

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3
提出年月日	2021年 4月 22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
3.1	メカニカルスナップの構造	2
3.2	メカニカルスナップの作動原理	3
4.	メカニカルスナップの耐震設計	5
4.1	既工認における評価	5
4.2	メカニカルスナップの定格荷重	6
4.3	今回工認における評価	8
4.3.1	評価手順	8
4.3.2	メカニカルスナップの適用規格	10
4.3.3	今回工認における詳細評価適用の考え方	13
5.	今回工認における詳細評価の内容	19
5.1	構造部材の詳細評価	20
5.2	機能部品の詳細評価	34
6.	詳細評価結果	35
6.1	詳細評価対象メカニカルスナップ	35
6.2	構造部材の詳細評価結果	37
6.3	機能部品の詳細評価結果	44
7.	結論	47
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に係る適用規格の内容	
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電力共同研究の概要	
別紙 5	メカニカルスナップの JNES 研究の概要	

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」に該当するため、構造強度評価によって支持機能を評価する。

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 を踏まえ、あらかじめ計算により定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍に対するメカニカルスナッパの構成部品の応力を求めて許容応力状態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、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た上で、メカニカルスナッパに負荷される地震荷重と比較することによって耐震性を確認している。

今回工認のメカニカルスナッパの耐震設計においても、既工認同様、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 倍を設計上の基準として適用することを基本とする。ただし、基準地震動 S_s 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地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定している設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、改めて J E A G 4 6 0 1 を踏まえた詳細評価として、メカニカルスナッパに負荷される地震荷重に対する応力を算出し、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・配管系に設置する型式（SMS 型、NMB 型）のメカニカルスナッパとし、地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値（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）を超えた場合に詳細評価を適用する。

3. メカニカルスナップの構造及び作動原理

3.1 メカニカルスナップの構造

メカニカルスナップは、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、地震時に発生する配管反力（地震荷重）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る。図 3-1 にメカニカルスナップの構造概要を示す。

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、配管から伝達される荷重（配管反力）を支持するための構造部材及び配管移動に追従するための機能部品としての役割を持った部品等で構成されている。



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。

3.2 メカニカルスナップの作動原理

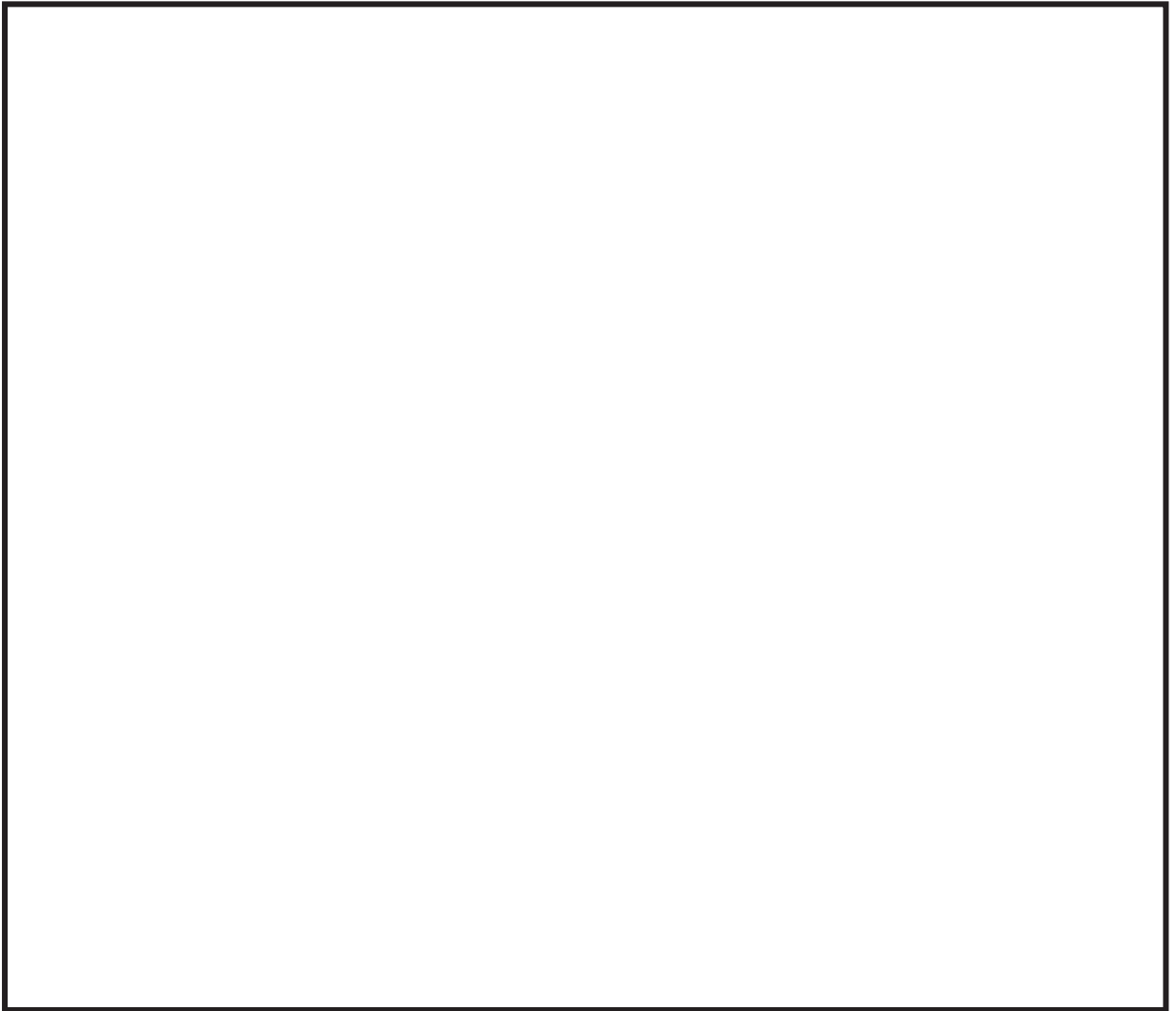


図 3-2 メカニカルスナップの作動原理

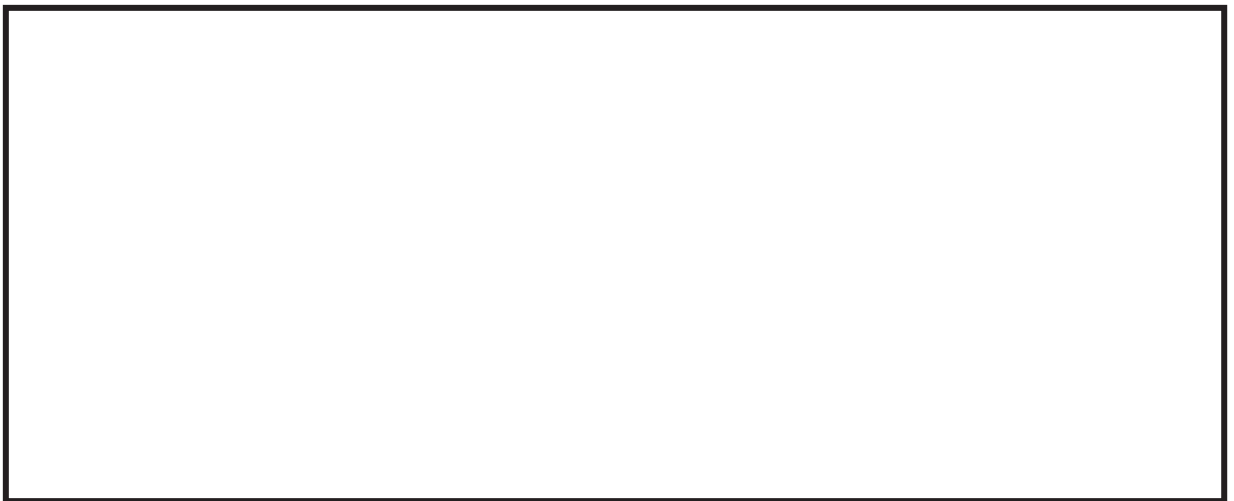


図 3-3 ボールねじのボールナット部の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

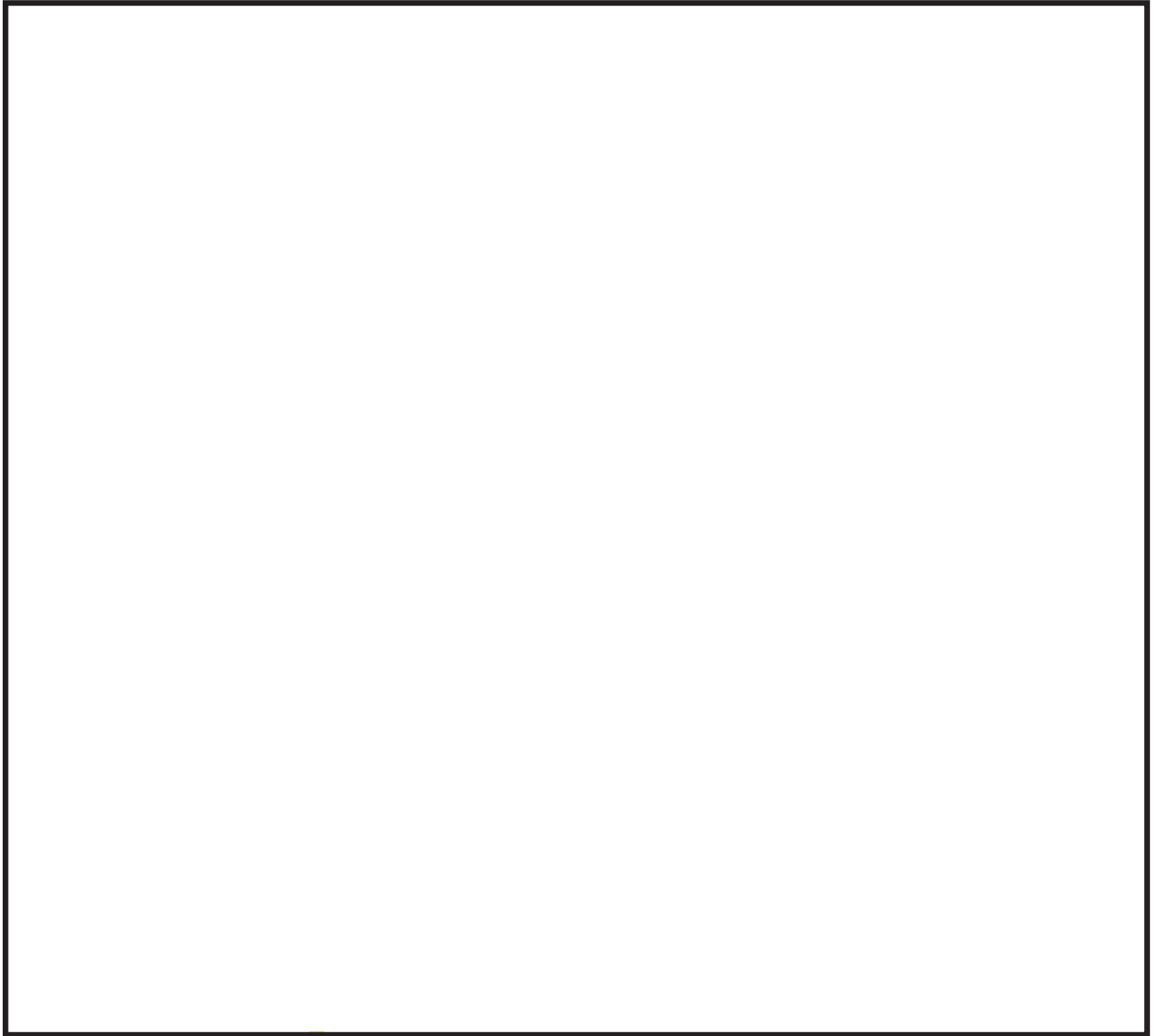


図 3-4 メカニカルスナッパの低速走行時動作の様子

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耐震設計

4.1 既工認における評価

既工認におけるメカニカルスナッパの評価手順を図 4-1 に示す。

既工認におけるメカニカルスナッパの耐震評価では、メカニカルスナッパに対する荷重による評価として、配管解析から算出されたメカニカルスナッパに負荷される配管反力（地震荷重）が、あらかじめ設定した設計上の基準値（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している。

ここで、あらかじめ設定した設計上の基準値とは、J E A G 4 6 0 1 における、あらかじめ計算により求めた標準荷重に相当し、定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍に対するメカニカルスナッパの強度評価として、構造部材の応力がその他の支持構造物に要求される許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の許容応力を満足することが確認されたものである。

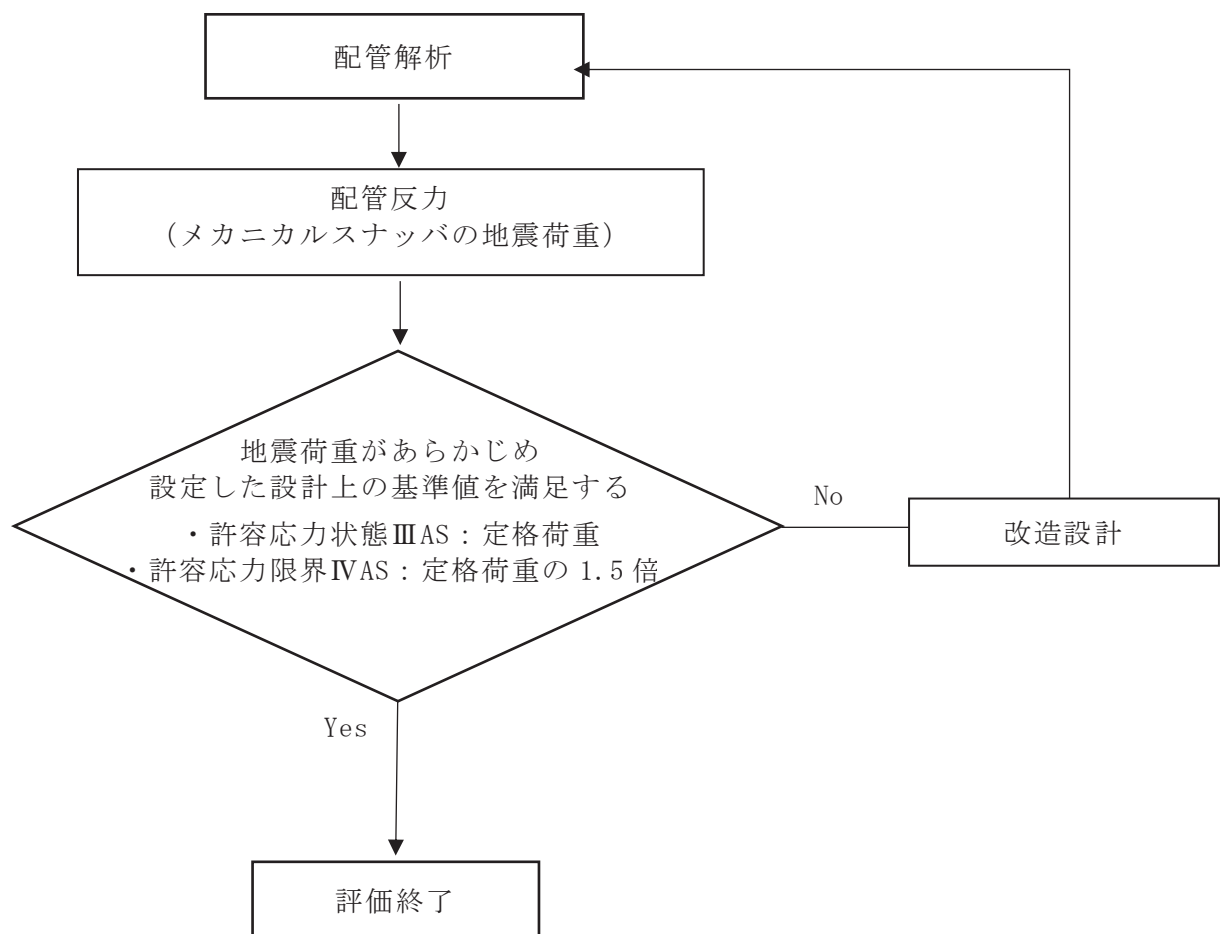


図 4-1 既工認におけるメカニカルスナッパの評価手順

4.2 メカニカルスナッパの定格荷重

メカニカルスナッパは、メカニカルスナッパ製造者による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、製造設計にあたって設定する定格荷重及び定格試験の1.5倍に対して十分に余裕のある設計となっている。

メカニカルスナッパの製造設計では、地震荷重として定格荷重及び定格荷重の1.5倍が負荷された構造部材に対する応力が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を確認している。

従って、荷重による評価として、メカニカルスナッパの地震荷重が定格荷重及び定格荷重の1.5倍を満足する場合、部品ごとの応力評価を実施しなくても各評価対象部位の応力がJ E A G 4 6 0 1に規定される許容応力を満足することになる。

また、機能部品を含むメカニカルスナッパの機能確認試験として、表4-1に示す確性試験によっ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を確認している。なお、メカニカルスナッパに対する確性試験の詳細については、別紙1に示す。

表 4-1 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し，地震荷重に対して想定される動剛性を発揮できることを確認する。
	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，配管の熱変位に対して追従できることを確認する。
	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。

4.3 今回工認における評価

4.3.1 評価手順

今回工認におけるメカニカルスナップの評価手順を図 4-2 に示す。

今回工認におけるメカニカルスナップの耐震評価では、一次評価として既工認と同様、配管解析から算出された配管反力（メカニカルスナップの地震荷重）があらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_AS：定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS：定格荷重の 1.5 倍）を満足することで耐震性を確認する。

メカニカルスナップの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定している設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、メカニカルスナップの構成部材に対する詳細評価を実施する。

今回工認における詳細評価では、メカニカルスナップの地震荷重に対して各構造部材の強度評価を行い、その他の支持構造物の許容応力以下であることを確認する。なお、メカニカルスナップの各構造部材の強度評価にあたっては、既往知見等を踏まえた検討を行い、強度評価に係る評価部位及び評価項目を追加する。

また、詳細評価における地震荷重がメカニカルスナップの確性試験における試験条件（定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍）を超えることを踏まえ、機能部品を含むメカニカルスナップの機能確認に対する荷重評価として、メカニカルスナップの地震荷重が既往知見等を考慮して整理した限界耐力値を下回っていることを確認する。

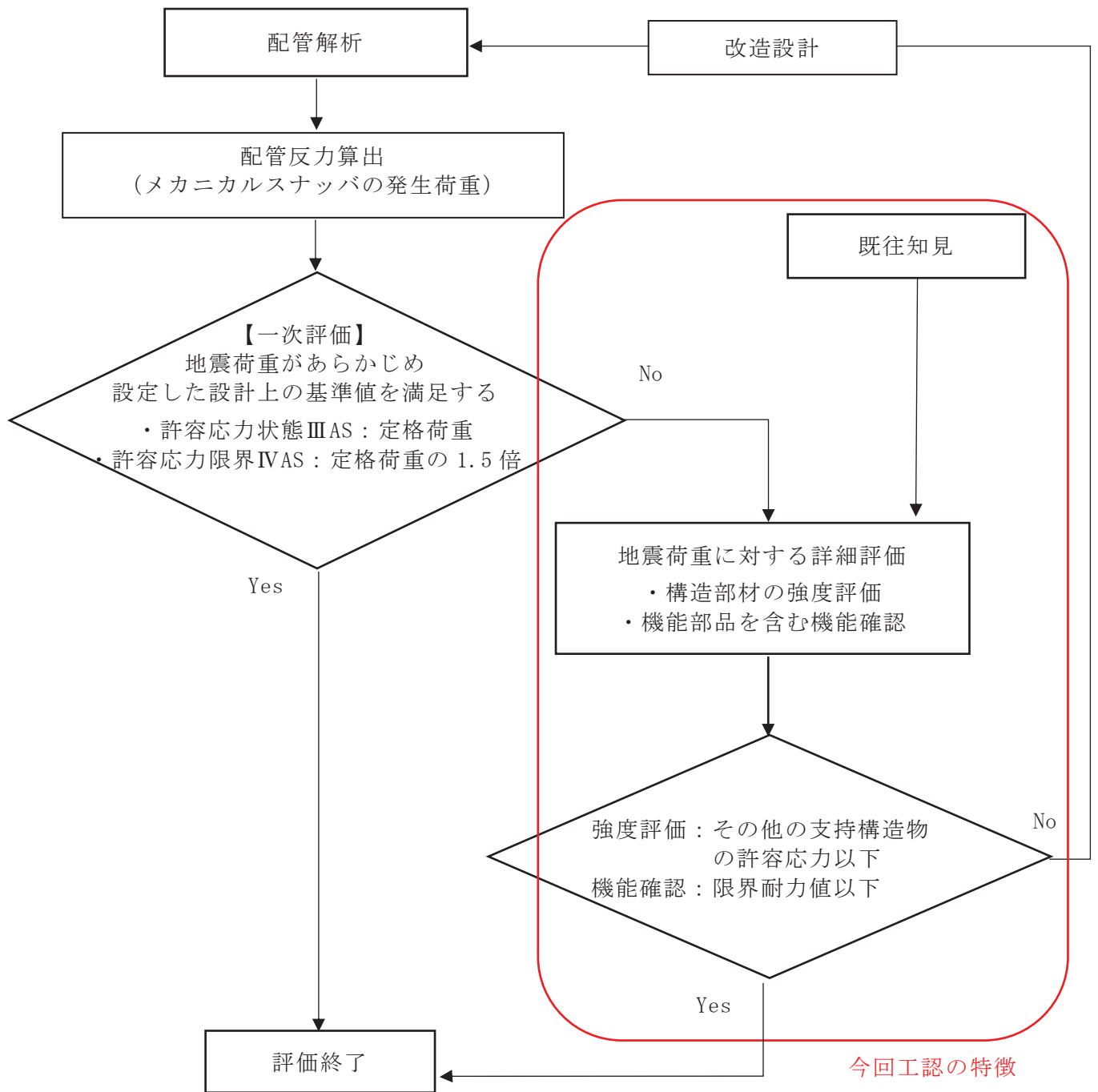


図 4-2 今回工認におけるメカニカルスナップバの評価手順

4.3.2 メカニカルスナップの適用規格

メカニカルスナップの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の概要を図 4-3 に示すとともに、該当部の抜粋を別紙 2 に示す。

機器・配管系の支持構造物であるメカニカルスナップは、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第 5 条及び第 50 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。

メカニカルスナップの耐震設計では、J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物に該当し、メカニカルスナップの構造部材の強度評価が求められるため、配管から伝達される荷重（配管反力）に対するメカニカルスナップの発生応力がその他の支持構造物に要求される許容限界を満足することを確認する。

J E A G 4 6 0 1 では、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て、機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計も可能であること、耐震安全性評価における許容応力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あると記載されている。

なお、添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」における支持構造物の種別に対する評価方法の一覧を表 4-2 に示す。

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及びその解釈
第5条, 第50条(地震による損傷の防止)
「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」

J E A G 4 6 0 1

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984

- ・メカニカルスナッパは「その他の支持構造物」に該当する
- ・構造部材に対する強度評価が求められる。

J E A G 4 6 0 1 -1987

- ・機器・配管系の耐震評価(応力が許容限界内であること)は解析による設計を基本とする。
- ・機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計もできる。
- ・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標準荷重(定格荷重等に相当)を用いる場合等がある。

メカニカルスナッパの耐震評価

【既工認及び今回工認における一次評価】

- ・あらかじめ計算により求めた標準荷重による評価を適用し, 地震荷重が定格荷重及び定格荷重の1.5倍(設計上の基準値)を満足すること

【今回工認における詳細評価】

- ・地震荷重に対する構造部材の強度評価(応力による評価)
- ・機能部品を含む機能維持に対する荷重評価(試験)

図4-3 メカニカルスナッパの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の概要

表 4-2 支持構造物の評価方法一覧

No.	種 別	評価方法	評価方法の理由
1	メカニカルスナッパ	定格荷重評価及び Ⅲ _{AS} /Ⅳ _{AS} 評価	定格荷重等を標準荷重とした製造設計であるため、耐震設計では、あらかじめ設定した設計上の基準値に基づく評価を基本とし、設計上の基準値を満足できない場合は詳細評価を行う。 (今回工認)
2	ロッド レストレイント	定格荷重評価	定格荷重等を標準荷重とした製造設計であるため、耐震設計では、あらかじめ設定した設計上の基準値に基づく評価を基本とする。 (既工認と同様)
3	オイルスナッパ	定格荷重評価	
4	スプリングハンガ	定格荷重評価	
5	コンスタントハンガ	定格荷重評価	
6	レスト レイント	ラグ	
7		Uボルト	Ⅲ _{AS} /Ⅳ _{AS} 評価
8		支持架構	Ⅲ _{AS} /Ⅳ _{AS} 評価
9		埋込金物	Ⅲ _{AS} /Ⅳ _{AS} 評価

4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方

(1) 既工認と今回工認の差異

メカニカルスナッパに対する既工認の評価及び今回工認における評価は、図 4-1 及び図 4-2 のとおり、荷重による評価として、メカニカルスナッパの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値(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)を満足できなかった場合の扱いが異なる。

既工認では、即座に改造設計へ移行することに対して、今回工認においては、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること及び既往知見を踏まえて、詳細評価を適用し、メカニカルスナッパの支持機能を確認することである。なお、詳細評価が満足しない場合は、改造設計へ移行する。

詳細評価の適用にあたっては、メカニカルスナッパの地震荷重が定格荷重及び定格荷重の 1.5 倍を超える場合の限界耐力評価法等に係る既往知見を踏まえて、メカニカルスナッパの構造部材の強度評価及び機能部品を含む機能確認に係る内容を検討した。

なお、既工認の評価及び今回工認における詳細評価適用に係る考え方を図 4-4 に示す。

(2) 既往知見を踏まえた検討

a. 「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」)(別紙 4)

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等を踏まえて評価部位及び評価項目を追加することにした(表 4-3, 表 4-4)。

また、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、機能部品を含む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、定格荷重等の設定時における確性試験項目との比較検討結果を表 4-5 に示す。

b. 「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」)(別紙 5)

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。

既工認
(今回工認の一次評価も同様)

【J E A G 4 6 0 1】
 ○強度評価：その他の支持構造物に対する許容応力
 なお、荷重による評価としてあらかじめ計算で
 求めた標準荷重等を用いる場合あり
 ○機能確認：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

【J E A G 4 6 0 1】
 ○強度評価：その他の支持構造物に対する許容応力
 なお、荷重による評価としてあらかじめ計
 算で求めた標準荷重等を用いている場合あり
 ○機能確認：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

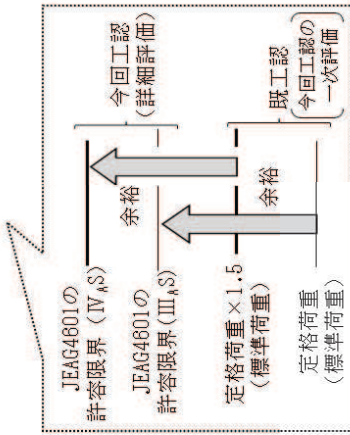
今回工認における詳細評価

・適用規格は同様であり、
 J E A G 4 6 0 1 の規定を
 踏まえた対応

【標準荷重による強度評価】
 ○地震荷重とあらかじめ設定した設計上の基準値と比較し、
 地震荷重が以下を満足することを確認する
 ・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
 なお、定格荷重及び定格荷重の1.5倍とは、「その他の支
 持構造物」に対する許容応力を満足することを確認済
 ○機能部品を含む機能確認は、定格荷重又は定格荷重の1.5
 倍に対する確性試験結果により妥当性を確認済

【応力による強度評価】
 ○地震荷重による各構造部材の応力を評価し、その他の
 支持構造部に対する許容応力（許容応力状態Ⅲ_AS又は
 許容応力状態Ⅳ_AS）を満足することを確認する
 ・荷重伝達経路を踏まえて評価部位、評価項目を追加
【地震荷重に対する機能確認】
 ○機能部品を含む機能確認として、地震荷重が限界耐力
 値を下回っていることを確認する。

・評価範囲をJ E A G 4 6 0 1 の
 許容限界まで拡大
 ・既往知見等を踏まえた
 評価部位、評価項目の
 追加



○メーカーにて機能維持の観点で確性試験を実施
 ・耐震性（支持性能：構造部材、機能部品）
 ・耐環境性
 ・耐放射線性

○電共研にて構造強及び機能維持の観点から限界耐力評
 価法等に係る検討を実施
 ・構造部材の評価部位、評価項目の整理
 ・限界耐力値の整理

○JNESにて耐力評価手法を構築することを目的に強度・
 機能の限界試験を実施

図 4-4 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

表 4-3 既工認及び今回工認（詳細評価）における評価部位（SMS 型）

番号	部品名称	既工認	今回工認	備考
①	ダイレクトアタッチブラケット	○	○	
②	ジャンクションコラムアダプタ	○	○	
③	ロードコラム	○	○	
⑤	ピン	○	○	
⑥	コネクティングチューブ	○	○	
⑦-1	ベアリングケース	○	○	
⑦-2	ベアリング押え	○	○	
⑦-3	六角ボルト	○	○	
⑧	イーヤ	○	○	
⑨	ユニバーサルボックス	○	○	
⑪	ユニバーサルブラケット	○	○	
⑫	ベアリングナット	—	○	追加項目
⑬	ボールネジ	—	○	追加項目
⑭	座屈	—	○	追加項目

○：評価対象，—：評価対象外

表 4-4 既工認及び今回工認（詳細評価）における評価部位（NMB 型）

番号	部品名称	既工認	今回工認	備考
①-1	リアーブラケット（イヤ）	○	○	
①-2	リアーブラケット（溶接部）	○	○	
①-3	リアーブラケット（フランジ）	○	○	
②	セットボルト	○	○	
③-1	ケース	○	○	
③-2	ケース溶接部	○	○	
④	ベアリングシート	○	○	
⑤	ベアリングボックス	○	○	
⑥	スリーブ	○	○	
⑦	カラー	○	○	
⑧	ロードシリンダ	○	○	
⑨	ターンバックル	○	○	
⑩	エンドプラグ	○	○	
⑪	延長パイプキット及び溶接部	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-1	延長パイプブラケット （イヤ穴部）	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-2	延長パイプブラケット （溶接部）	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-3	延長パイプ	—	○	既工認：適用タイプなし
⑬	クレビス（アイ）	○	○	
⑭	クレビス（本体）	—	○	追加項目
⑮	ピン	○	○	
⑯	ボールネジ	○	○	
⑰	座屈 （ストローク 125mm 考慮）	—	○	追加項目
⑱	座屈 （ストローク 250mm 考慮）	—	○	追加項目

○：評価対象，—：評価対象外

表 4-5 詳細評価適用に係る検討要否

確性試験の項目	確認内容	詳細評価に係る 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)
レリーズ試験*1	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畳の影響は考慮不要のため*2)	—
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*1：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。地震後に熱移動へ追従するかどうかは、レリーズ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。

*2：レリーズ試験の熱変位速度（2m/s～4m/s）に比べて、原子力プラントの温度変化条件による変位速度は十分に小さいため、速度の大きい熱変位と地震の重畳による影響確認を目的としたレリーズ試験は実施不要と考えられる。確性試験時は、一般産業向け製品と同等の条件にて性能確認を行っているため、レリーズ試験も実施している。

5. 今回工認における詳細評価の内容

今回工認におけるメカニカルスナッパの詳細評価は、構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能確認を実施する。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し、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 5.1 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地震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 5.2 項に示す。

5.1 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

SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路を図 5-1 に示すとともに、メカニカルスナップの構成部材を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 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。

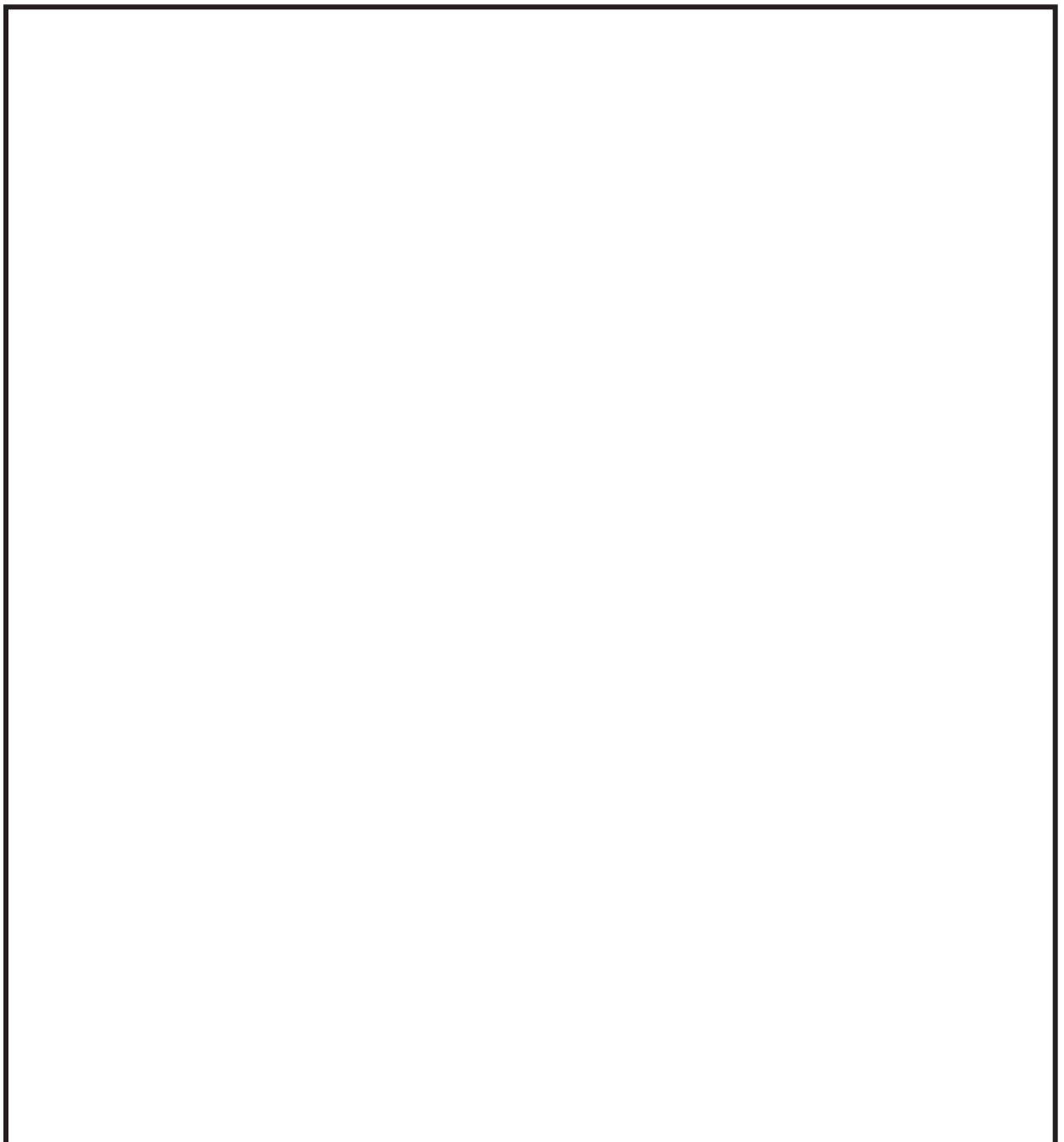


図 5-1 SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

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構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①ダイレクトアタッチブラケット	○	—
②ジャンクションコラムアダプタ	○	—
③ロードコラム	○	—
⑤ピン	○	—
⑥コネクティングチューブ	○	—
⑦-1 ベアリングケース	○	—
⑦-2 ベアリング押え	○	—
⑦-3 六角ボルト	○	—
⑧イーヤ	○	—
⑨ユニバーサルボックス	○	—
⑩コネクティングチューブイーヤ部	○	—
⑪ユニバーサルブラケット	○	—
⑫ベアリングナット	○	—
⑬ボールネジ	—*	○*
アンギュラー玉軸受	—	○
球面軸受	—	○

注記*：ボールネジ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応力評価も実施する。

(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 5-2 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。なお、④クランプはメカニカルスナップ本体ではなく、詳細評価を行わないため除外している。⑩コネクティングチューブイーヤ部は、寸法及び計算式が①ダイレクトアタッチブラケットと全く同じため省略している。

また、特定の部位ではないが、メカニカルスナップ全体の座屈評価を項目として追加している。

また、既工認と今回工認の評価項目の比較を表 5-3 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項目追加根拠に記載する。

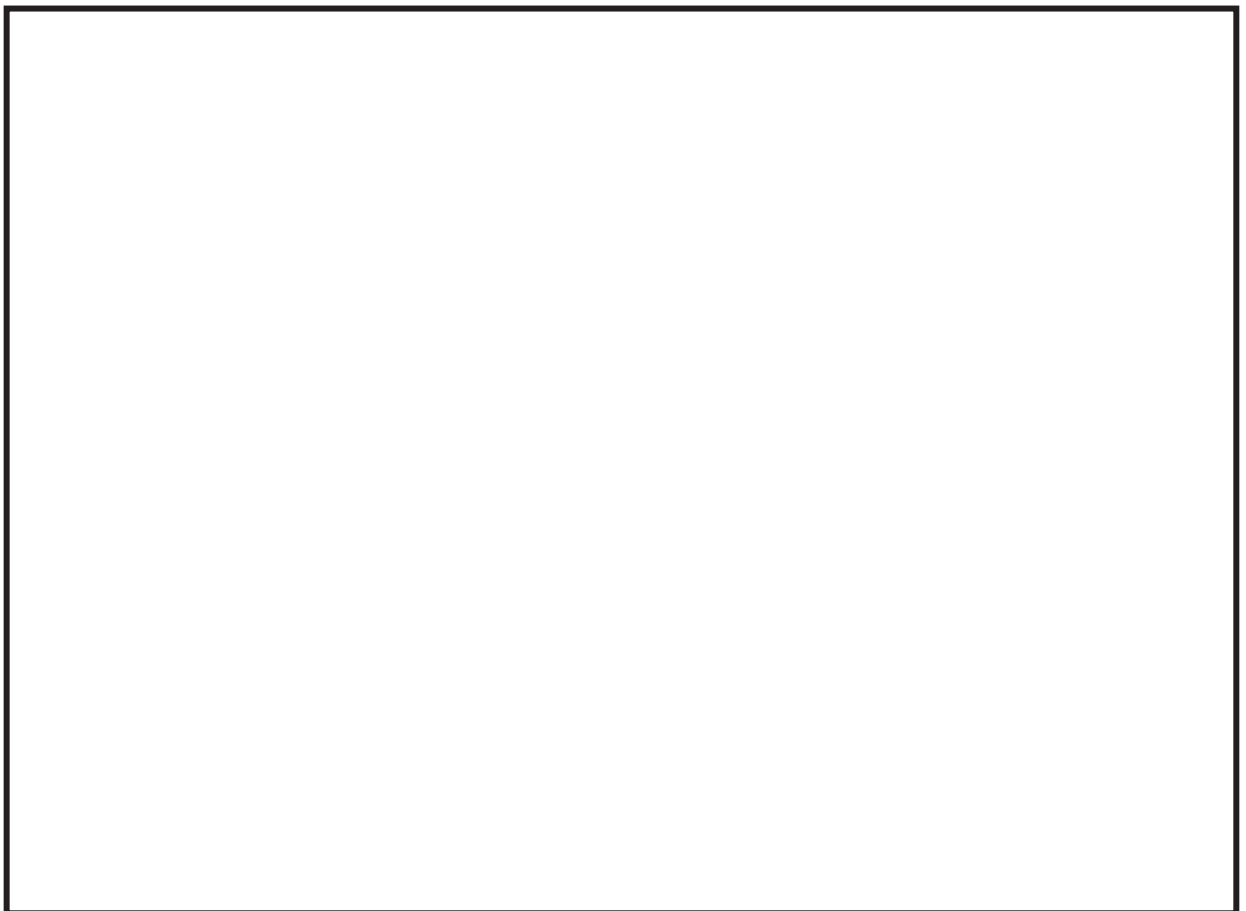


図 5-2 SMS 型メカニカルスナップの構造強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-2 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 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
② ジャンクションコラムアダプタ	引張応力
	せん断応力
③ ロードコラム	引張応力
	せん断応力
⑤ ピン	せん断応力
⑥ コネクティングチューブ	引張応力
	せん断応力
	圧縮応力
⑦-1 ベアリングケース	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑦-2 ベアリング押え	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
⑦-3 六角ボルト	引張応力
⑧ イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨ ユニバーサルボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑩ 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 ベアリングナット	せん断応力
⑬ ボールネジ	引張応力
⑭ 全長座屈	圧縮応力

表 5-3 既工認と今回工認の評価項目の比較 (SMS 型) (1/2)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
①	ダイレクトアタッチブラケット	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	—	基本的に穴部の応力評価の方が厳しいが、荷重伝達部評価の網羅性のため追加
②	ジャンクションコラムアダプタ	ボルト引張	○	○	相違なし
		溶接部引張	○	○	相違なし
		コラム引張	○	—	基本的に溶接部評価の方が厳しいが、評価箇所網羅性のため追加
③	ロードコラム	引張	○	○	相違なし
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—	基本的に引張応力評価の方が厳しいが、荷重分類の網羅性のため追加
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—	
⑤	ピン	ピンせん断	○	○	相違なし
⑥	コネクティングチューブ	チューブ圧縮	○	○	相違なし ($\lambda \leq \Lambda$)
		チューブ引張	○	—	基本的にチューブ部の圧縮応力評価の方が厳しいが、荷重伝達部評価の網羅性のため追加
		溶接部引張	○	—	
		溶接部引張	○	—	
		溶接部せん断	○	—	
⑦-1	ベアリングケース	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑦-2	ベアリング押え	せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
		曲げ	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加
⑦-3	六角ボルト	引張	○	○	相違なし

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 既工認と今回工認の評価項目の比較 (SMS 型) (2/2)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
⑧	イーヤ	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
		ねじ部引張	○	—	基本的に穴部の評価の方が厳しいが、評価箇所の網羅性のため追加
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—	
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—	
⑨	ユニバーサルボックス	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑩	ユニバーサルブラケット	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑫	ベアリングナット	ねじ部せん断①	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加
		ねじ部せん断②	○	—	
⑬	ボールネジ	引張	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加
⑭	全長	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加

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

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 に示すとともに、メカニカルスナップの構成部材を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-4 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。

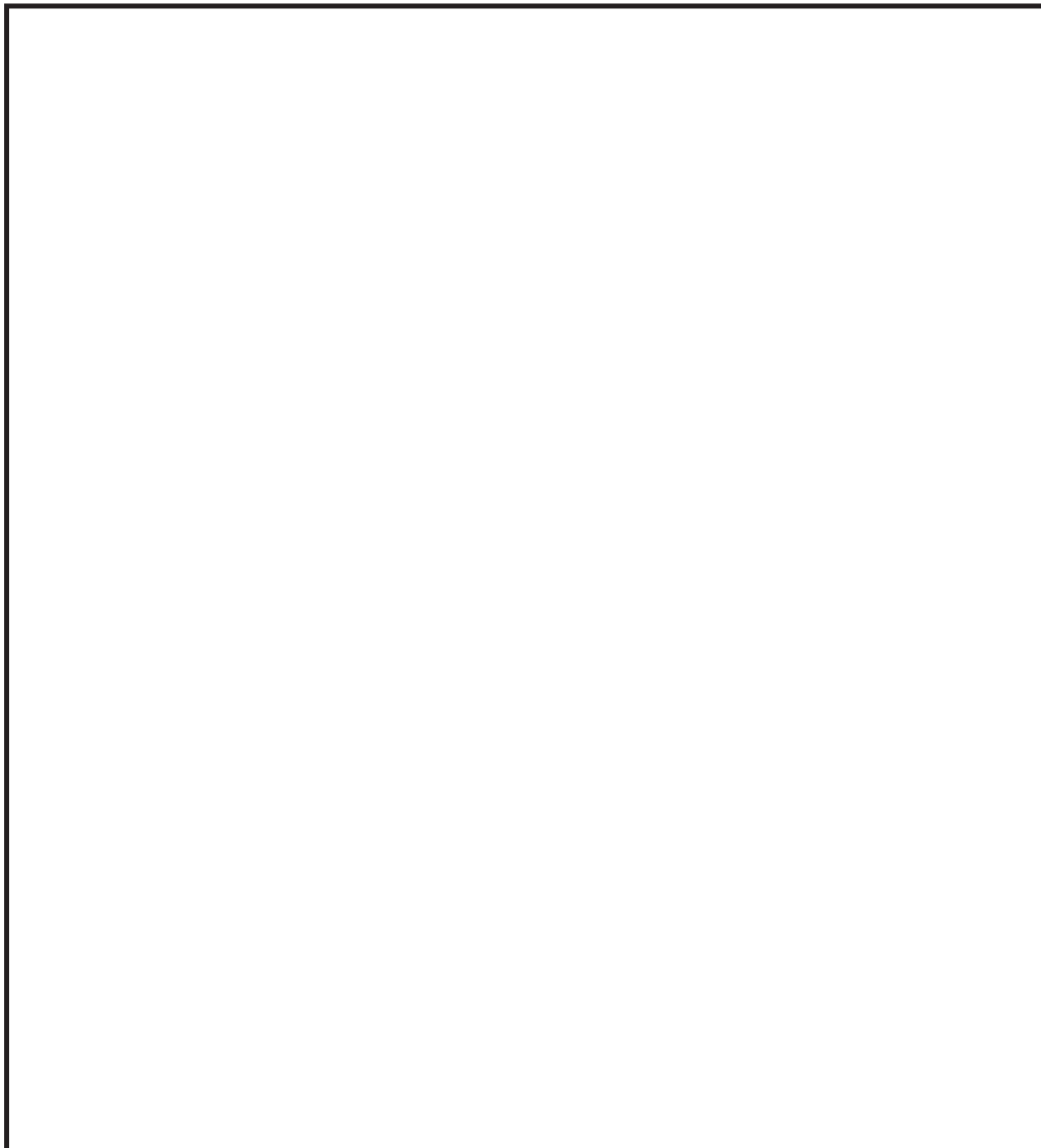


図 5-3 NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 NMB 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①リアブラケット	○	—
②セットボルト	○	—
③ケース	○	—
④ベアリングシート	○	—
⑤ベアリングボックス	○	—
⑥スリーブ	○	—
⑦カラー	○	—
⑧ロードシリンダ	○	—
⑨ターンバックル	○	—
⑩エンドプラグ	○	—
⑪延長パイプキット	○	—
⑫延長パイプブラケット	○	—
⑬クレビス (アイ)	○	—
⑭クレビス (本体)	○	—
⑮ピン	○	—
⑯ボールねじ	—*	○*
球面軸受	—	○
転がり軸受	—	○

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応力評価も実施する

(4) NMB 型メカニカルスナッパ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 5-5 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パ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。

なお、特定の部位ではないが、メカニカルスナッパ全体の座屈評価を項目として追加している。

また、既工認と今回工認の評価項目の比較を表 5-6 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項目追加根拠に記載する。

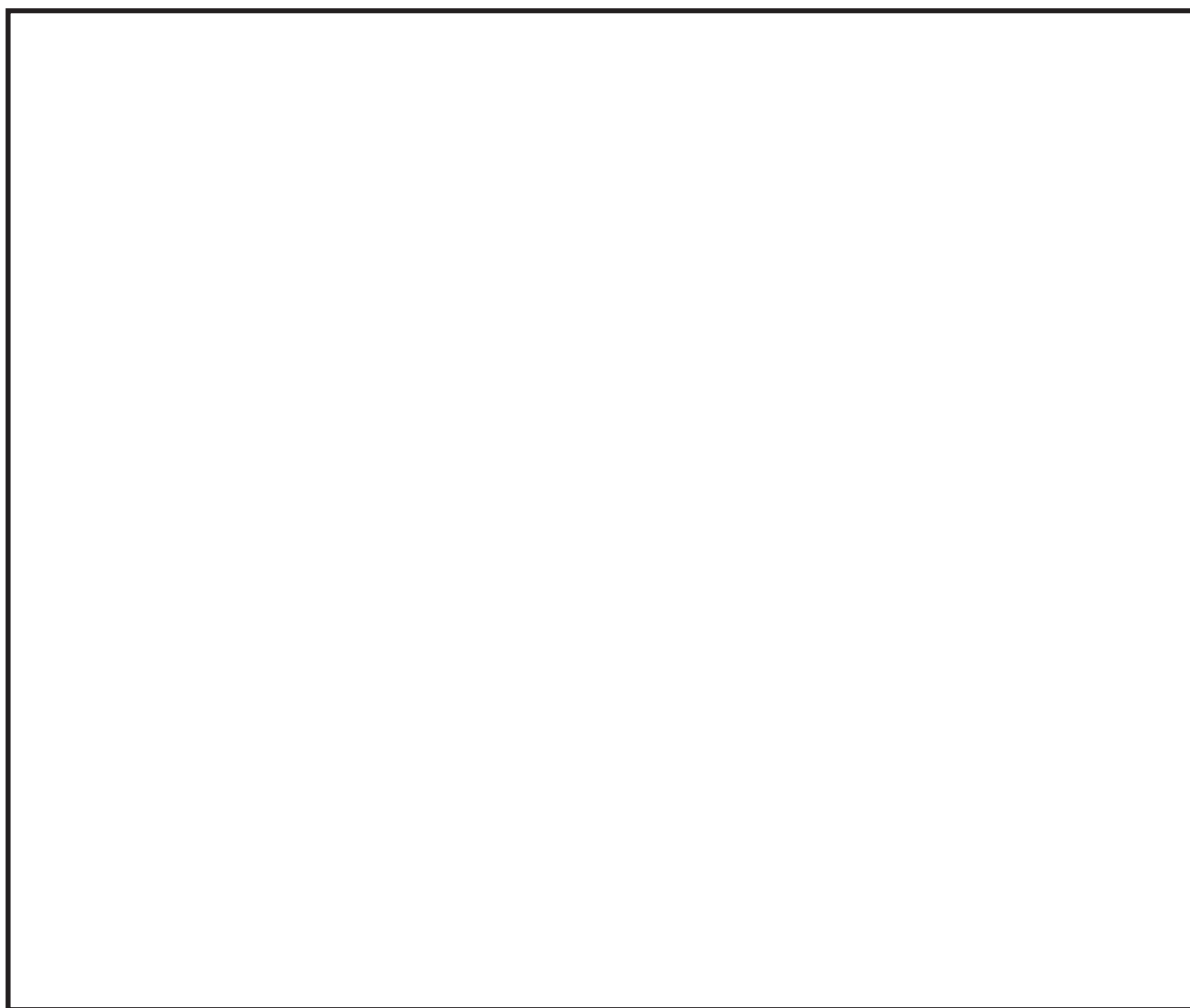









図 5-4 NMB 型メカニカルスナッパの構造強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5 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 5-6 既工認と今回工認の評価項目の比較 (NMB 型) (1/4)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
①-1	リアーブラケット (イヤ) 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
①-2	リアーブラケット (溶接部) 	せん断	○	○	相違なし
①-3	リアーブラケット (フランジ) 	曲げ	○	○	相違なし
②	セットボルト 	ロッドの 引張	○	○	相違なし
③-1	ケース 	引張	○	○	相違なし
③-2	ケース溶接部 	せん断	○	○	相違なし
④	ベアリングシート 	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし



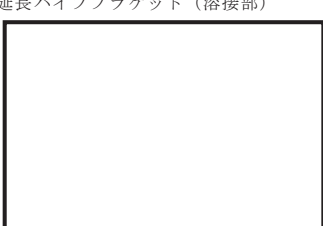


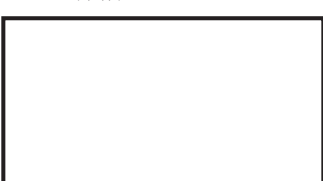
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 既工認と今回工認の評価項目の比較 (NMB 型) (2/4)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
⑤	ベアリングボックス 	引張	—	—	—
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑥	スリーブ 	せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑦	カラー 	せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑧	ロードシリンダ 	引張	○	○	相違なし
		座屈(圧縮)	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加
⑨	ターンバックル 	ロッドの引張	○	○	相違なし
⑩	エンドブラグ 	引張		○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 既工認と今回工認の評価項目の比較 (NMB 型) (3/4)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
⑪	延長パイプキット及び溶接部 	引張	○	—	既工認では延長パイプキット及び溶接部を使用したタイプを対象としていなかったため追加
		せん断	—	—	
⑫-1	延長パイプブラケット (イヤ穴部) 	引張	○	—	既工認では延長パイプブラケット (イヤ穴部) を使用したタイプを対象としていなかったため追加
		せん断	○	—	
		支圧	○	—	
⑫-2	延長パイプブラケット (溶接部) 	せん断	○	—	既工認では延長パイプブラケット (溶接部) を使用したタイプを対象としていなかったため追加
⑫-3	延長パイプ 	引張	○	—	既工認では延長パイプを使用したタイプを対象としていなかったため追加
		圧縮	—	—	
⑬	クレビス(アイ) 	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑭	クレビス(本体) 	組合せ	○	—	メカニカルスナップ本体でないため別評価としていたが、発生荷重の増大に伴いメカニカルスナップの評価として追加

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 既工認と今回工認の評価項目の比較 (NMB 型) (4/4)

品番	部品	評価項目	詳細評価	既工認 (一次評価)	詳細評価と一次評価の相違点及び 詳細評価で評価項目を追加した根拠
⑮	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	せん断	○	—	基本的に曲げ応力評価の方が厳しいが、荷重分類の網羅性のため追加
		曲げ	○	○	相違なし
⑯	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	引張	○	○	相違なし
⑰	全長1 (ストローク125mm考慮)	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加
⑱	全長2 (ストローク250mm考慮)	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して追加

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.2 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 5-7 のとおり、各型式の限界耐力値が策定されている。

表 5-7 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。

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る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。

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]	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]	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]

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]

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 (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]

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 (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]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6.3 機能部品の詳細評価結果

メカニカルスナップ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プ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た場合には、あらかじめ設定している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に基づく評価方法、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。

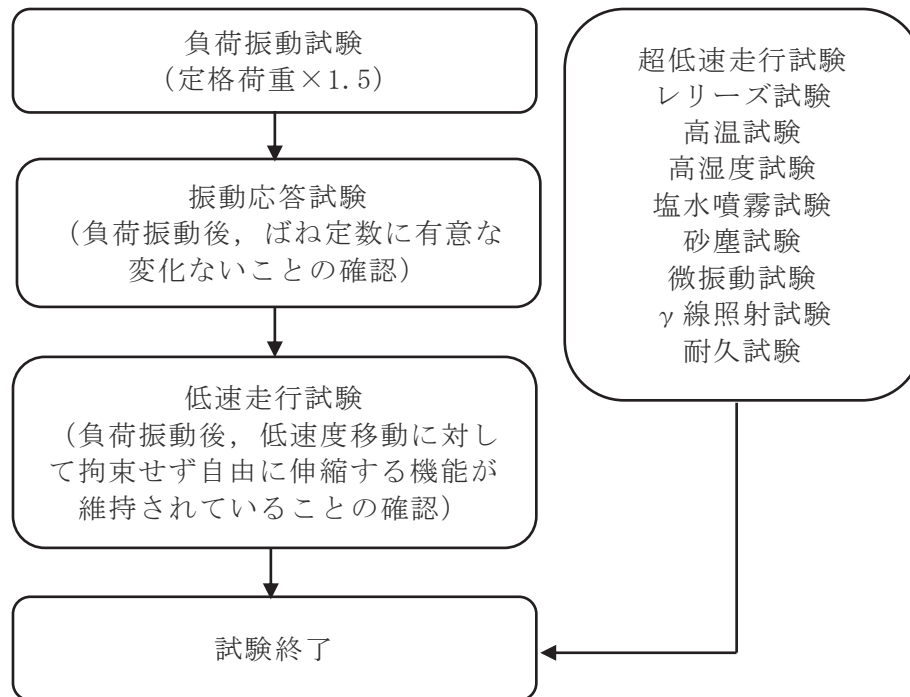


図2-1 確性試験フロー

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。振動数 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。振動数 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擦等を起こさず、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に係る適用規格の内容

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をいう。</u></p>

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)

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 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ことを確認すること「解析による設計」を基本とし、許容限界だけ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。(J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.1 耐震設計の基本方針(2) 耐震設計と安全性評価」による)
- ② 「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。また、「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。(J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.7 耐震安全性評価」による)
- ③ 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、荷重による評価を行う場合、機器の機能維持評価が必要な場合がある。荷重の評価では、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。(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」による)

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で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。

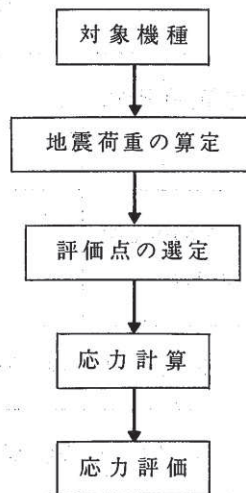


図 6.6.1-1 応力・強度解析の基本的な流れ

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. 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。

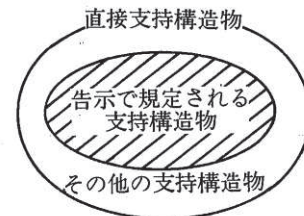
以上より、メカニカルスナッパは J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」に該当し、構造部材に対する強度評価のみが求められている。

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。

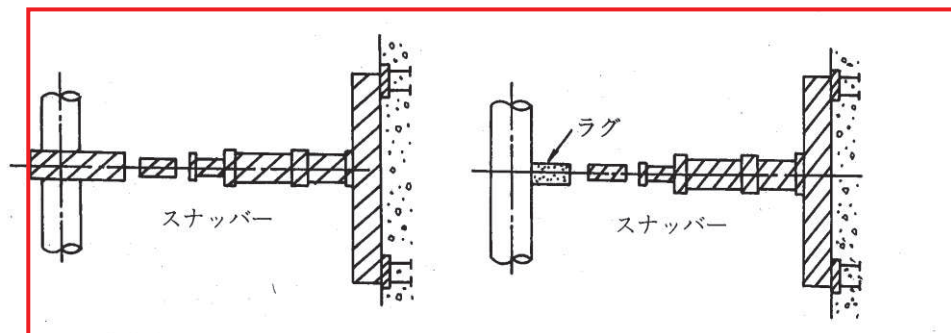
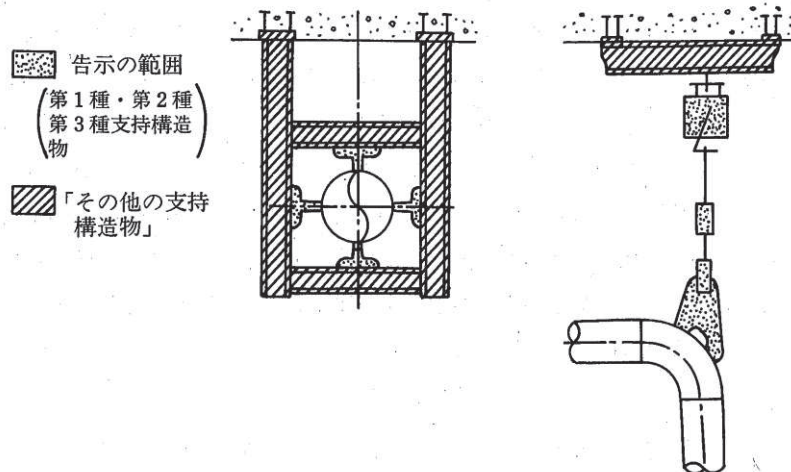
図 2-12



例えば、次のものがある。

- a. 耐震用サポート, 耐震用スナッバー
 - 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っては，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って，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。

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 _t	引張応力計算に用いる断面積	mm ²
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	
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

記号	定義	単位
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_t	引張応力	MPa
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
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	—
L	ベアリングナット高さ	mm
	コネクティングチューブ圧縮長さ	
	ボールネジのキー溝部弧長	
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	

記号	定義	単位
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, 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 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 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。

v 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。

② ジャンクションコラムアダプタ

i 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。

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 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ 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。

⑤ 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。

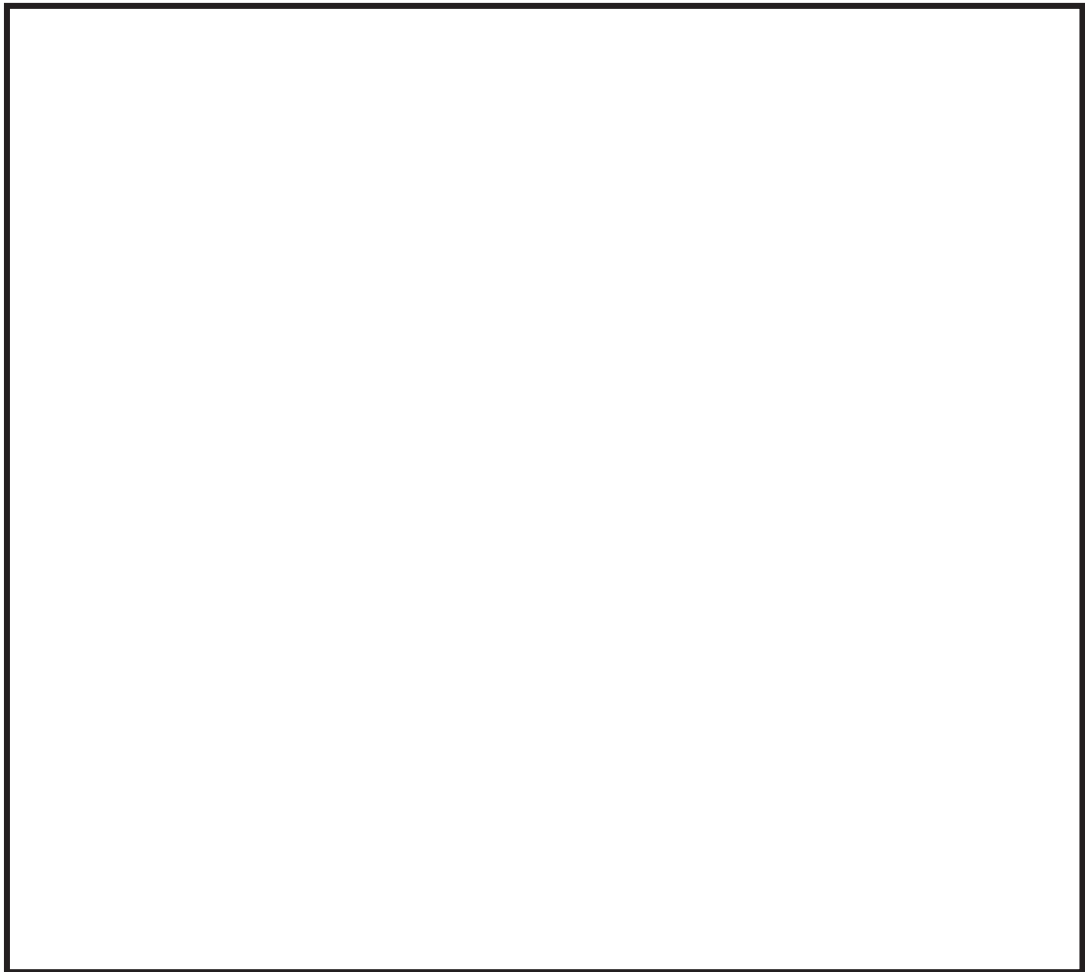


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑥ コネクティングチューブ (延長棒付きの A タイプのみ)

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ii 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。

iii 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。

iv 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。

v 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。

vi 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。

vii 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。

viii 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。

ix 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。

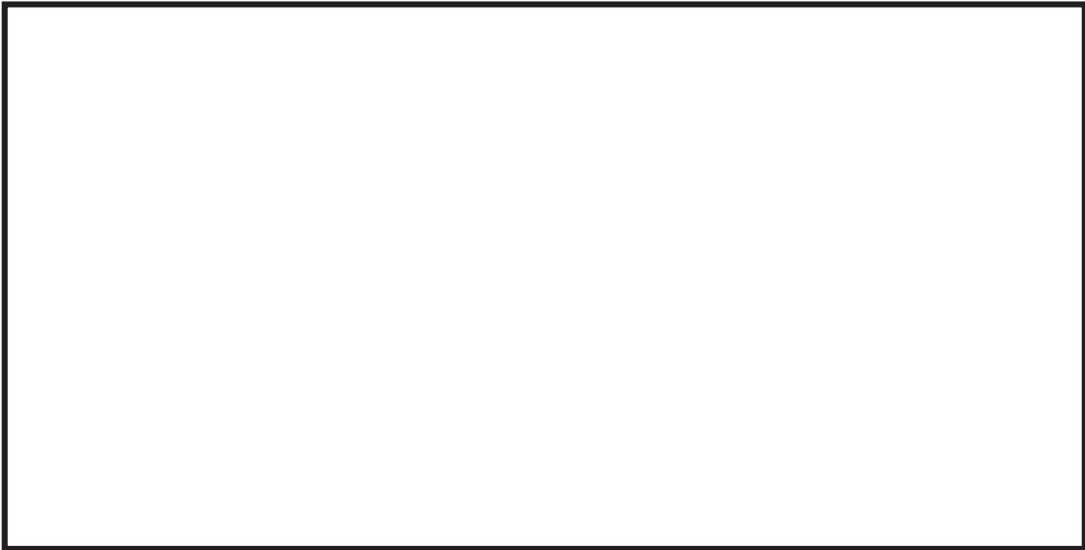


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦-1 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。



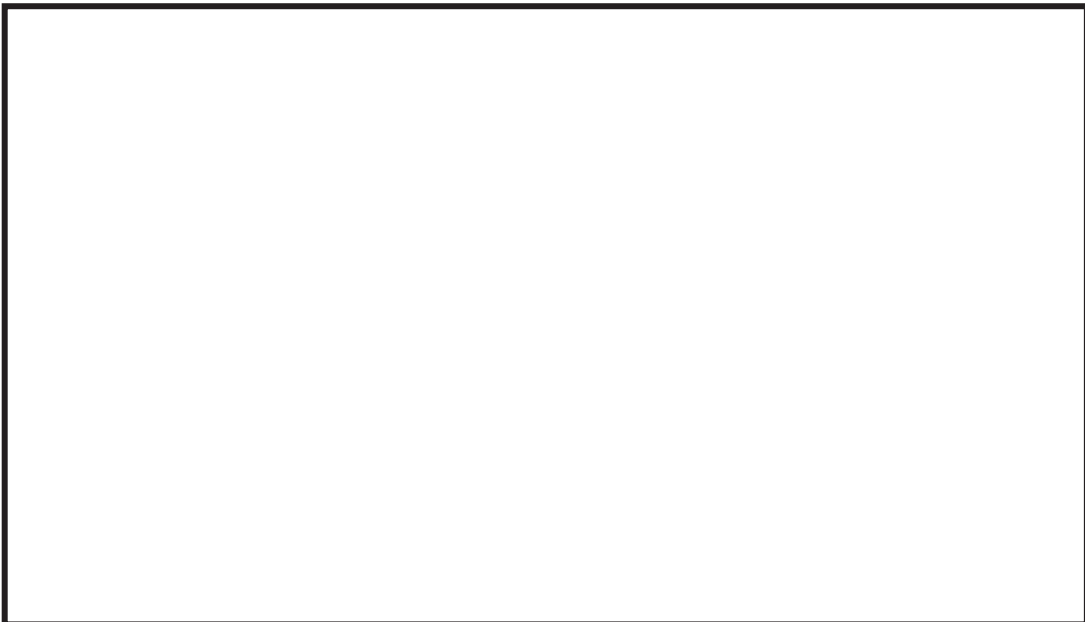
ii せん断応力評価

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。

⑦-2 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。

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。

⑦-3 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。

⑧ 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。



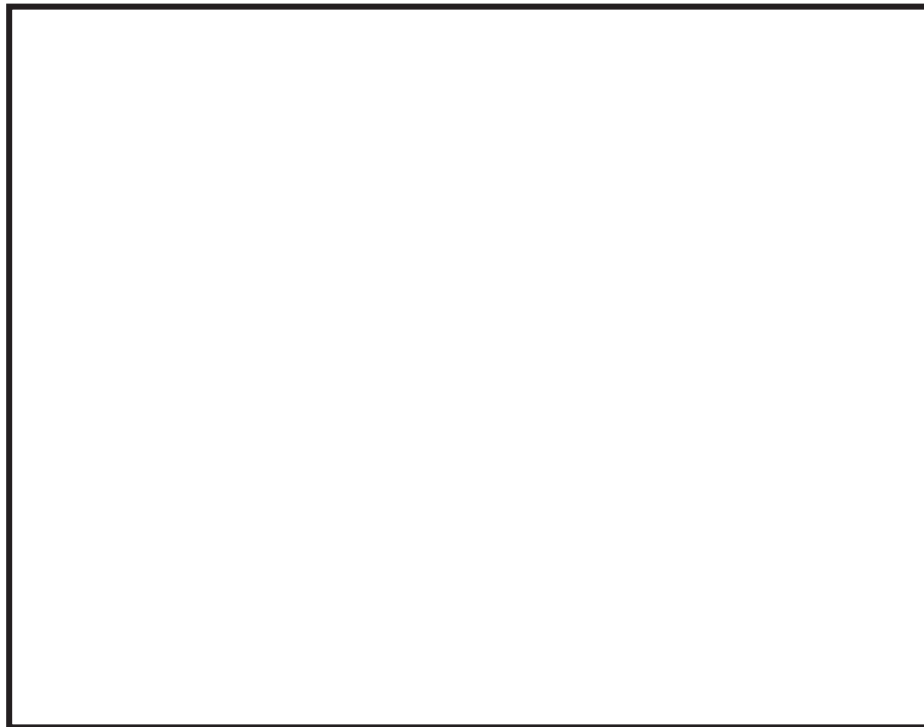
v ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

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。

⑨ 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）

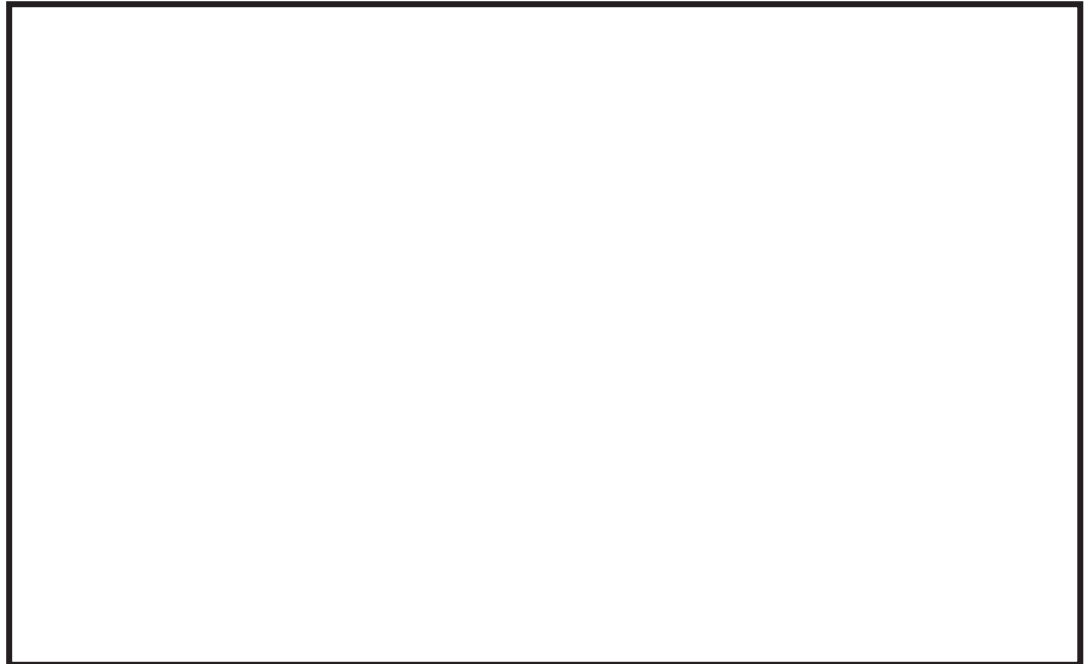
引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ ベ어링ナット

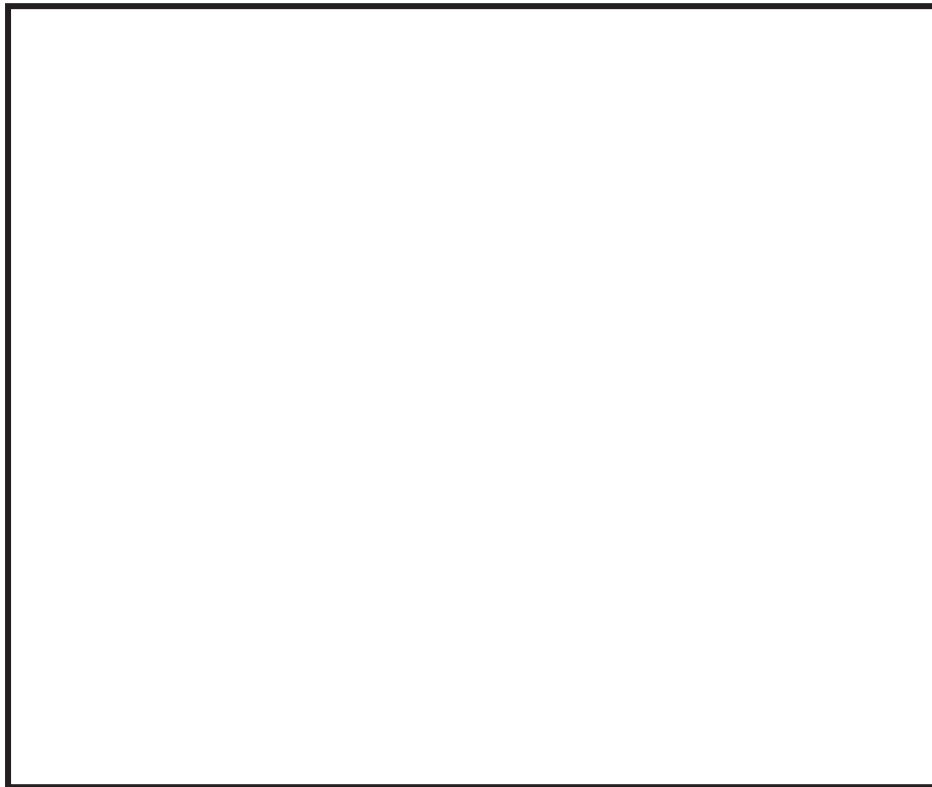
i ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

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。

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 座屈評価

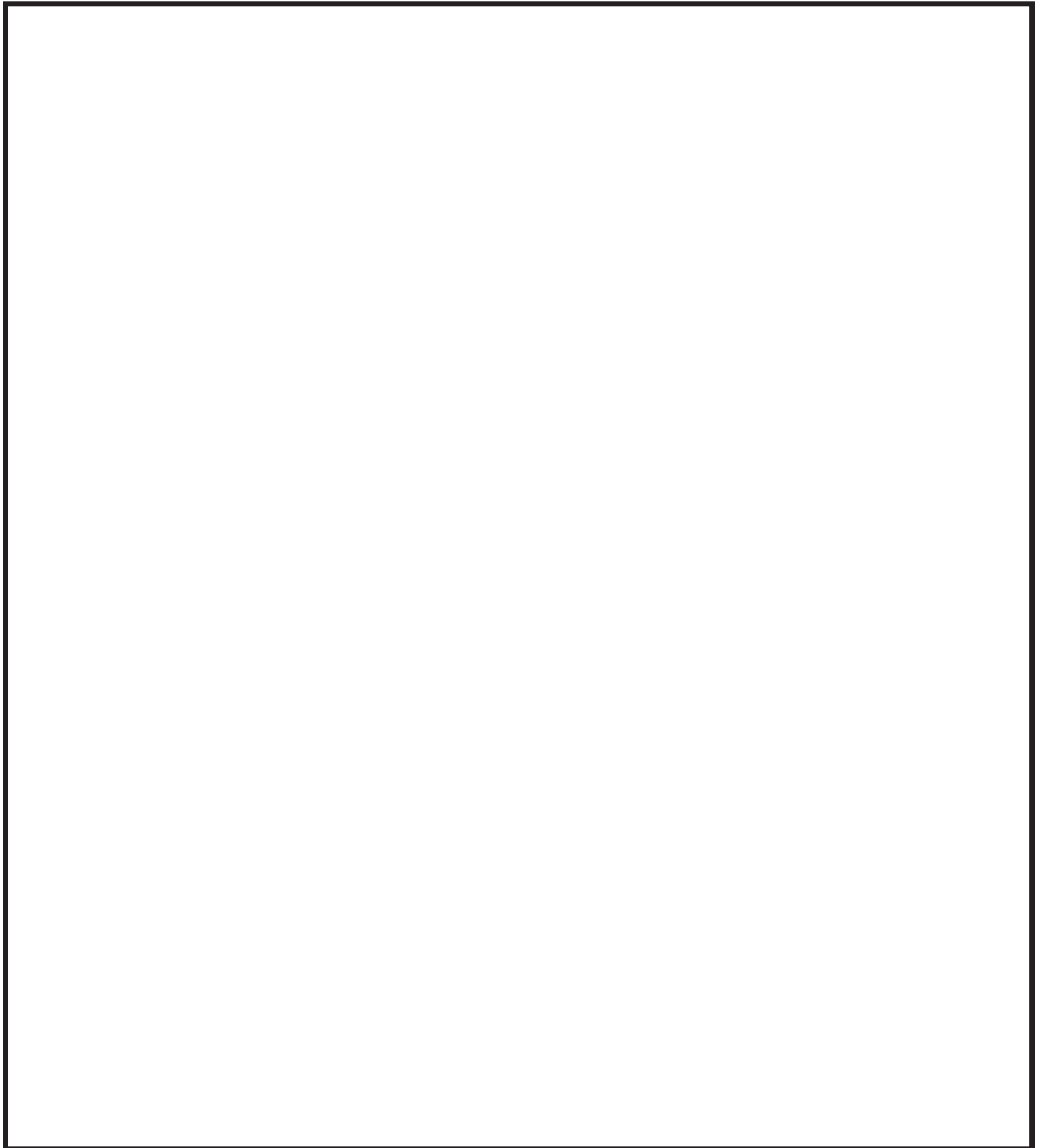
座屈評価は，電共研の研究成果から，計算にて算出した座屈耐力に係数を乗じた値を限界耐力として評価を行う。

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，

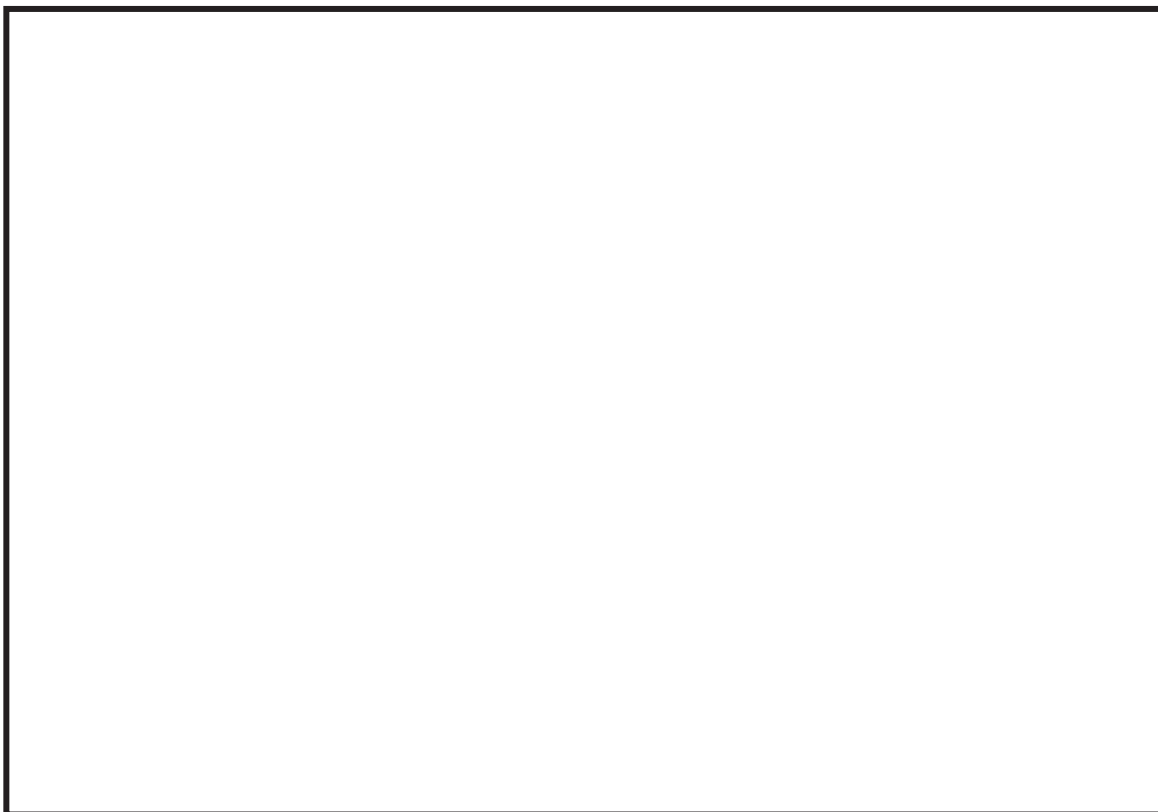
の荷重で座屈したことから，詳細評価においては計算座屈荷重に対して
を座屈限界耐力として評価を行う。

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

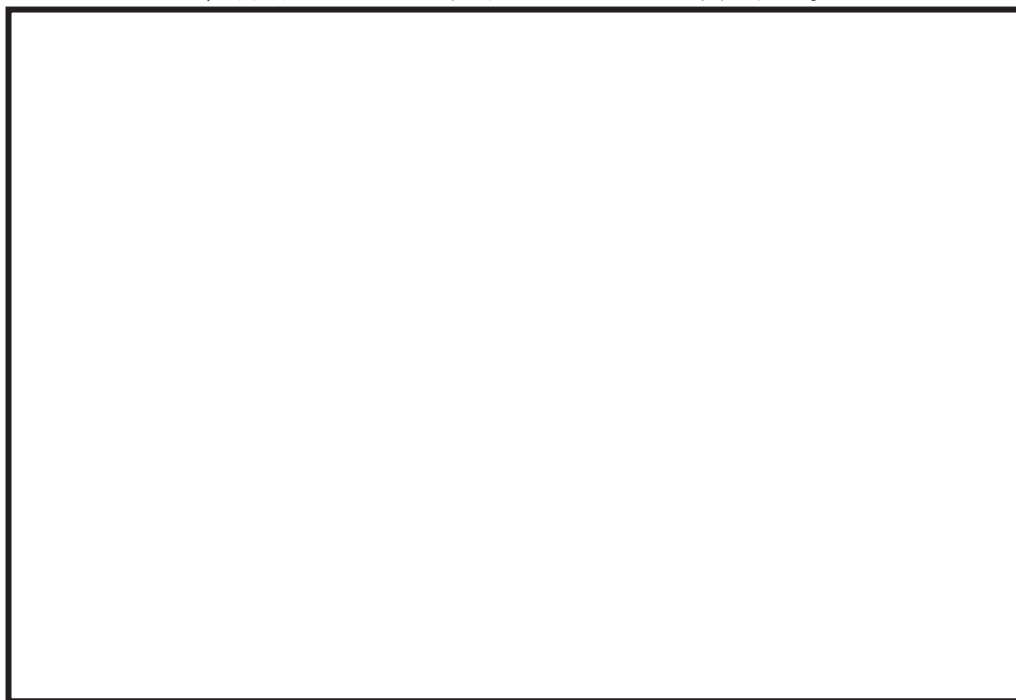
穴部支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。

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）

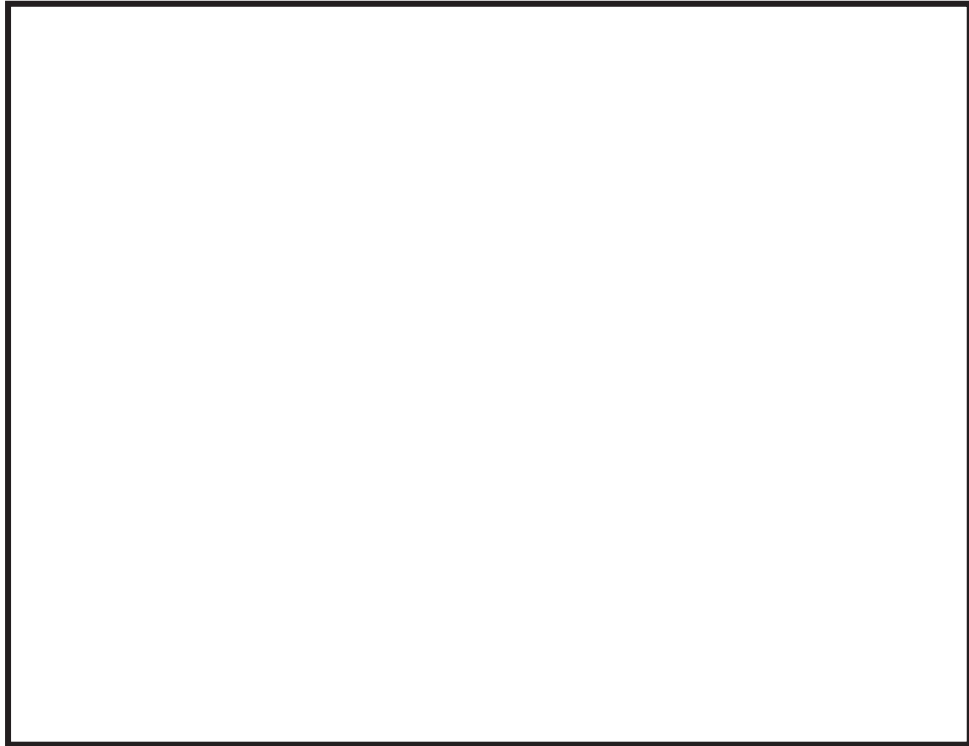
せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



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。

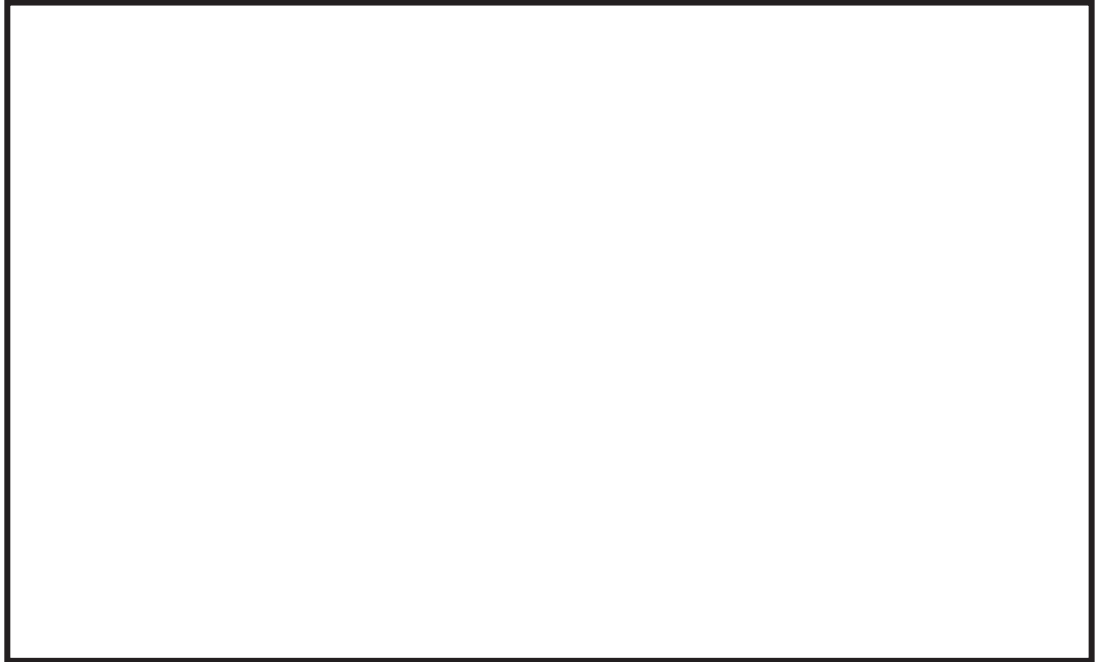


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ ケース

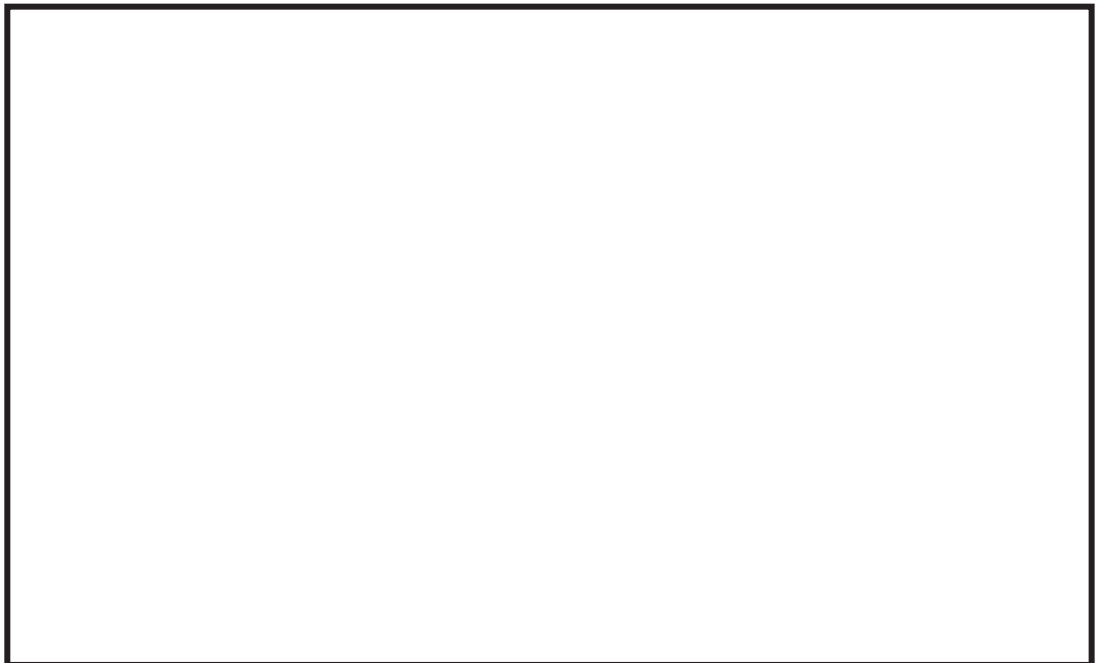
i 引張応力評価

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。

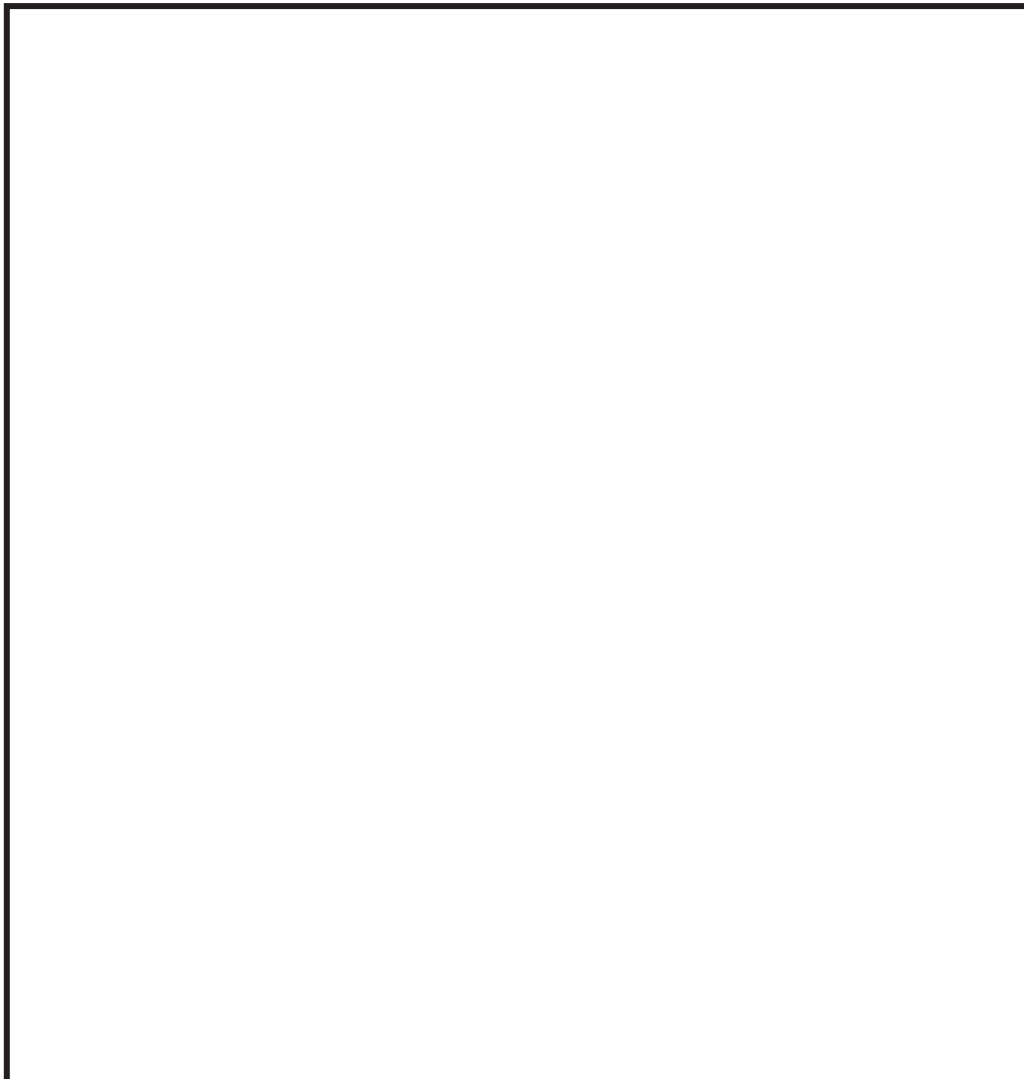
iv 引張応力評価

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。

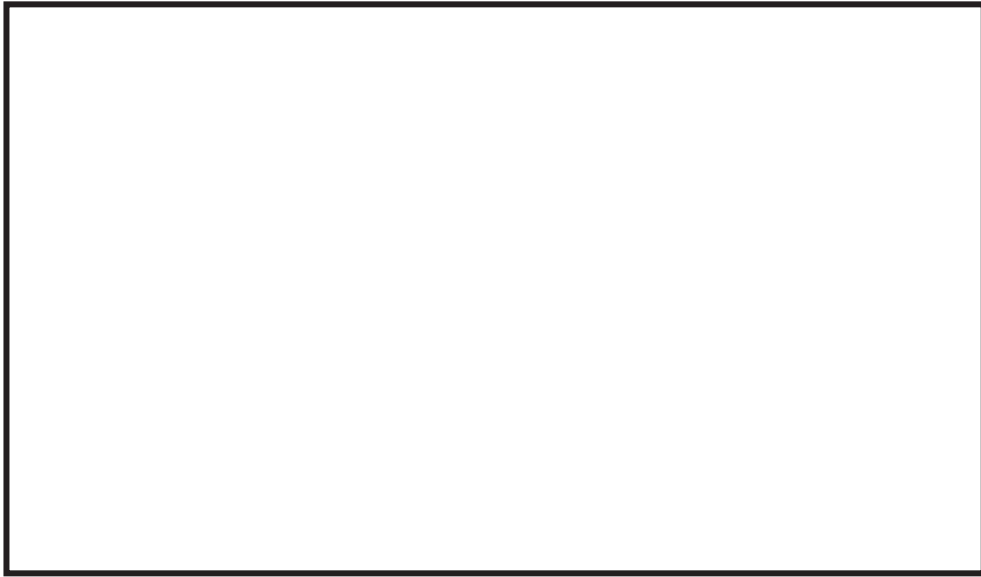
iii 支圧応力評価

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。

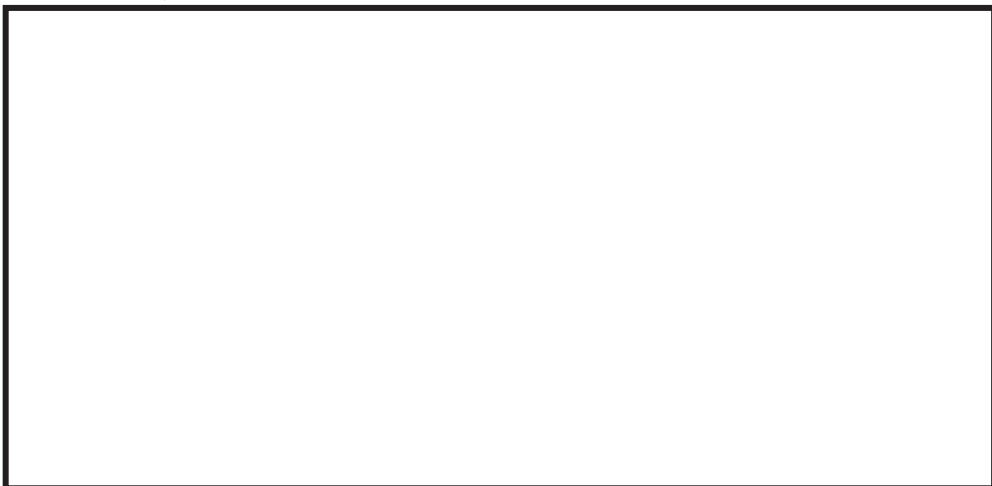
iv 溶接部せん断応力評価

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電力共同研究の概要

1. はじめに

本資料では、今回工認で参照した既往知見である「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」)の概要について説明する。

2. 研究の目的

原子力安全委員会は、平成7年の兵庫県南部地震を踏まえ耐震設計審査指針の妥当性が損なわれないことを確認したが、同時に耐震安全性に対する信頼性の向上を求めている。また、地震学会や建築学会においても地震学の知見、耐震設計等が議論されており、特に敷地近傍の活断層による地震動の評価、直下地震の考え方等の地震学の新知見を、耐震設計関連指針に取り込むべきとの議論もあった。さらに、建築基準法の改正、動的な上下地震動の評価等の周辺状況を鑑み、耐震設計関連指針の改訂を総合的に検討する必要が生じていた。

そこで、本電共研では、「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(Phase1)」(以下、「Phase1 研究」という)の研究成果を踏まえ、耐震設計関連の法規、指針類との整合性の検討を行うとともに、耐震設計評価手法の総合的検討を行っている。

具体的な実施内容は以下のとおりである。

耐震設計評価手法の総合的検討

a. 架構類の耐震評価法の検討

配管系の耐震評価法のうち、特に架構類の合理的な許容応力体系を構築するとともに、バックチェック評価法としてスナップの限界耐力を把握するために以下の検討を実施する。

(a) 既往研究の調査

スナップの限界耐力及び架構類の許容応力緩和に関する既往研究を調査する。

(b) スナップ限界耐力評価法の検討

スナップの破壊試験により、スナップの実際の限界耐力を明らかにするとともに、メーカーが従来から用いている設計手法が、スナップの許容限界を超える荷重に対して適用できるかどうかを確認し、構造強度及び機能維持の面からのスナップ限界耐力評価法を策定する。

(c) 架構類の許容応力体系の構築

架構類の弾塑性挙動を考慮した許容応力基準案を作成し、策定のための課題を抽出する。

b. 耐震設計評価手法の総合的検討

(1) 項及び(2) a. 項で抽出された課題を検討するとともに、構築された新しい耐震評価手法に対して、それが有する信頼性、裕度、実設計上の変更ポイント等について評価を実施し、現行指針との比較評価を実施する。

以降では、電共研における上記の取り組みのうち、(2)a. (b) スナッパ限界耐力評価法の検討におけるメカニカルスナッパについての検討の概要をまとめる。

3. メカニカルスナッパ限界耐力評価法の策定方針

メカニカルスナッパの異常要因分析等に基づき試験対象として選定されたメカニカルスナッパの破壊試験により、メカニカルスナッパの実際の限界耐力を明らかにするとともに、メーカーが従来から用いている設計手法が、メカニカルスナッパの許容限界を超える荷重に対して適用できるかどうかを確認し、構造強度及び機能維持の面からのメカニカルスナッパ限界耐力評価法を策定する。

メカニカルスナッパ限界耐力評価法策定のための検討フローを図 4-1 に示す。

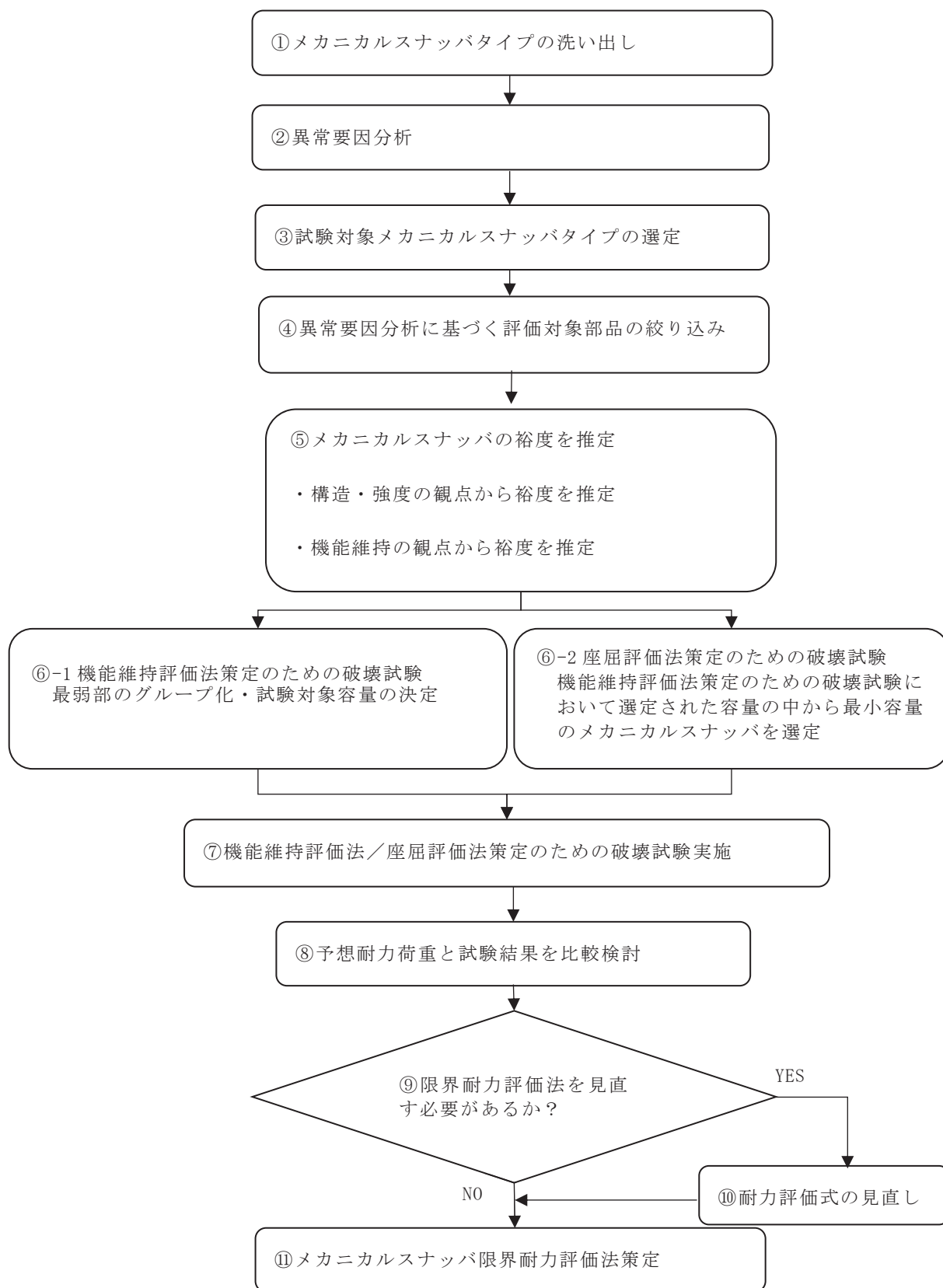


図 4-1 メカニカルスナップ限界耐力評価法策定フロー

4. メカニカルスナッパ破壊試験

4.1 破壊試験対象のメカニカルスナッパの選定（図 3-1 フロー①～⑥）

電共研当時，日本における PWR, BWR のプラントにおけるメカニカルスナッパ使用状況が調査され，SMS 型 及び NMB 型 のタイプが洗い出された。それらの構造図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。以降，これらを対象に試験対象の選定について説明する。

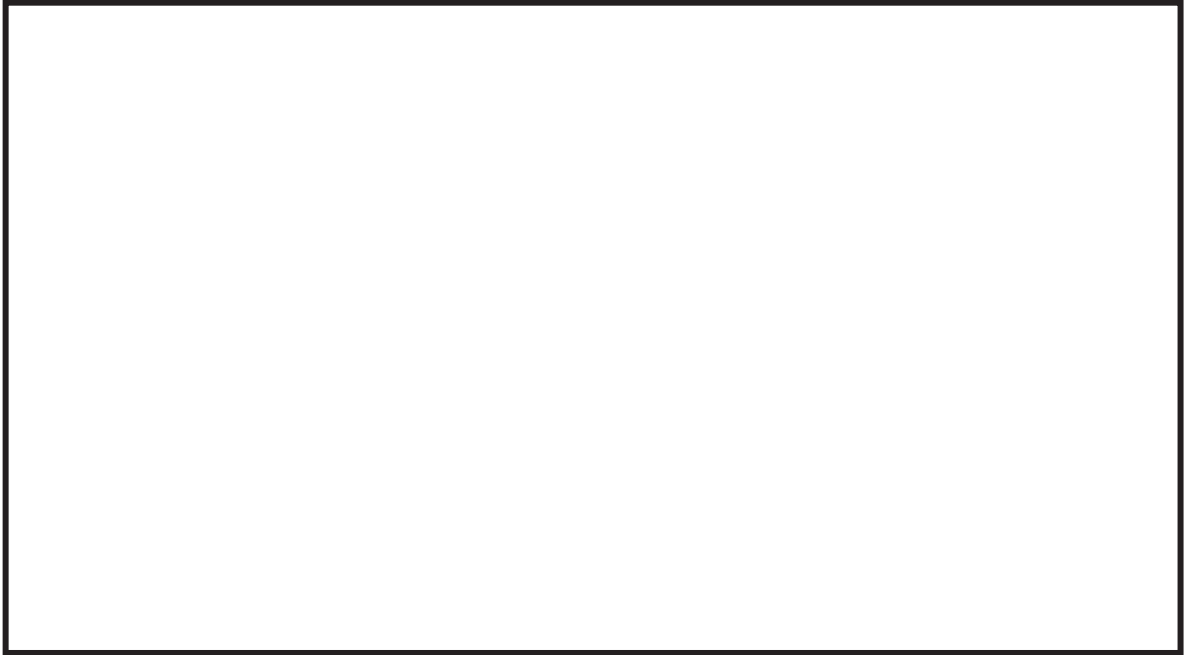


図 4-2 SMS 型メカニカルスナッパ構造図



図 4-3 NMB 型メカニカルスナッパ構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 SMS 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①ダイレクトアタッチブラケット	○	-
②ジャンクションコラムアダプタ	○	-
③ロードコラム	○	-
⑤ピン	○	-
⑥コネクティングチューブ	○	-
⑦-1 ベアリングケース	○	-
⑦-2 ベアリング押え	○	-
⑦-3 六角ボルト	○	-
⑧イーヤ	○	-
⑨ユニバーサルボックス	○	-
⑩ユニバーサルブラケット	○	-
⑫ベアリングナット	○	-
⑬ボールネジ	- *	○*
アンギュラー玉軸受	-	○
球面軸受	-	○

注記* : ボールネジ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。

表 4-2 NMB 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①リアブラケット	○	-
②セットボルト	○	-
③ケース	○	-
④ベアリングシート	○	-
⑤ベアリングボックス	○	-
⑥スリーブ	○	-
⑦カラー	○	-
⑧ロードシリンダ	○	-
⑨ターンバックル	○	-
⑩エンドプラグ	○	-
⑪延長パイプキット	○	-
⑫延長パイプブラケット	○	-
⑬クレビス (アイ)	○	-
⑭クレビス (本体)	○	-
⑮ピン	○	-
⑯ボールねじ	- *	○*
球面軸受	-	○
転がり軸受	-	○

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

4.1.2 機能維持評価法策定のための破壊試験対象型式の選定

SMS 型の各型式を対象に、構造部材の強度評価または機能部品の機能評価の観点から、破壊試験における評価対象となる構造部材と機能部品の予想耐力荷重を推定した上で、座屈を除く裕度（予想耐力荷重／定格容量）を推定した。

さらに、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（最弱部のグループ化）。各型式の最小裕度部品の特定結果を表 4-3 に示す。（部品ごとの耐力値一覧表は添付-1 参照）

表 4-3 SMS 型メカニカルスナップの最小裕度部品特定結果

--

4.1.3 座屈評価法策定のための破壊試験対象型式の選定

座屈評価法のための破壊試験対象型式は、試験装置の制約があるため、機能維持評価法策定のための破壊試験において選定された容量の中から最小容量の型式として以下のとおり選定した。なお、試験体は 1 体とした。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 破壊試験における試験項目（図 4-1 フロー⑦）

4.2.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

メカニカルスナップが地震時及び地震後に維持しなければならない機能は以下の通りである。

地震時：メカニカルスナップの動剛性が判定基準値以下にならないこと

地震後：地震後のプラント停止時の配管内部流体の温度変動による配管熱移動に対して配管系の機能を満足すること（地震後にスティックしないこと）

上記の機能を確認するための試験項目を以下の通りとした。

地震時の機能維持確認：振動試験

地震後の機能維持確認：低速走行試験

4.2.2 座屈評価法策定のための破壊試験

試験項目としては、静的圧縮試験とした。

4.3 破壊試験における試験内容（図 4-1 フロー⑦）

4.3.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

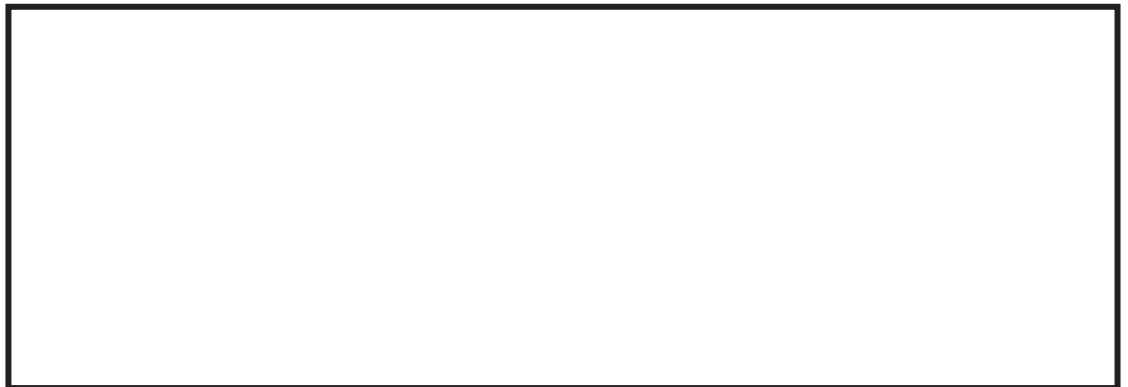
ある荷重レベルの振動試験とその後の低速走行試験を 1 パッケージの試験として、メカニカルスナップの機能が維持できなくなった加振荷重レベルまで加振荷重を段階的に増加させて試験を実施した。目標加振荷重レベルを表 4-4 に示す。

表 4-4 SMS 型メカニカルスナップの目標加振荷重レベル（単位：kgf）



(1) 振動試験

(a) 試験方法



(b) 試験装置

試験装置の概要を図 4-4 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。

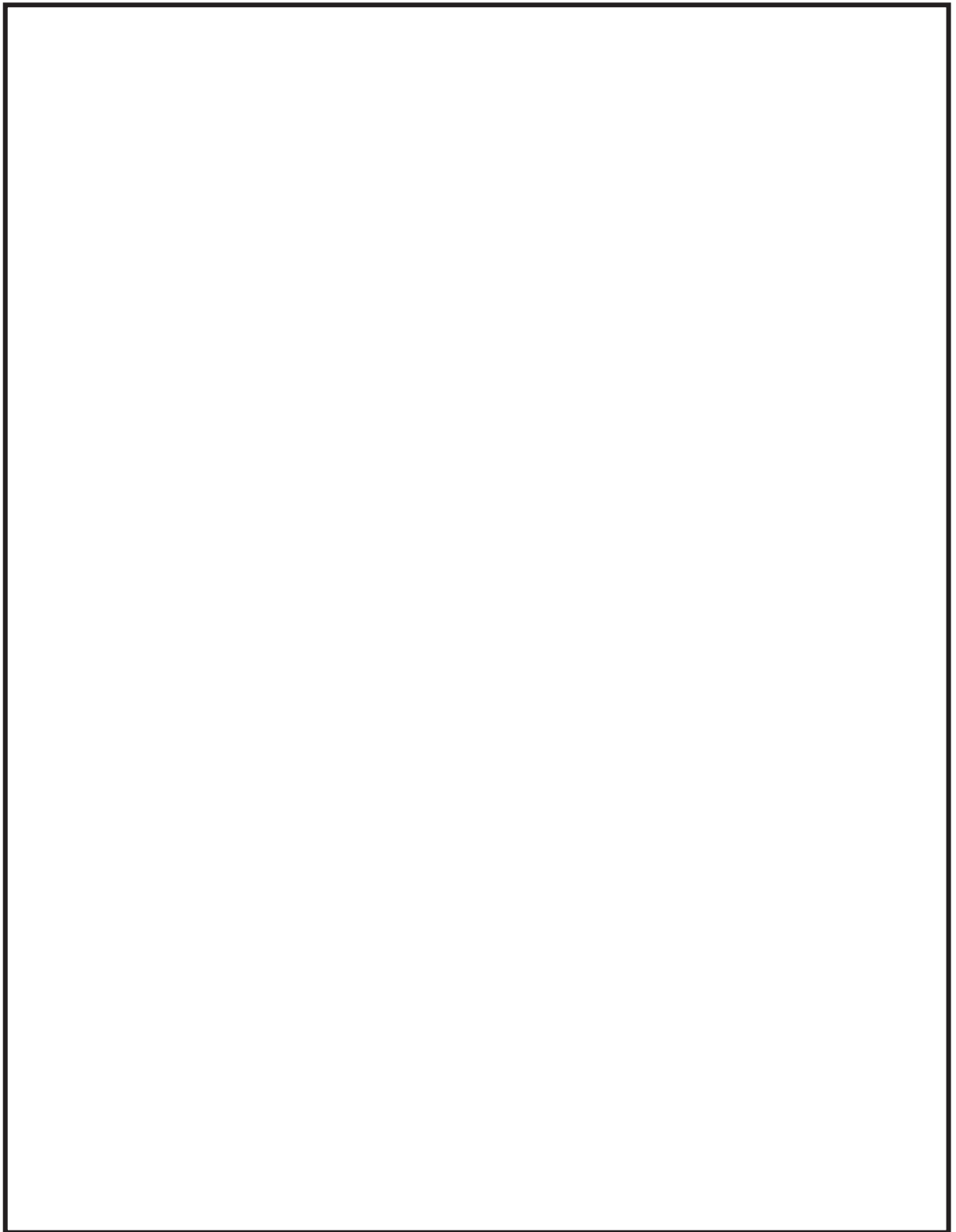
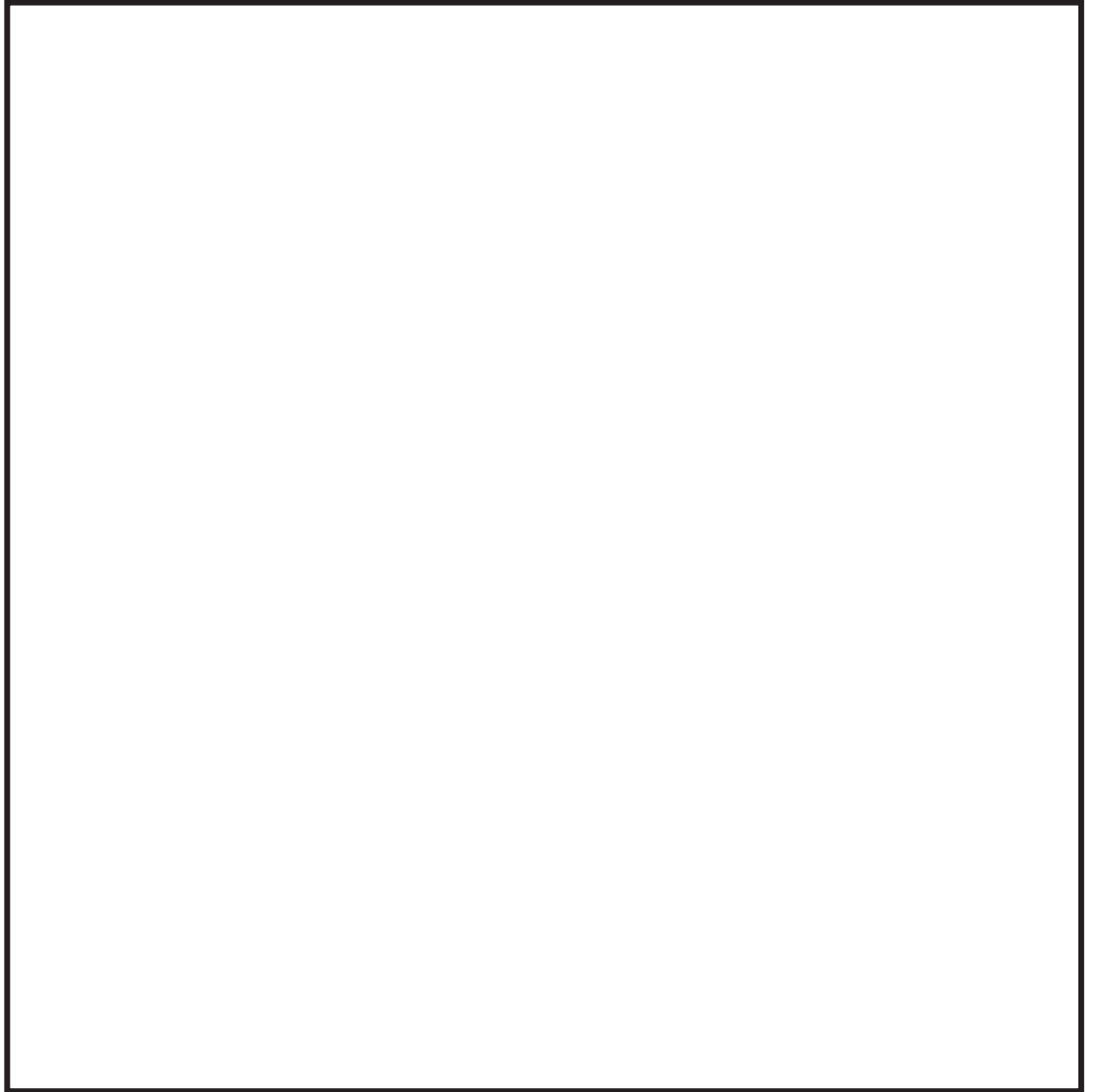


図 4-4 振動試験装置概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 評価項目



(2) 低速走行試験

(a) 試験方法



(b) 試験装置

試験装置の概要を図 4-5 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。

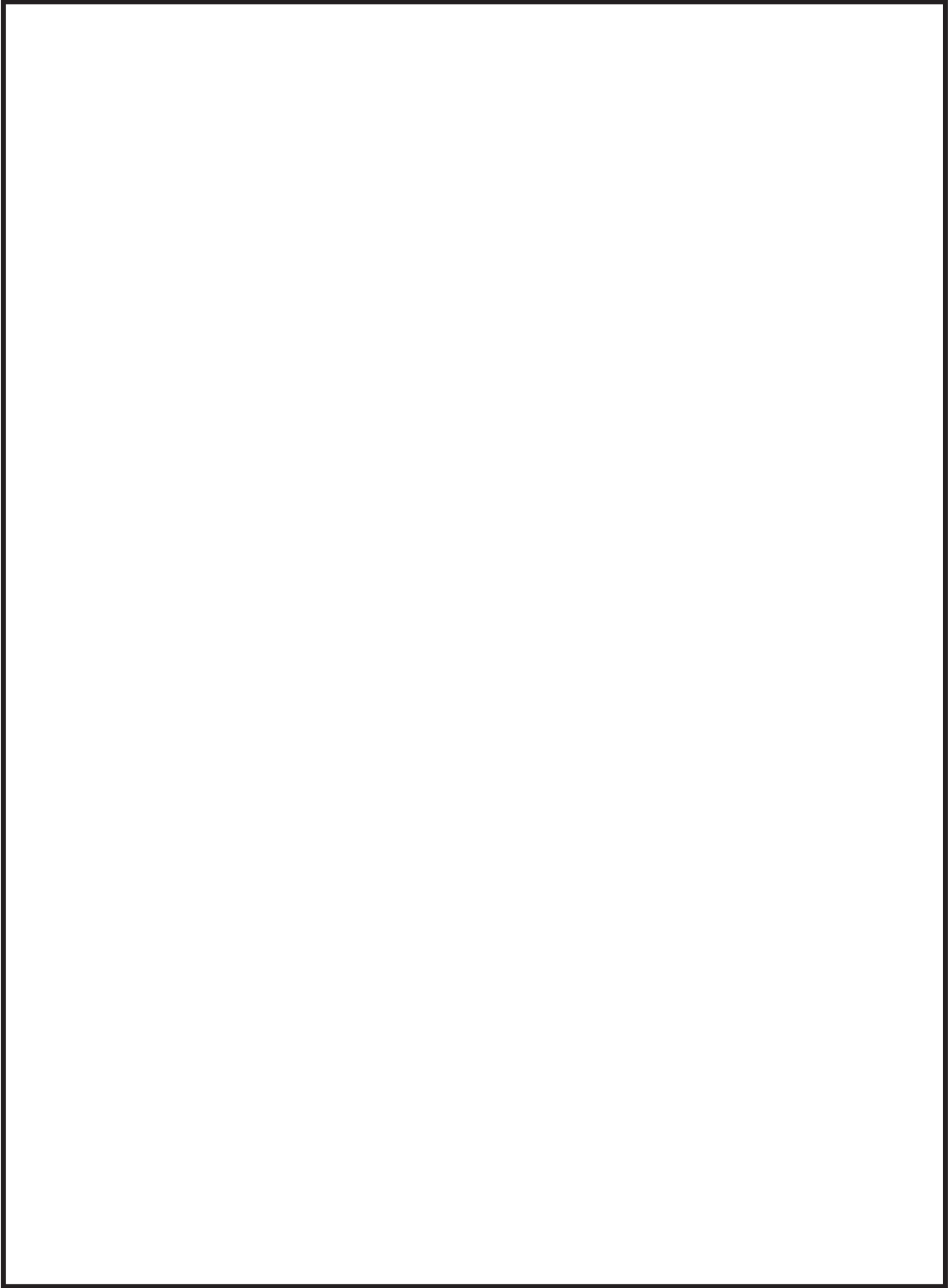


図 4-5 低速走行試験装置概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 評価項目

低速走行試験中の抵抗力測定結果が判定基準値を満足しているかどうかを評価する。抵抗力の判定基準値は表 4-6 のとおり。

表 4-6 低速走行試験中の抵抗力の判定基準値

--

4.3.2 座屈評価法策定のための破壊試験

(1) 静的圧縮試験

(a) 試験方法

試験体を低速走行試験機に両端ピンジョイントの状態できとりつけ、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。

(b) 試験装置概要

座屈試験の装置概要を図 4-6 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。

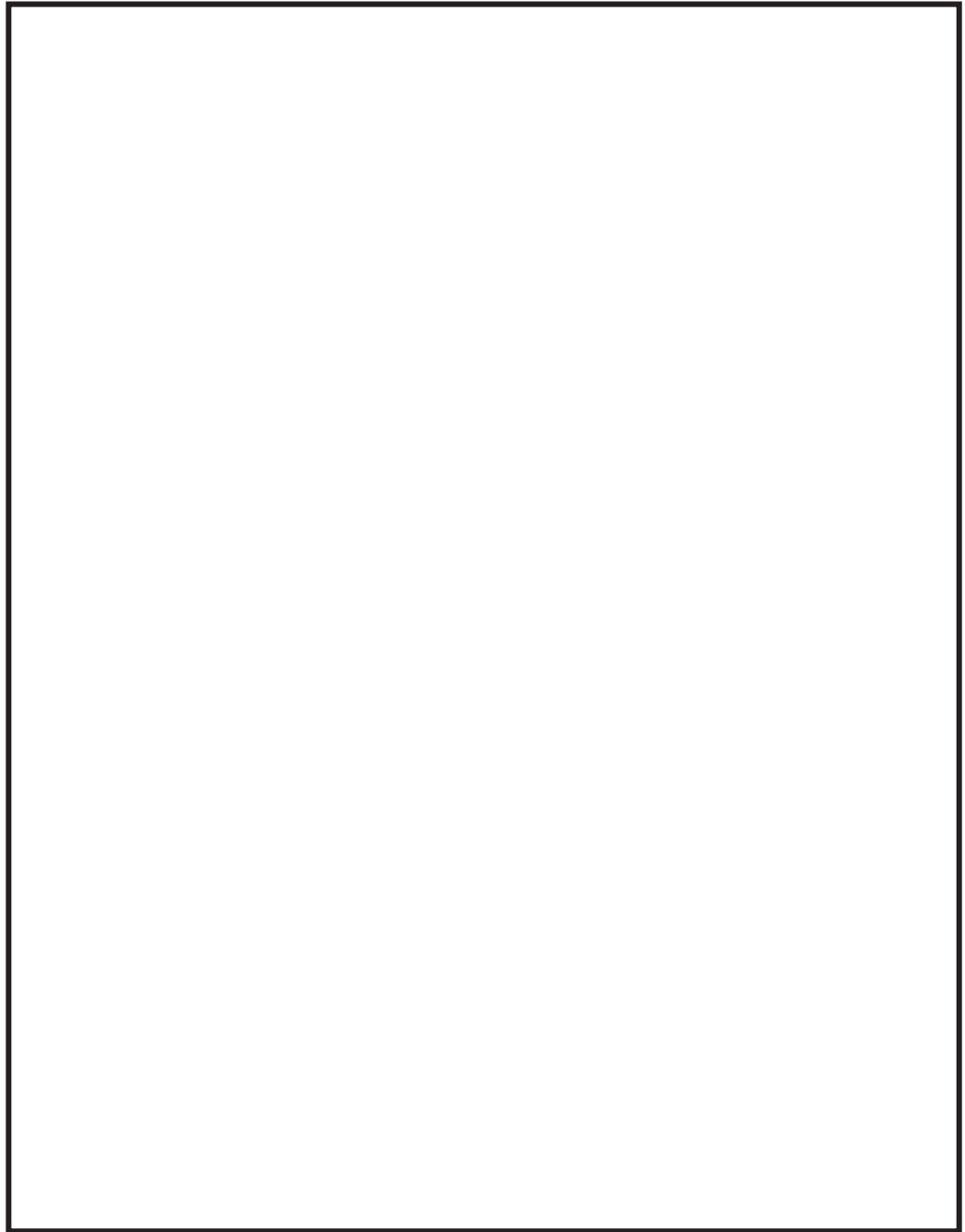


図 4-6 座屈試験装置概要

(c) 評価項目

試験によって得られた座屈荷重と計算上求められる座屈荷重とを比較し、その結果を座屈評価法へ反映させた。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 破壊試験結果（図 4-1 フロー⑦）

4.4.1 機能維持評価法策定のための破壊試験



4.4.2 座屈評価法策定のための破壊試験

静的座屈試験を実施した結果を表 4-7 に合わせて示す。同じく詳細データは添付-2 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 4-7 試験結果まとめ表

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 破壊試験結果の考察（図 4-1 フロー⑧～⑩）

破壊試験結果より、公称応力による予想耐力荷重と実力ベースの耐力荷重、破壊試験で得られた耐力確認荷重（破損荷重または機能喪失荷重の最大荷重）との関係を比較・整理し考察を行うとともに、破壊試験の再現性について球面軸受に着目した確認を行った。

4.5.1 予想耐力荷重との比較等による破壊試験結果の考察

評価対象部位について、破壊試験結果から得られる耐力確認荷重を予想耐力荷重と比較し、以下のように大別した。

- (1) 予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位
- (2) 予想耐力荷重より下回って破損または機能喪失した部位
- (3) 想定していなかった部位が破損ないし機能喪失

これらについて、考察の上、限界耐力評価法に反映した。

(1) 予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位

公称応力による予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位について、公称応力による予想耐力荷重及び使用材料のミルシート強度や構造を考慮した実力ベースの耐力荷重（以下、「使用材料強度による実耐力荷重」という）と破壊試験で得られた最大荷重（破損荷重または機能喪失荷重）と比較したものを表 4-8 にまとめた。これらのうち、予想耐力荷重に対して試験で確認できた最大荷重（破損荷重）が余裕を有するものについては、限界耐力評価法を見直した。見直したものについて、以降で説明する。

予想耐力を破損荷重が上回った理由は、主に以下の仮定で予想耐力を算出していたためである。

- a. 材料の許容値を引張り強さ (S_u) の 0.7 倍または降伏点 (S_y) の 1.2 倍のいずれか小なる値としていたこと
- b. 断面積の算定を安全側にしていたこと
- c. せん断について平均応力でなく最大応力で評価していたこと

以上については、破損荷重または機能喪失した荷重ならびに試験で確認できた荷重に対し余裕が大きなものに関しては評価方法を見直すこととする。

表 4-8 公称応力による予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位のまとめ表 (1/2)

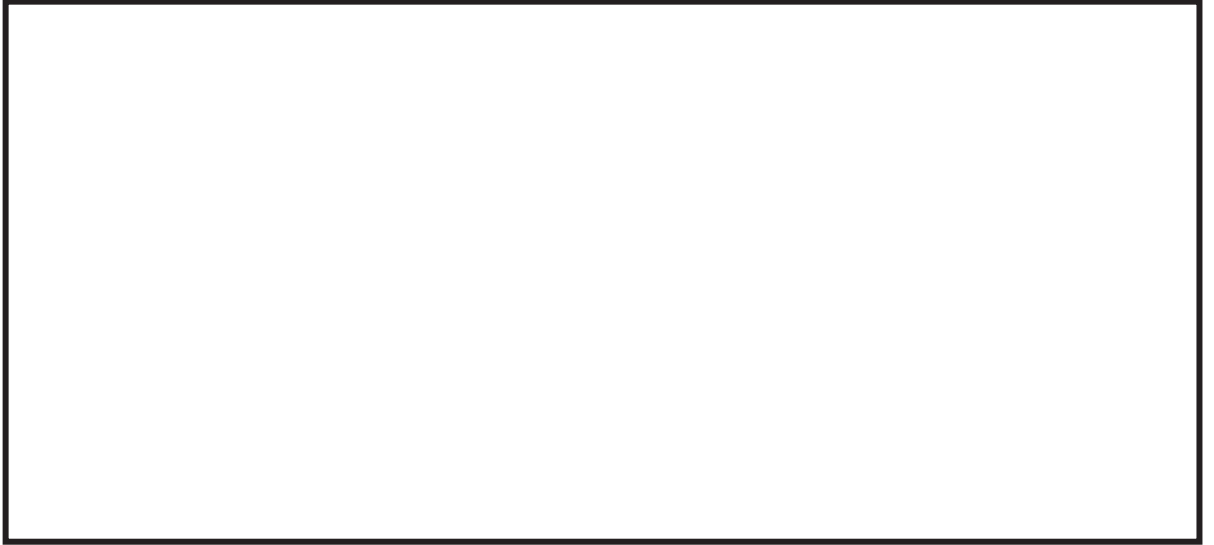
--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

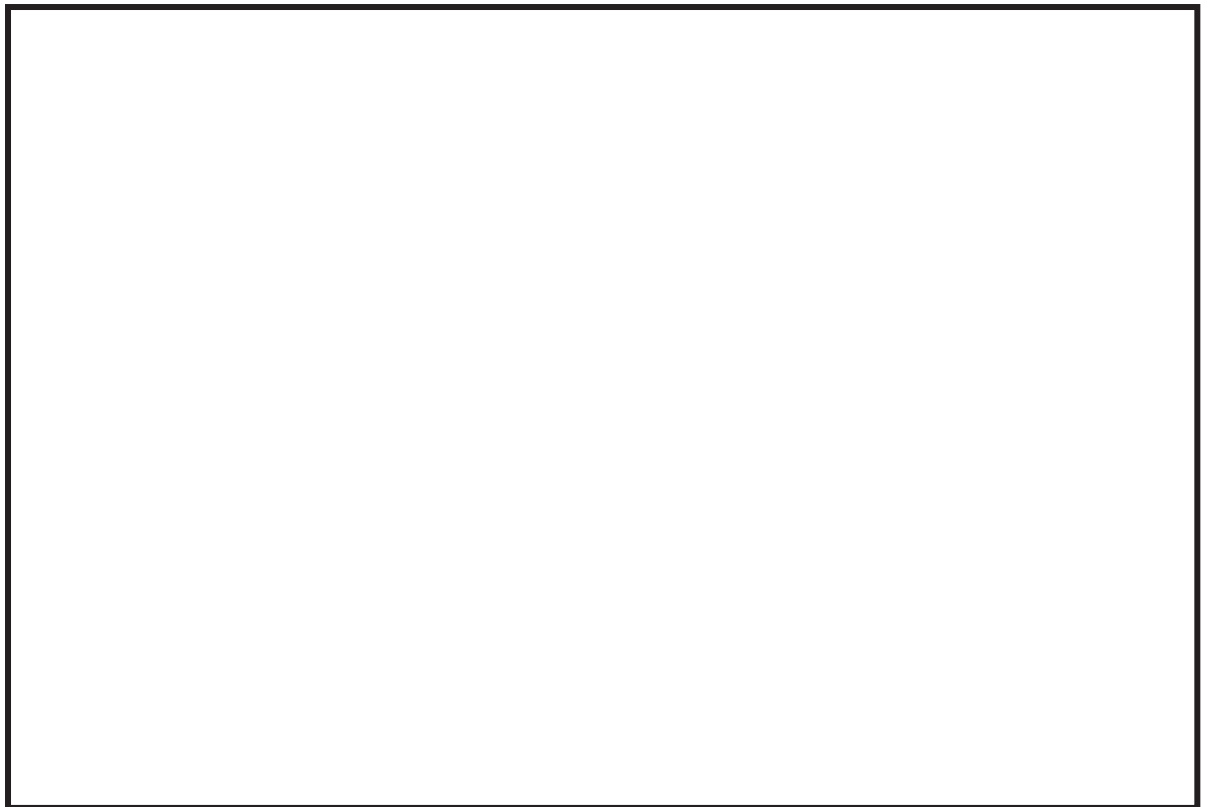
表 4-8 公称応力による予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位のまとめ表 (2/2)

--

①六角ボルト



②ボールネジ



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ピン（せん断）



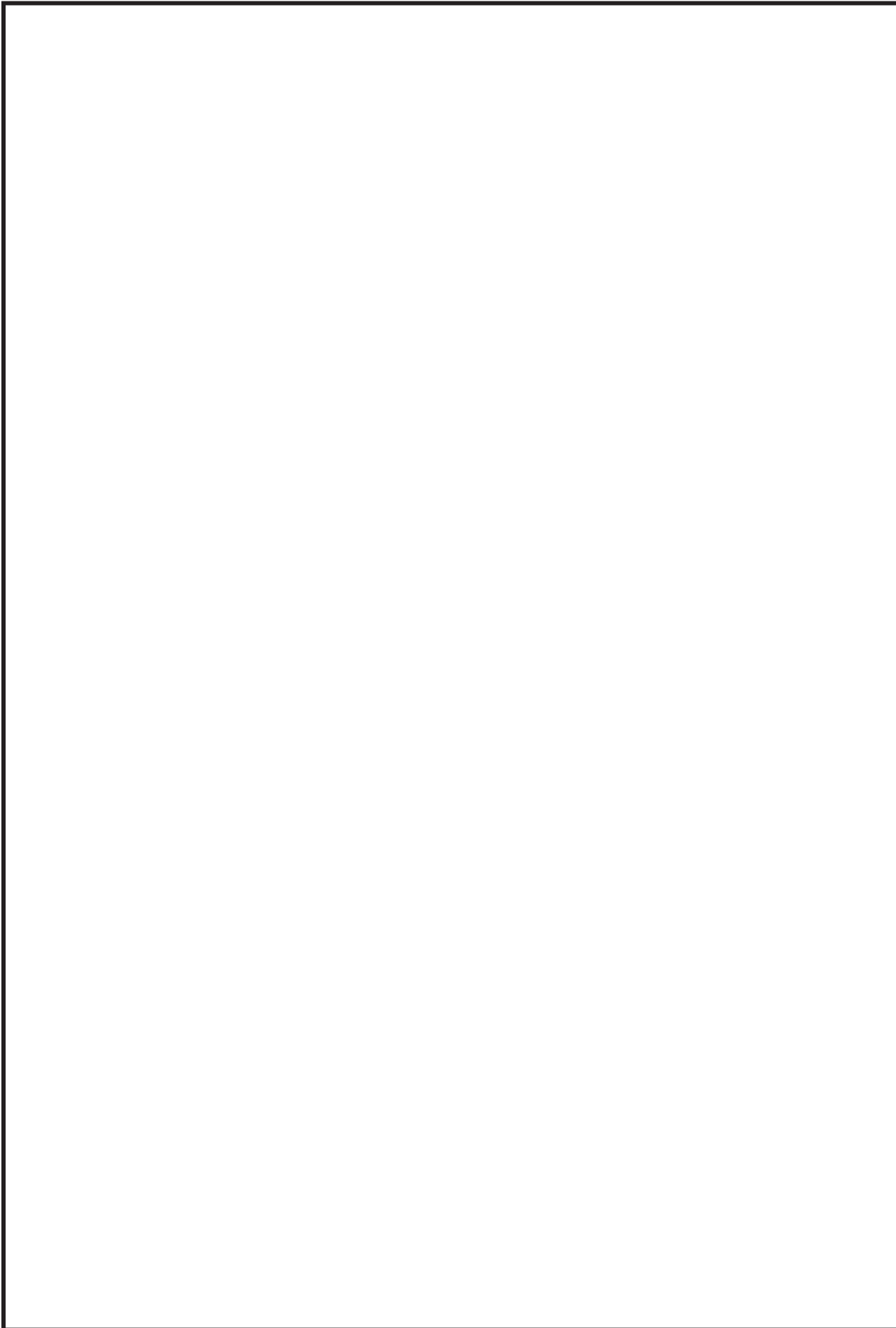
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 予想耐力荷重より下回って破損または機能喪失した部位，および想定していなかった部位が破損ないし機能喪失したもの

予想耐力荷重を下回って破損または機能喪失した部位，および想定していなかった部位が破損ないし機能喪失したものは以下のように分けられる。これらについては，次に説明するとおり，考察を踏まえて限界耐力評価法に反映することとした。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

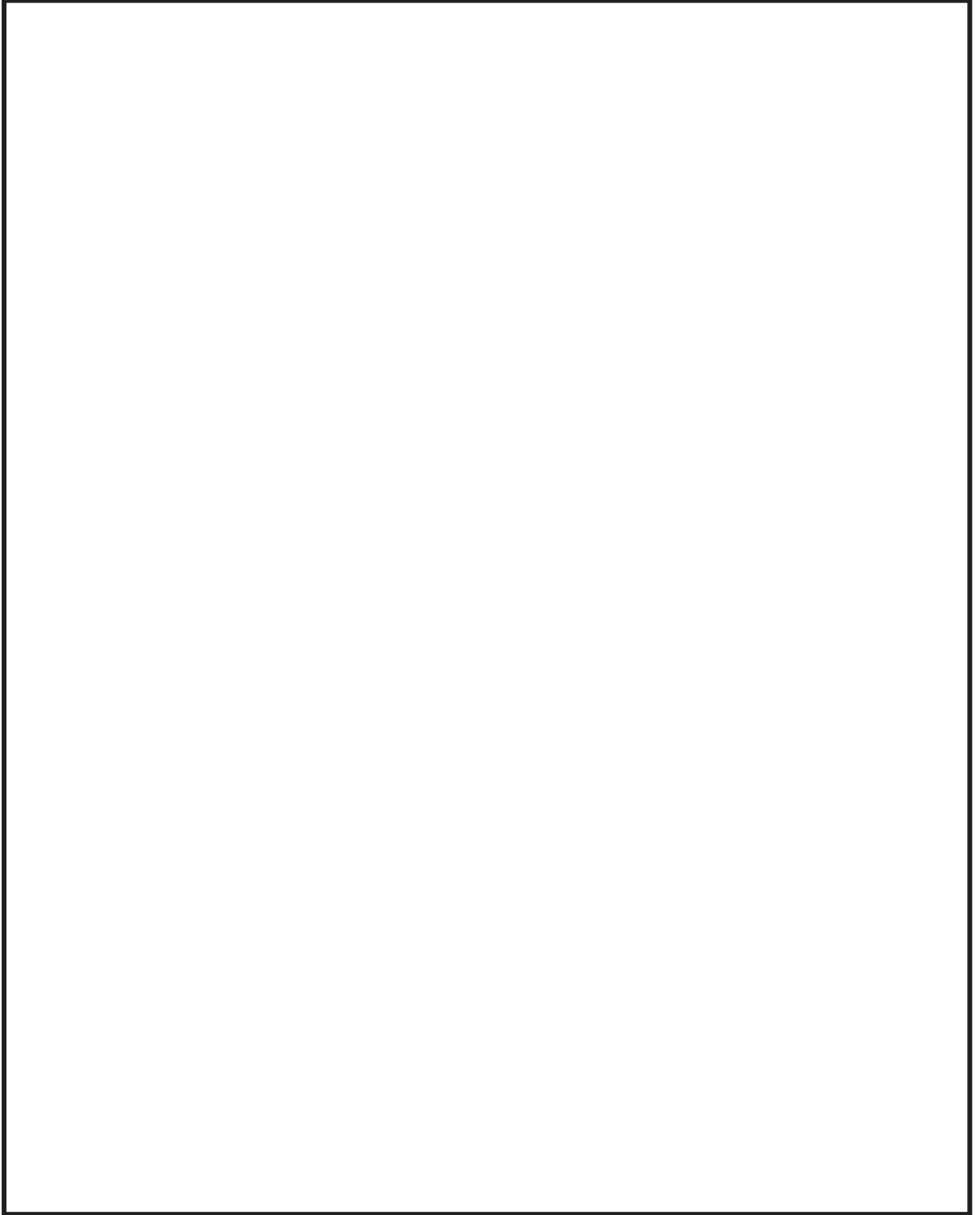




枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



【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。

4.5.2 破壊試験の再現性



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6 限界耐力評価法の策定（図 3-1 フロー①）

メカニカルスナップの機能維持評価法を策定するために実施した振動試験の結果から、表 4-9 に示す異常要因分析の機能喪失要因に対する影響確認方法をもとに、メカニカルスナップの構造部材については材料力学ベースの強度評価式、機能部品については規格品の選定方法（評価式）を見直し、機能維持面の限界耐力評価式を策定した。

表 4-9 メカニカルスナップ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	確認対象
地震時の機能	構造部材損傷	構造強度評価	構造部材
	スナップ座屈	構造強度評価（座屈）	全体
	機能部品機能喪失	構造強度評価	ボールねじ
		振動試験	機能部品
ブレーキ機能喪失	低速走行試験	ブレーキ機構を構成する機能部品	
地震後の作動と性能確保	構造部材変形	構造強度評価	構造部材
	機能部品機能喪失	構造強度評価	ボールねじ
		振動試験	機能部品

また、メカニカルスナップの座屈耐力を求めるために実施した静的座屈試験及び振動試験において、座屈したスナップの試験結果から、座屈面の限界耐力評価式を策定した。限界耐力評価法にあたっては、以下の方針とする。

(1) 予想耐力荷重を超えても破損しなかった部位

予想耐力荷重は公称応力（降伏応力、引張強さ）で求めているため、ミルシートベースでの実耐力を確認し、その実耐力を上廻っているものに対し、耐力アップを検討する。ただし、当該部位は破損に至っていないため、少なくともそこまでは耐力を確認できたという観点からの見直しを行う。

(2) 予想耐力荷重より下回って破損または機能喪失した部位、および想定していなかった部位が破損ないし機能喪失したもの

これらについては破損、機能喪失の原因を検討して評価法の見直しを行う。なお、見直しにあたっては評価式に用いる補正係数を少数第 2 位以下を切り捨てることで、ばらつき等も考慮するようにした。

4.7 女川原子力発電所第2号機への適用性

前節までに示した電共研の成果を、知見として女川原子力発電所第2号機へ適用する事の適切性について確認を行った。

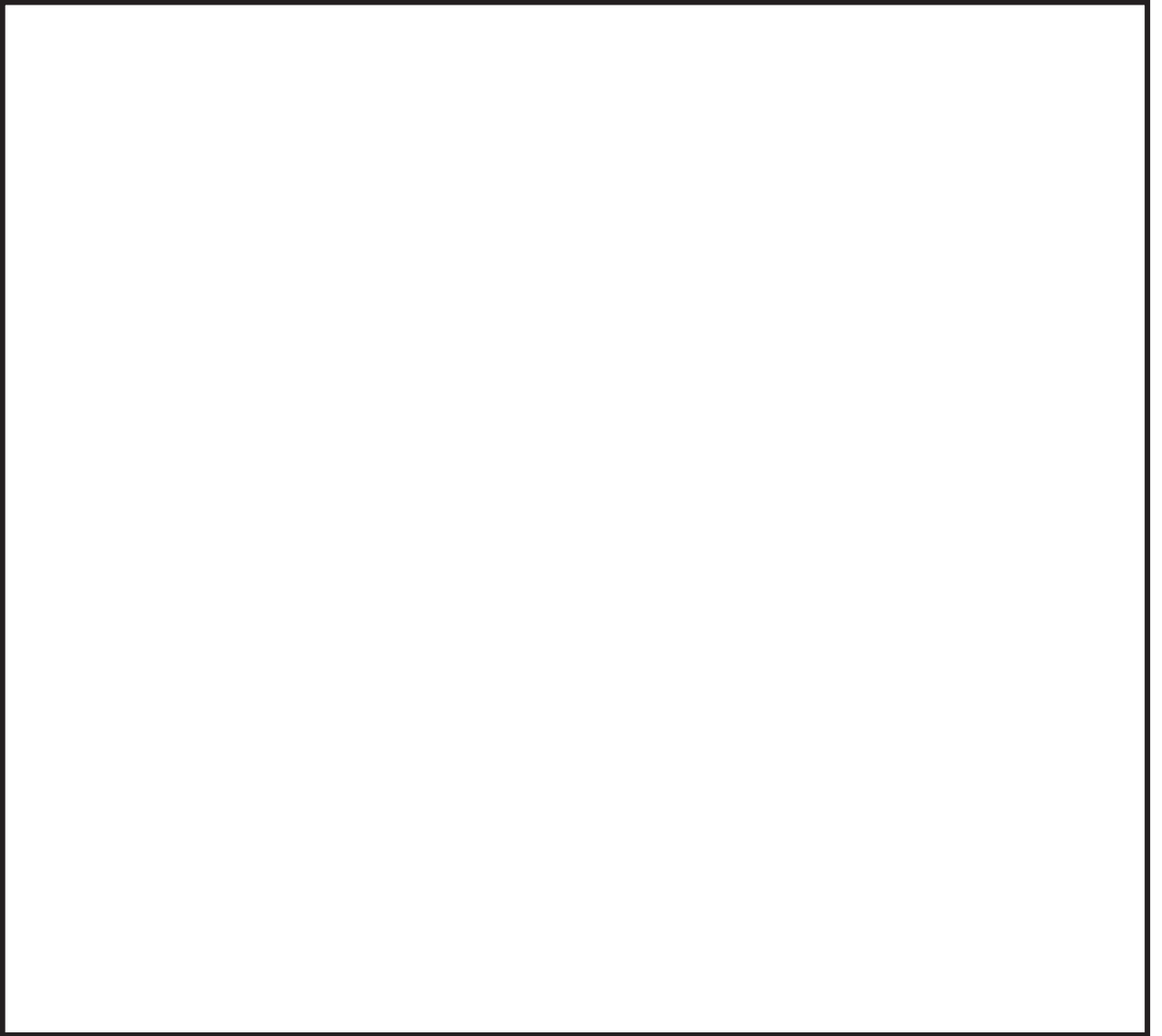
適用性の確認は、地震時及び地震後のメカニカルスナッパの機能維持の観点から、地震時の機能維持確認として実施されている振動試験に対する条件と、地震後の機能維持確認として実施されている低速走行試験に対する条件について確認を行った。

振動試験における試験結果を左右する条件は以下に示す項目となる。



以降に、上記①～⑦の各項目に対して適切性の確認を行った結果を示す。





枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.8 確性試験と電共研の試験条件の比較

確性試験と電共研の試験条件の比較を表 4-10 に示す。表のとおり、振動試験の主要な試験条件である加振波、振動数及び加振時間は、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。なお、損傷の判定基準の考え方は確性試験と同様であるが、確性試験の荷重が小さいため損傷には至っていない。

表 4-10 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 振動試験
加振波		
振動数		
加振時間		
荷重条件		
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。

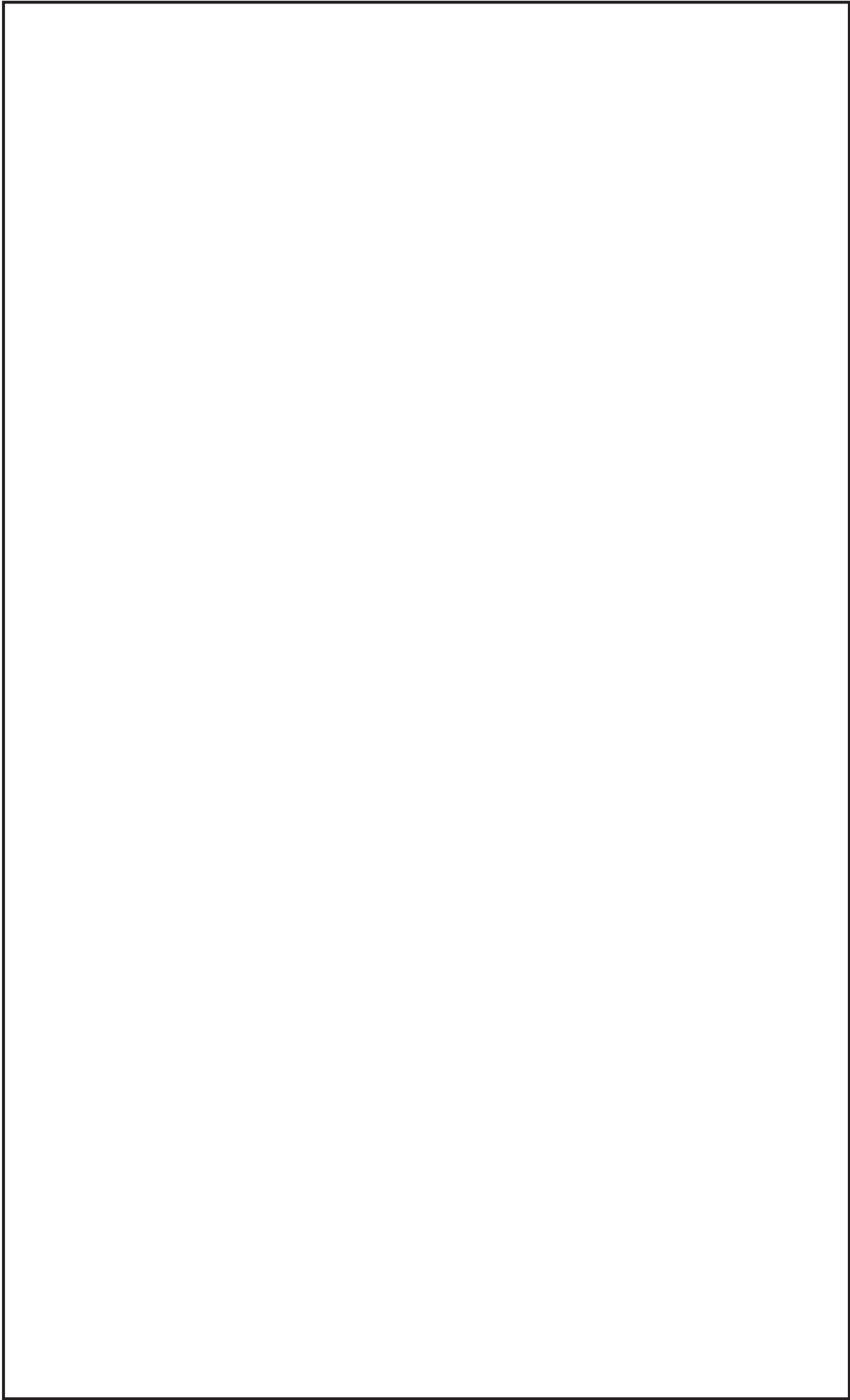
5. まとめ

電共研における耐震設計評価手法の総合的検討のうち、スナッチ限界耐力評価法の検討におけるメカニカルスナッチについての検討の概要として、振動試験、低速走行試験及び座屈試験の概要をまとめるとともに、限界耐力評価法の策定方法をまとめた。

その上で、電共研の知見を女川原子力発電所第2号機に適用することが妥当であることを確認した。

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



仲間の内容は商業機密の観点から公開できません。

振動試験結果データ

電共研の振動試験の結果を表 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）の振動試験における時刻歴の変位波形及び荷重波形を図 1～図 9 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。

なお、供試体 No. 3-1 および供試体 No. 3-3 は、球面軸受けが破損した時点で破損ケースと判断して試験を終了したが、供試体 No. 3-2 にて球面軸受けが破損しても支持機能及び低速走行機能を維持できることが確認できたため、供試体 No. 3-1 および供試体 No. 3-3 は破損ケースから耐力確認荷重を求めている。

表 1 電共研における振動試験の試験結果

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。

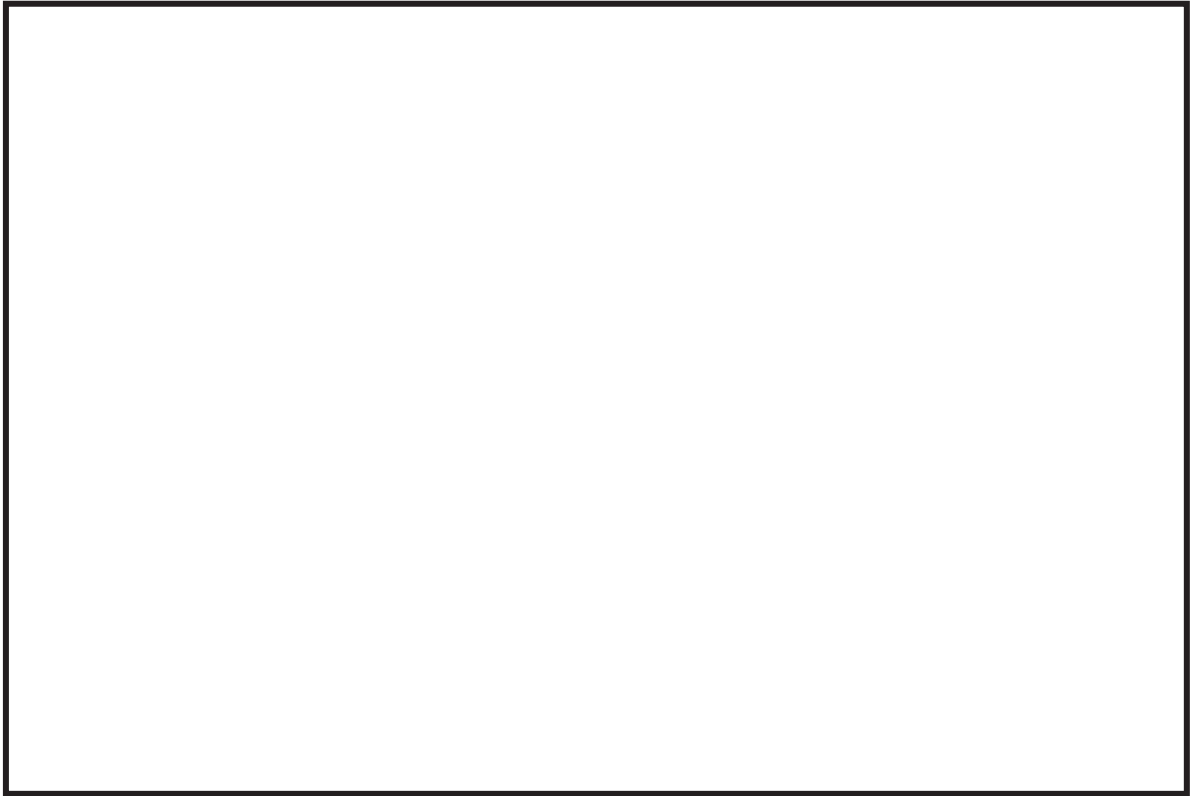


図 1 供試体 No. 03-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

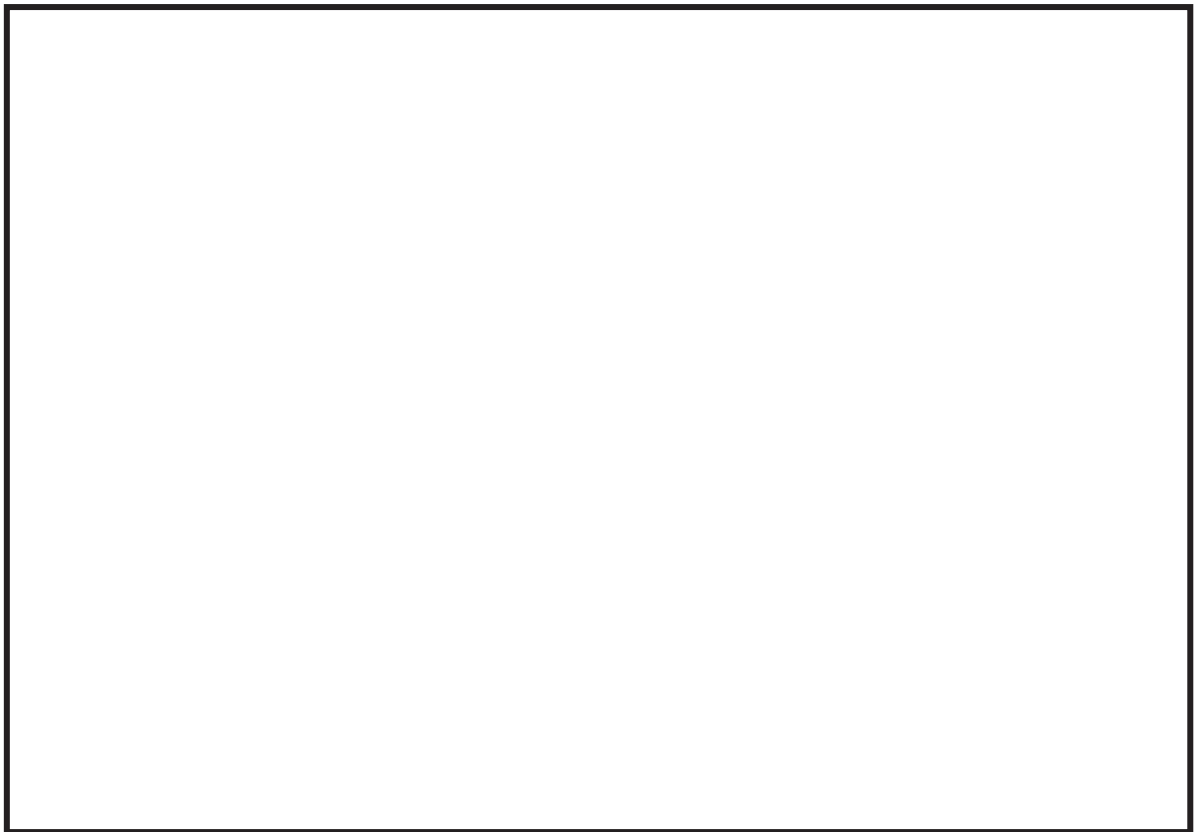


図 2 供試体 No. 1-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



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



図 4 供試体 No. 3-2 の振動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。

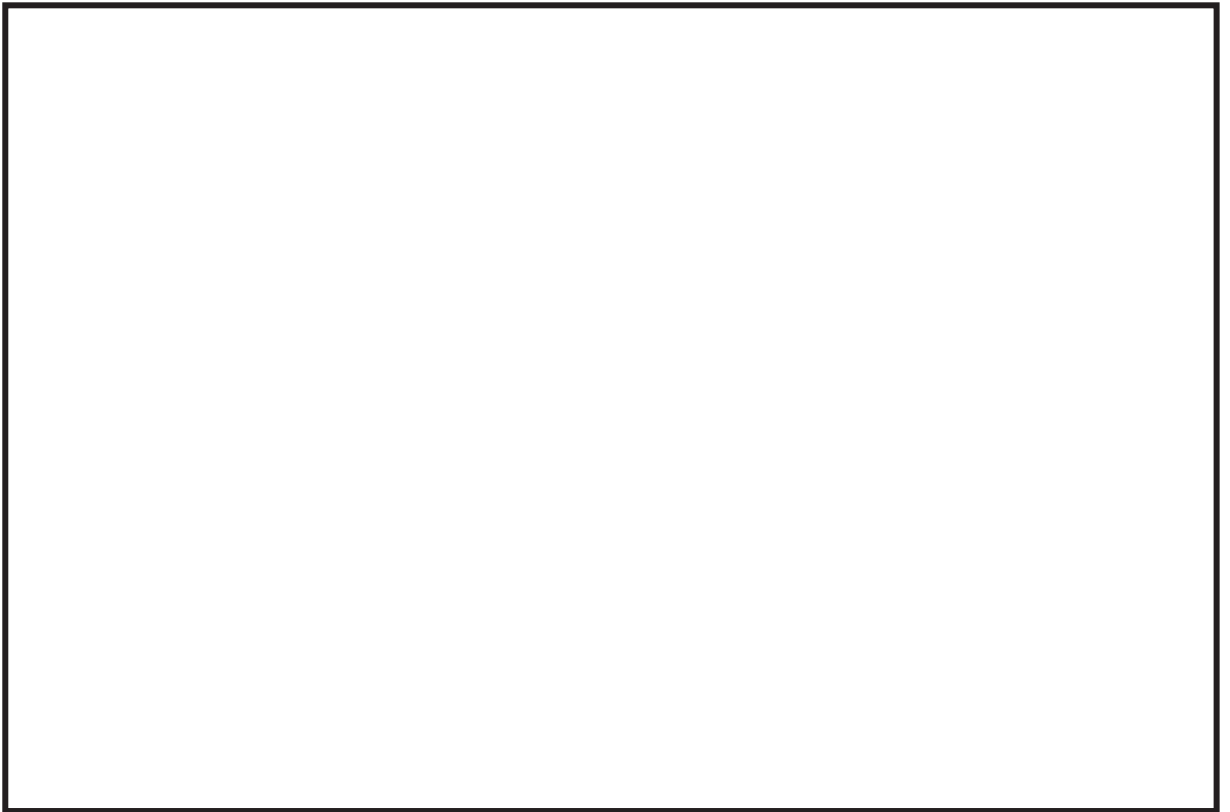


図 5 供試体 No. 3-3 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

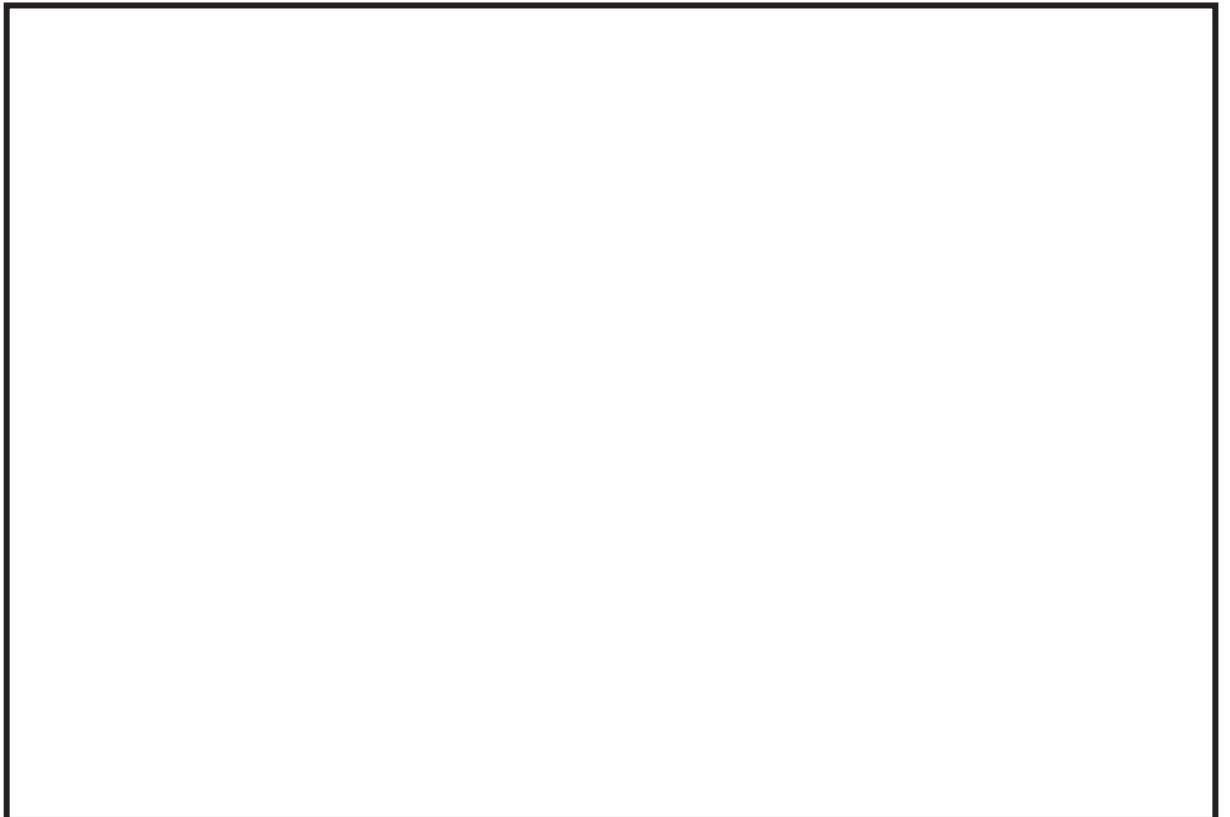


図 6 供試体 No. 6-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

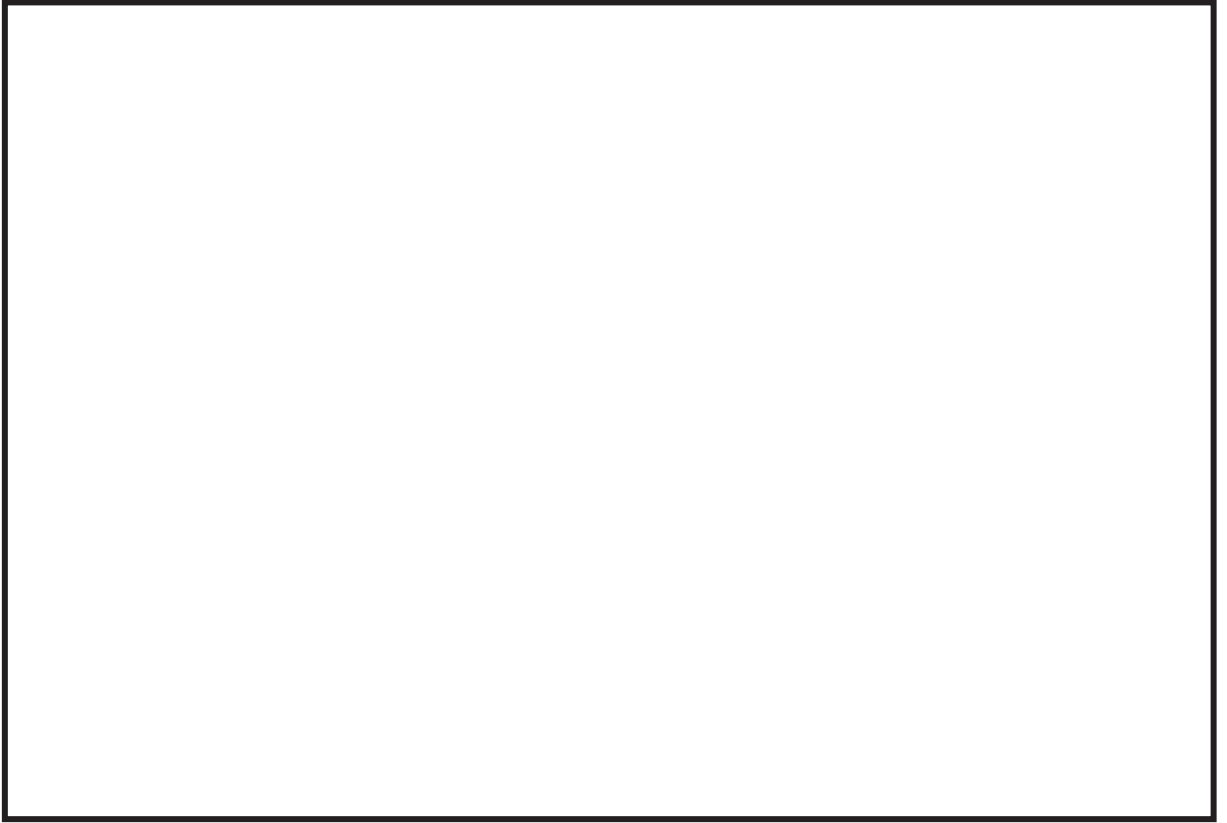


図 7 供試体 No. 10-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

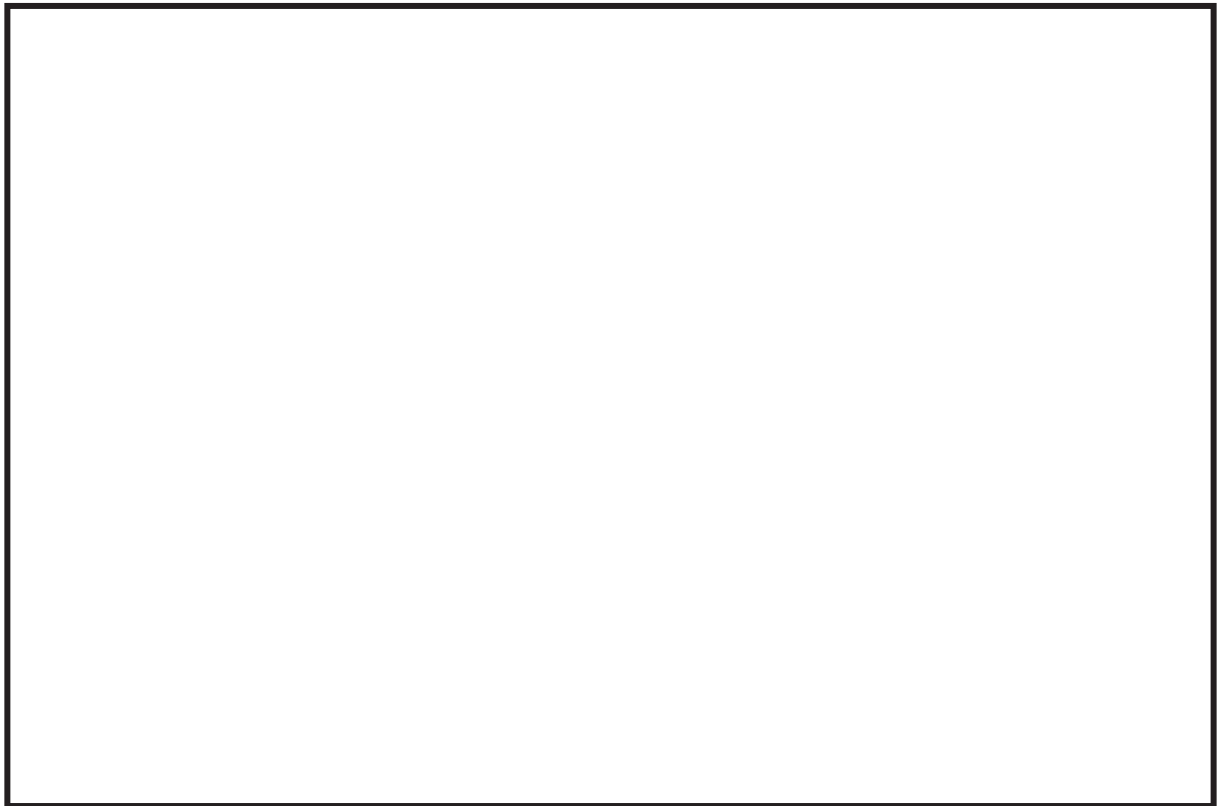


図 8 供試体 No. 5-3 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

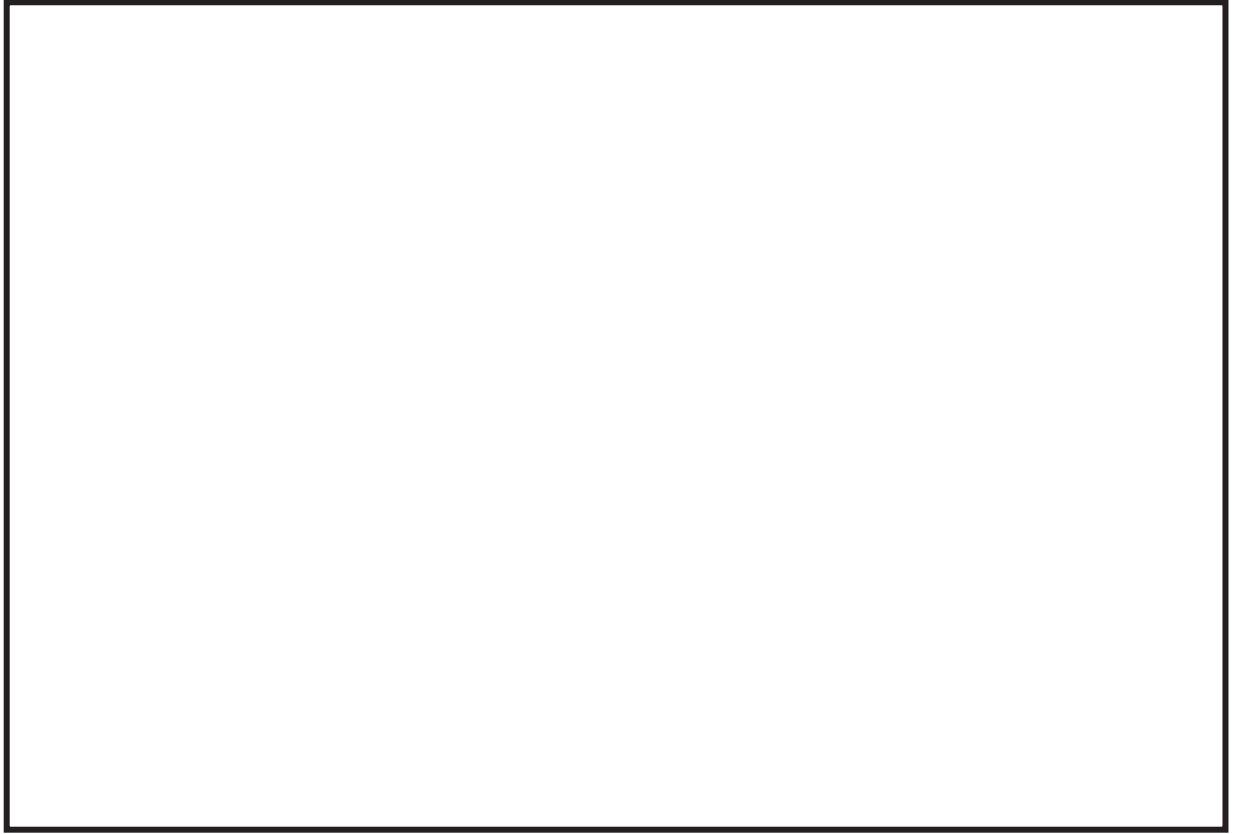


図 9 供試体 No. 5-4 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

また、電共研で策定された限界耐力値と、破壊試験（振動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 に示す。耐力確認荷重は、添付-3 の考え方に従い、表 1 の耐力確認荷重の引張側及び圧縮側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、試験による耐力確認荷重は限界耐力値よりも大きいため、限界耐力値が負荷された場合においても、メカニカルスナップの機能維持に問題がないと判断できる。

表 2 電共研における耐力値と最大発生荷重（1/2）

型式	定格容量 [kN]	電共研				限界耐力値／ 定格容量	耐力確認 荷重／限界耐力値
		限界耐力 値 [kN]	試験による耐力確認 荷重 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

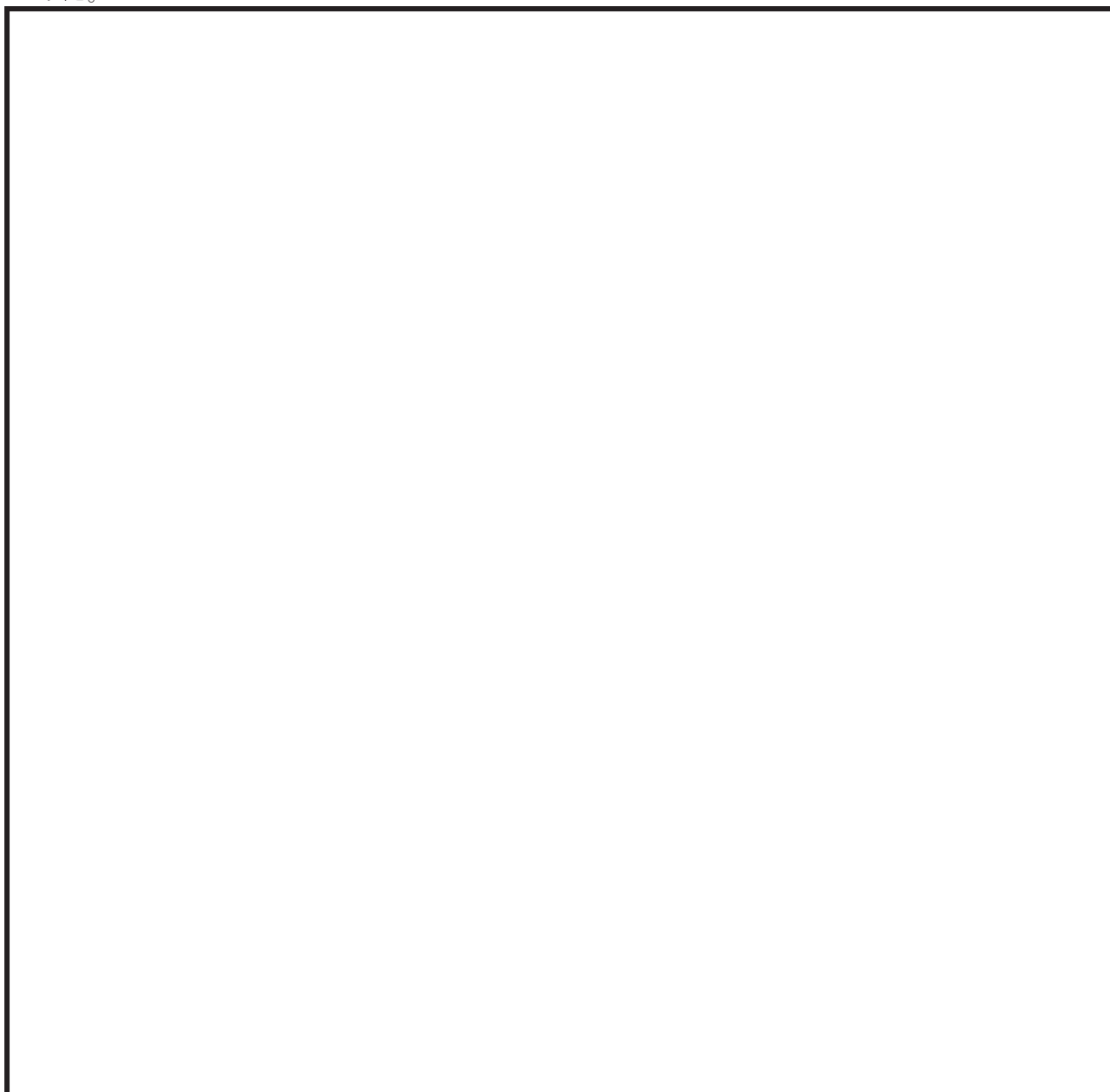
表 2 電共研における耐力値と最大発生荷重 (2/2)

型式	定格容量 [kN]	電共研			最小裕度部品の分類	限界耐力値／定格容量	耐力確認荷重／限界耐力値
		限界耐力値 [kN]	試験による耐力確認荷重 [kN]	最小裕度部品			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

耐力確認荷重における引張側と圧縮側の考え方

振動試験では，引張側と圧縮側の耐力確認荷重が得られるが，耐力確認荷重を妥当性確認に使用するにあたって，引張側と圧縮側のどちらを参照すべきか，考え方を以下にまとめた。



以上より，メカニカルスナップの耐力確認荷重としては，引張側と圧縮側の発生荷重の大きい方を参照することとした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの JNES 研究の概要

1. はじめに

本資料では、今回工認で参照した既往知見である「JNES 平成 21～22 年度耐震機能限界試験（スナップ）に係る報告書」（以下、「JNES 研究」）の概要について説明する。

2. JNES 研究の目的

配管系耐震支持装置として原子力施設で使用されているスナップ（オイルスナップ、メカニカルスナップ）は専門メーカーが設計・製造する製品であり、設計上想定される地震時の配管の揺れによりスナップに加わる荷重（地震荷重）がスナップ定格容量の 1.5 倍（スナップ性能保証範囲）以下となるよう地震荷重の大きさに合わせて使用されている。

しかしながら、新潟県中越沖地震や東北地方太平洋沖地震の経験・知見を踏まえた耐震設計用基準地震動の見直し等により、地震荷重がスナップ性能保証範囲より大きくなった場合、スナップの機能異常が生じる可能性があり、実例として、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機の新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書において、地震荷重がスナップ性能保証範囲を超えたことが原因と考えられる損傷事例が報告されている。

本研究は、配管系耐震支持装置として原子力施設で使用される代表的なスナップを対象に、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認し、これらの結果を基に耐力評価手法を構築して耐力データを整備することを目的とする。

3. 耐力評価手法の策定方針

耐力評価手法の構築に向けた検討手順は以下のとおり。

なお、JNES においては、メカニカルスナップとオイルスナップを対象に検討を行っているが、以降はメカニカルスナップに関する取り組み内容の概要を記載する。

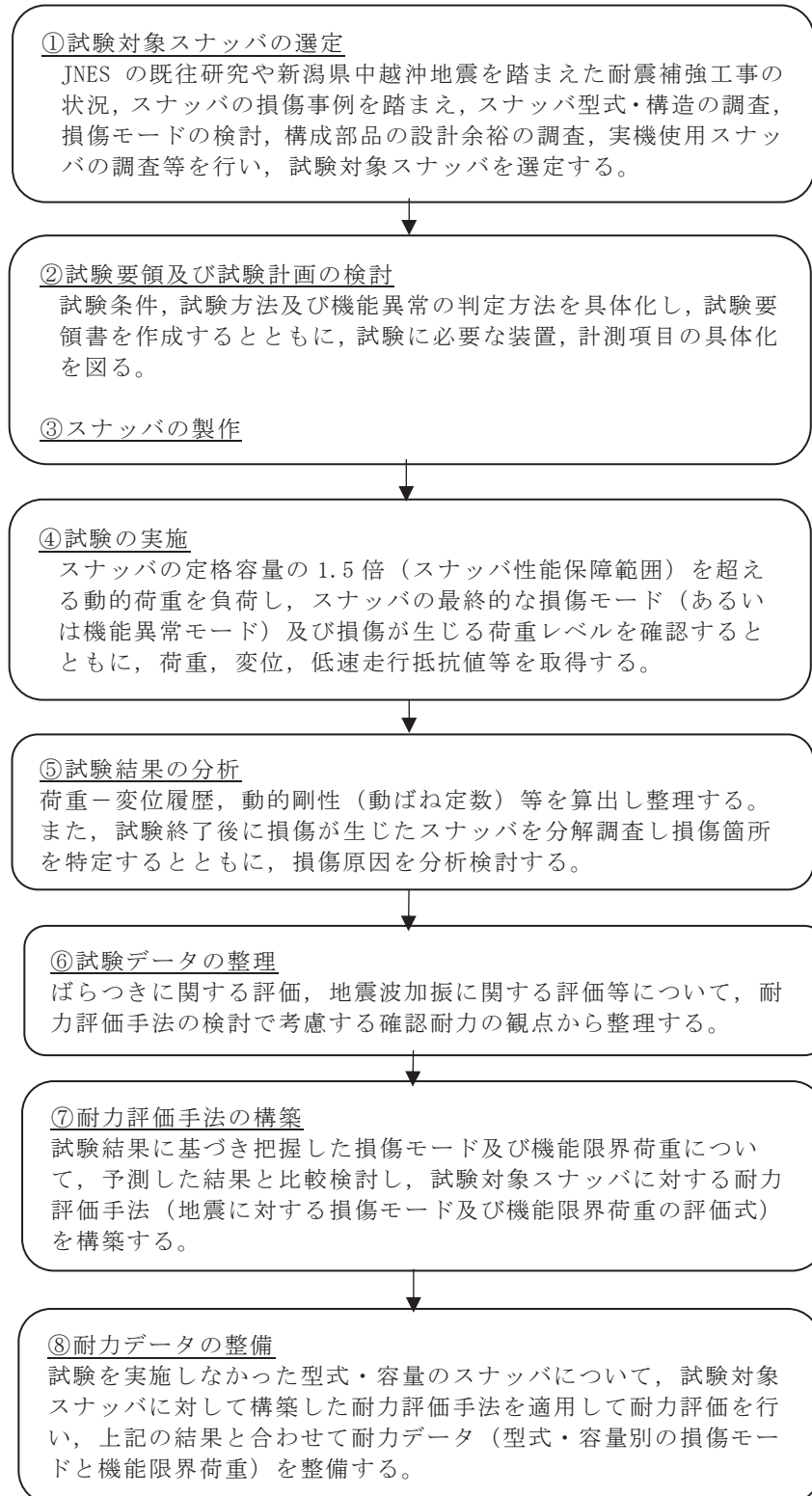


図 3-1 JNES 研究の検討手順

4. メカニカルスナッパ耐震機能限界試験

4.1 試験対象メカニカルスナッパの選定（図 3-1 検討手順の①）

4.1.1 メカニカルスナッパ型式・構造の調査

試験対象メカニカルスナッパの選定を目的として、原子力発電設備（軽水炉）に使用されているメカニカルスナッパの型式及び構造について、使用実績の調査を実施した。調査は、原子力発電所におけるスナッパ使用台数の大部分を占める [] の 2 社の製品に絞り込んで実施した。

(1) [] 製メカニカルスナッパ

[] 製のメカニカルスナッパは、現在の構造（1987 年以後）と旧構造（1987 年以前）の 2 つのタイプ（ここでは、旧 SMS 型と SMS 型という）が使用されている。（図 4-1 及び図 4-2 参照）

メカニカルスナッパは、設置された部位の構造物又は躯体（壁、床など）からの地震荷重などの軸方向荷重に対して、内部に設けられたボールナット、ボールネジを介して回転運動に変換し内輪を回転させようとするが、内輪自体の慣性力により抵抗力が働く。地震荷重は往復運動であり、この原理の繰返しにより制動力を発揮することとなる。

[] 製のメカニカルスナッパは上記のとおり 2 つのタイプが存在する。このうち SMS 型については、ベアリングケースとシリンダーの固定方法が年代とともに、ボルト止め構造の変更、一体化などのように変遷している。しかし、シリンダーが強度部材ではなくベアリングケースが強度部材であることは変わっておらず、制動原理も変わっていない。

また、荷重の伝達経路も図 4-3 に示すように、

球面軸受 → イーヤ → ロードコラム → ボールナット → ボールネジ
→ ベアリングナット → ベアリング押え → 六角ボルト → ベアリング
ケース → ジャンクシ ョンコラムアダプター六角ボルト → ジャンクシ
ョンコラムアダプター → コネクテ ィングチューブ → ダイレクトアタ
ッチブラケット → ユニバーサルボックス → ユニバーサルブラケット
となり、変わっていない。したがって、耐震機能限界試験を実施する型式は新しい SMS 型とした。

[] 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

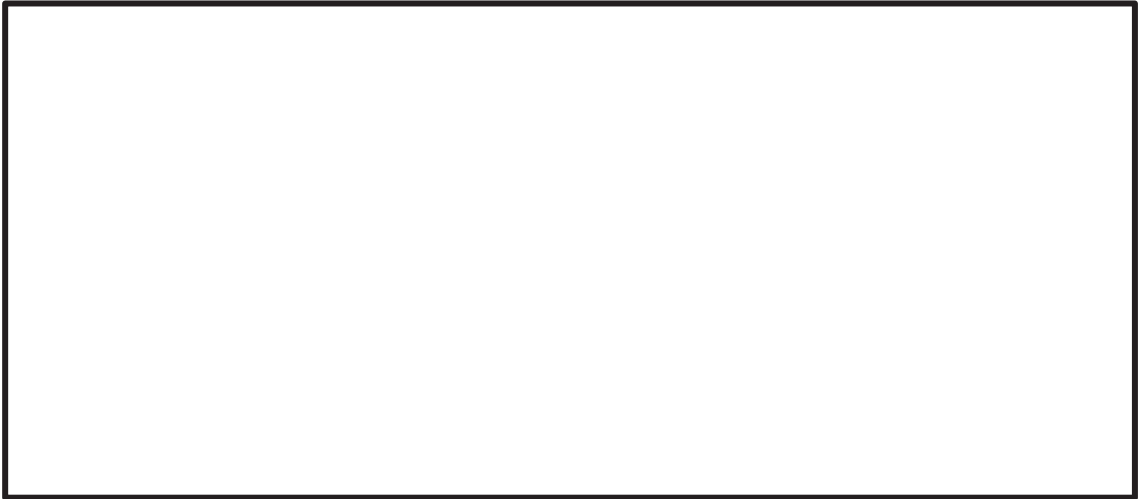


図 4-1 旧 SMS 型メカニカルスナップ構造図



図 4-2 SMS 型メカニカルスナップ構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

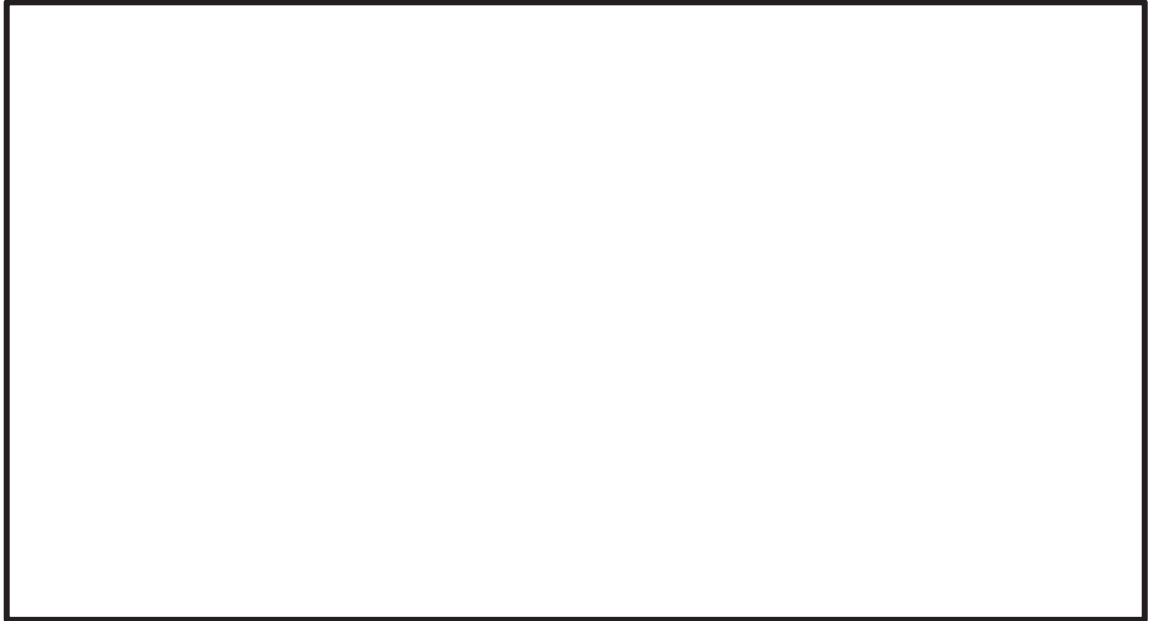


図 4-3 旧 SMS 型及び SMS 型メカニカルスナッパの荷重伝達経路

(2) 製メカニカルスナッパ

製のメカニカルスナッパは NMB 型の 1 タイプのみである。その構造を図 4-4 に示す。制動機能は 製のスナッパとほぼ同等である。

設置された部位の構造物又は躯体（壁，床など）からの地震荷重などの軸方向荷重に対して，内部に設けられたボールナット，ボールネジを介して回転運動に変換し内輪（フライホイール）を回転させる。回転速度が遅い場合にはフライホイールとそれと接触している鋼球が相対的に同速度で移動しているが，回転速度が上がるとフライホイールと鋼球が相対的にずれて，結果としてディスクスプリングがブレーキディスクと接触し摩擦力を得る。以上がメカニカルスナッパの制動原理である。

荷重の伝達経路は，図 4-5 に示すように，

球面軸受 → エンドプラグ → ターンバックル → ロードシリンダー →
ボールネジ → スリーブ → ベアリングボックス → ベアリングシート
→ ケース → セットボルト → リアブラケット → 延長パイプ → リア
ブラケット → 球面軸受

となる。

以上の調査結果より，耐震機能限界試験を実施する型式は NMB 型とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

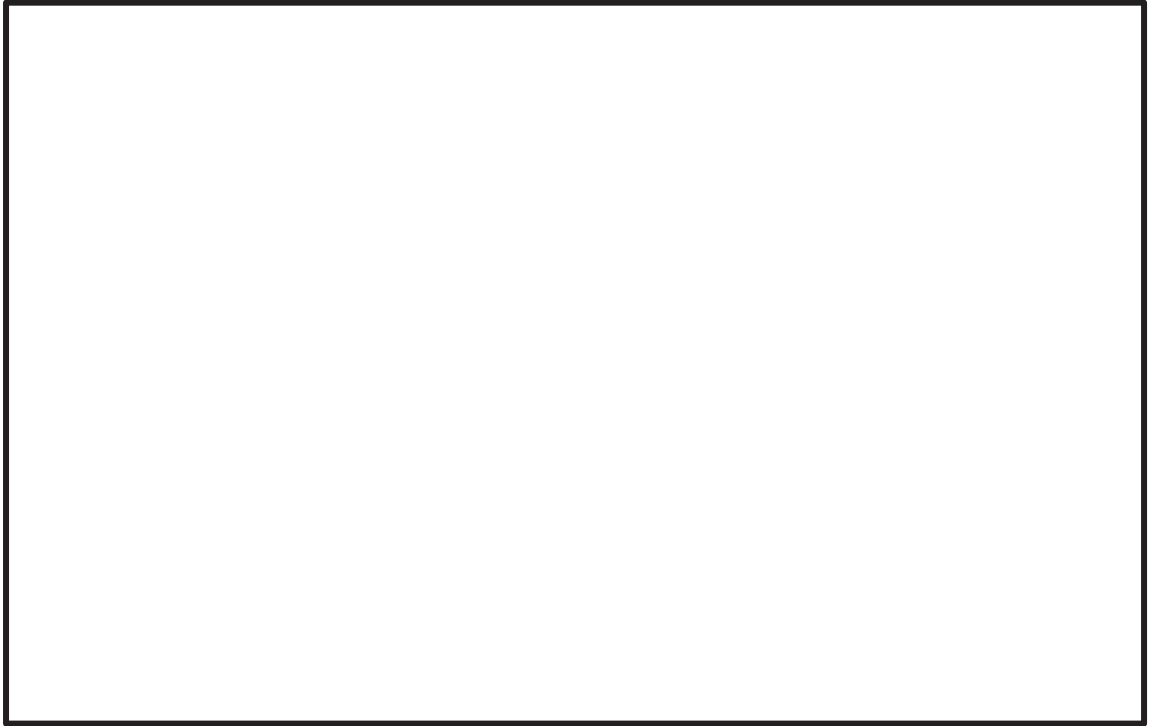


図 4-4 NMB 型メカニカルスナッパ構造図



図 4-5 NMB 型メカニカルスナッパの荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.2 想定損傷モードの評価

(1) 想定損傷モードの検討

メカニカルスナップの要求機能として、地震時における支持機能及び地震前後（主に通常運転状態）における自重・熱膨張という準静的な荷重を拘束しないという 2 つの機能を満足しなければならない。これらの機能を阻害する要因としては、種々の要因が考えられるが、ここではスナップの耐力を把握する観点で「過大反力」のみに限定し、材料劣化などの経年事象、製作不良などの人的要因などは、検討対象から除外する。

以上の観点によりメカニカルスナップの損傷モードの検討結果を表 4-1 に示す。

要求機能を阻害する現象は、「構造部材の損傷」と「機能部品の損傷」の 2 つに大別され、最終的に現れる具体的な現象は以下に示すとおりである。

①必要反力支持不能（必要動的剛性確保不能）

②低速走行時抵抗力（自重，熱膨張による移動を拘束しないことを確認するため特定の速度でメカニカルスナップを運動させたときの抵抗力）増大

以上の結果から、耐震機能限界試験を実施するが、荷重負荷後の健全性を判定する項目は、上記現象を踏まえて決めるものとする。

表 4-1 メカニカルスナップの損傷モード

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 メカニカルスナッパの構造部材・機能部品裕度調査と容量別分類

(1) 試験対象メカニカルスナッパ型式

代表的なメカニカルスナッパとして耐震機能限界試験にて耐力を確認する型式は、SMS 型及び NMB 型とする。

(2) メカニカルスナッパの構造部材・機能部品裕度調査

4.1.2 項に記述したとおり、メカニカルスナッパの要求機能を阻害する現象は、「構造部材の損傷」及び「機能部品の損傷」の 2 つである。

ここで、選定した型式について、構造部材、機能部品の抽出を行い、抽出した部材・部品のスナッパの定格荷重に対する裕度（メカニカルスナッパに定格荷重を負荷した場合の机上の強度計算に基づく部材・部品に発生する 1 次応力の規格上の 1 次応力制限に対する裕度）を計算した。なお、評価は、「日本機械学会発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に基づいて、クラス 1 支持構造物の供用状態 A, B における 1 次応力の制限に用いている F 値 ($F = \text{Min}(0.7S_u, 1.2S_y)$) を準用した強度評価を実施した。座屈の評価は、各部の変断面においてその歪エネルギーと仮想仕事量から導いた計算式により算出した。ボールねじ、軸受などの機能部品については支持装置メーカーにて破壊までの荷重は確認していない(支持装置メーカー保証値である定格荷重の 1.5 倍までは試験で確認) ため、スナッパメーカー推奨値（保証値）または、構成部材のうち弱いと想定される部材の計算値などの強度を記載している。

メカニカルスナッパは、メーカー別に独自のストローク（移動可能長さ）を有している。SMS 型メカニカルスナッパはストローク 100, 160, 250mm の 3 種類、NMB 型メカニカルスナッパはストローク 125, 250mm の 2 種類がある。このストロークの相違は、座屈強度にのみ影響する。原子力発電所の使用実績は、SMS 型でストローク 100mm, NMB 型で 125 mm が大部分を占める（SMS 型で全体の約 80%, NMB 型で全体の約 90%）ことから、座屈強度の 1 次応力制限に対する裕度計算はストローク 100mm（SMS 型）及び 125mm（NMB 型）のスナッパに対して実施した。

①SMS 型メカニカルスナッパ

SMS 型メカニカルスナッパの強度部材，機能部品の 1 次応力制限に対する裕度計算結果を表 4-2 に示す。

定格容量に対しての裕度は，基本的に容量が小さいほど大きく，容量が大きくなるにつれて小さくなる。しかし，最低でも 2.0 倍の裕度（メーカー保証：1.5 倍）を有すること，裕度の最も小さな部材は各容量により相違することが確認できた。

また，荷重の伝達経路という観点では，容量別の差はなく全て同じである。

各型式の特徴を以下に示す。

【SMS-01, 03】

- ・ 裕度は，他の容量と比較してかなり大きい
- ・ 裕度の低い部材は，最弱部が六角ボルトで，他に裕度が少ないものとしてはコネクティングチューブ，座屈強度（メカニカルスナッパ全長に対する圧縮荷重による座屈強度をいう。以下同じ）（SMS-01 のみ）となる。
- ・ 機能部品は十分な強度をもっており，構造部材が最弱部となる。

【SMS-06, 1, 3】

- ・ 最弱部はそれぞれ相違するが，裕度の低い部材は六角ボルト（SMS-06, SMS-3 のみ），ベアリングナット，ジャンクションコラムアダプター（SMS-06 のみ），ダイレクトアタッチブラケット，コネクティングチューブ，ユニバーサルブラケット及び座屈強度（SMS-06, 1 のみ）となる。
- ・ 機能部品の裕度も概ね構造部材と同じであり，機能部品が最弱部となるものもある。

【SMS-40, 60】

- ・ 最弱部材はそれぞれ異なるが，ベアリングケース，ベアリング押え，ベアリングナット及び座屈強度を除き，他の構造部材は全てほぼ同等である。
- ・ 機能部品の裕度も概ね構造部材と同じであり，構造部材が最弱部となる。
- ・ 他の容量と異なり，ロードコラムはボールネジと一体となり，裕度はボールネジが最弱部となる。
- ・ 裕度は SMS-16, 25 とほぼ同等と考えられる。

②NMB 型メカニカルスナッパ

NMB 型メカニカルスナッパの構造部材，機能部品の 1 次応力制限に対する裕度計算結果を表 4-3 に示す。

定格容量に対しての裕度は，基本的に容量が小さいほど大きく，容量が大きくなるにつれて小さくなる。しかし，最低でも 2.0 倍の裕度（メーカー保証：1.5 倍）を有すること，裕度の最も小さな部材は各容量により相違することが確認できた。

また，荷重の伝達経路という観点では，容量別の差はなく全て同じである。

各型式の特徴を以下に示す。

- ・ NMB 型メカニカルスナッパの最弱部は，全てリアブラケットとなる。
- ・ 荷重伝達経路は全ての容量で同じだが，部材が一体となっている容量がある。
- ・ 大きな構造の区分としては，以下の理由から NMB-001～006，NMB-010～NMB-075，NMB-100～600 の 3 つに大別できる。
- ・ NMB-001～006 は，リアブラケットフランジとイーヤが一体となっている。また，スリーブとカラーが存在しない。
- ・ NMB-100～600 は，ベアリングシートが一部を除いて存在しない。
- ・ NMB-001～006 と NMB-010～NMB-075 は，延長パイプキットがリアブラケット（フランジ）と一体となっている。
- ・ 機能部品は十分な強度を有しており，構造部材が最弱部となる。

表 4-2 SMS 型メカニカルスツッパの構造部材・機能部品裕度表

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-3 NMB 型メカニカルスナッパの構造部材・機能部品裕度表

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- (3) メカニカルスナップの型式及び構造部材・機能部品裕度調査結果のまとめ
- 構造部材・機能部品を抽出し定格荷重に対する裕度を調査した結果に基づき、試験対象選定の観点から裕度レベル及び構造の特徴に着目してメカニカルスナップをグルーピングすると、型式別にそれぞれ 3～4 区分に分類できる。分類結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 メカニカルスナップの型式別の裕度レベル及び構造上の分類

--

4.1.4 実機使用メカニカルスナップの調査

メカニカルスナップ使用実績のある原子力発電所（軽水炉）のプラントを対象に、定格容量別に使用台数を調査した。調査した範囲は、工事計画認可申請範囲でかつ耐震 S クラスの配管に用いられているものを対象とした。

BWR プラント（10 プラント以上の複数プラント）のメカニカルスナップの使用台数比率の内訳を図 4-6 に示す。グラフに記載した区分は表 4-4 に示した区分である。また、図中に示す試験対象容量の選定については 4.1.5 項に記す。図に示すとおり、定格容量 30kN, 60kN, 100kN のものが比較的多く使用されているが、容量の小さいものから大きいものまで幅広く使用されている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

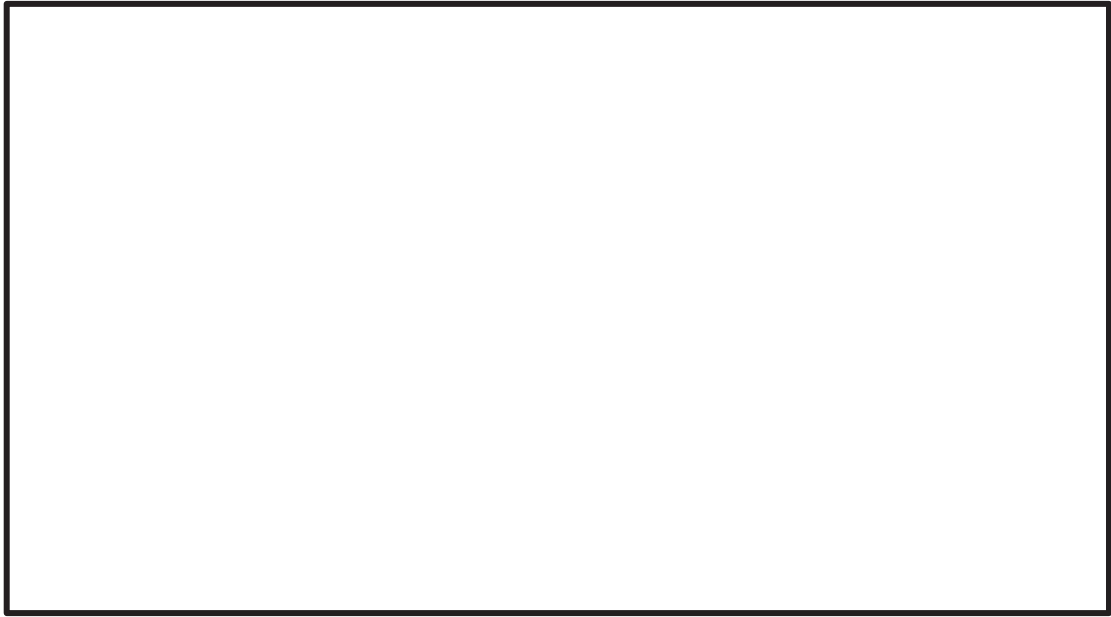


図 4-6 BWR プラントにおけるメカニカルスナッパ使用台数比率

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.5 試験対象メカニカルスナップの型式、容量の選定

(1) 試験対象メカニカルスナップ

1 次応力制限に対する裕度計算結果を踏まえた表 4-4 に示す区分及び使用台数の調査結果を踏まえ、耐震機能限界試験の対象とするメカニカルスナップを以下の方針で選定する。

- ・各区分から 1 体選定する。
- ・できる限り使用台数の多い容量とする。
- ・近い容量のものは選定しない。
- ・試験の加振能力を考慮したものとする（250kN 以下を目標とする）。
- ・型式ごとの容量は比較可能なように全て同じ容量とする。

上記の方針に基づき、試験対象メカニカルスナップを検討した結果、耐震機能限界試験を行う試験体の各型式および容量は、次のとおりとした。

型式：SMS，NMB

定格容量：3kN，30kN，100kN，250kN

(2) メカニカルスナップ本体構造

SMS 型メカニカルスナップは、タイプごと、容量ごとにストロークが 100mm，160mm，250mm の 3 種類が存在する。また、NMB 型メカニカルスナップは、タイプごと、容量ごとにストロークが 125mm，250mm の 2 種類が存在する。このストロークの差の影響は座屈強度のみに関係する。ストロークが長いとスナップの全長が長くなる。しかし、最弱部位（径の小さい部位）のみが長くなるのではなく、ケース、シリンダーなどの座屈強度の大きい部位も長くなるため、座屈強度に関してはほとんど差異がないこと、及び原子力発電所での使用実績は、前述のとおり SMS 型でストローク 100 mm 及び NMB 型で 125 mm が大部分を占めることから、試験を実施するメカニカルスナップのストロークは 100mm（SMS 型）及び 125mm（NMB 型）とする。

また、メカニカルスナップは実機での据付性を考慮して、配管側と躯体側のピン間長さを調整可能なよう、延長パイプ（SMS 型：コネクティングチューブ，NMB 型：延長パイプ）の有無により 2 つのタイプが存在する。構造部材・機能部品裕度調査では、座屈強度も裕度評価項目の 1 つとして評価しているが、座屈強度はピン間の長さに依存するため、耐力データを整備するうえで保守的になるよう、座屈の起こり易い製品上の最大長さで試験を実施するものとする。また、調整用ロッドは数 10mm の単位で長さの調整が可能であるが、実機での据付時は基本的に中間の位置で施工されるため、一律中間点での長さで試験を実施する。

試験を実施するメカニカルスナップの構造図を図 4-7 及び図 4-8 に示す。

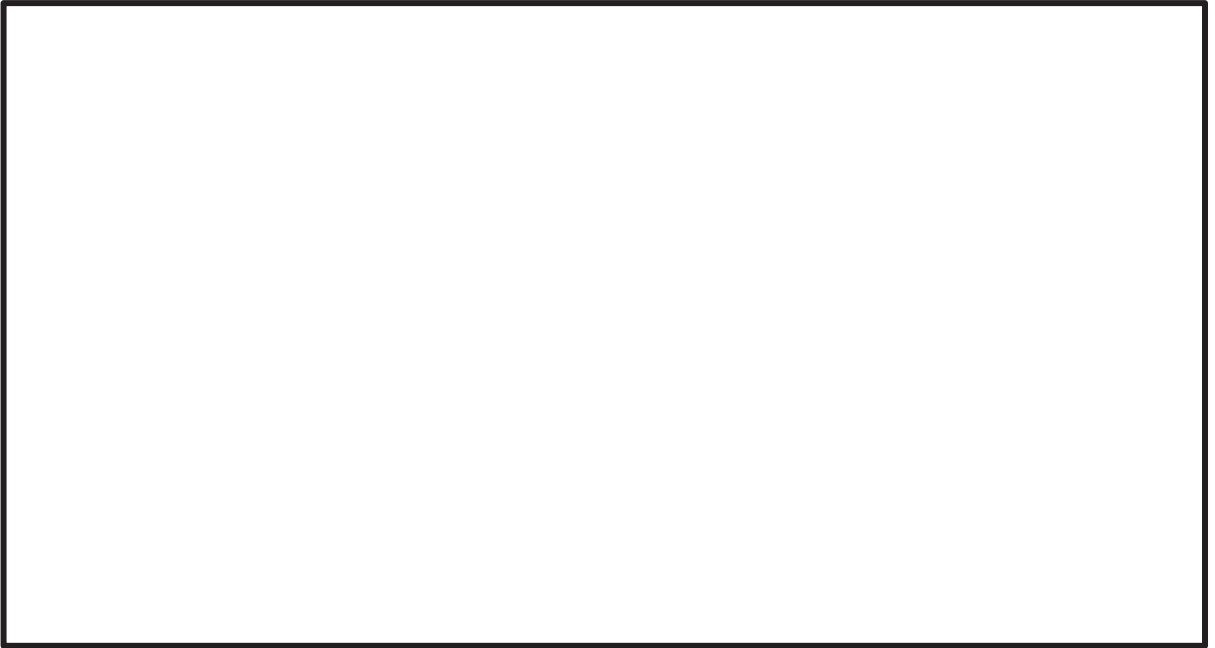


図 4-7 SMS 型メカニカルスナップ構造図

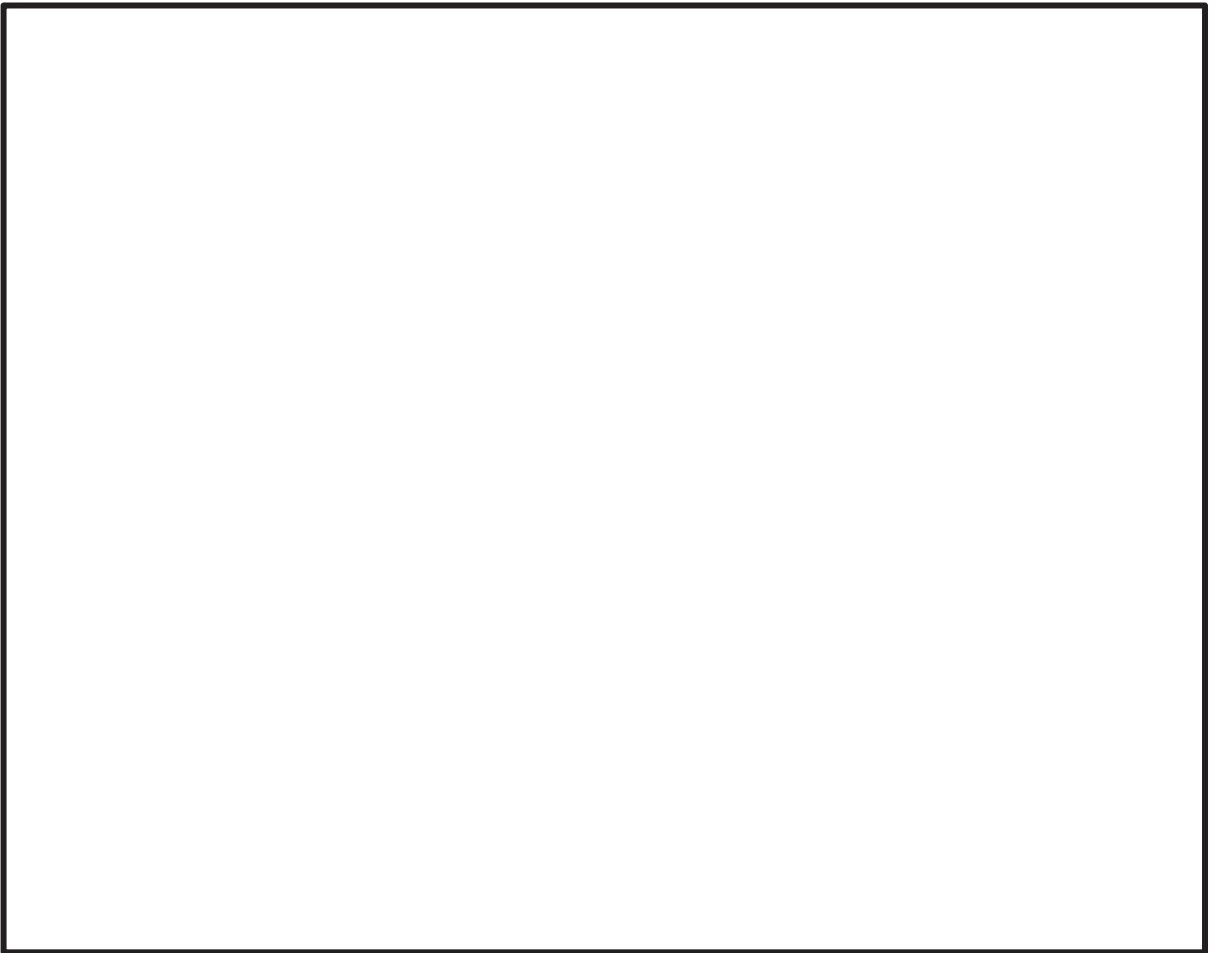


図 4-8 NMB 型メカニカルスナップ構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.6 試験対象メカニカルスナップの試験種別及び員数

メカニカルスナップの耐震機能に関する試験は一般的に正弦波の加振力を与えた試験を行っている。しかし、実際にメカニカルスナップが受けるのは地震荷重でランダムな荷重となることから、耐力試験としては、次の2つの試験を実施する。

- (1) 正弦波振動応答試験
- (2) 地震波振動応答試験

それぞれの試験の目的、基本方針及び員数(試験体数)の考え方を以下に示す。

(1) 正弦波振動応答試験

本試験は、メカニカルスナップの耐力を確認する基本試験という位置づけとする。したがって、選定した型式、容量に対して、全て1体ずつ試験を実施するものとする。

なお、代表の1容量のみを対象としてばらつきを確認する複数試験体の試験を行う。SMS型とNMB型の基本的な構造はほぼ等しいため、ばらつき確認はSMS型を選定するものとする。ばらつき確認は3体を実施するものとし、そのうち1体は正弦波振動応答試験の結果を利用できるので、ばらつき確認用としてさらに2体の試験を実施する。また、ばらつき確認用の試験体は、試験対象とした容量のなかで中間の容量として、定格容量100kNを対象とするものとする。

(2) 地震波振動応答試験

メカニカルスナップが実際に受ける荷重は、地震波(ランダム波)である。本試験は、正弦波で得られたメカニカルスナップの耐力と比較するために実施する。

地震波振動応答試験を行う型式は、ばらつき確認を行う試験体と同様にSMS型とする。また、比較・検討が可能なように、容量もばらつき確認を行う試験体と同様に、定格容量100kNとする。

なお、地震波による加振は、模擬地震波と自然観測波の2種類を行う。

以上の検討結果より、耐震機能限界試験を行う試験体の員数は、表4-5に示すとおりとした。

表 4-5 試験実施メカニカルスナップ員数

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 試験要領及び試験計画（図 3-1 検討手順の②，③）

4.2.1 試験装置

耐震機能限界試験は、メカニカルスナッパ本体に正弦波または地震波を入力して、その耐力を把握する。これらの試験を実施するため、試験設備として加振機（アクチュエータ）、反力受け架台、嵩上げ台及び支持受け架台が必要になる。試験装置の鳥瞰図を図 4-9 及び図 4-10 に示す。

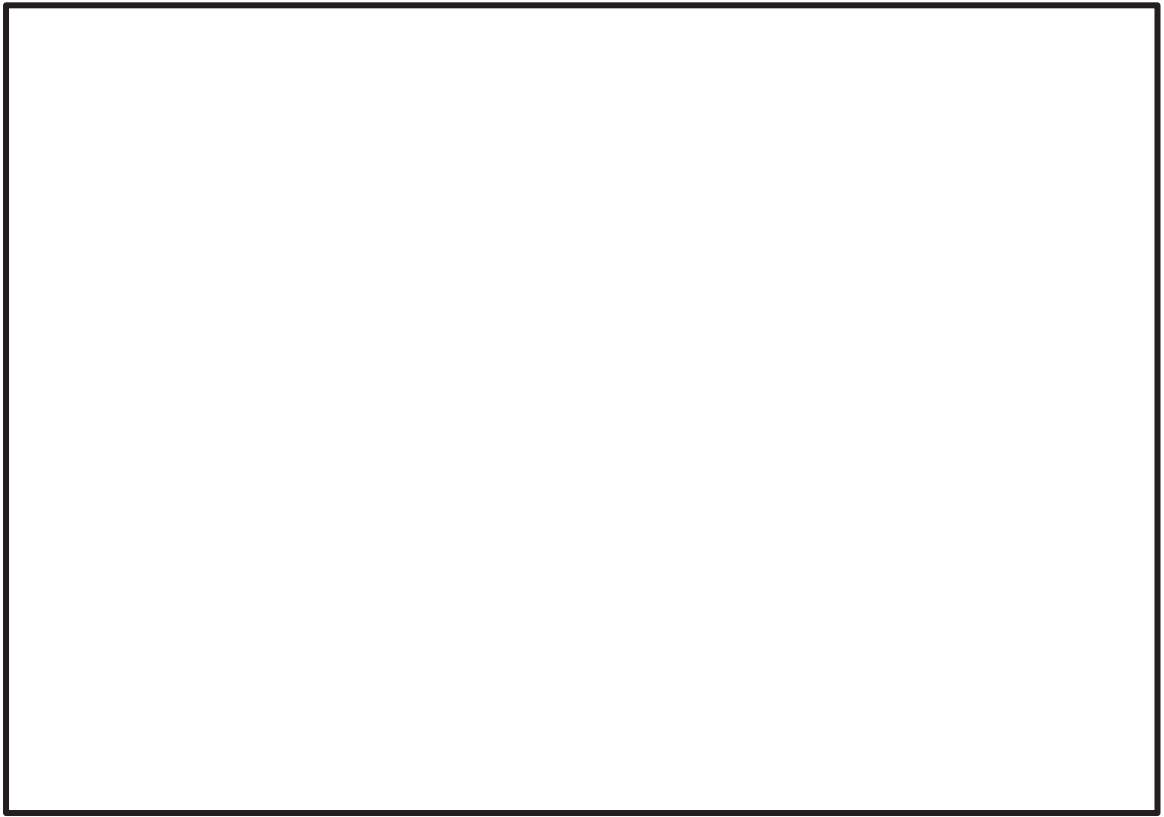


図 4-9 試験装置鳥瞰図（30kN メカニカルスナッパ加振用）

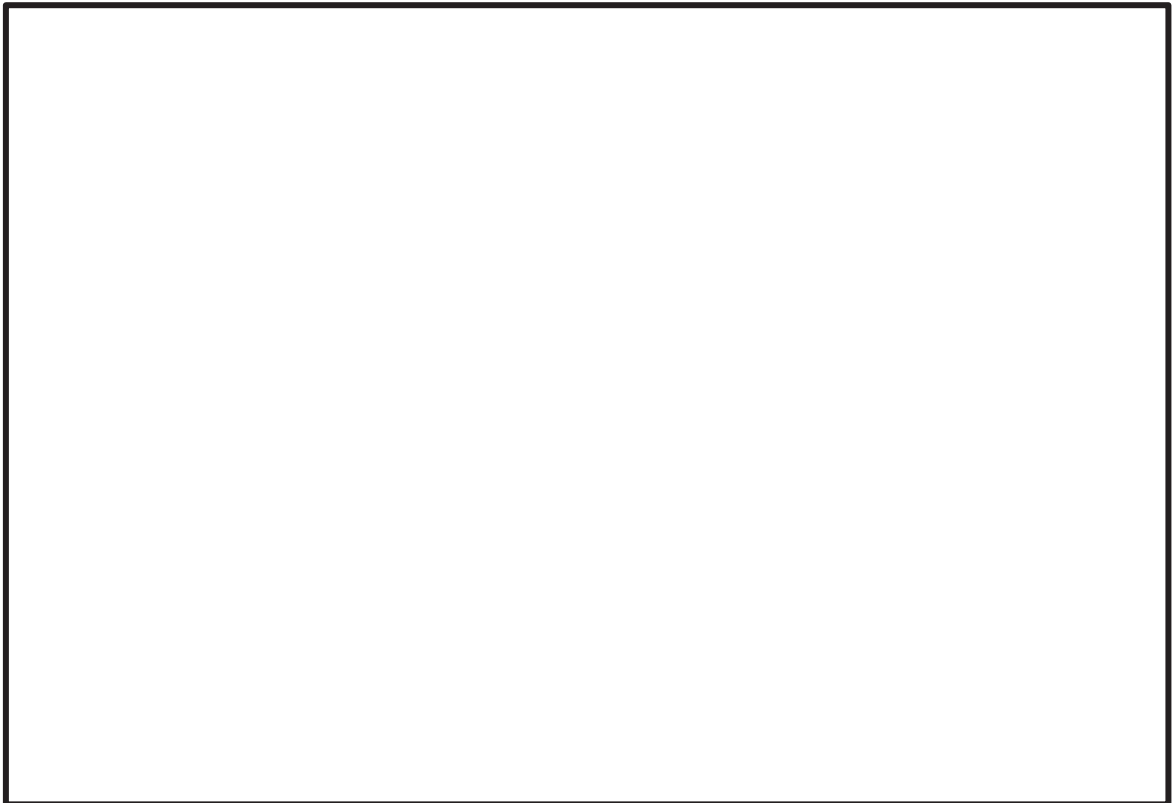


図 4-10 試験装置鳥瞰図（3kN メカニカルスナッパ加振用）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.2 正弦波振動応答試験

(1) メカニカルスナッパにおける加振振動数及び加振時間の検討

既往研究「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その 5（支持構造物）に係る報告書」のうち、Ⅲ．スナッパの既往文献調査 No.6 には試験要領の記載がある。ここでは、試験は 9Hz の正弦波で加振するとしている。また、日本機械学会規格「JSME S 014-1999 原子力発電用動的機器の検証規格」でも、試験例として 9Hz としている。

一方、同じ既往文献調査 No.5 のメーカ文献において、メカニカルスナッパの動剛性の加振振動数特性について記載がある。各メカニカルスナッパの動剛性の加振振動数特性の例を図 4-11 及び図 4-12 に示す。図に示すとおり、メカニカルスナッパの動剛性は振動数に依存し、約 5Hz までは振動数とともに線形的に増加する。また、5Hz 近傍で動剛性はピークとなり、それ以上の振動数では動剛性は減少するが、ある振動数から（SMS 型で約 10Hz、NMB 型で約 7～10Hz）動剛性は加振振動数には依存せず一定となる。

耐震機能限界試験を実施するにあたり、加振時の負荷荷重は構造部材・機能部品裕度調査の結果から定格容量の数倍まで加振する必要がある。試験体の最大容量である 250kN タイプの目標加振荷重は 675kN であり、余裕を考慮して 1,000kN 程度までの載荷能力を考慮すべきである。一般に加振荷重が大きくなるにつれて高い振動数での加振は困難となるが、加振機の性能上の理由から 9Hz での加振は困難であるため、4～5Hz の加振を目標とする。

さらに、同じ加振変位に対してより大きな荷重を負荷できるよう、できる限りスナッパの動的剛性の高い状態で加振することが望ましい。

以上のことを踏まえて、加振振動数は最も高い動的剛性（動ばね定数）となる 5Hz とする。

加振時間は、「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 5（支持構造物）に係る報告書」のうち、Ⅲ．スナッパの既往文献調査 No.6 におけるスナッパの耐力を確認した試験では約 12 秒間（正弦波 9Hz×100 回）であった。しかし、後述する地震波加振における中越沖地震観測波に基づく試験入力地震波の検討において、波形が顕著に表れている時間が約 20 秒間であることを考慮して、加振時間は 20 秒とする。

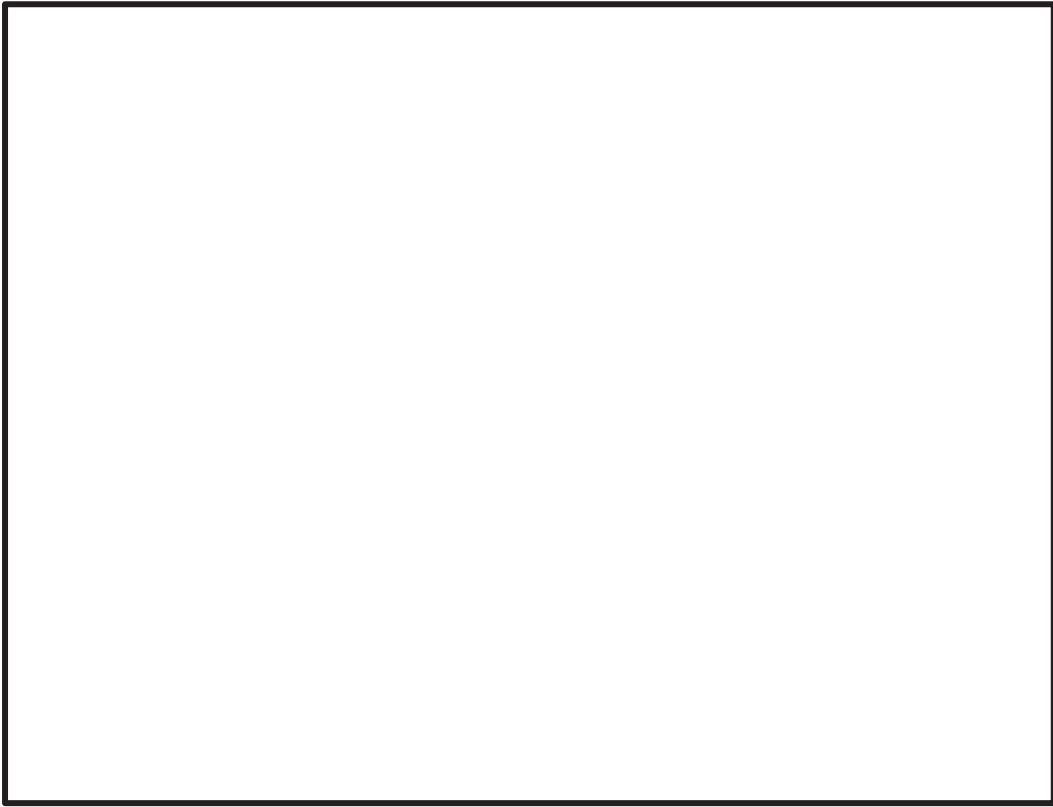


図 4-11 メカニカルスナップの動ばね定数の振動数特性 (SMS-06)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

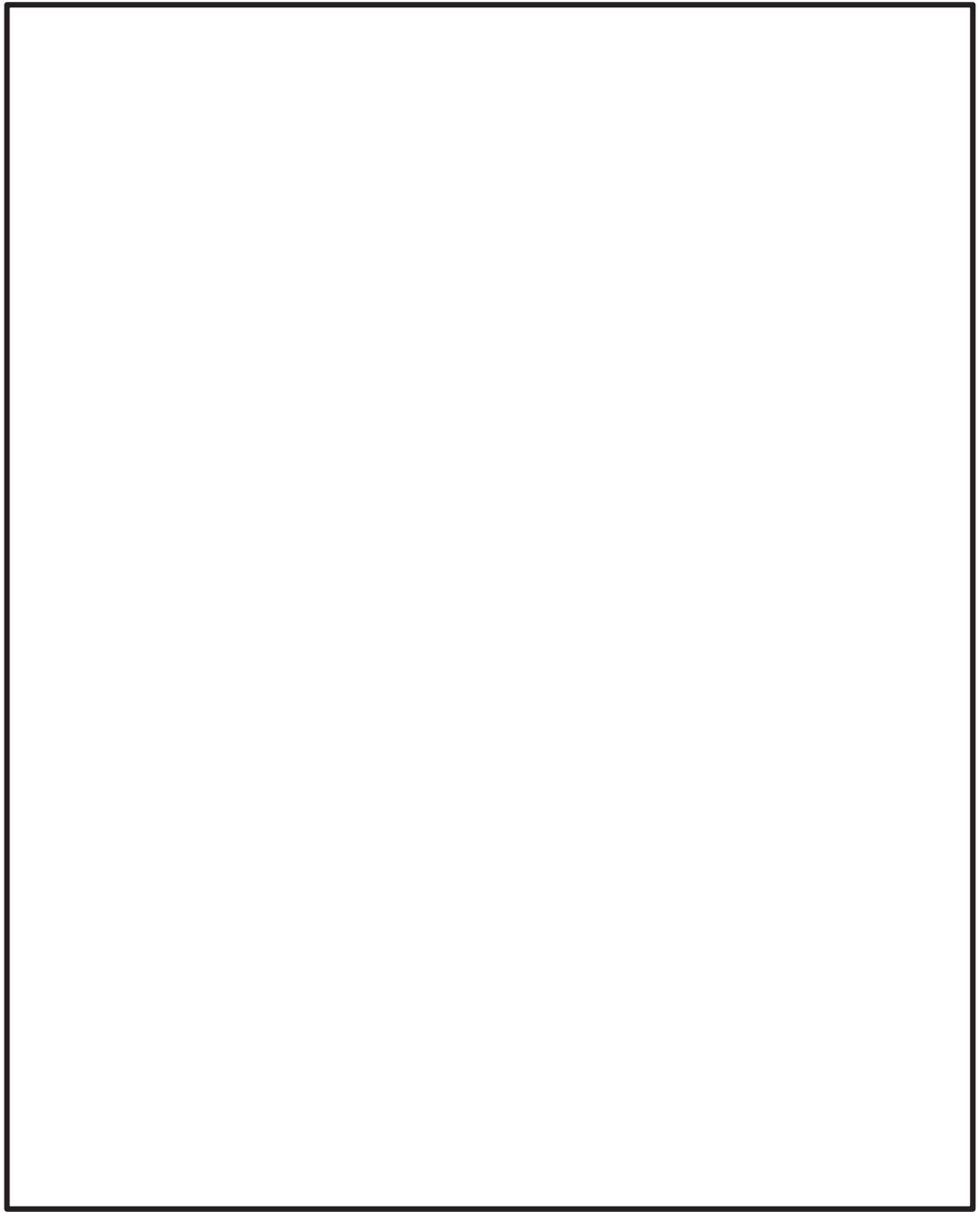


図 4-12 メカニカルスナップの動ばね定数の振動数特性 (NMB 型の定格荷重時)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 地震波振動応答試験

地震波加振のケースでは，地震波の違いによる影響を把握するため，下記に示す2つの入力地震波に対して試験を行う。

- ・ 模擬地震波
- ・ 自然観測波

模擬地震波については，既往の振動応答試験で一般的に用いられている改良標準化（昭和55～61年度に実施された「耐震設計の標準化に関する調査報告書（軽水炉改良標準化耐震設計小委員会）」）に基づく試験用模擬地震波の検討を行う。改良標準化における検討内容調査を踏まえ，建屋モデル・地盤条件等をパラメータとした原子炉建屋の地震応答解析を実施する。この原子炉建屋の地震応答解析結果から，代表的な配管系設置位置（基礎マット上端及び主蒸気配管トンネル室レベル）における応答評価を行い，配管系の固有周期約0.2秒以下における応答変位及び等価繰り返し回数の比較検討を行った。その結果，複数の地震波を模擬地震波に基づく試験用入力地震波として選定した。

自然観測波については，新潟県中越沖地震観測波に基づく試験用自然観測波の検討を行う。新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所1号から7号機で観測された原子炉建屋の観測波について，最大加速度，応答スペクトル及び等価繰り返し回数について比較検討を行った。その結果，複数の地震波を自然観測波に基づく試験用入力地震波として選定した。

試験用入力地震波の策定方法の手順を図4-13に示す。

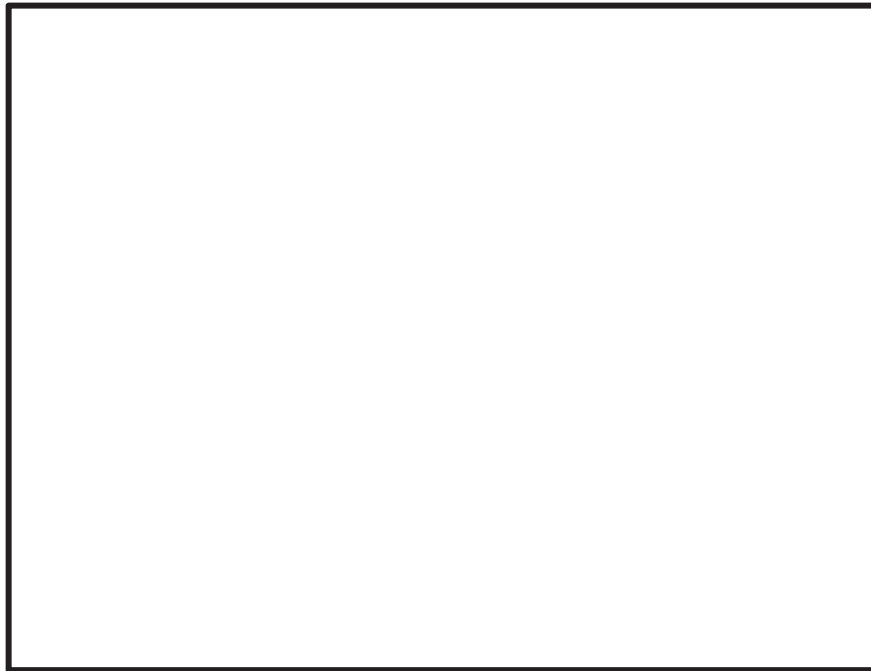


図4-13 試験用入力地震波の策定方法の手順

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.4 計測項目及び計測方法

測定項目としては、加振機（アクチュエータ）で負荷したメカニカルスナッパ反力及び変位、低速走行時の抵抗力とする。メカニカルスナッパ反力及び低速走行時の抵抗力は、それぞれのロードセルから動ひずみ計を介して計測用のパソコンに取り込む。メカニカルスナッパ変位は、固定端間計測用と摺動部計測用の3箇所計測し、動ひずみ計を介してパソコンに取り込む。

収録した各データの出力様式としては、メカニカルスナッパ反力と変位の時刻歴波形、メカニカルスナッパ変位と反力の関係を示したリサージュ波形、荷重曲線（抵抗力）と摺動部変位とする。また、各負荷後、目視による外観検査も行うものとする。

上記測定項目を考慮した計測システム図を図4-14に示す。

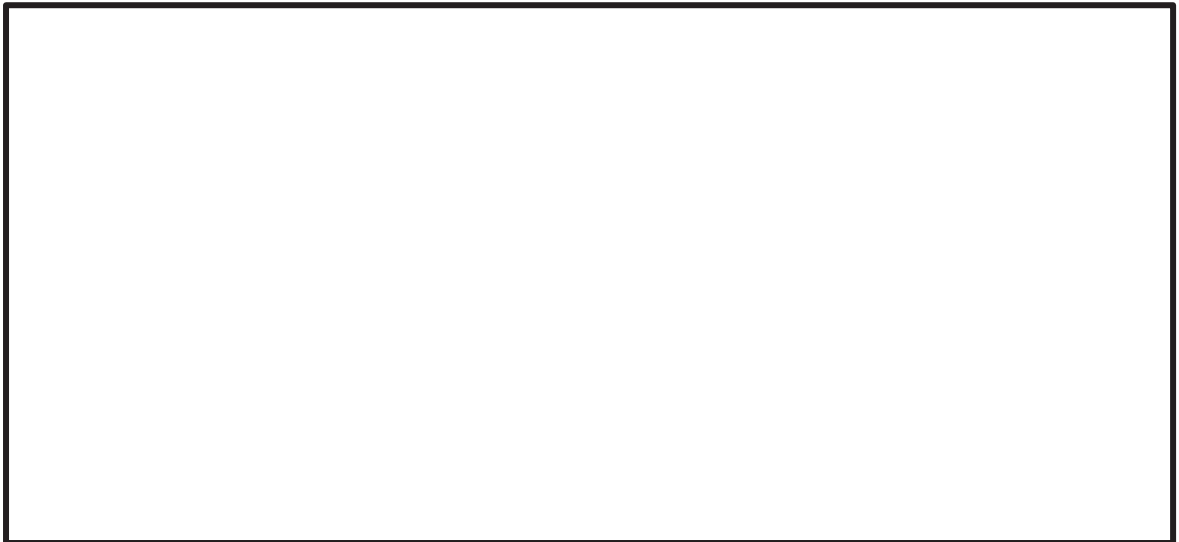


図 4-14 耐震機能限界試験の計測システム図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.5 判定項目

4.1.2 項の損傷モードの検討において、想定された現象は以下のとおりである。

- ・必要反力支持不能（必要動剛性確保不能）
- ・低速走行時抵抗力増大

上記を踏まえ、耐震機能限界試験で以下の項目を満足しない場合、損傷と判定する。

(1) 振動応答試験中の動剛性（動ばね定数）が判定値を下回った場合

加振時の動剛性が判定値を満足しなかった場合、もしくは外観上で割れ、き裂、曲がり等の異常が確認された場合、損傷と判定する。これらの数値はスナッパメーカーの製品出荷時の判定値と同じである。動剛性は、振動応答試験時のリサージュ波形により算出する。振動応答試験中の動剛性の判定値を表 4-6 に示す。

(2) 加振後の低速走行試験において、抵抗力が判定値を下回った場合

低速走行試験中の抵抗力の判定値を表 4-7 に示す。これらの数値はスナッパメーカーの製品出荷時の判定値と同じである。低速走行試験は地震後の作動と性能（自重、熱膨張による移動を拘束しないこと）を確認するための試験であり地震時の支持機能とは別の機能であるため、判定値を満足しない場合であっても、動剛性及び外観検査上で異常が確認されない場合は、振動応答試験を継続するものとする。

表 4-6 振動応答試験中の動剛性（動ばね定数）判定値

型式	定格容量			
	3kN	30kN	100kN	250kN

表 4-7 低速走行試験中の抵抗力の判定値

型式	定格容量			
	3kN	30kN	100kN	250kN

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.6 試験マトリックス

(1) 正弦波振動応答試験

メカニカルスナッパが損傷に至った時点の負荷荷重を把握するため、構造部材・機能部品裕度調査における1次応力制限による限界荷重を目安に、メカニカルスナッパが損傷するまで段階的に荷重を増加していく。各型式における定格容量別の加振ケースは、以下に示す検討方針に従って設定した。

[加振ケースの検討方針]

- ・第1回目の加振荷重は、メーカー保証値である「定格容量の1.5倍」とする。
- ・メーカー保証値から1次応力制限による想定限界荷重までに余裕がある場合は、加振荷重の間隔を粗く設定する。
- ・想定限界荷重近傍は、荷重間隔を細かく設定する。
- ・各型式における定格容量ごとで想定限界荷重に近いものは、荷重間隔を統一する。
- ・設定した加振ケース内で損傷が確認されない場合は、損傷が確認されるまで加振ケースを追加していくものとし、その荷重間隔は1回前と2回前のケースの間隔と同様とする。

各型式における定格容量ごとの加振ケースをまとめた試験マトリックスを表4-8に示す。

表 4-8 正弦波振動応答試験マトリックス (単位: kN)

--

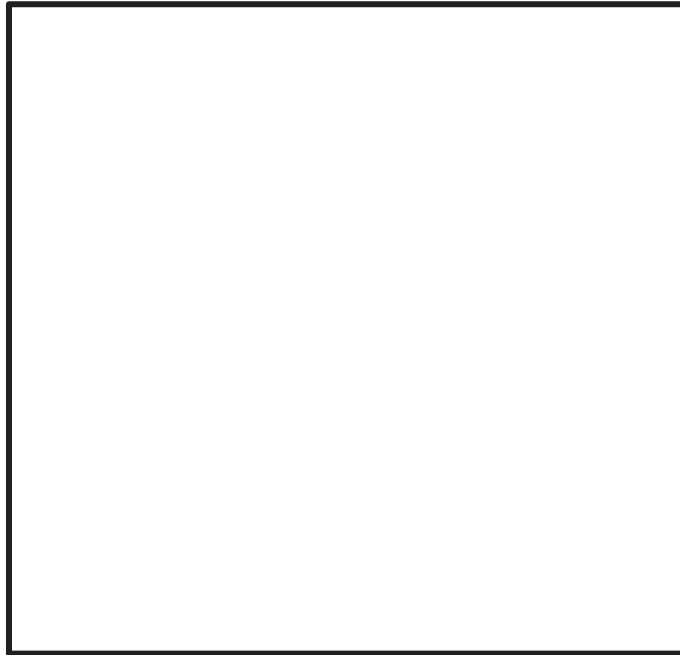
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2) 地震波振動応答試験

ランダム波加振と一定振幅波加振（正弦波加振）の耐力（損傷荷重）を比較するため、地震波加振を実施する SMS 型メカニカルスナッパ（定格容量 100kN のみ）の試験マトリックスは、表 4-8 の正弦波と同様とする。

地震波振動応答試験の加振ケースをまとめた試験マトリックスを表 4-9 に示す。この表中の荷重は、地震波加振時の最大荷重とする。

表 4-9 地震波振動応答試験マトリックス



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 試験内容（図 3-1 検討手順の④）

4.3.1 試験項目

4.2 項で検討した試験要領及び試験計画にしたがって、以下の試験を実施した。

(1) 振動応答試験

① 正弦波加振

- ・ピンの向き変更による動剛性確認（各型式定格容量 100kN 代表 1 体のみ）
- ・損傷確認および動剛性確認
- ・温度測定（各型式定格容量 100kN 代表 1 体のみ）

② 地震波加振

a. 模擬地震波

- ・損傷確認および動剛性確認

b. 自然観測地震波

- ・損傷確認および動剛性確認

(2) 低速走行試験

振動応答試験実施後における低速走行時抵抗力の確認

(3) 打振試験

耐震機能限界試験前の準備作業として、固有振動数測定による加振振動数との共振性確認

- ・アクチュエータ
- ・反力受け架台
- ・メカニカルスナッパ本体（各型式定格容量 100kN のみ）

(4) 外観検査

振動応答試験および低速走行試験実施後のスナバ外観検査

(5) 損傷スナバの調査

損傷が確認されたスナッパの分解調査

4.3.2 試験体

4.1 項で選定した SMS 型及び NMB 型のメカニカルスナッパを対象として耐震機能限界試験を実施した。各型式の試験体仕様を表 4-10 に示す。

表 4-10 試験体仕様

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3.3 加振条件

(1) 正弦波加振

4.2 項の検討結果に基づき、加振機性能およびメカニカルスナッパの動剛性から 5Hz とする。また、加振時間は制御変位波形の安定後 20 秒間とする。

(2) 地震波加振

実機の配管系に設置されるメカニカルスナッパは、地震発生時における配管系の振動応答により配管反力として荷重を受けるため、代表モデルによる時刻歴応答解析によって得られる配管反力の時刻歴波形を振動応答試験時の加振条件とする。時刻歴解析に用いる解析モデルは、代表的なモデルとして、NUPEC 既往研究において配管系の振動試験を実施した配管系モデル（代表的な 110 万 kW クラス BWR の格納容器内給水系配管）を使用する。

a. 模擬地震波の加振条件

配管解析により最大反力が発生しているメカニカルスナッパの時刻歴波形を加振条件とする。模擬地震波による加振条件とする時刻歴波形を図 4-15 に示す。



図 4-15 振動応答試験に用いる時刻歴波形（模擬地震波）

b. 自然観測波の加振条件

配管解析により最大反力が発生しているメカニカルスナップの時刻歴波形を加振条件とする。自然観測波による加振条件とする時刻歴波形を図 4-16 に示す。



図 4-16 振動応答試験に用いる時刻歴波形（自然観測波）

(3) 打振試験

耐震機能限界試験開始前の準備作業として、打振試験により加振機、反力受け架台およびスナップの固有振動数を測定し、正弦波加振時の振動数との共振特性確認を行った。

結果として、加振機、反力受け架台およびスナップの固有振動数は、正弦波加振時の振動数と共振しない領域であること確認した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 試験結果（図 3-1 検討手順の⑤）

4.4.1 型式ごとの試験結果

各試験体の確認耐力取得時における振動応答試験時の荷重波形を添付-2 に示す。

(1) 正弦波加振

①ピンの向き変更による動剛性確認

SMS 型の定格容量 100kN において，加振機側と固定側のピンの向き変更による動剛性の比較結果を表 4-11 に示す。定格容量の負荷荷重を目標とした振動応答試験では，ピンの向き変更前後の平均動剛性（動ばね定数）はほぼ同値であり，メカニカルスナッパの動剛性に差異が生じていないことを確認した。

表 4-11 ピンの向きによる動剛性の比較結果

--

②耐震機能限界試験結果

耐震機能限界試験結果を表 4-12 及び表 4-13 に示す。ここで確認耐力（耐力確認荷重）とは，損傷が確認されなかった加振ケースのうちの最大の負荷荷重で，試験時に確認された耐力のことをいう。また，各試験体の確認耐力を定格容量で割ったものを確認耐力比という。確認耐力は引張側と圧縮側のそれぞれを読み取るものとする。また，備考欄に想定破壊荷重，既往研究（INVESTIGATION ON ULTIMATE STRENGTH EVALUATION OF SNUBBER IN SYSTEM OF JAPANESE PP (SMiRT 19, Toronto, August 2007)）破壊荷重，動ばね定数判定値，低速走行時抵抗力判定値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-12 SMS 型メカニカルスナツバ 耐震機能限界試験結果まとめ表

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-13 NMB 型メカニカルスナツバ 耐震機能限界試験結果まとめ表

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. SMS 型

【試験体 No. SMS-003-01, SMS-030-02】

・損傷状況

平均動剛性および低速走行時抵抗力は表 4-9 の備考欄に示す判定値を満足しており、外観上の損傷も確認できなかったが、振動応答試験時の負荷荷重の波形が安定しなかったことから試験を打ち切った。メカニカルスナッパの作動原理等の製品上の特性により荷重が安定しなかったものと判断した。

なお、試験体 No. SMS-003-01 については、安定した負荷荷重が検出されなかったことから、フライホイールの質量慣性力が働きやすいように加振振動数を 9Hz に変更して実施した。

・損傷荷重

振動応答試験時の負荷荷重波形が安定せず試験を打ち切ったため、損傷荷重を確認していない。

・確認耐力

振動応答試験時の負荷荷重波形が安定せず試験を打ち切ったが、最終加振ケースで損傷に至っていないことから、確認耐力は最終加振ケースで検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・低速走行時抵抗力

試験体 No. SMS-003-01 は判定値を満足する結果となった。

試験体 No. SMS-030-02 における低速走行時の抵抗力は、損傷前と損傷後で判定値を満足していないが、判定値は延長パイプが無い状態でのものであり、今回の試験体は最大ピン間長さとなっているため、延長パイプの自重によるたわみ量が増加したことにより、摺動部の摩擦力が増加し抵抗力が判定値を満足しなかったと判断する。メカニカルスナッパは配管の熱膨張による移動に追従する機能を有するが、完全固着するまでは配管系に与える影響は軽微であるとの判断により損傷扱いとしないこととした。

【試験体 No. SMS-100-03, SMS-100-04, SMS-100-05】

・損傷状況

製品上のばらつき程度を確認するため、試験体 3 体の試験を実施した。

外観検査で損傷は確認されていないが、振動応答試験時の負荷荷重波形の乱れ、動剛性の低下、及び低速走行試験時の抵抗力増大が確認されたため、損傷と判定した。

なお、試験体 No. SMS-100-03 の振動応答試験については、データ収録装置の操作ミスにより損傷時のデータ未収録であり、負荷荷重波形および動剛性の確認ができなかった。

- ・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、試験体 No. SMS-100-04 と SMS-100-05 の損傷と判定した加振ケースとその前の加振ケースの負荷荷重波形において、引張側の荷重低下が確認されたため、損傷前の最大引張荷重および損傷前後の加振機制御変位より損傷荷重を推定した。

試験体 No. SMS-100-03 については、データ収録装置の操作ミスにより損傷時のデータ未収録であるが、同様に損傷前の負荷荷重および損傷前後の加振機制御変位より損傷荷重を推定した。

同一仕様の試験体の耐力のばらつきとしては、20kN 程度であることを確認した。

- ・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

同一仕様の試験体の耐力のばらつきとしては、20kN 未満であることを確認した。

- ・ 低速走行時抵抗力

試験体 No. SMS-100-03 と試験体 No. SMS-100-05 は、固定側ロードセルの検出限界に到達し、どの荷重レベルまでの固着なのか推定できないため、保守的に直前の加振荷重に対して損傷と判定した。

試験体 No. SMS-100-04 は、判定値を満足していないが、配管に与える影響は軽微であるとの判断により損傷扱いしないこととした。

- ・ 温度測定

試験体 No. SMS-100-03 を代表として実施した振動応答試験中におけるメカニカルスナッパ摺動部の温度測定において、温度変化が生じていないことを確認した。

【試験体 No. SMS-250-08】

- ・ 損傷状況

外観検査で損傷は確認されていないが、振動応答試験時の負荷荷重波形の乱れおよび低速走行試験時の抵抗力増大が確認されたため、損傷と判定した。

- ・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、損傷と判定した加振ケースとその前の加振ケースの負荷荷重波形において、引張側の荷重低下が確認されたため、損傷前の最大引張荷重および損傷前後の加振機制御変位より損傷荷重を判断した。

- ・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

- ・ 低速走行時抵抗力

固定側ロードセルの検出限界に到達し、どの荷重レベルまでの固着なのか判断で

きないため、保守的に直前の加振荷重に対して損傷と判定した。

b. NMB 型

【試験体 No. NMB-003-01】

・ 損傷状況

振動応答試験時のエンドプラグ側と延長パイプ側のピン折損による負荷荷重波形の乱れが確認されたため、損傷と判定した。

・ 損傷荷重

損傷荷重は、ピンの折損が引張荷重と圧縮荷重のどちらでも起こる可能性があることから、保守的に荷重が小さい最大引張荷重とした。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

低速走行時の抵抗力は判定値を満足する結果となった。

【試験体 No. NMB-030-02】

・ 損傷状況

試験実施上の不具合により各構成部品が損傷し継続不可となったため、試験を打ち切った。

・ 損傷荷重

損傷荷重は、加振ケースの目標荷重を大幅に超えた加振となったため、確認できなかった。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

損傷前の低速走行時の抵抗力で判定値を満足していないが、延長パイプの自重による摺動部の摩擦力の増加による影響と考えられる。配管系に与える影響は軽微であるとの判断により損傷扱いとしないこととした。

なお、損傷後の低速走行試験は、試験実施上の不具合によりメカニカルスナッパが損傷したため、実施できなかった。

【試験体 No. NMB-100-03】

・ 損傷状況

外観検査で損傷は確認されていないが、振動応答試験時の負荷荷重波形の乱れが確認されたため、損傷と判定した。

・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、振動応答試験時の負荷荷重波形において、圧縮側の荷重低下が確認されたため、最大圧縮荷重とした。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケースにおいて、圧縮側の荷重低下が確認されるまで引張側の荷重に対してメカニカルスナッパは健全であったと判断し、引張側の確認耐力を最終加振ケースから読み取るものとした。圧縮側の確認耐力は、最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

低速走行時の抵抗力は判定値を満足していないが、配管に与える影響は軽微であるとの判断により損傷扱いしないこととした。

・ 温度測定

振動応答試験中におけるメカニカルスナッパ摺動部の温度測定において、温度変化が生じていないことを確認した。

【試験体 No. NMB-250-04】

・ 損傷状況

外観検査で損傷は確認されていないが、振動応答試験時の負荷荷重波形の乱れ、動剛性の低下、および低速走行試験時の抵抗力増大が確認されたため、損傷と判定した。

・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、振動応答試験時の負荷荷重波形において、引張側の荷重低下が確認されたため、最大引張荷重とした。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した最終加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

固定側ロードセルの検出限界に到達し、どの荷重レベルまでの固着なのか判断できないため、保守的に直前の加振荷重に対して損傷と判定した。

(2) 地震波加振

① 模擬地震波

【試験体 No. SMS-100-06】

・ 損傷状況

外観検査で損傷は確認されていないが、最大引張荷重および最大圧縮荷重の低下が確認され、その後の加振において、負荷荷重波形の乱れが確認されたため、荷重低下の時点で損傷したものと判定した。

・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、損傷と判定した加振ケースとその前の加振ケースの負荷荷重波形において、引張側および圧縮側の荷重低下が確認されたため、損傷前の最大引張荷重と最大圧縮荷重の小さい方および損傷前後の加振機制御変位より損傷荷重を推定した。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

低速走行時の抵抗力は判定値を満足する結果となった。

② 自然観測波

【試験体 No. SMS-100-07】

・ 損傷状況

外観検査で損傷は確認されていないが、負荷荷重波形の乱れが確認されたため、損傷と判定した。

・ 損傷荷重

損傷確認時の荷重は、損傷と判定した加振ケースとその前の加振ケースの負荷荷重波形において、圧縮側の荷重低下が確認されたため、損傷前の最大圧縮荷重および損傷前後の加振機制御変位より損傷荷重を推定した。

・ 確認耐力

確認耐力は、損傷と判定した加振ケース前の振動応答試験で検出された最大引張荷重と最大圧縮荷重を読み取った。

・ 低速走行時抵抗力

損傷前の低速走行時の抵抗力で判定値を満足していないが、延長パイプの自重による摺動部の摩擦力の増加による影響と考えられる。配管系与える影響は軽微であるとの判断により損傷扱いとしないこととした。

4.4.2 試験データの分析

(1) 確認耐力（耐力確認荷重）

損傷（機能喪失）が確認された当該加振ケース以前の加振ケースで、引張側または圧縮側の荷重のうち大きい方の荷重を確認耐力（耐力確認荷重）とした。この荷重は、加振機制御用変位が安定後の荷重を読み取った。

(2) 損傷荷重（機能喪失荷重）

曲がり、伸び等の損傷により荷重波形に異常が確認された場合は、荷重波形上で異常が確認された直前の引張側と圧縮側のうち、荷重が大きい方を損傷荷重とした。実際には、試験後の外観点検または分解点検にて損傷が確認された部位の損傷モードにより引張側か圧縮側を選択する必要がある。（例えば、座屈による曲がりであれば圧縮側の荷重を選択）

平均動ばね定数または低速走行時抵抗力が判定値を満足しない、すなわちメカニカルスナップの機能を喪失した場合は、制御変位波形で入力変位安定後の引張側または圧縮側の最大荷重を損傷荷重とした。

また、損傷が確認された当該加振ケースにおける検出荷重が至近加振ケースでの検出荷重を下回った場合は、構成部品の損傷程度の進行やガタツキの増加により動剛性が低下したことが考えられるため、最大荷重が検出された至近加振ケースと当該加振ケースの試験結果により損傷荷重を推定することとした。具体的には、当該加振ケースの加振機目標変位と至近加振ケースにおける加振機目標変位の比に至近加振ケースの最大荷重を乗じる。算出式は以下のとおりである。

$$\text{損傷荷重(kN)} = \frac{\text{当該加振ケース加振機目標変位(mm)}}{\text{至近加振ケース加振機目標変位(mm)}} \times \text{至近加振ケース最大荷重(kN)}$$

(3) 地震波加振でのメカニカルスナップの動剛性

スナップメーカー出荷前に行っている通常の振動試験は、平均動ばね定数を算出することにより定格容量の荷重を受けても通常の動剛性を確保していることを確認するために行っている。定格容量の荷重で行っている理由は、メカニカルスナップにはロストモーションがあり、定格容量以下であると入力変位が小さくなり、加振しても荷重が立たず平均動ばね定数が判定値を満足しないからである。

今回の試験に用いた地震波のように引張側または圧縮側にロストモーションの影響を受けやすい変位が混在している場合、ヒステリシスカーブを描くことは可能であるが、最大荷重での動剛性を確認する目的から外れることになる。

本試験は、スナップにおける耐震機能限界（耐力）を確認することを目的とし

て実施しているものであり、従来の正弦波加振で行っている振動試験と同様に、定格容量または定格容量以上の荷重により動剛性を確認すべきである。

したがって、地震波加振での動剛性確認は、引張側と圧縮側のそれぞれの最大荷重と最大荷重発生時の変位を用いて、平均動ばね定数を算出することとした。

(4) 低速走行試験時抵抗力に対する判定

低速走行時の抵抗力を確認する目的は、地震発生後のプラント停止時における配管内部流体の温度変化による配管系の熱移動に対して、メカニカルスナッパがスティックすることなく追従可能であることを確認するためである。

そこで、プラント停止に向けて配管系が比較的温度が高い状態から低い状態に移行する配管系の熱収縮時において、メカニカルスナッパの低速走行時の抵抗力が配管系に与える影響を確認するため、地震波加振の検討に用いた配管系モデルで最大反力発生スナッパ (F-1-5N) の抵抗値を変化させて熱応力解析を行った。その結果、スナッパが完全にスティックした状態においても配管系の発生する熱応力に大きな変化がなく、配管系に与える影響は小さいことを確認した。

以上のことから、低速走行試験時の抵抗力に対する判定は参考扱いとした。ただし、抵抗力がロードセルの検出限界に達した場合は、どのレベルまでの抵抗力か不明であること、および配管に与える影響度合いがメカニカルスナッパの設置されている配管によって異なることから、保守的に損傷と判定することとした。

(5) SMS 型メカニカルスナッパで荷重が安定しない理由

SMS 型メカニカルスナッパは、回転体（ブレーキドラム、内輪）の慣性抵抗力によって地震時の変位を拘束するものである。また、低振動数域でも拘束力を発揮可能なよう、ブレーキ効果を持つ機構が具備されている。定格容量の荷重領域では、回転体の慣性力により抵抗力が発生するよう設計されている。

今回の試験データを分析したところ、定格容量 30kN 以上の試験体では、荷重波形において、正常な波形と圧縮側に偏った波形が混在していることが分かった。これは、定格容量を超える過大荷重状態において、カラーおよびアンギュラー玉軸受の局部変形が起り、ブレーキ機構が作動しやすい状態になったと考えられる。圧縮側加振時にブレーキが作動した場合、局部変形により圧縮時の回転体の動きが減少し、圧縮側と引張側の荷重バランスが崩れたものと推定される。また、ブレーキの摩擦力が回転体の回転に対して抵抗となるため、加振時の回転量が抑制され、圧縮側の荷重が増加する。一方、引張側作動時には、ブレーキドラムが密着した状態から反転するため、反転直後は内輪だけが回転し反力を発生することになり、引張側の荷重が相対的に小さくなると考えられる。

定格容量 3kN の試験体において、既往研究（INVESTIGATION ON ULTIMATE STRENGTH EVALUATION OF SNUBBER IN SYSTEM OF JAPANESE NPP (SMIRT 19, Toronto, August 2007)）では定格容量の 9 倍まで加振できていたものが、今回の試験では定格容量の 3 倍程度の加振で荷重が不安定となった理由は、双方の試験体における製品仕様の変更に基づくグリース塗布量の違いにあることが分かった。既往研究の試験体（2002 年以前）では摺動部以外にも防錆のため、グリースを多めに塗布していたが、今回の試験体（2002 年以後）では摺動部のみに適量のグリースを塗布している。

既往研究では、グリースを多めに塗布していたため、ブレーキドラムとブレーキシューの潤滑性が良くなり、引張荷重作用時にも回転体の回転量を抑制することなく、安定した荷重が得られ、定格容量の 9 倍まで加振できたものと推定する。一方、今回の試験では、定格容量の 3 倍程度の荷重により前述した局部変形によりブレーキが強く作動したため、荷重が不安定になったものと考えられる。

以上のことから、小容量のメカニカルスナッパについては、グリースが適量で塗布されているにも拘らず引張側と圧縮側で安定した荷重が得られていないため、メカニカルスナッパの特性から損傷として取り扱うこととした。

(6) NMB 型メカニカルスナッパ定格容量 100kN の引張側確認耐力について

本試験体は、定格容量を目標荷重とする振動応答試験にて引張側で 106.9kN、圧縮側で 181.5kN の負荷荷重が検出された。想定破壊荷重が 201.0kN であったため、次の振動応答試験では圧縮側の負荷荷重が 200.0kN となるよう目標を定め試験を実施したが、引張側で 116.7kN、圧縮側で 217.1kN の負荷荷重が検出され、圧縮荷重の影響と思われる荷重波形の乱れが確認されたため、損傷と判定した。その結果、試験時の確認耐力は、引張側で 106.9kN、圧縮側で 181.5kN となり、引張側では定格容量の 1.5 倍に達する前に損傷に至った。

引張側と圧縮側の荷重比を確認したところ、スナッパメーカーにて実施した出荷前試験において、圧縮側の荷重が引張側の 1.4 倍になっていることを確認した。今回の試験においても同様に圧縮側の荷重が高い傾向であった。

引張側と圧縮側の荷重比が異なる理由としては、それぞれの状態下における荷重伝達経路および荷重を受ける部材の断面性能の違いにより、ばね剛性が異なることが要因として考えられる。

メカニカルスナッパの構造部材は、各応力に対して弾性範囲内で設計されており、定格容量の 1.5 倍までの荷重に対する構造健全性の保証がスナッパメーカーでされている。また、強度計算上で用いている許容応力（降伏点または引張強さ）は規格値を使用しているため、耐力としてはミルシート記載値を使用した場合、裕度があることが考えられる。

一方、スナップメーカにおける社内調査の結果、定格容量（100kN）を目標とする振動数を変えた振動応答試験を以前実施していたことが判明した。その試験結果によれば、引張側と圧縮側の荷重比は 20Hz を境に逆転する結果となっており、25Hz の加振時に引張側 150kN の荷重が検出され、性能上問題ないことが確認されている。メーカ社内試験のうち供試体 2 体の試験結果を表 4-14 に示す。

表 4-14 スナップメーカ社内試験結果



引張側と圧縮側の荷重比については、振動数が 5～15Hz の場合、圧縮側が高い傾向になっているが、20Hz を超えると引張側が高くなることから、メカニカルスナップの性能が発揮される全ての振動数領域で圧縮側が高くなる傾向ではないことが分かった。

なお、振動数に応じて引張側と圧縮側の比率が逆転する事象については、以下に示す要因が考えられる。

①スナップ全体の剛性に関わる要因

- ・圧縮時、引張時の荷重伝達経路の違いにより、それぞれの静的ばね定数が異なることによる固有振動数の影響。

②ブレーキ機構に関わる要因

- ・加振振動数を変化させた場合の慣性質量（フライホイール）の挙動
- ・加振振動数を変化させた場合のディスクスプリングの挙動

以上のことから、メカニカルスナップの強度部材が弾性範囲内で設計されていること、及びスナップメーカの過去の社内試験データにて定格容量の 1.5 倍の負荷が掛かっても性能上問題が出ていないことが確認されており、この試験体についても引張側は定格容量の 1.5 倍以上の耐力があるものと推定される。

しかしながら、今回の試験結果では、引張側の確認耐力が定格容量の 1.5 倍以上あることは確認できなかった。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 損傷メカニカルスナッパの調査（図 3-1 検討手順の⑤）

耐震機能限界試験にて損傷（機能喪失）と判定した試験体について、スナッパメーカで分解調査を行った。

(1) SMS 型

試験体 No. SMS-003-01 は荷重不安定により試験を打ち切ったが、分解調査で各構成部品の損傷は確認されなかった。

試験体 No. SMS-030-02, 試験体 No. SMS-100-03, 04, 05, 07 及び試験体 No. SMS-250-08 では、分解調査でアンギュラー玉軸受の内輪割れが確認された。アンギュラー玉軸受部に割れた破片が混入したことで低速走行時の抵抗力が増加したものと考えられる。

試験体 No. SMS-100-06 は分解調査で各構成部品の損傷は確認されなかった。

(2) NMB 型

試験体 No. NMB-100-03 は、分解調査で各構成部品の損傷は確認されなかった。

試験体 No. NMB-250-04 は、分解調査でロードシリンダーの変形が確認された。このロードシリンダーの変形により摺動部の抵抗力が増加し、低速走行時の抵抗力が増加したものと考えられる。

その他の試験体については、分解調査で耐震機能限界試験時に確認された以外に損傷した部位は確認されなかった。

4.6 試験結果の評価（図 3-1 検討手順の⑥～⑧）

4.6.1 試験データの整理

耐震機能限界試験で得られたデータの整理を行った。

試験時確認耐力の整理（引張側／圧縮側）並びに損傷部位および損傷モードを整理した結果を表 4-15 及び表 4-16 に示す。

確認耐力は型式及び定格容量によって異なり、引張側は約 1.2 倍～約 9.2 倍（定格容量 3kN のものを除くと約 1.2 倍～約 3.6 倍）、圧縮側は約 1.7 倍～10.7 倍（定格容量 3kN のものを除くと約 1.7 倍～約 5.3 倍）と違いがある。引張側と圧縮側では動剛性の違いにより同じ変位であっても発生荷重が異なる。

表 4-15 耐震機能限界試験結果及び分解調査結果 (SMS 型)

--

表 4-16 耐震機能限界試験結果及び分解調査結果 (NMD 型)

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 地震波加振に関する評価

SMS 型の定格容量 100kN のメカニカルスナッパを対象として、地震波による耐震機能限界試験を行った。正弦波加振と地震波加振における定格容量に対する確認耐力比の比較を行い、耐力評価手法の検討で考慮すべき確認耐力を検討する。各型式における正弦波加振と地震波加振の確認耐力および定格容量に対する確認耐力比を表 4-17 に示す。

なお、本表に示す試験体はいずれも圧縮荷重により損傷に至ったため、損傷直前に確認された圧縮側の確認耐力に着目して比較を行った（表中太線枠内）。正弦波加振の確認耐力比中央値と地震波加振の確認耐力比（平均）の差は約 10% 前後であり、顕著な差は無いことを確認した。一般的に地震波より正弦波の方がピークを受ける回数が多く、地震波加振の方が耐力値は高くなると予測していたが、波形によって、損傷部位および損傷モードに変化は見られなかった。また、いずれの損傷モードも過大荷重によるものであり、ピーク荷重の大きさの影響が強く、波形の影響は表れなかったものと考えられる。

表 4-17 加振波種別ごとの確認耐力比較

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 耐力評価手法の検討で考慮する確認耐力

耐力評価手法の検討にあたっては、保守性を持たせるために引張側および圧縮側の確認耐力のそれぞれ最小値を用いて検討を進めた。

SMS 型の定格容量 100kN のメカニカルスナッパについては、表 4-17 の確認耐力比中央値欄に記載した正弦波と地震波における圧縮側の確認耐力比を比較し、正弦波か地震波のどちらか低い方を選択する。正弦波の確認耐力比が低い場合は、正弦波加振による試験体 3 体のうち、引張側および圧縮側のそれぞれ最小値を抽出する。地震波の確認耐力比が低い場合は、試験体 2 体のうち、引張側および圧縮側のそれぞれ最小値を抽出する。SMS 型の定格容量 100kN 以外及び NMB 型のメカニカルスナッパについては、試験時の確認耐力をそのまま用いた。

耐力評価手法の検討で考慮する確認耐力を表 4-18 及び表 4-19 に示す。

表 4-18 耐力評価手法の検討で考慮する確認耐力（SMS 型）

--

表 4-19 耐力評価手法の検討で考慮する確認耐力（NMB 型）

--

4.6.2 耐力評価手法の構築

試験を実施していないメカニカルスナップにも適用可能な耐力評価手法を構築するため、耐力評価手法を示し、耐震機能試験結果から評価に資するデータを整理する。

耐震機能限界試験は、荷重波形、波の振動数、環境温度など、ある範囲の試験条件で実施している。したがって、耐力評価手法を異なる環境条件のメカニカルスナップに用いる際には、その適用性を考慮することが必要になる。

(1) 耐力評価手法

メカニカルスナップが損傷する場合には、外力に対して最も裕度の小さい部品がまず損傷することで、機能や構造に影響が表れる。このため、メカニカルスナップの耐力を評価するには、最弱部となる部品を同定し、その耐力を推定することが必要である。

以上の評価手法の考え方を図 4-17 にフローとして示す。また、図 4-18 の試験結果整理フローに基づき、耐震機能限界試験のデータを整理する。

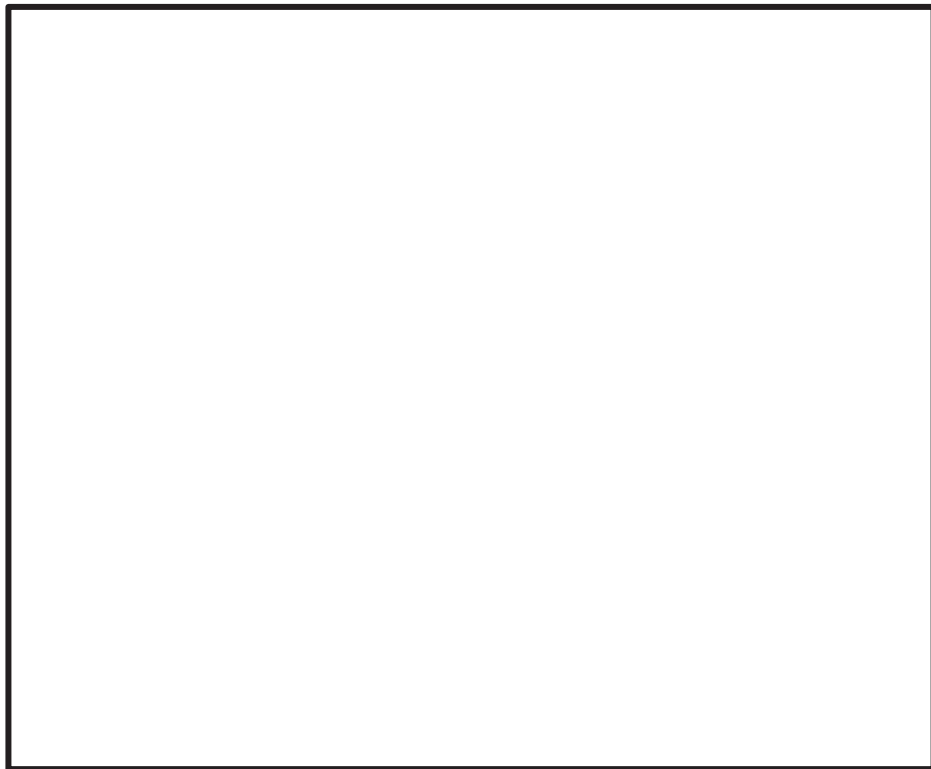


図 4-17 耐力評価手法フロー

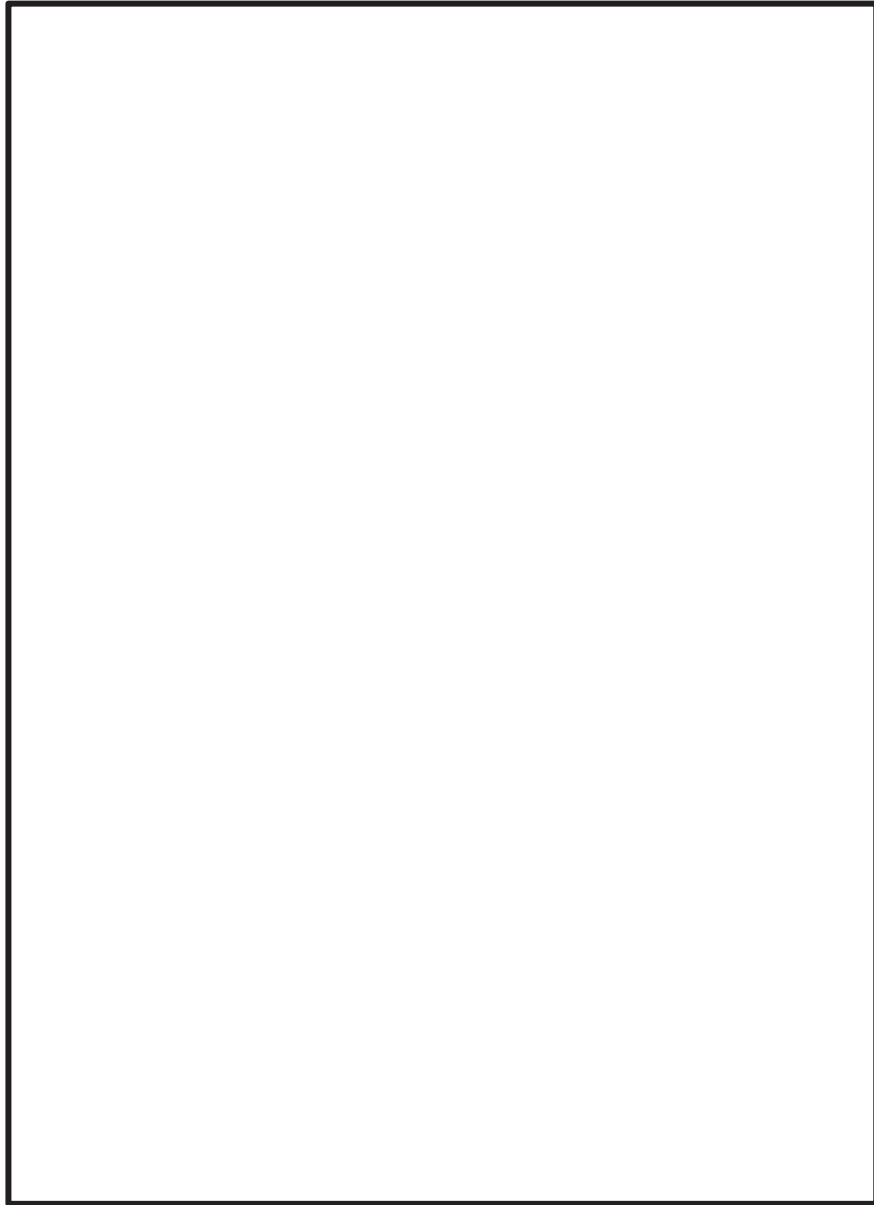


図 4-18 耐震機能限界試験結果の整理フロー
(図 4-17 ブロック E の詳細)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 試験結果と設計部品耐力の比較

部品ごとの実耐力予測係数を与えることを目的に、耐震機能限界試験から得た確認耐力と、設計時に計算された部品設計耐力を比較した結果は、次の3ケースに大別された。

ケース1：部品損傷の有無にかかわらず、確認耐力が部品設計耐力を上回った場合

ケース2：非損傷の部品で、確認耐力が部品設計耐力を下回った場合

ケース3：損傷した部品で、確認耐力が部品設計耐力を下回った場合

(3) 試験結果の考察と耐力値の検討

①SMS型メカニカルスナッパ

・損傷部品の耐力値

損傷個所の見られなかった試験体 No. SMS-003-01 及び SMS-100-06 を除くと、SMS 型の損傷部位は全てアンギュラー玉軸受であった。アンギュラー玉軸受には軸受メーカーの推奨荷重が設定されているが、これとは別に、スナッパメーカーは、定格容量の1.5倍の荷重に対する玉軸受の認定試験を行っており、定格容量の1.5倍に対してアンギュラー玉軸受の機能および構造に問題ないことを確認している。

確認耐力とスナッパメーカー認定荷重および軸受メーカー推奨荷重の比較結果を表4-20に示す。玉軸受は圧縮時に負荷を受けるため、確認耐力は圧縮側の値を示した。

表4-20 アンギュラー玉軸受の推奨荷重と確認耐力(圧縮)の比較

耐震機能限界試験の確認耐力は、スナッパメーカーの認定荷重(=定格容量×1.5)の1.8~3.1倍となった。また、確認耐力と軸受メーカーの推奨荷重の比は8.8~27.4となった。なお、試験体 No. SMS-003-1 では、軸受メーカー推奨荷重の8.8倍の荷重に対しても、アンギュラー玉軸受が破損していないことから、こ

の軸受の実耐力はさらに高い。損傷した軸受から、アンギュラー玉軸受の実耐力を予測すると、軸受メーカー推奨荷重の 5.5 倍以上であり、また、スナッパ定格容量の 1.5 倍よりも、さらに 1.8 倍以上高い。

・耐力値の予測手法

確認耐力/軸受メーカー推奨荷重の値は、損傷したスナッパでは容量に関らず 15～28 倍の範囲に収まっているため、アンギュラー玉軸受が損傷したスナッパの容量範囲では、容量に関らず実耐力予測係数として最小の値 15.5 を採用する。定格容量の適用範囲については、4.1.3 項で検討した区分において、アンギュラー玉軸受が損傷した 30kN, 100kN, 250kN が含まれる区分 2, 区分 3 及び区分 4 のメカニカルスナッパとする。

損傷部位が見られなかった 3kN のメカニカルスナッパの試験体は、動剛性および低速走行時の抵抗力の要求機能を満たしていたが、荷重不安定をもって保守的に損傷として扱うこととした。また、確認耐力の引張側荷重は圧縮側より低いため、保守的に引張側荷重を実耐力として扱うこととする。なお、荷重不安定となるグリース塗布条件、荷重不安定が生じなかった場合の耐震機能限界荷重については本試験では明らかになっていない。

・他の部品の耐力

他の設計耐力以上の耐力を示した部品について、定格容量 3kN では六角ボルトの部品設計耐力が最も低いが、その 1.4 倍の荷重に耐えていることから、ボルト設計手法に裕度があると考えられる。定格容量 30kN のメカニカルスナッパでは、ボールネジの引張に対する強度が低いが、これも 1.5 倍の荷重に対して健全性を保っていた。定格容量 30kN におけるダイレクトアタッチブラケットおよびユニバーサルブラケットピンは部品設計耐力の 1.4 倍の強度が確認された。

以上より、定格以上の荷重が負荷された SMS 型メカニカルスナッパの強度はアンギュラー玉軸受に依存し、軸受メーカー推奨強度の 15.5 倍の荷重まで耐えられると評価される。

②NMB 型メカニカルスナッパ

定格容量 30kN の試験体では試験機の過負荷によって種々の部位が損傷している。また、定格容量 100kN の試験体では明らかな損傷部位は認められなかった。このため、定格容量 3kN および 250kN の試験体の損傷部品から部品耐力について考察する。

・ 損傷部品の耐力値

容量 3kN の試験体では，エンドプラグピン(加振側)および延長パイプ側ピン(固定側)の両方が折損した。ピンの部品設計耐力と確認耐力を表 4-21 に示す。なお，試験体 No. NMB-030-02 については，過大負荷前の最大荷重を示す。

損傷した 3kN の試験体では，部品設計耐力の約半分の荷重で損傷した。他の容量の試験体のピンを見ると，部品設計耐力の 0.22~0.54 倍の荷重が負荷されているが損傷していない。3kN の試験体より高い比率の 0.54 倍の荷重に対して健全性が確認されているケースもあるが，保守的にピン強度を従来設計の 0.47 倍として耐力を評価する。

表 4-21 ピンの部品設計耐力と確認耐力の比較 (NMB 型)



次に，容量 250kN の試験体については，分解調査の結果，ロードシリンダーが座屈していることが確認された。

定格容量 100kN 以上のスナップの設計では，ロードシリンダーの圧縮荷重に対する評価が不要と判断されており，部品設計耐力は計算されていない。これは，引張に対する部品設計耐力が座屈強度より低いと予測されていたためである。ロードシリンダーの部品設計耐力と確認耐力を表 4-22 に示す。

いずれの容量でも，ロードシリンダーの引張側部品設計耐力に対して，引張側の確認耐力は低いまま試験は終了した。このため，引張側の設計手法の限界は試験的には確認できていない。一方，容量 30kN の試験体では，圧縮荷重に対する設計が行われており，部品設計耐力以上の圧縮確認耐力に耐えている。

圧縮荷重で損傷した 250kN のメカニカルスナップでは，引張の部品設計耐力 760kN に比して，圧縮の確認耐力がより低い 589.2kN であるにもかかわらず座屈したため，座屈強度を過度に高く評価した可能性がある。しかし，試験の最終サイクルでは，荷重波形が圧縮側に推移しており，この荷重が座屈を生じさせた可能性も考えられる。最終サイクル開始時の安定している波形で 672kN，圧縮側に推移した後の最終的な圧縮荷重は 1000kN までに達した。1000kN の高い荷重によってロードシリンダーの座屈が促進されたとも考えられるが，保守的に圧縮側推移開始時の 672kN を座屈荷重と取るべきである。また，損傷荷重

とした 672kN は、現行設計の引張荷重に対する部品設計耐力 760kN と比べても保守的である。

表 4-22 ロードシリンダーの部品設計耐力と確認耐力の比較 (NMB 型)

・耐力値の予測手法

3kN 容量のスナップにおいて、部品設計耐力以下で損傷したピンの確認耐力から、部品設計耐力の 0.47 倍を予測部品耐力とする。他の容量のピンにおいては損傷が生じず、設計手法の妥当性を確認できる荷重に達する前に試験が終了しているため、容量 3kN の予測手法を全ての容量に対して適用する。

また、容量 250kN スナップで損傷したロードシリンダーの検討結果から、部品設計耐力の 0.88 倍をロードシリンダーの予測部品耐力とする。現在の部品設計耐力は引張荷重に対するものであるため、今後は圧縮強度に対する設計も考慮すべきである。NMB 型の 100~600kN 容量は、4.1.3 項に記した分類で同じ区分に属していることから、この区分のロードシリンダーには係数 0.88 を用いる。

一方、3kN および 30kN 容量のロードシリンダーでは、圧縮荷重に対する設計がされていることと、30kN 容量のスナップで部品設計耐力以上の荷重に耐えていることから、4.1.3 項に記した分類より、1, 3, 6kN の区分 1 と、10, 30, 60, 75kN の区分 2 は従来どおりの設計手法とする。

試験体 NMB-100-03 は圧縮荷重 181.5kN にて荷重不安定をもって損傷とみなしたが、荷重不安定の原因は負荷振動数とも関係しており、原因がはっきりしていない。このため、NMB 型 100kN 容量のメカニカルスナップについては、試験結果から予測した 181.5kN を予測耐力として採用する。

・他の部品の耐力

設計上の最弱部位は、いずれの容量でもリアブラケットのフランジとなる。定格容量 3kN、30kN 及び定格容量 250kN の試験体において、リアブラケットフランジの部品設計耐力以上の荷重に対して健全性を維持しており、設計手法

の保守性が確認された。確認された保守性は、確認耐力／部品設計耐力として求めると 1.1～2.2 倍である。定格容量 100kN の試験体については、荷重波形の異常により試験を打ち切っており、保守性の確認はできていない。

部品設計耐力以上の負荷を受けた他の部位として挙げられるのは、試験体 No. NMB-003-01 の座屈強度のみである。他の部品は部品設計耐力以下の荷重で損傷も見られずに試験終了している。

以上より、部品設計耐力以下で損傷したピンの確認耐力を参考に、部品設計耐力の 0.47 倍を予測部品耐力とする。また、容量 100kN および 250kN クラスのロードシリンダーについては、部品設計耐力の 0.88 倍を予測部品耐力とする。

4.6.3 耐力データの整備

図 4-17 のメカニカルスナップ耐力評価手法フローを用いて、耐震機能限界試験が実施されていないスナップの耐力を予測し、耐力データとして整備する。

4.1.3 項に記したメカニカルスナップの分類において、設計部材強度と定格容量に対する裕度調査を行い、構造部材・機能部品裕度表としてまとめた。この裕度表では、耐震機能限界試験の試験体以外の容量のメカニカルスナップについても評価している。また、実機プラント温度を反映し、格納容器の雰囲気温度である 65℃における材料の許容応力を評価に使用している。この裕度表の部品設計耐力を入力として、前述のメカニカルスナップ耐力評価手法を適用し、実耐力の予測値をまとめた。

実耐力の予測結果を添付-1 に示す。また、メカニカルスナップ以外も含めた耐力予測結果と定格容量の比を図 4-19 に示す。また、耐震機能限界試験の確認耐力と定格容量の関係を図 4-20 に示す。

図 4-19 の予測耐力と容量の比が、容量が小さいほど若干高い傾向が見られる。一方、図 4-20 の試験の確認耐力と容量の比では、容量が小さいほど比が高い傾向は同様であるが、その傾向は顕著である。耐力評価手法では、部品ごとの実耐力予測係数の保守性と、従来設計の保守性の両方を含んでいるため、確認耐力に比べて予測耐力を全体的に低く見積もるためである。

本耐力評価手法によるメカニカルスナップスナップの予測耐力は、いずれも定格容量の 1.5 倍（スナップメーカーの性能保証値）を超えることを確認した。また、一部のメカニカルスナップスナップで確認耐力が予測耐力（部品設計耐力の最小値）を下回るものがあった。



図 4-19 予測耐力と定格容量の関係

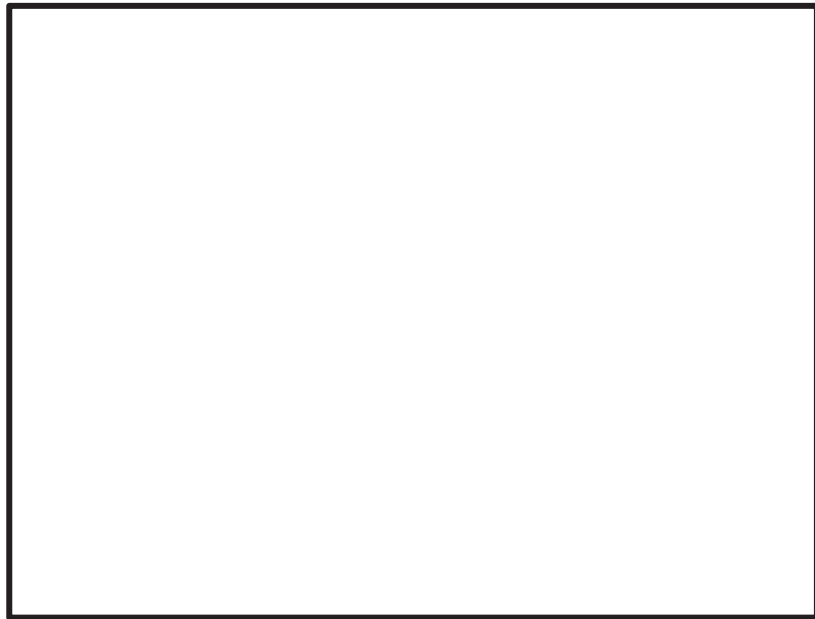


図 4-20 確認耐力と定格容量の関係

5. JNES 研究の知見を踏まえた電共研の妥当性確認

JNES 研究におけるメカニカルスナップの耐力評価手法の構築に係る検討では、想定される損傷モード等を踏まえた試験対象型式選定や試験項目設定等を行ったうえで耐震機能限界試験を実施し、得られた試験結果に基づき耐力評価手法の構築の検討を行っている。こうした一連の検討プロセスは電共研のメカニカルスナップの限界耐力評価法に係る検討と同様である。

JNES 研究における振動応答試験と、電共研における振動試験の試験条件の比較を表 4-23 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 4-23 に示すとおり、試験条件のうち加振波は、地震波を用いたケースを除き、JNES 研究と電共研で同じ正弦波である。振動数は JNES 研究よりも電共研の方が高いが、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、振動数の違いによる影響は小さいと考えられる。また、加振時間は電共研の方が短い、加振回数はどちらも 100 回程度と同等である。荷重条件は、どちらも定格荷重×1.5 倍を上回る荷重（損傷したと判断されるまで）となっており同等である。

よって、電共研の振動試験の試験条件は、JNES 研究の振動応答試験の試験条件と同等と考えられる。

また、電共研の限界耐力値と JNES 研究における耐力確認荷重、JNES 研究の耐力値との比較を表 4-24 に示す。なお JNES 研究の耐力値は、JNES にて振動応答試験を実施するにあたり、過去の知見を収集し、型式ごとに構造部材と機能部品の耐力値を算定した最小値である（添付-1 参照）。

表 4-24 に示すとおり、メカニカルスナップが損傷に至るまで加振できなかった型式を除き、JNES 研究における耐力値は電共研の限界耐力値と同等であり、JNES 研究の耐力確認荷重は JNES 研究の耐力値よりも大きいのと同時に電共研の限界耐力値よりも大きい。

以上より、JNES 研究の試験結果を含めた知見と比較しても、電共研の限界耐力値を含めたメカニカルスナップの限界耐力評価法に係る検討及びその知見は妥当であると考えられる。

表 4-23 電共研と JNES の試験条件の比較

	電共研 振動試験	JNES 振動応答試験
加振波		
振動数		
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 4-24 電共研の限界耐力値と JNES 研究における耐力値および耐力確認荷重との比較 (1/2)

型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES 研究			JNES 耐力値 / 電共研限界耐力値	JNES 耐力確認荷重 / 電共研限界耐力値
		限界耐力値 [kN]	耐力確認荷重 [kN]	最小裕度部品の分類	耐力値 [kN]	耐力確認荷重 [kN]	最小裕度部品の分類			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

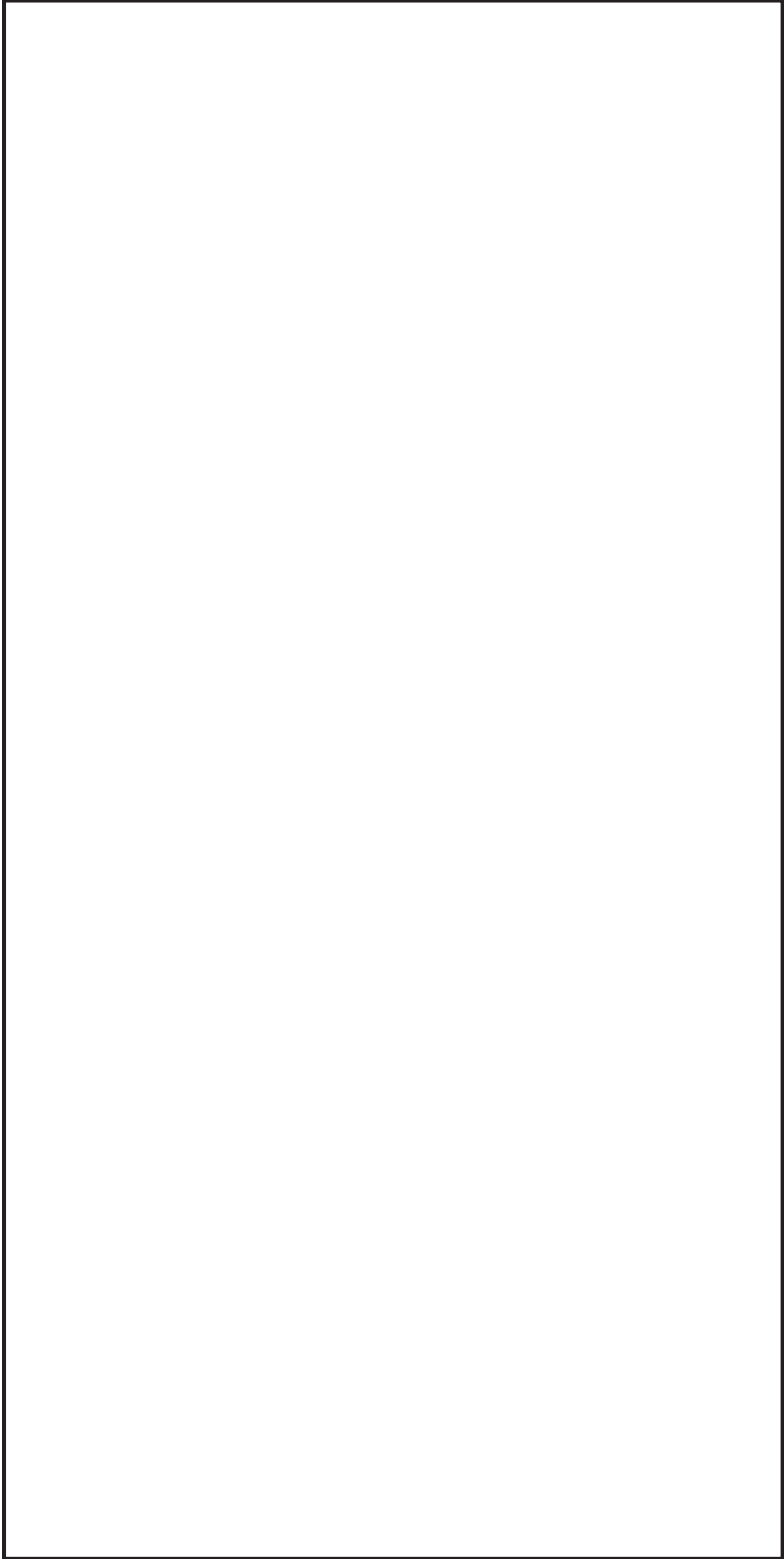


図 4-21 ボールネジ部概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-24 電共研の限界耐力値と JNES 研究における耐力値および耐力確認荷重との比較 (2/2)

型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES 研究				JNES 耐力確認荷重 / 電共研限界耐力値
		限界耐力値 [kN]	耐力確認荷重 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力値 [kN]	耐力確認荷重 [kN]	最小裕度部品の分類	JNES 耐力確認荷重 / 電共研限界耐力値	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. まとめ

JNES におけるメカニカルスナッパの耐震機能限界試験を含む耐力評価手法の構築に係る検討の概要をまとめるとともに、その検討プロセスや耐力確認荷重等について、電共研のメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討との比較を行った。

その結果、JNES 研究の知見を考慮しても、電共研の限界耐力値を含めたメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討は妥当であることを確認した。

--



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

振動応答試験結果データ

試験結果を表 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 1～図 12 に示す。図中の「確認耐力」は、破損せずに安定した荷重波形を得られているときの引張側(荷重値が正)及び圧縮側(荷重値が負)の最大荷重を示しており、これを各供試体の「耐力確認荷重」として表 1 に記載している。引張方向と圧縮方向の荷重値が異なるのは、メカニカルスナッパ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。

SMS 型の最小裕度部品は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、ユニバーサルブラケット、アンギュラー玉軸受のいずれかであり、NMB 型の最小裕度部品はリアブラケット、スリーブのいずれかだが、これら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、2.4 項と同様の考え方により、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 メカニカルスナッパの詳細評価方法の 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。

表 1 JNES 研究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 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 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

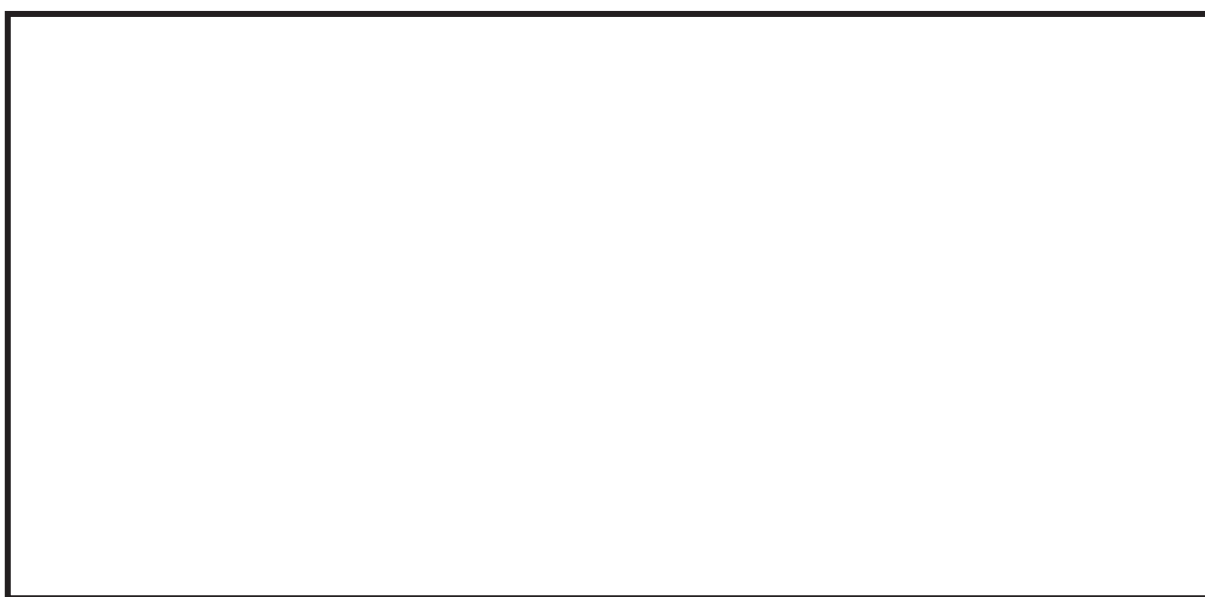


図 3 供試体 No. SMS-100-03 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 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

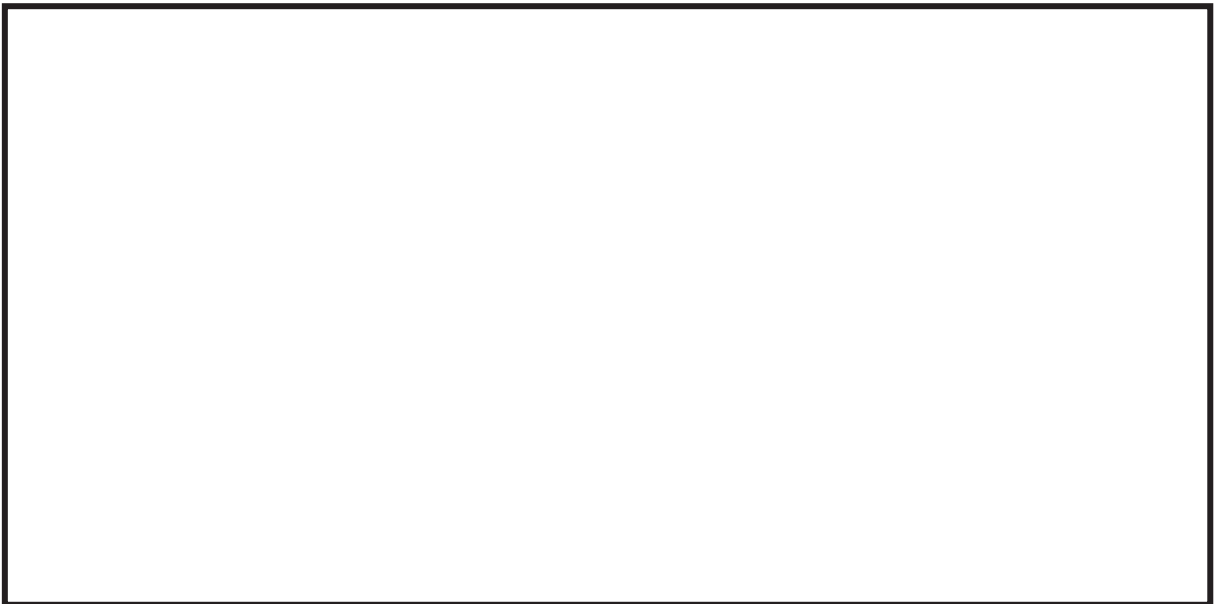


図 5 供試体 No. SMS-100-05 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

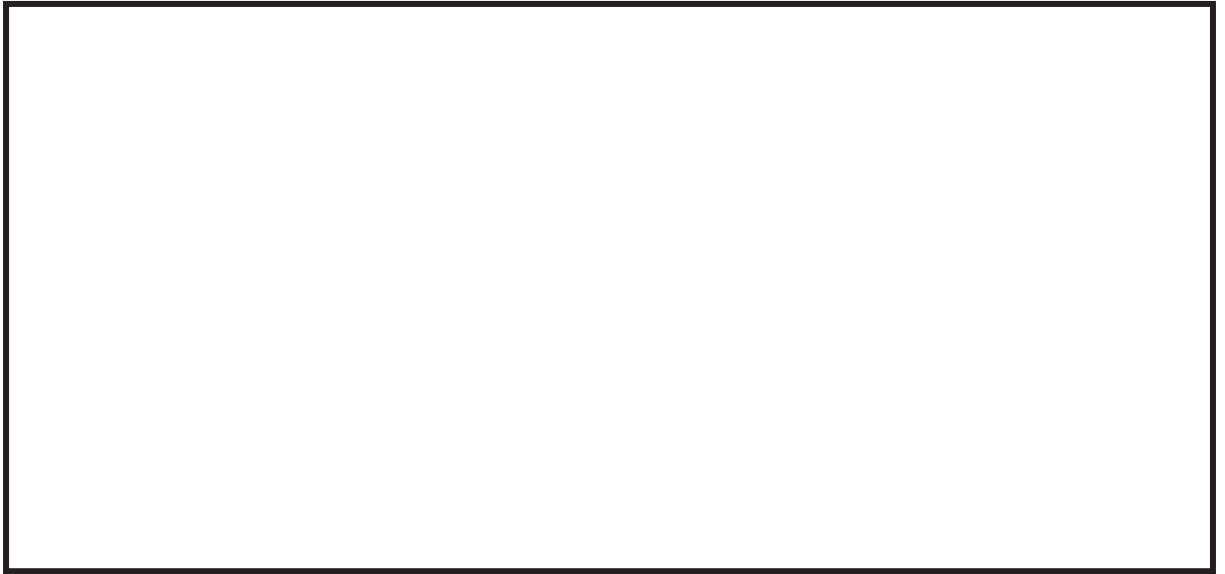


図 6 供試体 No. SMS-100-06 の振動応答試験における時刻歴荷重波形



図 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。

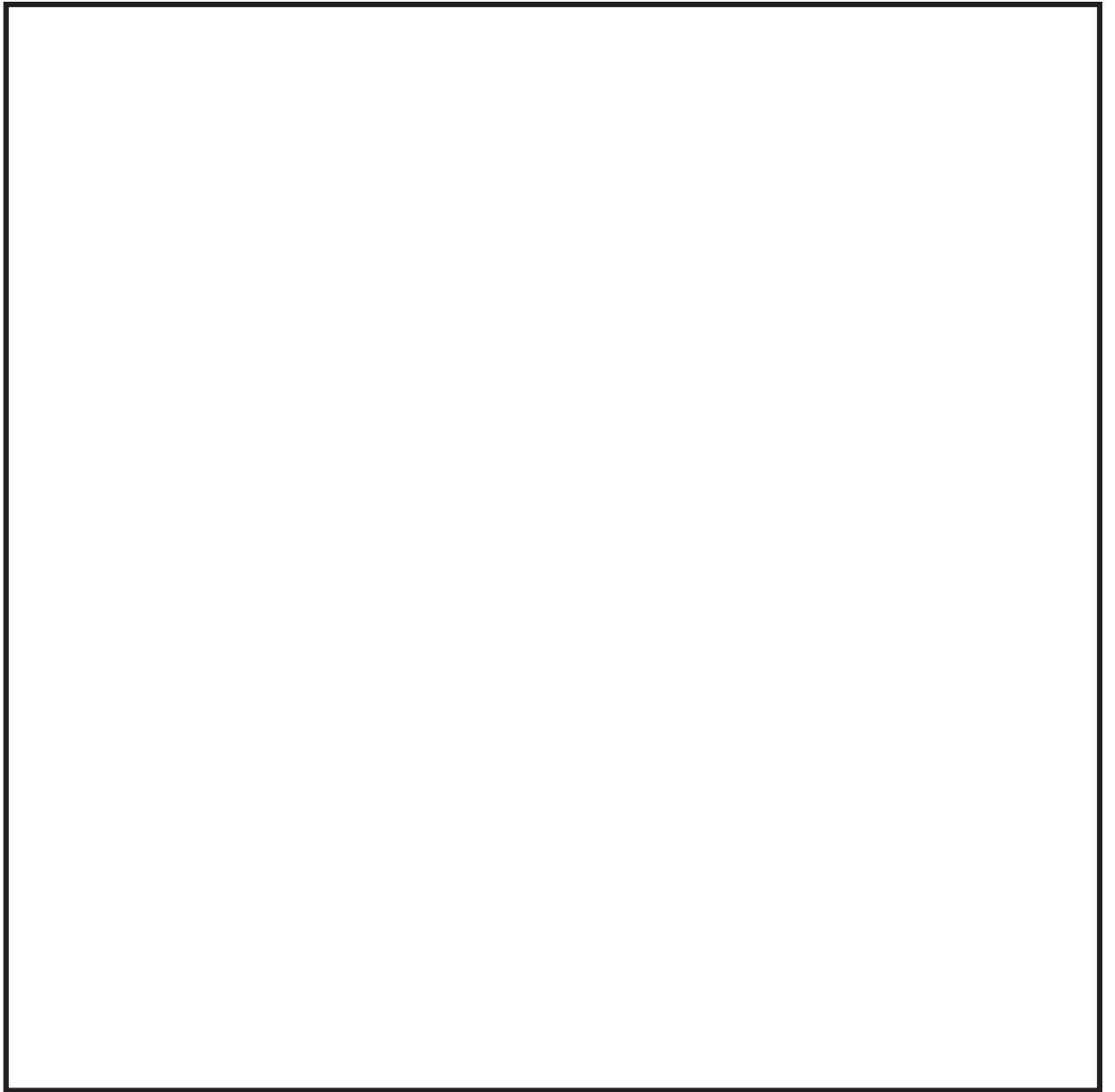


図 8 供試体 No. SMS-250-08 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 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 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。

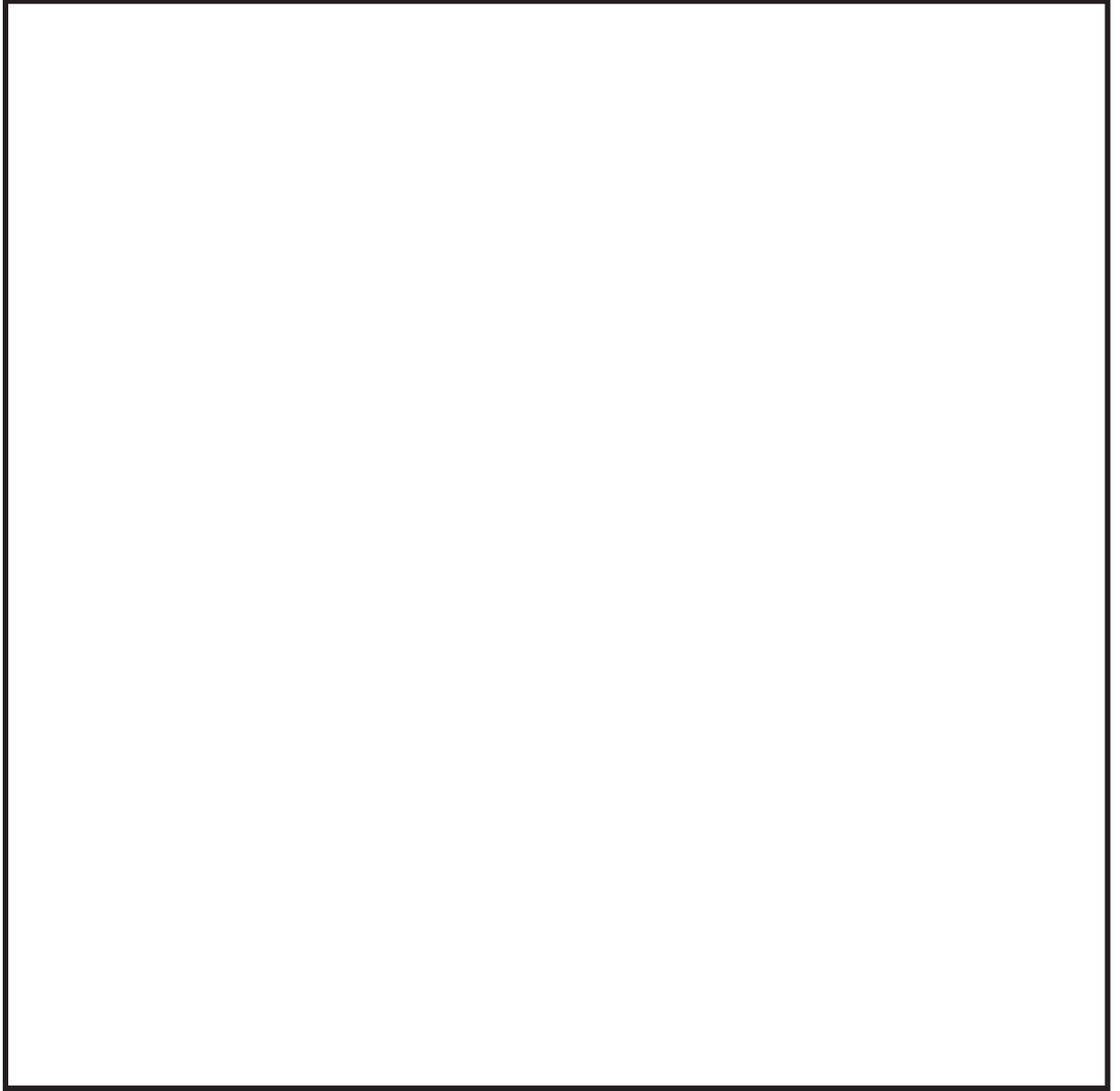


図 11 供試体 No. NMB-100-03 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

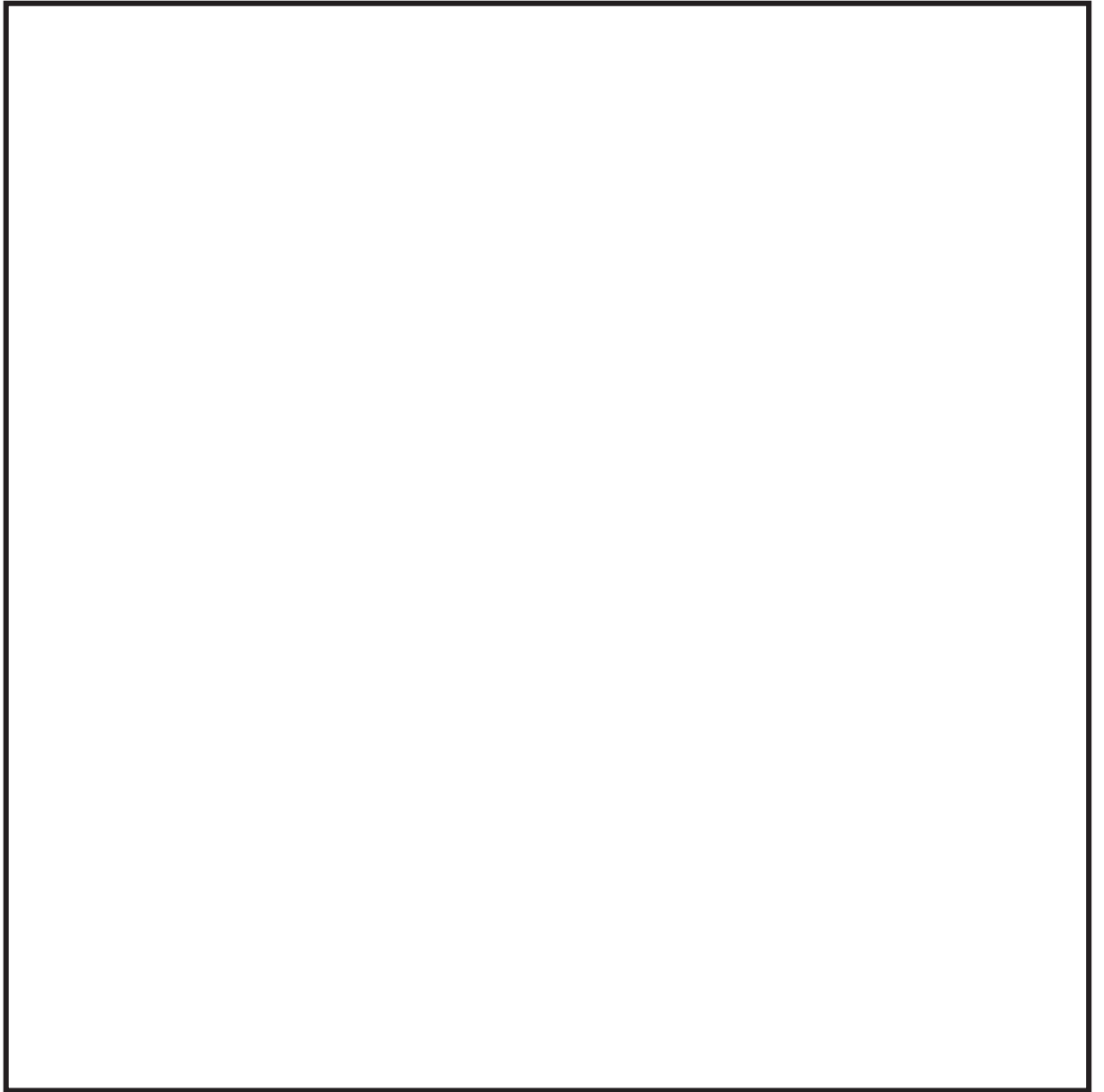


図 12 供試体 No. NMB-250-04 の振動応答試験における時刻歴荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。