

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-26_改1
提出年月日	2021年 2月 5日

補足-600-26 メカニカルスナッパの評価手法の精緻化について

2021年 2月
東北電力株式会社

目 次

1.	はじめに	1
2.	適用範囲	1
3.	メカニカルスナップの構造及び作動原理	1
4.	メカニカルスナップの詳細評価に係る検討	3
4.1	従来の許容荷重の設定及び詳細評価の適用	3
4.2	今回工認におけるメカニカルスナップの評価手順	3
4.3	メカニカルスナップの詳細評価手順	5
5.	詳細評価における評価対象部位及び評価項目	7
5.1	SMS 型メカニカルスナップ	7
5.2	NMB 型メカニカルスナップ	10
6.	詳細評価対象メカニカルスナップ	13
7.	詳細評価結果	15
8.	詳細評価の妥当性	21
9.	結論	23

別紙 1 メカニカルスナップ確性試験の概要

別紙 2 メカニカルスナップの電力共同研究及び JNES における耐力値検討の概要

別紙 3 メカニカルスナップの詳細評価方法

別紙 4 メカニカルスナップの座屈試験の概要

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の機器・配管系の支持構造物としてメカニカルスナッパを設置しており、既工認におけるメカニカルスナッパの耐震設計では、許容応力状態Ⅲ_{AS}に対する許容荷重は定格荷重とし、許容応力状態Ⅳ_{AS}に対する許容荷重は定格荷重の1.5倍として設定している。

これは、メカニカルスナッパが標準化された製品であることを踏まえ、定格荷重の1.5倍の荷重に対する評価及び試験にて構造・強度及び機能維持を確認し、簡便で共通的な取扱いとして許容荷重を設定したものである。また、許容応力状態Ⅲ_{AS}に対する許容荷重だけでなく、許容応力状態Ⅳ_{AS}に対する許容荷重においてもメカニカルスナッパを構成する強度部材に発生する応力は弾性範囲内であることから、実際にメカニカルスナッパが有する耐力に対して十分に余裕のある設定となっている。

今回工認の耐震設計においてもメカニカルスナッパの許容荷重は、既工認同様に許容応力状態Ⅲ_{AS}に対して定格荷重、許容応力状態Ⅳ_{AS}に対して定格荷重の1.5倍を基本とするが、基準地震動 S_s による地震荷重が増大したことによりメカニカルスナッパに負荷される配管反力が許容荷重を超え、さらに設置場所の制約や今後のメンテナンス性等の理由から耐震改造工事が困難な場合に限っては、メカニカルスナッパの詳細評価を実施する必要がある。詳細評価としては、メカニカルスナッパを構成する強度部材について、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に基づく構造強度評価を行い、配管反力に対して強度部材の発生応力が許容応力を満足することを確認する。

本資料は、今回工認で女川原子力発電所第2号機に適用するメカニカルスナッパの詳細評価の考え方についてまとめたものである。

2. 適用範囲

女川原子力発電所第2号機の機器・配管系に設置しているメカニカルスナッパのうち従来の許容荷重（許容応力状態Ⅲ_{AS}に対して定格荷重、許容応力状態Ⅳ_{AS}に対して定格荷重の1.5倍）を超えるもので、設置場所の制約や今後のメンテナンス性等の理由により当該メカニカルスナッパの耐震改造工事が困難な場合に適用する。

3. メカニカルスナッパの構造及び作動原理

メカニカルスナッパは、配管系の熱変位を拘束することなく、地震等による配管系の振動を防止し、配管系に発生する応力等を低減するために使用する支持装置であり、地震で入力される振動（エネルギー）については、構成部品に作用する慣性を利用して機械的に制限する構造となっている。図 3-1、図 3-2 にメカニカルスナッパの構造概要を示す。

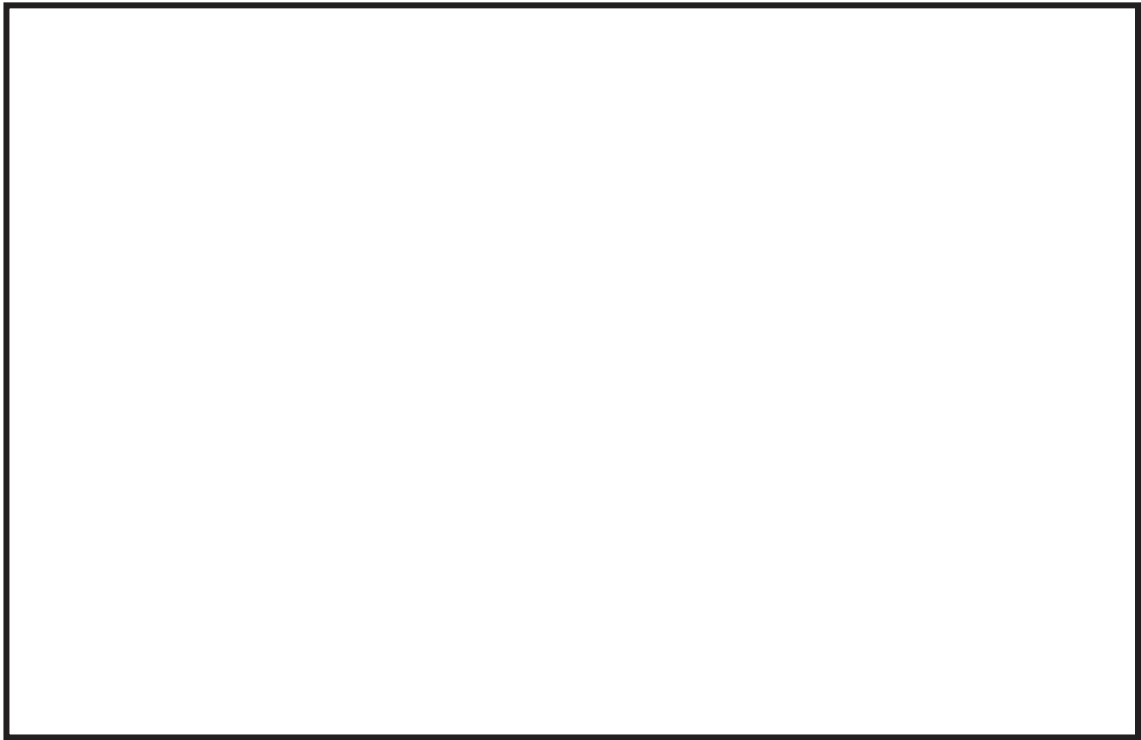


図 3-1 メカニカルスナッパの構造概要

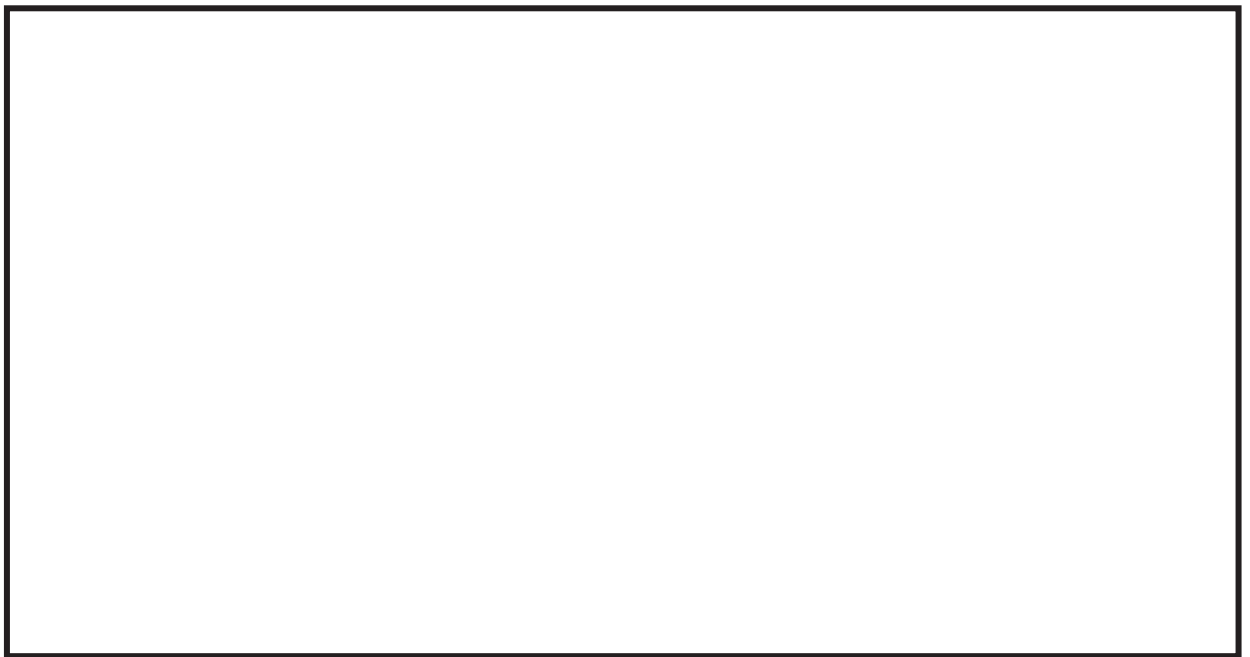


図 3-2 メカニカルスナッパの作動原理

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. メカニカルスナッパの詳細評価に係る検討

4.1 従来の許容荷重の設定及び詳細評価の適用

メカニカルスナッパは、標準化された製品であることから、許容荷重（許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重の 1.5 倍）の設定にあたっては、製品としての寿命や製作性，部品の調達性も踏まえ，定格荷重の 1.5 倍の荷重に対する評価及び試験（別紙 1 参照）にて構造・強度及び機能維持を確認し，簡便で共通的な取扱いとして機能喪失に対して十分に余裕を持たせて設定（いずれの許容応力状態についても弾性応答範囲）したものである。

以上より，実際のメカニカルスナッパについては，地震時の発生荷重が従来の許容荷重を超えると直ちに支持機能を喪失することは無く，メカニカルスナッパを構成する強度部材毎の詳細評価により支持機能に対する健全性を確認するアプローチが可能と考えられる。なお，このようなアプローチは，J E A G 4 6 0 1 における動的機能維持評価と同様，機能確認済加速度を用いた評価で機能を確認できなかった場合の詳細検討である。

4.2 今回工認におけるメカニカルスナッパの評価手順

メカニカルスナッパの耐震設計に係る評価手順を図 4-1 に示す。

評価手順は，従来と同様に簡易評価（許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重の 1.5 倍を許容荷重とする）を基本とし，簡易評価で許容荷重を満足できない場合は，耐震改造工事の検討を行う。

ただし，耐震改造工事の検討において，設置場所の制約や今後のメンテナンス性等の理由により当該メカニカルスナッパの改造工事が困難な場合に限っては，詳細評価を実施する手順とする。

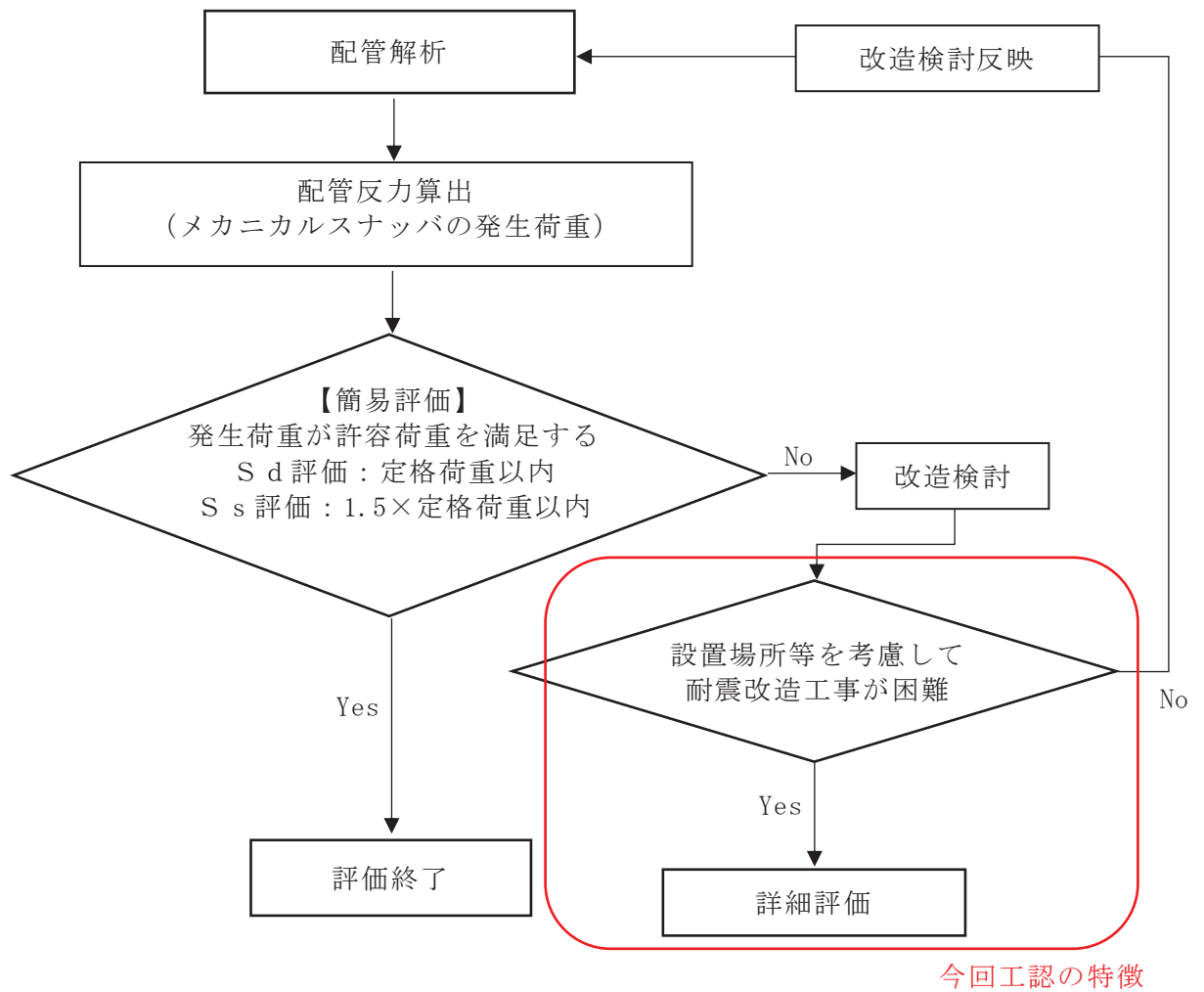


図 4-1 メカニカルスナップバの耐震設計に係る評価手順

表 4-1 メカニカルスナッパの機能喪失要因の影響確認方法

要求機能	機能喪失要因	影響確認手法	許容応力状態	
			Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
地震時の機能	構造部材損傷	構造強度評価（部品強度評価）	○	○
	スナバ座屈	構造強度評価（座屈評価）	○	○
	ボールねじ機能喪失	構造強度評価（部品強度評価） 振動応答試験	○	○
	ブレーキドラム機能喪失	低速走行試験	○	○
地震後の作動と性能確保	構造部材変形	構造強度評価（部品強度評価）	○	—
	ボールねじ機能喪失	構造強度評価（部品強度評価） 振動応答試験	○	○

(4) 上記(3)で検討した構造強度評価を実施するにあつては、メカニカルスナッパの型式毎に地震時の荷重伝達経路を分析し、評価対象となる強度部材（評価部位）の抽出及び評価項目を検討する。なお、地震時の荷重伝達経路の分析結果を踏まえた評価部位及び評価項目の検討結果については、5項に示す。

(5) 上記(4)で検討した各評価部位に対する評価項目について、当該メカニカルスナッパの発生荷重（弾性設計用地震動 S_d 、基準地震動 S_s ）に対する構造強度評価を実施する。また、構造強度評価における許容限界は、J E A G 4 6 0 1におけるその他の支持構造物の許容応力とする。なお、構造強度評価が難しい機能部品（軸受等）については、試験に基づき設定した荷重を用いる。

5. 詳細評価における評価対象部位及び評価項目

5.1 SMS 型メカニカルスナッパ

- (1) SMS 型メカニカルスナッパの構造及び荷重伝達経路を図 5-1 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路はどの型式（容量）も同一である。



図 5-1 SMS 型メカニカルスナッパの構造及び荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 荷重伝達経路を踏まえた構造強度評価部位の抽出結果を図 5-2 に、評価部位及び評価項目の整理結果を表 5-1 に示す。なお、SMS 型メカニカルスナップの構造強度評価部位及び評価項目に対する詳細については、別紙 3 に示す。

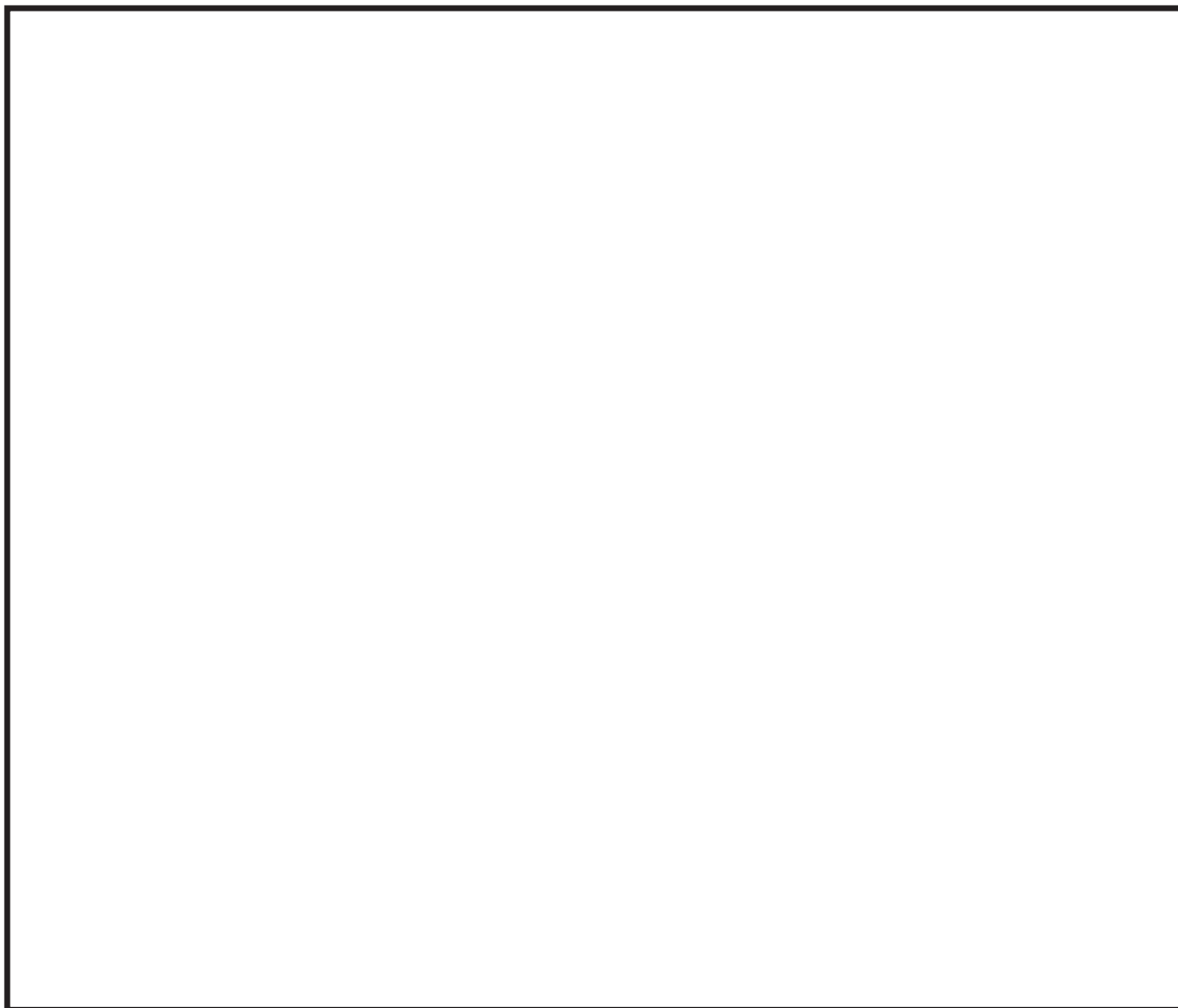


図 5-2 SMS 型メカニカルスナップの構造強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-1 SMS 型メカニカルスナップの評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
① イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
② ロードコラム	引張応力
	せん断応力
③ ベアリングケース	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
④ ベアリング押え	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
⑤ 六角ボルト	引張応力
⑥ ベアリングナット	せん断応力
⑦ ジャンクションコラムアダプタ	引張応力
	せん断応力
⑧ ダイレクトアタッチブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨ コネクティングチューブ	引張応力
	せん断応力
	圧縮応力
⑩ ユニバーサルボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑪ ユニバーサルブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑫ アンギュラー玉軸受	試験結果に基づく機能評価
⑬ ボールネジ	引張応力
⑭ 球面軸受	試験結果に基づく機能評価
⑮ 座屈評価	試験結果に基づく機能評価

5.2 NMB 型メカニカルスナップ

- (1) NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路を図 5-3 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路はどの型式（容量）も同一である。



図 5-3 NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- (2) 荷重伝達経路を踏まえた構造強度評価部位の抽出結果を図 5-4 に、評価部位及び評価項目の整理結果を表 5-2 に示す。なお、NMB 型メカニカルスナップの構造強度評価部位及び評価項目に対する詳細については、別紙 3 に示す。

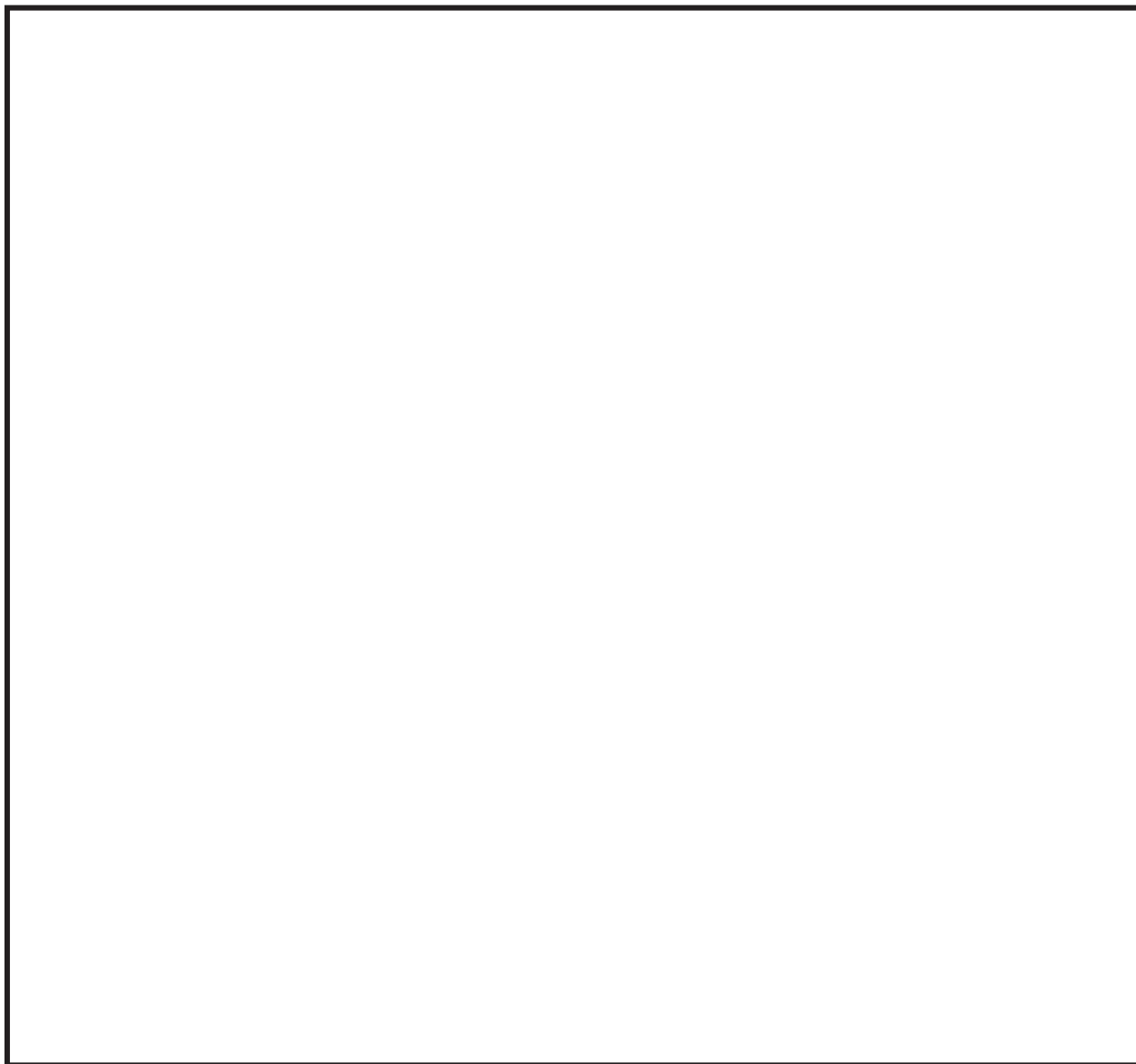


図 5-4 NMB 型メカニカルスナップの構造強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-2 NMB 型メカニカルスナップの評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
① リアブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
② セットボルト	引張応力
③ ケース	引張応力
	せん断応力
④ ベアリングシート	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑤ ベアリングボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑥ スリーブ	せん断応力
	支圧応力
⑦ カラー	せん断応力
	支圧応力
⑧ ロードシリンダ	引張応力
	圧縮応力
⑨ ターンバックル	引張応力
⑩ エンドプラグ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑪ 延長パイプキット	引張応力
	せん断応力
⑫ 延長パイプブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑬ クレビス (アイ)	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑭ クレビス (本体)	曲げ応力
	引張応力
	せん断応力
	組合せ応力
⑮ ピン	せん断応力
	曲げ応力
⑯ ボールねじ	引張応力
⑰ 球面軸受	定格荷重
⑱ 転がり軸受	定格荷重
⑲ 全長座屈 (ストローク 125)	圧縮応力
⑳ 全長座屈 (ストローク 250)	圧縮応力

6. 詳細評価対象メカニカルスナップ

今回工認における主配管に設置されたメカニカルスナップ（約 500 台）のうち，簡易評価において許容荷重を超え，かつ耐震改造工事が困難なスナップ（47 台）を抽出し，それらの弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による発生荷重と許容荷重を比較した結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 簡易評価による詳細評価対象選定結果（1/2）

配管モデル名	支持点番号	メカニカルスナップ型式	弾性設計用地震動 S_d		基準地震動 S_s		設置場所*
			発生荷重 [kN]	許容荷重 $III_A S$ [kN]	発生荷重 [kN]	許容荷重 $IV_A S$ [kN]	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 簡易評価結果一覧表 (2/2)

配管モデル名	支持点番号	メカニカルスナッパ型式	弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s		設置場所*
			発生荷重 [kN]	許容荷重 III _A S [kN]	発生荷重 [kN]	許容荷重 IV _A S [kN]	

注記*1: RB は, 原子炉格納容器内を除く原子炉建屋内を示す。PCV は, 原子炉格納容器内を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7. 詳細評価結果

6 項で抽出した詳細評価対象メカニカルスナップについて、別紙 3 に示す詳細評価方法に基づき、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する各評価部位の構造強度評価を実施した。

各メカニカルスナップにおける最小裕度部品の評価結果を表 7-1 に示す。弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する各メカニカルスナップの評価結果は、全て許容応力又は荷重以下であり、地震時の健全性は確保されることを確認した。

表 7-1 詳細評価結果一覧表 (1/5)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
				発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-1 詳細評価結果一覧表 (2/5)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S d		基準地震動 S s		
				発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-1 詳細評価結果一覧表 (3/5)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
				発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-1 詳細評価結果一覧表 (4/5)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _s S [MPa]	発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _s S [MPa]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-1 詳細評価結果一覧表 (5/5)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
				発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	発生荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

8. 詳細評価の妥当性

電共研試験及び JNES 試験では、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認するとともに、耐力評価手法を構築することを目的とし、メカニカルスナッパの加振試験を実施している。その中で、メカニカルスナッパは、電共研試験及び JNES 試験において、メカニカルスナッパが破損するまで徐々に荷重を増加させる振動応答試験を実施している。これらの試験によるデータと机上計算による部品設計耐力に基づき部品ごとの耐力を予測し最弱部品を抽出する耐力評価手法を構築して、その耐力評価手法を用いてメカニカルスナッパの型式ごとに耐力値を評価している。

メカニカルスナッパの部位ごとの構造強度評価に用いる発生荷重が、試験データと机上計算により求められた耐力値を下回っていれば、当該の発生荷重に対してスナッパの機能が維持されることを担保できるため、型式ごとに算出された耐力値と詳細評価対象メカニカルスナッパの最大発生荷重の関係を比較し表 8-1, 表 8-2 に整理した。なお表中の最大発生荷重は、詳細評価対象となったスナッパの中で各型式において発生する最大荷重（配管解析により算出した反力値）を記載したものである。

表 8-1, 表 8-2 に示すとおり、最大発生荷重は耐力値よりも小さいため、最大発生荷重の負荷後も機能維持できると判断した。

表 8-1 SMS 型の電共研試験及び JNES 試験における耐力値と最大発生荷重

型式	定格容量 [kN]	耐力値 [kN]		最大発生荷重 [kN]		
		電共研試験	JNES 試験	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	発生個所

表 8-2 NMB 型の電共研試験及び JNES 試験における耐力値と最大発生荷重

型式	定格容量 [kN]	耐力値 [kN]		最大発生荷重 [kN]		
		電共研試験	JNES 試験	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	発生個所

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9. 結論

既工認で設定した許容荷重を上回る荷重が発生するメカニカルスナップについて、地震時の異常要因分析により機能喪失要因を特定し、抽出された機能喪失要因に対して地震時の荷重伝達経路の分析結果を踏まえた評価部位及び評価項目を設定し、メカニカルスナップに発生する荷重による構造強度評価により許容値を満足していることを確認した。

メカニカルスナップ確性試験の概要

1. はじめに

機器・配管系の支持装置として用いる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一方、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している。

このメカニカルスナップの機能が定格荷重の1.5倍の負荷後においても維持されることを確認する確性試験が実施されており、振動等に対して拘束する機能については振動応答試験、低速度移動に対して自由に伸縮する機能については低速走行試験でそれぞれの機能維持が確認されている。この確性試験結果は、以下の図書にまとめられている。



本資料は、確性試験の概要を整理したものである。

2. メカニカルスナップの確性試験概要

2.1 試験内容

確性試験では、振動負荷後の性能維持を確認するため、定格荷重の1.5倍に対する負荷振動試験、振動応答試験及び低速走行試験を実施している。

確性試験のフローを図1に示す。

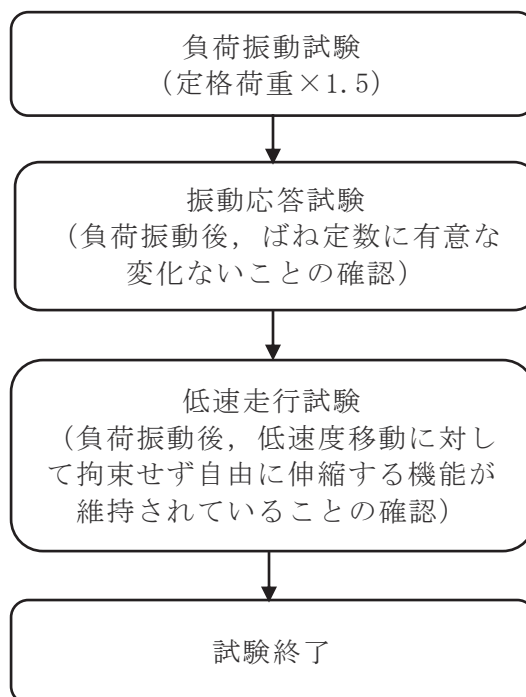
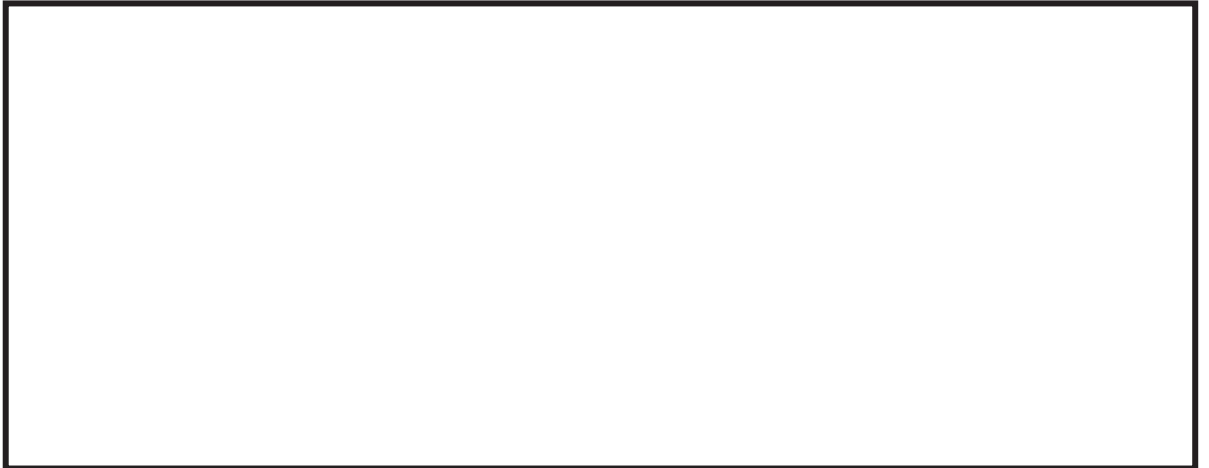


図1 確性試験フロー

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 試験方法



2.3 試験結果

負荷振動試験により定格荷重の 1.5 倍となる振動を負荷した後であっても、振動による顕著な性能への影響は認められず、メカニカルスナップに要求される機能を維持できることが確認された。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

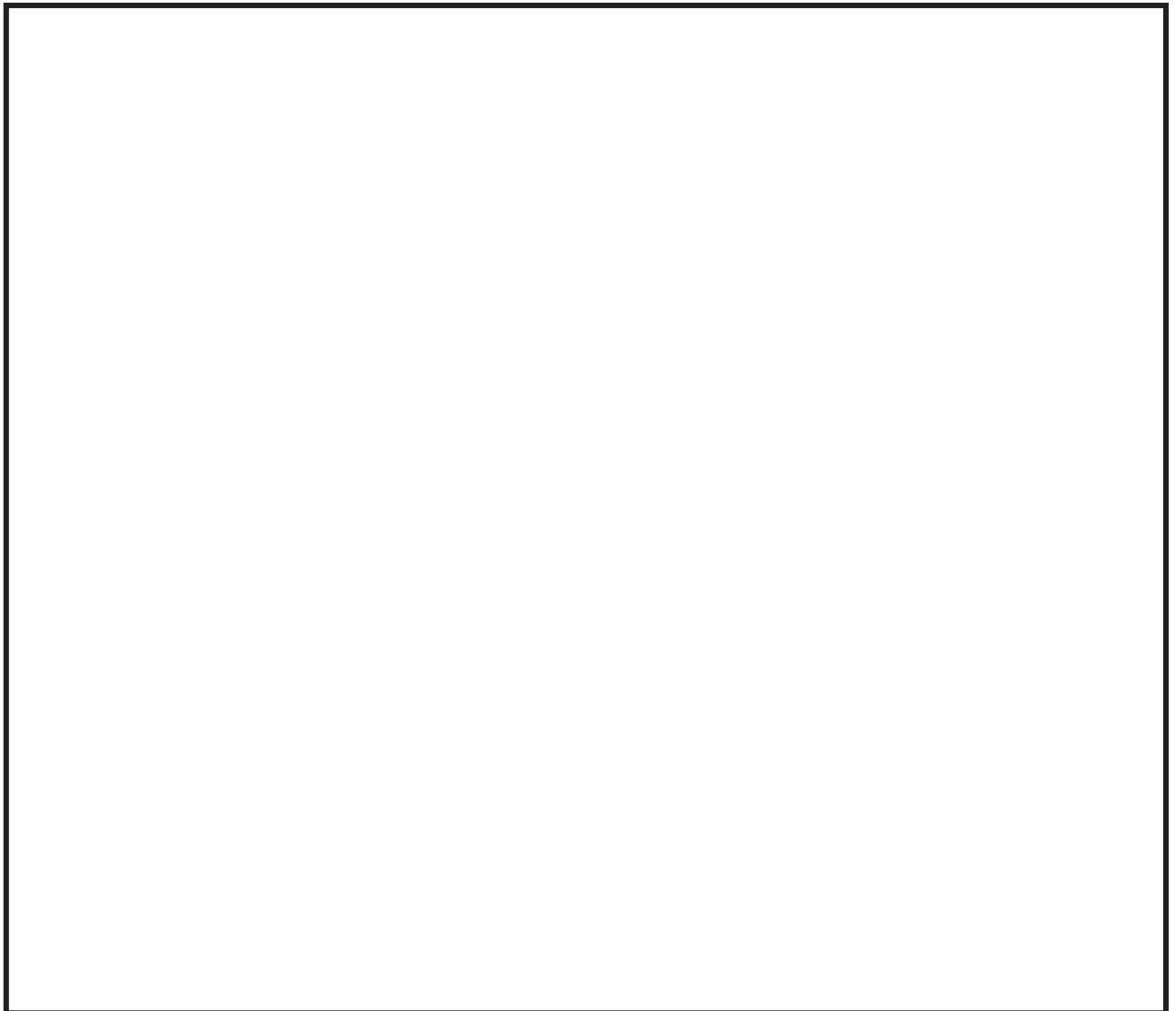
メカニカルスナッパの電力共同研究及び JNES における耐力値検討の概要

1. はじめに

メカニカルスナッパについては，電力共同研究（電共研）「共同研究報告書 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)」及び原子力安全基盤機構（JNES）「平成 21～22 年度耐震機能限界試験（スナバ）に係る報告書」において耐力値の検討が実施されている。

本資料は，これらの検討の概要を整理したものである。

2. 電力共同研究における検討

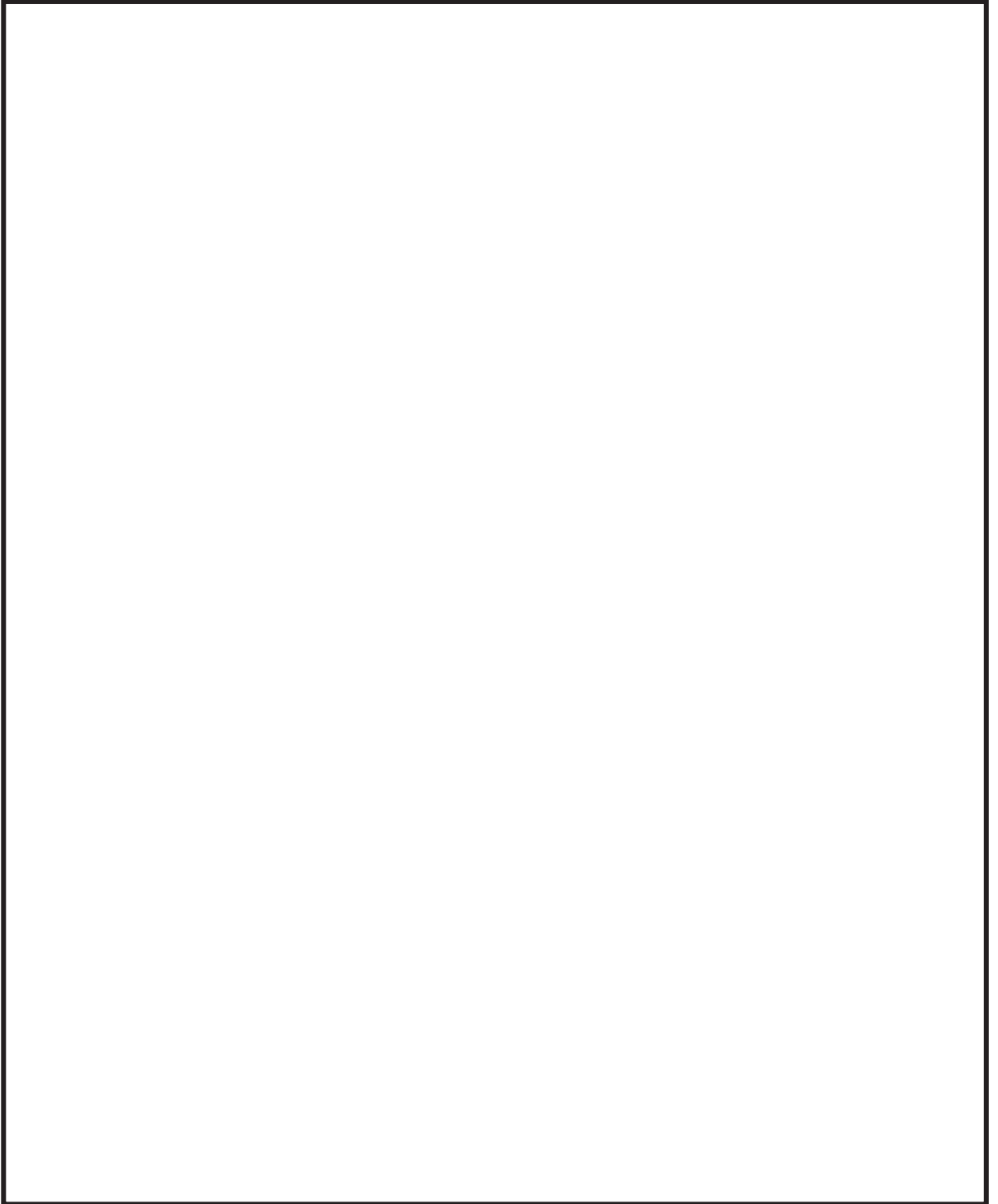


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

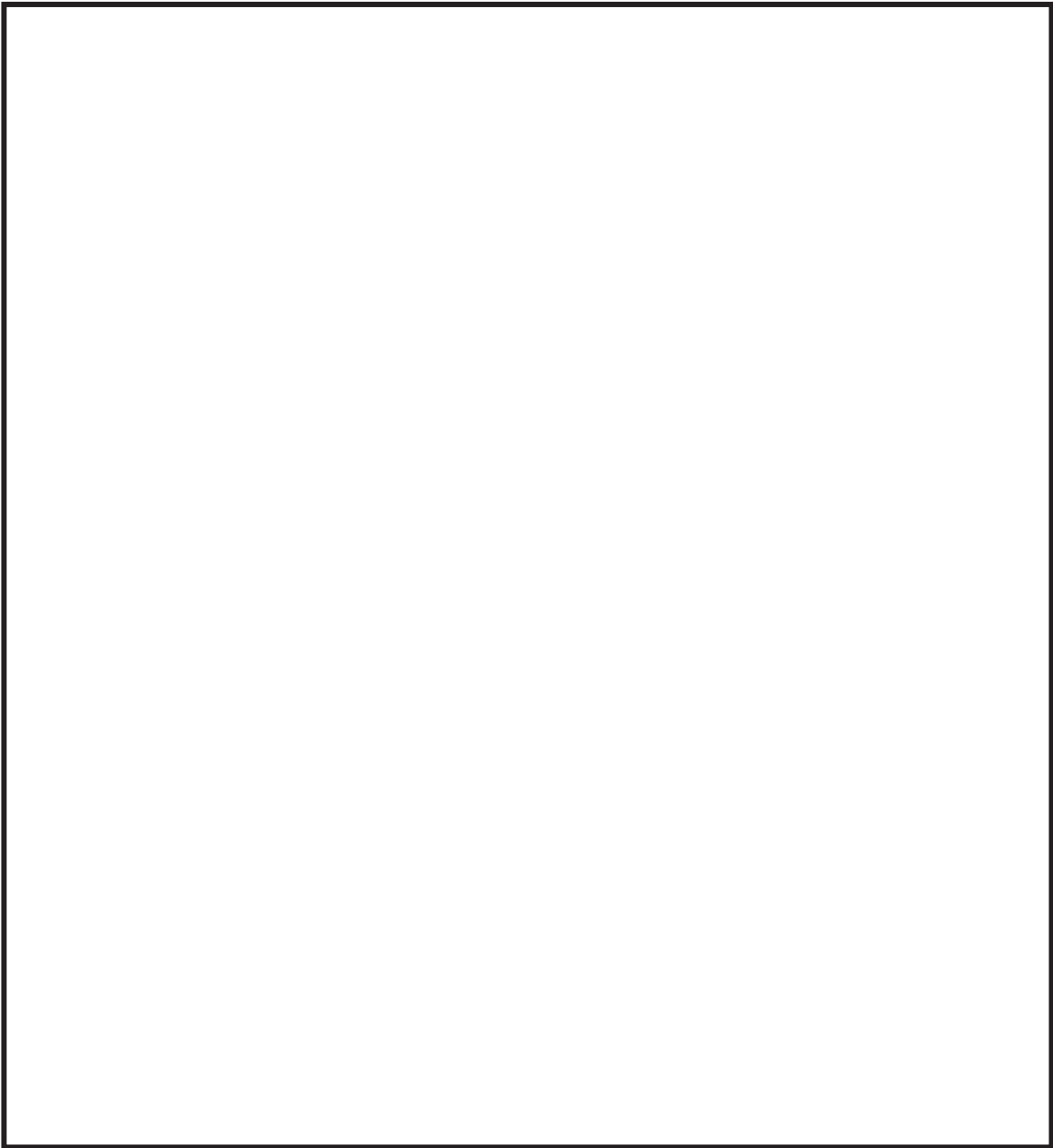


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. JNES における検討



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの詳細評価方法

1. 記号の定義

メカニカルスナップの強度計算式に使用する記号は、下記のとおりとする。

(1) SMS 型

記号	定義	単位
A	ユニバーサルブラケット溶接部寸法	mm
A_p	支圧応力計算に用いる断面積	mm^2
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm^2
A_{s1}		
A_{s2}		
A_{s3}		
A_{s4}		
A_t	引張応力計算に用いる断面積	mm^2
A_{t1}		
A_{t2}		
A_{t3}		
A_{t4}		
B	イーヤせん断断面寸法	mm
	ブラケット穴部せん断断面寸法	
C	イーヤ引張断面寸法	mm
	ブラケット引張断面寸法	
	ユニバーサルブラケット引張断面寸法	
C_1	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C_2	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C_3	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C_4	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
D	イーヤ穴径	mm
	ブラケット穴径	
	コネクティングチューブ外径	
D_1	ジャンクションコラムアダプタ外径	mm
	ロードコラム外径	
	ベアリング押えの支圧強度面内径	

記号	定義	単位
D ₂	ジャンクションコラムアダプタ内径	mm
	ロードコラム内径	
	ベアリング押えの支圧強度面外径	
D ₃	ケースの引張強度面内径	mm
D ₄	ケースの引張強度面外径	mm
d	ピン径	mm
d ₁	ユニバーサルボックス穴径	mm
d ₂	ユニバーサルボックス穴径	mm
E	縦弾性係数	MPa
e ₁	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
e ₂	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値	MPa
F _b	曲げ応力	MPa
F _c	圧縮応力	MPa
F _p	支圧応力	MPa
F _s	せん断応力	MPa
F _{s1}		
F _{s2}		
F _{s3}		
F _{s4}		
F _t	引張応力	MPa
F _{t1}		
F _{t2}		
F _{t3}		
F _{t4}		
f _c	許容圧縮応力	MPa
H	ベアリングナット高さ	mm
h	すみ肉溶接部脚長	mm
	ベアリング押え板厚	
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
k	ねじ部せん断係数	—

記号	定義	単位
L	ベアリングナット高さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
M	六角ボルトの呼び径	mm
	ベアリングナット穴径	
n	六角ボルトの本数	本
P	発生荷重	N
T	ねじ部穴径	mm
t	コネクティングチューブ板厚	mm
	イーヤ板厚	
	ケースのせん断強度面板厚	
	ベアリング押え板厚	
	ユニバーサルブラケット板厚	
t_1	ユニバーサルボックス板厚	mm
	コネクティングチューブ板厚	
t_2	ユニバーサルボックス板厚	mm
	コネクティングチューブ板厚	
T_e	コネクティングチューブ溶接部寸法	mm
β'_{10}	ベアリング押え曲げ応力係数（「機械工学便覧 A4材料力学」による）	—
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
A 1, A 2, A 3, a, b, c, d, h, L, α	ボールネジ引張断面寸法	mm
a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m, I 1, I 2, I 3, I 4, I 5, I 6, L 1, L 2, L 3, L 4, L 5, L 6,	座屈計算に用いる寸法	mm

(2) NMB 型

記 号	定 義	単 位
A	応力計算に用いる断面積	mm ²
A w	応力計算に用いる溶接部断面積	mm ²
a	イーヤ加工部径	mm
b	イーヤ加工部深さ	mm
B B P I N	連結部板厚	mm
D	ピン径	mm
D 0	パイプ外径	mm
	シリンダ外径	
D 0 B B	おねじ谷径	mm
D 0 B S	ベアリングシート引張部外径または有効径	mm
D 0 C A	ケース外径	mm
D 0 C L	カラー外径	mm
D 0 E P	おねじの谷径	mm
D 0 E X K	パイプ外径	mm
D 0 L C	ロードシリンダ外径	mm
D 0 S L	スリーブ支持板外径	mm
D 0 T B	ターンバックル外径	mm
D 1	パイプ内径	mm
	シリンダ内径	
D 1 B B	軸受外径	mm
D 1 B S	ベアリングシート引張部内径	mm
D 1 C A	ケースねじ部の谷径	mm
D 1 E P	ボールネジ逃がし穴内径	mm
D 1 E X K	延長パイプ外径	mm
D 1 L C	ねじ逃げ溝部内径	mm
D 1 S B	ボルト呼び径	mm
D 1 T B	ねじ逃げ溝内径	mm
D 2 C A	ケース外径	mm
D 2 E X K	差し込み代確認用穴径	mm
D 3 C A	ケース内径	mm
D B	軸受寸法	mm

記号	定義	単位
DBAL	ねじ谷径	mm
DBBB	軸受外径	mm
DBCL	ベアリング内径	mm
DBSL	スリーブ外径	mm
DEPB	パイプ外径	mm
DH	球面軸受外径	mm
	ピン穴径	
DHBB	穴部直径	mm
DHBS	ベアリングシート開口部径	mm
DHCL	穴部内径	mm
DHEP	球面軸受用穴径	mm
DHEXB	球面軸受外径	mm
DHTB	ターンバックル内径	mm
DMCL	ボールネジ外径	mm
DMTB	おねじ部谷径	mm
DPIN	ピン径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値	MPa
FB	曲げ応力	MPa
FBX		
FBY		
FC	圧縮応力	MPa
FP	支圧応力	MPa
FR	組合せ応力	MPa
FT	引張応力	MPa
FT1		
FT2		
FV	せん断応力	MPa
FW	溶接部せん断応力	MPa
fc	許容圧縮応力	MPa
hE	イーヤ溶接部溶け込み長さ	mm

記号	定義	単位
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
L	穴中心軸から付根までの深さ	mm
	全長	
LP	クレビス内幅	mm
l_k	座屈長さ	mm
M	曲げモーメント	N・mm
N	セットボルトの本数	本
P	発生荷重	N
RE	球面軸受中心から端部までの距離	mm
REP	球面軸受穴中心から端部までの距離	mm
REXB	軸受中心から端部までの距離	mm
S	クレビス幅	mm
SE	イーヤ幅	mm
SEP	エンドプラグ幅	mm
SEXB	イーヤ幅	mm
SF	ボルト穴の中心同士の距離	mm
T	クレビス板厚	mm
T1BB	荷重伝達部肉厚	mm
T1BS	ベアリングシート穴部の板厚	mm
T1CL	カラー板厚	mm
T1SL	スリーブ支持板厚	mm
T2BS	ベアリングシート下部の板厚	mm
TB	球面軸受部の幅	mm
TBEP	球面軸受の外輪幅	mm
TBEXB	球面軸受の外輪幅	mm
TE	イーヤ板厚	mm
TEP	エンドプラグ板厚	mm
TEXB	イーヤ板厚	mm
TF	フランジ部板厚	mm

記号	定義	単位
W0CA	溶接脚長	mm
W1CA		
WE		
WEPB		
WEXK		
Z	断面係数	mm ³
α	取り付け角度	deg
θ		
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—

2. 評価方法

詳細評価は、各強度評価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。

なお、適用型式を明記している評価項目以外は評価部位及び評価式について、型式ごとの違いはない。

2.1 SMS 型

① イーヤ

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv ねじ部引張応力

ねじ部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



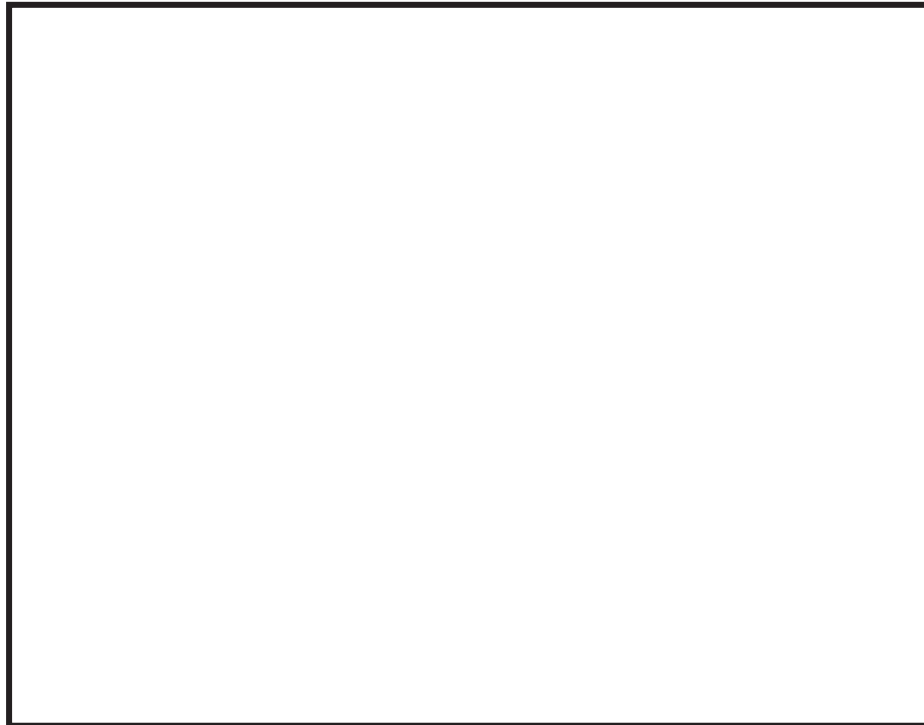
v ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



vi ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② ロードコラム

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 ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



iii ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ ベアリングケース

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④ ベアリング押え

i 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。

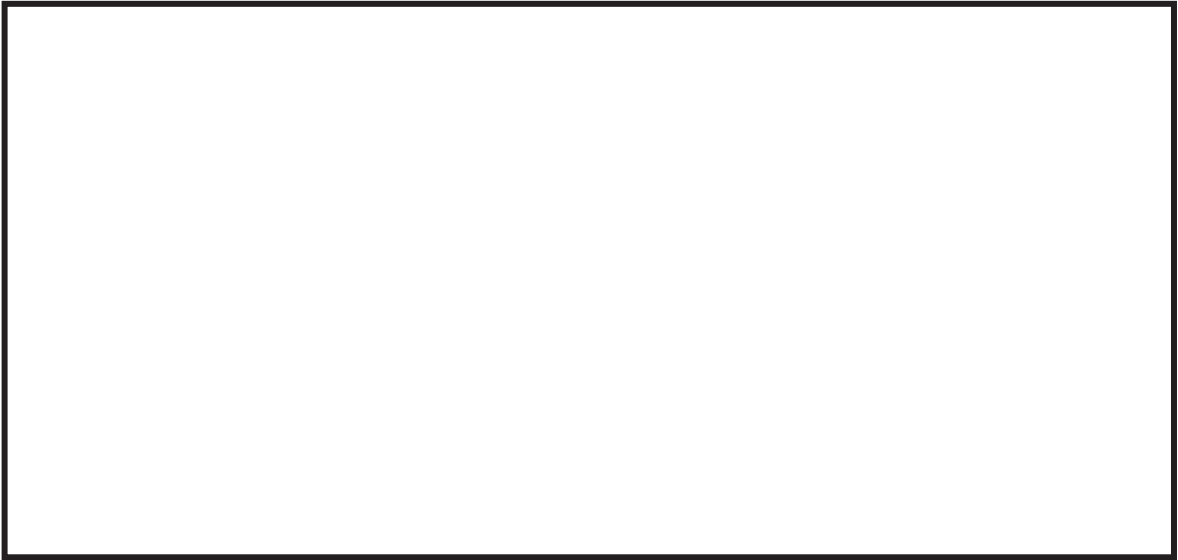
ii 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iii 曲げ応力評価

曲げ応力が，許容曲げ応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤ 六角ボルト (ベアリング押え用)

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑥ ベアリングナット

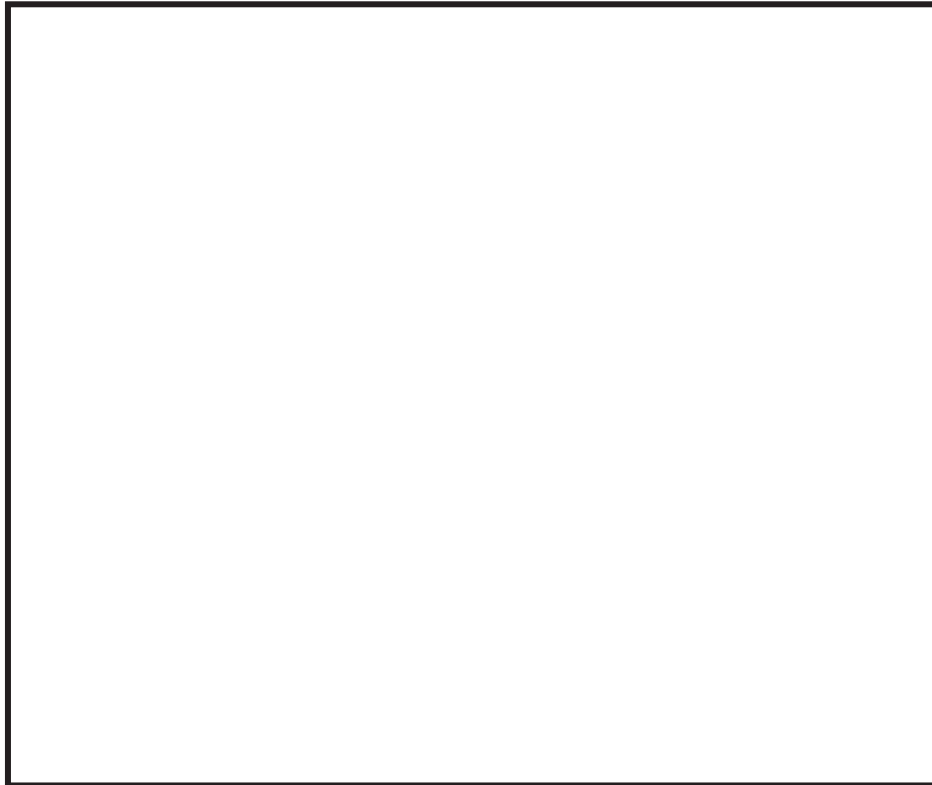
i ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



ii ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦ ジャンクションコラムアダプタ

i コラム部引張応力評価

コラム部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 溶接部せん断応力評価(適用：SMS-01～1)

溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 溶接部引張応力評価(適用：SMS-3～60)

溶接部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

iv 六角ボルト引張応力評価

六角ボルトの引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑧ ダイレクトアタッチブラケット

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv ピンせん断応力評価

ピンのせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



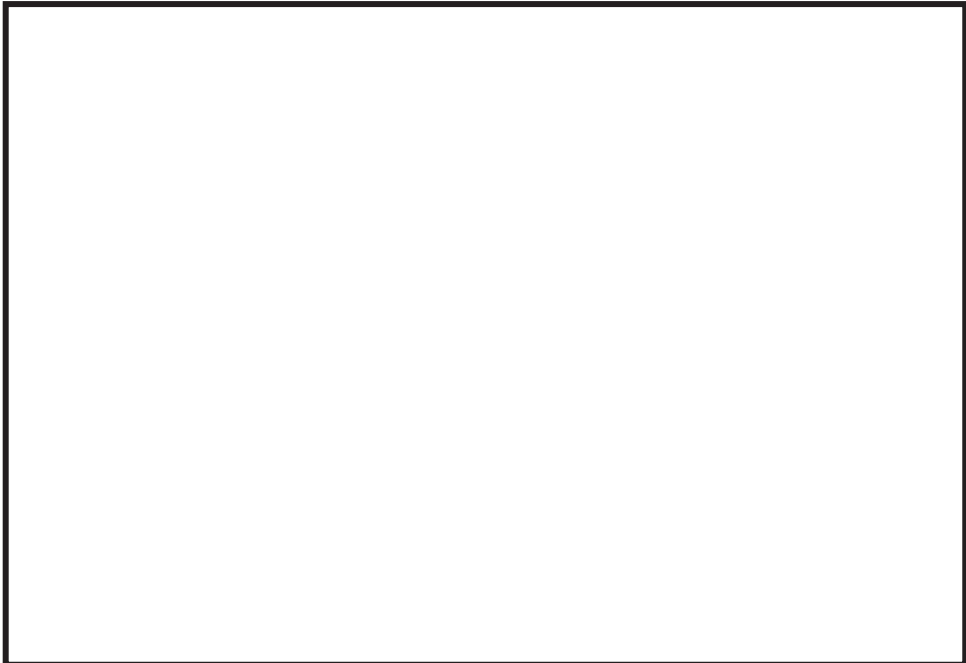
v 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～25）

溶接部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



vi 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

溶接部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑨ コネクティングチューブ

i チューブ引張応力評価（適用：SMS-01～25）

チューブ引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～1）

溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 溶接部引張応力評価（適用：SMS-3～25）

溶接部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

iv チューブ引張応力評価（適用：SMS-40～60）

チューブ引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

v 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

溶接部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

vi 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～3）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

vii 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-6～25）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

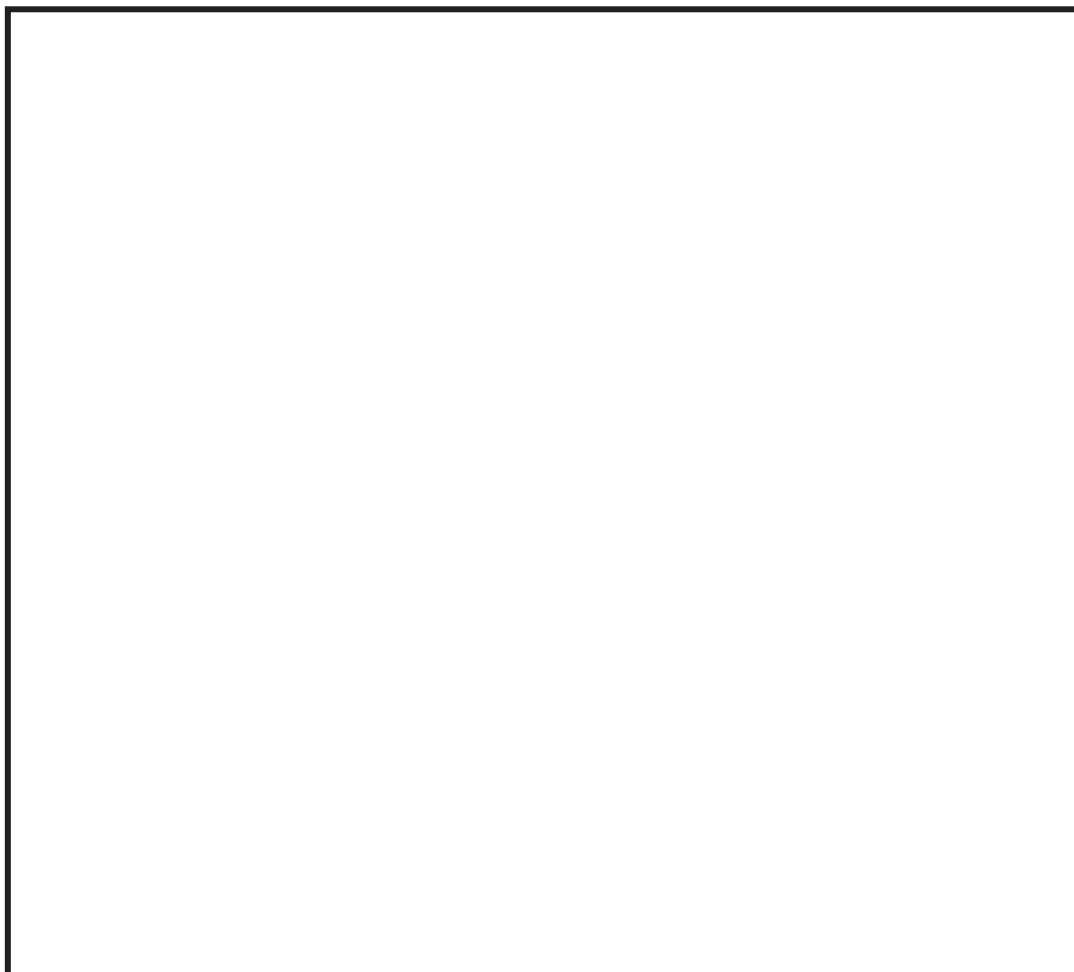
viii 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



ix 圧縮応力評価

圧縮応力が，許容圧縮応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑩ ユニバーサルボックス

i 引張応力評価（適用：SMS-01～25）

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（適用：SMS-01～25）

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iii 支圧応力評価（適用：SMS-01～25）

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



iv 引張応力評価（適用：SMS-40～60）

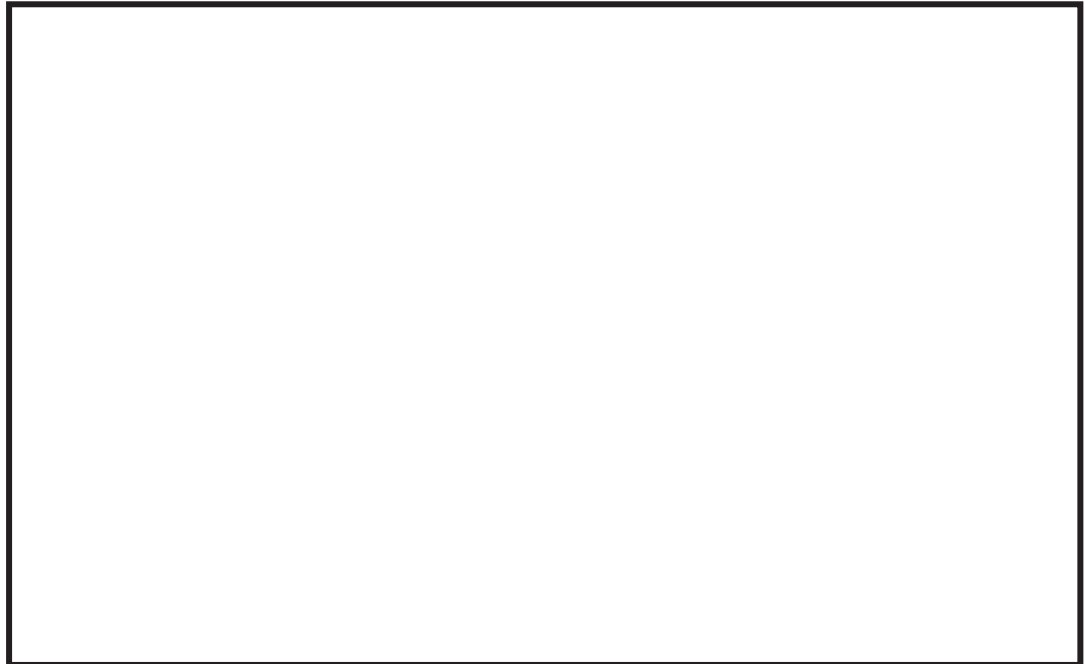
引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

v せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

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。



vi 支圧応力評価（適用：SMS-40～60）

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑪ ユニバーサルブラケット

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。

iv ピンせん断応力評価

ピンのせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

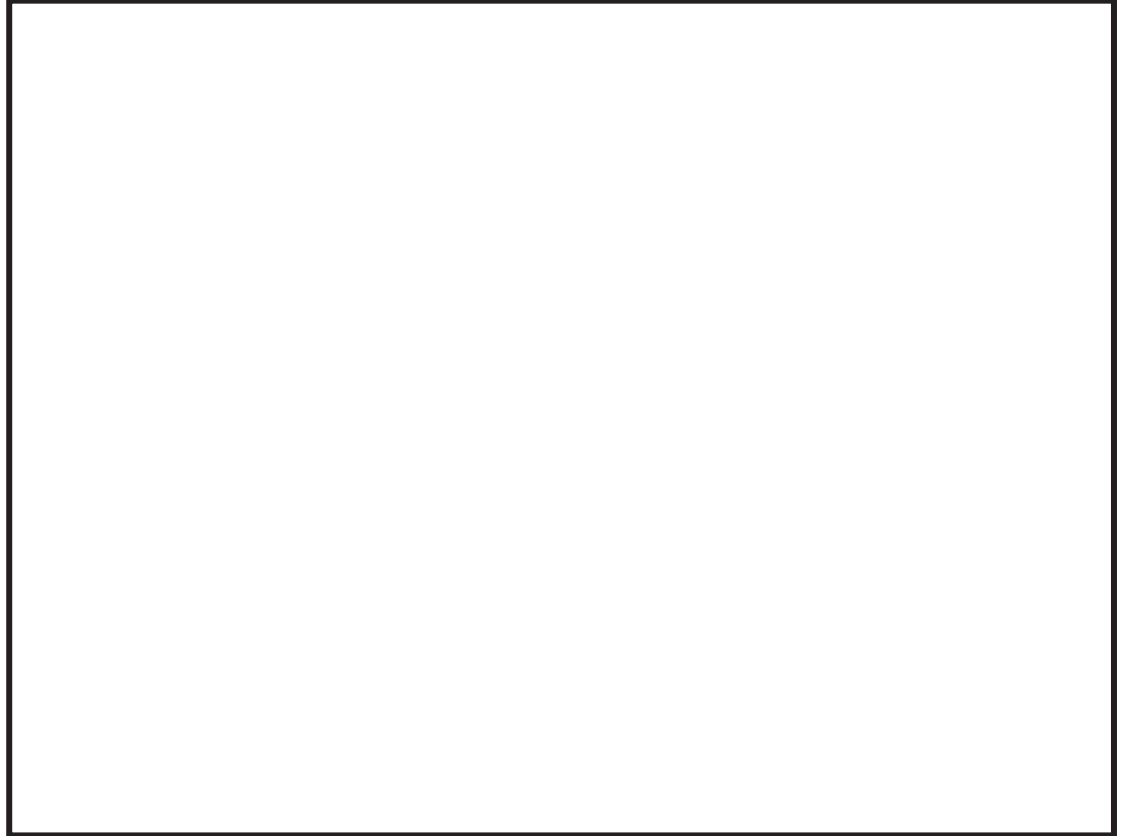
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ アンギュラー玉軸受

アンギュラー玉軸受の耐力は、電共研試験の試験結果を反映し、

とする。

【以下電共研試験報告書抜粋】



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1 アンギュラー玉軸受耐荷重

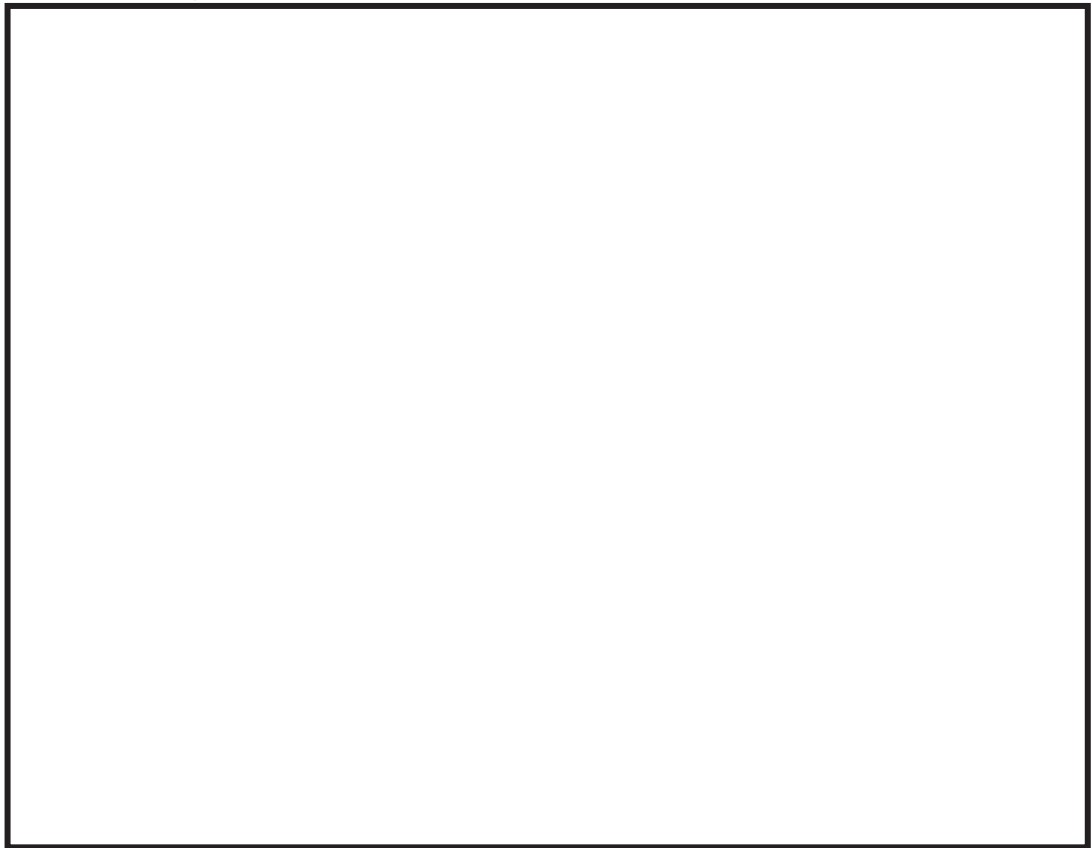
型式	荷重 [N]	スラスト荷重	
		標準スラスト荷重 [N]	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑬ ボールネジ

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑭ 球面軸受

球面軸受の耐力は，電共研の試験結果を反映し，として求める。

電共研「4.2.1.2-68 つば付球面軸受の割れ」の抜粋を以下に示す。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑮ 座屈評価

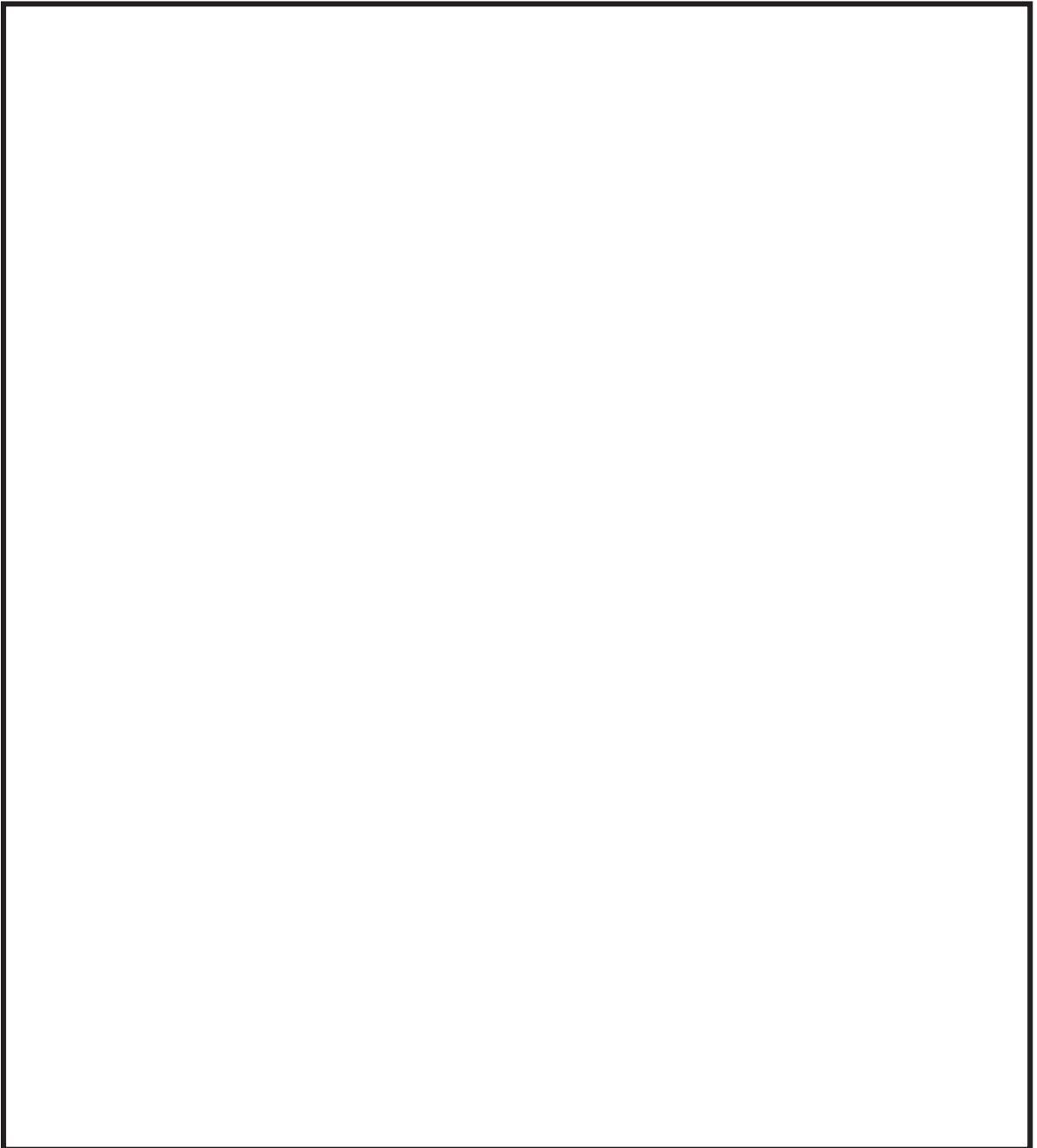
座屈評価は、電共研の研究成果から、計算にて算出した座屈耐力に係数を乗じた値を限界耐力として評価を行う。

電共研試験にて SMS-03 に対して静的座屈試験を実施した結果、

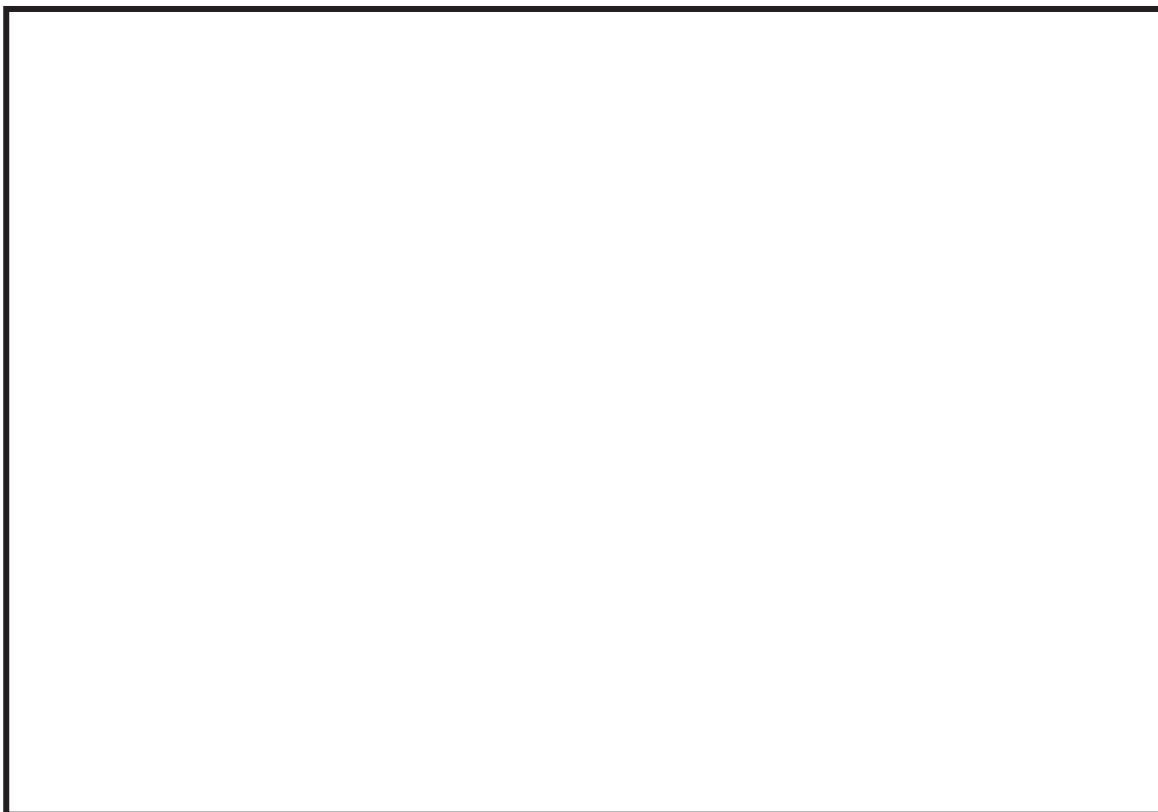
の荷重で座屈したことから、詳細評価においては計算座屈荷重に対して
を座屈限界耐力として評価を行う。

座屈試験の内容について、別紙 4 に示す。

以下、座屈評価方法を示す。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 NMB 型

① リアブラケット

i 穴部引張応力評価

穴部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 穴部せん断応力評価

穴部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 穴部支圧応力評価

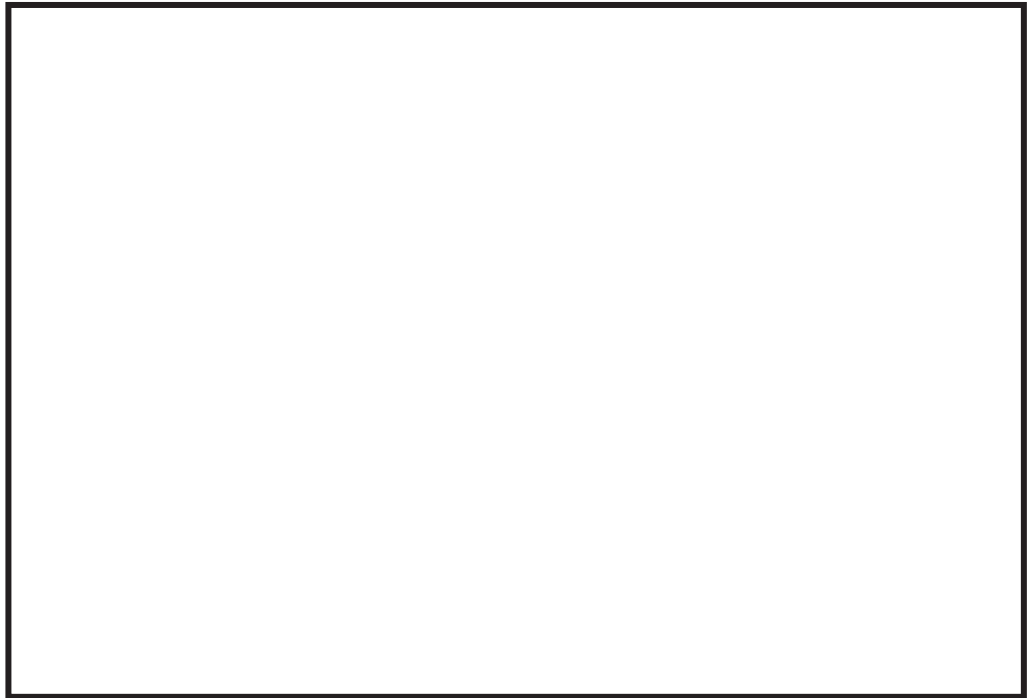
穴部支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- iv 溶接部せん断応力評価（適用：NMB010～250，001～006 は一体型構造のため対象外）

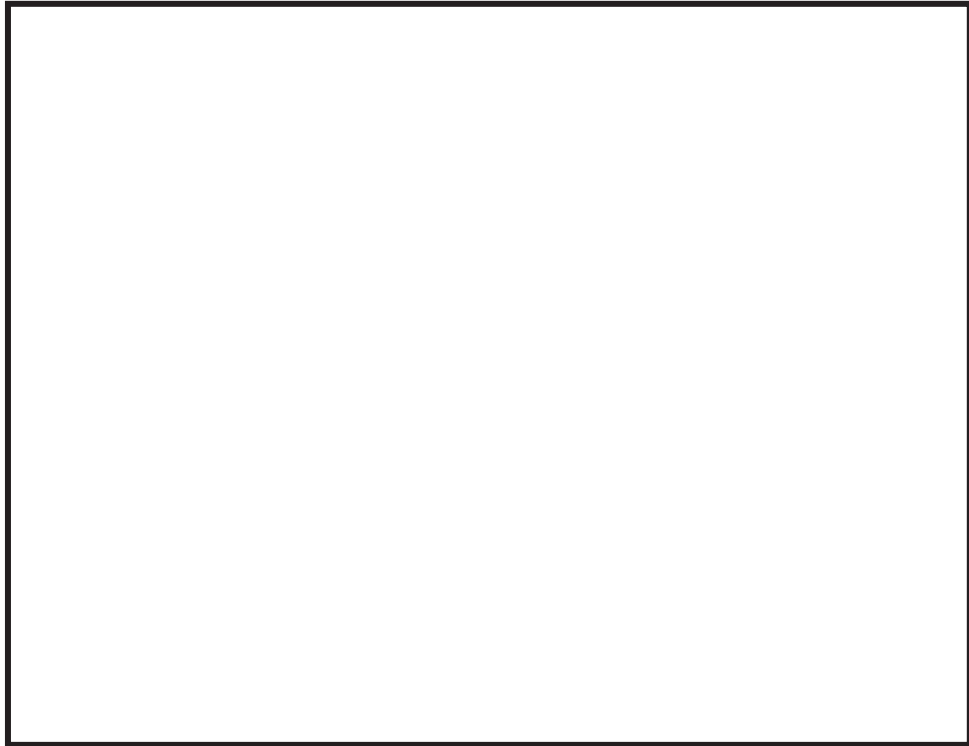
せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

v フランジ部曲げ応力評価

曲げ応力が，許容曲げ応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② セットボルト

i ボルト引張応力評価

ボルト引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ ケース

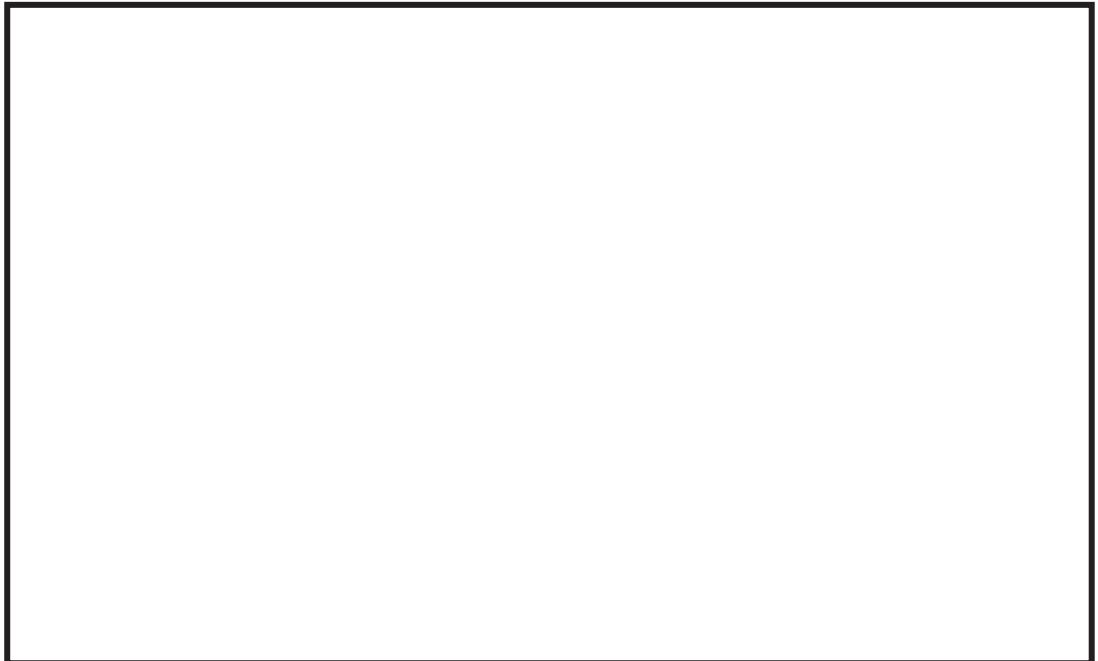
i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



ii 溶接部せん断応力評価

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④ ベアリングシート

i 穴部引張応力

穴部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 穴部せん断応力

穴部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 穴部支圧応力

穴部支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤ ベアリングボックス

i 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。

ii 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。

iii 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。

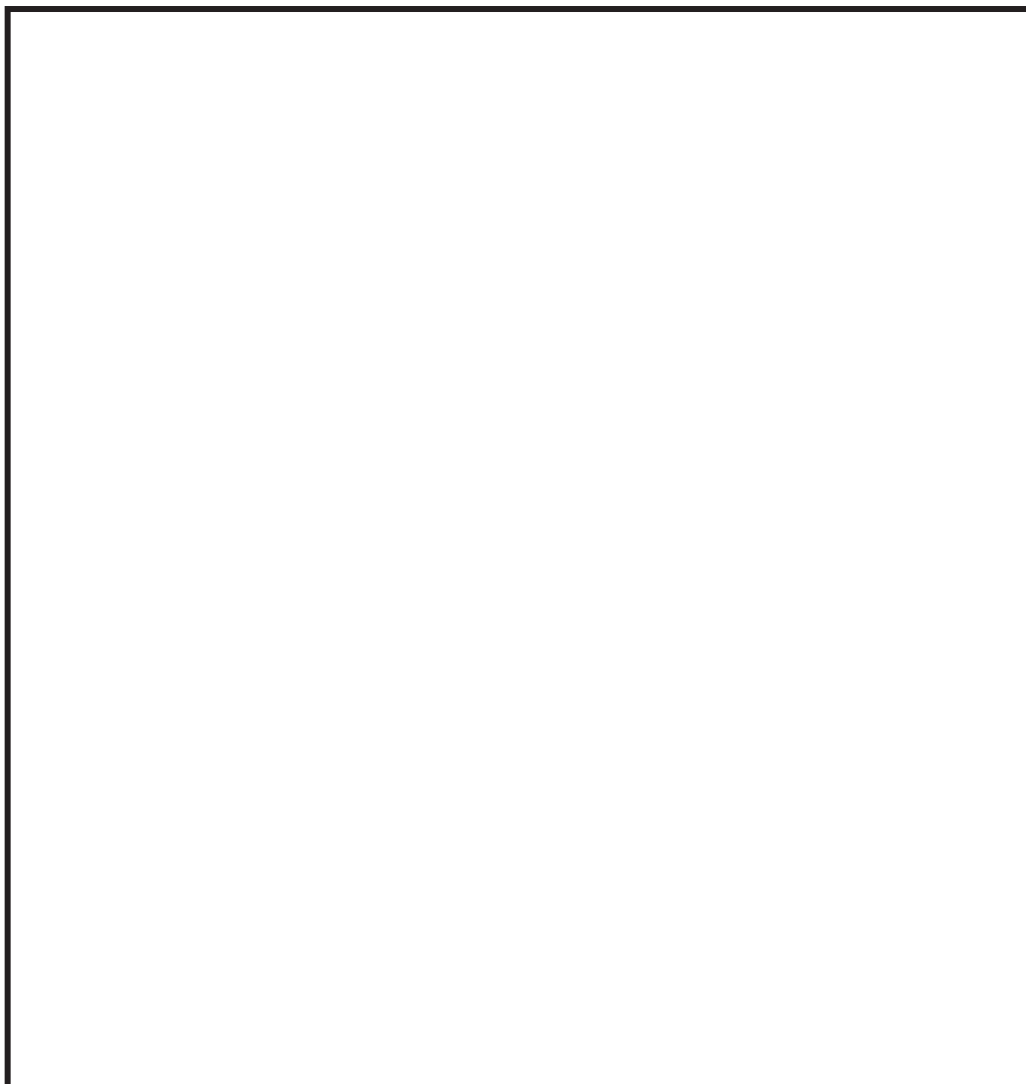
iv 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

v 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑥ スリーブ

i 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。

ii 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦ カラー

i 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。

ii 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑧ ロードシリンダ

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 圧縮応力評価(適用：NMB-001～100)

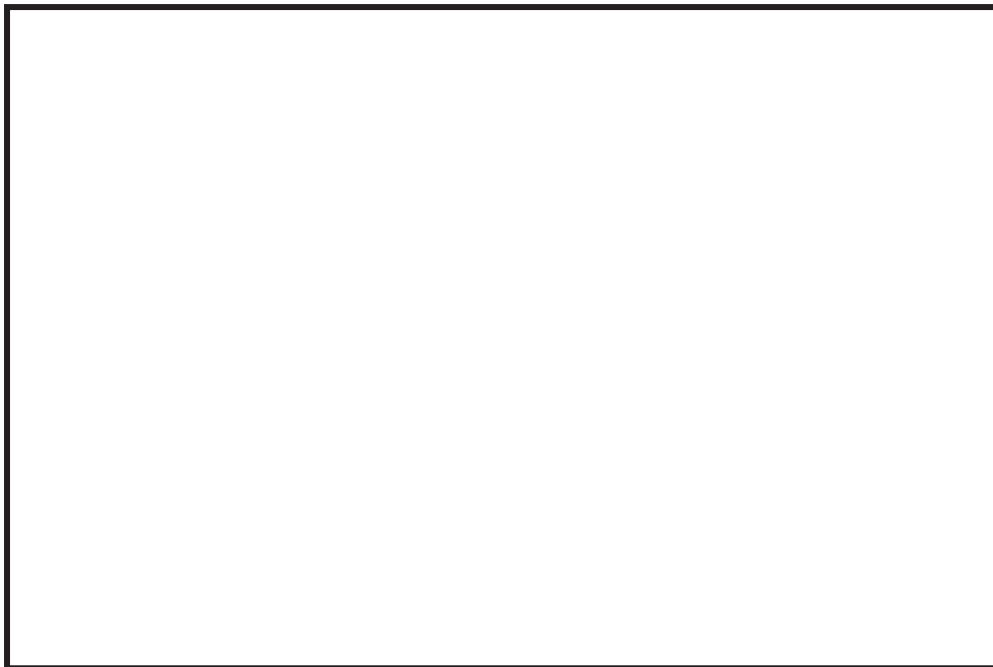
圧縮応力が，許容圧縮応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑨ ターンバックル

i ロッド引張応力評価

ロッド引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑩ エンドプラグ

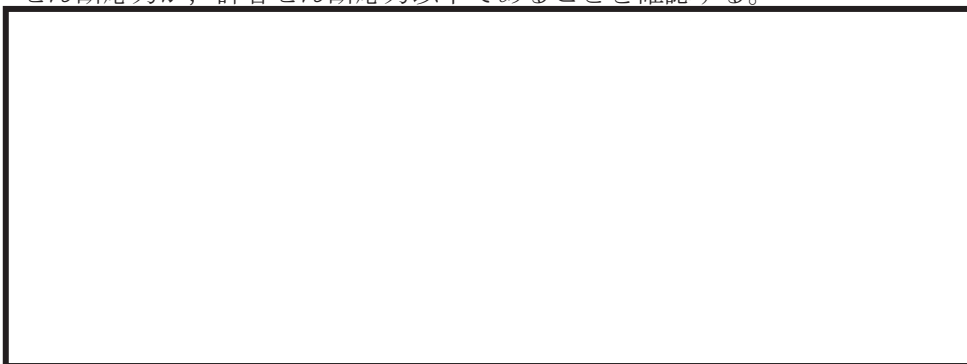
i 引張応力評価

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

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑪ 延長パイプキット及び溶接部

[Redacted]

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。

[Redacted]

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。

[Redacted]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ 延長パイプブラケット(イーヤ穴部)

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv 溶接部せん断応力評価

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。



v 溶接部引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑬ クレビス(アイ)

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑭ クレビス(本体)

i X-X 軸に関する曲げ応力評価

曲げ応力が、許容曲げ応力以下であることを確認する。

ii Y-Y 軸に関する曲げ応力評価

曲げ応力が、許容曲げ応力以下であることを確認する。

iii 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。

iv 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。

v 組合せ応力評価

組合せ応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑮ ピン

i 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。

ii 曲げ応力評価

⑯ ボールねじ

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑰ 球面軸受

球面軸受は、メーカーによる円周方向の静的定格荷重を用いる。

型番	ピン径 [mm]	サイズ	静的定格荷重 [N]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑱ 転がり軸受

転がり軸受は、メーカーによる静的定格荷重を用いる。

型番	ボールねじ 及びカラー径 [mm]	サイズ	静的定格荷重 [N]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑱ 全長座屈(ストローク 125mm 考慮)

i 圧縮応力評価

圧縮応力が、許容圧縮応力以下であることを確認する。

・許容圧縮応力

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑳ 全長座屈(ストローク 250mm 考慮)

i 圧縮応力評価

圧縮応力が，許容圧縮応力以下であることを確認する。

・許容圧縮応力

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの座屈試験の概要

1. はじめに

メカニカルスナップについては，電力共同研究「共同研究報告書 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)」において静的座屈試験が実施されている。本資料は，これらの試験結果の概要を整理したものである。

2. 電力共同研究における試験



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。