏まえ、構造部材の強度評価及び機能部品の機能評価の評価対象部品を選定した。



注記*1：座屈評価は、スナッパ全長に対して実施する

表19 SMS型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

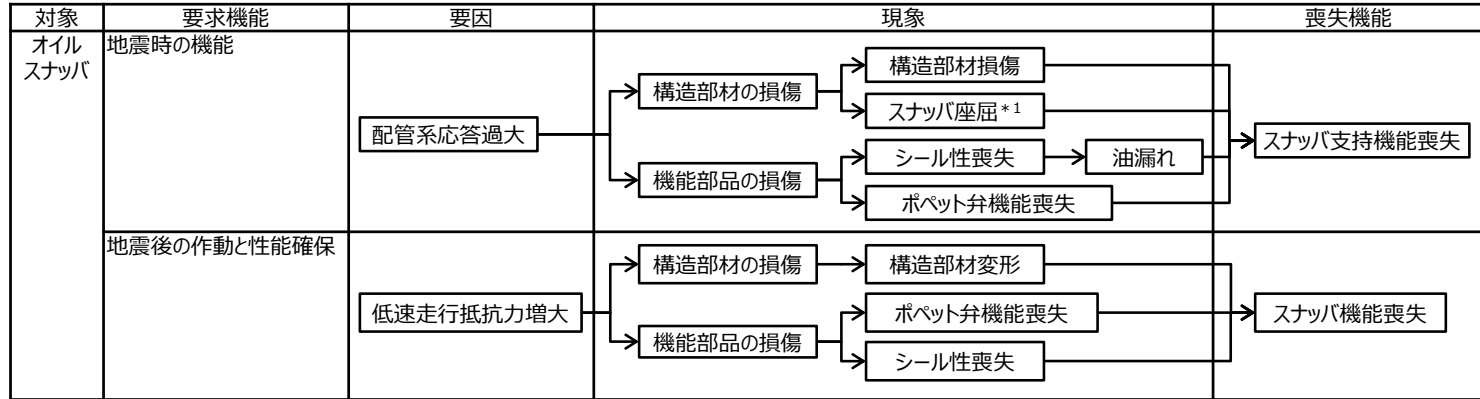
部品名	構造部材	機能部品
②ジャンクションコラム	○	—
③ロードコラム	○	—
④ピン	○	—
⑤コネクティングチューブ	○	—
⑥ケース, ベアリング押さえ及び六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧ユニバーサルボックス	○	—
⑨コネクティングチューブイーヤ部	○	—
⑩ユニバーサルブラケット	○	—
⑪ダイレクトアタッチブラケット	○	—
⑬ベアリングナット	○	—
⑭ボールねじ	—*2	○*2
⑮アンギュラー玉軸受	—	○
⑯球面軸受	—	○

注記*2：ボールねじは機能部品だが比較的単純な構造のため、機能評価及び構造部材と同様の強度評価も実施する。

図14 メカニカルスナッパ構造図(SMS型の例)

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナツバの電力共同研究の概要（3）評価対象部品の選定(2/2)



注記*1：座屈評価は、スナツバ全長に対して実施する

図15 スナツバ異常要因モード

表20 SHP型オイルスナツバの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
②ピストンロッド	○	—
③コネクティングパイプ	○	—
④ピン	○	—
⑤シリンダチューブ	○	—
⑥六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧スヘリカルアイボルト	○	—
⑪ターンバックル	○	—
⑫シリンダカバー	○	—
⑬タイロッド	○	—
⑭アダプタ	○	—
⑯ロッドカバー	○	—
⑰球面軸受	—	○
⑱ポペット弁	—	○*2
シール性*3	—	○

注記*2：ポペット弁損傷においては、弁のばね力の変化が考えられる。地震時には所定の抵抗力が得られないことが考えられる。また、地震後において低速走行時の抵抗力増大が考えられる。ただし、地震時にはポペット弁のばね力が変化するような地震荷重は採用しない。

*3：特定の部位ではないが、部品間のシール部についての評価を項目として追加している。

図16 オイルスナツバ構造図(SHP型の例)

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナバの電力共同研究の概要（4）試験内容

- 機能維持評価法策定のための破壊試験
 - 地震時の機能維持確認として振動試験を行い、動剛性が確保されていることを確認する。加振荷重を段階的に増加させ、機能が維持できなくなるまで実施する。
 - 地震後の機能維持確認として低速走行試験を行い、熱膨張に伴う配管移動を拘束しないことを確認する。試験は、振動試験後に実施する。
 - 試験対象は、事前予測した最小裕度部品が同じ型式を分類して選定した。
- 座屈評価法策定のための破壊試験
 - 静的圧縮試験を行い、スナバ本体が座屈するまで実施する。
 - 試験対象は、試験装置の制約から最小容量のものを選定した。

表21 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SMS型メカニカルスナバ)

グループ	型式	最小裕度部品
1	SMS-01,03	六角ボルト
2	SMS-06,3,16	ボールねじ
3	SMS-1	コネクティングチューブ
4	SMS-6	ベアリングナット（せん断）
5	SMS-10,25~60	ダイレクトアタッチブラケット（ピンせん断） ユニバーサルブラケット（ピンせん断）

表22 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SN型オイルスナバ)

グループ	型式	最小裕度部品
1	SN-03,06,1	ロッドエンド（イーヤ引張）
2	SN-3	コネクティングパイプ（溶接部せん断）
3	SN-6,10	アダプタ部（溶接部せん断）
4	SN-16,25	ダイレクトイーヤ（せん断）

表23 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SHP型オイルスナバ)

グループ	型式	最小裕度部品
1	SHP-03,06,10,40,60	シール性
2	SHP-1,3,6	アイボルト, コネクティングパイプ（イーヤ引張）
3	SHP-16,25	ターンバックル（溶接部せん断）

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4） スナップの電力共同研究の概要（5）試験方法（1/2）

➤ 振動試験装置の概要

加振機からスナップの軸方向の加振力を付加し、荷重センサで荷重・変位を記録する。

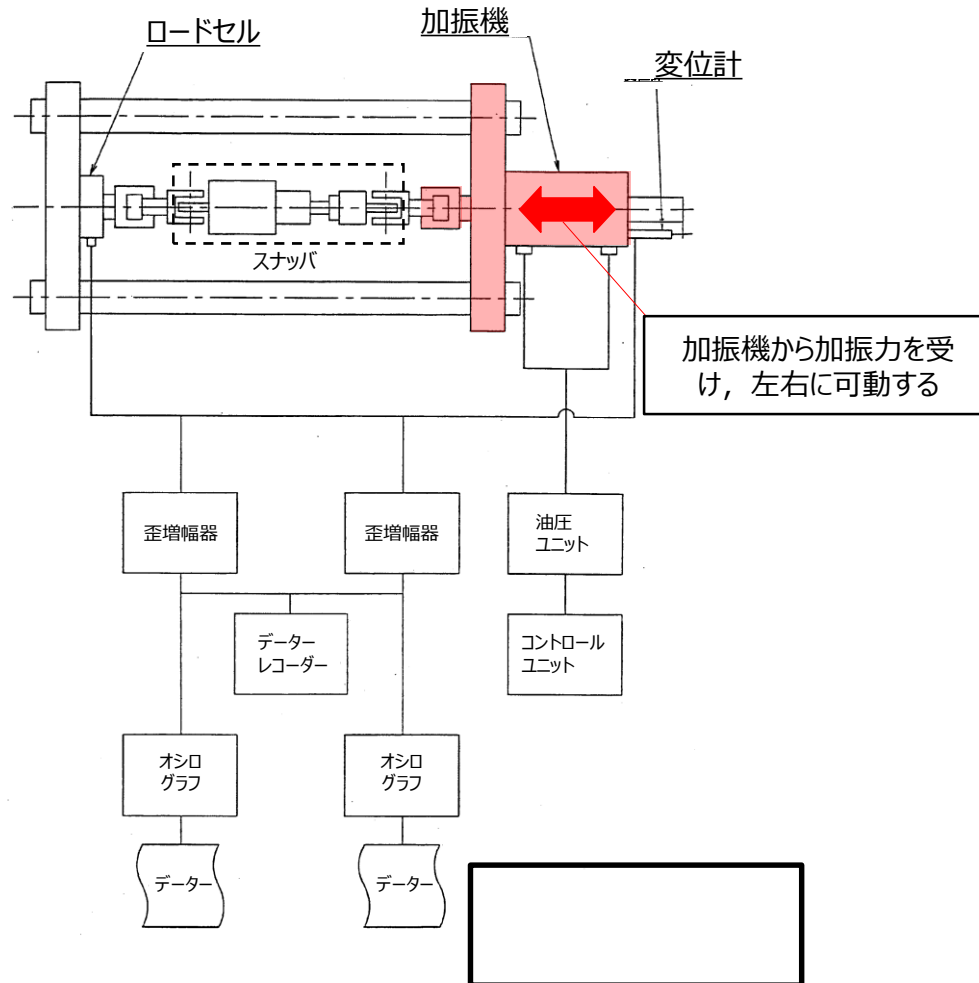


図17 振動試験装置の概要

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナバの電力共同研究の概要（5）試験方法（2/2）

➤ 動剛性の確認方法

振動試験から得られる荷重・変位特性(下図参照)から動剛性を算出し、必要動剛性が確保されているかを確認した。

動剛性 =

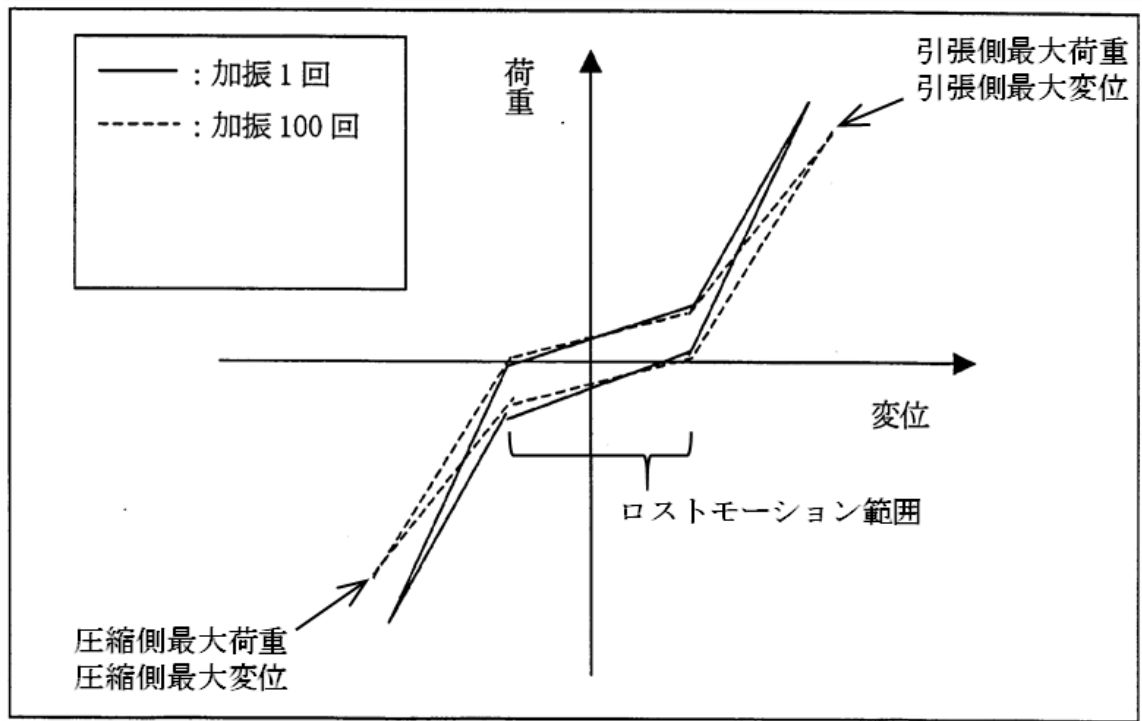


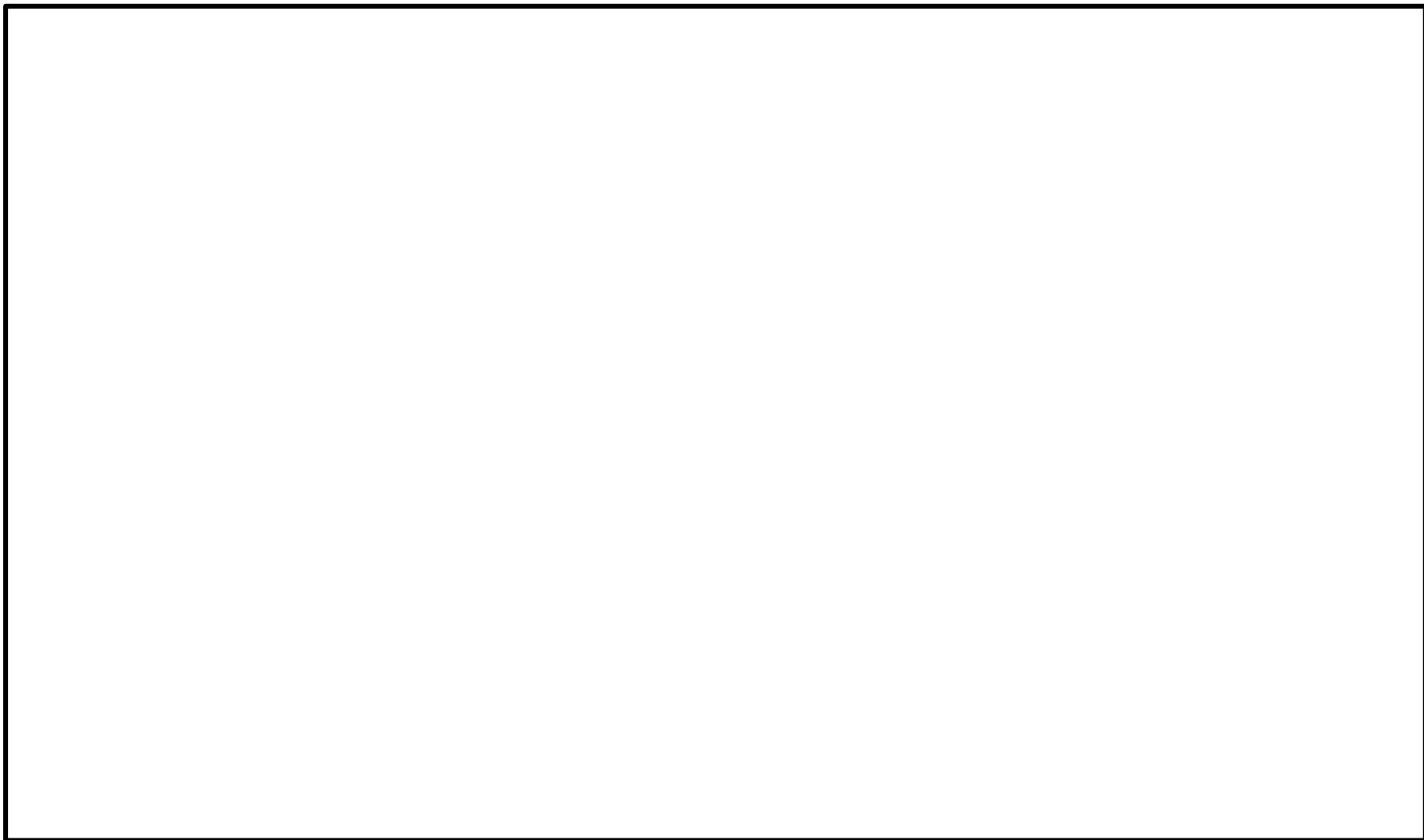
図18 スナバの荷重・変位特性イメージ

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナバの電力共同研究の概要（6）試験結果

- 機能維持評価及び座屈評価に係る試験前の予想耐力に対して、試験結果から確認された耐力確認荷重を以下に示す。
- 耐力確認荷重とは、破損又は機能喪失が確認される前の試験条件(機能維持されている状態)における最大荷重である。

表24 試験結果のまとめ表



【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙4）

スナッパの電力共同研究の概要（7）限界耐力評価法による限界耐力値

- 電共研における試験結果を踏まえて策定された限界耐力評価法に基づく、機能部品を含むスナッパの機能維持が確認できる限界耐力値を以下に示す。
- なお、限界耐力値は、耐力確認荷重(試験結果)に対して余裕がある。

表25 電共研における耐力確認荷重と限界耐力値

型式	定格荷重 (kN)	耐力確認荷重 (kN)	限界耐力値 (kN)	最小裕度部位	最小裕度 部品の分類	限界耐力値 ／定格荷重	耐力確認荷重 ／限界耐力値
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材	19.00	—
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材	6.26	1.59
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押さえ	構造部材	2.80	—
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチューブ	構造部材	5.39	1.04
SMS-3	30	94.2	75.3	アンギュラー玉軸受	機能部品	2.51	1.25
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押さえ	構造部材	2.84	1.11
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押さえ	構造部材	2.24	1.08
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押さえ	構造部材	2.15	—
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押さえ	構造部材	1.96	—
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチューブ	構造部材	2.35	—
SMS-60	600	—	1353.3	ダイレクトアタッチブラケット	構造部材	2.25	—
SHP-03	3	17.4	5.3	全長座屈	構造部材	1.76	3.28
SHP-06	6	—	14.1	全長座屈	構造部材	2.35	—
SHP-1	10	—	22.7	全長座屈	構造部材	2.27	—
SHP-3	30	78.4	50.8	全長座屈	構造部材	1.69	1.54
SHP-6	60	—	141.8	全長座屈	構造部材	2.36	—
SHP-10	100	—	196.1	全長座屈	構造部材	1.96	—
SHP-16	160	523.1	318.7	全長座屈	構造部材	1.99	1.64
SHP-25	250	—	514.8	ターンバックル	構造部材	2.05	—
SN-03	3	53.4	9.1	全長座屈	構造部材	3.03	5.86
SN-06	6	—	16.4	全長座屈	構造部材	2.73	—
SN-1	10	—	26.2	全長座屈	構造部材	2.62	—
SN-3	30	109.7	70.6	全長座屈	構造部材	2.35	1.55
SN-6	60	144.1	125.5	タイロッド（シール性）	機能部品	2.09	1.14
SN-10	100	—	205.9	ジャンクションコラムアダプタ	構造部材	2.05	—
SN-16	160	409.1	321.6	タイロッド（シール性）	機能部品	2.01	1.27
SN-25	250	—	465.8	ダイレクトイーヤ	構造部材	1.86	—

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙5）

スナバのJNES研究の概要（1）電共研との対比（1/2）

- JNESでは、平成21～22年度にスナバの耐力評価手法構築を目的とした研究が実施されている。
- 基本的な検討の手順は、電共研と同等であり、結果として得られた耐力値も同等のものであることから、電共研による知見が妥当であると判断した。

表26 電共研の限界耐力値とJNES研究における耐力値及び耐力確認荷重との比較（メカニカルスナバ）

型式	定格荷重 (kN)	電共研				JNES研究				JNES耐力確認荷重／電共研限界耐力値 [C/B]	JNES耐力値／電共研限界耐力値 [D/B]
		耐力確認荷重*1 (kN) [A]	限界耐力値*1 (kN) [B]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重*1 (kN) [C]	耐力値*1 (kN) [D]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材						
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材						
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押さえ*3	構造部材						
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチューブ	構造部材						
SMS-3	30	94.2	75.3	アンギュラ玉軸受*4	機能部品						
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押さえ*3	構造部材						
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押さえ*3	構造部材						
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押さえ*3	構造部材						
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押さえ*3	構造部材						
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチューブ	構造部材						
SMS-60	600	—	1353.3	ダイレクトアタッチブラケット*5	構造部材						

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙5）

スナバのJNES研究の概要（1）電共研との対比（2/2）

表27 電共研の限界耐力値とJNES研究における耐力値及び耐力確認荷重との比較（オイルスナバ）

型式	定格荷重 (kN)	電共研				JNES研究				JNES耐力確認荷重／電共研限界耐力値 [C/B]	JNES耐力値／電共研限界耐力値 [D/B]
		耐力確認荷重*1 (kN) [A]	限界耐力値*1 (kN) [B]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重*1 (kN) [C]	耐力値*1 (kN) [D]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
SHP-03	3	17.4	5.3	全長座屈*2	構造部材						
SHP-06	6	—	14.1	全長座屈*2	構造部材						
SHP-1	10	—	22.7	全長座屈	構造部材						
SHP-3	30	69.3	50.8	全長座屈	構造部材						
SHP-6	60	—	141.8	全長座屈	構造部材						
SHP-10	100	—	196.1	全長座屈	構造部材						
SHP-16	160	388.2	318.7	全長座屈	構造部材						
SHP-25	250	—	514.8	ターンバックル	構造部材						
SN-03	3	20.3	9.1	全長座屈	構造部材						
SN-06	6	—	16.4	全長座屈	構造部材						
SN-1	10	—	26.2	全長座屈	構造部材						
SN-3	30	89.3	70.6	全長座屈	構造部材						
SN-6	60	144.1	125.5	タイロッド（シール性）*3	機能部品						
SN-10	100	—	205.9	ジャンクションコラムアダプタ	構造部材						
SN-16	160	409.1	321.6	タイロッド（シール性）*3	機能部品						
SN-25	250	—	465.8	ダイレクトイヤー*4	構造部材						

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙6）

ばらつきの考え方（1）スナップの個体差

- スナップは精密部品で構成され、品質管理（材料，製作等）が十分実施されている工業製品であることから，スナップの個体差によるばらつきは基本的に小さいと考えられる。
- 下表に示す損傷確認箇所の整理結果では，引張側SHP以外は各型式3体ともに同じ部品が同じ損傷モードにて損傷しており，ばらつきが小さいことを示す結果と考えられる。
- ただし，最大負荷荷重が得られるまで荷重を上げて試験を実施した試験体は限られているため，最大負荷荷重に係るばらつきについて分析することはできないことから，ばらつきの影響は次紙以降（（2）～（3））にて検討した。

表28 電共研の知見 損傷確認箇所の整理

本体型式	供試体 No	損傷確認箇所	損傷を確認した試験ケースの情報			最大圧縮負荷荷重 (kgf)	圧縮側耐力確認荷重 (kgf)
			目標負荷荷重 (kgf)	最大圧縮荷重 (kgf)	判定		
SMS-3	SMS-3-1						
	SMS-3-2						
	SMS-3-3						
SN-3	SN-3-1						
	SN-3-2						
	SN-3-3						
SHP-3	SHP-3-1						
	SHP-3-2						
	SHP-3-3						

ばらつきの考え方（2）構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法

- 下記のとおり，耐力評価式による限界耐力値の設定にあたり十分な余裕を取っていることから，最大負荷荷重に対するばらつきの影響は耐力評価式により設定した限界耐力値に含まれる。
 - 構造部材については試験結果により得られたスナッパの最大負荷荷重から直接的に限界耐力値を定めるのではなく，最大負荷荷重に対して余裕を考慮して設定した耐力確認荷重に対して，安全側に耐力評価式を設定している。
 - 別型式の試験結果も反映して安全側に設定した耐力評価式を用いて構造部材の限界耐力値を算出している。

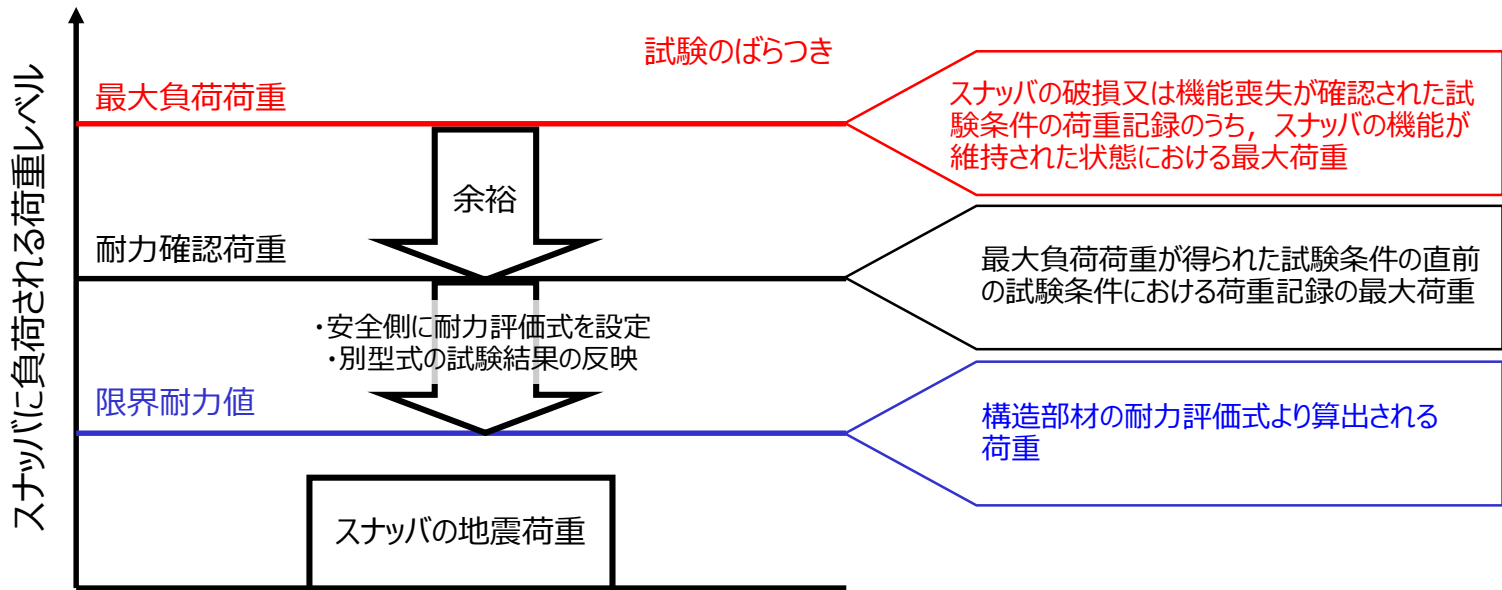


図19 スナッパの構造部材に対する限界耐力値設定のイメージ

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙6）

ばらつきのお考え方（3）機能部品の耐力評価式における補正係数

- 機能部品は、耐力評価式と規格の許容応力により限界耐力値を算出している構造部材と異なり、試験結果から得られた最大負荷荷重に基づき直接的に限界耐力値を設定していることから、試験時のばらつきを考慮する必要がある。

（1）SMS型メカニカルスナップ（アンギュラー玉軸受）

- アンギュラー玉軸受の補正係数は、倍としている。
- 補正係数設定にあたり、電共研の試験結果に加えて類似の試験結果としてJNES研究を参照している。また、補正係数設定にあたっては、標準偏差の2倍を減じることによってばらつきを考慮している。

表29 標準スラスト荷重，最大負荷荷重及び荷重比

型式	試験	(A) 標準スラ スト荷重 (kN)	(B) 最大負荷 荷重 (kN)	比率 (B)/(A)
SMS-03	電共研			
SMS-1	電共研			
SMS-10	電共研			
	J N E S			
SMS-25	J N E S			
平均値				
標準偏差値 (σ)				
平均値-2σ				

（2）SHP型オイルスナップ（シール性）

- バックアップリングを使用していない型式であるSHP-03及びSHP-06のシール性の補正係数は倍としている。
- シール性は補正係数 (倍) に対応する荷重において、損傷が確認されなかったことから、設定した補正係数に対し一定の余裕があることが推測される。
- 損傷を確認した“座屈”においては、次項（4）で示す通り、複数の試験結果に基づき補正係数を設定している。

表30 バックアップリングを使用していない型式のシール性の耐力値の検討

型式	電共研 試験での 供試体 No	シール性 予測耐 力 (kgf)	耐力確 認荷重 (kgf)	限界耐力 (kgf)		
				シール性	最小裕度部位	
					部位	耐力値

注記*：SHP-03の耐力確認荷重に基づき、予想耐力を倍した値

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙6）

ばらつきの考え方（4）スナッパ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

- スナッパ全体の座屈の補正係数は、①全長が短くターンバックル部が中央に近いもの、②全長が長くターンバックル部が端に近いもので分類し、それぞれ□倍、□倍と設定している。
- スナッパ全体の座屈の補正係数については、静的座屈試験及び加振試験の結果から設定している。また、加振試験については、電共研で実施した加振試験に加え、電共研以前に実施された加振試験結果も整理し、補正係数を設定している。以上のように、複数の試験体における試験結果から補正係数を設定しており、ばらつきを考慮した設計となっている。

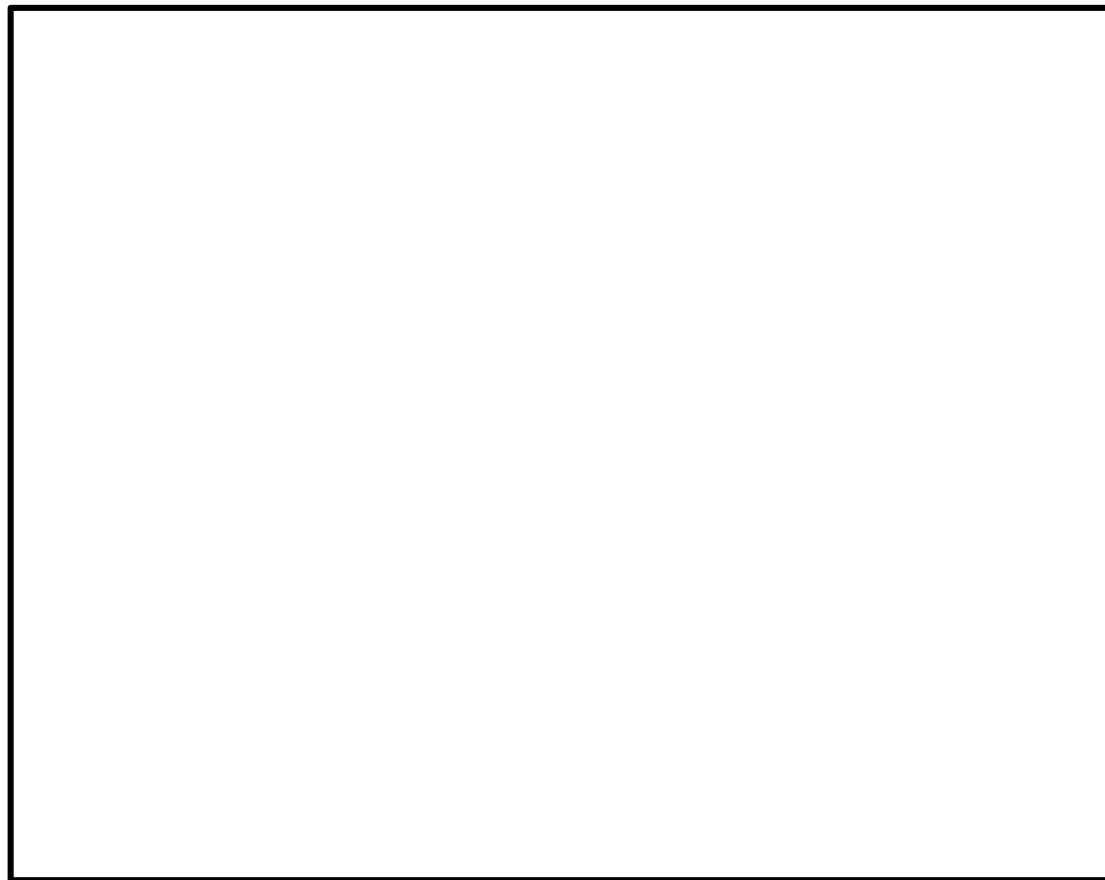


図20 電共研及び電共研以前に実施されたオイルスナッパの座屈試験結果

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙7）

ロッドストレイント耐力試験の概要（1）耐力試験の目的及び手順

- ロッドストレイントの耐力試験により、メーカーが従来から使用している設計手法が、ロッドストレイントの許容限界（定格荷重）を超える荷重に対しても適用可能であるかを確認するとともに、ロッドストレイントの限界耐力を確認することで、今回工認で新規に設定したロッドストレイントの基準値（許容荷重）の妥当性を検証する。
- ロッドストレイント限界耐力確認及び新規基準値確認のための検討フローを示す。ロッドストレイントの裕度推定にあたっては、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力体系を用いる。



図21 限界耐力確認及び新規基準値確認の検討フロー
（青字は詳細説明箇所を示す。）

図22 限界耐力評価の再検討方針の概要

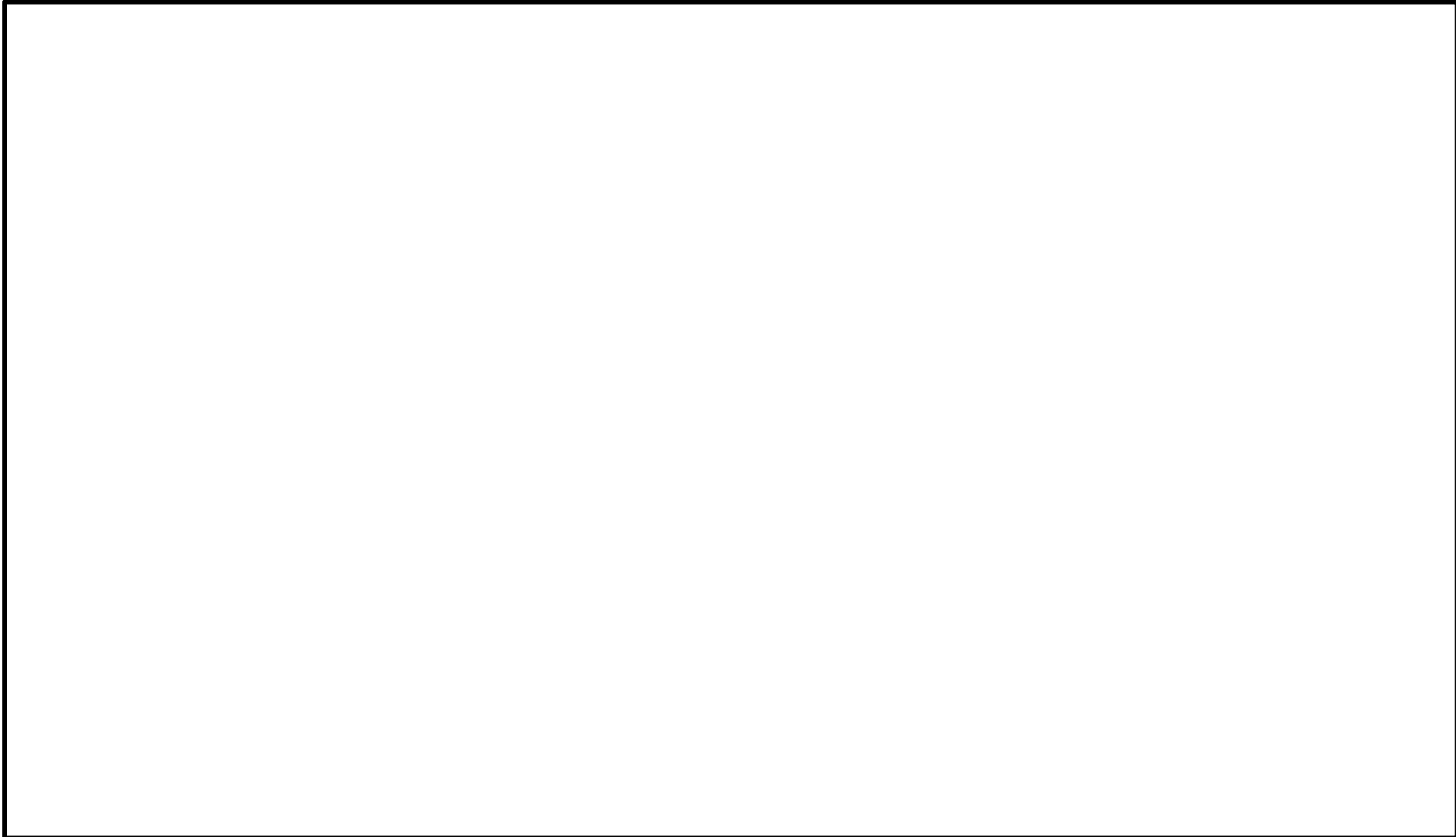
ロッドレストレイント耐力試験の概要（2）耐力試験における評価対象選定

- 島根2号機における使用実績を調査し、特に地震動の増加が懸念される箇所であるSクラス及びS s 機能維持範囲に設置されるロッドレストレイントの型式を抽出した。
- ロッドレストレイントの耐力試験における評価項目を明らかにするために異常要因分析を実施し、耐力試験における評価対象となる部位を選定した。

- 構造部材の強度評価から、耐力試験における評価対象となる構造部材の予想耐力を推定した上で、座屈を除く裕度（予想耐力／定格荷重）を推定し、各型式で裕度が最小の部品を特定し、最小裕度部品が同じ型式でグループ化を行った。

- 構造部材の強度評価から、耐力試験における評価対象となる構造部材の予想耐力を推定した上で、座屈を含む裕度（予想耐力／定格荷重）を推定した。

- ロッドレストレイントの地震時等における支持機能に係る評価裕度確認のため、定格荷重以上の負荷荷重による加振試験を実施した。



- 加振試験装置の概要を以下に示す。

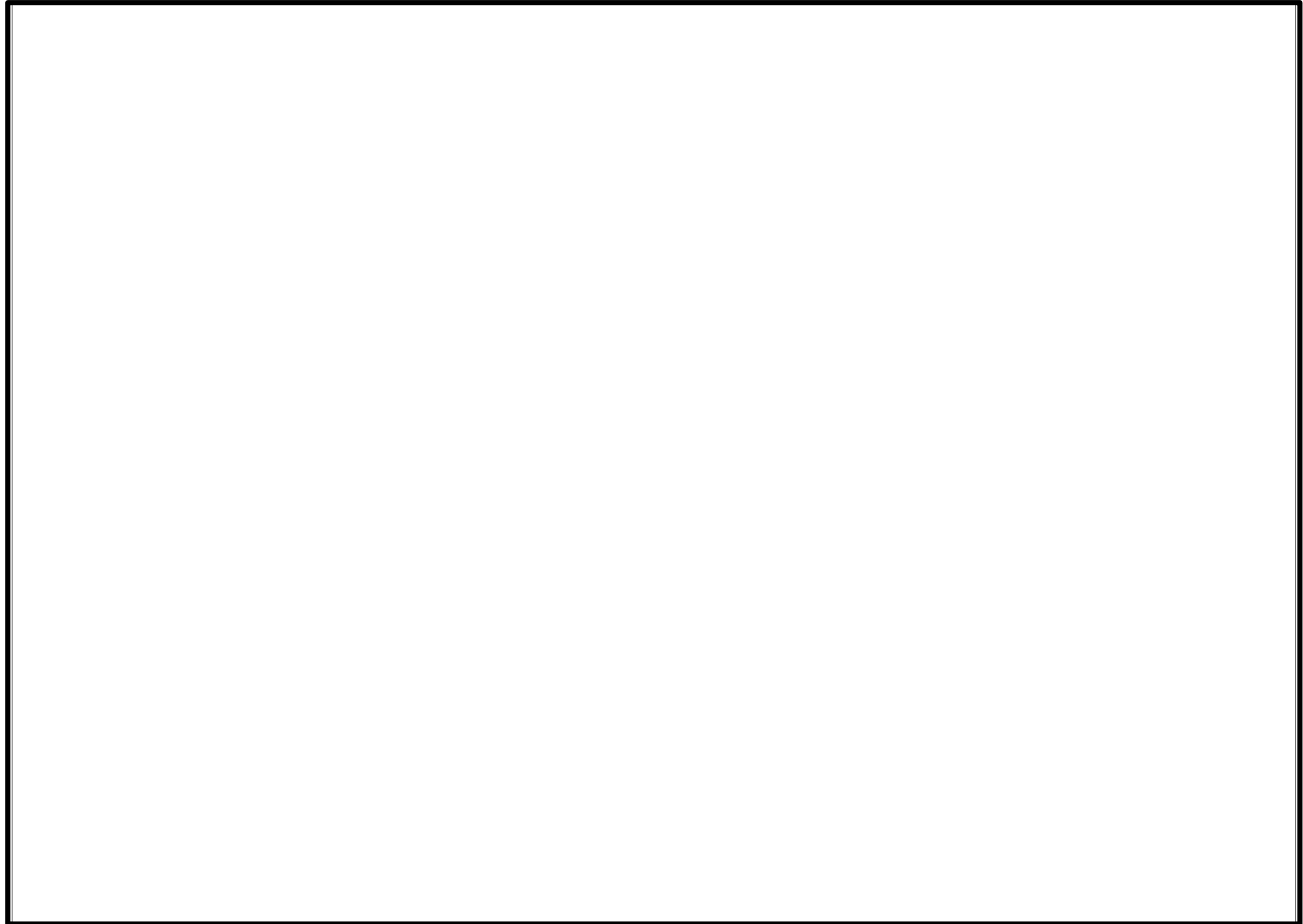


図25 加振試験体系図

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙7） ロッドレストレイント耐力試験の概要（6）耐力試験（座屈）

➤ 試験方法

試験体を試験機に取り付け、圧縮方向に変位を入力し、発生する荷重を記録する。変位の入力は本体が座屈するまで入力する。静的圧縮試験装置の概要を以下に示す。

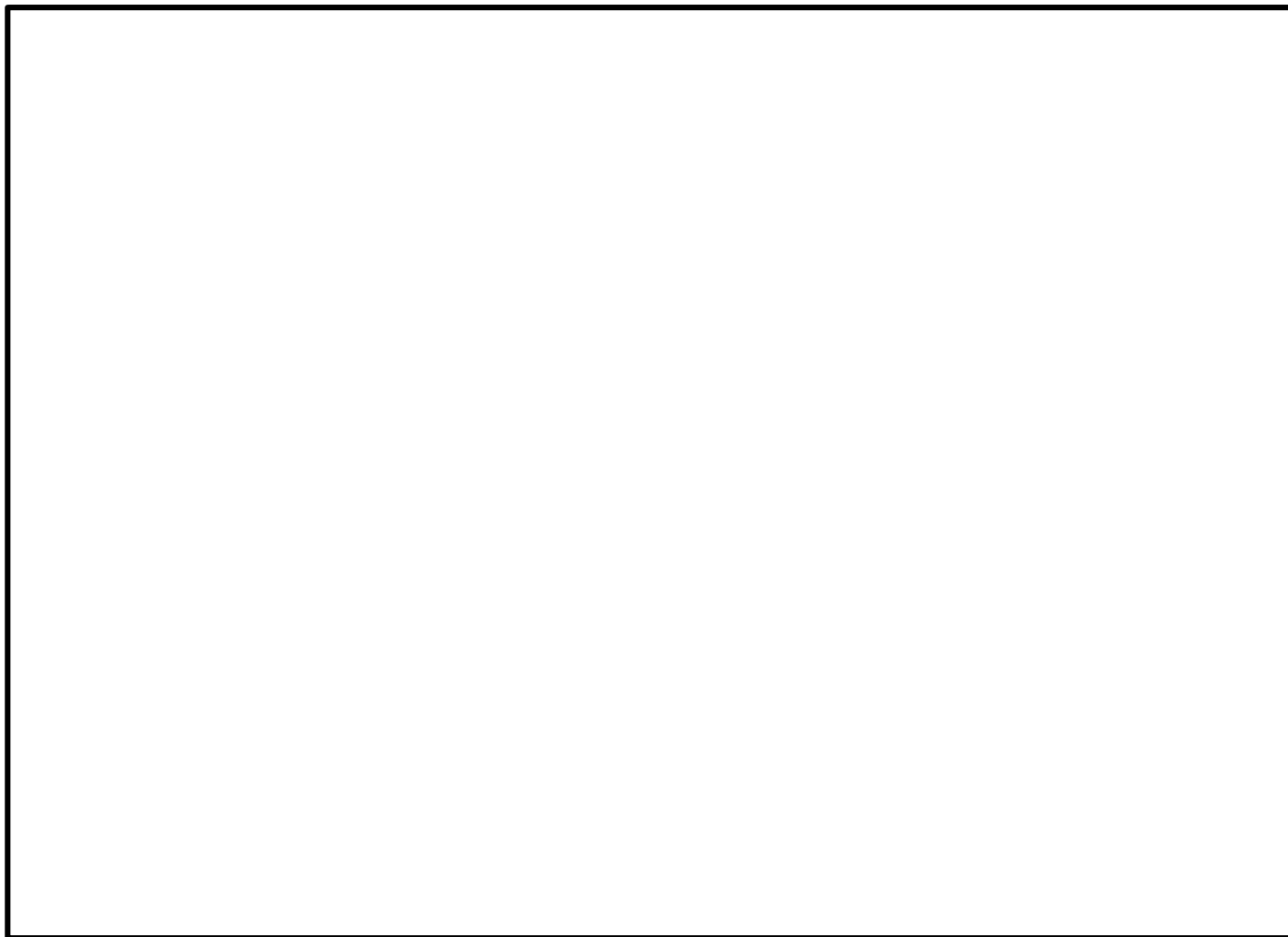
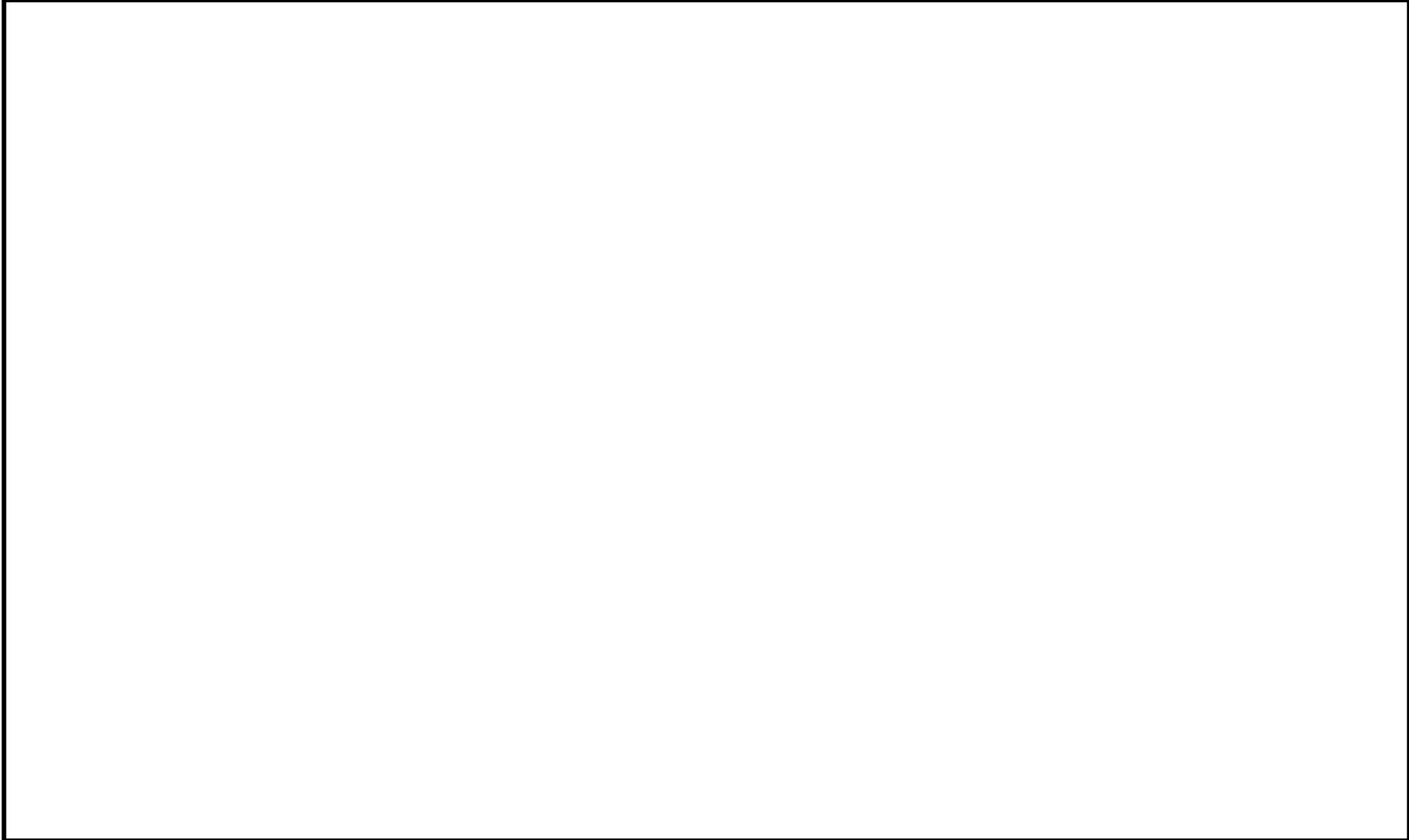


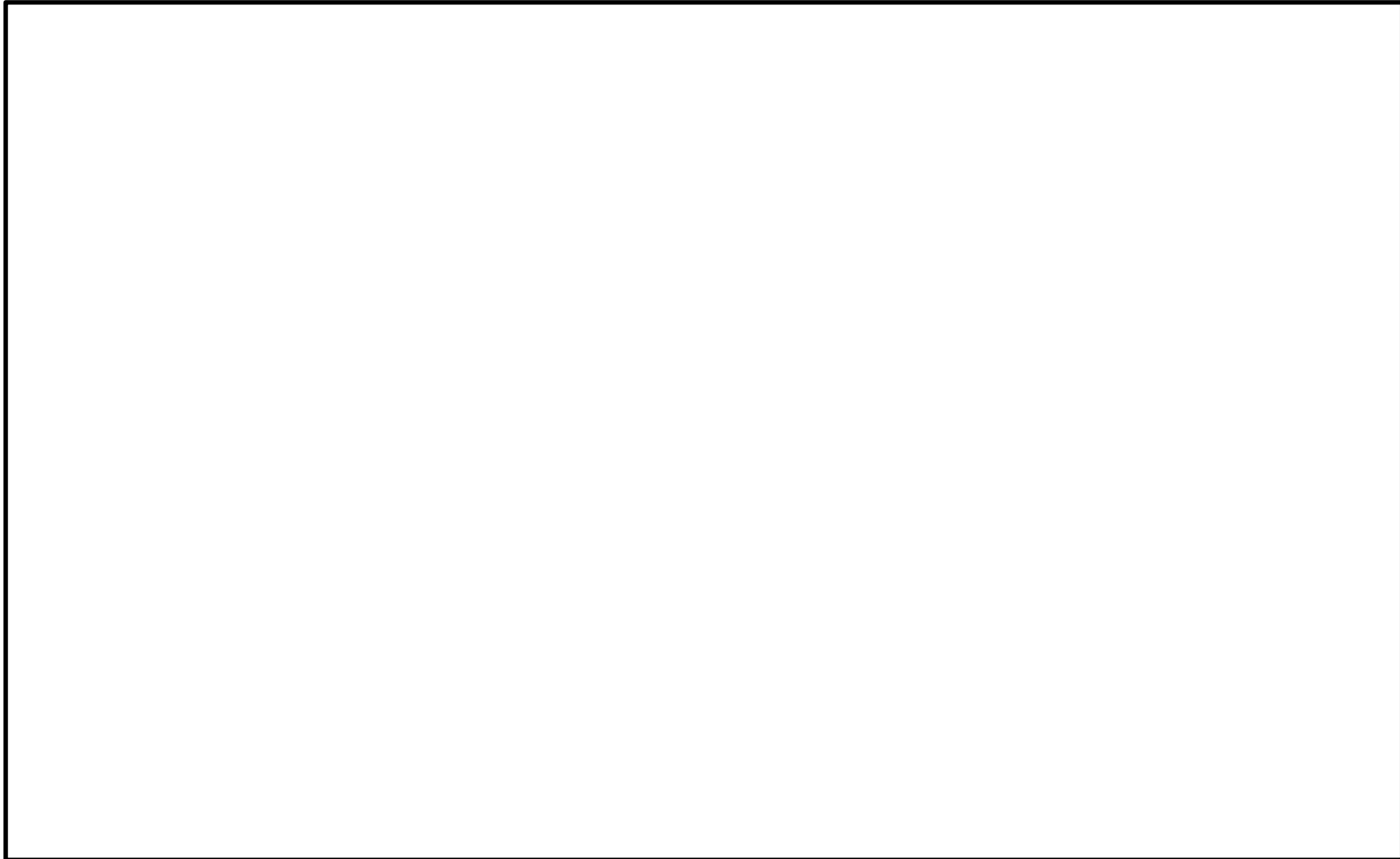
図26 静的圧縮試験装置の概要

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙7） ロッドストレイント耐力試験の概要（7）耐力試験結果

➤ 耐力試験（支持機能評価裕度確認及び座屈評価裕度確認）の結果を以下に示す。



➤ 加振試験における時刻歴荷重波形の例を以下に示す。



【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙7）

ロッドストレイント耐力試験の概要（8）耐力試験結果の考察

- 予想耐力との比較等による耐力試験結果の考察
評価対象部位について、耐力試験結果から得られる耐力確認荷重と予想耐力を比較し、以下のように大別した。



【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙7）

ロッドレストレイント耐力試験の概要（9）二次評価荷重の妥当性確認

耐力試験にて確認した耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度（（7）表の③／①の値）と、J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の比較を以下に示す。

今回工認で適用する新規耐力係数は、いずれの裕度よりも保守的に設定されていることから、新規耐力係数に基づき設定されるロッドレストレイントの二次評価において適用する新規基準値は妥当であることを確認した。

表40 ロッドレストレイント耐力試験結果と新規耐力係数の比較結果

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度			新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		耐力試験における耐力確認荷重	Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S			
RSA-06	9					
RSA-1	15					
RSA-3	45					
RSA-6	90					
RSA-10	150					
RSA-16	240					
RSA-25	375					
RTS-06	9					
RTS-1	15					
RTS-3	45					
RTS-6	90					
RTS-10	150					
RTS-16	240					
RTS-25	375					
RTS-60	900					

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（参考）

島根 2 号機で適用する支持構造物の既工認と今回工認の評価方法の比較

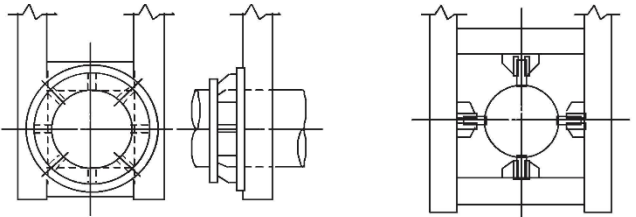
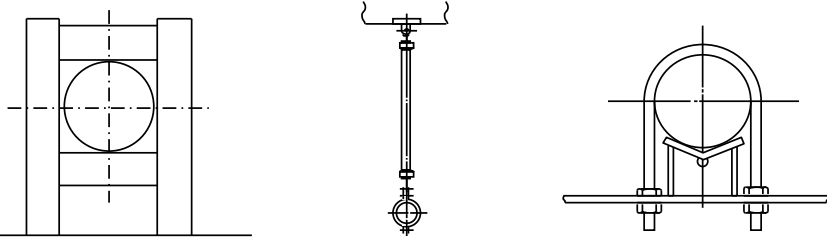

表41 島根 2 号機で適用する支持構造物の既工認と今回工認の評価方法の比較

No.	種別		評価方法	
			既工認	今回工認
1	メカニカルスナッパ		定格荷重評価	定格荷重評価（一次評価）及び新たに設定した許容荷重による評価（二次評価）
2	オイルスナッパ			
3	ロッドレストレイント			
4	スプリングハンガ			
5	コンスタントハンガ			
6	リジットハンガ			
7	粘性ダンパ		—	使用荷重
8	レストレイント	ラグ	ⅢAS/ⅣAS評価	同左
9		Uボルト		
10		支持架構		
11		埋込金物		

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（参考）

支持装置の機能及び用途（1/2）

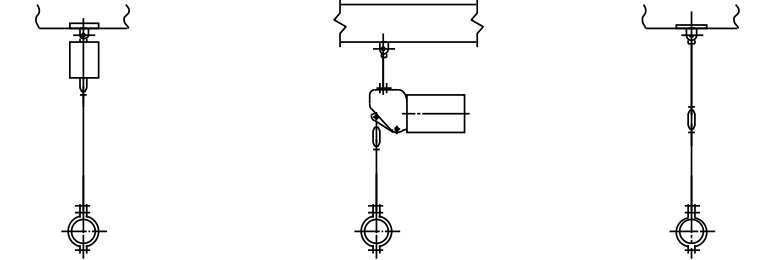
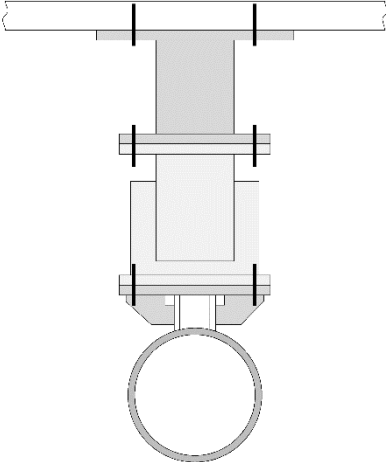
表42 支持装置の機能及び用途（1/2）

支持構造物名称	概略図	機能	用途
アンカ （アンカサポート） （ガイドサポート）	 <p style="text-align: center;">アンカサポート ガイドサポート</p>	地震及び熱による変位，軸まわりの回転を完全に拘束する。 ガイドサポートは，一定方向の移動を許すが軸まわりの回転を拘束する。	固定用サポートとして使用する。また，配管応力解析上の解析モデルの境界として使用する。
レストレイント （架構式レストレイント） （ロッドレストレイント） （Uボルト）	 <p style="text-align: center;">架構式レストレイント ロッドレストレイント Uボルト</p>	地震及び熱による一定方向の変位を拘束する。	配管の回転を許すが変位を防ぐ場合に使用する。
スナップ （オイルスナップ） （メカニカルスナップ）	 <p style="text-align: center;">オイルスナップ メカニカルスナップ</p>	配管の熱膨張のような緩やかな移動に対しては拘束せず，地震時のような急激な荷重発生時に拘束する。	地震等の急激な荷重により生じる応力の低減を目的として使用する。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（参考）

支持装置の機能及び用途（2/2）

表43 支持装置の機能及び用途（2/2）

支持構造物名称	概略図	機能	用途
ハンガ （スプリングハンガ） （コンスタントハンガ） （リジットハンガ）	 <p style="text-align: center;"> スプリングハンガ コンスタントハンガ リジットハンガ </p>	配管の自重を支持する目的で使用する。なお、地震荷重に対する拘束効果はなく、耐震支持機能は有していない。	耐震支持機能を有していないことから、地震応力解析上は考慮されない。
粘性ダンパ （3軸粘性ダンパ）	 <p style="text-align: center;">3軸粘性ダンパ</p>	配管の熱膨張のような緩やかな移動に対しては拘束せず、粘性体の流動抵抗を利用してエネルギーを吸収する。	地震応答を低減させることで、地震等の急激な荷重により生じる応力の低減を目的として使用する。

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[1] 詳細設計申送り 事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力	第1054回審査会合にて説明済
	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	今回説明
	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	次回以降の審査会合にて説明
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	次回以降の審査会合にて説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	今回説明
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】今回説明 【単軸粘性ダンパ】次回以降の審査会合にて説明
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S s に対する許容限界	次回以降の審査会合にて説明
	1-8	設計地下水位の設定	今回説明
	1-9	防波壁	【逆 T 擁壁の改良地盤の解析用物性値】今回説明 【その他】次回以降の審査会合にて説明
	1-10	土石流影響評価	次回以降の審査会合にて説明
	1-11	保管・アクセス（抑止杭）	第1054回審査会合にて説明済
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-13	非常用ガス処理系吸入口の位置変更による影響	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-14	原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用による影響	第1036回審査会合にて説明済
[2] 新たな規制要求 （バックフィット）への 対応事項	2-1	安全系電源盤に対する高エネルギー アーク（HEAF）火災対策	第1054回審査会合にて説明済
	2-2	火災感知器の配置	次回以降の審査会合にて説明

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[3] 設置変更許可 審査時からの設計変 更内容	3-1	ドライウエル水位計（原子炉格納容器床面 + 1.0m）設置高さ の変更	次回以降の会合にて説明
	3-2	格納容器酸素濃度（B系）及び格納容器水素濃度（B系）計 測範囲の変更	第1036回審査会合にて説明済
	3-3	第4 保管エリアの形状変更	次回以降の会合にて説明
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更	次回以降の会合にて説明
[4] その他の詳細設 計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	今回説明
	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響	次回以降の会合にて説明
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体積質量減算の 適用	次回以降の会合にて説明
	4-5	【新規追加】取水槽	次回以降の会合にて説明
	4-6	【新規追加】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明