

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-87 改 03
提出年月日	2023年4月21日

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの
概要及び設計方針

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 構造計画	1
3. 基本方針	2
3.1 構造概要	2
3.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要	2
3.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要	3
3.1.3 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの設計方針	5
3.1.4 適用規格	8
3.2 耐震評価方法	9
3.2.1 評価方針	9
3.2.2 単軸粘性ダンパの配置検討	9
3.2.3 性能試験及び解析モデル	10
3.2.4 単軸粘性ダンパの性能評価	14
3.2.5 機器評価	14
4. 実績との比較	15
5. 他設備との比較	15
6. 単軸粘性ダンパの保守管理	15
7. まとめ	15

添付資料

- 添付1 取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の適用性検討
- 添付2 単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する検討項目の抽出
- 添付3 単軸粘性ダンパの特性試験
- 添付4 単軸粘性ダンパの性能試験方法
- 添付5 単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の表現及びモデル化
- 添付6 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析手法
- 添付7 既工認実績のある単軸粘性ダンパとの差異の整理
- 添付8 新規制基準適合性審査の実績等を踏まえた検討事項に対する考察
- 添付9 単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較
- 添付10 単軸粘性ダンパの保守管理の方針

1. 概要

島根 2 号機の取水槽ガントリクレーン（Cクラス施設）は、下部に設置された上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ等に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する必要があるため、VI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書」において耐震評価結果を示している。

本書は、VI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書」に係る補足説明資料として、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの概要及び設計方針についてまとめたものである。

なお、取水槽ガントリクレーンの評価に用いた解析手法の適用性、評価用地震動の選定方法等については、NS2-補-027-10-48「取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」でまとめている。

2. 構造計画

島根 2 号機の取水槽ガントリクレーンは、波及的影響を防止するための対策として制震装置を適用する。当該クレーンの地震条件は短周期側に厳しい傾向であり、耐震補強による高剛性化の効果が得られ難いため、履歴型や粘性型（単軸）といった制震装置の中から地震エネルギーの減衰性能に優れた単軸粘性ダンパを設置することでクレーンの地震応答の低減を図っている（添付 1 参照）。

単軸粘性ダンパの適用にあたっては、その減衰性能を適切にモデル化し、単軸粘性ダンパを組み込んだ機器・配管系の地震応答解析を実施する必要がある。本資料では、単軸粘性ダンパの構造、作動原理等を示した上で、単軸粘性ダンパの減衰性能を適切に考慮したモデル化及び地震応答解析手法について説明する。

なお、単軸粘性ダンパの設置は、島根 2 号機、島根 3 号機及び柏崎 6 / 7 号機等の排気筒で実績がある。

3. 基本方針

3.1 構造概要

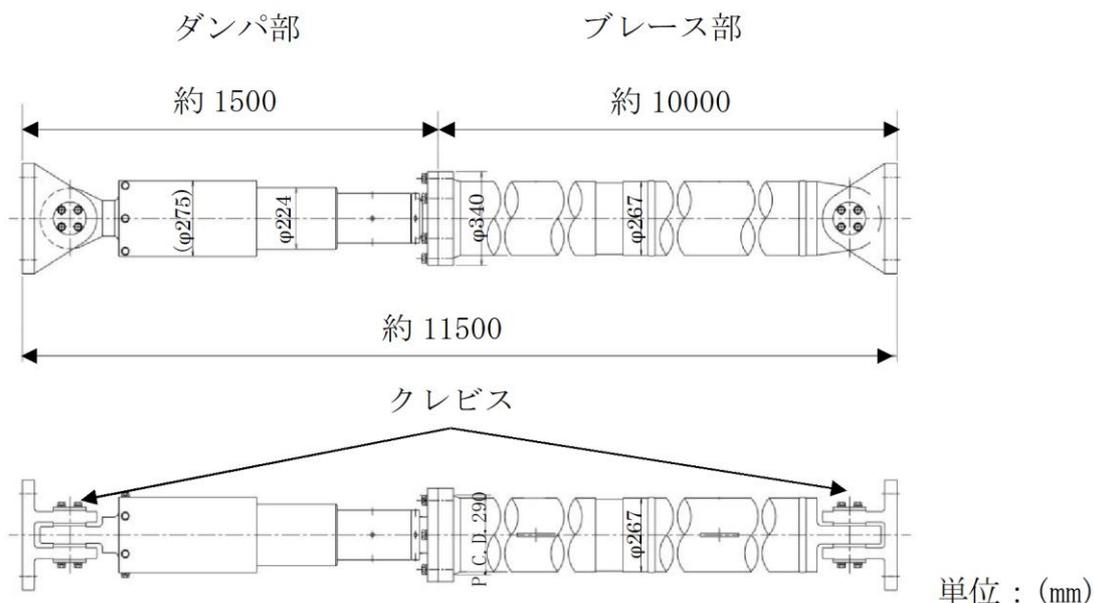
3.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要

取水槽ガントリクレーンの構造を図 3-1 に示す。取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり、単軸粘性ダンパの設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。取水槽ガントリクレーンの応答は、横行方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを設置する。単軸粘性ダンパの設置は、島根 2 号機、島根 3 号機及び柏崎 6 / 7 号機等の排気筒で実績がある。

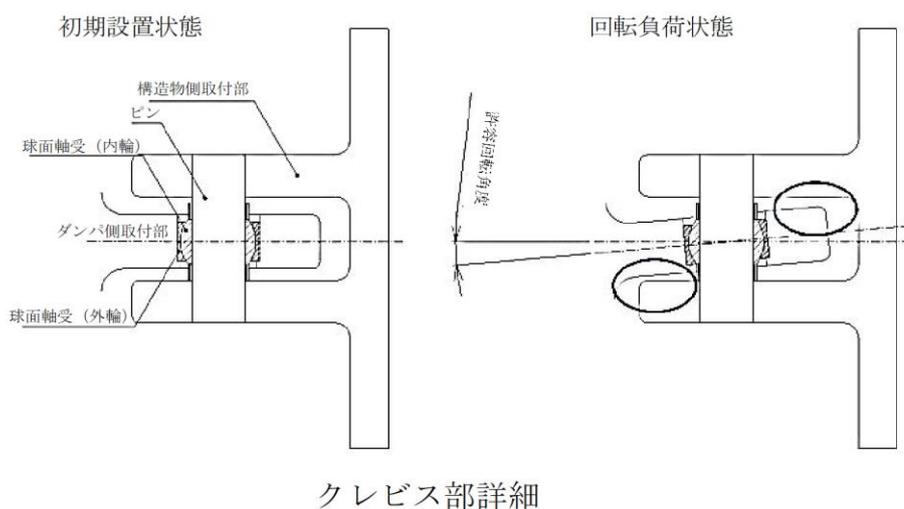
単軸粘性ダンパ取付部の構造を図 3-2 に示す。ダンパ本体の長さは標準設計の約 1.5m とし、これに約 10m のブレースを接続している。単軸粘性ダンパとガーダの接続部、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。



図 3-1 取水槽ガントリクレーンの構造



単軸粘性ダンパ及びブレースの構造



クレビス部詳細

図 3-2 単軸粘性ダンパ取付部の構造

3.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの仕様を表 3-1 に示す。また、単軸粘性ダンパの外観及び構造を図 3-3 に示す。単軸粘性ダンパは主にシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体により構成されている。単軸粘性ダンパの粘性体（シリコン系）は化学的に安定であり、消防法で定められている危険物に該当しない。

単軸粘性ダンパの動作原理を図 3-4 に示す。単軸粘性ダンパは、ピストン、ロッドが軸方向に移動することにより、シリンダ内面とピストン外面の間に形成されるオリフィス部を粘性体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものであり、自重等の静的荷重は支持しない。

表 3-1 単軸粘性ダンパの仕様

定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
220	1535	224	533	300	100



単軸粘性ダンパの外観（橋梁への設置例）



単軸粘性ダンパの構造

図 3-3 単軸粘性ダンパの外観及び構造

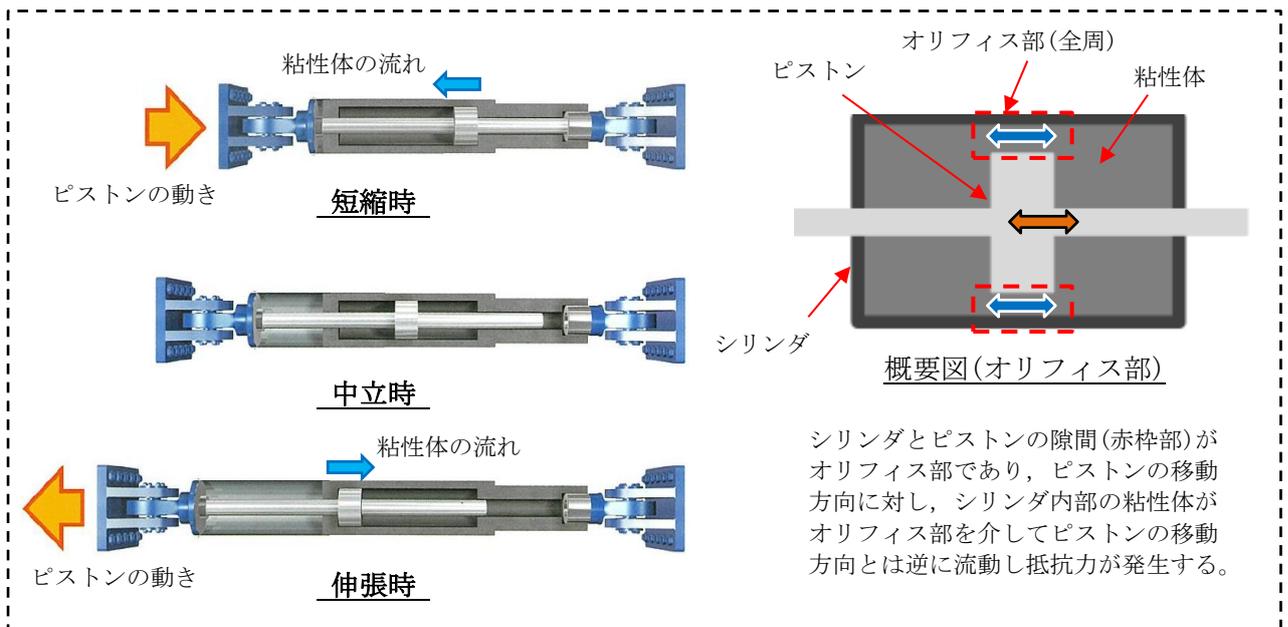
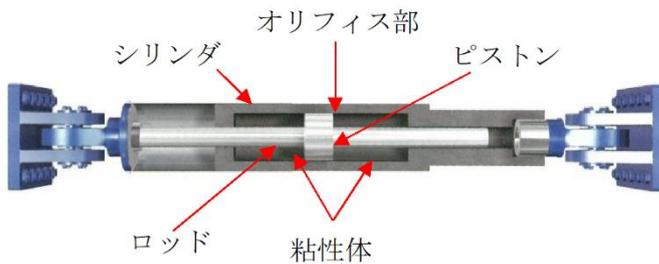


図 3-4 単軸粘性ダンパの動作原理

3.1.3 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの設計方針

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フローを図3-5に、設計プロセスを表3-2に示す。また、単軸粘性ダンパを設置する前の取水槽ガントリクレーンと単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを図3-6に示す。単軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパを適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様である。

図3-5の耐震設計フローは、基本的に一般的な機器の設計フローと同じであるが、単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、3.2項にて詳細に説明する。

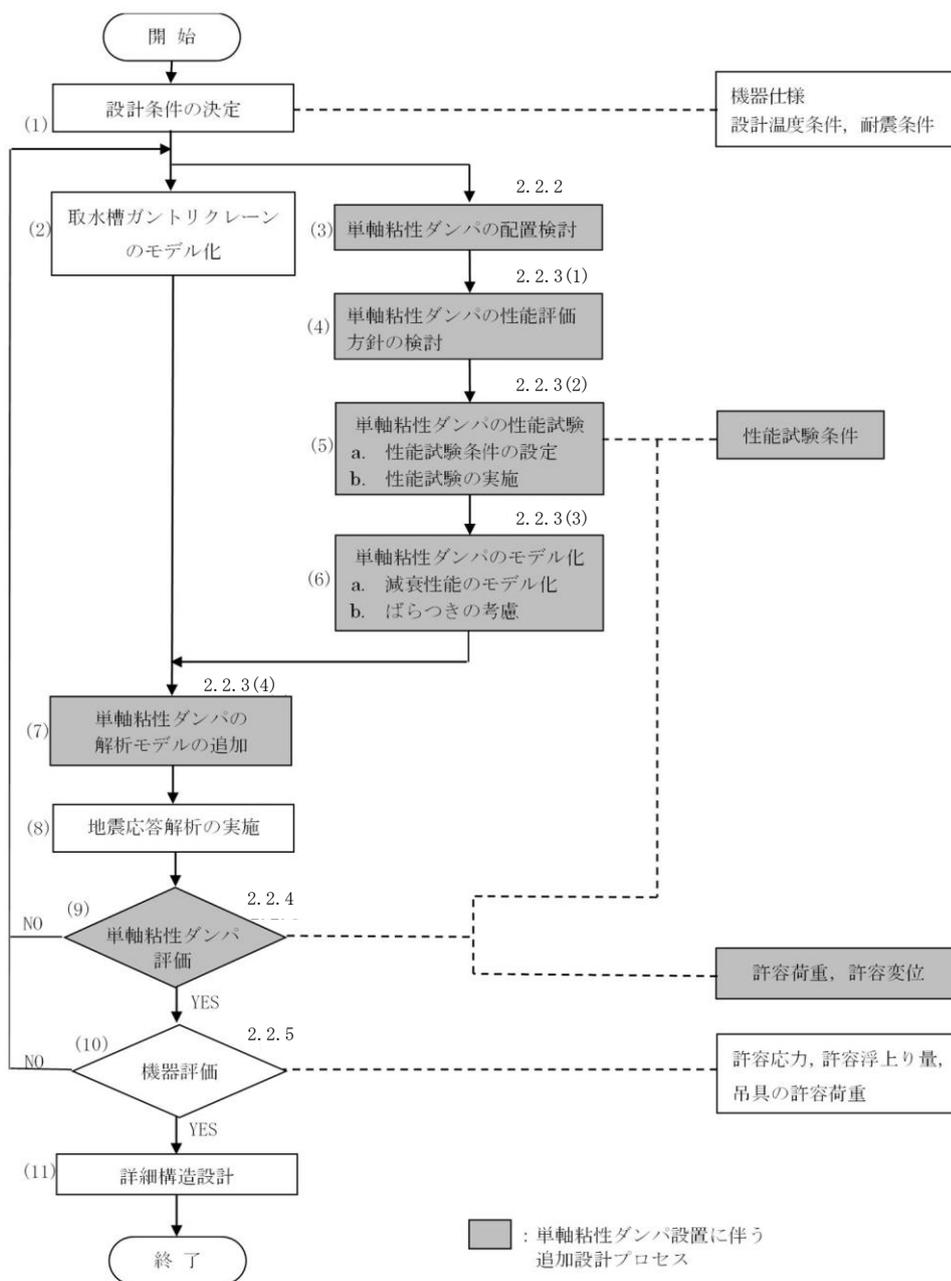


図3-5 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フロー

表 3-2 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの設計プロセス

番号*	実施事項	内容	追加設計プロセス
(1)	設計条件の決定	取水槽ガントリクレーンの仕様，設計条件を決定する。	—
(2)	取水槽ガントリクレーンのモデル化	取水槽ガントリクレーン本体を構成する主要部材を質点及びはり要素でモデル化し，車輪部のすべり及び浮上り等の非線形挙動をギャップ要素，ばね要素及び減衰要素でモデル化する。	—
(3)	単軸粘性ダンパの配置検討	単軸粘性ダンパの配置を検討する。	○
(4)	単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討	単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し，性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。	○
(5)	単軸粘性ダンパの性能試験	単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件を設定し，性能試験を実施する。	○
(6)	単軸粘性ダンパのモデル化	性能試験結果から単軸粘性ダンパの減衰性能を Maxwell モデルによりモデル化する。また，減衰性能のばらつきを考慮して，地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。	○
(7)	単軸粘性ダンパの解析モデルの追加	取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパをモデル化した Maxwell モデルを追加する。	○
(8)	地震応答解析の実施	地震応答解析を実施し，応力，変位等を求める。	—
(9)	単軸粘性ダンパ評価	地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。	○
(10)	機器評価	地震応答解析結果を基に，発生応力，浮上り量，吊具荷重が許容値以内であることを確認する。	—
(11)	詳細構造設計	地震応答解析結果を基に，各部の詳細構造設計を行う。	—

注記*：番号は図 3-5 の耐震設計フローの番号に対応している。

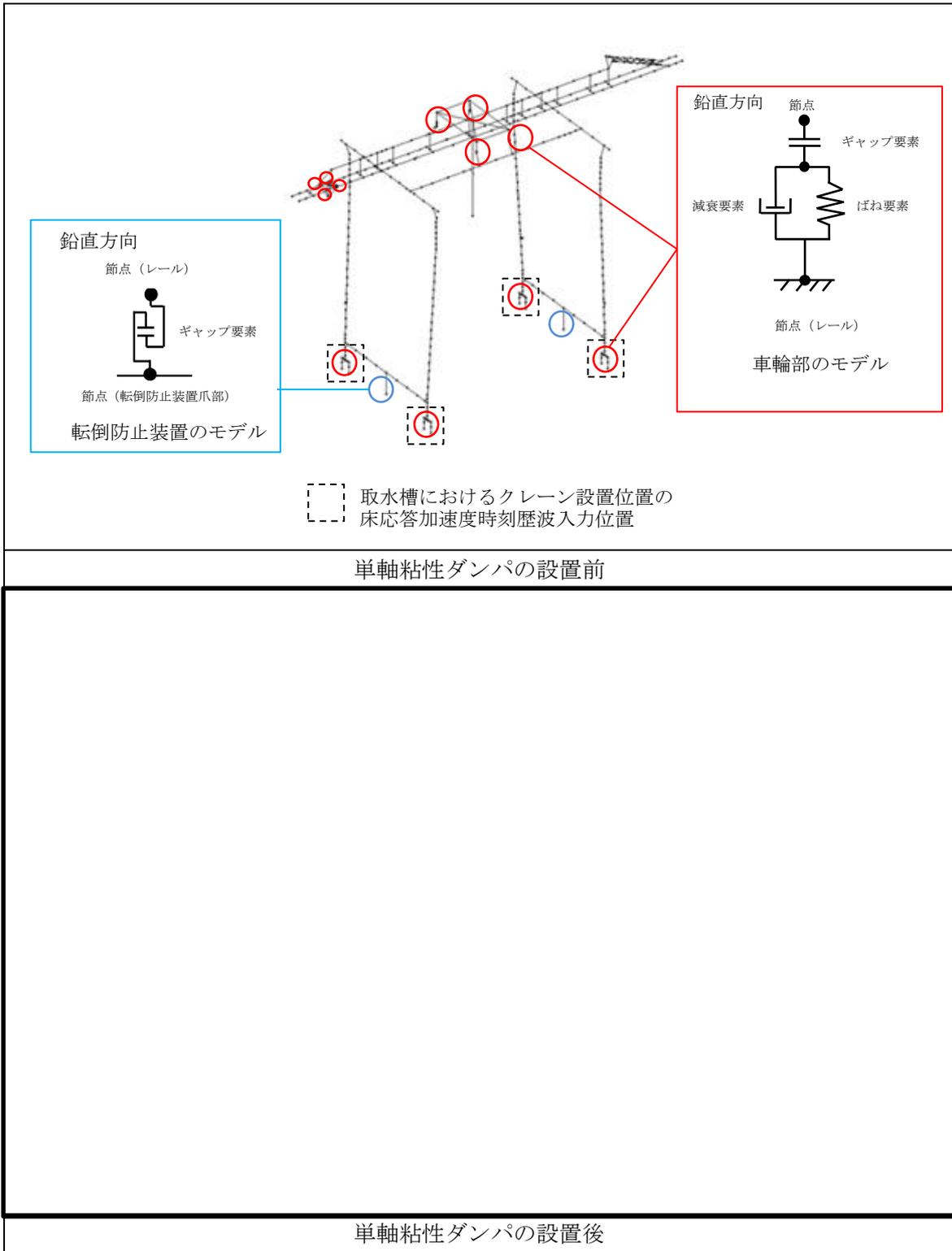


図 3-6 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル

3.1.4 適用規格

取水槽ガントリクレーンの単軸粘性ダンパの設計における適用規格の適用範囲について表 3-3 に示す。

表 3-3 取水槽ガントリクレーンの単軸粘性ダンパ設計における適用規格及び適用範囲

適用対象	適用範囲		適用規格	適用の考え方
単軸粘性 ダンパ	構造強度 評価	許容 荷重	J E A G 4 6 0 1	・ブレース部は、従来の機器・配管系の支持構造物と同様とする。
			— (製品仕様に基づく)	・ダンパ部は、単軸粘性ダンパの構造特性に基づき設定する。
		許容 変位	— (製品仕様に基づく)	・単軸粘性ダンパの最大ストローク (構造上の許容変位)に基づき設定する。
	減衰性能の設定		— (性能試験結果)	・単軸粘性ダンパの試験結果(加振速度に応じた抵抗力)に基づき設定する。

3.2 耐震評価方法

3.2.1 評価方針

3.1.3 にて整理した単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、具体的な評価方針を以下に示す。

まず、取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討する。次に、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し、性能試験及びモデル化における対応方針を検討する。単軸粘性ダンパのモデル化を行うために、実機使用条件を踏まえた性能試験条件により、実機に設置する単軸粘性ダンパを用いた性能試験を実施する。性能試験の結果に基づき減衰性能を設定し、単軸粘性ダンパを Maxwell モデルによりモデル化する。この Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加し、地震応答解析を行う。単軸粘性ダンパの評価として、地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。

3.2.2 単軸粘性ダンパの配置検討

取水槽ガントリクレーンにおける単軸粘性ダンパの配置を図 3-7 に示す。取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震時に生じるガーダ及び脚の地震応答を抑制する観点から地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパを配置検討している。具体的には、単軸粘性ダンパはロッド内のピストンが軸方向に移動することで生じる抵抗力により減衰性能を発揮するため、クレーン各部の中で比較的大きな地震応答が横行方向に生じるガーダと脚の間を繋ぐようにダンパを設置する。



図 3-7 取水槽ガントリクレーンにおける単軸粘性ダンパの配置

3.2.3 性能試験及び解析モデル

(1) 単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの評価においては単軸粘性ダンパの減衰性能を適切に取得して設定することが重要であるため、単軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化にあたって、減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して抽出した（添付2参照）。減衰性能への影響の検討結果を表3-4に示す。減衰性能に影響する項目については、減衰性能を取得するための性能試験条件の設定において適切に考慮する、若しくは地震応答解析においてばらつきとして考慮する方針とする。

表3-4 減衰性能への影響の検討結果（単軸粘性ダンパ）

No.	項目	減衰性能への影響	対応方針
1	連続加振	連続加振による減衰性能への影響は小さいことを試験により確認する（添付3参照）。	—
2	振動数	減衰性能は、加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認する（添付3参照）。	左記の変動及びばらつき要因を合わせて、±20%の減衰性能のばらつきを考慮する。
3	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。	

(2) 単軸粘性ダンパの性能試験

a. 性能試験条件の設定

単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえ、性能試験条件を設定する。

加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は比較的小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパの許容変位100mmの中で実機使用条件を含む幅広い試験速度（0.1～0.8m/s）を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパの性能試験条件を表3-5に示す。

b. 性能試験の実施

設定した性能試験条件により、単軸粘性ダンパの性能試験を実施する。性能試験方法の詳細について添付4に示す。地震応答解析に適用する単軸粘性ダンパの減衰性能は、実機に設置する単軸粘性ダンパについて性能試験を実施のうえ設定する。単軸粘性ダンパは抵抗力が速度の0.1乗に比例するように設計されており、非線形の挙動を示すことから、その減衰性能は抵抗力と速度の関係で把握する。性能試験結果により取得した減衰性能を図3-8に示す。

表 3-5 単軸粘性ダンパの性能試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)
1	1.6	0.1
2		0.2
3		0.4
4		0.5
5		0.8

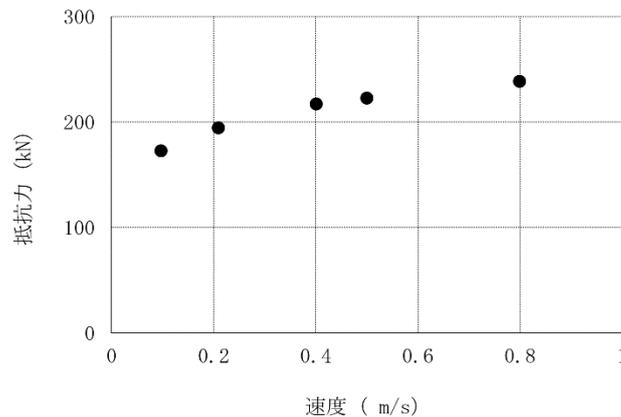


図 3-8 単軸粘性ダンパの性能試験結果

(3) 単軸粘性ダンパのモデル化

a. 減衰性能のモデル化

単軸粘性ダンパの減衰性能の表現方法及びモデル化の考え方を添付 5 及び添付 6 に示す。

性能試験の結果に基づき、単軸粘性ダンパの減衰性能をモデル化する。

単軸粘性ダンパは、加振速度の変化に対して抵抗力の変化が小さく、振動数依存性も比較的小さいことから、速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットを組み込んだ 2 パラメータの Maxwell モデルを用いる。単軸粘性ダンパの減衰性能を模擬する Maxwell モデルを図 3-9 に示す。加振振動数 1.6Hz の場合の Maxwell モデルによる計算値と性能試験結果の比較を図 3-10 に示す。この図から、速度と抵抗力の関係及び履歴曲線で囲まれる面積に相当する散逸エネルギーのいずれに関しても、Maxwell モデルにより減衰性能を精度良く表現できることが分かる。

b. ばらつきの考慮

単軸粘性ダンパの減衰性能のばらつきを考慮して、地震応答解析に用いる解析モデルを設定する。性能試験結果に基づいてモデル化した単軸粘性ダンパの減衰性能に対して、表 3-4 に基づき、振動数による $\pm 10\%$ の変動と、製造公差による $\pm 10\%$ のばらつきを合わせて $\pm 20\%$ のばらつきを考慮する。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばらつきを考慮して標準性能 $+20\%$ 、標準性能、標準性能 -20% の3段階設定する。標準性能 $+20\%$ の減衰性能を設定する理由は、単軸粘性ダンパの取付部材の設計においては減衰性能が高く抵抗力が大きい場合の荷重を適用するためである。地震応答解析モデルにおける減衰性能の設定を図 3-11 及び表 3-6 に示す。

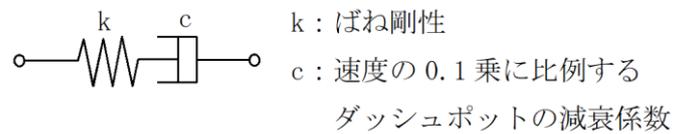
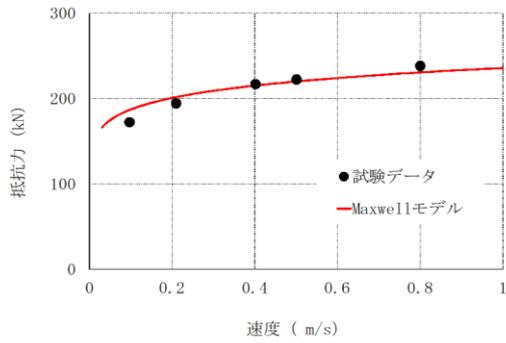
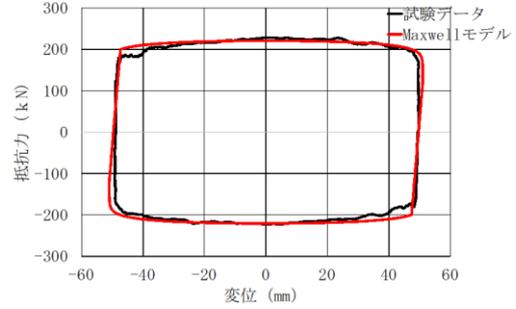


図 3-9 単軸粘性ダンパの Maxwell モデル



速度と抵抗力の関係



速度 0.5m/s における
正弦波 1 周期分の履歴曲線

図 3-10 Maxwell モデルによる計算値と性能試験結果の比較

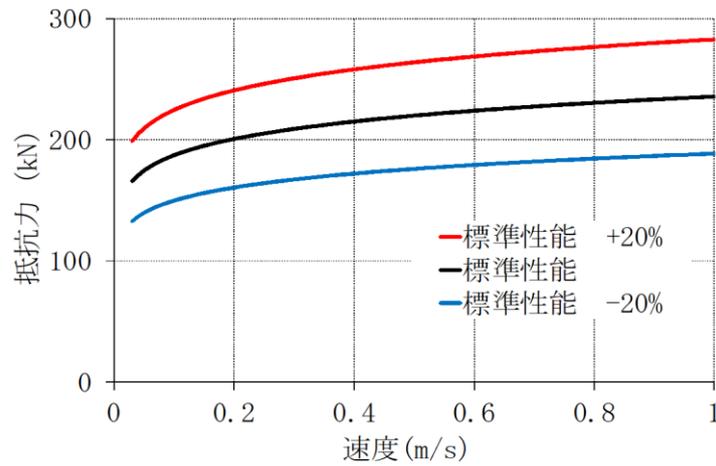


図 3-11 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定

表 3-6 単軸粘性ダンパの性能ばらつきを考慮した減衰性能の設定

荷重 (速度 0.5m/s 時) [kN]		剛性 k_D [N/mm]	減衰定数 c_D
標準性能		220	
性能ばらつき	+20%	264	
	-20%	176	

(4) 単軸粘性ダンパの解析モデルの追加

単軸粘性ダンパをモデル化した Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加することにより，単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを作成する。

3.2.4 単軸粘性ダンパの性能評価

単軸粘性ダンパの減衰性能については，単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析によって得られた応答値が，減衰性能を取得した性能試験の試験条件の範囲内であることを確認する。

単軸粘性ダンパの構造強度については，許容限界を満足し地震時にその機能を維持する設計とするため，単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析によって得られた応答値が，許容荷重及び許容変位を満たすことを確認する。

3.2.5 機器評価

取水槽ガントリクレーンは，地震に伴う損傷，落下によって上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求されるため，機器評価における評価方法及び許容限界は表 3-7 のとおりとする。許容限界は，J E A G 4 6 0 1 等に基づき設定することを基本とする。

表 3-7 機器評価における評価方法及び許容限界

評価方針	設計地震力	部位	評価方法	許容限界
上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S s による地震力	単軸粘性ダンパ	単軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位

4. 実績との比較

既工認実績のある単軸粘性ダンパとの差異に着目し、機器への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。既工認実績との差異の確認結果について、詳細を添付7に示す。

単軸粘性ダンパを設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえて重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮していることを確認するため、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正 平成29年11月15日、原規技発第1711152号）」に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討を実施していることを確認した。確認の結果を添付8に示す。工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。

5. 他設備との比較

制震装置を有する設備として、島根2号機の排気筒の他に配管系で適用している三軸粘性ダンパを含めた構造等の特徴比較を添付9に示す。制震装置の適用においては、使用環境の違い等を踏まえ、特性試験項目や減衰性能への影響要因など適切に考慮している。

6. 単軸粘性ダンパの保守管理

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパは、設置環境を踏まえた経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検により、設備性能を維持する。保守管理の詳細を添付10に示す。

7. まとめ

単軸粘性ダンパは、その減衰性能をMaxwellモデルにより精度良くモデル化できる。また、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、減衰性能の変動及びばらつきを踏まえて段階的に設定した減衰性能に対応した地震応答解析を行い、これらの最大応答を用いて耐震評価を行う。したがって、単軸粘性ダンパのモデル化は妥当であり、減衰性能の変動及びばらつきを適切に考慮していることから、地震応答解析手法として妥当と考える。

取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の適用性検討

制震装置の適用性検討について詳細を表 1-1 に示す。地震時に走行レール上をクレーンがすべるという構造特徴より、制震装置の配置検討を踏まえ横行方向（走行レールの直交方向）の減衰性能が期待できる単軸粘性ダンパを選定している。

表 1-1 取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の適用性検討

分類	ダンパの種類	原理	作動方向	支持荷重	抵抗力の特性	原子力施設における適用実績	適用性	理由
履歴型	弾塑性ダンパ	材料の弾塑性挙動を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1 方向 又は 2 方向	熱膨張 地震荷重	抵抗力は、材料の初期剛性、二次剛性で決まる。	なし	△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰り返しにより抵抗力が変化する。また、ダンパの剛性が高いため、クレーンの剛性が高くなる。
	摩擦ダンパ	摩擦抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は、摩擦材の締め付け力等で決定し、履歴曲線は矩形に近い。		○	粘性ダンパと特性は類似しているが、加振繰り返し回数が多くなると、性能が変化する場合がある。
	鉛ダンパ	鉛の塑性流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は鉛の初期剛性、二次剛性で決まる。		△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰り返しにより抵抗力が変化する。
粘性型	単軸	粘性ダンパ (非線形)	1 方向	地震荷重	抵抗力は速度のべき乗 (0.1~1) に比例し、0.1 乗の場合、履歴曲線は矩形に近い。	なし	◎	微小変位から最大変位まで、抵抗力の変化が小さく、エネルギー吸収が大きいため、クレーンの剛性を高くせず、地震エネルギーの吸収を大きくできる。
		粘性ダンパ (線形)			抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。		○	適用は可能であるが、粘性ダンパ (非線形) ほどのエネルギー吸収が期待できない。
		オイルダンパ			抵抗力は速度のべき乗 (0.4~1) に比例し、履歴曲線は楕円に近い。		○	適用は可能であるが、粘性ダンパ (非線形) ほどのエネルギー吸収が期待できない。

凡例 ◎：適用可能（有効性が最も高い） ○：適用可能 △：適用するために課題がある ×：適用不可

単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する検討項目の抽出

単軸粘性ダンパの減衰性能の設定において考慮すべき事項について「免震構造の審査手引きの提案（平成 26 年 1 月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して表 2-1 に整理した。各項目について単軸粘性ダンパの構造，使用条件，性能試験方法等を踏まえて，減衰性能への影響の検討要否を表 2-2 に整理した。表 2-2 で検討要となった項目については，単軸粘性ダンパのモデル化にあたって減衰性能への影響を検討する。

表 2-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目（1/3）

項目	内容	記載箇所
①制震装置に応じた減衰性能の設定	制震装置に応じた減衰性能の設定方法について検討する。	<p>【本文】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 P. 38</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 P. 42</p>
②地震入力方向	地震入力方向による減衰性能の変化について検討する。	<p>【本文】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 P. 38</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 P. 42</p>
③使用環境	使用環境を踏まえて減衰性能を設定する。	<p>【本文】 5.4.6 P. 30</p> <p>【解説】 5.4.6 P. 33</p>

表 2-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (2/3)

項目	内容	記載箇所
④温度	減衰性能の変化要因として温度による影響を検討する。	<p>【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 P. 36</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 P. 41</p>
⑤速度	減衰性能の変化要因として速度による影響を検討する。	<p>【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 P. 36</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 P. 41</p>
⑥振動数	減衰性能の変化要因として振動数による影響を検討する。	
⑦連続加振	作動中の減衰性能の変化について検討する。	
⑧経年劣化	経年劣化による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 35</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3) 免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 41</p> <p>【参考資料-4】</p>

表 2-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (3/3)

項目	内容	記載箇所
⑨製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 35</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 41</p>
⑩据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 35</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 P. 41</p>
⑪制震装置の構造上の動作制限	制震装置の構造上，動作に影響を与える機構等があれば，その影響を検討する。	<p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震装置変位防止用ストッパー，台座，擁壁，塵埃防止カバー，結露に対する免震機能の変化の考慮 P. 36</p>
⑫地震以外の外的事象	地震以外の外的事象による減衰性能への影響を検討する。	<p>【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 P. 31</p> <p>【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 P. 36</p> <p>【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 P. 42</p>

表 2-2 減衰性能への影響の検討項目の抽出

項目*		単軸粘性ダンパ	
		要否	理由
①制震装置に応じた減衰性能の設定		—	単軸粘性ダンパの性能試験結果を踏まえて減衰性能を適切にモデル化する。
②地震入力方向		—	単軸粘性ダンパは、伸縮方向にのみ動作することから、この方向に加振して減衰性能を取得する。
③ 使用 環境	④温度	○	減衰性能に対する温度の影響が小さいことを試験により確認する。
	放射線	—	屋外で使用するため放射線の影響を受けない。
	⑧経年劣化	—	化学的に安定な粘性体を使用しており、減衰性能の劣化は生じない。単軸粘性ダンパは 10 年以上の継続使用の実績がある。
⑥振動数		○	振動数による減衰性能への影響を確認する。
⑤速度		—	単軸粘性ダンパは非線形の挙動を示すことから、減衰性能は速度と抵抗力の関係として把握し、これを適切にモデル化する。
⑦連続加振		○	連続加振による減衰性能への影響を確認する。
ばら つき	⑨製造公差	○	製造公差による減衰性能のばらつきが生じる。
	⑩据付公差	—	単軸粘性ダンパはオリフィス部を粘性体が移動する際の流動抵抗により減衰性能を発揮するものであるため、ピストン位置による減衰性能の変化は小さい。また、据付時にシムによりピストン位置を調整するため、据付公差は小さい。
⑪制震装置の構造上の動作制限		—	変位防止用ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー等の単軸粘性ダンパの動作を制限するものは設置しておらず、減衰性能に影響はない。また、シリンダは粘性体で満たされ、密閉されているため結露しない。
⑫地震以外の外的事象		—	津波対策の実施により津波の敷地内への流入は防止しており、津波による減衰性能への影響を考慮する必要はない。なお、シリンダは密閉構造であるため、雨水の影響はない。また、単軸粘性ダンパは円筒形状であり、風及び積雪により受ける荷重は小さく、動作への影響はない。

注記*：表 2-2 内の各項目番号は、表 2-1 内の各項目番号に対応している。

単軸粘性ダンパの特性試験

単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する特性を把握するために実施した特性試験の結果を以下に示す。なお、(1)及び(2)の特性試験は、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパを用いて実施した。また、(3)温度依存性試験については、温度による減衰性能への影響が生じる場合、その主要な要因は粘性体の物性変化と考えられることから、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと同タイプ（粘性体が同一）で定格荷重の異なるダンパを用いた。

<試験項目>

- (1) 加振振動数を変更した特性試験
- (2) 連続加振試験
- (3) 温度依存性試験

1. 加振振動数を変更した特性試験

加振振動数に応じた単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、以下の試験条件で単軸粘性ダンパの特性試験を実施した。

1.1 試験条件

速度依存性の観点からここでは 4 段階の加振速度を設定し、等速度において振動数の違いによる減衰性能への影響を確認するため、添付 4 に示す取水槽ガントリクレーンの固有振動数及び単軸粘性ダンパの入力波形の主要振動数から設定した加振振動数 1.6Hz を基準に設定した正弦波により特性試験を実施した。試験条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 加振振動数を変更した特性試験の試験条件

No.	加振速度 (m/s)	振動数 (Hz) *
1	0.1	0.4
2		0.8
3		1.6
4	0.2	0.8
5		1.6
6		3.2
7	0.4	0.8
8		1.6
9		3.2
10	0.8	1.6
11		3.2

注記*：試験設備の制約、目標とする振幅を考慮して設定する。

1.2 試験結果

試験結果を図 3-1 に示す。この図には、加振振動数 1.6Hz の時の Maxwell モデルによる計算値を併せて示しているが、振動数を変更することによる抵抗力の変化は小さく、その変化幅は±10%以内であることが確認された。

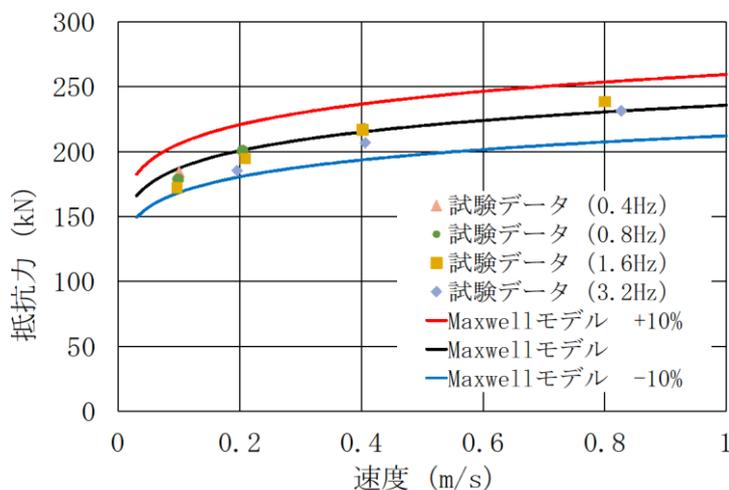


図 3-1 加振振動数を変更した単軸粘性ダンパの特性試験結果

2. 連続加振試験

連続加振による単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、正弦波による連続加振試験を実施した。

2.1 試験条件

表 3-2 に試験条件を示す。試験条件は、取水槽ガントリクレーンにおける単軸粘性ダンパの散逸エネルギーを上回る条件として設定した。

表 3-2 連続加振による試験条件

入力波	振動数 (Hz)	振幅 (mm)	加振時間 (秒)
正弦波	1	10	80以上

2.2 試験結果

連続加振試験における抵抗力の時間変化を図 3-2 に示す。80 秒経過までの連続加振により抵抗力は変化しておらず、連続加振による減衰性能への影響はないことを確認した。

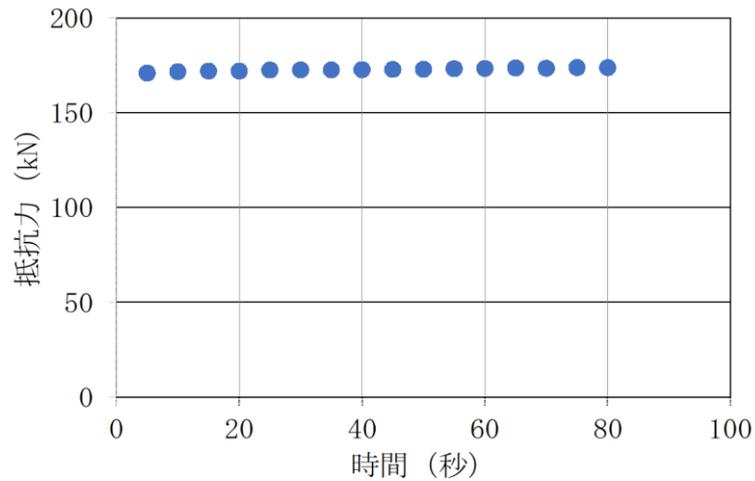


図 3-2 単軸粘性ダンパの連続加振試験結果

3. 温度依存性試験

周囲環境温度による単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、温度を変化させて単軸粘性ダンパの性能試験を実施した。

3.1 試験条件

試験条件を表 3-3 に示す。屋外に設置することから、温度は -10°C 、 23°C 、 40°C の3段階とした。

表 3-3 温度依存性試験の試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
1	1.0	0.13	-10
2			23
3			40
4		0.26	-10
5			23
6			40
7		0.39	-10
8			23
9			40
10		0.52	-10
11			23
12			40

3.2 試験結果

試験結果を図 3-3 に示す。温度が異なっても、抵抗力にほとんど差が見られないことから、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響がないことを確認した。

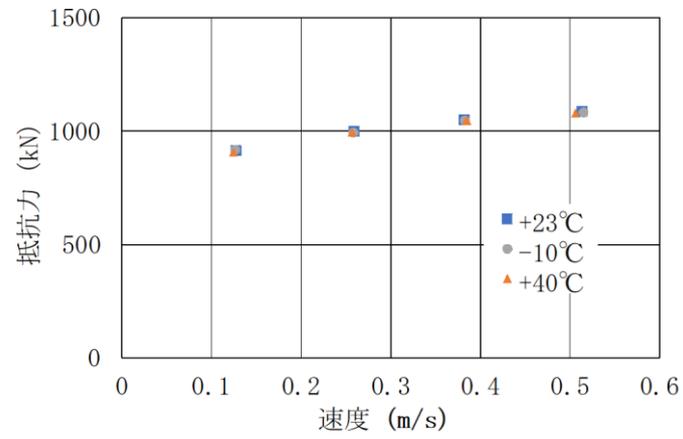


図 3-3 単軸粘性ダンパの温度依存性試験結果

単軸粘性ダンパの性能試験方法

単軸粘性ダンパ（実機）の減衰性能を解析モデルで適切に模擬することを目的に、単軸粘性ダンパの性能試験を実施している。具体的に、単軸粘性ダンパは微小速度の領域を除けば速度の変化に対する抵抗力の変化を小さくすることを目的として、速度の 0.1 乗に比例した減衰性能を発揮するように設計されており、性能試験で設計どおりの抵抗力が得られることを確認する。また、抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルによりモデル化できることを確認する。ここでは、Maxwell モデルのパラメータを決定し、単軸粘性ダンパをモデル化するための性能試験方法について示す。

1. 単軸粘性ダンパの性能試験方法

単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成を図4-1に示す。単軸粘性ダンパの性能試験では、アクチュエータを用いて単軸粘性ダンパを所定の正弦波により加振し、加振中の変位及び荷重を測定する。性能試験条件を表4-1に示す。加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパのストローク100mmの中で実機使用条件を含む幅広い試験速度（0.1～0.8m/s）を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパ設置前の取水槽ガントリクレーンの固有振動数（1.03Hz）及び予備解析における単軸粘性ダンパの入力波形の主要な振動数（0.8Hz～2.0Hz程度）を考慮して加振振動数は1.6Hzとした。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は温度の影響を受けない（添付7参照）ことから、性能試験は室温にて実施した。単軸粘性ダンパの性能試験結果を図4-2に示す。測定した速度及び抵抗力に適合するように、Maxwellモデルのパラメータを決定する。パラメータの設定は最小二乗法により実施しており、図4-2に示すとおり、Maxwellモデルによって試験結果として得られた減衰性能を精度良く表現できることを確認した。



図4-1 単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成

表 4-1 単軸粘性ダンパの性能試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)
1	1.6	0.1
2		0.2
3		0.4
4		0.5
5		0.8

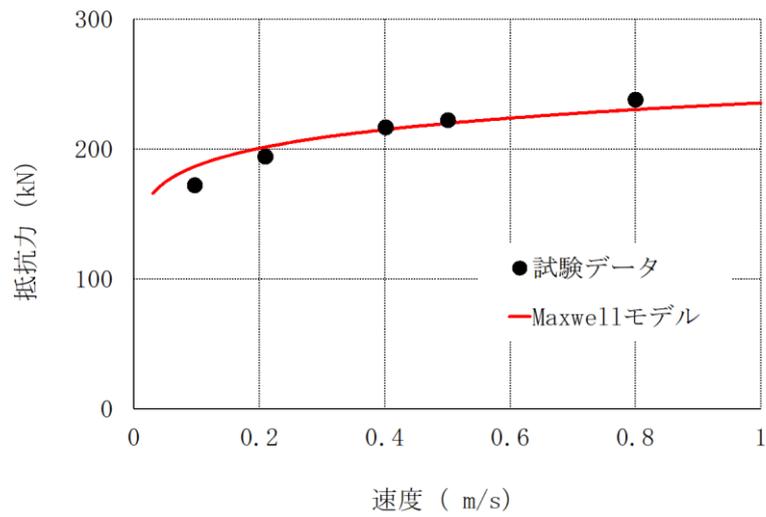


図 4-2 単軸粘性ダンパの性能試験結果

単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の表現及びモデル化

本資料では、単軸粘性ダンパについて減衰性能の特性を整理し、その違いを踏まえた減衰性能の表現及びモデル化の考え方を示す。

1. 単軸粘性ダンパの減衰性能の振動数依存性

単軸粘性ダンパについて、振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係を図5-1に示す。

単軸粘性ダンパは、微小速度の領域を除けば速度の変化に対して抵抗力の変化が小さい。また、振動数の変化に対して、単軸粘性ダンパは速度と抵抗力の関係の変化は小さい。

2. 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

単軸粘性ダンパは、微小速度では速度の変化に対して抵抗力の変化が大きく、それ以降は速度の変化に対して抵抗力の変化が小さいという特性を有している。これは単軸粘性ダンパの抵抗力が速度の0.1乗に比例するように設計されているためである。また、単軸粘性ダンパの速度と抵抗力の関係に対して、振動数依存性は小さいことが確認されている。このような特性を踏まえて、単軸粘性ダンパの減衰性能は、速度と抵抗力の関係として表現することとし、解析モデルとしては速度の0.1乗に比例するダッシュポットを組み込んだMaxwellモデルを使用する。Maxwellモデルのパラメータ数は2つであるが、図5-2に示すとおり、2つのパラメータで精度良く減衰性能を表現することができる。

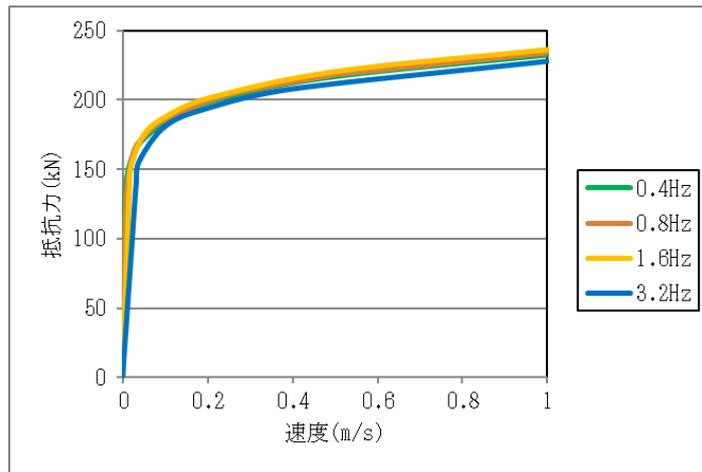


図5-1 振動数を変化させた場合の単軸粘性ダンパの速度と抵抗力の関係

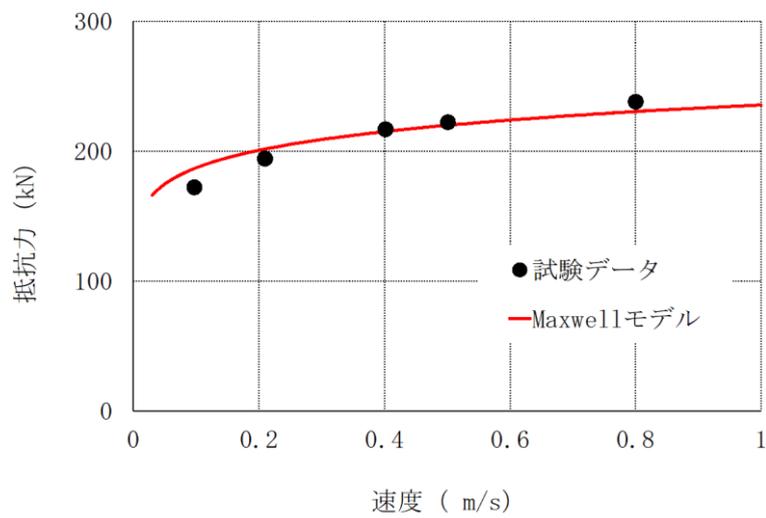


図 5-2 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析手法

本資料では、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの時刻歴応答解析手法を説明する。

1. 地震応答解析

地震による慣性力を受けるクレーンの運動方程式を以下に示す。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばね（クレーンの剛性マトリクス内の要素として考慮）と抵抗力が速度の0.1乗に比例するダッシュポットを直列に接続したMaxwellモデルでモデル化する。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + [C_D][\dot{X}_D^{0.1}]\{I\} = -[M]\{I\}\ddot{y} \quad (1)$$

$[M]$, $[C]$, $[K]$: クレーンの質量, 減衰, 剛性マトリクス

(単軸粘性ダンパのばね剛性 (k_D) を含む。)

$[C_D]$: 相対速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットの減衰マトリクス

$[X_D]$: クレーンの相対変位マトリクス

$\{x\}$: クレーンの変位ベクトル

$\{I\}$: 単位ベクトル

\ddot{y} : 地動加速度

2. 個別要素のモデル化

2.1 単軸粘性ダンパの減衰

単軸粘性ダンパを含む系の運動方程式の簡単な例として、1 質点系に単軸粘性ダンパを表す Maxwell モデルを接続した図 6-1 に示す系の運動方程式を示す。

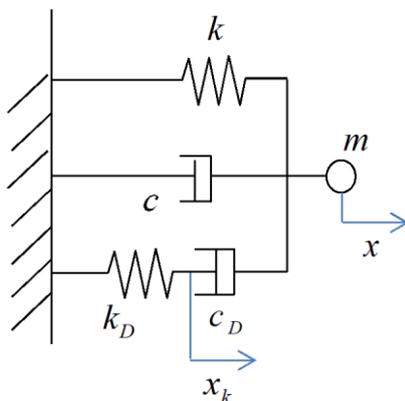


図 6-1 単軸粘性ダンパを接続した 1 質点系のモデル

ここで(1)式の $\{x\}$ を

$$\{x\} = \begin{pmatrix} x \\ x_k \end{pmatrix} \quad (2)$$

$x - x_k$ を単軸粘性ダンパの相対変位として表すと、この系の運動方程式は以下となる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = -m\ddot{y} \quad (3)$$

$$k_D x_k - c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = 0 \quad (4)$$

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、単軸粘性ダンパの抵抗力の速度に対する非線形性を表す $[c_D] [\dot{x}_D^{0.1}] \{I\}$ の項が存在することから、非線形時刻歴解析を採用する。

既工認実績のある単軸粘性ダンパとの差異の整理

1. はじめに

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと既工認実績のある島根 2 号機排気筒に設置した単軸粘性ダンパに着目し、機器への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理する。

2. 島根 2 号機の排気筒で実績のある単軸粘性ダンパについて

島根 2 号機の排気筒で適用実績のある単軸粘性ダンパについて、概要を以下に示す。この単軸粘性ダンパは、粘性体が充填されたシリンダとピストンにより構成され、シリンダとピストンの間に相対運動が生じることで、相対運動の方向と逆向きに生じる抵抗力を用いるものである。単軸粘性ダンパは自重等の静的荷重は支持せず、熱膨張のような低速度の運動を拘束しない。排気筒における単軸粘性ダンパの外観及び構造を図7-1に示す。また、取水槽ガントリクレーンとの単軸粘性ダンパの仕様比較を表7-1に示す。

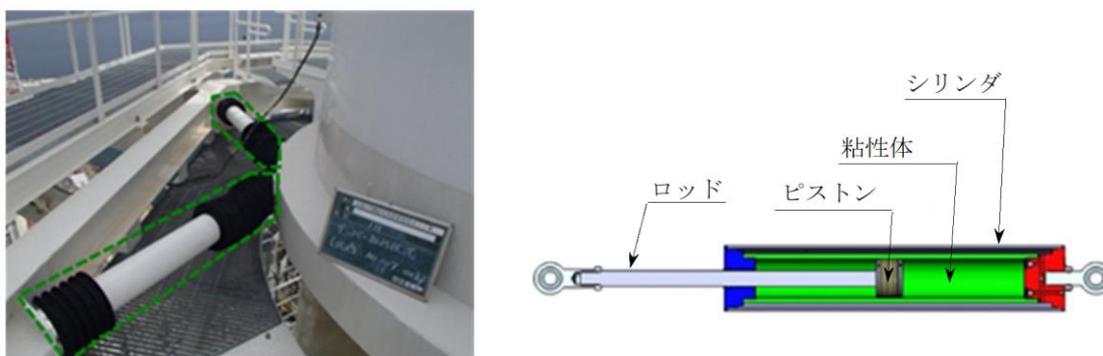


図 7-1 島根 2 号機の排気筒に設置した単軸粘性ダンパの外観及び構造

表 7-1 単軸粘性ダンパの仕様比較

項目	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
排気筒	1350	165	86	144	300
取水槽ガントリ クレーン	1535	275	533	300	100

3. 今回適用する単軸粘性ダンパと既工認実績のある単軸粘性ダンパの差異

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと島根 2 号機排気筒の単軸粘性ダンパを比較し、機器・配管系への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。結果を表7-2、及び図7-2に示す。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。

表 7-2 適用実績のある単軸粘性ダンパとの差異の整理 (単軸粘性ダンパ)

項目	単軸粘性ダンパ		差異	検討内容
	排気筒 (島根 2 号機)	取水槽ガントリー クレーン		
適用対象	排気筒	取水槽ガントリー クレーン	○	対象機器のモデル化 方法を検討
環境条件	屋外	屋外	—	—
粘性体	シリコン系	シリコン系	○	単軸粘性ダンパの特 性を考慮したモデル化 方法を検討
ダンパ特性	線形	非線形		
解析	単軸粘性 ダンパ モデル	Maxwell モデル	—	—
	解析 手法	時刻歴 応答解析	—	—

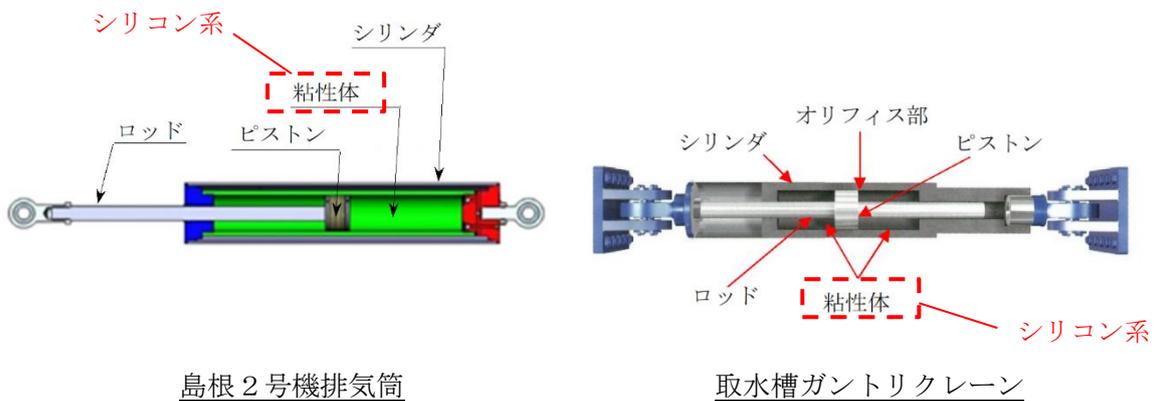


図 7-2 単軸粘性ダンパの構造比較

新規制基準適合性審査の実績等を踏まえた検討事項に対する考察

単軸粘性ダンパを設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえ重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮されていることを確認する。具体的に、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正 平成 29 年 11 月 15 日，原規技発第 1711152 号）」（以下「工認審査ガイド」という。）に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討が実施されていることを確認する。

なお、その他の知見として、「建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（令和 4 年 2 月）原子力規制委員会」（以下「免震審査ガイド」という。）の免震装置に関する記載についても確認した。その結果、「免震審査ガイド」は建物全体を免震構造とした施設を適用範囲としていること、かつ、「免震審査ガイド」に基づく検討項目は「工認審査ガイド」において概ね包絡されることを確認した。そのため、工認審査ガイドに基づき確認を実施する。

確認結果を表 8-1 に示す。

工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。

表 8-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (1/2)

検討事項 (工認審査ガイド) 4. 機器・配管系 に関する事項	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容	追加検討 事項の有無 (○:有 ー:無)
4. 1 使用材料及び材 料定数	<p>機器・配管系の地震応答解析及び構造設計において、工認審査ガイドに従って適用可能な規格及び基準等を使用する。</p> <p>地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。なお、単軸粘性ダンパにより機器・配管系に付与される減衰が大きくなるため、影響は軽微であると考えているが、詳細設計段階において ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1—NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行い、影響が軽微であることを確認する。</p>	ー (考慮済)
4. 2 荷重及び荷重の 組合せ	<p>地震力と地震力以外の荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき適切に組み合わせる。</p>	ー (考慮済)
4. 3 許容限界	<p>取水槽ガントリクレーンに係る許容限界及び単軸粘性ダンパの許容荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定する。</p> <p>単軸粘性ダンパの許容変位は、その構造、寸法に基づき設定する。</p>	ー (考慮済)
4. 4 地震応答解析 4. 4. 1 地震応答解析手 法及び地震応答 解析モデル	<p>地震応答解析手法は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。</p> <p>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は、性能試験結果に基づいてモデル化し、減衰性能のばらつきを考慮する。</p>	ー (考慮済)
4. 4. 2 入力地震力	<p>入力地震力は、取水槽ガントリクレーン設置位置の応答波を用いる。</p>	ー (考慮済)

表 8-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (2/2)

検討事項 (工認審査ガイド) 4. 機器・配管系 に関する事項	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容	追加検討 事項の有無 (○:有 ー:無)
4. 5 構造設計手法 4. 5. 1 構造解析手法及び構造解析モデル	構造解析手法及び構造解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。構造解析モデルの材料定数は、「4. 1 使用材料及び材料定数」による。	ー (考慮済)
4. 5. 2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ	水平2方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関しては、三方向同時入力により地震応答解析を行う。	ー (考慮済)
4. 6 基準地震動 S_s による地震力に対する耐震設計 4. 6. 1 構造強度	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものである。構造強度に関する耐震設計においては、耐震性を確認する上で必要な評価対象部位を選定し、施設に作用する応力等が工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定した許容限界を超えていないことを確認する。	ー (考慮済)
4. 6. 2 動的機能	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものであり、動的機能維持の対象に該当しない。	ー (対象外)
4. 7 弾性設計用地震動 S_d による地震力・静的地震力に対する耐震設計	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものであり、弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力に対する耐震設計の対象に該当しない。	ー (対象外)

単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較

表 9-1 に単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較を示す。

表 9-1 単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較 (1/3)

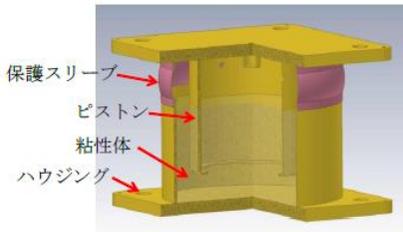
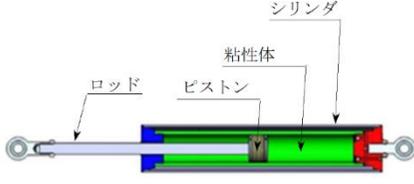
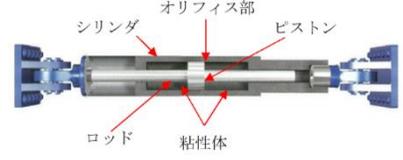
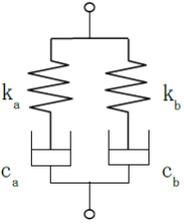
設備 項目	島根 2 号機 配管系	島根 2 号機 排気筒	島根 2 号機 取水槽ガントリクレーン	備考 (差異に対する 対応内容)
適用設備の 耐震クラス	耐震 B クラス (S d 機能維持の範囲を含む)	<ul style="list-style-type: none"> 耐震 S クラス (非常用ガス処理系用排気筒) 耐震 C クラス (空調換気系用排気筒) 	耐震 C クラス (S s での波及的影響評価を含む)	—
免震装置	三軸粘性ダンパ	単軸粘性ダンパ	単軸粘性ダンパ	—
構造概要				<ul style="list-style-type: none"> 排気筒の単軸粘性ダンパと比較し、取水槽ガントリクレーンで必要な検討が行われていることを確認。(添付 7 参照) オリフィスの構造や粘性体の特性に応じたダンパ特性を考慮。(添付 7 参照)
粘性体の種類	シリコン系	シリコン系	シリコン系	

表 9-1 単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較 (2/3)

設備 項目	島根 2 号機 配管系	島根 2 号機 排気筒	島根 2 号機 取水槽ガントリクレーン	備考 (差異に対する 対応内容)
モデル化方法	4 パラメータ Maxwell モデル  k_a, k_b :ばね剛性 c_a, c_b :ダッシュポットの減衰係数	2 パラメータ Maxwell モデル  k :ばね剛性 c :速度に比例するダッシュポットの減衰係数	2 パラメータ Maxwell モデル  k :ばね剛性 c :速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットの減衰係数	他設備同様、Maxwell モデルを採用。速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットで減衰性能を精度よくモデル化できることを確認。(3.2 参照)
地震応答解析方法	時刻歴応答解析 (線形) <モーダル時刻歴解析>	時刻歴応答解析 (線形) <直接積分法>	時刻歴応答解析 (非線形) <直接積分法>	取水槽ガントリクレーンはクレーン車輪部と単軸粘性ダンパが非線形モデルとなるため、非線形時刻歴解析を実施。(3.2 参照)
減衰定数の設定方法 (ダンパ以外)	モード減衰	剛性比例型減衰	Rayleigh 減衰	—

添付 9-2

表 9-1 単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較 (3/3)

設備 項目	島根 2 号機 配管系	島根 2 号機 排気筒	島根 2 号機 取水槽ガントリクレーン	備考 (差異に対する 対応内容)
特性試験項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平・鉛直同時加振試験 ・ 放射線照射試験 ・ 温度依存性試験 ・ 加振振幅を変えた性能試験 ・ 連続加振試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダンパ特性確認試験 (減衰係数を確認) ・ 温度依存性試験 ・ 加振振動数を変更した特性試験 <p>なお、施工時にダンパ性能を確認するため、製品性能試験及びストローク確認試験を実施。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加振振動数を変更した特性試験 ・ 連続加振試験 ・ 温度依存性試験 	<p>取水槽ガントリクレーンで検討が必要な項目の特性試験を実施。 (添付 3 参照)</p>
減衰性能の 不確かさ影響 の考慮	<p>±30%のばらつきを考慮 (製造公差, 据付公差)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ±30%のばらつきを考慮 (特性試験結果を基に設定) ・ ダンパ 1 台削除 (点検を想定) 	<p>±20%のばらつきを考慮 (振動数, 製造公差)</p>	<p>取水槽ガントリクレーンの特性試験におけるばらつき, 及び製造公差からばらつきを設定。(3.2 参照)</p>
地震動の選定	<p>弾性設計用地震動 S_d (S_d-1, D, F1, F2, N1, N2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基準地震動 S_s (S_s-D, F1, F2, N1, N2) ・ 弾性設計用地震動 S_d (S_d-1, D, F1, F2, N1, N2) 	<p>基準地震動 S_s (S_s-D)</p>	<p>取水槽ガントリクレーンの耐震評価への影響が大きい地震動を選定。(NS2-補-027-10-48, 添付 5 参照)</p>

単軸粘性ダンパの保守管理の方針

1. 概要

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパは、設置環境を踏まえた経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を維持する。本資料においては、単軸粘性ダンパの保守管理の方針について説明する。

2. 点検項目等

単軸粘性ダンパは、本体（カバー、ガイドリング、ロッド、ピストン、シリンダー、クレビス）、特殊充填材、取付ボルトにより構成（図 10-1 参照）され、電子的な機構はない構造となっている。

単軸粘性ダンパの点検項目及び点検内容等を表 10-1 に示す。

本体及び取付ボルトは金属製であり、想定される経年劣化事象は腐食である。したがって、点検項目としては、目視により腐食等の有無を確認する。また、取付ボルトは緩みも想定されるため、緩みの有無も確認する。

特殊充填材はシリコン系であり、化学的に安定しており、極めて劣化し難い素材のため、経年劣化による減衰性能への影響は考え難いものの、本体内部の特殊充填材が外部へ漏えいした場合は減衰性能に影響を与える可能性がある。したがって、点検項目としては、目視により特殊充填材の漏えいの有無を確認する。

表 10-1 単軸粘性ダンパの点検項目及び点検内容

点検部位	想定される経年劣化事象	点検項目	点検内容	点検周期
本体	腐食	外観点検	き裂，変形，腐食がないことを確認する	1回/1年
取付ボルト	腐食	外観点検	き裂，変形，腐食，緩みがないことを確認する	1回/1年
特殊充填材	漏えい	外観点検	特殊充填材の漏えいがないことを確認する	1回/1年

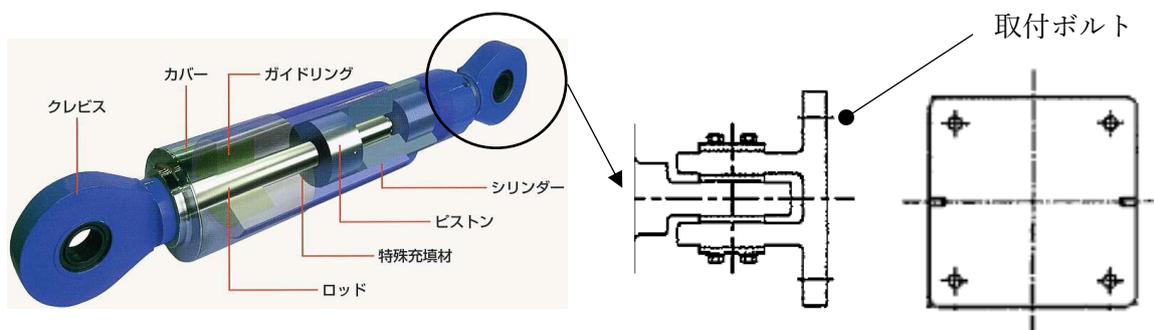


図 10-1 単軸粘性ダンパの概要