

島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止 (コメント回答)

[機器・配管系に係る論点のうち
機器・配管系への制震装置の適用他]

令和 2 年 7 月
中国電力株式会社

目次

論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点

<機器・配管系>

No.	論点	回答頁
1	[論点Ⅱ - 6] 機器・配管系への制震装置の適用	P6~31, 36~39
2	[論点Ⅱ - 10] 取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用	P32~35

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
＜機器・配管系＞			
33	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・指摘事項「No.6」のうち、「制震装置と対象設備の地震時の構造成立性の見通し」が今回の資料に示されていないため、次回以降に説明すること。単軸ダンパは、排気筒に設置した実績があるが、今回は長いブレースを介してダンパを設置する等、ダンパ取り付け構造が排気筒とは異なるため、取り付け部についても構造弱部を抽出し、併せて構造成立性を見通しを説明すること。</p>	P6～16
34	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパによる設計体系全体及びダンパ構成要素に対する、規格・基準の適用又は準用を明確にし、それらの規格・基準の適用範囲、適用条件を明確にした上で、本粘性ダンパへの適用、準用する妥当性を説明すること。</p>	P24～25
35	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・単軸粘性ダンパを適用するガントリークレーンの地震応答解析は非線形時刻歴応答解析を使用しているが、クレーン本体の部材に与える減衰は解析上どのように扱っているか説明すること。また、三軸粘性ダンパを適用するBクラス配管についても同様に説明すること。</p>	P21～23
36	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化について、①減衰が速度の0.1乗に比例していることについて、0.1の設定方法、②減衰係数Cは、試験結果（速度—抵抗力の関係及び変位—抵抗力の関係）からどのように設定するか、③速度の0.1乗に比例するダッシュポットによる系の運動方程式、について説明すること。</p>	P21～22

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
＜機器・配管系＞			
37	R1.11.12	[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用] ・単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパそれぞれについて、試験データの整理の仕方及びパラメータの数が異なる理由をまとめて説明すること。	P17～20
38	R1.11.12	[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用] ・解析手法について、スペクトルモーダル解析は剛性や減衰を振動数に依存した形でモデル化するのは難しいことから時刻歴解析法を用いていることを説明すること。	P21,23
39	R1.11.12	[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用] ・海外でも4パラメータMaxwellモデルを用いているとの説明だが、係数の設定法、地震応答解析手法、ダンパの許容限界等、解析上考慮している項目を説明すること。	P26～27
40	R1.11.12	[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用] ・三軸粘性ダンパの配管への取り付け部はどのような構造か、ダンパの配管への取り付け部について、構造の詳細、配管からの荷重伝達機構を明らかにし、構造弱部の抽出を行った上で、ダンパ取り付け部を含めた配管系及びダンパ全体の構造成立性、配管系へのダンパ配置計画の成立性の見通しを説明すること。	P6,11～16

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
＜機器・配管系＞			
41	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・三軸粘性ダンパの減衰性能への影響について、配管系の熱移動により、ピストンの初期変位や角度が、標準位置、角度からずれた場合に、ダンパの性能が変化することはないか説明すること。</p>	P28～29
42	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験の結果について、設置しない配管系と比べて応答が低減しているのは、ダンパ設置により配管系の固有振動数が剛側に変動した効果も含まれていると考えられるので、それも踏まえて、試験結果を整理して説明すること。</p>	P30～31
43	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・設置変更許可段階においては、本件における適用範囲（波及的影響防止、耐震Bクラス設備）を明確にした上で、原子炉施設の耐震設計の体系及び審査実績を踏まえ重点的に検討すべき事項（水平2方向及び鉛直方向の地震力組合せ、ばらつきの考慮等）に対して考察した上で、実現性、適用性について見通しを説明すること。</p>	P24, 36～39
44	R1.11.12	<p>[論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用]</p> <p>・三軸粘性ダンパの国内における原子力分野以外での適応実績を示すとともに、海外実績あるものの新規制基準適合性について、説明すること。</p>	P26～27

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
<p>論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点</p>			
<p><機器・配管系></p>			
<p>46</p>	<p>R1.11.12</p>	<p>[論点Ⅱ－10：取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用] ・転倒防止装置について、レールをはさむ金具の構造を整理して説明すること。また、転倒防止装置の構造に対応したモデル化の考え方とその詳細を整理して説明すること。</p>	<p>P32～33</p>
<p>47</p>	<p>R1.11.12</p>	<p>[論点Ⅱ－10：取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用] ・クレーン使用中の評価で、クレーンやトロリが走行レールや横行レール端部の車輪止めに衝突しないとする根拠を説明すること。</p>	<p>P34～35</p>

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.33（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・指摘事項「No.6」のうち、「制震装置と対象設備の地震時の構造成立性の見通し」が今回の資料に示されていないため、次回以降に説明すること。単軸ダンパは、排気筒に設置した実績があるが、今回は長いブレースを介してダンパを設置する等、ダンパ取り付け構造が排気筒とは異なるため、取り付け部についても構造弱部を抽出し、併せて構造成立性を見通しを説明すること。

【No.40（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・三軸粘性ダンパの配管への取り付け部はどのような構造か、ダンパの配管への取り付け部について、構造の詳細、配管からの荷重伝達機構を明らかにし、構造弱部の抽出を行った上で、ダンパ取り付け部を含めた配管系及びダンパ全体の構造成立性、配管系へのダンパ配置計画の成立性を見通しを説明すること。

■ 回答

- ・単軸粘性ダンパの取付部の評価部位として、断面積が小さく曲げモーメントが作用するクレビス部ピンを抽出した。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を行い、単軸粘性ダンパ及び取付部を含めたクレーン本体の構造成立性を確認するとともに、単軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。
- ・三軸粘性ダンパは、配管への取付方法としてラグ又はクランプを選択可能であり、配管の上部及び下部のいずれの位置にも設置することができるため、配置計画の成立性に問題はないと判断している。地震により配管に振動が生じた場合、取付部（ラグ又はクランプ）は配管と一体となって運動し、三軸粘性ダンパに運動が伝達され抵抗力が生じる。この抵抗力は、三軸粘性ダンパのピストンから取付部を介して配管へ伝達される。ラグは従来のアンカサポート等の設計と同様である。クランプは三軸粘性ダンパの地震応答解析における最大荷重とクランプの許容荷重を比較することで構造成立性を確認する。
- ・三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析を行い、三軸粘性ダンパ及び取付部を含めた配管系の構造成立性を確認するとともに、三軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33】

1. 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条件・評価結果

(1) 評価条件

- 入力地震動は取水槽ガントリクレーンの固有振動数において床応答加速度が大きい基準地震動Ss-Dを用い、三方向同時入力とした。
- 解析ケースは、吊荷荷重が最大となるトロリ位置中央、吊荷有り（50t）とした。
- FEMモデルを用いた非線形時刻歴応答解析を行い各部位の耐震評価を実施した。
- ダンパ取付部の評価部位としては、断面積が小さく曲げモーメントが作用するクレビス部ピンを選定した。

取水槽ガントリクレーンの解析モデル及び評価部位

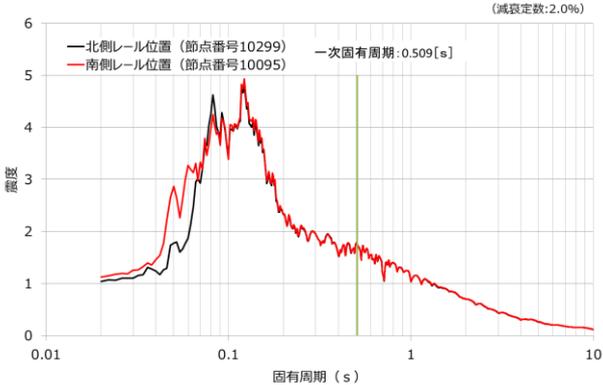
<p>取水槽ガントリクレーン 解析モデル</p>	<p>取水槽ガントリクレーン評価部位</p>	<p>単軸粘性ダンパ取付部 クレビス部の荷重伝達</p>

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33】

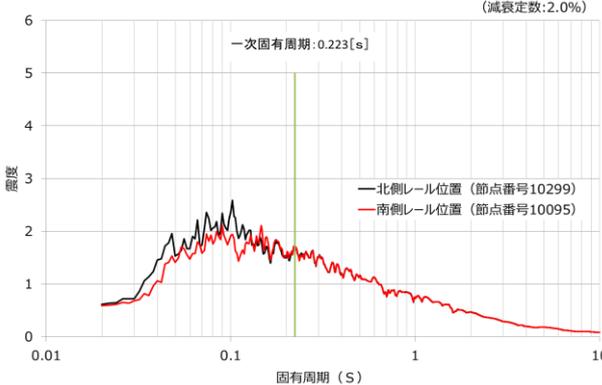
1. 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの評価条件・評価結果

(2) 入力地震動

- 北側レール位置と南側レール位置のスペクトルを比較し、取水槽ガントリクレーンの固有周期における応答加速度が大きい南側レール位置の加速度時刻歴を用いる。



NS方向の床応答スペクトル



鉛直方向の床応答スペクトル

(3) 固有値解析

- 固有値解析は、単軸粘性ダンパを初期剛性と等しいばねに置き換えて実施した。

取水槽ガントリクレーンの一次固有周期

水平方向	鉛直方向
0.509s (1.97Hz)	0.223s (4.48Hz)



水平一次モード

鉛直一次モード

振動モード図

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33】

1. 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条件・評価結果

(4) 評価結果

- ・ダンパ取付部を含めて取水槽ガントリクレーンの構造成立性を確認するとともに、単軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。
- ・脚において裕度が小さい部位が存在するが、当該部位は断面の補強を計画しており、詳細設計を反映して、追加の補強を検討する。

取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果

評価部位		評価項目	発生値	許容限界
取水槽 ガントリ クレーン 本体	ガーダ	曲げ応力	111 (MPa)	280 (MPa)
		せん断応力	29 (MPa)	161 (MPa)
	脚	引張応力	4 (MPa)	280 (MPa)
		圧縮応力	43 (MPa)	226 (MPa) ※
		曲げ応力	214 (MPa)	280 (MPa)
		せん断応力	61 (MPa)	161 (MPa)
		組合せ応力 (垂直+せん断)	253 (MPa)	280 (MPa)
		組合せ応力 (曲げ+圧縮)	0.93 (-)	1 (-)
単軸粘性 ダンパ	本体	変位	41 (mm)	100 (mm)
		荷重	261 (kN)	300 (kN)
	ブレース	圧縮応力	18 (MPa)	74 (MPa) ※
	クレビス部 (ピン)	曲げ応力	264 (MPa)	651 (MPa)
		せん断応力	93 (MPa)	375 (MPa)
		組合せ応力 (垂直+せん断)	309 (MPa)	651 (MPa)

単軸粘性ダンパの応答値と解析上の前提条件の比較

※座屈により評価

	発生値	解析条件
最大速度	0.47 (m/s)	0.8 (m/s)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33】

1. 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条件・評価結果

(5) 単軸粘性ダンパの減衰性能と取水槽ガントリクレーンの応答の関係

- 取水槽ガントリクレーンの荷重及び単軸粘性ダンパの最大変位は、減衰性能を変化させても影響は軽微であった。
- 単軸粘性ダンパの最大荷重は、減衰性能が高いほど算出値が大きくなる傾向であり、これは単軸粘性ダンパの減衰性能が高くなることで単軸粘性ダンパが負担する荷重が大きくなるためである。

取水槽ガントリクレーンの荷重

減衰性能	ガーダ			脚		
	せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
標準性能 + 20%	708.8	1303	2043	566.3	1794	3160
標標準性能	660.7	1262	2014	512.5	1752	3189
標準性能 - 20%	721.3	1335	2220	499.3	1869	3267

単軸粘性ダンパの荷重、変位及び速度

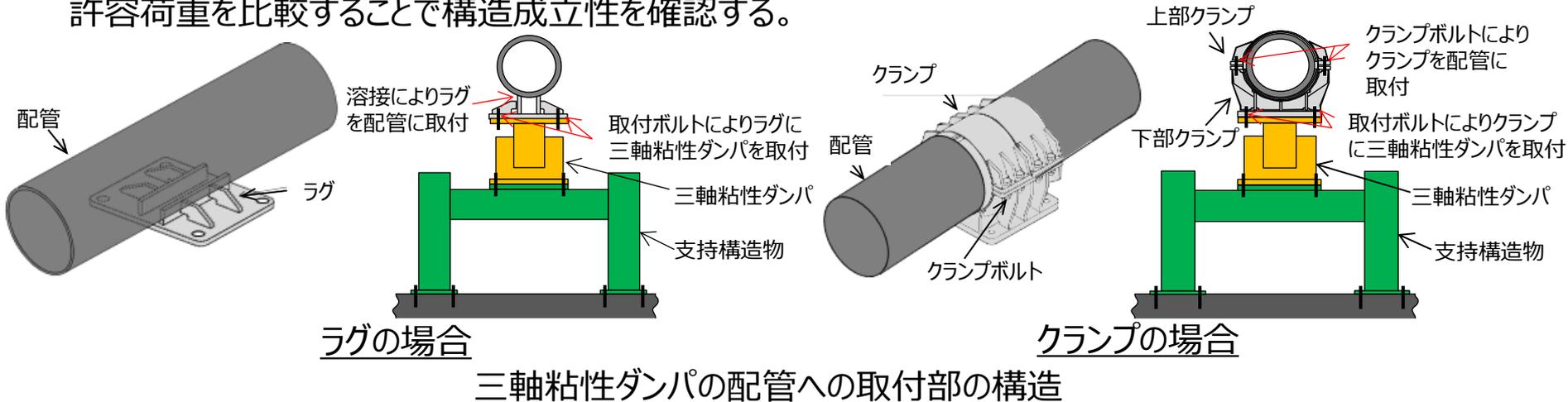
減衰性能	最大変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大速度(m/s)
標準性能 + 20%	41	260.2	0.44
標標準性能	41	218.3	0.47
標準性能 - 20%	40	173.6	0.44

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 1 三軸粘性ダンパを設置した配管系への取付部の設計

(1) 取付部の構造

- 三軸粘性ダンパは、配管への取付方法としてラグ又はクランプを選択可能であり、配管の上部及び下部のいずれの位置にも設置することができる。配管への取付方法及び設置位置は設置スペース、干渉物、施工性等を考慮して現場状況に応じて選択することから、配置計画の成立性に問題はないと判断している。
- 地震により配管に振動が生じた場合、取付部（ラグ又はクランプ）は配管と一体となって運動し、取付ボルトを介して三軸粘性ダンパに運動が伝達される。これを受けて、三軸粘性ダンパのピストンが粘性体中を移動し、抵抗力が生じる。この抵抗力は、三軸粘性ダンパのピストンから取付ボルト及び取付部を介して配管へ伝達される。
- ラグは配管と溶接により一体となる構造とする。ラグは従来のアンカサポート等の設計と同様であり、三軸粘性ダンパの発生荷重に対して十分な構造強度を持つように設計する。
- クランプは上部クランプ及び下部クランプから構成され、上部クランプと下部クランプをクランプボルトにより締め付けることで配管に取り付ける。クランプは三軸粘性ダンパの地震応答解析における最大荷重とクランプの許容荷重を比較することで構造成立性を確認する。



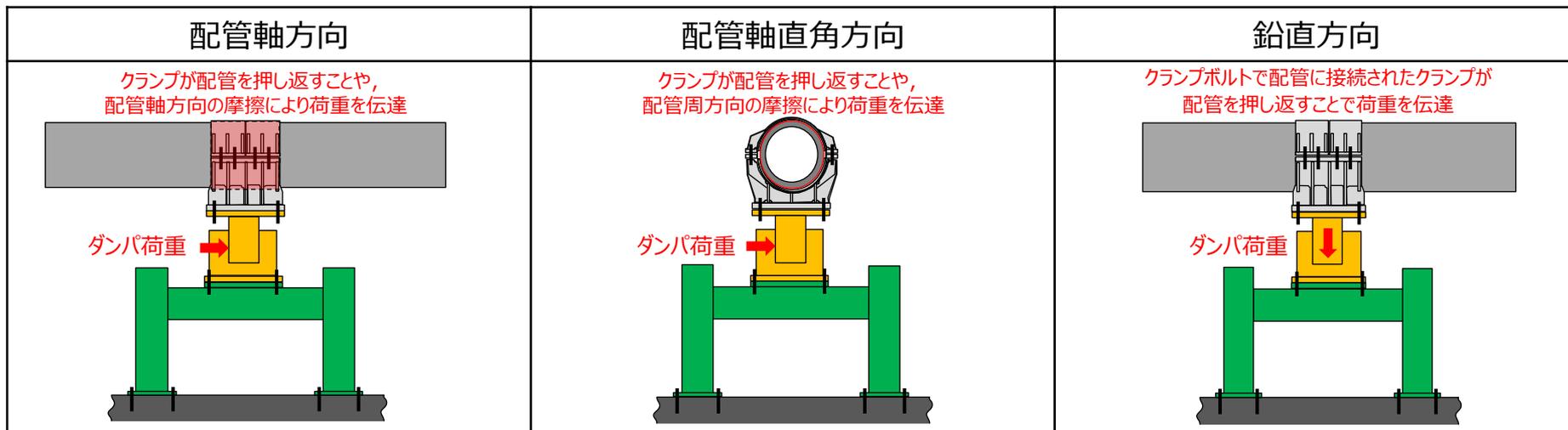
審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 1 三軸粘性ダンパを設置した配管系への取付部の設計

(2) クランプの荷重伝達機構及び許容荷重

- 水平方向及び鉛直方向における荷重伝達機構を考慮のうえ、許容荷重を設定する。
- 水平方向の荷重はクランプと配管の摩擦によって制限されるため、クランプの最大摩擦力と等しくなるときの三軸粘性ダンパのピストンに生じる荷重をクランプの許容荷重とする。
- 三軸粘性ダンパは鉛直方向の許容荷重が水平方向と比べて小さいため、クランプの許容荷重も三軸粘性ダンパと同じ値に設定する。設定した許容荷重に対して、クランプの構成部品の中で余裕が小さいと想定されるクランプボルトの構造成立性を確認した。

荷重の伝達機構



クランプの許容荷重

方向		許容荷重
水平方向	配管軸直角方向	156(kN)
	配管軸方向	156(kN) ^{※1}
鉛直方向		140(kN) ^{※2}

※1：より厳しい配管軸直角方向の許容荷重に合わせて設定

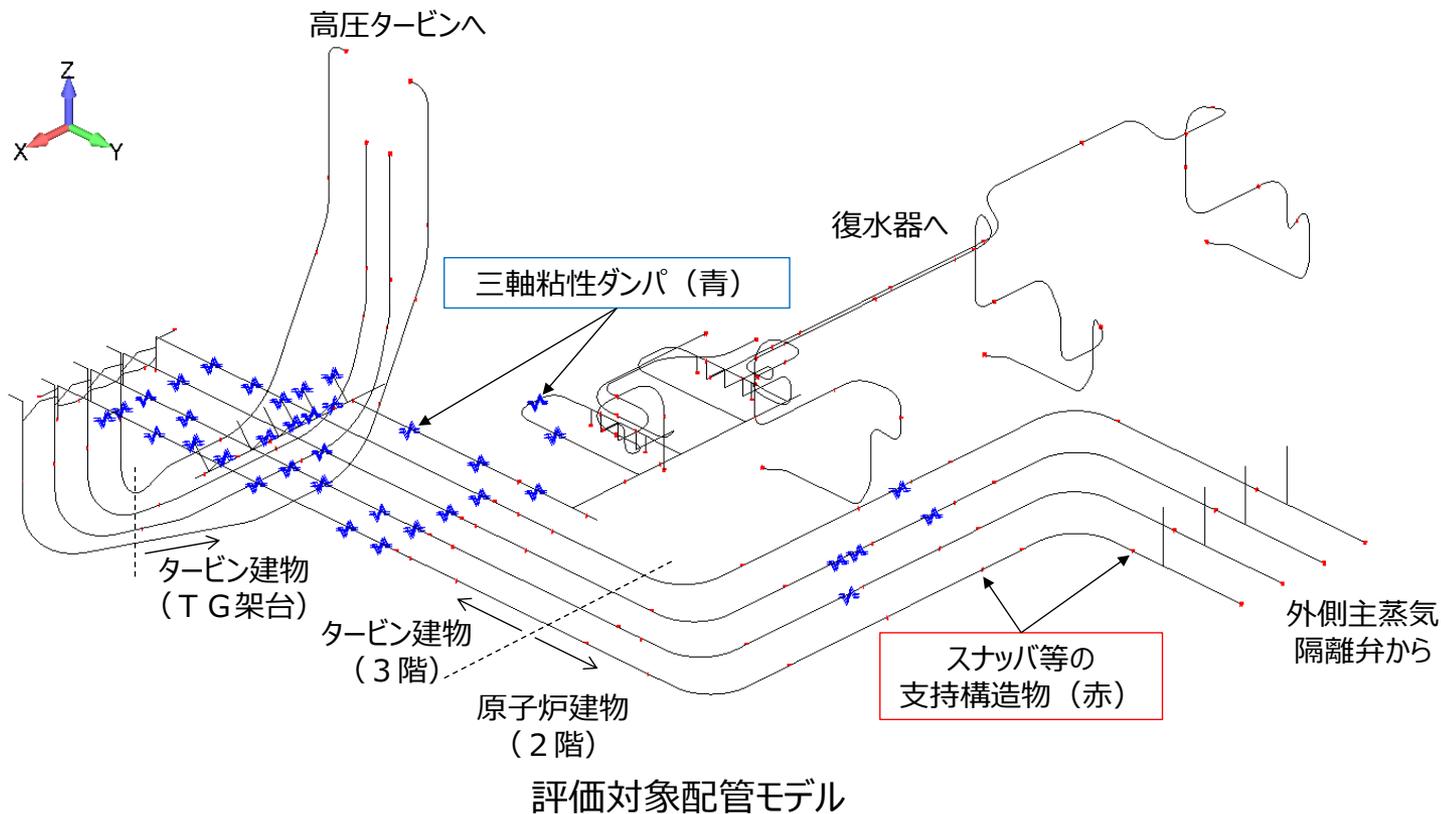
※2：三軸粘性ダンパの鉛直方向の許容荷重に合わせて設定

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 2 三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価条件・評価結果

(1) 評価条件

- Sd機能維持範囲を含む外側主蒸気隔離弁から高圧タービン，復水器までの配管を評価対象とする。
- 当該配管モデルには三軸粘性ダンパを37箇所設置する予定である。
- 評価対象配管は原子炉建物及びタービン建物に支持されるため，各支持点（図中の三軸粘性ダンパ及びスナッパ等の支持構造物）に対応した各建物の加速度時刻歴を入力する。

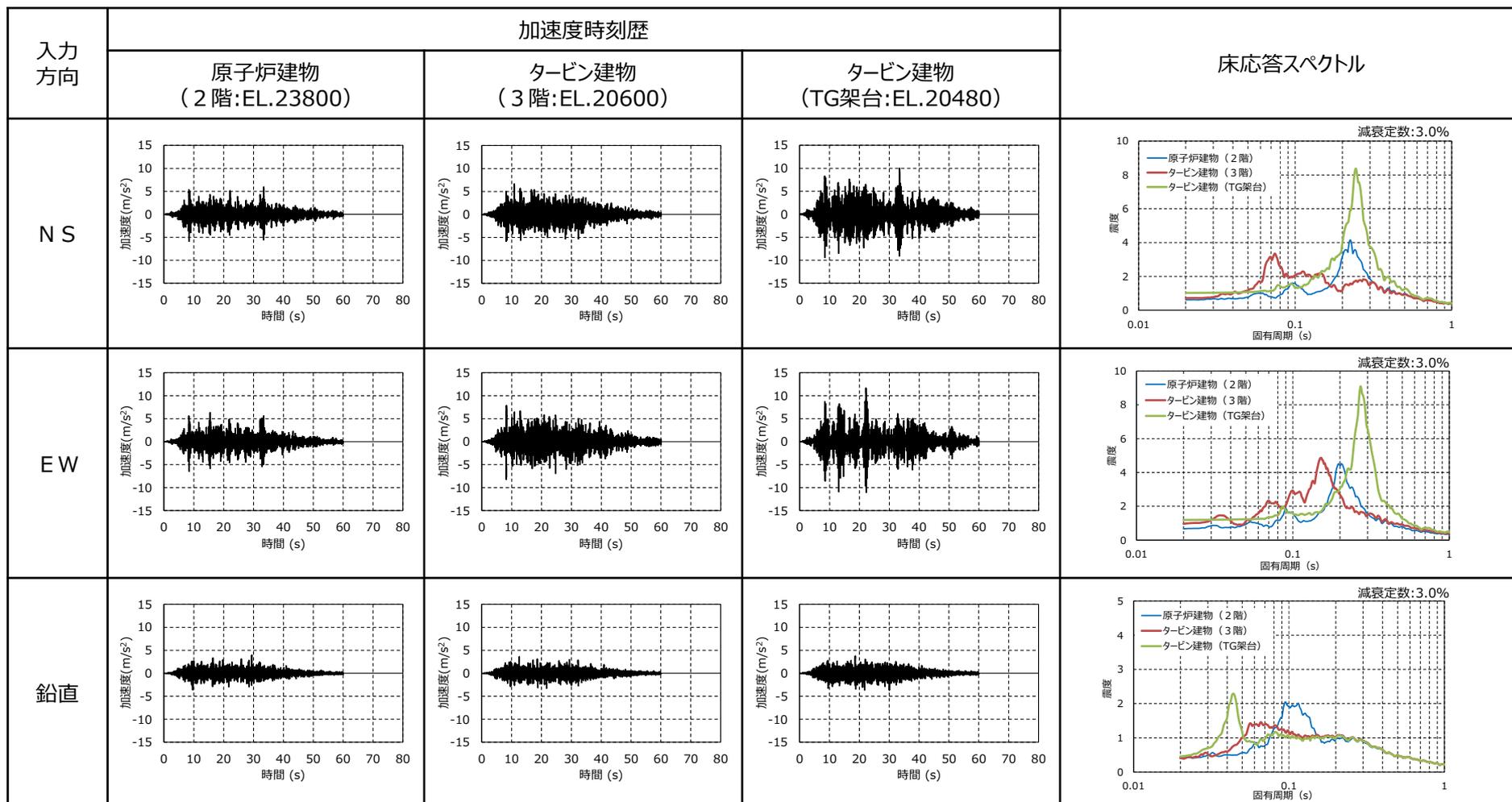


審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 2 三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価条件・評価結果

- 入力地震動は評価上最も厳しいと考えられる弾性設計用地震動Sd-1を適用する。なお詳細設計段階においては、弾性設計用地震動の6波を考慮して、耐震評価を実施する。
- 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮して、解析は三方向同時入力により実施する。

Sd-1の加速度時刻歴及び床応答スペクトル



審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 2 三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価条件・評価結果

(2) 評価結果

- ダンパ取付部を含めて配管系の構造成立性を確認するとともに、三軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。

① 構造強度評価結果

配管		
評価項目	発生値	許容限界
一次応力	122(MPa)	377(MPa)
一次+二次応力	163(MPa)	406(MPa)

三軸粘性ダンパ			
評価項目		発生値	許容限界
最大荷重※1	水平	117(kN)	350(kN)
	鉛直	36(kN)	140(kN)
最大変位※1	水平	4.3(mm)	
	鉛直	2.7(mm)	

取付部 (クランプ)			
評価項目		発生値	許容限界
最大荷重※1	水平	117(kN)	156(kN)
	鉛直	36(kN)	140(kN)

② 三軸粘性ダンパの応答値と解析上の前提条件の比較

評価項目		発生値	解析条件
最大変位※1	水平	4.3(mm)	
	鉛直	2.7(mm)	
累積消費エネルギー※1	水平	12.3(kJ)	
	鉛直	3.6(kJ)	

※1：最も厳しい結果を記載

審査会合における指摘事項に対する回答【No.33,40】

2. 2 三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価条件・評価結果

(3) 三軸粘性ダンパの減衰性能と配管系の応答の関係

- 配管モーメント及び三軸粘性ダンパの最大変位は、減衰性能が低いほど算出値が大きくなる傾向であり、三軸粘性ダンパの減衰性能が低くなるほど配管系の応答が大きくなる。
- 三軸粘性ダンパの最大荷重は、減衰性能が高いほど算出値が大きくなる傾向であり、これは三軸粘性ダンパの減衰性能が高いことにより三軸粘性ダンパが負担する荷重が大きくなるためである。

配管モーメント

項目	減衰性能※ ²	発生値
配管モーメント※ ¹	K_1, C_1	$3.19 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m})$
	K_2, C_2	$3.27 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m})$
	K_3, C_3	$3.30 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m})$
	K_4, C_4	$3.38 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m})$
	K_5, C_5	$3.59 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m})$

※¹：最も厳しい結果を記載

※²：三軸粘性ダンパの減衰性能の上限 (K_1, C_1) と下限 (K_5, C_5) を含めた5段階の減衰性能

三軸粘性ダンパの荷重及び変位

項目	減衰性能※ ²	発生値	
		水平	鉛直
最大荷重※ ¹	K_1, C_1	117(kN)	36(kN)
	K_2, C_2	104(kN)	31(kN)
	K_3, C_3	84(kN)	24(kN)
	K_4, C_4	69(kN)	18(kN)
	K_5, C_5	36(kN)	9(kN)
最大変位※ ¹	K_1, C_1	1.4(mm)	1.7(mm)
	K_2, C_2	1.6(mm)	1.8(mm)
	K_3, C_3	1.8(mm)	2.1(mm)
	K_4, C_4	2.4(mm)	2.3(mm)
	K_5, C_5	4.3(mm)	2.7(mm)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.37】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.37（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパそれぞれについて、試験データの整理の仕方及びパラメータの数が異なる理由をまとめて説明すること。

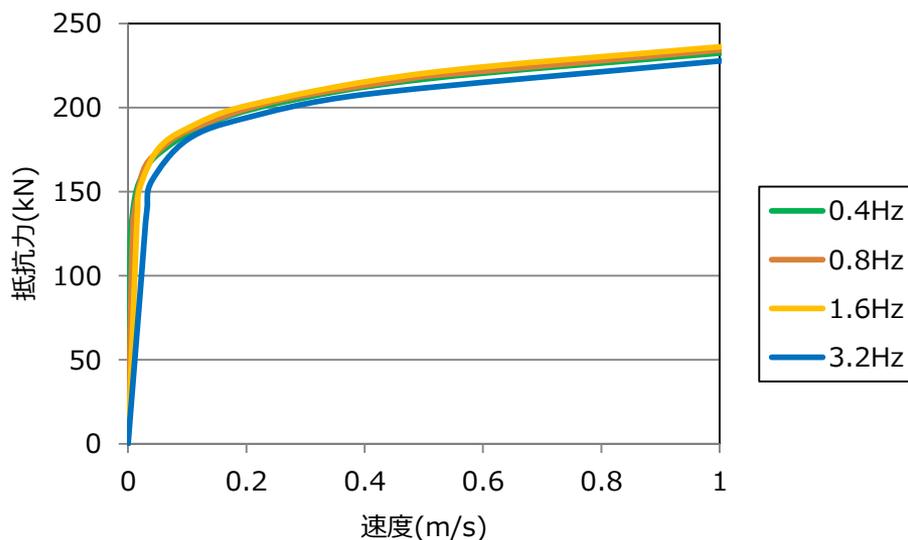
■ 回答

- ・単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパについて、速度と抵抗力の関係から減衰性能の違いを示した上でそれぞれの減衰性能の表現方法及びモデル化の考え方を説明する。また、試験データに基いて、パラメータ数の異なる解析モデルにより各ダンパが精度良くモデル化されていることを示す。
- ・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が大きく変化し、それ以降は速度の変化に対して抵抗力の変化が小さい特性がある。また、速度と抵抗力の関係に対して振動数依存性が小さい。このような特性を踏まえて、減衰性能を速度と抵抗力の関係として表現する。また解析モデルは速度の0.1乗に比例するダッシュポットを組み込んだ2パラメータMaxwellモデルを使用する。
- ・三軸粘性ダンパの減衰性能は、速度と抵抗力の関係に対して振動数依存性が大きいため、各振動数における等価剛性及び等価減衰係数により減衰性能を表現する。また解析モデルは減衰性能の振動数特性を表現できるMaxwellモデルを使用し、精度良く振動数特性を表現することを目的として、パラメータ数を増やした4パラメータMaxwellモデルを使用する。

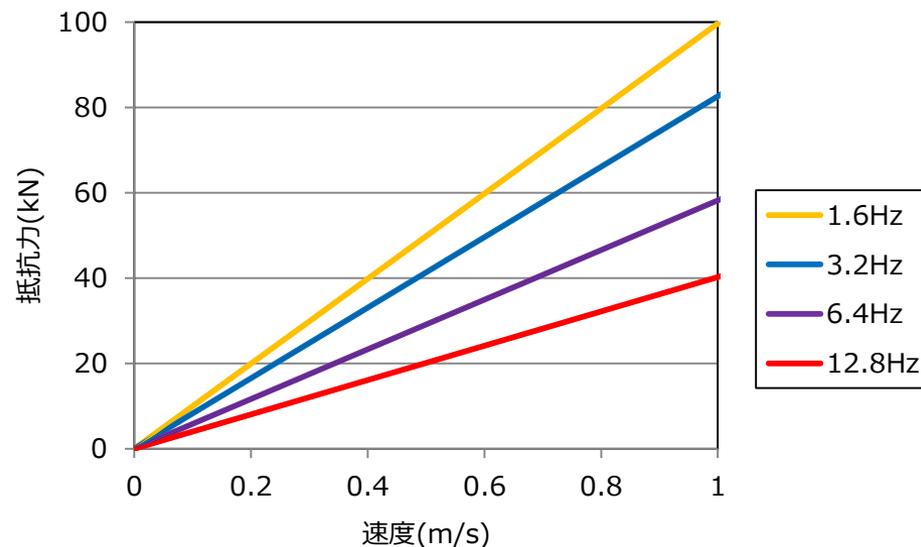
審査会合における指摘事項に対する回答【No.37】

1. 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



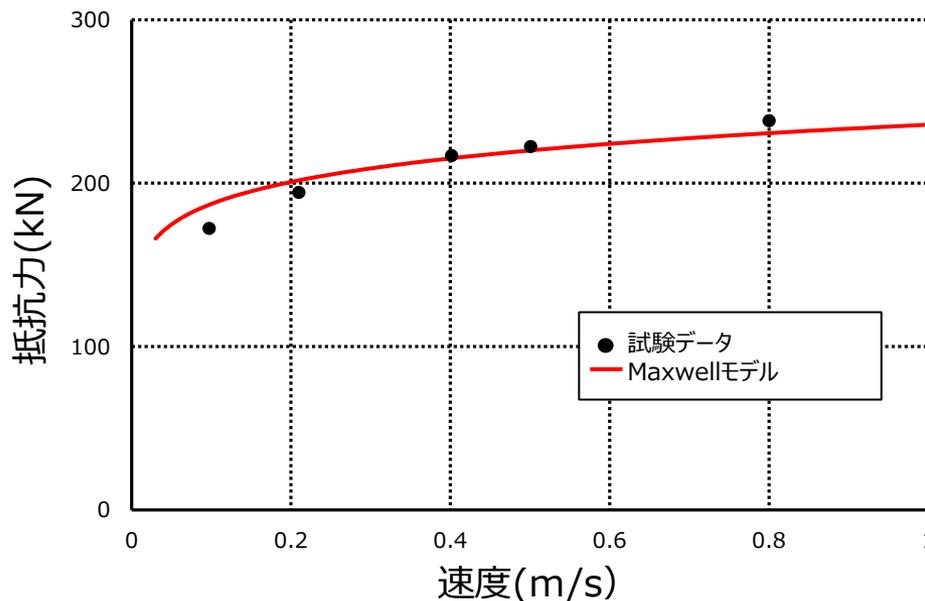
三軸粘性ダンパ

振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係

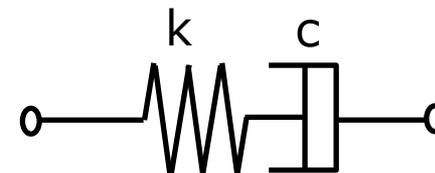
審査会合における指摘事項に対する回答【No.37】

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が大きく変化し、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。
- 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、2つのパラメータで精度よく減衰性能を表現することができる。



単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化



k :ばね剛性

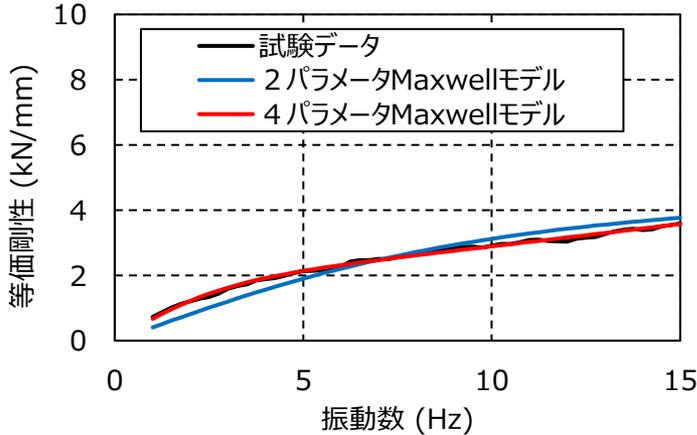
c :速度の0.1乗に比例する
ダッシュポットの減衰係数

単軸粘性ダンパのMaxwellモデル

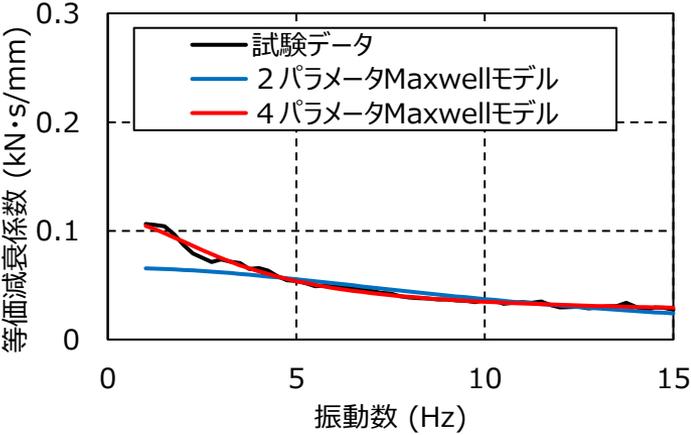
審査会合における指摘事項に対する回答【No.37】

3. 三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

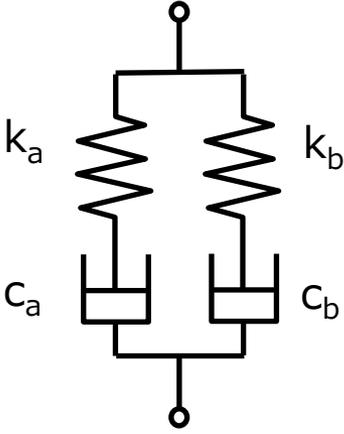
- 三軸粘性ダンパの減衰性能は、速度と抵抗力の関係に対して振動数依存性が大きいいため、各振動数における等価剛性及び等価減衰係数により減衰性能を表現する。
- 解析モデルとしては減衰性能の振動数特性を表現できるMaxwellモデルを使用する。
- 一般的なMaxwellモデルのパラメータ数は2つであるが、精度良く振動数特性を表現することを目的として、パラメータ数を増やした4パラメータMaxwellモデルを使用する。



(a) 等価剛性 (水平方向)



(b) 等価減衰係数 (水平方向)



k_a, k_b :ばね剛性
 c_a, c_b :ダッシュポットの減衰係数

三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

三軸粘性ダンパの
4パラメータMaxwellモデル

審査会合における指摘事項に対する回答【No.36,35,38】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.36（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化について、①減衰が速度の0.1乗に比例していることについて、0.1の設定方法、②減衰係数Cは、試験結果（速度－抵抗力の関係及び変位－抵抗力の関係）からどのように設定するか、③速度の0.1乗に比例するダッシュポットによる系の運動方程式、について説明すること。

【No.35（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・単軸粘性ダンパを適用するガントリークレーンの地震応答解析は非線形時刻歴応答解析を使用しているが、クレーン本体の部材に与える減衰は解析上どのように扱っているか説明すること。また、三軸粘性ダンパを適用するBクラス配管についても同様に説明すること。

【No.38（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・解析手法について、スペクトルモーダル解析は剛性や減衰を振動数に依存した形でモデル化するのは難しいことから時刻歴解析法を用いていることを説明すること。

■ 回答

- ・単軸粘性ダンパは速度の0.1乗に比例した抵抗力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を組み込んだMaxwellモデルによりモデル化できることを確認した。速度の0.1乗の比例定数である減衰係数Cは試験結果（速度－抵抗力の関係）から最小二乗法により設定する。
- ・単軸粘性ダンパを設置したクレーンの運動方程式を示す。非線形時刻歴応答解析を適用するためクレーン本体の減衰はレイリー減衰により付与し、水平、鉛直方向それぞれの1次固有振動数において減衰比が2.0%となるようにパラメータを設定する。
- ・三軸粘性ダンパを設置した配管系の運動方程式では、減衰マトリクス[C]が大きな値となり対角化できず、スペクトルモーダル解析は適用できない。そのため、解析方法としては、モード空間での連成した運動方程式に対して直接積分による時刻歴応答解析を適用する。この手法では各モードに一律の配管系の減衰定数を付与できる。モーダル座標を用いること以外、一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様である。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.36,35】

1. 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

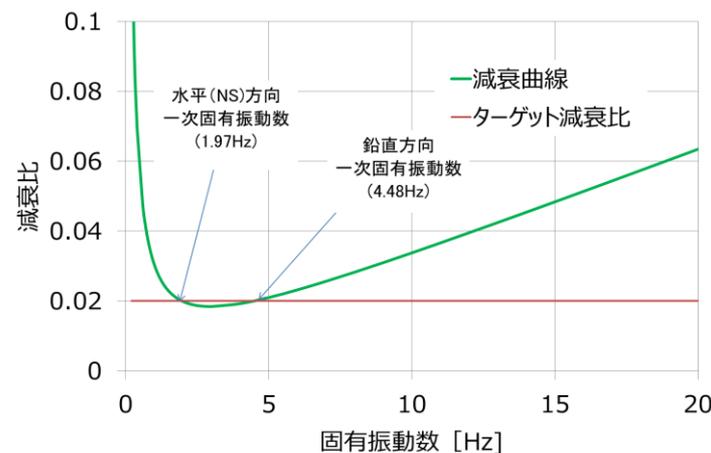
$[C_D]$: 相対速度の0.1乗に比例するダッシュポットの減衰マトリクス

$[X_D]$: 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

審査会合における指摘事項に対する回答【No.35,38】

2. 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法

- 配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合，運動方程式（1）をモード空間の運動方程式（2）に変換しても，減衰マトリクス[C]が大きな値となり対角化できない。そのため，モード空間での連成した運動方程式（2）を直接積分することにより解を得る。
- モーダル座標を用いること以外，一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様の手法である。
- この手法では各モードに一律の配管系の減衰定数を付与できる。

【三軸粘性ダンパを設置した配管系の運動方程式】

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

[M], [C], [K] : 配管系の質量, 減衰, 剛性マトリクス,

{x} : 配管系の変位ベクトル

{I} : 単位ベクトル, \ddot{y} : 地動加速度

モードマトリクス[Λ]を用いて変形すると,

$$[\Lambda]^T [M] [\Lambda] \{\ddot{q}\} + [\Lambda]^T [C] [\Lambda] \{\dot{q}\} + [\Lambda]^T [K] [\Lambda] \{q\} = -[\Lambda]^T [M] \{I\} \ddot{y} \quad (2)$$

{x} = [Λ]{q} , {q} : 各次モードの応答

$$[C] = [C_p] + [C_D]$$

[C_p] : 各モードに一律付与する配管系の減衰定数に対応した減衰マトリクス

[C_D] : 三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリクス

審査会合における指摘事項に対する回答【No.34,43】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.34（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパによる設計体系全体及びダンパ構成要素に対する、規格・基準の適用又は準用を明確にし、それらの規格・基準の適用範囲、適用条件を明確にした上で、本粘性ダンパへの適用、準用する妥当性を説明すること。

【No.43（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・設置変更許可段階においては、本件における適用範囲（波及的影響防止、耐震Bクラス設備）を明確にした上で、原子炉施設の耐震設計の体系及び審査実績を踏まえ重点的に検討すべき事項（水平2方向及び鉛直方向の地震力組合せ、ばらつき等の考慮等）に対して考察した上で、実現性、適用性について見通しを説明すること。

■ 回答

・単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーン及び三軸粘性ダンパを設置した配管系の設計における適用規格及び適用範囲を示す。基本的には従来と同様にJ E A G 4 6 0 1等に基づいた設計を行う。なお、減衰定数については最新知見として得られた減衰定数を採用する（論点Ⅱ-16参照）。制震装置の減衰性能は、制震装置の特性に応じて設定する必要があるため、性能試験結果に基づいて設定する。以上のとおり適用規格及び適用範囲を設定することから、妥当である。

・制震装置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）」（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を実施していることを確認した（添付資料-1（P36～39））。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.34】

1. 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 構造強度評価		J E A G 4 6 0 1 等	
吊具	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 構造強度評価		J E A G 4 6 0 1 等	
配管	構造強度評価			
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		
	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。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.44,39】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.44（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・三軸粘性ダンパの国内における原子力分野以外での適応実績を示すとともに、海外実績あるものの新規制基準適合性について、説明すること。

【No.39（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・海外でも4パラメータMaxwellモデルを用いているとの説明だが、係数の設定法、地震応答解析手法、ダンパの許容限界等、解析上考慮している項目を説明すること。

■ 回答

- ・三軸粘性ダンパは国内において原子力分野以外で、石油プラントの配管系（口径300A）、コンサートホール等の大規模建物の制振システム及び振動台等の機械装置の防振対策等への採用実績がある。
- ・三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震評価方法について、海外実績と島根2号炉を比較した。海外実績と島根2号炉で耐震評価方法は同様である。島根2号炉では、海外実績における耐震評価方法に加えて減衰性能の変動及びばらつきを考慮しているが、これは「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」及び工認審査ガイドを踏まえて考慮することとしたものであり、耐震評価方法は妥当である。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.44,39】

1. 三軸粘性ダンパの国内及び海外実績

(1) 国内実績

- 三軸粘性ダンパの国内における原子力分野以外での採用実績を示す。
 - 石油プラントの配管系（口径300A）
 - コンサートホール等の大規模建物の制振システム
 - 振動台等の機械装置の防振対策等

(2) 海外実績（原子力分野）

- 海外実績における耐震評価方法について，島根2号炉と比較して示す。
- 減衰性能の変動及びばらつきを考慮しているが，これは「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」及び工認審査ガイドを踏まえて考慮することとしたものであり，耐震評価方法は妥当である。

海外実績と島根2号炉における耐震評価方法の比較

項目	海外実績（原子力分野）	島根2号炉
減衰性能のパラメータ設定方法	三軸粘性ダンパの性能試験結果に基づき，等価剛性及び等価減衰係数のフィッティングにより4パラメータMaxwellモデルのパラメータを設定している。	同左
地震応答解析手法	時刻歴応答解析を適用している。	同左
三軸粘性ダンパの許容限界	地震応答解析結果から三軸粘性ダンパの荷重及び変位を算出し，許容荷重及び許容変位と比較している。	同左
減衰性能の変動及びばらつき	-	減衰性能の変動及びばらつきを包絡するように上限及び下限の減衰性能を設定した上で，5段階の段階的な減衰性能を設定する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.41】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.41（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・三軸粘性ダンパの減衰性能への影響について、配管系の熱移動により、ピストンの初期変位や角度が、標準位置、角度からずれた場合に、ダンパの性能が変化することはないか説明すること。

■ 回答

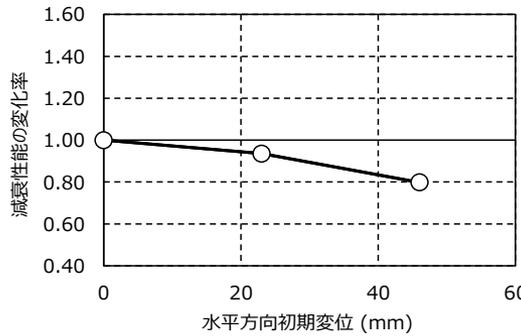
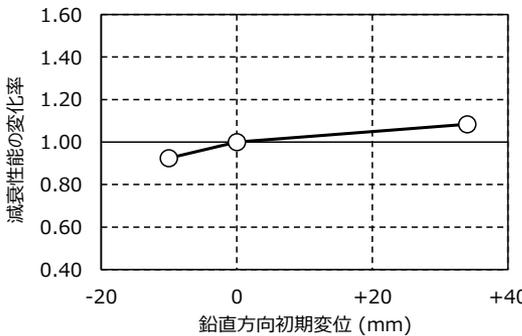
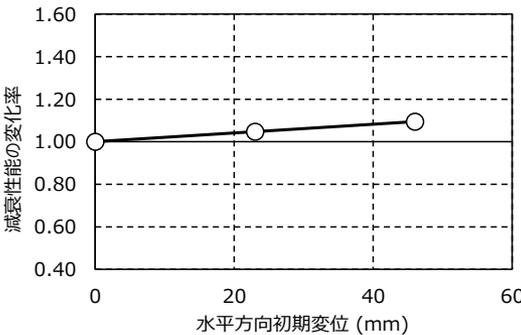
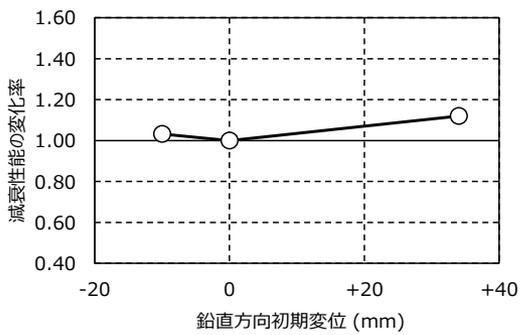
- ・三軸粘性ダンパは、配管系の熱移動も考慮した上で、運転時にハウジング中心付近の標準位置にピストンが位置するように据付を行うため、標準位置からのピストンの初期変位は小さいと考えられるが、その影響の程度を把握するために、ピストンに標準位置からの初期変位を与えた場合の減衰性能への影響を試験により確認した。試験結果から、ピストンの初期変位により減衰性能の低下及び上昇が確認された。三軸粘性ダンパのピストンの初期変位による減衰性能への影響については、試験結果に基づいて減衰性能への影響が±20%以内となるようにピストン位置を管理する。
- ・ピストン及びハウジングの角度については、水準器を用いて水平を保って据付を行うこと及び配管の熱移動により生じる配管のねじれは微小であることから、減衰性能への影響は軽微である。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.41】

1. 熱移動に対する三軸粘性ダンパの減衰性能への影響

- 試験結果から、ピストンの初期変位により減衰性能の低下及び上昇が確認された。初期変位による減衰性能への影響については、試験結果に基づいて減衰性能への影響が $\pm 20\%$ 以内となるようにピストン位置を管理する。
- ピストン及びハウジングの角度については、水準器を用いて水平を保って据付を行うこと及び配管の熱移動により生じる配管のねじれは微小であることから、減衰性能への影響は軽微である。

初期変位による減衰性能への影響確認試験結果

	水平方向初期変位	鉛直方向初期変位
水平方向の減衰性能の変化	 <ul style="list-style-type: none"> 初期変位が大きいほど直線的に減衰性能が低下する（最大で-20%となる）。 	 <ul style="list-style-type: none"> 上向きの初期変位に対しては減衰性能が低下する（-10mmで-10%未満）。 下向きの初期変位に対しては減衰性能が高くなる（最大で+10%未満）。
鉛直方向の減衰性能の変化	 <ul style="list-style-type: none"> 初期変位が大きいほど直線的に減衰性能が大きくなる（最大で+10%未満）。 	 <ul style="list-style-type: none"> 上向きの初期変位に対しては減衰性能の変化は軽微である。 下向きの初期変位に対しては減衰性能が高くなる（最大で+13%未満）。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.42】

論点Ⅱ－6：機器・配管系への制震装置の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.42（論点Ⅱ－6）機器・配管系への制震装置の適用】

・三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験の結果について、設置しない配管系と比べて応答が低減しているのは、ダンパ設置により配管系の固有振動数が剛側に変動した効果も含まれていると考えられるので、それも踏まえて、試験結果を整理して説明すること。

■ 回答

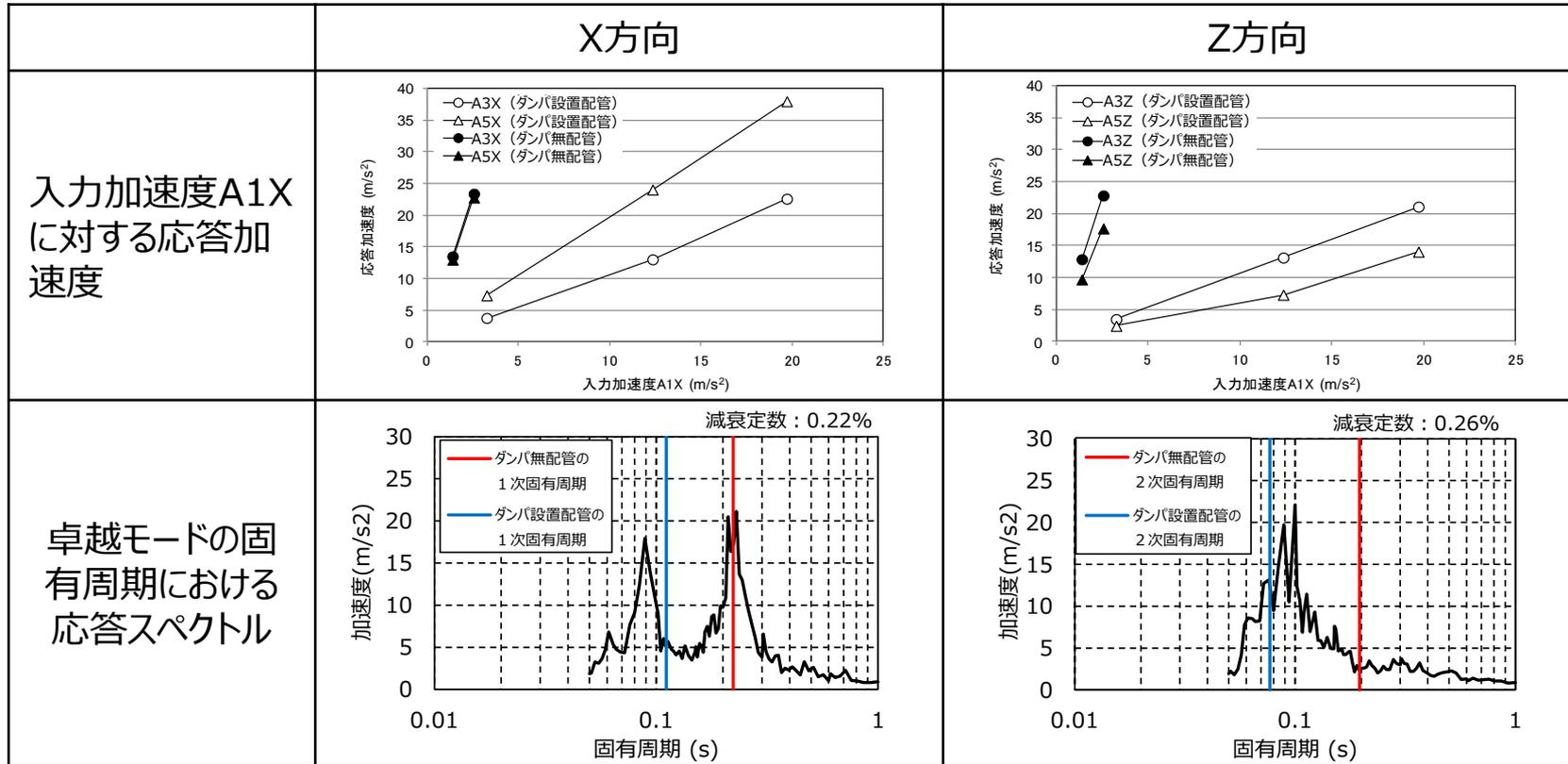
- ・地震波加振試験において応答が低減した要因には、ダンパ設置配管のモード減衰比が大きくなったことに加えて、ダンパ設置配管の固有振動数が剛側に変動することによる影響も含まれる。固有振動数の変動による影響について考察するため、X方向の応答が卓越する1次モードと、Z方向の応答が卓越する2次モードに着目し、ダンパ設置前後における床応答スペクトルの値を比較した。その結果、ダンパ設置前後で床応答スペクトルの値は変化しているが、地震波加振試験における応答倍率の低下率の方が大きいことを確認した。床応答スペクトルの変化よりも大きく応答倍率が低減されていることは、三軸粘性ダンパの設置による減衰の効果と考えられる。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.42】

1. 三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験結果の考察

- X方向入力では、1次固有周期における床応答スペクトルの値がダンパ設置前後で0.3倍程度となっており、Z方向入力では、2次固有周期における床応答スペクトルの値がダンパ設置前後で5倍程度となっている。
- 地震波加振試験におけるダンパ設置前後の応答倍率の変化はX方向で1/10, 1/5であり、床応答スペクトルの低下率よりも大きく低減されている。また、Z方向では床応答スペクトルの値は大きくなっているにもかかわらず応答倍率は1/10, 7/100に低減されている。
- 床応答スペクトルの変化よりも大きく応答倍率が低減されていることは、三軸粘性ダンパの設置による減衰の効果と考えられる。

三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験結果



審査会合における指摘事項に対する回答【No.46】

論点Ⅱ－10：取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.46（論点Ⅱ－10）取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用】

・転倒防止装置について、レールをはさむ金具の構造を整理して説明すること。また、転倒防止装置の構造に対応したモデル化の考え方とその詳細を整理して説明すること。

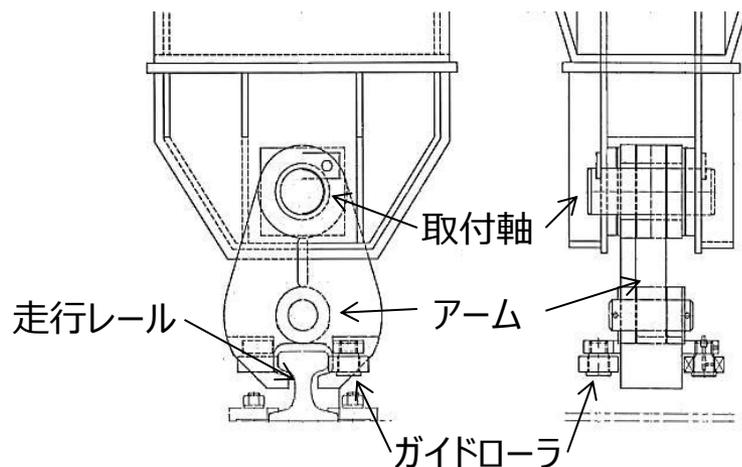
■ 回答

- ・取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置は、走行レールの上部からレール頭部をアームで挟み込む構造であり、クレーンに浮上りが発生してレール頭部と転倒防止装置の爪が接触すると鉛直方向の荷重が伝達される。また、水平方向は、レール直交方向には転倒防止装置が取付軸により回転する構造となっており、レールに沿った方向（クレーン走行方向）にはガイドローラによってすべる構造であるため、水平荷重は発生しない。
- ・このような構造を踏まえて、転倒防止装置は鉛直方向の爪部とレール頭部の間隙を考慮したギャップ要素によりモデル化を行う。

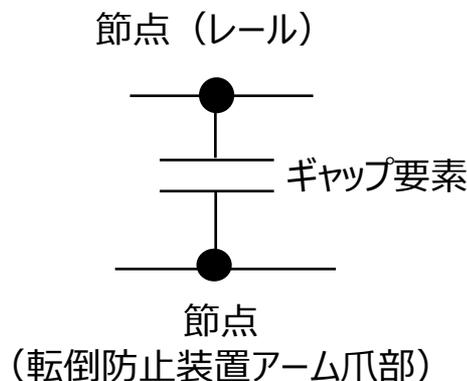
審査会合における指摘事項に対する回答【No.46】

1. クレーンの転倒防止装置の構造・モデル化

- 転倒防止装置は、走行レールの上部からレール頭部をアームで挟み込む構造である。
- 鉛直方向の荷重
アームの先端の爪部とレールの間には間隙がある。クレーンに浮上りが発生してレール頭部と転倒防止装置の爪が接触すると鉛直方向の荷重が伝達される。
- 水平方向の荷重
レール直交方向には転倒防止装置が取付軸により回転する構造となっており、レールに沿った方向（クレーン走行方向）にはガイドローラによってすべる構造であるため、水平荷重は発生しない。
- モデル化
鉛直方向の爪部とレール頭部の間隙を考慮したギャップ要素によりモデル化を行う。



転倒防止装置構造図



転倒防止装置モデル図

転倒防止装置の構造とモデル化について

審査会合における指摘事項に対する回答【No.47】

論点Ⅱ－10：取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

■ 指摘事項（令和元年11月12日 第796回審査会合）

【No.47（論点Ⅱ－10）取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用】

・クレーン使用中の評価で、クレーンやトロリが走行レールや横行レール端部の車輪止めに衝突しないとする根拠を説明すること。

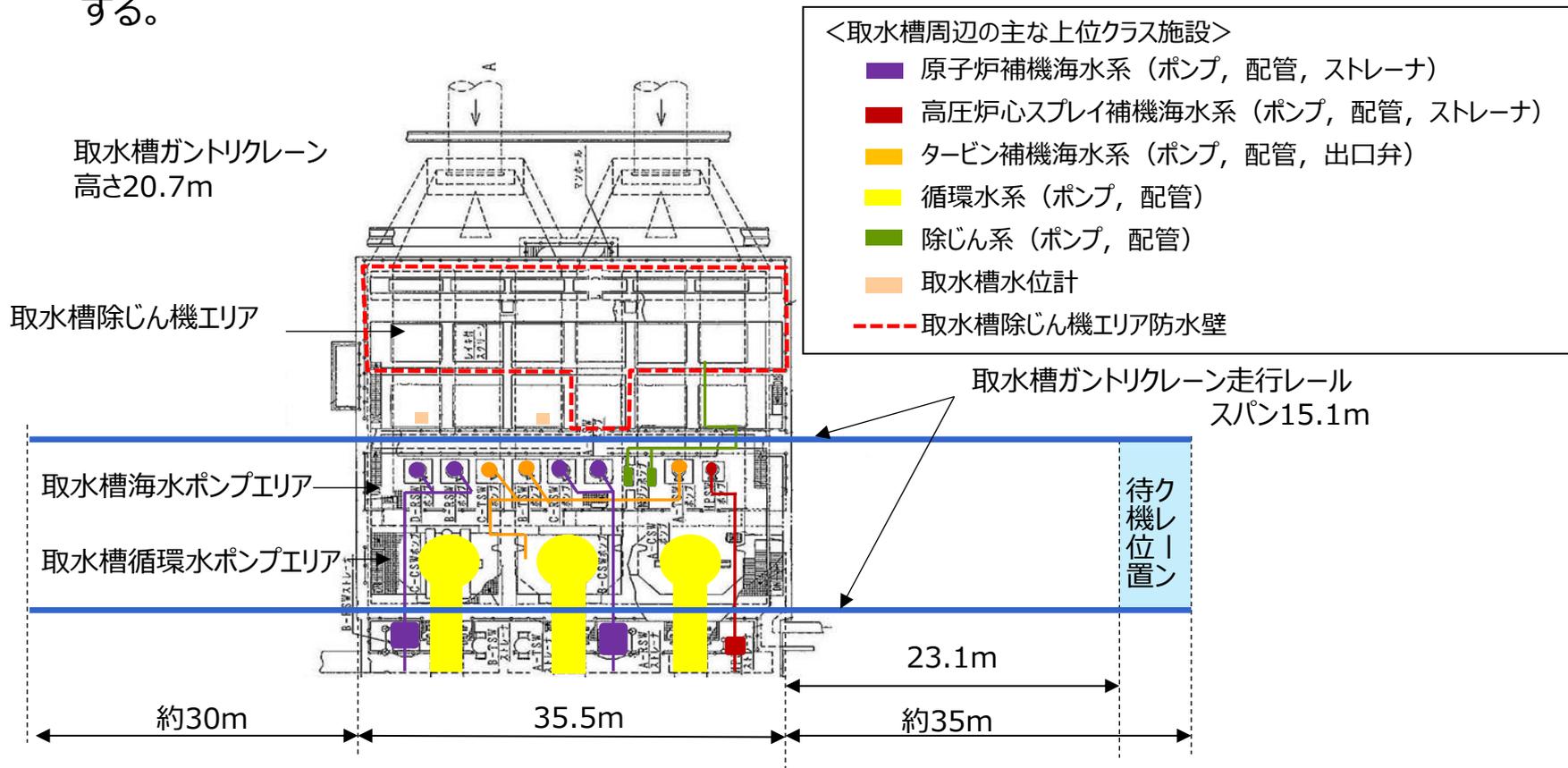
■ 回答

- 取水槽ガントリクレーン本体及びトロリがすべりによって走行レール端部及び横行レール端部に衝突した場合、取水槽ガントリクレーン本体の転倒、トロリの落下により上位クラス施設へ波及的影響を及ぼすおそれがあることから、取水槽ガントリクレーン本体及びトロリのすべりによるレール端部への衝突の有無を確認する。
- 取水槽から走行レール端部までの距離は最小で約30mであり、取水槽ガントリクレーンがすべりによって走行レール端部に衝突することはない。
- トロリについては、詳細設計段階においてすべり量を算出し、レール端部との適切な離隔距離を確保する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.47】

1. 取水槽ガントリクレーン本体及びトロリのすべりの影響について

- 取水槽から走行レール端部までの距離は最小で約30mであり、取水槽ガントリクレーンがすべりによって走行レール端部に衝突することはない。
- トロリについては、詳細設計段階においてすべり量を算出し、レール端部との適切な離隔距離を確保する。



取水槽ガントリクレーンの移動範囲

添付資料

論点Ⅱ－6 審査会合における指摘事項に対する回答【No.43】

添付資料 1 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

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 ー：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)

論点Ⅱ-6 審査会合における指摘事項に対する回答【No.43】

添付資料 1 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

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 〔 ○：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)

論点Ⅱ－6 審査会合における指摘事項に対する回答【No.43】

添付資料 1 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

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】

論点Ⅱ－6 審査会合における指摘事項に対する回答【No.43】

添付資料 1 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

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】

參考資料

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (1)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-5] サブプレッション・チェンバ内部 水質量の考え方の変更	・既工認では内部水全体を剛体と見なし、 水の全質量を用いていたが、今回工認 ではタンクの耐震設計に一般的に用いら れている有効質量の考え方を適用する。	—	A	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明
	[論点Ⅱ-6] 機器・配管系への制震装 置の適用	・取水槽ガントリクレーン及びSクラス以外 の配管系に制震装置を設置するため、 地震応答解析において制震装置の特性 を適切にモデル化し、時刻歴応答解析 を適用する。	BWR (柏崎6,7号 既工認他) ^{注1}	A	○	
	[論点Ⅱ-7] 地震時の燃料被覆管の 閉じ込め機能の維持	・燃料被覆管の閉じ込め機能維持の観 点で、地震時の荷重を考慮した一次+ 二次応力の評価を実施する。	—	A	—	第759回審査会合 (R元年8月27日) にて説明
	[論点Ⅱ-8] 規格適用範囲外の動的 機能維持評価の実施	・燃料移送ポンプ等の動的機能維持評 価について、JEAG4601の考え方及び 既往研究の知見を用いて詳細評価(異 常要因分析や構造強度評価)を実施 する。	BWR (東海第二)	B1	○	
	[論点Ⅱ-9] 一定の余裕を考慮した弁 の動的機能維持評価	・弁等の機器の動的機能維持評価にあ たって、応答加速度が当該機器を支持 する配管の地震応答により増加すると考 えられるときは、配管の地震応答の影 響を考慮し、一定の余裕を見込んだ評 価を行う。	PWR BWR (東海第二他)	B2	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明

※(論点整理結果の定義)

- A : 過去に適用実績がないもの(新規性:高)
- B1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの(新規性:中), B2 : 新規制審査実績が十分にあるもの(新規性:低), B3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの(新規性:低)
- C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの
- D1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

注1 : 排気筒への制震装置の適用例がある。

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (2)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-10] 取水槽ガントリクレーンへの 非線形時刻歴応答解析 の適用	・取水槽ガントリクレーンの耐震性評価において、浮き上がりやすべりを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	○	
	[論点Ⅱ-11] 原子炉格納容器スタビライ ザばね定数の変更	・既工認では、1対のトラス（パイプ2本）の荷重-変位関係によりばね定数を算定していたが、今回工認では、取り付け部であるガセットプレート及びビヤラグもモデル化対象に含め、全体系モデルによるFEM解析により、実現象に即したばね定数を算定する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明
	[論点Ⅱ-12] 容器等の応力解析へのF EMモデルの適用	・既工認において公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデルを適用した耐震評価を実施する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-13] 水平方向の原子炉建物 -大型機器連成モデルの 変更（原子炉圧力容器 スタビライザのばね定数変 更を含む）	・水平方向の応答解析モデルについて、既工認ではPCV-RPVモデルとRPV-Rinモデルの2種類のモデルを用いていたが、今回工認ではPCV-RPV-Rinモデルを用いている。 ・RPVスタビライザのばね定数算出方法を変更する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明

※（論点整理結果の定義）

A : 過去に適用実績がないもの（新規性：高）

B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの（新規性：中）、B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの（新規性：低）、B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの（新規性：低）

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (3)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-14] 鉛直方向応答解析モデル の追加	・鉛直方向の動的地震力に対する考慮 が必要となったことから、鉛直方向につい ても動的地震力の算定を行うための解析 モデルを作成する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-15] 鉛直方向の減衰定数の 考慮	・鉛直方向の動的地震力を適用すること に伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を 新たに設定する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-16] 最新知見として得られた減 衰定数の採用	・今回工認では最新知見として得られた 減衰定数を採用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-17] 水平方向と鉛直方向の二 乗和平方根 (SRSS) 法 による組合せ	・水平方向及び鉛直方向ともに動的な 地震力での評価となったことから、方向ご との最大加速度の生起時刻に差があるとい う実挙動を踏まえて、二乗和平方根 (SRSS) 法による組合せ法を適用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)

B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

(参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (4)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-18] 原子炉建物天井クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用	・浮き上がりやすさを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第796回審査会合 (R元年11月12日) にて説明
	[論点Ⅱ-19] 立形ポンプの応答解析モデルの精緻化	・既工認モデルに対してJEAG4601-1991追補版に基づくモデルの精緻化を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-20] 動的機能維持評価の実施	・地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動 S_s による応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とした評価を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第814回審査会合 (R元年12月17日) にて説明
	[論点Ⅱ-21] 等価繰返し回数の設定	・基準地震動の変更に伴い、機器・配管系の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数を見直しを行う。 (第701回審査会合(平成31年4月9日)における指摘事項「機器・配管系の地震等価繰返し回数の設定については、論点として抽出した上で、既工認、他プラントとの比較の観点から重み付けを行い、その結果を説明すること。」の回答)	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)

- A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)
- B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)
- C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの
- D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの