

島根原子力発電所第2号機 機器・配管系への制震装置の適用 (単軸粘性ダンパ)

2023年2月
中国電力株式会社

機器・配管系への制震装置の適用（目次）

1. 取水槽ガントリクレーンに係る要求事項	3
2. 取水槽ガントリクレーンの構造概要	4
3. 単軸粘性ダンパの構造概要	5
4. 単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーンの設計方針	6
5. 地震応答解析の実施	7
6. 評価結果	8
7. まとめ	11
別紙 1 単軸粘性ダンパの配置検討	12
別紙 2 単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討	14
別紙 3 単軸粘性ダンパの性能試験	15
別紙 4 単軸粘性ダンパのモデル化	17
別紙 5 単軸粘性ダンパの解析モデルの追加	20
別紙 6 機器評価	21
別紙 7 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	22
別紙 8 設計における適用規格及び適用範囲	23
別紙 9 単軸粘性ダンパの選定理由	24
別紙 10 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	25
別紙 11 単軸粘性ダンパの適用における他設備との特徴比較	29
別紙 12 取水槽ガントリクレーンのモード図	32

詳細設計申し送り事項に対する回答

取水槽ガントリクレーンは、基準地震動Ss地震時に上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさない観点から、設置変更許可審査時に制震装置(単軸粘性ダンパ)の適用性について以下を説明している。

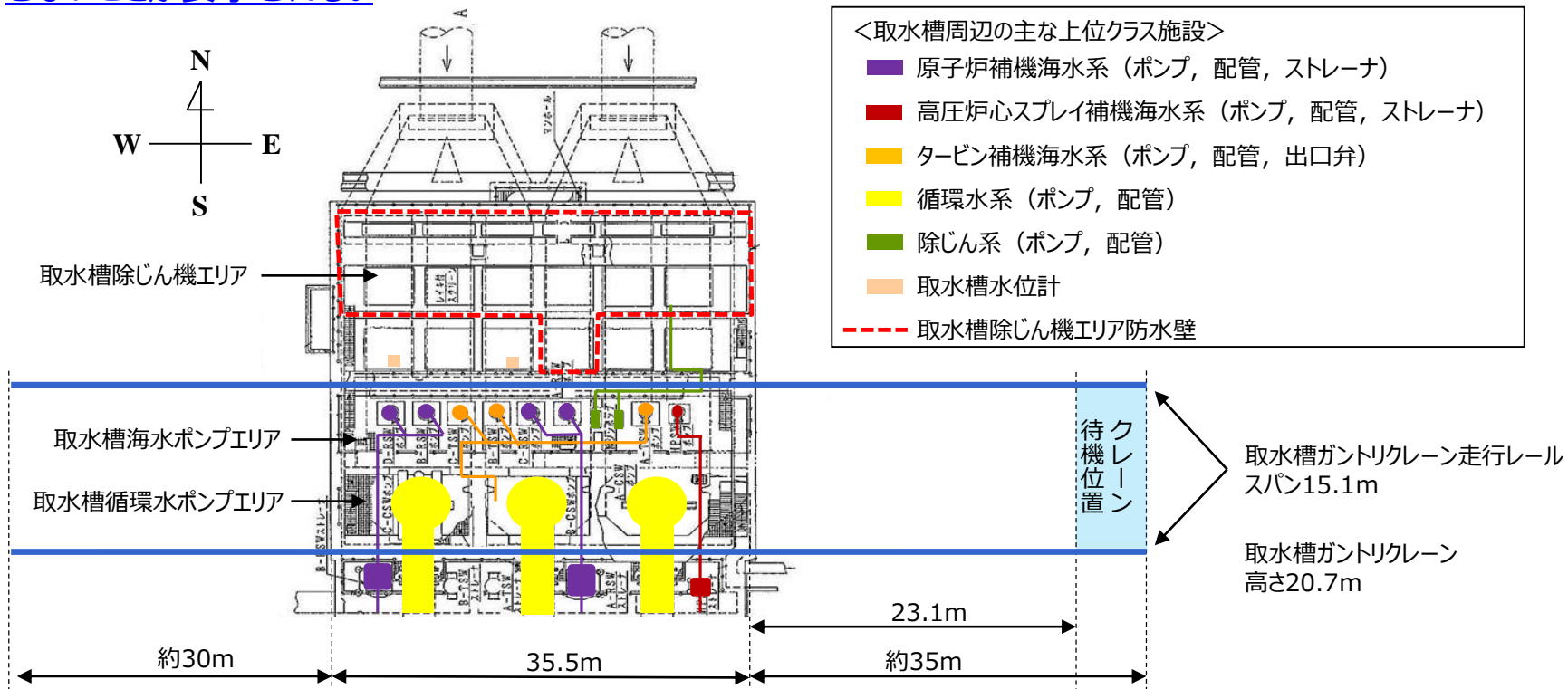
- ・ 取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの構造概要
- ・ 単軸粘性ダンパの性能試験方法及び結果
- ・ 単軸粘性ダンパの耐震評価におけるモデル化方法
- ・ 取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果（性能試験条件に拠る）

ここでは、審査時に受けた以下の申し送り事項に対する回答を次紙以降で説明する。

No.	詳細設計申し送り事項	分類	回答	回答頁
1	<p>制震装置と対象設備の地震時の構造成立性については、設置許可段階にて示す地震応答解析手法による耐震評価結果を詳細設計段階で示す。 （第796回審査会合（2019年11月12日）における当社の回答内容）</p>	B	<p>単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンについて地震応答解析を行った。 取水槽ガントリクレーンについては発生応力が許容応力以下となることを確認した。 単軸粘性ダンパについては荷重等の応答値が許容値以下となることを確認した。</p>	P.8

1. 取水槽ガントリクレーンに係る要求事項

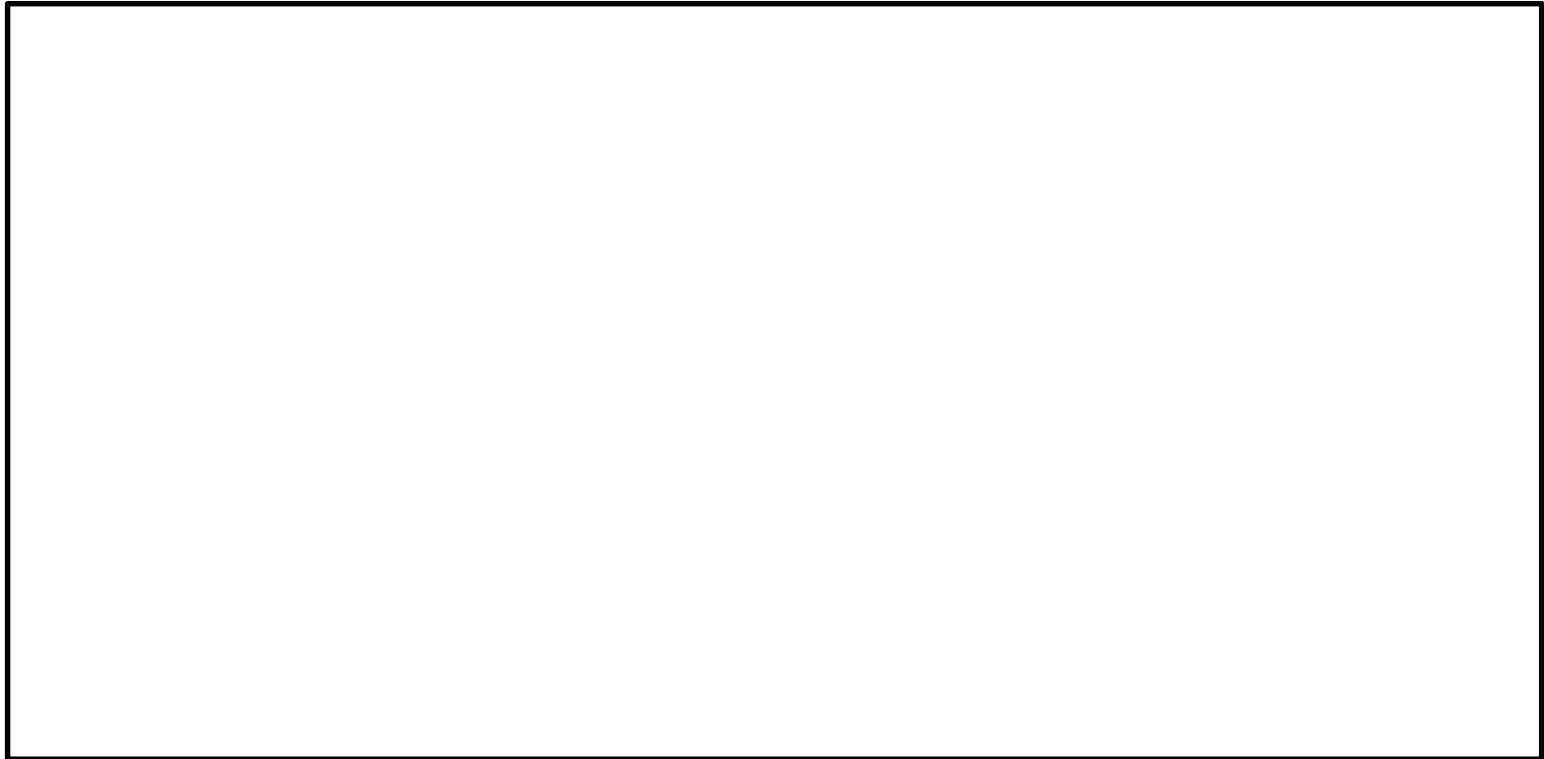
- 発電所の運転中は、取水槽ガントリクレーンは図中に示す位置に待機しており、周辺の上位クラス施設とは十分な離隔距離があることから波及的影響を及ぼすおそれはない。
- 定期事業者検査中など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施する期間には、上位クラス施設が設置されている取水槽海水ポンプエリア付近に位置することとなるため、基準地震動Ssによる地震力に対して取水槽ガントリクレーンが損傷、転倒及び落下することで 上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。



取水槽ガントリクレーンの設置位置及び取水槽周辺の上位クラス施設概要

2. 取水槽ガントリクレーンの構造概要

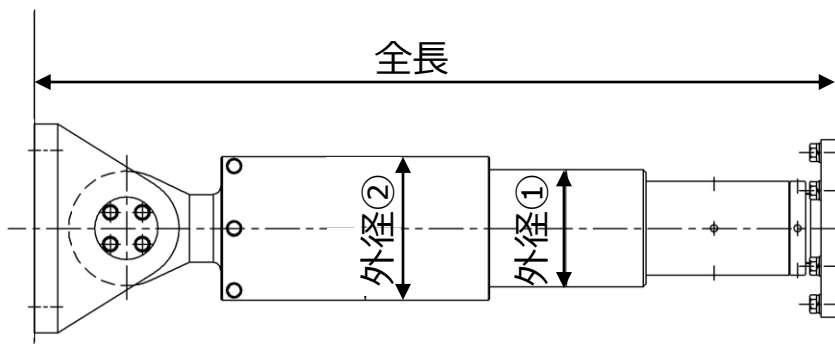
- 取水槽ガントリクレーンの構造として、脚はガーダを支持し、下部には走行車輪が設置されている。ガーダは脚の上部にあり、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されており、下部にはホイストレールが設置されている。
- 取水槽ガントリクレーンは横行方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、減衰性能に優れる単軸粘性ダンパを横行方向の振動を抑制する制震装置として採用した。



取水槽ガントリクレーンの構造

3. 単軸粘性ダンパの構造概要

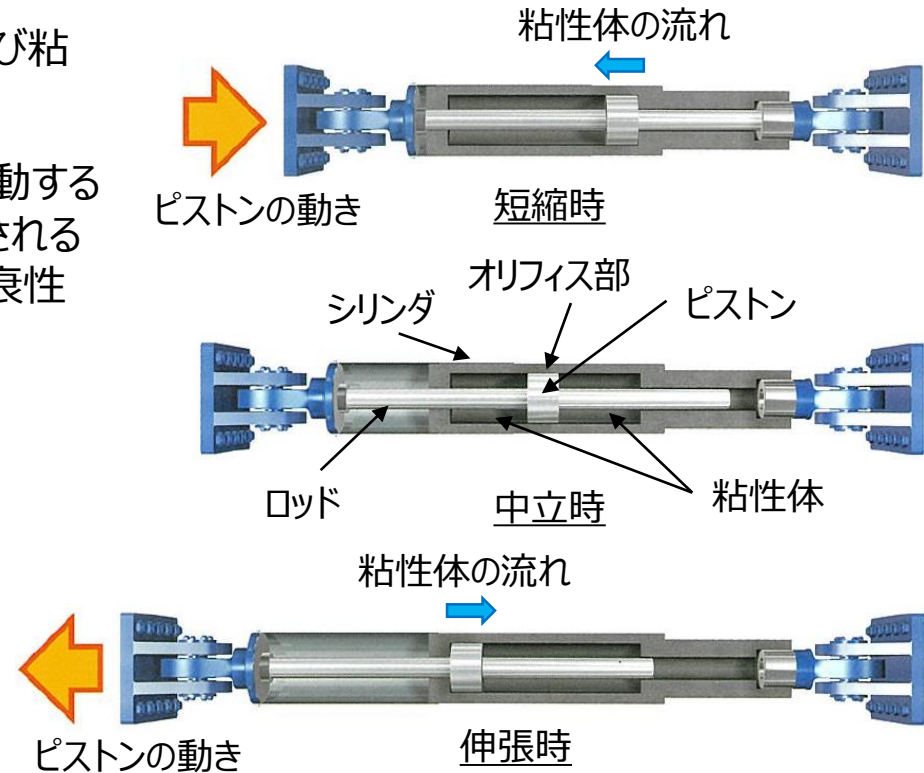
- 単軸粘性ダンパは主にシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体により構成されている。
- 単軸粘性ダンパは、ピストン、ロッドが軸方向に移動することにより、シリンダ内面とピストン外面の間に形成されるオリフィス部を粘性体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものである。



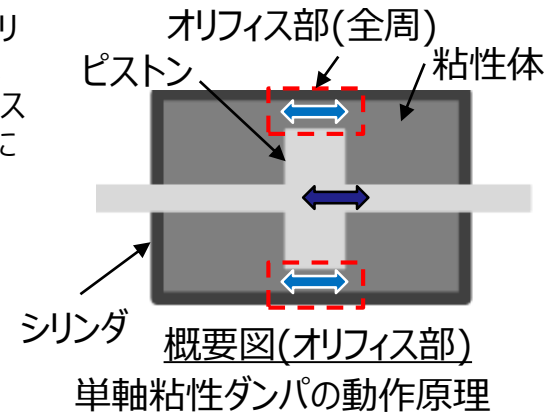
単軸粘性ダンパの構造

単軸粘性ダンパの仕様

定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径① (mm)	外径② (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
220	1535	224	275	533	300	100



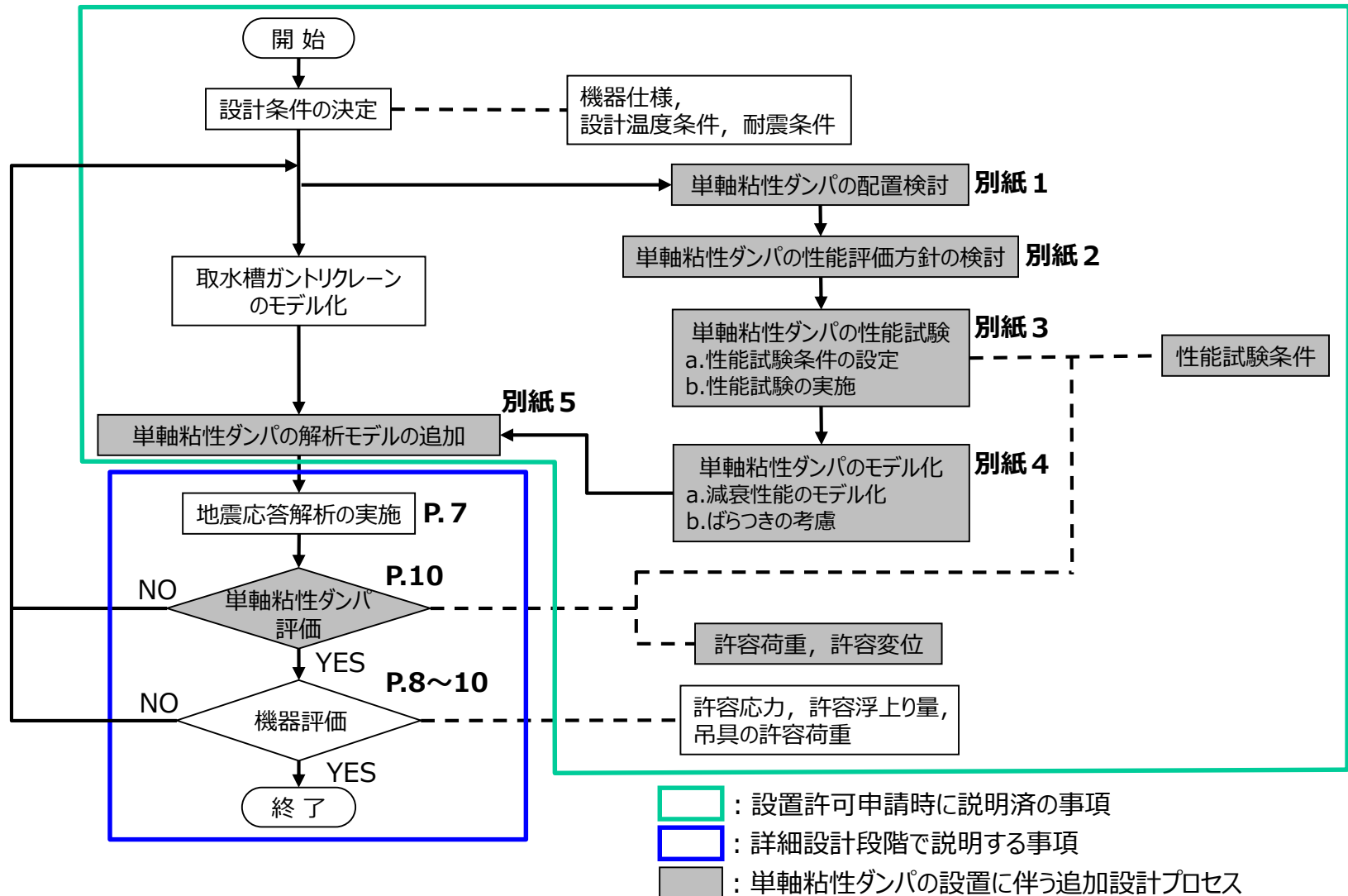
シリンダとピストンの隙間(赤枠部)がオリフィス部であり、ピストンの移動方向に対し、シリンダ内部の粘性体がオリフィス部を介してピストンの移動方向とは逆に流動し抵抗力が発生する。



概要図(オリフィス部)
単軸粘性ダンパの動作原理

4. 単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーンの設計方針

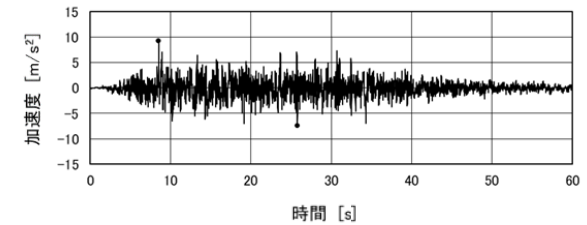
- 耐震設計フローを示す。単軸粘性ダンパの設置に伴う追加設計プロセスについて以降で説明する。



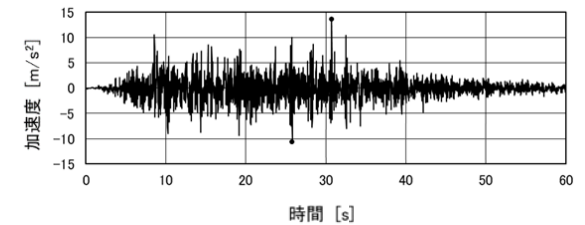
単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーンの耐震設計フロー

5. 地震応答解析の実施

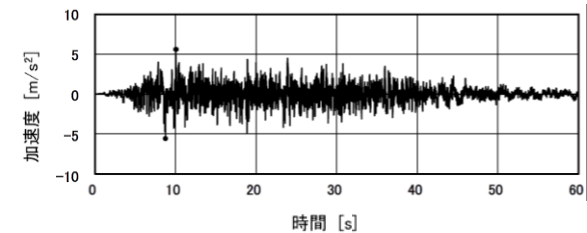
- 取水槽ガントリクレーンの車輪部と単軸粘性ダンパの非線形性を考慮し、非線形時刻歴応答解析を適用する。



(S s - D, NS方向)



(S s - D, EW方向)



(S s - D, UD方向)

取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル

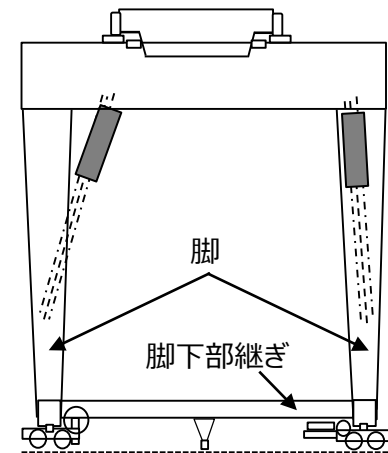
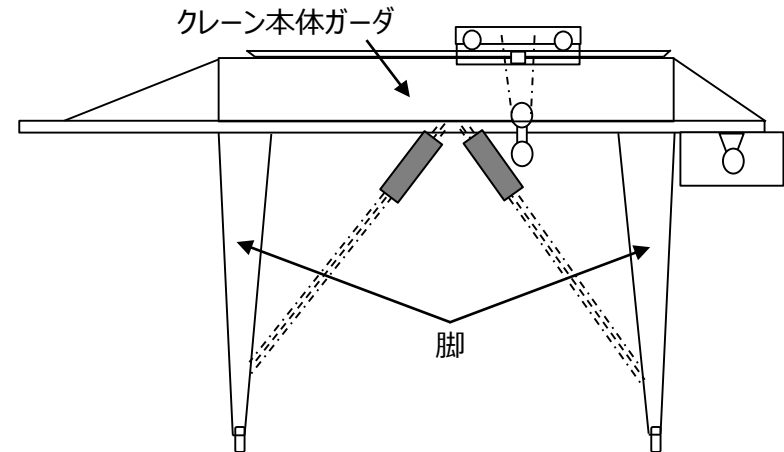
地震応答解析に用いる加速度時刻歴波

6. 評価結果 (1/3)

- ダンパ取付部を含め取水槽ガントリクレーンは基準地震動Ssによる地震力に対して十分な構造強度を有しており、単軸粘性ダンパも許容値を満足するため、波及的影響を及ぼさないことを確認した。

取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果 (1/3)

部位	材料	応力	算出値	許容値
クレーン本体 ガーダ	SS400	せん断(MPa)	26	161
		曲げ(MPa)	128	280
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	134	280
脚	SS400	圧縮(MPa)	36	279
		引張(MPa)	5	280
		せん断(MPa)	77	161
		曲げ(MPa)	194	280
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.798	1.0
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	228	280
脚下部継ぎ	SS400	圧縮(MPa)	23	263
		引張(MPa)	14	280
		せん断(MPa)	57	161
		曲げ(MPa)	224	280
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.835	1.0
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	244	280

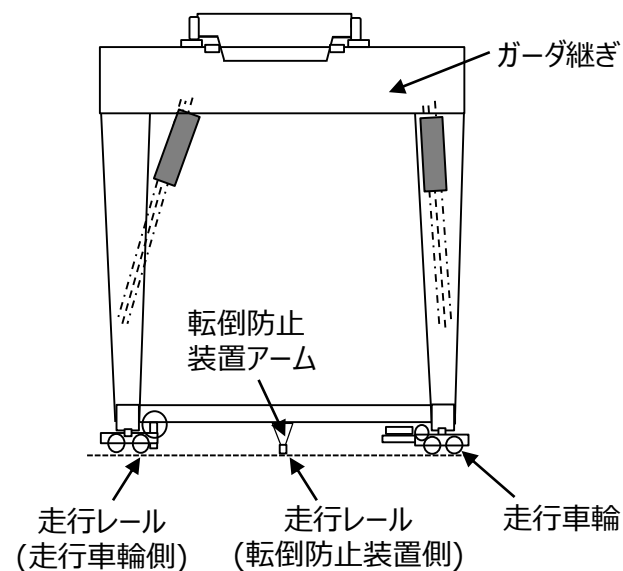
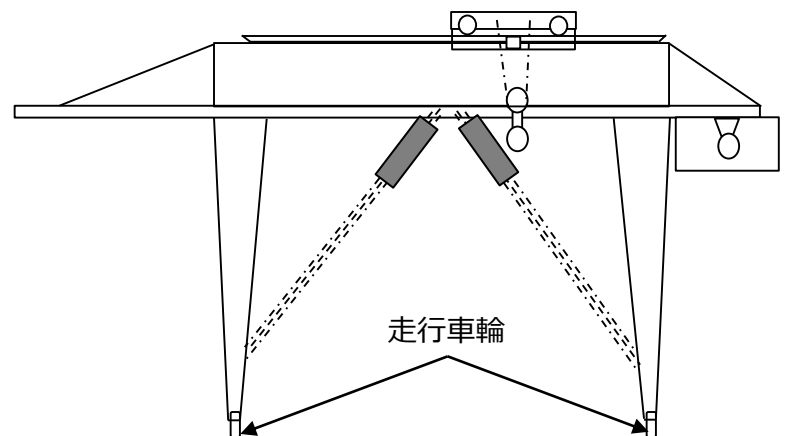


評価対象部位

6. 評価結果 (2/3)

取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果 (2/3)

部位	材料	応力	算出値	許容値
ガーダ継ぎ	SS400	圧縮(MPa)	5	275
		引張(MPa)	5	280
		せん断(MPa)	97	161
		曲げ(MPa)	99	280
		組合せ (引張+曲げ)	0.363	1.0
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	176	280
転倒防止装置 アーム	S35C	組合せ(MPa) (せん断+曲げ)	201	357
走行車輪	SSW-Q1	せん断(MPa)	60	311
		曲げ(MPa)	325	539
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	341	539
走行レール (走行車輪側)	レール鋼	せん断(MPa)	28	315
		垂直(MPa)	460	546
		組合せ(MPa) (垂直+せん断)	463	546
走行レール (転倒防止 装置側)	レール鋼	せん断(MPa)	18	315
		曲げ(MPa)	35	546
		組合せ(MPa) (曲げ+せん断)	47	546

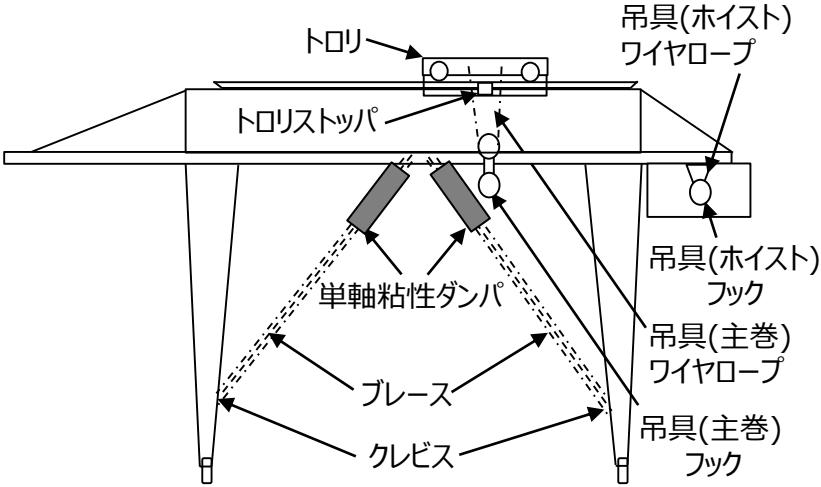


評価対象部位

6. 評価結果 (3/3)

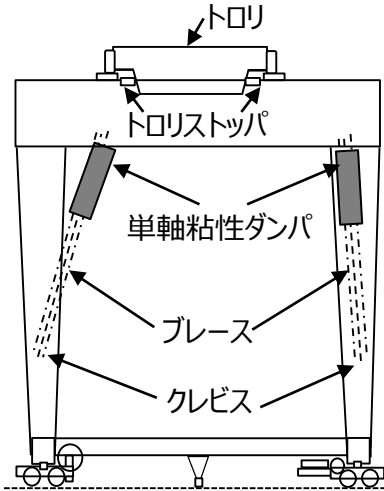
取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果 (3/3)

部位		材料	応力	算出値	許容値
トロリストップ		SS400	圧縮(MPa)	4	280
トロリ		-	浮上り量(mm)	9.0	150
吊具 (主巻)	ワイヤロープ	IWRC 6×Fi(29)	吊荷荷重(N)	1.276×10 ⁶	4.078×10 ⁶
	フック	S35C	吊荷荷重(N)		4.980×10 ⁶
吊具 (ホイスト)	ワイヤロープ	4×F(40)	吊荷荷重(N)	4.934×10 ⁵	1.479×10 ⁶
	フック	SCM435	吊荷荷重(N)		2.060×10 ⁶



単軸粘性ダンパの耐震評価結果

評価部材	材料	評価項目	算出値	許容値
単軸粘性ダンパ	SCM435	荷重(N)	2.572×10 ⁵	3.0×10 ⁵
		変位 (mm)	44	100
ブレース	STKM13A	圧縮応力(MPa)	16	78
クレビス	SUS630 H1150	せん断応力(MPa)	91	375
		曲げ応力(MPa)	261	651
		組合せ応力(MPa)	305	651
		回転角度(°)	0.8	3



評価対象部位

7. まとめ

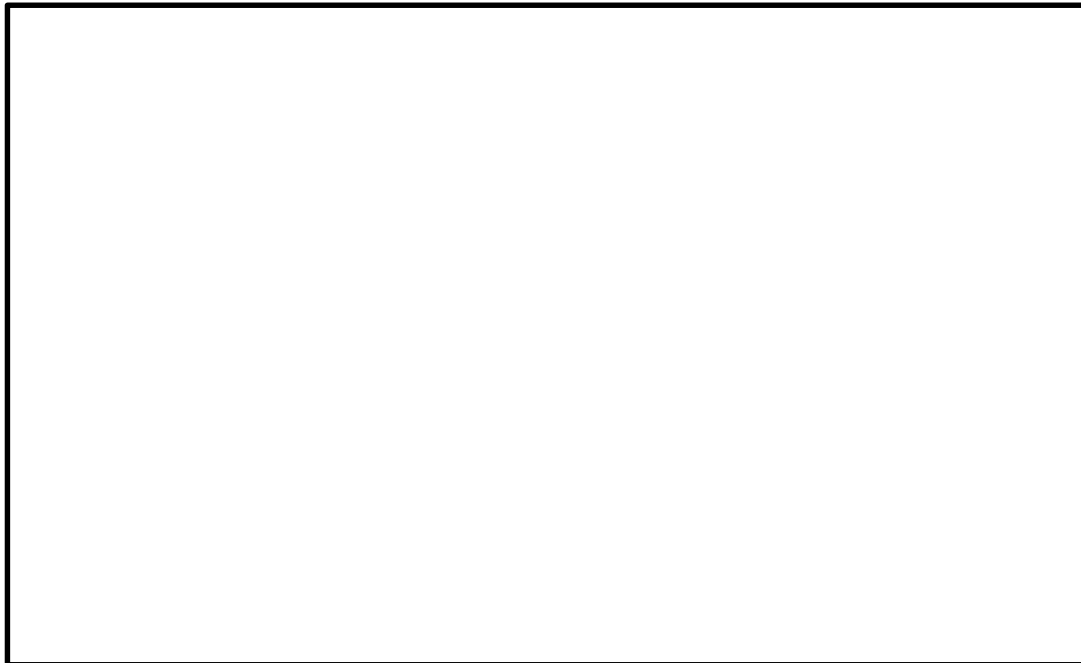
単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンについて地震応答解析を行った結果、取水槽ガントリクレーンについては発生応力が許容応力以下となることを確認した。また、単軸粘性ダンパについては荷重等の応答値が許容値以下となることを確認した。

よって、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十分な構造強度を有しており、上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管等への波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(別紙 1) 単軸粘性ダンパの配置検討 (1/2)

単軸粘性ダンパの設置箇所

- 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。
- 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で生じる抵抗力により減衰性能を発揮するため、大きな変位が生じる取水槽ガントリクレーンのガーダと脚の間に設置する。



取水槽ガントリクレーンの構造

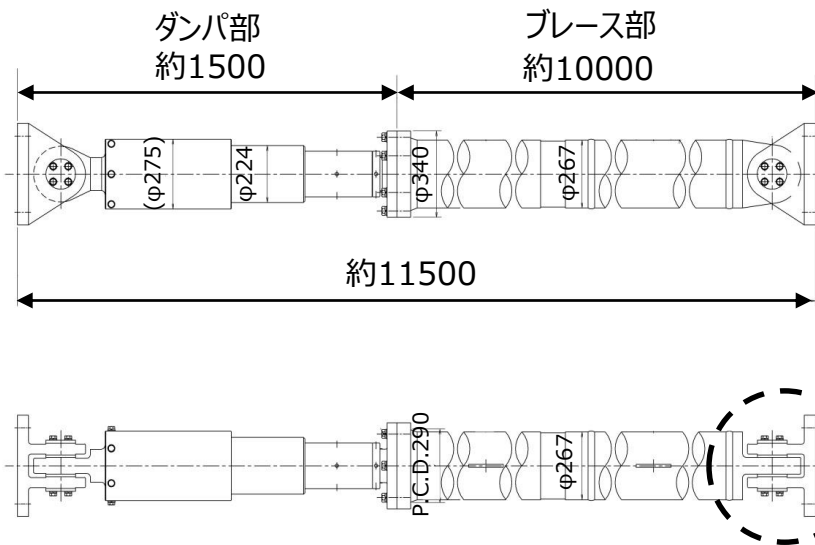


単軸粘性ダンパの外観 (橋梁への設置例)

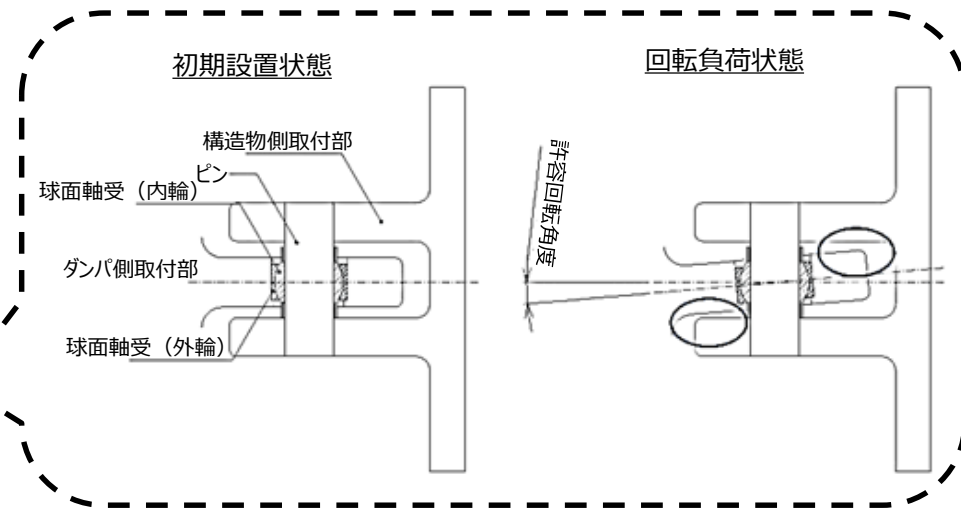
(別紙 1) 単軸粘性ダンパの配置検討 (2/2)

単軸粘性ダンパの取付方法

- 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。
- クレビスはダンパの伸縮方向と直交する一方向には回転可能となっており，回転方向以外にも約3度の許容回転角度を有することで，伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。



単軸粘性ダンパ及びブレースの構造



クレビス部詳細

単軸粘性ダンパ取付部の構造

(別紙2) 単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討

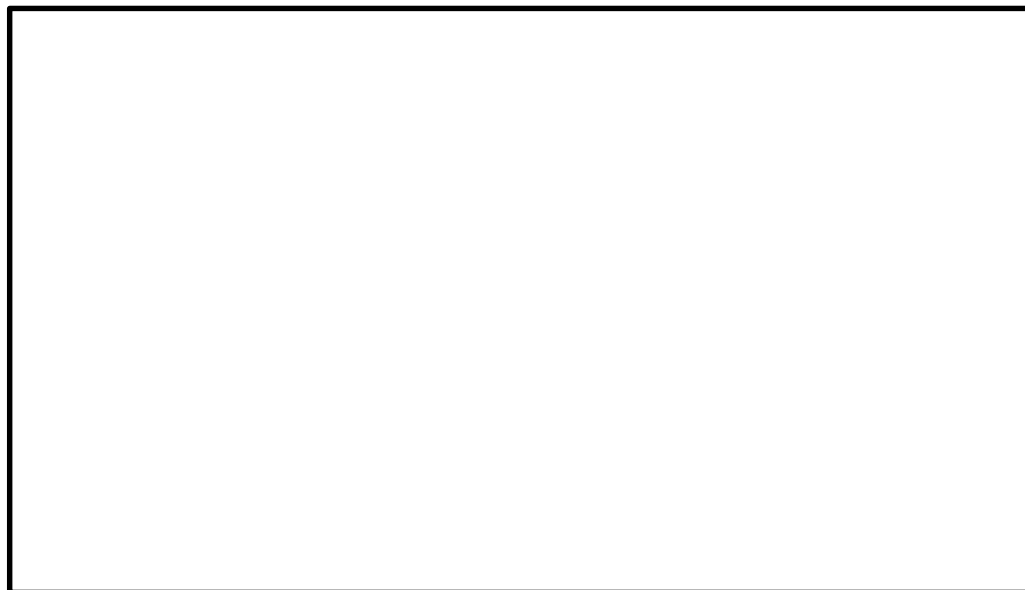
- 単軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化にあたって、減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月）独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して抽出した。
- 減衰性能に影響する項目は、減衰性能を取得するための性能試験条件の設定もしくは地震応答解析においてばらつきとして考慮する。

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十分小さいことを試験により確認している。	—
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している。	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。	

(別紙3) 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。
- 性能試験条件として、加振振動数による変動は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）を設定する。



単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成

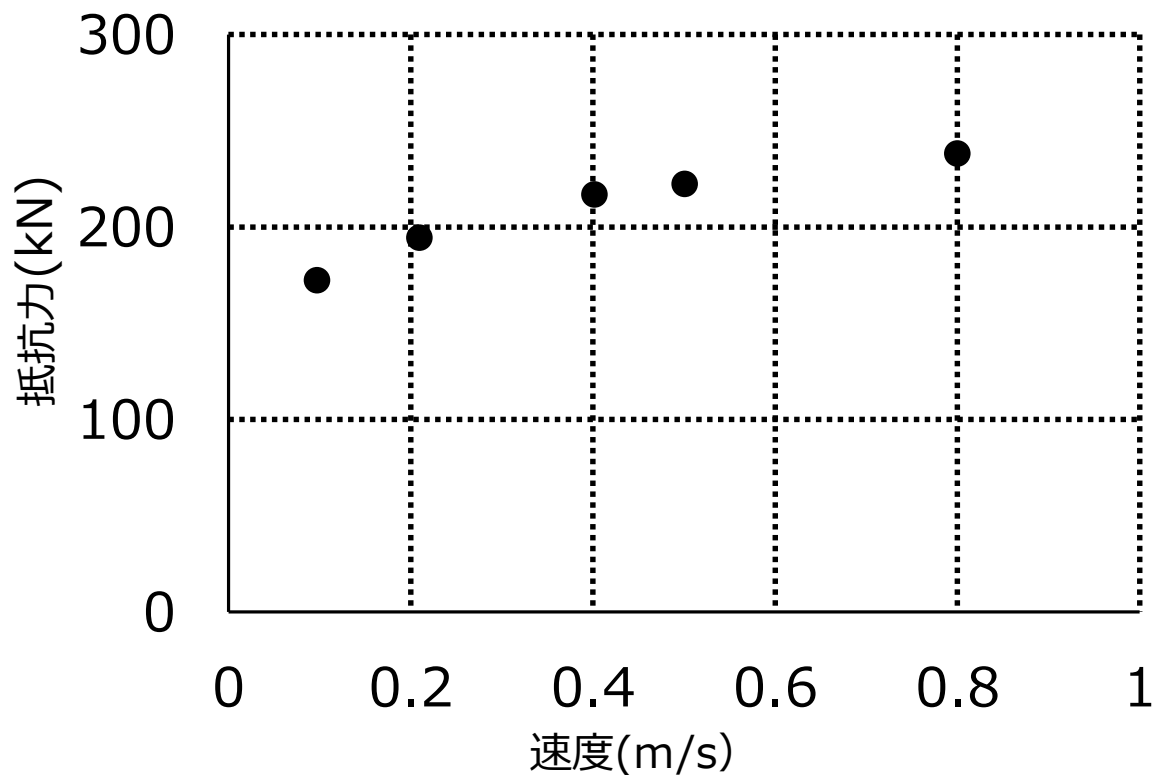
単軸粘性ダンパの性能試験条件

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

(別紙3) 単軸粘性ダンパの性能試験

(b. 性能試験の実施)

- 設定した性能試験条件により、実機に設置する単軸粘性ダンパについて、減衰性能を取得した。
- 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。

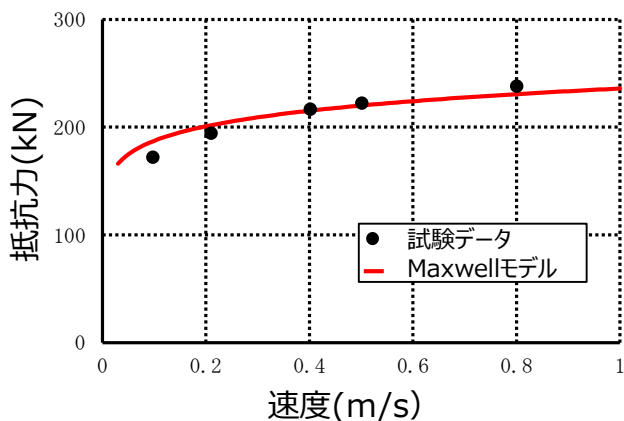


性能試験結果

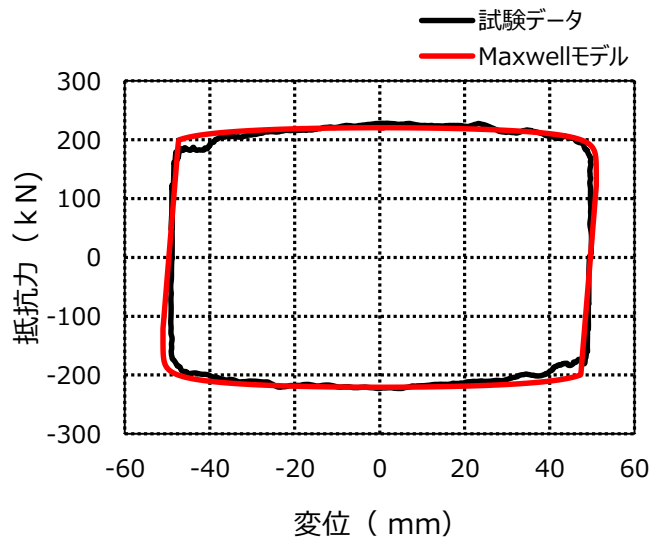
(別紙4) 単軸粘性ダンパのモデル化

(a. 減衰性能のモデル化)

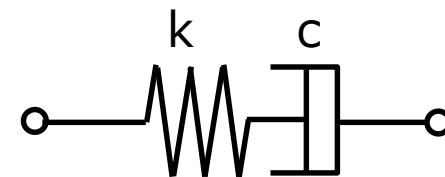
- 性能試験の結果に基づき、単軸粘性ダンパの減衰性能をMaxwellモデルでモデル化する。
- 単軸粘性ダンパの減衰性能は、加振速度の変化に対して抵抗力の変化が小さく、振動数依存性も比較的小さいことから、速度の0.1乗に比例するダッシュポットを組み込んだMaxwellモデルを用いる。
- 速度と抵抗力の関係及び履歴曲線で囲まれる面積に相当する散逸エネルギーのいずれに関しても、Maxwellモデルにより減衰性能を精度よく表現できる。



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



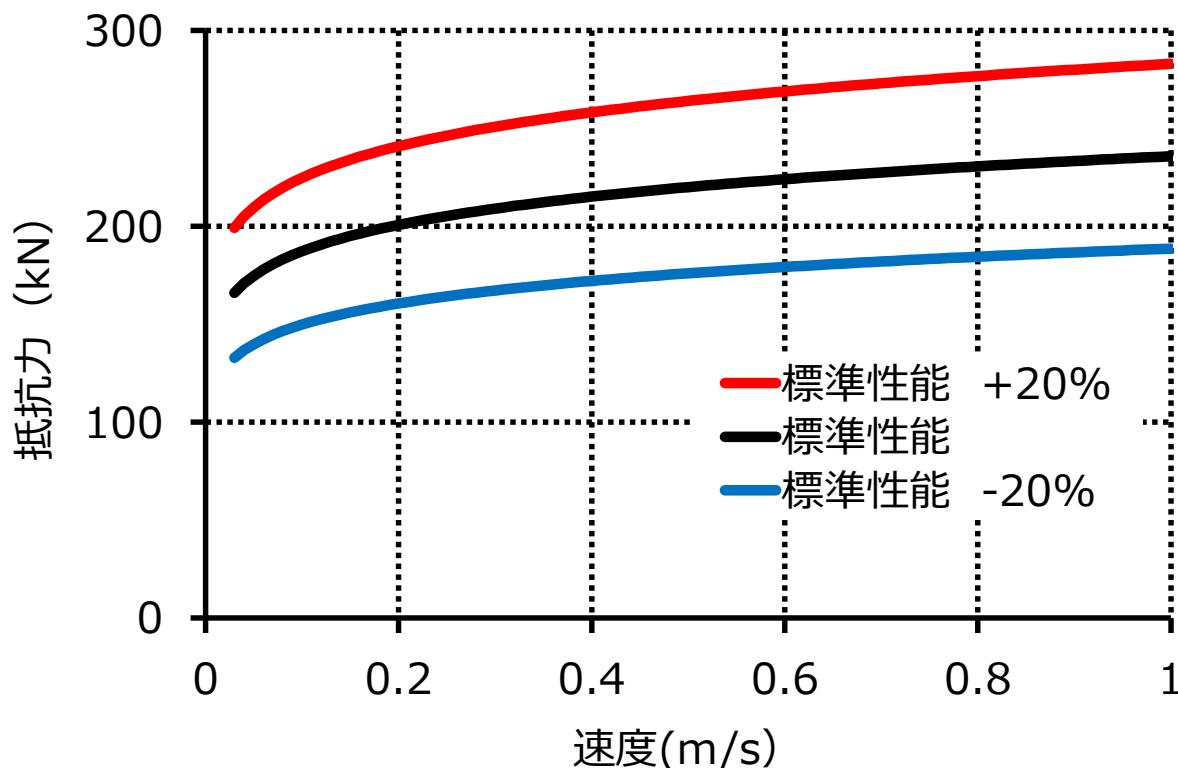
k :ばね剛性
c :速度の0.1乗に比例する
ダッシュポットの減衰係数

単軸粘性ダンパの
Maxwellモデル

Maxwellモデルによる計算値と性能試験結果の比較 (加振振動数1.6Hz)

(別紙4) 単軸粘性ダンパのモデル化 (b. ばらつきの考慮)

- 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、 $\pm 20\%$ のばらつき（振動数 $\pm 10\%$ ，製造公差 $\pm 10\%$ ）を考慮して、標準性能 $+ 20\%$ ，標準性能，標準性能 $- 20\%$ の3段階の減衰性能を設定する。
- 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。

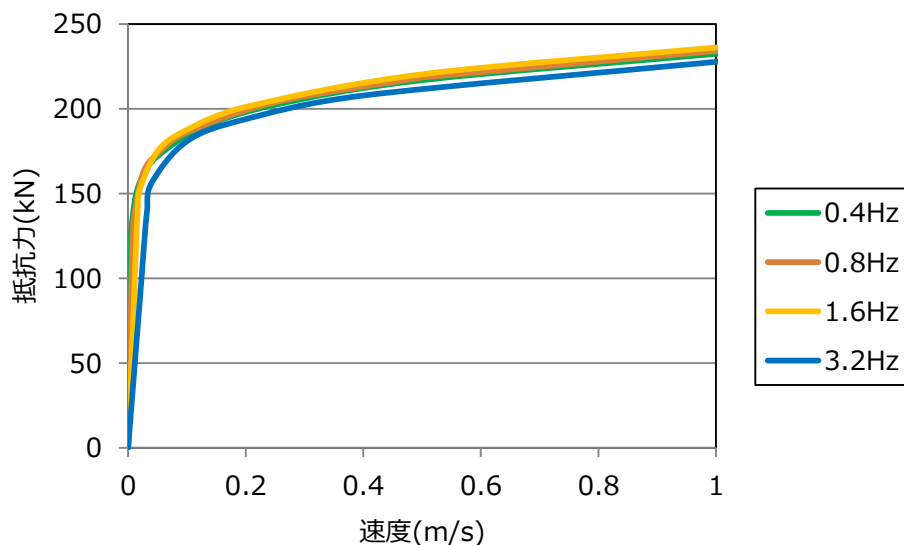


地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定

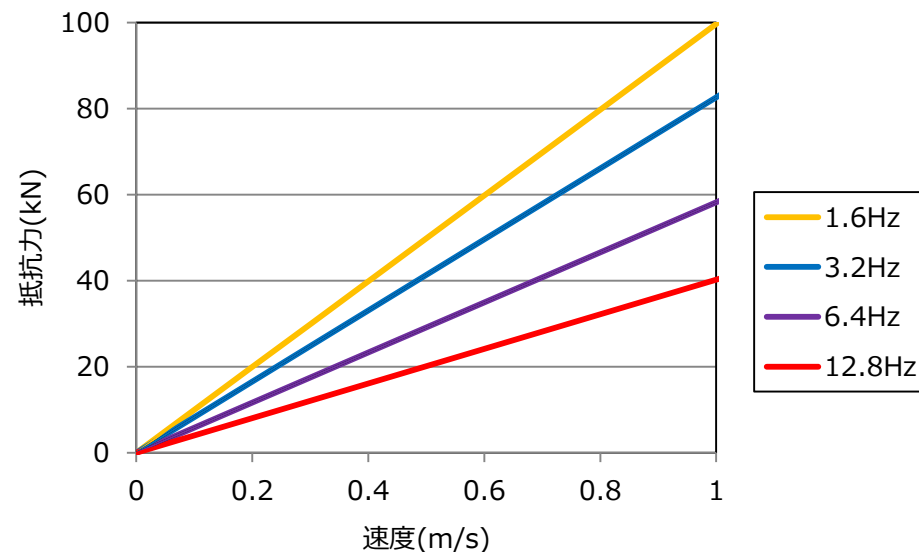
(別紙4) 単軸粘性ダンパのモデル化

(c. 制震装置の減衰性能の振動数依存性)

- 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が、三軸粘性ダンパは速度と抵抗力がほぼ比例関係とみなすことができる。
- 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が、三軸粘性ダンパは速度と抵抗力の関係の変化が大きい。



単軸粘性ダンパ

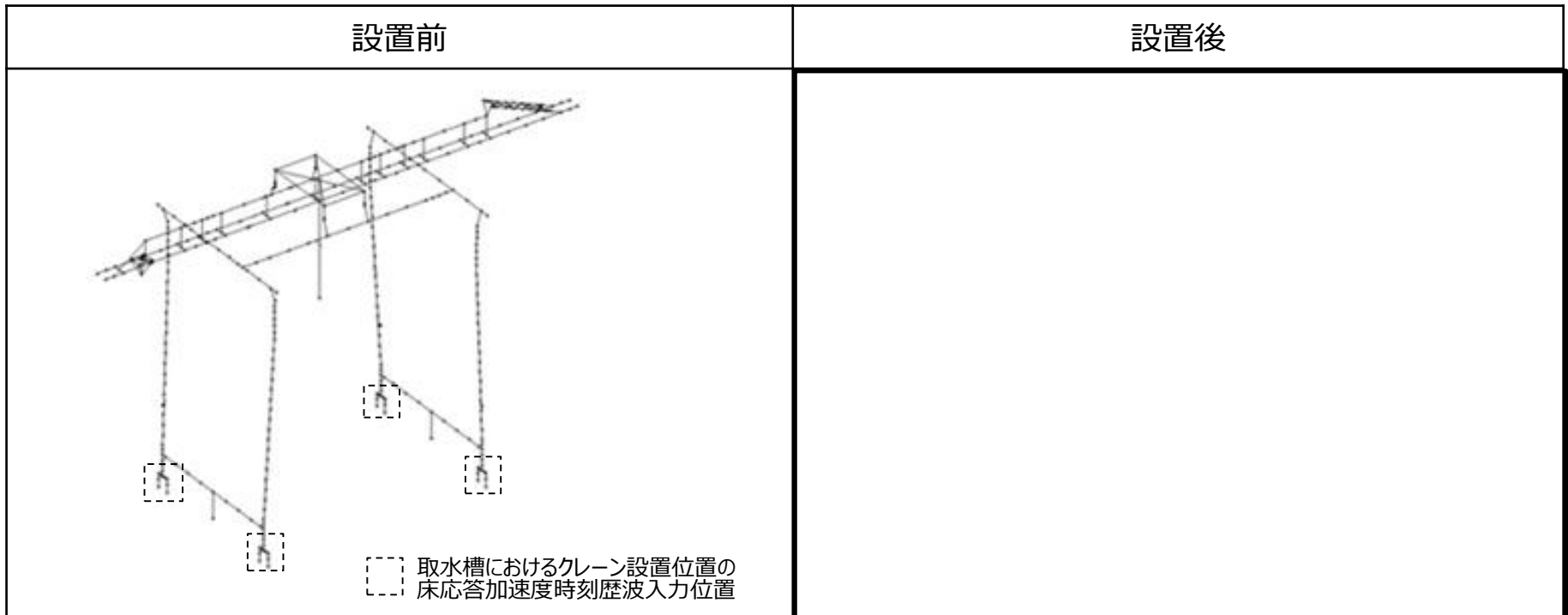


三軸粘性ダンパ

振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係

(別紙5) 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本体について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。
- 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。
- 単軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに制震装置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。



単軸粘性ダンパ設置前後の比較

(別紙 6) 機器評価

- 機器評価の応力評価等における許容限界は、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。

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	クレーン本体	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV A S の許容応力
		転倒防止装置	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV A S の許容応力
		レール	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV A S の許容応力
		トロリ	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV A S の許容応力
			浮上り量が許容値を超えないことを確認する。	トロリストッパ高さに基づく許容浮上り量
		吊具	吊具の許容荷重を超えないことを確認する。	吊具の許容荷重
		ブレース	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV A S の許容応力
		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

(別紙7) 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

- 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、性能試験で設計通りの抵抗力が得られることを確認した。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した。
- パラメータの設定は最小二乗法により実施しており、減衰性能を精度良く表現できる。
- 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、直接積分による時刻歴応答解析を採用する。
- 取水槽ガントリクレーンのN S方向の1次固有振動数及び鉛直方向の1次固有振動数において減衰比が2.0%となるようにレイリー減衰を設定する。

【単軸粘性ダンパを設置したクレーンの運動方程式】

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

$[M]$, $[C]$, $[K]$: 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。)

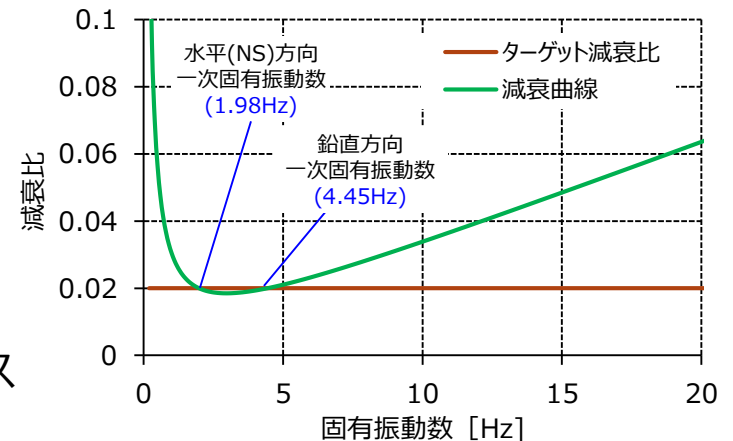
$[C_D]$: 相対速度の0.1乗に比例するダッシュポットの減衰マトリクス

$[X_D]$: 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



設定したレイリー減衰の各固有振動数
における減衰比

(別紙8) 設計における適用規格及び適用範囲

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの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
取水槽ガントリ クレーン全体	減衰定数		— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(論点Ⅱ-16「最新知見として得られた減衰定数の採用について」参照)。 従来のクレーンの評価と同様である。
	一般事項		J E A G 4 6 0 1 等	
吊具	構造強度評価			— (構造寸法に基づく)
	構造強度評価			
トロリ	浮上り量評価		— (構造寸法に基づく)	クレーンの構造寸法に基づき設定する。
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 等	従来の機器・配管系の支持構造物と同様である。
		許容変位	— (構造寸法に基づく)	制震装置ごとの構造寸法に基づき設定する。
	減衰性能の設定		— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。

三軸粘性ダンパを設置した配管系の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
配管系全体	減衰定数		— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(論点Ⅱ-16「最新知見として得られた減衰定数の採用について」参照)。 従来の配管系、支持構造物の評価と同様である。
	一般事項		J E A G 4 6 0 1 等	
配管	構造強度評価			— (構造寸法に基づく)
支持構造物	構造強度評価			
三軸粘性ダンパ	構造強度評価	許容荷重	— (構造寸法に基づく)	制震装置ごとの構造寸法に基づき設定する。
		許容変位	— (構造寸法に基づく)	
	減衰性能の設定		— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。

(別紙9) 単軸粘性ダンパの選定理由

取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の検討

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 または 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、加振繰返し回数が増えると、性能が変化する可能性がある。
	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、粘性ダンパほどのエネルギー吸収が期待できない。
		オイルダンパ			オイルの流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ		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。	○
	三軸	粘性ダンパ	粘性体の流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ	3方向	抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。	海外での適用例あり	△	取水槽ガントリクレーンは1軸方向の地震荷重の低減を必要としているため、3方向の減衰は必要ない。

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

(別紙10) 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 (1/4)

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 (1/4)

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 —：無)
	単軸粘性ダンパを設置する 取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
4.1 使用材料及び材料定数	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。	同左	— (考慮済)
	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、制震装置により機器・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, DIVISION1 – 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。	同左	— (考慮済)
4.2 荷重及び荷重の組合せ	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。	同左	— (考慮済)

(別紙10) 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 (2/4)

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 (2/4)

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 (〇：有 —：無)
	単軸粘性ダンパを設置する 取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
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>	<p>配管、支持構造物に係る許容限界及び三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>三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>	— (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> <p>取水槽ガントリクレーンの水平方向及び鉛直方向の減衰定数については、最新の知見を反映して設定する(論点Ⅱ-16参照)。</p>	<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を参考に設定する。</p> <p>配管系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を参考に設定する。また、三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、減衰性能の変動及びばらつきを考慮する。</p> <p>配管系の水平方向及び鉛直方向の減衰定数については、最新の知見を反映して設定する(論点Ⅱ-16参照)。</p>	— (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>	<p>入力地震力は、配管系設置位置の応答波を用いる。</p>	— (考慮済)

(別紙10) 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 (3/4)

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 (3/4)

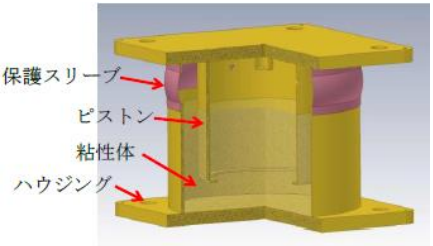
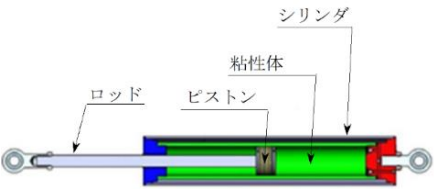
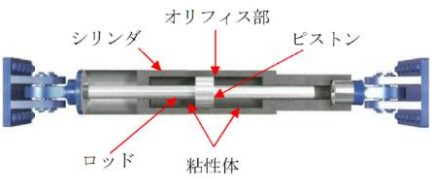
検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容		追加検討 事項の有無 (○:有 —:無)
	単軸粘性ダンパを設置する 取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
4.5 構造設計手法 4.5.1 構造解析手法及び構造 解析モデル	構造解析手法及び構造解析モデルは、 工認審査ガイドに例示されている規格及び 基準等並びに新規制審査実績を参考に設 定する。構造解析モデルの材料定数は、「4 .1 使用材料及び材料定数」による。	同左	— (考慮済)
4.5.2 水平方向及び鉛直方向 地震力の組合せ	水平2方向及び鉛直方向の動的地震力 の組み合わせに関しては、三方向同時入力 により地震応答解析を行う。	同左	— (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。	三軸粘性ダンパを設置する配管系はB クラス(一部 S_d 機能維持設計)であり、 基準地震動 S_s による地震力に対する耐 震設計の対象に該当しない。	— (考慮済) 【取水槽ガントリク レーン】 — (対象外) 【配管系】

(別紙10) 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 (4/4)

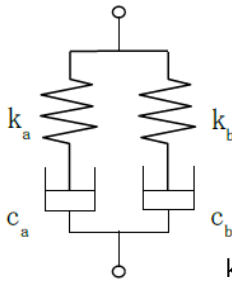
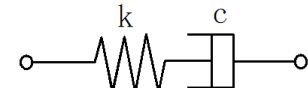
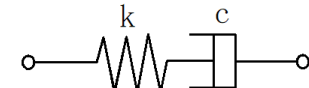
工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (4/4)

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) (— : 無)
	単軸粘性ダンパを設置する 取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
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。	三軸粘性ダンパを設置する配管系は B クラス (一部 S d 機能維持設計) であり、動的機能維持の対象に該当しない。	— (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。	三軸粘性ダンパを設置する配管系は B クラス (一部 S d 機能維持設計) 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。	— (対象外) 【取水槽ガントリクレーン】 — (考慮済) 【配管系】

(別紙11) 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 (Sd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 (Ssでの波及的影響評価 を含む)	—
免振装置	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。 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。
粘性体の種類	シリコン系	シリコン系	シリコン系	

(別紙11) 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	<p>4パラメータ Maxwellモデル</p>  <p>ka, kb : ばね剛性 ca, cb : ダッシュポットの減衰係数</p>	<p>2パラメータ Maxwellモデル</p>  <p>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</p>	<p>2パラメータ Maxwellモデル</p>  <p>k : ばね剛性 c : 速度の0.1に比例するダッシュポットの減衰係数</p>	<p>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。</p>
地震応答解析方法	<p>時刻歴応答解析 (線形) <モーダル時刻歴解析></p>	<p>時刻歴応答解析 (線形) <直接積分法></p>	<p>時刻歴応答解析 (非線形) <直接積分法></p>	<p>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。</p>
減衰定数の設定方法 (ダンパ以外)	<p>モード減衰</p>	<p>剛性比例型減衰</p>	<p>Rayleigh減衰</p>	<p>—</p>

(別紙11) 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 	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。
減衰性能の 不確かさ影響 の考慮	±30%のばらつきを考慮 (製造公差, 据付公差)	<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) 	±20%のばらつきを考慮 (振動数, 製造公差)	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。
地震動の選定	弾性設計用地震動 S _d (S _d -1,D,F1,F2,N1,N2)	<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) 	基準地震動 S _s (S _s -D)	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。

(別紙12) 取水槽ガントリクレーンのモード図

ケース	トリ位置	ホイスト位置	横行方向 (NS方向)		鉛直方向 (UD方向)	
			固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
3	待機位置	待機位置				

..... : 変形前

———— : 変形後

