

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2
提出年月日	2021年 4月 9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

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	2
4.	メカニカルスナップの詳細評価に係る検討	4
4.1	メカニカルスナップに要求される技術基準及び適用規格	4
4.1.1	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	5
4.1.2	耐震設計に係る工認審査ガイド	6
4.1.3	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987	7
4.1.4	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984	11
4.2	既工認の評価及び今回工認における詳細評価に係る考え方	16
4.2.1	メカニカルスナップの定格荷重	18
4.2.2	既工認の評価手法	19
4.2.3	今回工認における詳細評価の適用	19
4.3	今回工認におけるメカニカルスナップの評価手順	21
5.	詳細評価における評価対象部位及び評価項目	23
5.1	詳細評価手順	23
5.2	構造部材の詳細評価	24
5.3	機能部品の詳細評価	39
6.	詳細評価結果	40
6.1	詳細評価対象メカニカルスナップ	40
6.2	構造部材の詳細評価結果	42
6.3	機能部品の詳細評価結果	49
7.	結論	52
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改造が容易でない箇所		
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		
別紙 5 電共研及び JNES による既往知見の概要		

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の設計に当たっては、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）（(社)日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」）に従い、地震荷重に対して十分な強度を持たせた耐震設計としている。

機器・配管系の支持構造物のうちメカニカルスナッパは、J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」に該当し、構造強度評価によって支持機能を評価することを定めている。既工認におけるメカニカルスナッパの耐震設計では、J E A G 4 6 0 1 に基づき構造強度評価によって定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍の荷重に対するメカニカルスナッパの構成部品の発生荷重が、許容応力状態Ⅲ_AS 又は許容応力状態Ⅳ_AS の許容限界を満足することを確認した上で、定格荷重又は定格荷重の 1.5 倍を設計上の基準値として設定している。

今回工認の耐震設計においてもメカニカルスナッパの設計上の基準値は、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。ただし、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設計上の基準値を超え、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が容易ではない場合は、J E A G 4 6 0 1 の要求事項に基づき、発生荷重が許容応力状態Ⅲ_AS 又は許容応力状態Ⅳ_AS の許容限界を満足することを詳細評価により確認する。

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設計上の基準値（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が容易でない場合に適用する。

3. メカニカルスナップの構造及び作動原理

メカニカルスナップは、地震時に発生する配管反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特徴を持った製品であり、プラント運転中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用いている。

メカニカルスナップはボールねじ、ボールナット等にて配管移動を等価質量の回転運動に変換し、入力加速度が小さい（緩やかな配管移動）場合は小さな抵抗力で自由に移動するが、入力加速度が大きい（急速な配管移動）場合は大きな抵抗力が発生して配管を拘束する機構を有しており、配管から発生する荷重を拘束するための構造部材等と配管の移動に追従するための機能部品等で構成されている。

以上より、メカニカルスナップを構成する部材は、地震時の配管反力を支持する構造部材と、配管の熱移動に追従するための機能部品の大きく2種類に分類される。

図 3-1、図 3-2 にメカニカルスナップの構造概要を示す。



図 3-1 メカニカルスナップの構造概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

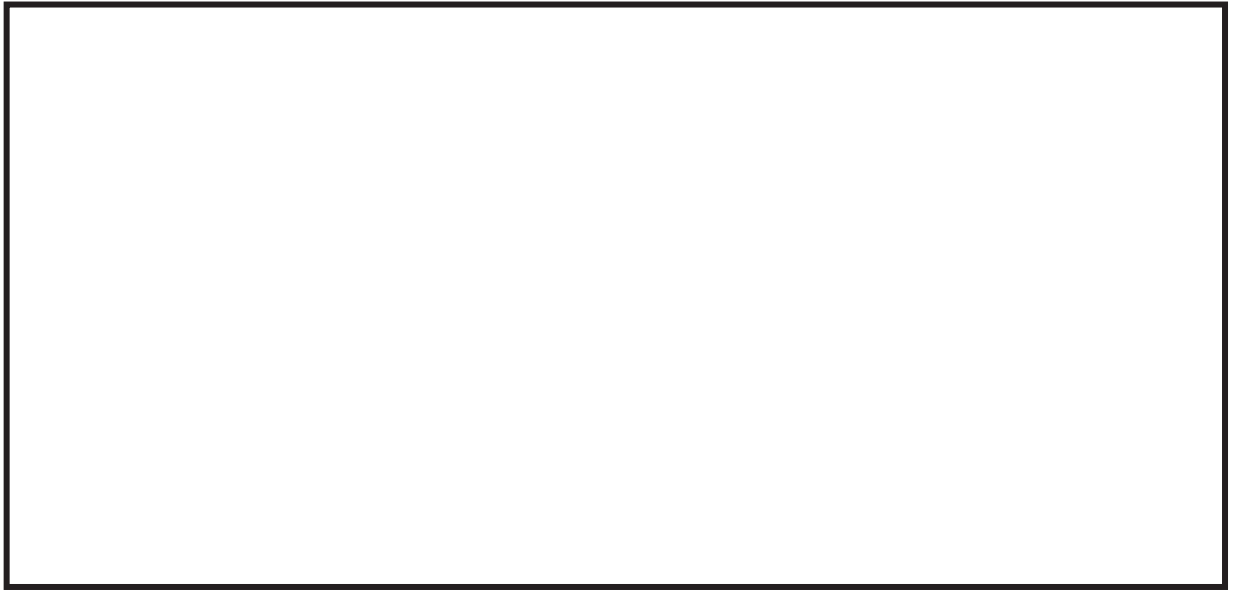


図 3-2 メカニカルスナップの作動原理

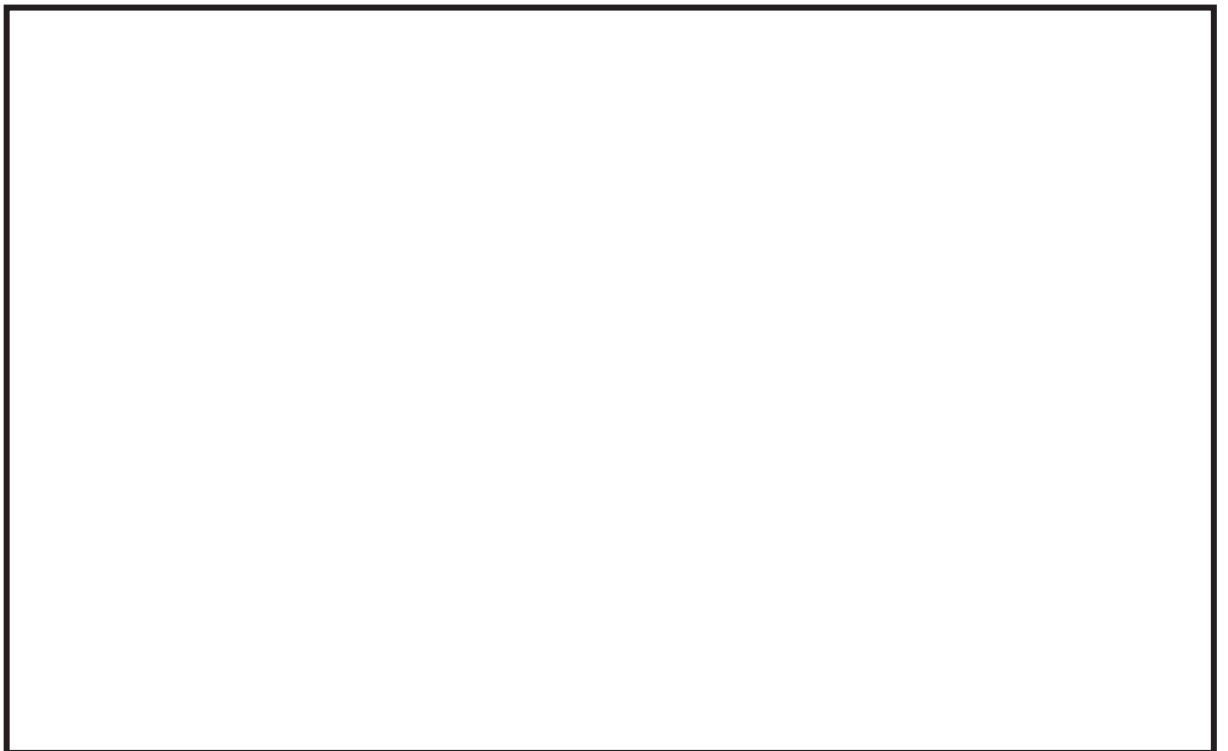


図 3-3 メカニカルスナップの低速走行時動作の様子

4. メカニカルスナップの詳細評価に係る検討

4.1 メカニカルスナップに要求される技術基準及び適用規格

メカニカルスナップの使用に関する技術基準及び適用規格での要求事項の概要を図4-1に、要求事項の内容を4.1.1項～4.1.4項に示す。

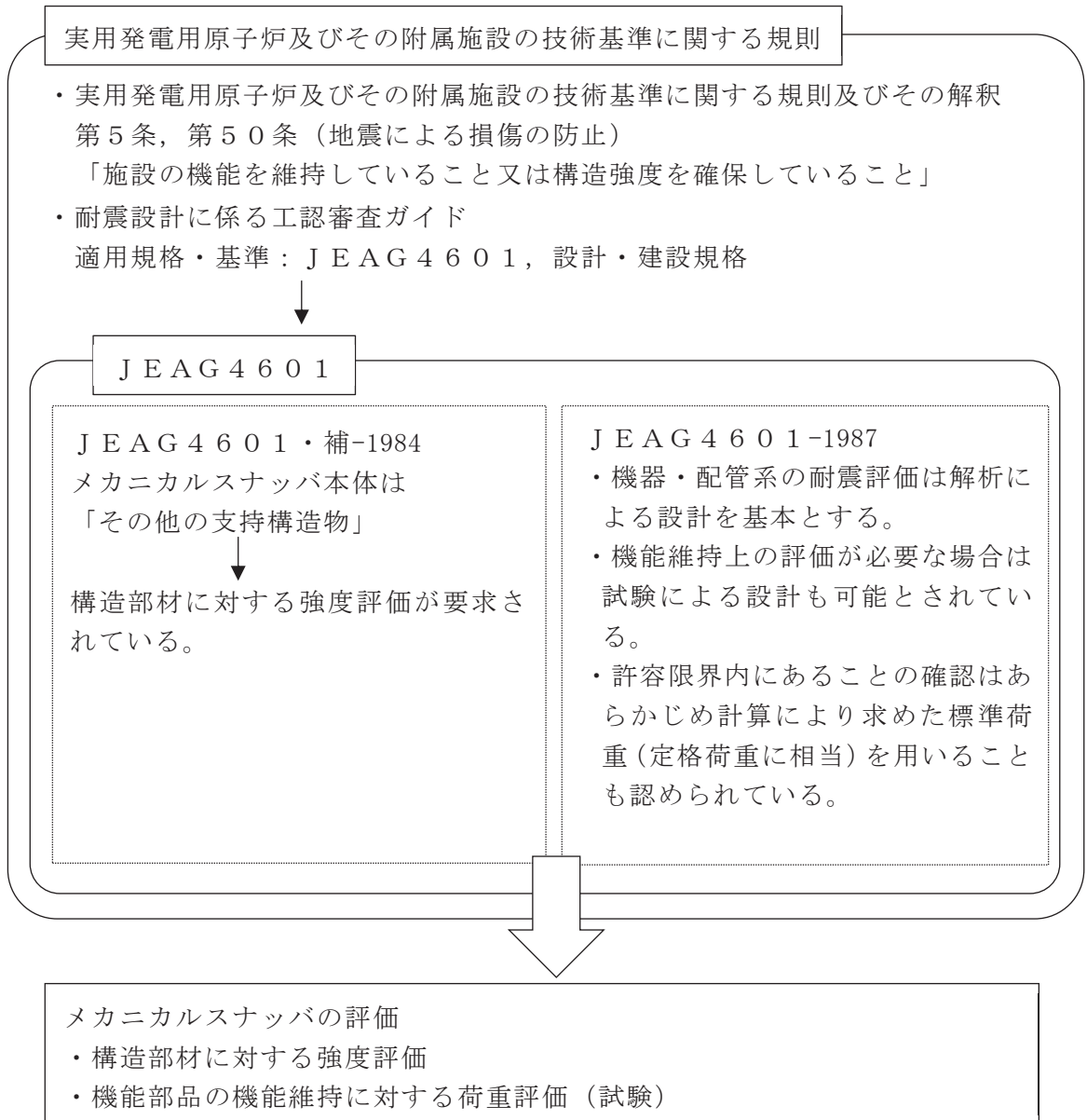


図4-1 メカニカルスナップに関する技術基準及び適用規格での要求事項の概要

4.1.1 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

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では、地震力に対して「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」を要求している。

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	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の解釈
<p>(地震による損傷の防止)</p> <p>第五条 設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</p> <p>2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</p>	<p>第5条（地震による損傷の防止）</p> <p>1 第1項の規定は、設置許可基準規則第4条第1項の規定に基づき設置許可で確認した設計方針に基づき、設計基準対象施設が、設置許可基準規則第4条第2項の地震力に対し、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をいう。</p> <p>2 第2項の規定は、設置許可基準規則第4条第3項の規定に基づき設置許可で確認した設計方針に基づき、耐震重要施設が、設置許可基準規則第4条第3項の基準地震動による地震力に対し、<u>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</u>をいう。</p>

4.1.2 耐震設計に係る工認審査ガイド

耐震設計に係る工認審査ガイドでは、適用可能な規格及び基準として J E A G 4 6 0 1 が記載されている。

4. 機器・配管系に関する事項

4.3 許容限界

【審査における確認事項】

機器・配管系の耐震設計においては、安全上適切と認められる規格及び基準等に基づき許容限界を設定していることを確認する。

【確認内容】

許容限界については以下を確認する。

(1) 「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、適用可能な規格及び基準等を以下に示す。なお、Bクラス、Cクラスの機器・配管系の基準地震動 S_s による地震力に対する波及的影響の検討を実施する際の許容限界については、J E A G 4 6 0 1 又は既往の研究等を参考に設定していること。

・ J E A G 4 6 0 1

・ 発電用原子力設備規格設計・建設規格（(社)日本機械学会，2005/2007)

4.1.3 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987

原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987の配管支持構造物に関する規定を以下に記載する。

- ① J E A G 4 6 0 1 -1987「6.1.1 耐震設計の基本方針 (2) 耐震解析と安全性評価」には、機器・配管系の耐震安全性評価は、設計用地震力による適切な応力・強度解析に基づいた地震応力と、他の荷重による応力との組み合わせがその許容限界内にある事を確認することを基本とすると規定されており、系の耐震安全性が許容応力限界から律することができない機器の機能維持上の評価が必要な場合、振動試験等によって確認すること(試験による評価)もできると規定されている。
- ② J E A G 4 6 0 1 -1987「6.1.7 耐震安全性評価」には、「解析による設計」が行われる場合はその耐震重要度に応じた設計用地震力と組み合わせるべき他の荷重による各種応力が、それぞれに対応する許容応力限度以内にあることを確認することを基本とする。「試験による設計」の場合は、強度評価のみならず機能維持の観点からの評価も含まれると規定されている。
- ③ J E A G 4 6 0 1 -1987「6.6.1 荷重・応力の組合せ (2) 地震応力算定の概要」には、機器系の耐震設計における強度評価法は応力計算を行って許容応力と比較するものが大部分であるが、荷重による評価を行う場合もあり、機器の機能維持評価が必要な場合もあると規定されており、荷重の評価を行う場合としてあらかじめ計算により標準荷重あるいは限界荷重を求めておく場合、試験により許容荷重を確認しておく場合などがあると記載されている。

以上より、機器・配管系の耐震安全性評価は解析による設計を基本とし、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とされている。また、許容限界内にあることの確認はあらかじめ計算により求めた荷重を用いることも認められている。なお、ここでいう許容限界内あることをあらかじめ計算により求めた標準荷重が定格荷重に相当する。

① J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.1 耐震設計の基本方針 (2) 耐震解析と安全性評価」

(2) 耐震解析と安全性評価

機器・配管系は、その耐震上の重要度に応じて適切に分類され、それぞれの耐震クラス (As, A, B, C) に応じた設計用地震力に対して安全であることを確認しなければならない。

設計用地震力は、それぞれの耐震クラスに対応した水平静的震度による地震力と、As, A クラスでは更に設計用限界地震及び設計用最強地震による基準地震動 S_2 , S_1 に対し適切な地震応答解析に基づいた動的地震力と鉛直震度による静的地震力を算定しなければならない。

機器・配管系の耐震安全性評価は、上記設計用地震力による適切な応力・強度解析に基づいた地震応力と、組合すべき他の荷重による応力との組合せ応力がその許容限界内にあることを確認すること（解析による設計）を基本とする。しかし、系の解析の複雑さ、信頼度の問題、あるいは系の耐震安全性が応力許容限界だけから律することが出来ない機器の機能維持上の評価が必要な場合は振動試験等によって確認すること（試験による評価）もできる。

設計用地震力（各クラスの静的地震力及び As, A クラスの基準地震動 S_1 に基づく動的地震力）による系の 1 次応力は、使用材料の降伏点以内、1 次 + 2 次応力を算定する必要のある系では、それが過大な歪を与えない範囲にあることを基本とするが、これは系の地震応答が巨視的にみて線形・弾性挙動の範囲にあることを意図している。したがって、解析による設計では、系の地震時 1 次応力は適切に算定することが必要であるが、2 次応力は系の線形・弾性挙動、あるいは地震時の低サイクル疲労等に影響があると判断される場合に評価することを基本とする。ただし、耐震 As, A クラスのものはその構造の重要性からみて、著しい 2 次応力の発生が考えられるところはその 2 次応力を適切に評価するものとする。

耐震 As クラスの基準地震動 S_2 に基づく動的地震力に対しては、非線形・弾塑性挙動の範囲に入ることは差支えないが、この場合は系の靱性を十分考慮し、系の限界強度又は機能維持上妥当な安全性を有していることを確認しなければならない。

試験による評価の場合は、相似率、据付位置の地震動特性等を考慮した適切な振動試験又はこれと同等な試験を実施し、組合せるべき他の荷重の効果を考慮して強度又は機能上妥当な安全性を有していることを確認するものとする。

② J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.7 耐震安全性評価」

6.1.7 耐震安全性評価

原子炉施設の機器・配管系の耐震安全性評価は、「解析による設計」が行われる場合は、その耐震重要度に応じた設計用地震力と組合せるべき他の荷重による各種応力が、それぞれに対応する許容応力限度以内にあることを確認することを基本とする。しかし、機器系の種別によってはその機能が、強度評価だけでは不十分な場合があるので十分留意しなければならない。この点「試験による評価」の場合は、強度評価のみならず機能維持の観点からの評価も含まれるが、試験体の相似性、地震入力特性等の妥当性確認が重要である。

なお、S₂地震時のAsクラス機器系の耐震安全性評価に当たって、建屋の弾塑性応答が顕著な場合には、建屋自体の弾塑性応答特性、変形特性、床応答への影響、弾塑性挙動の信頼度等に留意することが必要であろう。

③ J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.6.1 荷重・応力の組合せ (2) 地震応力算定の概要」

(2) 地震応力算定の概要

本項では、「6.5 地震応答解析」で述べた地震応答解析から得られた地震荷重をもとに行う応力・強度評価について、その一般的な事項について述べる。

機器系の耐震設計における強度評価は応力計算を行って許容応力と比較するものが大部分であるが、このほか、荷重による評価を行う場合もあり、また、ひずみあるいは変形制限、機器の機能維持評価が必要な場合もある。

応力・強度解析の手法は対象機器に応じ、それぞれ適切な方法で行っているが、基本的な流れは図6.6.1-1のとおりである。

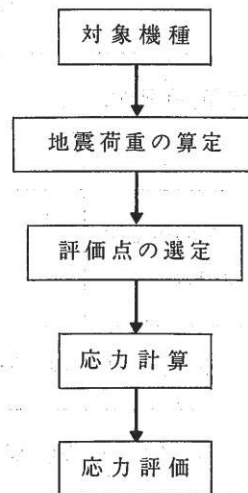


図 6.6.1-1 応力・強度解析の基本的な流れ

ここで応力評価については、大別すると次の二つの方法がある。

応力強さによる評価：第1種容器、配管、第2種容器に適用し、詳細な応力解析を行って評価する。

最大応力による評価：一般機器、支持構造物に適用し、比較的簡便に応力計算を行って評価する。

また、応力計算においても、対象機種の重要度、形状の複雑さ等に応じ、精密な手法から比較的簡便な手法までである。すなわち、有限要素法、シェル構造解析、はりによる

解析、骨組構造解析等、大型計算機を利用した計算から、単純な形状のものでは材料力学の基本的な式による計算から求める場合もある。

また、容器類の局部応力を求める場合は、Bijlaardの方法あるいは有限要素法が用いられる。

応力評価以外の強度評価法としては、荷重による評価があり、これは、あらかじめ計算により標準荷重あるいは限界荷重を求めておく場合、試験により許容荷重を確認しておく場合などがある。

4.1.4 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984

メカニカルスナッパに対する要求事項として、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984の「その他の支持構造物」に関する規定を以下に記載する。

- ① J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力の解説」によると、メカニカルスナッパ本体は「その他の支持構造物」に該当する。
- ② J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力」によると、その他支持構造物の許容応力については「2.8.1 第1種支持構造物」の規定の(2)の規定を準用し、使用材料に応じて許容応力が規定されている。

以上より、メカニカルスナッパは J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」に該当し、構造部材に対する強度評価のみが求められている。

① J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力の解説」

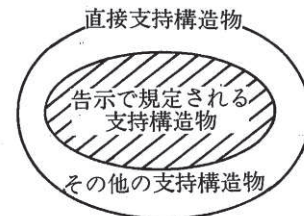
その他の支持構造物の許容応力の解説

- (1) 本項では「その他の支持構造物」の許容応力と「その他の支持構造物」に含まれるもの
のうち「電気計装設備」「換気空調設備」については具体例を示した。
- (2) 「その他の支持構造物」とは本指針の直接支持構造物の範囲であって告示で規定される
支持構造物の範囲外を意味している。

図 2-12

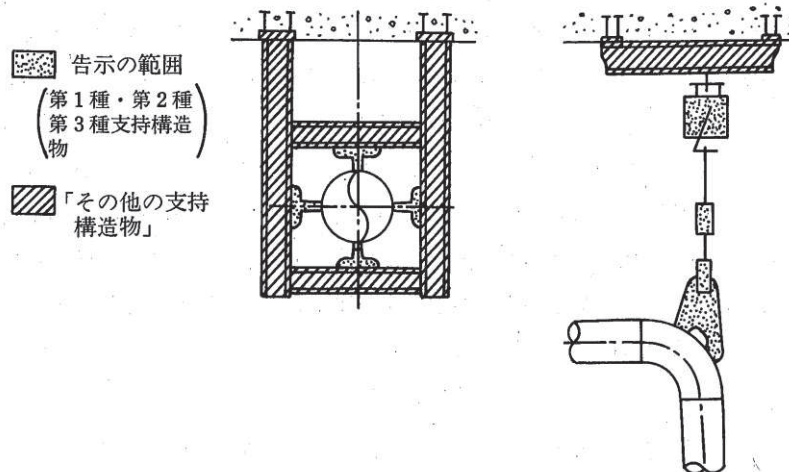
例えば、次のものがある。

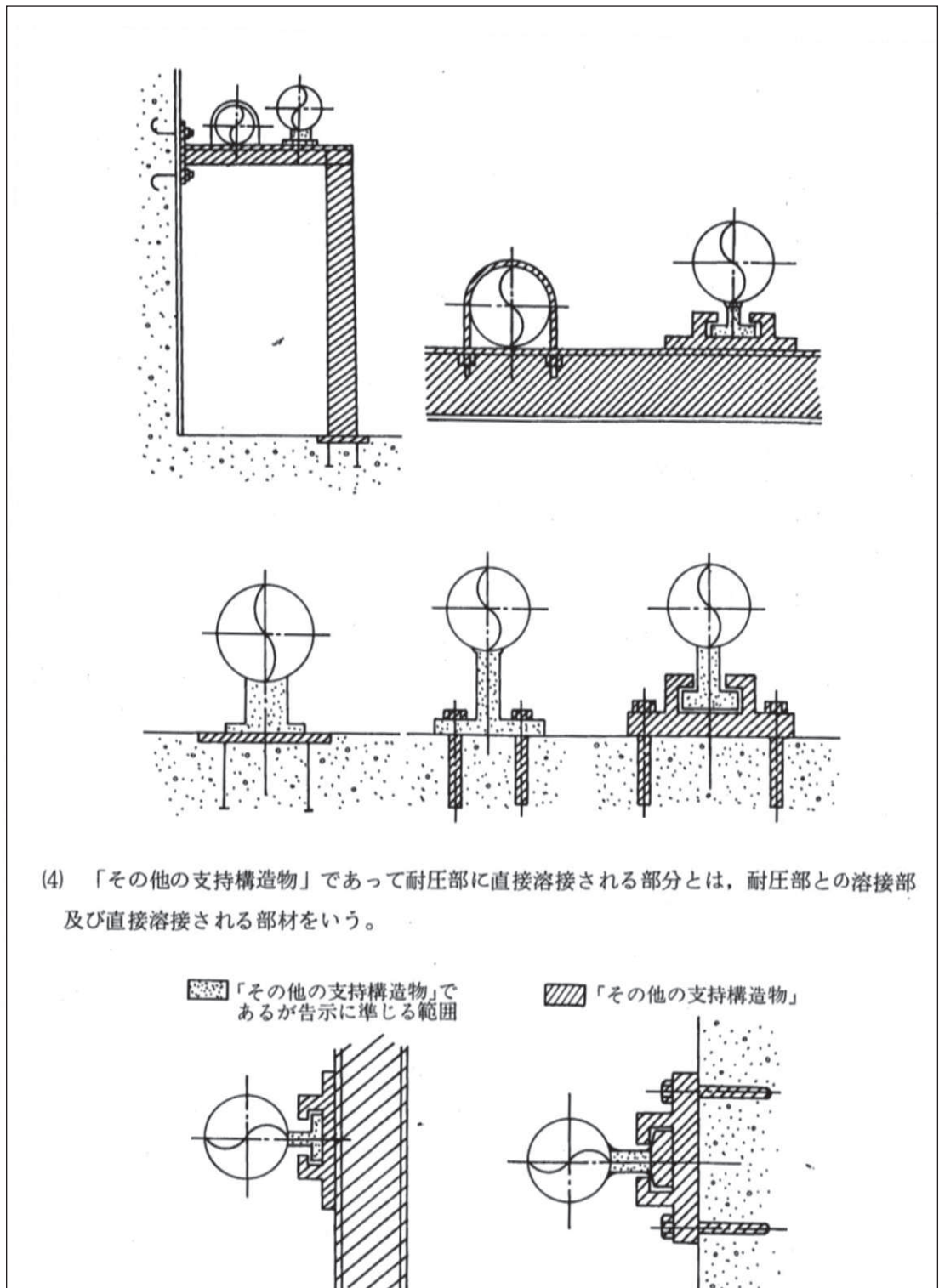
- a. 耐震用サポート，耐震用スナッパー
- b. 使用済燃料ラック，配管，ケーブルトレイ及び電線
管の支持架構
- c. 電気盤の主体構造等骨組構造物
- d. 空調ユニット，フィルタユニット等の骨組構造物

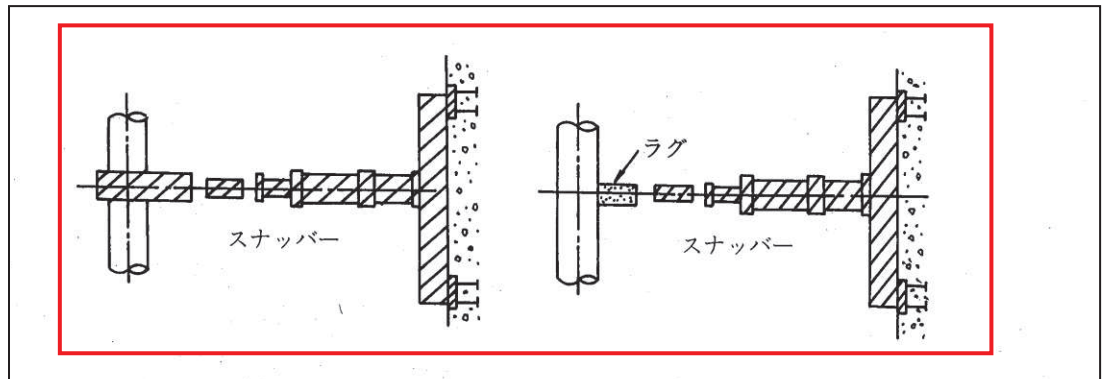


- (3) 「その他の支持構造物」と告示で規定される支持構造物との取り合いは，耐圧部から「その他の支持構造物」の鉄骨部表面を境とし溶接部及び
ボルトまでを，告示の適用範囲とする。(図 2-13参照)

図 2-13







② J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力」

2.9 その他の支持構造物，電気計装設備，換気空調設備，埋込金物の許容応力

2.9.1 その他の支持構造物の許容応力

使用済燃料ラック，ケーブルトレイ，電線コンジット，配管の支持架構等その他の支持構造物の地震時許容応力については2.8.1の(2)，(3)及び(4)の規定を準用し，この場合のF値は次に定める値とする。

「告示別表第9に定める値又は告示別表第10に定める値の0.7倍の値のいずれか小さい方の値。ただし，使用温度が40度を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては，告示別表第9に定める値の1.35倍の値，告示別表第10に定める値の0.7倍の値又は室温における告示別表第9に定める値のいずれか小さい方の値。」

なお，その他の支持構造物であつて，告示に規定される機器（第1種，第2種及び第3種）の耐圧部に直接溶接される部分については，2.8の規定による。また使用済燃料ラックの地震時の許容応力については，2.8.1の(2)の規定を準用する。

2.8 支持構造物の許容応力

2.8.1 第1種支持構造物の許容応力

(1) 容器に溶接により取付けられる支持構造物

容器に溶接により取付けられる支持構造物であって、その損壊が耐圧部の損壊を生じさせるおそれのあるものについては容器の耐圧部と同じ許容応力とする。

(2) 上記以外の支持構造物 (ボルト等を除く)

許容 応力状態	1 次 応 力					1 次 + 2 次 応 力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座 屈
設計条件	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I _A	f_t	f_s	f_c	f_b	f_p	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b$	$1.5f_p^{(3)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c^{(3)}$
II _A	f_t	f_s	f_c	f_b	f_p	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b$	$1.5f_p^{(3)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c^{(3)}$
III _A	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_p$	—	—	—	—	—
IV _A	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$	—	—	—	—	—
III _A S	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_p$	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b^{(2)}$	$1.5f_p^{(4)}$	$1.5f_b^{(2)(4)}$
IV _A S	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$	$(S_1$ 又は S_2 地震動のみによる応力振幅について評価する)			$1.5f_p^{(4)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c$

- 注：(1) すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5f_s$ とする。
 (2) 告示第88条第3項第一号イ(イ)により求めた f_b とすること。
 (3) 応力の最大圧縮値について評価する。
 (4) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価を行うこと。
 (5) 鋼構造設計規準（日本建築学会（1970年度制定））等の幅厚比の制限を満足すること。
 (6) 上記応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行うこと。
 (7) 耐圧部に溶接等により直接取付けられる支持構造物であつて耐圧部と一体の応力解析を行うものについては耐圧部と同じ許容応力とする。

4.2 既工認の評価及び今回工認における詳細評価に係る考え方

メカニカルスナップに対する既工認の評価及び今回工認における詳細評価に係る考え方及び比較表を図 4-2 及び表 4-1 に示す。

既工認の評価及び今回工認における詳細評価ともに、耐震設計に係る適用規格、許容荷重設定方法、適用知見は同様であるが、今回工認における詳細評価では、メカニカルスナップの評価に用いる荷重を既工認での標準荷重（定格荷重、定格荷重の 1.5 倍）を超えて J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界（Ⅲ_{AS} 及びⅣ_{AS}）を満足する発生荷重まで検討範囲を拡大とするため、電共研の知見を取り込むとともに追加検討を踏まえて強度評価の評価部位及び評価項目を追加している。

なお、今回工認の評価においても、既工認と同様の評価を基本としており、今回工認における一次評価が該当する。

表 4-1 既工認の評価と今回工認における詳細評価の比較

		既工認の評価		今回工認における詳細評価
構造 部材 の強 度評 価	評価荷重	標準荷重 (定格荷重, 定格荷重の 1.5 倍)		既工認の標準荷重を 超える発生荷重
	許容限界	Ⅲ _{AS} , Ⅳ _{AS}		既工認と同様 (Ⅲ _{AS} , Ⅳ _{AS})
	評価部位	荷重伝達経路		既工認 + 追加部位
	評価項目	引張, 曲げ, せん断等		既工認 + 追加項目
機能部品の機能 維持に対する荷 重評価 (試験)		確性試験		既工認の確性試験項目について 耐震性の観点で確認すべき項目 を抽出し, 確性試験の荷重条件 を超える電共研での知見を取り 込む ・振動応答試験 ・低速走行試験
		耐震性	<ul style="list-style-type: none"> ・振動応答試験 ・低速走行試験 ・リリース試験 	
		耐震性 以外	<ul style="list-style-type: none"> ・その他環境試験等 (高温, 高湿, γ線など) 	

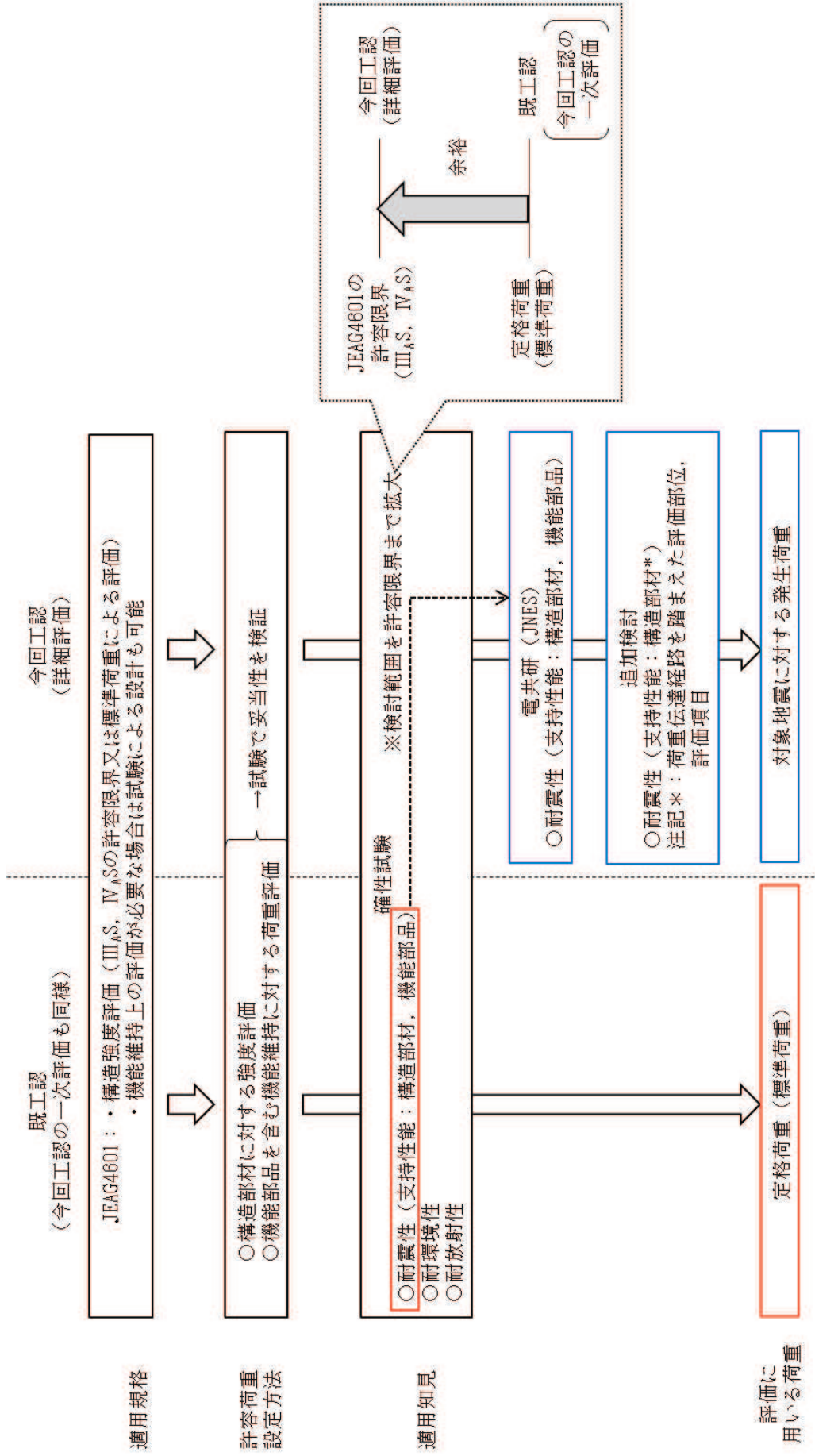


図 4-2 既工認の評価及び今回工認における詳細評価に係る考え方

4.2.1 メカニカルスナップの定格荷重

メカニカルスナップは、構成部材の市場調達性、製作性なども考慮して標準化された製品であり、あらかじめ設定した定格荷重に対して十分に余裕のある設計となっている。また、メカニカルスナップの設計では、設計上の基準値である定格荷重及び定格試験の1.5倍が負荷された構造部材の発生応力がJ E A G 4 6 0 1に規定される「その他の支持構造物」の許容限界（定格荷重に対して許容応力状態Ⅲ_AS, 定格荷重の1.5倍に対して許容応力状態Ⅳ_AS）を十分に満足することに加えて、地震荷重に対して想定される動剛性を発揮できること、配管の熱変位に対して追従できること、使用環境で機能を発揮できること等については、表4-2のとおり、確性試験にて確認している。なお、メカニカルスナップに対する確性試験の詳細については、別紙1に示す。

表 4-2 確性試験の概要

要求機能	試験項目	試験内容
耐震性	振動応答試験 (定格荷重)	定格荷重, 定格荷重×1.5倍が発生する変位で加振後, 性能が維持されることを確認する。
	過負荷振動試験 (定格荷重×1.5)	
	低速走行試験	熱膨張による変位時に想定される速度で加振し, 性能が維持されることを確認する。
	リリース試験*1	熱移動を想定した速度での移動時に, 地震荷重を与え, ブレーキ機構が作動した場合でも, スティックせずに熱移動に追従することを確認する。
耐震性 以外	その他環境試験*2	高温, 高湿度雰囲気, 放射線を照射時などの状態で性能が維持されることを確認する。

注記*1：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状態での熱移動への追従を確認するものである。

*2：各環境試験後に振動試験及び低速走行試験を実施する。

4.2.2 既工認の評価手法

既工認の評価では、メカニカルスナッパに対する配管反力（発生荷重）が設計上の基準値（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）を満足していることを確認する。ここで、設計上の基準値として設定した定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍に対する構造部材の強度評価、機能部品を含む機能維持に対する荷重評価（試験）によってメカニカルスナッパの各構成部材に対する評価については、あらかじめ実施されている。

なお、今回工認の評価においても、既工認と同様の評価を基本としており、今回工認における一次評価が該当する。

4.2.3 今回工認における詳細評価の適用

今回工認の評価では、既工認と同様の評価を基本とするが、基準地震動の増大によりメカニカルスナッパに負荷される地震荷重が増大していることや既工認における定格荷重を基準とした評価手法に十分な余裕があること等を踏まえ、メカニカルスナッパに対する詳細評価の適用について検討する。

メカニカルスナッパに対する詳細評価の適用にあたっては、以下の既往知見を参照し、メカニカルスナッパに対する耐震評価として確認すべき強度評価及び機能維持に対する荷重評価に係る確認項目を検討する。

(1) 「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)」(以下、「電共研の知見」)

電共研の知見では、メカニカルスナッパの振動応答試験として「スナバ機能維持評価法のための破壊試験」を実施しており、その試験結果を使用して構造強度及び機能維持の観点から限界耐力評価法を策定している。

今回工認におけるメカニカルスナッパの詳細評価については、構造部材の応力評価として電共研の知見で検討された限界耐力評価法の評価部位及び評価項目を追加するとともに、機能部品を含むメカニカルスナッパの機能確認として電共研の知見における振動応答試験及び低速走行試験の結果を用いて策定した限界耐力値を適用することにした。なお、メカニカルスナッパの機能確認については、耐震性の観点から振動応答試験及び低速走行試験としているが、定格荷重設定時の確証試験項目との比較検討結果を表 4-3 に示す。

(2) 「JNES 平成 21～22 年度耐震機能限界試験（スナバ）に係る報告書」(以下、「JNES の知見」)

JNES の知見では、メカニカルスナッパの耐力評価手法を構築することを目的として、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認しており、振動応答試

験及び低速走行試験にて耐力確認荷重が得られている。

本検討では、上記電共研の知見に基づいて適用する今回工認における詳細評価手法の妥当性確認のため、第三者機関による検討事例である JNES の知見との比較を行い、試験条件等が合致している試験結果については、その耐力確認荷重と今回工認におけるメカニカルスナッパに対する発生荷重を比較することで妥当性確認を実施した。

なお、今回工認における詳細評価として電共研の知見を適用することの妥当性や JNES の知見との比較の詳細については、別紙 5 に示す。

表 4-3 定格荷重設定時の確性試験項目と詳細評価の適用に係る検討要否

定格荷重設定時の確性試験項目	確認内容	詳細評価の適用に係る検討要否	電共研の知見
振動応答試験 過負荷振動試験	一定の地震荷重に対して想定される動剛性であること	要	振動応答試験
低速走行試験	配管の熱変位に追従すること	要	低速走行試験 (振動応答試験後)
リリース試験*	地震荷重を受けてブレーキ機構が働いた状態でも、配管の熱移動に追従すること	不要 (地震条件と熱条件の重量の影響は考慮不要のため)	—
その他環境試験等	その他環境条件等で健全であること	不要 (環境条件等に変更がないため)	—

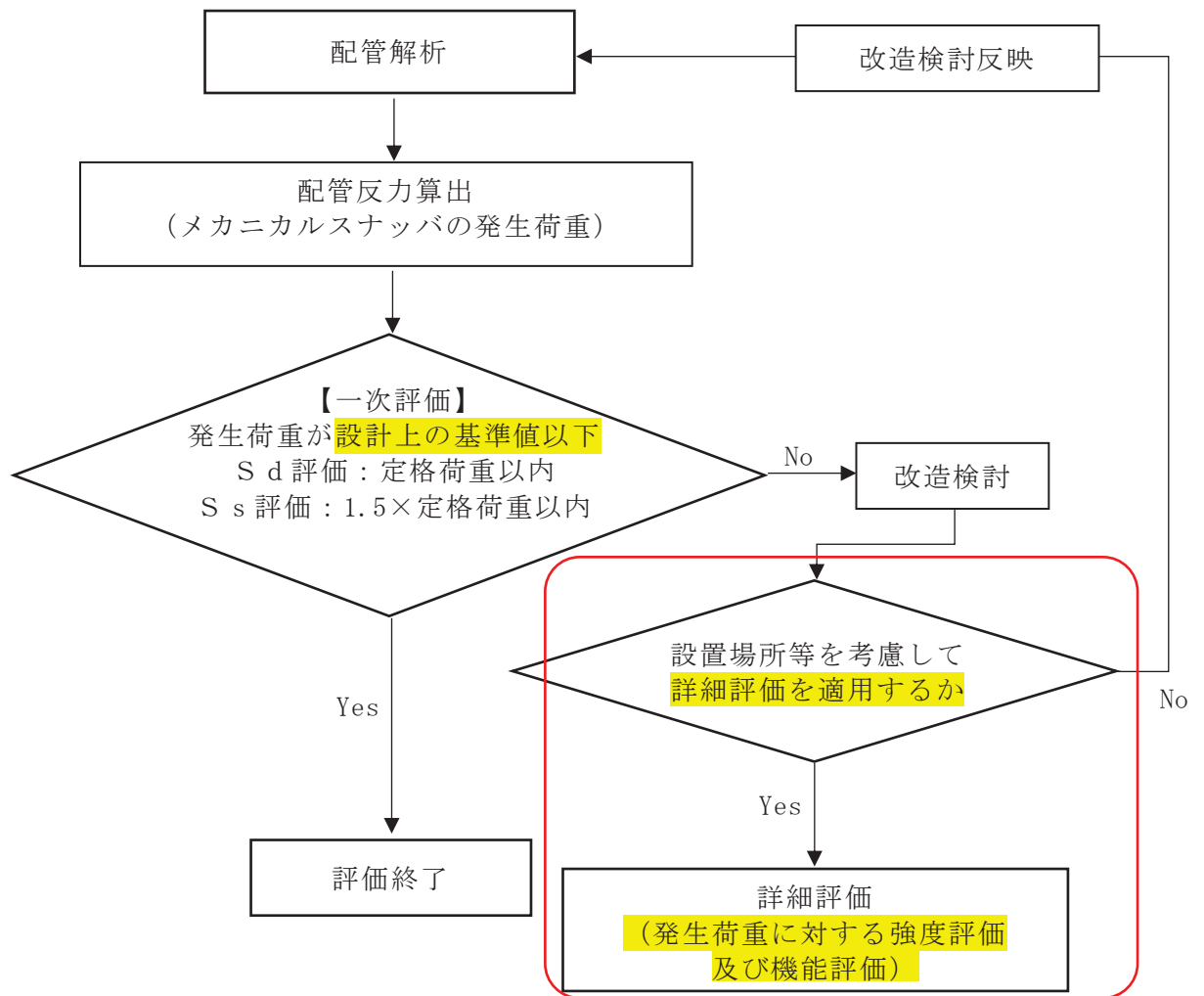
注記*：リリース試験は、熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに地震を想定した素早い変位を与えることで、地震によりブレーキ機構が作動した状態での熱移動への追従を確認するものである。地震後に熱移動へ追従するかどうかは、リリース試験ではなく振動応答試験後の低速走行試験によって確認する。

4.3 今回工認におけるメカニカルスナップの評価手順

今回工認におけるメカニカルスナップの耐震設計に係る評価手順を図 4-3 に示す。

今回工認における一次評価は、既工認と同様、配管解析から算出されたメカニカルスナップの発生荷重（配管反力）が定格荷重を基準とした設計上の基準値を満足するかどうか確認する。メカニカルスナップの発生荷重が設計上の基準値を上回る場合は、改造検討を行うことになるが、設置場所の制約等の理由により当該メカニカルスナップの改造が容易でない場合に限っては、詳細評価を実施する。

今回工認における詳細評価では、既工認と同様、J E A G 4 6 0 1・補-1984「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力」の要求事項に従って、メカニカルスナップの構造部材に対する構造強度評価を行う。構造強度評価においては、メカニカルスナップの発生荷重（定格荷重または定格荷重の 1.5 倍を上回る荷重）を用いて、電共研の知見や追加検討を踏まえて追加した評価部位及び評価項目に対しても評価を行う。また、機能部品を含むメカニカルスナップの機能確認は、構成部品の応力評価が基本であるが、メカニカルスナップの発生荷重が既往知見を考慮して策定した限界耐力値を下回っていることを確認する。なお、今回工認における詳細評価の具体的な手順は 5 項による。



今回工認の特徴

図 4-3 今回工認におけるメカニカルスナップバの耐震設計に係る評価手順

5. 詳細評価における評価対象部位及び評価項目

5.1 詳細評価手順

メカニカルスナッパの詳細評価は、既工認における定格荷重を用いた評価と同様に、構造部材に対する強度評価と、機能部品を含むメカニカルスナッパの機能維持に対する荷重評価を実施する。

構造部材に対する強度評価における評価部位及び評価項目については、既工認における定格荷重に対する評価と同じ評価部位及び評価項目を基本とするが、地震時の荷重伝達経路を考慮して評価部位及び評価項目を追加している。ここで、構造部材の具体的な評価部位及び評価項目を 5.2 項に示す。

機能部品を含むメカニカルスナッパの機能維持に対する荷重評価については、電共研の知見に基づいて、振動応答試験及び低速走行試験の試験結果より策定された限界耐力値と発生荷重を比較することで評価を行う。ここで、電共研の知見に基づく限界耐力値を 5.3 項に示す。

5.2 構造部材の詳細評価

(1) SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

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プの構造及び荷重伝達経路

(2) SMS 型メカニカルスナップの荷重伝達経路を踏まえた構造強度評価部位の抽出結果

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、この抽出結果による構造部材に対する評価部位及び評価項目の整理結果を表 5-1 に示す。

この整理結果に従って設定した SMS 型メカニカルスナップの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。

また、既工認と今回工認の評価式の比較を表 5-2 に示す。比較のとおり、詳細評価では既工認で実施した評価項目を網羅しており、既工認でも評価している項目については評価式に変更はない。詳細評価にあたっては、発生荷重の増大を考慮して評価項目を追加した。個々の評価部位及び評価項目の追加理由については同表の計算式追加根拠に記載する。

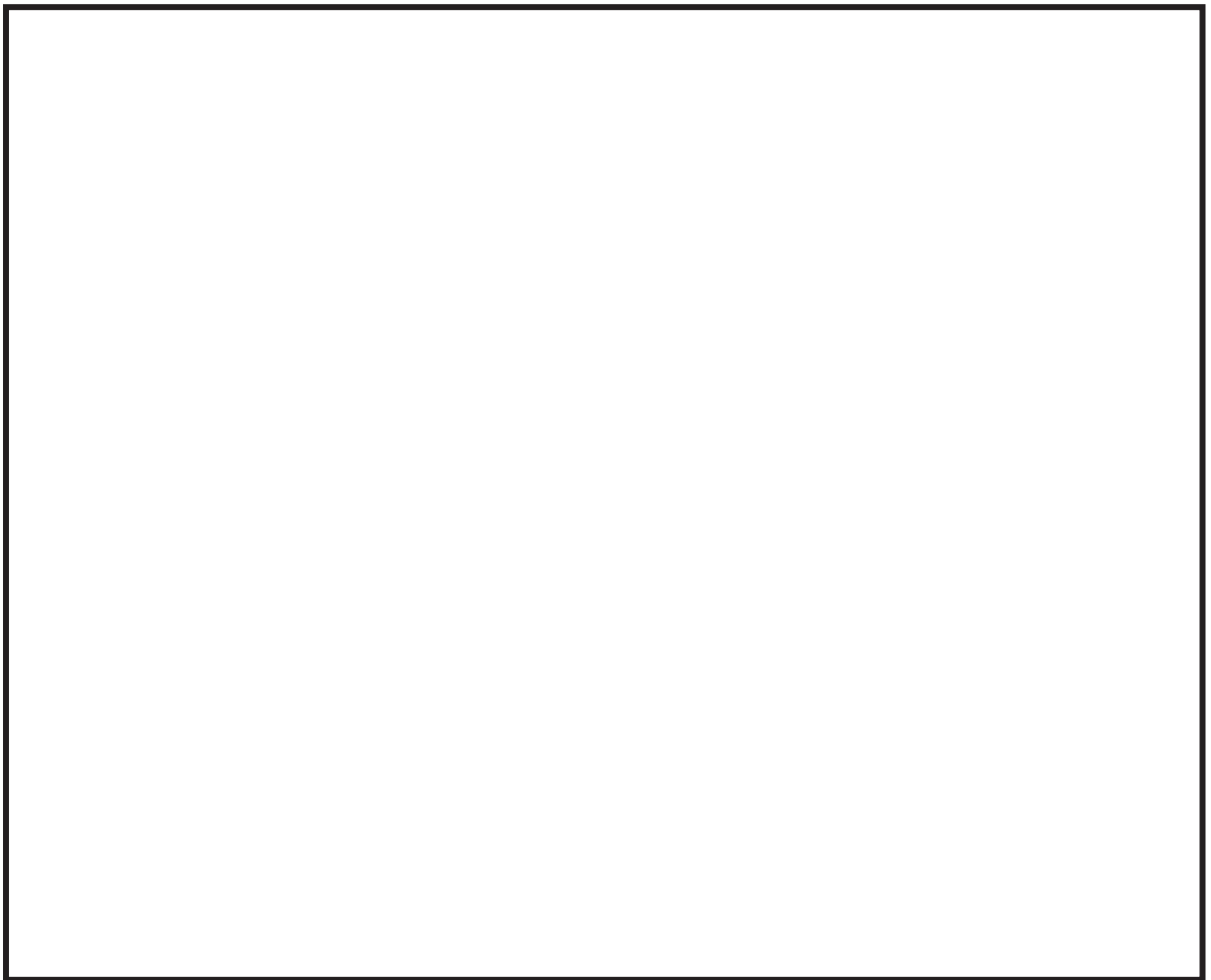


図 5-2 SMS 型メカニカルスナップの構造強度評価部位

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パの評価部位及び評価項目

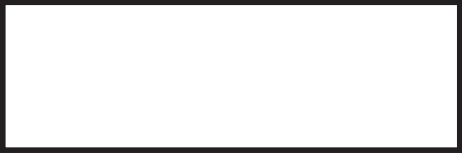



評価部位	評価項目
① イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
② ロードコラム	引張応力
	せん断応力
③ ベアリングケース	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
④ ベアリング押え	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
⑤ 六角ボルト	引張応力
⑥ ベアリングナット	せん断応力
⑦ ジャンクションコラムアダプタ	引張応力
	せん断応力
⑧ ダイレクトアタッチブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨ コネクティングチューブ	引張応力
	せん断応力
	圧縮応力
⑩ ユニバーサルボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑪ ユニバーサルブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力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

表 5-2 既工認と今回工認の評価式の比較 (SMS 型) (1/3) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
1	イーヤ	穴部引張					
		穴部せん断					
		穴部支圧					
		ねじ部引張					
		ねじ部せん断					
2	ロードコラム	引張					
		ねじ部せん断					
3	ベアリングケース	引張					
		せん断					
		支圧					
4	ベアリング押え	せん断					
		支圧					
		曲げ					

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 既工認と今回工認の評価式の比較 (SMS 型) (2/3) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
5	六角ボルト 	引張					
6	ベアリングナット 	ねじ部剪断①					
		ねじ部剪断②					
7	ジャンクションコラムアダプタ 	コラム引張					
		溶接部引張					
		ボルト引張					
8	ダイレクトアタッチブラケット 	穴部引張					
		穴部せん断					
		穴部支圧					
		溶接部剪断					
		ピン剪断					

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 既工認と今回工認の評価式の比較 (SMS 型) (3/3) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
9	コネクティングチューブ	チューブ圧縮					
		チューブ引張					
		溶接部引張					
		溶接部引張					
		溶接部剪断					
10	ユニバーサルボックス	穴部引張					
		穴部せん断					
		支圧					
11	ユニバーサルブラケット	穴部引張					
		穴部せん断					
		穴部支圧					
		ピン剪断					
12	ボールネジ	引張					
13	全長	座屈					

注記* : 代表として型式 SMS-10 の評価式にて比較を行った。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

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。

(4) NMB 型メカニカルスナップの荷重伝達経路を踏まえた構造強度評価部位の抽出結果

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、この抽出結果による構造部材に対する評価部位及び評価項目整理結果を表 5-3 に示す。

この整理結果に従って設定した NMB 型メカニカルスナップの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。

また、既工認と今回工認の評価手法の比較を表 5-4 に示す。比較のとおり、詳細評価では既工認で実施した評価項目を網羅しており、既工認でも評価している項目については、同等か保守的な評価式としている。詳細評価にあたっては、発生荷重の増大を考慮して評価項目を追加している。個々の評価部位及び評価項目の追加理由については同表の計算式追加根拠に記載する。

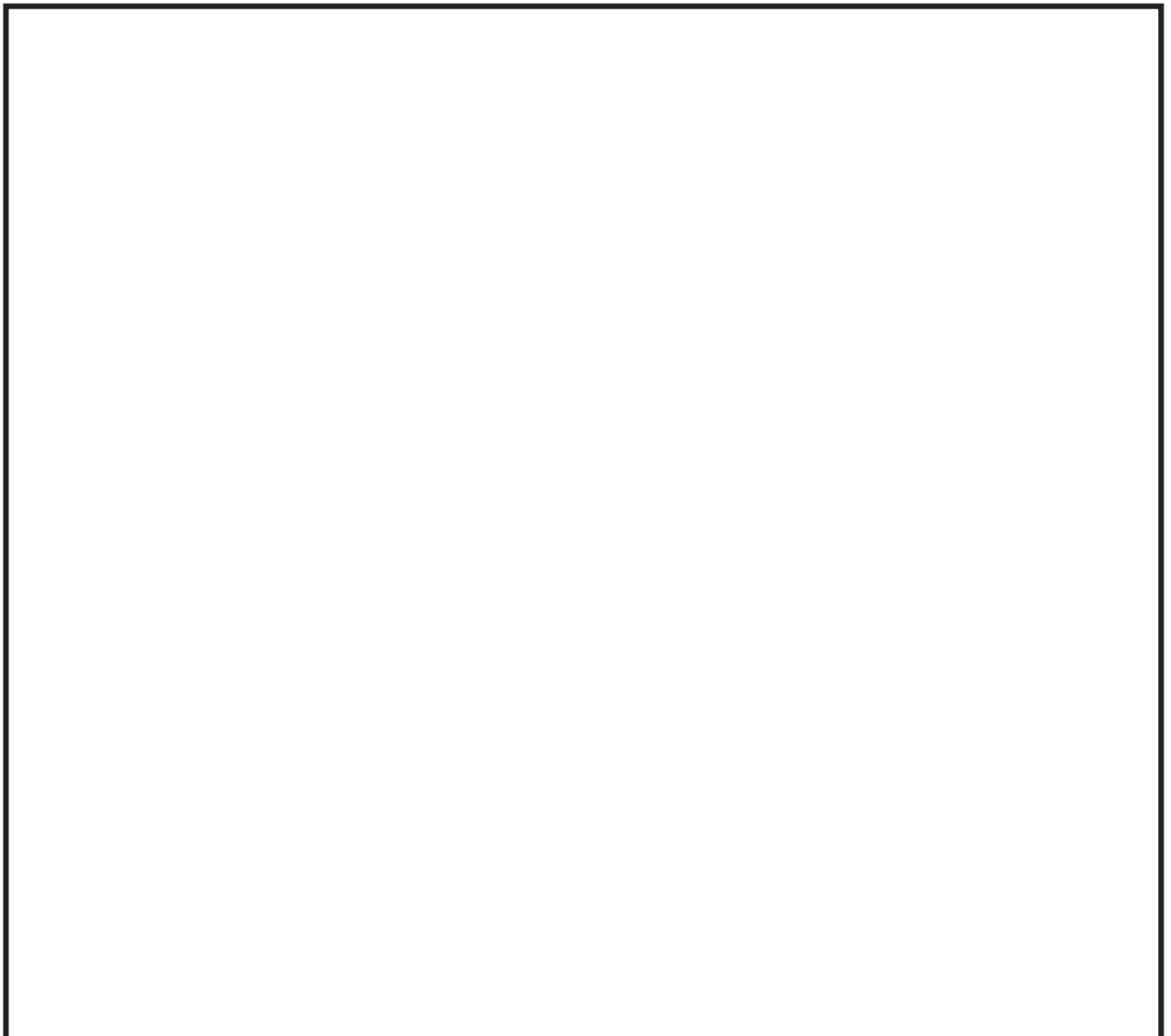







図 5-4 NMB 型メカニカルスナップの構造強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3 NMB 型メカニカルスナッパ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 全長座屈 (ストローク 125)	圧縮応力
⑱ 全長座屈 (ストローク 250)	圧縮応力

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (1/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
1-1	リアーブラケット (イヤ) 	穴部引張					
		穴部せん断					
		穴部支圧					
1-2	リアーブラケット (溶接部) 	せん断					
1-3	リアーブラケット (フランジ) 	曲げ					
2	セットボルト 	ロッドの引張					
3-1	ケース 	引張					





枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (2/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
3-2	ケース溶接部 	せん断					
4	ベアリングシート 	引張					
		せん断					
		支圧					
5	ベアリングボックス 	引張					
		せん断					
		支圧					




枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (3/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
6	スリーブ 	せん断					
		支圧					
7	カラー 	せん断					
		支圧					
8-1	ロードシリンダ 	引張					
8-2		座屈(圧縮)					
9	ターンパックル 	ロッドの引張					





枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (4/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
10	エンドプラグ 	引張					
		せん断					
		支圧					
11-1	延長パイプキット及び溶接部 	引張					
11-2		せん断					
12-1	延長パイプブラケット (イヤ穴部) 	引張					
		せん断					
		支圧					



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (5/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
12-2	延長パイプブラケット (溶接部) 	せん断					
12-3	延長パイプ 	引張					
		圧縮					
13	クレビス(アイ) 	引張					
		せん断					
		支圧					
14	クレビス(本体) 	組合せ					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 既工認と今回工認の評価式の比較 (NMB 型) (6/6) *

品番	部品	評価	今回工認の詳細評価		既工認		今回工認の詳細評価との相違点及び 今回工認の詳細評価で計算式を追加した根拠
			許容荷重計算式	許容応力計算式	許容荷重計算式	許容応力計算式	
15	ピン 	せん断					
		曲げ					
16	ボールネジ 	引張					
—	全長1 (ストローク125mm考慮)	座屈					
—	全長2 (ストローク250mm考慮)	座屈					

注記* : 代表として型式 NMB-075 の評価式にて比較を行った。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 機能部品の詳細評価

メカニカルスナップの構成部品のうち機能部品については、機能部品を含むメカニカルスナップの機能維持に対する荷重評価を、電共研にて試験によって策定された限界耐力値を用いて評価する。

電共研の知見では、メカニカルスナップの耐力評価手法を構築することを目的として、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認するため、メカニカルスナップ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。また、それぞれの振動応答試験後には、加振後のメカニカルスナップの機能維持を確認するため、低速走行試験も併せて実施されている。これらの試験より、当該荷重の負荷後も機能維持できる荷重値として、表 5-5 のとおり、各型式の限界耐力値が策定されている。

表 5-5 各型式における限界耐力値

型式	限界耐力値 [kN]

注記*：型式 SMS-7.5 は、電共研では検討対象としていない型式だが、SMS-6 と同じ構造及び寸法のため、SMS-6 と同じ限界耐力値を記載した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 詳細評価結果

6.1 詳細評価対象メカニカルスナッパ

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パ（約 500 台）のうち、発生荷重が設計上の基準値を超え、かつ耐震改造が容易でないメカニカルスナッパ（44 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 による発生荷重と設計上の基準値を比較した結果を表 6-1 に示す。また、耐震改造が容易でないメカニカルスナッパの例を別紙 2 に示す。

表 6-1 一次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]	定格荷重 [kN]	発生荷重 [kN]	定格荷重× 1.5 [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 一次評価結果一覧表 (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]	定格荷重 [kN]	発生荷重 [kN]	定格荷重× 1.5 [kN]	

注記* : 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。

6.2 構造部材の詳細評価結果

6.1 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 6-2 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 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (1/6)

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 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (2/6)

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 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (3/6)

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]

表 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (4/6)

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]

表 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (5/6)

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 6-2 構造部材の詳細評価結果一覧表 (6/6)

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]

6.3 機能部品の詳細評価結果

メカニカルスナッパにおける発生荷重と、電共研の知見として策定された限界耐力値との比較を表 6-3 に示す。なお、表 6-3 では JNES で確認された耐力確認荷重についても比較する。それぞれの発生荷重は電共研の知見による限界耐力値よりも十分に小さいため、機能部品を含むメカニカルスナッパの機能維持は問題ないと考えられる。

表 6-3 機能維持に関する詳細評価結果一覧表 (1/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	発生荷重[kN]		電共研 限界耐力値 [kN]	JNES 耐力確認 荷重[kN]
			弾性設計用 地震動 S _d	基準地震 動 S _s		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-3 機能維持に関する詳細評価結果一覧表 (2/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	発生荷重 [kN]		電共研 限界耐力値 [kN]	JNES 耐力確認 荷重 [kN]
			弾性設計用 地震動 S _d	基準地震 動 S _s		

注記* : 型式 SMS-7.5 は, 電共研では検討対象としていない型式だが, SMS-6 と同じ構造及び寸法のため, SMS-6 と同じ限界耐力値を記載した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7. 結論

女川原子力発電所2号機の機器・配管系の支持構造物であるメカニカルスナッパの耐震設計では、既工認と同様、地震によるメカニカルスナッパの発生荷重が 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（定格荷重、定格荷重の1.5倍）を満足することを一次評価として確認しているが、設計上の基準値を超え、メカニカルスナッパの設置場所の制約等によって耐震改造が容易でない場合には、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詳細評価を適用することとした。

今回工認における詳細評価においては、メカニカルスナッパの構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能維持に対する荷重評価を実施することとし、J E A G 4 6 0 1 や電共研の知見等を踏まえて、評価部位及び評価項目を追加するとともに、限界耐力値との比較を行い、詳細評価対象メカニカルスナッパの耐震性が確保されることを確認した。

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2-1に示す。

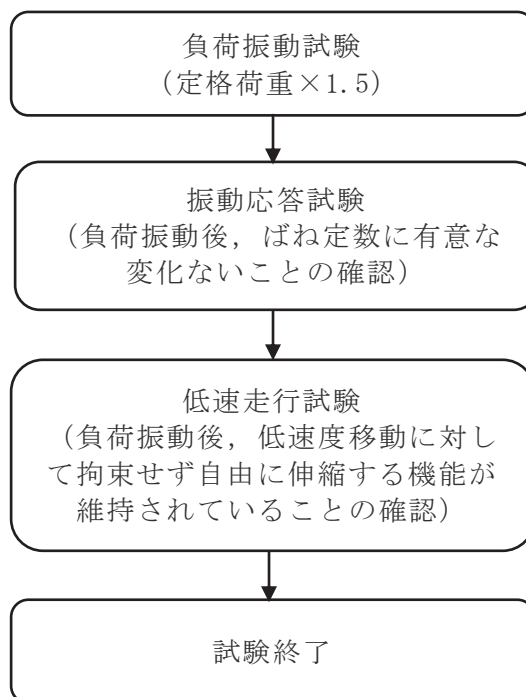
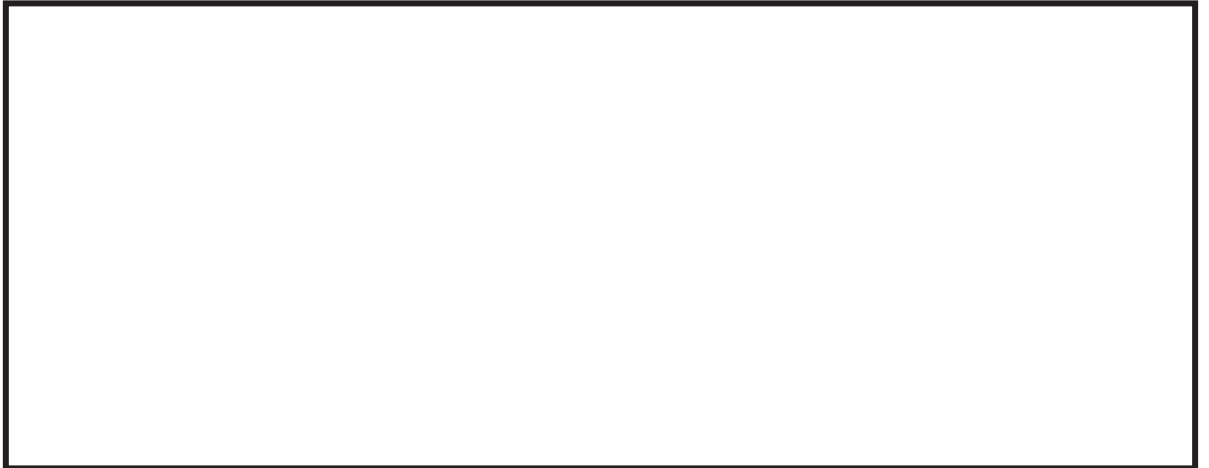


図2-1 確性試験フロー

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



確性試験の試験項目と試験内容を表2-1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。

表 2-1 確性試験の各試験項目

試験項目	確認事項	試験内容
振動応答試験	一定の地震荷重に対して想定される動剛性であること	定格荷重が発生する変位で加振し、振動応答特性及びメカニカルギャップを確認する。周波数 3～33Hz の範囲で数ケース加振する。
過負荷振動試験		定格荷重×1.5 倍が発生する変位で加振した後、性能が維持されることを確認する。周波数 9Hz で 10 秒程度加振する。
低速走行試験	配管の熱変位に対して追従すること	配管の熱膨張による変位時に想定される速度 (0.1～4.0 mm/sec) でゆっくり加振し、抵抗力及び抵抗力の速度依存性を確認する。
超低速走行試験	超低速度での移動時にスティックスリップ現象*1 が発生しないこと	超低速度 (0.5 μm/sec 程度) による移動時に、有害なスティックスリップ現象が発生しないことを確認する。
レリーズ試験*2	地震荷重を受けてブレーキ機構が働いた状態でも、配管の熱移動に追従すること	配管の熱移動を想定した速度 (1.0～4.0mm/sec) での移動時に、地震荷重や衝撃荷重を想定した正弦波を与え、ブレーキ機構が作動した場合でも、スティックせずに熱移動に追従することを確認する。
高温試験*3	高温状態でも性能を維持すること	高温状態 (100℃程度) に晒し、性能が維持されることを確認する。
高湿度試験*3	高湿度雰囲気でも性能を維持すること	高湿度雰囲気に晒し、性能が維持されることを確認する。
塩水噴霧試験*3	塩水噴霧雰囲気でも性能を維持すること	発錆しやすい塩水噴霧雰囲気に晒し、性能が維持されることを確認する。
砂塵試験*3	異物が付着しやすい環境でも性能を維持すること	異物が付着しやすい砂塵雰囲気に晒し、性能が維持されることを確認する。
微振動試験*3	回転機器等の微振動を受けても性能を維持すること	回転機器を模した微振動 (振動数50Hz, サイクル 5×10^6 回) を受けてもボールねじ部に摩耗等を起こさず、性能が維持されることを確認する。
γ線照射試験*3	放射線環境でも性能を維持すること	放射線を照射し、性能が維持されることを確認する。
耐久試験	一定の荷重を繰り返し負荷しても、性能を維持すること	定格荷重が発生する変位を繰り返し与え、性能が維持されることを確認する。振動数10Hzで、2万回加振する。

注記*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：レリーズ試験は、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状態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。

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、メカニカルスナッパに要求される機能を維持できることが確認された。

メカニカルスナッパの改造が容易でない箇所

1. はじめに

メカニカルスナッパはプラント運転中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用いており，配管の地震応答解析によって求まるメカニカルスナッパの発生荷重があらかじめ設定する設計上の基準値（定格荷重，定格荷重の 1.5 倍）を満足することを確認している。

発生荷重が設計上の基準値を超える場合は，より大きな容量のメカニカルスナッパに取り換え，設計上の基準値を満足させることを基本としている。

一方，メカニカルスナッパによる配管の拘束位置及び拘束角度は，配管の地震応答解析により発生荷重を抑えるために効果的な拘束位置及び拘束角度となるように設置する必要があり，配管の拘束位置とメカニカルスナッパを固定する梁や躯体との位置関係や，周囲のスペース等の制約から，より大きな容量のメカニカルスナッパに取り換える耐震改造が容易でない場合がある。

本資料は，メカニカルスナッパの耐震改造が容易でない具体例及びその理由を示すものである。

2. 耐震改造が容易でない例

メカニカルスナッパの改造による容量変更が容易でない箇所及びその理由の例を以下に示す。

支持点番号	MS-001-109S
現場状況	
耐震改造が容易でない理由	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点番号	MS-003-921S
現場状況	
耐震改造が容易でない理由	

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	—
A1, A2, A3, 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, I1, I2, I3, I4, I5, I6, L1, L2, L3, L4, L5, L6,	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又は有効径	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
W O C A	溶接脚長	mm
W 1 C A		
W E		
W E P B		
W E X K		
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。



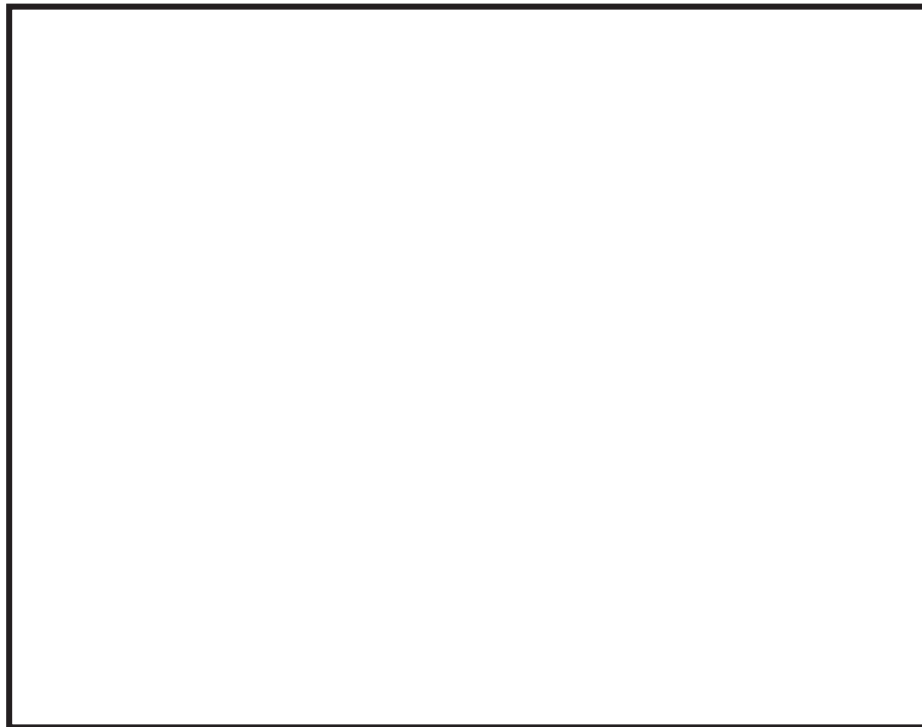
v ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

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。

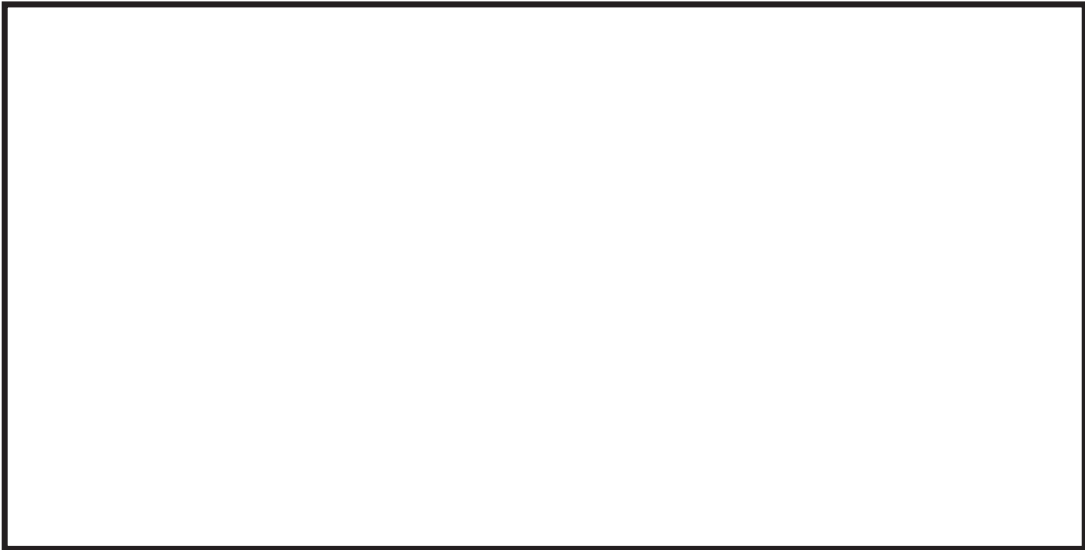


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。



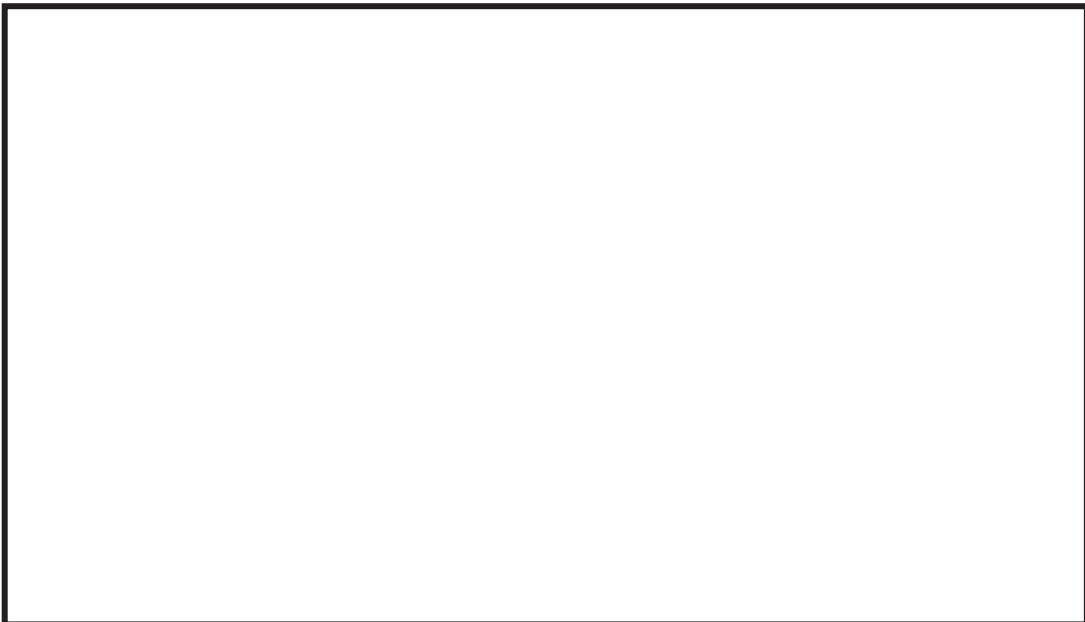
ii せん断応力評価

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

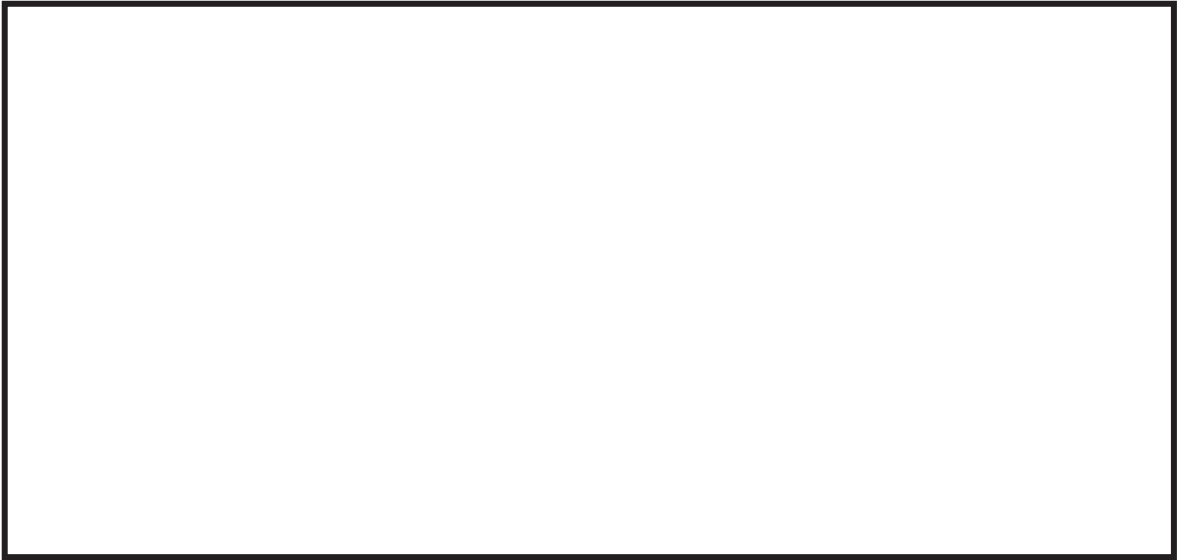
支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

--

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어링ナット

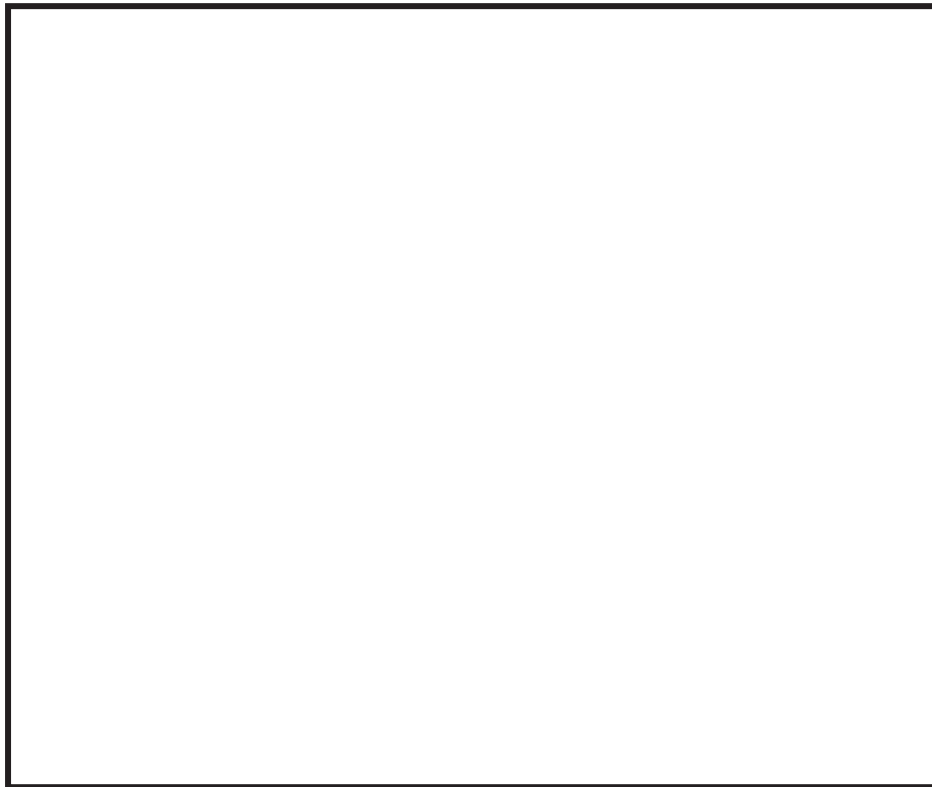
i ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

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。



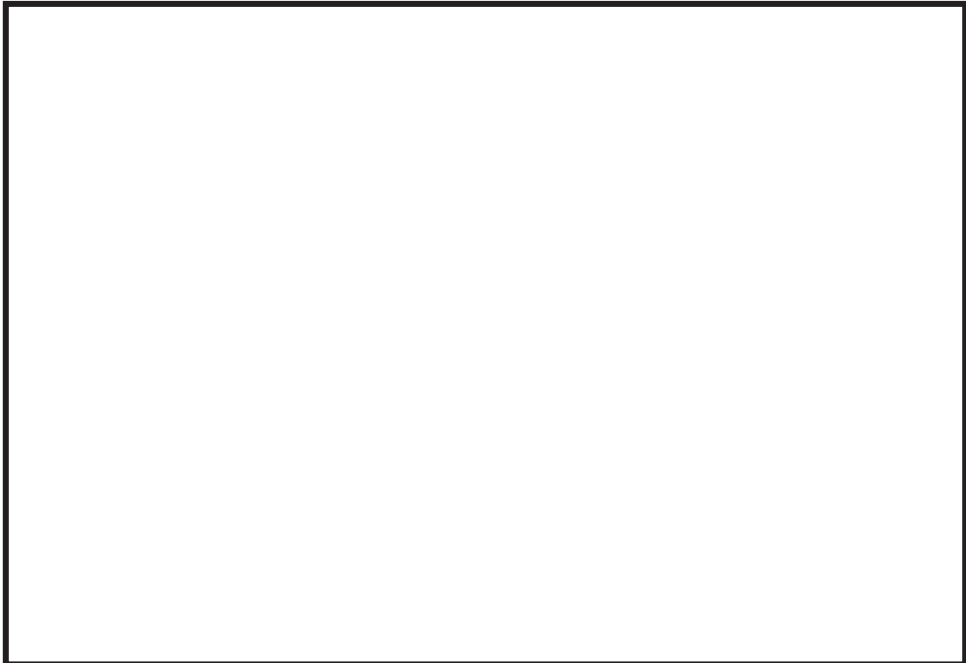
v 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～25）

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。

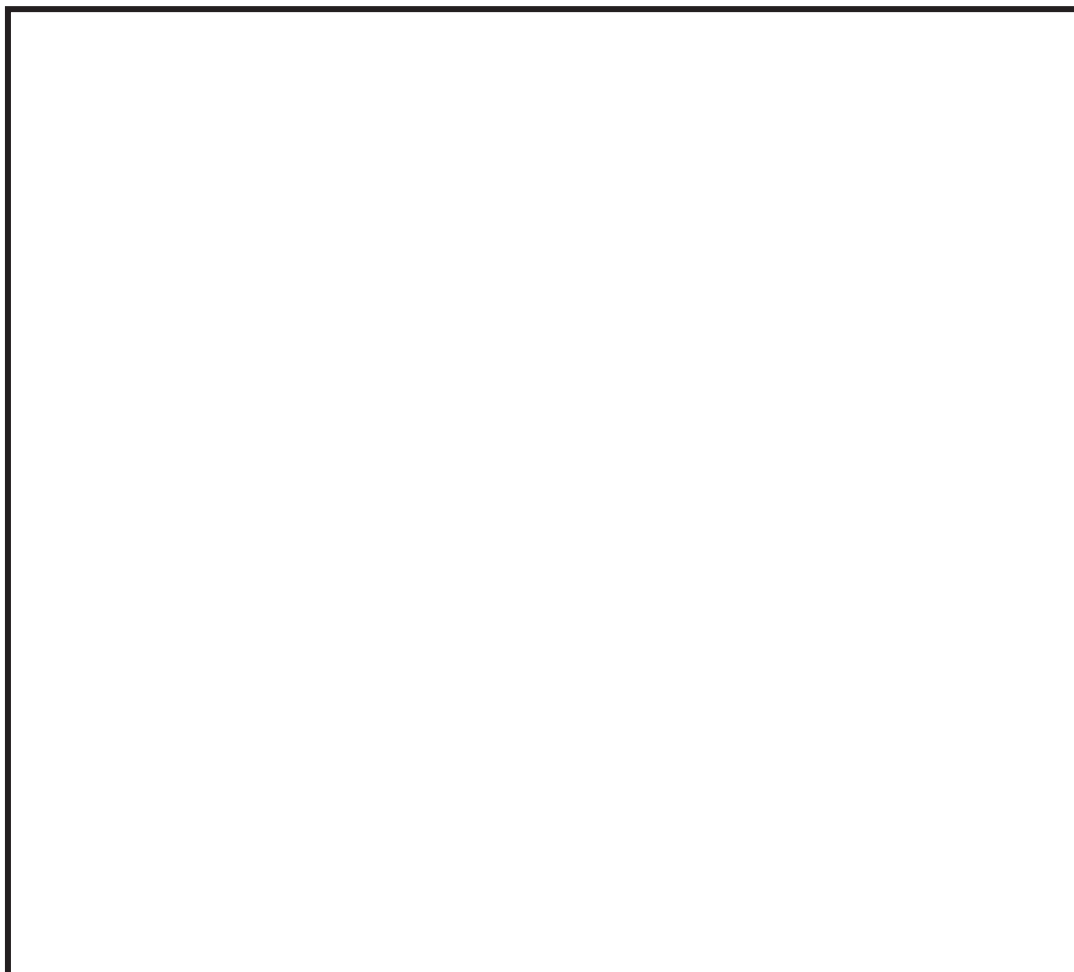
viii 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

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）

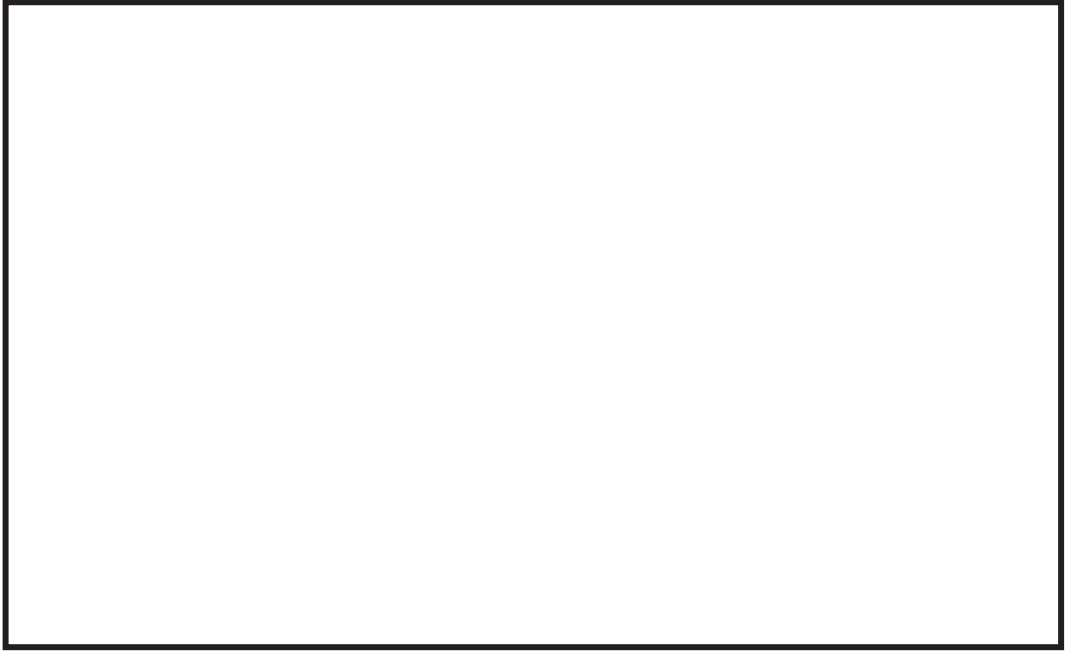
せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



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）

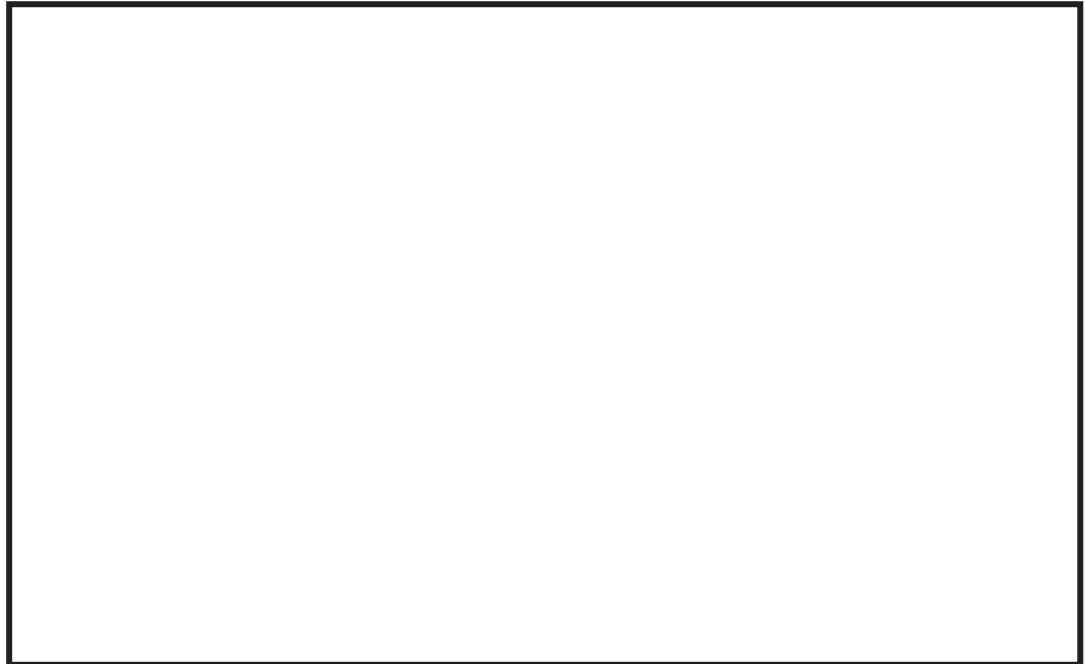
引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



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

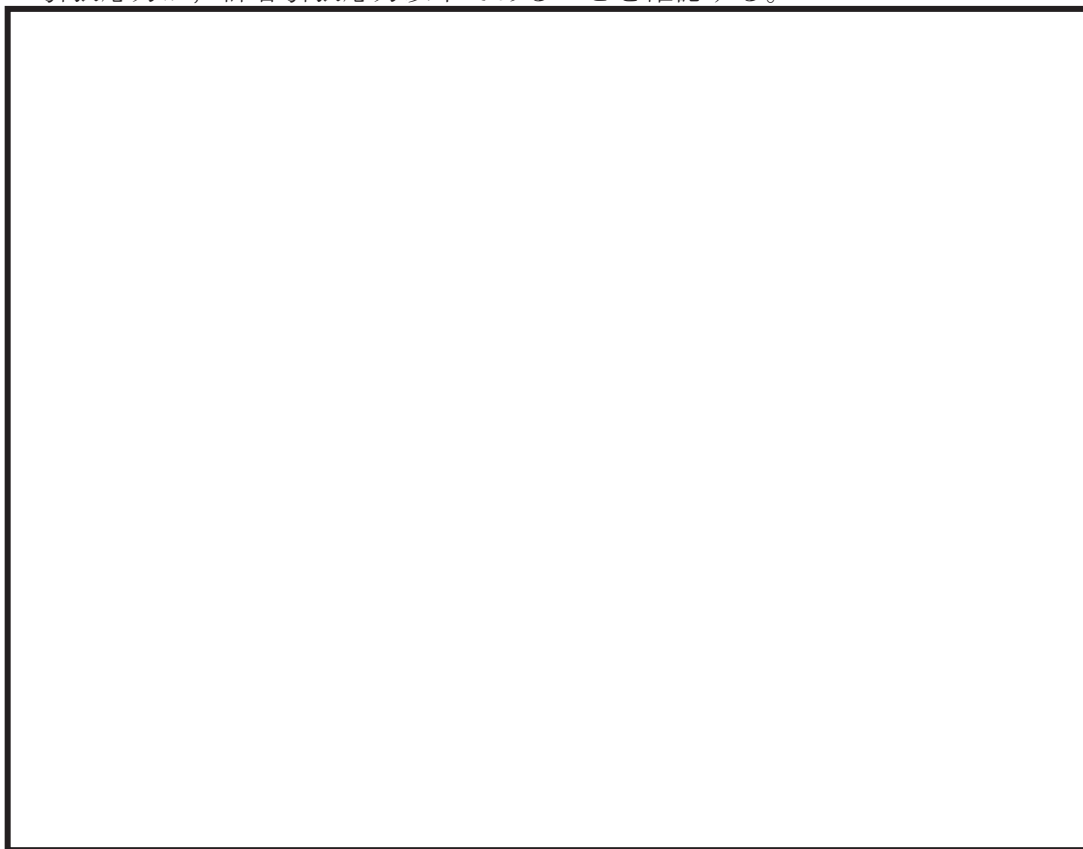
ピンのせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ 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。

⑬ 座屈評価

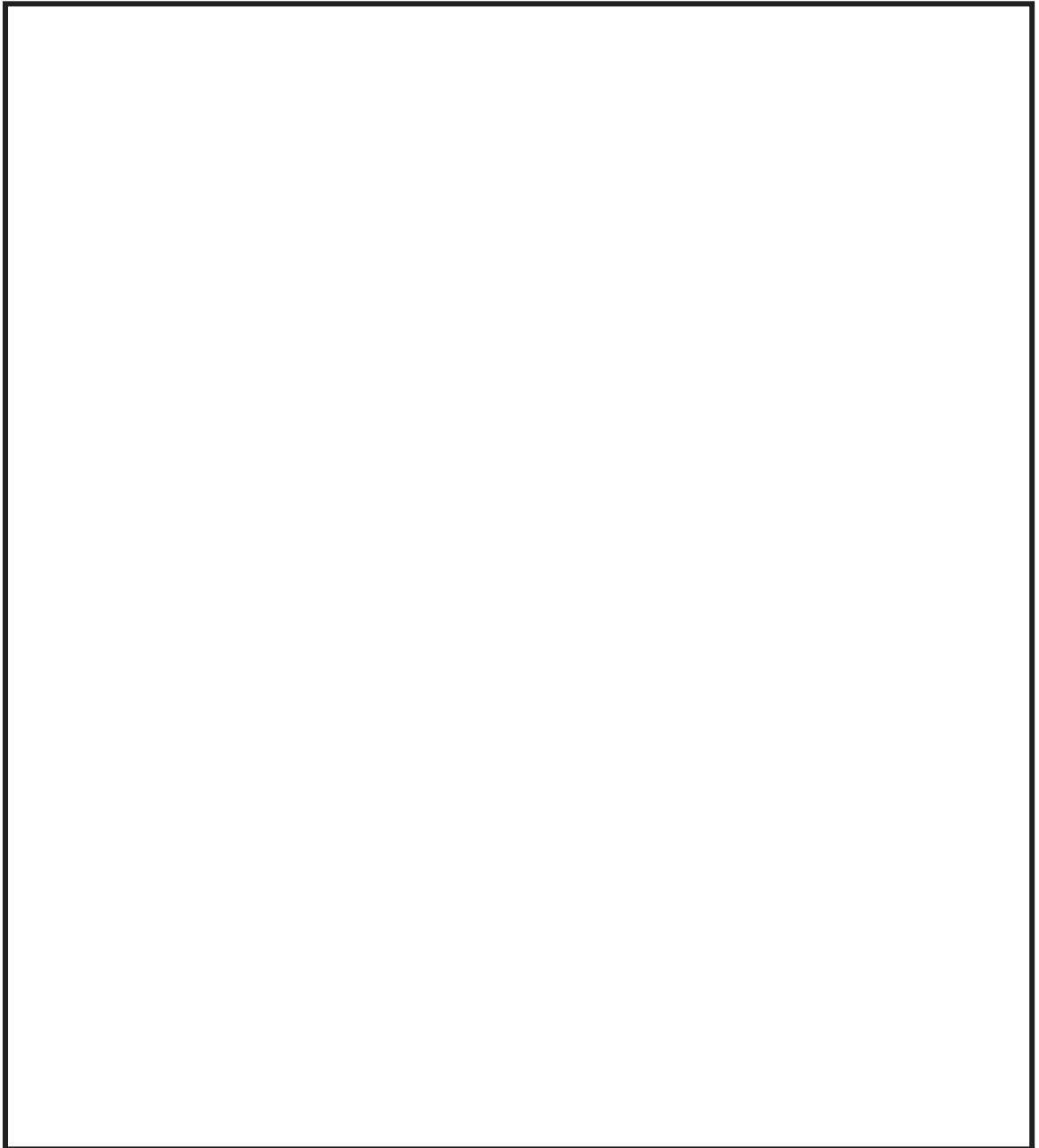
座屈評価は，電共研の研究成果から，計算にて算出した座屈耐力に係数を乗じた値を限界耐力として評価を行う。

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，

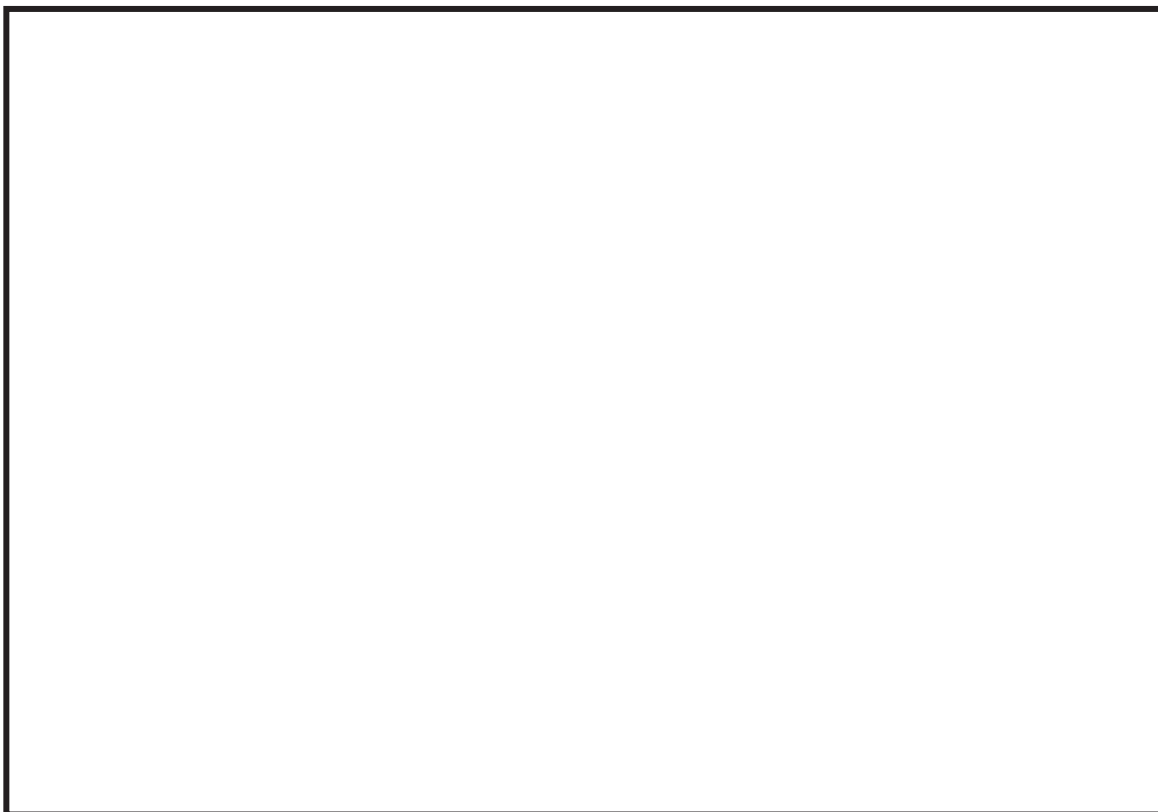
の荷重で座屈したことから，詳細評価においては計算座屈荷重に対して を座屈限界耐力として評価を行う。

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：NMB-010～250，001～006 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。

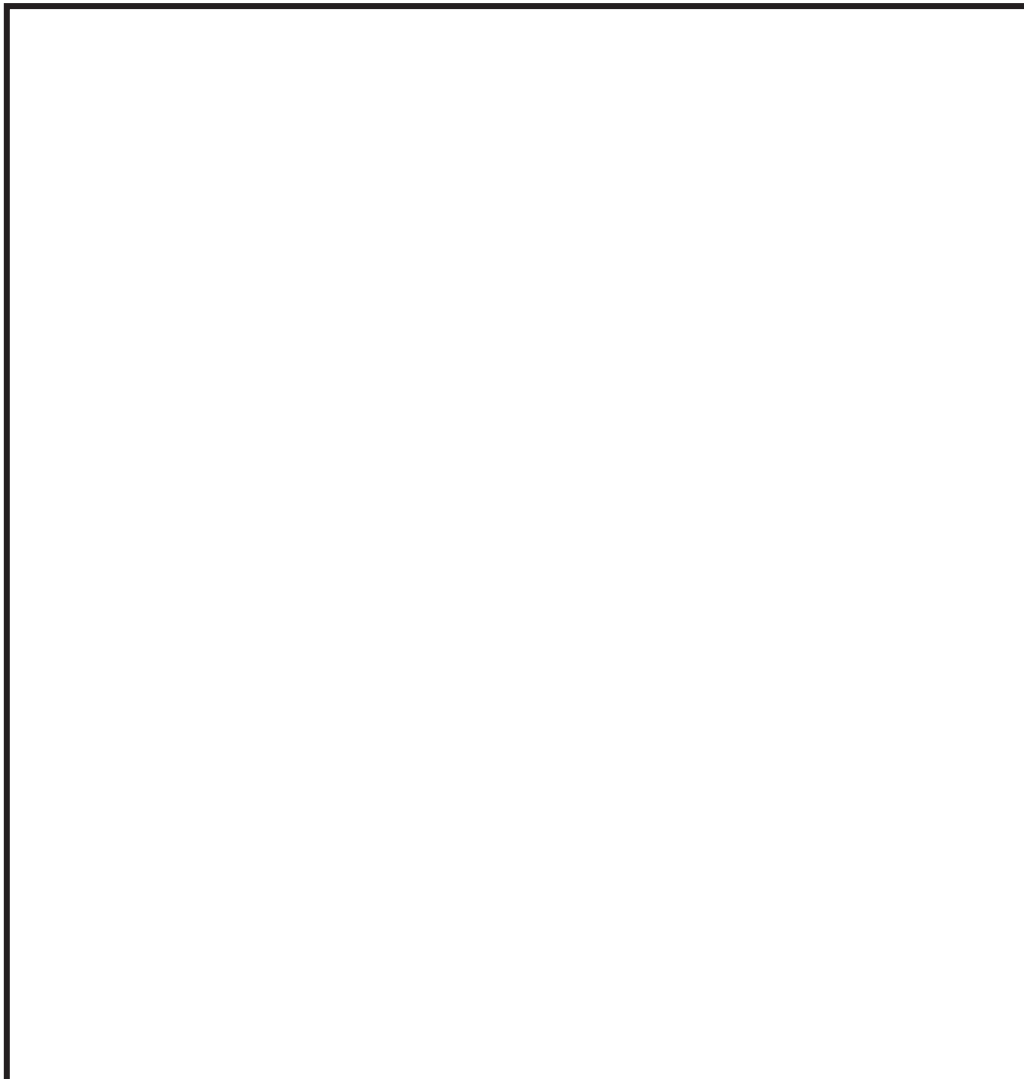
iv 引張応力評価

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)

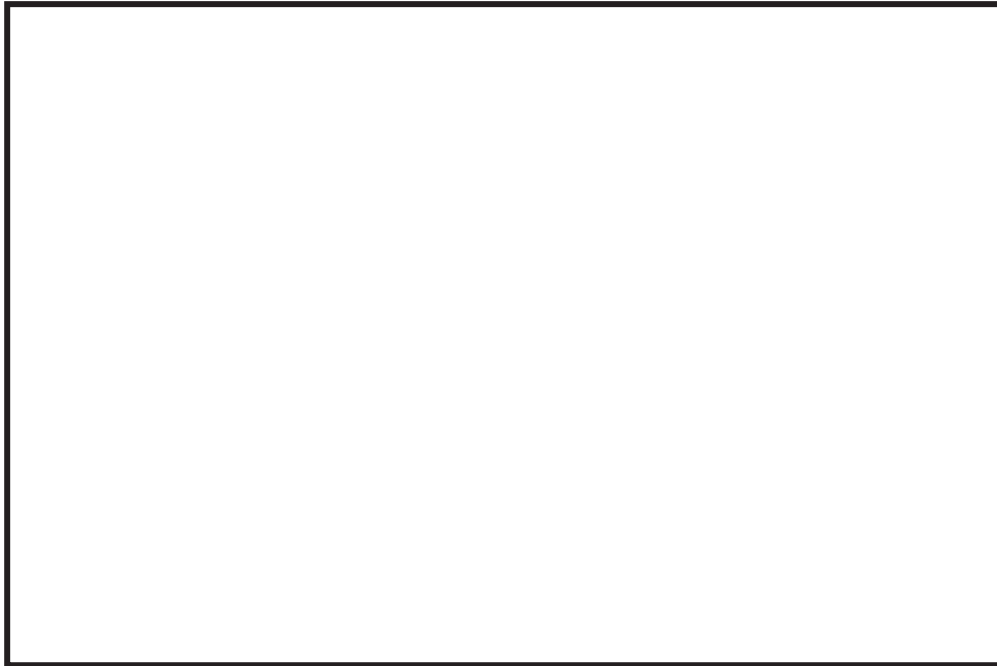
圧縮応力が、許容圧縮応力以下であることを確認する。

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。

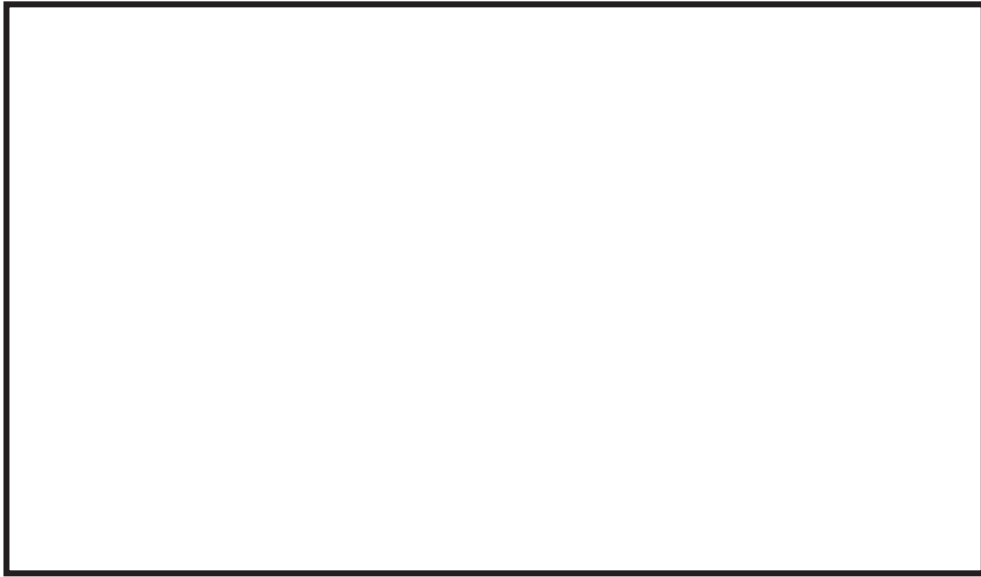
iii 支圧応力評価

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 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。

⑱ 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。

電共研及び JNES による既往知見の概要

1. はじめに

メカニカルスナッパの詳細評価にあたっては、「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)」(以下、「電共研」)を既往知見として参照した。また、詳細評価手法の妥当性確認にあたっては、「JNES 平成 21～22 年度耐震機能限界試験(スナバ)に係る報告書」(以下、「JNES」)との比較を実施した。

本資料は、電共研を既往知見として参照することの妥当性と、JNES を妥当性確認に用いることの妥当性について、それぞれの実施内容の概要をもとに整理したものである。

2. 電共研の既往知見の概要と妥当性

電共研では、取り組み内容のひとつとしてメカニカルスナッパの振動応答試験及び低速走行試験である「スナバ機能維持評価法のための破壊試験」を実施しており、その試験結果を使用して構造強度及び機能維持の点から限界耐力値を策定している。

メカニカルスナッパの限界耐力評価法を策定するためには、機能維持を満足させるための評価項目を明らかにする必要がある。そのため、図 2-1 のとおり異常要因分析を実施し、機能喪失要因を特定し、型式ごとに構造部材と機能部品の評価項目を定めた。

以降に、電共研における試験と限界耐力値の概要をまとめた。

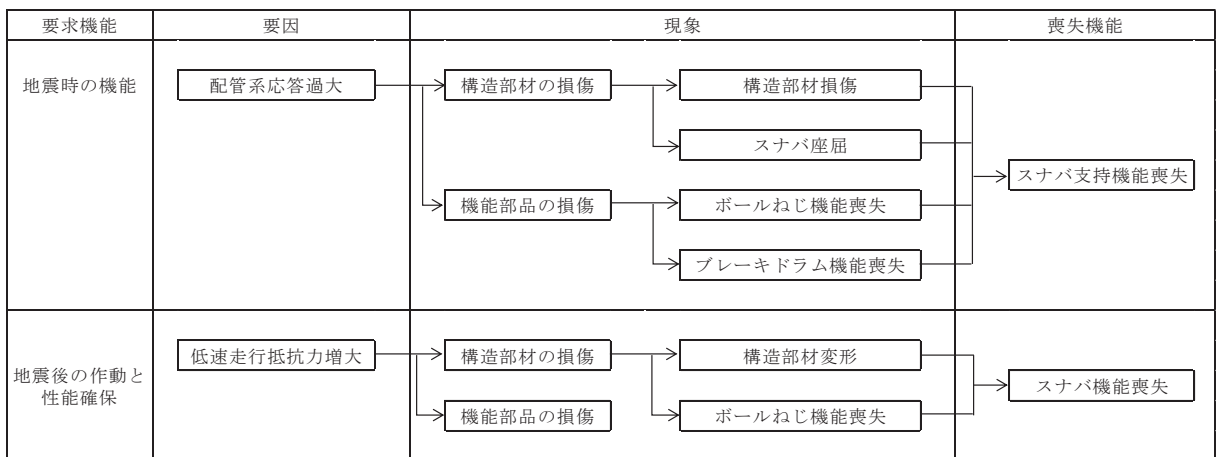


図 2-1 メカニカルスナッパの異常要因分析

2.1 試験概要

電共研におけるメカニカルスナップの振動応答試験では、 製の SMS-03, SMS-1, SMS-3, SMS-6, SMS-10, 製の NMB-003, NMB-030 の計 7 種類を代表として選定しており、以下の 2 つの試験を組み合わせで行っている。振動応答試験では、加振ケースごとに荷重を徐々に増やしていき、損傷したと判断できるまで加振を行う。損傷の判断基準は、動剛性の低下又は低速走行時の抵抗力増加としている。

- ・地震中の機能維持確認：振動応答試験（正弦波、変位制御）
- ・地震後の機能維持確認：低速走行試験（振動応答試験で荷重を変えるごとに実施）

試験結果を表 2-1 に示す。表中の耐力確認荷重は、加振後の低速走行試験にて判定基準を満足した荷重ケースにおいて、引張方向及び圧縮方向の振動応答試験における最大荷重であり、荷重負荷後も機能維持できると考えられる荷重値である。

また、耐力確認荷重を得た加振ケース（加振後も破損せずに機能維持できたケース）の振動応答試験における時刻歴の変位波形及び荷重波形を図 2-2～図 2-10 に示す。引張方向と圧縮方向の荷重値が異なるのは、メカニカルスナップの引張方向と圧縮方向で動剛性が異なり、かつ変位振幅制御で加振しているためである。

表 2-1 電共研における振動応答試験の試験結果

型式	供試体 No.	定格荷重 [kN]	耐力確認荷重[kN]	
			引張側	圧縮側

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

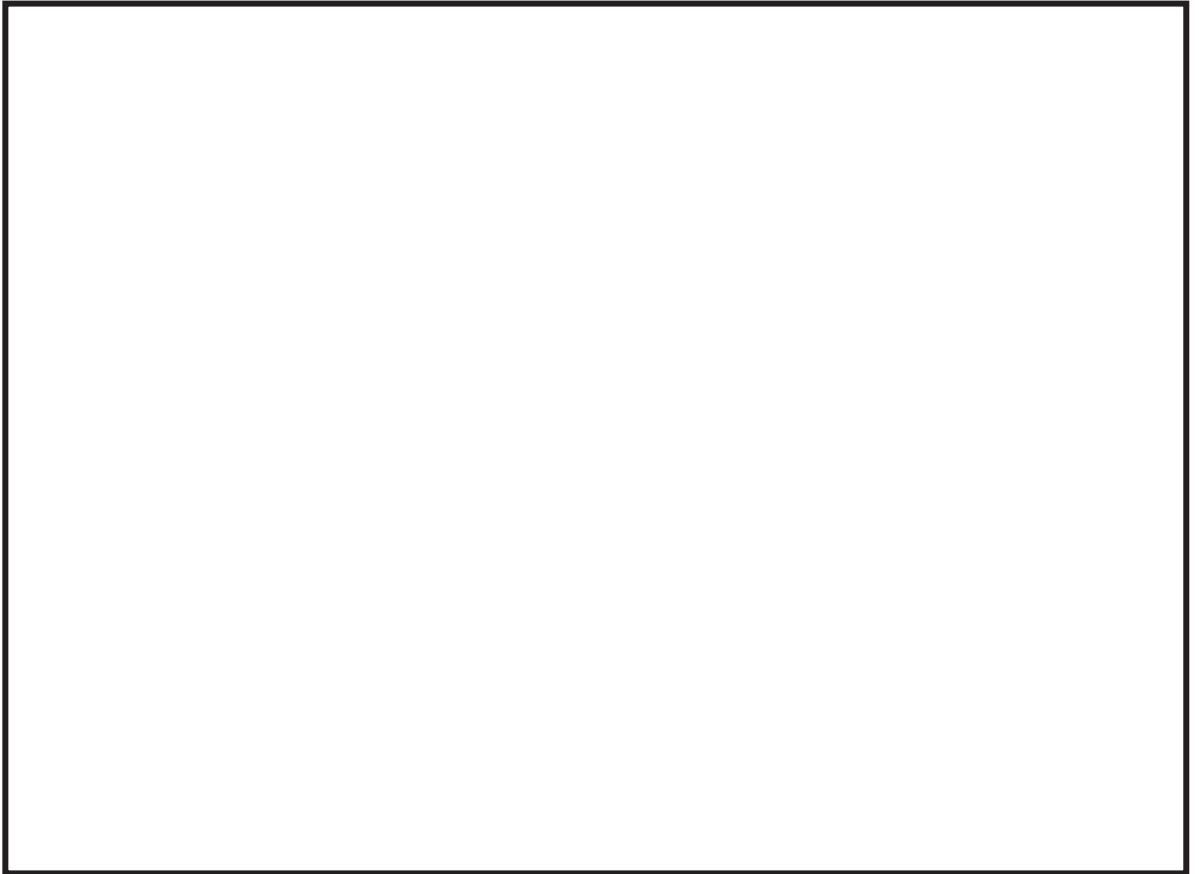


図 2-2 供試体 No. 03-1 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

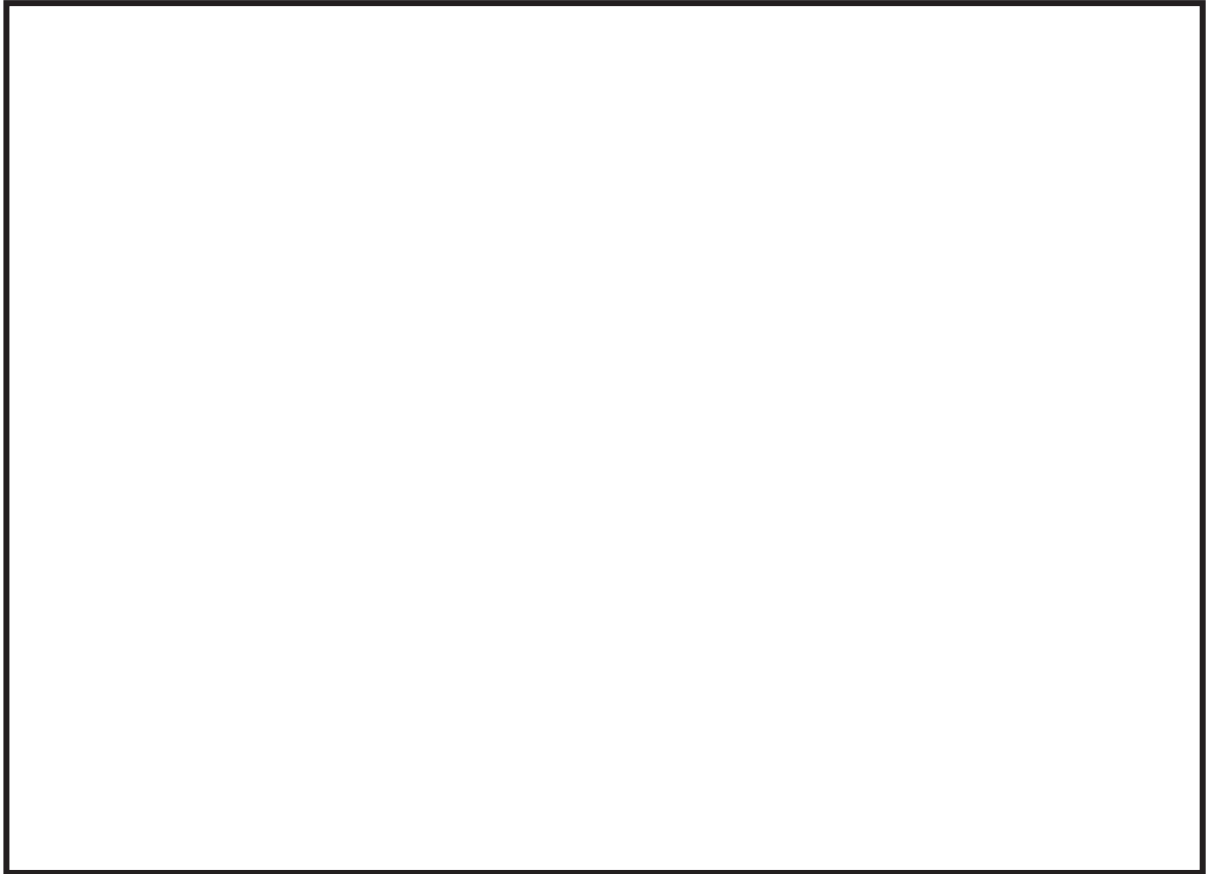


図 2-3 供試体 No. 1-1 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

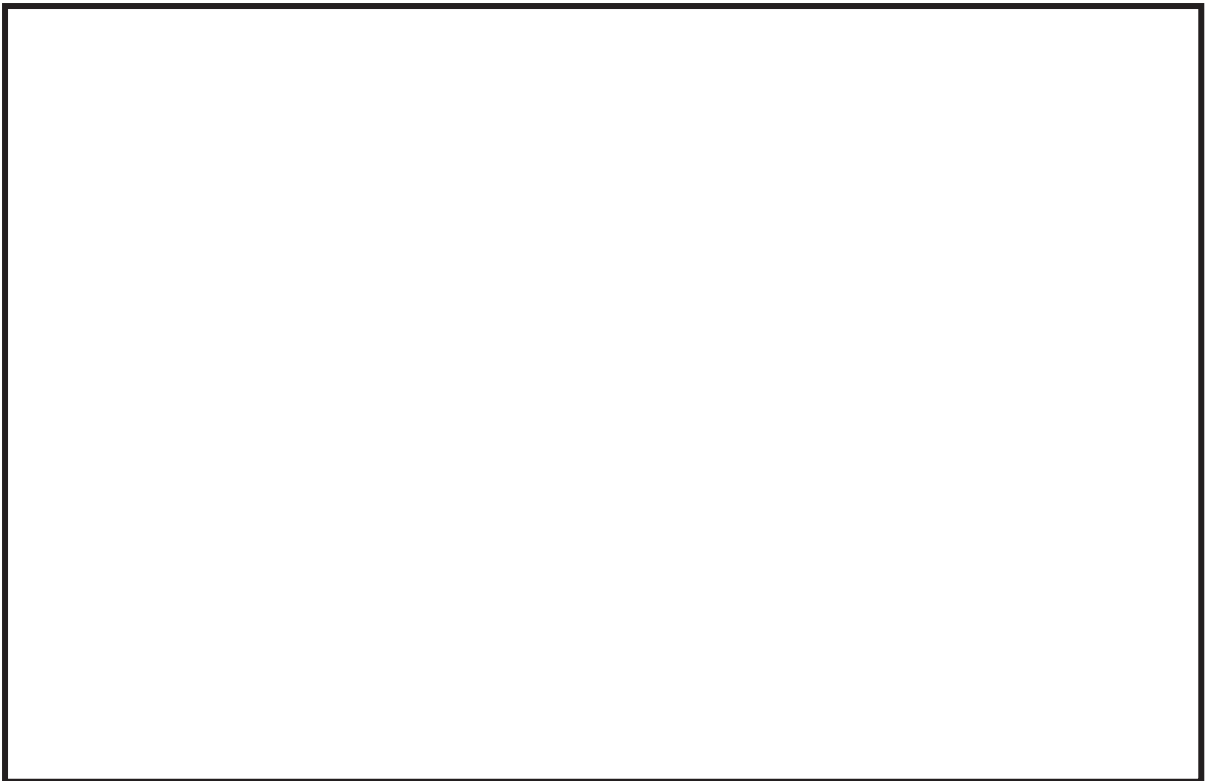


図 2-4 供試体 No. 3-1 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

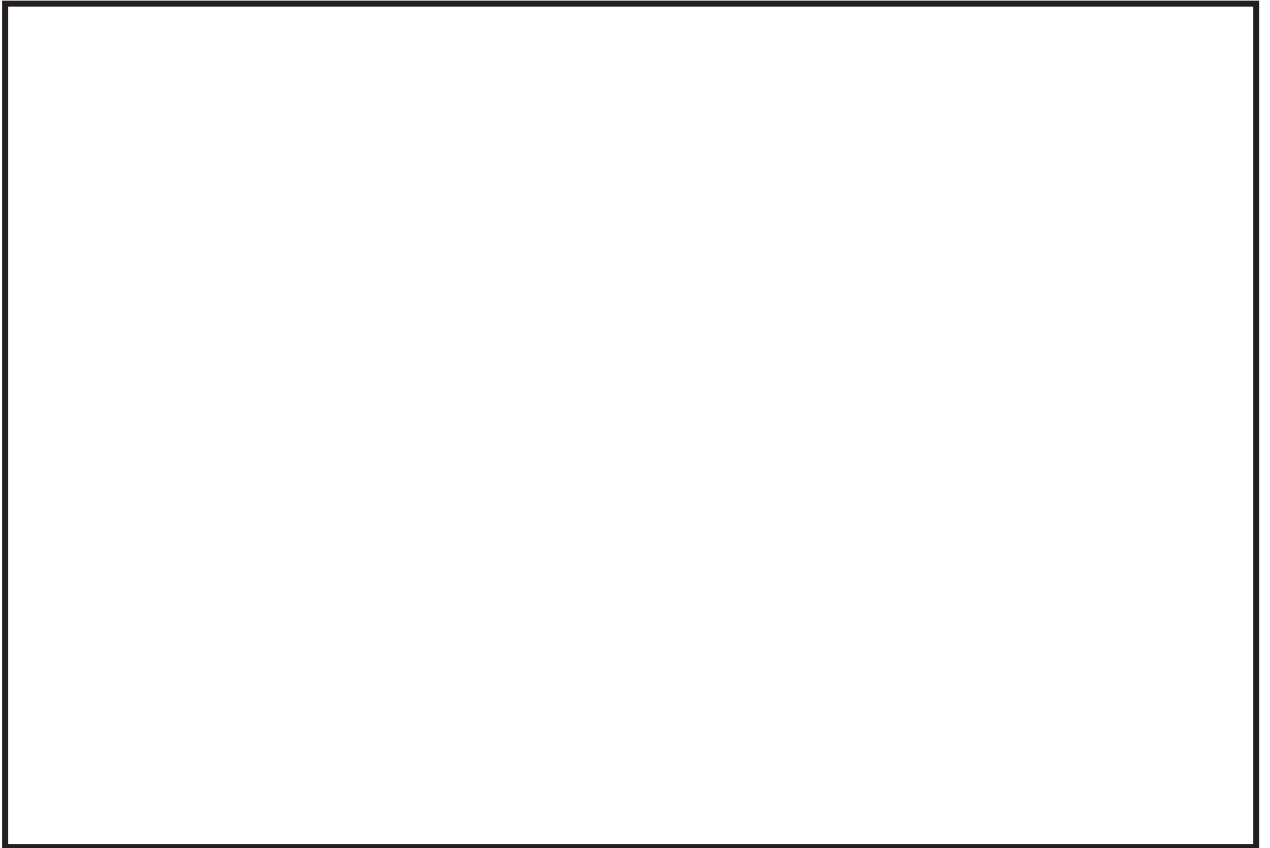


図 2-5 供試体 No. 3-2 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

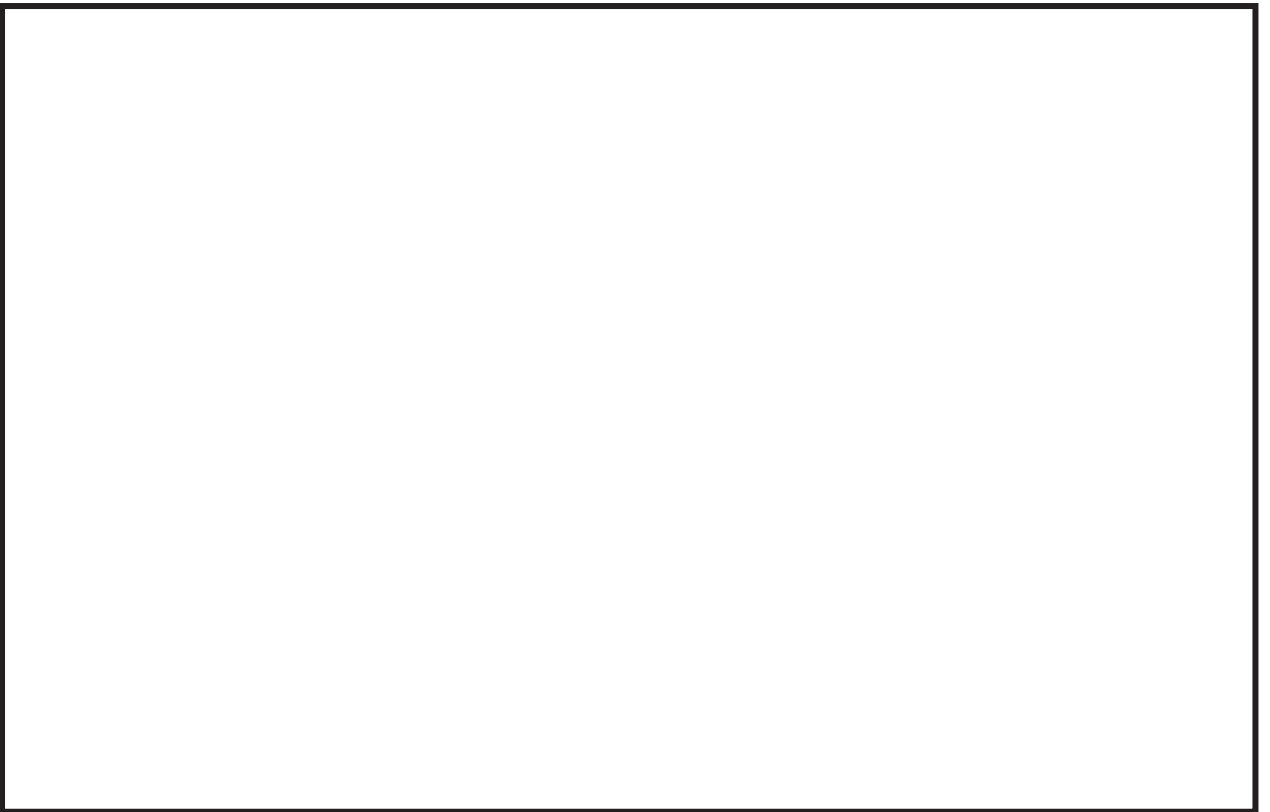


図 2-6 供試体 No. 3-3 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

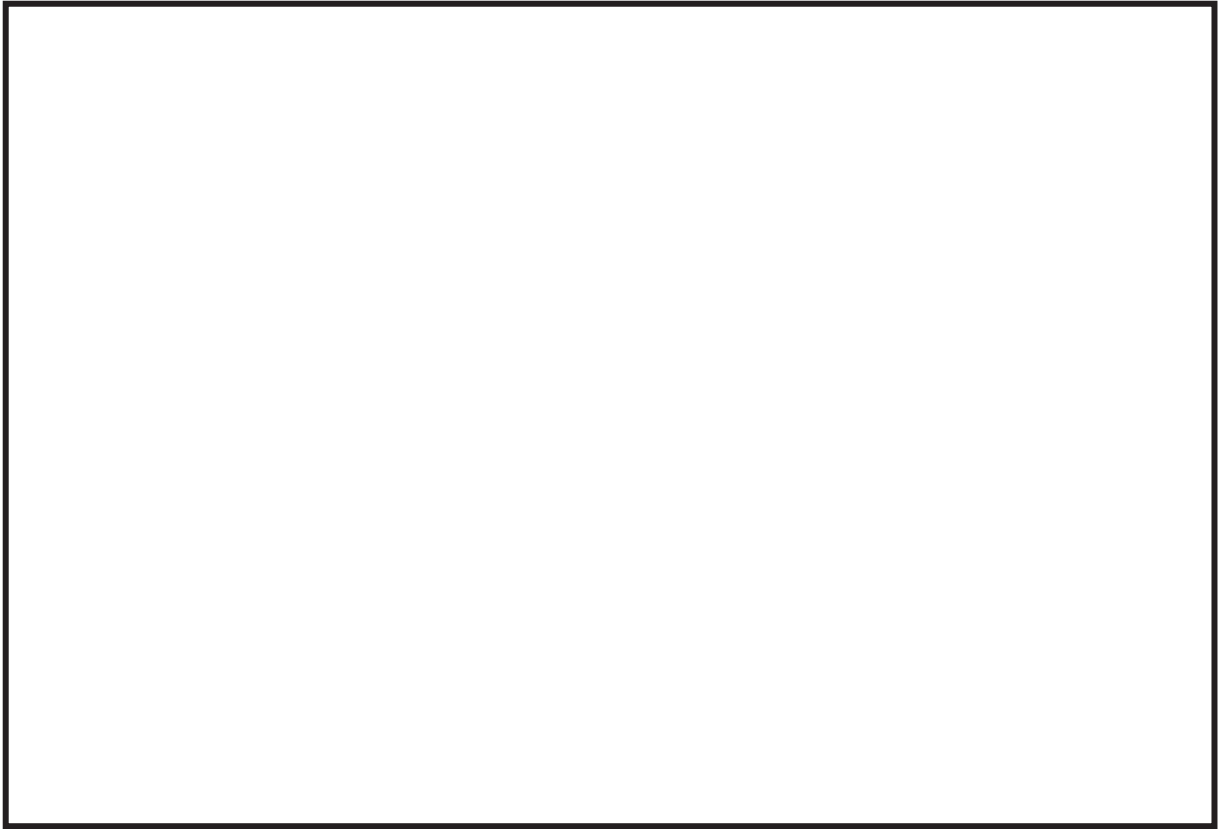


図 2-7 供試体 No. 6-1 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

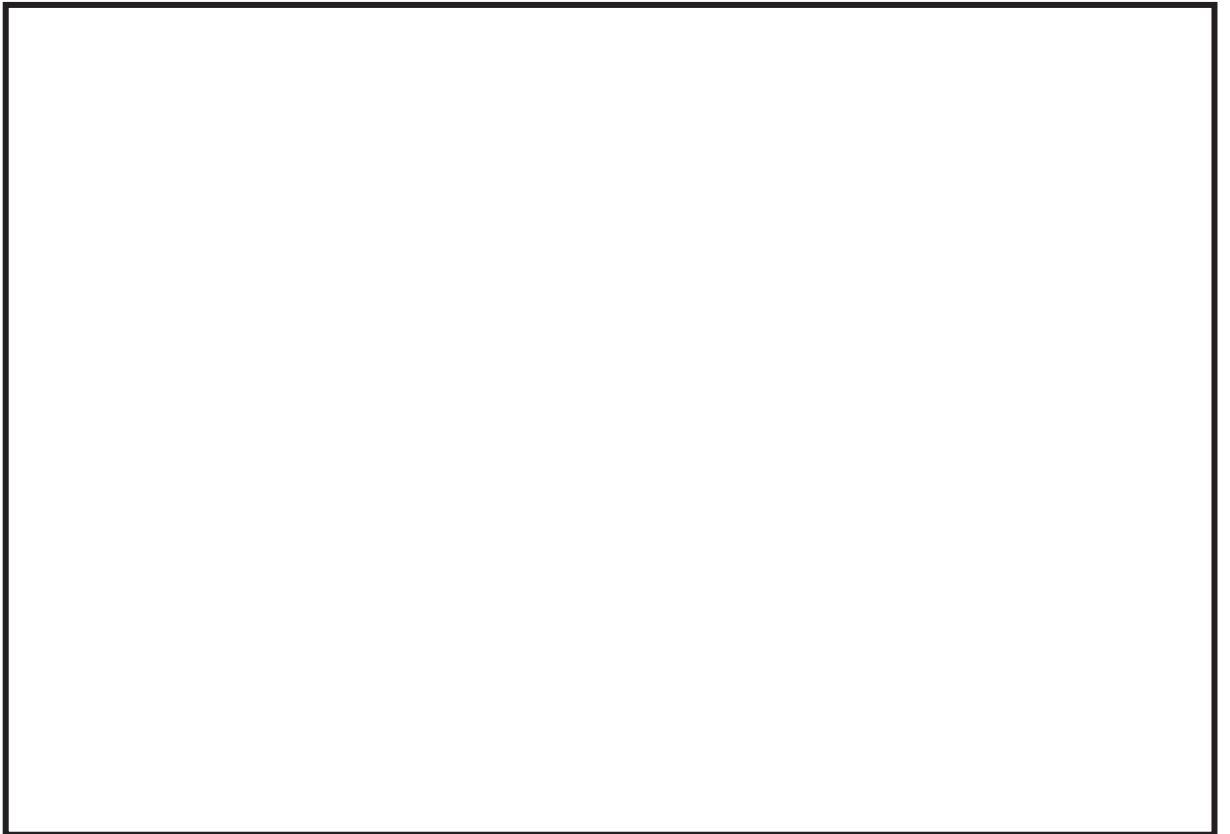


図 2-8 供試体 No. 10-1 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

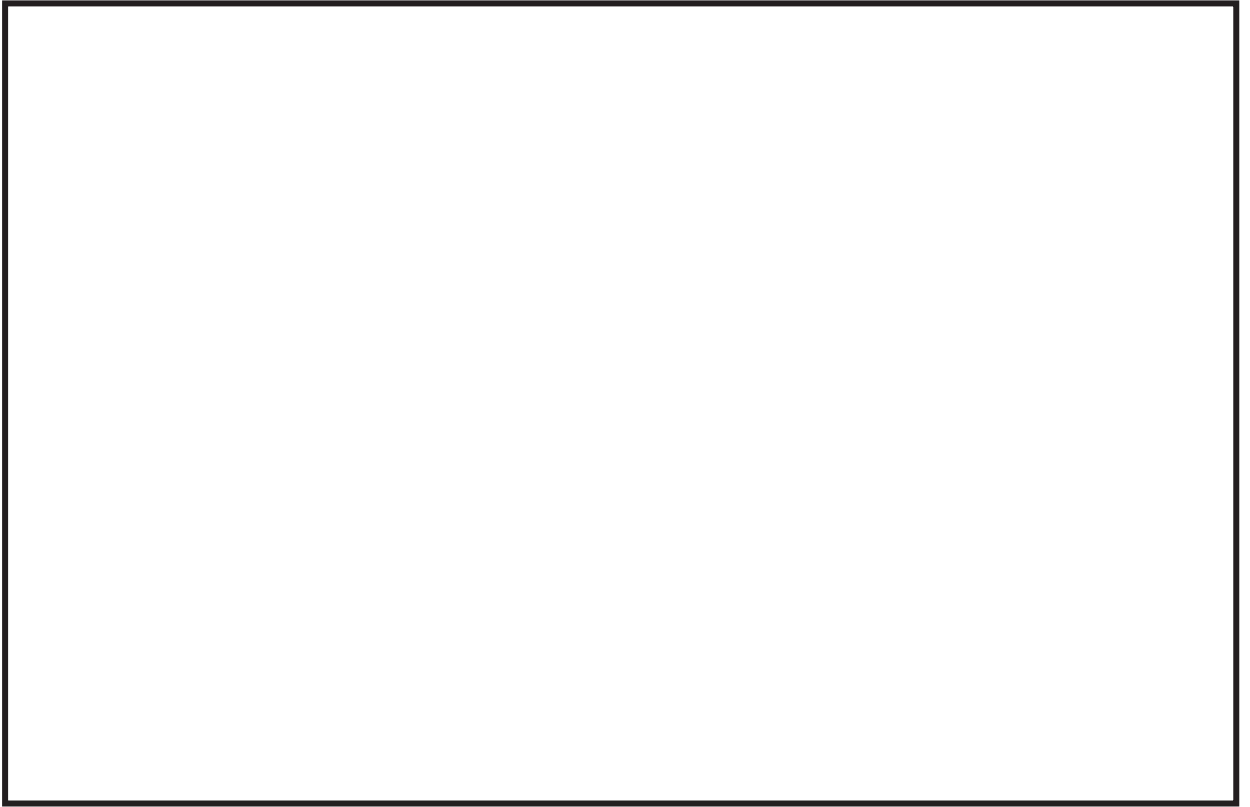


図 2-9 供試体 No. 5-3 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

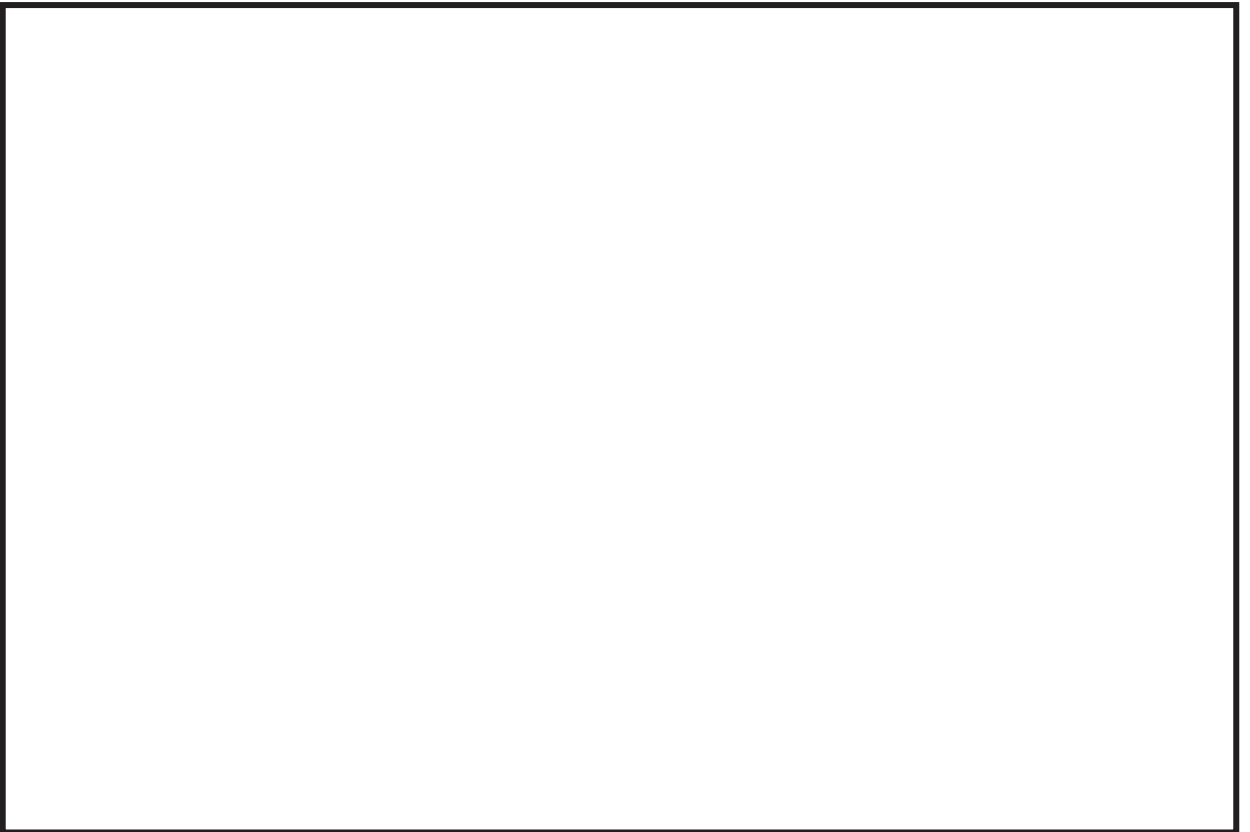


図 2-10 供試体 No. 5-4 の振動応答試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

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 試験の妥当性

既工認の評価においてメカニカルスナップの機能維持の根拠となっている確性試験のうち過負荷振動試験と、電共研における振動応答試験の試験条件の比較を表 2-2 に示す。どちらの試験も、加振後に低速走行試験を実施し、機能維持確認として低速走行時抵抗力を測定している。

表のとおり、振動試験の主要な試験条件である加振波、周波数及び加振時間は、確性試験と電共研で同一である。また、電共研での荷重条件は、確性試験における定格荷重×1.5 倍を上回る荷重（損傷したと判定されるまで）となっており、電共研の方がより厳しい試験条件となっている。

以上より、電共研の振動応答試験の試験条件は、既工認の機能維持確認の試験条件と同等と考えられるため、電共研の振動応答試験の結果を使ってメカニカルスナップの機能維持を確認することは妥当と考えられる。

表 2-2 確性試験と電共研の試験条件の比較

	確性試験 過負荷振動試験	電共研 振動応答試験
加振波		
周波数		
加振時間		
荷重		
計測項目		
ストローク位置		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 限界耐力値の策定

電共研では、上記の振動応答試験及び低速走行試験の試験結果から、荷重負荷後も機能維持できる荷重として型式ごとの限界耐力値を策定している。

この限界耐力値は、メカニカルスナッパの各構成部品の最小耐力値としている。メカニカルスナッパの構成部品のうち構造部材については、既工認と同様に J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」の許容限界をもとにした机上計算により耐力値を求めるが、机上計算により耐力を算定できない機能部品の機能維持については、以降に示すとおりメカニカルスナッパ全体に対する試験結果から耐力値を求めている。

SMS 型メカニカルスナッパの機能部品の位置を図 2-11 に、NMB 型メカニカルスナッパの機能部品の位置を図 2-12 に示す。また、試験結果をもとにした各機能部品の耐力値の求め方を以降に示す。

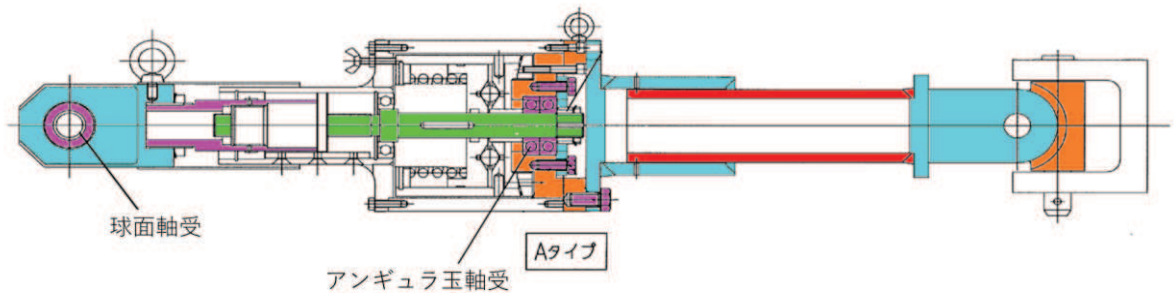


図 2-11 SMS 型メカニカルスナッパの機能維持に関わる機能部品

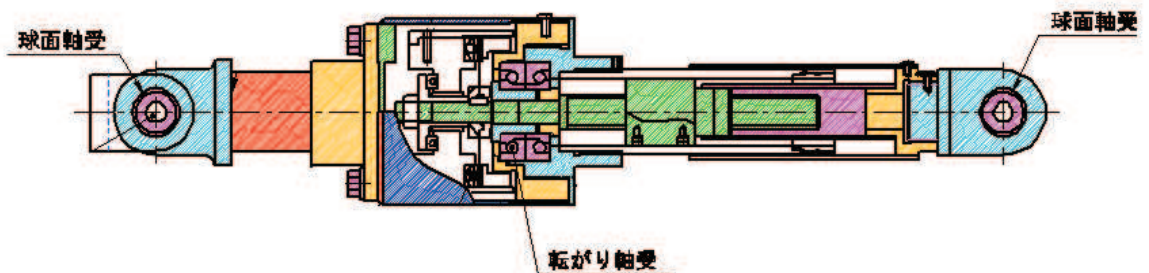


図 2-12 NMB 型メカニカルスナッパの機能維持に関わる機能部品

(1) SMS 型のアンギュラー玉軸受の限界耐力算定

SMS 型のアンギュラー玉軸受の耐力は、振動応答試験の結果を反映し、

とする。

【以下電共研試験報告書抜粋】

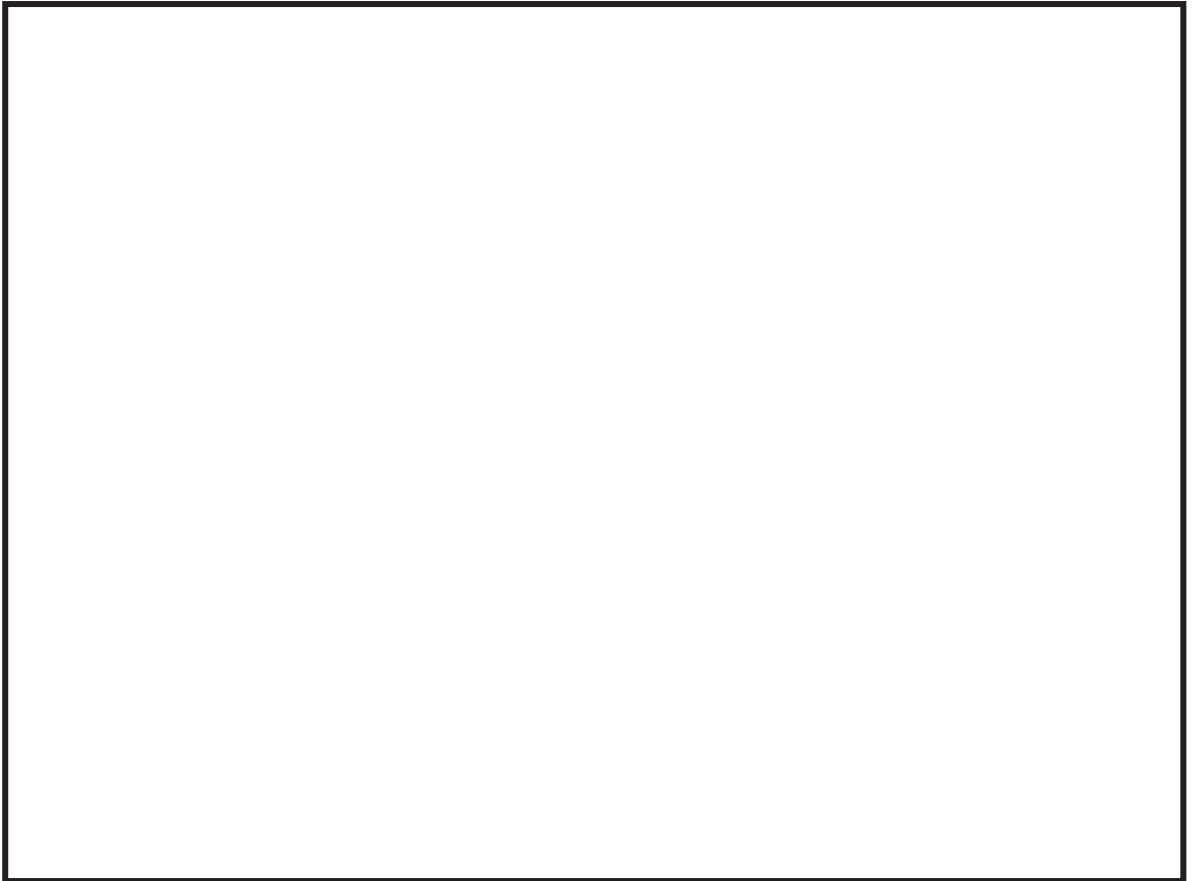
なお、

メカニカルスナッパの定格荷重はアンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重に対して最大で に設定されていることから、電共研の振動応答試験結果から得られたアンギュラー玉軸受の限界耐力は、定格荷重にて適用しているアンギュラー玉軸受の耐力の となっている。他の機能部品の評価においても、これと同様の考え方で、メカニカルスナッパ全体に対する試験によって機能維持の評価を実施している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) SMS 型の球面軸受の限界耐力算定

SMS 型の球面軸受の耐力は、振動応答試験の結果を反映し、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。

(3) NMB 型の球面軸受の限界耐力算定

NMB 型の球面軸受の耐力は、メーカーによる円周方向の静的定格荷重が、振動応答試験の結果と比べて保守的であったため、この静的定格荷重を用いる。

表 2-3 球面軸受の円周方向の静的定格荷重

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。

(4) NMB 型の転がり軸受の限界耐力算定

NMB 型の転がり軸受の耐力は，メーカーによる静的定格荷重が，振動応答試験の結果と比べて保守的であったため，この静的定格荷重を用いる。

表 2-4 転がり軸受の静的定格荷重

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。

2.4 限界耐力値の妥当性

策定された限界耐力値と、振動応答試験及び低速走行試験で機能維持が確認された耐力確認荷重との比較を表 2-5 に示す。各型式の最小裕度部品となるコネクティングチューブ、ベアリング押えおよび六角ボルト、リアブラケットは、全て引張方向と圧縮方向の両方に等しく荷重を伝達する部品のため、計算耐力値と比較する耐力確認荷重は、引張方向と圧縮方向のうち大きい方の荷重値とした。

試験が実施されている全ての型式について、耐力確認荷重よりも限界耐力値が低く設定されているため、限界耐力値が付加された場合においても、メカニカルスナッパの機能維持に問題がないと判断できる。

この比較結果より、機能品を含むメカニカルスナッパ全体の機能維持確認に、電共研の限界耐力値を使うことは妥当であると判断した。

表 2-5 電共研における耐力値と最大発生荷重

型式	定格容量 [kN]	電共研	
		限界耐力値 [kN]	試験による 耐力確認荷重 [kN]

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 の既往知見の概要と妥当性

JNES では、メカニカルスナップの耐力評価手法を構築することを目的として、地震に対する強度・機能の限界値を振動応答試験及び低速走行試験で確認している。

以降に、JNES における試験の概要をまとめた。

3.1 試験概要

JNES におけるメカニカルスナップの振動応答試験では、 製の SMS-03, SMS-3, SMS-10, SMS-25, 製の NMB-003, NMB-030, NMB-100, NMB-250 の計 8 種類を代表として選定している。型式 SMS-10 は正弦波と地震波（模擬地震波、自然観測波）による加振を、それ以外の型式は正弦波による加振のみを実施し、それぞれの加振試験前後に低速走行試験で抵抗力計測による機能維持を確認している。加振試験では、加振ケースごとに荷重を徐々に増やしていき、損傷したと判断できるまで加振を行う。損傷の判断基準は、動剛性の低下又は低速走行時の抵抗力低下としている。

試験結果を表 3-1 に示す。表中の耐力確認荷重は、加振後の低速走行試験にて判定基準を満足した荷重ケースにおいて、引張方向及び圧縮方向の振動応答試験における最大荷重であり、荷重負荷後も機能維持できると考えられる荷重値である。

また、耐力確認荷重を得た加振ケース（加振後も破損せずに機能維持できたケース）の振動応答試験における時刻歴の荷重波形を図 3-1～図 3-12 に示す。なお、図中の「確認耐力」は、「耐力確認荷重」を示す。引張方向と圧縮方向の荷重値が異なるのは、メカニカルスナップの引張方向と圧縮方向で動剛性が異なり、かつ変位振幅制御で加振しているためである。

各型式の最小裕度部品となるコネクティングチューブ、ベアリング押えおよび六角ボルト、リアブラケットは全て引張方向と圧縮方向の両方に等しく荷重を伝達する部品のため、発生荷重と比較する耐力確認荷重は、引張と圧縮の大きい方の荷重値として問題ないと考えられる。各部品の形状は別紙 3 メカニカルスナップの詳細評価方法の 2.1 SMS 型 ④ベアリング押え、⑤六角ボルト（ベアリング押え用）、⑨コネクティングチューブおよび 2.2 NMB 型 ①リアブラケットを参照。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 JNES における振動応答試験の試験結果

型式	供試体 No.	定格荷重 [kN]	加振波 種別	耐力確認荷重[kN]	
				引張側	圧縮側



図 3-1 供試体 No. SMS-003-01 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

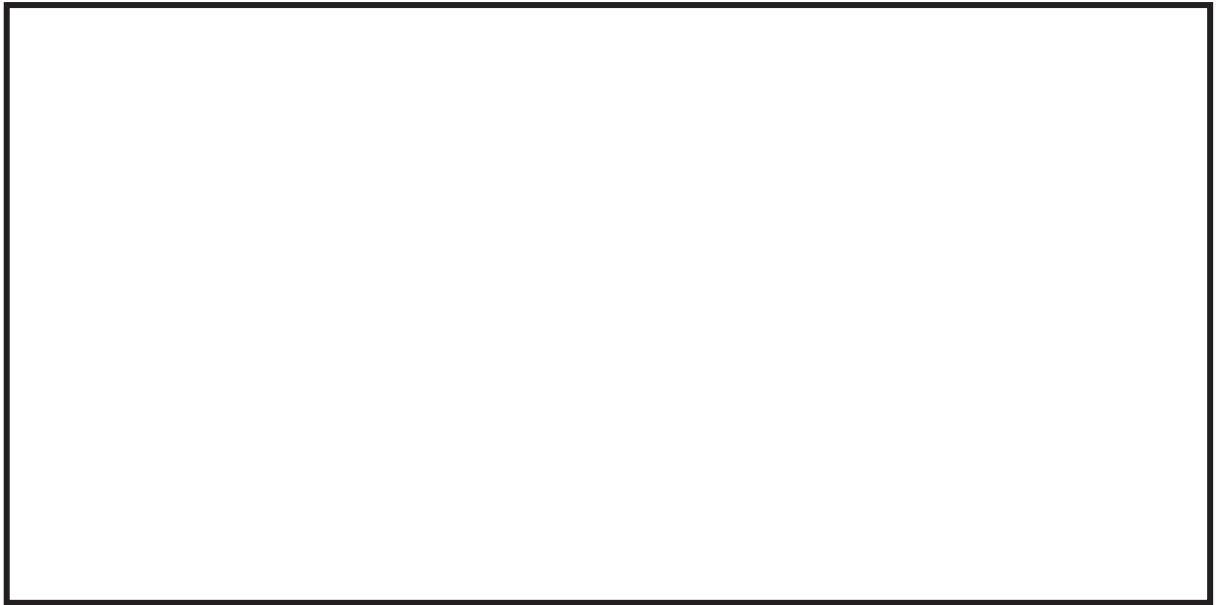


図 3-2 供試体 No. SMS-030-02 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

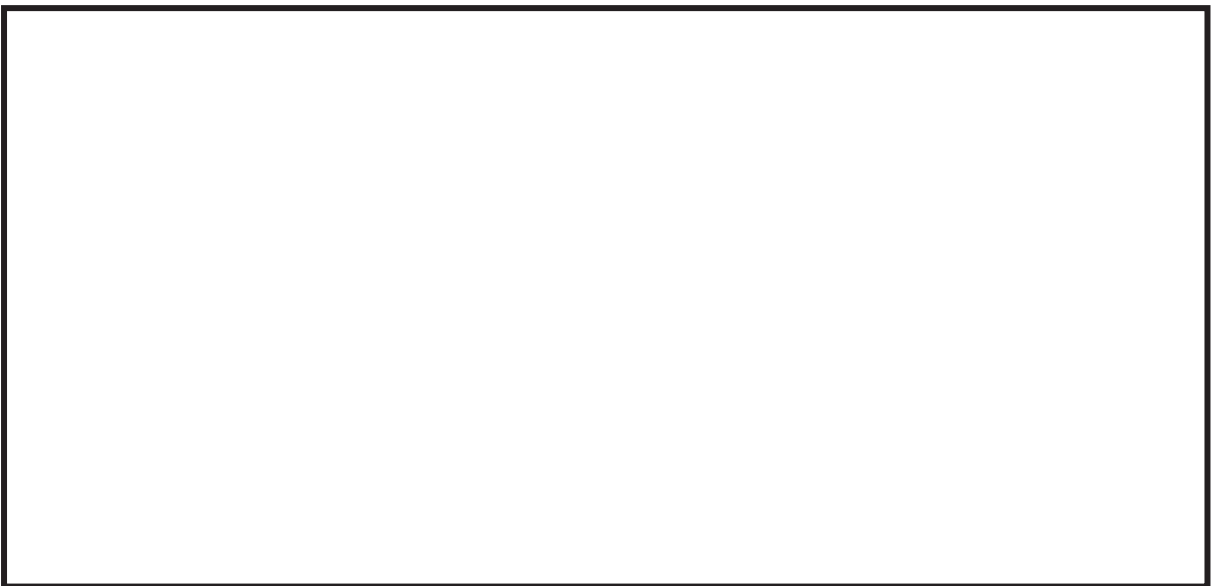


図 3-3 供試体 No. SMS-100-03 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

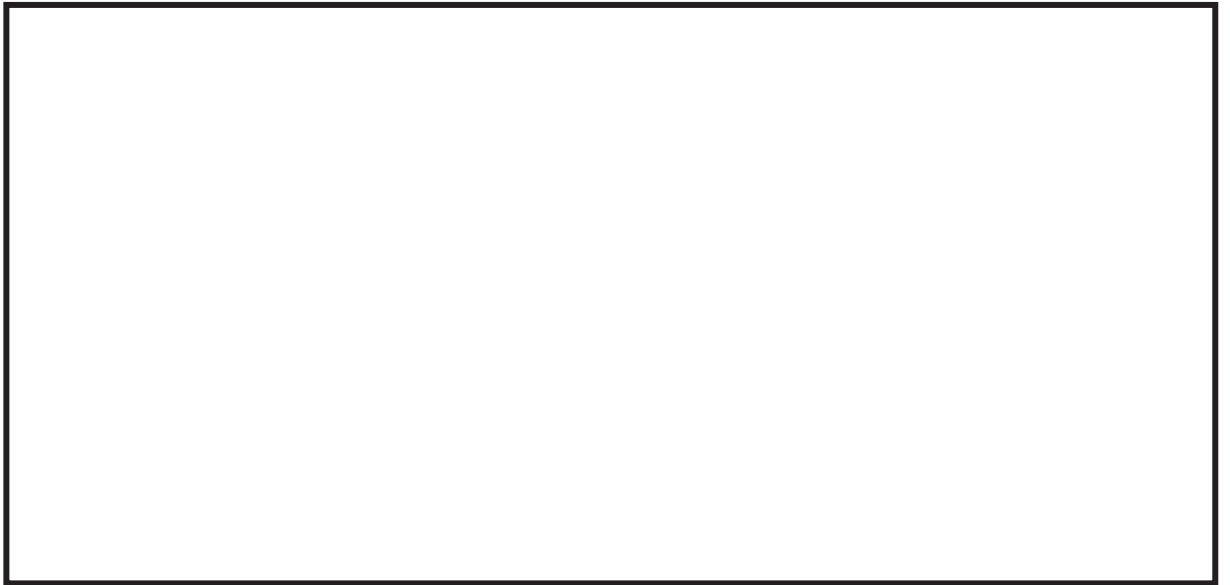


図 3-4 供試体 No. SMS-100-04 の振動応答試験における時刻歴荷重波形



図 3-5 供試体 No. SMS-100-05 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-6 供試体 No. SMS-100-06 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

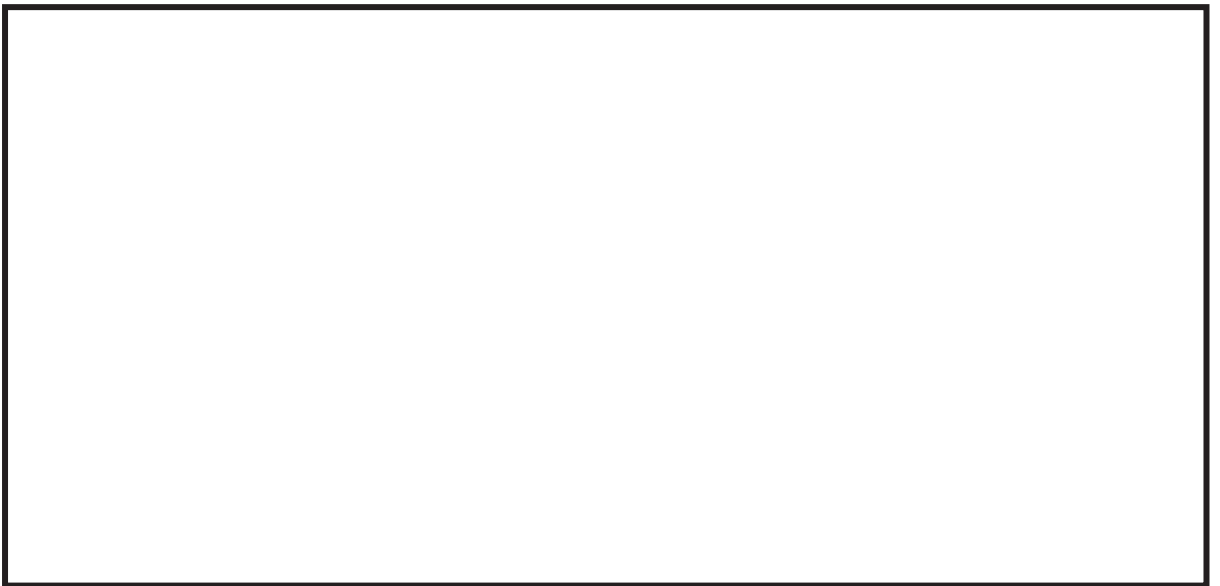


図 3-7 供試体 No. SMS-100-07 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

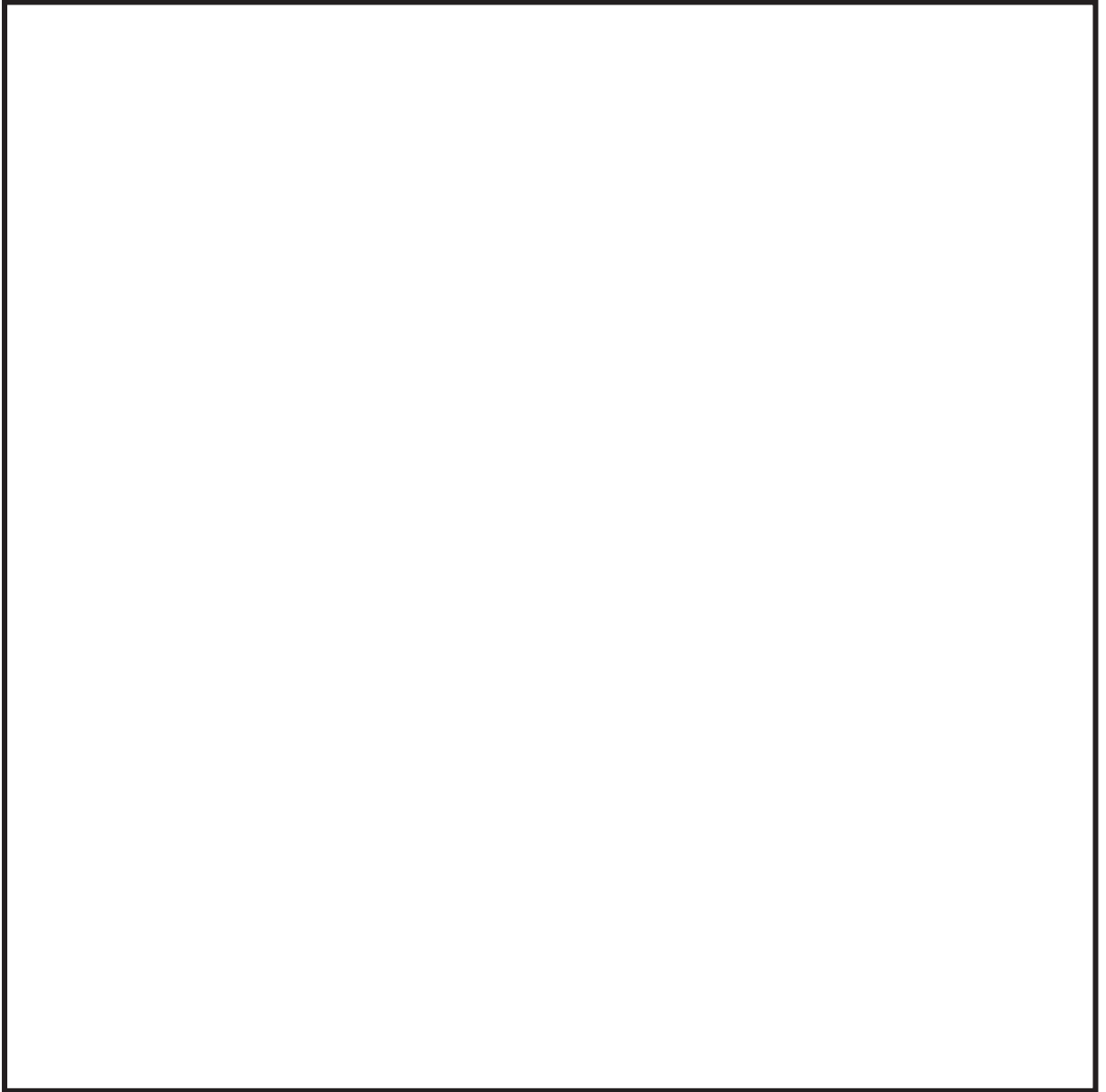


図 3-8 供試体 No. SMS-250-08 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-9 供試体 No. NMB-003-01 の振動応答試験における時刻歴荷重波形



図 3-10 供試体 No. NMB-030-02 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

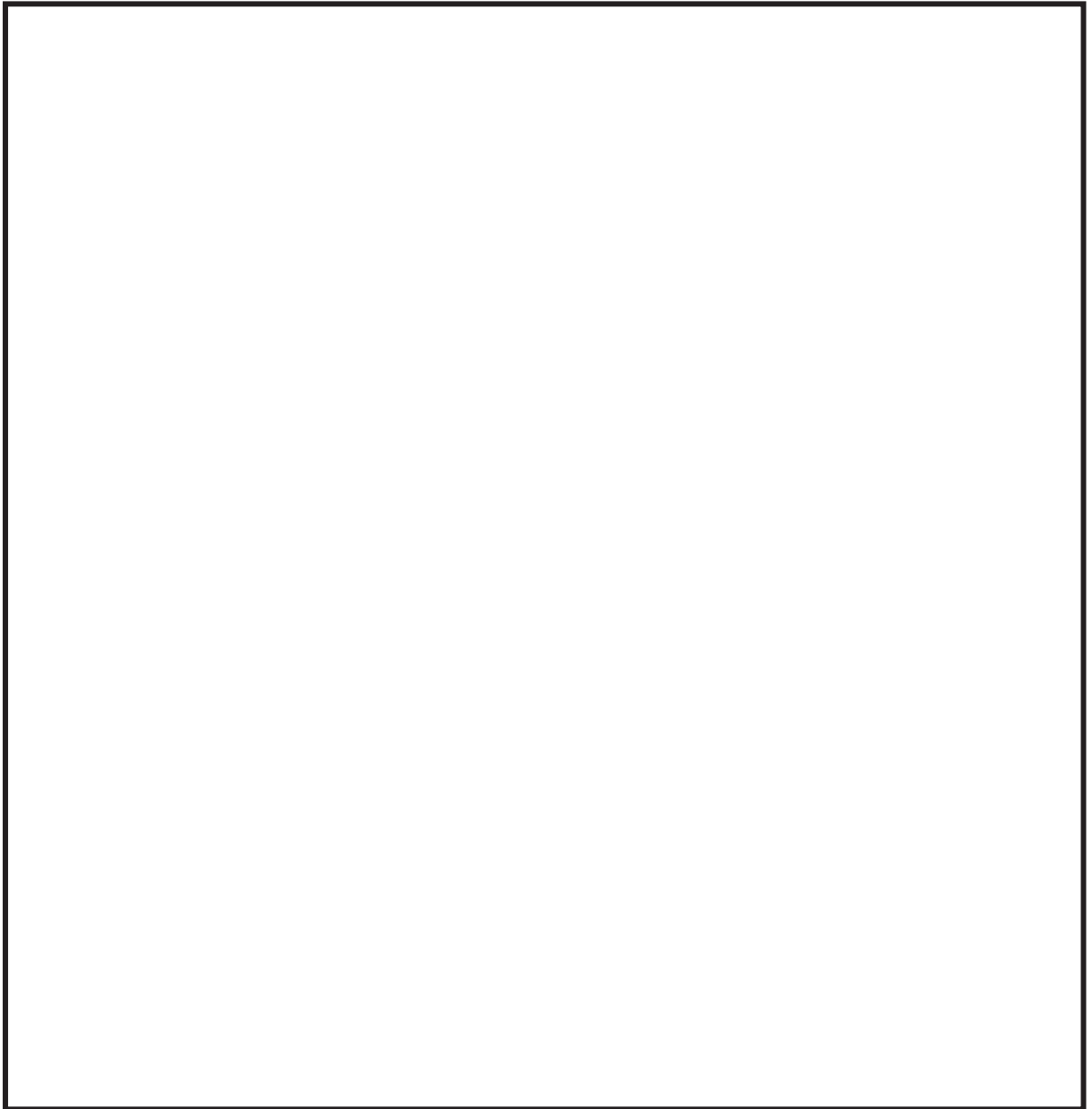


図 3-11 供試体 No. NMB-100-03 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

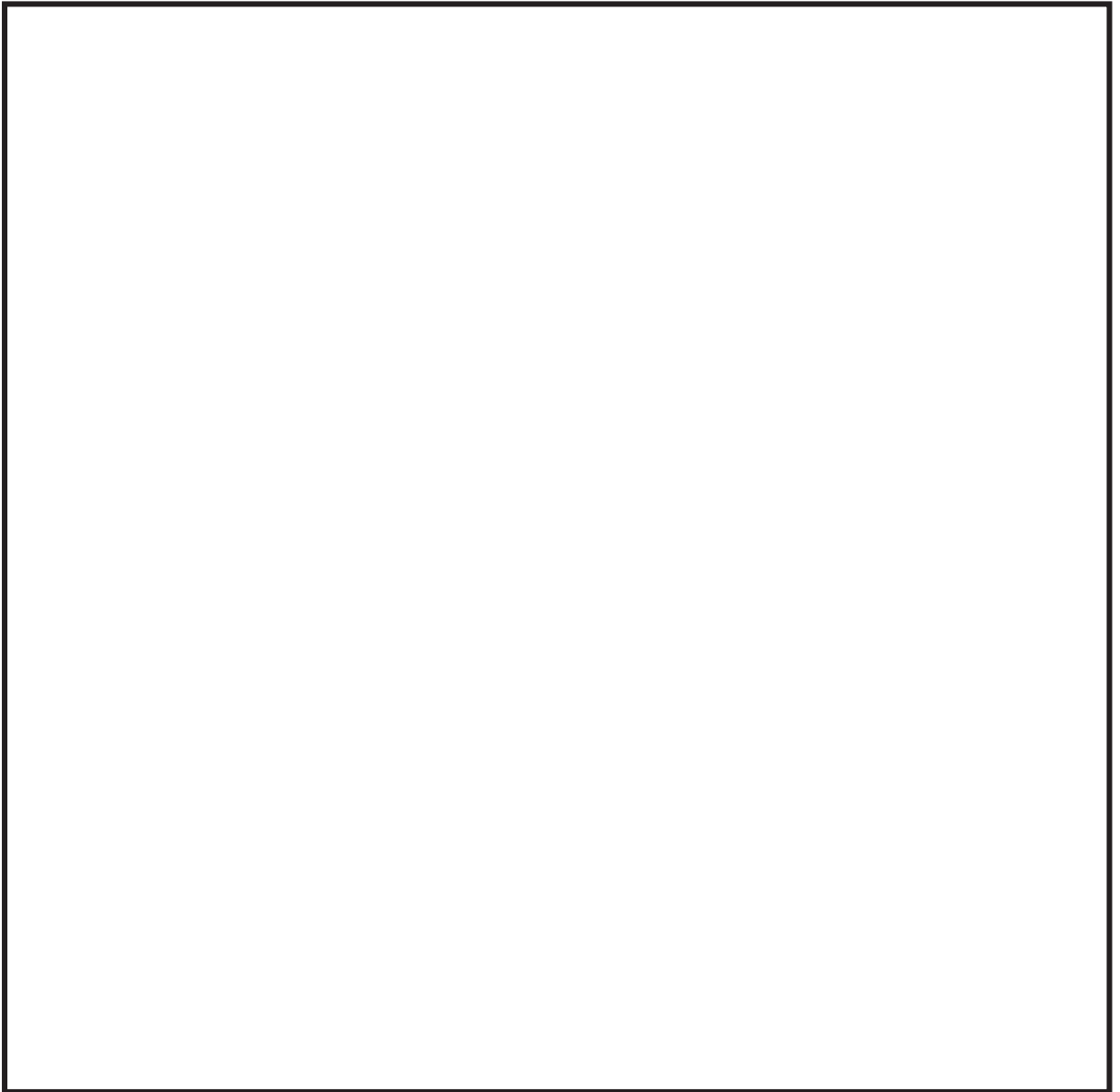


図 3-12 供試体 No. NMB-250-04 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 試験の妥当性

既工認の評価においてメカニカルスナップの機能維持の根拠となっている確性試験のうち過負荷振動試験と、JNESにおける振動応答試験の試験条件の比較を表 3-2 に示す。どちらの試験も、加振後に低速走行試験を実施し、機能維持確認として低速走行時抵抗力を測定している。

表 3-2 のとおり、試験条件のうち加振波は、地震波を用いたケースを除き、確性試験と JNES で同じ正弦波である。周波数は JNES よりも確性試験の方が高いが、加振はどちらの試験も発生荷重を基準とした変位制御で行っているため、周波数の違いによる影響は小さいと考えられる。また、加振時間は JNES の方が長い、加振回数はどちらも 100 回程度と同等である。JNES における荷重条件は、確性試験における定格荷重×1.5 倍を上回る荷重（損傷したと判断されるまで）となっており、JNES の方がより厳しい試験条件となっている。

以上より、JNES の振動応答試験の試験条件は、既工認の機能維持確認の試験条件と同等と考えられるため、JNES の振動応答試験の結果を使ってメカニカルスナップの機能維持評価の妥当性を確認することは妥当と考えられる。

なお、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s における発生荷重と、JNES の耐力評価手法における耐力値を表 3-3、表 3-4 に示す。それぞれの発生荷重は JNES の耐力値よりも小さいことが確認できる。

表 3-2 確性試験と JNES の試験条件の比較

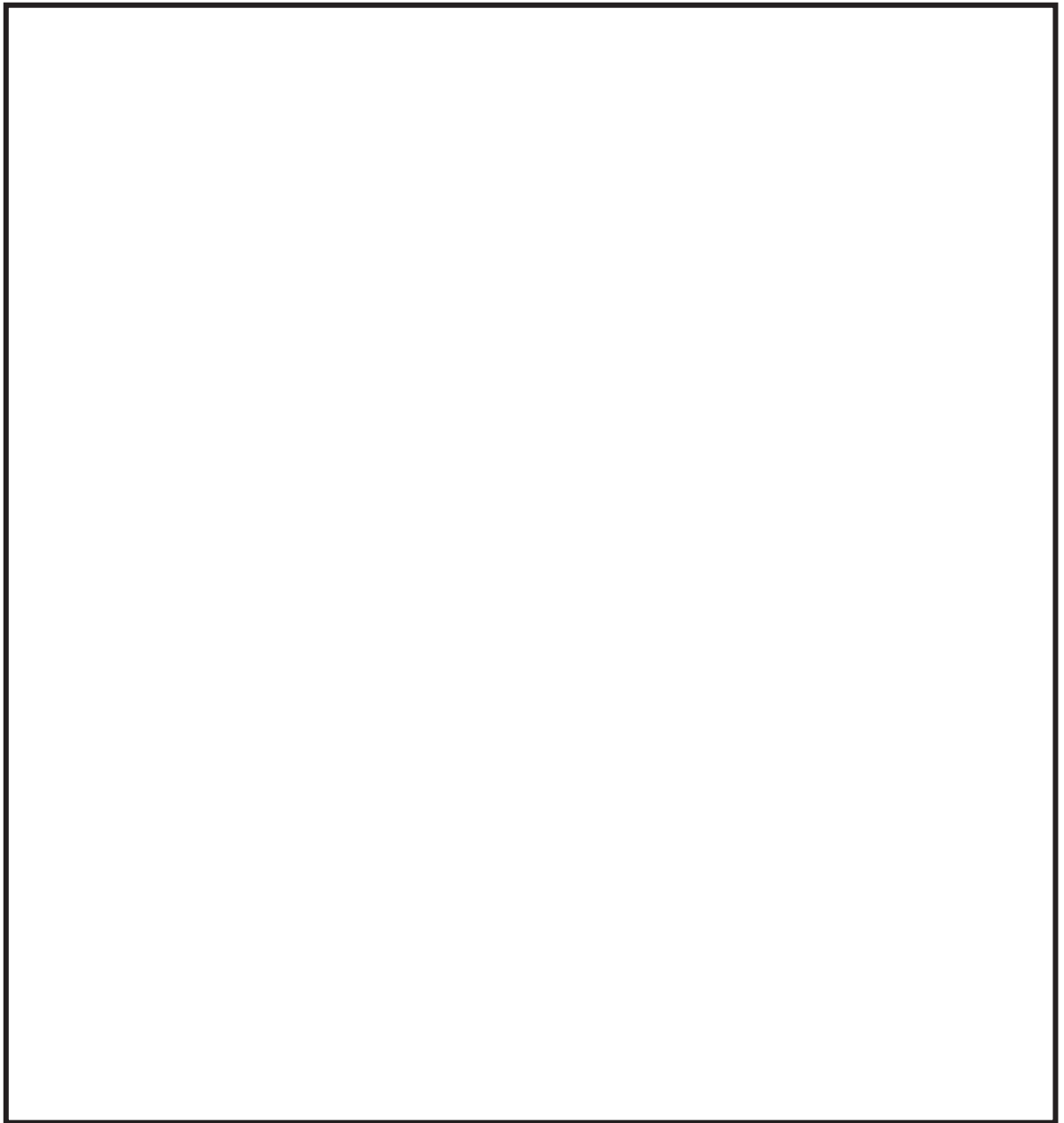
	確性試験 過負荷振動試験	JNES 振動応答試験
加振波		
周波数		
加振時間		
荷重		
計測項目		
ストローク位置		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-3 JNES における耐力値と最大発生荷重

--

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。