

島根原子力発電所第2号機

配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定

2022年9月
中国電力株式会社

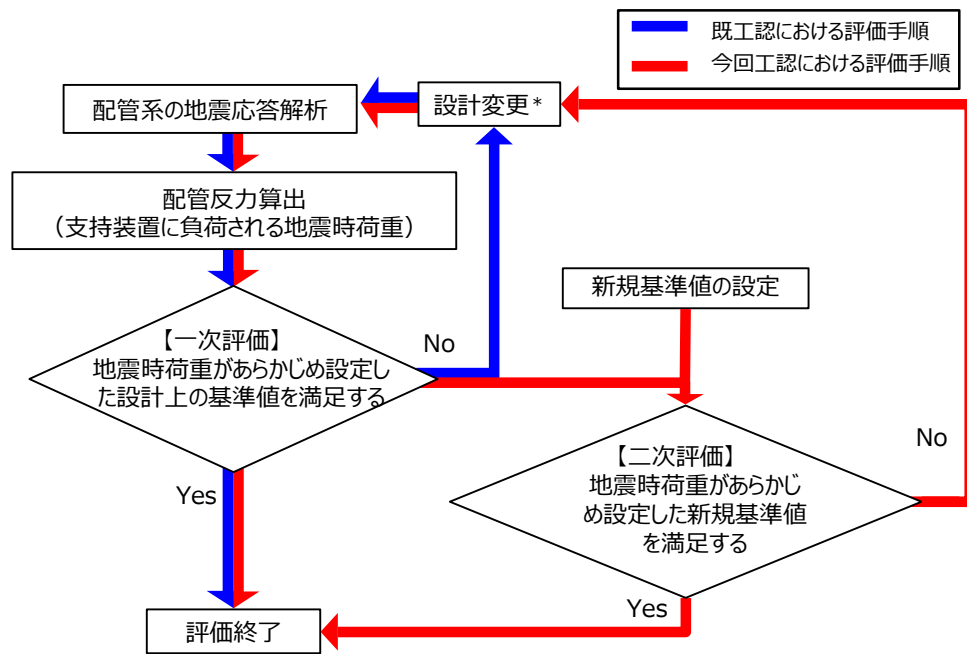
1. はじめに	2
2. 支持装置の構造	3
3. 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び規格要求	7
4. 既工認及び今回工認における支持装置の耐震設計方針	8
5. 今回工認において適用する新規基準値の設定手順及び先行実績との比較	9
6. まとめ	23
別紙1 定格荷重について	24
別紙2 支持装置の強度評価方法（構造部材に対する強度評価）	25
別紙3 スナッパの電力共同研究の概要	26
別紙4 スナッパのJNES研究の概要	35
別紙5 ばらつきの考え方	37
別紙6 ロッドレストレイント耐力試験の概要	41
参考（1）島根2号機で適用する支持構造物の既工認と今回工認の評価方法の比較	51
参考（2）支持装置の機能及び用途	52
参考（3）用語の定義	54

1. はじめに

- 今回工認において、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。）が、一次評価^{No.1}（既工認における評価）を満たさない場合、二次評価^{No.2}を行う。
 一次評価の基準値：定格荷重^{No.3}に単純な係数を乗じて設定した評価基準値（以下「設計上の基準値」という。）
 二次評価の基準値：定格荷重に新規耐力係数^{No.4}を乗じて設定した評価基準値（以下「新規基準値^{No.5}」という。）
- 新規耐力係数は、新規基準値が J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び耐力試験^{No.6}の限界耐力値^{No.7}以下となるよう保守的に設定した。

表1 今回工認の評価

支持装置	許容応力状態	発生荷重	評価基準値	
			一次評価 (既工認評価)	二次評価
メカニカルスナッパ	ⅢAS	S d 地震荷重	定格荷重×1.0	新規基準値 (=定格荷重× 新規耐力係数)
	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×1.0	
	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×1.0	
	ⅣAS	S s 地震荷重	定格荷重×1.2	



注記*：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等を実施する。

図1 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

2. 支持装置の構造 (1/4)

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*。

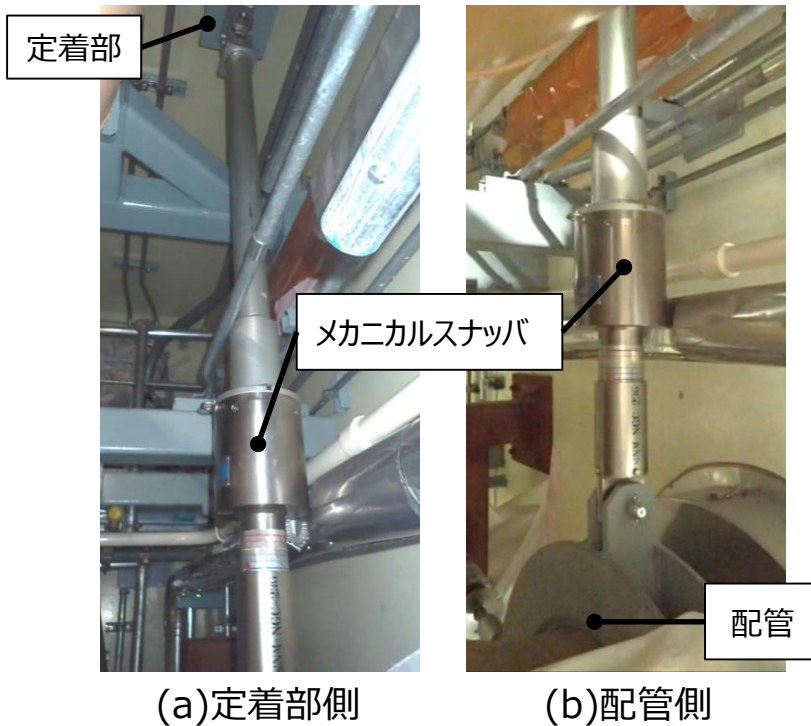


図2 メカニカルスナップの設置例

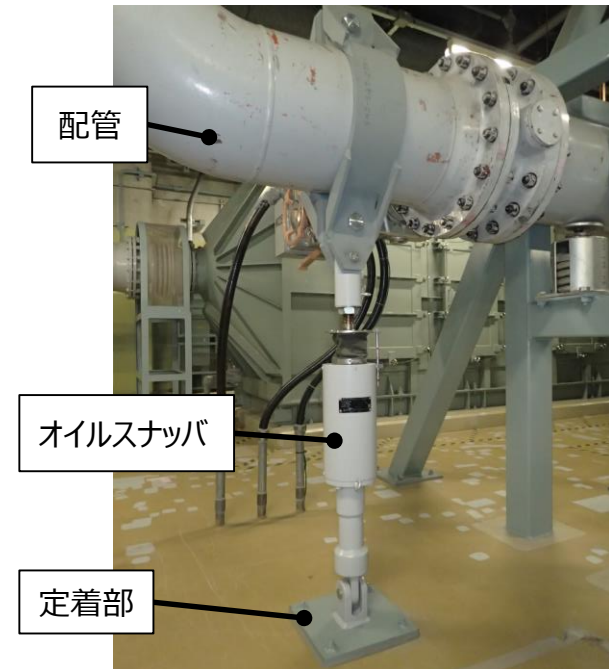


図3 オイルスナップの設置例

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. 支持装置の構造 (2/4)

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。

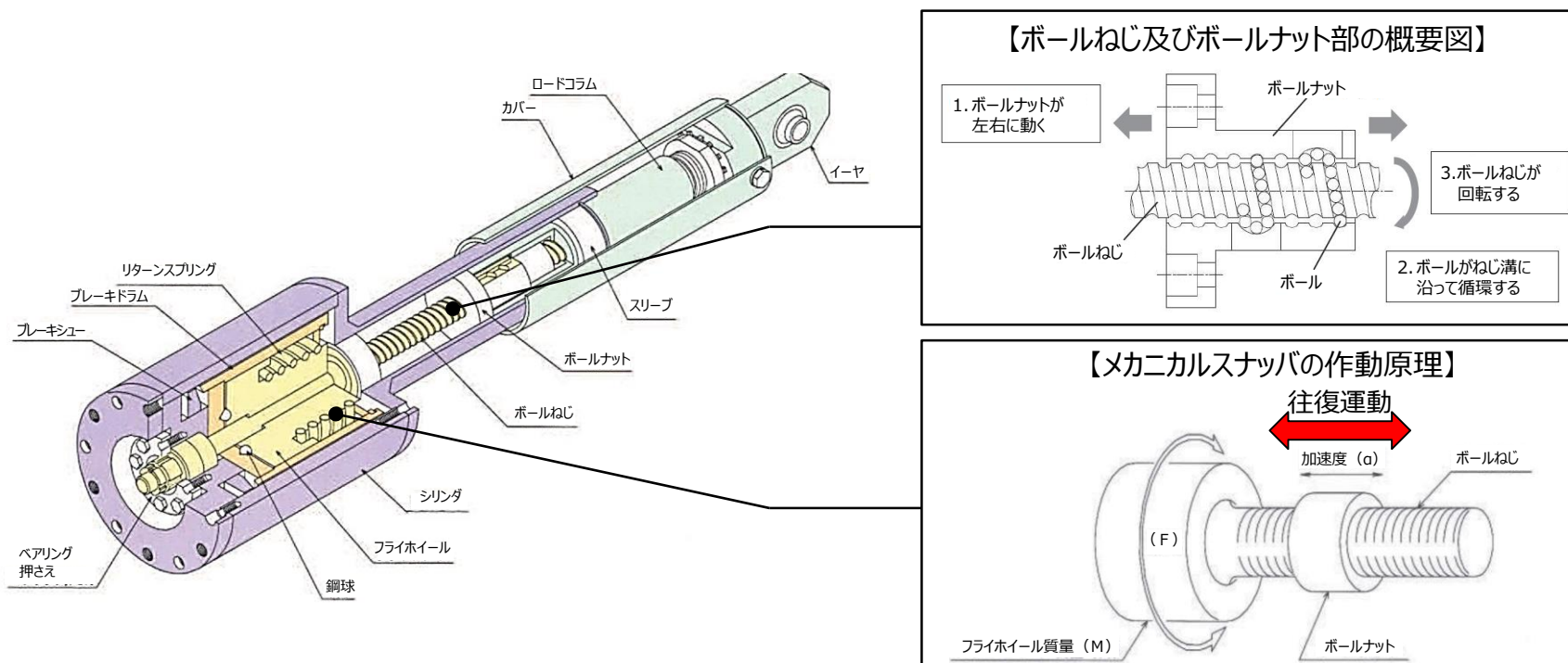


図4 メカニカルスナップの構造概要

2. 支持装置の構造 (3/4)

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。
- 地震時の慣性力のような急速な配管移動は、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。

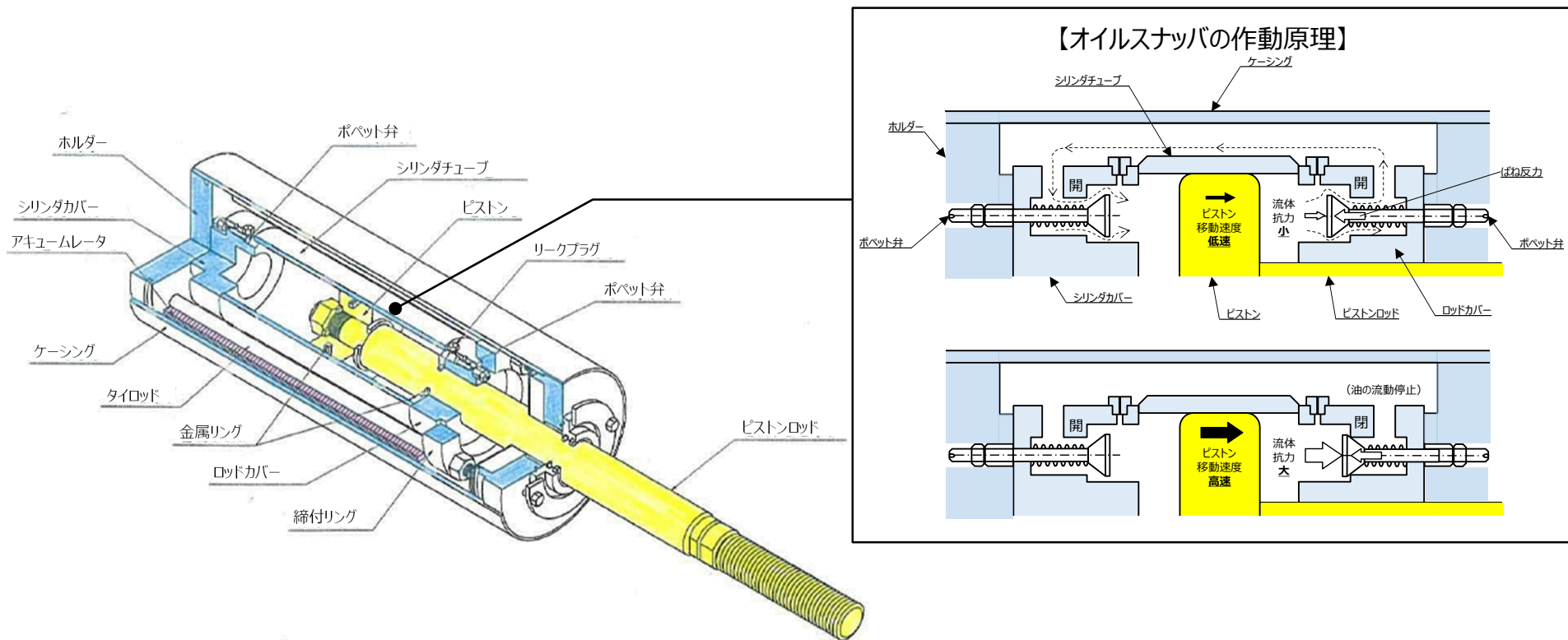


図5 オイルスナップの構造概要

2. 支持装置の構造 (4/4)

2.2 ロッドレストレイントの構造

- メカニカルスナッチャやオイルスナッチャとは異なり，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。

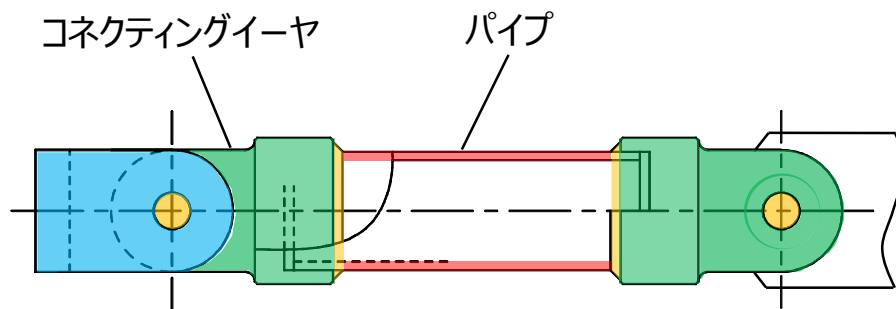


図6 ロッドレストレイントの構造概要

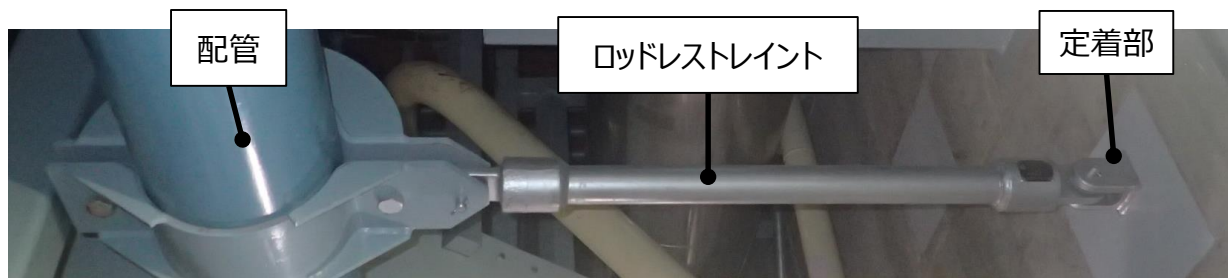


図7 ロッドレストレイントの設置例

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。
 - 強度評価は、応力計算を行って許容応力と比較する解析による設計を基本としているが、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が規定されている。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規定されている。

4. 既工認及び今回工認における支持装置の耐震設計方針

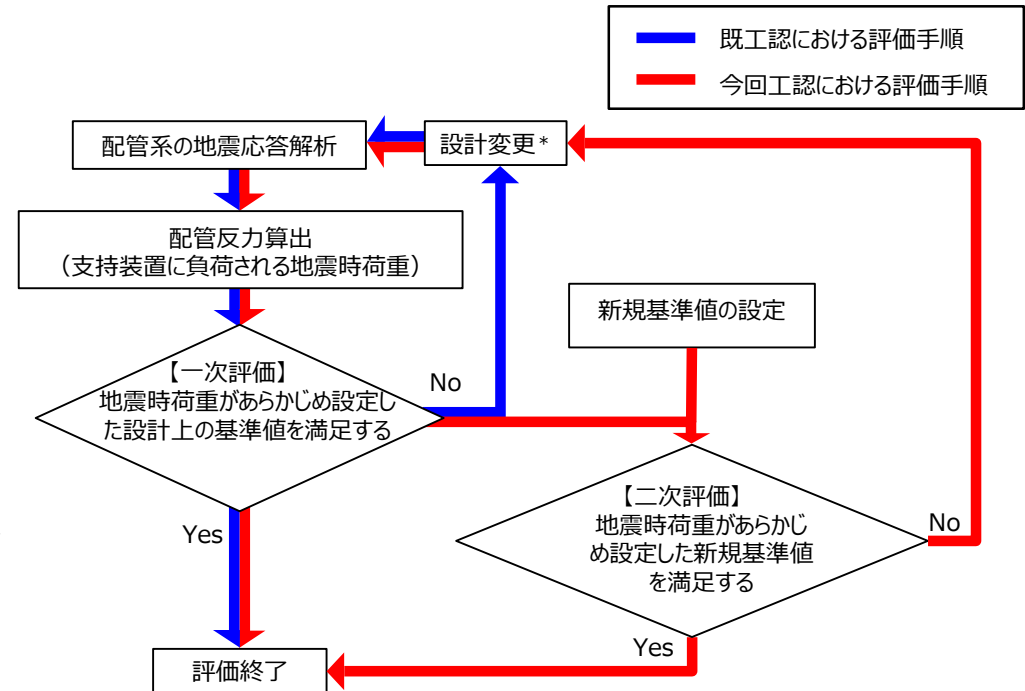
- 既工認における支持装置の耐震設計方針（図8の青線）
 - 配管系の地震応答解析から算出された支持装置に負荷される配管反力（地震時荷重）が、設計上の基準値を満足していることを確認している。
- 今回工認における支持装置の耐震設計方針（図8の赤線）
 - 既工認と同様の評価に加え（一次評価）、支持装置の地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過する場合は、二次評価として、今回工認において新たに設定した新規基準値以下であることを確認する。

【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）の限界耐力値に対する定格荷重の裕度の最小値以下となる新規耐力係数を設定し，定格荷重に新規耐力係数を乗じて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）の耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度の最小値以下となる新規耐力係数を設定し，定格荷重に新規耐力係数を乗じて新規基準値を設定する。



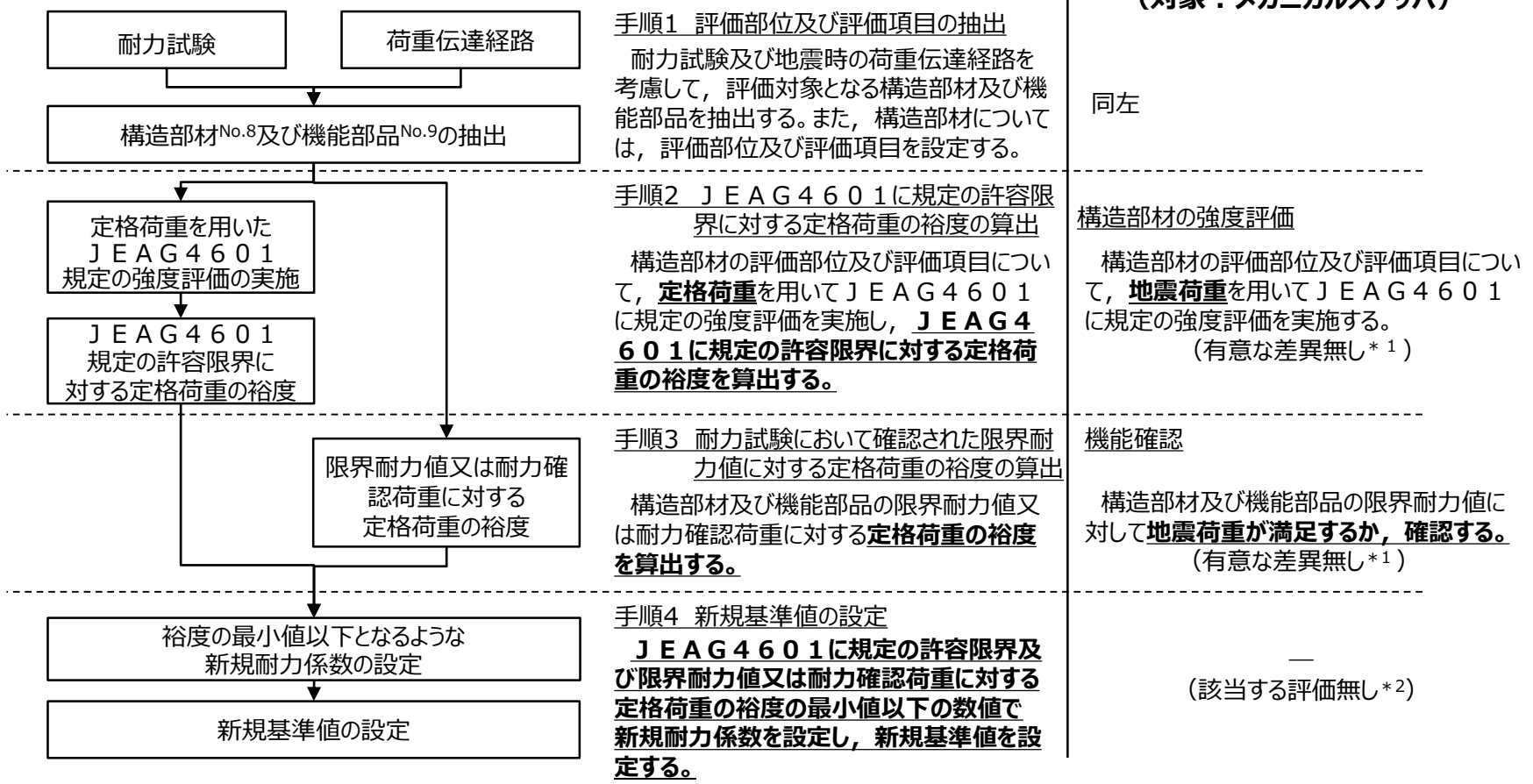
注記*：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等

図8 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

5. 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 (1/14)

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 * 1 : 先行プラント（女川 2 号機）では、支持装置毎に強度評価及び機能確認をする評価手順であるが、島根 2 号機では、新規基準値を設定し、荷重評価をする評価手順である。両プラントの評価手順は異なるが、強度評価及び機能確認の評価手法は同じであることから、有意な差異無しとした。

* 2 : 島根 2 号機では、強度評価及び機能確認に対して一定の裕度を持った新規基準値を設定することにより、保守的かつ合理的な設計を行う。

5. 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 (2/14)

5.1 手順1：評価部位及び評価項目の抽出

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抽出する。

5.1.1 メカニカルスナッパ（基本型式：SMS型の例）



5. 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 (3/14)

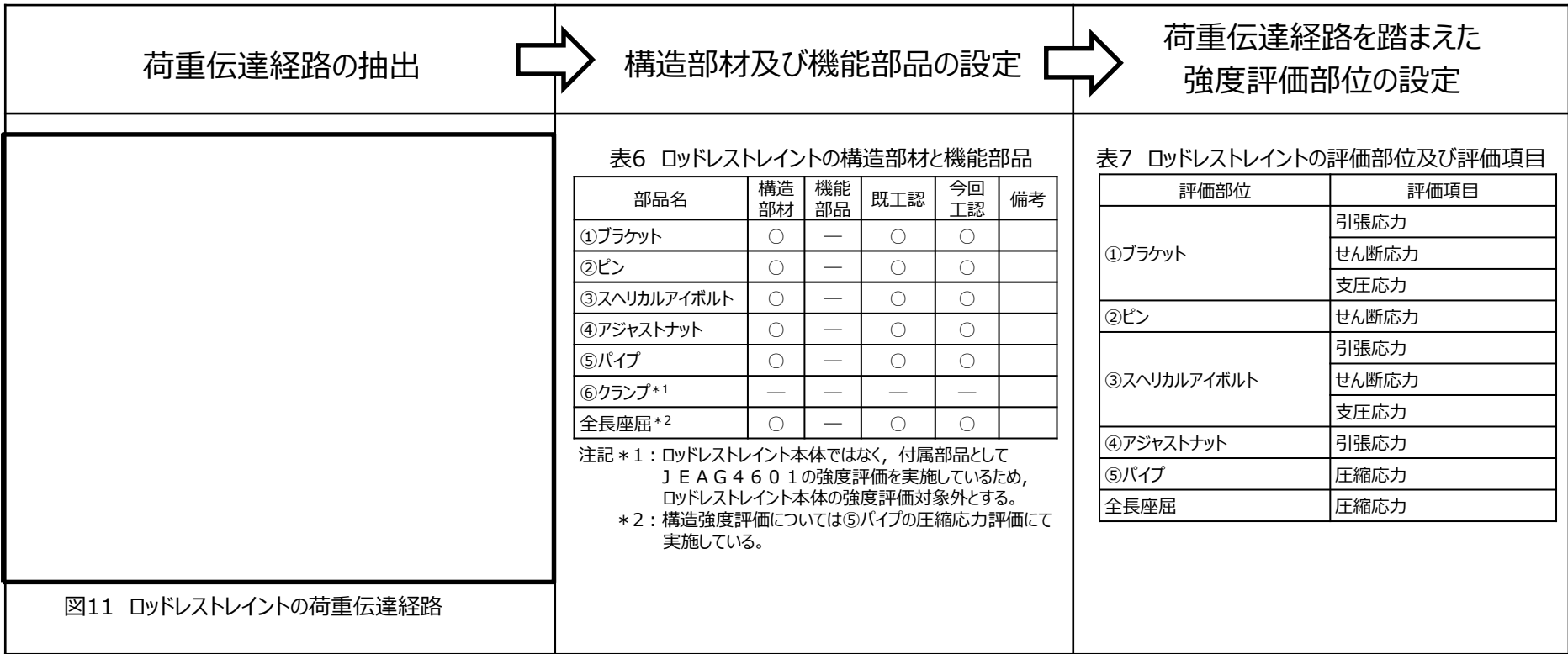
5.1.2 オイルスナッパ（基本型式：SHP型の例）



図10 オイルスナッパの荷重伝達経路

5. 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 (4/14)

5.1.3 ロッドレストレイント（基本型式：RSA型の例）



5. 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 (5/14)

5.2 手順2：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算出

- 構造部材の評価部位及び評価項目について、定格荷重を用いてJ E A G 4 6 0 1に規定の強度評価を実施する。
- 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を算出する。

5.2.1 メカニカルスナッパ

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

型式No.13	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。

5. 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 (6/14)

5.2.2 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 (基本型式 : SHP型の例)

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					コネクティングパイプ				
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	イーヤ及びコンロッド					イーヤ及びコンロッド				
SHP-10	100	イーヤ					イーヤ				
SHP-16	160	イーヤ及びコンロッド					イーヤ及びコンロッド				
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。

5. 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 (7/14)

5.2.3 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 (基本型式 : RSA型の例)

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。

5. 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 (8/14)

5.3 手順3：耐力試験において確認された限界耐力値又は耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度の算出
 構造部材及び機能部品の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を算出する。

5.3.1 メカニカルスナップ

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

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
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				

注記*：電共研の試験結果の妥当性確認のため、J N E S 研究の試験結果についても限界耐力値に対する定格荷重の裕度を算出した。

5. 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 (9/14)

5.3.2 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（基本型式：RSA型の例）

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				

注記*：電共研の試験結果の妥当性確認のため、J N E S 研究の試験結果についても限界耐力値に対する定格荷重の裕度を算出した。

5. 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 (10/14)

5.3.3 ロッドレストレイント

表13 耐力試験において確認された耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度

供試体No.	型式	① 定格 荷重 (kN)	試験結果		② 耐力確 認荷重 (kN)	②/① 耐力確認荷重 に対する定格 荷重の裕度	
			最大負荷荷重 ^{No.11} (kN)				損傷箇所
			引張	圧縮			
RSA-06-1	RSA-06	9					
RSA-1-2	RSA-1	15					
RSA-6-4	RSA-6	90					
RSA-6-5	RSA-6	90					
RSA-6-6	RSA-6	90					
RSA-25-7	RSA-25	375					
RTS-1-3	RTS-1	15					
RSA-6-11	RSA-6	90					
RSA-6-12	RSA-6	90					

5. 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 (11/14)

5.4 手順4：新規基準値の設定

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。

新規耐力係数は、設計の簡便性を考慮して基本型式^{No.12}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の引き上げの効果も踏まえて設定する。

表14 新規耐力係数の設定方法（基本型式：SMS型の例）

		① 裕度の算出				② 一律の新規耐力係数の仮設定		③ 新規耐力係数の設定	
		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に対する定格荷重の裕度を算出する。				①にて算出した最小裕度を基に、設計の簡便性を考慮して、最小裕度以下となる一律の新規耐力係数を仮設定する。		②で仮設定した一律の新規耐力係数のうち、①にて算出した裕度に対して余裕がある型式については、評価基準値の引き上げの効果も踏まえて、精緻に設定する。	
型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				一律の新規耐力係数 (仮設定)		新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		耐力試験において確認された限界耐力値		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				
SMS-01	1				17.90				
SMS-03	3				3.53				
SMS-06	6				4.05				
SMS-1	10				4.99				
SMS-3	30				2.16				
SMS-6	60				2.25				
SMS-10	100				2.27				
SMS-16	160				2.30				
SMS-25	250				2.55				
SMS-40	400				2.22				
SMS-60	600				2.08				

: 各評価における最小裕度

太字 : ②で仮設定した一律の新規耐力係数よりも 精緻に設定した新規耐力係数

5. 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 (12/14)

5.4.1 メカカルスナツバ, オイルスナツバの新規基準値

5.4.1.1 メカカルスナツバ

表15 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		新規基準値 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界*		耐力試験の限界耐力値		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S (kN)	Ⅳ A S (kN)
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究				
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* : (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

5. 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 (13/14)

5.4.1.2 オイルスナッパ

表16 新規耐力係数及び新規基準値（基本型式：SHP型の例）

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界*		耐力試験の 限界耐力値		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					

注記*：（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

5. 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 (14/14)

5.4.2 ロッドレストレイントの新規基準値

表17 新規耐力係数及び新規基準値（基本型式：RSA型の例）

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度			新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		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 ^{No.13}	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*：（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

6. 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新規基準値を設定し、新規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、以下の手法で設定した新規耐力係数に定格荷重を乗じて設定する。島根 2 号機の評価手法は先行プラントの評価手法と比較し、一定の裕度を有することから、妥当であると考える。
 - 構造部材の強度評価を実施し、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最小値以下となる新規耐力係数を設定した。
 - 構造部材及び機能部品の機能確認を実施し、限界耐力値又は耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度の最小値以下となる新規耐力係数を設定した。

- 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ップ及びオイルスナップについて、定格荷重に対する振動応答試験^{No.14}、定格荷重×1.5の荷重に対する過負荷振動試験^{No.15}及び低速走行試験^{No.16}を行い、機能維持を確認している。

表18 確性試験の各試験項目（メカニカルスナップの例）

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	

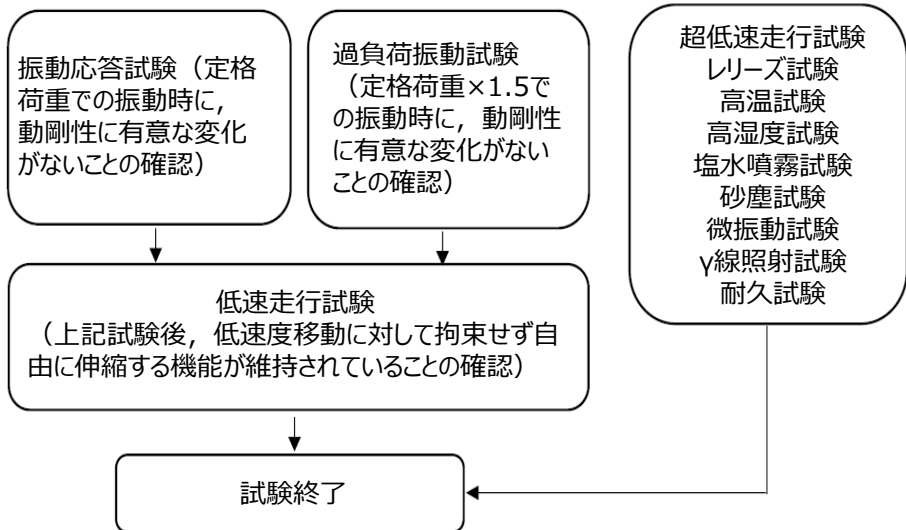


図12 確性試験^{No.17}フロー

* 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で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。

➤ 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

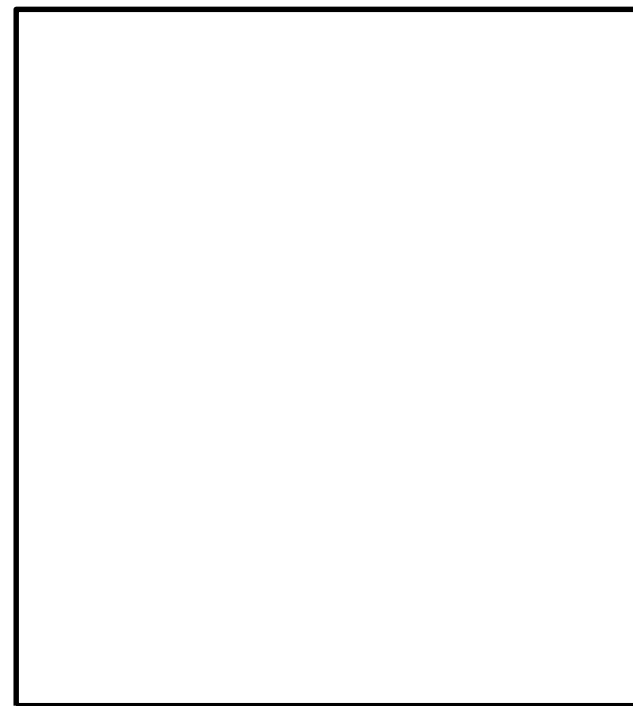
引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

- 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。



(別紙3) スナップの電力共同研究の概要

(1) スナップ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、スナップ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^{No.19}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. スナップ限界耐力評価法の策定

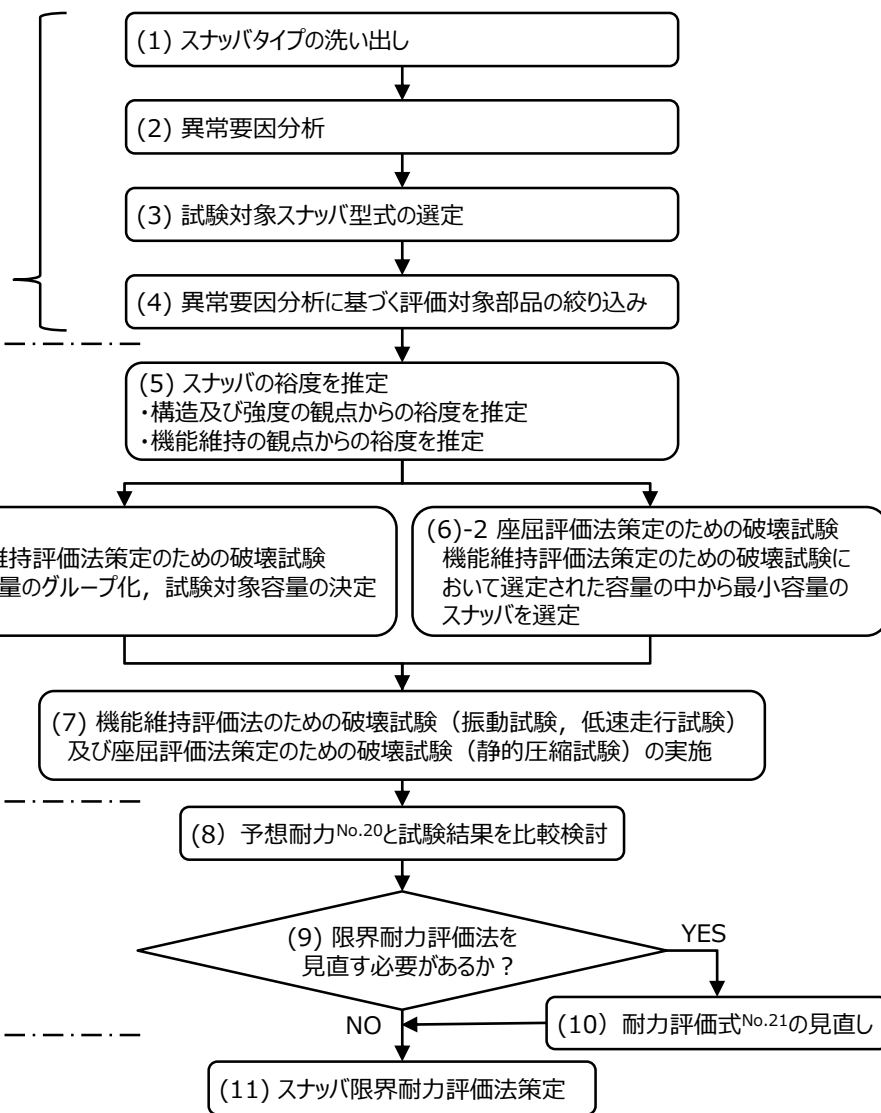


図13 スナップ限界耐力評価法策定フロー

(別紙3) 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19 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		低速走行抵抗力増大	<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
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		低速走行抵抗力増大	<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

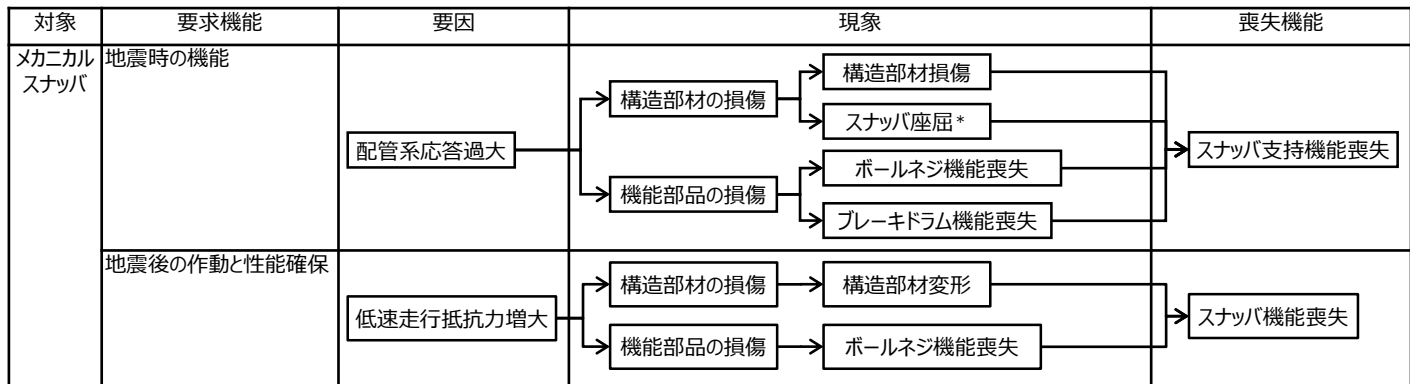
注記*1：各スナップの構造部材の強度評価

- *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力増大が考えられる。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、低速走行時の抵抗力増大が考えられる。

(別紙3) スナップ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*：座屈評価は、スナップ全長に対して実施する。

図14 メカニカルスナップ異常要因モード

表20 SMS型メカニカルスナップの構造部材と機能部品

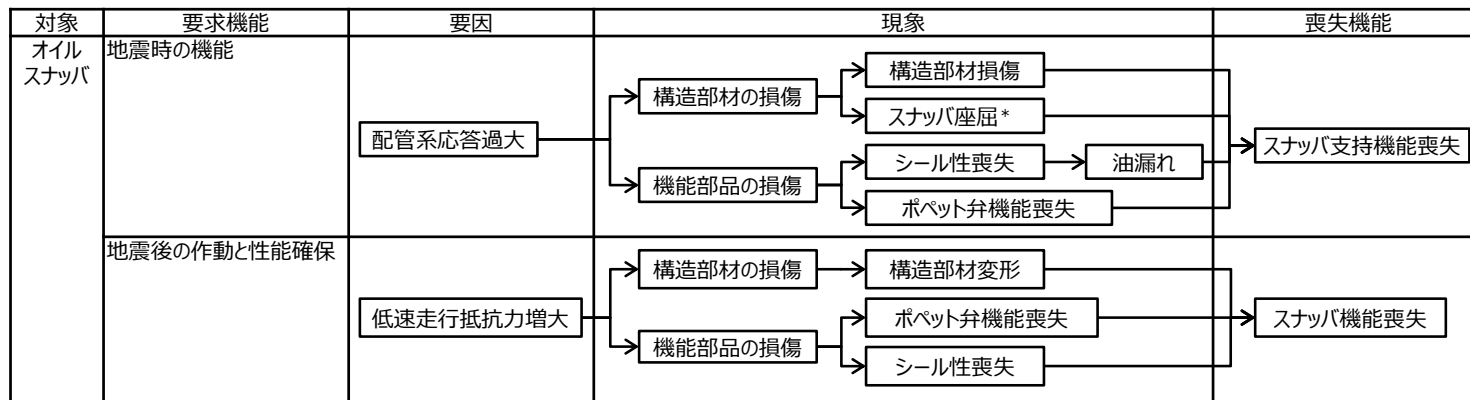
部品名	構造部材	機能部品
②ジャンクションコラム	○	—
③ロードコラム	○	—
④ピン	○	—
⑤コネクティングチューブ	○	—
⑥ケース, ベアリング押さえ及び六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧ユニバーサルボックス	○	—
⑨コネクティングチューブイーヤ部	○	—
⑩ユニバーサルブラケット	○	—
⑪ダイレクトアタッチブラケット	○	—
⑬ベアリングナット	○	—
⑭ボールねじ	—*	○*
⑮アンギュラー玉軸受	—	○
⑯球面軸受	—	○

注記*：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15 メカニカルスナップ構造図(SMS型の例)

(別紙3) スナップの電力共同研究の概要

(3) 評価対象部品の選定(2/2)



注記* : 座屈評価は、スナップ全長に対して実施する

図16 オイルスナップ異常要因モード

表21 SHP型オイルスナップ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	—	○*1
シール性*2	—	○

注記*1 : 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増加するような地震荷重は採用しない。

*2 : 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17 オイルスナップ構造図(SHP型の例)

(別紙3) スナップ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、スナップ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22 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SMS型メカニカルスナップ)

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23 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SN型オイルスナップ)

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24 最小裕度部品による型式分類と試験対象(SHP型オイルスナップ)

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)

(別紙3) 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。

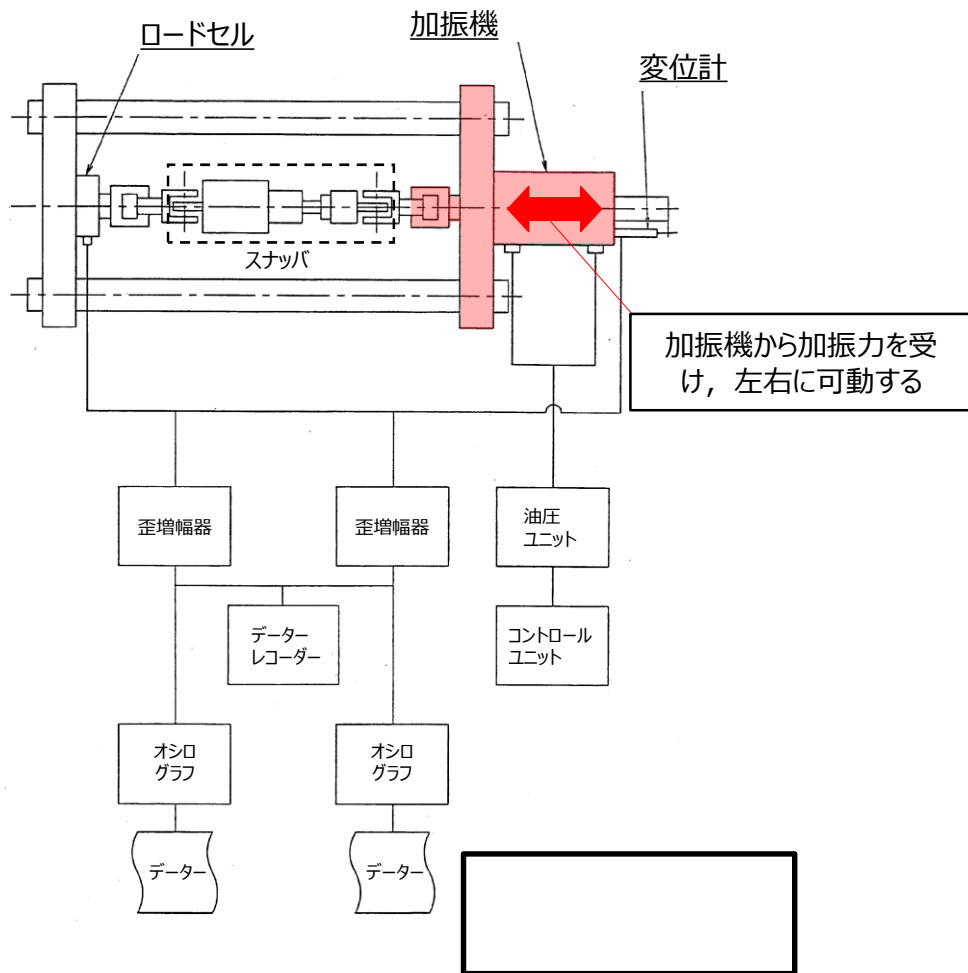


表25 目標加振荷重レベル (基本型式：SMS型の例)

型式	SMS型				
	SMS-03	SMS-1	SMS-3	SMS-6	SMS-10
目標加振荷重レベル (段階的に増加) (単位：kgf)	300	1000	3000	6000	10000
	450	1500	4500	9000	15000
	1000	2500	6000	12000	17000
	1500	3500	7000	15000	20000
	1800	4500	8000	17000	24000
	2000	5500	9000	18600	28000
	—	7000	10000	22000	32000

図18 振動試験装置の概要

(別紙3) スナップ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 =

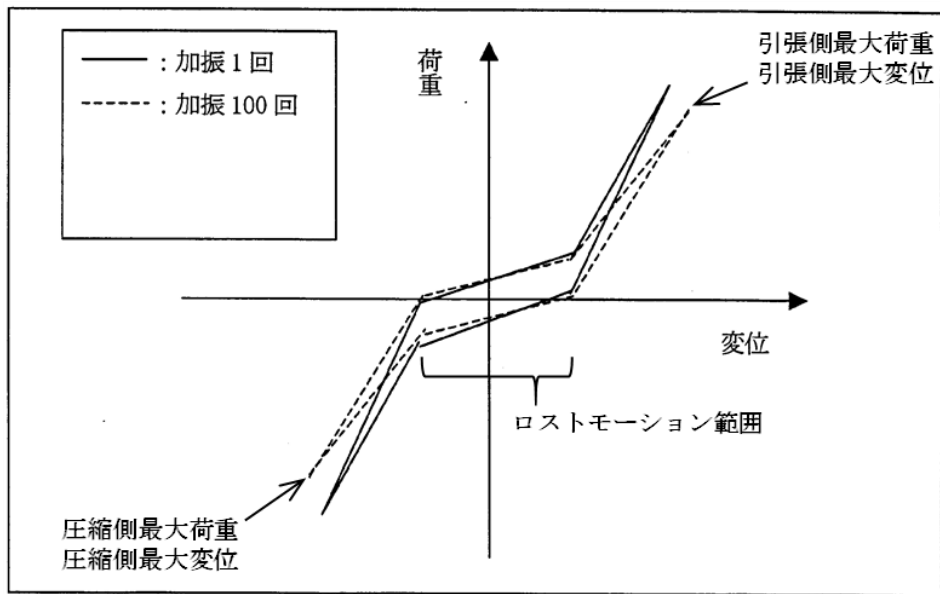


表26 振動試験中の動剛性判定基準値
(基本型式：SMS型の例)

定格容量	0.3ton (3kN)	1ton (10kN)	3ton (30kN)	6ton (60kN)	10ton (100kN)
動剛性					

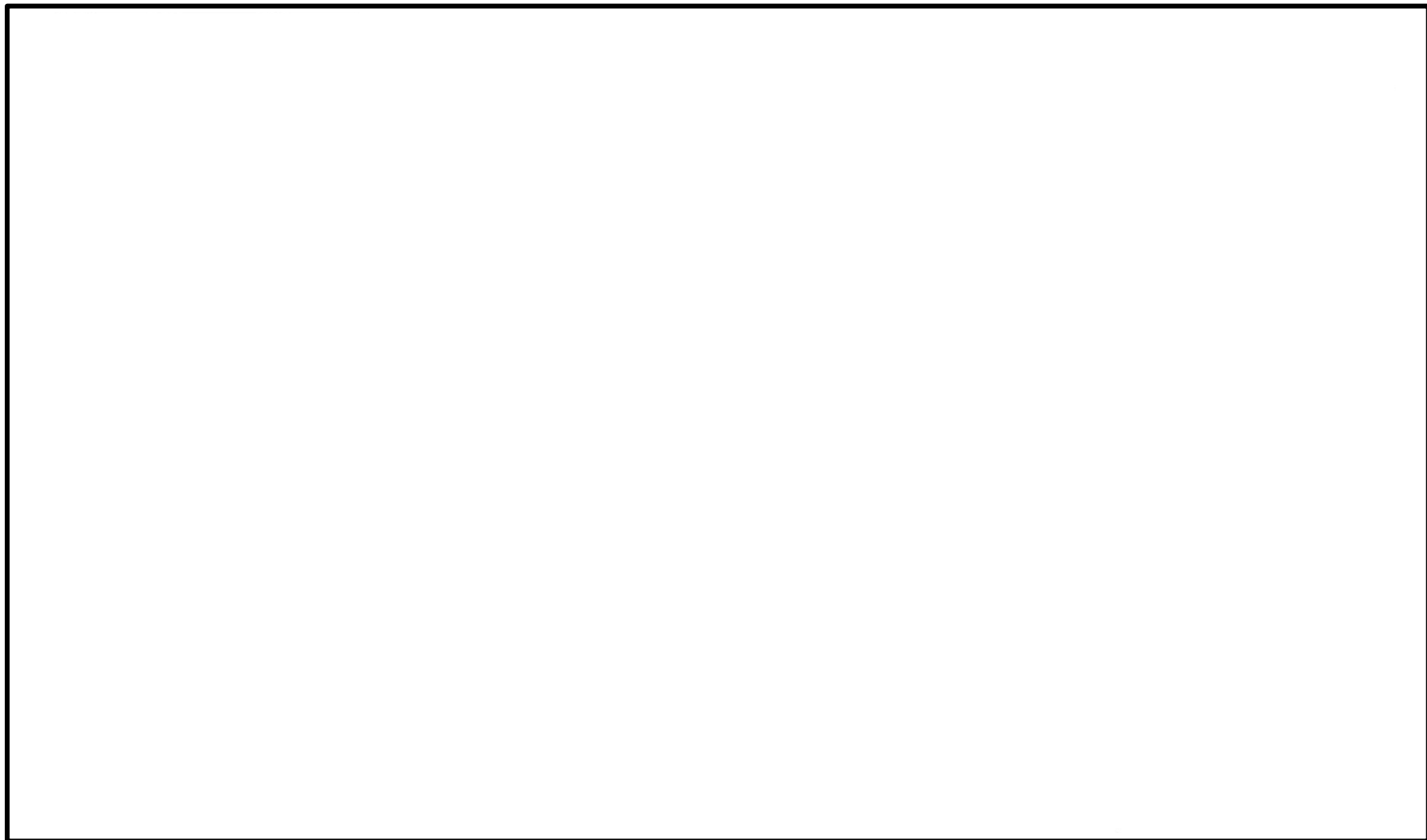
図19 スナップの荷重・変位特性イメージ

(別紙3) スナツ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。

表27 試験結果のまとめ表



(別紙3) 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^{No.22}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、耐力確認荷重に対して余裕がある。

表28 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	ダイレクトイヤ	構造部材	1.86	—

(別紙4) スナッパのJNES研究の概要

(1) 電共研との対比 (1/2)

- JNESでは、平成21～22年度にスナッパの耐力評価手法^{No.23}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29 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 (メカニカルスナッパ)

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 (kN) [A]	限界耐力値 (kN) [B]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重 (kN) [C]	耐力値 (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*2	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*3	機能部品						
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押さえ*2	構造部材						
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押さえ*2	構造部材						
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押さえ*2	構造部材						
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押さえ*2	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*4	構造部材						



(別紙4) スナツバのJNES研究の概要

(1) 電共研との対比 (2/2)

表30 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 (オイルスナツバ)

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 (kN) [A]	限界耐力値 (kN) [B]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重 (kN) [C]	耐力値 (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*1	構造部材						
SHP-06	6	—	14.1	全長座屈*1	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) *2	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) *2	機能部品						
SN-25	250	—	465.8	ダイレクトイーヤ*3	構造部材						

(別紙5) 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。

表31 電共研の知見 損傷確認箇所

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						

(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。

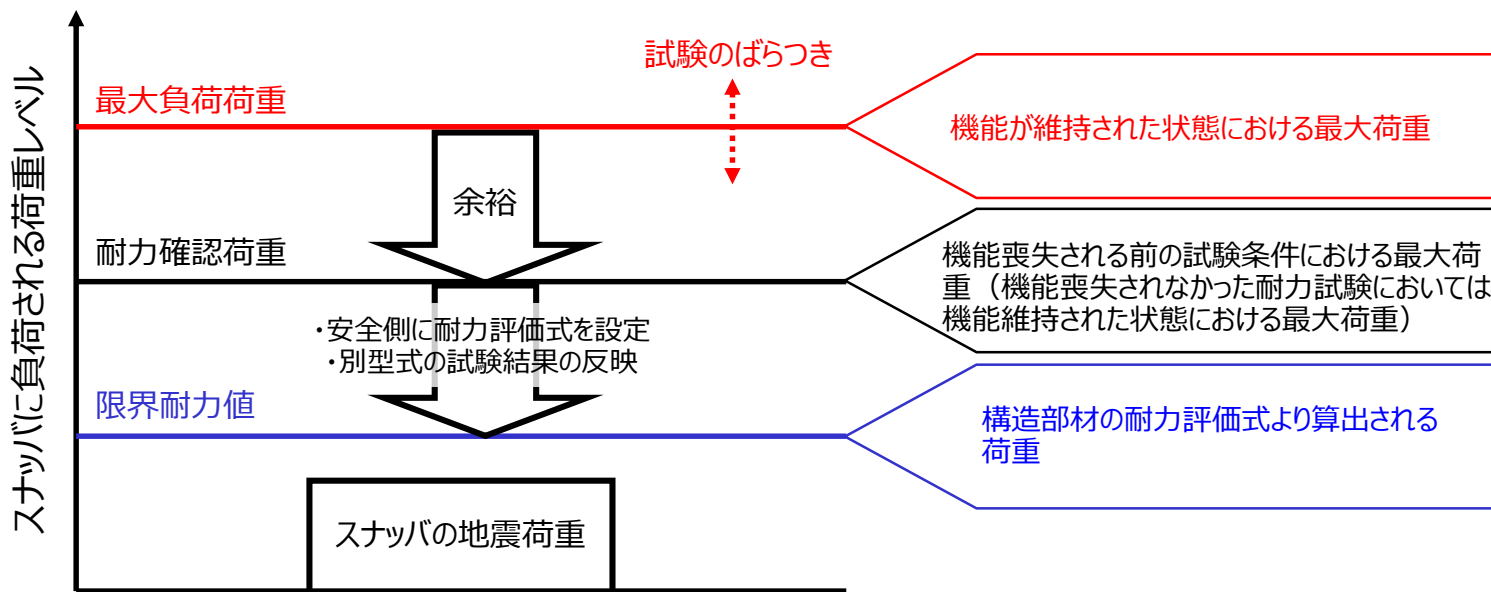


図20 スナッパの構造部材に対する限界耐力値設定のイメージ

(別紙5) ばらつきの方

(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パ（アンギュラー玉軸受）

- アンギュラー玉軸受の補正係数^{No.23}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32 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			
	JNES			
SMS-25	JNES			
平均値				
標準偏差値 (σ)				
平均値-2σ				

(2) SHP型オイルスナッパ（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33 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 予想耐 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) スナップ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

- スナップ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。
- スナップ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考慮し、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。

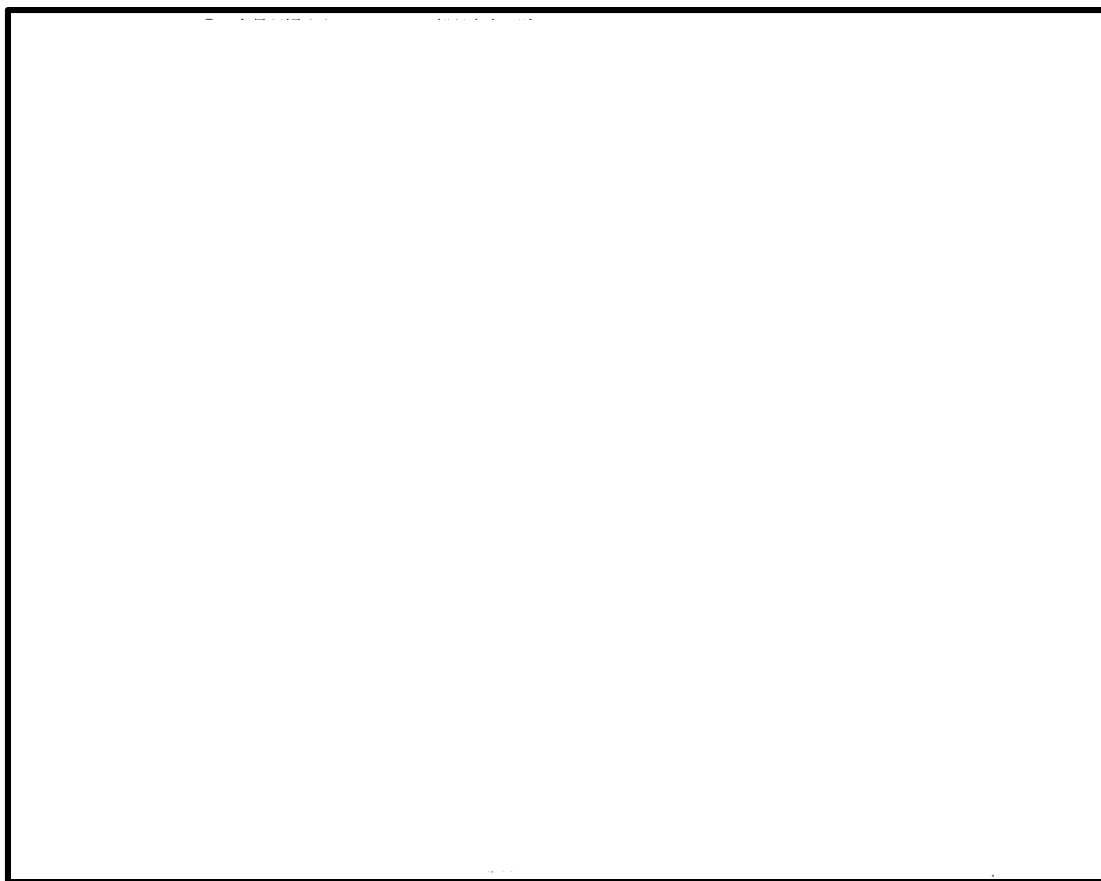


図21 電共研及び電共研以前に実施されたオイルスナップの座屈試験結果

(別紙6) ロッドレ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

- ロッドレストレイントの耐力試験により、今回工認で新規に設定したロッドレストレイントの新規基準値の妥当性を検証する。
- ロッドレストレイントの新規基準値確認のための検討フローを示す。

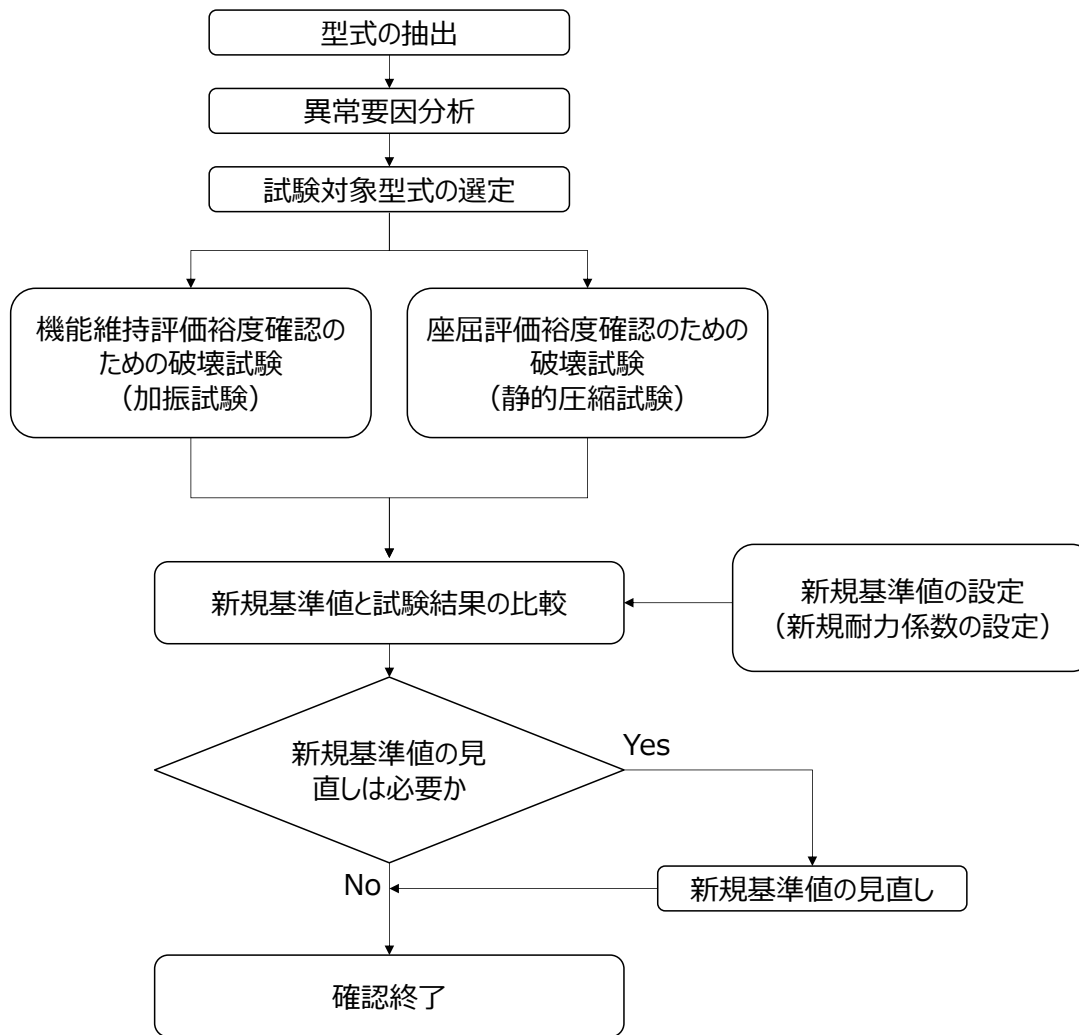


図22 新規基準値確認の検討フロー

(別紙6) 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

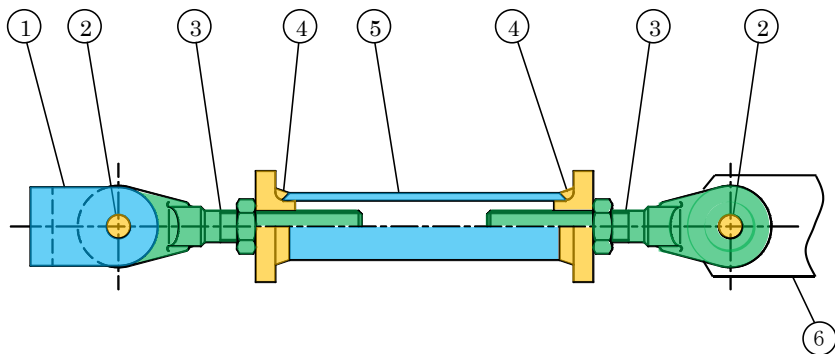
- 島根2号機における使用実績を調査し、特に地震動の増加が懸念される箇所であるSクラス及びS s 機能維持範囲に設置されるロッドレストレイントの型式を抽出した。
- ロッドレストレイントの耐力試験における評価項目を明らかにするために異常要因分析を実施し、耐力試験における評価対象となる部位を選定した。
- 各々のロッドレストレイントは、型式及び容量ごとに若干の差異はあるものの、構成部品は概ね同様であることから、代表型式及び容量について限界耐力を確認すれば、他の型式及び容量へ展開可能であることを確認した。

表34 ロッドレストレイントの異常要因モード

--

表35 評価対象となる構造部材
(基本型式：RSA型の例)

番号	部品
②	ピン
③	スヘリカルアイボルト
④	アジャストナット
⑤	パイプ



①ブラケット, ②ピン, ③スヘリカルアイボルト, ④アジャストナット, ⑤パイプ ⑥クランプ

図23 ロッドレストレイント構造図 (基本型式：RSA型の例)

(別紙6) ロッドストレイント耐力試験の概要

(3) 耐力試験対象の選定 (支持機能)

- 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。
- 耐力試験対象型式は、代表的な定格荷重となる型式を選定した。なお、各型式の試験体は1体とし、各型式においてRSA-6（定格容量60kN）のもののみ試験のばらつきを確認するために3体とした。
- ばらつきの確認は最小裕度部位、耐力確認荷重が異なる試験体間で同様の結果となることを確認するために実施するものであり、破損時の荷重（最大負荷荷重）のばらつきを評価するためのものではない。

表36 ロッドストレイントの最小裕度部品 (RSA型)

グループ	型式	最小裕度部品
1	RSA-06,6,10,16,25	スヘリカルアイボルト (穴部引張)
2	RSA-1	スヘリカルアイボルト (ボルト部引張)
3	RSA-3	球面軸受 (支圧) *

表37 ロッドストレイントの最小裕度部品 (RTS型)

グループ	型式	最小裕度部品
1	RTS-6,10,16,25	コネクティングイーヤ (穴部引張)
2	RTS-06,1	コネクティングパイプ (溶接部せん断)
3	RTS-3	球面軸受 (支圧) *

注記*：球面軸受については、SMS型及びSN型スナッパと同一仕様のものを使用しており、電共研の試験結果が代用可能である。

表38 ロッドストレイント試験体選定結果 (RSA型)

グループ	型式	定格荷重	試験体数	備考
1	RSA-06	6kN	1	最小容量
	RSA-6	60kN	3	ばらつき確認対象
	RSA-25	250kN	1	最大容量
2	RSA-1	10kN	1	
3	—	—	—	スナッパ (電共研) にて知見有

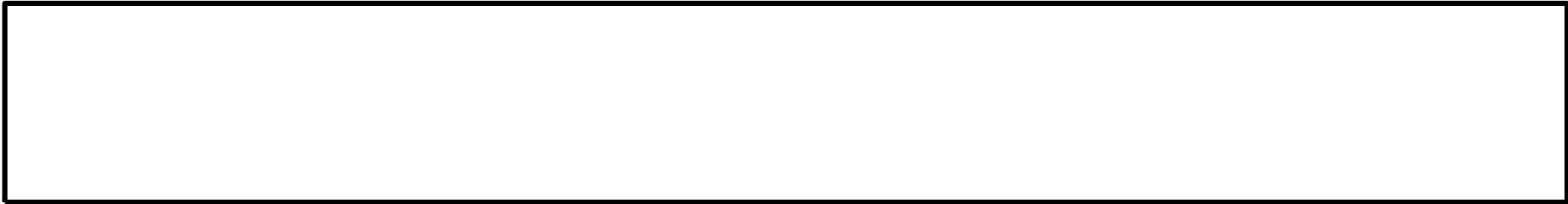
表39 ロッドストレイント試験体選定結果 (RTS型)

グループ	型式	定格荷重	試験体数	備考
1	—	—	—	RSA側で代表して実施
2	RTS-1	10kN	1	最大容量
3	—	—	—	スナッパ (電共研) にて知見有

(別紙6) ロッドレストレイント耐力試験の概要

(4) 耐力試験対象の選定 (座屈)

- 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。
- 座屈裕度最小となる型式が60kN以下のもの（RSA/RTS-06,1,3,6）であることが確認されたことから、代表としてRSA-6を静的座屈試験の試験体として選定した。
- 電共研におけるスナッパの静的座屈試験における知見では、座屈の限界耐力は、耐震支持装置全長（ピン間距離） L に対する最弱部*の位置 l の関係から以下に示す傾向変化を確認している。



- ロッドレストレイントにおいても同様の傾向となることを確認する目的から、以下に示す試験体を選定した。

表40 ロッドレストレイント試験体選定結果

型式	定格荷重	ピン間距離	試験体数
RSA-6	60kN		1
RSA-6	60kN		1

- 座屈評価裕度確認のための耐力試験は静的試験であり結果にばらつきがでにくいこと、座屈強度はロッドレストレイントの基本構造と寸法から決まること、基本構造はどの型式も同じであることから、材料力学の考え方にに基づき試験結果を他の式に展開できるため、代表として試験体は1体とした。

注記*：電共研の知見では、断面二次モーメントが大きく変化する点としており、具体的には本体部とイーヤ部が接続する点のことを示し、主にねじによる締結部のことを示している。ロッドレストレイントの場合、RSA型のスヘリカルアイボルトのボルト締結部が相当する。

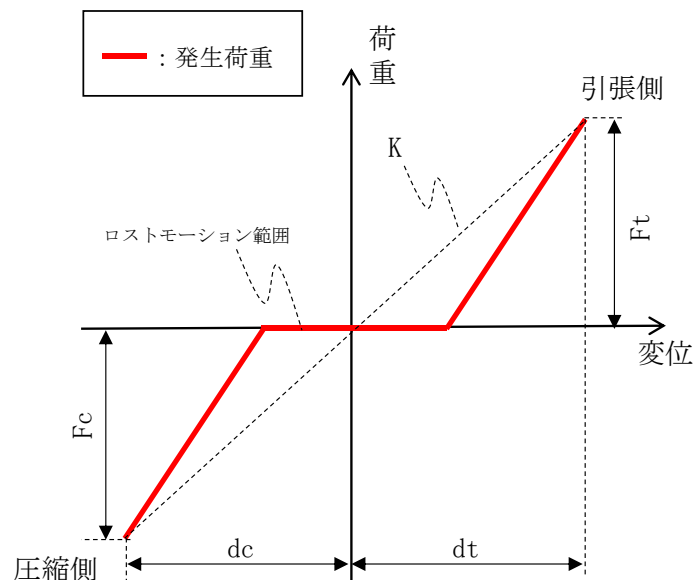
(別紙6) ロッドストレイント耐力試験の概要

(5) 耐力試験 (支持機能) (1/2)

- ロッド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。
- 耐力試験における試験内容
 - 所定の目標加振荷重レベルから開始し、ロッドストレイントの支持機能が維持できなくなった加振荷重レベルまで加振荷重を段階的に増加させる試験を実施した。
 - 耐力試験の試験入力条件は、地震による繰返し交番荷重を想定し既往知見での配管試験同様、正弦波入力としている。なお、ロッドストレイントは静的機器でありメカニカルスナップのような動剛性の振動数依存性（別紙4 参照）はないことから、入力波の振動数等の設定が耐力値の取得に与える影響はないが、定格荷重の大きな型式における加振試験では加振荷重が大きくなるため、加振試験装置の性能を考慮して加振条件を設定した（JNES 研究における条件設定方法と同様（別紙4 参照））。
 - 構造部材の耐力確認のため、損傷に至るまでの最大変位及び最大荷重についての荷重変位特性を取得した。荷重変位特性のイメージを図に示す。

表41 試験入力条件

試験名	加振条件		入力変位
	入力波	サイクル数	



Ft, Fc : 平均ばね定数算出用荷重(引張, 圧縮)
 dt, dc : 平均ばね定数算出用変位(引張, 圧縮)
 K : ばね定数 ($K = (|Ft| + |Fc|) / (|dt| + |dc|)$)

図24 荷重変位特性のイメージ

(別紙6) ロッドストレイント耐力試験の概要

(5) 耐力試験 (支持機能) (2/2)

- 加振試験装置の概要を以下に示す。

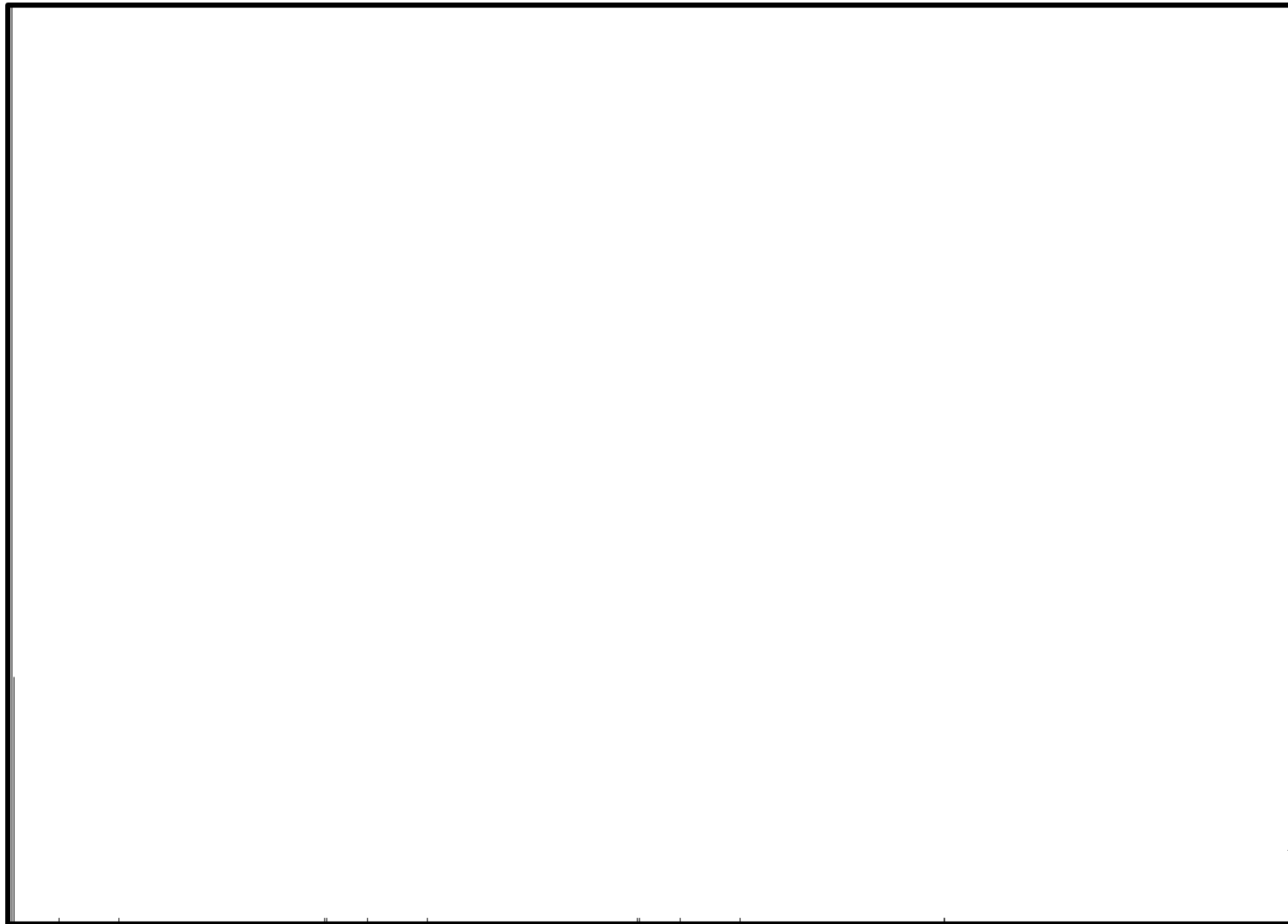


図26 加振試験体系図

(別紙6) 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。

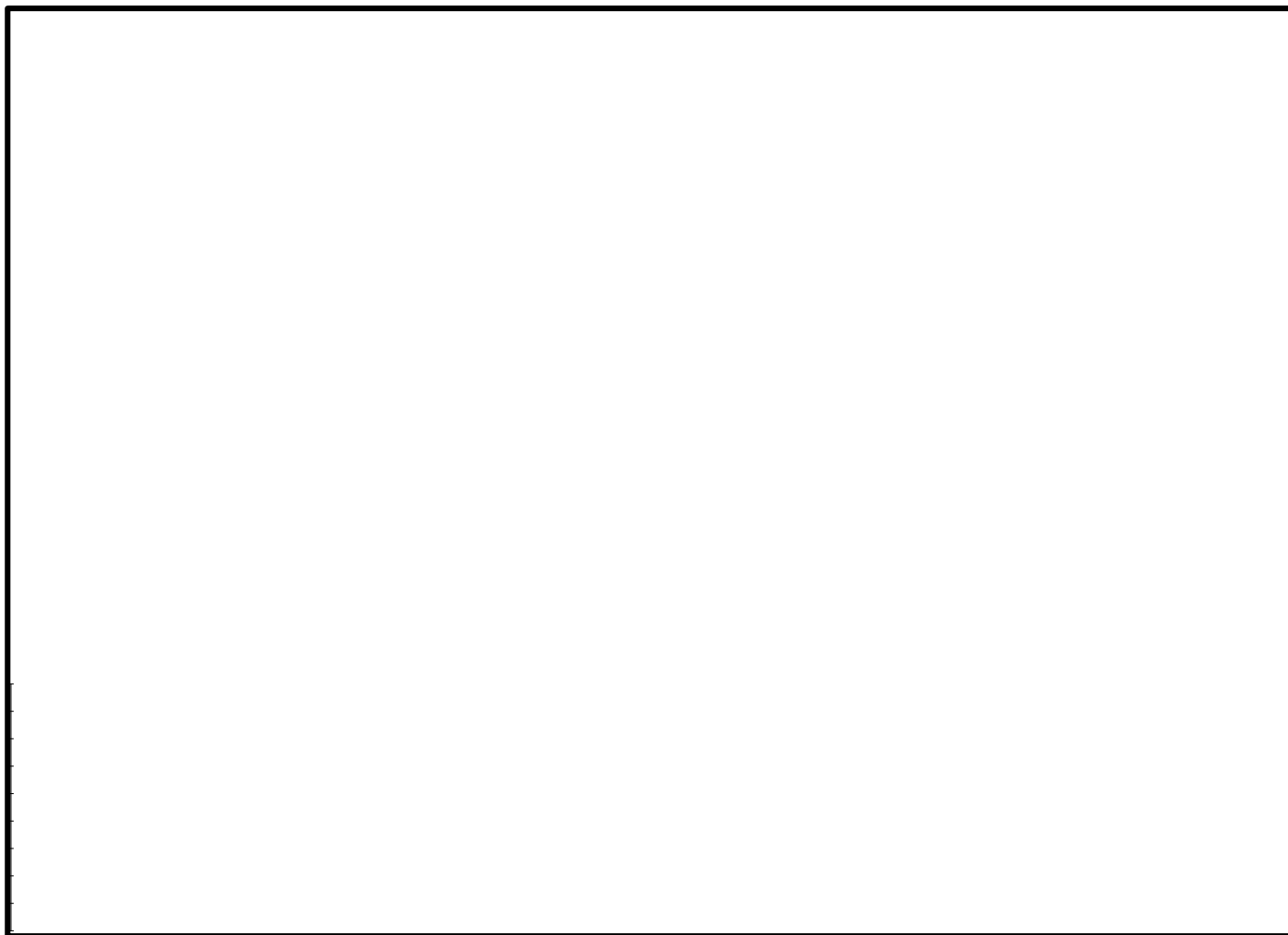


図27 静的圧縮試験装置の概要

(別紙6) 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。
- いずれの供試体においても共通して、（1）イーヤ穴部径拡大（ギャップ拡大），（2）イーヤねじ部曲り・き裂発生・破断，（3）ピン破断（せん断破壊）が確認された。

表42 耐力試験において確認された耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度

供試体No.	型式	① 定格荷重 (kN)	試験結果		② 耐力確認荷重 (kN)	②/① 耐力確認荷重 に対する定格 荷重の裕度	
			最大負荷荷重 (kN)				損傷箇所
			引張	圧縮			
RSA-06-1	RSA-06	9			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RSA-1-2	RSA-1	15			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RSA-6-4	RSA-6	90			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RSA-6-5	RSA-6	90			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RSA-6-6	RSA-6	90			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RSA-25-7	RSA-25	375			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・イーヤねじ部曲り		
RTS-1-3	RTS-1	15			・イーヤ穴部 穴径拡大 ・ピン破断（せん断破壊）		
RSA-6-11	RSA-6	90			・イーヤねじ部曲り		
RSA-6-12	RSA-6	90			・イーヤねじ部曲り		

注記* : RSA-6-11及びRSA-6-12は座屈評価裕度確認のための耐力試験（静的圧縮試験）の供試体であるため、最大負荷荷重は圧縮荷重のみを取得している。
 なお、RSA-6における引張荷重は、供試体No.RSW-6-4～6で確認している。

(別紙6) ロッドストレッチ耐力試験の概要

(8) 耐力試験結果 (時刻歴荷重波形)

- 加振試験における時刻歴荷重波形の例を以下に示す。

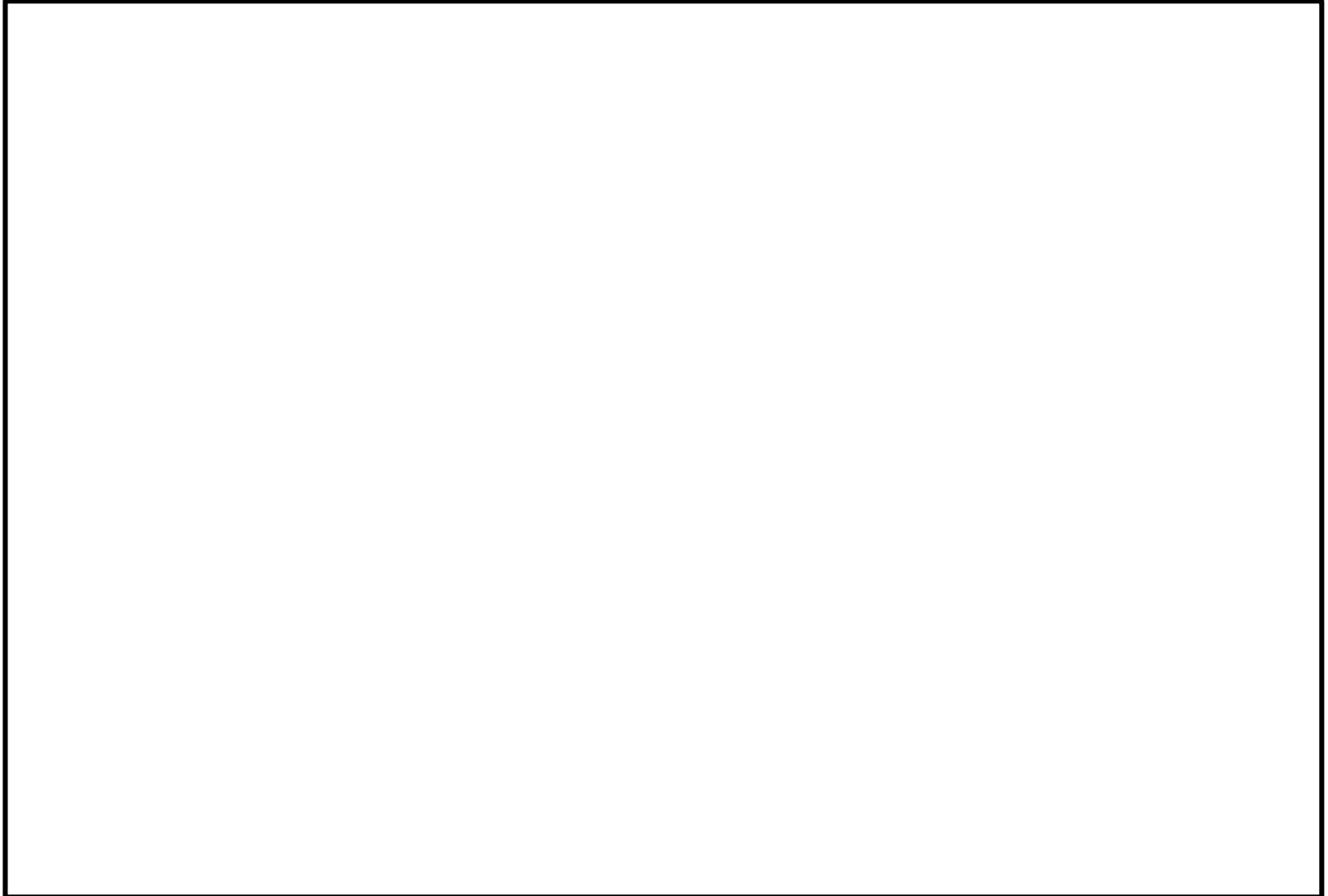


図28 加振試験における時刻歴荷重波形 (供試体No. RSA-06-1の例)

(別紙6) ロッドストレイント耐力試験の概要

(9) 新規基準値の妥当性確認

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43 ロッド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		耐力試験における 耐力確認荷重	新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界			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					
RTS-06	9					
RTS-1	15					
RTS-3	45					
RTS-6	90					
RTS-10	150					
RTS-16	240					
RTS-25	375					
RTS-60	900					

表44 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		

表45 支持装置の機能及び用途 (1/2)

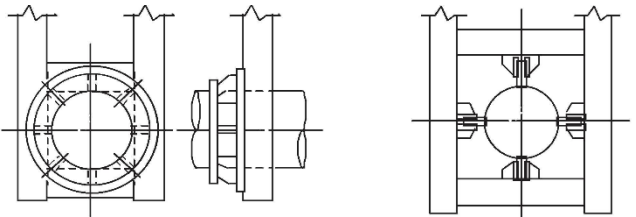
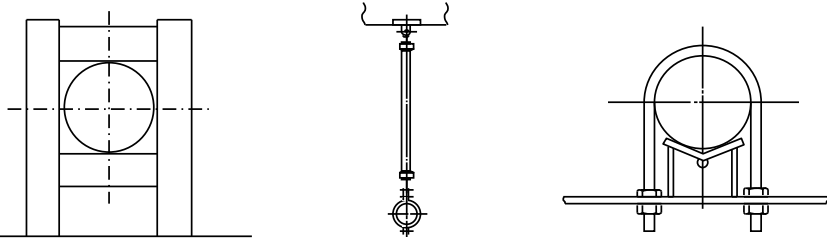

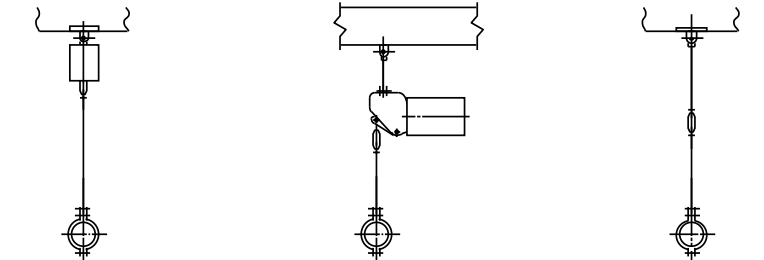
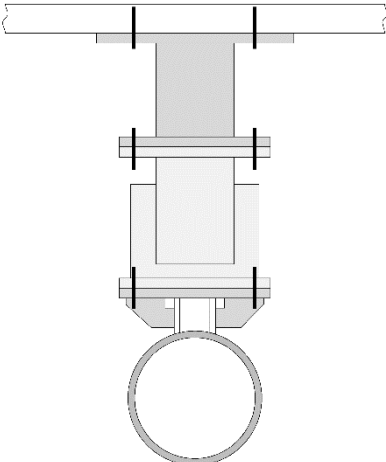
支持構造物名称	概略図	機能	用途
アンカ (アンカサポート) (ガイドサポート)	 <p style="text-align: center;">アンカサポート ガイドサポート</p>	地震及び熱による変位、軸まわりの回転を完全に拘束する。 ガイドサポートは、一定方向の移動を許すが軸まわりの回転を拘束する。	固定用サポートとして使用する。また、配管応力解析上の解析モデルの境界として使用する。
レストレイント (架構式レストレイント) (ロッドレストレイント) (Uボルト)	 <p style="text-align: center;">架構式レストレイント ロッドレストレイント Uボルト</p>	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。

表45 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。

No.	用語	定義	初出箇所
1	一次評価	支持装置の地震時荷重に対して、あらかじめ設定した設計上の基準値を評価基準値として行う評価（既工認の評価と同様）	P.2
2	二次評価	設計用地震力の増大により、支持装置に負荷される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した箇所に対して実施する評価	P.2
3	定格荷重	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	P.2
4	新規耐力係数	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	P.2
5	新規基準値	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	P.2
6	耐力試験	今回工認の二次評価において適用する新規基準値を設定するにあたり参照した既往研究等の耐力試験 【電共研】 平成12年度 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） 【JNES研究】 平成21～22年度 耐震機能限界試験（スナバ）に係る報告書 【自社研究】 平成21～22年度 ロッドレストレイント耐力試験に係る報告書	P.2

No.	用語	定義	初出箇所
7	限界耐力値	<ul style="list-style-type: none">・スナップの破壊試験の結果を踏まえて、必要に応じて補正した耐力評価式を用いて算出した机上計算による構造部材及び機能部品の耐力値、あるいはそれらの耐力値のうち支持装置全体での最小値・機能部品の限界耐力値については、試験結果に基づいて策定した耐力算出方法により算出する。・JENS研究においては耐力値と記載されている。	P.2
8	構造部材	支持装置を構成する部品のうち、荷重伝達経路上にあり、配管から伝達される荷重（配管反力）に対して支持機能を発揮するための強度部材	P.9
9	機能部品	<ul style="list-style-type: none">・支持装置を構成する部品のうち、荷重伝達経路上にあり、支持装置の動作機能に必要な部品・試験結果に基づき限界耐力値を設定する部品	P.9
10	型式	支持装置の名称（例：SMS-01, SMS-03等）	P.13
11	最大負荷荷重	支持装置の機能が維持された状態における最大荷重（電共研及び自社試験）（P58を参照）	P.18
12	基本型式	基本構造が同様となる型式の総称（例：SMS, SHP等）	P.19
13	耐力確認荷重	機能喪失する試験ケースを除いた試験ケースにおける最大荷重（電共研及び自社試験）（P58を参照）	P.22

No.	用語	定義	初出箇所
14	振動応答試験	<ul style="list-style-type: none">・スナップを定格荷重が発生するように一定の振動数で加振し、地震時荷重に対して要求される動剛性を示すことを確認する試験・電共研においては、振動試験と記載されている。	P.24
15	過負荷振動試験	スナップを定格荷重×1.5が発生するよう一定の振動数で加振し、地震時荷重に対して要求される動剛性を示すことを確認する試験	P.24
16	低速走行試験	スナップのピストン部を配管や機器の熱膨張による変位発生時に想定される速度で移動させ、要求される抵抗力以下で追従できることを確認する試験	P.24
17	確性試験	支持装置メーカーにおいて支持装置の基本性能を確認及び担保する目的で実施している試験	P.24
18	動剛性	<ul style="list-style-type: none">・スナップが地震時荷重を受ける際に支持構造物として持つ剛性であり、本資料においてはばね定数と同じ意味で用いる。・JENS研究においては、動ばね定数と記載されている。	P.24
19	限界耐力評価法	<ul style="list-style-type: none">・電共研において策定された支持装置の限界耐力評価手法・支持装置を構成する荷重伝達経路上の構造部材の許容限界により定まる耐力並びに機能維持評価法及び座屈評価法等により機能部品の動作機能が担保された荷重のうち小さいほうの値により定まる限界耐力値を用いて、地震時荷重に対する支持装置の健全性を評価する手法	P.26

No.	用語	定義	初出箇所
20	予想耐力	スナッパの限界耐力評価法を策定するために実施した電共研の破壊試験において、各構造部材に対して J E A G 4 6 0 1 により定まる許容応力と各構造部材の構造に基づいて選定した耐力評価式を用いて、試験前に机上計算により算出した各部位の耐力値、あるいはそれら各構造部材の予想耐力のうちスナッパ全体での最小値	P.26
21	耐力評価式	支持装置の限界耐力値算出に用いる評価式であり、構造部材においては応力算出式と許容応力から各部材の限界耐力値を算出する評価式、機能部品においては試験の結果を踏まえて策定した評価式	P.26
22	スナッパの機能	支持機能と動作機能の2つがあり、支持機能とは支持構造物として要求される構造強度及び動剛性、動作機能とは配管や機器の熱移動を拘束することなく追従する機能	P.34
23	耐力評価手法	J N E S 研究において策定されたスナッパの評価手法であり、電共研における限界耐力評価法に相当	P.35
24	補正係数	耐力確認荷重と予想耐力に差があった場合に、限界耐力値の策定のために予想耐力に乗じる係数	P.39

表46 最大負荷荷重及び耐力確認荷重の設定方法

■ : 機能維持された状態 ■ : 機能喪失した状態

加振ケース	耐力確認荷重 < 最大負荷荷重	耐力確認荷重 = 最大負荷荷重	耐力確認荷重 = 最大負荷荷重
機能喪失前の加振ケース			
機能喪失した加振ケース			<p style="text-align: center;">— (なし)</p>