実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
波線・・記載表現，設備名称の相違（実質的な相違なし）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙－６　機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について	別紙－５　機器・配管系における手法の変更点について （耐震）	別紙－７　機器・配管系における手法の変更点について 目　次 1.　はじめに 2.　手法の相違点 3.　手法の変更項目に対する島根２号炉への適用性 添付資料－1　原子炉建物天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について 添付資料－2　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について 添付資料－3　ポンプ等の応答解析モデルの精緻化について 添付資料－4　容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用について 添付資料－5　原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更について 添付資料－6　最新知見として得られた減衰定数の採用について 添付資料－7　水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて 添付資料－8　等価繰返し回数の評価方針について 添付資料－9　多入力の時刻歴応答解析の適用について	
1．はじめに 今回工認における機器・配管系設備の耐震評価において既工認から評価手法を変更する予定のもののうち，他プラントを含めた認可実績のあるものについて本資料にて整理する。	1.　はじめに 今回工認における機器・配管系の耐震評価において，既工認から評価手法を変更するものについて，「別紙１　既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）」の整理結果を踏まえ，以下に結果を示すものである。	1.　はじめに 機器・配管系の耐震評価において既工認から評価手法を変更するものについて，「別紙－１　設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について」の整理結果を踏まえ，手法の相違点及び島根２号炉としての適用性の確認結果を示す。	・記載方針の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 には島根 2 号炉の別紙１に該当する資料なし
2．手法の相違点 (1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用 原子炉建屋クレーンの解析では，より詳細な手法を用いる観点から，脱線防止ラグ等の構造変更を踏まえ，浮き上がり及び滑り条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については，大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。（添付資料1	2.　手法の相違点 (1)　原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用 原子炉建屋クレーンの解析では，より詳細な手法を用いる観点から，すべり及び浮き上がりの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料１参照）。	2.　手法の相違点 (1)　クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用 原子炉建物天井クレーン及び取水槽ガントリクレーンの解析では，より詳細な手法を用いる観点から，すべり及び浮上りの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用は，他プラントを含む既工認あるいは新規制工認において適用実績がある手法である（詳細は	・評価方針の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，原子炉建物天井クレーンに加え，取水槽ガントリク

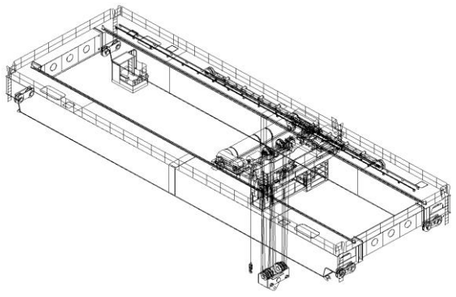
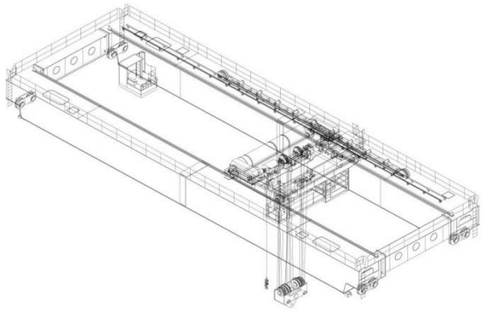
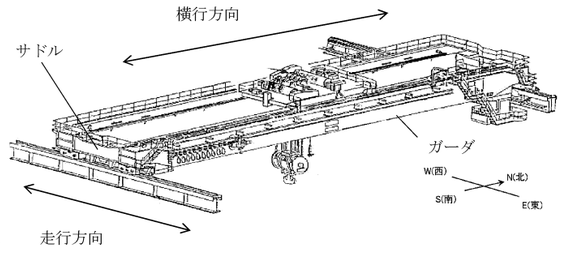
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参照）		添付資料-1参照）。なお，取水槽ガントリクレーンについては，既工認の実績として参照した大間１号炉建設工認の原子炉建屋天井クレーンと主要構造に差異がある（詳細は添付資料-2参照）。	レーンにも非線形時刻歴解析を適用するため記載
(2) 立形ポンプの解析モデルの精緻化 既工認において，立形ポンプについては設備の寸法，質量情報に基づき，ケーシング部とローター（軸）部を2 軸でモデル化しているが，今回の評価では，JEAG4601-1991追補版に基づき取付フランジ部を回転ばねとして考慮する等のモデルの精緻化を行っている。本解析モデルは，大間1 号炉の建設工認において適用実績がある手法である。（添付資料2 参照）	(2)　ポンプ等の解析モデルの精緻化 最新の工認実績等を踏まえ，ポンプ等の一部設備に対して解析モデルの質点数の変更，設備の支持構造に沿った解析モデルの精緻化を行う。多質点モデルによる地震応答解析モデルの適用は，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料２参照）。	(2)　ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 最新の工認実績を踏まえ，ポンプ等の一部設備に対して応答解析モデルの変更を行う。応答解析モデルの変更については，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-3 参照）。	
	(3)　容器等の応力解析へのＦＥＭ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，多質点モデルを適用した耐震評価を実施する。ＦＥＭモデルを用いて応力解析を行う手法は，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料３参照）。	(3)　容器等の応力解析へのＦＥＭ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モデル等を適用した耐震評価を実施する。ＦＥＭモデルを用いた応力解析手法は，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-4 参照）。	・評価手法の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉では，公式等による評価からＦＥＭモデル等を適用した耐震評価に変更したため記載
	(4)　解析コードの変更 今回工認における原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の主要設備の耐震評価に適用する解析コードについては，建設時に適用した解析コードから他プラントを含む既工認において適用実績がある解析コードに変更する（詳細は添付資料４参照）。		・評価手法の相違 【東海第二】 島根２号炉では，原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の主要設備に，既工認において適用実績のある解析コードを使用しているため，記載なし（以下①の相違
		(4)　原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更 原子炉本体及び炉内構造物の水平方向応答解析モデルについて，既工認では建設工程の関係上，原子炉格納容器－原子炉圧力容器モデルと原子炉圧力容器－炉内構造物モデルの２種類のモデルを用いていたが，今回工認では，原子炉格納容器－原子炉圧力容器－炉内構造物モデルを用いる。これに合わせて，原子炉圧力容器スタビライザ及び原子炉格納容器スタビライザのばね定数算出方法について，最新の工認実績を踏まえた算出方法に変更する。本手法は，他プラントを含む既工認あるいは新規制工認において	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，既工認で用いた２種類のモデルから，今回工認では１つに統合したモデルに変更。また，モデル設定に必要なＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザの

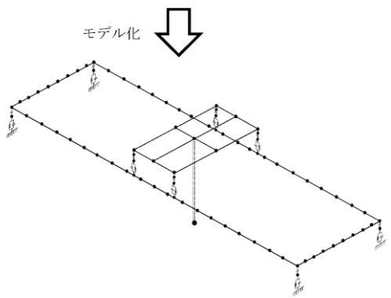
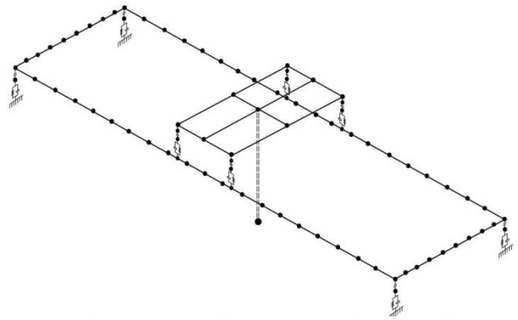
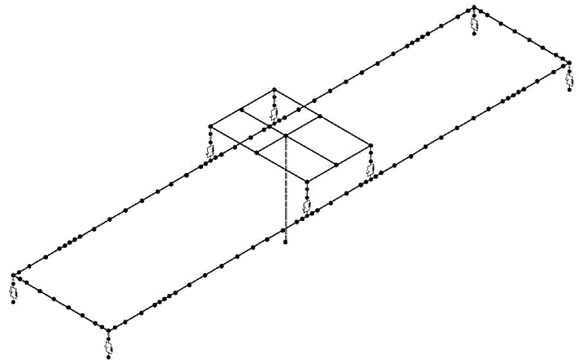
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		適用実績がある手法である。 また，鉛直方向に動的地震力が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向の応答を適切に評価する観点で，水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデル（原子炉格納容器－原子炉圧力容器－炉内構造物モデル）を新たに採用し，鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-5参照）。	ばね定数算出方法について最新工認実績を踏まえ変更（以下②の相違） ・記載方針の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 鉛直方向の応答解析モデルについて，柏崎 6/7 は(5)項，東海第二の(7)項に島根２号炉と同等の内容を記載
(3) 最新知見として得られた減衰定数の採用 最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり，その値は，振動試験結果等を踏まえ，設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また，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についても新たに設定している。 原子炉建屋クレーン，燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は大間1 号炉において適用実績がある。（添付資料3 参照） ① 原子炉建屋クレーンの減衰定数 ② 燃料取替機の減衰定数 ③ 配管系の減衰定数	(5)　最新知見として得られた減衰定数の採用 最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり，その値は，振動試験結果等を踏まえ，設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。 また，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についても新たに設定している。 天井クレーン，燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は他プラントを含む既工認において適用実績がある（詳細は添付資料５参照）。 ①天井クレーンの減衰定数 ②燃料取替機の減衰定数 ③配管系の減衰定数	(5)　最新知見として得られた減衰定数の採用 配管系，原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機について，最新知見として得られた減衰定数を採用する。その値は，振動試験結果等を踏まえ，設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また，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についても新たに設定している。 上記の減衰定数の設定は，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-6参照）。	
(4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ 今回工認の評価では，鉛直方向の動的地震力が導入されたことから，水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして，既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下，「SRSS」という。）法を用いる。SRSS 法による荷重の組み合わせは，大間1 号炉の建設工認において適用実績がある手法である。（添付資料4 参照）	(6)　水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ 今回工認の評価では，鉛直方向の動的地震力が導入されたことから，水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして，既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下「ＳＲＳＳ」という。）法を用いる。ＳＲＳＳ法による荷重の組み合わせは，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料６参照）。	(6)　水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ 鉛直方向の動的地震力が導入されたことから，水平方向と鉛直方向の地震力の組合せとして，既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下「ＳＲＳＳ」という。）法を用いる。ＳＲＳＳ法による荷重の組合せは，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-7 参照）。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		(7)　等価繰返し回数の評価方針 基準地震動の見直しに伴い，耐震評価における疲労評価に適用する等価繰返し回数を見直す。適用する等価繰返し回数の設定法は他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-8 参照）。	・記載方針の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，設置許可段階で等価繰返し回数の評価について記載（以下③の相違）
(5) 水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを追加 今回工認では鉛直動的地震動が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向応答を適切に評価する観点で，水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは大間1 号炉にて適用実績があるモデルである。（添付資料5 参照）	(7)　鉛直方向応答解析モデルの追加 今回工認では，鉛直方向に動的地震動が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向の応答を適切に評価する観点で，水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは他プラントを含む既工認にて適用実績があるモデルである。（詳細は添付資料７参照）。		・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 鉛直方向の応答解析モデルについては，島根２号炉では(4)項に同等の内容を記載
	(8)　炉内構造物への極限解析による評価の適用 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炉内構造物について，３次元ＦＥＭモデルを適用した極限解析による評価を実施する。極限解析による評価は，規格基準に基づく手法であり，他プラントでの既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料８参照）。		・評価手法の相違 【東海第二】 島根２号炉では，極限解析を使用しないため記載なし（以下④の相違）
		(8)　多入力の時刻歴応答解析手法の適用 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において，多入力の時刻歴応答解析手法を適用する。なお，本解析手法は，原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において，他プラントを含む既工認にて適用実績がある（詳細は添付資料-9 参照）。	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，多入力の時刻歴応答解析手法も手法の変更点として記載（以下⑤の相違）
	3.　手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性 手法の変更点について，以下に示す３項目に分別した上で，東海第二発電所としての適用性を示す。 (1)　先行プラントの知見反映を基本として変更する手法 先行プラントで適用されている知見を反映する目的の変更項目については，従来からの耐震設計手法に基づき，評価対象施設を質点系モデル，有限要素法モデルに置換し，地震応答解析を実施することにより評価は可能であるため，東海第二発電所への適用	3.　手法の変更項目に対する島根２号炉への適用性 手法の変更点について，以下に示す３項目に分別した上で，島根２号炉としての適用性を示す。 (1)　先行プラントの知見反映を基本として変更する手法 先行プラントで適用されている知見を反映する変更項目については，評価対象施設に応じて質点系モデル，ＦＥＭモデル等により適切にモデル化し，適切な解析手法を用いて地震応答解析を実施することから，島根２号炉への適用に際して問題となることは	・記載方針の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉では，手法の変更項目の適用性まで検討

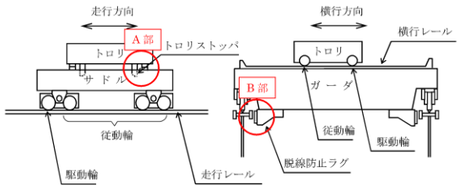
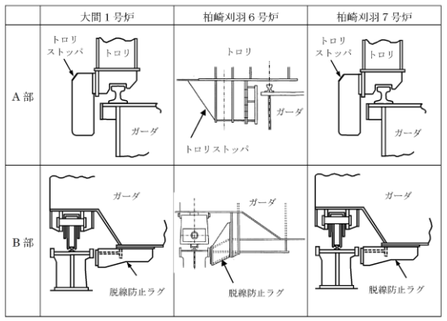
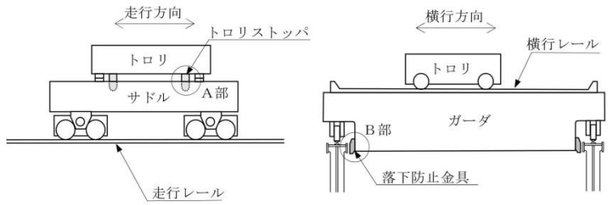
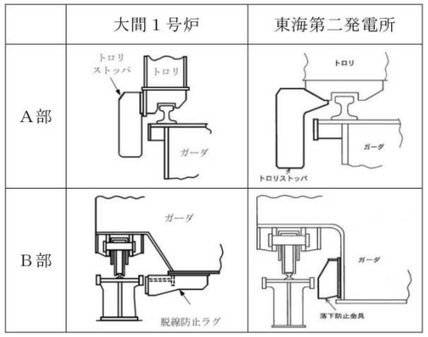
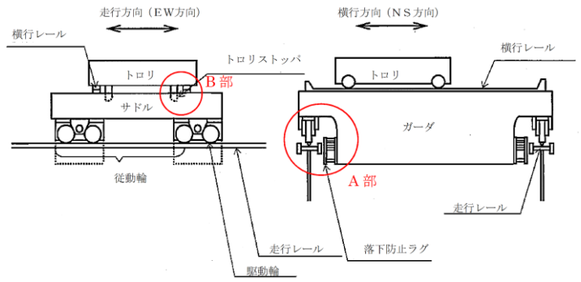
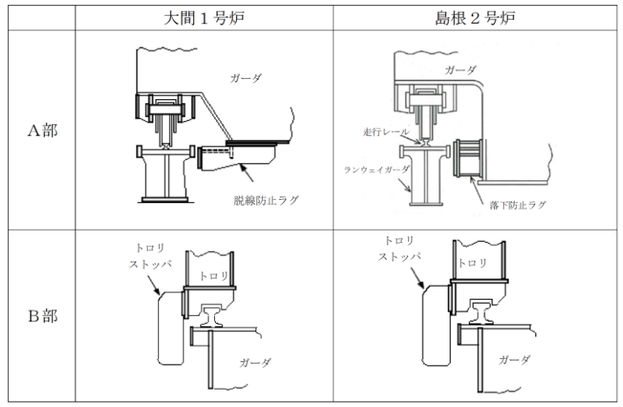
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	に際して問題となることはない。 ・クレーンの時刻歴応答解析の適用 ・ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 ・容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用 ・解析コードの変更	ない。 ・クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用 ・ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 ・容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ①の相違
		・原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ②の相違
		・等価繰返し回数の評価方針	・記載方針の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ③の相違
	(2)　鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法 平成 18 年９月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的に取扱いがされており，大間１号炉及び新規制基準での工認においてＰＷＲプラントで適用実績があり，東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。 ・水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ ・鉛直方向応答解析モデルの追加	(2)　鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法 平成 18 年９月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的な取扱いがされており，大間１号炉建設工認及びＰＷＲプラントの新規制工認で適用実績があり，島根２号炉への適用に際して問題となることはない。 ・水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ ・原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ②の相違
	(3)　より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法 ａ．最新知見として得られた減衰定数の採用 今回工認においては，配管系，天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は，振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用する。 配管系においては，新規制基準でのＰＷＲプラントでの適用実績があり，また炉型，プラントごとによる設計方針について大きな差はない。また，最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して，ＢＷＲプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており，適用に際して問題となることはない。 天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては，振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は，実機と同等の振動特性である試験体を用いることにより，減衰定数の	(3)　より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法 ａ．最新知見として得られた減衰定数の採用 配管系，原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は，振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用する。 配管系については，ＰＷＲプラントの新規制工認で適用実績があり，また炉型，プラントごとによる設計方針について大きな差はない。また，最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して，ＢＷＲプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており，適用に際して問題となることはない。 原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては，振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は，実機と同様の振動特性である試験体を用いることにより，	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	データを採取している。 東海第二発電所として適用する天井クレーン及び燃料取替機について，振動試験に用いた試験体と同等の構造仕様であることを確認しており，最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない（試験等の詳細は，添付資料５に記載）。なお，本減衰定数の適用は，大間１号炉及び天井クレーンに対しては新規制基準での工認においてＰＷＲプラントで適用実績がある。	減衰定数のデータを採取している。 島根２号炉の原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機は，振動試験に用いた試験体と同様の構造，仕様であることを確認しており，最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない（試験等の詳細は，添付資料-6 に記載）。なお，本減衰定数の適用は大間１号炉建設工認及びＰＷＲプラントの新規制工認において適用実績がある。	
		ｂ．多入力の時刻歴応答解析手法の適用 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において，多入力の時刻歴応答解析手法を適用する。本解析手法は，原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において，他プラントを含む既工認にて適用実績がある。	・評価手法の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ⑤の相違
	ｂ．極限解析による評価の適用 極限解析による評価については，ＪＥＡＧ4601 及びＪＳＭＥ設計・建設規格で規定されており適用に際して問題となることはない。ただし，他の手法に比べて適用実績及び審査実績が少ないことを踏まえて，極限解析による評価の妥当性の確認を行う。		・評価手法の相違 【東海第二】 ④の相違
3. 添付資料 添付資料1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用 添付資料2 立形ポンプの解析モデルの精緻化 添付資料3 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの 添付資料4 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ 添付資料5 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの	4. 添付資料 (1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について (2) ポンプ等の解析モデルの精緻化について (3) 容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用について (4) 解析コードの変更について (5) 最新知見として得られた減衰定数の採用について (6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて (7) 鉛直方向応答解析モデルの追加について (8) 炉内構造物への極限解析による評価の適用について		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料１	添付資料－1	
添付資料1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用	原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について	原子炉建物天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について	
1. 概要 原子炉建屋クレーン（第1.1 図）の耐震評価は，既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。 今回工認では，鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造変更により レール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第1.2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。 なお，本モデル及び評価手法は大間１号炉の建設工認にて適用例があり，大間１号炉と柏崎刈羽の６号及び７号炉の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから，柏崎刈羽６号及び７号炉にも適用可能である。	1. 概要 原子炉建屋クレーン（第 1-1 図）の耐震評価は，既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。 今回工認では，鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部がレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第 1-2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。 なお，本モデル及び評価手法は大間１号炉の既工認にて適用例があり，大間１号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから，東海第二発電所の原子炉建屋クレーンにも適用可能である。	1. 概要 島根２号炉原子炉建物天井クレーン（以下「天井クレーン」という。）（第 1－1 図）の耐震評価は，既工認では，鉛直方向について静的地震力のみ考慮していたことから手計算により評価を実施していた。今回工認では，鉛直方向について動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向地震力に対する車輪の浮上り挙動を考慮した解析モデル（第 1－2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。 なお，天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用は大間１号炉建設工認，東海第二新規制工認において適用実績がある。	
 第1.1 図 原子炉建屋クレーン（７号炉の例）	 第 1-1 図　原子炉建屋クレーン構造概要図	 第 1－1 図　原子炉建物天井クレーン概要図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第1.2 図 今回工認の解析モデル	 第 1-2 図　今回工認の解析モデル	 第１－２図　原子炉建物天井クレーンの今回工認における解析モデル	
2.　原子炉建屋クレーンの構造 大間１号炉と柏崎刈羽の６号及び７号炉の原子炉建屋クレーンは，第2.1 図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し，ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する構造であり，いずれも同様の構造（添付資料(1)）となっており，地震力に対し以下の挙動を示す。 (1) 走行方向の水平力 (a) クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため，走行方向の水平力がクレーンに加わっても，クレーンはレール上をすべるだけで，クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。 (b) クレーンの走行車輪は，駆動輪又は従動輪である。 (c) 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。	2.　原子炉建屋クレーンの構造 大間１号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは，第 1-3 図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し，ガーダ上に設置された横行レールをトロリが横行する構造であり，いずれも同様の構造（別紙１参照）となっており，地震力に対し以下の挙動を示す。 (1)　走行方向の水平力 ａ．クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため，走行方向の水平力がクレーンに加わっても，クレーンはレール上をすべるだけで，クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。 ｂ．クレーンの走行車輪は，駆動輪又は従動輪である。 ｃ．駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。	2.　クレーン構造 2.1　原子炉建物天井クレーンの構造 島根２号炉と大間１号炉の天井クレーンは，第 2－1 図に示す通り原子炉建物に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し，ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する同様の構造となっており，地震力に対し以下の挙動を示す。島根２号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元については添付資料(1－1)に示す。 (1)　走行方向の水平荷重 ａ．天井クレーンは走行レール上に乗っており固定されていないため，走行方向の水平荷重が天井クレーンに加わっても，天井クレーンは走行レール上をすべり，天井クレーン自体には走行レール－走行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。 ｂ．天井クレーンの走行車輪は，駆動輪及び従動輪である。 ｃ．走行車輪の駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合，回転部分が追随できず，走行レール上をすべる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(2) 横行方向の水平力 a. ガーダ関係 (a) 横行方向は，走行レールに対して直角方向であるため，ガーダは建屋と固定されているものとし，水平力がそのままガーダに作用する。 b. トロリ関係 (a) トロリはガーダ上の横行レール上に乗っているだけで固定されていないため，水平力がトロリに加わっても，トロリはレール上をすべるだけで，トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。 (b) トロリの横行車輪は，駆動輪又は従動輪である。 (c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。 (3) 鉛直力 クレーン及びトロリは，レール上に乗っているだけで固定されていないことから，鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。 また，柏崎刈羽６号及び７号炉の原子炉建屋クレーンは，これまでに実施した耐震強化工事によりトロリストッパ及び脱線防止ラグの構造変更を行っており，車輪まわりのトロリストッパ及び脱線防止ラグとレールの間の取り合い構造は，認可実績のある大間１号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となっていることから，車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間１号炉と同様にモデル化することができる。（構造変更の概要は添付資料(2)参照。）	(2)　横行方向の水平力 ａ．ガーダ関係 (a)　横行方向は，走行レールに対して直角方向であるため，ガーダは建屋と固定されているものとし，水平力がそのままガーダに作用する。 ｂ．トロリ関係 (a)　トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため，水平力がトロリに加わっても，トロリはレール上をすべるだけで，トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。 (b)　トロリの横行車輪は，駆動輪又は従動輪である。 (c)　トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。 (3)　鉛直力 ガーダ及びトロリは，レールと固定されていないことから，鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。 また，東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは，今後実施する耐震補強工事により，大間１号炉のトロリストッパ及び脱線防止ラグと同様な構造変更を行うことにより，車輪まわりのトロリストッパ及び落下防止金具とレールの間の取り合い構造は，認可実績のある大間１号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となることから，車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間１号炉と同様にモデル化することができる（構造変更の概要は別紙２参照）。	(2)　横行方向の水平荷重 ａ．ガーダ関係 (a) 横行方向は，走行レールに対して直角方向であり，ガーダは横行方向が走行レールにより拘束される。このため横行方向の地震慣性力が，そのままガーダに作用する。 ｂ．トロリ関係 (a) トロリはガーダの上に乗っており，ガーダとは固定されていないため，横行方向の荷重がトロリに加わっても，トロリは横行レール上をすべり，トロリ自体には横行レール－横行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。 (b) トロリの横行車輪は，駆動輪及び従動輪である。 (c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合，回転部分が追随できず，横行レール上をすべる。 (3)　鉛直荷重 ａ．島根２号炉天井クレーンは，トロリストッパ及び落下防止ラグにより浮上りを防止する構造としていたが，鉛直方向に動的な地震動を考慮することにより鉛直方向地震力が大きくなったことから，浮上りを許容することで耐震性を確保する構造に変更した。これにより，トロリ及びガーダは，レールと固定されていないことから，鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性があるが，車輪周りのトロリストッパ及び落下防止ラグの間の取合い構造は，許認可実績のある大間１号炉の原子炉建屋天井クレーンと同様の構造となっていることから，車輪周りを含めた応答解析モデルは大間１号炉と同様にモデル化することができる。島根２号炉天井クレーンの構造変更の概要を添付資料(1－2)に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
  第2.1 図 車輪まわりの構造比較	  第 1-3 図　車輪まわりの構造比較	  第 2－1 図　車輪周りの構造比較	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認，今回工認及び大間１号炉建設工認の評価方法を第3.1表に示す。今回工認では，鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した3 次元FEM 解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第3.1表 既工認，今回工認及び大間１号炉建設工認の評価方法の比較

項目		柏崎刈羽６号及び７号炉		大間１号炉（建設工認）
		既工認	今回工認	
解析手法		手計算による評価	非線形時刻歴応答解析	同左
解析モデル		－	３次元 FEM 解析モデル	同左
車輪－レール間の境界条件		すべり考慮	すべり，浮き上がり，衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力		
入力する地震動		原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度時刻歴	同左
減衰定数	水平	1.0%※1	2.0%※2	同左
	鉛直	－		
解析プログラム		－	Abaqus（6 号炉：Ver.6.11-1）（7 号炉：Ver.6.5-4）	Abaqus（Ver.6.5-4）

※1：既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため減衰定数は評価に使用していない。

※2：別紙6 の添付資料3 にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し，車輪部はレール上に乗っており固定されておらず，すべり及び浮き上がり挙動を考慮する構造であることから，ギャップ要素及びばね，減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第3.1 図

東海第二発電所（2018.9.18 版）

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認と今回工認の評価方法を第1-1表に示す。今回工認では，鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり，衝突の挙動を考慮した３次元ＦＥＭ解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第1-1表 既工認と今回工認の評価方法の比較

項　目		東海第二発電所		大間１号炉
		既工認	今回工認	
解析手法		公式等による評価	非線形時刻歴応答解析	同左
解析モデル		－	３次元ＦＥＭ解析モデル	同左
車輪－レール間の境界条件		すべり考慮	すべり，浮き上がり，衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力		同左
減衰定数	水平	－※1	2.0 %※2	同左
	鉛直	－		同左
解析プログラム		－	Abaqus（Ver. 6. 5-4）	同左

※１：既工認では剛として耐震評価を実施しているため減衰定数は使用していない。

※２：添付資料５にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し，車輪部はレール上に乗っており固定されておらず，すべり，浮き上がり及び衝突の挙動を示す構造であることから，ギャップ要素，ばね要素及び減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第

島根原子力発電所　２号炉

3. 解析評価方針

3.1 原子炉建物天井クレーンの評価方針

(1) 評価方法

既工認，今回工認及び大間１号炉建設工認の評価方法を第３－１表に示す。今回工認では，鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮上り挙動を考慮した３次元ＦＥＭ解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第３－１表　島根２号炉既工認，今回工認及び大間１号炉建設工認の評価方法の比較

項目		大間１号炉	島根２号炉	
			既工認	今回工認
解析手法		非線形時刻歴応答解析	手計算による評価	非線形時刻歴応答解析
解析モデル		３次元ＦＥＭ解析モデル	－	３次元ＦＥＭ解析モデル
車輪－レール間の境界条件		すべり，浮上り，衝突考慮	すべり考慮	すべり，浮上り，衝突考慮
地震力	水平	動的地震力	動的地震力	動的地震力
	鉛直	動的地震力	静的地震力	動的地震力
入力地震動		原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度
減衰定数	水平	2.0%	1.0%注1	2.0%注2
	鉛直	2.0%	－	2.0%注2
解析プログラム		ＡＢＡＱＵＳ（Ver. 6. 5－4）	－	ＡＢＡＱＵＳ（Ver. 6. 11-1）

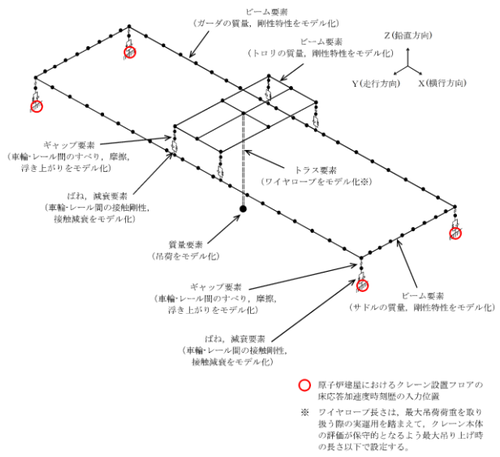
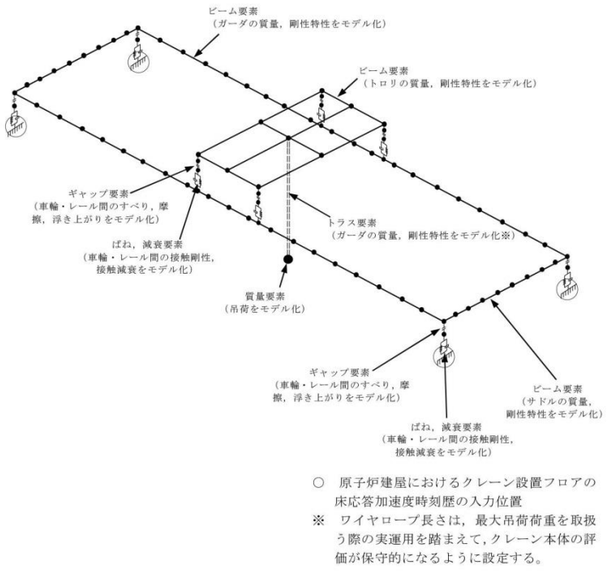
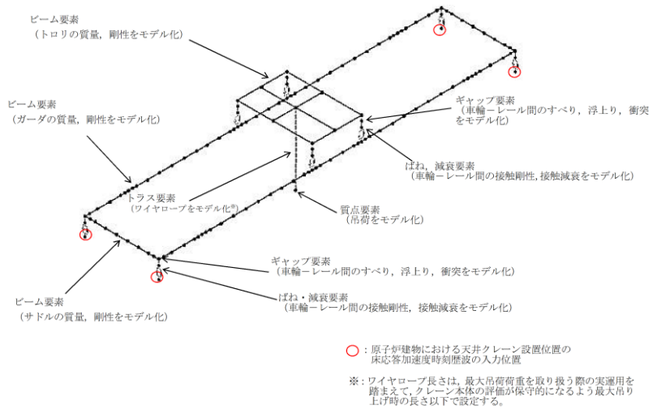
注１：既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため，減衰定数は評価には使用していない。

注２：添付資料-6「最新知見として得られた減衰定数の採用について」において適用性を説明する。

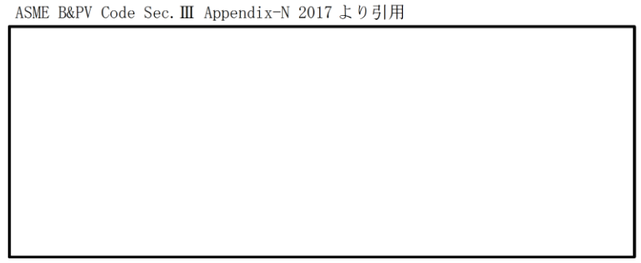
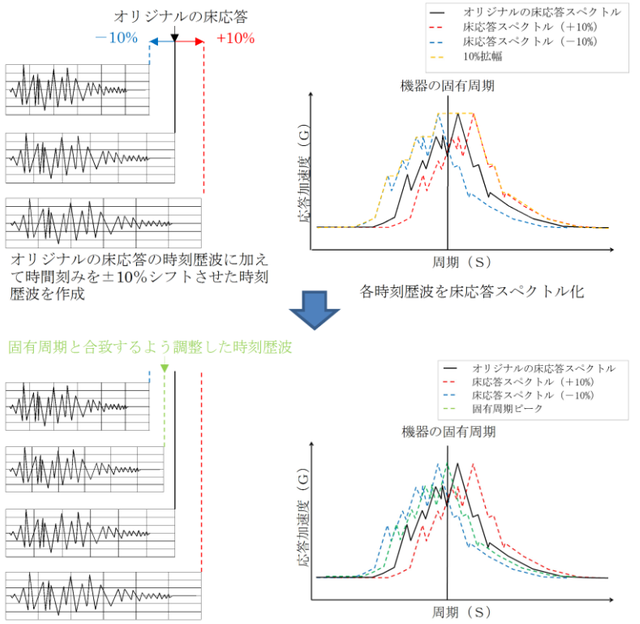
(2) 地震応答解析モデル

天井クレーンを構成する主要部材はビーム要素でモデル化する。車輪部はレールに乗っており，すべり及び浮上り等の非線形挙動が生じる構造であることから，ギャップ要素，ばね要素及び減衰要素でモデル化する。天井クレーンの解析モデルを第 3－1

備考

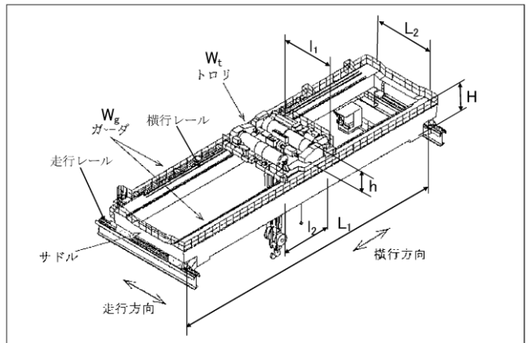
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
に示す。 なお，今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は，大間１号炉と同一の設定方法とする。（車輪部の非線形要素については参考文献(1)参照。）	1-4 図に示す。 なお，今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は，大間１号炉と同一の設定方法とする（車輪部の非線形要素については別紙3 参照）。	図に示す。なお，今回工認の天井クレーンのモデル化は，大間１号炉建設工認と同様の設定方法である。車輪部の非線形要素については添付資料(1－3)に示す。	
			
第3.１図　クレーン解析モデル（７号炉の例）	第1-4図　原子炉建屋クレーン地震応答解析モデル	第３－１図　原子炉建物天井クレーン解析モデル	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針 スペクトルモーダル解析等では，床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものを用いている。 本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから，今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し，機器評価への影響が大きい地震動に対し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，設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10%に相当する地震入力のゆらぎを仮定する手法等による検討を行う予定である。 なお，ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は，ASME の規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。	(3)　地盤物性等の不確かさに対する検討方針 スペクトルモーダル解析等では，床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10％拡幅したものを用いている。 本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから，地盤物性等の不確かさに対する考慮を適切に考慮した上で，評価を行う。 なお，今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し，機器評価への影響が大きい地震動に対し　ＡＳＭＥ　Boiler Pressure Vessel Code SECTION Ⅲ，DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening に規定された設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10％に相当するゆらぎを仮定する手法による検討を行う予定である。また，ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は，ＡＳＭＥの規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。本検討方針に対する東海第二発電所の原子炉建屋クレーンへの適用性については詳細設計段階で説明する。	3.2　地盤物性等の不確かさに対する検討方針 スペクトルモーダル解析では，床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動を考慮して周期方向に±10％拡幅した設計用床応答曲線を用いている。 本評価では，時刻歴応答解析を採用することから，今回工認では地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動の影響を考慮し，機器評価への影響が大きい地震動に対し，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う。Time History Broadening の概念を第3－2図に示す。 なお，上記変動を考慮した設計用床応答曲線の谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は，ＡＳＭＥの規定に基づき，ピーク位置が固有周期にあたる場合の検討も行う。	

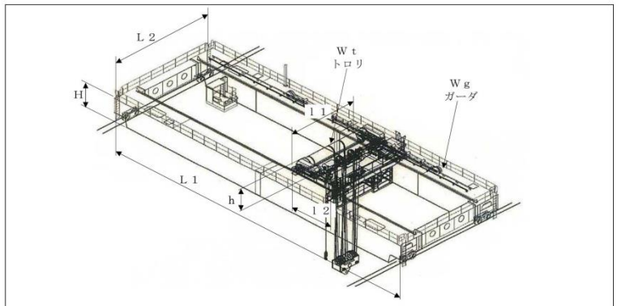
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		ASME B&PV Code Sec.Ⅲ Appendix-N 2017 より引用   機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合，ピークと合うような時刻歴波を作成し，時刻歴応答解析を実施する。 第 3－2 図　Time　History　Broadening の概念図	・記載方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 島根 2 号炉では Time History Broadening の概念図についても記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4. 添付資料 (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元 (2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰） (4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明 5. 参考文献 (1) 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構） (2) 平成20 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008，（独）原子力安全基盤機構）	4. 別紙 (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元 (2) 原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更 (3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰） (4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明 5. 参考文献 (1) 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動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書（08耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構） (2) 平成20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動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書（08耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構）	4. 添付資料 (1－1) 島根２号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元 (1－2) 島根２号炉原子炉建物天井クレーンの構造変更 (1－3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦，接触，減衰） (1－4) クレーンの地震時挙動に関する補足説明 5. 参考文献 (1) 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報－0021，（独）原子力安全基盤機構） (2) 平成 20 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報－0008，（独）原子力安全基盤機構）	

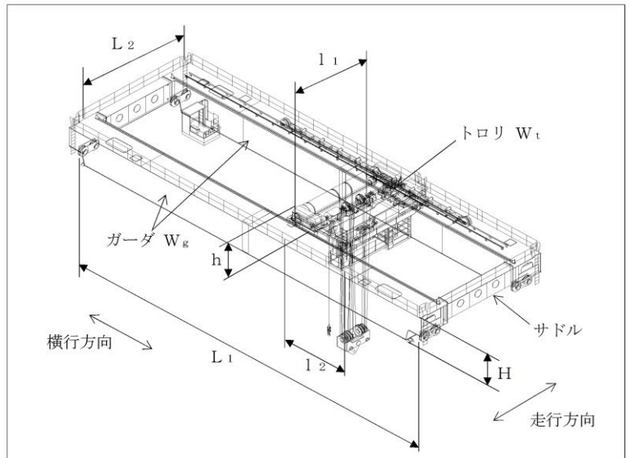
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料(1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元	別紙1　原子炉建屋クレーンの主要諸元	添付資料(1－1)　島根２号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元	構造・仕様の相違



仕 様		大間	柏崎刈羽	
		1号炉	6 号炉	7 号炉
トロリ	質量 Wt(ton)	80.0	86.5	80.0
	高さ h(m)	2.815	2.405	2.515
	スパン l_1(m)	7.7	5.8	7.7
	スパン l_2(m)	4.6	5.4	4.6
ガーダ	質量 Wg(ton)	190	226	190
	高さ H(m)	2.5	2.6	2.8
	スパン L_1(m)	34.9	34.9	34.9
	スパン L_2(m)	9.38	6.47	9.38
総質量	W(ton)	270.0	312.5	270.0



仕様		大間１号炉	東海第二発電所
トロリ	質量 W t (ton)	80.0	48.0
	高さ h (m)	2.815	2.280
	スパン l 1 (m)	7.7	5.6
	スパン l 2 (m)	4.6	4.1
ガーダ	質量 W g (ton)	190	118.0
	高さ H (m)	2.5	1.915
	スパン L 1 (m)	34.9	39.5
	スパン L 2 (m)	9.38	6.2
総質量	W (ton)	270.0	166.0



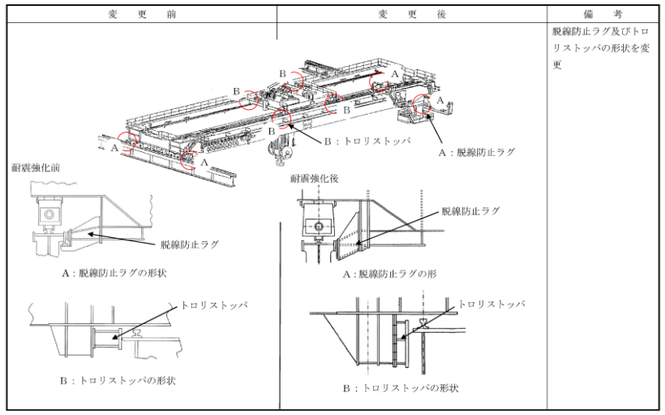
仕　様		大間１号炉	島根２号炉
トロリ	質量 W_t (ton)	80	56
	高さ h (m)	2.8	3.4
	スパン l_1 (m)	7.7	5.6
	スパン l_2 (m)	4.6	4.9
ガーダ	質量 W_g (ton)	190	149
	高さ H (m)	2.5	2.4
	スパン L_1 (m)	34.9	34.9
	スパン L_2 (m)	9.4	7.3
総質量 W (ton)		270	205

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

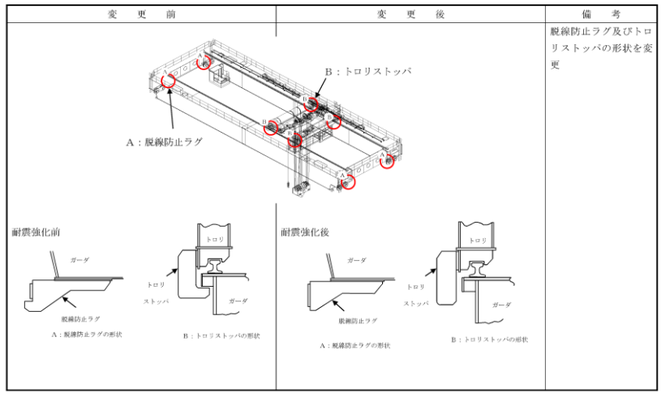
添付資料(2)（２／１）

原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更（6 号炉）

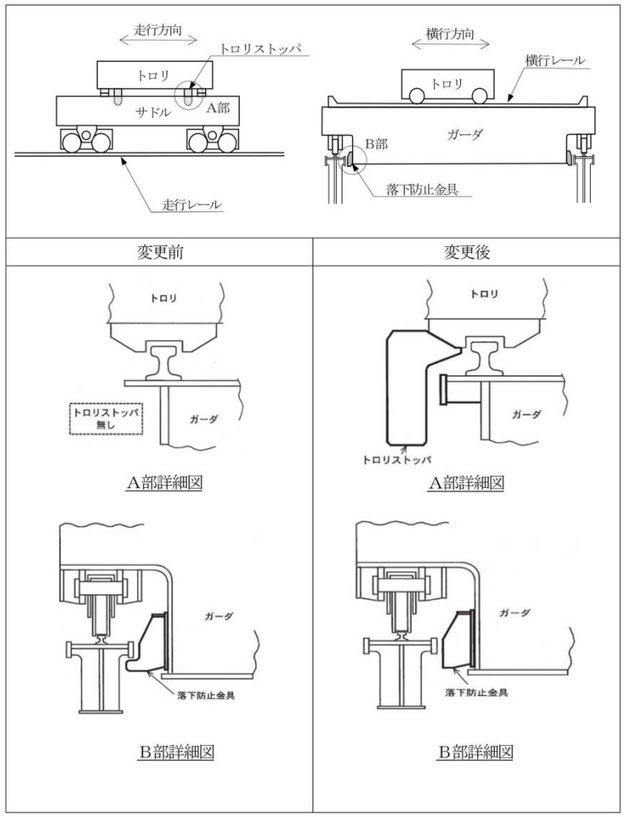


添付資料(2)（２／１）

原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更（7 号炉）

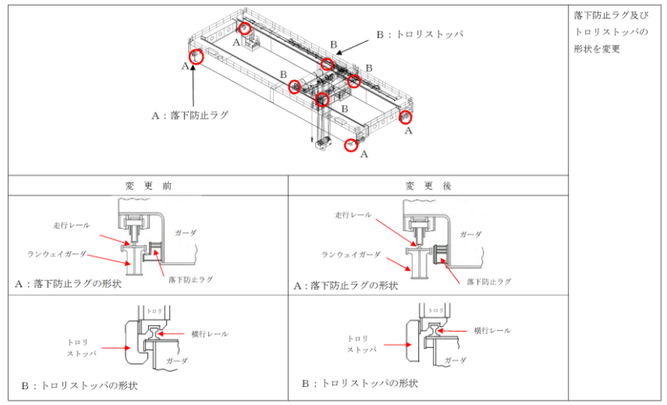


別紙2　原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更

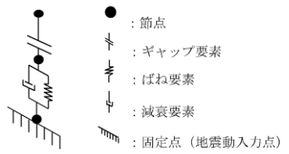
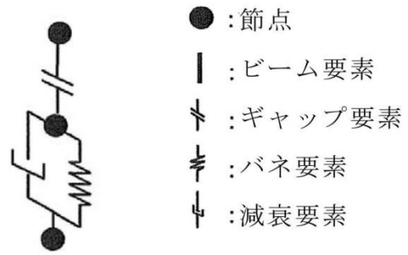
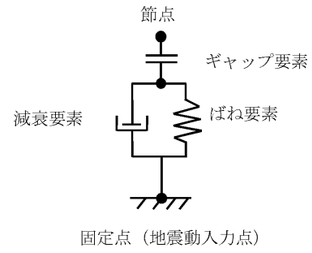


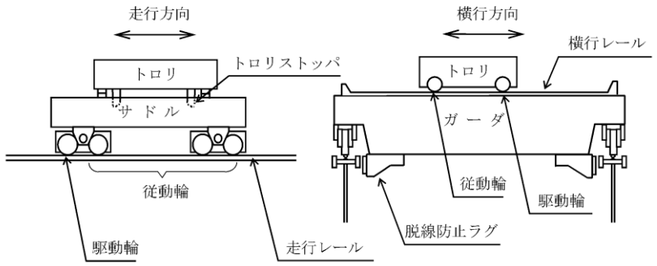
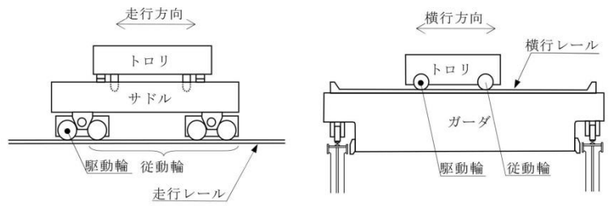
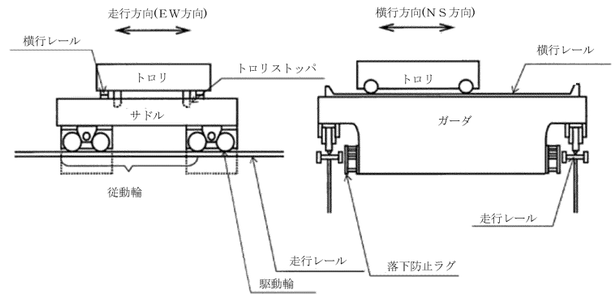
島根原子力発電所　２号炉

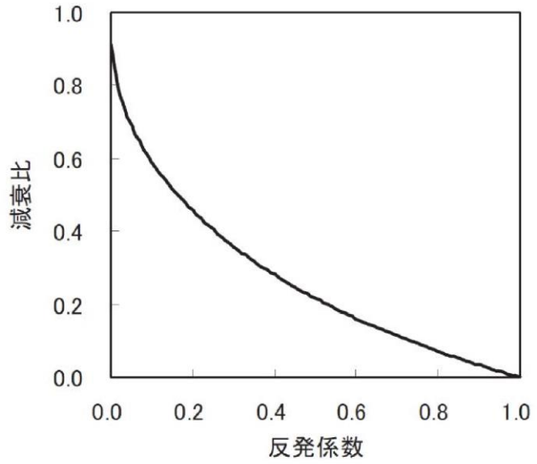
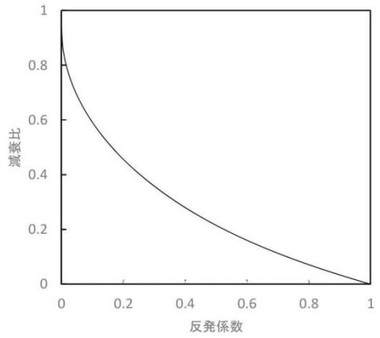
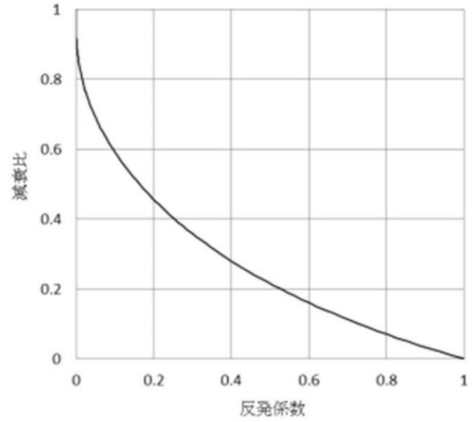
添付資料(1－2)　島根２号炉原子炉建物天井クレーンの構造変更

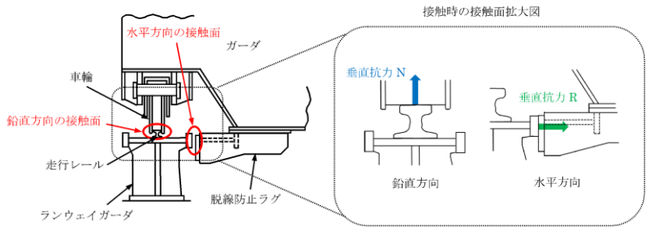
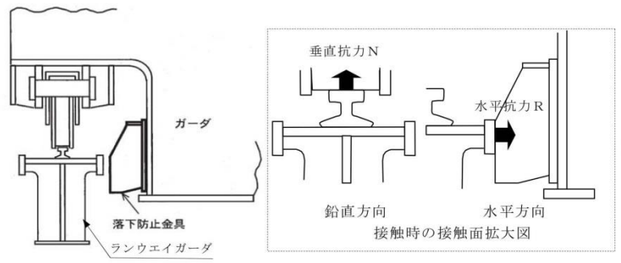
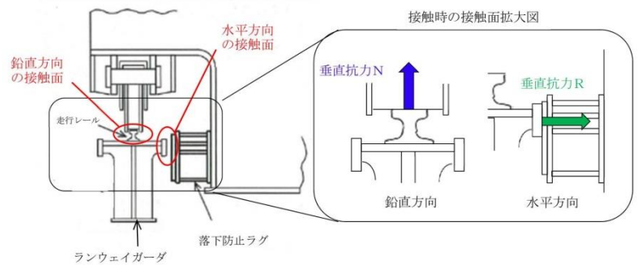


備考

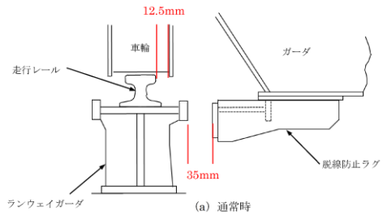
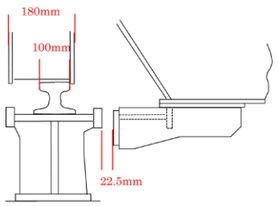
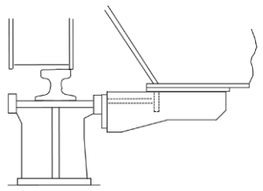
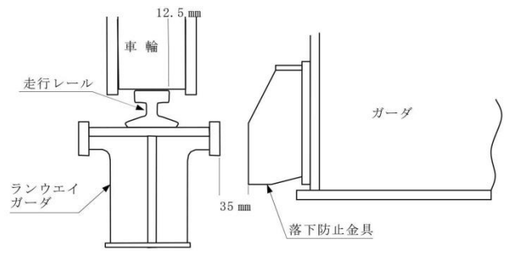
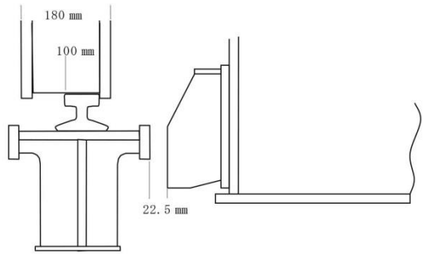
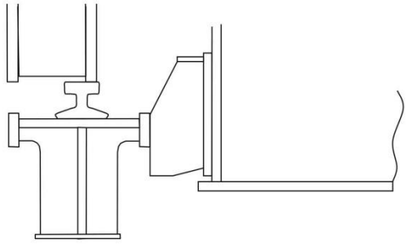
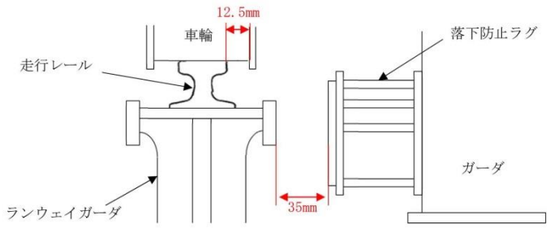
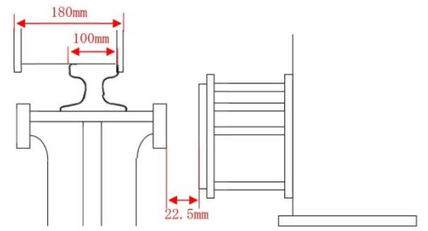
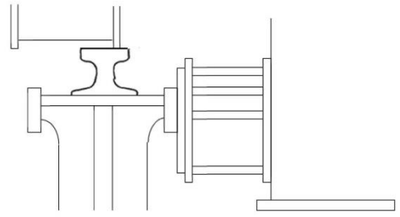
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料(3)　クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）	別紙 3　クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）	添付資料(1－3)　クレーン車輪部の非線形要素（摩擦，接触，減衰）	
クレーン車輪部のモデル化では，すべり，浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また，接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で，衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し，第1.1 図に示すように，ギャップ要素と直列に配置する。	クレーン車輪部のモデル化では，すべり，浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また，接触部位の局所変形による接触剛性をバネ要素で，衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し，別図 1-1 に示すように，ギャップ要素と直列に配置する。	クレーン車輪部のモデル化では，すべり，浮上り及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また，接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で，衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し，第 3－1 添図に示すように，ギャップ要素と直列に配置する。	
 第1.1 図 車輪部の非線形要素	 別図 1-1　車輪部の非線形要素	 第 3－1 添図　車輪部の非線形要素	
a.　車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と，回転部分と連結されていない従動輪の2 種類がある（第1.2 図）。このうち駆動輪は回転が拘束されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。 ここで，摩擦係数は既工認と同様の0.3 を用いる。	1.　車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機，減速機等の回転部分と連結された駆動輪と，回転部分と連結されている従動輪の２種類がある（別図 1-2 参照）。このうち駆動輪は回転が拘束されているため，地震の加速度が車輪部に入力されると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。ここで，摩擦係数は既工認と同様の 0.3 を用いる。天井クレーンの車輪とレール間の摩擦係数 0.3 を適用し設計震度として算定することについては，クレーン耐震設計指針（日本クレーン協会規格 JCAS1101-2008）に定められている。また「天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動試験（火力原子力発電 Vol.40N0.6 1989）」にて，地震波による加振試験において，摩擦係数の平均値として 0.14 の結果が得られている。	1.　車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と，回転部分と連結されていない従動輪の２種類がある。第 3－2 添図に天井クレーンの概要図を示す。このうち駆動輪は回転が拘束されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合，レール上をすべる挙動を示す。ここで，摩擦係数は既工認と同様の 0.3 を用いる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第1.2 図 概要図（７号炉の例）	 別図 1-2　概要図	 第 3－2 添図　天井クレーンの概要図	
b. 車輪とレールの接触剛性 接触剛性は，「平成20 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008，（独）原子力安全基盤機構）」を参照し，車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される１自由度系の固有振動数が20Hz相当になるよう設定する。 c. 車輪とレール間の衝突による減衰 衝突による減衰は，「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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構）」にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお，減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。 $e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$ ここで，e は反発係数，h は減衰比である。第1.3 図に，上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。	2.　車輪とレールの接触剛性 接触剛性は，「平成 20 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　動的上下動耐震試験（クレーン試験）に関わる報告書（09 耐部報-0008，（独）原子力安全基盤機構）」(参2)を参照し，車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される１自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるよう設定する。 3.　車輪とレールの衝突による減衰 衝突による減衰は，「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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書（08 耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構）」(参1)にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお，減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。 $e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$ ここで，e は反発係数，h は減衰比である。別図 1-3 に，上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。	2.　車輪とレールの接触剛性 接触剛性は「平成 20 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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報－0008，（独）原子力安全基盤機構）」を参照し，車輪とレールの衝突時の剛性を模擬したばね要素を考慮し，クレーン質量で構成される１自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるように設定する。 3.　車輪とレール間の衝突による減衰 衝突による減衰は「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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報－0021，（独）原子力安全基盤機構）」にて実施した要素試験のうち，車輪反発係数試験結果より評価した反発係数から換算する。なお，減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。 $e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$ ここで，e は反発係数，h は減衰比である。 上記の式で表される反発係数と減衰比との関係を第 3－3 添図に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第1.3 図 反発係数と減衰比の関係	 別図 1-3　反発係数と減衰比の関係	 第３－３添図　反発係数と減衰比の関係	
添付資料(4)　原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明 １．車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について クレーンはレール上を車輪で移動する構造であるため，建屋に固定されておらず，地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し，摩擦力以上の荷重を受けない構造である。 クレーン本体とランウェイガーダ間の取り合い部を例とすると，すべりを想定する面としては，鉛直方向（車輪～レール間）と水平方向（脱線防止ラグ～ランウェイガーダ間）が挙げられる。（第1 図） 鉛直方向には，自重が常時下向きに加わっており，地震による鉛直方向加速度が1Gを上回りクレーン本体が浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き，常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Nが発生する状態であることから，摩擦係数μ（=0.30）一定の条件の下，垂直抗力Nを時々刻々変化させた摩擦力f（=μN）を考慮している。 これに対して，水平方向には常時作用する荷重が無く，水平方向（横行方向）の地震力が作用し脱線防止ラグがランウェイガーダ側面に接触する際にのみ垂直抗力Rが発生する。しかしながら，地震力は交番荷重であること及び，接触後も部材間の跳ね返りが	別紙４　原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明 1.　車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について クレーンは，レール上を車輪で移動する構造であるため，建屋に固定されておらず，地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し，摩擦力以上の荷重を受けない構造である。 クレーン本体とランウエイガーダ間の取り合い部を例とすると，すべりを想定する面としては，鉛直方向（車輪からレール間）と水平方向（落下防止金具からランウエイガーダ間）が挙げられる（別図 1-4 参照）。 鉛直方向には，自重が常時下向きに加わっており，地震による鉛直方向加速度が 1G を上回りクレーン本体が浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き，常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Ｎが発生する状態であることから，摩擦係数 μ（＝0.30）一定の条件の下，垂直抗力Ｎを時々刻々変化させた摩擦力ｆ（＝μＮ）を考慮している。 これに対して，水平方向には常時作用する荷重が無く，水平方向（横行方向）の地震力が作用し落下防止金具がランウエイガーダ側面に接触する際にのみ水平抗力Ｒが発生する。しかしながら，地震力は交番荷重であること及び接触後も部材間の跳ね返り	添付資料(1－4)　クレーンの地震時挙動に関する補足説明 1.　車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について クレーンはレール上を車輪で移動する構造であるため，地震時にはレールに沿う方向にすべりが発生し，最大静止摩擦力以上の荷重を受けない構造である。 天井クレーン本体とランウェイガーダ間の取合い部を例とすると，すべりを想定する面としては，鉛直方向（車輪－レール間）及び水平方向（落下防止ラグーランウェイガーダ間）が挙げられる（第４－１添図）。 鉛直方向には，自重が常時下向きに作用し，地震による応答加速度が１Ｇを上回りクレーン本体が浮き上がるわずかな時間帯を除き，常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Ｎが発生する。したがって，摩擦係数μ（＝0.30）一定の条件の下，垂直抗力Ｎを時々刻々変化させた摩擦力ｆ（＝μＮ）を考慮している。 これに対し，水平方向には常時作用する荷重はなく，水平方向（横行方向）の地震力が作用し落下防止ラグがランウェイガーダ側面に接触する際にのみ垂直抗力Ｒが発生する。しかし，地震力は交番荷重であり，接触後も部材間の跳ね返りが発生することか	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
発生することから，側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また，大きな摩擦力が発生するためには，横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力Rが発生する間に，走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから，各方向地震動の非同時性を考慮し，側面の接触による摩擦力は考慮していない。側面の接触による摩擦力の影響を小さいと判断している妥当性については詳細設計段階にて念のため確認を行う。 なお，基準地震動Ss による地震力に対して，駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが，その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから，上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となると言える。	が発生することから，側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また，大きな摩擦力が発生するためには，横行方向の地震力により瞬間的に水平抗力Ｒが発生する間に，走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから，各方向地震動の非同時性を考慮し，側面の接触による摩擦力は考慮していない。 なお，基準地震動Ｓ$_s$による地震力に対して，駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが，その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから，上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となると言える。	ら，側面の接触時間はごくわずかな時間となる。また，大きな摩擦力が発生するためには，横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力Ｒが発生する間に，走行方向に大きな地震力が同時に発生することが必要であることから，各方向地震動の非同時性を考慮し，側面の接触による摩擦力は考慮しない。側面の接触による摩擦力の影響については詳細設計段階で確認を行う。 なお，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し，駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが，その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減する。したがって，上記のような摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価になる。	
			
第1 図 鉛直方向と水平方向の接触面	別図 1-4　鉛直方向と水平方向との接触面	第４－１添図　鉛直方向と水平方向の接触面	
２．レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化にあたっては，車輪がレール上にあり，レール直角方向に対しては脱線防止ラグ又はトロリストッパが接触して機能することを前提としている。 ここでは，地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が，脱線防止ラグ又はトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを，クレーン本体とランウェイガーダ間の取り合い部を例として示す。 クレーン横行方向に地震力が作用する際は，車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが，脱線防止ラグがランウェイガーダに接触することで，横行方向の移動量は制限される。脱線防止ラグは構造強度部材として基準地震動Ss によって生じる地震力に対して，許容応力を満足する設計としており，地震で破損する	2.　レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化にあたっては，車輪がレール上にあり，レール直角方向に対しては落下防止金具又はトロリストッパが接触して機能することを前提としている。 ここでは，地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が落下防止金具又はトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを，クレーン本体とランウエイガーダ間の取り合い部を例として示す。 クレーン横行方向に地震力が作用する際は，車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが，落下防止金具がランウエイガーダに接触することで，横行方向の移動量は制限される。落下防止金具は構造強度部材として基準地震動Ｓ$_s$によって生じる地震力に対して，許容応力を満足する設計としており，地震で破損する	2.　レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化に当たり，車輪がレール上にあり，レール直角方向に対し落下防止ラグあるいはトロリストッパの支持機能が維持されていることを前提としている。 本項では，地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪がある」ことが，落下防止ラグあるいはトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを天井クレーン本体とランウェイガーダ間の取合い部を例として示す。 天井クレーン横行方向に地震力が作用するときは，車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが，落下防止ラグがランウェイガーダに接触することにより横行方向の移動量は制限される。落下防止ラグは構造強度部材として基準地震動Ｓｓにより生じる地震力に対して耐震性が成立する設計としており，地震で破損	

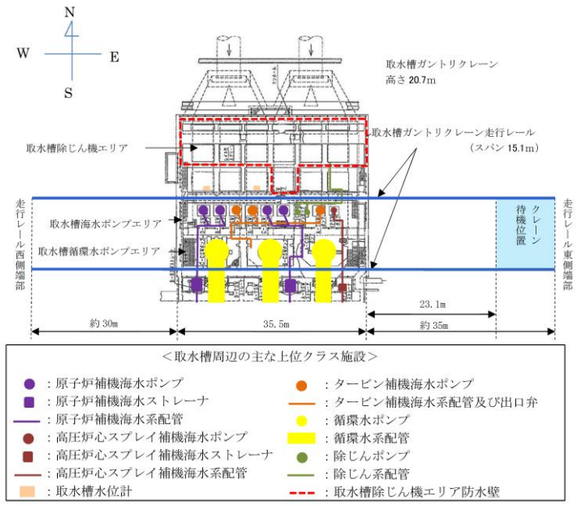
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ことは無いため，脱線防止ラグとランウェイガーダ間のギャップ量に相当する移動量となった場合であっても，構造上車輪はレール上から落ちることは無い。（第2 図） クレーン本体ガーダとトロリストッパの寸法も同様の関係となっている。 また，脱線防止ラグとランウェイガーダが接触するより前に，車輪からレールに荷重が伝わることとなるが，車輪のつばとレールが接触（移動量12.5㎜）してから脱線防止ラグとランウェイガーダが接触（移動量35㎜）し移動が制限されるまでの移動量は22.5㎜（=35㎜-12.5㎜）程度であることから，脱線防止ラグが接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考えられる。 以上より，地震時に脱線防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前に，車輪がすべり面であるレールから落下することや，レールが大きく破損することが無いことから，脱線防止ラグが機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと判断しているが，地震時に脱線防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前の車輪とレールの接触による影響については，詳細設計段階にて念のため確認を行う。	ことは無いため，落下防止金具とランウエイガーダ間のギャップ量に相当する移動量となった場合であっても，構造上車輪はレール上から落ちることは無い（別図 1-5 参照）。 本体ガーダとトロリストッパの寸法も同様の関係となっている。 また，落下防止金具とランウエイガーダが接触するより前に，車輪からレールに荷重が伝わることとなるが，車輪のつばとレールが接触（移動量 12.5㎜）してから落下防止金具とランウエイガーダが接触（移動量 35㎜）し移動が制限されるまでの移動量は 22.5㎜（＝35㎜－12.5㎜）程度であることから，落下防止金具が接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考えられる。このように，車輪のつばの有無によらず構造強度部材である落下防止金具が機能することで車輪がレール上にとどまる設計であることから，車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものでは無い。 以上より，地震時に落下防止金具がランウエイガーダに接触して機能する前に，車輪がすべり面であるレールから落下することや，レールが大きく破損することが無いことから，落下防止金具が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと言える。	することはないため，落下防止ラグとランウェイガーダ間のギャップに相当する移動量となった場合でも構造上車輪がレールから落下することはない（第 4－2 添図参照）。 また，落下防止ラグとランウェイガーダが接触する前に車輪からレールに荷重が伝わることとなるが，車輪のつばとレールが接触（移動量 12.5㎜）してから落下防止ラグとランウェイガーダが接触（移動量 35㎜）し移動が制限されるまでの移動量は 22.5㎜程度であることから，落下防止ラグが接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することはないと考えられる。 以上より，地震時に落下防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前に，車輪がすべり面であるレールから落下することやレールが大きく破損することがないことから，落下防止ラグが機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれはないと考えられるが，地震時に落下防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前の車輪とレールの接触による影響については，詳細設計段階にて念のため確認を行う。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (a) 通常時  (b) 水平方向地震力により車輪のつばがレールに接触（水平移動量 12.5mm）  (c) 水平方向地震力により脱線防止ラグとランウェイガーダが接触（水平移動量 35mm） 第2 図 概念図（７号炉の例） （本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。）	 (a)通常時  (b)水平方向地震力により車輪のつばがレールに接触 （水平移動量 12.5㎜）  (c)水平方向地震力により落下防止金具とランウエイガーダが接触（水平移動量 35㎜） （本図は車輪がレールから外されないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。） 別図 1-5　概念図	 (a)　通常時  (b)　水平方向地震力により車輪のつばがレールに接触 （水平移動量 12.5㎜）  (c)　水平方向地震力により落下防止ラグとランウェイガーダが接触（水平移動量 35㎜） 第 4－2 添図　天井クレーンの落下防止の概念図[注1] 注 1　本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙－９ 女川原子力発電所２号炉 海水ポンプ室門型クレーンへの 非線形時刻歴応答解析の適用 目　次 1. はじめに…… 1 2. 基本方針…… 2 2.1 要求事項…… 2 2.2 構造の概要…… 3 2.3 評価方針 …… 5 2.4 適用規格 …… 6 3. 耐震評価方法…… 7 3.1 解析方法及び解析モデル …… 7 3.1.1 解析方法の詳細 …… 7 3.1.2 解析モデル及び諸元 …… 8 3.1.3 解析モデルの境界条件…… 9 3.2 評価対象部位 …… 11 3.3 入力地震動 …… 12 4. 評価方法 …… 19 4.1 評価方針…… 19 4.2 荷重の組合せ …… 19	添付資料－2 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について 目　次 1. はじめに 2. 基本方針 2.1 要求事項 2.2 構造の概要 2.2.1 取水槽ガントリクレーンの主要構造 2.2.2 単軸粘性ダンパ 2.2.3 転倒防止装置の構造 2.2.4 トロリストッパ 2.2.5 ホイストレール・車輪 2.3 評価方針 2.4 適用規格 3. 応答解析の方法 3.1 解析方法及び解析モデル 3.1.1 解析方法の詳細 3.1.2 解析モデル及び諸元 3.1.3 解析モデルの境界条件 3.2 入力地震動 4. 耐震評価の方法 4.1 評価方針 4.2 荷重の組合せ 4.3 評価対象部位	・設備構成の相違 【女川 2】 島根２号炉の取水槽ガントリクレーンは，脱線防止装置ではなく転倒防止装置により転倒を防止する点，吊上げ装置としてホイストが存在する点，単軸粘性ダンパを設置している点が異なる （以下，①の相違） ・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，同様の内容を 4.3 に記載 ・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，同様の内容を 3.2 に記載

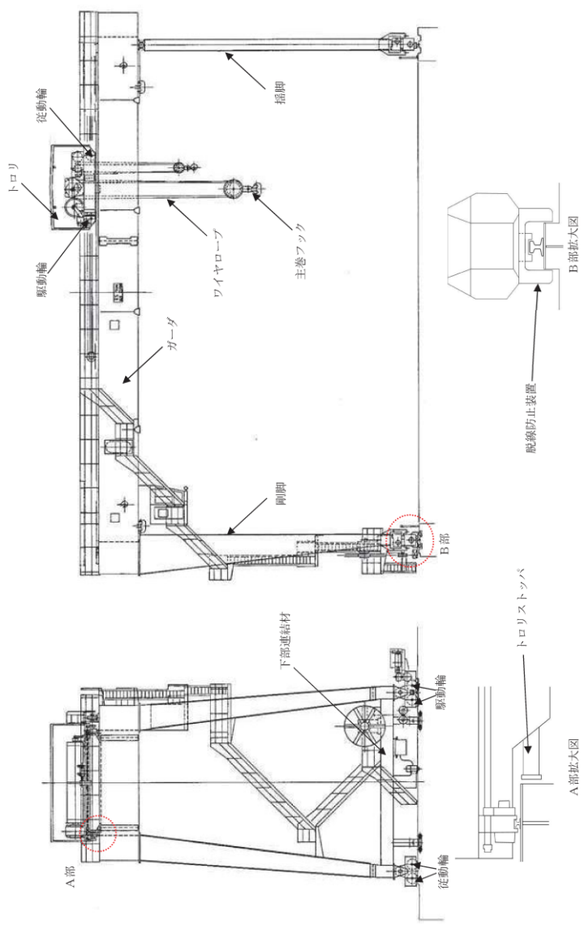
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.3 許容限界 ····· 19	4.4　許容限界 4.4.1　許容応力 4.4.2　許容浮上り量 4.4.3　吊具の許容荷重 4.4.4　単軸粘性ダンパの許容限界	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	4.4 各部の評価方法 ····· 20 4.4.1 クレーン本体，脱線防止装置及びトロリストッパの応力評価方法 ····· 20	4.5　各部の評価方法 4.5.1　取水槽ガントリクレーン本体，転倒防止装置，走行レール，単軸粘性ダンパブレース及び単軸粘性ダンパクレビス部の応力評価方法	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	4.4.2 脱線防止装置及びトロリストッパの浮上がり評価方法 ····· 22	4.5.2　トロリの浮上り評価方法	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	4.4.3 吊具の荷重評価方法 ····· 22	4.5.3　吊具の荷重評価方法	
		4.5.4　単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価方法	
	5. 評価結果 ····· 23	5.　評価条件・評価結果 5.1　評価条件 5.2　評価結果	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，評価結果に加えて，評価条件についても記載する （以下，②の相違）
	添 付 資 料 添付資料 1 改造工事の概要 添付資料 2 評価ケース選定の考え方について	添付資料 (2－1)　取水槽ガントリクレーンの改造箇所	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では（9－3）で記載している
	添付資料 3 海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴解析の適用性	(2－2)　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性	
		(2－3)　取水槽ガントリクレーンの解析ケースの設定	・記載方針の相違 【女川 2】 女川２では添付資料２で記載している
	添付資料 4 海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	説明	(2－4)　取水槽ガントリクレーン車輪部の非線形要素（摩擦，接触，減衰） (2－5)　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	・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，参考資料 1，参考資料 3 に記載
	1. はじめに 設計基準対象施設のうち耐震重要度分類Ｓクラスに属する施設，その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「Ｓクラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によってその安全機能を損なわないこと，また，重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要 SA 施設」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについては，「上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討」（以下「波及的影響検討」という。）の適合性評価において確認している。 波及的影響検討において抽出された下位クラス施設のうち，女川２号炉の海水ポンプ室門型クレーンについては，基準地震動 Ss に対して十分な構造強度を有することを確認することでＳクラス施設等及び重要 SA 施設（以下「上位クラス施設」という。）へ地震時に影響を及ぼさないことを説明する。	1.　はじめに 設計基準対象施設のうちＳクラスに属する施設，その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「Ｓクラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によってその安全機能を損なわないこと，また，重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要ＳＡ施設」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについては，「別紙－９　下位クラス施設の波及的影響の検討について」（以下「波及的影響検討」という。）において確認している。 波及的影響検討において抽出された下位クラス施設のうち，島根２号炉の取水槽ガントリクレーンの耐震評価について，取水槽ガントリクレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，鉛直方向地震力に対する車輪の浮上り等の挙動を考慮した応答解析の方法及び耐震評価の方法について示す。また，耐震評価を実施し，構造成立性の見通しを示す。なお，取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの詳細については，「別紙－18　機器・配管系への制震装置の適用について」に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	2.　基本方針 2.1 要求事項 海水ポンプ室門型クレーンは海水ポンプ室を跨ぐ形で設置されており，海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置している非常用海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。海水ポンプ室門型クレーンの設置位置について第 2.1-1 図に示す。 発電所の運転中など非常用海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は，海水ポンプ室門型クレーンは図中に示す通常待機位置に待機しているため，周辺の上位クラス施設とは十分な離隔	2.　基本方針 2.1　要求事項 取水槽ガントリクレーンは，取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリアを跨いで設置されており，原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。取水槽ガントリクレーンの設置位置について第 2－1 図に示す。 発電所の運転中など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は，取水槽ガントリクレーンは待機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	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	距離があることから波及的影響を及ぼすおそれはない。一方で，定期検査中など非常用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補機ポンプエリア付近に位置することとなる。そのため，海水ポンプ室門型クレーンが地震に伴う損傷・落下によって補機ポンプエリアに設置されている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。 第 2.1-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの設置位置概要 2.2 構造の概要 海水ポンプ室門型クレーンは剛脚，揺脚，ガーダ及びトロリなどの構造体で構成されている。全体構造図を第 2.2-1 図に示す。 剛脚，揺脚はその上部にあるガーダを支持し，下部には走行装置が設置されている。剛脚はガーダと剛接合，揺脚はクレーン走行方向の軸回りに摺動回転可能な継手でガーダと接合されている。	ら波及的影響を及ぼすおそれはない。一方で，定期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，取水槽ガントリクレーンが地震に伴う損傷，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。  第 2－1 図　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 2.2　構造の概要 2.2.1　取水槽ガントリクレーンの主要構造 取水槽ガントリクレーンの主要な構造部材としては，脚，ガーダ，トロリ，ホイスト，単軸粘性ダンパがある。構造を第 2－2 図に示す。 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。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違 ・設備構成の相違 【女川 2】 女川 2 号炉では脚に剛脚，揺脚の 2 種があるが，島根 2 号炉取水槽ガントリクレーンには揺脚はない

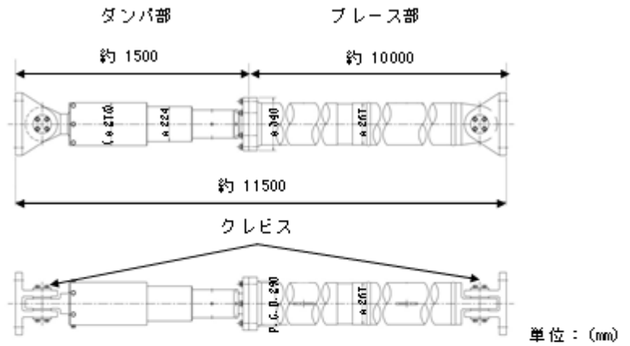
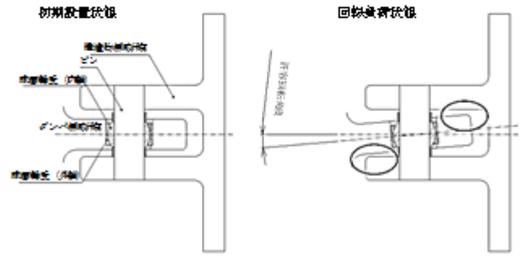
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			（以下，③の相違）
	ガーダは剛脚，揺脚の上部に設置されており，その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されている。トロリは横行レール上に位置しており，非常用海水ポンプ等のメンテナンス時等に吊荷を巻き上げるための巻上げ装置を有している。非常用海水ポンプ等のメンテナンス時には，トロリに設置された巻上げ装置とワイヤロープ及び主巻フックを介し，吊荷の吊上げ，吊下げ，移動等の作業を実施する。	ガーダは脚の上部にあり，その上面にトロリが移動するた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。原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンス時には，トロリに設置された巻上げ装置（主巻），又はホイストを使用して，ワイヤロープ及びフックを介し，吊荷の吊上げ，吊下げ，移動等の作業を実施する。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり，制震装置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，走行レールの直交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制震装置として設置する。 単軸粘性ダンパ取付部の構造を第 2－3 図に示す。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，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，クレビスの回転方向以外の方向にも約 3 度の許容回転角度を有することで，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。 単軸粘性ダンパ及び取付部材の質量は適切に地震応答解析モデルに反映する。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	また，クレーン本体は海水ポンプ室の東側と西側に敷設された走行レール上を剛脚，揺脚下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。トロリについてはガーダ上面の横行レール上をトロリ下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。	取水槽ガントリクレーン本体は，取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリア南寄りに敷設された走行レール上を脚下部にある走行装置及び車輪によって東西方向に移動する。トロリは，ガーダ上面の横行レール上を横行装置及び横行車輪によって南北方向に移動する。ホイストは，ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って，南北方向に移動する。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	さらに，クレーン本体，トロリの脱輪による転倒もしくは落下を防止するため，それぞれ脱線防止装置，トロリストッパが設置されており，地震発生時に浮上がりが起こった場合でも脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造となっている。	また，取水槽ガントリクレーン本体の地震による転倒を防止するため，本体下部に転倒防止装置が設置されており，地震時に浮上りが生じた場合でも転倒しない構造となっている。トロリにはトロリストッパを設置しており，浮上りによる脱線・落下を防止する構造となっている。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	なお，本資料で示す評価結果は，改造工事実施後の状態に対するものである。改造工事の概要を添付資料 1 に示す。	なお，本資料で示す取水槽ガントリクレーンの構造は，改造後の状態のものである。改造箇所の概要を添付資料（2－1）に示す。	

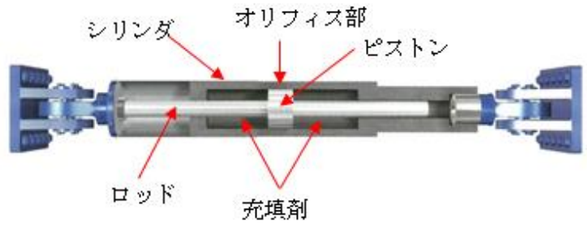
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

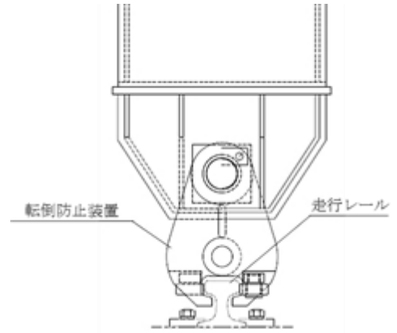
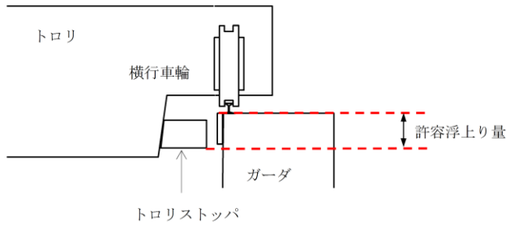


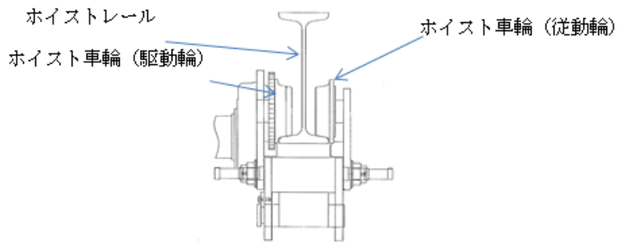
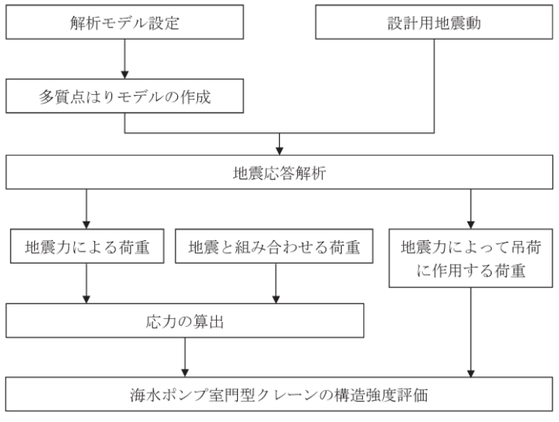
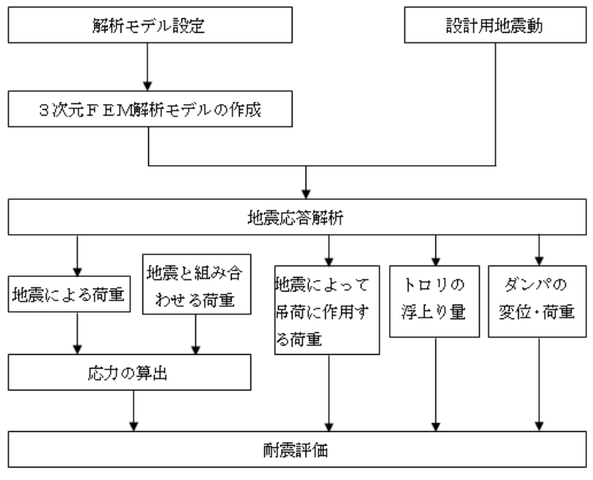
第 2. 2-1 図　海水ポンプ室門型クレーン全体構造図

第 2－2 図　取水槽ガントリクレーンの構造

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 単軸粘性ダンパ及びブレースの構造  クレビス部詳細 第 2－3 図　単軸粘性ダンパ取付部の構造	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		2.2.2　単軸粘性ダンパ 単軸粘性ダンパの仕様を第 2－1 表に示す。単軸粘性ダンパの基本構成，動作を第 2－4 図に示す。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の外面の間に形成されるオリフィス部を粘性流体が流れ，その抵抗力により減衰性能を発揮するものである。単軸粘性ダンパの粘性体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	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

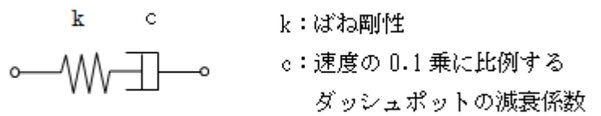
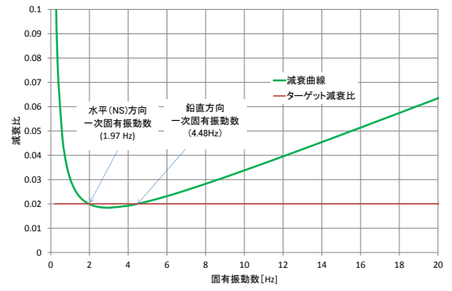
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		当しない。	
		第 2－1 表　単軸粘性ダンパの仕様 定格荷重 (kN) / 全長 (mm) / 外径 (mm) / 質量 (kg) / 許容荷重 (kN) / 許容変位 (mm) 220 / 1535 / 224 / 533 / 300 / 100	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
			
			
		第 2－4 図　単軸粘性ダンパの動作原理	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		2.2.3　転倒防止装置の構造 取水槽ガントリクレーン本体車輪部には，地震によって浮上りが発生した場合でも転倒しないように転倒防止装置が取り付けら	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		れており，浮上りによる脱線・転倒を防止する構造となっている。転倒防止装置の構造を第 2－5 図に示す。  第 2－5 図　転倒防止装置の構造	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		2.2.4　トロリストッパ トロリの車輪部には，地震によって浮上りが発生した場合でも落下しないようにトロリストッパを設置し，浮上りによる脱線・落下を防止する構造とする。トロリストッパの概略構造を第 2－6 図に示す。  第 2－6 図　トロリストッパの概略構造	・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，3.1 にトロリストッパを記載 ・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，第 3.1-2 図にトロリストッパを記載
		2.2.5　ホイストレール・車輪 ホイストは，ホイスト車輪がホイストレールを挟み込むことにより懸架されている。ホイストレール及びホイスト車輪の構造を第 2－7 図に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2－7 図　ホイストレール及び車輪の構造	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	2.3 評価方針 海水ポンプ室門型クレーンの評価については，「2.2 構造の概要」にて示した海水ポンプ室門型クレーンの構造を踏まえ作成した「3.1 解析方法及び解析モデル」に示す解析モデルを用いて解析を行う。解析によって得られた結果を用いて「3.2 評価対象部位」に示す構造部位について発生する応力を算出し，許容限界以内であることを確認する。応力評価の方法と評価結果については，それぞれ「4. 評価方法」と「5. 評価結果」に示す。 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価方法のフローを第 2.3-1 図に示す。	2.3　評価方針 取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては，「2.2 構造の概要」にて示した取水槽ガントリクレーンの構造を踏まえ作成した「3.1 解析方法及び解析モデル」に示す解析モデルを用いて地震応答解析を行う。解析によって得られた結果を用いて「4. 耐震評価方法」に示す方法により応力，荷重等が許容限界以内であることを確認する。 取水槽ガントリクレーンの耐震評価フローを第 2－8 図に示す。	
	 第 2.3-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価フロー	 第 2－8 図　取水槽ガントリクレーンの耐震評価フロー	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.4 適用規格 ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007」（社）日本機械学会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」（社）日本電気協会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（社）日本電気協会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」（社）日本電気協会 3. 耐震評価方法 3.1 解析方法及び解析モデル 海水ポンプ室門型クレーンの応力評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。 3.1.1 解析方法の詳細 (1) 海水ポンプ室門型クレーンは，地震加速度によって浮上がりが発生する可能性があるため，その浮上がり状況を適切に評価するために，多質点はりモデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性については添付資料 3 に示す。 (2) クレーン本体及びトロリの車輪部はレール上に乗っており固定されていないため，すべりが発生する構造であることから，解析に当たっては車輪，レールのすべり状況を考慮する。 (3) 吊具の評価を行う場合は，トロリにワイヤロープを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて地震応答解析を実施し，吊具に発生する加速度を算出し，これを用いて評価を行う。また，ワイヤロープについては，引張方向（鉛直下向き）にのみ荷重を受け，圧縮方向（鉛直上向き）の荷重を受けない設定とする。	2.4　適用規格 　取水槽ガントリクレーンの設計には，以下の規格（以下「ＪＥＡＧ４６０１等」という。）を適用する。 ・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987」（社）日本電気協会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984」（社）日本電気協会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版」（社）日本電気協会 ・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む））＜第Ⅰ編　軽水炉規格＞JSME　S　NC1－2005／2007」（日本機械学会） 3.　応答解析の方法 3.1　解析方法及び解析モデル 　取水槽ガントリクレーンの地震応答解析方法及び解析モデルについて以下に示す。 3.1.1　解析方法の詳細 (1) 取水槽ガントリクレーンは，地震時に浮上りが発生する可能性があり，浮上り状況を適切に評価するために３次元ＦＥＭ解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。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性については添付資料(2－2)に示す。 (2) 取水槽ガントリクレーン本体及びトロリの車輪部はレール上に乗っており固定されていないため，すべりが発生する構造であることから，解析にあたっては車輪，レールのすべり状況を考慮する。 (3) 吊具の評価を行う場合は，トロリに設置された主巻，ホイストレールに設置されたホイストにワイヤロープを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて地震応答解析を実施し，吊具に発生する張力を算出し，これを用いて評価を行う。また，ワイヤロープについては，引張方向（鉛直下向き）にのみ荷重を受け，圧縮方向（鉛直上向き）の荷重を受けない	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

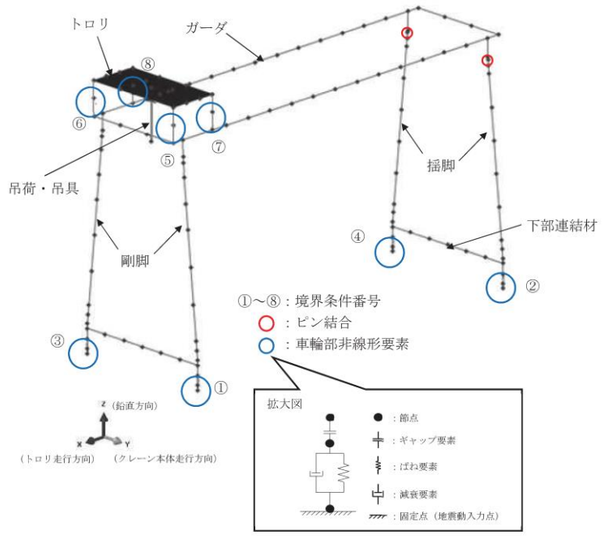
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		設定とする。 (4) 単軸粘性ダンパの減衰性能は，抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルでモデル化する。単軸粘性ダンパの Maxwell モデルを第 3－1 図に示す。なお，単軸粘性ダンパの減衰性能とモデル化の詳細については，別紙－18「機器・配管系への制震装置の適用について」に示す。 (5) 減衰定数については，既往の研究等によって妥当性が確認され，クレーン類に適用実績のある値として水平，鉛直方向ともに 2.0%とし， レイリー減衰を設定する。レイリー減衰は，質量マトリクス及び剛性マトリクスの線形結合により，以下の式で表される。 $[C]=\alpha[M]+\beta[K]$ $[C]$：減衰マトリクス $[M]$：質量マトリクス $[K]$：剛性マトリクス α，β：係数 係数α，βは，取水槽ガントリクレーンの固有振動数において，適用する減衰定数とレイリー減衰が一致するように以下の式で求める。 $h=\frac{\alpha}{2\omega_n}+\frac{\beta\omega_n}{2}$ h：減衰比 ω_n：固有値解析により求められたn次モードの固有円振動数 具体的には，取水槽ガントリクレーンの固有値解析の結果から，ＮＳ方向の 1 次固有振動数（1.97Hz）及び鉛直方向の 1 次固有振動数（4.48Hz）において減衰比が 2.0%となるように係数α，βを設定する。設定したレイリー減衰の各固有振動数における減衰比を第 3－2 図に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違 ・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，3.3(1)に記載 ・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉ではレイリー減衰についても詳細に記載 （以下，⑤の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(4) 解析コードは「ABAQUS Ver6.11」を使用する。 (5) 耐震評価については，トロリ位置及び吊荷有無によって地震時の挙動が変化する可能性があるため，第 3.1-1 表に示すとおり，トロリ位置３パターン（剛脚側，揺脚側，中央），吊荷有無２パターン（吊荷有，吊荷無）を考慮し，全６ケースの評価を実施する。	(6) 解析コードはＡＢＡＱＵＳ（Ver.6.11－1）を使用する。 (7) 地震応答解析にあたっては，トロリ及びホイストの位置や吊荷の有無によって地震時の応答が変化する可能性があるため，トロリ及びホイストの位置並びに吊荷の有無を考慮し解析ケースを設定する（添付資料(2－3)）。トロリとホイストを同時に使用することはないため，いずれかが吊荷有りの場合は，もう一方は待機位置で吊荷なしとする。なお，吊荷の質量はそれぞれの最大質量を設定する。解析ケースを第 3－1 表に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	(6) 耐震評価に用いる寸法は公称値を使用する。	(8) 耐震評価に用いる寸法は公称値を使用する。	
		 第 3－1 図　単軸粘性ダンパの Maxwell モデル	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
第 3.1-1 表 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価ケース 評価対象：クレーン本体，車輪部，浮上がり，及び吊具 トロリ位置／吊荷有無：吊荷有／吊荷無 剛脚側：ケース１／ケース４ 揺脚側：ケース２／ケース５ 中央：ケース３／ケース６		第 3－1 表　取水槽ガントリクレーンの解析ケース ケース：1／2／3 トロリ 位置：待機位置／中央／待機位置 トロリ 吊荷有無（質量）：なし／有り（50t）／なし ホイスト 位置：待機位置／待機位置／中央 ホイスト 吊荷有無（質量）：なし／なし／有り（17t）	
		 第 3－2 図　設定したレイリー減衰の各固有振動数における減衰比	・記載方針の相違 【女川 2】 ⑤の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

3.1.2 解析モデル及び諸元

解析モデルはクレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルとする。解析モデル概要図を第 3.1-1 図に示す。クレーン諸元及び解析モデル諸元を第 3.1-2 表及び第 3.1-3 表に示す。



第 3.1-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの解析モデル概要図
（トロリ位置：剛脚側，吊荷有無：吊荷有（ケース 1））

第 3.1-2 表 クレーン諸元

部位	質量（t）
クレーン本体（脚，ガーダ等含む）	150.9
トロリ	28.8
吊具	2.0
吊荷（定格荷重）	95.0
合計	276.7

第 3.1-3 表 解析モデル諸元

部材	縦弾性係数 (MPa)	断面二次モーメント（cm⁴）		断面積 (cm²)
		強軸廻り	弱軸廻り	
剛脚（代表断面*）	201000			
揺脚（代表断面*）	201000			
下部連結材（剛脚側）	201000			
下部連結材（揺脚側）	201000			
ガーダ	201000			

＊ 剛脚及び揺脚における中央位置における断面

3.1.2　解析モデル及び諸元

取水槽ガントリクレーンの解析モデルは，取水槽ガントリクレーン本体を質点及びはり要素でモデル化した３次元ＦＥＭ解析モデルとする。取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルの概要を第 3－3 図に示す。取水槽ガントリクレーン諸元及び解析モデル諸元を第 3－2 表及び第 3－3 表に示す。



第 3－3 図　取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル

第 3－2 表　取水槽ガントリクレーン諸元

部位	質量（t）
取水槽ガントリクレーン本体（脚，ガーダ等含む）	162.5
トロリ	17.8
吊具（主巻ワイヤ，フック）	2.0
ホイスト	3.5
吊具（ホイストワイヤ，フック）	0.7
吊荷（最大荷重）	50
合計	236.5

第 3－3 表　取水槽ガントリクレーン解析モデル諸元

部材	縦弾性係数 (MPa)	断面二次モーメント（mm⁴）		断面積（mm²）
		Iz	Iy	
ガーダ	202000			
脚	202000			
ガーダ継ぎ	202000			
脚下部継ぎ	202000			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.1.3 解析モデルの境界条件 クレーン本体車輪部（駆動輪，従動輪）と走行レール，トロリ車輪部（駆動輪，従動輪）と横行レールにおける解析モデルの境界条件をそれぞれ第 3.1-4 表，第 3.1-5 表に示す。 クレーン本体車輪部においては，Ｙ方向（クレーン本体走行方向）及びＺ方向（鉛直方向）について，それぞれすべり，浮上がりを考慮しているため，非拘束条件としている。また，Ｘ方向（クレーン本体走行方向の直交方向）については，クレーン本体車輪部と走行レールとの間隙（片側約 17.5ｍｍ）及び脱線防止装置と躯体の間隙（片側約 20ｍｍ）は非常に狭く，地震時には，クレーン本体車輪部と走行レールが接触して荷重が伝達されるため，拘束条件としている。 一方，トロリ車輪部においては，Ｘ方向（トロリ走行方向）及びＺ方向（鉛直方向）について，それぞれすべり，浮上がりを考慮して非拘束条件としている。また，Ｙ方向（トロリ走行方向の直交方向）については，トロリ車輪部と横行レールの間隙（片側約 9㎜），トロリストッパと躯体の間隙（片側約 32 ㎜）が非常に狭く，地震時には，トロリ車輪部と横行レールが接触し，荷重が伝達されることから，すべりを生じない拘束条件としている。	3.1.3　解析モデルの境界条件 走行車輪（駆動輪，従動輪）と走行レール，横行車輪（駆動輪，従動輪）と横行レール，ホイスト車輪（駆動輪，従動輪）とホイストレールにおける解析モデルの境界条件をそれぞれ第３－４表，第３－５表，第３－６表に示す。 走行車輪においては，ＥＷ方向（クレーン本体走行方向）及び鉛直方向について，それぞれすべり，浮上りを考慮しているため，非拘束条件としている。また，ＮＳ方向（クレーン本体走行方向に直交する方向）については，走行車輪と走行レールとの間隙（片側約 13 ㎜）が小さく，地震時には走行車輪と走行レールが接触して荷重が伝達されるため，すべりを生じない拘束条件としている。 横行車輪においては，ＮＳ方向（トロリ横行方向）及び鉛直方向について，それぞれすべり，浮上りを考慮して非拘束条件としている。また，ＥＷ方向（トロリ横行方向に直交する方向）については，横行車輪と横行レールの間隙（片側約 9㎜）が小さく，地震時には横行車輪と横行レールが接触して荷重が伝達されるため，すべりを生じない拘束条件としている。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		ホイスト車輪においては，ＮＳ方向（ホイスト横行方向）及び鉛直方向について，それぞれすべり，浮上りを考慮して非拘束条件としている。また，ＥＷ方向（ホイスト横行方向に直交する方向）については，ホイスト車輪とホイストレールの間隙（片側約 5㎜）が小さく，地震時にはホイスト車輪とホイストレールが接触して荷重が伝達されるため，すべりを生じない拘束条件としている。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部の概要図について，第 3.1-2 図に示す。	走行車輪，横行車輪及びホイスト車輪の構造概要を第３－４図に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.1-4 表 境界条件（クレーン本体車輪部と走行レール）

部位*		X方向（クレーン本体走行方向の直交方向）	Y方向（クレーン本体走行方向）	Z方向（鉛直方向）
クレーン本体車輪部と走行レール	①(駆動輪)	拘束 ・走行レール及び脱線防止装置による拘束	非拘束 ・すべり考慮 μ=0.3	非拘束 ・浮上がり考慮
	②(駆動輪)			
	③(従動輪)		非拘束 ・追従移動 μ=0	
	④(従動輪)			

＊　部位欄の番号①～④は，図 3.1-1 中の①～④に対応。
μ：摩擦係数

第 3.1-5 表 境界条件（トロリ車輪部と横行レール）

部位*		X方向（トロリ走行方向）	Y方向（トロリ走行方向の直交方向）	Z方向（鉛直方向）
トロリ車輪部と横行レール	⑤(駆動輪)	非拘束 ・すべり考慮 μ=0.3	拘束 ・横行レール及びトロリストッパによる拘束	非拘束 ・浮上がり考慮
	⑥(駆動輪)			
	⑦(従動輪)	非拘束 ・追従移動 μ=0		
	⑧(従動輪)			

＊　部位欄の番号⑤～⑧は，図 3.1-1 中の⑤～⑧に対応。
μ：摩擦係数

第 3－4 表　境界条件（走行車輪（クレーン本体車輪）と走行レール）

部位[注1]	ＮＳ方向（クレーン本体走行方向の直交方向）	ＥＷ方向（クレーン本体走行方向）	鉛直方向
駆動輪	【拘束】 走行レールによる拘束	【非拘束】 すべり考慮 μ=0.3	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪		【非拘束】 追従による移動 μ=0	

注１：部位については，第 2－3 添図参照
μ：摩擦係数

第 3－5 表　境界条件（横行車輪（トロリ車輪）と横行レール）

部位[注1]	ＮＳ方向（トロリの横行方向）	ＥＷ方向（トロリ横行方向の直交方向）	鉛直方向
駆動輪	【非拘束】 すべり考慮 μ=0.3	【拘束】 横行レールによる拘束	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪	【非拘束】 追従による移動 μ=0		

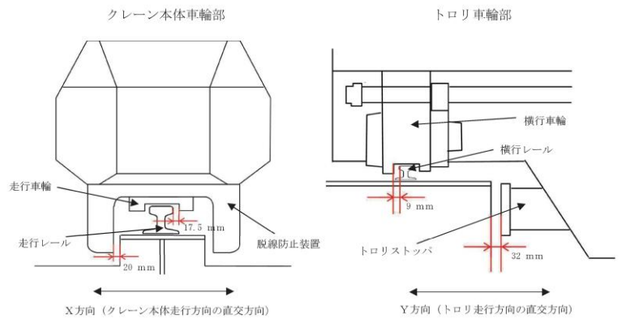
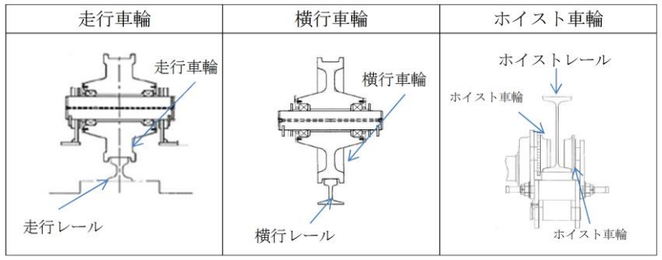
注１：部位については，第 2－3 添図参照
μ：摩擦係数

第 3－6 表　境界条件（ホイスト車輪とホイストレール）

部位[注1]	ＮＳ方向（ホイストの横行方向）	ＥＷ方向（ホイスト横行方向の直交方向）	鉛直方向
駆動輪	【非拘束】 すべり考慮 μ=0.3	【拘束】 ホイストレールによる拘束	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪	【非拘束】 追従による移動 μ=0		

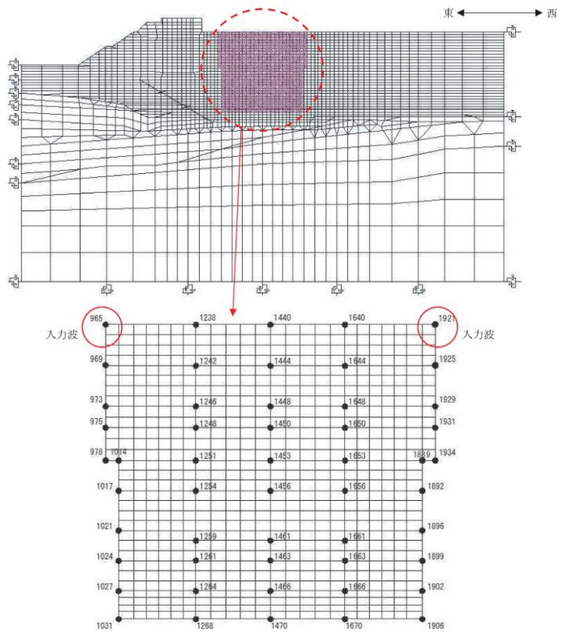
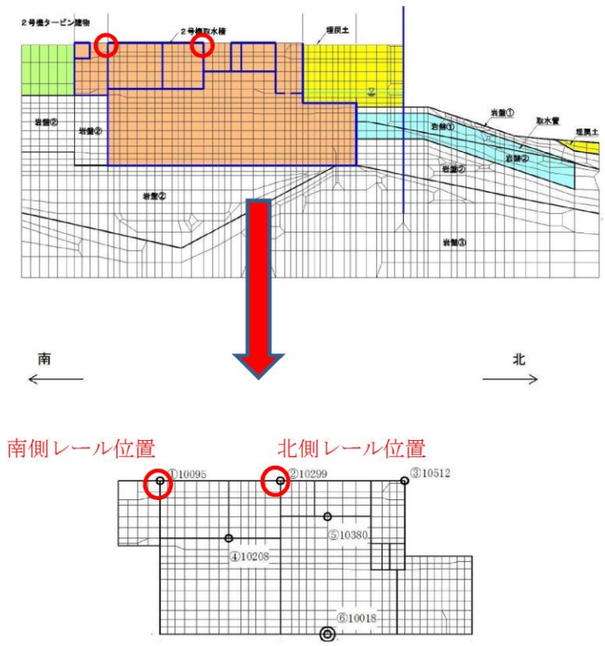
注１：部位については，第 2－7 図参照
μ：摩擦係数

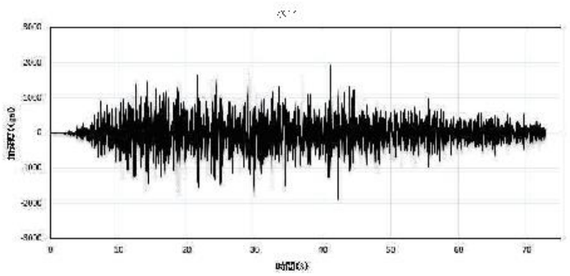
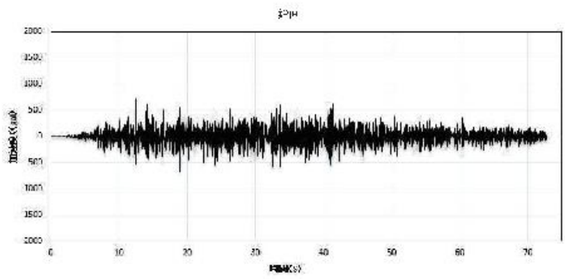
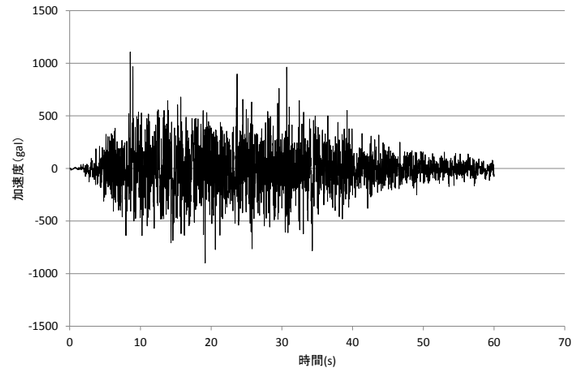
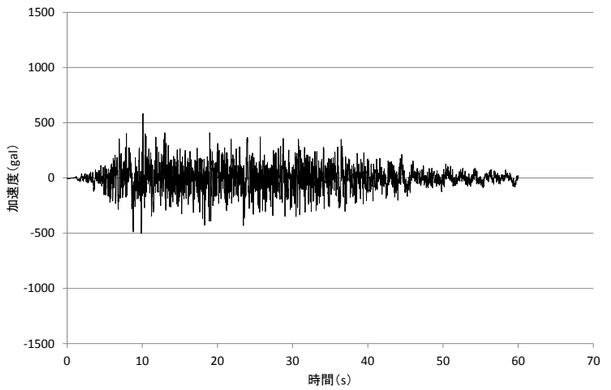
・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

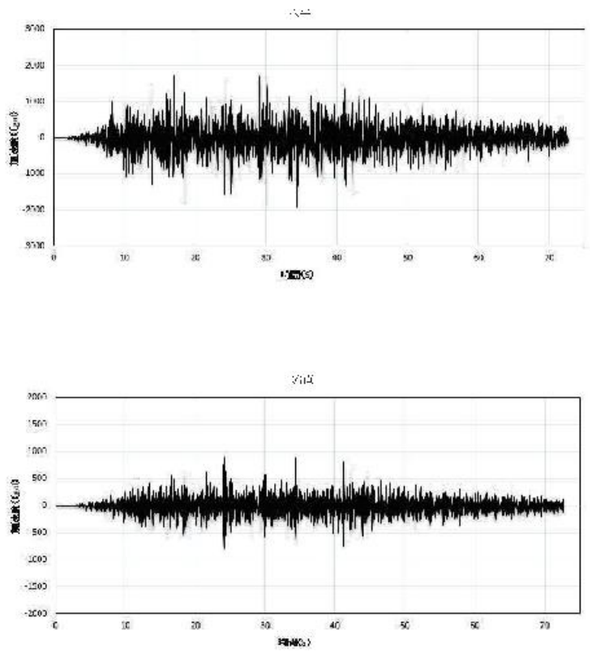
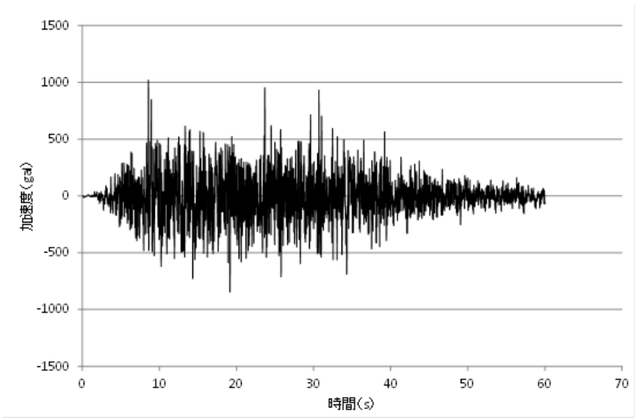
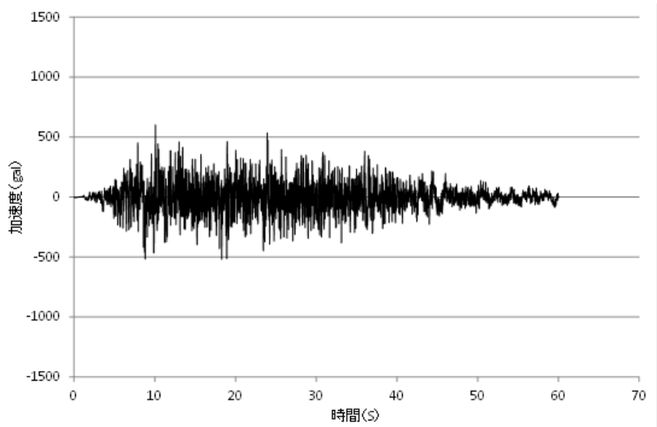
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 3.1-2 図 クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部概要図	 第 3－4 図 走行車輪，横行車輪及びホイスト車輪の構造概要図	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	3.2 評価対象部位 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価は，クレーン運転時においてクレーン本体の損傷，転倒及び吊荷の落下により，海水ポンプ等が損傷することを防止するため，以下を評価対象部位として選定し，評価を実施する。 (1) クレーン本体 クレーン本体については，剛脚，揺脚，下部連結材及びガーダの応力評価を実施する。 (2) 脱線防止装置，トロリストッパ クレーン本体走行軸直交方向の荷重を負担するクレーン本体の脱線防止装置及びトロリ走行軸直交方向の荷重を負担するトロリストッパについて応力評価を実施する。 また，脱線防止の観点から浮上がりの評価を実施する。浮上がりの評価では，クレーン本体の浮上がり量と脱線防止装置の許容浮上がり高さを比較する。トロリも同様に浮上がり量とトロリストッパの許容浮上がり高さを比較する。 (3) 吊具 吊具については，ワイヤロープ及び主巻フックの荷重評価を実施する。 なお，海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価部位については，第 2.2-1 図中に示している。		・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，同様の内容を 4.3 に記載

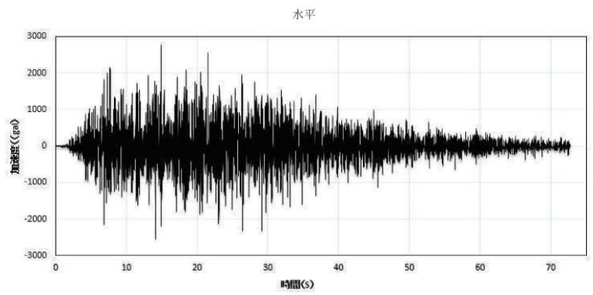
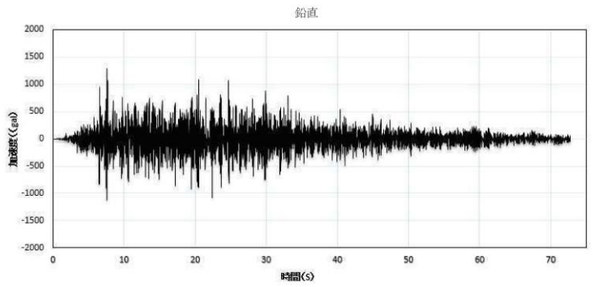
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3 入力地震動 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に適用する地震動に係る事項を以下に示す。 (1) 適用する地震動について 耐震評価に用いる地震動は，上位クラス施設の設計に適用する基準地震動 Ss とする。本検討では，女川２号炉の基準地震動 Ss 相当＊による評価結果（暫定値）を示す。	3.2　入力地震動 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析に適用する地震動に係る事項を以下に示す。 (1) 適用する地震動	・地震動の相違 【女川 2】 女川 2 では，暫定の地震動を使用しているが，島根 2 号炉では，おおむね妥当と認められた基準地震動Ｓｓを使用する（以下，④の相違）
	評価に用いる入力地震波は，海水ポンプ室門型クレーン走行レールの設置位置を考慮して海水ポンプ室の最上部の節点（965，1921）より求められる応答加速度時刻歴を適用する。海水ポンプ室の地震応答解析モデル図を第 3.3-1 図に，入力加速度時刻歴波形を第 3.3-2～5 図に示す。	取水槽ガントリクレーンの地震応答解析に適用する地震動は基準地震動Ｓｓとし，取水槽ガントリクレーン走行レールの設置位置を考慮して取水槽最上部の節点より求められる応答加速度時刻歴を適用する。取水槽のＮＳ断面の地震応答解析モデルを第３－５図に示す。この解析モデルより求めた基準地震動Ｓｓ－ＤのＮＳ方向，鉛直方向の入力加速度時刻歴波形を第３－６図，第３－７図に，床応答スペクトルを第３－８図に示す。なお，地震応答解析においては，南北レール位置の床応答スペクトルがほぼ同等のため，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（節点 10095）の加速度時刻歴を用いる。	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，時刻歴波に加え，床応答スペクトルを記載
		また，取水槽ＥＷ断面の地震応答解析モデルにより求めたＥＷ方向の入力加速度時刻歴波形を第３－９図に示す。	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，ＥＷ方向の応答加速度時刻歴も記載
	減衰定数については，既往の研究等によって妥当性が確認され，先行のクレーン類に適用実績のある値として水平，鉛直方向ともに 2.0%を適用する。		・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では同様の内容を 3.1.1 に記載
	なお，工認段階では，女川２号炉の基準地震動 Ss - D1～N1（全７波）に対して評価を実施する。また，審査結果を踏まえて設定する海水ポンプ室の地震応答解析モデルの解析結果を適用すると		・地震動の相違 【女川 2】 ④の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ともに，地盤の不確かさ等の影響についても検討する。 ＊平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss－1，2 (2) 地震動の入力方向について 水平方向及び鉛直方向の３方向同時入力（Ｘ方向（トロリ走行方向），Ｙ方向（クレーン本体走行方向），Ｚ方向（鉛直方向））により評価を実施する。 なお，クレーン本体の走行車輪と走行レールは固定されていないため，走行方向においては，各時刻における最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合，クレーン本体は走行レール上を滑る。 (3) 時刻歴応答解析の保守性について 床応答スペクトルを適用して評価する設備においては，地盤物性等の不確かさを考慮して，評価に用いる床応答スペクトルを±10%拡幅したものを用いている。このため，海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に時刻歴応答解析手法を適用するに当たっては，海水ポンプ室門型クレーン評価への影響が大きい地震動に対し，ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTIONⅢ，DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening)の規定を参照し，床応答スペクトルの拡幅分の考慮分として，時刻歴加速度波を時間軸方向に±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。 なお，±10%シフトさせた床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は，ASME の規定に基づきピーク位置が固有周期にあたるように考慮した評価も行うなど，時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を工認段階で実施する。 参考として，上記 ASME 規格の抜粋，第 3.3-6 図に Time History Broadening の概念図を示す。	(2) 地震動の入力方向 水平２方向及び鉛直方向の３方向同時入力（ＮＳ方向，ＥＷ方向，鉛直方向）により評価を実施する。 なお，クレーン本体の走行車輪と走行レールは固定されていないため，走行方向においては，各時刻における最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合，クレーン本体は走行レール上をすべる。 (3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針 スペクトルモーダル解析では，床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動を考慮して周期方向に±10%拡幅した設計用床応答曲線を用いる。取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では，設計用床応答曲線を用いない時刻歴応答解析を採用するが，制震装置により取水槽ガントリクレーンに付与される減衰が大きくなるため，地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動の影響は軽微であると考えられる。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) に規定された手法を踏まえ，影響を確認する。 Time History Broadening の概念を第 3－10 図に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

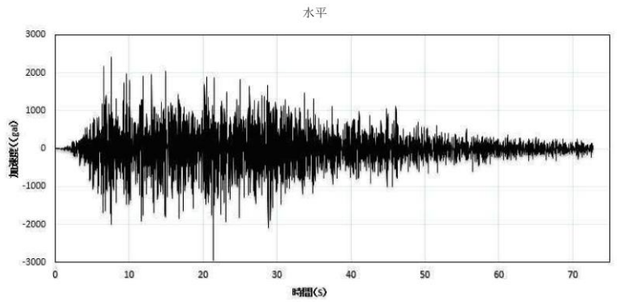
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 3.3-1 図 海水ポンプ室地震応答解析モデル図	 第 3－5 図 取水槽の地震応答解析モデル図（ＮＳ断面）	

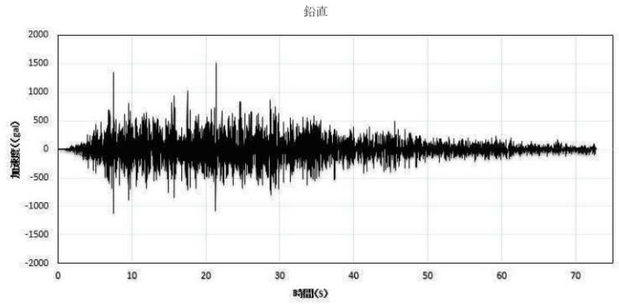
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	  第 3.3-2 図 入力加速度時刻歴波形（Ss－1＊ 節点 965） ＊平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss	 水平方向（ＮＳ）  鉛直方向 第 3－6 図 入力加速度時刻歴波形 （Ｓｓ－Ｄ　南側レール位置（節点 10095））	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 3.3-3 図 入力加速度時刻歴波形（Ss－1＊ 節点 1921） ＊平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss	 水平方向（ＮＳ）  鉛直方向 第 3－7 図 入力加速度時刻歴波形 （Ｓｓ－Ｄ　北側レール位置（節点 10299））	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	  第 3.3-4 図 入力加速度時刻歴波形（Ss－2＊ 節点 965） ＊平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss		

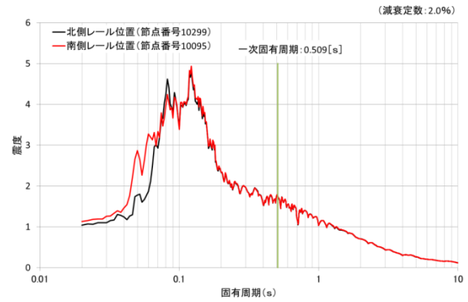
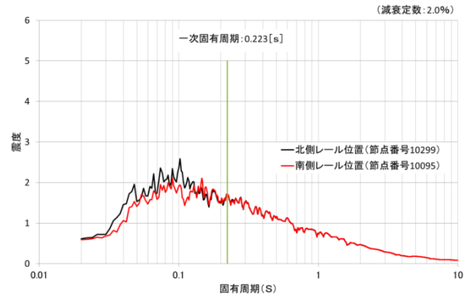
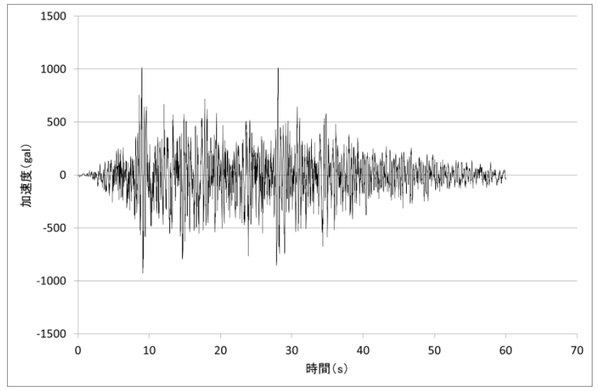
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

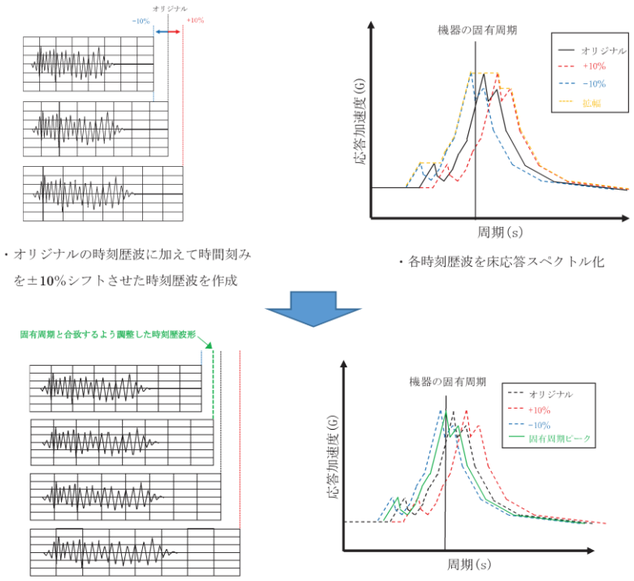
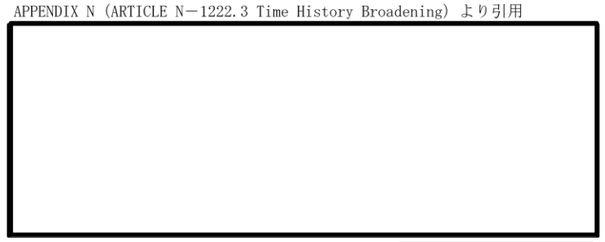
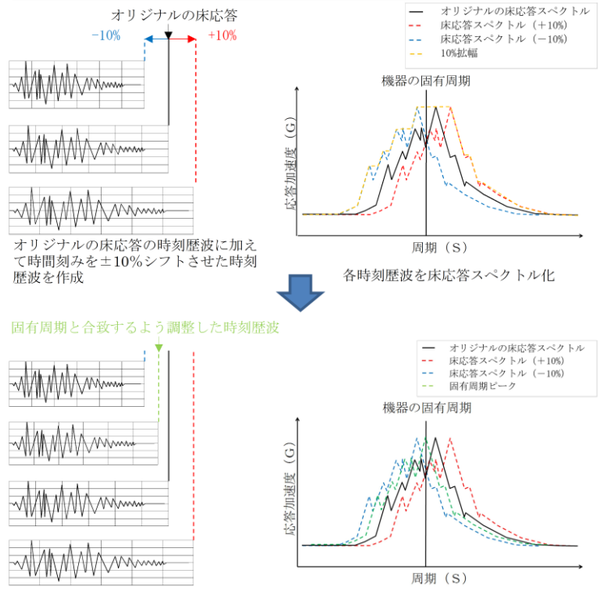




第 3.3-5 図　入力加速度時刻歴波形（Ss－2＊　節点 1921）

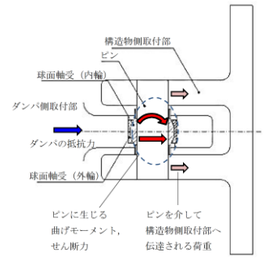
＊平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 水平方向（ＮＳ）  鉛直方向 第３－８図　南北レール位置における床応答スペクトル	・記載方針の相違 【女川２】 島根２号炉では，床応答スペクトルについても記載
		 水平方向（ＥＷ） 第３－９図　入力加速度時刻歴波形（Ｓｓ－Ｄ）	・記載方針の相違 【女川２】 島根２号炉では，ＥＷ方向の応答加速度時刻歴も記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ASME B&PV Code Sec. III Appendix-N 2017 より引用   ・オリジナルの時刻歴波に加えて時間刻みを±10%シフトさせた時刻歴波を作成 ・各時刻歴波を床応答スペクトル化 ・機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合，ピークと合うような時刻歴波を作成し，時刻歴応答解析を実施 第 3.3-6 図 Time History Broadening 概念図	ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION Ⅲ, DIVISION1－NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N－1222.3 Time History Broadening) より引用   オリジナルの床応答の時刻歴波に加えて時間刻みを±10%シフトさせた時刻歴波を作成 各時刻歴波を床応答スペクトル化 機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合，ピークと合うような時刻歴波を作成し，時刻歴応答解析を実施する。 第３－10 図　Time　History　Broadening の概念図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4. 評価方法 4.1 評価方針 海水ポンプ室門型クレーンについては，「3.耐震評価方法」に記載の地震応答解析によって得られた各部位の荷重を用いて公式による応力評価を実施する。 また，許容限界については JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601 を参照し，その他の支持構造物の許容応力を適用する。 評価に適用する温度条件は，設備の使用環境を考慮して設定する。 4.2 荷重の組合せ 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に当たっては地震荷重と組み合わせる荷重として以下を考慮する。 ・自重 ・積雪荷重	4.　耐震評価の方法 4.1　評価方針 取水槽ガントリクレーンは，「3.応答解析の方法」に記載の地震応答解析によって得られた各部位の荷重及び浮上り量を用いて評価する。各部位の応力は荷重を用いて公式により計算する。 応力の許容限界については JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601 を参照し，その他の支持構造物の許容応力を適用する。 評価に適用する温度条件は，設備の使用環境を考慮して設定する。また，地震応答解析により算出したトロリの浮上り量，単軸粘性ダンパの変位及び荷重，並びに吊具の荷重がそれぞれの許容限界以下であることを確認する。 4.2　荷重の組合せ 取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては，地震荷重と組み合わせる荷重として以下を考慮する。 ・自重 ・積雪荷重	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
		4.3　評価対象部位 取水槽ガントリクレーンの耐震評価は，取水槽ガントリクレーン運転時において本体の損傷，転倒及び吊荷の落下により原子炉補機海水ポンプ等の上位クラス施設が損傷することを防止するため，以下を評価対象部位として選定し，評価を実施する。 (1) 取水槽ガントリクレーン本体 取水槽ガントリクレーン本体については，ガーダ，脚，ガーダ継ぎ，下部脚継ぎの応力評価を実施する。 (2) 転倒防止装置，走行レール，トロリ クレーンの本体の転倒を防止する転倒防止装置の応力評価を実施する。また，走行車輪からクレーン走行方向と直交する方向の荷重並びに転倒防止装置から上方向の荷重を受ける走行レールの応力評価を実施する。なお，トロリストッパとホイストレールについては，詳細設計中のため，詳細設計段階において評価を実施する。 トロリの落下防止の観点から，トロリの浮上り量を算出し，許容浮上り量と比較する。	・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では，同様の内容を 3.2 に記載 ・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

<table>
<tr>
<th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th>
<th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th>
<th>島根原子力発電所　２号炉</th>
<th>備考</th>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>(3) 吊具
吊具については，トロリ主巻のワイヤ及びフックの荷重評価を実施する。なお，ホイストワイヤ及びフックについては詳細設計中のため，詳細設計段階において評価を実施する。

(4) 単軸粘性ダンパ
単軸粘性ダンパについては，ダンパに生じる最大荷重，最大変位を許容限界と比較する。
また，取付部であるブレースとクレビス部の応力評価を実施する。クレビス部については，断面積が小さくダンパの抵抗力により曲げモーメントとせん断力を受けるピンを評価部位とする（第4－1図）。
 

第4－1図　クレビス部の荷重伝達</td>
<td>・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>4.3 許容限界

海水ポンプ室門型クレーンの各部位の評価に用いる許容応力を第 4.3-1 表に示す。また，浮上がりの許容限界としてクレーン本体及びトロリの許容浮上がり高さを第 4.3-2 表に示す。

第 4.3-1 表 許容応力（その他の支持構造物）
<table><tr><th rowspan="3">許容応力状態</th><th colspan="4">許容応力*
（ボルト以外）</th></tr><tr><th colspan="4">一次応力</th></tr><tr><th>引張</th><th>せん断</th><th>圧縮</th><th>曲げ</th></tr><tr><td>IVAS</td><td>1.5ft</td><td>1.5fs</td><td>1.5fc</td><td>1.5fb</td></tr></table>＊ 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。</td>
<td>4.4 許容限界
4.4.1 許容応力
取水槽ガントリクレーンの各部位の評価に用いる許容応力を第4－1表に示す。

第4－1表　許容応力（その他の支持構造物）
<table><tr><th rowspan="3">許容応力状態</th><th colspan="5">許容応力
（ボルト以外）</th></tr><tr><th colspan="5">一次応力</th></tr><tr><th>引張</th><th>せん断</th><th>圧縮</th><th>曲げ</th><th>支圧</th></tr><tr><td>IVAS</td><td>$1.5 \cdot f_t^*$</td><td>$1.5 \cdot f_s^*$</td><td>$1.5 \cdot f_c^*$</td><td>$1.5 \cdot f_b^*$</td><td>$1.5 \cdot f_p^*$</td></tr></table>注記：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
f_t，f_s，f_c，f_b，f_pは，F値を$F = \min[S_y, 0.7S_u]$として，F値より算出した値
f_t^*，f_s^*，f_c^*，f_b^*，f_p^*は，上記Ｆ値のS_yを$1.2S_y$と読み替え算出した値
S_y：材料の設計降伏点
S_u：材料の設計引張強さ</td>
<td>・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 4.3-2 表 許容浮上がり高さ

	許容浮上がり高さ（mm）
クレーン本体	
トロリ	

＊　形状検討中のため暫定値

海水ポンプ室門型クレーンの吊具（ワイヤロープ，主巻フック）の許容限界は，建設時に定格荷重に対して設けられた安全率を考慮して設定する。許容荷重を第 4.3-3 表に示す。

第 4.3-3 表 吊具の許容荷重

評価部位	定格荷重（t）	安全率	許容荷重（kN）
ワイヤロープ	97t （吊荷定格 95t＋ 主巻フック 2t）	6.37	6.059×10^{3}
主巻フック	95t	5.55	5.170×10^{3}

4.4.2　許容浮上り量

トロリ（横行車輪）の許容浮上り量を第 4－2 表に示す。

第 4－2 表　トロリの許容浮上り量

	許容浮上り量（mm）
トロリ（横行車輪）	150注1

注１：トロリストッパの形状設計中のため暫定値

4.4.3　吊具の許容荷重

トロリ主巻のワイヤ及びフックの許容荷重を第 4-3 表に示す。

第4－3表　吊具の許容荷重

	許容荷重（kN）
主巻ワイヤ	4.08×10^{3}
主巻フック	4.98×10^{3}

4.4.4　単軸粘性ダンパの許容限界

単軸粘性ダンパの許容限界を第 4－4 表に示す。

・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

第 4－4 表　単軸粘性ダンパの許容限界

許容変位	許容荷重
100mm	300kN

・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.4 各部の評価方法 4.4.1 クレーン本体，脱線防止装置及びトロリストッパの応力評価方法 (1) 引張応力 $\sigma_t = \frac{F_1}{A_t}$ $\sigma_t \leqq f_t$ F_1：部材に発生する引張荷重 A_t：引張荷重が作用する断面積 σ_t：部材に発生する引張応力 f_t：部材の許容引張応力 (2) 圧縮応力 $\sigma_c = \frac{F_2}{A_c}$ $\sigma_c \leqq f_c$ F_2：部材に発生する圧縮荷重 A_c：圧縮荷重が作用する断面積 σ_c：部材に発生する圧縮応力 f_c：部材の許容圧縮応力	4.5 各部の評価方法 4.5.1 取水槽ガントリクレーン本体，転倒防止装置，走行レール，トロリストッパ，単軸粘性ダンパブレース及び単軸粘性ダンパクレビス部の応力評価方法 (1) 引張応力 $\sigma_t = \frac{F_t}{A_t}$ $\sigma_t \leqq f_t$ F_t：部材に発生する引張荷重 A_t：引張荷重が作用する断面積 σ_t：部材に発生する引張応力 f_t：部材の許容引張応力（$=1.5 \cdot f_t^*$） (2) 圧縮応力 $\sigma_c = \frac{F_c}{A_c}$ $\sigma_c \leqq f_c$ F_c：部材に発生する圧縮荷重 A_c：圧縮荷重が作用する断面積 σ_c：部材に発生する圧縮応力 f_c：部材の許容圧縮応力（座屈）（$=1.5 \cdot f_c^*$） ここで，f_cの算出方法を示す。 a．　圧縮材の細長比が限界細長比以下の場合 $f_c = \left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\frac{F}{\nu}$ f_c：許容圧縮応力 λ：圧縮材の有効細長比 $\lambda = \frac{l_k}{i}$ l_k：座屈長さ	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違 ・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 は，許容圧縮応力の算出方法の記載なし

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

i ：座屈軸についての断面二次半径

Λ：限界細長比

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

F：材料の設計降伏点，設計引張強さにより定まる値

E：材料の縦弾性係数

ν：以下の式により計算した値

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

b．圧縮材の細長比が限界細長比を超える場合の場合

$$\mathrm{f_c} = 0.277F\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2$$

λ及びΛ：a．と同様

許容圧縮応力の算定諸元を第 4－5 表に示す。

第 4－5 表　許容圧縮応力の算出諸元

評価部位	座屈長さ			断面二次半径選定断面
	対象長さ l	回転に対する条件※	座屈長さ l_k	
ブレース	ダンパとブレースの合計長さ	両端自由	l	ブレース部の断面
脚	脚長さ	1 端自由他端拘束	$0.8l$	脚断面（最小断面）
ガーダ継ぎ	ガーダ継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	ガーダ継ぎ断面
脚下部継ぎ	脚下部継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	脚下部継ぎ断面

※移動に対する条件は全て拘束とした。

（3）曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_b \leqq f_b$$

（3）曲げ応力

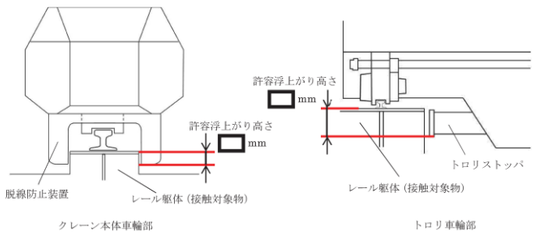
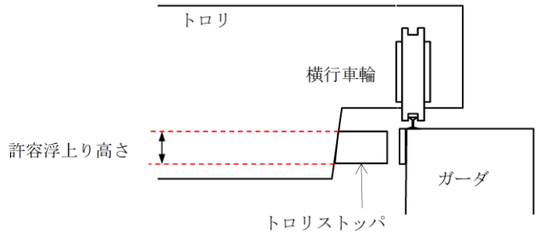
$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_b \leqq f_b$$

M：部材に発生する曲げモーメント

Z：曲げモーメントが作用する断面の断面係数

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	M ：部材に発生する曲げモーメント Z ：曲げモーメントが作用する断面の断面係数 σ_b：部材に発生する曲げ応力 f_b ：部材の許容曲げ応力	σ_b：部材に発生する曲げ応力 f_b：部材の許容曲げ応力 $(=1.5 \cdot f_b^*)$	
	(4) せん断応力 $\tau = \frac{Q}{A_s}$ $\tau \leq f_s$ Q：部材に発生するせん断荷重 A_s：せん断荷重が作用する断面積 τ ：部材に発生するせん断応力 f_s：部材の許容せん断応力	(4) せん断応力 $\tau = \frac{Q}{A_s}$ $\tau \leqq f_s$ Q：部材に発生するせん断荷重 A_s：せん断荷重が作用する断面積 τ：部材に発生するせん断応力 f_s：部材の許容せん断応力 $(=1.5 \cdot f_s^*)$	
	(5) 組合せ応力 引張応力と曲げ応力の組合せ応力 $\frac{\sigma_t}{1.5f_t} + \frac{\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ 圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力 $\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ 垂直応力とせん断応力の組合せ応力 $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq f_t$ σ_x，σ_y：互いに直交する垂直応力 τ_{xy}：σ_x，σ_yの作用する面内のせん断応力	(5) 組合せ応力 引張応力と曲げ応力の組合せ応力 $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$ 圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力 $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$ 垂直応力とせん断応力の組合せ応力 $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leqq f_t$ σ_x，σ_y：互いに直交する垂直応力 τ_{xy}：σ_x，σ_yの作用する面内のせん断応力	
	(6) 支圧応力	(6) 支圧応力 $\sigma_P = \frac{F_P}{A_P}$ $\sigma_P \leqq f_P$ F_P：部材に発生する支圧荷重	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	$\sigma_p = \frac{F_3}{A_p}$ $\sigma_p \leqq f_p$ F_3：部材に発生する支圧荷重 A_p：支圧荷重が作用する断面積 σ_p：部材に発生する支圧応力 f_p：部材の許容支圧応力 4.4.2 脱線防止装置及びトロリストッパの浮上がり評価方法 クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部には，地震によって浮上がりが発生した場合でも脱線しないように，脱線防止装置もしくはトロリストッパが取り付けられており，レール直交方向への移動，脱線を防止する構造となっている。 浮上がりの評価では，クレーン本体及びトロリそれぞれが脱線しないことを確認するため，地震応答解析結果によって算出された各車輪部の浮上がり量が許容浮上がり高さ（脱線防止装置もしくはトロリストッパと接触する対象物との鉛直方向の重なり高さ）を上回らないことを確認する。 許容浮上がり高さの概念図を第 4.4-1 図に示す。  第 4.4-1 図　許容浮上がり高さ概念図 4.4.3 吊具の荷重評価方法 吊具の荷重評価では地震応答解析によって得られる吊具部分の最大荷重が許容荷重を上回らないことを確認する。 ワイヤロープに作用する荷重は，ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）とロープシーブ（滑車）の回転により，自動的に荷重を釣り合い状態に保つため，12 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして評価する。	A_P：支圧荷重が作用する断面積 σ_P：部材に発生する支圧応力 f_P：部材の許容支圧応力（$=1.5 \cdot f_p^*$） 4.5.2　トロリの浮上り評価方法 トロリに浮上りが生じても落下しないことを評価するため，地震応答解析にて算出したトロリの浮上がり量が許容浮上り量以下であることを確認する。許容浮上り量の概念図を第 4－2 図に示す。  第 4－2 図　許容浮上り量の概念図 4.5.3　吊具の荷重評価方法 吊具の荷重評価では，地震応答解析によって得られる吊具部分の最大荷重が許容荷重以下であることを確認する。 主巻のワイヤロープに作用する荷重は，ロープに取り付けられたエコライザシーブ（平衡装置）とクラブシーブ（滑車）の回転により自動的に荷重を釣り合い状態に保つため，12 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして評価する。ホイストのワイヤロープについても同様に評価する。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

<table>
<tr>
<td>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</td>
<td>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</td>
<td>島根原子力発電所　２号炉</td>
<td>備考</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>ワイヤロープは長さを長く設定すると固有周期が大きくなり，短く設定すると固有周期が小さくなるという特徴を踏まえ，地震応答との関係から，吊具に対して応答が厳しくなる最大吊り上げ時のワイヤロープ長さ（ワイヤロープ短）での地震応答解析結果を用いて荷重評価を実施する。</td>
<td>ワイヤロープは長さを長く設定すると固有周期が大きくなり，短く設定すると固有周期が小さくなるという特徴を踏まえ，地震応答との関係から，吊具に対して応答が厳しくなる最大吊り上げ時のワイヤロープ長さでの地震応答解析結果を用いて荷重評価を実施する。</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>4.5.4　単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価方法
単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価は，地震応答解析によって得られる最大変位及び最大荷重が許容限界以下であることを確認する。</td>
<td>・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>5. 評価結果</td>
<td>5.　評価条件・評価結果
5.1　評価条件
地震応答解析の条件を第 5－1 表に示す。入力地震波として，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の大きい基準地震動Ｓｓ―Ｄを用い，解析ケースは吊荷荷重が最大となる第 3－1 表のケース２とした。また，ダンパ性能のばらつきとして±20%を考慮し，ダンパ性能標準，＋20%，－20%の 3 ケースを実施した。
第 5－1 表　応答解析の条件
<table><tr><td>項目</td><td>内容</td></tr><tr><td>入力地震波</td><td>基準地震動Ｓｓ－Ｄ</td></tr><tr><td>取水槽ガントリクレーンの
解析ケース</td><td>トロリ位置中央　吊荷あり（50t）
ホイスト待機位置　吊荷なし
（第 3－1 表のケース２）</td></tr><tr><td>ダンパ性能</td><td>ダンパ性能標準，±20%
（3 ケース）</td></tr></table></td>
<td>・記載方針の相違
【女川 2】
①の相違

・記載方針の相違
【女川 2】
②の相違</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価結果を第 5-1 表に示す。女川２号炉の基準地震動 Ss 相当*に対して各部材の発生応力が許容応力を下回ること，浮上がり高さが許容浮上がり高さを下回ること及び吊具の発生荷重が許容荷重を下回ることを確認した。</td>
<td>5.2　評価結果
固有値解析の結果を第 5－2 表に，振動モードを第 5－1 図に示す。なお，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。
耐震評価の結果を第 5－3 表に示す。各評価部位の発生値が許容限界を下回っていることから，取水槽ガントリクレーンは，島根２号炉の基準地震動Ｓｓに対して損傷・落下せず上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことの見通しを得た。</td>
<td>・記載方針の相違
【女川 2】
女川 2 は，固有値解析の結果の記載なし</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	なお，揺脚とガーダ接続部の揺動可能な構造（ピン結合でモデル化）によって，クレーン全体が倒壊するなどの不安定な挙動を示していないことを確認した。		・設備構成の相違 【女川 2】 ③の相違
		なお脚において裕度が比較的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。裕度が小さい脚下部の補強について，第 5－2 図に示す。	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では裕度が小さい部位を記載
	以上より，海水ポンプ室門型クレーンは，女川２号炉の基準地震動 Ss に対して損傷・落下せず上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことの見通しを得た。 今後は工認段階で，基準地震動 Ss－D1～N1（全７波）に対する耐震評価を実施して，地震による波及的影響を及ぼさないことを説明する。評価の際には，審査結果を踏まえて設定する海水ポンプ室の地震応答解析モデルによる解析結果を適用するとともに，地盤の不確かさ等についても検討する。また，時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を行う。 ＊ 平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss－1，2	詳細設計段階においては，第 3－1 表のすべてのケースについて，基準地震動Ｓｓの５波に対する耐震評価を実施して，地震による波及的影響を及ぼさないことを確認する。評価の際には，地盤の不確かさも考慮し，時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を行う。	・地震動の相違【女川 2】 ④の相違 ・地震動の相違 【女川 2】 ④の相違
		第 5－2 表　取水槽ガントリクレーンの一次固有周期 水平方向：0.509s（1.97Hz） 鉛直方向：0.223s（4.48Hz）  水平一次モード　　鉛直一次モード 第 5－1 図　振動モード図	・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 は，固有周期の記載なし ・記載方針の相違 【女川 2】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 5-1 表 海水ポンプ室門型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
クレーン本体	ガーダ	曲げ	238 (MPa)	276 (MPa)
		せん断	47 (MPa)	159 (MPa)
	剛脚	引張	7 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	81 (MPa)	259 (MPa)
		曲げ	172 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.72 (-)	1 (-)
	揺脚	引張	9 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	109 (MPa)	207 (MPa)
		曲げ	139 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.82 (-)	1 (-)
	下部連結材（剛脚側）	引張	20 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	12 (MPa)	246 (MPa)
		曲げ	151 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.59 (-)	1 (-)
	下部連結材（揺脚側）	引張	19 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	10 (MPa)	242 (MPa)
		曲げ	141 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.52 (-)	1 (-)
車輪部	脱線防止装置	曲げ	218 (MPa)	336 (MPa)
		せん断	8 (MPa)	194 (MPa)
	トロリストッパ	圧縮	37 (MPa)	276 (MPa)
クレーン本体		浮上がり	12(mm)	
トロリ		浮上がり	22(mm)	
吊具	ワイヤロープ	荷重	3.276×10^3(kN)	6.059×10^3(kN)
	主巻フック	荷重	3.209×10^3(kN)	5.170×10^3(kN)

＊ 平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss - 1,2 による暫定評価

第5－3表　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 (-)
	ガーダ継ぎ	引張応力	4 (MPa)	280 (MPa)
		圧縮応力	5 (MPa)	279 (MPa) ※
		曲げ応力	101 (MPa)	280 (MPa)
		組合せ応力（曲げ+圧縮）	0.36 (-)	1 (-)
	脚下部継ぎ	引張応力	11 (MPa)	280 (MPa)
		圧縮応力	22 (MPa)	263 (MPa) ※
		曲げ応力	219 (MPa)	280 (MPa)
		せん断応力	36 (MPa)	161 (MPa)
		組合せ応力（垂直＋せん断）	229 (MPa)	280 (MPa)
		組合せ応力（曲げ+圧縮）	0.81 (-)	1 (-)
転倒防止装置		組合せ応力	70 (MPa)	357 (MPa)
走行レール		組合せ応力	360 (MPa)	546 (MPa)
トロリ		浮上り	2.8 (mm)	150 (mm)
吊具	ワイヤロープ	荷重	1.35×10^3 (kN)	4.08×10^3 (kN)
	主巻フック	荷重	1.35×10^3 (kN)	4.98×10^3 (kN)
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)

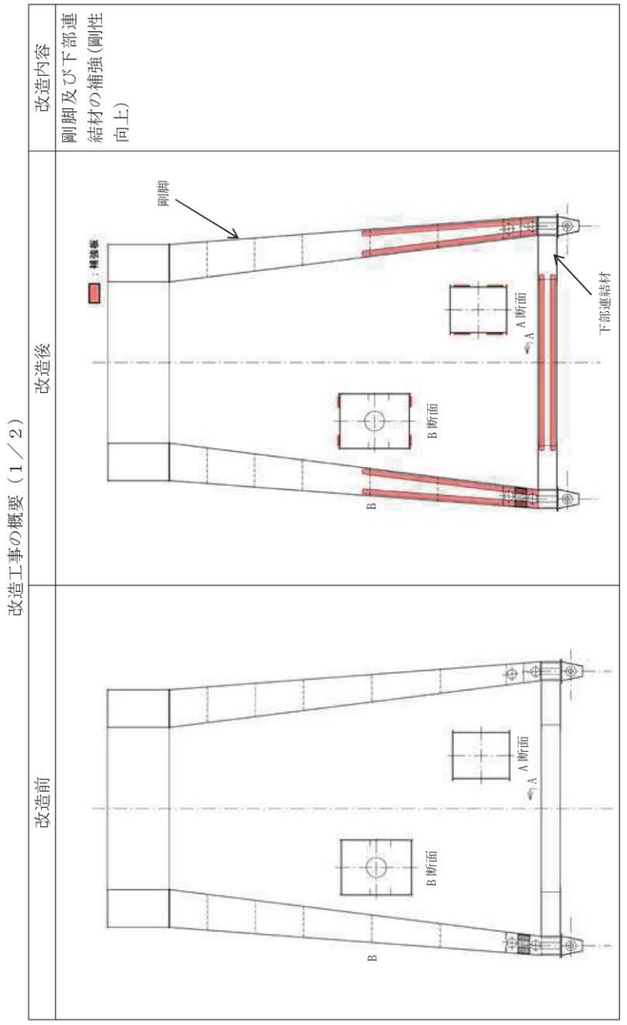
※座屈評価

女川２は，振動モード図の記載なし

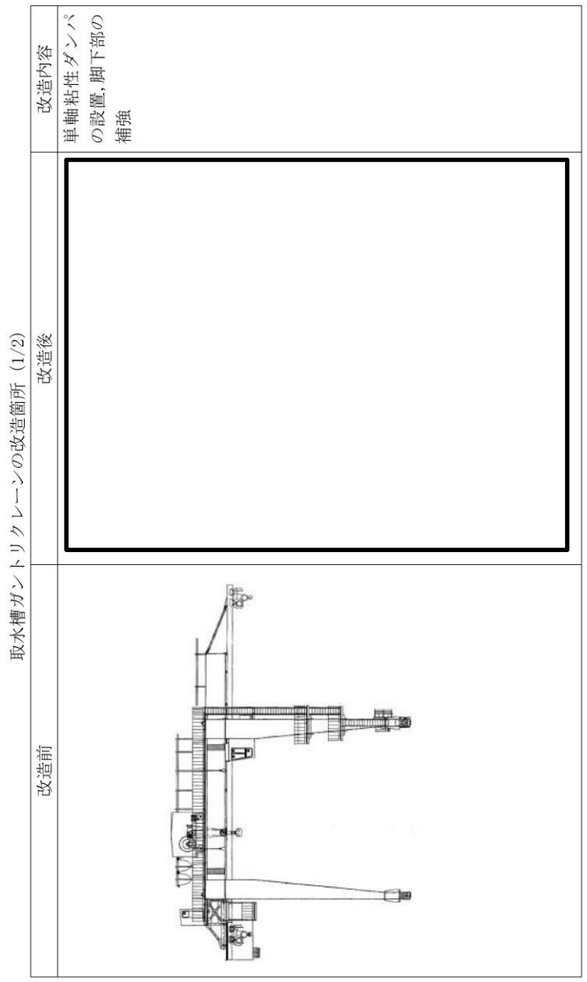
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 5－2 図　裕度が小さい脚下部の補強計画	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では裕度が小さい部位を記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

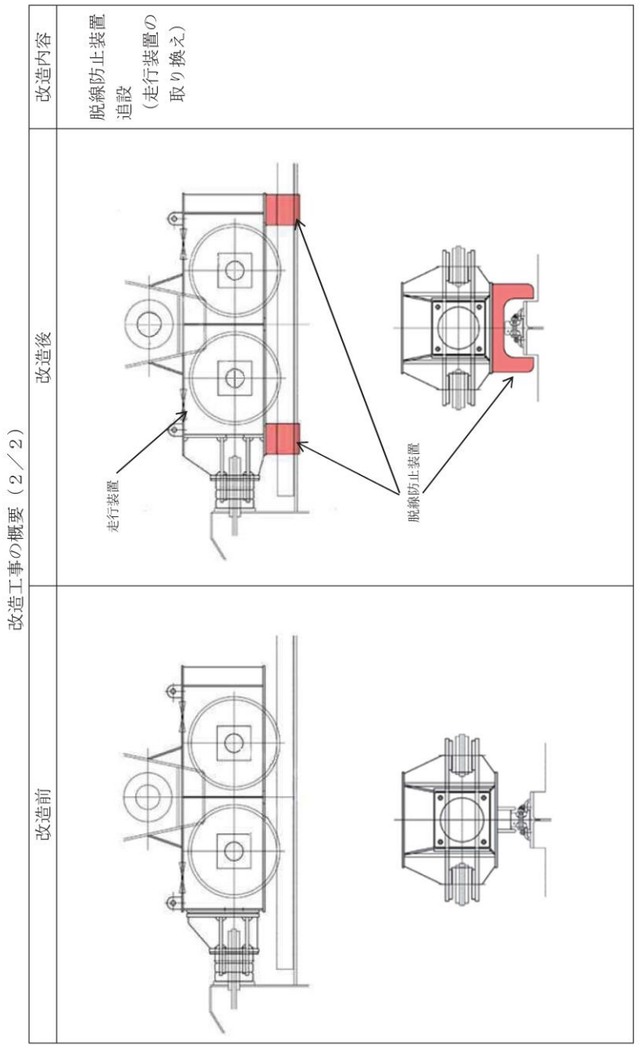
添付資料１

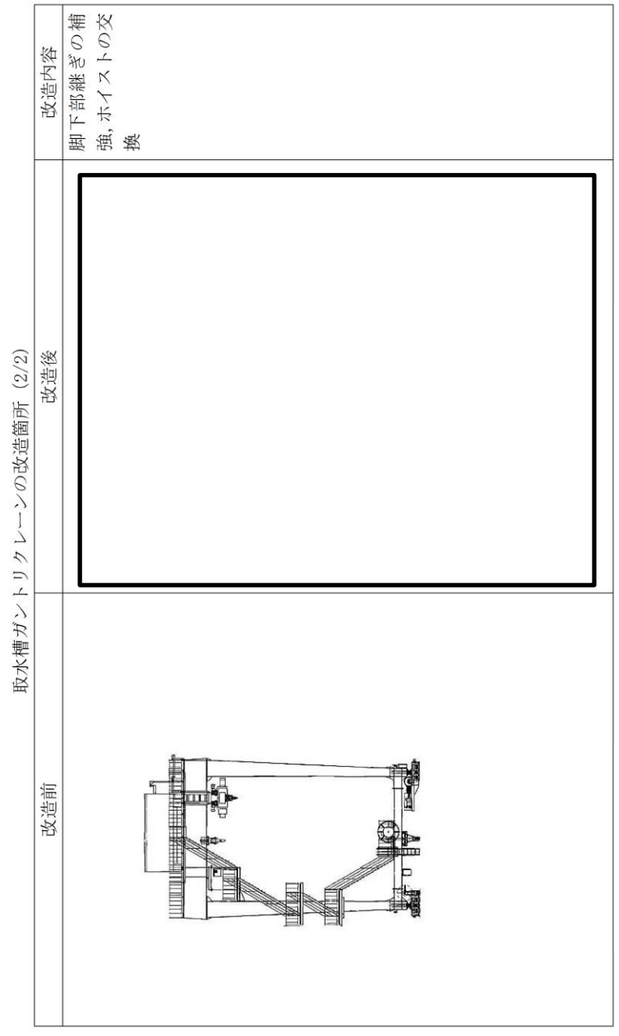


添付資料(2－1)　取水槽ガントリクレーンの改造箇所

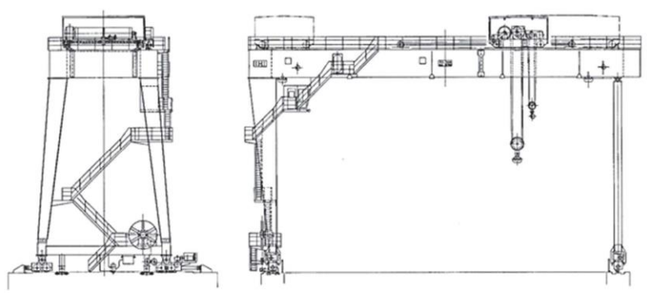


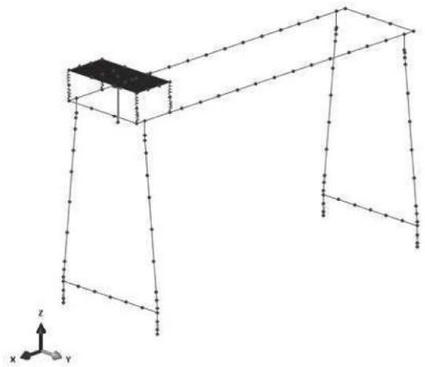
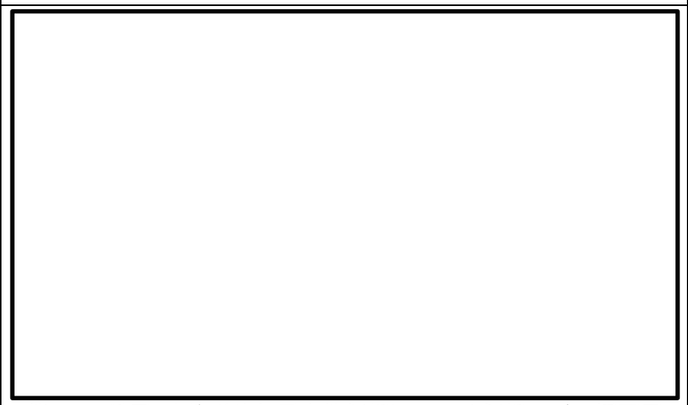
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考





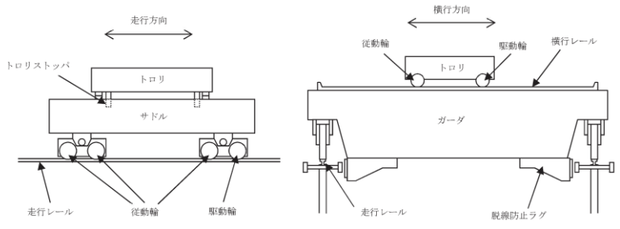
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料２ 評価ケース選定の考え方について 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価においては，トロリ位置，吊荷有無及びワイヤロープ長さによって地震時の挙動が変化する可能性があるため，添付 2-1 表に示す 12 通りの評価ケースについて，評価の要否を検討した。 ワイヤロープ短の場合は吊荷定格質量（約 100t）がガーダの振動と一体化（ガーダ及び吊荷固有振動数＊：2.9Hz）して付加質量として働き，ガーダの振動質量が約 160t となるのに対し，ワイヤロープ長の場合はガーダの振動モードと吊荷振動モードが別々に現れ（ガーダ側固有振動数＊:5.5Hz，吊荷側固有振動数＊:1.5Hz），ガーダの振動質量は約 60t となるため，ワイヤロープ短の場合の方が保守的な設定となる。 したがって，今回の評価対象はワイヤロープ短の場合の６ケースとし，ワイヤロープ長の場合の評価ケースについては評価対象外とした。 ＊ 固有振動数はトロリ位置中央のケース		・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，同様の内容を添付資料（2－3）に記載
	添付 2-1 表 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価ケース ワイヤロープ短：吊荷有／吊荷無　ワイヤロープ長：吊荷有／吊荷無 トロリ位置　剛脚側：○／○／―／― トロリ位置　揺脚側：○／○／―／― トロリ位置　中央：○／○／―／― ○：評価対象，―：評価対象外		・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，同様の内容を第 3－1 添表に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料３ 海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴解析の適用性 1. 概要 女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）が上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことを確認するため，基準地震動 Ss に対して十分な構造強度を有することを確認する必要がある。構造図を添付 3-1 図に示す。 門型クレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，水平方向へのすべりと鉛直方向の車輪部の浮上がりを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴解析を適用する。解析モデル概要図を添付 3-2 図に示す。  添付 3-1 図 海水ポンプ室門型クレーン構造図	添付資料(2－2)　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性 1.　概要 取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては，当該クレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ，水平方向へのすべりと鉛直方向の車輪部の浮上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。構造図を第 2－1 添図に，解析モデルの概要を第 2－2 添図に示す。 本資料では，先行審査実績のあるクレーン類と構造，評価方法等の比較を行い，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性を示す。 第 2－1 添図 取水槽ガントリクレーン構造図	

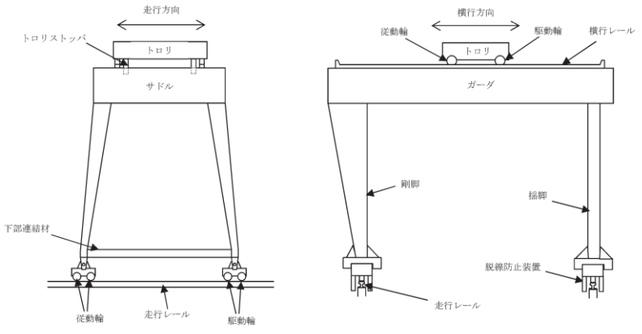
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付 3-2 図 非線形時刻歴応答解析に用いる解析モデル概要図	 第 2－2 添図 非線形時刻歴応答解析に用いる解析モデル概要図	
	2. 先行実績（大間１号炉原子炉建屋クレーン）との構造比較 門型クレーンに非線形時刻歴解析を適用するにあたって，先行実績として大間１号炉原子炉建屋クレーン（以下「原子炉建屋クレーン」という。）で適用実績があるため，それぞれの構造や特徴を比較し，適用性について確認する。	2.　先行審査実績のあるクレーン類との構造比較 取水槽ガントリクレーンに非線形時刻歴応答解析を適用するにあたって，クレーン類に非線形時刻歴応答解析を適用した先行審査実績として大間１号炉原子炉建屋天井クレーン（以下「原子炉建屋天井クレーン」という。）及び設置変更許可審査中である女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン（以下「海水ポンプ室門型クレーン」という。）があるため，それぞれの構造や特徴を比較し，適用性について確認する。	
	2.1 全体構造について (1) 構造概要 原子炉建屋クレーンは，トロリ式天井クレーンに分類されるものであり，２本のレール上を走行する方式である。走行レール間はガーダと呼ばれる部材が渡された桁構造で，ガーダ下部に設けられている車輪を介して走行レール上に設置されている。また，ガーダ上部には横行レールとトロリが設置され，吊荷の吊上げ，吊下げ及び移動が行われる。 門型クレーンは，トロリ式橋型クレーンに分類されるものであり，２本のレール上を走行する方式である。走行レール間はトロリ式天井クレーンと同様にガーダが渡された桁構造となっている。ガーダ下部には脚が設けられており，この脚の下部の車輪を介して走行レール上に設置されている。ガーダ上部にはトロリ式天井クレーンと同じく横行レールとトロリが設置され，吊荷の吊	2.1　全体構造について (1) 構造概要 原子炉建屋天井クレーンは，トロリ式天井クレーンに分類されるものであり，２本のレール上を走行する方式である。走行レール間はガーダと呼ばれる部材が渡された桁構造で，ガーダ下部に設けられている車輪を介して走行レール上に設置されている。また，ガーダ上部には横行レールとトロリが設置され，吊荷の吊上げ，吊下げ及び移動が行われる。 海水ポンプ室門型クレーン及び取水槽ガントリクレーンは，トロリ式橋型クレーンに分類されるものであり，２本のレール上を走行する方式である。走行レール間はトロリ式天井クレーンと同様にガーダが渡された桁構造となっている。ガーダ下部には脚が設けられており，この脚の下部の車輪を介して走行レール上に設置されている。ガーダ上部にはトロリ式天井クレーンと同じく横	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	上げ，吊下げ及び移動が行われる。 両設備の概要図について添付 3-3 図に示す。 (2) 全体構造 原子炉建屋クレーンの本体構造はガーダ，サドルと呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。ガーダは走行レール上に，トロリは横行レール上にともに４箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には水平方向にすべり，鉛直方向に浮上がりが発生する。 門型クレーンの本体構造はガーダ，サドル及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に，トロリは横行レール上にともに４箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には，原子炉建屋クレーンと同様，水平方向にすべり，鉛直方向に浮上がりが発生する。	行レールとトロリが設置され，吊荷の吊上げ，吊下げ及び移動が行われる。 これらの設備の概要図について第 2－3 添図に示す。 (2) 全体構造 原子炉建屋天井クレーンの本体構造はガーダ，サドルと呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。ガーダは走行レール上に，トロリは横行レール上にともに４箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており，地震時には水平方向にすべり，鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。 海水ポンプ室門型クレーンの本体構造はガーダ及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に，トロリは横行レール上にともに４箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており，地震時には水平方向にすべり，鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。 取水槽ガントリクレーンの本体構造はガーダ及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に，トロリは横行レール上にともに４箇所にある車輪を介して固定されずに設置されている。取水槽ガントリクレーンは，走行方向の駆動輪，従動輪の間に転倒防止装置が設置されているが，地震時には原子炉建屋天井クレーンと同様，車輪は水平方向にすべり，鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。	
	(3) 構造の特徴比較 原子炉建屋クレーンと門型クレーンの構造について特徴を比較した結果を添付 3-1 表に示す。 両設備の違いは脚の有無だけであり，それ以外の構造物としての特徴は類似している。また，レールと４箇所の車輪が固定されずに接触し，水平方向にすべり，鉛直方向に浮上がりが発生する挙動は両クレーンで類似している。	(3) 構造の特徴比較 原子炉建屋天井クレーン，海水ポンプ室門型クレーン及び取水槽ガントリクレーンの構造について特徴を比較した結果を第 2－1 添表に示す。 原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリクレーンの違いは脚及び単軸粘性ダンパの有無が挙げられる。また，原子炉建屋天井クレーンでは，レールが破損した場合でも脱線防止ラグがガーダに当たって脱線を防ぐ構造であるのに対し，取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置では，レールを掴むことで転倒を防止する構造になっている点が異なっている。なお，取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置の構造は，伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同等の構造である。それ以外の構造物としての特徴は類似しており，レールと４箇所の車輪が固定されずに接触し，	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		水平方向にすべり，鉛直方向に浮上りが発生する挙動も両クレーンで類似している。 海水ポンプ室門型クレーンと取水槽ガントリクレーンの違いは単軸粘性ダンパの有無が挙げられる。また，海水ポンプ室門型クレーンは，原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグと同等の構造の脱線防止装置を設置しており，取水槽ガントリクレーンとは構造が異なっている。それ以外の構造物としての特徴は類似しており，ともに鉛直方向に浮上る可能性がある。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

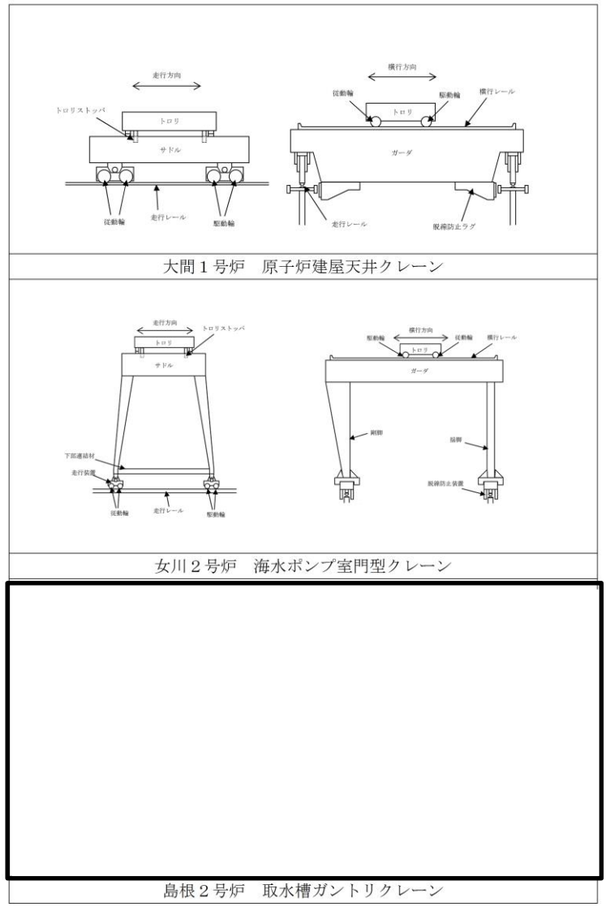


(a)　大間１号炉原子炉建屋クレーン



(b)　女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン

添付 3-3 図　大間１号炉原子炉建屋クレーン及び女川２号炉海水ポンプ室　門型クレーンの構造概要図



大間１号炉　原子炉建屋天井クレーン

女川２号炉　海水ポンプ室門型クレーン

島根２号炉　取水槽ガントリクレーン

第 2－3 添図　大間１号炉原子炉建屋天井クレーン，女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン及び島根２号炉取水槽ガントリクレーンの構造概要図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付 3-1 表 構造の特徴比較

	原子炉建屋クレーン	門型クレーン
構造概要	・２本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左
主要構造物	・ガーダ ・サドル ・トロリ	・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚
構造形状	鋼構造物（炭素鋼）	同左
	溶接構造物	同左

＊ 下線は相違点を示す。

2.2 荷重伝達について

原子炉建屋クレーンと門型クレーンの本体及びトロリはいずれも固定されずにレール上に車輪を介して設置されており，以下に示す荷重伝達機能も同様であると考えられる。

(1) クレーン本体走行方向の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体は走行レール上に乗っているだけで固定されていないため，走行方向の水平力が加わっても，クレーン本体は走行レール上を滑るだけで，クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) クレーン本体の走行車輪は，駆動輪又は従動輪である。

(c) 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震力が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の水平力が加われば走行レール上を滑る。

(d) 従動輪は回転が拘束されていないため，クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

b. トロリ

(a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向に設置された横行レール上に設置していることから，クレーン本体

第 2－1 添表　構造の特徴比較

	大間１号炉 原子炉建屋天井 クレーン	女川２号炉 海水ポンプ室門型 クレーン	島根２号炉 取水槽ガントリ クレーン
構造概要	・２本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレールに設置	同左	同左
主要構造物	・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脱線防止ラグ ・トロリストッパ	・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚 ・脱線防止装置 ・トロリストッパ	・ガーダ ・トロリ ・ホイスト ・脚 ・単軸粘性ダンパ ・転倒防止装置 ・トロリストッパ
構造形状	鋼構造物（炭素鋼）	同左	同左
	溶接構造物	同左	同左

2.2　荷重伝達について

原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリクレーンの本体及びトロリは，いずれも固定されずにレール上に車輪を介して設置されており，以下に示す荷重伝達機構も同様である。

(1) 走行方向（ＥＷ方向）の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体は走行レール上に乗っており，固定されていないため，走行方向（ＥＷ方向）の水平力が加わっても，クレーン本体は走行レール上をすべり，クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。

(b) クレーン本体の走行車輪は，駆動輪及び従動輪である。

(c) 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合，回転部分が追随できず，走行レール上をすべる。

(d) 従動輪は回転が拘束されていないため，クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

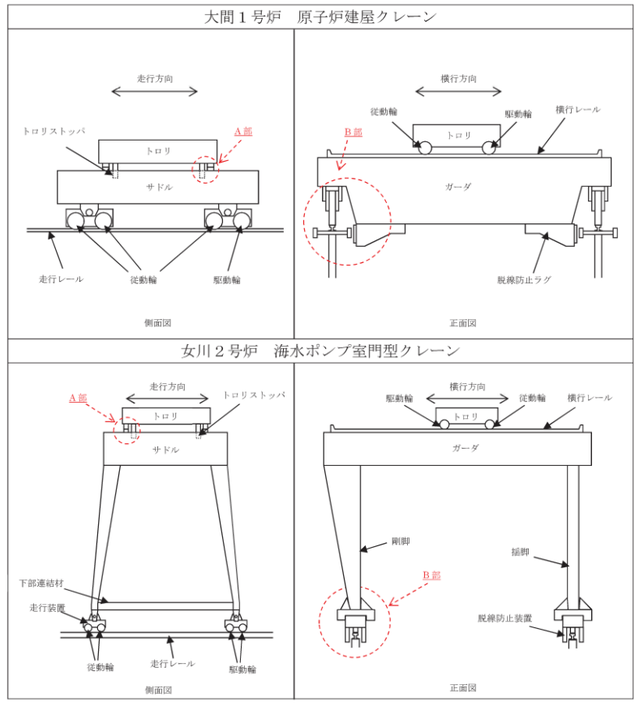
b. トロリ

(a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向に設置された横行レール上に設置していることから，走行方向（Ｅ

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	の走行方向の地震力はガーダ本体・横行レールを介してトロリへ作用する。 (2) トロリ走行方向の水平力 a. クレーン本体 (a) クレーン本体は横行レールに対して直交方向に設置された走行レール上に設置していることから，トロリ走行方向の地震力は走行レールを介してクレーン本体へ作用する。 b. トロリ (a) トロリはガーダ上の横行レール上に乗っているだけで横行レールとは固定されていないため，水平力がトロリに加わっても，トロリは横行レール上を滑るだけで，トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。 (b) トロリの横行車輪は，駆動輪又は従動輪である。 (c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震力が車輪部に加わると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の水平力が加われば横行レール上を滑る。 (d) 従動輪は回転が拘束されていないため，トロリの動きに合わせて自由に回転することから，トロリ走行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。 (3) 鉛直力 クレーン本体及びトロリは，レールと固定されていないことから，鉛直方向の地震力によってはレールから浮上がる可能性がある。 2.3 車輪まわりの構造比較 本解析手法は車輪まわりのすべりや浮上がりを考慮した非線形解析であり，車輪まわりの特徴を踏まえたモデル化が必要であることから，車輪とレールの接触部分について，原子炉建屋クレーンと門型クレーンについて詳細に構造比較を行う。原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの車輪まわりの模式図を添付 3-4 図に示す。 (1)原子炉建屋クレーン 原子炉建屋クレーンの車輪まわりは，走行装置が前後左右の４隅に配置された構造であり，各走行装置は２輪ずつの車輪で構成されている。車輪と走行レール間には鉛直上向きの拘束がなく浮上がりが発生する構造となっており，クレーンと走行レールの接	W方向）の地震力はガーダ本体・横行レールを介してトロリへ作用する。 (2) 横行方向（ＮＳ方向）の水平力 a. クレーン本体 (a) クレーン本体は横行レールに対して直交方向に設置された走行レール上に設置していることから，横行方向（ＮＳ方向）の地震力は走行レールを介してクレーン本体へ作用する。 b. トロリ (a) トロリは横行レール上に乗っており，横行レールとは固定されていないため，横行方向（ＮＳ方向）の水平力がトロリに加わっても，トロリは横行レール上をすべり，トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。 (b) トロリの横行車輪は，駆動輪及び従動輪である。 (c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合，回転部分が追随できず，横行レール上をすべる。 (d) 従動輪は回転が拘束されていないため，トロリの動きに合わせて自由に回転することからトロリ横行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。 (3) 鉛直力 クレーン本体及びトロリは，レールと固定されていないことから，鉛直方向の地震力によってレールから浮上る可能性がある。 2.3　車輪まわりの構造比較 本解析手法は車輪まわりのすべりや浮上りを考慮した非線形解析であり，車輪まわりの特徴を踏まえたモデル化が必要であることから，車輪とレールの接触部分を対象として，原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリクレーンについて詳細に構造比較を行う。 (1)原子炉建屋天井クレーン 原子炉建屋天井クレーンの車輪まわりは，走行装置が前後左右の４隅に配置された構造であり，各走行装置は２輪ずつの車輪で構成されている。車輪と走行レール間には鉛直上向きの拘束がなく浮上りが発生する可能性がある構造となっており，クレーンと	

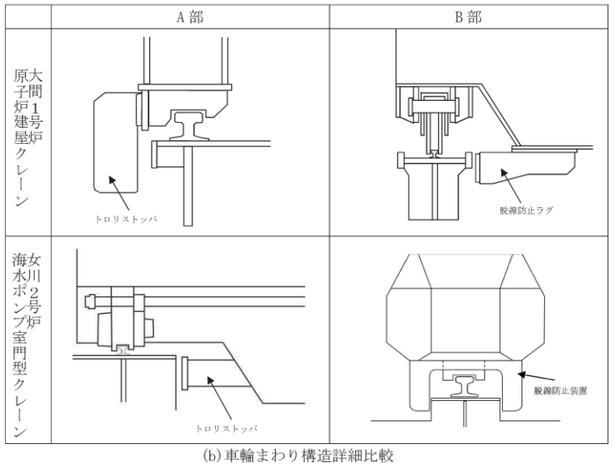
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	触点は，ともに鋼製部材である車輪と走行レールの接触となる。 また，車輪については，駆動装置が設置された駆動輪（２輪分）とクレーンの動きに追随して回転する従動輪（６輪分）があり，全体の 1/4 の車輪で駆動力を伝達する機構となっている。 トロリの車輪まわりは，前後左右で１輪ずつ配置された構造となっており，クレーン本体の車輪と同様に鉛直方向の拘束がないため浮上がりが発生する構造となっている。駆動輪と従動輪についてもクレーン本体の車輪と同様に前後で役割の異なる車輪が配置されている。 クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには，脱線防止装置もしくはトロリストッパが設置されているため，車輪がレールから浮上がる現象が発生した場合でも，脱線を防止する構造となっている。 (2) 門型クレーン 門型クレーンの本体車輪まわりは，添付 3-4 図に示すとおり走行装置が前後左右の４隅に配置された構造であり，各走行装置は２輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく，浮上がりが発生する点や駆動輪と従動輪で車輪が構成されている点など，原子炉建屋クレーンと同一の構造となっている。トロリの車輪まわりについても車輪（駆動輪，従動輪）配置や接触状況などについて同一構造となっている。 門型クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりについては，改造工事として脱線防止装置を設置するため，原子炉建屋クレーンと同様に，車輪がレールから浮上がる現象が発生した場合でも，脱線を防止する構造である。	走行レールの接触点は，ともに鋼製部材である車輪と走行レールの接触となる。 また，車輪については，駆動装置が設置された駆動輪（２隅分）とクレーンの動きに追随して回転する従動輪（２隅分）があり，全体の半分の車輪で駆動力を伝達する機構となっている。 トロリの車輪まわりは，前後左右で１輪ずつ配置された構造となっており，クレーン本体の車輪と同様に鉛直方向の拘束がないため浮上りが発生する可能性がある構造となっている。駆動輪と従動輪についてもクレーン本体の車輪と同様に前後で役割の異なる車輪が配置されている。 クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには，脱線防止装置若しくはトロリストッパが設置されているため，車輪がレールから浮上る現象が発生した場合でも，脱線を防止する構造となっている。 (2) 取水槽ガントリクレーン 取水槽ガントリクレーンの本体車輪まわりは，第 2－3 添図に示すとおり走行装置が前後左右の４隅に配置された構造であり，各走行装置は２輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく浮上りが発生する可能性がある点や駆動輪と従動輪が半数ずつで車輪が構成されている点など，原子炉建屋天井クレーンと同様の構造である。トロリの車輪まわりについても車輪（駆動輪，従動輪）配置や接触状況等について同様の構造である。 取水槽ガントリクレーン本体車輪の間には転倒防止装置が設置されており，走行レールを掴むことで，転倒・脱線を防止する構造となっている。この構造は原子炉建屋天井クレーンと異なっているが，伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同様の構造である。取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置と伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置の構造を第 2－4 添図に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



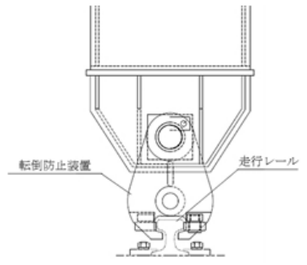
(a)　概略構造比較

添付 3-4 図 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (1/2)

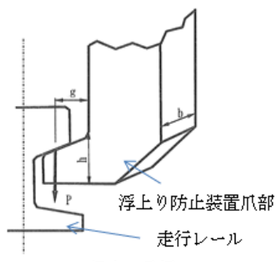


(b) 車輪まわり構造詳細比較

添付 3-4 図 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (2/2)



取水槽ガントリクレーンの
転倒防止装置



伊方３号炉
海水ピットクレーンの
浮上り防止装置

第 2－4 添図　　取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置及び伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置の構造

・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

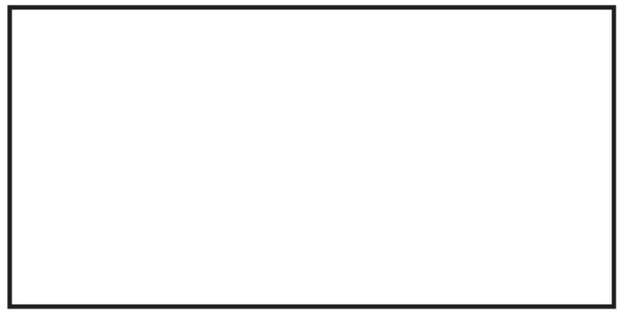
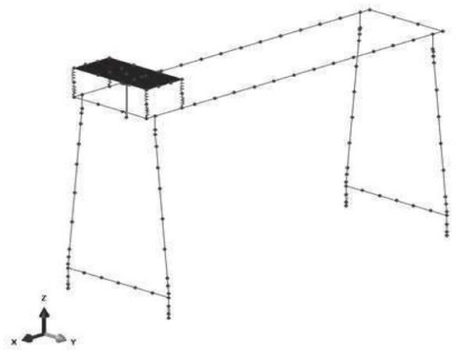
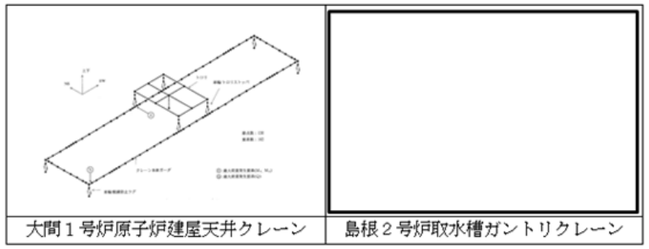
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
3.　先行実績（大間１号炉原子炉建屋クレーン）との評価方法の比較
3.1 評価方法の比較
原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法の比較を添付 3-2 表に示す。門型クレーンの解析手法や解析モデル，境界条件などの解析評価の基本となる設定は原子炉建屋クレーンと同一の評価方法である。

入力地震動はそれぞれの設備を設置している箇所の地震動を適用するため，評価方法の差異にはあたらない。

添付 3-2 表 原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法比較
<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>原子炉建屋クレーン</th><th>門型クレーン</th></tr>
<tr><td colspan="2">解析手法</td><td>非線形時刻歴応答解析</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析モデル</td><td>３次元 FEM 解析モデル</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">車輪－レール間の境界条件</td><td>すべり，浮上がり，衝突考慮</td><td>同左</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地震力</td><td>水平</td><td rowspan="2">動的地震力</td><td rowspan="2">同左</td></tr>
<tr><td>鉛直</td></tr>
<tr><td colspan="2">入力地震動</td><td>原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td><td>海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td></tr>
<tr><td rowspan="2">減衰定数</td><td>水平</td><td rowspan="2">2.0%</td><td rowspan="2">同左</td></tr>
<tr><td>鉛直</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析プログラム</td><td>ABAQUS Ver.6.5-4</td><td>ABAQUS Ver6.11-1</td></tr>
</table>
3.2 地震応答解析モデルの比較
原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの解析モデル概要を添付 3-5 図に示す。
門型クレーンは原子炉建屋クレーンと同様に，クレーンの主要構成部材をはり要素でモデル化している。また，車輪部について
</td>
<td>
3.　先行審査実績（大間１号炉原子炉建屋天井クレーン，女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン）との評価方法の比較
3.1　評価方法の比較
原子炉建屋天井クレーン，海水ポンプ室門型クレーン，取水槽ガントリクレーンの評価方法の比較を第 2－2 添表に示す。車輪部のすべり，浮上り，衝突を考慮した取水槽ガントリクレーンの解析手法，解析モデル，境界条件等は，原子炉建屋天井クレーン及び海水ポンプ室門型クレーンと同一の評価方法である。なお，原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグ及び海水ポンプ室門型クレーンの脱線防止装置と取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置は構造が異なるが，転倒防止装置のレールと爪部のギャップ要素を含めたモデル化は，伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同様である。

入力地震動はそれぞれの設備を設置している箇所の地震動を適用するため，評価方法の差異にはあたらない。

第 2－2 添表 先行審査実績のあるクレーン類の評価方法との比較
<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>大間１号炉
原子炉建屋
天井クレーン</th><th>女川２号炉
海水ポンプ室門型クレーン</th><th>島根２号炉
取水槽ガントリクレーン</th></tr>
<tr><td colspan="2">解析手法</td><td>非線形時刻歴応答解析</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析モデル</td><td>３次元ＦＥＭ解析モデル</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">車輪－レール間の境界条件</td><td>すべり，浮上り，衝突考慮</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地震力</td><td>水平</td><td>動的地震力</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td>鉛直</td><td>動的地震力</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">入力地震動</td><td>原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td><td>海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td><td>取水槽におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td></tr>
<tr><td rowspan="2">減衰定数</td><td>水平</td><td>2.0%</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td>鉛直</td><td>2.0%</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析プログラム</td><td>ＡＢＡＱＵＳ
(Ver.6.5－4)</td><td>ＡＢＡＱＵＳ
(Ver.6.11－1)</td><td>同左</td></tr>
</table>
3.2　地震応答解析モデルの比較
原子炉建屋天井クレーン及び取水槽ガントリクレーンの解析モデルの概要を第 2－5 添図に示す。
取水槽ガントリクレーンは原子炉建屋天井クレーンと同様に，クレーンの主要構成部材をはり要素でモデル化している。また，車
</td>
<td>
・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違
</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	も原子炉建屋クレーンと同様に水平方向のすべり及び鉛直方向の浮上がりを考慮するため，ギャップ要素及びばね，減衰要素でモデル化している。なお，車輪部の非線形要素については参考資料１に詳細を示す。  (a) 大間１号炉　原子炉建屋クレーン  (b) 女川２号炉 海水ポンプ室門型クレーン 添付 3-5 図 解析モデル概要図	輪部についても原子炉建屋天井クレーンと同様に水平方向のすべり及び鉛直方向の浮上りを考慮するため，ギャップ要素，ばね及び減衰要素でモデル化している。なお，車輪部の非線形要素については添付資料（2－4）に詳細を示す。  第 2－5 添図　解析モデル概要図	
	4.　非線形時刻歴解析の適用性（まとめ） 女川２号炉海水ポンプ室門型クレーンに対して非線形時刻歴解析を適用するにあたり，先行実績（大間１号炉原子炉建屋クレーン）との構造及び評価方法の比較を行った。 前述の 2 項のとおり，全体構造，荷重伝達及び車輪まわりの構	4.　非線形時刻歴応答解析の適用性（まとめ） 島根２号炉取水槽ガントリクレーンに対して非線形時刻歴応答解析を適用するにあたり，先行審査実績（大間１号炉原子炉建屋天井クレーン，女川２号炉海水ポンプ室門型クレーン）との構造及び評価方法の比較を行った。 全体構造，荷重伝達及び車輪まわりの構造について比較した結	

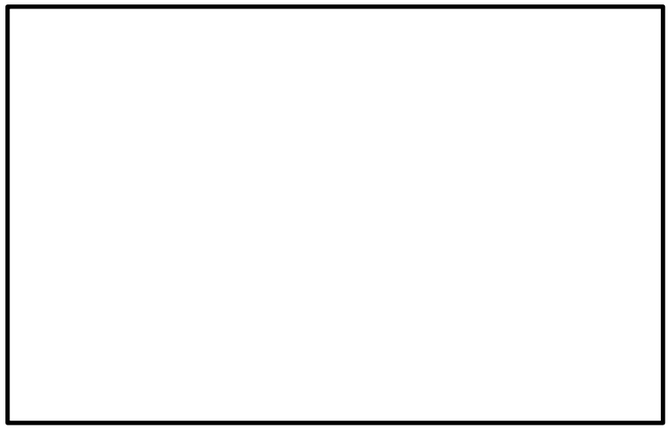
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	造について比較した結果，先行実績のある原子炉建屋クレーンに対して，門型クレーンは，クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することのみが差異であり，これ以外の全体構造，荷重伝達及び車輪まわり構造が同様であることを確認した。なお，クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することについては，適切に解析モデルに反映することで問題はない。	果，先行審査実績のある原子炉建屋天井クレーンに対して，取水槽ガントリクレーンは，クレーン本体の鋼構造物として脚が存在し単軸粘性ダンパを有する点及び脱線防止ラグと転倒防止装置の構造が異なる点において差異があるが，これ以外の全体構造，荷重伝達及び車輪まわりの構造が同等であることを確認した。なお，脚及び単軸粘性ダンパが存在することについては，適切に解析モデルに反映することとし，単軸粘性ダンパを有する構造物の解析手法については，別紙－18「機器・配管系への制震装置の適用について」に示す。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違 ・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	また，前述の３ 項のとおり，評価方法及び解析モデルについて比較した結果，解析モデルの設定方法として，３次元はり要素によるモデル化，水平方向のすべり，鉛直方向の浮上がりの挙動を考慮する非線形要素の考え方が同様であることを確認した。	また，評価方法及び解析モデルについて比較した結果，解析モデルの設定方法として，はり要素によるモデル化，水平方向のすべり，鉛直方向の浮上り等の挙動を考慮する非線形要素の考え方が同様であることを確認した。 なお，原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグ及び海水ポンプ室門型クレーンの脱線防止装置と取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置は構造が異なるが，転倒防止装置は伊方３号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同等の構造となっており，浮上りが発生し，浮上り防止装置の爪部とレールが接触しない限りは，応力が発生しない構造であり，モデル化が適切であることを確認した。	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	したがって，女川２号炉海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価として，先行実績のある非線形時刻歴解析を適用することは妥当であると考えられる。 5. 参考文献 (1) 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，(独)原子力安全基盤機構） (2) 平成 20 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008，(独)原子力安全基盤機構） (3) 天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動（火力原子力発電.Vol40 No.6 小森ほか）	以上のことから，島根２号炉取水槽ガントリクレーンの耐震評価として，先行審査実績のある非線形時刻歴応答解析を適用することは妥当であると考える。	

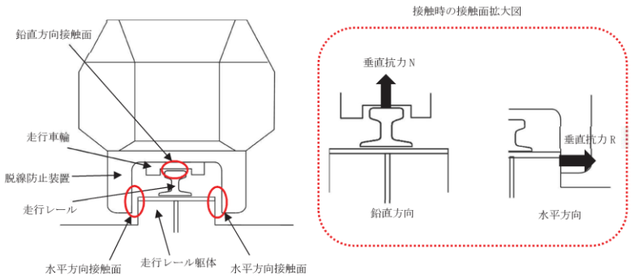
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>
<u>添付資料(2－3)　取水槽ガントリクレーンの解析ケースの設定</u>

取水槽ガントリクレーンの地震応答解析にあたっては，トロリ及びホイストの位置や吊荷の有無によって地震時の挙動が変化する可能性があるため，トロリ及びホイストの位置並びに吊荷の有無に応じた解析ケースを設定する必要がある。設定した解析ケースを第 3－1 添表に示す。取水槽ガントリクレーン使用時の状況を踏まえて解析ケースについて検討した内容を以下に示す。
取水槽ガントリクレーンを使用する場合，まずクレーン本体が待機位置から吊り上げ対象物に向けて走行方向（ＥＷ方向）に移動する。クレーン本体の移動中は，トロリ及びホイストはそれぞれの待機位置にある。このような状態を踏まえた解析ケースとして，トロリ及びホイストがいずれも待機位置で吊荷なしの条件を設定する。（ケース１）
トロリにより吊荷を吊り上げる場合は，トロリを横行方向（ＮＳ方向）に対象物の直上まで移動させ，対象物を吊り上げた後，トロリ位置はそのままでクレーン本体が走行方向（ＥＷ方向）に点検等の作業エリアへ移動する。また，ホイストにより吊荷を吊り上げる場合もトロリの場合と同様に，ホイストを横行方向（ＮＳ方向）に対象物の直上まで移動させ，対象物を吊り上げた後，ホイスト位置はそのままでクレーン本体が走行方向（ＥＷ方向）に点検等の作業エリアへ移動する。トロリとホイストを同時に使用することはないため，トロリを使用する場合にはホイストは待機位置，ホイストを使用する場合にはトロリは待機位置から移動しない。トロリ及びホイストの待機位置について第 3－1 添図に示す。以上のトロリ及びホイストの使用状態を踏まえた解析ケースとして，トロリ及びホイストのいずれかは最大質量の吊荷有りとし，もう一方は待機位置で吊荷なしの条件を設定する。なお，吊荷有りの場合のトロリ及びホイストの位置は中央付近であるためガーダの中央とする。（ケース２，３）

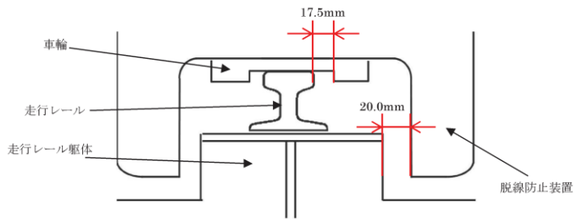
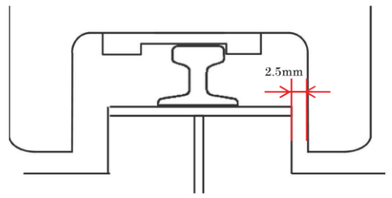
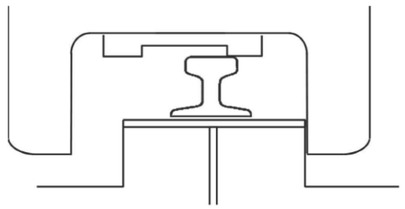
<u>第 3－1 添表　取水槽ガントリクレーンの耐震評価ケース</u>
<table>
<tr><th rowspan="2">ケース</th><th colspan="2">トロリ</th><th colspan="2">ホイスト</th></tr>
<tr><th>位置</th><th>吊荷有無（質量）</th><th>位置</th><th>吊荷有無（質量）</th></tr>
<tr><td>1</td><td>待機位置</td><td>なし</td><td>待機位置</td><td>なし</td></tr>
<tr><td>2</td><td>中央</td><td>有り（50t）</td><td>待機位置</td><td>なし</td></tr>
<tr><td>3</td><td>待機位置</td><td>なし</td><td>中央</td><td>有り（17t）</td></tr>
</table>
</td><td>
・記載方針の相違
【女川 2】
女川 2 は同様の内容を添付資料 2 に記載

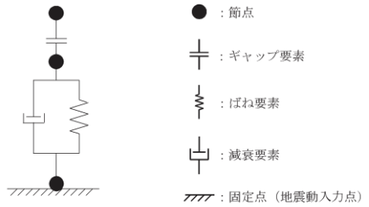
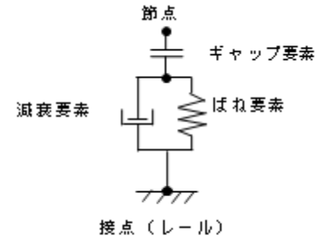
・記載方針の相違
【女川 2】
女川 2 では，同様の内容を添付 2－1 表に記載
</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 3－1 添図　取水槽ガントリクレーンのトロリ，ホイスト待機位置	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	添付資料４ 海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足説明 1. 車輪とレールとの摩擦力及び脱線防止部材との接触による摩擦力の考慮について 門型クレーンはレール上を車輪で移動する構造であり，レールと車輪は固定されていないため，地震時には走行方向（レール長手方向）にはすべりが発生し，摩擦力以上の荷重を受けない構造である。 門型クレーン本体車輪部とレール間の取り合い部を例とすると，すべりを想定する面としては，鉛直方向（本体車輪～レール間）と水平方向（脱線防止装置～レール躯体間）が挙げられる。（添付 4-1 図） 鉛直方向には自重が常時下向きに加わっており，地震による鉛直方向加速度が 1G を上回りクレーン本体が浮上がり挙動を示すごく僅かな時間帯を除き，常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力 N が発生する状態であることから，摩擦係数 μ（=0.3）一定の条件の下，垂直抗力 N を時々刻々変化させた摩擦力 f（=μN）を考慮している。 これに対して，水平方向には常時作用する荷重が無く，水平方向（横行方向）の地震力が作用し，脱線防止装置がレール躯体に		・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	接触する場合に垂直抗力 R が発生する。 しかしながら，地震力は交番荷重であること及び，接触後も部材間の跳ね返りが発生することから，側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また，大きな摩擦力が発生するためには，横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力 R が発生する間に，走行方向の大きな地震力が同時に作用する必要があることから，各方向地震力の非同時性を考慮し，側面の接触による摩擦力は考慮していない。 なお，基準地震動 Ss による地震力に対して，駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが，その場合，摩擦力は低減することから，上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となっていると考える。  添付 4-1 図 鉛直方向と水平方向の接触面 ２．レール等の破損による解析条件への影響について 門型クレーンのモデル化にあたっては，車輪がレール上にあり，レール直角方向に対しては脱線防止装置またはトロリストッパが接触して機能することを前提としている。 ここでは，地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が，脱線防止装置またはトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを，門型クレーン本体車輪部を例に示す。 門型クレーンに地震力が作用する際は，車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが，脱線防止装置がレール躯体に接触することで横行方向の移動量は制限される。脱線防止装置は，構造強度部材として基準地震動 Ss によって生じる地震力に対して許容応力を満足する設計としており，地震で破損することは無いた		・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

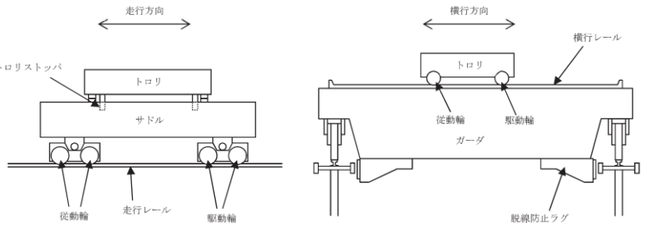
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	め，脱線防止装置とレール躯体間のギャップ量に相当する移動量となった場合でも車輪がレール上から落ちることは無い。（添付 4-2 図） 上記については，トロリ車輪部についても同様である。 また，脱線防止装置とレール躯体が接触する前に車輪からレールに荷重が伝わることになるが，車輪のつばとレールが接触（移動量 17.5 ㎜）してから脱線防止装置とレール躯体が接触（移動量 20 ㎜）し，移動量が制限されるまでの移動量は 2.5 ㎜（=20.0 ㎜-17.5 ㎜）程度であることから，脱線防止装置が接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考える。このように，車輪のつばの有無によらず構造強度部材である脱線防止装置が機能することで車輪がレールにとどまる設計であることから，車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものではない。 以上より，地震時に脱線防止装置がレール躯体に接触して機能する前に車輪がすべり面であるレールから落下することや，レールが大きく破損することが無いことから脱線防止装置が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと考える。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 (a) 通常時  (b) 地震力により車輪のつばがレールに接触（水平移動量 17.5 ㎜）  (c) 地震力により脱線防止装置とレール躯体が接触（水平移動量 20.0 ㎜） 添付 4-2 図 本体車輪部概念図 （本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物と異なる。）		・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違
	参考資料１ クレーン車輪部の非線形要素の設定について 1. 車輪部の非線形要素の考え方 クレーン車輪部のモデル化では，すべり，鉛直方向の浮上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また，接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で，衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し，参考 1-1 図に示すようにギャップ要素	添付資料(2－4)　取水槽ガントリクレーン車輪部の非線形要素 （摩擦，接触，減衰） 取水槽ガントリクレーン車輪部のモデル化では，すべり，浮上り及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また，接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で，衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し，第 4－1 添図に示すように，ギャップ	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	と直列に配置する。 クレーン車輪部の接触形態は，車輪（曲面形状）とレール（平面形状）による鋼材同士の接触であり，先行実績（大間１号炉原子炉建屋クレーン）と同様であることから，非線形要素設定については先行実績と同様の考え方を適用している。 なお，各要素（ギャップ要素，ばね要素，減衰要素）の詳細設定については 2. 以降に記載する。  参考 1-1 図 クレーン車輪部の非線形要素図 2. 車輪とレール間の摩擦特性（ギャップ要素） クレーンの車輪には，電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と回転部分と連結されていない従動輪の２種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため，地震力が車輪部に加わると回転部分が追随できず最大静止摩擦力以上の水平力が加われば レール上をすべる。 摩擦係数は実機の縮小試験体を用いて加振試験を行った既往研究 (1) を踏まえ，0.3 と設定した。既往研究においては，摩擦係数として 0.11～0.19 の値が確認されているが，摩擦係数の大きい方がクレーン本体へ加わる水平力が大きくなるため，保守的に 0.3 とした。 既往研究における試験体（原子炉建屋クレーンタイプ）と門型クレーンの構造上の差異（門型クレーンには脚が存在）から門型クレーンは地震動に対して多少のロッキング挙動を示す可能性はあるが，接触形態（車輪（曲面形状）とレール（平面形状）による鋼材同士の接触）は変わらないことから摩擦係数への影響は軽微であると考えられる。 なお，摩擦係数 0.3 は，女川２号炉原子炉建屋クレーンの既工認（静的解析＊）及び先行実績（大間１号炉（動的解析））においても同様に適用されている。 ＊ すべり方向の水平力として最大静止摩擦力（鉛直方向荷重×摩	要素と直列に配置する。  第 4－1 添図　車輪部の非線形要素 1.　車輪とレール間の摩擦特性 取水槽ガントリクレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と，回転部分と連結されていない従動輪の２種類がある。第 4－2 添図に取水槽ガントリクレーンの概要図を示す。このうち駆動輪は回転が拘束されているため，最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合，レール上をすべる挙動を示す。 ここで，摩擦係数は原子炉建物天井クレーンと同様の 0.3 を用いる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

擦係数（0.3））を用いてクレーン本体及びトロリを評価



参考 1-2 図 女川２号炉原子炉建屋クレーン概要図



第 4－2 添図　取水槽ガントリクレーンの概要図

3.　車輪とレールの接触剛性（ばね要素）

接触剛性はクレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究 (2) を踏まえ，接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される１自由度系の固有振動数が 20Hz になるように設定した。既往研究においては，今回の設定方法のほか，ヘルツの接触理論により荷重に着目して設定する方法，荷重やトロリ浮上がり量等の試験結果と同等になるようにパラメータスタディを行って設定する方法などを検討しているが，いずれの設定方法でも接触剛性（ばね要素）の差異がほとんどないことが確認されている。

なお，今回の接触剛性（ばね要素）の設定方法は，先行実績（大間１号炉）においても同様に適用されている。

4.　車輪とレール間の衝突による減衰（減衰要素）

減衰は，クレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究 (3) を踏まえ，車輪の反発係数から換算される減衰比を設定した。既往研究においては，車輪及びレールを模擬した試験体を用いて，重力加速度を利用した反発試験（参考 1-3 図）を実施し，車輪とレール間の反発係数から減衰比を確認している。

なお，反発係数と減衰比の関係式は次式のとおり。また，反発係数と減衰比の関係を参考 1－4 図に示す。

$$e = exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

e：反発係数，h：減衰比

2.　車輪とレールの接触剛性

接触剛性は「平成 20 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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報－0008，（独）原子力安全基盤機構）」を参照し，車輪とレールの衝突時の剛性を模擬したばね要素を考慮し，クレーン質量で構成される１自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるように設定する。

3.　車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は「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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報－0021，（独）原子力安全基盤機構）」にて実施した要素試験のうち，車輪反発係数試験結果より評価した反発係数から算出する。

なお，減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h\ \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで，e は反発係数，h は減衰比である。

上記の式で表される反発係数と減衰比との関係を第 4－3 添図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		に示す。	

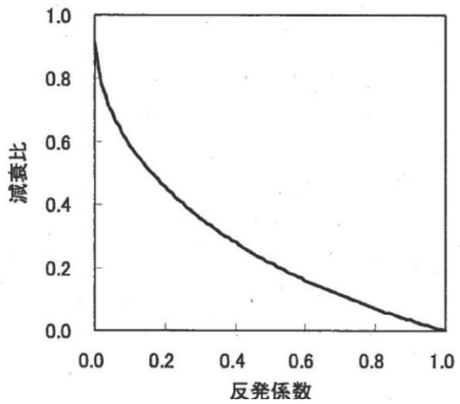
既往研究の反発係数試験から得られた反発係数は，0.62～0.65 であり，減衰比に換算すると 0.12～0.13 となる。

ここで，反発係数と減衰比の関係は，反発係数が大きいほど衝突時のエネルギー消散が小さく，減衰比が小さくなるため，車輪とレール間の衝突による減衰は，保守的に反発係数 0.7（減衰比 0.113）を適用する。

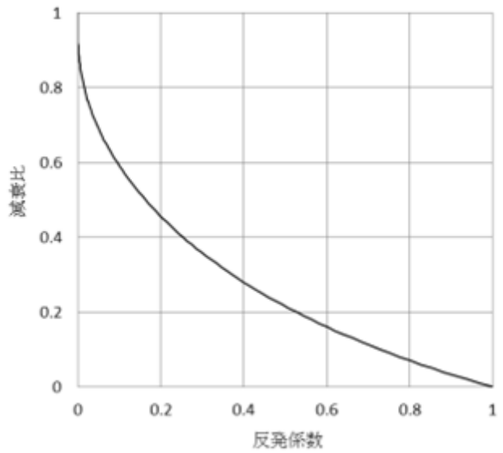
なお，今回の減衰の設定方法は，先行実績（大間１号炉）においても同様に適用されている。



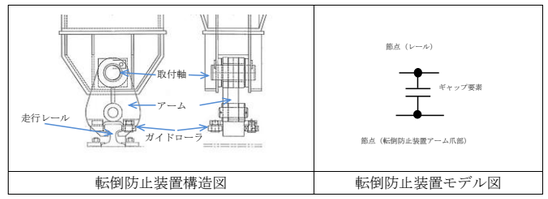
参考 1-3 図 車輪反発係数試験体*

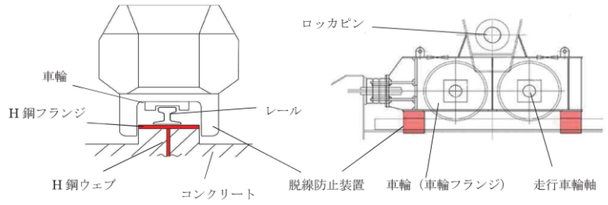


参考 1-4 図 反発係数と減衰比の関係*



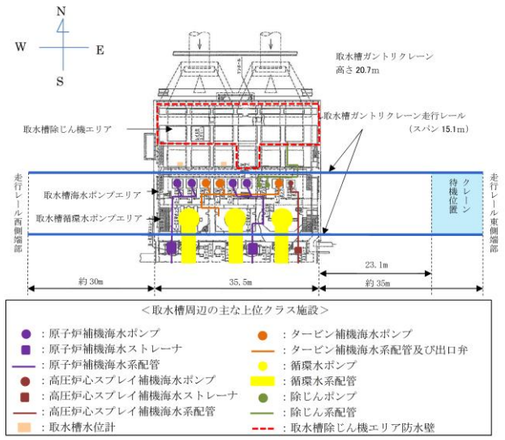
第 4－3 添図　反発係数と減衰比の関係

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	＊『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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，(独)原子力安全基盤機構)』より一部引用 5. 参考文献 (1) 天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動（火力原子力発電.Vol40 No.6 小森ほか） (2)「平成 20 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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008，(独)原子力安全基盤機構)」 (3)「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 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，(独)原子力安全基盤機構)」	4.　転倒防止装置の構造・モデル化について 転倒防止装置は，第 4－4 添図に示すように，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。通常運転時，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アーム先端の爪部が接触すると鉛直方向の荷重が伝達される。 水平方向については，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滑る構造のため，水平荷重は発生しない。 以上より，転倒防止装置については，鉛直方向の爪部とレール頭部の間隙を考慮して，第 4－4 添図に示す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 第 4－4 添図　転倒防止装置の構造及びモデル図	・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違 ・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

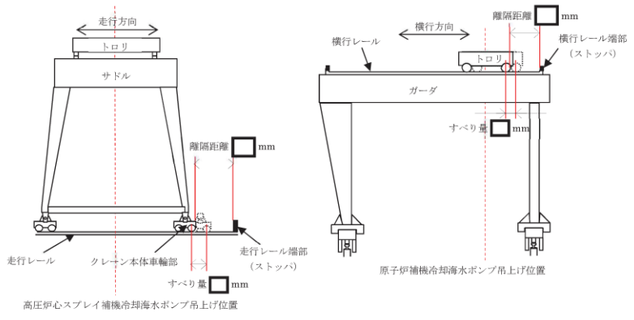
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	参考資料２ 地震時の本体車輪部及び脱線防止装置が衝突する躯体側の評価について 門型クレーンに地震力が作用した際は，まず走行車輪とレールが接触し，さらには車輪がレールに乗り上がって脱線防止装置がレール躯体に衝突する挙動が考えられる。門型クレーンは，構造強度部材である脱線防止装置が健全であることでレールからの脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造であることを確認しているが，地震時に本体車輪部各部位及び脱線防止装置が衝突する躯体側に発生する応力について評価を行った。 （１）本体車輪部の評価について 評価の結果，本体車輪部は地震時に健全であることを確認した。 （２）脱線防止装置が衝突する躯体側の評価について レール躯体は，Ｈ鋼とコンクリートで構成されており，脱線防止装置衝突時にはＨ鋼とコンクリート両者に荷重が作用するが，保守的にレール躯体上部のＨ鋼フランジ端部のみに荷重が作用するものとして，Ｈ鋼のフランジとウェブの境界部のせん断，Ｈ鋼フランジの面内の圧縮の評価を行った。 評価の結果，レール躯体が脱線防止装置の衝突に対して健全であることを確認した。  評価部位 / 評価項目 / 発生値* / 許容限界 / 裕度 本体車輪部 車輪フランジ：組合せ：194 (MPa)：539 (MPa)：2.77 本体車輪部 走行車輪軸：組合せ：289 (MPa)：571 (MPa)：1.97 本体車輪部 ロッカピン：組合せ：241 (MPa)：571 (MPa)：2.36 脱線防止装置衝突部躯体：せん断：51 (MPa)：146 (MPa)：2.86 脱線防止装置衝突部躯体：圧縮：96 (MPa)：253 (MPa)：2.63 ＊　平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss－1，2 による暫定評価		・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	参考資料３ クレーン本体及びトロリのすべり量評価について	添付資料(2－5) 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	
	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，クレーン本体の転倒，トロリの落下により上位クラス設備へ波及的影響を及ぼすおそれがある。	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。取水槽ガントリクレーンの走行範囲を第 5－1 添図に示す。	・方針の相違 【女川 2】 女川 2 は，すべり量の評価を実施しているが，島根 2 号炉取水槽ガントリクレーンは走行レール端部までの距離が大きいことから，レール端部について衝突することはない。トロリについては，詳細設計段階ですべり量を評価する（以下，⑥の相違）
	そこで，地震応答解析におけるクレーン本体及びトロリのすべり量がクレーン本体及びトロリがレール端部に最も接近した作業状態における走行レール端部及び横行レール端部までの離隔距離（許容基準値）を上回らないことを確認する。 クレーン本体の場合は，走行レール端部に最も接近する作業状態として，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（西側）の吊上時を想定する。また，トロリの場合は，横行レール端部に最も接近する作業状態として，原子炉補機冷却海水ポンプ吊上げ時を想定する。		
	評価の結果，クレーン本体及びトロリともに許容基準値を満足しており，すべりにより上位クラス設備への波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。	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。	・方針の相違 【女川 2】 ⑥の相違
	なお，本検討では基準地震動 Ss－D1～N1（全７波）のうち設備評価の観点で選定した基準地震動 Ss－D2 により評価を行っているが，工認段階においては，基準地震動 Ss－D1～N1（全７波）におけるすべり量評価を実施する。すべり量が増大し，現状の許容基準値を満足できない場合は走行装置の構造変更等による対策を実施する。		・地震動の相違 【女川 2】 ④の相違
		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。	・方針の相違 【女川 2】 ⑥の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第5－1添図　取水槽ガントリクレーンの走行範囲



評価部位	発生値* （すべり量）	許容基準値 （離隔距離）
クレーン本体		
トロリ		

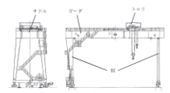
＊ 基準地震動 Ss－D1～N1（全７波）のうち Ss－D2 による暫定評価

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 クレーン本体すべり量時刻歴波形  トロリすべり量時刻歴波形		・方針の相違 【女川 2】 ⑤の相違 ・方針の相違 【女川 2】 ⑤の相違

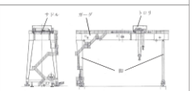
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	参考資料４ 先行実績との構造/評価手法比較（BWR プラント） 先行実績との構造/評価手法比較(PWR プラント)		・記載方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉では，同様の内容を添付資料（2－2）に記載

参考資料４

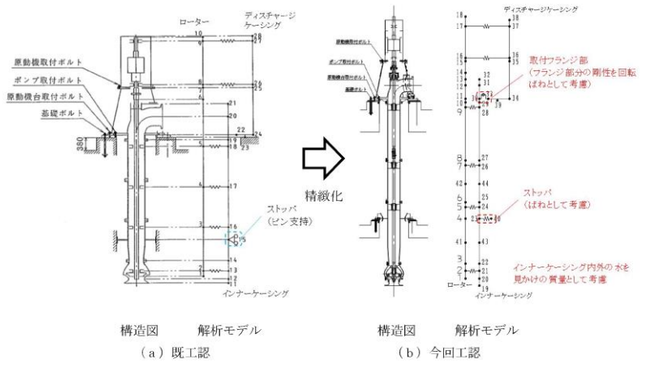
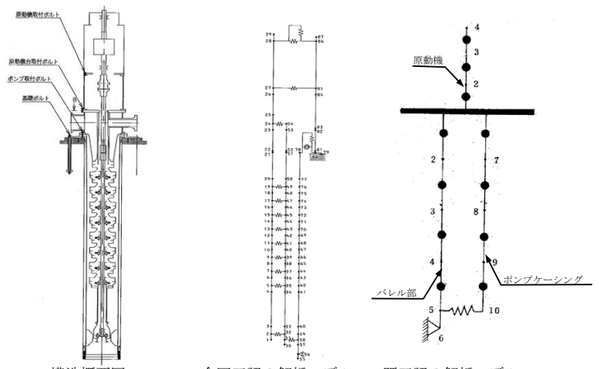
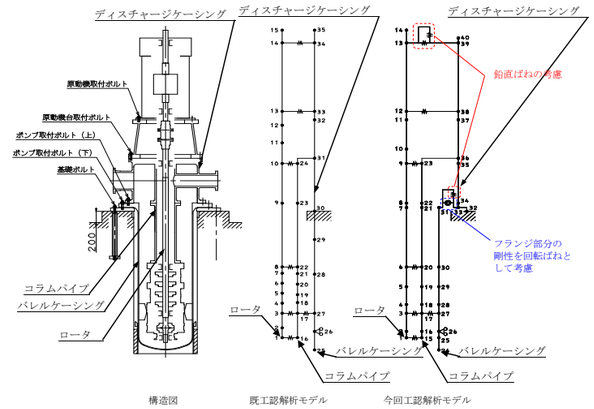
先行実績との構造/評価手法比較（BWR プラント）

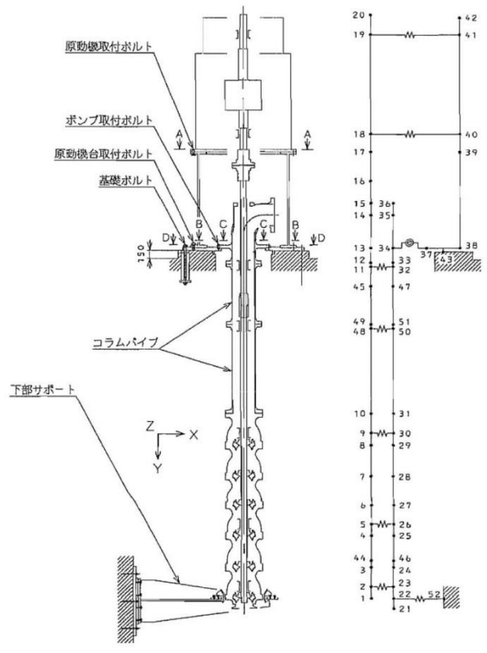
	項目		大間１号炉　原子炉建屋クレーン	柏崎刈羽６号及び７号炉　原子炉建屋クレーン	女川２号炉　海水ポンプ室門型クレーン
構造比較	構造概要		・２本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左
	主要構造物		・ガーダ ・サドル ・トロリ	同左	・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚
	構造形状		鋼構造物（炭素鋼） 溶接構造物	同左	同左
	構造概略図				
評価手法比較	解析手法		非線形時刻歴応答解析	同左	同左
	解析モデル		３次元 FEM 解析モデル	同左	同左
	車輪－レール間の境界条件		すべり，浮上がり，衝突考慮	同左	同左
	地震力	水平 鉛直	動的地震力	同左	同左
	入力地震動		クレーン設置位置の加速度時刻歴	同左	同左
	減衰定数	水平 鉛直	2.0%	同左	同左
	解析プログラム		ABAQUS Ver.6.5-4	ABAQUS Ver6.11-1（６号炉） ABAQUS Ver.6.5-4（７号炉）	ABAQUS Ver6.11-1
	時刻歴の保守性検討		－	考慮 ASME Time History Broadening	考慮 ASME Time History Broadening

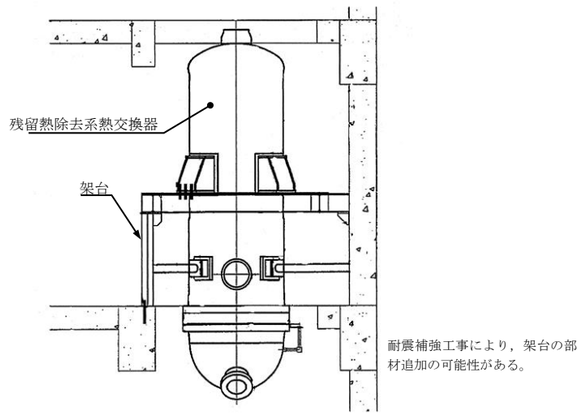
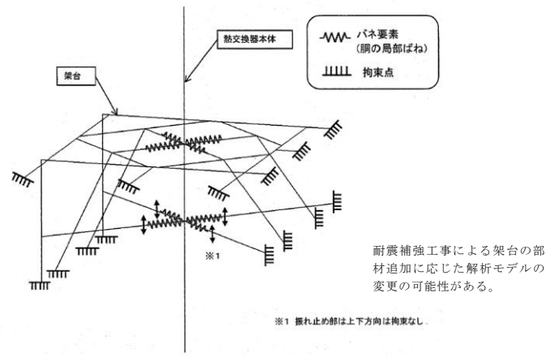
先行実績との構造/評価手法比較(PWR プラント)

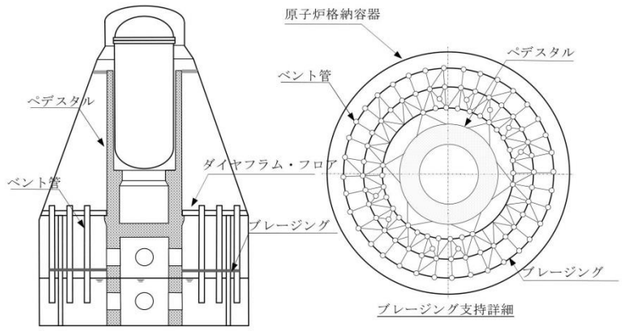
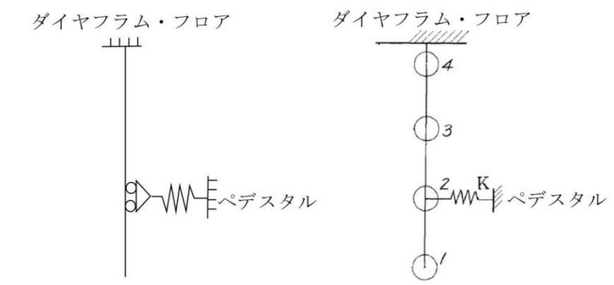
	項目		玄海３号炉　海水ポンプ室門型クレーン	伊方３号炉　海水ポンプ室門型クレーン	女川２号炉　海水ポンプ室門型クレーン
構造比較	構造概要		・２本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左
	主要構造物		・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚	同左	同左
	構造形状		鋼構造物（炭素鋼） 溶接構造物	同左	同左
	構造概略図				
評価手法比較	解析手法		非線形時刻歴応答解析	非線形時刻歴応答解析（一部スペクトルモーダル解析を併用）	非線形時刻歴応答解析
	解析モデル		３次元 FEM 解析モデル	同左	同左
	車輪－レール間の境界条件		すべり，浮上がり，衝突考慮	同左	同左
	地震力	水平 鉛直	動的地震力	同左	同左
	入力地震動		クレーン設置位置の加速度時刻歴	同左	同左
	減衰定数	水平 鉛直	2.0%	同左	同左
	解析プログラム		CORDELIP	同左	ABAQUS Ver6.11-1 （ABAQUS 11版注知見において，固有周期や車輪部荷重等に対して地震応答解析結果と振動試験結果を比較した検証が実施されており，適用性に問題ないと考える。）
	時刻歴の保守性検討		考慮 シャープスペクトルと拡幅スペクトルでスペクトルモーダル解析を行い，部材力の比率を補正係数として考慮 ・水平方向及び鉛直方向の地震力に伴うクレーンの挙動を鑑ミえ，水平方向は，クレーンがレール上をすべるため水平方向の加速度の影響はかういもの の鉛直方向の応答特性の影響を受ける可能性があること，及び，鉛直方向は線形特性を示すことを考慮し，鉛直方向入力加速度のばらつきの影響として補正係数を設定。	－	考慮 ASME Time History Broadening ・女川２号炉門型クレーンは，クレーンがレール上をすべるため，水平方向応答に対して非線形特性を有していることに加え，浮上がり挙動を考慮しているため，鉛直方向応答に対しても非線形特性を有していることから，ASME の手法を基に保守性を検討。

＊：「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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021，(旧)原子力安全基盤機構）」
「平成 20 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　動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008，(旧)原子力安全基盤機構）」

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料2 立形ポンプの解析モデルの精緻化 既工認における立形ポンプの解析モデルは，実機構造を踏まえた振動特性とするため，設備の寸法，質量情報に基づき，主要部であるローター，インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点系モデルとして構築していた。 今回工認では，最新の知見に基づくモデル化を行う観点から，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。（第１図参照） なお，本解析モデルは大間１号炉の建設工認にて適用実績がある。	添付資料2 ポンプ等の解析モデルの精緻化について 1.　立形ポンプの解析モデルの精緻化 既工認における高圧炉心スプレイポンプ，低圧炉心スプレイポンプ及び残留熱除去系ポンプの解析モデルは，立形ポンプの構造を模擬したバレル部及びポンプケーシングによる質点系モデルを構築していた。 今回工認では，最新の知見によるモデル化を行う観点から，ＪＥＡＧ4601-1981 追補版に基づき，モデルの精緻化を行う（第 2-1 図参照）。 なお，本解析モデルは大間１号炉の既工認及び東海第二発電所の立形ポンプのうち，非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び残留熱熱除去系海水ポンプの既工認にて適用実績がある（第 2-2 図参照）。	添付資料－3 ポンプ等の応答解析モデルの精緻化について 1.　立形ポンプの応答解析モデルの精緻化 既工認における立形ポンプの応答解析モデルは，実機構造を踏まえた振動特性とするため，設備の寸法，質量情報に基づき，主要部であるロータ，インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点モデルとして構築していた。 今回工認では，最新の知見に基づくモデル化を行う観点から，既工認モデルに対してＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版に基づき，フランジ部分の剛性を回転ばねとして考慮する。また，鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い，鉛直方向の固有周期を算出する為，新たに鉛直ばねを考慮している（第1－1 図参照）。なお，解析結果より，鉛直方向は十分な剛性を有している。 本解析モデルは，大間１号炉建設工認及び東海第二新規制工認にて適用実績がある。	
 構造図　解析モデル （ａ）既工認 構造図　解析モデル （ｂ）今回工認 第1 図 原子炉補機冷却海水ポンプ解析モデル図（7 号炉の例）	 構造概要図　今回工認の解析モデル　既工認の解析モデル 第2-1図　立形ポンプの解析モデル図 （高圧炉心スプレイポンプ解析モデルの例）	 構造図　既工認解析モデル　今回工認解析モデル 第 1－1 図　残留熱除去ポンプ応答解析モデル図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 構造概要図　　既工認の解析モデル 第 2-2 図　残留熱除去系海水系ポンプ解析モデル 2.　残留熱除去系熱交換器の解析モデルの精緻化 残留熱除去系熱交換器の支持構造概要図を第 2-3 図に示す。残留熱除去系熱交換器は，原子炉建屋床面に設置された架台を介して支持する構造である。既工認における応力評価は，架台部の１次固有周期に対して設計用床応答スペクトルから算出される加速度を入力として，規格計算式によって熱交換器本体の評価を実施していた。 今回工認においては，架台及び熱交換器本体との相互影響を精緻に評価する観点から，第 2-4 図に示す多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析により評価を行う。 なお，多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析については，大間１号炉においての既工認にて適用実績がある。		・資料構成の相違 【東海第二】 島根２号炉では，立形ポンプにおける解析モデルの精緻化を代表して記載している（以下，①の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 2-3 図　残留熱除去系熱交換器支持構造概要図  第 2-4 図　残留熱除去系熱交換器解析モデル図		・資料構成の相違 【東海第二】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.　原子炉格納容器ベント管の解析モデルの精緻化 原子炉格納容器のベント管の支持構造図を第 2-5 図に示す。ベント管はダイヤフラム・フロアにより支持され，ブレージングにて水平方向を拘束されている。 第 2-6 図にベント管の解析モデル図を示す。今回工認においては，柏崎刈羽５号の既工認実績を踏まえて，集中質量を用いる質点モデルから等分布質量としたビーム要素に変更した解析モデルを用いた地震応答解析により評価を行う。  第 2-5 図　ベント管概要図  第 2-6 図　ベント管解析モデル図		・資料構成の相違 【東海第二】 ①の相違

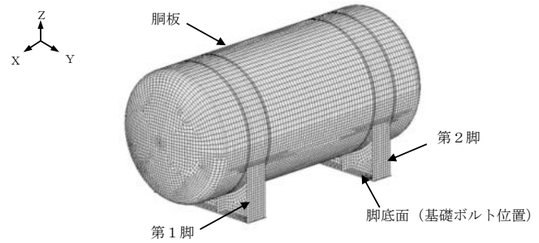
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料３ 容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用について 既工認において，公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について，至近の既工認の適用実績を踏まえて，3 次元ＦＥＭモデル，多質点モデルを適用した耐震評価を実施する。ＦＥＭモデルを用いる手法等は，大間１号炉を含めて他ＢＷＲでの適用実績がある手法である。 1.　容器へのＦＥＭモデルの適用 パーソナルエアロック，サプレッション・チェンバ，アクセスハッチ等の原子炉格納容器本体に取付く各構造物並びにディーゼル発電機の付属設備である始動用空気だめ及び燃料油デイタンクについて，実機の形状をシェル要素にて模擬し，ＪＳＭＥ等に基づく材料諸元を与えてモデル化することにより，応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第 3-1 図に示すとともに第 3-1 表及び第 3-2 表に解析概要を示す。 第 3-1 図　原子炉格納容器のＦＥＭモデル図 （パーソナルエアロックのＦＥＭモデルの例）	添付資料－4 容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用について 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，至近の既工認の適用実績を踏まえて，３次元ＦＥＭモデルを適用した耐震評価を実施する。ＦＥＭモデルを用いる手法は，大間１号炉建設工認及び東海第二新規制工認において適用実績がある手法である。 1.　容器へのＦＥＭモデルの適用 ディーゼル発電機の付属設備であるディーゼル燃料デイタンク及びディーゼル燃料貯蔵タンク並びに原子炉補機冷却系熱交換器について，公式等による計算では許容値を超える見込みであることから，精緻な評価を行うためにＦＥＭモデルを適用する。 胴板及び脚部の実機形状をシェル要素にて模擬し，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版）〈第Ⅰ編　軽水炉規格〉　JSME S NC1-2005/2007）」等に基づく材料諸元を与えてモデル化することにより，応力解析を行う。応力解析に用いる解析モデル図を第１－１図～第１－３図に示すとともに，第１－１表～第１－３表に解析概要を示す。	・適用設備の相違 【東海第二】 ３次元ＦＥＭモデルを適用する設備が異なる（以下，①の相違） ・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 3-1 表　原子炉格納容器のＦＥＭ解析概要 項　目：内　容 適用部位：パーソナルエアロック取付部 サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部 イクイプメントハッチ取付部 配管貫通部取付部 電気配線貫通部取付部 上部シアラグ取付部 下部シアラグ取付部 解析コード：NASTRAN 地震条件：別途実施する地震応答解析から得られる地震力（荷重，加速度）を入力とする。		・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違

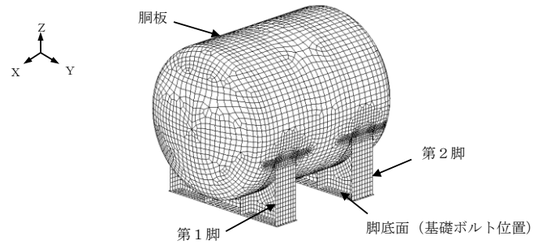
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3-2 表　ＤＧ用補機類容器のＦＥＭ解析概要

項　目	内　容
適用部位	非常用ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイタンク 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイタンク
解析コード	Abaqus
地震条件	別途実施する原子炉建屋地震応答解析から得られる加速度を入力とする。



(1)　非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンク



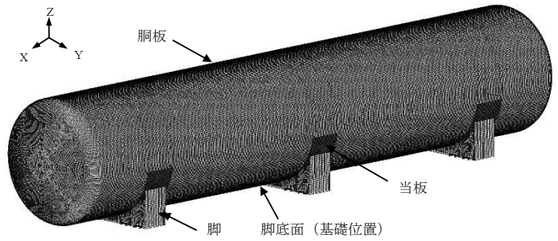
(2)　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンク

第 1－1 図　解析モデル（ディーゼル燃料デイタンク）

第 1－1 表　解析概要（ディーゼル燃料デイタンク）

項　目	内　容
適用部位	胴板（脚取付部）
解析コード	ＡＢＡＱＵＳ（Ver.6.5－4）
地震条件	別途実施する原子炉建物地震応答解析から得られる加速度を入力する。

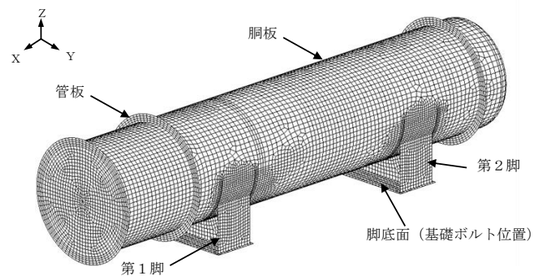
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第１－２図　解析モデル（Ａ，Ｈ－ディーゼル燃料貯蔵タンク）

第１－２表　解析概要（Ａ，Ｈ－ディーゼル燃料貯蔵タンク）

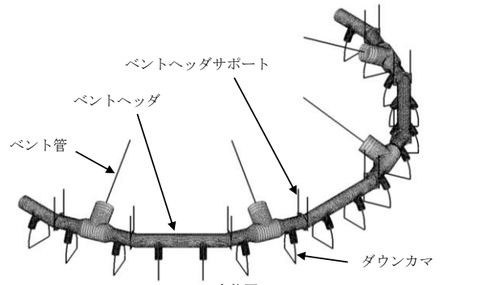
項　目	内　容
適用部位	胴板（脚取付部）
解析コード	ＡＢＡＱＵＳ（Ver.6.5－4）
地震条件	別途実施する排気筒基礎地震応答解析から得られる加速度を入力する。

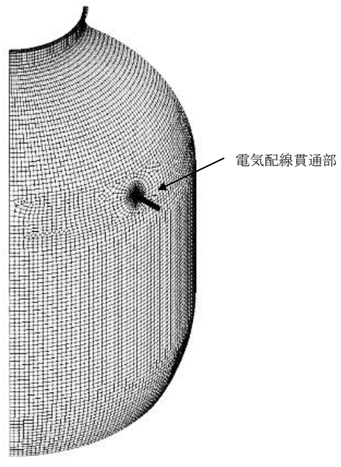


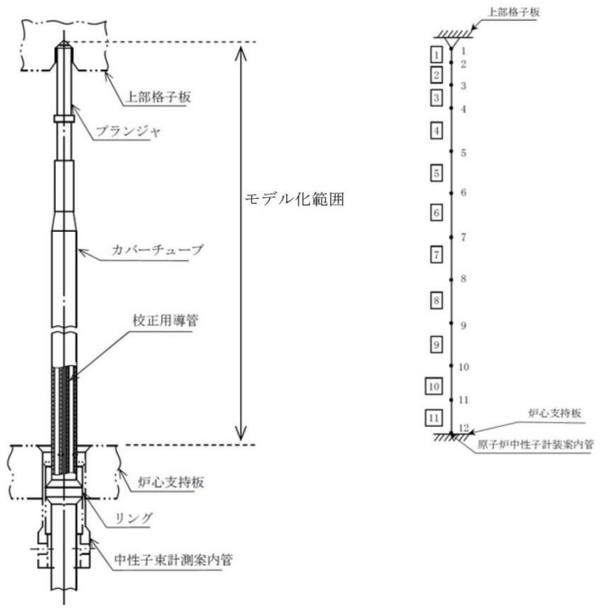
第１－３図　解析モデル（原子炉補機冷却系熱交換器）

第１－３表　解析概要（原子炉補機冷却系熱交換器）

項　目	内　容
適用部位	胴板（脚取付部）
解析コード	ＡＢＡＱＵＳ（Ver.6.5－4）
地震条件	別途実施する原子炉建物地震応答解析から得られる加速度を入力する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		2.　ベントヘッダ及びダウンカマへのＦＥＭモデルの適用 ベント系の評価において，公式等による計算では許容値を超える見込みであることから，精緻な評価を行うため，原子炉格納容器ベント管，ベントヘッダ，ダウンカマ，ベントヘッダサポート及びダウンカマサポートを模擬したＦＥＭモデルを適用する。 モデル化範囲は構造の対称性を考慮して 180° とし，形状不連続部であるベント管とベントヘッダの結合部，ベントヘッダとダウンカマの結合部及びベントヘッダの実機形状をシェル要素でモデル化し，ベント管，ダウンカマ，ベントヘッダサポート及びダウンカマサポートはビーム要素でモデル化する。 応答解析及び応力解析に用いる解析モデル図を第 2－1 図に示すとともに，第 2－1 表に解析概要を示す。  第 2－1 図　解析モデル（ベントヘッダ及びダウンカマ）	・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違

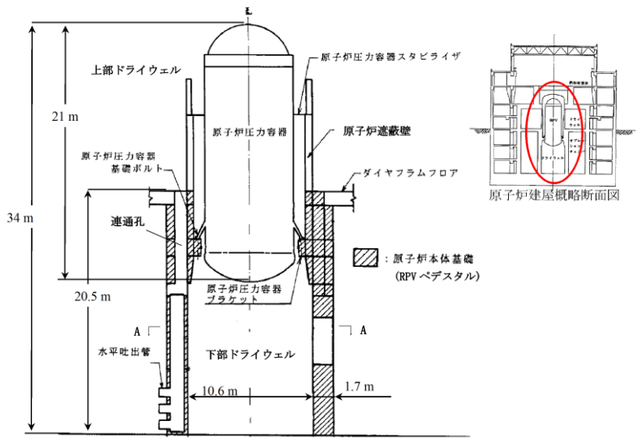
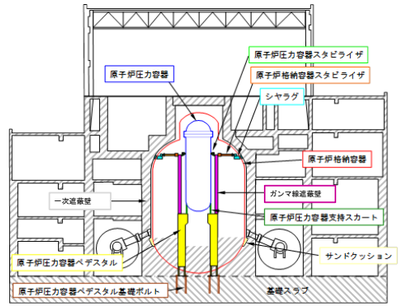
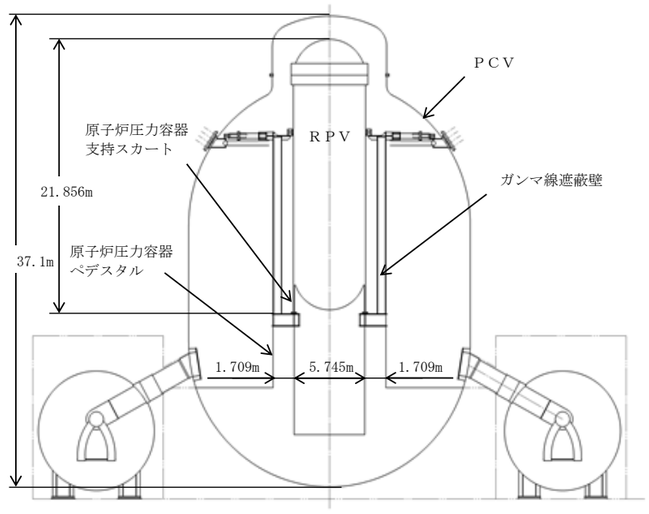
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 2－1 表　解析概要 項　目：内　容 適用部位：ベントヘッダ（ベント管結合部） ベントヘッダ強め輪取付部 ベントヘッダとダウンカマの結合部 解析コード：ＮＡＳＴＲＡＮ（Ver.2013） 地震条件：別途実施する原子炉建物－大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。 3.　原子炉格納容器電気配線貫通部へのＦＥＭモデルの適用 原子炉格納容器における電気配線貫通部の評価において，公式等による計算では許容値を超える見込みであることから，原子炉格納容器胴部とスリーブとの取付部を精緻に評価するため，実機形状をシェル要素により模擬したＦＥＭモデルを適用する。 モデル化範囲は，モデルの境界条件が応力評価点の応力に影響しない範囲とする。応力解析に用いる解析モデル図を第 3－1 図に示すとともに，第 3－1 表に解析概要を示す。  第 3－1 図　解析モデル（原子炉格納容器電気配線貫通部）	・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違

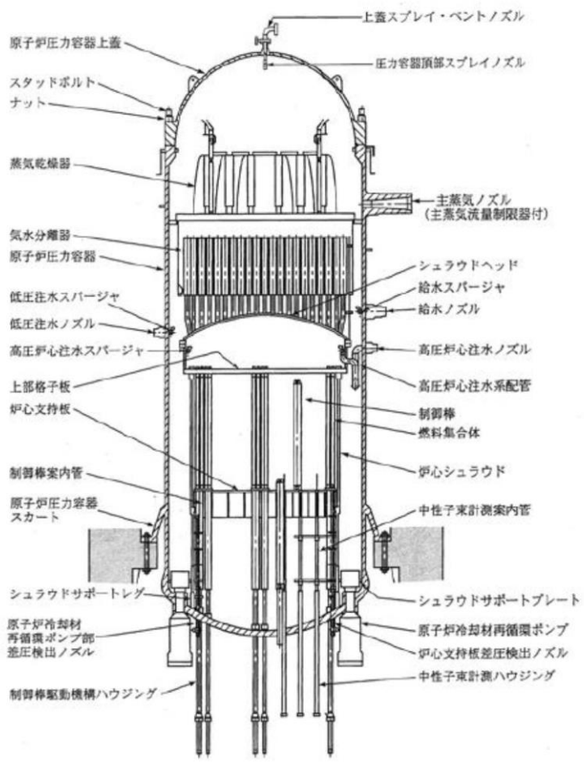
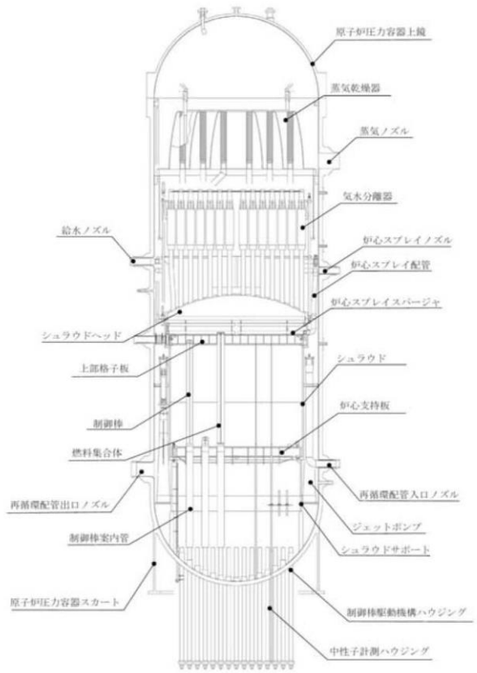
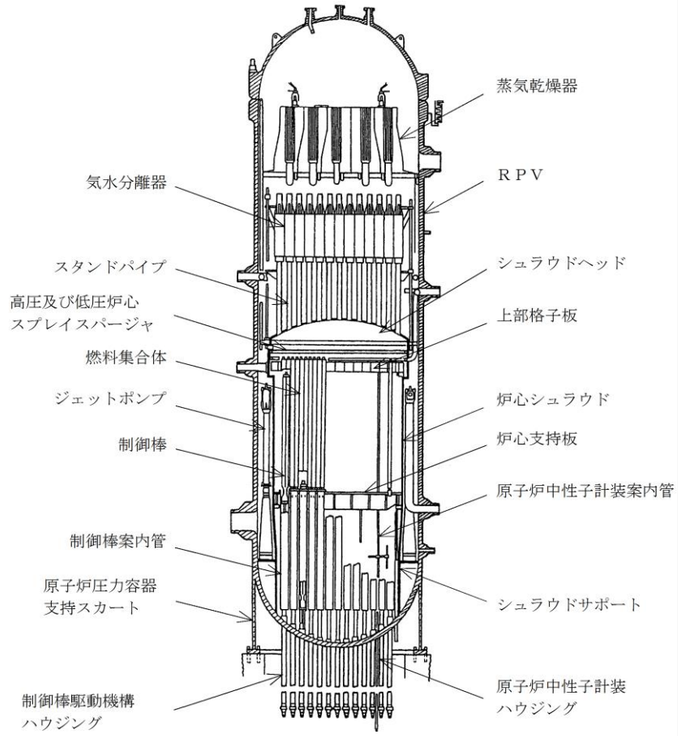
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 3－1 表　解析概要 項　目：内　容 適用部位：原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部（胴側） 解析コード：ＮＡＳＴＲＡＮ（Ver.2005） 地震条件：別途実施する原子炉建物－大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。	・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違
	2.　原子炉圧力容器内構造物への多質点モデルの適用 原子炉圧力容器内構造物であるジェットポンプ，炉心スプレイスパージャ及び出力領域計装検出器（ＬＰＲＭ）について，実機形状を質点とはり要素に置き換えた多質点モデルにて応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第 3-2 図に示すとともに第 3-3 表に解析概要を示す。  （構造概要図）　（解析モデル） 第 3-2 図　原子炉圧力容器内構造物の多質点モデル図 （出力領域計装検出器の多質点モデルの例）		・資料構成の相違 【東海第二】 島根２号炉における原子炉圧力容器内部構造物の解析モデルについては，既工認から多質点モデルであり，今回工認と既工認でモデルの変更はないため本資料には含まない（以下，②の相違）

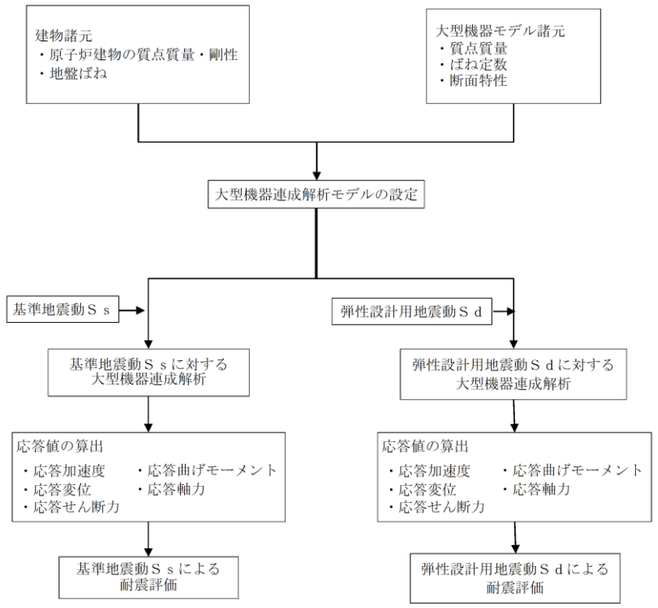
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 3-3 表　原子炉圧力容器内構造物解析概要 項目：適用部位 内容：ジェットポンプ*1 高圧炉心スプレイスパージャ*1 低圧炉心スプレイスパージャ*1 出力領域計装検出器*2 項目：解析コード 内容：NASTRAN（＊１に適用） SAP－Ⅳ（＊２に適用） 項目：地震条件 内容：別途実施する地震応答解析から得られる加速度を入力とする。		・資料構成の相違 【東海第二】 ②の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料５ 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの 1. 原子炉建屋－炉内構造物系連成 鉛直方向地震応答解析モデルの追加について 1.1 概 要 原子炉格納容器内の原子炉圧力容器等の大型機器は，一般機器や配管等に比べて質量が大きく，原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため，既工認において，原子炉圧力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物等含む），原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では，水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し，鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。 今回工認においては，耐震設計審査指針が改訂され，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水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては，鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため，従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。	添付資料７ 鉛直方向応答解析モデルの追加について 1.　概要 今回工認では，鉛直方向の地震動及び地震力に対して動的な取扱いが必要となるため，鉛直方向の応答に対して動的な取扱いが必要となる設備については，応答を適切に模擬できる解析モデルを適用したうえで評価を行う。 また，鉛直方向の応答解析モデルの代表例として，原子炉建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針を示す。 2.　原子炉建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針 原子炉格納容器内の原子炉圧力容器等の大型機器は，一般機器や配管等に比べて質量が大きく，原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため，既工認において，原子炉圧力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物含む），原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では，水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し，鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。 今回工認においては，新たに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水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては，鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため，従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。	添付資料－5 原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更について 1.　はじめに 原子炉建物内の原子炉格納容器（以下「ＰＣＶ」という。），原子炉圧力容器（以下「ＲＰＶ」という。）及びガンマ線遮蔽壁等の大型機器は，建物質量に対しその質量が比較的大きく，また，支持構造上からも建物との連成が無視できないため，原子炉建物との連成系で解析するためのモデル（以下「大型機器連成解析モデル」という。）を設定し，地震応答解析を行う。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，ＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザのばね定数の変更を含め，水平方向の大型機器連成解析モデルを変更することから，鉛直方向の大型機器連成解析モデルの追加と合わせて記載する（以下，①の差異）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1.2 地震応答解析モデルについて 原子炉建屋，原子炉圧力容器及び原子炉本体基礎の概略断面図を第１図，原子炉圧力容器内部構造物の構造図を第２図 に示す。 水平方向の解析モデルにおいては，原子炉圧力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎は第3図，第4図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され，更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。 鉛直方向モデルの解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第５図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。 なお，鉛直方向の地震応答解析モデルは，大間１号炉の建設工認において適用例がある。 2. その他機器・配管系の鉛直方向地震応答解析モデルについて その他機器・配管系の設備については，設備の構造上の特徴を踏まえ必要に応じて鉛直方向の地震応答解析モデルを作成する。	3. 地震応答解析モデルについて 原子炉建屋，原子炉格納容器の概略断面図を第 7-1 図，原子炉圧力容器内部構造物の構造図を第 7-2 図に示す。 水平方向の解析モデルにおいては，原子炉圧力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎は第 7-3 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子遮蔽壁と結ばれ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，さらにダイヤフラム・フロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。 鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第 7-4 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。	原子炉建物，ＰＣＶ，ＲＰＶ及びＲＰＶペデスタルの概略断面図を第1－1図に，ＲＰＶ内部構造物の構造図を第1－2図に示す。また，原子炉建物－大型機器連成解析に係る手順を第 1－3 図に示す。 原子炉本体及び炉内構造物の水平方向の地震応答解析モデルについて，既工認では建設工程の関係上，原子炉格納容器－原子炉圧力容器モデル（以下「ＰＣＶ－ＲＰＶモデル」という。）と原子炉圧力容器－炉内構造物モデル（以下「ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル」という。）の２種類のモデルを用いていたが，今回工認では，原子炉格納容器－原子炉圧力容器－炉内構造物モデル（以下「ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル」という。）を用いる。これに合わせて，原子炉圧力容器スタビライザ（以下「ＲＰＶスタビライザ」という。）及び原子炉格納容器スタビライザ（以下「ＰＣＶスタビライザ」という。）のばね定数算出方法について，最新の工認実績を踏まえた算出方法に変更する。本手法は，他プラントを含む既工認あるいは新規制工認において適用実績がある手法である。 また，鉛直方向に動的地震力が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向の応答を適切に評価する観点で，水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向の地震応答解析モデル（ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル）を新たに採用し，鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは，他プラントを含む既工認あるいは新規制工認において適用実績がある手法である。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ①の相違 ・島根２号炉における「2.2　鉛直方向の大型機器連成モデルの概要」と対応 ・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉では，鉛直方向の大型機器連成解析モデルの追加について説明する。その他の機器・配管系についても設備の構造上の特徴を踏まえて必要に応じて鉛直方向の地震応答解析モデル作成する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 原子炉建屋概略断面図 第 1 図 原子炉圧力容器及び原子炉本体の基礎 概略断面図	 第 7-1 図　原子炉建屋，原子炉格納容器　概略断面図	 原子炉建物概略断面図  第 1－1 図　ＰＣＶ，ＲＰＶ及びＲＰＶペデスタル概略断面図	・構造・仕様の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 2 図 原子炉圧力容器内部構造物 構造図	 第 7-2 図　原子炉圧力容器内部構造物　構造図	 第 1－2 図　ＲＰＶ内部構造物構造図	・構造・仕様の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第１－３図　原子炉建物－大型機器連成解析の手順	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，水平方向の大型機器連成解析モデルを変更の説明にあたり，モデル設定から各機器・配管系までの評価手順を記載する

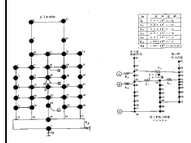
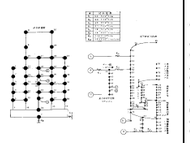
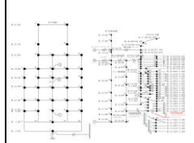
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		2.　水平及び鉛直方向における大型機器連成解析モデル 2.1　水平方向の大型機器連成解析モデルの概要及び既工認からの変更 水平方向の大型機器連成解析モデルを第2.1－1図及び第2.1-2図に示す。水平方向の大型機器連成解析モデルは，ＰＣＶ，ＲＰＶ，ガンマ線遮蔽壁，ＲＰＶペデスタルをモデル化し，ＲＰＶ内の燃料集合体，制御棒案内管，制御棒駆動機構ハウジング，気水分離器，スタンドパイプ及び炉心シュラウドについてもモデル化する。これらをシュラウドサポートと等価な回転ばねを介してＲＰＶと結合する。ＰＣＶはシヤラグ及びウェルシールベローズと等価なばねにより原子炉建物と結合され，下端は原子炉建物と剛に結合される。ＲＰＶは，ＲＰＶスタビライザと等価なばねによりガンマ線遮蔽壁上端と結合され，ガンマ線遮蔽壁はＰＣＶスタビライザと等価なばねによりＰＣＶに結合される。また，ＲＰＶは燃料交換ベローズと等価なばねによりＰＣＶ に直接結合される。ＲＰＶの下端は，ＲＰＶペデスタル上端に剛に結合されており，ＲＰＶペデスタルは，その下端において原子炉建物と剛に結合される。また，制御棒駆動機構ハウジングは制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームによりＲＰＶペデスタルと結合される。 建設工認において，原子炉建物－大型機器連成解析モデルを用いた水平方向の地震応答解析は，工認申請の進捗に合わせて，ＰＣＶ－ＲＰＶモデル，ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルの２種類の応答解析モデルを用いて実施していた。しかし，今回工認では建設工認のように設計進捗に応じたモデルの使い分けの必要がないこと及び実機に合わせて構造体をモデル化できることから，ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルに ＰＣＶを追加したＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルを水平方向の大型機器連成解析モデルとする。建設工認及び今回工認の原子炉建物－大型機器連成解析モデルを第 2.1－1 表に示す。今回工認で用いるＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルの質点位置，質量，断面特性は，既工認のＰＣＶ－ＲＰＶモデル（炉内構造物はＲＰＶの付加質量として考慮）及びＲＰＶ－Ｒｉｎモデル（ＰＣＶは原子炉建物の付加質量として考慮）と同等であるため，ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルを採用することによる地震応答への影響は十分小さい。なお，水平方向の大型機器連成解析モデルとしてのＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルの適用は，東海第二の新規制工認において適用実績がある。 大型機器連成解析モデルを設定する場合には，既工認のモデル	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 本項 2.1 では，水平方向の大型機器連成解析モデルの変更について記載する

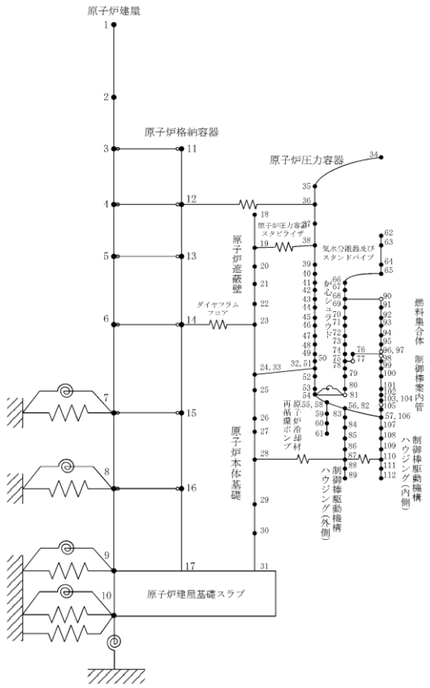
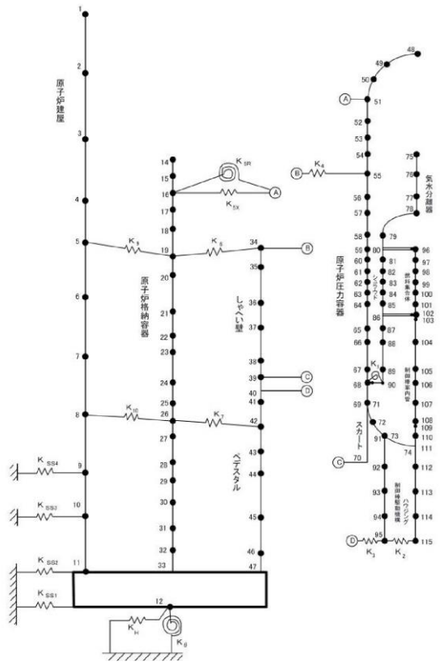
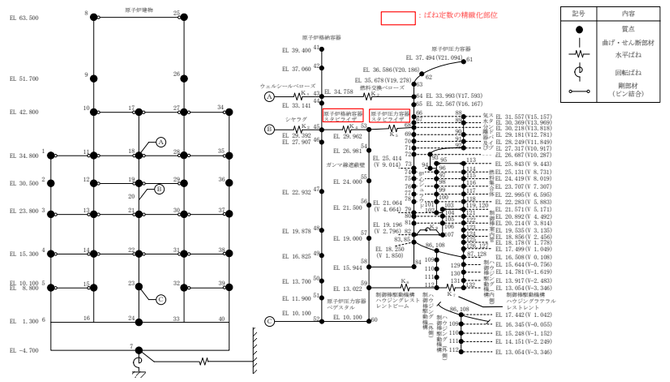
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

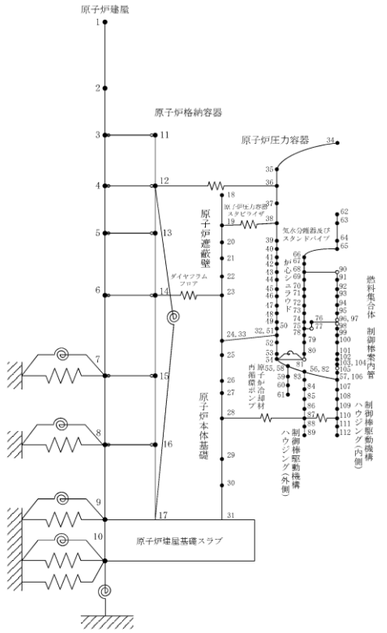
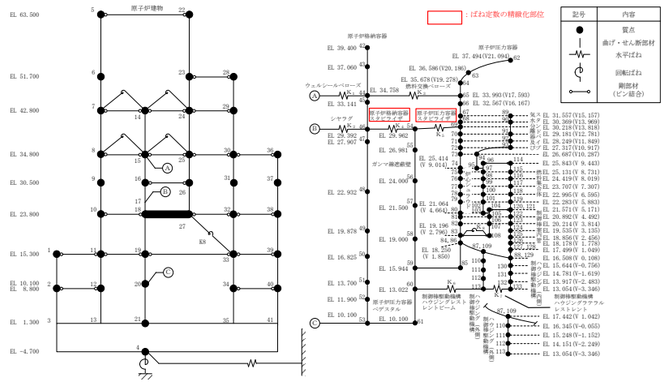
諸元を適用することを基本とするが，解析モデルを最新化するため先行プラントにおいて適用実績のあるモデル化手法を参照し，今回工認では，ＲＰＶスタビライザ及びＰＣＶスタビライザのばね定数を精緻化する。

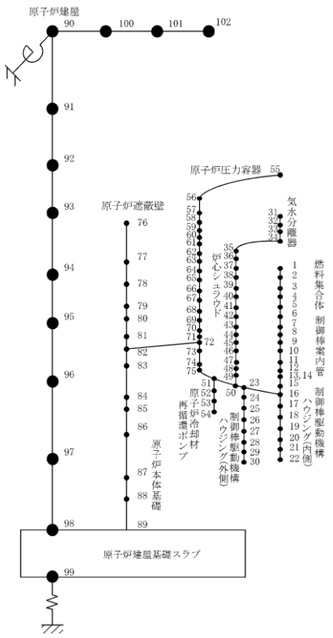
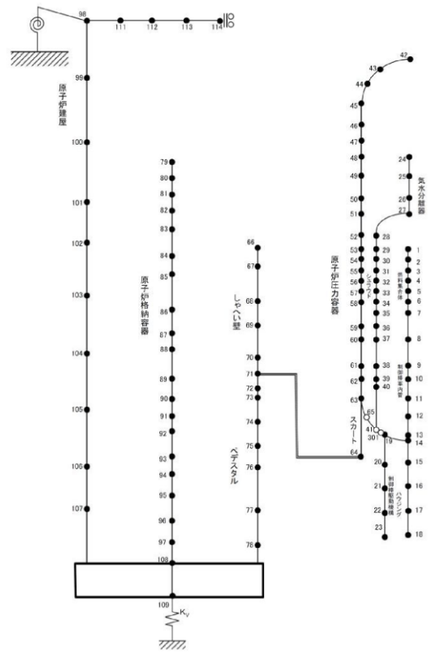
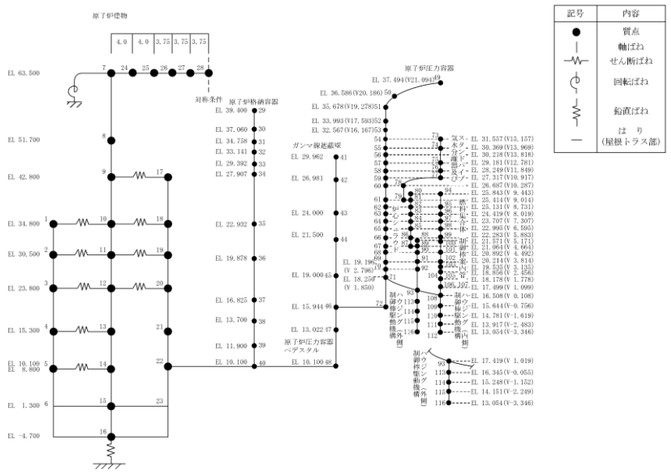
なお，今回工認においてＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル（スタビライザのばね定数変更を含む）を適用するにあたり，機器・配管系への影響を検討し，地震応答への影響が十分小さいことを確認した。（参考資料５－1）

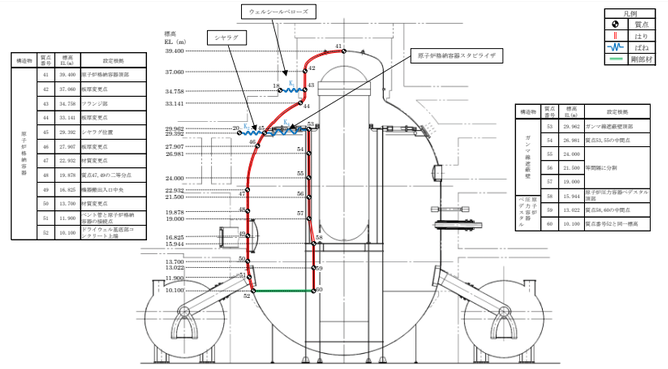
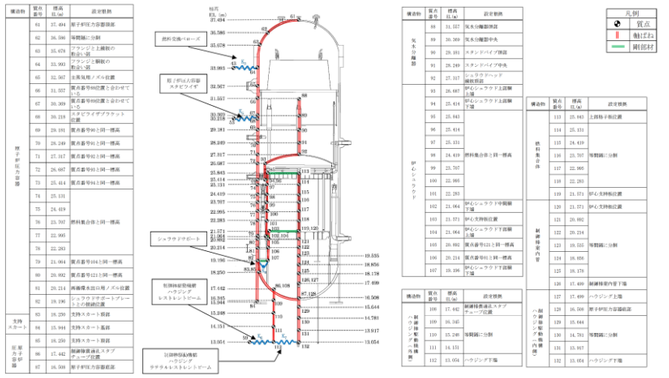
第 2.1－1 表　建設工認及び今回工認における原子炉建物－大型機器連成解析モデル

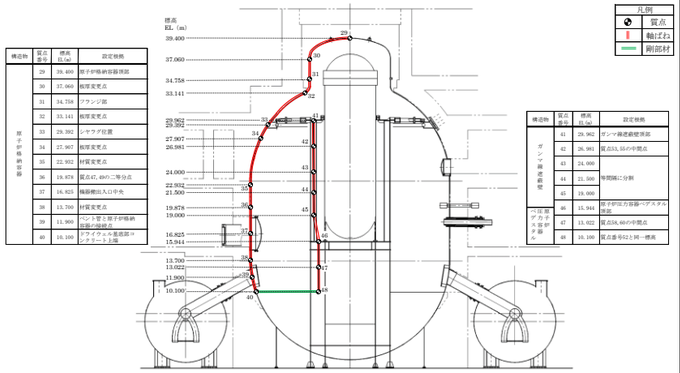
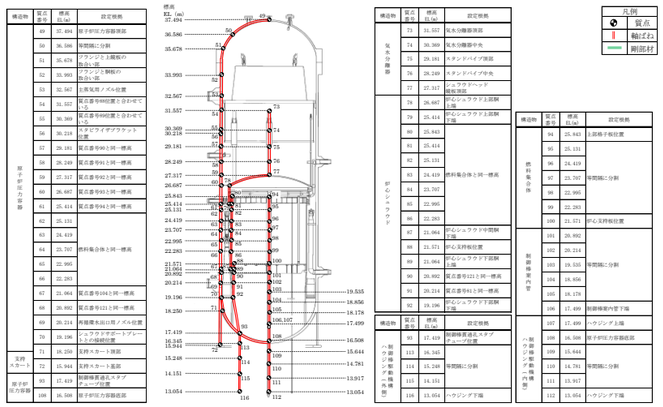
	建設工認		今回工認
	ＰＣＶ－ＲＰＶモデル	ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル	ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル
モデル化範囲	・原子炉建物 ・ＰＣＶ ・ガンマ線遮蔽壁 ・ＲＰＶペデスタル ・ＲＰＶ（炉内構造物を付加質量として考慮）	・原子炉建物（ＰＣＶを付加質量として考慮） ・ガンマ線遮蔽壁 ・ＲＰＶペデスタル ・ＲＰＶ ・炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管） ・制御棒駆動機構ハウジング	・原子炉建物 ・ＰＣＶ ・ガンマ線遮蔽壁 ・ＲＰＶペデスタル ・ＲＰＶ ・炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管） ・制御棒駆動機構ハウジング
解析モデル図（ＮＳ方向）			

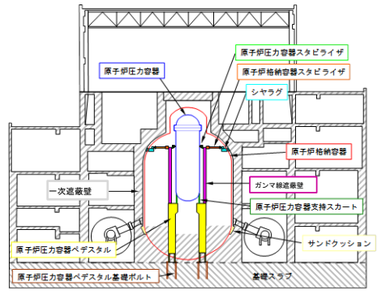
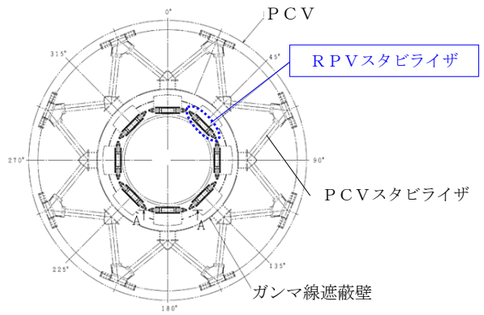
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向(NS)）（7 号炉の例）	 第 7-3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向）	 第 2.1-1 図　大型機器連成系応答解析モデル（ＮＳ方向）	

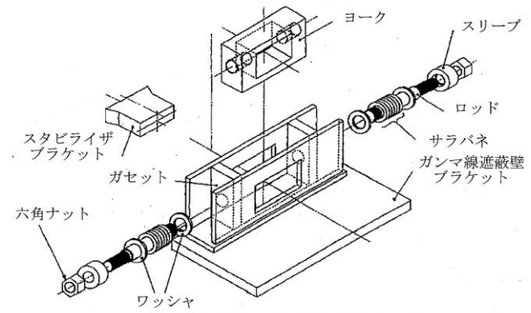
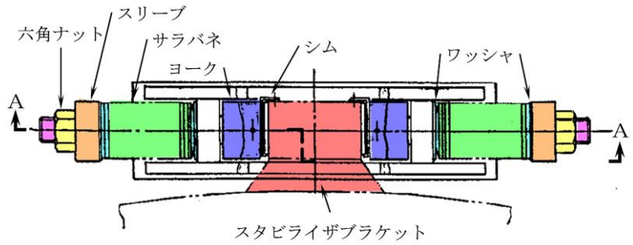
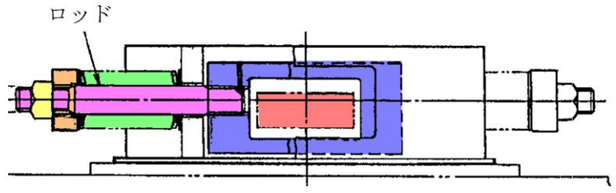
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第4 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向(EW)）（7 号炉の例）		 第 2.1-2 図　大型機器連成系応答解析モデル（ＥＷ方向）	
		2.2　鉛直方向の大型機器連成解析モデルの概要 既工認では，鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していたが，今回工認においては，新たに鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから，鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の大型機器連成解析モデルを第 2.2－1 図に示す。鉛直方向の大型機器連成解析モデルについては，鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため，水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成し，水平方向と同様のＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルとする。ＰＣＶの下端は，原子炉建物と剛に結合される。ＲＰＶ支持スカートの下端は，ＲＰＶペデスタルの上端に剛に結合されており，ＲＰＶペデスタルの下端は，原子炉建物と剛に結合される。 なお，鉛直方向の大型機器連成解析モデルは，大間１号炉の建設工認及び東海第二の新規制工認において適用実績がある。	・柏崎 6／7 号炉における「1.1 概要」及び「1.2 地震応答解析モデルについて」並びに東海第二における「2.原子炉建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針」及び「3.地震応答解析モデルについて」と対応

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第5 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）（7 号炉の例）	 第 7-4 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）	 第 2.2－1 図　大型機器連成系地震応答解析モデル（鉛直方向） 3.　質点位置の設定 大型機器連成解析モデルの質点位置は，各構造物の地震応答を把握できるように，モデル化する各構造物の形状を踏まえて設定する。ＰＣＶ，ガンマ線遮蔽壁及びＲＰＶペデスタルの質点位置を第 3-1 図(1)及び第 3-2 図(1)に，ＲＰＶ，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等の質点位置を第 3-1 図(2) 及び第 3-2 図(2)に示す。炉内構造物の質点位置は，その振動性状を適切に評価出来るように配慮する他，部材の剛性の変化する点，構造的に不連続な点，応力評価点等を考慮して定める。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，水平方向の大型機器連成解析モデルの変更を説明するため，モデル質点位置の詳細を記載する（以下，②の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 3-1 図　水平方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定 (1) ＰＣＶ，ガンマ線遮蔽壁及びＲＰＶペデスタル	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ②の相違
		 第 3-1 図　水平方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定 (2) ＲＰＶ，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ②の相違

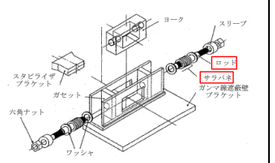
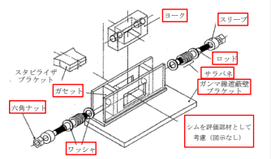
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 3-2 図　鉛直方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定 (1) ＰＣＶ，ガンマ線遮蔽壁及びＲＰＶペデスタル  第 3-2 図　鉛直方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定 (2) ＲＰＶ，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ②の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.　構造物間ばね定数の設定（既工認から変更ある部位） 4.1　ＲＰＶスタビライザ 4.1.1　ＲＰＶスタビライザの構造 ＲＰＶスタビライザは，ガンマ線遮蔽壁頂部に円周状に８箇所設置され，ＲＰＶ付属構造物であるスタビライザブラケットをあらかじめ初期締付荷重を与えたサラバネを介して両側から挟み込む構造であり，サラバネを介して地震時の水平方向荷重をガンマ線遮蔽壁へ伝達させる機能を有する。ＲＰＶスタビライザの概略図を第 4.1.1－1 図に，構造図を第 4.1.1－2 図に示す。  原子炉建物全体模式図  ＰＣＶ平面図 第 4.1.1－1 図　ＲＰＶスタビライザ概略図	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 本項 4.1 では，ＲＰＶスタビライザのばね定数について，既工認からの変更を踏まえ，ばね定数算出方法を記載する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ＲＰＶスタビライザ分解図  ＲＰＶスタビライザ平面図  断面Ａ－Ａ 第 4.1.1－2 図　ＲＰＶスタビライザ構造図 4.1.2　既工認と今回工認での変更点 ＲＰＶスタビライザのばね定数について，既工認からの変更点を第 4.1.2－1 表に示す。既工認では，ＲＰＶスタビライザの剛性に大きく寄与するロッド，サラバネのみ剛性を考慮しているが，今回工認ではガンマ線遮蔽壁ブラケット，スリーブ等の剛性を追加で考慮する。 なお，上記ばね定数算出方法は大間１号炉建設工認，島根３号炉建設工認及び東海第二の新規制工認において適用実績がある。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4.1.2－1表　ＲＰＶスタビライザばね定数の変更点

	既工認	今回工認
計算方法	理論式による （各部材の剛性を直列ばねとして合成）	同左
評価部材 （赤枠部）		
ばね定数	9.6×10^{6}[kN/m]	6.8×10^{6}[kN/m]

4.1.3　既工認におけるばね定数算出方法

既工認では，サラバネ及びロッドを主たる支持部材と考え，第4.1.3－1図に示すようなばね定数算出モデルを設定している。

サラバネ（K_S）及びロッド（K_R）について，ＲＰＶスタビライザ１基の片側分のばね定数（K_{1half}）を直列ばねで定義して以下となる。

$$K_{1half}=\frac{K_S\cdot K_R}{K_S+K_R}$$

ＲＰＶスタビライザ１基の両側分のばね定数（K_1）を片側分のばね定数（K_{1half}）の並列ばねで定義して以下となる。

$$K_1=K_{1half}+K_{1half}=\frac{2\cdot K_S\cdot K_R}{K_S+K_R}$$

ＲＰＶスタビライザ８基分の全体でのばね定数（K）を荷重－変位の関係から算出する。第4.1.3－2図のとおりＲＰＶスタビライザに強制変位ｘを負荷した場合に強制変位と同じ方向に生じる全体荷重Wを算出する。

90°及び270°の位置に設置されたＲＰＶスタビライザに生じる荷重をW_1，45°，135°，225°及び315°の位置に設置されたＲＰＶスタビライザに生じる荷重をW_2'とし，荷重W_2'の強制変位ｘと同じ方向の分力をW_2とする。

強制変位ｘを負荷したときの45°，135°，225°及び315°の位置に設置されたＲＰＶスタビライザに生じる接線方向の変位は$x\cdot\cos\alpha$であることから，荷重W_2'は以下のとおりとなる。

$$W_2'=K_1\cdot x\cdot\cos\alpha$$

第4.1.3－2図内の拡大図の関係から強制変位ｘと同じ方向の分力W_2は以下のとおりとなる。

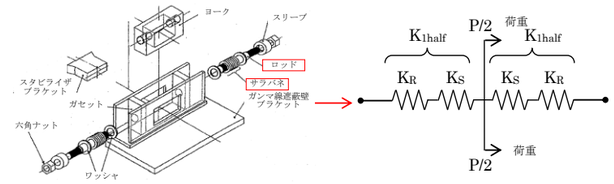
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

$$W_2 = W_2' \cos\alpha = K_1 \cdot x \cdot \cos^2\alpha$$

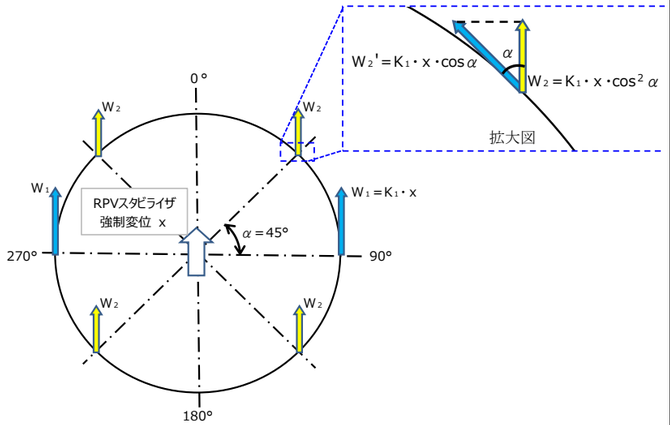
従って，ＲＰＶスタビライザ全体のばね定数（Ｋ）は以下のとおりとなる。

$$W = 2 \cdot W_1 + 4 \cdot W_2 = 2 \cdot (K_1 \cdot x) + 4 \cdot (K_1 \cdot x \cdot \cos^2\alpha) = 4 \cdot K_1 \cdot x$$

$$K = \frac{W}{x} = 4K_1 = 4 \cdot \frac{2 \cdot K_S \cdot K_R}{K_S + K_R} = \frac{8 \cdot K_S \cdot K_R}{K_S + K_R}$$

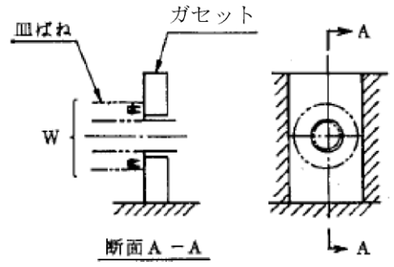


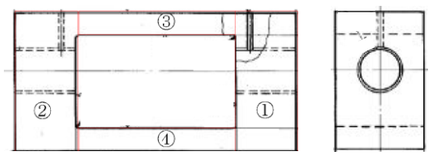
第 4.1.3－1 図　既工認におけるばね定数算出モデル

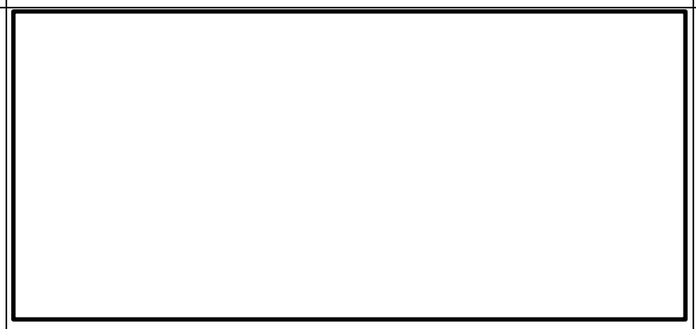


第 4.1.3－2 図　水平荷重の分配

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.1.4　今回工認におけるばね定数算出方法 (1)　ＲＰＶスタビライザのばね定数算出方法 今回工認においては，サラバネ及びロッドの他にＲＰＶからの外力の支持に寄与する部材を評価対象範囲に追加する。今回工認におけるばね定数算出モデルを第 4.1.4－4 図に示す。サラバネ（K_S）及びロッド（K_R）に加え，ガセット（K_G），ヨーク（引張方向K_{YT}，圧縮方向K_{YC}），スリーブ（K_{SL}），六角ナット（K_H），ワッシャ（K_W）について，ＲＰＶスタビライザ１基の片側分のばね定数（K_{1half}）を直列ばねで定義して以下のように表す。(2)にて各評価部材のばね定数の算出方法を示し，算出結果を第 4.1.4－1 表に示す。なお，縦弾性係数は「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む））（以下「JSME2005／2007 年版」という。）の値を用いる。 $K_{1half(T)}=\frac{1}{\frac{1}{K_H}+\frac{1}{K_{SL}}+\frac{1}{K_W}+\frac{1}{K_S}+\frac{1}{K_R}+\frac{1}{K_G}+\frac{1}{K_{YT}}}$（引張側） $K_{1half(C)}=\frac{1}{\frac{1}{K_H}+\frac{1}{K_{SL}}+\frac{1}{K_W}+\frac{1}{K_S}+\frac{1}{K_R}+\frac{1}{K_G}+\frac{1}{K_{YC}}}$（圧縮側） また，ＲＰＶスタビライザ１基の両側分のばね定数（K_1）を片側分のばね定数の並列ばね及びガンマ線遮蔽壁ブラケット（K_B），シム（K_{SM}）の直列ばねで定義して以下のように表す。 $K_1=\frac{1}{\frac{1}{K_{1half(T)}+K_{1half(C)}}+\frac{1}{K_B}+\frac{1}{K_{SM}}}$ ８基分全体でのばね定数は次式のように表される。 $K=4K_1=\frac{4}{\frac{1}{K_{1half(T)}+K_{1half(C)}}+\frac{1}{K_B}+\frac{1}{K_{SM}}}$ ここで， K　：ＲＰＶスタビライザ８基分のばね定数 K_1　：ＲＰＶスタビライザ１基分のばね定数 K_{1half}：ＲＰＶスタビライザ１基分（片側分）のばね定数 K_S　：サラバネのばね定数 K_R　：ロッドのばね定数 K_G　：ガセットのばね定数 K_{YT}　：ヨークのばね定数（引張方向） K_{YC}　：ヨークのばね定数（圧縮方向） K_{SL}　：スリーブのばね定数	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		K_H　：六角ナットのばね定数 K_W　：ワッシャのばね定数 K_B　：ガンマ線遮蔽壁ブラケットのばね定数 K_{SM}　：シムのばね定数 である。 (2)　評価部材のばね定数算出方法 ａ．サラバネ メーカ試験結果よりサラバネ一枚あたりのばね定数は，[　　]kg/mm]である。 ＲＰＶスタビライザの片側にサラバネは並列ばねになるように[　]枚重ねているので，片側全体のばね定数はこれらの積で算出する。 ｂ．ロッド ロッドの軸方向ばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_R = \dfrac{E}{\dfrac{L_{R1}}{A_{R1}} + \dfrac{L_{R2}}{A_{R2}}}$ ここで， A_{R1}：丸棒部断面積 A_{R2}：ねじ部断面積 L_{R1}：丸棒部長さ L_{R2}：丸棒部先端～スリーブの六角ナット側端面の距離 Ｅ：縦弾性係数 ｃ．ガセット ガセットは，第 4.1.4－1 図に示す計算モデルを用いてＦＥＭ解析による荷重－変位関係から算出する。  第 4.1.4－1 図　ガセットの構造	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		d．ヨーク ヨークのばね定数は，第 4.1.4－2 図のとおり分割した①～④のそれぞれのばね定数を計算し，直列ばねとして引張ばね定数（K_{YT}）と圧縮ばね定数（K_{YC}）を算出する。  第 4.1.4－2 図　ヨークのばね定数算出のための計算モデル分割 i）引張 ヨークの引張によるばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $$K_{YT}=\frac{1}{\frac{1}{K_{YS1}}+\frac{1}{K_{YTE}}+\frac{2}{K_{YB}}+\frac{2}{K_{YS2}}}$$ ここで， K_{YS1}：①及び②のねじ部のせん断によるばね定数 $(=\frac{A_{YS1}\cdot G_Y}{R_Y})$ A_{YS2}：①及び②のねじ穴側面積 R_Y：ねじ穴半径 G_Y：せん断弾性係数 K_{YTE}：③及び④の引張りによるばね定数 $(=\frac{A_{YTE}\cdot E}{L_{YTE}})$ A_{YTE}：③及び④の断面積 L_{YTE}：③及び④の長さ K_{YB}：①及び②の曲げによるばね定数 [redacted] Ｉ：断面二次モーメント Ｅ：縦弾性係数 以下は，第 4.1.4－3 図を参照。 [redacted]	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 K_{YS2}：①及び②の板部のせん断によるばね定数  t_Y：①及び②の板部の長さ G_Y：せん断弾性係数 Ｉ：断面二次モーメント  第 4.1.4－3 図　①及び②の曲げによるばね定数計算モデル ii）圧縮 ヨークの圧縮によるばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_{YC}=K_{YS1}$ ｅ．スリーブ スリーブの軸方向ばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_{SL}=\dfrac{E}{\dfrac{L_{SL1}}{A_{SL1}}+\dfrac{L_{SL2}}{A_{SL2}}}$ ここで，	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		A_{SL1}：座繰り穴側断面積 A_{SL2}：貫通穴側断面積 L_{SL1}：座繰り穴深さ L_{SL2}：貫通穴深さ Ｅ：縦弾性係数 ｆ．六角ナット 六角ナットのせん断によるばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_H = \frac{A_H \cdot G_H}{R_H}$ ここで， A_H：ねじ穴側面積 R_H：穴の半径 G_H：せん断弾性係数 ｇ．ワッシャ ワッシャの軸方向ばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_W = \frac{A_W \cdot E}{L_W}$ ここで， A_W：断面積 L_W：板厚 Ｅ：縦弾性係数 ｈ．ガンマ線遮蔽壁ブラケット ガンマ線遮蔽壁ブラケットによるばね定数は，以下の式に基づき算出する。 $K_B = \frac{A_B \cdot G_B}{L_B}$ ここで， A_B：断面積 L_B：ガンマ線遮蔽壁～ＲＰＶスタビライザ端部の距離 G_B：せん断弾性係数 ｉ．シム	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

シムの軸方向ばね定数は，以下の式に基づき算出する。

$$K_{SM}=\frac{A_{SM}\cdot E}{t_{SM}}$$

ここで，

A_{SM}：断面積

t_{SM}：厚さ

Ｅ：縦弾性係数

(3)　ＲＰＶスタビライザのばね定数算出結果

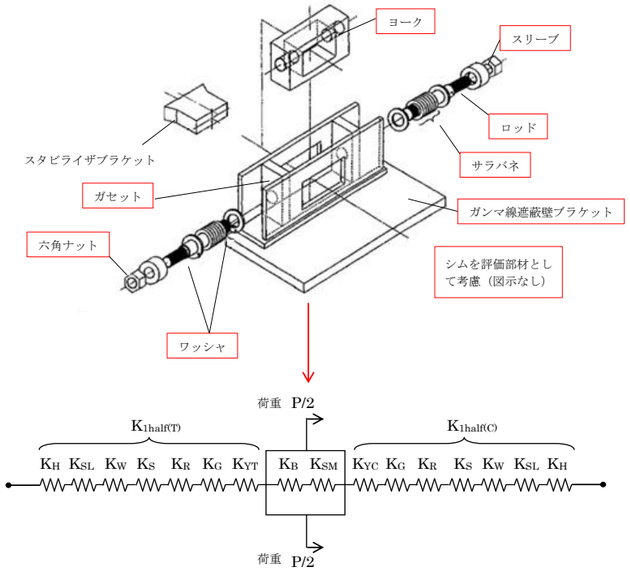
(2)で算出した各部材のばね定数並びに(1)で算出したＲＰＶスタビライザ１基及び全体のばね定数の算出結果を下表に示す。

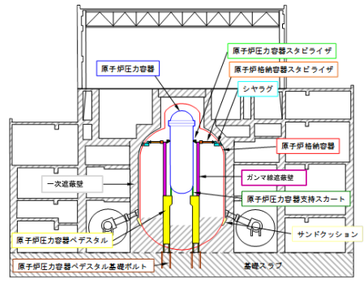
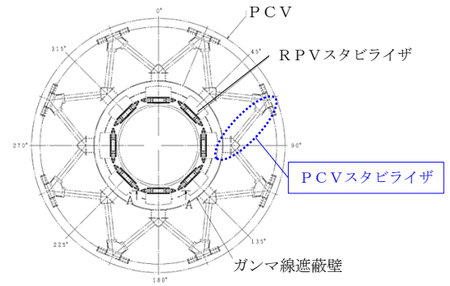
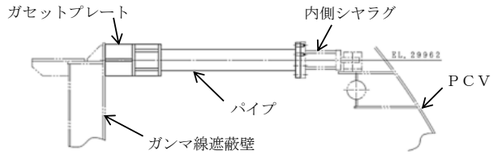
第 4.1.4－1 表　各部材のばね定数

［単位：kN/m］

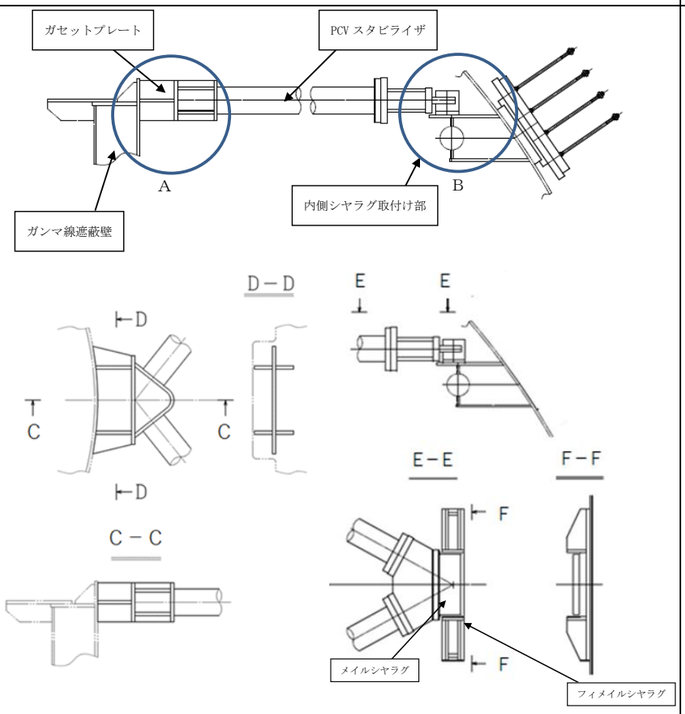
ＲＰＶスタビライザの部材	既工認	今回工認
サラバネ（K_S）	2.3×10^{6}	同左
ロッド（K_R）	3.7×10^{6}	3.3×10^{6}
ガセット（K_G）	－	3.3×10^{7}
ヨークのばね定数（引張方向）（K_{YT}）	－	4.3×10^{6}
ヨークのばね定数（圧縮方向）（K_{YC}）	－	6.7×10^{7}
スリーブのばね定数（K_{SL}）	－	7.1×10^{7}
六角ナットのばね定数（K_H）	－	4.0×10^{7}
ワッシャのばね定数（K_W）	－	5.8×10^{8}
ガンマ線遮蔽壁ブラケット（K_B）	－	8.8×10^{6}
シムのばね定数（K_{SM}）	－	2.8×10^{8}
ＲＰＶスタビライザ１基分のばね定数	2.4×10^{6}	1.7×10^{6}
ＲＰＶスタビライザ全体のばね定数	9.6×10^{6}	6.8×10^{6}

前述の計算結果に基づき，ＲＰＶスタビライザのばね定数を6.8×10^{6}［kN/m］と設定する。なお，既工認と比べて今回工認のばね定数が小さくなっているが，今回工認ではガセット，ヨーク，スリーブ，六角ナット，ワッシャ，ガンマ線遮蔽壁ブラケット，シムの剛性を考慮して，直列ばね成分が増えたことにより全体のばね定数が低下した。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4.1.4－4 図　今回工認におけるばね定数算出モデル 4.2　ＰＣＶスタビライザ 4.2.1　ＰＣＶスタビライザの構造 ＰＣＶスタビライザはガンマ線遮蔽壁外側上部に溶接で固定されたトラス状の構造物であり，多角形配置のシヤラグを介してガンマ線遮蔽壁に作用する水平地震荷重をＰＣＶに伝達する機能を有する。ＰＣＶスタビライザの概略図を第 4.2.1－1 図に示す。ＰＣＶスタビライザの構成部材としては，円筒形状のパイプ，ガンマ線遮蔽壁との取り合い部であるガセットプレート，ＰＣＶとの取り合い部である内側シヤラグからなる。ガセットプレートとガンマ線遮蔽壁の取付け部及び内側シヤラグの構造を第 4.2.1－2 図に示す。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 本項 4.2 では，ＰＣＶスタビライザのばね定数について，既工認からの変更を踏まえ，ばね定数算出方法を記載する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 原子炉建物全体模式図  ＰＣＶ平面図  ＰＣＶスタビライザ構造図 第 4.2.1－1 図　ＰＣＶスタビライザ概略図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



ガセットプレート拡大図（Ａ部）　　内側シヤラグ取付部拡大図（Ｂ部）

第 4.2.1－2 図　ガセットプレートとガンマ線遮蔽壁の取付け部及び内側シヤラグ構造

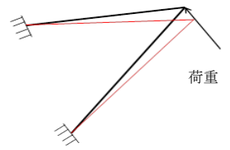
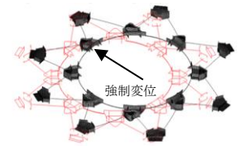
4.2.2　既工認と今回工認での変更点

ＰＣＶスタビライザばね定数について，既工認からの変更点を第 4.2.2－1 表に示す。既工認では，ＰＣＶスタビライザの剛性に最も大きく寄与するパイプをモデル化対象として，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る。今回工認では，取り合い部であるガセットプレート及び内側シヤラグについてもモデル化対象に含め，最新の許認可手法に合わせて全体系モデルによるＦＥＭ解析を適用し，より実現象に即したばね定数を算定する。

全体系モデルによるＦＥＭ解析手法は，東海第二の新規制工認にてＰＣＶスタビライザのばね定数算出にて適用実績があり，また，大間１号炉建設工認にて同様な多角形配置の構造物である制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームのばね定数算出にて適用実績がある。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

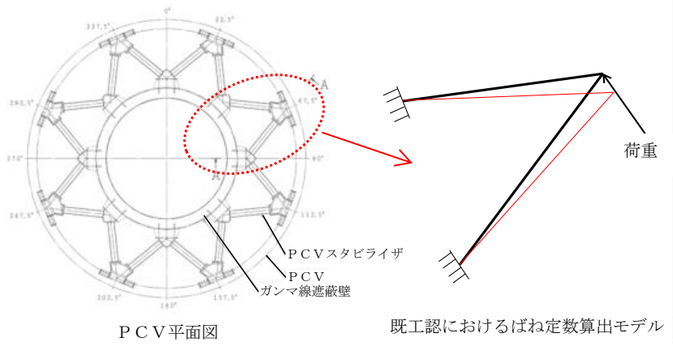
第 4.2.2－1 表　ＰＣＶスタビライザの変更点

	既工認	今回工認
計算方法	手計算 （１対のトラス（パイプ２本）の荷重－変位関係により算出）	ＦＥＭ解析 （固定部のガセットプレート及び内側シヤラグをモデル化した全体モデルの荷重－変位関係により算出）
評価モデル		
ばね定数	5.3×10^{6}(kN/m)	3.5×10^{6}(kN/m)

4.2.3　既工認におけるばね定数算出方法

4.2.3.1　計算モデルの範囲

既工認におけるばね定数算出のモデル化範囲を第 4.2.3.1－1 図に示す。ＰＣＶスタビライザのうち，１対のトラス（パイプ２本）についてモデル化し，パイプの断面剛性を設定したトラスでの荷重－変位関係からばね定数を算出する。



第 4.2.3.1－1 図　既工認におけるばね定数算出のモデル化範囲

4.2.3.2　算出方法

既工認におけるばね定数算出モデルを第 4.2.3.2－1 図に示す。１対のトラス（パイプ２本）において，水平方向荷重による変位量 δ が生じた際の荷重及び変位の算出式は以下となる。

$$\delta 1 = \delta \sin\theta$$

$$F = \sigma \cdot A = E \cdot \frac{\delta 1}{L} \cdot A$$

$$W = 2 \cdot F \cdot \sin\theta$$

ここで，

δ　：トラスの荷重方向の変位

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

δ１：トラスの長さ方向の変位
θ　：パイプ角度
Ｗ　：１対のトラスに生じる荷重
Ｆ　：パイプに生じる荷重
Ｅ　：縦弾性係数
Ｌ　：パイプの長さ
Ａ　：パイプの断面積

上記の式より，１対のトラス（パイプ２本）における荷重－変位関係の式は以下となる。

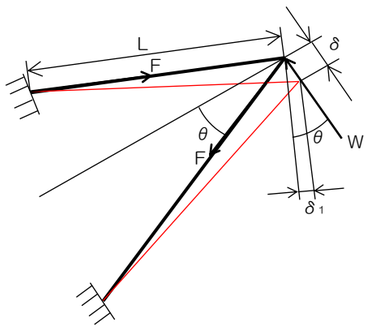
$$W=2\cdot E\cdot\frac{\delta 1}{L}\cdot A\cdot \sin\theta=2\cdot\frac{EA}{L}\cdot \sin^2\theta\cdot\delta$$

よって，１対のトラス（パイプ２本）におけるばね定数（K_1）は以下となる。

$$K_1=\frac{W}{\delta}=2\cdot\frac{EA}{L}\cdot \sin^2\theta$$

以上より，ＰＣＶスタビライザ全体でのばね定数（K）は以下となる。

$$K=4K_1=4\cdot 2\cdot\frac{EA}{L}\cdot \sin^2\theta=8\cdot\frac{EA}{L}\cdot \sin^2\theta$$



δ　：トラスの荷重方向の変位
δ１：トラスの長さ方向の変位
θ　：パイプ角度
Ｗ　：１対のトラスに生じる荷重
Ｆ　：パイプに生じる荷重
Ｅ　：縦弾性係数
Ｌ　：パイプの長さ
Ａ　：パイプの断面積

第 4.2.3.2－1 図　既工認におけるばね定数算出モデル

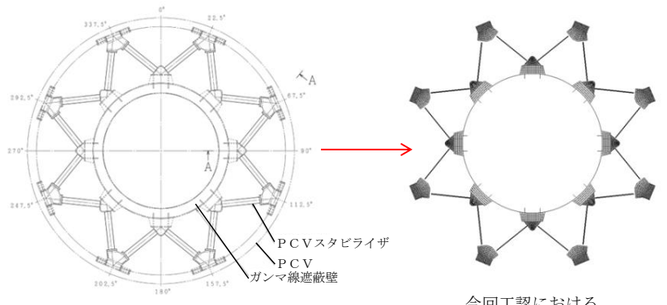
4.2.4　今回工認におけるばね定数算出方法

4.2.4.1　解析モデルの範囲

今回工認におけるばね定数算出モデルを第 4.2.4.1－1 図に示す。ＰＣＶスタビライザの構成部材であるパイプ，ガセットプレート及び内側シヤラグを 360°全体でモデル化する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

なお，今回評価に用いるＦＥＭ解析には「NASTRAN Ver.2005」を使用する。



ＰＣＶ平面図　　今回工認における
ばね定数算出モデル

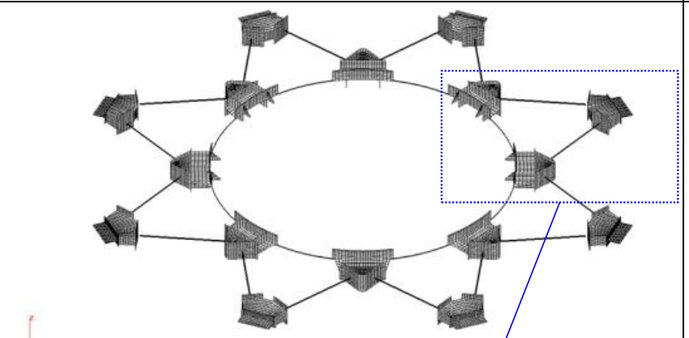
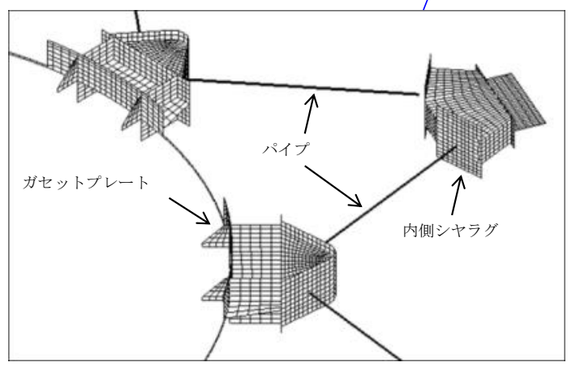
第 4.2.4.1－1 図　今回工認におけるばね定数算出のモデル化範囲

4.2.4.2　解析モデル

解析モデルの諸元を第 4.2.4.2－1 表に，解析モデル図を第 4.2.4.2－1 図に示す。パイプは断面特性を考慮したビーム要素，ガセットプレート及び内側シヤラグはシェル要素によりモデル化する。

第 4.2.4.2－1 表　ＦＥＭ解析モデルの諸元

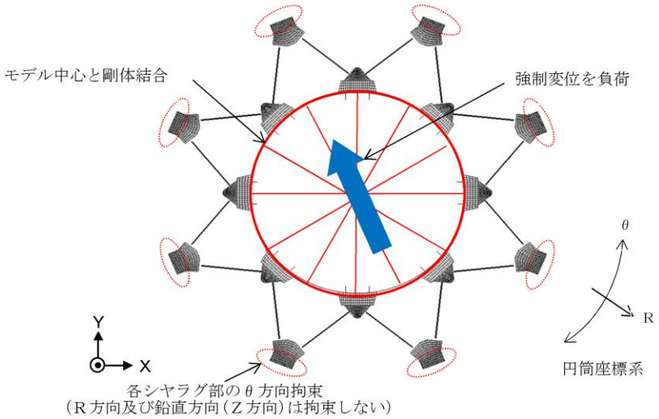
節点数	要素数	使用要素タイプ	
19,336	18,768	パイプ	ビーム要素
		ガセットプレート	シェル要素
		内側シヤラグ	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 全体図  拡大図 第 4.2.4.2－1 図　ＰＣＶスタビライザ解析モデル 4.2.4.3　解析条件 解析モデルの境界条件及び負荷条件を第 4.2.4.3－1 図に示す。ガンマ線遮蔽壁とガセットプレートの境界条件はモデル中心と剛体結合として定義し，剛体結合されたモデル中心に強制変位を対角の位置にある内側シヤラグを結んだ線上に負荷する。なお，周方向に等間隔で設置されたＰＣＶスタビライザ８基で荷重を負担するため，ばね定数は強制変位を負荷する方向によらず一定の値となる。内側シヤラグとＰＣＶとの境界条件は，メイルシヤラグがフィメイルシヤラグと嵌め合い構造となっていることから，円筒座標系のＲ方向及び鉛直方向（Ｚ方向）は拘束せず，θ 方向を拘束する。 ＰＣＶスタビライザの各構成部材の材質及び材料物性を第 4.2.4.3－1 表に示す。縦弾性係数は，JSME2005／2007 年版の値を用いる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 4.2.4.3－1 表　各構成部材の材質及び材料物性

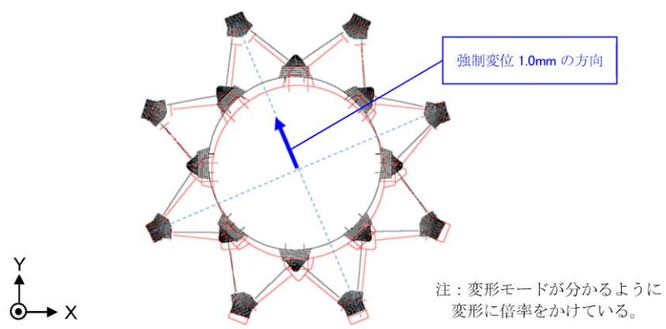
構成部材	材質	縦弾性係数 E（MPa）	ポアソン比 ν
パイプ	STS410(STS42)	2.01×10^5	0.3
ガセットプレート	SM400B(SM41B)	2.01×10^5	0.3
内側シヤラグ	SGV480(SGV49)	2.01×10^5	0.3



第 4.2.4.3－1 図　境界条件及び負荷条件

4.2.4.4　解析結果

強制変位を負荷させた際の変形図を第 4.2.4.4－1 図に示す。この図では変形前の形状を赤線，変形後の形状を黒線で示す。荷重は，剛体結合されたモデル中心の反力として算出する。この解析結果から得た荷重－変位関係から，ＰＣＶスタビライザのばね定数を 3.5×10^6［kN/m］と設定する。



第 4.2.4.4－1 図　変形図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

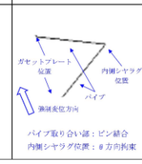
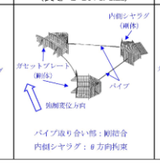
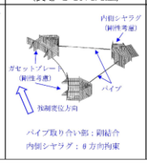
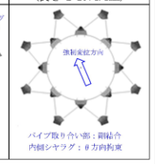
4.2.4.5　ばね定数低下に係る要因の考察

4.2.4.5.1　要因考察

既工認と比べて今回工認（ＦＥＭ解析）のばね定数が低下した要因を考察するため，部材の剛性の考慮有無や結合方法等を変更した参考モデル（Ⅰ－１，２及びⅡ）を用いてばね定数を算出した。

要因の考察に用いた解析モデルの概要を第 4.2.4.5.1－1 表に示す。また，各解析モデルにより算出されたばね定数を第 4.2.4.5.1－1 図に示す。

第 4.2.4.5.1－1 表　解析モデルの概要

モデル名称	参考モデルⅠ－１	参考モデルⅠ－２	参考モデルⅡ	今回工認モデル
モデル概要	既工認のトラス１対モデルをFEMモデルで再現したモデル	トラス１対について，ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体として考慮し，パイプの曲げ及びせん断剛性を考慮したモデル	トラス１対について，パイプの曲げ及びせん断剛性に加え，ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル	全トラスについて，パイプの曲げ及びせん断剛性と，ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル
ガセットプレート／内側シヤラグ	－	剛体	剛性考慮	剛性考慮
パイプとの取り合い部	ピン結合	剛結合	剛結合	剛結合
パイプ	軸変形を考慮（長さ L=3749mm）	軸変形，曲げ，せん断を考慮（長さ L=2574.1mm）	軸変形，曲げ，せん断を考慮（長さ L=2574.1mm）	軸変形，曲げ，せん断を考慮（長さ L=2574.1mm）
解析モデル図				

《解析結果の考察》

① 既工認と参考モデルⅠ－１の比較・考察

参考モデルⅠ－１により算出されたばね定数は既工認と同値であるため，　ＦＥＭ解析モデルは既工認の計算モデルと同等である。

② 参考モデルⅠ－１と参考モデルⅠ－２の比較・考察

参考モデルⅠ－２では，ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体としてモデル化したことによりパイプ長が短くなったため，ばね定数の値が参考モデルⅠ－１より大きくなる。

③ 参考モデルⅠ－２と参考モデルⅡの比較・考察

参考モデルⅡでは，ガセットプレート及び内側シヤラグに剛性を考慮することにより，ばね定数の値が参考モデルⅠ－２より小さくなる。

④ 参考モデルⅡと今回工認モデルの比較・考察

本来ガセットプレートは隣り合うパイプの荷重を受け持つこととなるが（第 4.2.4.5.1－2 図（b）参照），参考モデルⅡで

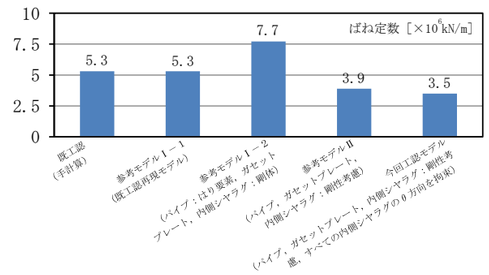
は，１対のトラスのみの荷重を受け持つモデル化を行っており（第 4.2.4.5.1－2 図（a）参照），隣り合うパイプからの荷重を考慮していない。このためガセットプレートの変形が小さくなり，ばね定数の値が今回工認モデルより大きくなる。

ＰＣＶスタビライザを構成する各部材の剛性を考慮することにより，現実的なばね定数を算出した。その中でも，ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したことが，ばね定数低下に大きく寄与している。

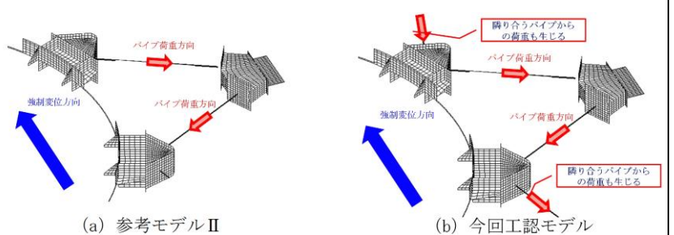
以上の考察より，今回工認のばね定数は妥当なものであることを確認した。

［単位：×10^{6}kN/m］

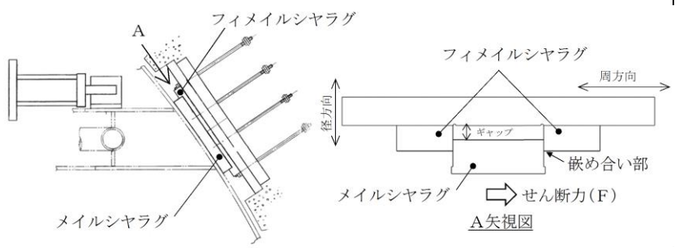
項目	既工認	参考モデル Ⅰ－1	参考モデル Ⅰ－2	参考モデル Ⅱ	今回工認モデル
トラス１対	1.3	1.3	1.9	1.0	－
全体（トラス８対）	5.3	5.3	7.7	3.9	3.5



第 4.2.4.5.1－1 図　各解析モデルのばね定数



第 4.2.4.5.1－2 図　参考モデルⅡと今回工認モデルの荷重伝達

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		5.　構造物間ばね定数の設定（既工認から変更ない部位） 既工認からばね定数の算出方法に変更がない部位のうち，主要部位であるシヤラグ及び制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームを代表としてばね定数の算出方法を説明する。 なお，縦弾性係数は建設時の適用基準（昭和 55 年通商産業省告示第 501 号）の値を用いる。 5.1　シヤラグ 5.1.1　シヤラグの構造 シヤラグは，ドライウェル上部に周方向に８箇所設置され，ＰＣＶ外側のメイルシヤラグが原子炉建物側のフィメイルシヤラグと嵌め合い構造となっており，水平方向のうちＰＣＶ周方向の変位を拘束し，径方向変位は拘束されない構造である。（第 5.1.1－1 図参照）  第 5.1.1－1 図　シヤラグ概要図 5.1.2　ばね定数の算出方法 シヤラグのばね定数は，せん断荷重から求めた荷重－変位の関係により算出する。なお，シヤラグのばね定数算出方法について，既工認から変更はない。 せん断力（Ｆ）を受ける際のせん断変形の式から求める荷重－変位関係より，第 5.1.2－1 図に示すメイルシヤラグ及びフィメイルシヤラグの各部に対するシヤラグ１基分のばね定数（ｋ）を算出する。 $$\nu=\frac{1}{G}\int_0^x\left(\frac{\kappa\cdot F}{A}\right)dx=\frac{\kappa\cdot F}{G}\left(\frac{l_1}{A_1}+\frac{l_2}{A_2}+\frac{l_3}{A_3}\right)$$ $$k=\frac{F}{\nu}=\frac{G}{\kappa}\left(\frac{l_1}{A_1}+\frac{l_2}{A_2}+\frac{l_3}{A_3}\right)^{-1}$$ よって，シヤラグ８基全体のばね定数（Ｋ）は円周状にシヤラ	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 本項 5.では，既工認から変更がないばね定数の算出方法を記載する

グが配置されていることから，次のとおりとなる。

$K = 4 \cdot k$

ここで，

ν　：せん断ひずみ

G　：せん断弾性係数

κ　：断面の形状係数

a_1：フィメイルシヤラグの幅

a_2：$a_1 + a_3$

a_3：メイルシヤラグの幅

l_1：フィメイルシヤラグの長さ

l_2：シヤラグ接触面の長さ

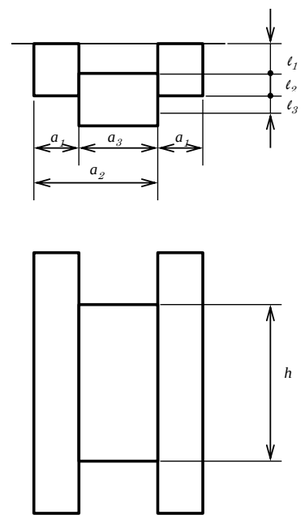
l_3：メイルシヤラグの長さ

h　：シヤラグ接触面の長さ

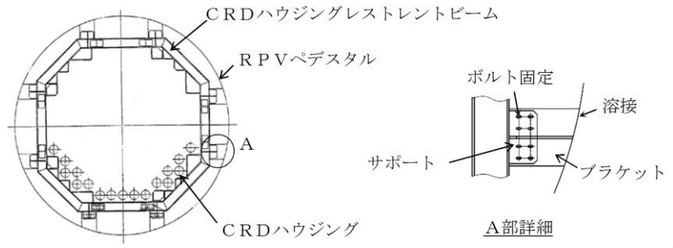
A_1：フィメイルシヤラグの断面積（$= a_1 h$）

A_2：$A_1 + A_3$（$= a_2 h$）

A_3：メイルシヤラグの断面積（$= a_3 h$）

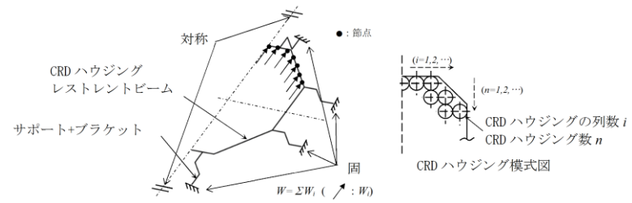


第 5.1.2－1 図　シヤラグばね定数算出概念図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		5.2　制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム 5.2.1　制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの構造 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム（以下「ＣＲＤハウジングレストレントビーム」という。）は，８箇所のブラケットでＲＰＶペデスタルと溶接により固定された構造物であり，構成部材としてはＣＲＤハウジングレストレントビーム，サポート，ブラケットからなる。 ＣＲＤハウジングレストレントビームは，ＣＲＤハウジングの水平方向地震荷重を受けるが，ＣＲＤハウジングレストレントビームはＣＲＤハウジングを接触のみで支持しているため，圧縮方向の荷重は伝達するが引張方向の荷重は伝達しない構造である。 ＣＲＤハウジングレストレントビームの構造を第5.2.1－1図に示す。  第5.2.1－1図　ＣＲＤハウジングレストレントビームの構造 5.2.2　ＣＲＤハウジングレストレントビームのばね定数算出方法 ＣＲＤハウジングレストレントビームのばね定数は，ＦＥＭ解析により算出する。なお，ＣＲＤハウジングレストレントビームのばね定数算出方法について，既工認から変更はない。 5.2.3　計算方法 計算機コード「ＳＡＰ-Ⅳ」により，各部材ごとに断面積，断面二次モーメント，重量等を与えるビーム要素モデルで解析する。 5.2.4　計算条件 5.2.4.1　解析モデル 解析モデルの概要を第5.2.4.1－1図に示す。 解析モデルはＣＲＤハウジングレストレントビームの対称性	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

を考慮し，180° の範囲をモデル化する。



第 5.2.4.1－1 図　解析モデルの概要

5.2.4.2　各構成部材の材質及び材料物性

解析に用いる各構成部材の材質及び材料定数を第 5.2.4.2－1 表に示す。

第 5.2.4.2－1 表　各構成部材の材質及び材料定数

構成部材	材質	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	SS400	1.92×10^5	0.3
サポート	SM400A	1.92×10^5	0.3
ブラケット	SM400A	1.92×10^5	0.3

5.2.4.3　荷重条件

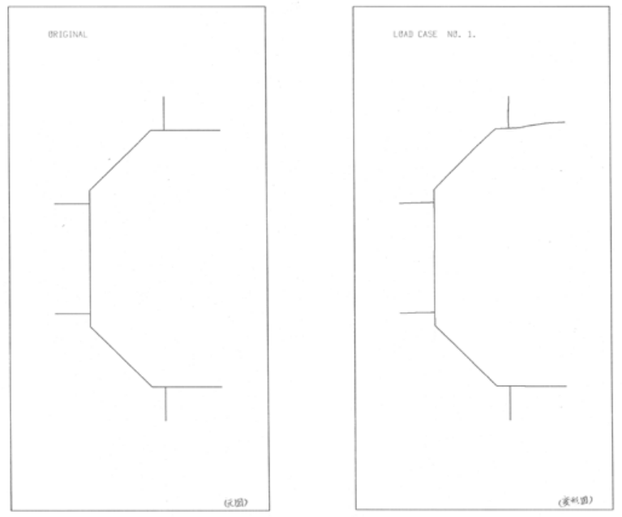
ＣＲＤハウジング全水平荷重Ｗを分配して，ＣＲＤハウジングの列ごとの　荷重W_iを設定し，それらの荷重W_iをＣＲＤハウジングレストレントビーム列上の最も近い接点に負荷する。

荷重W_iは列ごとのＣＲＤハウジング本数に応じた比例配分により，次のとおり算出する。

$$W_i=\frac{W\cdot n_i}{\sum n_i}$$　（n:本数，ｉ：列数）

5.2.4.4　境界条件

ＣＲＤハウジングレストレントビームとＲＰＶペデスタルは溶接にて固定されていることから境界条件は固定する。また，180° の範囲をモデル化していることから，対称性を考慮した拘束条件とする。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		5.2.5　解析結果 ばね定数は，全水平荷重Wを最大変位量δで割ることにより求める。ばね定数を以下に示す。 また，変形前(荷重付与前)及び変形後のモデル形状を第 5.2.5－1 図に示す。 ばね定数：$K=\frac{W}{\delta}=7.16\times10^{5}$[kN/m]  変形前　　変形後 第 5.2.5－1 図　変形前後のモデル形状	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		参考資料（5－1） 原子炉建物－大型機器連成解析モデルの変更に伴う地震応答への影響について 1.　はじめに 原子炉建物－大型機器連成解析モデルを既工認から変更することに伴い，地震応答への影響を確認する。 2.　入力地震動 基準地震動Ｓｓのうち，応答加速度が全周期帯において概ね支配的であるＳｓ－Ｄを代表波として選定する。 3.　影響検討方法 原子炉建物－大型機器連成解析モデルを既工認から変更することに伴う地震応答の影響を確認するため，表１に示す影響検討モデル１及び２を用いた固有値解析及び地震応答解析を行い，表２に示す影響検討ケースで各影響検討モデルの解析結果を今回工認モデルと比較することにより，地震応答への影響について検討した。 影響検討ケース１は，ＰＣＶ－ＲＰＶモデルをＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルに変更したことによる地震応答への影響を検討することを目的として，表１に示す影響検討モデル１と今回工認モデルを比較する。ばね定数は，どちらのモデルも精緻化した値を適用する。 影響検討ケース２は，ＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討することを目的として，表１に示す影響検討モデル２と今回工認モデルを比較する。解析モデルは，どちらもＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルとし，影響検討モデル２では，スタビライザのばね定数として既工認の値を適用し，今回工認モデルでは，スタビライザのばね定数として精緻化した値を適用する。 表１の解析モデルのモデル図については，第 1－1－1～2 図にてＰＣＶ－ＲＰＶモデルを示し，第 1－2－1～2 図にてＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルを示す。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 参考資料(5－1)では，水平方向の大型機器連成解析モデルの変更に伴う地震応答への影響について記載する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表１　影響検討モデル

影響検討モデル	解析モデル	モデル緒元		備考
		スタビライザばね定数	その他	
1	ＰＣＶ－ＲＰＶモデル	精緻化値	既工認と同じ	
2	ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル	既工認と同じ	既工認と同じ	
－	ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル	精緻化値	既工認と同じ	今回工認モデル

表２　影響検討ケース

影響検討ケース	比較対象モデル	比較目的	検討結果	
			固有値解析	地震応答解析
1	影響検討モデル１と今回工認モデル	ＰＣＶ－ＲＰＶモデルをＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルに変更にしたことによる地震応答への影響を検討	第１－１－１～第１－１－２表 第２－１－１～第２－１－12 図	第２－１－１～第２－１－２表
2	影響検討モデル２と今回工認モデル	ＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討	第１－２－１～第１－２－２表 第２－２－１～第２－２－20 図	第２－２－１～第２－２－２表

4.　検討結果

（１）影響検討ケース１

第 1－1－1～第 1－1－2 表並びに第 2－1－1～第 2－1－12 図に示す固有値解析結果から，影響検討モデル１と今回工認モデルにおける各振動モードの変形状態は一致しており，固有周期の変動も小さい（最大４％変動）ことがわかる。

また，第 2－1－1～第 2－1－2 表に示す地震応答解析結果から，各部位の荷重が概ね一致している（最大 10%変動）ことがわかる。したがって，ＰＣＶ－ＲＰＶモデルをＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデルに変更したことによる地震応答への影響は軽微である。

（２）影響検討ケース２

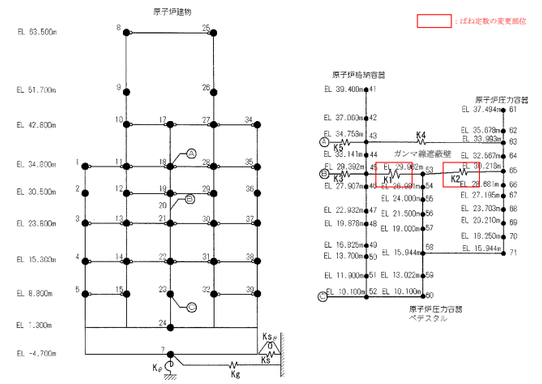
第 1－2－1～第 1－2－2 表並びに第 2－2－1～第 2－2－20 図に示す固有値解析結果から，ＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザのばね定数を変更した結果，各振動モードの変形状態は一致することがわかる。また，各振動モードのうち原子炉圧力容器の応答が卓越する振動モードで固有周期が長くなる（最大９％）が，その他の振動モードの固有周期の変動は小さいことがわかる。

また，第 2－2－1～第 2－2－2 表に示す地震応答解析結果から，ＰＣＶ及びＲＰＶスタビライザのばね定数を変更したことにより，ＰＣＶ，ＲＰＶ及びシヤラグの荷重等が変動するが，最大でも 36%（ＰＣＶスタビライザ）であることがわかる。

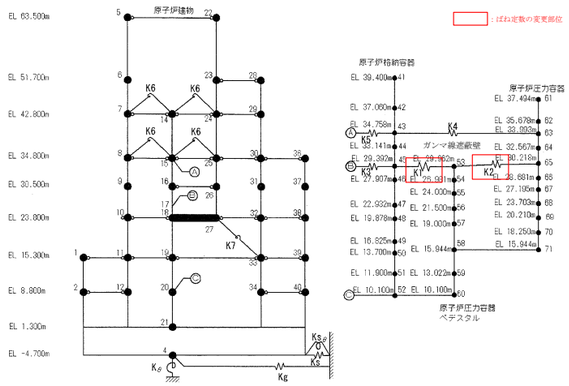
地震応答解析結果に示す荷重のうち，ＲＰＶ支持スカート基部，ガンマ線遮蔽壁基部，ＲＰＶペデスタル基部，シヤラグでは，影

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		響検討モデル２（①）と今回工認モデル（②）の荷重の比率（②／①）がＮＳ方向とＥW方向で異なり，ＮＳ方向の荷重は大きくなる（比率（②／①）が１より大きい）のに対し，ＥW方向の荷重は小さくなる（比率（②／①）が１より小さい）。 また，今回工認モデルにおけるＲＰＶスタビライザとＰＣＶスタビライザでは，ＮＳ方向とＥW方向のいずれでも荷重が小さくなり（比率（②／①）が１より小さい），ＮＳ方向よりＥW方向の荷重が小さい（比率（②／①）がＮＳ方向よりＥW方向のほうが小さい）。 これらの要因として，ばね定数変更により固有周期と床応答スペクトルが変化し，固有周期と床応答スペクトルとの関係により，ＮＳ方向とＥW方向で荷重の変化の傾向に違いが生じていることや，ＲＰＶ及びＰＣＶスタビライザのばね定数が低下したことにより，これらが分担する荷重が小さくなることが考えられる。 第 2－3－1 図にＲＰＶスタビライザとＰＣＶスタビライザが接続するガンマ線遮蔽壁頂部（質点番号 53）における影響検討モデル２及び今回工認モデルの基準地震動Ｓｓ－Ｄの床応答スペクトルを示す。また，第 2－3－1 表に，影響検討モデル２（①）と今回工認モデル（②）における，ＲＰＶの振動が卓越する最も低い振動数の第４次モードの固有周期と床応答加速度及びその比率（②／①）を示す。ＮＳ方向はスタビライザばね定数の変更に伴い応答加速度が大きくなるが，ＥW方向は小さくなっており，このような違いが荷重の変化の傾向に影響したものと考えられる。 以上の考察のとおり，ばね定数の変更に対して妥当な結果が得られている。	

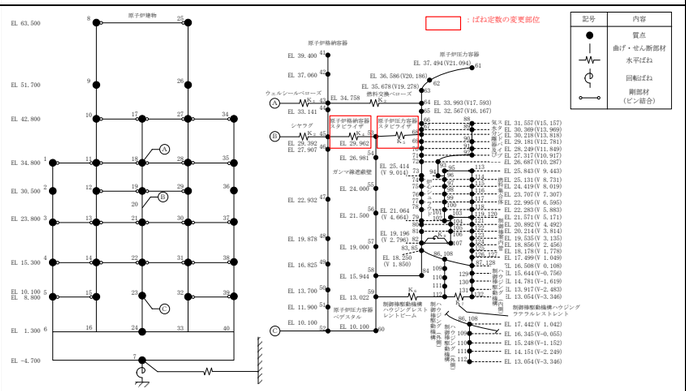
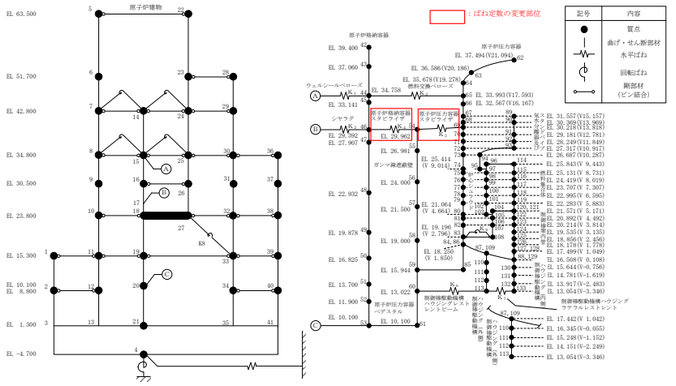
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第1－1－1図　ＰＣＶ－ＲＰＶモデル（ＮＳ方向）



第1－1－2図　ＰＣＶ－ＲＰＶモデル（ＥＷ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第1－2－1図　ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル（ＮＳ方向）  第1－2－2図　ＰＣＶ－ＲＰＶ－Ｒｉｎモデル（ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 1－1－1 表　固有値解析結果（影響検討ケース１，ＮＳ方向）

次数		①影響検討モデル１	②今回工認モデル	固有周期の比率（②／①）	卓越部位
①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]		
1	1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物
－	2	－	0.202	－	燃料集合体
－	3	－	0.135	－	炉心シュラウド
2	4	0.113	0.110	0.97	ＲＰＶ
3	5	0.098	0.098	1.00	原子炉建物
4	6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物
－	7	－	0.066	－	制御棒案内管
5	8	0.058	0.057	0.98	ＲＰＶ
6	9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物
－	10	－	0.050	－	燃料集合体

第 1－1－2 表　固有値解析結果（影響検討ケース１，ＥＷ方向）

次数		①影響検討モデル１	②今回工認モデル	固有周期の比率（②／①）	卓越部位
①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]		
－	1	－	0.204	－	燃料集合体
1	2	0.202	0.200	0.99	原子炉建物
－	3	－	0.135	－	炉心シュラウド
2	4	0.113	0.109	0.96	ＲＰＶ
3	5	0.093	0.093	1.00	原子炉建物
4	6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物
－	7	－	0.066	－	制御棒案内管
5	8	0.058	0.057	0.98	ＲＰＶ
6	9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物
－	10	－	0.050	－	燃料集合体

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

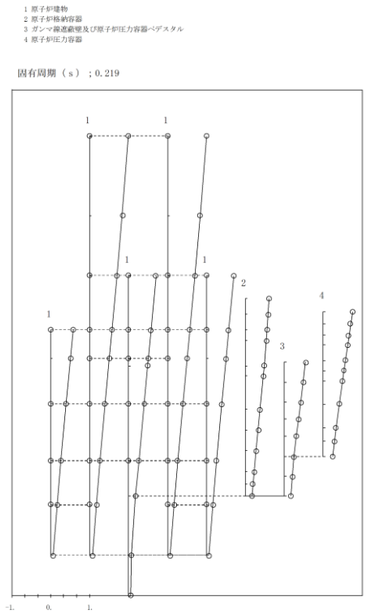
第１－２－１表　固有値解析結果（影響検討ケース２，ＮＳ方向）

次数	①影響検討モデル２ 固有周期[秒]	②今回工認モデル 固有周期[秒]	固有周期の比率（②／①）	卓越部位
1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物
2	0.202	0.202	1.00	燃料集合体
3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド
4	0.102	0.110	1.08	ＲＰＶ
5	0.095	0.098	1.03	原子炉建物
6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物
7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管
8	0.056	0.057	1.02	ＲＰＶ
9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物
10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体

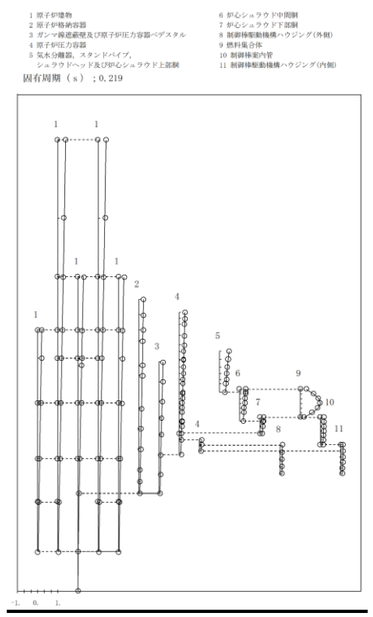
第１－２－２表　固有値解析結果（影響検討ケース２，ＥＷ方向）

次数	①影響検討モデル２ 固有周期[秒]	②今回工認モデル 固有周期[秒]	固有周期の比率（②／①）	卓越部位
1	0.204	0.204	1.00	燃料集合体
2	0.200	0.200	1.00	原子炉建物
3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド
4	0.100	0.109	1.09	ＲＰＶ
5	0.091	0.093	1.02	原子炉建物
6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物
7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管
8	0.055	0.057	1.04	ＲＰＶ
9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物
10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

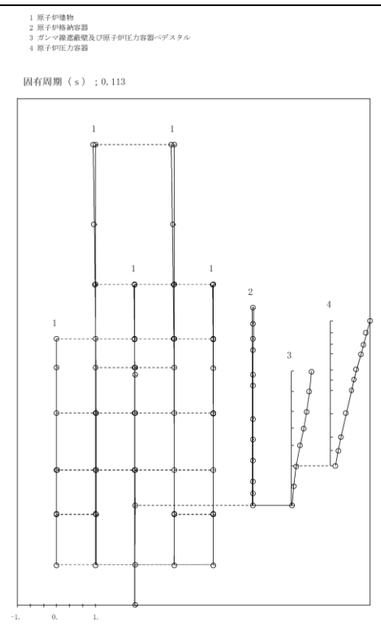


第２－１－１図（a）　影響検討モデル１　第１次振動モード図（ＮＳ方向）

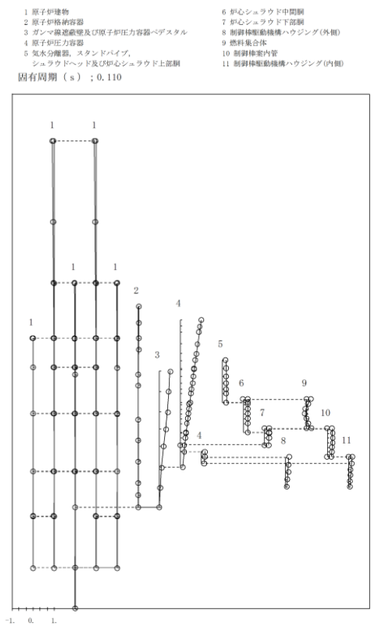


第２－１－１図（b）　今回工認モデル 第１次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

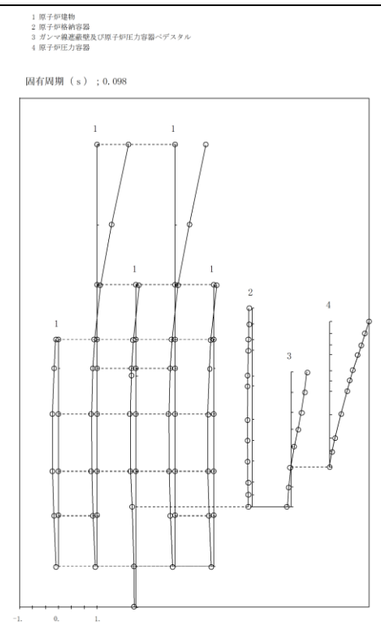


第２－１－２図（a）　影響検討モデル１　第２次振動モード図（ＮＳ方向）

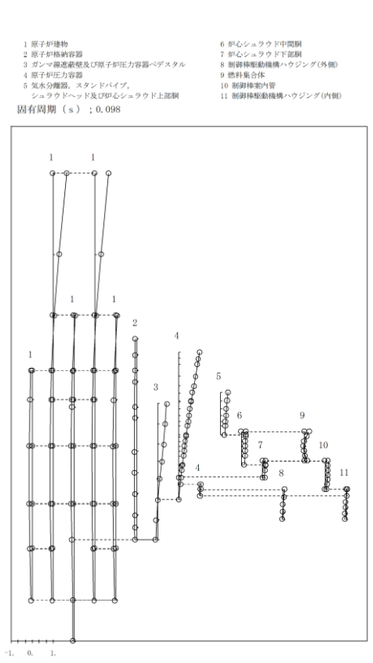


第２－１－２図（b）　今回工認モデル 第４次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

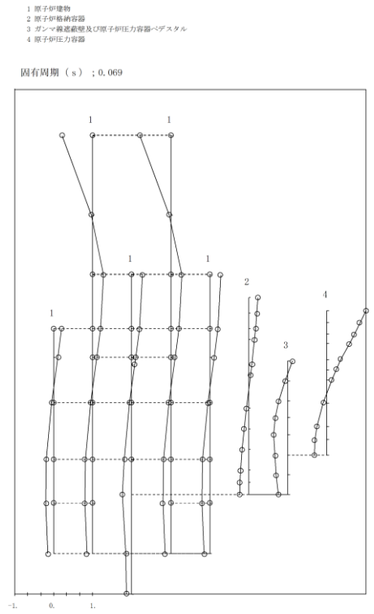


第２－１－３図（a）　影響検討モデル１　第３次振動モード図（ＮＳ方向）

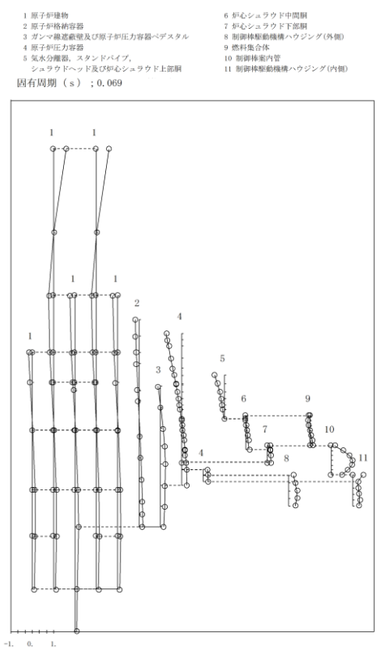


第２－１－３図（b）　今回工認モデル　第５次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

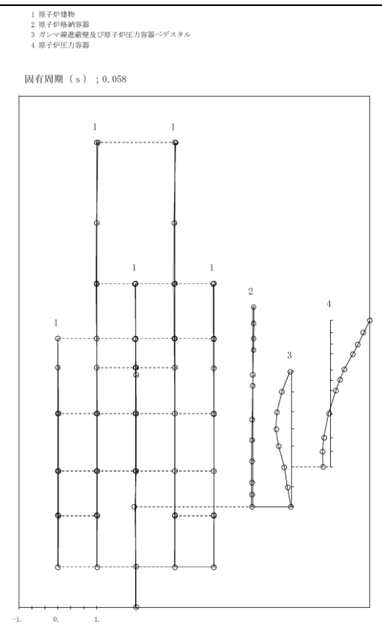


第 2－1－4 図（a）　影響検討モデル１　第４次振動モード図（ＮＳ方向）

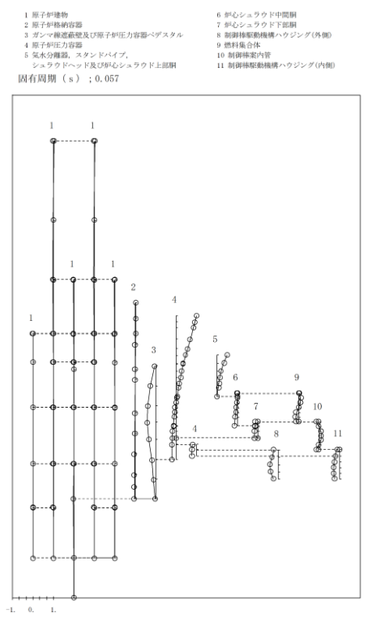


第 2－1－4 図（b）　今回工認モデル　第６次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

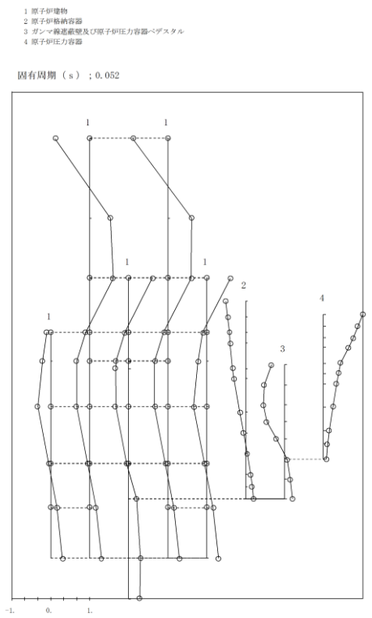


第２－１－５図（a）　影響検討モデル１　第５次振動モード図（ＮＳ方向）

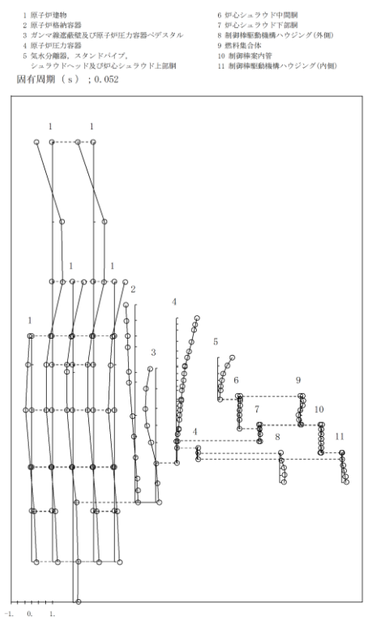


第２－１－５図（b）　今回工認モデル　第８次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

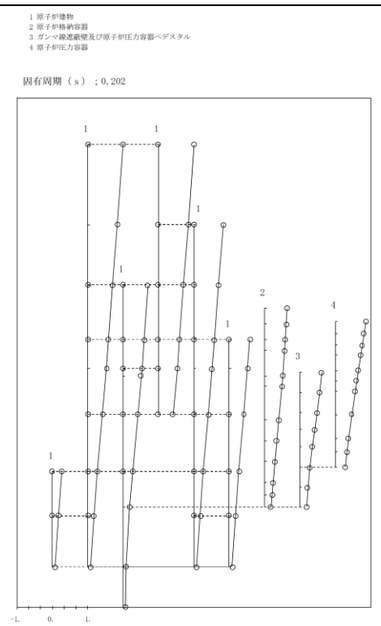


第２－１－６図（a）　影響検討モデル１　第６次振動モード図（ＮＳ方向）

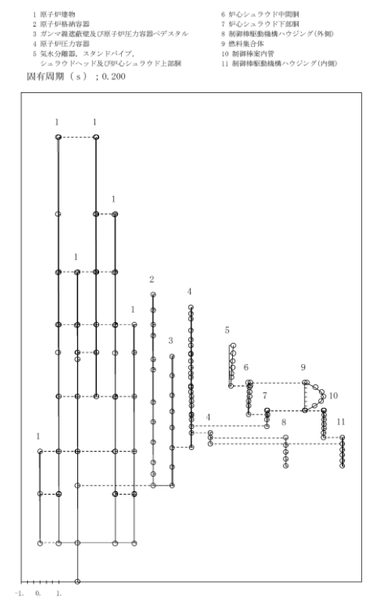


第２－１－６図（b）　今回工認モデル　第９次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

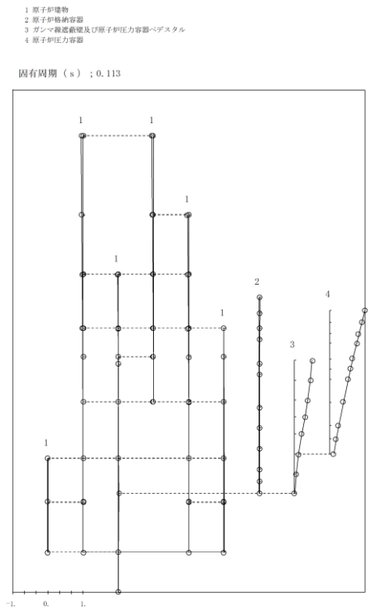


第２－１－７図（a）　影響検討モデル１　第１次振動モード図（ＥＷ方向）

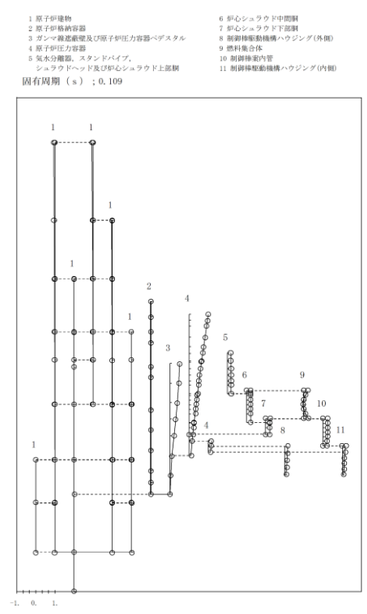


第２－１－７図（b）　今回工認モデル　第２次振動モード図（ＥＷ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

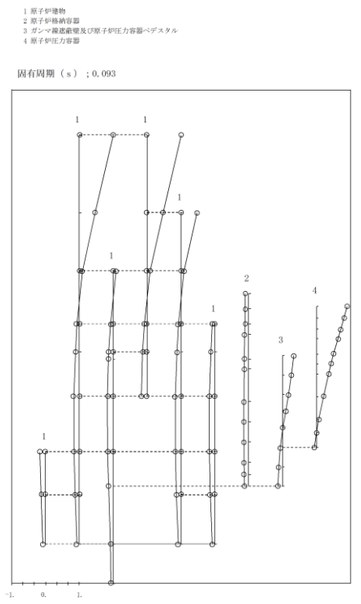


第２－１－８図（a）　影響検討モデル１　第２次振動モード図（ＥＷ方向）

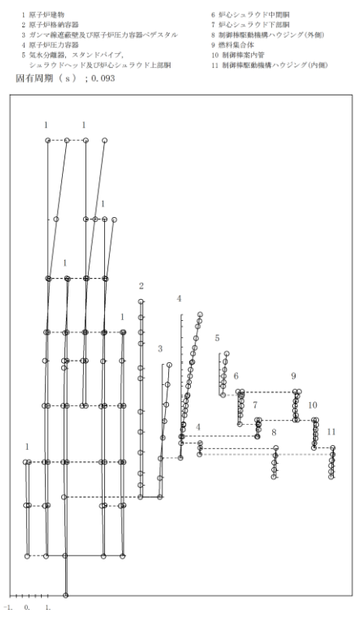


第２－１－８図（b）　今回工認モデル　第４次振動モード図（ＥＷ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

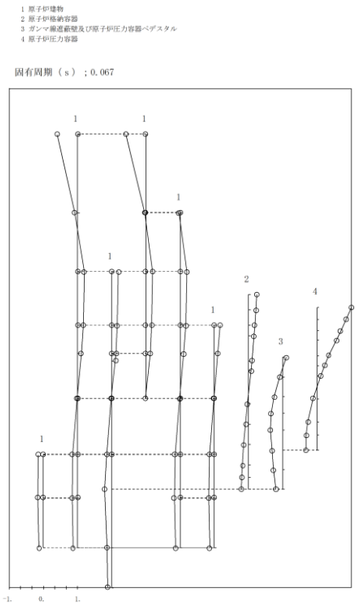


第２－１－９図（a）　影響検討モデル１　第３次振動モード図（ＥＷ方向）

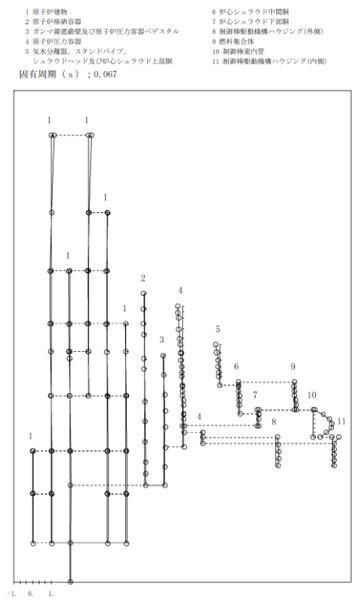


第２－１－９図（b）　今回工認モデル　第５次振動モード図（ＥＷ方向）

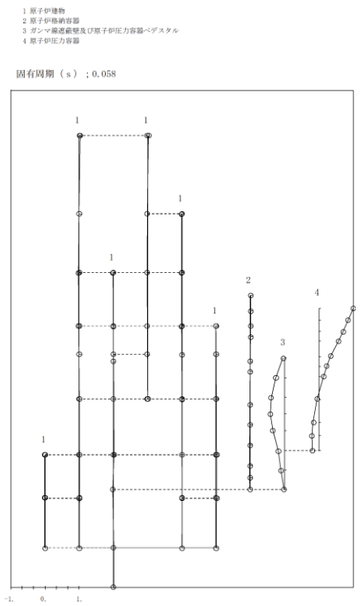
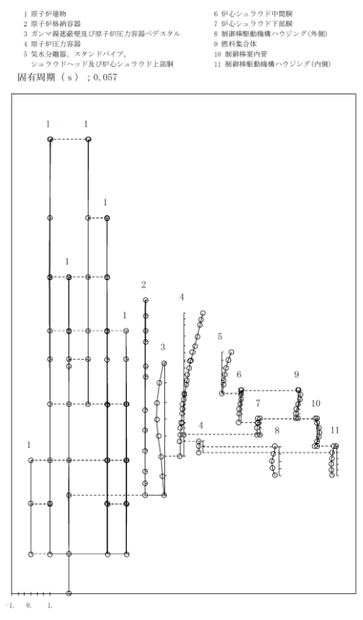
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



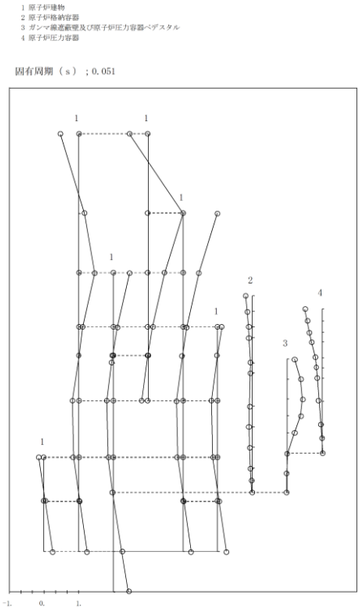
第 2－1－10 図（a）　影響検討モデル１　第４次振動モード図（ＥＷ方向）



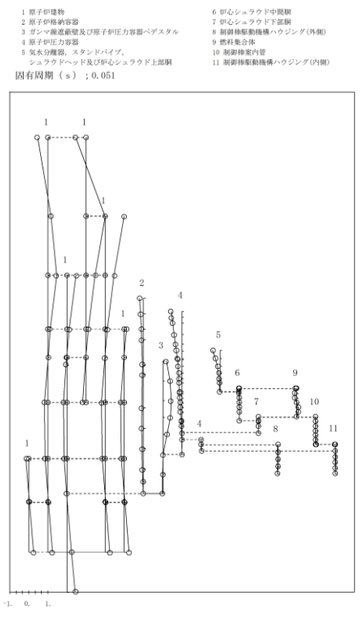
第 2－1－10 図（b）　今回工認モデル　第６次振動モード図（ＥＷ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2－1－11 図（a）　影響検討モデル１　第５次振動モード図（ＥＷ方向）	
		 第 2－1－11 図（b）　今回工認モデル　第８次振動モード図（ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

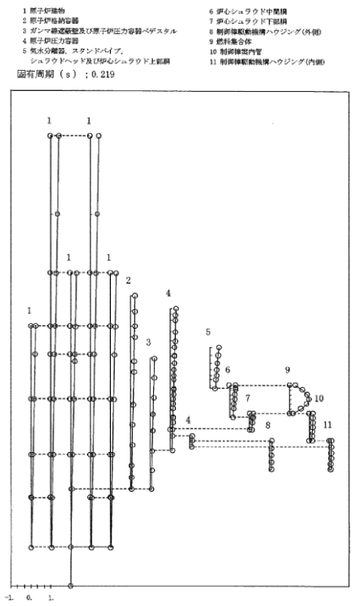


第２－１－12 図（a）　影響検討モデル１　第６次振動モード図（ＥＷ方向）

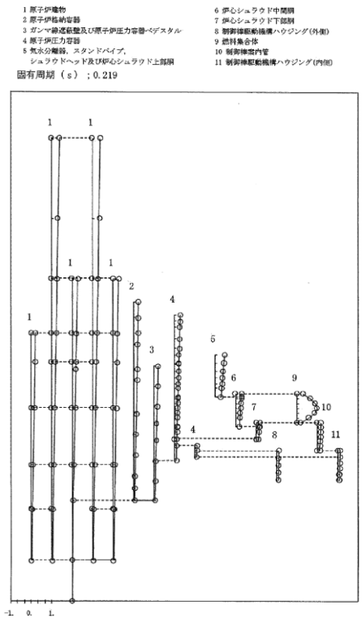


第２－１－12 図（b）　今回工認モデル　第９次振動モード図（ＥＷ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

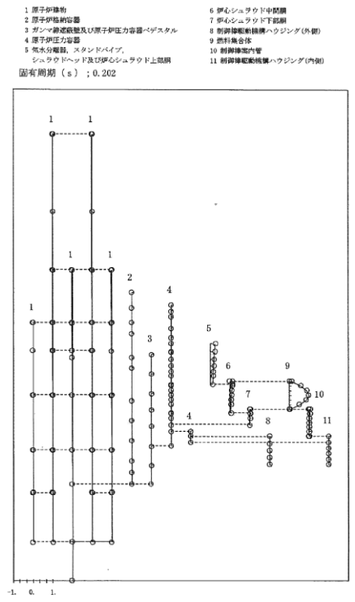


第２－２－１図（a）　影響検討モデル２　第１次振動モード図（ＮＳ方向）

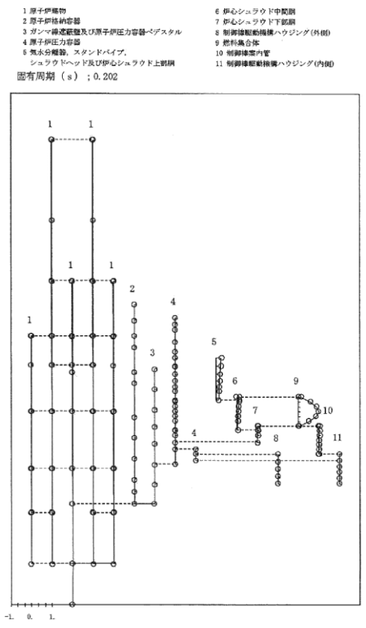


第２－２－１図（b）　今回工認モデル 第１次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

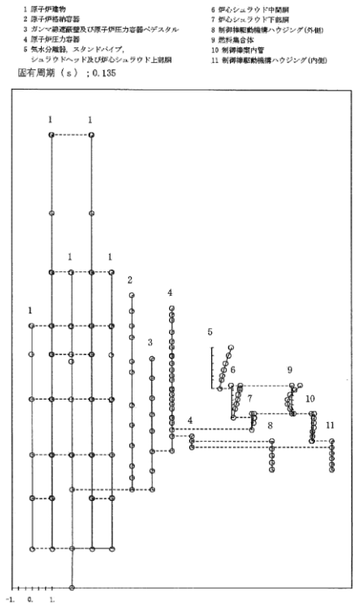


第２－２－２図（a）　影響検討モデル２　第２次振動モード図（ＮＳ方向）

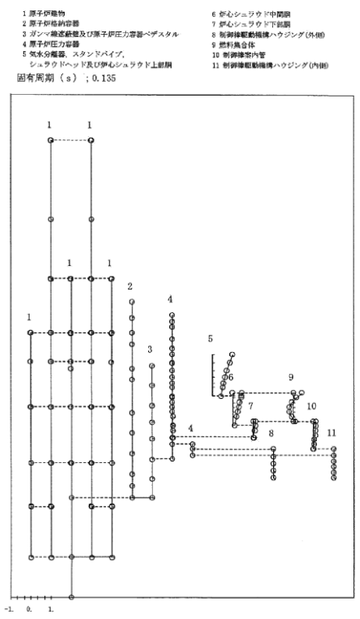


第２－２－２図（b）　今回工認モデル 第２次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

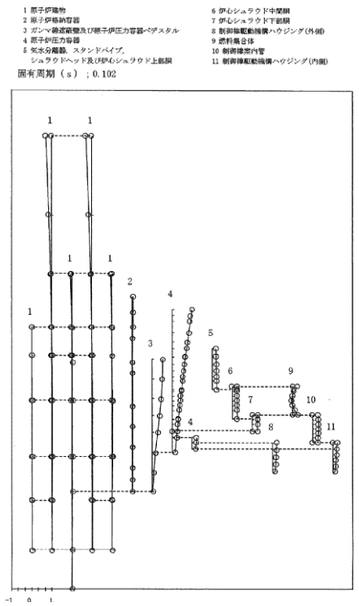


第２－２－３図（a）　影響検討モデル２　第３次振動モード図（ＮＳ方向）

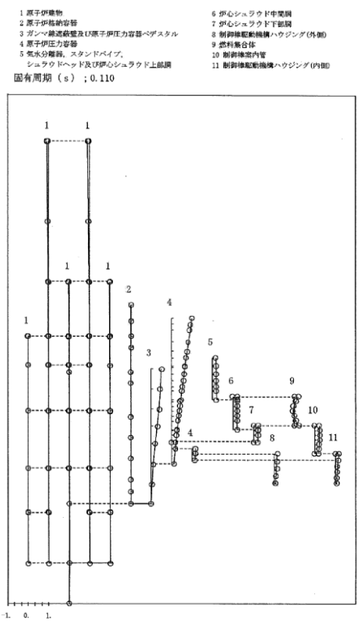


第２－２－３図（b）　今回工認モデル　第３次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

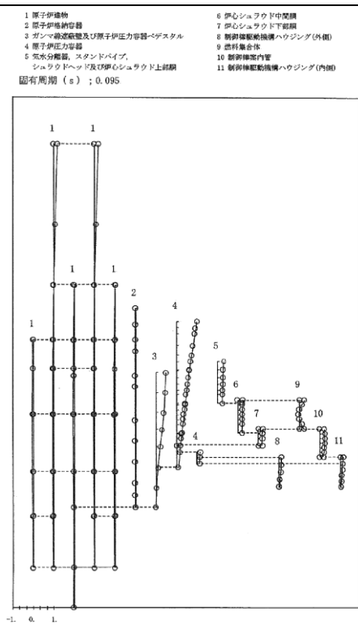


第２－２－４図（a）　影響検討モデル２　第４次振動モード図（ＮＳ方向）

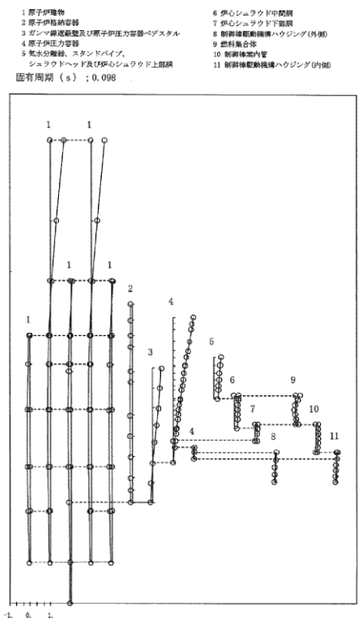


第２－２－４図（b）　今回工認モデル　第４次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

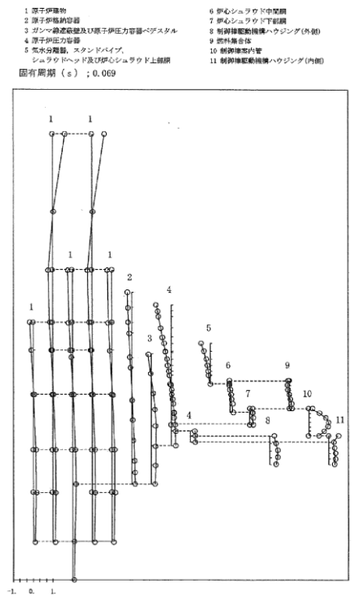


第２－２－５図（a）　影響検討モデル２　第５次振動モード図（ＮＳ方向）

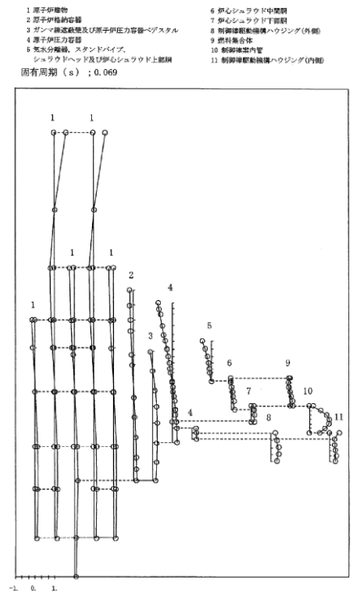


第２－２－５図（b）　今回工認モデル　第５次振動モード図（ＮＳ方向）

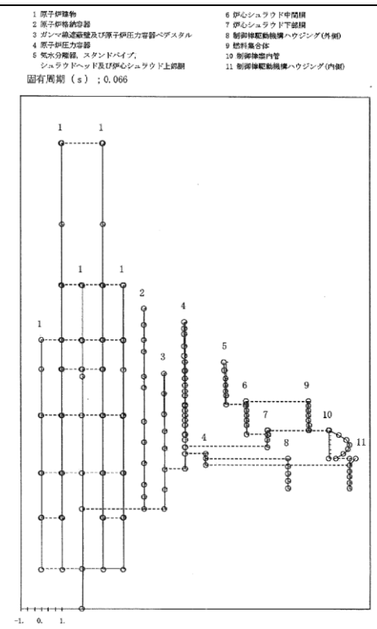
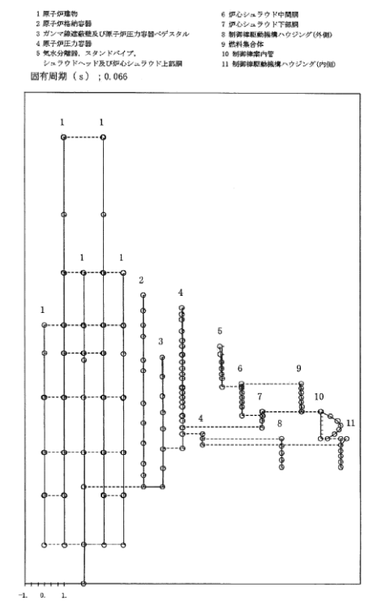
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



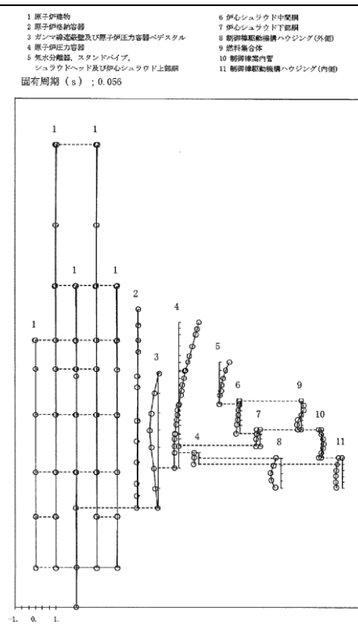
第２－２－６図（a）　影響検討モデル２　第６次振動モード図（ＮＳ方向）



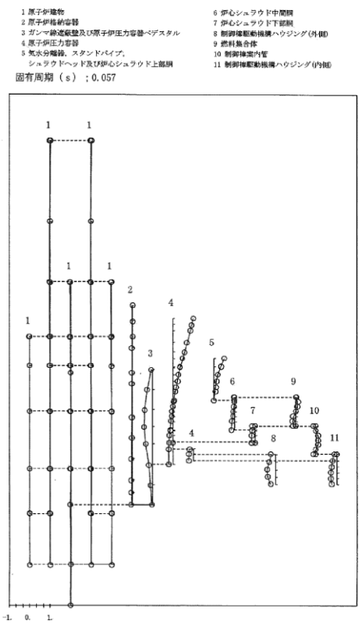
第２－２－６図（b）　今回工認モデル　第６次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－７図（a）　影響検討モデル２　第７次振動モード図 （ＮＳ方向）	
		 第２－２－７図（b）　今回工認モデル　第７次振動モード図 （ＮＳ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

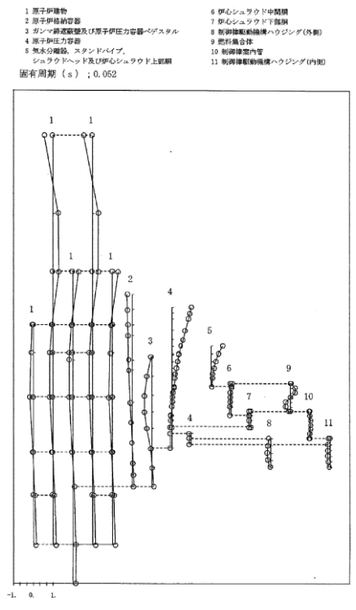


第２－２－８図（a）　影響検討モデル２　第８次振動モード図（ＮＳ方向）

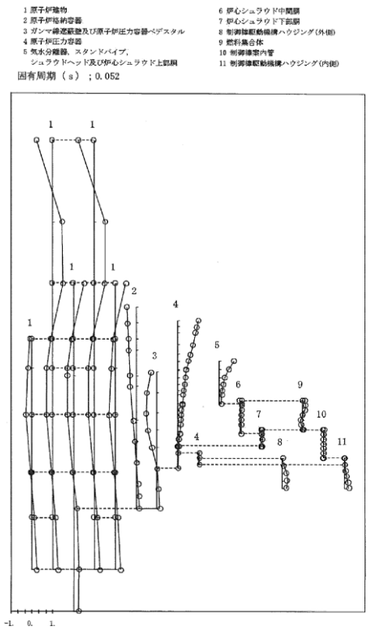


第２－２－８図（b）　今回工認モデル　第８次振動モード図（ＮＳ方向）

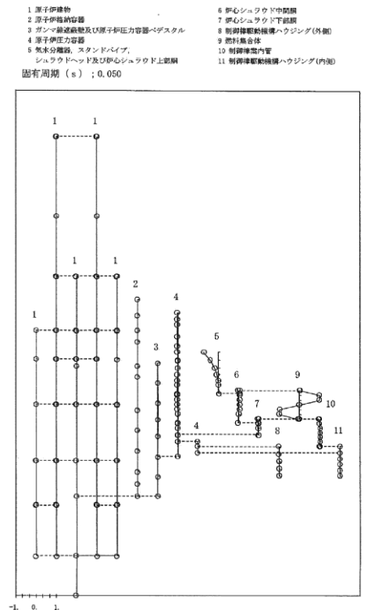
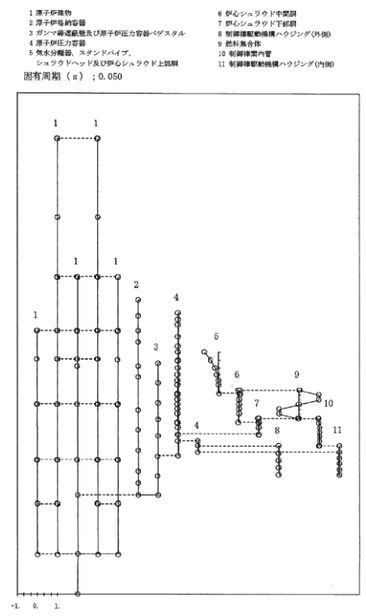
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



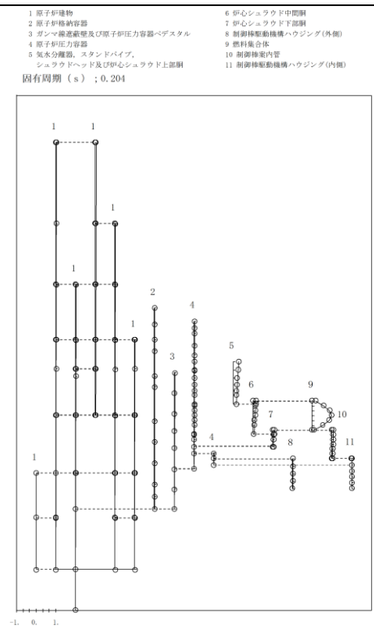
第２－２－９図（a）　影響検討モデル２　第９次振動モード図（ＮＳ方向）



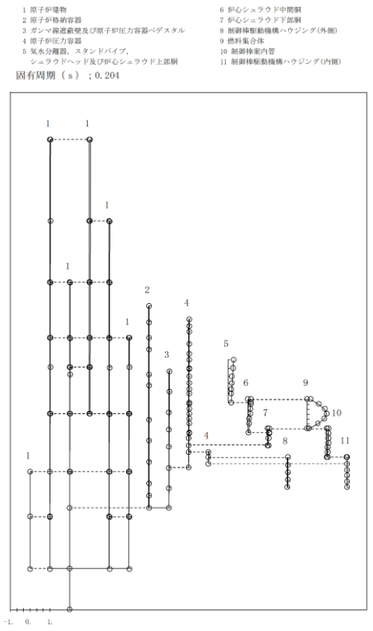
第２－２－９図（b）　今回工認モデル　第９次振動モード図（ＮＳ方向）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2－2－10 図（a）　影響検討モデル２　第 10 次振動モード図（ＮＳ方向）	
		 第 2－2－10 図（b）　今回工認モデル　第 10 次振動モード図（ＮＳ方向）	

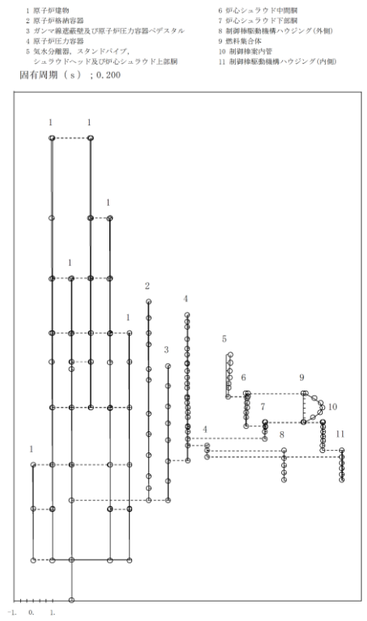
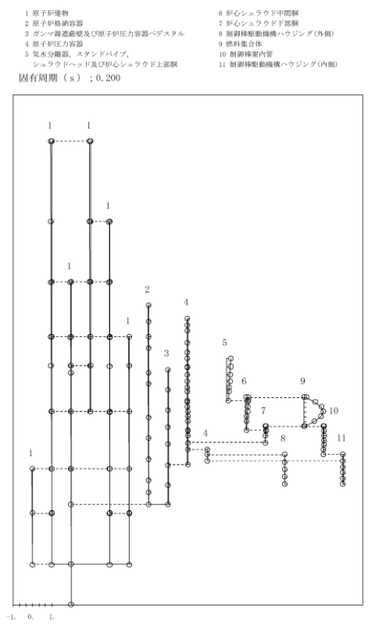
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

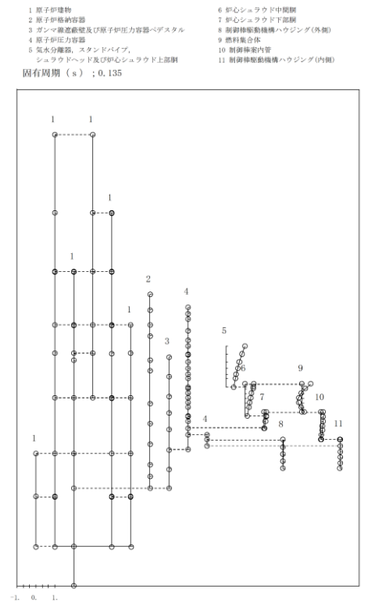
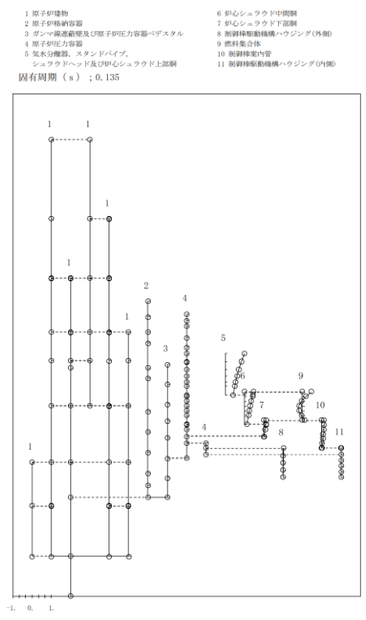


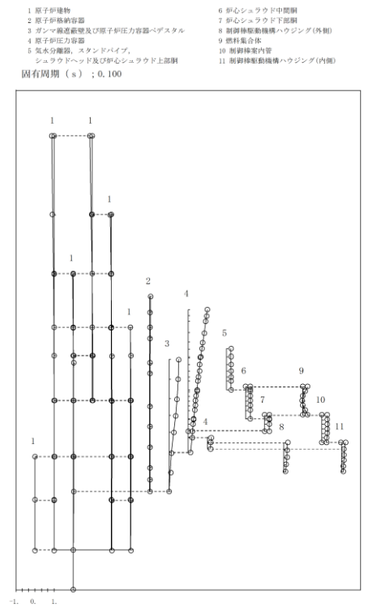
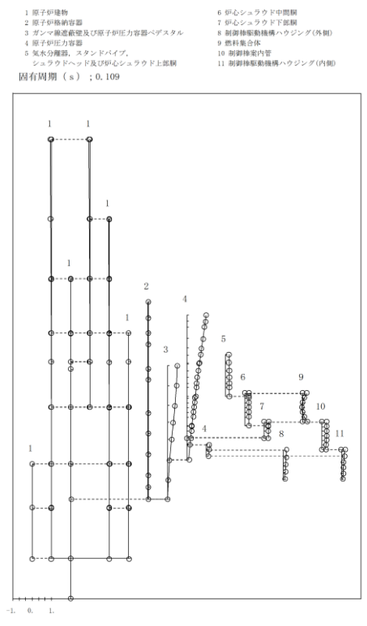
第２－２－11 図（a）　影響検討モデル２　第１次振動モード図（ＥＷ方向）

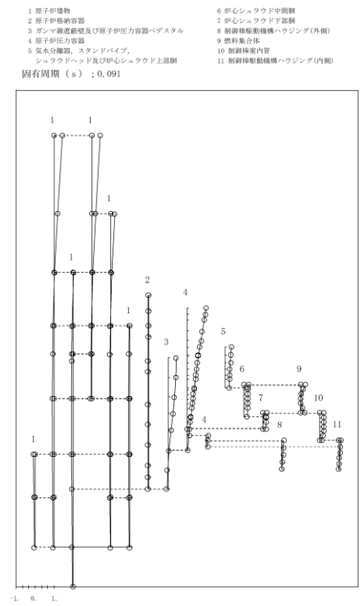
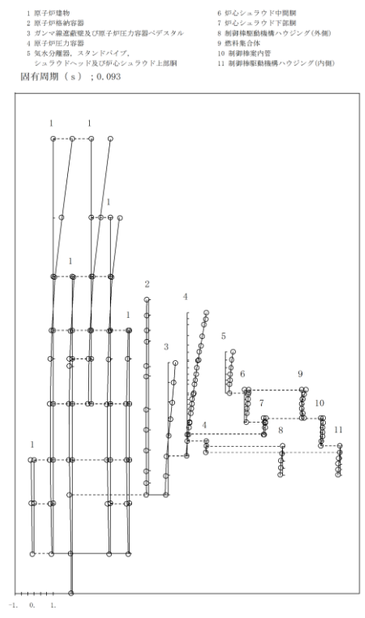


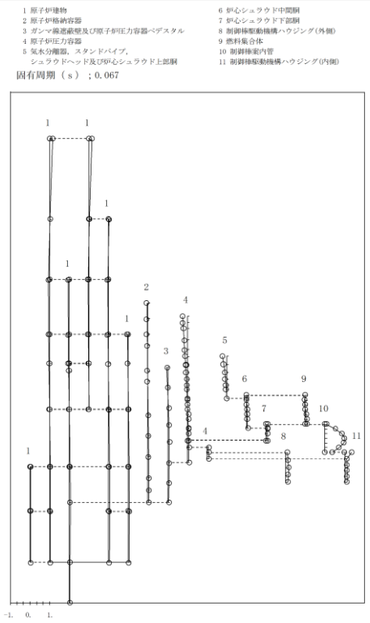
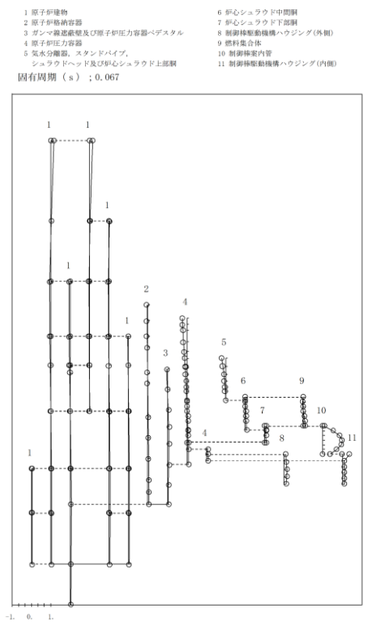
第２－２－11 図（b）　今回工認モデル　第１次振動モード図（ＥＷ方向）

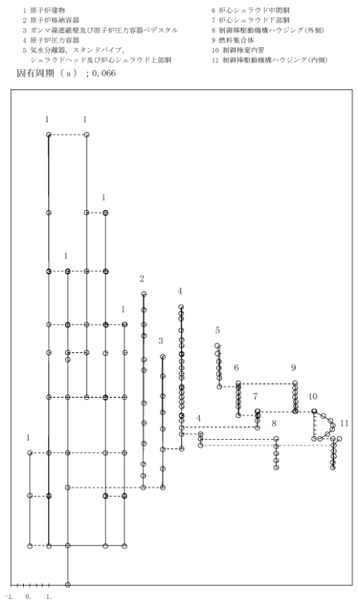
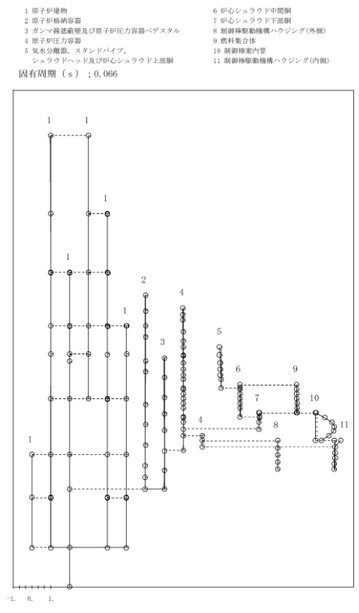
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－12 図（a）　影響検討モデル２　第２次振動モード図（ＥＷ方向）	
		 第２－２－12 図（b）　今回工認モデル　第２次振動モード図（ＥＷ方向）	

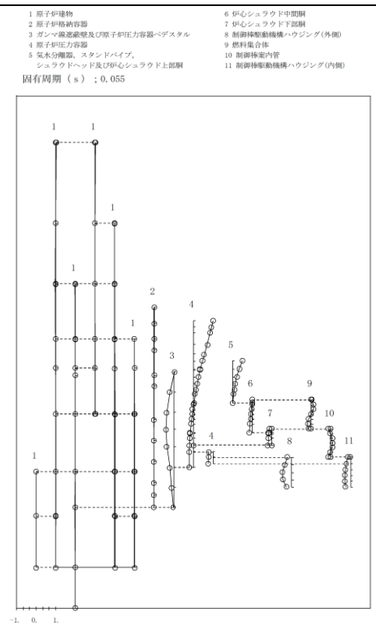
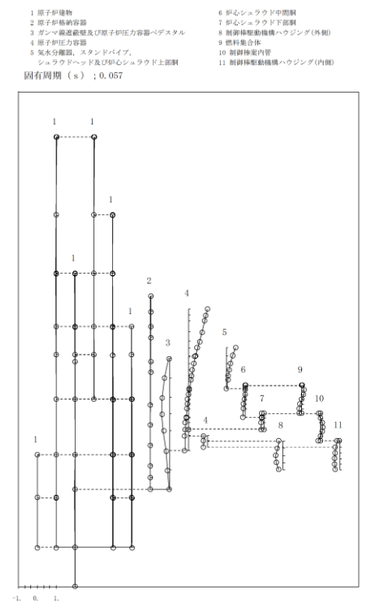
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－13 図（a）　影響検討モデル２　第３次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第２－２－13 図（b）　今回工認モデル　第３次振動モード図 （ＥＷ方向）	

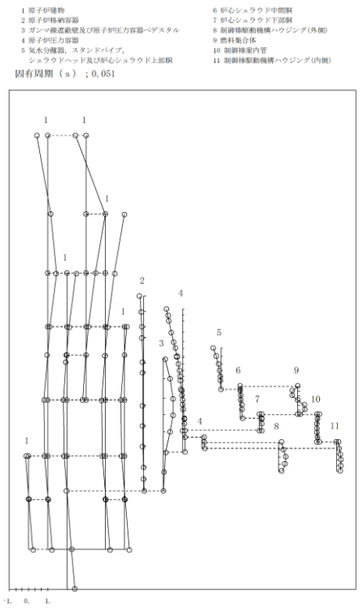
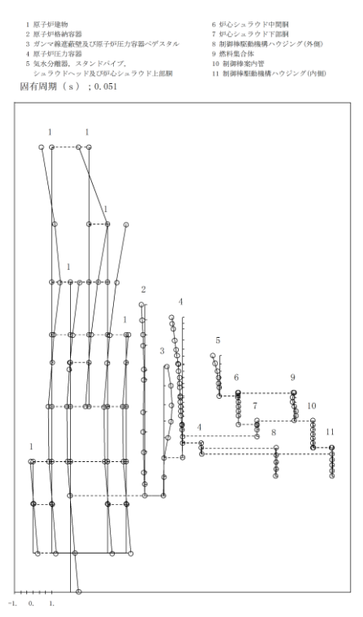
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－14 図（a）　影響検討モデル２　第４次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第２－２－14 図（b）　今回工認モデル　第４次振動モード図 （ＥＷ方向）	

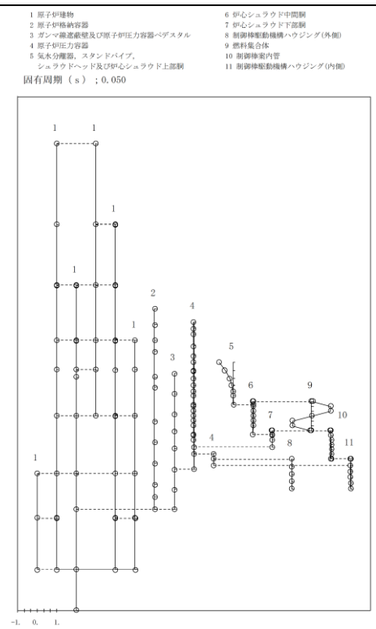
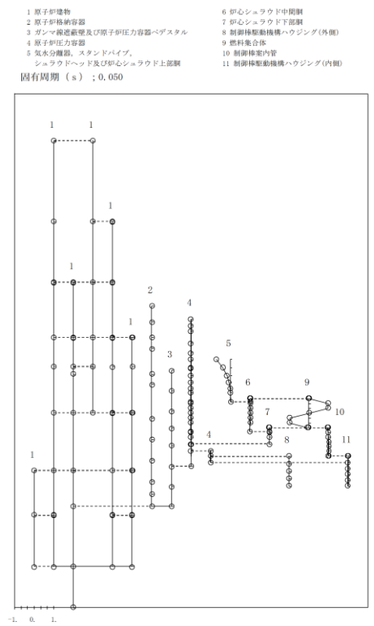
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－15 図（a）　影響検討モデル２　第５次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第２－２－15 図（b）　今回工認モデル　第５次振動モード図 （ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－16 図（a）　影響検討モデル２　第６次振動モード図（ＥＷ方向）	
		 第２－２－16 図（b）　今回工認モデル　第６次振動モード図（ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－17 図（a）　影響検討モデル２　第７次振動モード図（ＥＷ方向）	
		 第２－２－17 図（b）　今回工認モデル　第７次振動モード図（ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－18 図（a）　影響検討モデル２　第８次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第２－２－18 図（b）　今回工認モデル　第８次振動モード図 （ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－２－19 図（a）　影響検討モデル２　第９次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第２－２－19 図（b）　今回工認モデル　第９次振動モード図 （ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2－2－20 図（a）　影響検討モデル２　第 10 次振動モード図 （ＥＷ方向）	
		 第 2－2－20 図（b）　今回工認モデル　第 10 次振動モード図 （ＥＷ方向）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 2－1－1 表　主要設備の地震応答解析結果（影響検討ケース１，ＮＳ方向）

主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル１	②今回工認モデル	比率（②／①）
ＲＰＶ支持スカート基部	せん断力（kN）	12200	11500	0.94
	モーメント（kN･m）	120000	112000	0.93
ＰＣＶ基部	せん断力（kN）	23400	23200	0.99
	モーメント（kN･m）	428000	426000	1.00
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力（kN）	35300	33600	0.95
	モーメント（kN･m）	140000	134000	0.96
ＲＰＶペデスタル基部	せん断力（kN）	40400	38600	0.96
	モーメント（kN･m）	459000	435000	0.95
ＲＰＶスタビライザ	反力（kN）	12000	10800	0.90
ＰＣＶスタビライザ	反力（kN）	19300	18100	0.94
シヤラグ	反力（kN）	28900	28400	0.98

応答値は有効数字４桁目を四捨五入

第 2－1－2 表　主要設備の地震応答解析結果（影響検討ケース１，ＥＷ方向）

主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル１	②今回工認モデル	比率（②／①）
ＲＰＶ支持スカート基部	せん断力（kN）	11800	11100	0.94
	モーメント（kN・m）	112000	102000	0.91
ＰＣＶ基部	せん断力（kN）	26700	24900	0.93
	モーメント（kN・m）	465000	428000	0.92
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力（kN）	36300	33600	0.93
	モーメント（kN・m）	143000	133000	0.93
ＲＰＶペデスタル基部	せん断力（kN）	39500	37100	0.94
	モーメント（kN・m）	464000	439000	0.95
ＲＰＶスタビライザ	反力（kN）	11200	10900	0.97
ＰＣＶスタビライザ	反力（kN）	17300	18100	1.05
シヤラグ	反力（kN）	24800	25300	1.02

応答値は有効数字４桁目を四捨五入

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 2－2－1 表　主要設備の地震応答解析結果（影響検討ケース２，ＮＳ方向）

主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル２	②今回工認モデル	比率（②／①）
炉心シュラウド下部胴下端	せん断力（kN）	5500	5780	1.05
	モーメント（kN・m）	31300	33700	1.08
ＲＰＶ支持スカート基部	せん断力（kN）	9610	11500	1.20
	モーメント（kN・m）	93800	112000	1.19
ＰＣＶ基部	せん断力（kN）	23500	23200	0.99
	モーメント（kN・m）	426000	426000	1.00
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力（kN）	28200	33600	1.19
	モーメント（kN・m）	106000	134000	1.26
ＲＰＶペデスタル基部	せん断力（kN）	32600	38600	1.18
	モーメント（kN・m）	369000	435000	1.18
ＲＰＶスタビライザ	反力（kN）	11900	10800	0.91
ＰＣＶスタビライザ	反力（kN）	19200	18100	0.94
シヤラグ	反力（kN）	21600	28400	1.31
燃料集合体	変位（mm）	21.9	22.6	1.03

応答値は有効数字４桁目を四捨五入

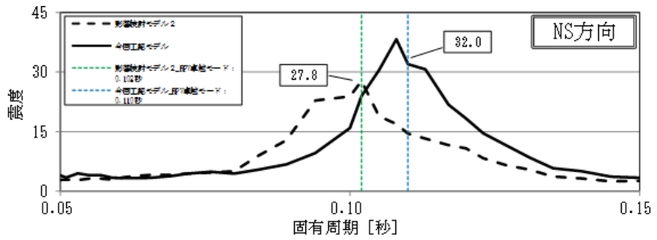
第 2－2－2 表　主要設備の地震応答解析結果（影響検討ケース２，ＥＷ方向）

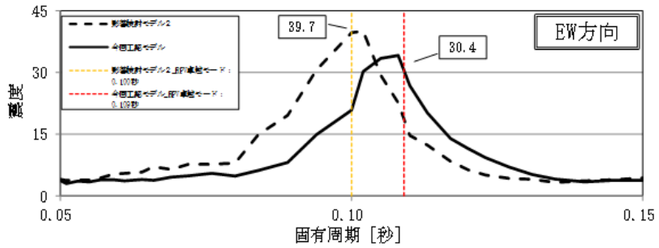
第 2－2－2 表　主要設備の地震応答解析結果（影響検討ケース２，ＥＷ方向）

主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル２	②今回工認モデル	比率（②／①）
炉心シュラウド下部胴下端	せん断力（kN）	5270	5700	1.08
	モーメント（kN・m）	31900	30400	0.95
ＲＰＶ支持スカート基部	せん断力（kN）	11600	11100	0.96
	モーメント（kN・m）	107000	102000	0.95
ＰＣＶ基部	せん断力（kN）	24800	24900	1.00
	モーメント（kN・m）	431000	428000	0.99
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力（kN）	39400	33600	0.85
	モーメント（kN・m）	137000	133000	0.97
ＲＰＶペデスタル基部	せん断力（kN）	42900	37100	0.86
	モーメント（kN・m）	462000	439000	0.95
ＲＰＶスタビライザ	反力（kN）	16000	10900	0.68
ＰＣＶスタビライザ	反力（kN）	28100	18100	0.64
シヤラグ	反力（kN）	33700	25300	0.75
燃料集合体	変位（mm）	25.1	26.9	1.07

応答値は有効数字４桁目を四捨五入

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考





第２－３－１図　ガンマ線遮蔽壁頂部（質点番号 53）における床応答スペクトル（減衰１％）

第２－３－１表　ガンマ線遮蔽壁頂部（質点番号 53）におけるＲＰＶが卓越する第４次振動モードの固有周期と床応答加速度

	ＮＳ方向		ＥＷ方向	
	影響検討モデル２（①）	今回工認モデル（②）	影響検討モデル２（①）	今回工認モデル（②）
固有周期（秒）	0.102	0.110	0.100	0.109
加速度（G）	27.8	32.0	39.7	30.4
加速度の比率（②／①）	1.15		0.77	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料３ 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの	添付資料５ 最新知見として得られた減衰定数の採用について	添付資料－6 最新知見として得られた減衰定数の採用について	
1. 概要 今回工認では，以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は，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最新知見として反映したものであり，大間１号炉の建設工認において適用実績がある。	1. 概要 今回工認では，以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は，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最新知見として反映したものであり，大間１号炉の建設工認並びに配管及び建屋クレーンについては新規制工認におけるＰＷＲプラントでの適用実績がある。	1. 概要 今回工認では，以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は，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最新知見として反映したものであり，大間１号炉の建設工認及び東海第二の新規制工認において適用実績がある。	
① 原子炉建屋クレーンの減衰定数※1 ② 燃料取替機の減衰定数※1 ③ 配管系の減衰定数※2	① 原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン（以下「建屋クレーン」という。）の減衰定数※1 ② 燃料取替機の減衰定数※1 ③ 配管系の減衰定数※1，※2	①原子炉建物天井クレーンの減衰定数注1 ②燃料取替機の減衰定数注1 ③配管系の減衰定数注2注3	
※１ 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」 ※２ 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」	※１ 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」 ※２ 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価手法に関する研究（H12～H13）」	注１：電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（Ｈ７～H10）」 注２：電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」 注３：（財）原子力工学試験センター「ＢＷＲ再循環系配管耐震実証試験（Ｓ55～Ｓ60）」	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉では，金属保温材に対する試験の内容を，本資料に含む（以下，①の相違）
なお，本資料に記載する①～③の内容については，「大間原子力発電所１号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また，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についても大間１号炉と同様に新たに設定している。	なお，本資料に記載する①～③の内容については，「大間原子力発電所１号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また，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についても大間１号炉と同様に新たに設定している。	なお，本資料に記載する①～③の内容については，「大間原子力発電所１号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また，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についても大間１号炉と同様に新たに設定している。	
2. 今回工認で用いる設計用減衰定数 最新知見として反映した原子炉建屋クレーン，燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第１表及び第２表に示す。	2. 今回の評価で用いた設計用減衰定数 最新知見として反映した建屋クレーン，燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第 5-1 表及び第 5-2 表に示す。	2. 今回工認で用いた設計用減衰定数 最新知見として反映した原子炉建物天井クレーン，燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第２－１表及び第２－２表に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第１表 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設　備	設計用減衰定数（%）			
	水平方向		鉛直方向	
	JEAG4601*1	柏崎刈羽*2	JEAG4601*1	柏崎刈羽*2
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5(2.0)*3

注記 *1：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（社団法人日本電気協会）

*2：柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉

*3：（ ）外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合

（ ）内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第5-1表　建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設　備	設計用減衰定数(%)			
	水平方向		鉛直方向	
	ＪＥＡＧ4601*1	東海第二*2	ＪＥＡＧ4601*1	東海第二*2
建屋クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5（2.0）*3

注記＊１：原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1991 追補版（社団法人日本電気協会）に定まる設計用減衰定数

＊２：東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数

＊３：（ ）外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合

（ ）内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

□：新たに設定したもの

□：ＪＥＡＧ4601 から見直したもの

島根原子力発電所　２号炉

第２－１表　原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設　備	設計用減衰定数（%）			
	水平方向		鉛直方向	
	ＪＥＡＧ４６０１※１	島根２号炉	ＪＥＡＧ４６０１注１	島根２号炉
原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5（2.0）注２

□：新たに設定したもの

□：ＪＥＡＧ４６０１から見直したもの

注１：原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（社団法人日本電気協会）

注２：括弧外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合。

括弧内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第２表 配管系の設計用減衰定数

配管区分		設計用減衰定数(注1)(%)			
		保温材無		保温材有(注2)	
		JEAG 4601*1	柏崎刈羽*2	JEAG 4601*1	柏崎刈羽*2
Ⅰ	支持具がスナバ及び架構レストレイント主体の配管系で，その数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
Ⅱ	スナバ，架構レストレイント，ロッドレストレイント，ハンガ等を有する配管系で，アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり，配管区分Ⅰに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
Ⅲ*3	Uボルトを有する配管系で，架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	—	2.0	—	3.0
Ⅳ	配管区分Ⅰ，Ⅱ及びⅢに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

注記 *1：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（社団法人 日本電気協会）

*2：柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉

*3：区分Ⅲ（Uボルトを有する配管系）については，新たに設定したものであり，現行 JEAG4601 では区分Ⅳに含まれている。

：新たに設定したもの

：JEAG4601 から見直したもの

（注１） 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

（注２） 保温材による付加減衰定数は，配管全長に対する金属保温材使用割合が 40%以下の場合 1.0%を適用するが，金属保温材使用割合が 40%を超える場合は 0.5%とする。

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 5-2 表　配管系の設計用減衰定数

		設計用減衰定数*1 (%)			
		保温材無		保温材有*2	
		ＪＥＡＧ 4601*3	東海第二*4	ＪＥＡＧ 4601*3	東海第二*4
Ⅰ	スナッバ及び架構レストレイント支持主体の配管系で，支持具(スナッバ又は架構レストレイント)の数が４個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
Ⅱ	スナッバ，架構レストレイント，ロッドレストレイント，ハンガ等を有する配管系で，アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が４個以上であり，配管区分Ⅰに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
Ⅲ	Uボルトを有する配管系で，架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が４個以上のもの*5	—	2.0	—	3.0
Ⅳ	配管区分Ⅰ，Ⅱ及びⅢに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

□：新たに設定したもの

□：ＪＥＡＧ4601 から見直したもの

＊１：水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

＊２：保温材による付加減衰定数は，配管全長に対する金属保温材使用割合が 40%以下の場合 1.0%を適用するが，金属保温材使用割合が 40%を超える場合は，0.5%とする。

＊３：原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1991 追補版（社団法人　日本電気協会）に定まる設計用減衰定数。

＊４：東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数。

＊５：区分Ⅲ（Uボルトを有する配管系）については，新たに設定したものであり，現状ＪＥＡＧ4601 では区分Ⅳに含まれる。

島根原子力発電所　２号炉

第２−２表　配管系の設計用減衰定数

配管区分		設計用減衰定数注3 (%)			
		保温材無		保温材有注4	
		ＪＥＡＧ４６０１注1	島根２号炉	ＪＥＡＧ４６０１注1	島根２号炉
Ⅰ	支持具がスナッバ及び架構レストレイント主体の配管系で，その数が４個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
Ⅱ	スナッバ，架構レストレイント，ロッドレストレイント，ハンガ等を有する配管系で，アンカ及びＵボルトを除いた支持具の数が４個以上であり，配管区分Ⅰに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
Ⅲ注2	Ｕボルトを有する配管系で，架構で水平配管の自重を受けるＵボルトの数が４個以上のもの	—	2.0	—	3.0
Ⅳ	配管区分Ⅰ，Ⅱ及びⅢに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

□：新たに設定したもの

□：ＪＥＡＧ４６０１から見直したもの

注１：原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（社団法人日本電気協会）

注２：区分Ⅲについては新たに設定されたものであり，現行ＪＥＡＧ４６０１では区分Ⅳに含まれる。

注３：水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

注４：保温材有の設計用減衰定数は，無機多孔質保温材による付加減衰定数として，1.0%を考慮したものである。金属保温材による付加減衰定数は，配管ブロック全長に対する金属保温材使用割合が 40%以下の場合 1.0%を適用

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
（適用条件） a) 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。 大口径管から分岐する小口径管は，その口径が大口径管の口径の 1/2 倍以下である場合，その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。 b) 配管系全体として，配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。 c) 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。 配管系全長／（配管区分ごとに定められた支持具の支持点数）≦15（m／支持点） ここで，支持点とは，支持具が取り付けられている配管節点をいい，複数の支持具が取り付けられている場合も１支持点とする。 d) 配管と支持構造物の間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで，施工管理規程とは，支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。	（適用条件） a. 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。 大口径管から分岐する小口径管は，その口径が大口径管の口径の 1／2 倍以下である場合，その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。 b. 配管系全体として，配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。 c. 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。 配管系全長／(配管区分ごとに定められた支持具の支持点数)≦15(m／支持点) ここで，支持点とは，支持具が取付けられている配管節点をいい，複数の支持具が取付けられている場合も１支持点とする。 d. 配管と支持構造物の間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで，施工管理規程とは，支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。	してよいが，金属保温材使用割合が 40%を超える場合は 0.5%とする。 （適用条件） ａ．適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。 大口径管から分岐する小口径管は，その口径が大口径管の口径の１／２倍以下である場合，その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。 ｂ．配管系全体として，配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。 ｃ．配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。 配管系全長／（配管区分ごとに定められた支持具の支持点数）≦15(m／支持点) ここで，支持点とは，支持具が取り付けられている配管節点をいい，複数の支持具が取り付けられている場合も１支持点とする。 ｄ．配管と支持構造物の間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで，施工管理規程とは，支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3. 設計用減衰定数の考え方 （１）原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数 a. 既工認の設計用減衰定数 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（社団法人 日本電気協会）（以下「JEAG4601」という。）において原子炉建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため，設計用減衰定数は 1.0%と規定されている。既工認では，上記の設計用減衰定数 1.0%を適用していた。 b. 設計用減衰定数の見直し 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には，材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え，車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり，溶接構造物としての 1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから，実機を試験体とした振動試験が実施された。 振動試験の結果，原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%，鉛直 2.0%が得られた。また，燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%，鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）が得られた。 c. 柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉への適用性 振動試験の概略と，振動試験における試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉，並びに先行認可実績のある大間１号炉の実機との仕様の比較を参考資料 1，2 に示す。 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機については，試験結果の適用性が確認されている大間１号炉の原子炉建屋クレーンと同等の基本仕様であり，重量比（トロリ重量／総重量）との比較から振動特性は同等である。 ここで，原子炉建屋クレーン（トロリ中央／端部）及び燃料取替機（トロリ中央位置）の鉛直方向の減衰定数については，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加する傾向が試験結果から得られており，柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉の応答振幅はこの試験における応答振幅よりも大きくなる。 一般的に構造物の減衰は，材料減衰及び構造減衰によるものが	3.　設計用減衰定数の考え方 (1)　建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数 ａ．原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1991 追補版（以下「ＪＥＡＧ4601」という。）に基づく設計用減衰定数ＪＥＡＧ4601 において建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため，設計用減衰定数は 1.0%が適用される。 ｂ．設計用減衰定数の見直し 建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には，材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え，車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり，溶接構造物としての 1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから，実機を試験体とした振動試験が実施された。 振動試験の結果，建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%，鉛直 2.0%が得られた。また，燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%，鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）が得られた。 ｃ．東海第二発電所への適用性 振動試験の概要並びに振動試験における試験体，東海第二発電所の実機及び先行認可実績のある大間１号炉の実機との仕様の比較を参考資料１及び参考資料２に示す。 東海第二発電所における建屋クレーン及び燃料取替機については，試験結果の適用性が確認されている大間１号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機と同等の基本仕様を有する。	3.　設計用減衰定数の設定の考え方 3.1　原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数 (1)　既工認の設計用減衰定数 原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（以下ＪＥＡＧ４６０１という。）におけるクレーン類は溶接構造物に分類されるため，設計用減衰定数は 1.0%と規定されている。ただし，既工認においては原子炉建物天井クレーン，燃料取替機ともに水平方向に剛構造であり，上記減衰定数を適用した応答解析は実施していない。 (2)　設計用減衰定数の変更 原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰特性に寄与する要素には，材料減衰とクレーンを構成する部材間に生じる構造減衰に加え，車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり，溶接構造物としての 1.0%よりも大きな減衰定数を有すると考えられることから，実機を試験体とした振動試験が実施された。 振動試験の結果，原子炉建物天井クレーンの減衰定数については，水平 2.0%，鉛直 2.0%が得られている。また，燃料取替機については，水平 2.0%，鉛直 2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合），鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合）が得られている。 (3)　島根２号炉への適用性 振動試験の概略と，振動試験における試験体と島根２号炉及び先行認可実績のある大間１号炉の実機との仕様の比較を参考資料(6－1)，(6－2)に示す。 島根２号炉の原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機については，試験結果の適用性が確認されている大間１号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機と同等の基本仕様であり，重量比（トロリ重量／総重量）の比較から振動特性は同等である。 ここで，原子炉建物天井クレーン（トロリ中央／端部）及び燃料取替機（トロリ中央位置）の鉛直方向の減衰定数については，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加する傾向が試験結果から得られており，島根２号炉の応答振幅はこの試験における応答振幅よりも大きくなる。 一般的に構造物の減衰は，材料減衰及び構造減衰によるものが	・既工認における評価手法の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉における原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機については，それぞれ水平方向に剛構造であり，既工認において，減衰定数を適用した応答解析は実施していない

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
支配的であると考えられる。材料減衰は，材料が変形する際の内部摩擦による減衰であり，減衰比は振幅によらず一定となる。一方の構造減衰は，部材の接合部における摩擦現象によって発生し，振幅とともに増大すると言われている。 実機のクレーン類は，機上に駆動部品や搭載機器類（取付器具，電気盤，巻上機，ワイヤロープ，燃料取替機マストチューブ等）を多数持つ構造であり，振幅とともに増大する構造減衰を期待できると考えられる。 また，燃料取替機のトロリ端部位置については，試験結果から明確な応答振幅に対する増加傾向は確認できていないものの，燃料取替機にはボルト締結部等の摩擦減衰を期待できる電気盤等の上部構造物が多数設置されていることから，応答振幅の増加に伴い減衰比は少なくとも増加する傾向となり 1.5%以上で推移すると考えられる。 さらに，水平方向の減衰定数については原子炉建屋クレーン及び燃料取替機ともに鉛直方向よりも大きい減衰が得られている。 従って，今回の評価における原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%，鉛直 2.0%を用いる。また，燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%，鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を用いる。 （２）配管系の設計用減衰定数 ａ．既工認の設計用減衰定数 JEAG4601 における配管系の設計用減衰定数は，配管支持装置の種類や個数によって 3 区分に分類されており，さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。 既工認では，上記の設計用減衰定数を適用していた。 ｂ．今回の評価で用いる設計用減衰定数 以下，（ａ），（ｂ）に示す項目については，配管系の振動試験の研究成果に基づき，JEAG4601 に規定する値を見直し設定する。	従って，今回の評価における建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%，鉛直 2.0%を用いる。また，燃料取替機の減衰定数については水平 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を用いる。 (2)　配管系の設計用減衰定数 ａ．ＪＥＡＧ4601 に基づく設計用減衰定数 ＪＥＡＧ4601 における配管系の設計用減衰定数は，配管支持装置の種類や個数によって 3 区分に分類されており，さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。 ｂ．今回の評価で用いる設計用減衰定数 以下，(a)，(b) に示す項目については，配管系の振動試験の研究成果に基づき，ＪＥＡＧ4601 に規定する値を見直し設定する。	支配的であると考えられる。材料減衰は，材料が変形する際の内部摩擦による減衰であり，減衰比は振幅によらず一定となる。一方，構造減衰は，部材の接合部における摩擦現象によって発生し，振幅とともに増大すると言われている。 実機のクレーン類は，機上に駆動部品や搭載機器類（取付器具，電気盤，巻上機，ワイヤロープ，燃料取替機マストチューブ等）を多数持つ構造であり，振幅とともに増大する構造減衰を期待できると考えられる。 また，燃料取替機のトロリ端部位置については，試験結果から明確な応答振幅に対する増加傾向が確認できていないものの，燃料取替機にはボルト締結部等の摩擦減衰を期待できる電気盤等の上部構造物が多数設置されていることから，応答振幅の増加に伴い減衰比は少なくとも増加する傾向となり，1.5%以上で推移すると考えられる。 さらに，水平方向の減衰定数については，原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機ともに鉛直方向よりも大きい減衰が得られている。 したがって，今回工認における原子炉建物天井クレーンの減衰定数については水平 2.0%，鉛直 2.0%を用いる。また，燃料取替機については水平 2.0%，鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），鉛直 2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を用いる。 3.2　配管系の設計用減衰定数 (1)　既工認の設計用減衰定数 ＪＥＡＧ４６０１における配管系の設計用減衰定数は，配管支持装置の種類や個数によって３区分に分類されており，さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。 既工認では，上記の設計用減衰定数を適用していた。 (2)　今回工認で用いる設計用減衰定数 以下，ａ，ｂに示す項目について，配管系の振動試験の研究成果に基づき，ＪＥＡＧ４６０１に規定する値を見直し設定する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
（ａ）Ｕボルト支持配管系 JEAG4601 におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は，0.5％と規定されている。 Ｕボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には，主に配管支持部における摩擦があり，架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから，振動試験等が実施され，減衰定数 2.0％が得られた。 振動試験で用いられたＵボルトについては，原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから，振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し，今回の評価におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は，振動試験結果から得られた減衰定数 2.0％を設定する。 なお，参考として振動試験結果の概略を参考資料 3 に示す。 （ｂ）保温材を設置した配管系 JEAG4601 における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は，振動試験の結果に基づき，保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を 0.5％付加できることが規定されている。 その後，保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され，保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を見直すための検討が行われた。 今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は，振動試験結果から得られた減衰定数 1.0％を，保温材無の場合に比べて付加することとする。 なお，振動試験結果の概略を参考資料4に示す。 ｃ．柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉への適用性 減衰定数の検討においては，要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め，その上で，実機配管系の解析を行い，減衰定数を求めている。 まず要素試験においては，原子力発電所で採用されている代表	(a)　Ｕボルト支持の配管系 ＪＥＡＧ4601 におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は，0.5％と規定されている。 Ｕボルト支持の配管系の減衰に寄与する要素には，主に配管支持部における摩擦があり，架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから，振動試験等が実施され，減衰定数 2.0％が得られた。 振動試験で用いられたＵボルトについては，原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから，振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し，今回の評価におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は，振動試験結果から得られた減衰定数 2.0％を設定する。 なお，参考として振動試験結果の概略を参考資料３に示す。 (b)　保温材を設置した配管系 ＪＥＡＧ4601 における保温材を設置した設計用減衰定数は，振動試験の結果に基づき，保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を 0.5％付加できることが規定されている。 その後，保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され，保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を見直すための検討が行われた。 今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は，振動試験結果から得られた減衰定数 1.0％を，保温材無の場合に比べて付加することとする。 なお，振動試験結果の概略を参考資料４に示す。 ｃ．東海第二発電所への適用性 減衰定数の検討においては，要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め，その上で，実機配管系の解析を行い，減衰定数を求めている。 要素試験においては，原子力発電所で採用されている代表的な	ａ．Ｕボルト支持配管系 ＪＥＡＧ４６０１におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は，0.5％と規定されている。 Ｕボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には，主に配管支持部における摩擦があり，架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから，振動試験等が実施され，減衰定数 2.0％が得られた。 振動試験で用いられたＵボルトについては，原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから，振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し，今回工認におけるＵボルト支持配管系の設計用減衰定数は振動試験結果から得られた減衰定数 2.0％を設定する。 参考として振動試験の概略を参考資料(6－3)に示す。 ｂ．保温材を設置した配管系 ＪＥＡＧ４６０１における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は，振動試験の結果に基づき，保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を 0.5％付加できることが規定されている。 その後，保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され，保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数の検討が行われた。 今回工認における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は，振動試験結果から得られた減衰定数 1.0％を保温材無の場合に比べて付加することとする。また，金属保温材が施工されている場合は，金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して 40％以下の場合は 1.0％を付加し，配管全長に対して 40％を超える場合には 0.5％を付加する。 参考として振動試験の概略を参考資料(6－4)及び参考資料(6－5)に示す。 (3)　島根２号炉への適用性 減衰定数の検討においては，要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め，その上で実機配管系の解析を行い，減衰定数を求めている。 まず，要素試験においては，原子力発電所で採用されている代	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
的な４タイプ（参考資料３補足参照）を選定しており，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉においても，この４タイプのＵボルトを採用している。 次に実機配管系の解析対象とした２８モデルには，ＡＢＷＲプラントと同一設計であるＢＷＲプラントの実機配管も含まれている。また配管仕様（口径，肉厚，材質），支持間隔・配管ルートも異なっており，様々な配管剛性や振動モードに対応している。（参考資料３参照） 従って，今回検討した設計用減衰定数は柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉へ適用可能と判断し，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における配管の設計用減衰定数として設定する。	4 タイプ(参考資料３補足参照)を選定しており，東海第二発電所においても，この４タイプのＵボルトを採用している。 また，実機配管系の解析対象とした 28 モデルには，ＢＷＲプラントの実機配管も含まれており，配管仕様（口径，肉厚，材質），支持間隔・配管ルートについては，様々な配管剛性や振動モードに対応した検討を実施している。（参考資料３参照） 従って，今回検討した設計用減衰定数は東海第二発電所へ適用可能であり，東海第二発電所における配管の設計用減衰定数として設定する。	表的な４タイプ（参考資料(6－3)補足参照）を選定しており，島根２号炉においてもこの４タイプのＵボルトを採用している。 次に実機配管系の解析対象とした 28 モデルには，ＢＷＲプラントの実機配管が含まれており，また配管仕様（口径，肉厚，材質），支持間隔，配管ルートも異なっており，様々な配管剛性や振動モードに対応している（参考資料(6－3)参照）。 したがって，今回検討した設計用減衰定数は島根２号炉へ適用可能と判断し，島根２号炉における配管系の設計用減衰定数として設定する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

４．鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では，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している。

鉛直方向の設計用減衰定数は，基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0%とする。また，原子炉建屋クレーン，燃料取替機及び配管系については，既往の試験等により確認されている値を用いる。（第 3 表）

なお，これらの設計用減衰定数は，大間 1 号炉の建設工認にて適用例がある。

第 3 表 機器・配管系の設計用減衰定数

設　　備	設計用減衰定数（%）			
	水平方向		鉛直方向	
	既工認	今回工認	既工認	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	－	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	－	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	－	1.0
燃料集合体	7.0	同左	－	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	－	1.0
電気盤	4.0	同左	－	1.0
使用済燃料貯蔵ラック	1.0	Ss:7.0 Sd:5.0	－	－
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5(2.0)*
配管系	0.5～2.5	0.5～3.0	－	0.5～3.0

注記　＊：（ ）外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合
（ ）内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

東海第二発電所（2018.9.18 版）

4.　鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では，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している。今回工認で適用する設計用減衰定数について，ＪＥＡＧ4601 に規定されている設計用減衰定数との比較を第 5-3 表に示す。

鉛直方向の設計用減衰定数は，基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0%とする。また，建屋クレーン，燃料取替機及び配管系については，既往の試験等により確認されている値を用いる。

なお，これらの設計用減衰定数は，大間１号炉の建設工認にて適用例がある。

第 5-3 表　機器・配管系の設計用減衰定数

設　　備	設計用減衰定数（%）			
	水平方向		鉛直方向	
	ＪＥＡＧ 4601	今回工認	ＪＥＡＧ 4601	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	－	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	－	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	－	1.0
燃料集合体	7.0	同左	－	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	－	1.0
電気盤	4.0	同左	－	1.0
建屋クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5（2.0）*
配管系	0.5～2.0	0.5～3.0	－	0.5～3.0

注記　＊：（ ）外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合
（ ）内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合

島根原子力発電所　２号炉

4.　鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では，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している。

機器・配管系の設計用減衰定数を第 4－1 表に示す。

鉛直方向の設計用減衰定数は，基本的に水平方向と同様とするが，電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動とする設備は 1.0%とする。また，原子炉建物天井クレーン，燃料取替機及び配管系については，既往試験等により確認されている値を用いる。

なお，これらの設計用減衰定数は大間１号炉建設工認及び東海第二新規制工認において適用実績がある。

第 4－1 表　機器・配管系の設計用減衰定数

設　備	設計用減衰定数（%）			
	水平方向		鉛直方向	
	既工認	今回工認	既工認	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	－	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	－	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	－	1.0
燃料集合体	7.0	同左	－	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	－	1.0
電気盤	4.0	同左	－	1.0
原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	－	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	－	1.5(2.0)注
配管系	0.5～2.0	0.5～3.0	－	0.5～3.0

□：新たに設定したもの

注：括弧外は，燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合。
括弧内は，燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合。

備考

参考資料1(1/2)

原子炉建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた，原子炉建屋クレーンの減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1．代表試験体の選定

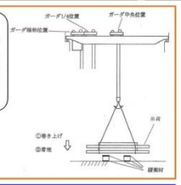
原子炉建屋天井クレーン8タイプ，一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量，高さ，スパン)を調査。

各天井クレーンの構成要素，基本構造及び減衰定数に影響を与えると考えられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比，及び振動特性が同等であることを確認。

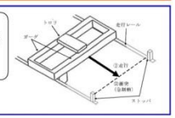
一般用天井クレーンを代表試験体とし，個体差，及びガーダ形状の相違の影響を確認するために，ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1，No.2，及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し，合計 3 機の試験体で実施。

2．振動試験

【鉛直方向の加振方法】
吊荷を床から 50mm 程度まで持ち上げた後，最大速度で下降させて床に着地させ，この時の自由振動を計測する。

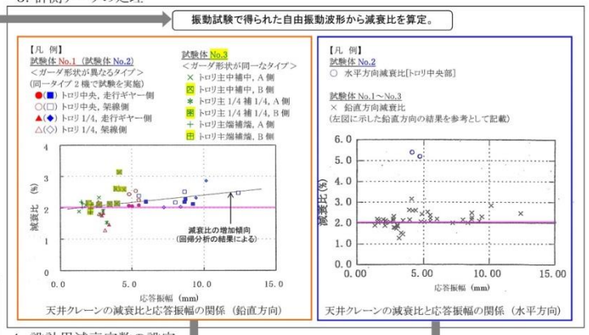


【水平方向の加振方法】
クレーンを 1m 程度走行させ，急停止することにより，自由振動を計測する。



3．計測データの処理

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。



4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（鉛直方向）】
応答振幅に対する減衰比の傾向は，応答振幅が比較的小さい場合には減衰比のばらつきが大きいが，応答振幅が大きくなると，減衰比の発生源となる構造減衰が増加し，減衰比が徐々に増加するとともに，そのばらつきが小さくなる。
応答振幅 5.0mm で減衰比 2.0%以上が得られている。

【設計用減衰定数（鉛直方向）】
応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，設計用応答振幅レベルで減衰比 2.0%以上となっていることから，設計用減衰定数 2.0%とした。

【試験結果（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅 4.7mm において 5.2%という結果が得られている。

【設計用減衰定数（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 4.7mm において 5%程度の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

参考資料－1 （1／2）

建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた天井クレーン構造の減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1．代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ，一般用2タイプの天井クレーンの基本仕様（トロリ及びガーダの重量，高さ，スパン）を調査。
各クレーンの，構成要素・基本構造，減衰に影響を与えると考えられるクレーン全重量とトロリ重量の比及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし，個体差及びガーダ形状の相違の影響を確認するために，ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体№1，№2 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体№3 を使用し，合計 3 機の試験体で実施。

2．振動試験

【鉛直方向の加振方法】
吊荷を床から 50 mm 程度まで持ち上げた後，最大速度で下降させて床に着地させ，この時の自由振動を計測する。

【水平方向の加振方法】
クレーンを 1 m程度走行させ，急停止することにより，自由振動を計測する。

3．計測データの処理

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定

4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（鉛直方向）】
応答振幅に対する減衰比の傾向は，応答振幅が比較的小さい場合にはばらつきが大きいが，応答振幅が大きくなると減衰比の発生源となる構造減衰が増加し，減衰比が徐々に増加するとともに，そのばらつきが小さくなる。
応答振幅 5.0 mm で減衰比 2.0 %以上が得られた。

【設計用減衰定数（鉛直方向）】
応答振幅の増加に伴い，減衰比は増加傾向にあり，設計応答振幅（トロリ位置中央部 12.2 mm，端部 6.0 mm）レベルで減衰比 2.0 %以上となっていることから，設計用減衰定数2.0 %と設定した。

【試験結果（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅 4.7 mm において 5.2 %という結果が得られた。

【設計用減衰定数（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 4.7 mm において 5 %程度の減衰比が得られているが，データ点数が少ない（設計応答振幅 8.9 mm に達していない）ため，鉛直方向と同じ 2.0 %を水平方向の設計用減衰定数と設定した。

参考資料(6－1)

原子炉建物天井クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた，原子炉建物天井クレーンの減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を実施した。

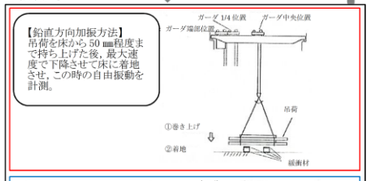
1. 代表試験体の選定

原子炉建物天井クレーン 8 タイプ，一般用クレーン 2 タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量，高さ，スパン)を調査。
各クレーンの構成要素，基本構造，減衰に影響を与えると考えられるクレーン全質量とトロリ質量の比及び振動特性が同等であることを確認。

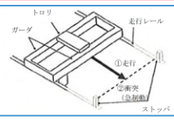
一般用天井クレーンを代表試験体とし，個体差及びガーダ形状差の影響を確認するため，ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1,2 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し，合計 3 機の試験体で試験を実施。

2. 振動試験

【鉛直方向加振方法】
吊荷を床から 50 mm程度まで持ち上げた後，最大速度で下降させて床に着地させ，この時の自由振動を計測。

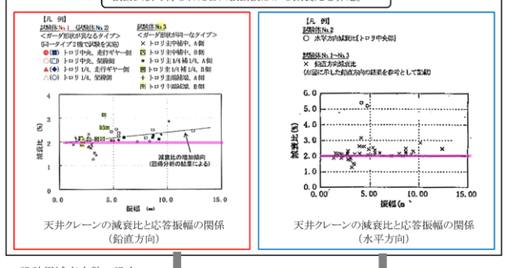


【水平方向加振方法】
クレーンを1m 程度走行させ，急停止することにより自由振動を計測。



3. 計測データの処理

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果(鉛直方向)】
応答振幅に対する減衰比の傾向は，応答振幅が比較的小さい場合にはばらつきが大きいが，応答振幅が大きくなると減衰比の発生源となる構造減衰が増加し，減衰比が徐々に増加すると共に，そのばらつきが小さくなる。
応答振幅 5.0 mmで減衰比 2.0%が得られた。

【設計用減衰定数(鉛直方向)】
応答振幅の増加に伴い，減衰比は増加傾向にあり，設計応答振幅(トロリ位置中央部 12.2 mm，端部 6.0 mm)レベルで減衰比 2.0%以上となっていることから，設計用減衰定数 2.0%と設定する。

【試験結果(水平方向)】
水平方向の減衰比は，応答振幅 4.7 mmにおいて 5.2%という結果が得られた。

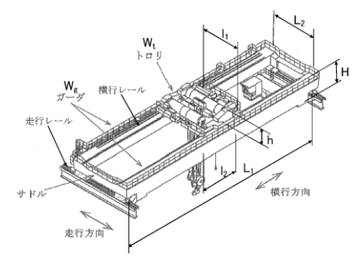
【設計用減衰定数(水平方向)】
水平方向の減衰比は，応答振幅レベルが 4.7 mmにおいて 5.0%程度の減衰比が得られているが，データ点数が少ない(設計応答振幅 8.9 mm に達していないため，鉛直方向と同様に設計用減衰定数を 2.0%と設定する。

参考資料1(2/2)

■ 原子炉建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

原子炉建屋クレーンは，ガーダ 2 本の上にトロリが設置されている構造である。天井クレーン試験体，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーンの主要な仕様を以下に示す。

天井クレーン試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーン実機の仕様の比較

仕　様		試験体 一般用天井クレーン		実機 原子炉建屋クレーン 柏崎刈羽		大間	備　考
		No.1,2	No.3	6 号炉	7 号炉	1 号炉	
トロリ	質量 Wt(ton)	43.5	71.0	86.5	80.0	80.0	
	高さ h(m)	2.265	3.0	2.405	2.515	2.815	
	スパン l_1(m)	5.8	5.8	5.8	7.7	7.7	
	スパン l_2(m)	4.1	3（主巻用） 2.5(補巻用)	5.4	4.6	4.6	
ガーダ	質量 Wg(ton)	104.5	191.5	226	190	190	
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.6	2.8	2.5	
	スパン L_1(m)	33.0	33.0	34.9	34.9	34.9	
	スパン L_2(m)	7.06	8.9	6.47	9.38	9.38	
総質量	W(ton)	148.0	262.5	312.5	270.0	270.0	
トロリ質量と総質量の比	Wt/W	0.294	0.270	0.277	0.296	0.296	

■ 試験体と実機の比較の考え方

減衰比は，一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰，トロリ，ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ，天井クレーンにおいては，ガーダ，トロリは固定構造ではなく，レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから，トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで，トロリとガーダとの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し，振動エネルギーはクレーンの振動質量に比例する。天井クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており，地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる 1 次モードが支配的となる。そのため，振動質量はクレーンの総質量に比例し，減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。

上表より，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンのトロリ質量と総質量の比は，試験体及び先行認可実績のある大間 1 号炉の実機と同程度になることを確認している。

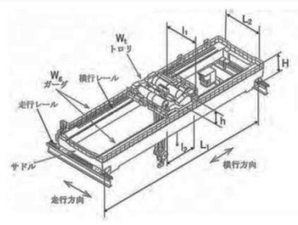
以上から，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンの設計用減衰定数としては，水平 2.0%，鉛直 2.0%を適用する。

参考資料1－1（2／2）

○建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

建屋クレーンは，ガーダ 2 本上にトロリが設置されている構造である。表 2-1 に天井クレーン試験体，東海第二発電所及び大間 1 号炉の建屋クレーンの主要な仕様を示す。

表 2-1　天井クレーン試験体，実機建屋クレーン仕様の比較

仕　様		試験体 一般用天井クレーン		実機建屋クレーン 東海第二		大間 1 号機	備　考
		試験体 No1, 2	試験体 No3	原子炉建屋クレーン	使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン	原子炉建屋クレーン	
トロリ	重量 W_t (ton)	43.5	71.0	48.0	30.0	80.0	
	高さ h (m)	2.265	3.0	2.280	0.975	2.815	
	スパン l_1 (m)	5.8	6.8	5.6	4.0	7.7	
	スパン l_2 (m)	4.1	3（主巻用） 2.5（補助巻用）	4.1	3.6	4.6	
ガーダ	重量 W_g (ton)	104.5	191.5	118.0	67.0	190	
	高さ H (m)	1.32	2.3	2.5	4.42	1.915	
	スパン L_1 (m)	33.0	33.0	39.5	20.4	34.9	
	スパン L_2 (m)	7.06	8.9	6.2	7.6	9.38	
総重量	W_T (ton)	148.0	262.5	166.0	107.0	270.0	
トロリ重量と総重量の比	W_t/W_T	0.294	0.270	0.289	0.309	0.298	

○ 試験体と実機の比較の考え方

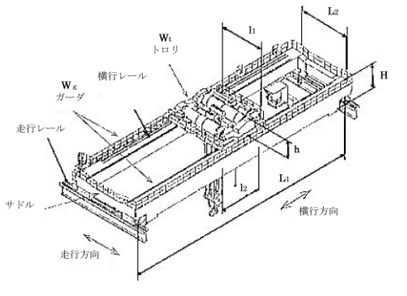
減衰比は，一般的に振動エネルギと消散エネルギの比で表される。消散エネルギはガーダ等の構造部材の材料減衰，トロリ，ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ，天井クレーン構造の建屋クレーンにおいては，ガーダ，トロリは固定構造ではなく，レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから，トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで，トロリの相対運動による消散エネルギはトロリ質量に比例し，振動エネルギはクレーンの振動質量に比例する。建屋クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており，地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる 1 次モードが支配的となる。そのため，振動質量はクレーンの総質量に比例し，減衰比はトロリ質量とクレーンの総重量の比に影響を受けることになる。

上表のとおり，東海第二発電所の建屋クレーンのトロリ重量と総重量の比は，試験体及び大間 1 号炉の実機と同程度になることを確認している。

以上から，建屋クレーンの設計用減衰定数として水平 2.0 %，鉛直 2.0 %を適用する。

天井クレーン試験体と島根 2 号炉及び大間 1 号炉の原子炉建物天井クレーンの仕様比較

仕様		試験体 1，2	試験体 3	島根 2 号炉	大間 1 号炉	備考
トロリ	質量 W_t (t)	43.5	71.0	56.0	80.0	
	高さ h (m)	2.265	3.0	3.393	2.815	
	スパン l_1 (m)	5.8	5.8	5.6	7.7	
	スパン l_2 (m)	4.1	3.0(主巻用) 2.5(補巻用)	4.85	4.6	
ガーダ	質量 W_g (t)	104.5	191.5	149.0	190.0	
	高さ H (m)	1.32	2.3	2.4	2.5	
	スパン L_1 (m)	33.0	33.0	34.9	34.9	
	スパン L_2 (m)	7.06	8.9	7.3	9.38	
総質量 W (t)		148.0	262.5	205.0	270.0	
トロリ質量と総質量の比 W_t／W		0.294	0.270	0.273	0.296	

【試験体と実機との比較の考え方】

減衰比は，一般的に振動エネルギと消散エネルギの比で表される。消散エネルギはガーダ等の構造部材の材料減衰，トロリ，ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ，原子炉建物天井クレーンにおいて，トロリ，ガーダは固定構造ではなく，レール－車輪間にすべりが発生する構造であることから，トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで，トロリとガーダの相対運動による消散エネルギはトロリ質量に比例し，振動エネルギはクレーンの振動質量に比例する。天井クレーンは建物に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており，地震時の振動モードは上下・水平方向ともにガーダ中央のたわみが最大となる 1 次モードが支配的となる。そのため，振動質量はクレーンの総質量に比例し，減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の影響を受けることになる。

上表より，島根 2 号炉の原子炉建物天井クレーンのトロリ質量と総質量の比は，試験体及び先行認可実績のある大間 1 号炉の実機と同程度になることを確認している。

以上から，島根 2 号炉の原子炉建物天井クレーンの設計用減衰定数として水平 2.0%，鉛直 2.0%を適用する。

参考資料2(1/2)

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

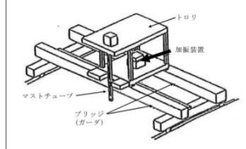
実機を試験体とした振動試験から得られた，燃料取替機の減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1．代表試験体の選定

燃料取替機５機について，基本仕様（トロリ及びブリッジの質量，高さ，スパン）を調査。
各燃料取替機の構成要素，基本構造，サイズ，質量及び振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機５機の中から建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

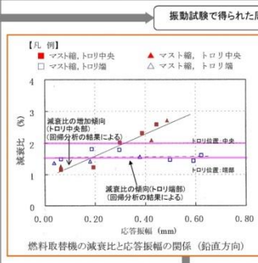
2．振動試験



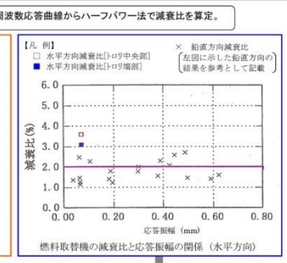
【加振方法(鉛直・水平方向)】
トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振。
(正弦波 5Hz～20Hz)

3．計測データの処理

振動試験で得られた固波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定。



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（鉛直方向）



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（水平方向）

4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（鉛直方向）】
トロリ位置が中央部の場合では，応答振幅の増加にしたがって減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅 0.40mm で減衰比 2.0%以上が得られている。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られている。

【設計用減衰定数（鉛直方向）】
トロリ位置が中央部の場合では，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，応答振幅レベル 0.40mm でも減衰比 2.0%以上となっていることから，設計用減衰定数 2.0%としたとしている。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから，設計用減衰定数 1.5%とした。

【試験結果（水平方向）】
燃料取替機の水平方向の減衰比は，トロリ位置が中央部では応答振幅 0.07mm において 3.6%，トロリ位置が端部では応答振幅 0.07mm において 3.1%という結果が得られている。

【設計用減衰定数（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%(トロリ中央部)及び 3.1%(トロリ端部)の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

参考資料－２（１／２）

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

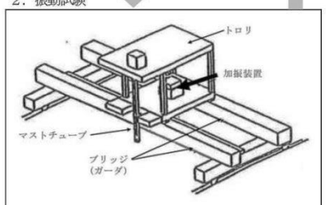
実機を試験体とした振動試験から得られた燃料取替機の減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1．代表試験体の選定

燃料取替機５機について，基本仕様（トロリ及びガーダの重量，高さ，スパン）を調査。
各燃料取替機の，構成要素・基本構造・サイズ・重量・振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機５機の中から建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

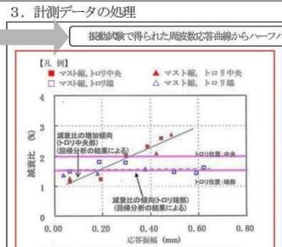
2．振動試験



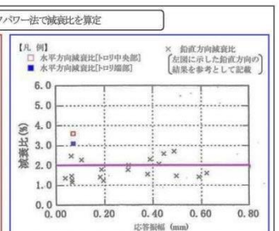
【加振方法（鉛直・水平方向）】
トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振
（正弦波　5Hz から 20Hz）

3．計測データの処理

振動試験で得られた周波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（鉛直方向）



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係（水平方向）

4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（鉛直方向）】
トロリ位置が中央部の場合では，応答振幅の増加にしたがって減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅 0.40 mm で減衰比 2.0 %以上が得られている。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず 1.5 %程度の減衰比が得られている。

【設計用減衰定数（鉛直方向）】
トロリ位置が中央部の場合では，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，応答振幅レベル 0.40 mm でも減衰比 2.0 %以上となっていることから，設計用減衰定数 2.0 %としたとしている。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず 1.5 %程度の減衰比が得られていることから，設計用減衰定数 1.5 %とした。

【試験結果（水平方向）】
燃料取替機の水平方向の減衰比は，トロリ位置が中央部では応答振幅 0.07 mm において 3.6 %，トロリ位置が端部では応答振幅 0.07 mm において 3.1%という結果が得られている。

【設計用減衰定数（水平方向）】
水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07 mm で 3.6 %（トロリ中央部）及び 3.1 %（トロリ端部）の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0 %を水平方向の設計用減衰定数とした。

参考資料(6－2)

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

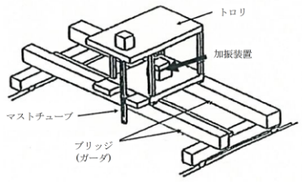
実機を試験体とした振動試験から得られた，燃料取替機の減衰特性に基づき，設計用減衰定数の検討を実施した。

1．代表試験体の選定

燃料取替機５タイプについて，基本仕様(トロリ及びガーダの重量，高さ，スパン)を調査。
各燃料取替機の構成要素，基本構造，サイズ，重量，振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機５機の中から，建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

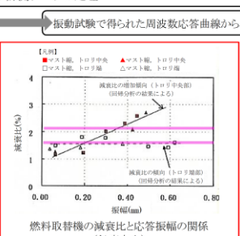
2．振動試験



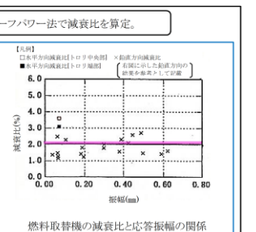
【加振方法(水平・鉛直方向)】
トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振
（正弦波　5Hz～20Hz）

3．計測データの処理

振動試験で得られた周波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定。



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係
（鉛直方向）



燃料取替機の減衰比と応答振幅の関係
（水平方向）

4．設計用減衰定数の設定

【試験結果(鉛直方向)】
トロリ位置が中央の場合では，応答振幅の増加にしたがって減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅 0.40mm で減衰比 2.0%以上が得られている。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず，1.5%程度の減衰比が得られている。

【設計用減衰定数(鉛直方向)】
トロリ位置が中央部の場合では，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，振幅レベル 0.40mm でも減衰比 2.0%以上となっていること，振幅が増加すると取付器具の振動等で構造減衰が増加し，設計応答振幅レベルでも減少することはないと考えられることから，設計用減衰定数 2.0%とした。
トロリ位置が端部の場合では，応答振幅に係らず，1.5%程度の減衰が得られていることから，設計用減衰定数 1.5%とした。

【試験結果(水平方向)】
燃料取替機の水平方向の減衰比は，トロリ位置が中央部では応答振幅 0.07mm において 3.6%，トロリ位置が端部では応答振幅 0.07mm において 3.1%という結果が得られている。

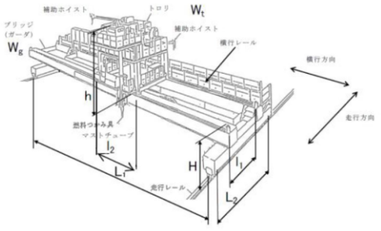
【設計用減衰定数(水平方向)】
水平方向の減衰比は，振幅レベル 0.07mm でも鉛直方向の減衰を上回ることが確認されており，鉛直方向の試験結果から，減衰比は応答振幅の増加とともに大きくなる傾向にあるが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

参考資料 2(2/2)

■ 燃料取替機の試験体と実機との仕様比較

燃料取替機は，フレーム構造のブリッジ上にトロリが設置されている構造である。燃料取替機試験体，柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉並びに大間1号炉の燃料取替機の主要な仕様を以下に示す。

燃料取替機試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の実機の仕様の比較

仕　様		試験体	実機			備　考
			柏崎刈羽		大間(参考)	
			6 号炉	7 号炉	1 号炉	
トロリ	質量 Wt(ton)	15.5	16.1	20.0	27.0	
	高さ h(m)	4.795	4.163	5.795	5.795	
	スパン l_1(m)	3.0	2.8	3.0	3.0	
	スパン l_2(m)	2.6	3.0	2.7	3.0	
ブリッジ	質量 Wg(ton)	23.6	30.4	28.5	40.0	
	高さ H(m)	2.005	2.917	2.005	2.075	
	スパン L_1(m)	12.46	15.16	15.16	15.16	
	スパン L_2(m)	4.6	4.8	4.6	4.43	
総質量	W(ton)	39.1	46.5	48.5	67.0	

■ 試験体と実機の比較の考え方

燃料取替機については，ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰，トロリ，ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰比に影響を与えると考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては，ブリッジ中央にトロリがある場合，ブリッジの端部にトロリのある場合の 2 種類ある。鉛直方向に関しては，ブリッジの中央にトロリがある場合の方が，ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて，減衰比は高くなっている。

ブリッジ中央にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，応答振幅レベル 0.40mm で減衰比 2.0%以上となっていることから，設計用減衰定数を 2.0%とする。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

ブリッジ端部にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから，設計用減衰定数 1.5%とした。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07mm で 3.1%の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

実機への適用性の観点では，上表の試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における燃料取替機の構造の比較から，ブリッジスパン，質量は同等以上となっており，振動特性として応答は大きくなる傾向にあると考えられる。また，試験では低加速度レベル（水平約 100Gal，鉛直約 200Gal）にて実施されているが，実際の基準地震動 Ss はそれよりも大きな加速度レベルとなる。試験結果から，応答の増加に伴い減衰比も増加傾向にあるため，上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。

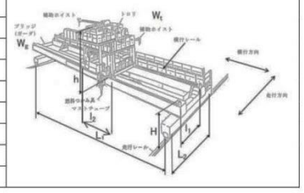
以上から，燃料取替機の設計用減衰定数として水平 2.0%，鉛直 1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)，2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を適用する。

参考資料－2（2／2）

○燃料取替機の試験体と実機との仕様比較

燃料取替機は，フレーム構造のブリッジ上にトロリが設置されている構造である。表 3-1 に燃料取替機試験体，東海第二発電所及び大間 1 号炉の燃料取替機の主要な仕様を示す。

表 3-1　燃料取替機試験体，実機燃料取替機仕様の比較

仕　様		試験体	実機		備　考
			東海第二	大間	
トロリ	質量 W_t (ton)	15.5	15.0	27.0	
	高さ h (m)	4.795	4.533	5.795	
	スパン l_1 (m)	3.0	2.5	3.0	
	スパン l_2 (m)	2.6	2.6	3.0	
ブリッジ	質量 W_g (ton)	23.6	36.0	40.0	
	高さ H (m)	2.005	2.415	2.075	
	スパン L_1 (m)	12.46	13.36	15.16	
	スパン L_2 (m)	4.6	4.6	4.43	
総質量	W_T (ton)	39.1	51.0	67.0	

○ 試験体と実機の比較の考え方

燃料取替機については，ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰，トロリ，ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰比に影響を与えると考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては，ブリッジ中央にトロリがある場合，ブリッジの端部にトロリのある場合の 2 種類ある。鉛直方向に関しては，ブリッジの中央にトロリがある場合の方が，ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて，減衰比は高くなっている。

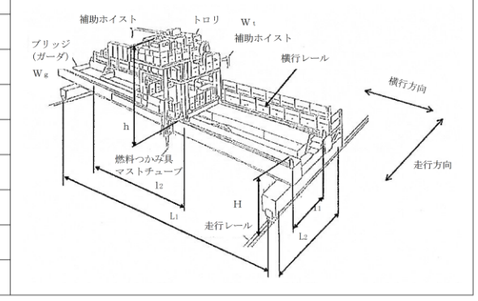
ブリッジ中央にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，応答振幅レベル 0.40 ㎜ で減衰比 2.0 %以上となっていることから，設計用減衰定数を 2.0 %とする。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07 ㎜ で 3.6 %の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0 %を水平方向の設計用減衰定数とした。

ブリッジ端部にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅に係らず 1.5 %程度の減衰比が得られていることから，設計用減衰定数 1.5 %とした。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07 ㎜ で 3.1 %の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0 %を水平方向の設計用減衰定数とした。

実機への適用性の観点では，上表の試験体と東海第二発電所における燃料取替機の構造の比較から，ブリッジスパン，質量は同等以上となっており，振動特性として応答は大きくなる傾向にあると考えられる。また，試験では低加速度レベル（水平約 100 Gal，鉛直約 200 Gal）にて実施されているが，実際の基準地震動 S_sはそれよりも大きな加速度レベルとなる。試験結果から，応答の増加に伴い減衰比も増加傾向にあるため，上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。

以上から，燃料取替機の設計用減衰定数として水平 2.0 %，鉛直 1.5 %（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0 %（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を適用する。

燃料取替機試験体と島根２号炉及び大間１号炉の燃料取替機の仕様の比較

仕様		試験体	島根２号炉	大間１号炉	備考
トロリ	質量 W_t (t)	15.5	13.1	27.0	
	高さ h (m)	4.795	5.795	5.795	
	スパン l_1 (m)	3.0	3.0	3.0	
	スパン l_2 (m)	2.6	2.6	3.0	
ブリッジ	質量 W_g (t)	23.6	27.5	40.0	
	高さ H (m)	2.005	2.005	2.075	
	スパン L_1 (m)	12.46	15.16	15.16	
	スパン L_2 (m)	4.6	4.6	4.43	
総質量 W [t]		39.1	40.6	67.0	

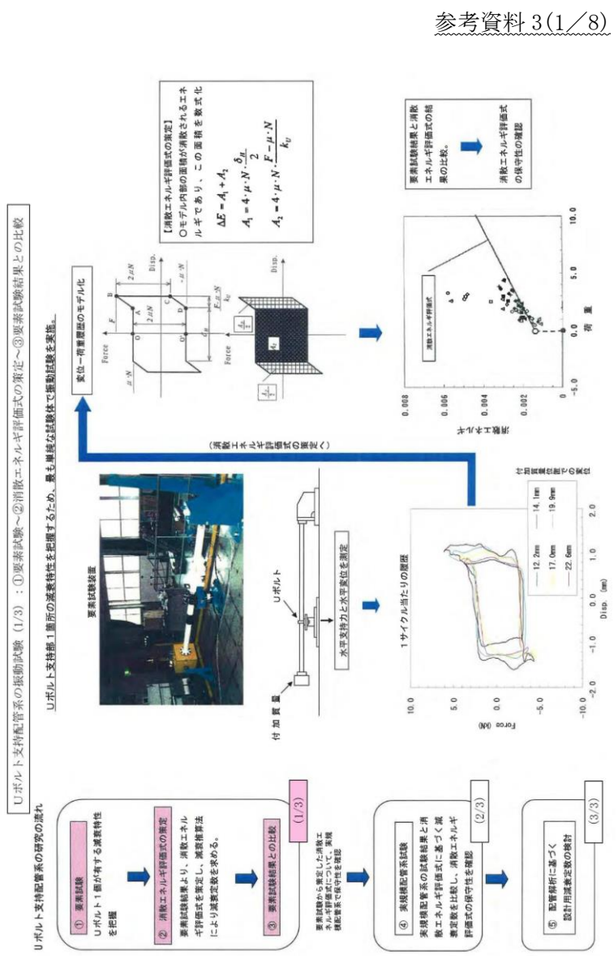
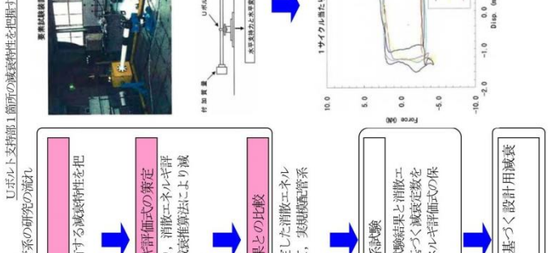
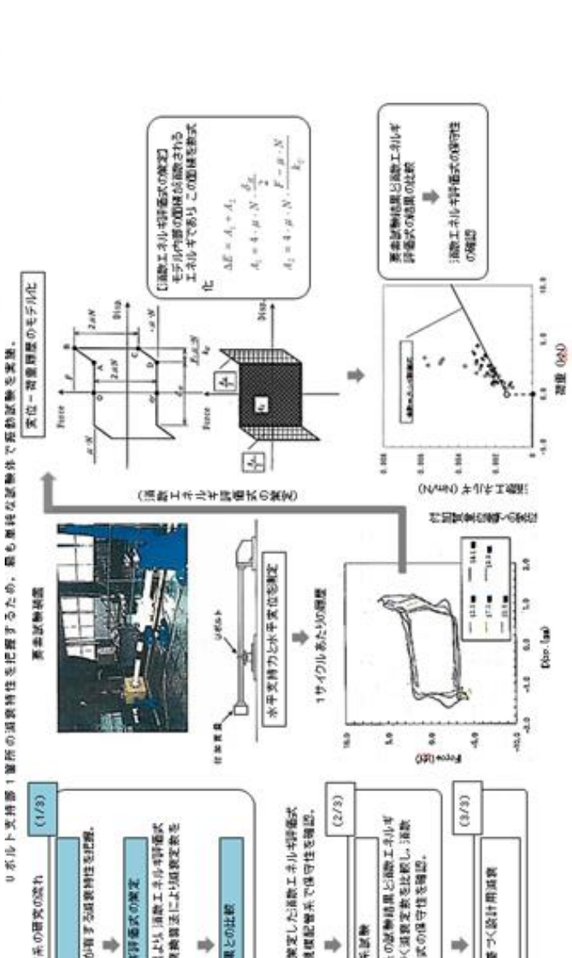
【試験体と実機との比較の考え方】

燃料取替機については，ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰及びトロリ，ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰に影響を与えると考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては，ブリッジ中央にトロリがある場合，ブリッジの端部にトロリがある場合の２種類ある。鉛直方向に関しては，ブリッジの中央にトロリがある場合の方が，ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて減衰比は高くなっている。

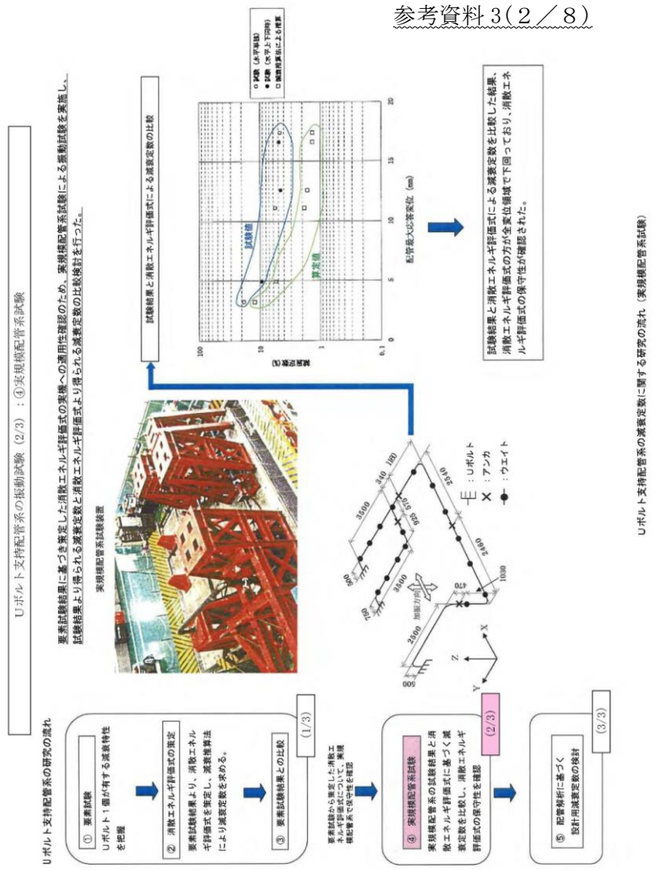
ブリッジの中央にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり，応答振幅レベル 0.40㎜ で減衰比 2.0%以上となっていることから，設計用減衰定数を 2.0%とする。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07㎜ で 3.6%の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

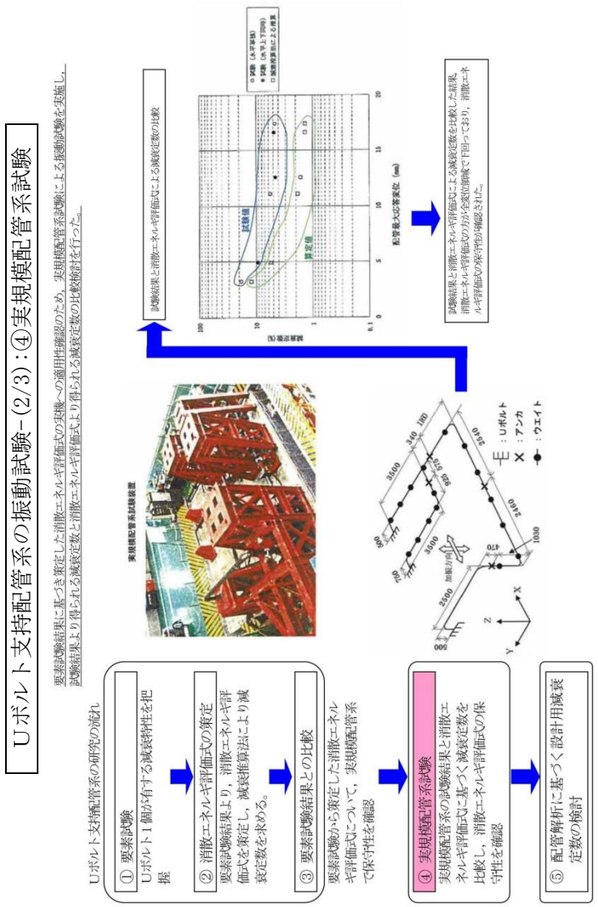
ブリッジの端部にトロリがある場合，鉛直方向に関しては，応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから，設計用減衰定数を 1.5%とした。水平方向の減衰比は，応答振幅レベル 0.07㎜ で 3.1%の減衰比が得られているが，データ点数が少ないため，鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

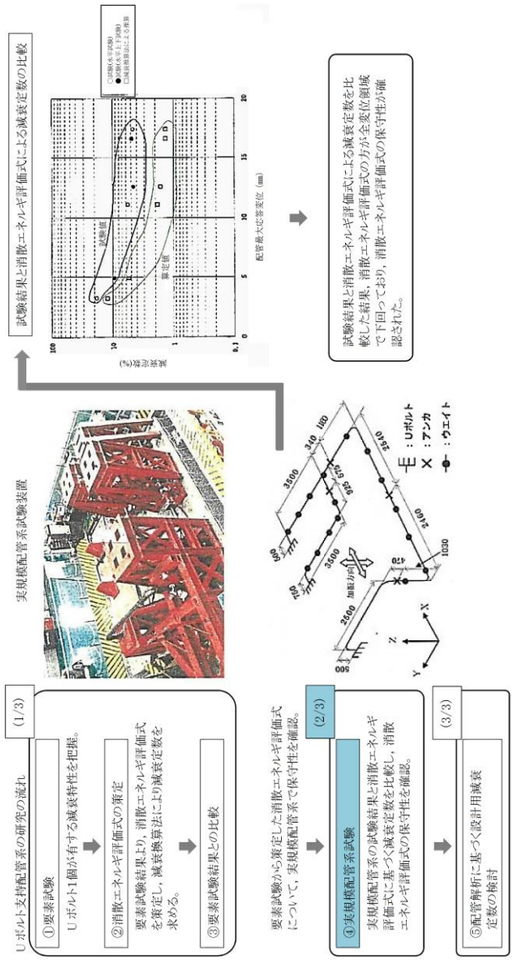
次に島根２号炉への適用性の観点では，上表より，サイズ及び質量は試験体とほぼ同等であるため，振動特性も同等であると考えられる。また，試験では低加速度レベル（水平約 100ga1，鉛直約 200ga1）にて実施されているが，実際の基準地震動Ｓｓはそれよりも大きい加速度レベルとなる。試験結果から，応答の増幅に伴い減衰比も増加傾向にあるため，上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。以上から，島根２号炉の燃料取替機における設計用減衰定数として水平 2.0%，鉛直 1.5%（燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合），2.0%（燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合）を適用する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考資料 3(1／8) 	参考資料－３（１／８） Ｕボルト支持配管系の振動試験－(1/3)：①要素試験～②消散エネルギ評価式の策定～③要素試験結果との比較 	参考資料(6－3) Ｕボルト支持配管系の振動試験（1/3）：①要素試験～②消散エネルギ評価式の策定～③要素試験結果との比較 	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考







Uボルト支持配管系の振動試験（3/3）：⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

Uボルト支持配管系の研究の流れ

① 要素試験
Uボルト1個が有する減衰特性を把握

② 消散エネルギ評価式の策定
要素試験結果より、消散エネルギ評価式を策定し、減衰推算法により減衰定数を求める。

③ 要素試験結果との比較
(1/3)

要素試験から策定した消散エネルギ評価式について、実機模配管系で保守性を確認

④ 実機模配管系試験
実機模配管系の試験結果と消散エネルギ評価式に基づく減衰定数を比較し、消散エネルギ評価式の保守性を確認
(2/3)

⑤ 配管解析に基づく設計用減衰定数の検討
・変位仮定減衰定数
・モード別減衰定数
(3/3)

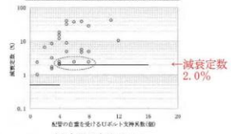
実機プラントにおいては、配管系の支持箇所やルートは多種多様である。ここでは、実機配管系の計算モデルに対して消散エネルギ評価式を用いて減衰定数を算出し、さらに、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数の検討を行った。

Uボルト支持配管系（28モデル）に対する解析による検討
（各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定）

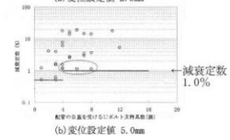
実規模配管系試験にて消散エネルギ評価式の保守性を確認したが、設計用減衰定数を設定するにあたっては、Uボルト支持具数や配管ルートなど様々な配管系について検討する必要がある。ここでは、消散エネルギ評価式による減衰定数が配管変位に依存するため、配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数（変位仮定減衰定数）を算出した。対象はUボルト支持部を有する実機配管系（28モデル）とした。

解析の結果、Uボルト4個以上の配管系において
・仮定変位2.5mmの場合、減衰定数2.0%以上が得られた。
・仮定変位5.0mmの場合、減衰定数1.0%以上が得られた。

Uボルト支持配管系の減衰推算結果



(a)変位設定値 2.5mm



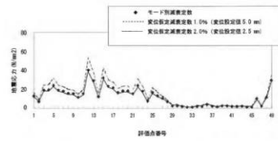
(b)変位設定値 5.0mm

詳細計算による減衰定数の検討
（モード別減衰定数による検討）

変位仮定減衰定数は計算結果からも判るように「仮定する変位」に依存する。そこで、変位2.5mmの減衰定数及び変位5.0mmの減衰定数のそれぞれ2%及び1%を与える下限値を示した配管モデルに対して、より詳細な解析を行い、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

比較検討の結果、詳細計算結果と変位2.5mmを与えた場合の結果がよく一致していることがわかり、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を2.0%に設定することとしたとしている。

なお、2.0%の適用に当たっては、以下の項目を条件とするとしている。
○Uボルトは、運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
○今回、検討対象としたUボルトの据付状態であること（架構で水平配管の自重を受けるUボルト）。



Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ（設計用減衰定数の検討）

Uボルト支持配管系の振動試験-(3/3)：⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

実機プラントにおいては，配管系の支持箇所やルートは多種多様である。ここでは，実機配管系の計算モデルに対して消散エネルギ評価式を用いて減衰定数を算出し，さらに，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数の検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

① 要素試験
Uボルト1個が有する減衰特性を把握

② 消散エネルギ評価式の策定
要素試験結果より，消散エネルギ評価式を策定し，減衰推算法により減衰定数を求める。

③ 要素試験結果との比較
要素試験から策定した消散エネルギ評価式について，実規模配管系で保守性を確認

④ 実規模配管系試験
実規模配管系の試験結果と消散エネルギ評価式に基づく減衰定数を比較し，消散エネルギ評価式の保守性を確認

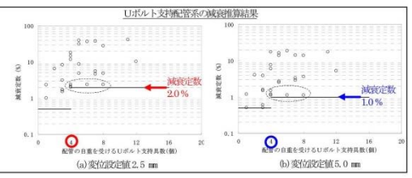
⑤ 配管解析に基づく設計用減衰定数の検討
変位仮定減衰定数
モード別減衰定数

Uボルト支持配管系（28モデル）に対する解析による検討
（各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定）

○ 前項までに，実規模配管系試験にて消散エネルギ評価式の保守性を確認
○ 設計用減衰定数を設定するにあたっては，Uボルト支持具数や配管ルートなど様々な配管系について検討する必要がある。
○ 消散エネルギ評価式による減衰定数が配管変位に依存するため，配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数（変位仮定減衰定数）を算出した。
対象はUボルト支持部を有する実機配管系(28モデル)とした。

解析の結果，Uボルト4個以上の配管系において
(a) 仮定変位2.5 mmの場合，減衰定数2.0 %以上が得られた。
(b) 仮定変位5.0 mmの場合，減衰定数1.0 %以上が得られた。

Uボルト支持配管系の減衰推算結果

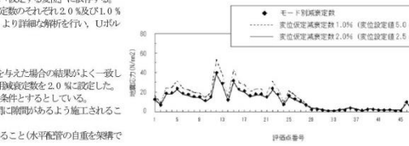


(a) 変位設定値2.5 mm　(b) 変位設定値5.0 mm

詳細計算による減衰定数の検討（モード別減衰定数による検討）

○ 変位仮定減衰定数は計算結果からも判るように「仮定する変位」に依存する。
○ 変位2.5 mmの減衰定数及び変位5.0 mmの減衰定数のそれぞれ2.0 %及び1.0 %を与える下限値を示した配管モデルに対して，より詳細な解析を行い，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

比較検討の結果，詳細計算結果と変位2.5 mmを与えた場合の結果がよく一致していることが分かり，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を2.0%に設定した。
なお，2.0 %の適用に当たっては，以下の項目を条件とする。
○ Uボルトは，運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
○ 今回検討対象としたUボルトの据付状態であること。(水平配管の自重を架構で受けるUボルト)



Uボルト支持配管系の振動試験（3/3）：⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の設定

実機プラントにおいては，配管系の支持箇所やルートは多種多様である。ここでは，実機配管系の計算モデルに対して消散エネルギ評価式を用いて減衰定数を算出し，さらに，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数の検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ (1/3)

①要素試験
Uボルト1個が有する減衰特性を把握。

②消散エネルギ評価式の策定
要素試験結果より，消散エネルギ評価式を策定し，減衰換算法により減衰定数を求める。

③要素試験結果との比較

要素試験から策定した消散エネルギ評価式について，実規模配管系で保守性を確認。

(2/3)
④実規模配管系試験
実規模配管系の試験結果と消散エネルギ評価式に基づく減衰定数を比較し，消散エネルギ評価式の保守性を確認。

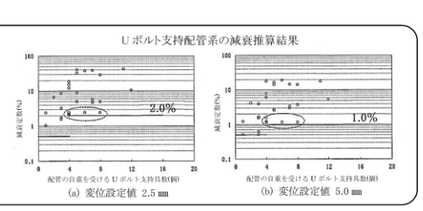
(3/3)
⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

Uボルト支持配管系(28モデル)に対する解析による検討(各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定)

○ 前項までに，実規模配管系試験にて消散エネルギ評価式の保守性を確認。
○ 設計用減衰定数を設定するに当たり，Uボルトの支持具数や配管ルート等様々な配管系について検討する必要がある。
○ 消散エネルギ評価式による減衰定数が配管変位に依存するため，配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数(変位仮定減衰定数)を算出した。対象はUボルト支持部を有する実機配管系(28モデル)とした。

解析の結果，Uボルト4個以上の配管系において，
(a) 仮定変位2.5 mmの場合，減衰定数2.0%以上が得られた。
(b) 仮定変位5.0 mmの場合，減衰定数1.0%以上が得られた。

Uボルト支持配管系の減衰推算結果

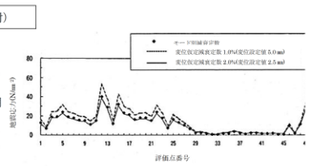


(a) 変位設定値 2.5 mm　(b) 変位設定値 5.0 mm

詳細計算による減衰定数の検討(モード別減衰定数による検討)

○ 変位仮定減衰定数は，計算結果からも分かるように「仮定する変位」に依存する。
○ 変位2.5 mmの減衰定数及び変位5.0 mmの減衰定数である2.0%及び1.0%を与える下限値を示した配管モデルに対して，より詳細な解析を行い，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

比較検討の結果，詳細計算結果と変位2.5 mmを与えた場合の結果がよく一致していることが分かり，Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を2.0%に設定した。
なお，設計用減衰定数2.0%適用に当たり，以下の項目を条件とする。
○ Uボルトは，運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
○ 今回検討対象としたUボルトの据付状態であること。(水平配管の自重を架構で受けるUボルト)

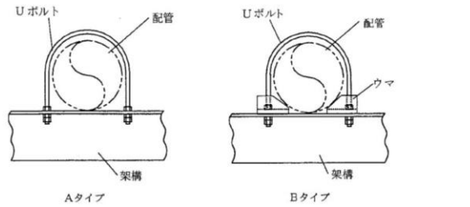


柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

参考資料３（４／８）

【補足】要素試験に用いたＵボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたＵボルトは，原子力発電所で採用されている代表的な４タイプを選定した。



参考資料３（５／８）

【解析を行った配管仕様】

・口径：２０Ａ～４００Ａ

・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

上記のうちＢＷＲ実機配管

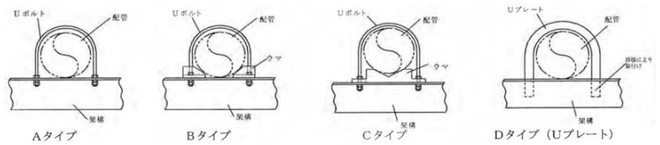
	系統	口径
b 配管	ＣＲＤ	３２Ａ
e 配管	ＡＣ	５０Ａ
o 配管	ＲＨＲ	１５０Ａ
p 配管	ＦＰＣ	４０Ａ
q 配管	ＭＵＷＣ	１００Ａ
r 配管	ＭＵＷＣ	１５０Ａ，８０Ａ
s 配管	ＲＣＷ	２００Ａ
t 配管	ＲＣＷ	２００Ａ，８０Ａ
u 配管	ＣＲＤ	３２Ａ

東海第二発電所（2018.9.18 版）

参考資料－３（４／８）

【補足】要素試験に用いたＵボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたＵボルトは，原子力発電所で採用されている代表的な４タイプを選定した。



参考資料－３（５／８）

【解析を行った配管仕様】

・口径：20A～400A

・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

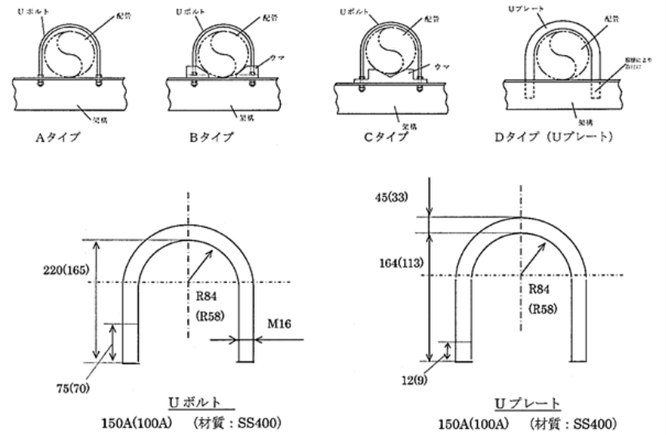
上記のうちＢＷＲ実機配管

	系統	口径
b 配管	ＣＲＤ	32A
e 配管	ＡＣ	50A
o 配管	ＲＨＲ	150A
p 配管	ＦＰＣ	40A
q 配管	ＭＵＷＣ	100A
r 配管	ＭＵＷＣ	150A，80A
s 配管	ＲＣＷ	200A
t 配管	ＲＣＷ	200A，80A
u 配管	ＣＲＤ	32A

島根原子力発電所　２号炉

【補足】要素試験に用いたＵボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたＵボルトは，原子力発電所で採用されている代表的な４タイプを選定した。



【解析を行った配管仕様】

・口径：20Ａ～400Ａ

・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

解析を行ったＢＷＲ実機配管

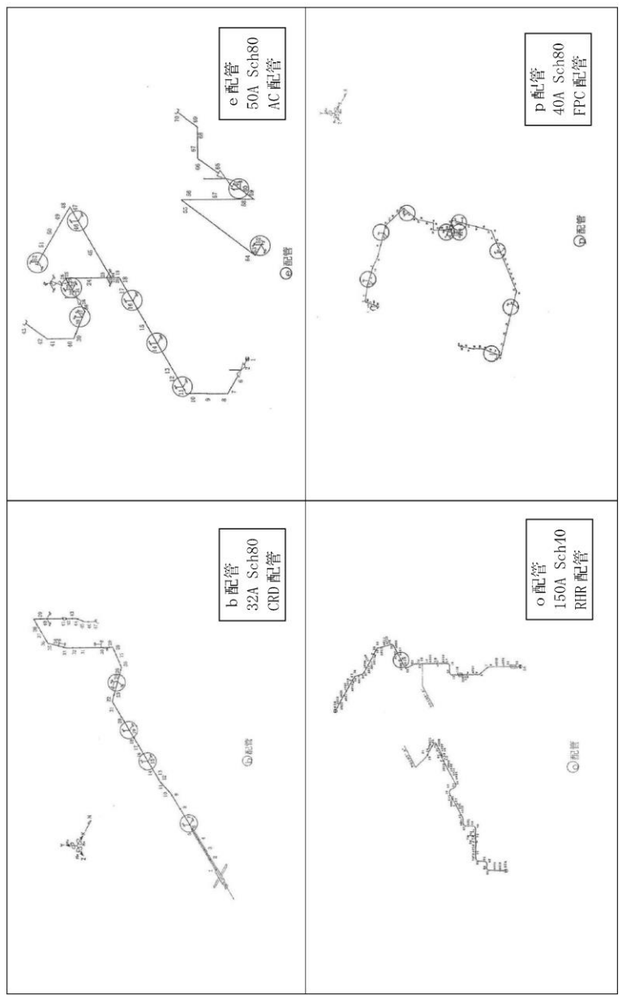
	系　統	口　径
ⓑ配管	ＣＲＤ	32Ａ
ⓔ配管	ＡＣ	50Ａ
ⓞ配管	ＲＨＲ	150Ａ
ⓟ配管	ＦＰＣ	40Ａ
ⓠ配管	ＭＵＷＣ	100Ａ
ⓡ配管	ＭＵＷＣ	150Ａ，80Ａ
ⓢ配管	ＲＣＷ	200Ａ
ⓣ配管	ＲＣＷ	200Ａ，80Ａ
ⓤ配管	ＣＲＤ	32Ａ

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

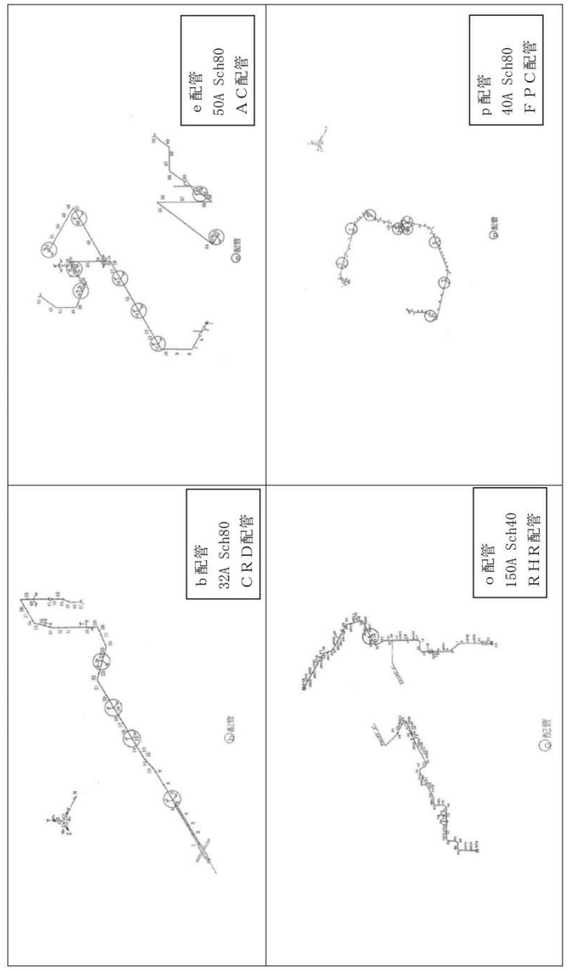
参考資料３（６／８）

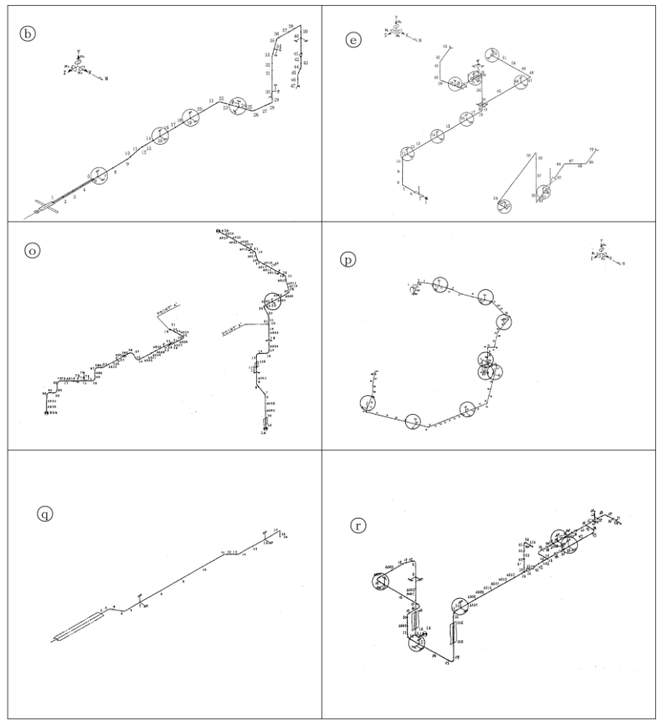
実機配管系の解析モデル図（ｂ・ｅ・ｏ・ｐ配管）



参考資料－３（６／８）

実機配管系の解析モデル図（ｂ・ｅ・ｏ・ｐ配管）

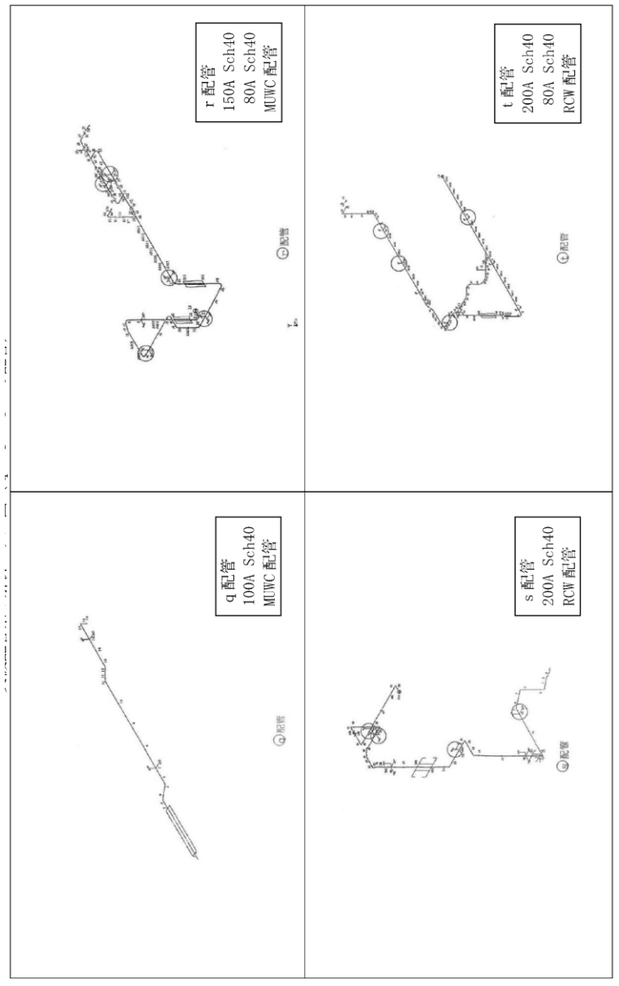




柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

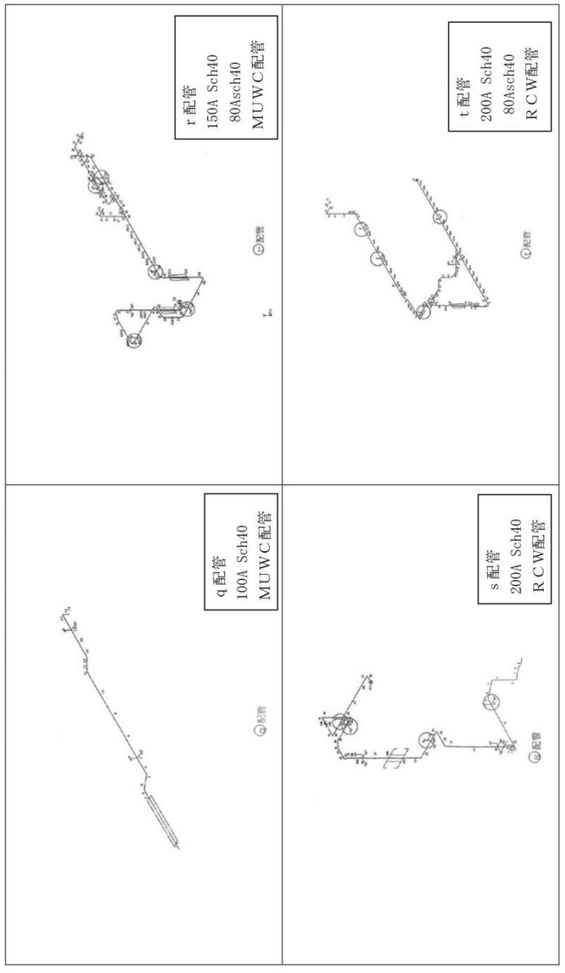
参考資料３（７／８）

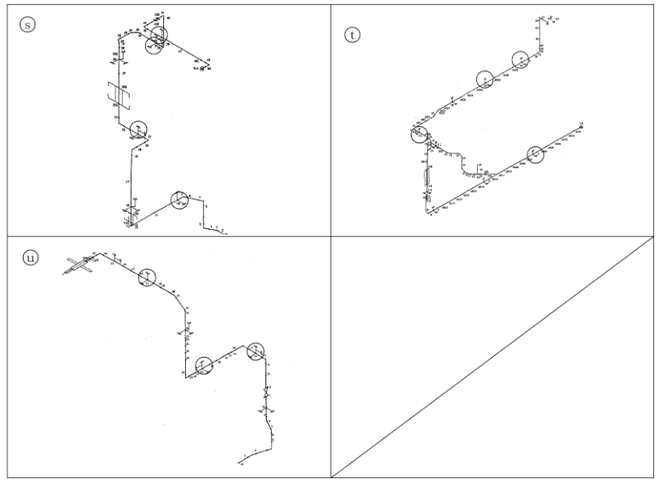
実機実機配実機配管系の解析モデル図（ｑ・ｒ・ｓ・ｔ配管）



参考資料－３（７／８）

実機配管系の解析モデル図（ｑ・ｒ・ｓ・ｔ配管）

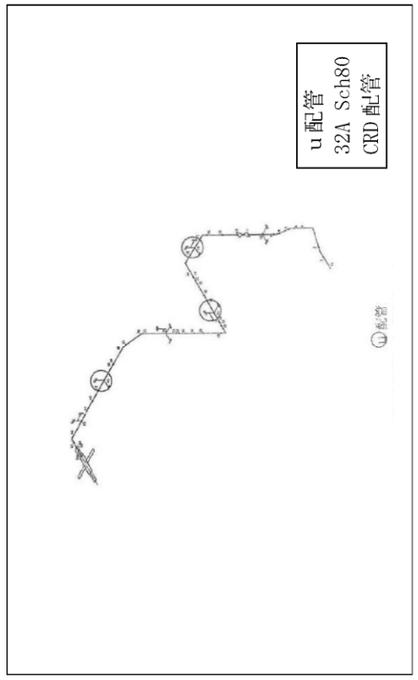




柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

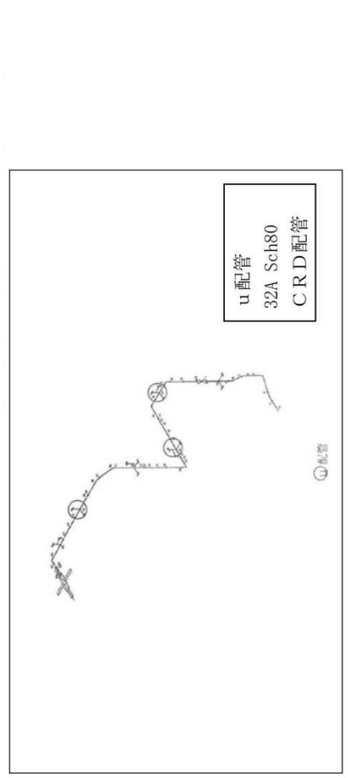
参考資料３（８／８）

実機実機配管系の解析モデル図（ｕ配管）



参考資料－３（８／８）

実機配管系の解析モデル図（ｕ配管）



参考資料4

配管系の保温材による付加減衰定数

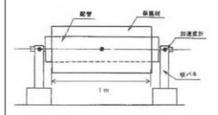
試験体を使用した振動試験から得られた、配管系の保温材による付加減衰定数に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1．試験体

3種類の配管口径
① 8B(200A)
②12B(300A)
③20B(500A)
の試験体を用いて振動試験を実施

2．振動試験

振動試験は保温材有りの場合／
保温材無しの場合について実施
（保温材厚さ75mm）

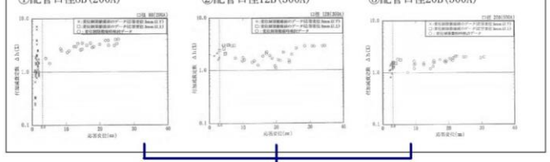


試験装置の概略図

3．試験結果

保温材有・無の結果を比較し、保温材が有る場合に付加できる減衰定数
（以下、付加減衰定数という。）と変位との関係を示す。

①配管口径8B(200A)　②配管口径12B(300A)　③配管口径20B(500A)



4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（8B, 12B, 20B）】
○応答変位3mm以上の領域
保温材による付加減衰定数は1.0%以上、応答変位の増大に伴い漸増または一定の値を示す傾向
○応答変位3mm以下の領域（小応答領域）
減衰データにばらつきあり、付加減衰定数1%以下の場合もある

【設計用減衰定数の設定】
小応答変位領域については、配管強度上問題とならないことから、保温材による付加減衰定数は1.0%とする。

※ただし、本試験において金属保温材が施工されている配管長さは配管全長に対し40%を超える割合であったことから、下記の適用条件を設定した。
①金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%以下の場合・・・1.0%を付加する
②　〃　40%を超える場合・・・0.5%を付加する

参考資料－4

配管系の保温材による付加減衰定数

試験体を使用した振動試験から得られた配管系の保温材による付加減衰定数に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1．試験体

配管口径の異なる3種類（①8B(200A)，②12B(300A)，③20B(500A)）の試験体を用いて振動試験を実施

2．振動試験

振動試験は保温材有り場合／保温材無しの場合について実施。（保温材厚さ75 mm）



試験装置の概略図

3．試験結果

（保温材有・無の結果を比較し，保温材が有る場合に付加できる減衰定数（以下「付加減衰定数」という。）と変位との関係を示す。）

①配管口径 8B(200A)　②配管口径 12B(300A)　③配管口径 20B(500A)

4．設計用減衰定数の設定

【試験結果（8B，12B，20B）】
○応答変位 3 mm 以上の領域
保温材による付加減衰定数は 1.0 %以上，応答変位の漸増または一定の値を示す傾向
○応答変位 3 mm 以下の領域（小応答領域）
減衰データにばらつきあり，付加減衰定数 1.0 %以下の場合もある

【設計用減衰定数の設定】
小応答変位領域については，配管上強度問題とならないことから，保温材による付加減衰定数は 1.0 %とする。

※ ただし，本試験において金属保温材が施工されている配管長さは配管全長に対し 40 %を超える割合であったことから，下記の適用条件を設定した。
① 金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して 40%以下の場合・・・・1.0 %を付加する
② 金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して 40%を超える場合・・・0.5 %を付加する

参考資料(6－4)

配管系の保温材による付加減衰定数（無機多孔質保温材）

試験体（無機多孔質保温材）を使用した振動試験から得られた配管系の保温材による付加減衰定数に基づき，設計用減衰定数の検討を行った。

1. 試験体

配管口径の異なる3種類(①8B(200A)，②12B(300A)，③20B(500A))の試験体を用いて振動試験を実施。

2. 振動試験

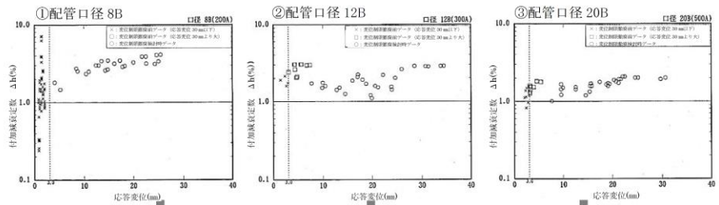
振動試験は保温材有りの場合及び保温材無しの場合について実施。
(保温材厚さ 75mm)

試験装置概略図

3. 試験結果

保温材有・無の結果を比較し，保温材が有る場合に付加できる減衰定数(付加減衰定数)と変位との関係を示す。

①配管口径 8B　②配管口径 12B　③配管口径 20B

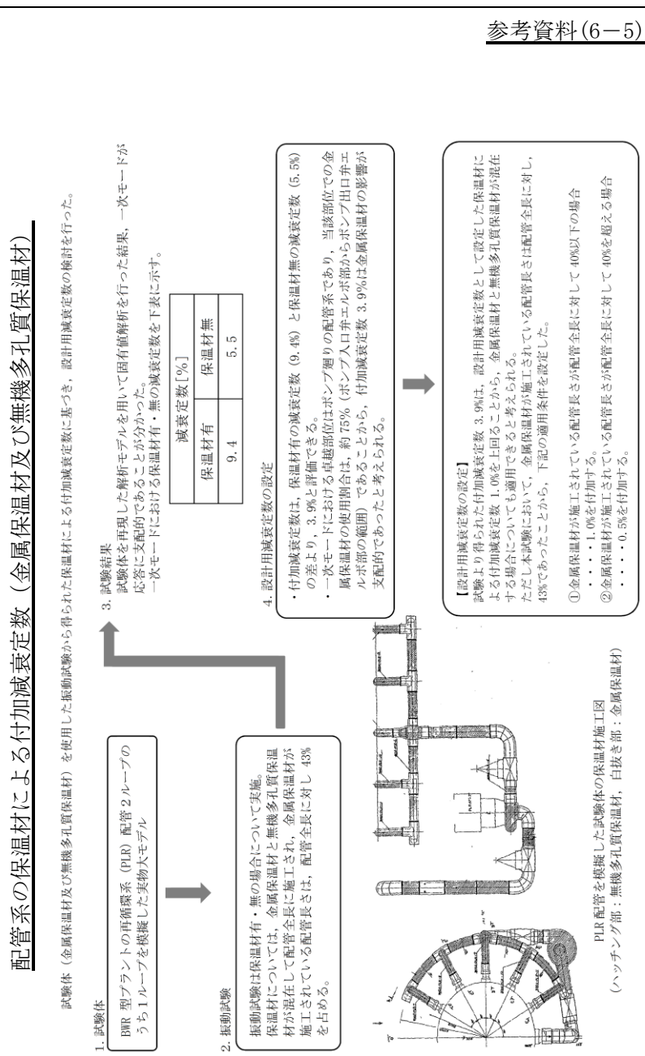


4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果(8B, 12B, 20B)】
○応答変位 3.0 ㎜以上の領域
保温材による付加減衰定数は 1.0%以上，応答変位の漸増又は一定の値を示す傾向。
○応答変位 3.0 ㎜以下の領域(小応答領域)
減衰データにばらつきがあり，付加減衰定数 1.0%以下の場合がある。

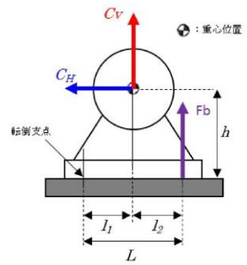
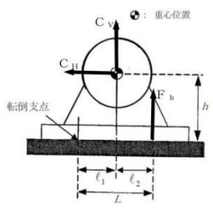
【設計用減衰定数の設定】
小応答領域については，配管の強度上問題とならないことから，保温材による付加減衰定数は 1.0%とする。

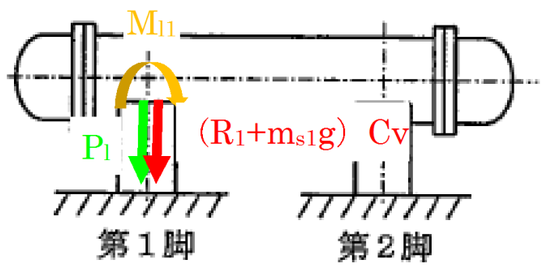
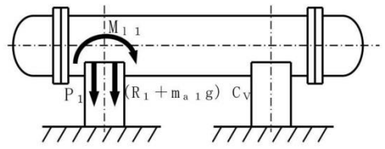
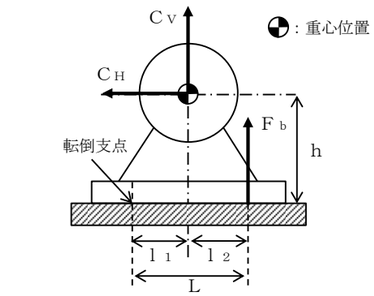
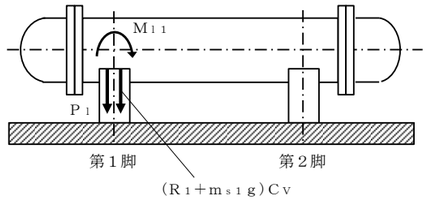
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		参考資料(6－5)	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ①の相違



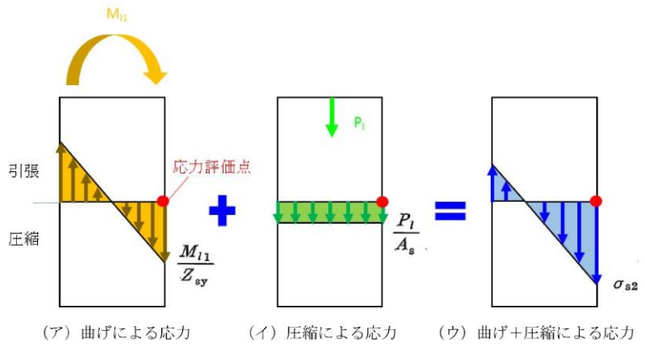
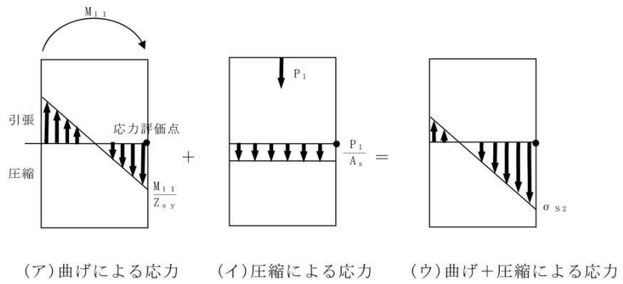
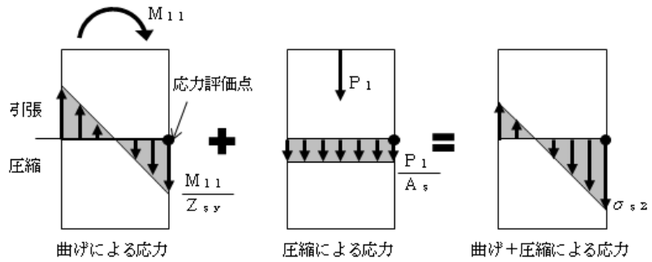
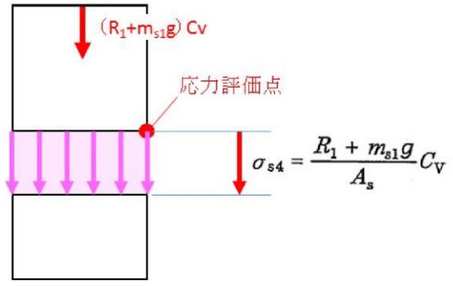
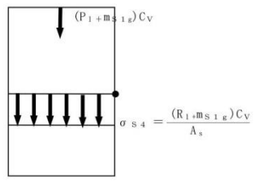
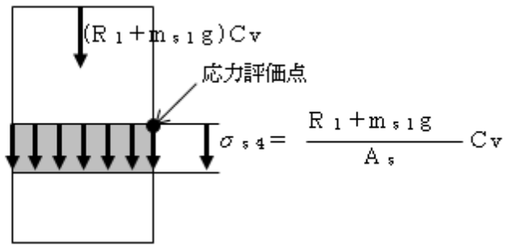
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料 4 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ 1. 概要 今回工認の耐震設計では，これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について，動的な地震力を考慮することとなるとともに，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。 従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組み合わせは，静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから，水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。（以下「絶対値和法」という。） 一方，水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合，両者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ると，従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく，時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。 本資料では，水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関する既往研究 (1) をもとに，二乗和平方根法（以下「SRSS 法（Square Root of the Sum of the Squares)」という。）による組み合わせ法の妥当性について説明するものである。 なお，SRSS 法による組み合わせは，大間１号炉の建設工認において適用実績のある手法である。 2. 柏崎刈羽原子力発電所で用いる荷重の組み合わせ法 柏崎刈羽原子力発電所では，静的な地震力による荷重の組合せについては，従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また，動的な地震力による荷重の組合せについては，既往知見に基づき，SRSS 法を用いて評価を行うことも可能である。	添付資料 6 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて 1. 概要 今回工認の耐震設計では，これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について，動的な地震力を考慮することとなるとともに，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。 従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せは，静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから，水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた（以下「絶対値和法」という。）。 一方，水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合，両者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ると，従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく，時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。 本資料では，水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関する既往研究 (1) をもとに，二乗和平方根法（以下「ＳＲＳＳ法（Square Root of the Sum of the Squares)」という。）による組合せ法の妥当性を説明するものである。 なお，ＳＲＳＳ法による組合せは，大間１号炉の既工認において適用実績のある手法である。 2. 東海第二発電所で用いる荷重の組合せ法 東海第二発電所では，静的な地震力による荷重の組合せについては，従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また，動的な地震力による荷重の組合せについては，既往知見に基づき，ＳＲＳＳ法を用いて評価を行う。	添付資料－7 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて 1. 概要 今回工認の耐震設計では，これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について，動的な地震力を考慮することに伴い，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。 従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せは，静的地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の発生時刻のような時間の概念がなかったことから，水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値和としていた（以下「絶対値和法」という。）。 一方，水平方向及び鉛直方向がともに動的地震力である場合，両者の最大加速度の発生時刻に差があるという実挙動を踏まえると，従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく，時間的な概念を取り入れた荷重の組合せ方法を検討する必要がある。 本資料では，水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関する既往研究（１）をもとに，二乗和平方根（以下「ＳＲＳＳ（Square Root of the Sum of the Squares)」という。）法による組合せの妥当性について説明するものである。 なお，ＳＲＳＳ法による荷重の組合せは，大間１号炉建設工認及び東海第二新規制工認において適用実績のある手法である。 2. 島根２号炉で用いる荷重の組合せ方法 島根２号炉では，静的地震力による荷重の組合せについては，従来通り絶対値和法を用いて評価を行う。また，動的地震力による荷重の組合せについては，既往知見に基づきＳＲＳＳ法を用いて評価を行う。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組み合わせ法に関する研究の成果 3.1 荷重の組み合わせ法の概要 絶対値和法とSRSS 法の概要を以下に示す。 (1) 絶対値和法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を絶対値和で組み合わせる方法である この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており，組合せ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は，主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）＝$\lvert M_H \rvert_{max} + \lvert M_V \rvert_{max}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） (2) SRSS 法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており，水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は，動的な地震力による荷重同士の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）$=\sqrt{(M_H)_{max}^2 + (M_V)_{max}^2}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） ※：荷重の段階で組み合わせる場合と，荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。（次頁の「補足」参照） 応力で組み合わせる場合は，妥当性を確認した上で適用する。	3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せ法に関する研究の成果 3.1 荷重の組合せ法の概要 絶対値和法とＳＲＳＳ法の概要を以下に示す。 (1) 絶対値和法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を絶対値和で組み合わせる方法である。 この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており，組合せ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は，主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）＝$\lvert M_H \rvert_{max} + \lvert M_V \rvert_{max}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） (2) ＳＲＳＳ法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており，水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析との比較において平均的な荷重を与える。本手法は，動的な地震力による荷重の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）$=\sqrt{(M_H)_{max}^2 + (M_V)_{max}^2}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） ※：荷重の段階で組み合わせる場合と，荷重による発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。 応力の段階で組み合わせる場合は，その妥当性を確認した上で用いる。	3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せ方法に関する研究の成果 3.1 荷重の組合せ方法の概要 荷重の組合せ方法として，絶対値和法及びＳＲＳＳ法の概要を以下に示す。 (1) 絶対値和法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）注を絶対値和で組み合わせる方法である。 この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で発生することを仮定しており，組合せ方法の中では最も大きな荷重を与える。本手法は，主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）＝$\lvert M_H \rvert_{max} + \lvert M_V \rvert_{max}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） (2) ＳＲＳＳ法 本手法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）注を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は，水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の発生時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており，水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は動的地震力による荷重同士の組合せに使用する。 組合せ荷重（又は応力）$=\sqrt{(M_H)_{max}^2 + (M_V)_{max}^2}$ M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力） 注：荷重の段階で組み合わせる場合と荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある（次頁補足参照）。 応力で組み合わせる場合は，その妥当性を確認した上で適用する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
（補足）荷重または応力による組み合わせについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をSRSSで組み合わせる際，評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と，荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは，その使い分けについて具体例を用いて説明する。 A. 荷重の段階で組み合わせを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると，以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組み合わせは，荷重である水平方向地震力によるモーメント（m・g・CH・h）と鉛直方向地震力によるモーメント（m・g・Cv・l1）を組み合わせる。 本手法については，非同時性を考慮する地震荷重についてのみSRSS しており，実績のある妥当な手法である。 【絶対和】 $F_b = \frac{1}{L}\{mg(C_H h + C_V l_1) + mgC_p(h + l_1) + M_P - mgl_1\}$ …（式A-1） 【SRSS 法】 $F_b = \frac{1}{L}\{mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_p(h + l_1) + M_P - mgl_1\}$ …（式A-2）  Fb ：基礎ボルトに生じる引張力 CH ：水平方向震度 Cv ：鉛直方向震度 Cp ：ポンプ振動による震度 g ：重力加速度 h ：据付面から重心までの距離 l1, l2 ：重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L ：支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 m ：機器の運転時質量 MP ：ポンプ回転により働くモーメント 第A図 横形ポンプに作用する震度	（補足）荷重または応力による組合せについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をＳＲＳＳ法で組み合わせる際，評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と，荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは，その使い分けについて具体例を用いて説明する。 Ａ．荷重の段階で組合せを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると，以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組合せは，荷重である水平方向地震力によるモーメント（m・g・C_H・h）と鉛直方向地震力によるモーメント（m・g・C_V・l_1）を組み合わせる。 本手法については，非同時性を考慮する地震荷重についてのみＳＲＳＳしており，実績のある妥当な手法である。 【絶対値和法】 $Fb = \frac{1}{L}\{mg(C_H h + C_V l_1) + mgCp(h + l_2) + Mp - mgl_1\}$ 【ＳＲＳＳ法】 $Fb = \frac{1}{L}\{mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgCp(h + l_2) + Mp - mgl_1\}$  Fb ：基礎ボルトに生じる引張力 CH ：水平方向震度 CV ：鉛直方向震度 Cp ：ポンプ振動による震度 g ：重力加速度 h ：据付面から重心までの距離 l1, l2 ：重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L ：支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 m ：機器の運転時質量	（補足）荷重又は応力による組合せについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をＳＲＳＳ法で組み合わせる際，評価対象機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここではその使い分けについて，具体例を用いて説明する。 Ａ．荷重の段階で組合せを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とする。以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組合せは，荷重である水平方向地震力によるモーメント（ｍ・ｇ・ＣＨ・ｈ）と鉛直方向地震力によるモーメント（ｍ・ｇ・ＣＶ・ｌ１）を組み合わせる。 本手法については，非同時性を考慮する地震荷重についてのみＳＲＳＳしており，実績のある妥当な手法である。 【絶対値和法】 $F_b = \frac{1}{L}\{mg(C_H h + C_V l_1) + mgC_P(h + l_1) + M_P - mgl_1\}$ …（式Ａ－1） 【ＳＲＳＳ法】 $F_b = \frac{1}{L}\left\{mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_P(h + l_1) + M_P - mgl_1\right\}$ …（式Ａ－2） ここで， F_b：基礎ボルトに生じる引張力 C_H：水平方向震度 C_V：鉛直方向震度 C_P：ポンプ振動による震度 M_P：ポンプ回転により働くモーメント ｇ　：重力加速度 ｈ　：据付面から重心までの距離 l_1，l_2：重心と基礎ボルト間の水平方向距離 Ｌ　：支点とする基礎ボルトから最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 ｍ　：機器の運転時質量 である。	

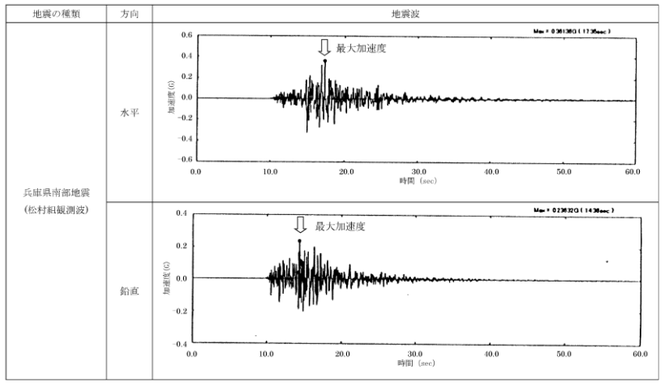
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
B. 応力による組み合わせを行う場合 横置円筒形容器の脚の組合せ応力の評価を例とすると，脚には，水平方向地震力による曲げモーメント M_{l1} 及び鉛直方向荷重 P_l，鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_l+m_{sl}g)\ C_V$ が作用する。（第 B-1 図）  第 B-1 図 横置円筒容器の脚部に作用する荷重 水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は式 B-1，式 B-2 で表され，脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力を SRSS 法により組み合わせて式 B-4 を用いて評価を行う。	Ｂ．応力による組合せを行う場合 横置円筒形容器の脚部の組合せ応力の評価を例とすると，脚部には水平方向地震力による曲げモーメント M_{l1} 及び鉛直方向荷重 P_l，鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_l+m_{al}g)\ C_V$ が作用する。（図Ｂ－１）  図Ｂ－１　横置円筒系容器の脚部に作用する荷重 水平方向地震力による応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による応力 σ_{s4} は式Ｂ－１及び式Ｂ－２で表され，脚部の組合せ応力の評価の際は，これらの応力をＳＲＳＳ法により組み合わせて式Ｂ－４を用いて評価を行う。	Ｂ．応力による組合せを行う場合 横置円筒形容器の脚の組合せ応力の評価を例とする。脚には，水平方向地震力による曲げモーメント M_{l1} 及び鉛直方向荷重 P_l，鉛直方向地震力による鉛直荷重 が作用する。  図Ａ－１　横形ポンプに作用する震度  図Ｂ－１　横置円筒形容器の脚部に作用する荷重 水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は以下の式で表され，脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力をＳＲＳＳ法により組み合わせて評価を行う。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
$\sigma_{s2}=\frac{M_{l1}}{Z_{sy}}+\frac{P_l}{A_s}$ …（式 B-1） σ_{s2}：水平方向地震力により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和 M_{l1}：水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント P_l：水平方向地震力により胴の脚つけ根部に作用する鉛直方向荷重 Z_{sy}：脚の断面係数 A_s：脚の断面積 $\sigma_{s4}=\frac{R_1+m_{s1}g}{A_s}C_V$ …（式 B-2） σ_{s4}：鉛直方向地震力により脚に生じる圧縮応力 R_1：脚が受ける自重による荷重 m_{s1}：脚の質量 g：重力加速度 C_V：鉛直方向震度 【絶対和】 $\sigma_{sl}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s4})^2+3\tau_{s2}^2}$ …（式 B-3） 【SRSS 法】 $\sigma_{sl}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\tau_{s2}^2}$ …（式 B-4） σ_{sl}：水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚の組合せ応力 σ_{s1}：運転時質量により脚に生じる圧縮応力 τ_{s2}：水平方向地震力により脚に生じるせん断応力	$\sigma_{s2}=\frac{M_{l1}}{Z_{sy}}+\frac{P_l}{A_s}$ …（式Ｂ－１） $\sigma_{s4}=\frac{R_1+m_{s1}g}{A_s}C_V$ …（式Ｂ－２） σ_{s2}：水平方向地震により脚部に生じる曲げ及び圧縮応力の和 M_{l1}：水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント P_l：水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重 Z_{sy}：脚部の断面係数 A_s：脚部の断面積 σ_{s4}：鉛直方向地震力により生じる圧縮応力 R_1：脚部が受ける自重による荷重 m_{s1}：脚部の質量 【絶対値和法】 $\sigma_{s1}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s4})^2+3\tau_{s2}^2}$ …（式Ｂ－３） 【ＳＲＳＳ法】 $\sigma_{s1}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{(\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2)})^2+(3\tau_{s2}^2)}$ …（式Ｂ－４） σ_{s1}：水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚部の組合せ応力 σ_{s1}：運転時質量により脚部に生じる圧縮応力 τ_{s2}：水平方向地震力により脚に生じるせん断応力	$\sigma_{s2}=\frac{M_{l1}}{Z_{sy}}+\frac{P_l}{A_s}$ …(式Ｂ－1) $\sigma_{s4}=\frac{R_1+m_{s1}g}{A_s}C_V$ …(式Ｂ－2) 【絶対値和法】 $\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s4})^2+3\tau_{s2}^2}$ …(式Ｂ－3) 【ＳＲＳＳ法】 $\sigma_s=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2}\right)^2+3\tau_{s2}^2}$ …(式Ｂ－4) ここで， σ_s　：水平方向及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚の組合せ応力 σ_{s1}　：運転時質量により脚に生じる圧縮応力 σ_{s2}　：水平方向地震力により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和 σ_{s4}　：鉛直方向地震力により脚に生じる圧縮応力 τ_{s2}　：水平方向地震力により脚に生じるせん断応力 M_{l1}　：水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント P_l　：水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重 R_1　：脚が受ける自重による荷重 g　：重力加速度 m_{s1}　：脚の質量 Z_{sy}　：脚の断面係数 A_s　：脚の断面積 である。	

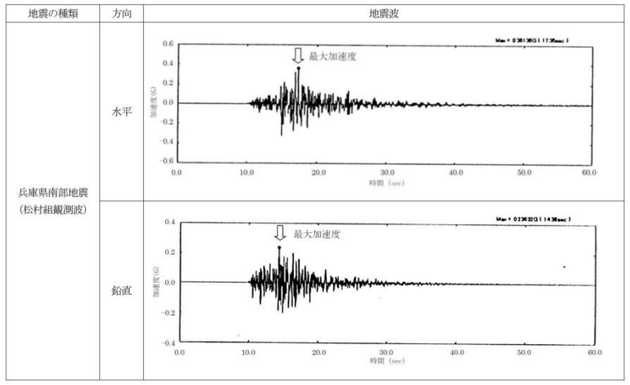
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ここで，水平地震力による圧縮応力σs2 及び鉛直方向地震力による圧縮応力σs4 は第 B-2 図に示すように，ともに脚の外表面の圧縮応力を表すものであり，脚の同一評価点，同一応力成分であることから，これらの組み合わせを SRSS 法により行うことは妥当である。	ここで，水平方向地震力による応力σＳ２及び鉛直方向地震力による圧縮応力σＳ４は図Ｂ－２の示すように，ともに脚部の外表面の応力を表すものであり，脚部の同一評価点，同一応力成分であることから，これらの組合せをＳＲＳＳ法により行うことは妥当である。	ここで，水平地震力による圧縮応力σｓ２及び鉛直方向地震力による圧縮応力σｓ４は，図Ｂ－２に示すように，ともに脚の外表面の圧縮応力を表すものであり，脚の同一評価点，同一応力成分であることから，これらの組合せをＳＲＳＳ法により行うことは妥当である。	
			
(a) 水平地震力による応力評価点の圧縮応力	(a)水平地震力による応力評価点の応力	(a)　水平方向地震力による応力評価点の圧縮応力	
			
(b) 鉛直地震力による応力評価点の圧縮応力	(b)鉛直地震力による応力評価点の応力	(b)　鉛直方向地震力による応力評価点の圧縮応力	
第 B-2 図 横置円筒容器の脚部に作用する地震力による応力概念図	図Ｂ－２　横置円筒形容器の脚部に作用する地震力による応力概念図	図Ｂ－２　横置円筒形容器の脚部に作用する地震力による応力概念図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3.2 SRSS 法の妥当性 既往研究では，実機配管系に対して，水平及び鉛直地震動による最大荷重を SRSS 法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。 (1) 解析対象配管系モデル 解析対象とした配管は，代表プラントにおける格納容器内の配管系で給水系（FDW）×2 本，残留熱除去系（RHR）及び主蒸気系（MS）の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は，耐震 S クラスに分類されるものである。 (2) 入力地震動 解析に用いた入力地震動は，地震動の違いによる影響を確認するため，兵庫県南部地震（松村組観測波），人工波及びエルセントロ波の３波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 1-1 図～第 1-3 図に示す。 (3) 解析結果 解析結果を第 2-1 図～第 2-4 図に示す。第 2-1 図～第 2-4 図は，水平方向及び鉛直方向の応力に対して，同時入力による時刻歴応答解析法及び SRSS 法により組み合わせた結果をまとめたものであり，参考までに絶対値和法による結果も併記した。 第 2-1 図～第 2-4 図より，いずれの配管系においても最大応力発生点においては，時刻歴応答解析法に対して SRSS 法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。 最大応力発生点における SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との評価結果の比較を第 1 表に示す。また，最大応力発生点の部位を第 3-1 図～第 3-4 図に示す。 さらに，配管系全体の傾向を確認するため，配管系の主要な部位における発生応力の比較を第 4 図に示す。第 4 図は，第 2-1 図～第 2-4 図に基づき，各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 4 図より，SRSS 法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え，発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向にあることが	3.2　ＳＲＳＳ法の妥当性 既往研究では，実機配管系に対して，水平及び鉛直地震動による最大荷重をＳＲＳＳ法により組み合わせた場合と水平及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。 (1)　解析対象配管系モデル 解析対象とした配管は，代表プラントにおける原子炉格納容器内の配管系で給水系（ＦＤＷ）×2 本，残留熱除去系（ＲＨＲ）及び主蒸気系（ＭＳ）の計４本の配管モデルである。当該配管系は，耐震Ｓクラスに分類されるものである。 (2)　入力地震 解析に用いた入力地震動は，地震動の違いによる影響を確認するため，兵庫県南部地震（松村組観測波），人工波及びエルセントロ波の３波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 6-1 図から第 6-3 図に示す。 (3)　解析結果 解析結果を第 6-4 図から第 6-7 図に示す。第 6-4 図から第 6-7 図は，水平方向及び鉛直方向の応力に対して，同時入力による時刻歴応答解析法及びＳＲＳＳ法により組み合わせた結果をまとめたものであり，参考までに絶対値和法による結果も併記した。 第 6-4 図から第 6-7 図より，いずれの配管系においても最大応力発生点においては，時刻歴応答解析法に対してＳＲＳＳ法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点におけるＳＲＳＳ法と同時入力による時刻歴応答解析との評価結果の比較を第 6-1 表に示す。また，最大応力発生点の部位を第 6-8 図から第 6-11 図に示す。 さらに，配管系全体の傾向を確認するため，配管系の主要な部位における発生応力の比較を第 6-12 図に示す。第 6-12 図は，第 6-4 図から第 6-7 図に基づき，各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 6-12 図より，ＳＲＳＳ法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え，発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾	3.2　ＳＲＳＳ法の妥当性 既往研究(1)では，実機配管系に対して，水平及び鉛直地震動による最大荷重をＳＲＳＳ法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下のとおり行っている。 (1)　解析対象配管系モデル 解析対象とした配管は，代表プラントにおける格納容器内の給水系（ＦＤＷ）２本，残留熱除去系（ＲＨＲ）１本及び主蒸気系（ＭＳ）１本の計４本の配管モデルである。当該配管系はＳクラスに分類されるものである。 (2)　入力地震動 解析に用いた入力地震動は，地震動の違いによる影響を確認するため，兵庫県南部地震（松村組観測波），人工波及びエルセントロ波の３波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第３－１(1)図～第３－１(3)図に示す。 (3)　解析結果 解析結果を第３－２(1)図～第３－２(4)図に示す。第３－２(1)図～第３－２(4)図は，水平方向及び鉛直方向の応力に対して，同時入力による時刻歴応答解析法及びＳＲＳＳ法により組み合わせた結果をまとめたものであり，参考までに絶対値和法による結果も併記した。 第３－２(1)図～第３－２(4)図より，いずれの配管系においても最大応力発生点においては，時刻歴応答解析法に対してＳＲＳＳ法の方が約 1.1～1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点におけるＳＲＳＳ法と同時入力による時刻歴応答解析法との結果の比較を第３－１表に示す。また，最大応力発生点の部位を第３－３(1)図～第３－３(4)図に示す。 さらに，配管系全体の傾向を確認するため，配管系の主要な部位における発生応力の比較を第３－４図に示す。第３－２(1)図～第３－２(4)図に基づき，各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第３－４図より，ＳＲＳＳ法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え，発生応力の増加に伴い，保守的な結果を与える傾向にあ	

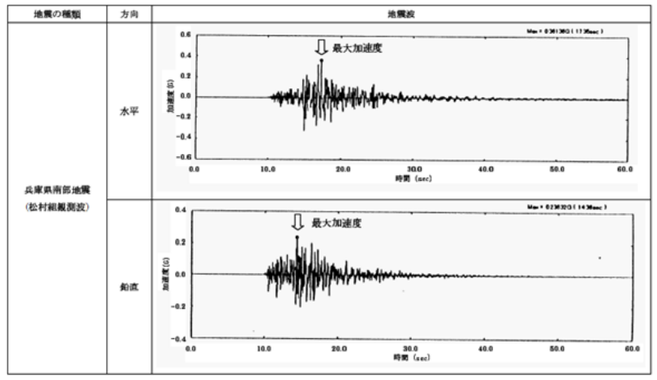
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
確認できる。	向にあることが確認できる。	ることが確認できる。	



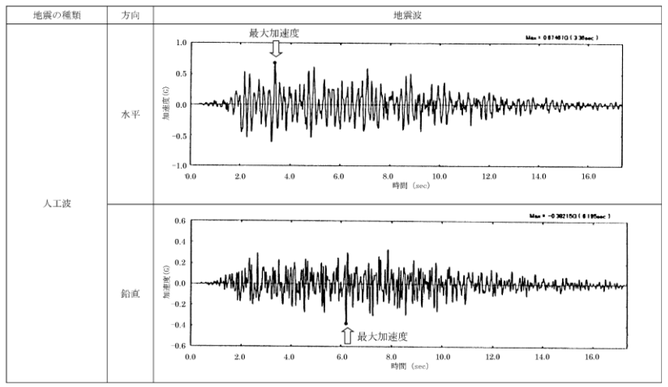
第 1-1 図 機器・配管系への入力地震動（兵庫県南部地震）



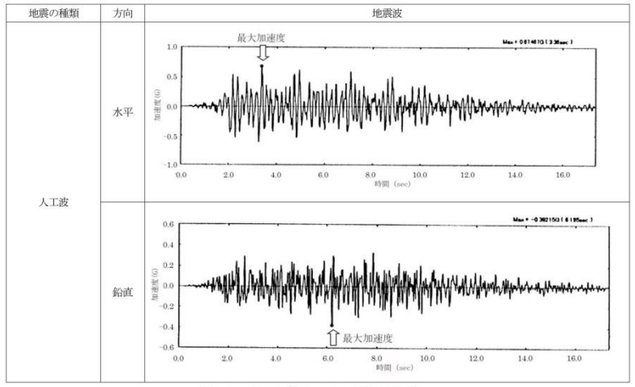
第 6-1 図　機器・配管系への入力地震動（兵庫県南部地震）



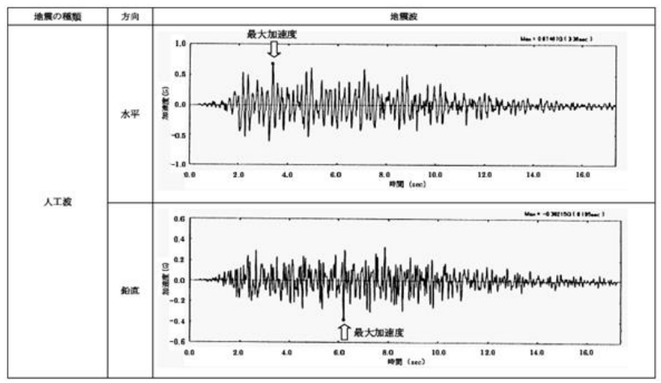
第３－１(1)図　機器・配管系への入力地震動
（兵庫県南部地震（松村組観測波））



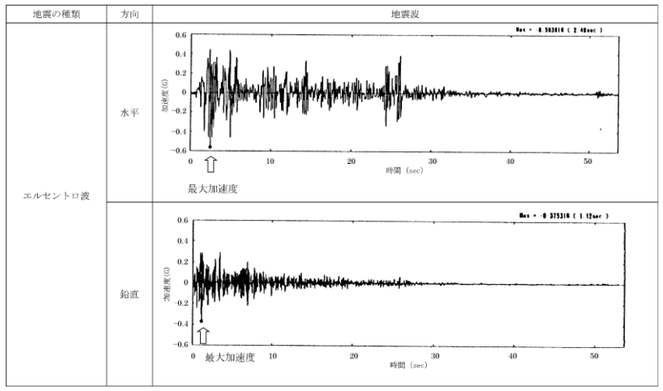
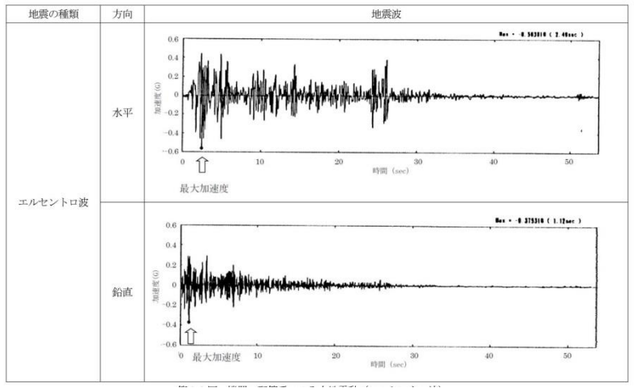
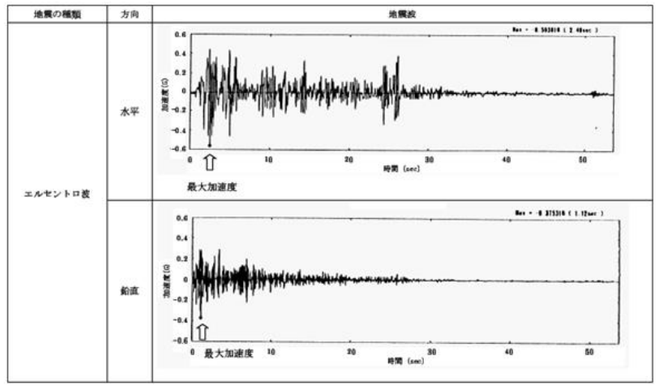
第 1-2 図 機器・配管系への入力地震動（人工波）



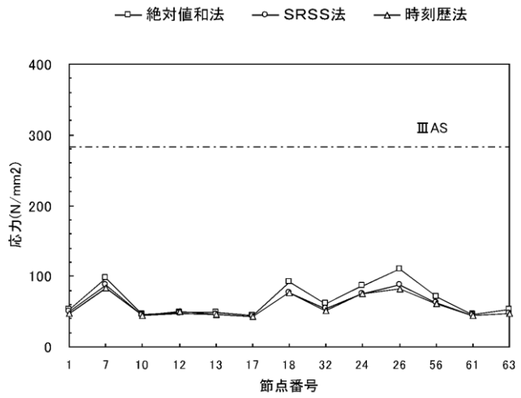
第 6-2 図　機器・配管系への入力地震動（人工波）



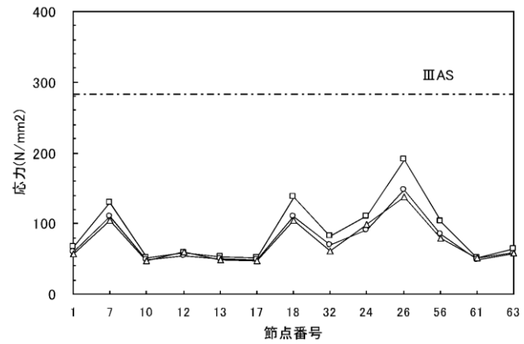
第３－１(2)図　機器・配管系への入力地震動（人工波）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 1-3 図 機器・配管系への入力地震動（エルセントロ波）	 第 6-3 図　機器・配管系への入力地震動（エルセントロ波）	 第 3－1(3)図　機器・配管系への入力地震動 （エルセントロ波）	

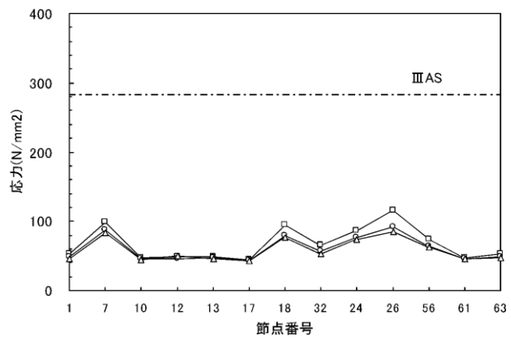
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



兵庫県南部地震（松村組観測波）

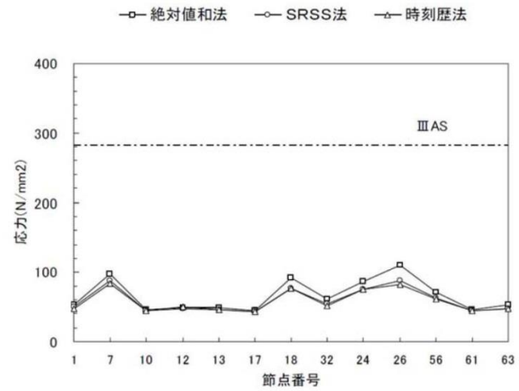


人工波

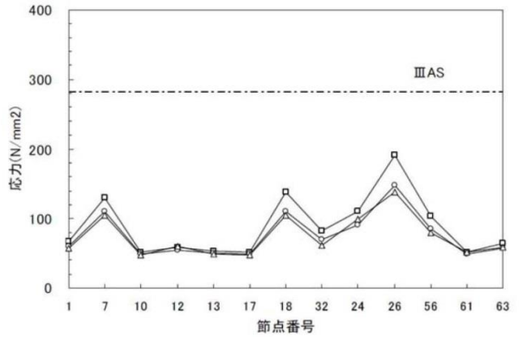


エルセントロ波

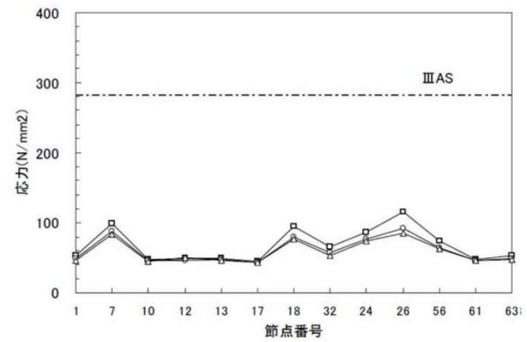
第2-1 図 主要な部位における発生応力（FDW-001 A プラント）



兵庫県南部地震（松村組観測波）

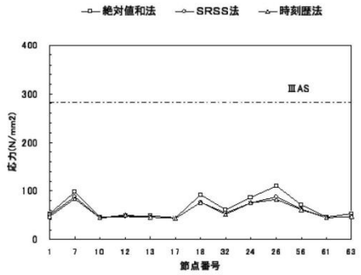


人工波

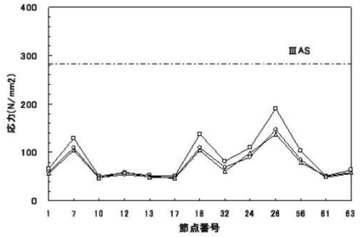


エルセントロ波

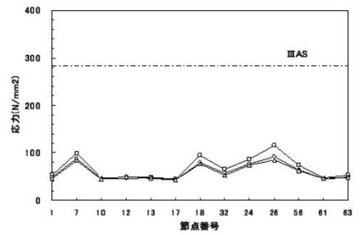
第 6-4 図　主要な部位における発生応力（FDW-001　Aプラント）



兵庫県南部地震（松村組観測波）



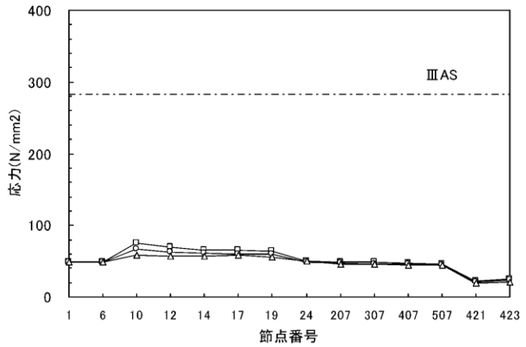
人工波



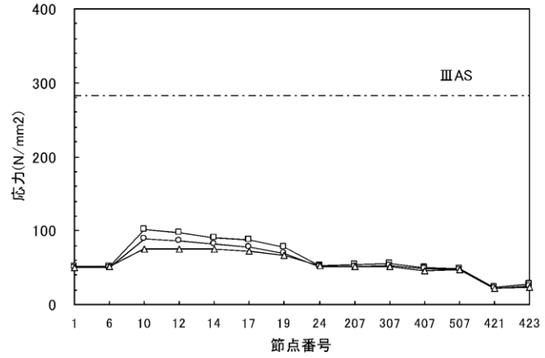
エルセントロ波

第３－２(1)図　主要な部位における発生応力
（ＦＤＷ－001，代表Ａプラント）

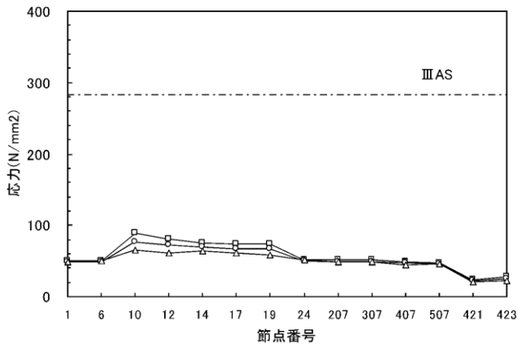
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



兵庫県南部地震（松村組観測波）

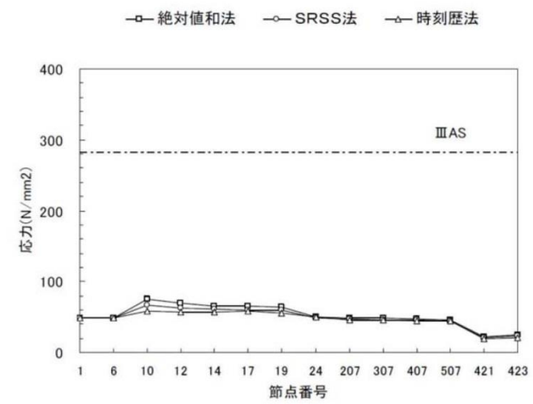


人工波

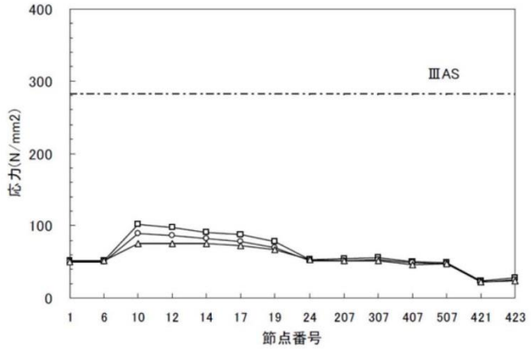


エルセントロ波

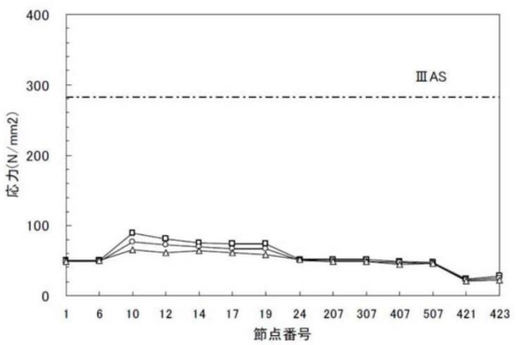
第 2-2 図 主要な部位における発生応力（MS-001 A プラント）



兵庫県南部地震（松村組観測波）

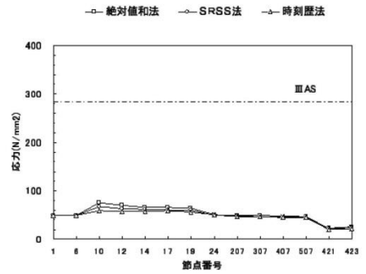


人工波

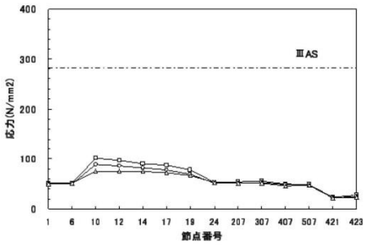


エルセントロ波

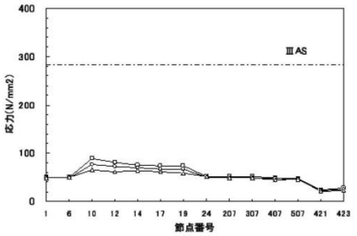
第 6-5 図　主要な部位における発生応力（MS-001　Aプラント）



兵庫県南部地震（松村組観測波）

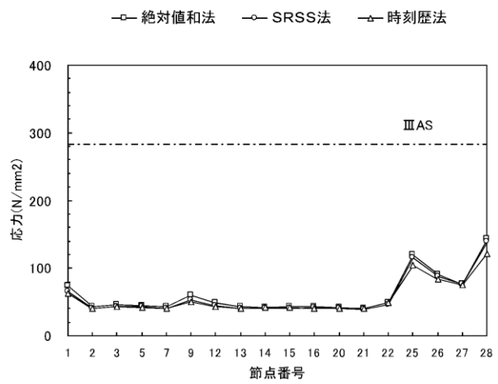
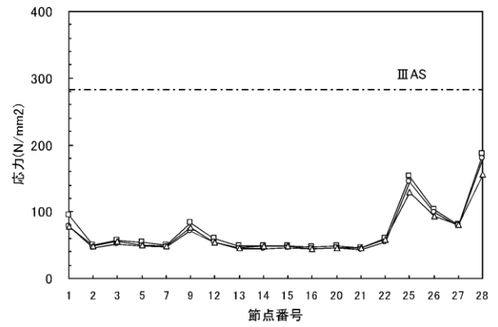
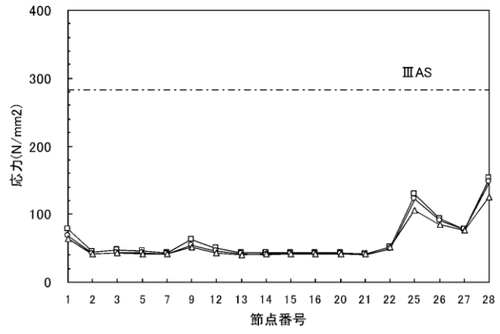
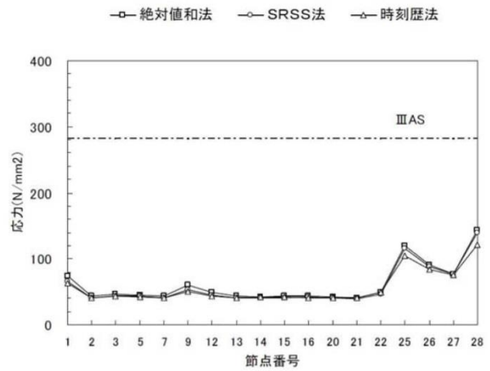
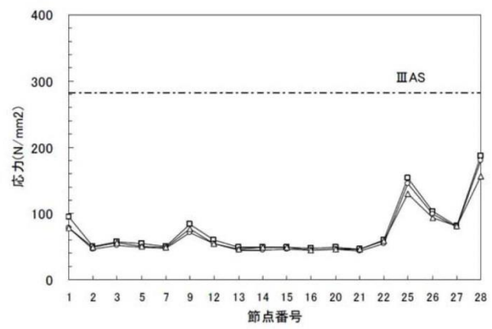
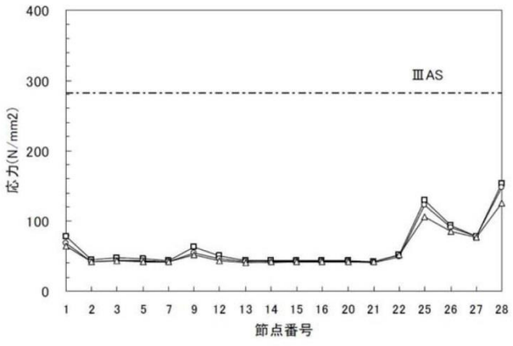
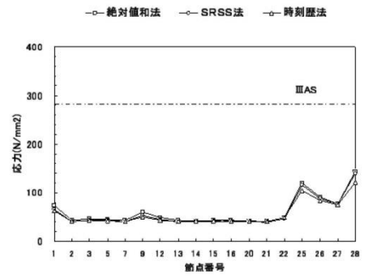
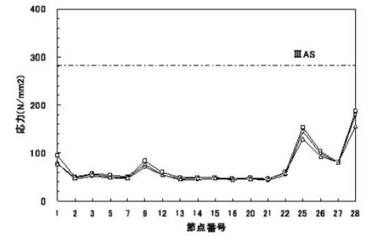
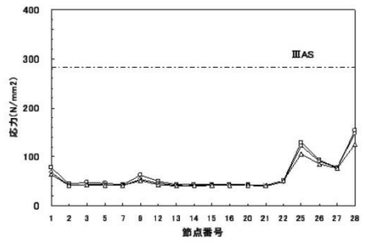


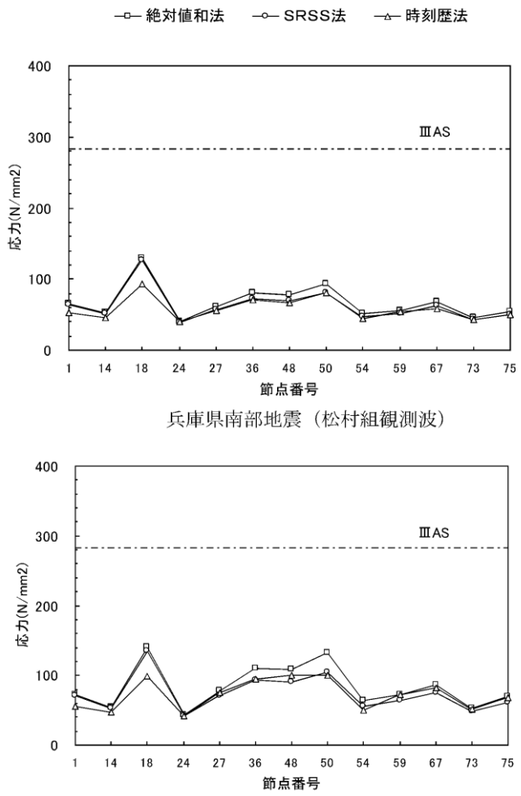
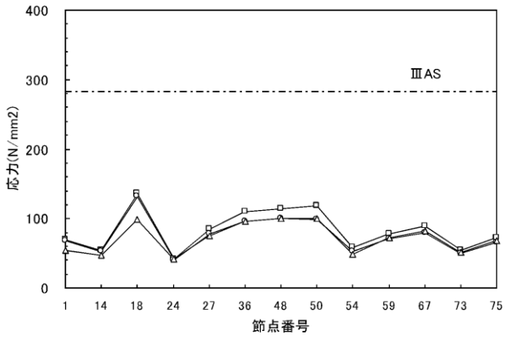
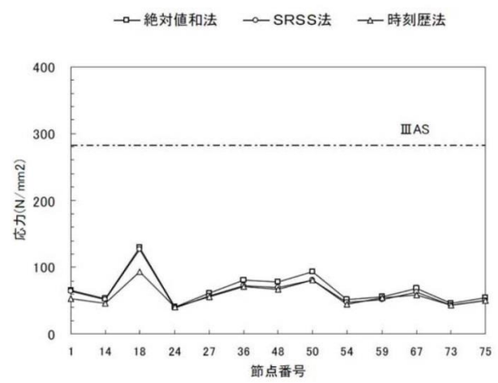
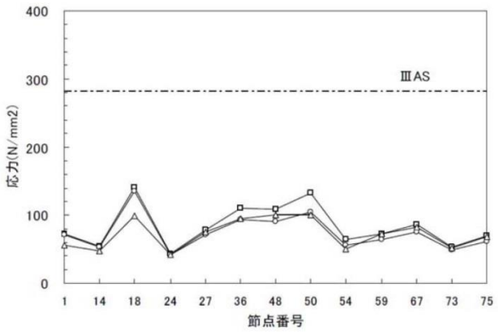
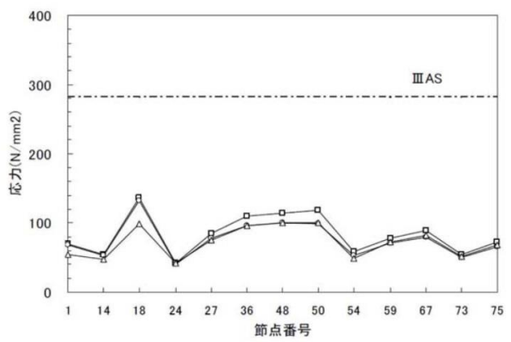
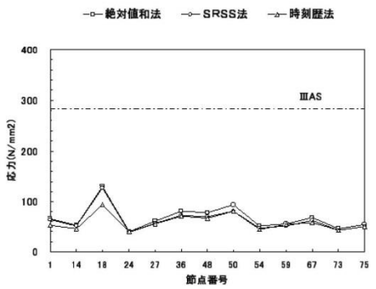
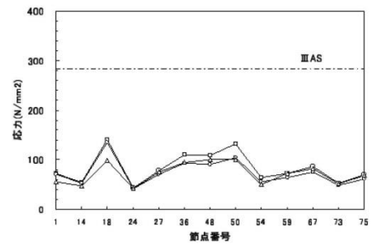
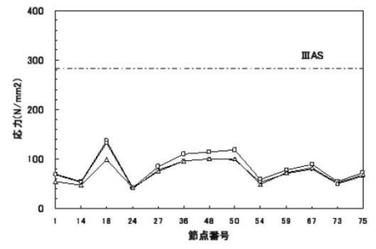
人工波



エルセントロ波

第３－２(2)図　主要な部位における発生応力
（ＭＳ－001，代表Ａプラント）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 兵庫県南部地震（松村組観測波）  人工波  エルセントロ波 第 2-3 図 主要な部位における発生応力（RHR-001 A プラント）	 兵庫県南部地震（松村組観測波）  人工波  エルセントロ波 第 6-6 図　主要な部位における発生応力（RHR-001　Aプラント）	 兵庫県南部地震（松村組観測波）  人工波  エルセントロ波 第３－２(3)図　主要な部位における発生応力 （ＲＨＲ－001，代表Ａプラント）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 兵庫県南部地震（松村組観測波） 人工波  エルセントロ波 第 2-4 図 主要な部位における発生応力（FDW-001 B プラント）	 兵庫県南部地震（松村組観測波）  人工波  エルセントロ波 第 6-7 図　主要な部位における発生応力（FDW-001　Bプラント）	 兵庫県南部地震（松村組観測波）  人工波  エルセントロ波 第３－２(4)図　主要な部位における発生応力 （ＦＤＷ－001，代表Ｂプラント）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第１表 SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較（最大応力発生点）

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS/同時入力
FDW-001 (A プラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点 No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点 No26)	1.08
MS-001 (A プラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点 No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点 No10)	1.18
RHR-001 (A プラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点 No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点 No28)	1.18
FDW-001 (B プラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点 No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点 No18)	1.34

FDW：給水系配管

ＭＳ：主蒸気系配管

RHR：残留熱除去系配管



第 3-1 図 給水系配管（FDW-001 A プラント）

東海第二発電所（2018.9.18 版）

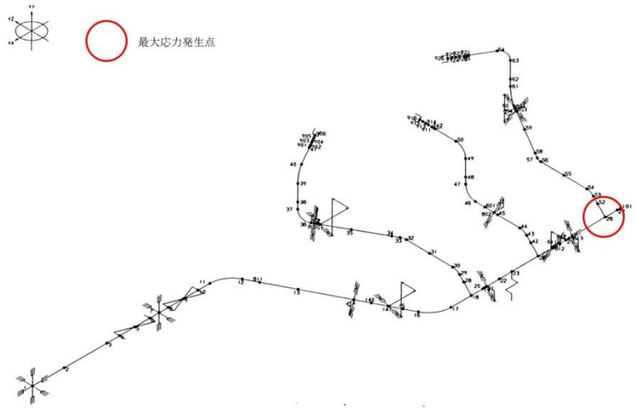
第6-1表　ＳＲＳＳ法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較（最大応力発生点）

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	ＳＲＳＳ/同時入力
FDW-001 （Aプラント）	松村組観測波	分岐部(節点 No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点 No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点 No26)	1.08
MS-001 （Aプラント）	松村組観測波	分岐部(節点 No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点 No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点 No10)	1.18
RHR-001 （Aプラント）	松村組観測波	拘束点(節点 No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点 No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点 No28)	1.18
FDW-001 （Bプラント）	松村組観測波	拘束点(節点 No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点 No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点 No18)	1.34

FDW：給水系配管

MS：主蒸気系配管

RHR：残留熱除去系配管

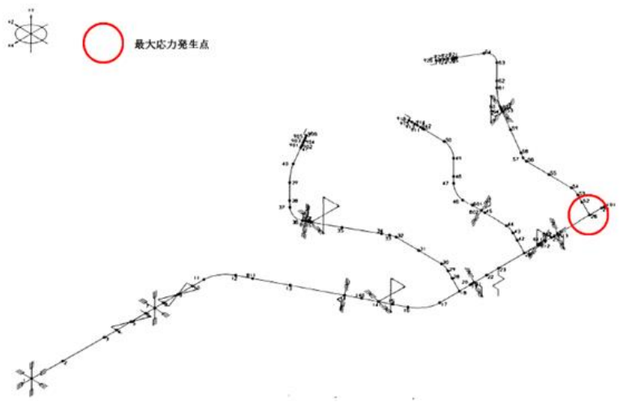


第6-8図　給水系配管（FDW-001　Aプラント）

島根原子力発電所　２号炉

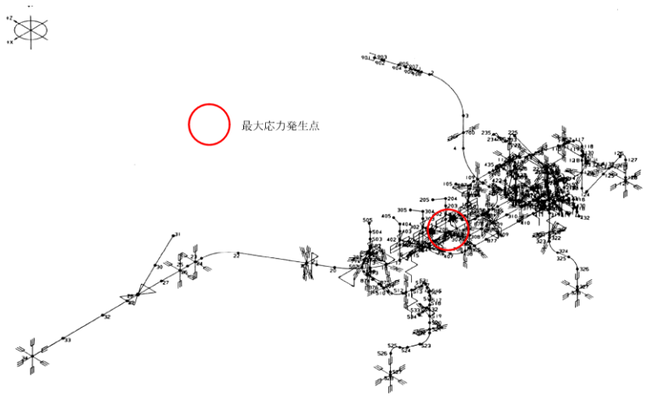
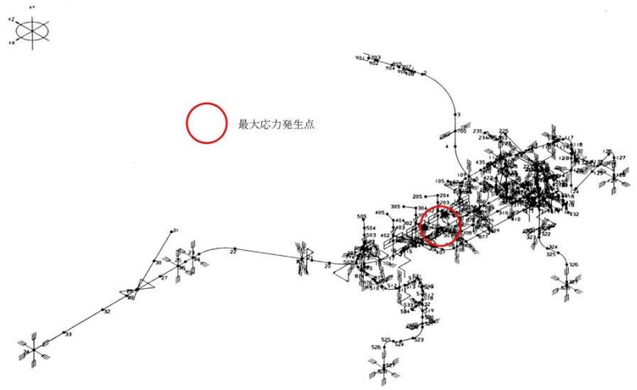
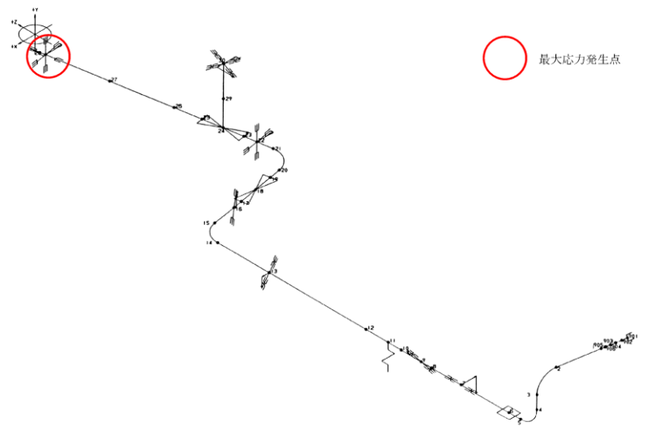
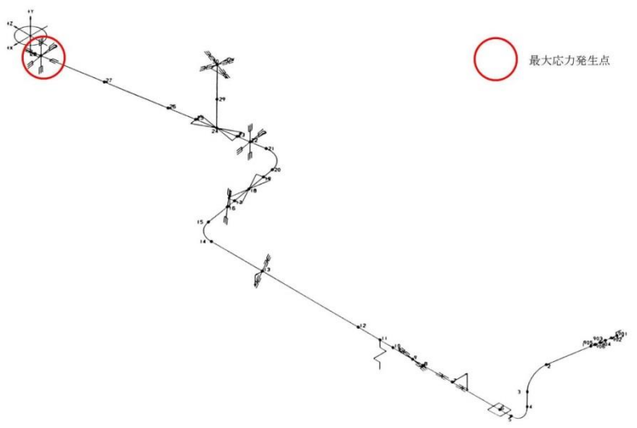
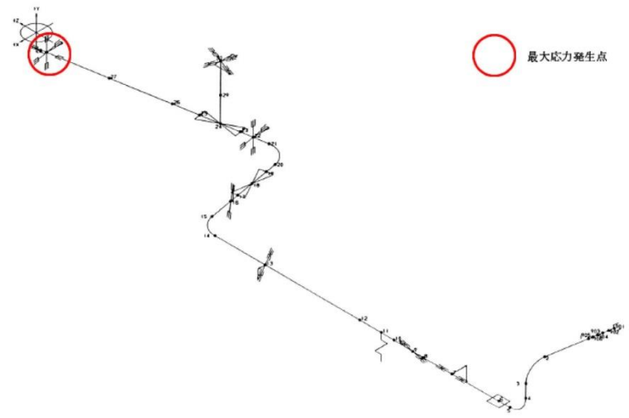
第３－１表　一次応力でのＳＲＳＳ法と同時入力時刻歴法の比較（最大応力発生点）

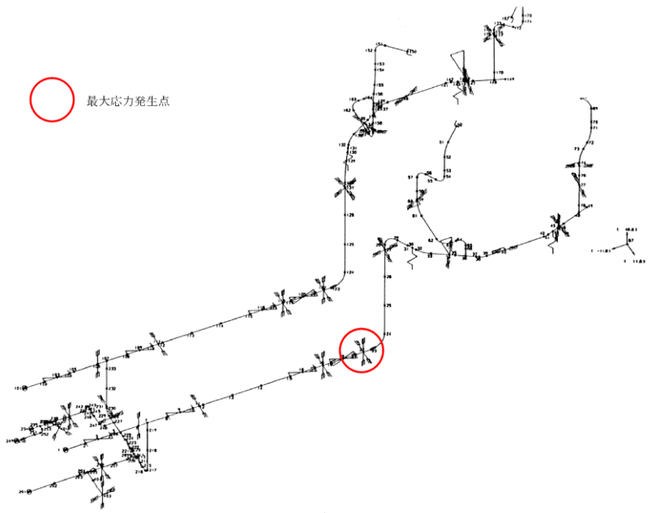
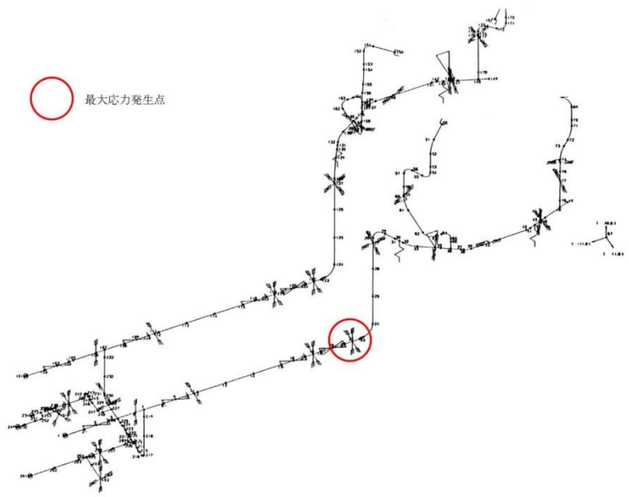
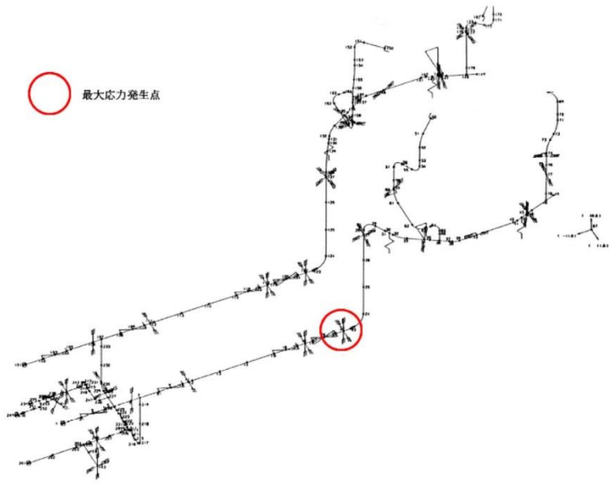
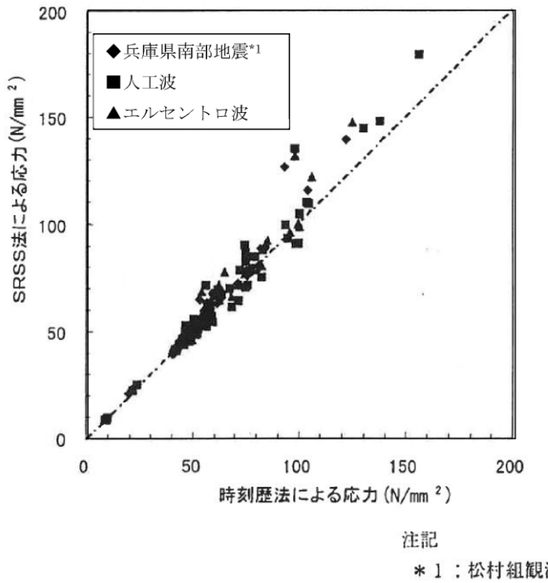
解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	ＳＲＳＳ法／同時入力
ＦＤＷ－001 （代表Ａプラント）	兵庫県南部地震	分岐部（節点No.26）	1.08
	人工波	分岐部（節点No.26）	1.08
	エルセントロ波	分岐部（節点No.26）	1.08
ＭＳ－001 （代表Ａプラント）	兵庫県南部地震	分岐部（節点No.10）	1.15
	人工波	分岐部（節点No.10）	1.20
	エルセントロ波	分岐部（節点No.10）	1.18
ＲＨＲ－001 （代表Ａプラント）	兵庫県南部地震	拘束点（節点No.28）	1.15
	人工波	拘束点（節点No.28）	1.15
	エルセントロ波	拘束点（節点No.28）	1.18
ＦＤＷ－001 （代表Ｂプラント）	兵庫県南部地震	拘束点（節点No.18）	1.35
	人工波	拘束点（節点No.18）	1.37
	エルセントロ波	拘束点（節点No.18）	1.34



第３－３(1)図　給水系配管（ＦＤＷ－001，代表Ａプラント）

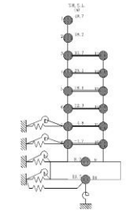
備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 3-2 図 主蒸気系配管（MS-001 A プラント）	 第 6-9 図　主蒸気系配管（MS-001　Aプラント）	 第３－３(2)図　主蒸気系配管（ＭＳ－001，代表Ａプラント）	
 第 3-3 図 残留熱除去系配管（RHR-001 A プラント）	 第 6-10 図　残留熱除去系配管（RHR-001　　Aプラント）	 第３－３(3)図　残留熱除去系配管（ＲＨＲ－001，代表Ａプラント）	

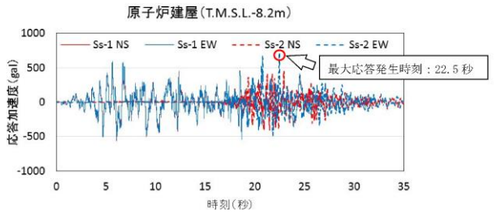
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 3-4 図 給水系配管（FDW-001 B プラント）	 第 6-11 図　給水系配管（PDW-001　Bプラント）	 第３－３(4)図　給水系配管（ＦＤＷ－001，代表Ｂプラント）	
 第 4 図 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較（主要部位）	 第 6-12 図　ＳＲＳＳ法による応力と時刻歴応答解析による応力の比較（主要部位）	 第３－４図　ＳＲＳＳ法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較	

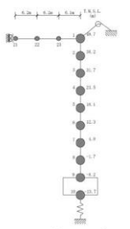
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4. 柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について 柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について 7 号炉の原子炉建屋を例に，柏崎刈羽原子力発電所の施設の耐震性評価において支配的な地震動である基準地震動 Ss-1，2 に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を確認した。ここで，機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は，全ての地震動に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ，水平方向の最大応答値の生起時刻については，Ss-1，2 並びに南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻を用いた。 第 5 図及び第 2 表に示すように，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 6 秒～約 17 秒の差があり，柏崎刈羽原子力発電所においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。	4. 東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について 東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について，原子炉建屋を例に，原子炉建屋の施設の耐震性評価において主要な地震動である基準地震動Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－21 及びＳｓ－22 に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を確認した。ここで，機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は，全ての地震動に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ，水平方向の最大応答値の生起時刻については，基準地震動Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－21 及びＳｓ－22 における南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻を用いた。なお，基準地震動Ｓｓ－31 は，水平方向に卓越する応答を示すものの，他検討に用いる基準地震動Ｓｓに比べて地震継続時間が短く，鉛直方向の最大応答値の生起時刻との差が開く方向になるため，本検討には用いていない（詳細は別紙 2 参照）。 第 6-13 図及び第 6-2 表に示すように，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 0.9 秒～約 41 秒の差があり，東海第二発電所においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。	4. 島根２号炉における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻の差について 島根２号炉における水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の発生時刻の差について，原子炉建物を例に，島根２号炉の施設の耐震評価において支配的な地震動である基準地震動Ｓｓ－Ｄに対する水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の発生時刻の差を確認した。ここで，機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は，すべての地震動に対する南北方向及び東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ，水平方向の最大応答値の発生時刻については，Ｓｓ－ＤによるＮＳ方向及びＥＷ方向の最大応答加速度の発生時刻を用いた。 第 4－1 図及び第 4－1 表に示すように，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には約１～16 秒の差があり，島根２号炉においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には差があることを確認した。	・記載方針の相違 【東海第二】 島根２号炉では，耐震評価において支配的な地震動である Ss-D について，発生時刻の差を確認している（以下，①の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

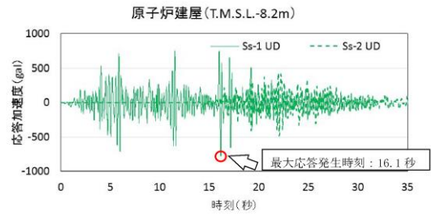


原子炉建屋モデル
（南北方向）

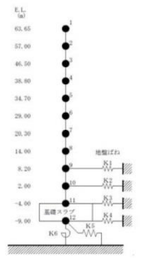




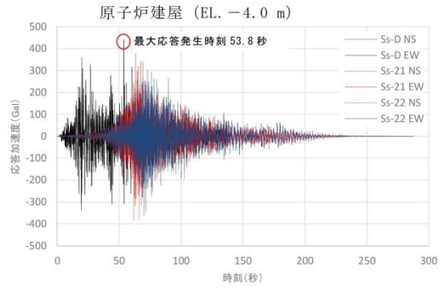
原子炉建屋モデル
（鉛直方向）

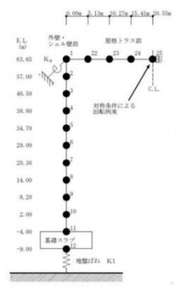


第５図　７号炉原子炉建屋の応答値（T.M.S.L.-8.2m の例）

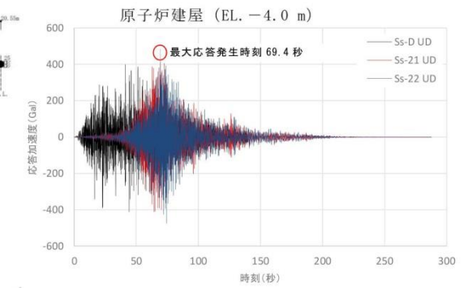


原子炉建屋モデル
（水平方向）

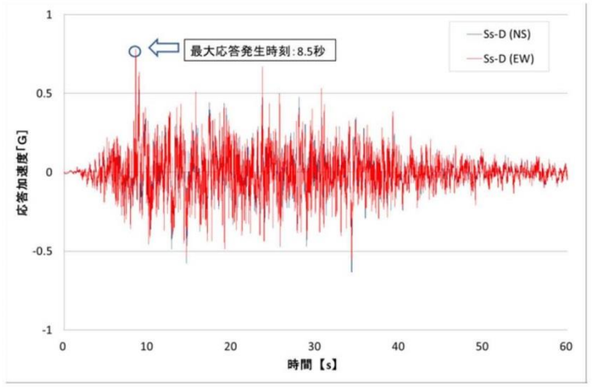


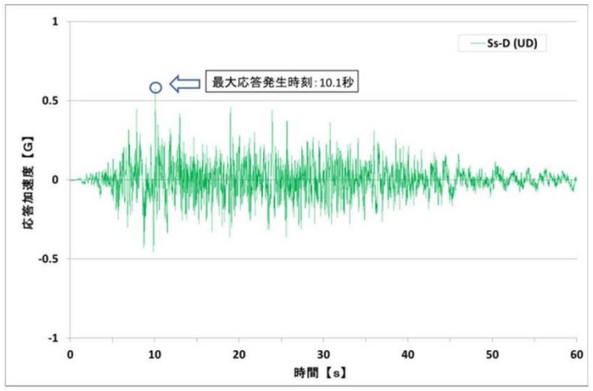


原子炉建屋モデル
（鉛直方向）



第 6-13 図　原子炉建屋の応答値（EL.-4.0m の例）





第４－１図　原子炉建物応答値（ＥＬ.1.3m の例）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第２表 最大応答値の生起時刻の差（７号炉原子炉建屋）

位　置 (m)	最大応答値の生起時刻（秒）		生起時刻の差（秒）
	水平方向	鉛直方向	
49.7	18.7	6.0	12.7
38.2	18.7	6.0	12.7
31.7	22.5	6.0	16.5
23.5	22.5	6.0	16.5
18.1	22.5	6.0	16.5
12.3	22.5	16.1	6.4
4.8	22.4	16.1	6.3
-1.7	22.4	16.1	6.3
-8.2	22.5	16.1	6.4
-13.7	22.5	16.1	6.4

5. まとめ

以上から，柏崎刈羽原子力発電所では，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組み合わせ法として SRSS 法を用いることとする。

6. 参考文献

（１）電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（ステップ２）」（平成７ 年～平成 10 年）

7. 参考資料

（参考）新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 6-2 表　最大応答値の生起時刻の差

位置 (m)	最大応答値の生起時刻（秒）		生起時刻の差(秒)
	水平方向	鉛直方向	
63.65	73.0	68.6	4.4
57.00	61.9	68.6	6.7
46.50	61.9	61.0	0.9
38.80	19.9	61.0	41.1
34.70	73.0	61.0	12.0
29.00	20.0	61.0	41.0
20.30	63.3	68.7	5.4
14.00	63.3	68.7	5.4
8.20	53.8	74.5	20.7
2.00	53.8	74.5	20.7
-4.00	53.8	69.4	15.6
-9.00	53.8	69.4	15.6

5.　まとめ

以上から，東海第二発電所では，水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組合せ法としてＳＲＳＳ法を用いることとする。

6.　参考文献

（1）電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（ステップ２）」（平成７年～平成 10 年）

7.　別紙

別紙１　東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

別紙２　東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について（補足説明）

島根原子力発電所　２号炉

第４－１表　最大応答値の発生時刻の差

位置（m）	最大応答値の発生時刻（sec）		発生時刻の差 (sec)
	水平方向	鉛直方向	
51.7	25.8	10.1	15.7
42.8	8.6	10.1	1.5
34.8	14.6	10.1	4.5
30.5	14.6	10.1	4.5
23.8	14.6	10.1	4.5
15.3	8.5	10.1	1.6
10.1	8.5	10.1	1.6
8.8	8.5	10.1	1.6
1.3	8.5	10.1	1.6
-4.7	8.5	10.1	1.6

5.　まとめ

以上より，島根２号炉では，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せ方法としてＳＲＳＳ法を適用する。

6.　参考文献

(1)　電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（ステップ２）」（平成７年～平成 10 年）

7.　参考資料

（参考）鳥取地震による島根原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

参考資料

（参考）新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

１．はじめに

柏崎刈羽原子力発電所では，平成 19 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震による観測記録が得られている。本資料では，新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。

２．確認結果

参考第 1 表に示すように，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約１秒～約 4 秒の差があり，柏崎刈羽原子力発電所において観測された実地震についても，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

参考第 1 表 新潟県中越沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差

位　置 (m)	最大応答値の生起時刻（秒）			生起時刻の差（秒）	
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD
６号炉 -8.2	32.3	33.4	34.6	2.3	1.2
７号炉 -8.2	33.0	39.7	35.3	2.3	4.4

別紙 1

東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

1. はじめに

東海第二発電所では，平成 23 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震による観測記録が得られている。本資料では，東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。

2. 確認結果

別表 6-1 に示すように，東海第二発電所において観測された実地震についても，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には 0.6 秒及び 4.2 秒の差があることが確認された（地震計の設置位置を別図 6-1 に，観測された加速度時刻歴波形を別図 6-2 に示す。）。また，最大応答値の生起時刻の差が比較的小さな EW-UD の生起時刻の差 0.6 秒について，別図 6-3 にて水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

別表 6-1 東北地方太平洋沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差

位置（m）	最大応答値の生起時刻（秒）			生起時刻の差（秒）	
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD
-4.0 (RB01)	87.0	91.8	91.2	4.2	0.6

参考資料

（参考）2000 年鳥取県西部地震による島根原子力発電所２号炉の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻の差について

1.　はじめに

島根原子力発電所２号炉では，2000 年 10 月 6 日に鳥取県西部地震による観測記録が得られている。本資料では，2000 年鳥取県西部地震による島根原子力発電所２号炉の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻の差について参考として確認する。

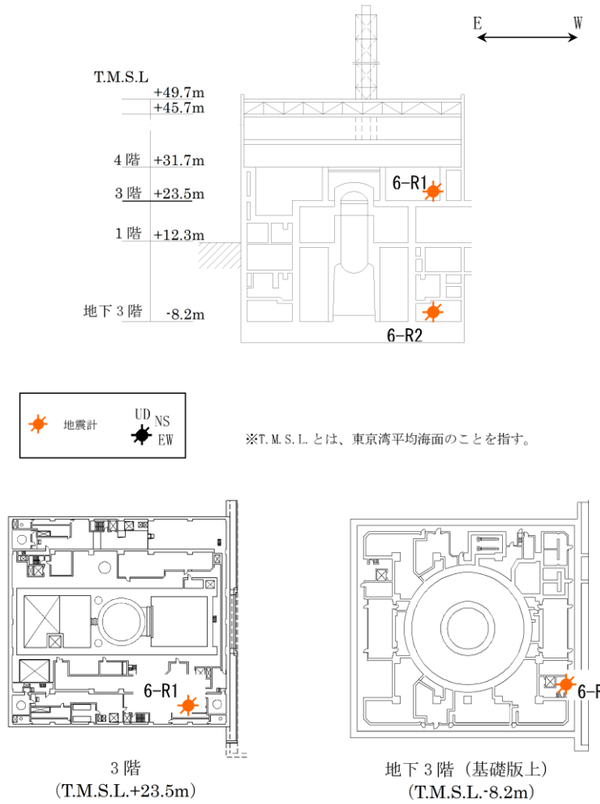
2.　確認結果

参考第１表に示すように，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には約１秒～約２秒の差があり，島根原子力発電所２号炉において観測された実地震についても，水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には差があることを確認した。

参考第１表　2000 年鳥取県西部地震の観測記録における最大応答値の発生時刻の差

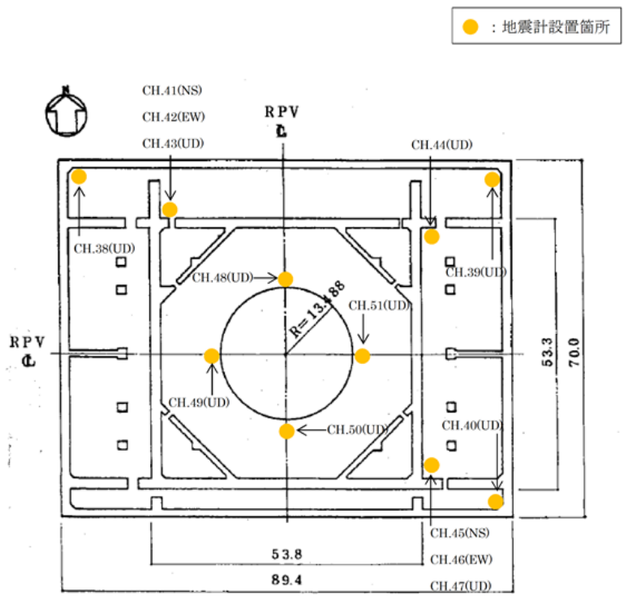
位置 (m)	最大応答値の発生時刻（秒）			発生時刻の差（秒）	
	南北方向 （ＮＳ）	東西方向 （ＥＷ）	鉛直方向 （ＵＤ）	ＮＳ－ＵＤ	ＥＷ-ＵＤ
島根２号炉 原子炉建物 （ＥＬ 1.3m）	20.455	19.325	18.380	2.075	0.945

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

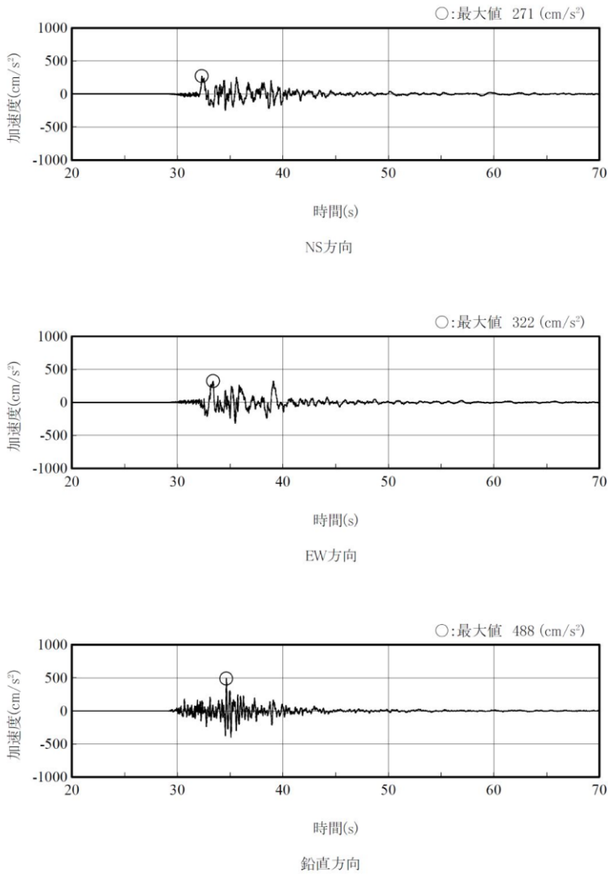
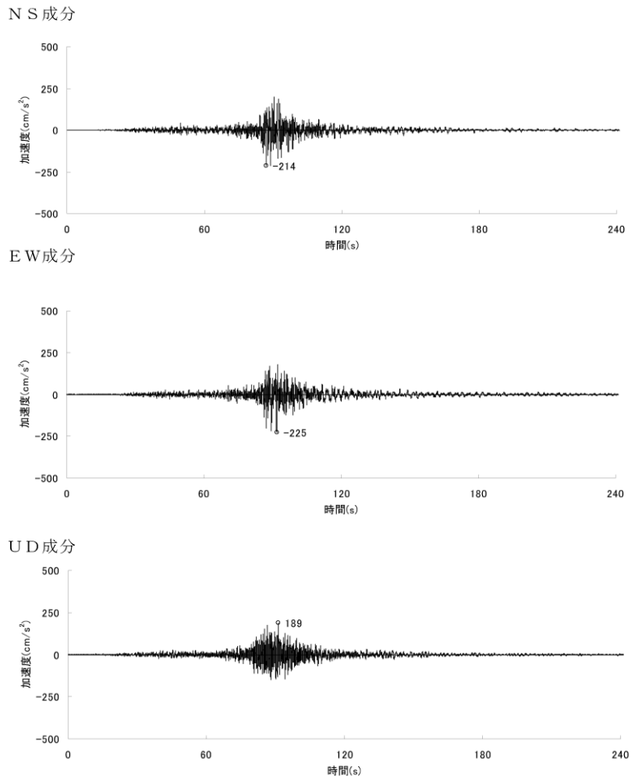
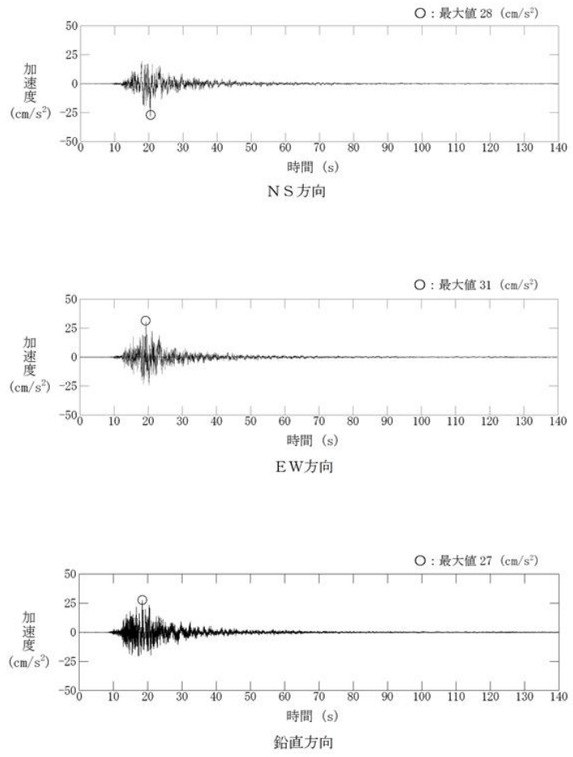


参考第 1-1 図　６号炉原子炉建屋　地震計設置位置

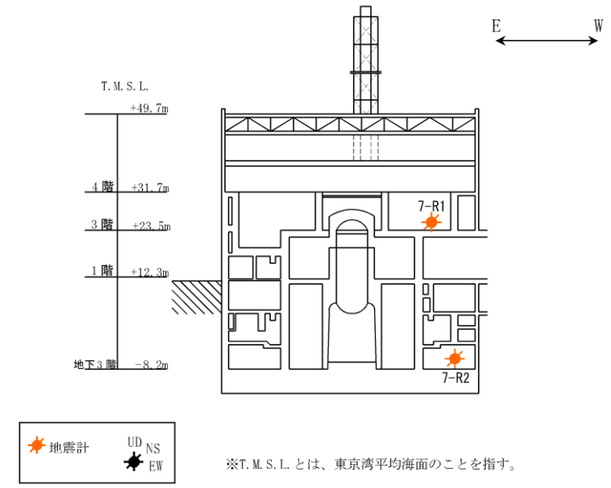
別図 6-1 原子炉建屋基礎上（EL.－4.0 m）地震計設置位置



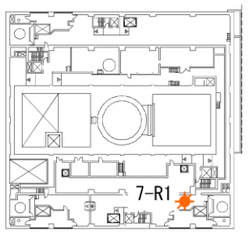
参考第 1－1 図　島根２号炉原子炉建物基礎上（ＥＬ 1.3m）
地震計設置位置

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 （記録の主要動を含む 50 秒間を表示） 参考第 1-2 図 原子炉建屋基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形（６号炉） (6-R2：T.M.S.L.-8.2m)	 別図 6-2 原子炉建屋基礎上（EL.－4.0 m）RB01 の観測記録加速度時刻歴波形	 参考第１－２図　原子炉建物基礎上の観測記録加速度時刻歴波形（CH.45，CH.46，CH.47　ＥＬ 1.3m）	

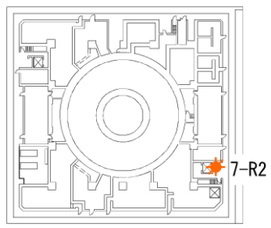
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

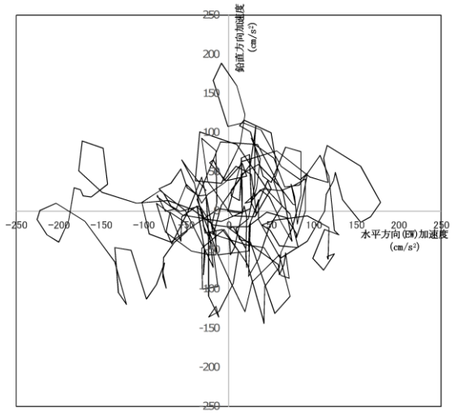


3階（T.M.S.L.+23.5m）

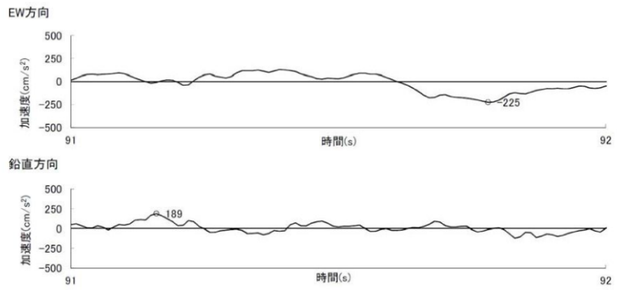


地下３階（基礎版上）
（T.M.S.L.-8.2m）

参考第 2-1 図 7 号炉原子炉建屋 地震計設置位置

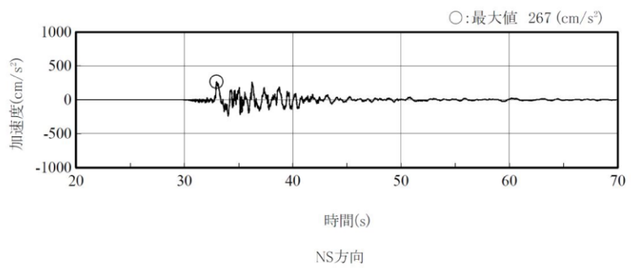
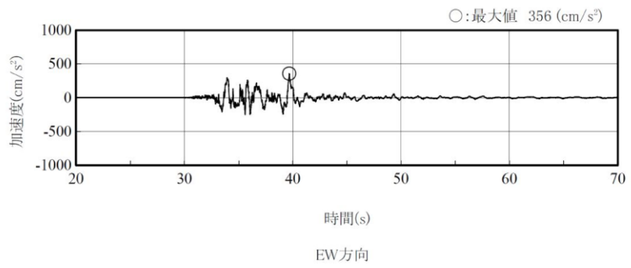
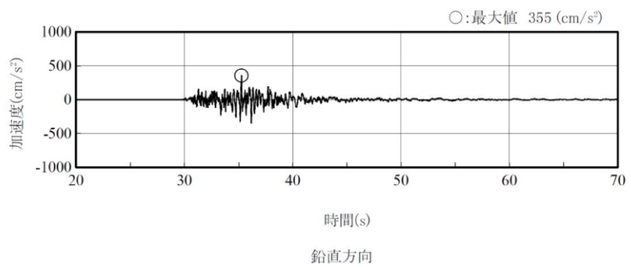


原子炉建屋基礎上（EL.－4.0 m）RB01 のリサージュ波形（９０秒から９３秒）

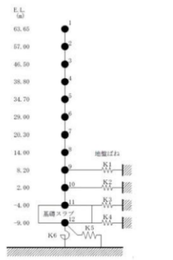
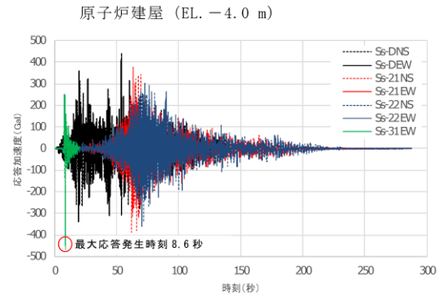
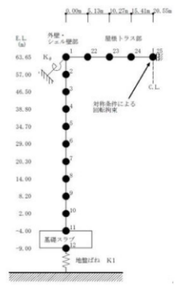
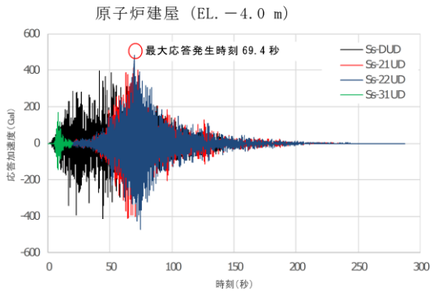


原子炉建屋基礎上（EL.－4.0 m）RB01 の観測記録加速度時刻歴波形（９１秒から９２秒）

別図 6-3 最大応答値(EW-UD)における生起時刻の差

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 NS方向  EW方向  鉛直方向 （記録の主要動を含む 50 秒間を表示） 参考第 2-2 図 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録加速度時刻歴波形（７号炉）（7-R2：T.M.S.L.-8.2m）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙 2 東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について（補足説明） 本資料では東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について，４項で選定した基準地震動Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－21 及びＳｓ－22 の３波に加えて，基準地震動Ｓｓ－31 も加えた場合の水平方向及び鉛直方向の生起時刻の差について説明する。 ４項で示した同様の手法にて水平方向と鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を別図 6-4 及び別表 6-2 に示す。別表 6-2 には４項で整理した基準地震動Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－21 及びＳｓ－22 の 3 波で整理した生起時刻の差についても記載した。 別図 6-4 に示すとおりＳｓ－31 は，地震継続時間が短く，水平方向の最大応答値の生起時刻は約 9 秒となり，他Ｓｓよりも早い時刻で最大応答値の生起時刻が生じる。またＳｓ－31 の鉛直方向については，他のＳｓの応答加速度値と比べても小さな傾向を示す。このためＳｓ－31 の水平方向の最大応答値の生起時刻 9 秒と他Ｓｓの鉛直方向の最大応答値の生起時間を用いて評価すると，生起時刻の差として大きくなる傾向となる。		・記載方針の相違 【東海第二】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 原子炉建屋モデル （水平方向）   原子炉建屋モデル （鉛直方向）  別図 6-4 原子炉建屋の応答値（EL.－4.0m の例）		・記載方針の相違 【東海第二】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

別表 6-2　Ｓｓ－31 考慮時の最大応答値の生起時刻の差

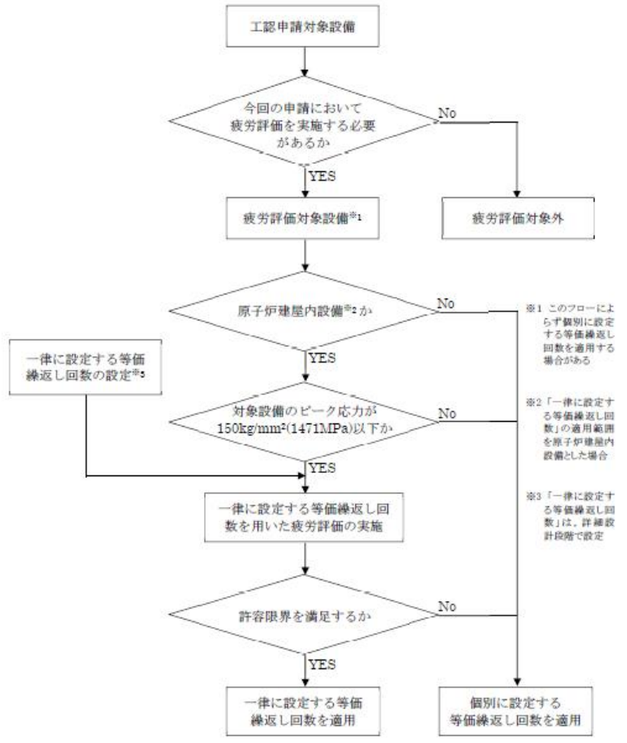
位置（m）	Ｓｓ－31 考慮時の検討			Ｓｓ3 波時の生起時刻の差（秒）
	最大応答値の生起時刻（秒）		生起時刻の差（秒）	
	水平方向	鉛直方向		
63.65	73.0	68.6	4.4	4.4
57.00	61.9	68.6	6.7	6.7
46.50	8.6	61.0	52.4	0.9
38.80	8.7	61.0	52.3	41.1
34.70	8.7	61.0	52.3	12.0
29.00	8.7	61.0	52.3	41.0
20.30	8.6	68.7	60.1	5.4
14.00	8.7	68.7	60.0	5.4
8.20	8.6	74.5	65.9	20.7
2.00	8.6	74.5	65.9	20.7
-4.00	8.6	69.4	60.8	15.6
-9.00	8.6	69.4	60.8	15.6

・記載方針の相違
【東海第二】
①の相違

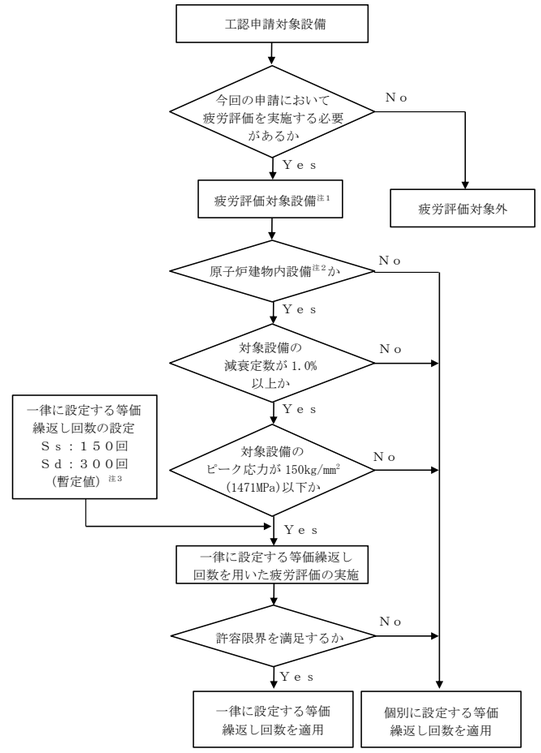
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	参考資料３ 等価繰返し回数の評価方針について 1. 基本的な考え方 女川２号炉の耐震評価における疲労評価では，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（以下，「JEAG4601」という。）の手順のうち，等価繰返し回数を用いた評価としている。 今回工認で用いる等価繰返し回数は，JEAG4601 のピーク応力法に基づき等価繰返し回数を算定する。等価繰返し回数は，設備のピーク応力，固有周期，減衰定数，応答変位時刻歴によって値が異なるため，保守性を持たせた「一律に設定する等価繰返し回数」を用いることを基本とする。また，より精緻に疲労評価を行う場合は，「個別に設定する等価繰返し回数」を用いる。適用する等価繰返し回数の使い分けの考え方を参考 3-1 図に示す。 なお，建設時における女川２号炉の等価繰返し回数は，先行 BWR プラントにおける等価繰返し回数(OBE※１回当たりの繰返し回数を 10 回としてプラントライフ中 5 回発生すると仮定し，余裕を持って 6 回発生する場合の 60 回を設定)を踏襲し，60 回と設定している。また，等価繰返し回数を 60 回に設定することの確認として，JEAG4601 のピーク応力法に基づき建設時の基準地震動 S1 及び S2 に対する原子炉格納容器の等価繰返し回数を算出し，S1 に対して 10 回未満，S2 に対して 20 回未満であることを確認しており，疲労評価にあたっては，基準地震動 S1 及び S2 に対してそれぞれ等価繰返し回数 60 回を用いた評価を行っている。 ※OBE：Operating basis earthquake 2. 等価繰返し回数の評価方針 2.1 評価手法 等価繰返し回数の算定方法について，JEAG4601 に「地震動の等価繰返し回数を用いる場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられる」と記載されており，女川２号炉では，ピーク応力法を用いて算定する方針とする。	添付資料－8 等価繰返し回数の評価方針について 1.　基本的な考え方 島根２号炉の耐震評価における疲労評価では，原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1987（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）の手順のうち，等価繰返し回数を用いた評価としている。 今回工認で用いる等価繰返し回数は，ＪＥＡＧ４６０１のピーク応力法に基づき等価繰返し回数を算定する。等価繰返し回数は，設備のピーク応力，固有周期，減衰定数，応答変位時刻歴によって値が異なるため，保守性を持たせた「一律に設定する等価繰返し回数」を用いることを基本とする。また，より精緻に疲労評価を行う場合は，「個別に設定する等価繰返し回数」を用いる。適用する等価繰返し回数の使い分けの考え方を第１図に示す。 なお，建設時における島根２号炉の等価繰返し回数は，建設時の基準地震動Ｓ１及びＳ２に対する原子炉建物の等価繰返し回数を「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」（以下「標準化報告書」という。）に基づき算出し，保守性を持たせた一律の等価繰返し回数として 100 回を設定している。 2.　等価繰返し回数の評価方針 2.1　評価手法 等価繰返し回数の算定方法について，ＪＥＡＧ４６０１に「地震動の等価繰返し回数を用いる場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられる」と記載されており，島根２号炉では，ピーク応力法を用いて算定する方針とする。	・評価手法の相違 【女川 2】 島根２号炉では，建設工認において原子炉建物の等価繰返し回数を算出している（以下，①の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.2 算定フロー及び算定条件 JEAG4601 に記載されているピーク応力法を用いた等価繰返し回数の算定フローを参考 3-2 図に示す。 当該フローに基づき，女川２号炉の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数として「一律に設定する等価繰返し回数」又は「個別に設定する等価繰返し回数」を設定する。なお，等価繰返し回数の算定に当たっては，「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」における等価繰返し回数の算定方法を参考とする。 女川２号炉の等価繰返し回数の算定条件，「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」及び建設時における等価繰返し回数の確認に用いた算定条件との比較結果を参考 3-1 表に示す。 等価繰返し回数の算定結果については，詳細設計段階で示す。	2.2　算定フロー及び算定条件 ＪＥＡＧ４６０１に記載されているピーク応力法を用いた等価繰返し回数の算定フローを第２図に示す。 当該フローに基づき，島根２号炉の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数として「一律に設定する等価繰返し回数」又は「個別に設定する等価繰返し回数」を設定する。なお，等価繰返し回数の算定に当たっては，標準化報告書における等価繰返し回数の算定方法を参考とする。 島根２号炉の等価繰返し回数の算定条件と標準化報告書との比較結果を第１表に示す。 等価繰返し回数は，詳細設計段階で設定する。なお，暫定的に一律に設定する等価繰返し回数を使用する場合，基準地震動Ｓｓによる評価において 150 回，弾性設計用地震動Ｓｄによる評価において 300 回を適用する。	・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号炉では，暫定的に使用する等価繰返し回数を記載している ・評価手法の相違 【女川 2】 島根２号炉では東北地方太平洋沖地震による設備への疲労影響はない
	3. 留意事項 東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は，十分に小さいことを確認しているが，疲れ累積係数による疲労評価を実施する場合は，許容限界（Uf=1.0）に対して余裕があることにも留意する。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

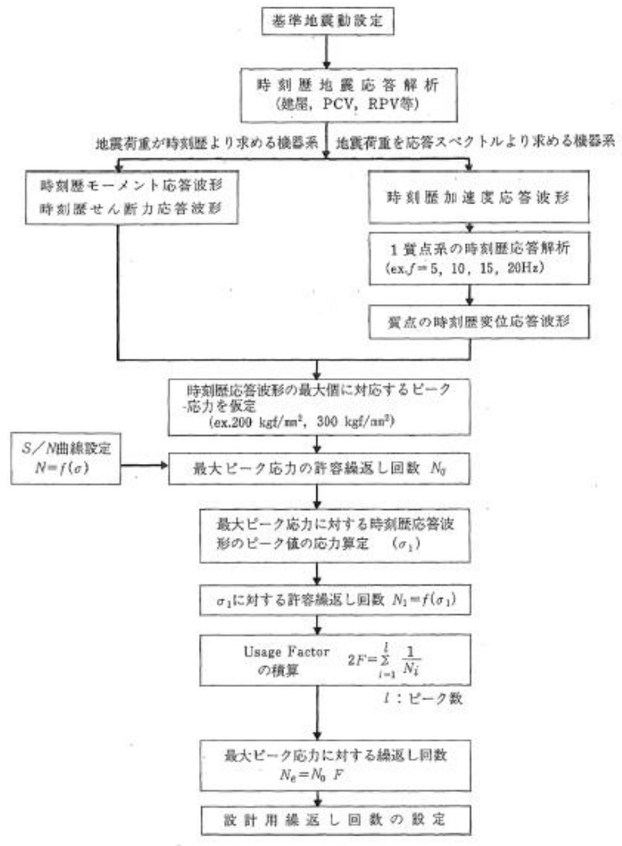
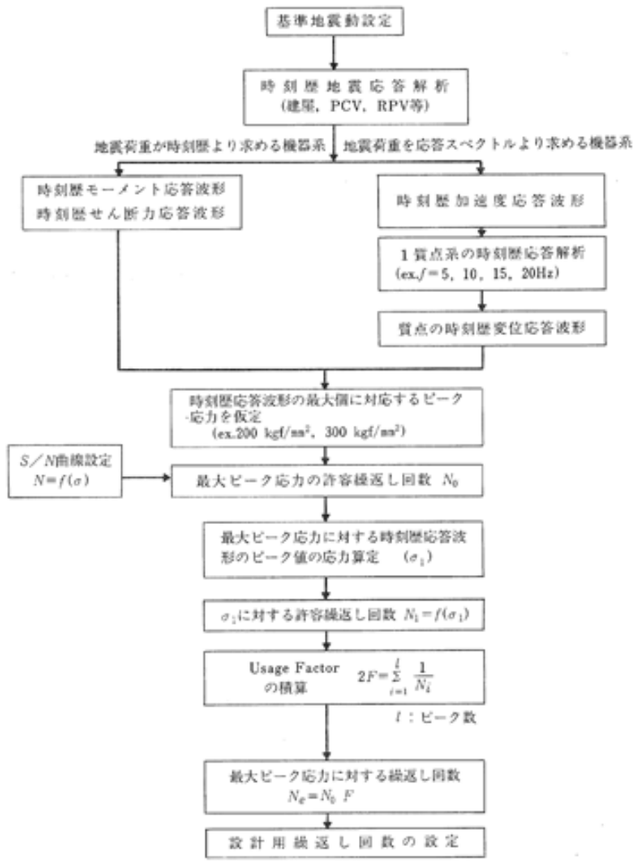


参考 3-1 図 適用する等価繰返し回数の使い分け



注１　このフローによらず個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合がある
注２　「一律に設定する等価繰返し回数」の適用範囲を原子炉建物内設備とした場合
注３　「一律に設定する等価繰返し回数」は詳細設計段階で設定

第１図　適用する等価繰返し回数の使い分け

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 参考 3-2 図　ピーク応力法を用いた地震の等価繰返し回数の算定フロー（JEAG4601 引用）	 第２図　ピーク応力法を用いた地震の等価繰返し回数の算定フロー（ＪＥＡＧ４６０１より引用）	

参考3-1 表 昭和55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び女川２号炉の等価繰返し回数算定条件の比較

		昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書（標準化報告書）		女川２号炉		
				建設時	今回工認	
		【手法１】	【手法２】	建設時における等価繰返し回数	一律に設定する等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数
対象設備		原子炉圧力容器スカート	第一種配管	原子炉格納容器	原子炉建屋※1に設置された設備	原子炉建屋※1以外，ピーク応力が150kg/mm²(1471MPa)を超える設備，疲労評価の精緻化が必要な設備
算出方法		時刻歴解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法（JEAG4601における左側のフロー）	建屋床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法（JEAG4601における右側のフロー）	時刻歴解析より算定される時刻歴加速度を用いた算出方法（JEAG4601における左側のフロー）	時刻歴解析より算定される時刻歴荷重を用いた算出方法又は建屋床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法	同左
回数算出に用いる応答時刻歴波	波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴波	加速度時刻歴波形	時刻歴荷重波形又は変位応答時刻歴波	同左
	時刻歴最大値（設備の最大ピーク応力）	５種類のピーク応力（最大300kg/mm²）	代表設備の最大ピーク応力を安全側に設定（300kg/mm²）	51kg/mm²（原子炉格納容器材質の１次＋２次応力のⅢ$_a$S及びⅣ$_a$Sの許容応力（3S））	150kg/mm²(1471MPa)「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされる値	同左又は，対象設備のピーク応力
対象建屋・床		代表設備の設置床面	同左	代表質点 原子炉格納容器	対象設備の設置位置	同左
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく，全固有周期	建屋－大型機器連成解析モデルの時刻歴解析結果より直接算定	対象設備の固有周期でなく，全固有周期※2	対象設備の固有周期
減衰定数		報告書に言及なし	同左	時刻歴解析結果より直接算定するため，減衰の設定は不要。（時刻歴解析モデルで設定されている）	0.5%	対象設備の設計用減衰定数
設計用疲労線図		代表設備材料の線図を使用	同左	炭素鋼の設計疲労線図※3	炭素鋼の設計疲労線図※4	対象設備の使用材料に応じて，炭素鋼又はステンレス鋼の設計疲労線図※4
地盤条件		Vs=500，1000，1500m/s	Vs=1500m/s	Vs=1820m/s	同左	同左

※1 「一律に設定する等価繰返し回数」の適用範囲を原子炉建屋内設備とした場合。
※2 設備の固有周期を踏まえ固有周期帯を限定する場合がある。
※3 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（通商産業省告示第 501 号）を適用。
※4 日本機械学会　設計建設規格（JSME S NC1 2005/2007）を適用。

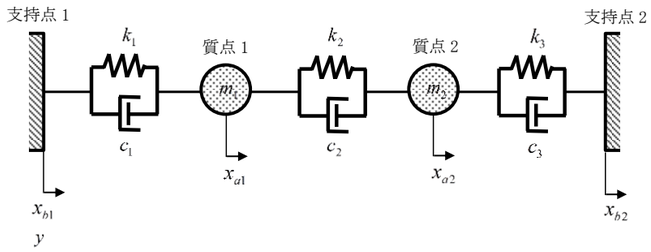
第１表 昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び島根２号炉の等価繰返し回数算定条件の比較

		昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書（標準化報告書）		島根２号炉		
				建設時	今回工認	
		【手法１】	【手法２】	建設時における等価繰返し回数	一律に設定する等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数
対象設備		原子炉圧力容器スカート	第１種配管	原子炉建物に設置された設備	原子炉建物注1に設置された設備	原子炉建物注1以外，減衰定数が 0.5%の設備，ピーク応力が 150kg/mm²(1471MPa)を超える設備，疲労評価の精緻化が必要な設備
算出方法		時刻歴解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出法注5	建物床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法注6	時刻歴解析より算定される時刻歴荷重を用いた算出方法注5又は建物床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法注6	時刻歴解析より算定される時刻歴荷重を用いた算出方法注5又は建物床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法注6	同左
回数算出に用いる応答時刻歴波	波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴波	荷重時刻歴波形又は変位応答時刻歴波	荷重時刻歴波形又は変位応答時刻歴波	同左
	時刻歴最大値（設備の最大ピーク応力）	５種類のピーク応力（最大 300kg/mm²）	代表設備の最大ピーク応力を安全側に設定（300kg/mm²）	150kg/mm²(1471MPa)（標準化報告書の検討にて十分とされる値）	150kg/mm²(1471MPa)（標準化報告書の検討にて十分とされる値）	同左又は対象設備のピーク応力
対象建屋・床		代表設備の設置床面	同左	代表設備の設置位置	対象設備の設置位置	同左
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく，全固有周期	対象設備の固有周期でなく，全固有周期	対象設備の固有周期でなく，全固有周期注2	対象設備の固有周期
減衰定数		報告書に言及なし	同左	0.5%，1.0%	1.0%	対象設備の設計用減衰定数
設計用疲労線図		代表設備材料の線図を使用	同左	炭素鋼の設計疲労線図注3	炭素鋼の設計疲労線図注4	対象設備の仕様材料に応じて，炭素鋼又はステンレス鋼の設計疲労線図注4
地盤条件		Vs=500，1000，1500m/s	Vs=1500m/s	Vs=1600m/s 注7	Vs=1600m/s 注7	同左

注１　「一律に設定する等価繰返し回数」の適用範囲を原子炉建物内設備とした場合
注２　設備の固有周期を踏まえ固有周期帯を限定する場合がある。
注３　発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第 501 号）を適用
注４　日本機械学会　設計建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１　2005/2007）を適用
注５　第２図における左側のフロー
注６　第２図における右側のフロー
注７　島根２号炉における地盤条件

・評価手法の相違
【女川２】
①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料－9 多入力の時刻歴応答解析の適用について 1.　概要 今回工認では，三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において，多入力の時刻歴応答解析手法を適用するため，本資料にて，その解析手法を説明する。なお，本解析手法は，原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において，他プラントを含む既工認にて適用実績がある。 2.　多入力の時刻歴応答解析法 多入力の時刻歴応答解析では，基準とする入力点（基準入力点）に対する配管系の相対変位及び入力点の相対変位を用いると，地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式は以下となる。 $[M]\{\ddot{x}_a\}+[C]\{\dot{x}_a\}+[K]\{x_a\}=-[M]\{I\}\ddot{y}_0-[\tilde{C}]\{\dot{x}_b\}-[\tilde{K}]\{x_b\}$　（1） $[M]$，$[C]$，$[K]$　：配管系の質量，減衰，剛性マトリクス $\{I\}$：単位ベクトル $\{x_a\}$：基準入力点に対する配管系の相対変位ベクトル $\{x_b\}$：基準入力点に対する入力点の相対変位ベクトル y_0：基準入力点の絶対変位 $[\tilde{C}]$：入力点の相対速度に対応した減衰マトリクス $[\tilde{K}]$：入力点の相対変位に対応した剛性マトリクス	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において，多入力の時刻歴応答解析手法を適用する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		式（１）の左辺は地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式である。右辺第一項は，基準入力点の加速度を用いており，右辺第二項及び右辺第三項は，入力点の相対変位，相対速度により生じる力を表している。式（１）は，単一入力の場合と同様に，モード座標系の運動方程式に変換することが可能であり，今回の評価では，モード空間での連成した運動方程式に対して時間積分を行う方法を適用する。 3.　多入力の場合の２自由度系の運動方程式の例 多入力の時刻歴応答解析手法は，いくつかの定式化が可能であるが，前項に示した系全体の絶対変位を「基準とする支持点の絶対変位」と「基準とする支持点からの相対変位」の和で表す場合の定式化について，多入力の場合の２自由度系の運動方程式の例を以下に示す。対象とする２自由度系を図 3－1 に示す。 なお，系を静的平衡関係から得られる疑似静的変位と動的変位の和で定義することを特徴とする Clough の方法がＪＥＡＧ４６０１[注1]に示されているが，変位等の定義の仕方が異なるだけであり，系の運動方程式としては，式（１）と同等である（参考資料(9－1)参照)。 注１：原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987（社団法人日本電気協会）  y　：基準とする支持点１の絶対変位 x_{a1}，x_{a2}：支持点１に対する各質点の相対変位 x_{b1}，x_{b2}：支持点１に対する各支持点の相対変位　（$x_{b1}=0$） m_1，m_2：質量 k_1，k_2，k_3：ばね定数 c_1，c_2，c_3：減衰係数 図 3－1　多入力の場合の２自由度系	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式を以下に示す。

$$\begin{cases} m_1(\ddot{x}_{a1}+\ddot{y})+c_1(\dot{x}_{a1}-\dot{x}_{b1})-c_2(\dot{x}_{a2}-\dot{x}_{a1})+k_1(x_{a1}-x_{b1})-k_2(x_{a2}-x_{a1})=0 & (2) \\ m_2(\ddot{x}_{a2}+\ddot{y})+c_2(\dot{x}_{a2}-\dot{x}_{a1})-c_3(\dot{x}_{b2}-\dot{x}_{a2})+k_2(x_{a2}-x_{a1})-k_3(x_{b2}-x_{a2})=0 & (3) \end{cases}$$

基準とする支持点１に関する項を右辺に移項して整理すると，

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_{a1}+(c_1+c_2)\dot{x}_{a1}-c_2\dot{x}_{a2}+(k_1+k_2)x_{a1}-k_2x_{a2}-c_1\dot{x}_{b1}-k_1x_{b1}=-m_1\ddot{y} & (4) \\ m_2\ddot{x}_{a2}-c_2\dot{x}_{a1}+(c_2+c_3)\dot{x}_{a2}-k_2x_{a1}+(k_2+k_3)x_{a2}-c_3\dot{x}_{b2}-k_3x_{b2}=-m_2\ddot{y} & (5) \end{cases}$$

となる。式（４）および式（５）を行列式で表現すると，

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_{a1} \\ \ddot{x}_{a2} \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2+c_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_{a1} \\ \dot{x}_{a2} \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_{a1} \\ x_{a2} \end{Bmatrix}$$

$$+\begin{bmatrix} -c_1 & 0 \\ 0 & -c_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_{b1} \\ \dot{x}_{b2} \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ 0 & -k_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_{b1} \\ x_{b2} \end{Bmatrix}=-\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}\ddot{y} \quad (6)$$

となる。

ここで，入力点の相対速度に対応した減衰マトリクスを，$[\tilde{C}]$ 入力点の相対変位に対応した剛性マトリクスを $[\tilde{K}]$ としたうえでこれらを右辺に移項すると，以下の式となる。

$$[M]\{\ddot{x}_a\}+[C]\{\dot{x}_a\}+[K]\{x_a\}=-[M]\{I\}\ddot{y}-[\tilde{C}]\{\dot{x}_b\}-[\tilde{K}]\{x_b\} \quad (7)$$

式（７）の左辺は質点の変位 x_a，右辺は支持点の変位 x_b および y の運動方程式であり，前項に示す式（１）と同様の方程式となる。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

参考資料(9－1)

ＪＥＡＧ４６０１－1987（抜粋）

6.5.4　地震応答解析法　(3)配管

(3) 配　　管

Aクラス配管の地震応答解析手法として設計において最も多く用いられている方法は，「6.5.4(2) 容器」で示したスペクトルモーダル解析法であるが，「6.5.4(1) 建屋連成系の機器」で述べた時刻歴解析法による場合もある。配管系は，多数の支持点にて支持されていることから多入力解析を用いることが合理的と考えられる。この多入力解析法については，いくつかの定式化が考えられるが，配管を対象とした多入力解析の場合はCloughにより提案された[6.5.4-2]方法を用いることが多い。このCloughの方法は，系を静的平衡関係から得られる擬似静的変位と動的変位の和で定義したことを特徴とするもので，最終的には系の運動方程式は次の式〈6.5.4-8〉となる。

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -MH\ddot{U}_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \langle 6.5.4\text{-}8 \rangle$$

M　：質量マトリクス

C　：減衰マトリクス

K　：剛性マトリクス

$\ddot{U}_b$　：支持点の絶対加速度

H　：静的平衡関係から得られる変換マトリクス

式〈6.5.4-8〉はこれまでに扱ってきた運動方程式と同様な形式となっているため，時刻歴による多入力解析はもちろんであるが支持点の応答スペクトルを用いたスペクトル多入力解析をも可能としている。ただし，膨大な数のモデルを対象とする配管設計においては，簡便さと安全側の観点から各々の支持部の入力を包絡し，単一入力として解析する場合が多い。

つまり，配管系の地震応答解析は「6.5.2(3)配管」において述べたように曲げせん断ばり〔ビーム，管要素〕により３次元のモデル化が行われスペクトルモーダル解析により地震力を求める解析法が主となっている。そして，スペクトルモーダル解析においてモード合成により部材力を求める場合は「SRSS」法が用いられ，地震入力方向の合成には絶対値和法を用いるのが普通である。