

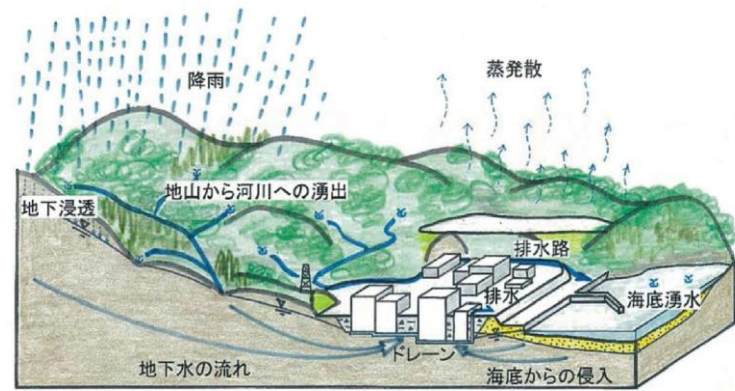
敷地の水文環境

敷地は、北東側が海に面し、その他は山地に囲まれている。山地の尾根は北東-南西～北北東-南南西方向に延び、それらの尾根に沿って小規模な沢が発達し、沢沿いには小規模な低地が分布している。敷地の一部は、この小規模な低地となっている。

山側に降った雨は、蒸発散を除き、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。

表面水は排水路を通じて海へ排水される、また、地下水は主要建屋周辺に設置した地下水位低下設備により集水後、排水路へ排水される。

敷地の水文環境のイメージを補足 1-1 図に、発電所周辺の小河川や尾根筋の状況を補足 1-2 図に示す。また、主な地表水の流れを補足 1-3 図に示す。



補足 1-1 図敷地の水文環境のイメージ



凡例 小河川・沢 尾根筋 谷底・沖積低地
 発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
 (CTO-75-26 C28 17~19)に東北電力が加筆
 出典: 国土画像情報(カラー空中写真)国土交通省

補足 1-2 図 発電所周辺の小河川・尾根筋等の分布状況

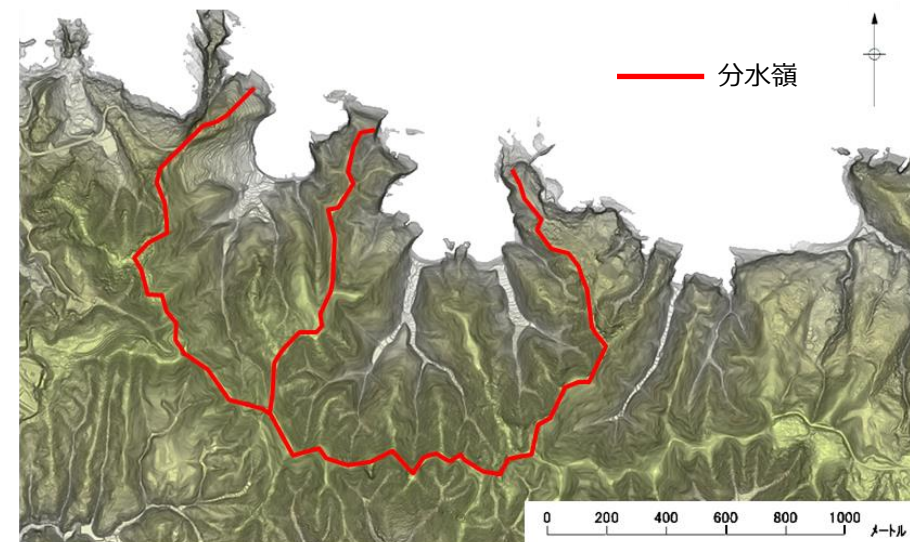
敷地の水文環境

敷地は、北側が海に面し、その他は山地に囲まれている。敷地の地形は、補足 1-1 図及び補足 1-2 図に示すとおり、沿岸低山地と後背山地に大別され、沿岸低山地は標高約 80m 以下の山地で、緩やかな山頂面から海に急傾斜している。また、後背山地は標高約 80~160m の山地で、開折谷が発達しており、中央が扇状に大きく広がっている。

山側に降った雨は、蒸発散を除き、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。

表面水は排水路を通じて海へ排水される、また、地下水は主要建物周辺に設置した地下水位低下設備(既設)により集水後、排水路へ排水される。

主な地表水の流れを補足 1-2 図に示す。



※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

補足 1-1 図 発電所周辺の分水嶺等の分布状況



発電所周辺の空中写真(2011年撮影)
(CTO20117 C28 23) 出典: 国土地理院

---> 主な地表水の流れ

補足 1-3 図 発電所周辺の主な地表水の流れ



.....> 主な地表水の流れ 島根原子力発電所周辺の空中写真
出典: 国土地理院 (2009年撮影)

補足 1-2 図 発電所周辺の主な地表水の流れ

地下水位の設定に係る浸透流解析における、敷地の地下水位に影響を与える降雨条件について、保守的な評価となるよう検討する。

降雨条件については、島根原子力発電所が位置する島根県松江市の気象庁松江地方気象台の過去 78 年間 (1941~2018 年) の年間降水量の記録に基づき、年間降水量の平均値及びばらつきを考慮する。この期間における年間降水量の平均値は、1,880mm/年であり、ばらつきを考慮した値 (平均値+1σ) は 2,163mm/年である。

また、気象庁・環境省における今後の気候変動予測に関する分析によると、西日本日本海側において、地球温暖化が深刻に進展したシナリオでは、将来的に (2080~2100 年) 年間降水量が約 130mm/年増加する可能性があることが報告されている。

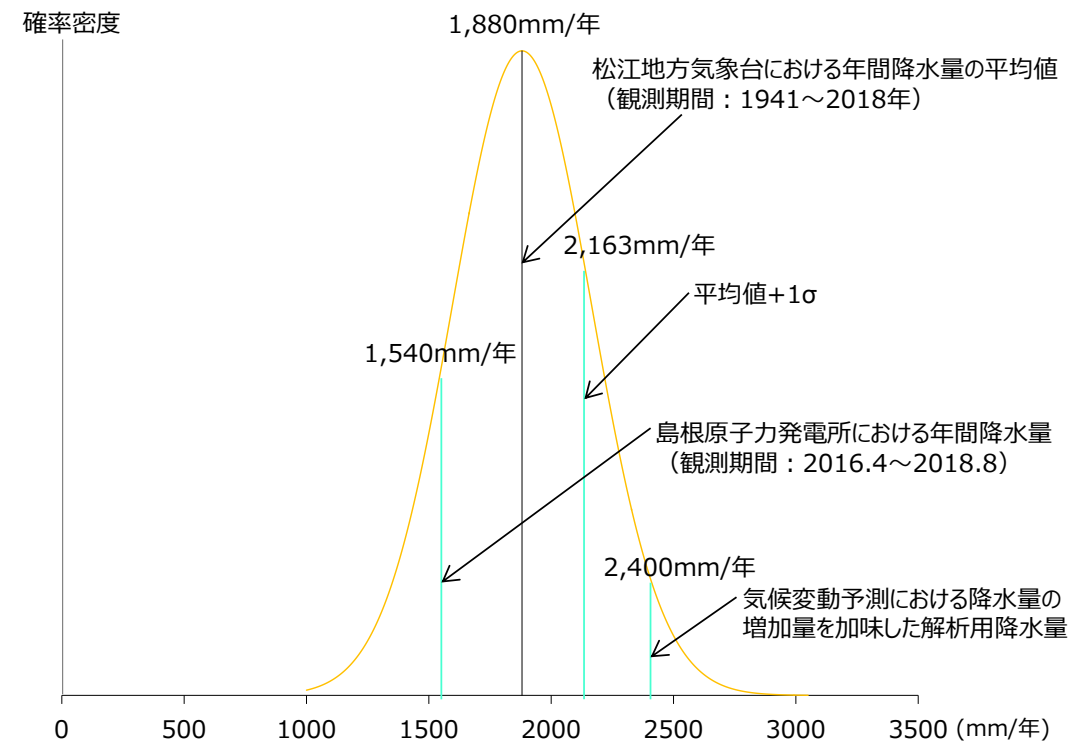
上記を踏まえ、地下水位の設定に係る浸透流解析を実施するに当たっては、降雨条件として、2,400mm/年を用い、定常的に与えることとする。

・説明の充実
島根 2 号炉では降雨条件について詳細に記載

補足 1-1 表 浸透流解析に用いる降雨条件の考え方

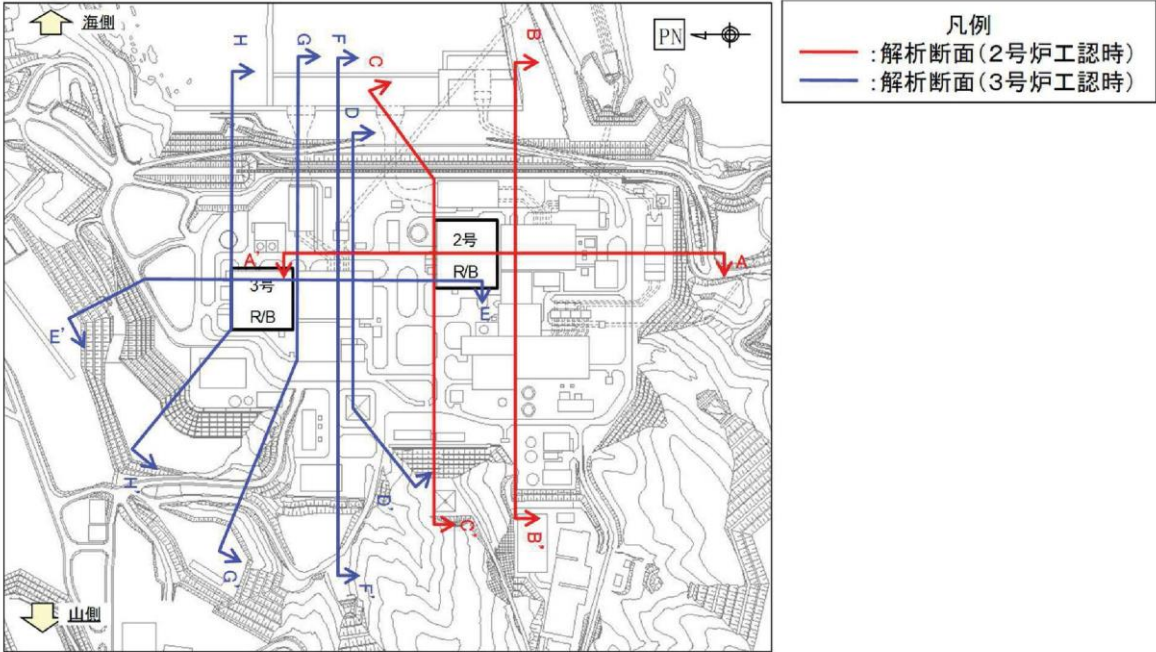
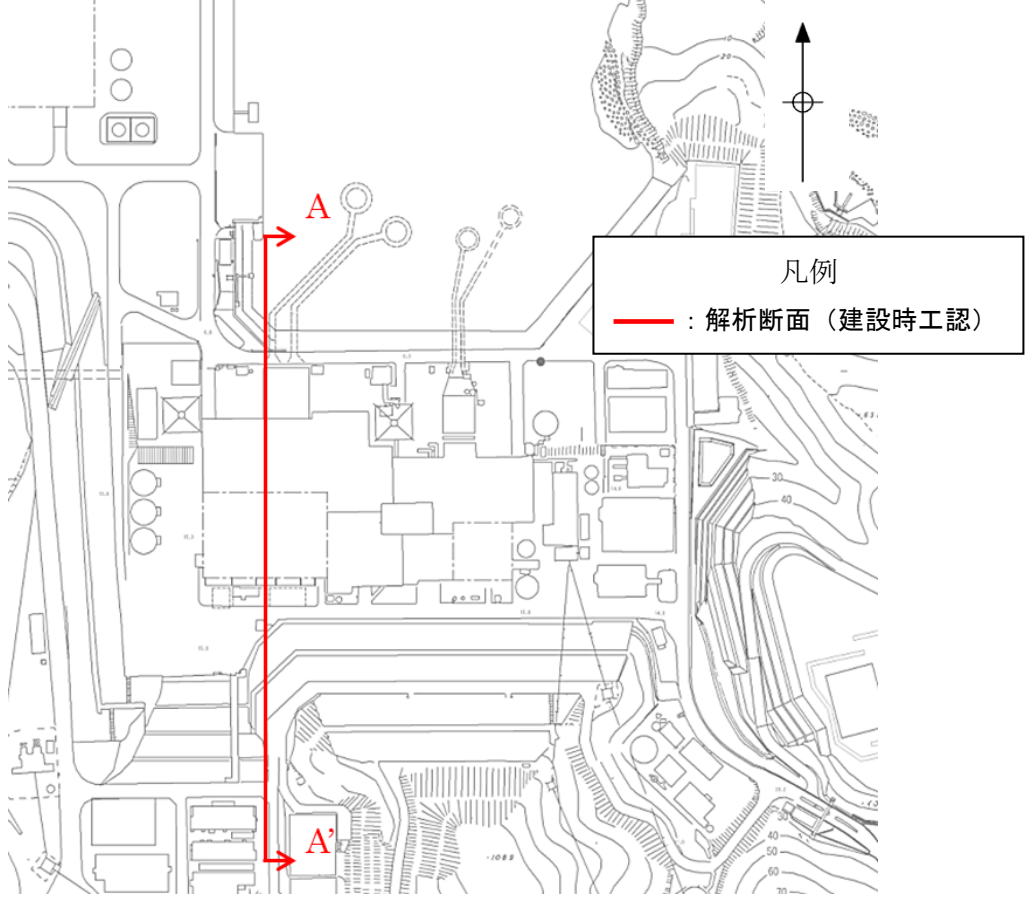
	降水量 (mm/年)
(参考) 島根原子力発電所における年間降水量	1,540
松江地方気象台における年間降水量の平均値	1,880
標準偏差	283
平均値+1σ	2,163
将来的な増加量	130
気候変動予測における降水量の増加量を加味した解析用降水量	2,400

・説明の充実
島根 2 号炉では降雨条件について詳細に記載



補足 1-3 図 松江市の年間降水量の正規分布

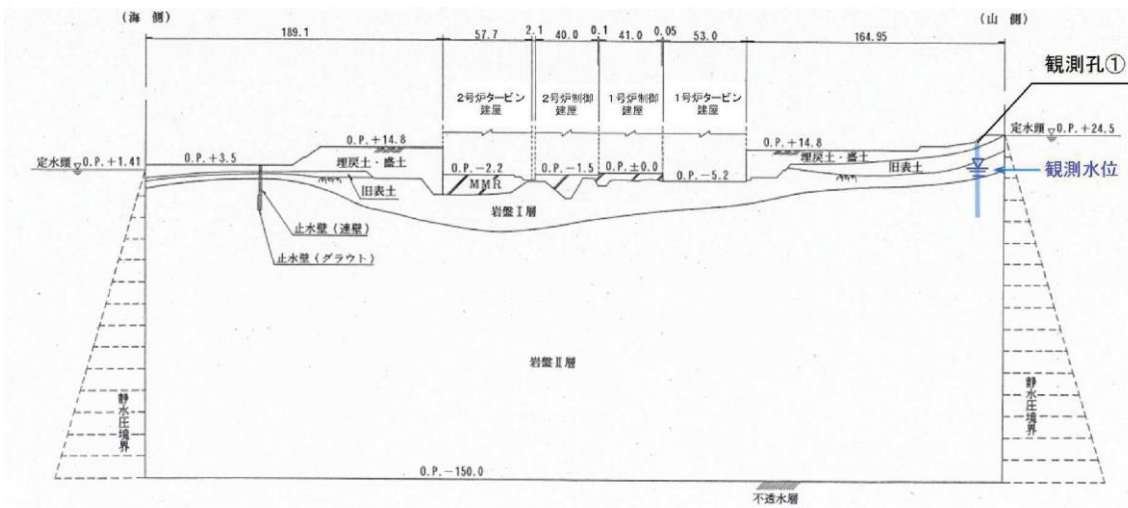
・説明の充実
島根 2 号炉では降雨条件について詳細に記載

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 7. 30 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">補足説明資料 2</p> <p style="text-align: center;">建設時工認段階の浸透流解析結果</p> <p>1. 解析の目的</p> <p>2号炉及び3号炉工認時において、以下の内容を把握するため、浸透流解析を実施している。</p> <p>①地下水位低下設備の設計に使用する湧水量</p> <p>②建屋の設計に使用する揚圧力</p> <p>③地下水位状況</p> <p>地下水は海山方向の流れが支配的であることから、海山方向(補足 2-1 図の上下方向)の断面を主とした有限要素法による二次元定常解析としている。</p>  <p style="text-align: center;">補足 2-1 図 浸透流解析断面位置*</p> <p>※2号炉及び3号炉工認時の浸透流解析断面は、当時の地形にてモデル化しており、現地形は異なる</p> <p>2. 解析条件</p> <p>(1)境界条件</p> <p>2号炉及び3号炉工認時(定常浸透流解析)の海側境界はH.W.L.、山側境界は地表面に水位を固定し、モデル下端は不透水境界として扱い、側方境界には静水圧を作用させている。なお、海側には建屋との間に地中連続壁が設置されており海水の流入を遮断する効果があるが、保守的に考慮しない。</p>	<p style="text-align: right;">補足説明資料 2</p> <p style="text-align: center;">建設時工認段階の浸透流解析結果</p> <p>1. 解析の目的</p> <p>建設時工認において、以下の内容を把握するため、浸透流解析を実施している。</p> <p>①地下水位低下設備(既設)の設計に使用する湧水量</p> <p>②建物の設計に使用する揚圧力</p> <p>③地下水位状況</p> <p>地下水は海山方向の流れが支配的であることから、海山方向(補足 2-1 図の南北方向)の断面を主とした有限要素法による二次元定常解析としている。</p>  <p style="text-align: center;">補足 2-1 図 浸透流解析断面位置*</p> <p>※建設時工認の浸透流解析断面は、当時の地形にてモデル化しており、現地形は異なる</p> <p>2. 解析条件</p> <p>(1)境界条件</p> <p>建設時工認(定常浸透流解析)の海側境界はEL+0.3m(建設時工認のH.W.L.)、山側境界はEL+5.0mに水位を固定し、モデル下端は不透水境界として扱い、側方境界には静水圧を作用させている。なお、海側には建物との間に止水壁が設置されており海水の流入を遮断する効果を考慮している。</p>	<p>備考</p> <p>・建設時工認の条件の相違 島根2号炉における建設時工認の条件を記載</p>

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 7. 30 版)

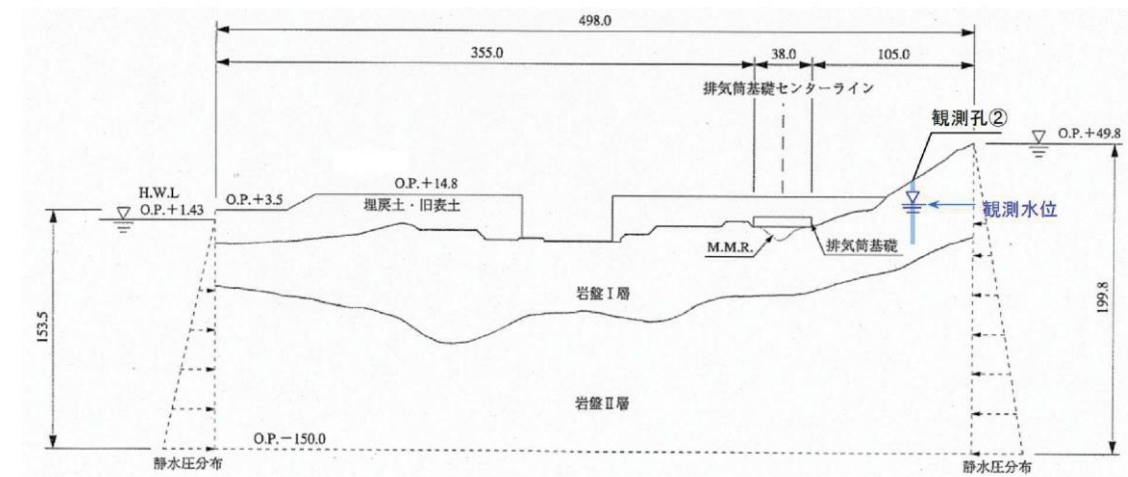
島根原子力発電所 2号炉

備考



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定 (朔望平均満潮位に地殻変動による 1 m の沈降を考慮したもの) とは異なる。

補足 2-3 図 浸透流解析断面図(B-B' 断面)



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定 (朔望平均満潮位に地殻変動による 1 m の沈降を考慮したもの) とは異なる。

補足 2-4 図 浸透流解析断面図(D-D' 断面)

・建設時工認の解析断面の相違
島根 2号炉における建設時工認では A-A 断面のみ解析を実施

・建設時工認の解析断面の相違
島根 2号炉における建設時工認では A-A 断面のみ解析を実施

補足 2-1 表 観測孔①及び②の地下水位観測結果

	観測水位	境界条件 (初期水位)
観測孔①	O.P.約+5.8m	O.P.約+15.1m (地表面)
観測孔②	O.P.約+11.5m*	O.P.約+25.0m (地表面)

*: 地殻変動による1mの沈降を考慮したものとなっており、補正した水位を記載

(2) 透水係数

浸透流解析に用いた透水係数を補足 2-2 表及び補足 2-3 表に示す。

岩盤の透水係数は、2号炉及び3号炉工認時に実施した透水試験により設定した。岩盤の透水試験位置を補足 2-5 図に示す。

また、盛土・旧表土の透水係数は Creager の手法(地盤工学会:地盤工学ハンドブック)、MMR の透水係数は水セメント比と粗骨材の最大寸法(コンクリート工学ハンドブック)より設定した。

補足 2-2 表 解析用物性値(2号炉周辺)

(単位:m/s)

地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	7.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注) A-A' 断面, B-B' 断面及び C-C' 断面に使用

補足 2-3 表 解析用物性値(3号炉周辺)

(単位:m/s)

地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	2.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注) D-D' 断面, E-E' 断面, F-F' 断面, G-G' 断面及び H-H' 断面に使用

・建設時工認の解析断面の相違

(2) 透水係数

浸透流解析に用いた透水係数を補足 2-1 表に示す。

透水係数は、建設時工認に実施した透水試験等により設定した。

・建設時工認で設定した透水係数の設定根拠の相違

また参考として、今回、浸透流解析を実施するにあたり、建設時工認後に実施した透水試験等に基づき設定した透水係数を補足 2-2 表に示す(詳細については補足説明資料 8 参照)。

・建設時工認で設定した透水係数の設定根拠の相違

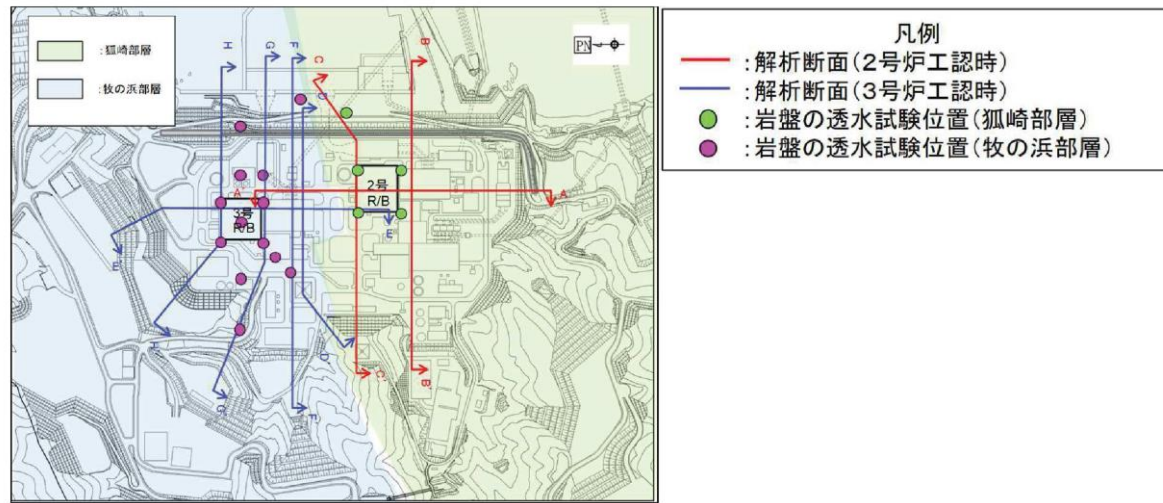
補足 2-1 表 建設時工認の透水係数

材質	透水係数 (cm/s)
護岸・止水壁	1.0×10^{-8}
頁岩・凝灰岩(下層部)	2.0×10^{-4}
頁岩・凝灰岩(上層部)	5.0×10^{-4}
埋戻し土	5.0×10^{-3}

補足 2-2 表 地下水位の設定に係る透水係数

区分	解析用 透水係数 (cm/s)	設定方法	【参考】 試験結果 (cm/s)
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}	『管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版)※』に基づき、不透水性地層相当(難透水層)として設定した。不透水材料として透水係数が 1×10^{-5} cm/s以下であり、適切な厚さを持つことで不透水性地層と同等以上の遮水の効力を発揮できるとされていることから、構造物の透水係数を不透水性地層とした。	-
C _H 級	5×10^{-5}	建設時工認の岩盤の透水係数は頁岩・凝灰岩(上層部)及び(下層部)の2種類を設定していたが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として、敷地の岩級に合わせて透水係数を設定する。	4.5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}		5.6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}		1.0×10^{-3}
D級	2×10^{-3}	D級岩盤の大部分は地表付近に分布する強風化した土砂状の岩盤であり、その粒度特性を踏まえ、クレーガーの方法により 2.8×10^{-4} cm/s ($\approx 3 \times 10^{-4}$ cm/s)を設定していた。しかし、D級岩盤は割れ目の発達した岩盤と風化の進行した岩盤に大別されるが、粒度試験 1 2 試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩等は 1 試料のみであったため、その特性を透水係数に反映できていないと考える。黒色頁岩の粒度試験結果から設定した透水係数により、揚水量が低減する傾向が認められることから、地下水位が高く算定されると判断し、割れ目が発達したD級岩盤の影響を考慮した透水係数 2×10^{-3} cm/sを採用する。	1.75×10^{-3}
砂礫層	4×10^{-3}	建設時工認では設定されていなかったが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	3.6×10^{-3}
埋戻土 (掘削スリ)	2×10^{-1}	建設時工認の埋戻し土の透水係数は、工学的な観点から岩盤の透水係数より 1 オーダー大きな値とすることで地下水位を保守的に評価することに重点を置き、現場透水試験によらず透水係数を設定していた。今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	1.7×10^{-1}

・説明の充実
島根 2号炉では参考として地下水位の設定に使用した透水係数を記載



補足 2-5 図 岩盤の透水試験位置

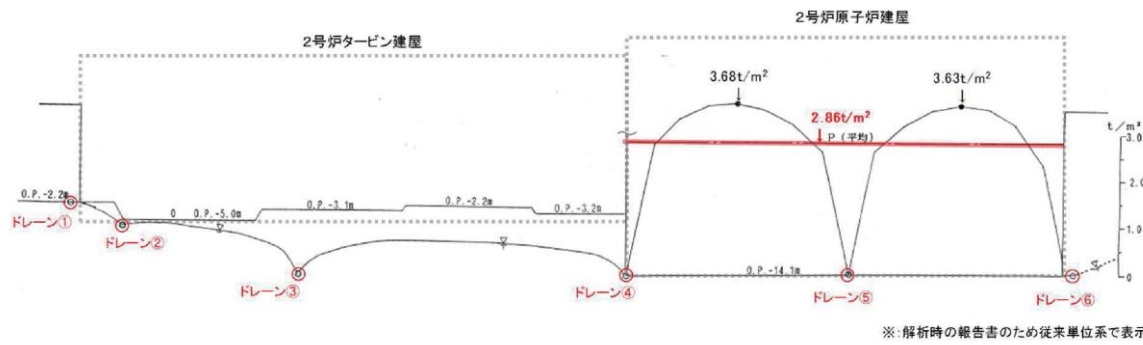
・建設時工認の解析断面の相違

3. 解析結果

(1) 2号炉主要建屋の揚圧力及び湧水量

補足 2-6 図に示す各ドレーン位置での湧水量は補足 2-4 表のとおりであり、これらの湧水量から揚水ポンプの仕様やドレーン径を設計している。

また、2号炉原子炉建屋及び2号炉タービン建屋にかかる揚圧力は、補足 2-6 図及び補足 2-5 表のとおりであり、いずれも設計値を下回っていることを確認している。



補足 2-6 図 揚水圧分布図及び地下水面形(A-A'断面のうち建屋近傍)

補足 2-4 表 各ドレーンの湧水量(1/min/m)

	①	②	③	④	⑤	⑥
湧水量	0.0315	0.1182	0.2897	0.1730	0.1499	1.1772

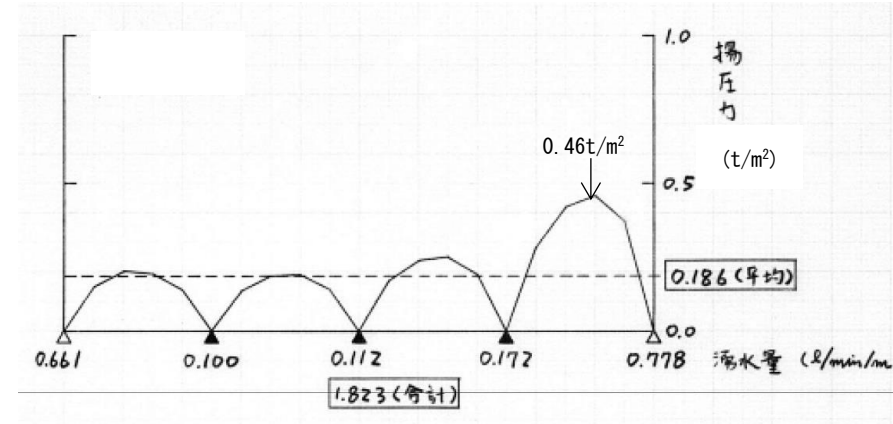
補足 2-5 表 2号炉原子炉建屋及び2号炉タービン建屋にかかる揚圧力 (設計値及び解析結果)

建屋名称	揚圧力 (t/m ²)	
	設計値	解析結果
2号炉原子炉建屋	3.0	2.86
2号炉タービン建屋	0	0

3. 解析結果

(1) 原子炉建物の揚圧力及び湧水量

原子炉建物における揚圧力分布を補足 2-4 図に示し、設計値との比較結果を補足 2-3 表に示す。建設時工認において、原子炉建物における揚圧力は、設計値を下回っていることを確認した。



補足 2-4 図 各ドレーンの湧水量及び揚水圧分布図(A-A'断面のうち原子炉建物)

補足 2-3 表 原子炉建物にかかる揚圧力 (設計値及び解析結果)

建物名称	揚圧力 (t/m ²)	
	設計値	解析結果
2号炉原子炉建物	0.8	0.186

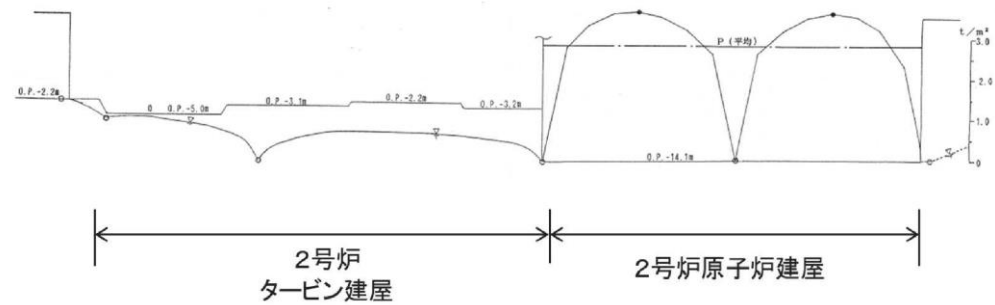
・対象施設の相違
島根 2号炉は原子炉建物の解析結果について記載

・対象施設の相違
島根 2号炉は原子炉建物の解析結果について記載

(2) 2号炉主要建屋の揚圧力

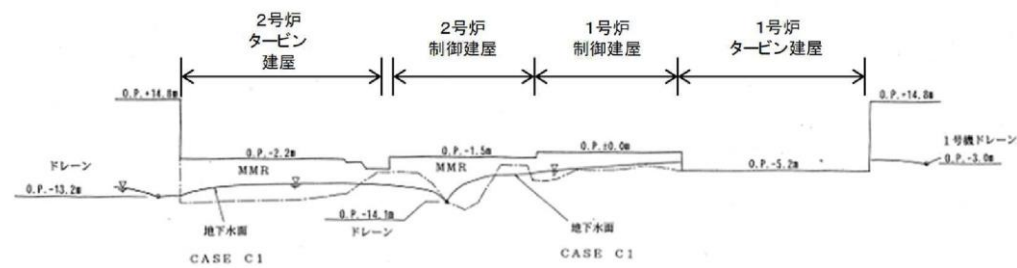
2号炉主要建屋における揚圧力の解析結果を補足 2-7 図～補足 2-9 図に示す。

※:解析時の報告書のため従来単位系で表示



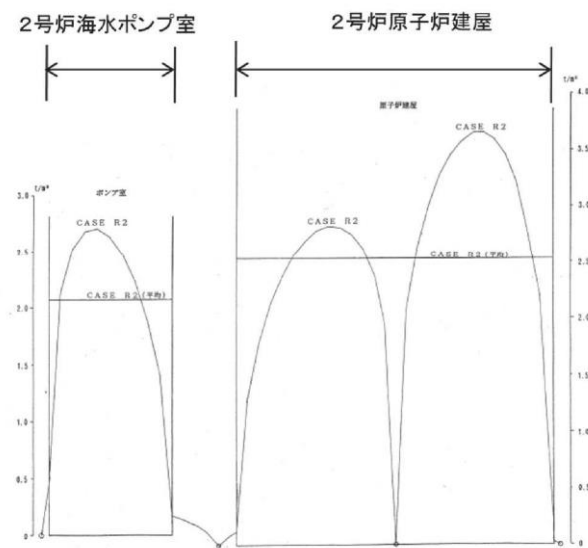
補足 2-7 図 揚圧力分布図及び地下水面形(A-A' 断面)

※:解析時の報告書のため従来単位系で表示



補足 2-8 図 揚圧力分布図及び地下水面形(B-B' 断面)

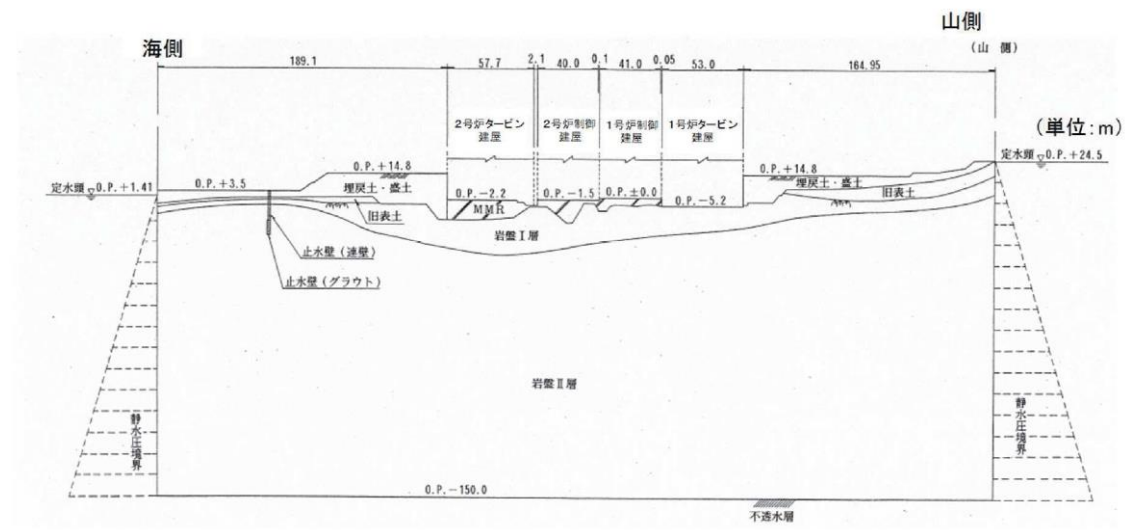
※:解析時の報告書のため従来単位系で表示



補足 2-9 図 揚圧力分布図及び地下水面形(C-C' 断面)

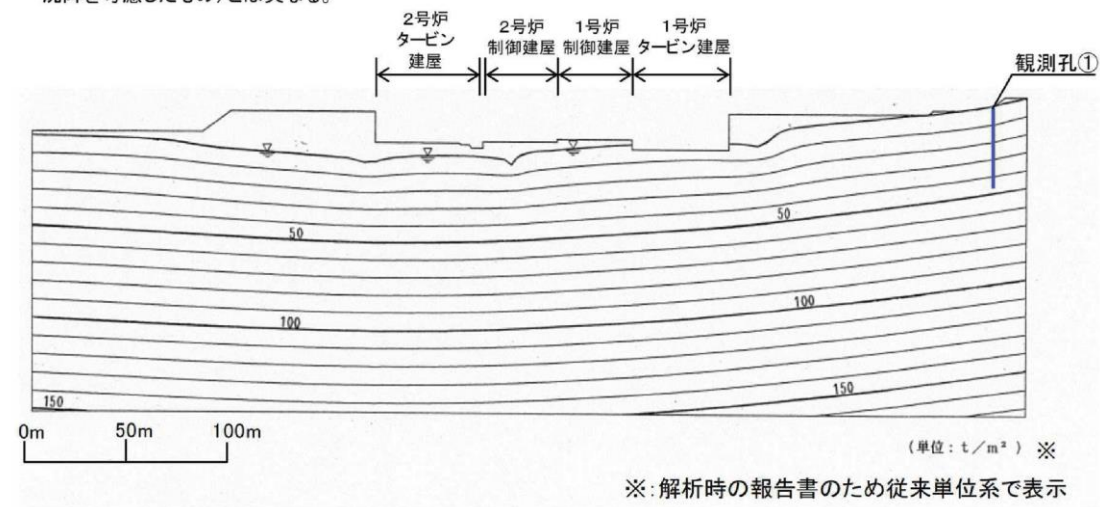
・対象施設の相違
島根2号炉は原子炉建物の解析結果について記載

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

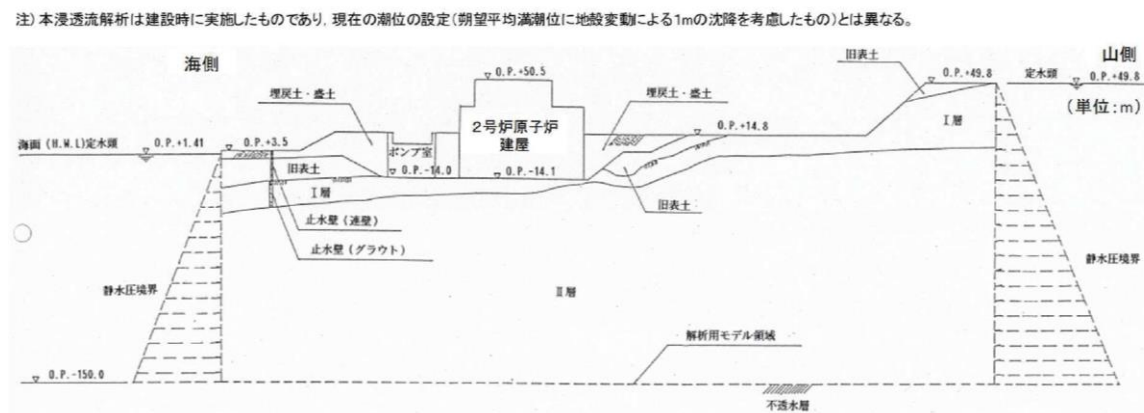


補足 2-12 図 浸透流解析断面図(B-B' 断面)

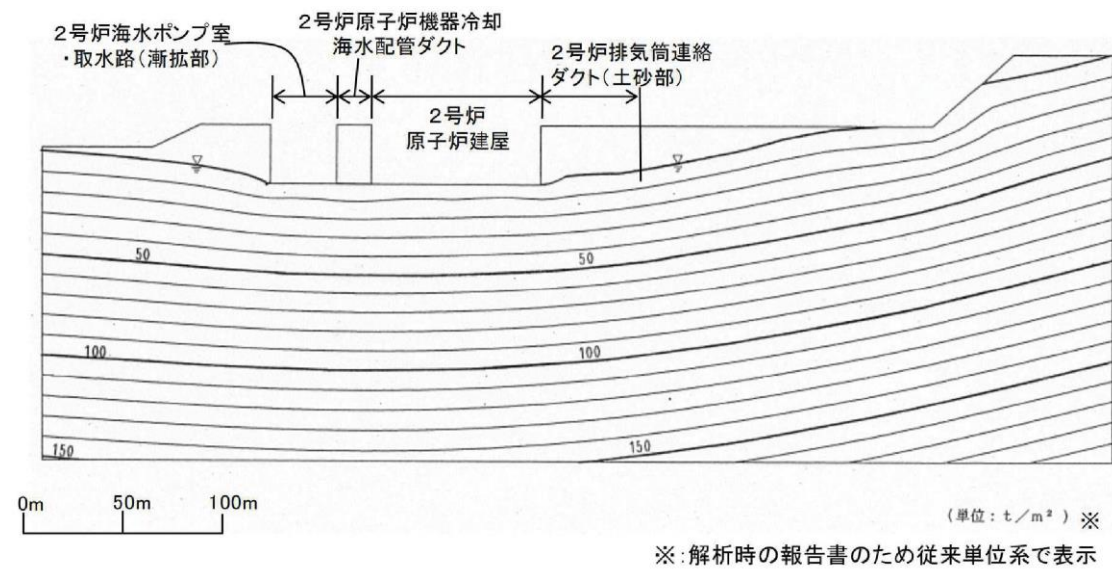
注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



補足 2-13 図 間隙水圧分布図(B-B' 断面)



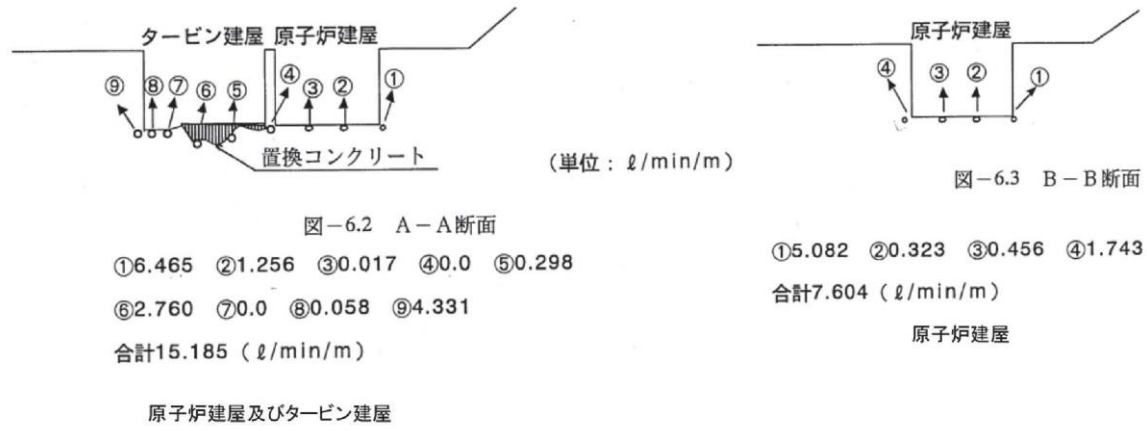
補足 2-14 図 浸透流解析断面図(C-C' 断面)



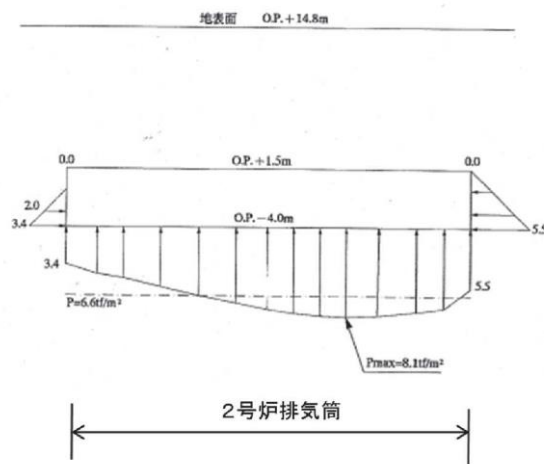
補足 2-15 図 間隙水圧分布図(C-C' 断面)

(4) 3号炉主要建屋の揚圧力及び湧水量

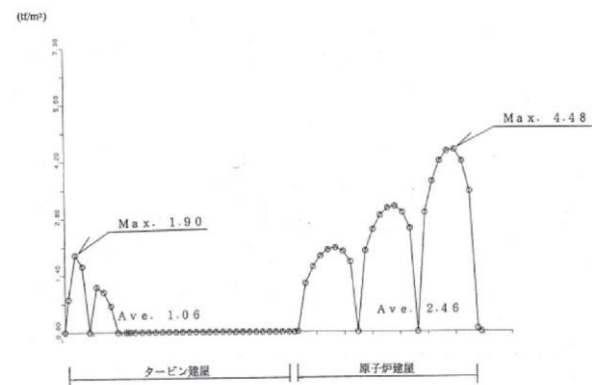
二次元浸透流解析による3号炉原子炉建屋他の湧水量を補足 2-16 図に示す。また、3号炉主要建屋における揚圧力の解析結果を補足 2-17 図～補足 2-21 図に示す。



補足 2-16 図 3号炉原子炉建屋他の湧水量解析結果

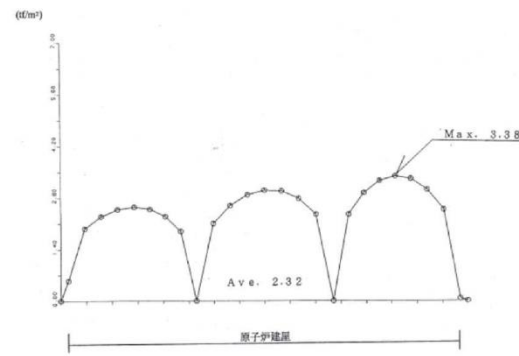


補足 2-17 図 揚圧力分布図及び地下水面形(D-D' 断面)

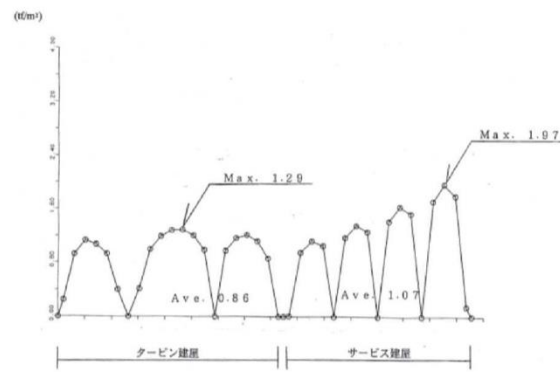


補足 2-18 図 揚圧力分布図及び地下水面形(E-E' 断面)

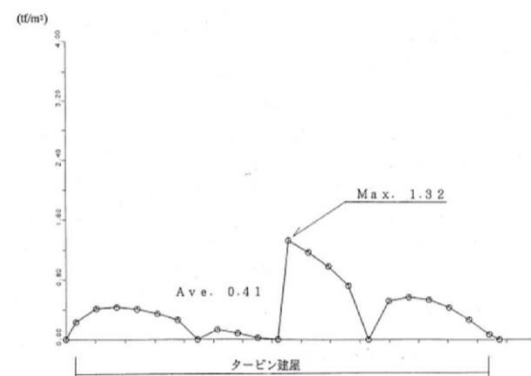
・対象施設の相違
島根2号炉は原子炉建物の解析結果について記載



補足 2-19 図 揚圧力分布図及び地下水面形 (F-F' 断面)



補足 2-20 図 揚圧力分布図及び地下水面形 (G-G' 断面)



補足 2-21 図 揚圧力分布図及び地下水面形 (H-H' 断面)

(5) 3号炉主要建屋の間隙水圧分布

3号炉主要建屋の間隙水圧分布について、解析断面とその結果を補足 2-22 図～補足 2-31 図に示す。

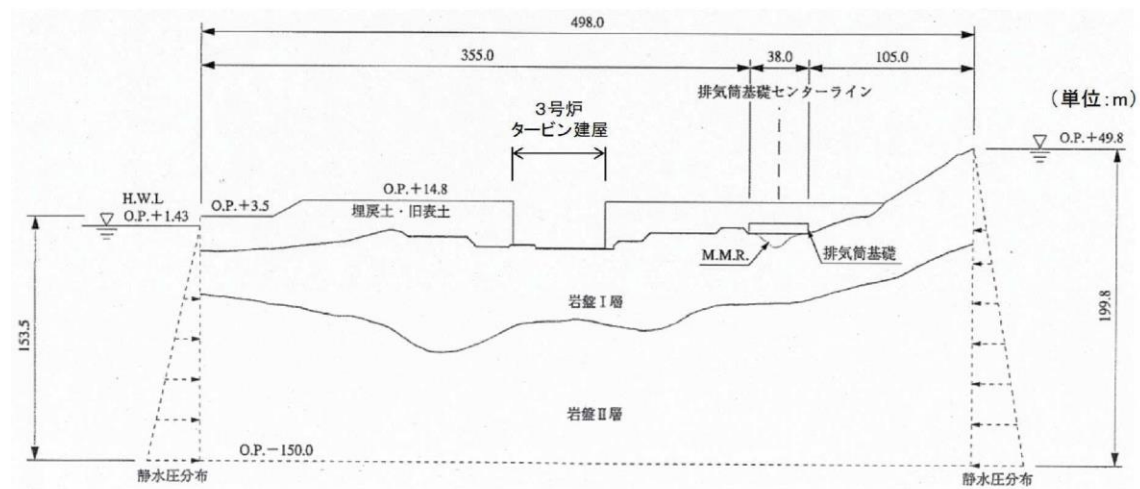
補足 2-22 図、補足 2-23 図(D-D' 断面)ではドレーンを設置している3号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

補足 2-24 図、補足 2-25 図(E-E' 断面)ではドレーンを設置している3号炉タービン建屋及び3号炉原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下している。

補足 2-26 図、補足 2-27 図(F-F' 断面)ではドレーンを設置している3号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

補足 2-28 図、補足 2-29 図(G-G' 断面)ではドレーンを設置している3号炉タービン建屋及び3号炉サービス建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

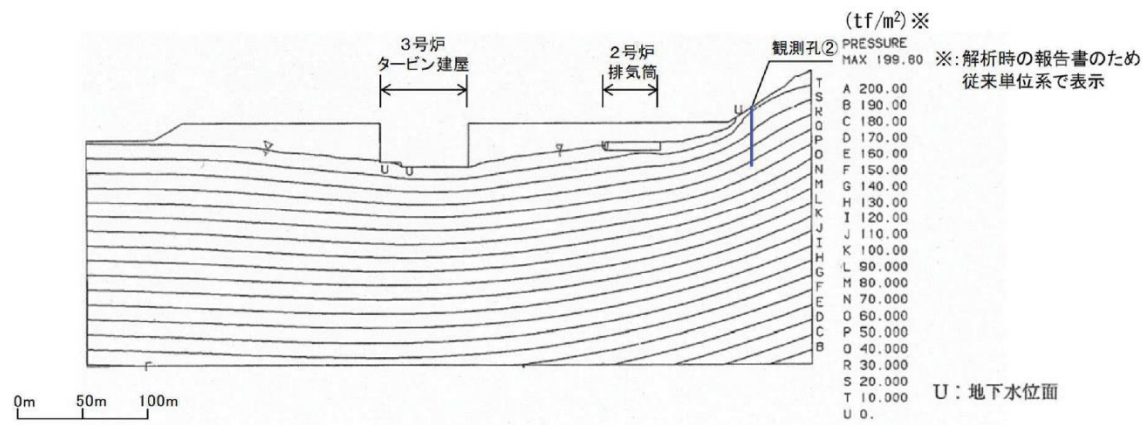
補足 2-30 図、補足 2-31 図(H-H' 断面)ではドレーンを設置している3号炉原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



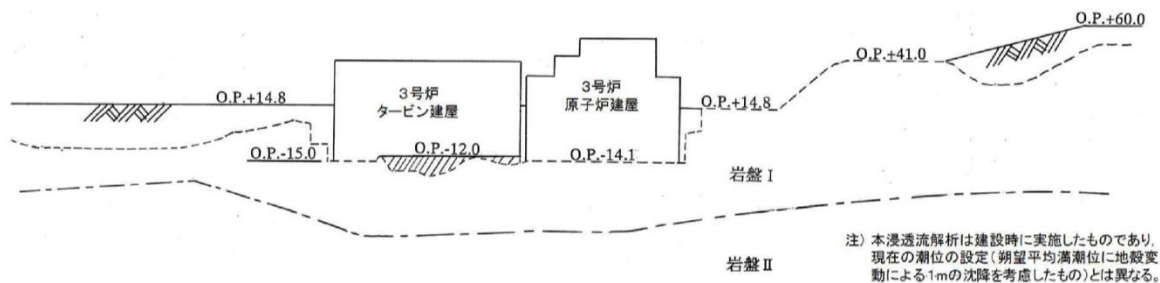
注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地震変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

補足 2-22 図 浸透流解析断面図(D-D' 断面)

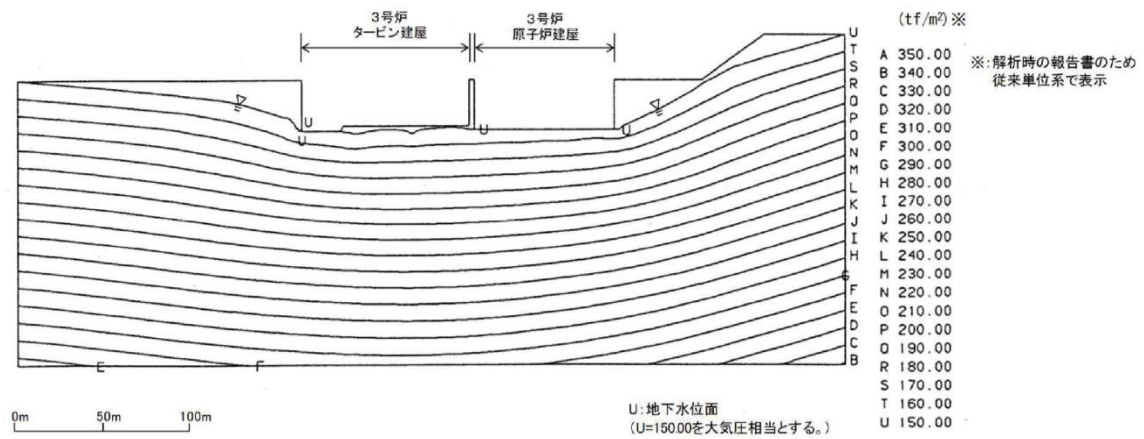
・対象施設の相違
島根2号炉は原子炉建物の解析結果について記載



補足 2-23 図 間隙水圧分布図(D-D' 断面)

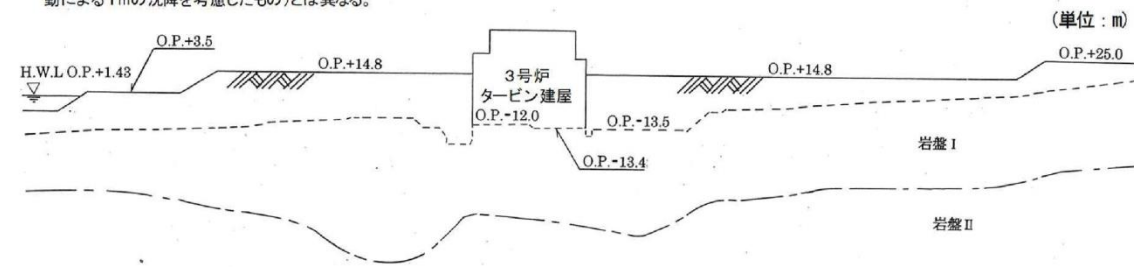


補足 2-24 図 浸透流解析断面図(E-E' 断面)

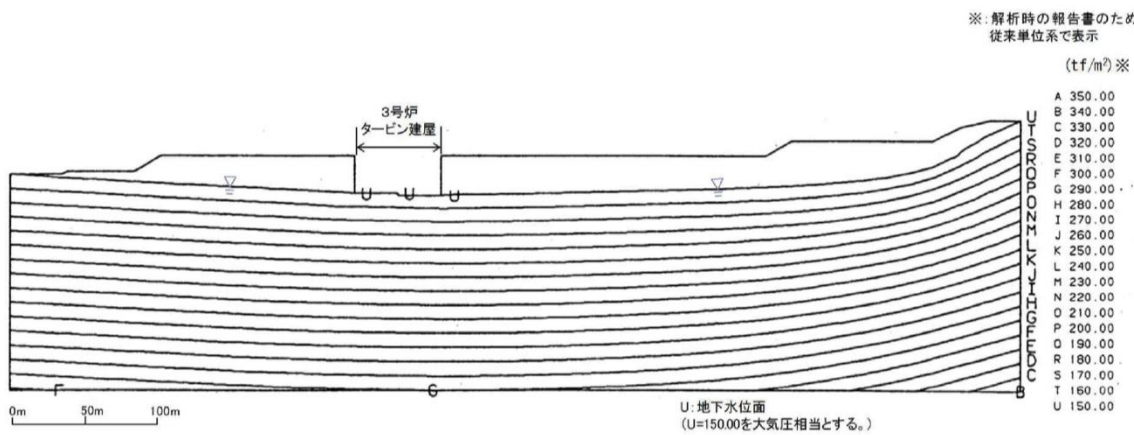


補足 2-25 図 間隙水圧分布図(E-E' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

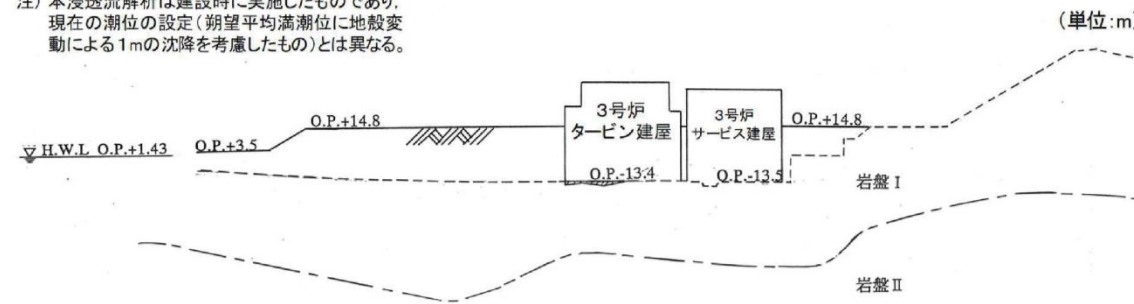


補足 2-26 図 浸透流解析断面図(F-F' 断面)

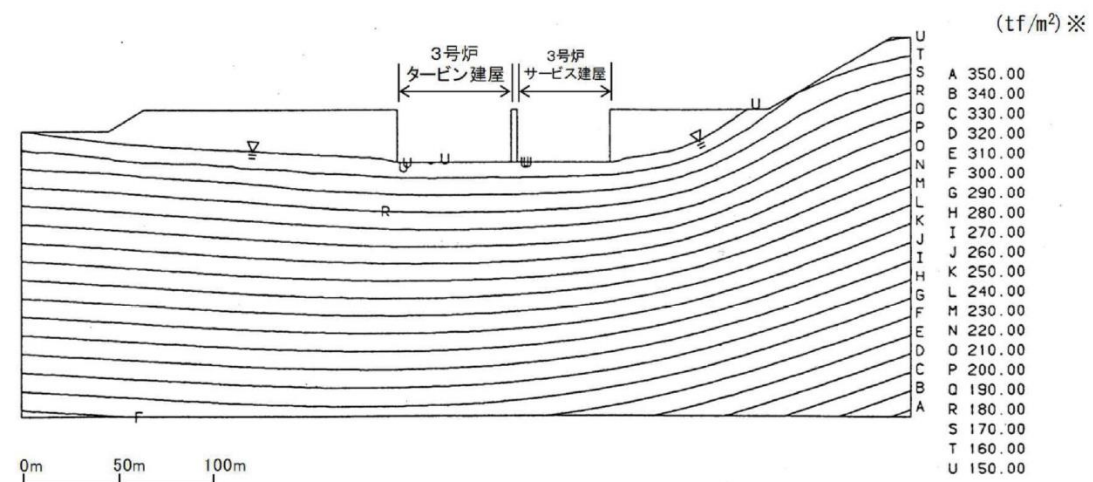


補足 2-27 図 間隙水圧分布図(F-F' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



補足 2-28 図 浸透流解析断面図(G-G' 断面)

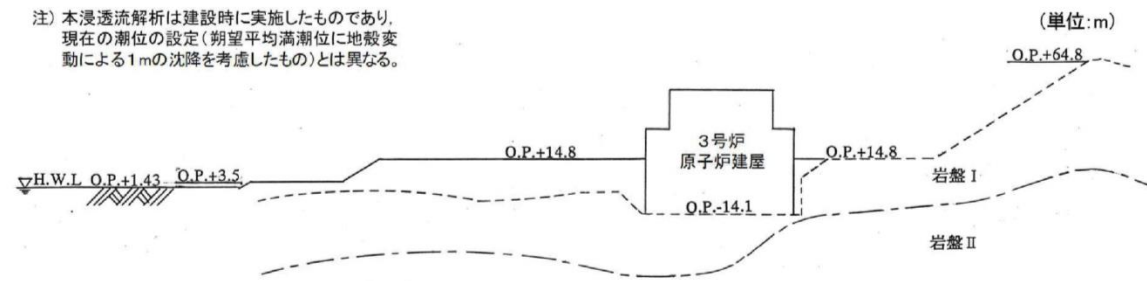


U: 地下水位面
(U=150.00を大気圧相当とする。)

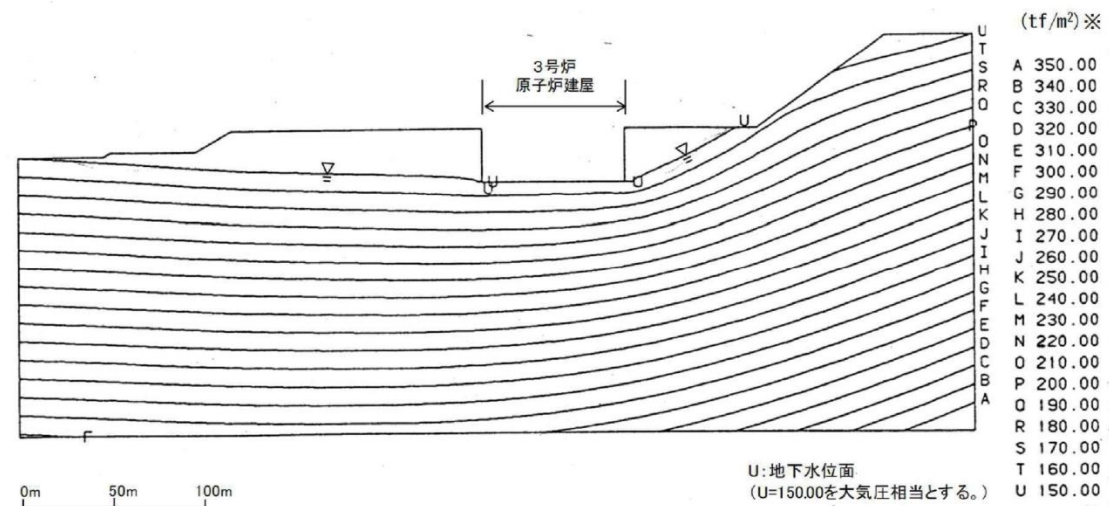
※: 解析時の報告書のため
従来単位系で表示

補足 2-29 図 間隙水圧分布図(G-G' 断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、
現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



補足 2-30 図 浸透流解析断面図(H-H' 断面)



U: 地下水位面
(U=150.00を大気圧相当とする。)

※: 解析時の報告書のため
従来単位系で表示

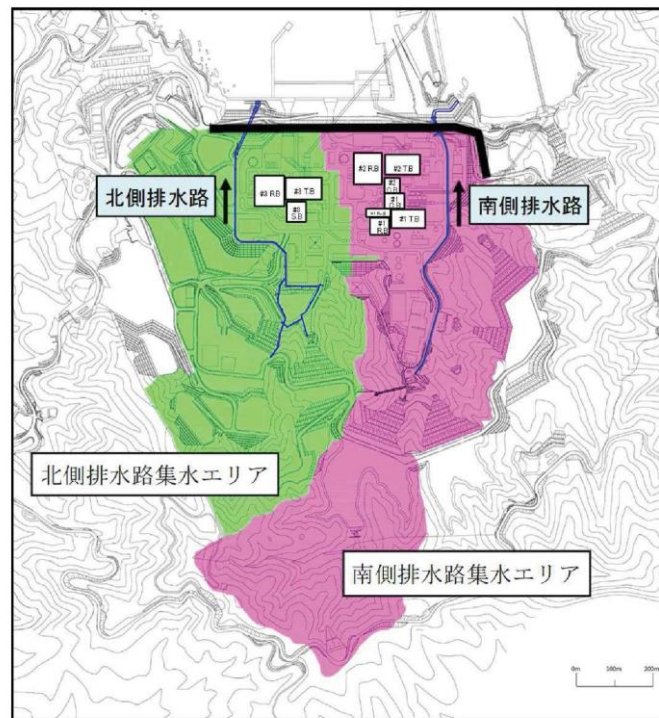
補足 2-31 図 間隙水圧分布図(H-H' 断面)

構内排水路の概要

発電所の敷地は、発電所敷地内の集水エリアとして補足 3-1 図に示すとおり分水嶺を境に北側と南側の集水エリアに大別できる(補足 3-1 図の緑が北側、紫が南側の集水エリア)。

これに対応して補足 3-2 図に示すとおり幹線排水路を配置しており、降雨の際の表面水を構内排水路を通じて幹線排水路へ集水し、海へ排水することとしている。

補足 3-1 表に示す幹線排水路の排水能力は、石巻特別地域気象観測所における既往最大 1 時間雨量の 91.0mm/h を考慮しても十分排水可能となるよう設定している。

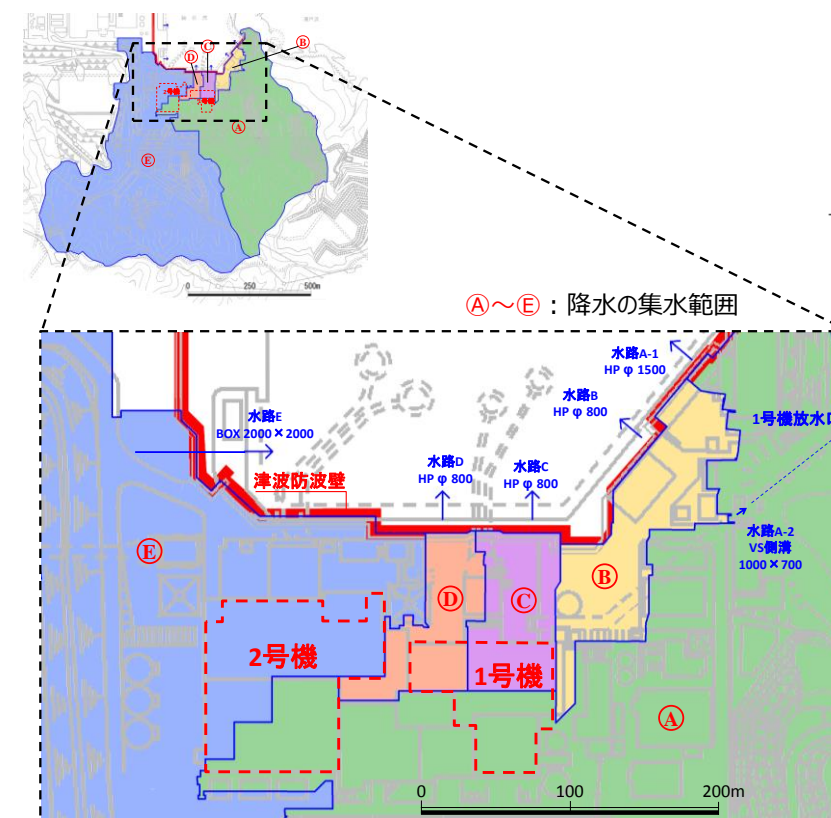


補足 3-1 図 発電所敷地内の集水エリア

構内排水路の概要

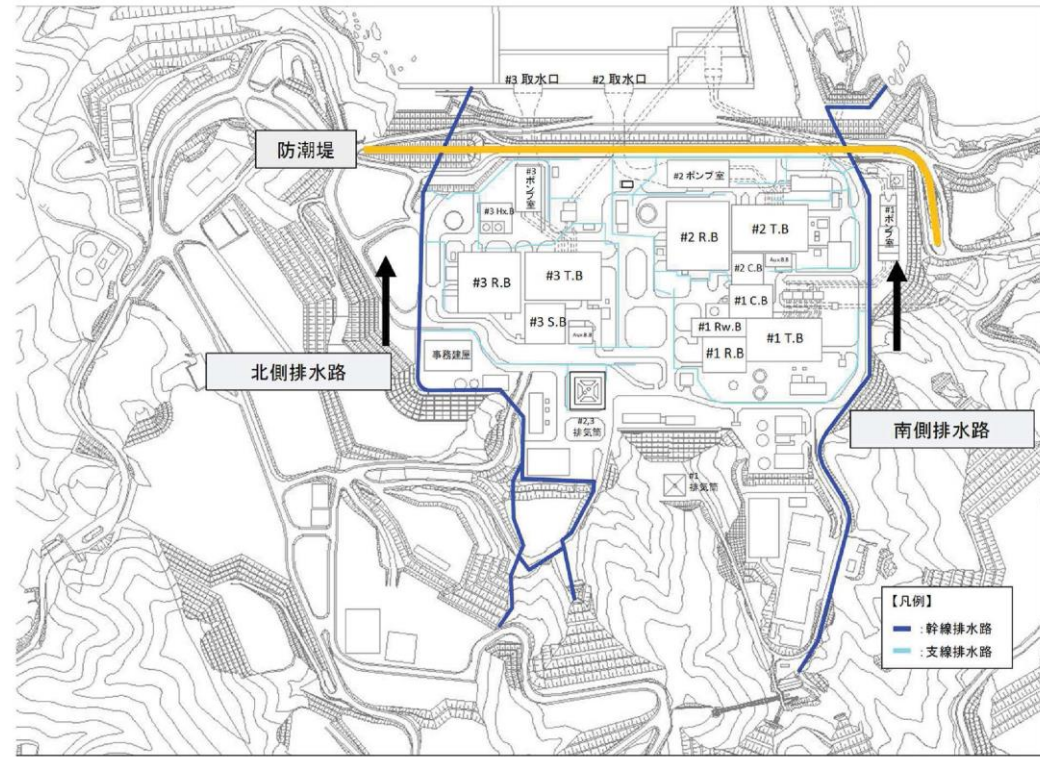
発電所の敷地は、発電所敷地内の集水エリアとして補足 3-1 図に示すとおり分水嶺等を境に分割できることから、これに対応して幹線排水路を配置しており、降雨の際の表面水を構内排水路を通じて幹線排水路へ集水し、海へ排水することとしている。

補足 3-1 表に示す幹線排水路の排水能力は、気象庁松江地方気象台(松江市)における既往最大 1 時間雨量の 77.9mm/h を考慮しても十分排水可能となるよう設定している。



補足 3-1 図 発電所敷地内の集水エリア

・観測場所及び観測降雨量の相違



補足 3-2 図 発電所敷地内の排水路配置概要図

補足 3-1 表 幹線排水路の仕様と排水能力

排水路名	仕様	91.0mm/h降水時の 雨水流入量[m ³ /s]	排水可能 流量 [m ³ /s]
北側 排水路	ボックスカルバート B3000, H2500	9.4	51.16
南側 排水路	ダブルプレスト管 φ1000×3	9.5	16.23

※:林地開発許可申請書記載値(平成29年12月)

補足 3-1 表 幹線排水路の仕様と排水能力 (降雨強度 77.9mm/h)

流域	雨水流出量 Q (m ³ /s)	排水設備	排水量 Q' (m ³ /s)	安全率 (Q'/Q)
A-1	5.40	U-溝φ1500	6.23	1.49
A-2		VS側溝 B=1000,H=700	1.84	
B	0.22	U-溝φ800	2.41	10.95
C	0.12	U-溝φ800	2.41	20.08
D	0.11	U-溝φ800	2.41	21.91
E	7.58	BOX2000×2000	16.44	2.17

・引用図の相違
島根 2号炉では補足 3-1 図で
幹線排水路の位置を記載

女川原子力発電所 2号炉 (2019.7.30版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">補足説明資料4</p> <p style="text-align: center;">三次元浸透流解析による防波堤沈下対策の影響確認結果</p> <p>1. 地下水位低下設備(既設)を考慮した場合の地下水位分布 (1)解析条件等 a. 領域とモデル化範囲 施設が配置される主要エリア(O.P.+14.8m盤周辺)を対象とし、解析領域は周辺法面等を含むものとする。 領域内の構造物[*]、地下水位低下設備をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。 防波堤下部の状態は現況(防波堤下に盛土・旧表土が存在)及び防波堤下部の沈下対策後(防波堤下の地盤改良・前面の置換コンクリートは有)とする。 三次元浸透流解析の範囲等を補足4-1図に示す。 [*]耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、低透水層としてモデル化する。ただし、海側の地中連壁の影響は保守的に考慮しないものとする。</p> <p style="text-align: center;">補足4-1図 三次元浸透流解析の範囲等</p>	<p style="text-align: right;">補足説明資料4</p> <p style="text-align: center;">三次元浸透流解析による3号炉北側防波壁周辺の地盤改良後の影響確認</p> <p>防波壁周辺の地盤改良完了後において、保的に地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない予測解析(Case2)を実施し、再現解析(Case1)の結果と比較することにより、現状と将来の地下水位の変化について確認を行う。</p> <p>1. 3号炉北側防波壁周辺の地盤改良による影響 (1)解析条件等 a. 領域とモデル化範囲 再現解析を実施した期間において、防波壁周辺の地盤改良工事が完了していない3号炉エリアを対象とし、敷地境界の分水嶺から防波壁までを解析領域とする。 領域内の構造物[*]、地下水位低下設備(既設)をモデル化する。 3号炉北側防波壁周辺の状態は、防波壁周辺の地盤改良完了前とする。 三次元浸透流解析の範囲等を補足4-1図に示す。 [*]耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、難透水層としてモデル化する。</p> <p style="text-align: center;">補足4-1図 三次元浸透流解析の範囲等</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象施設の相違 島根2号炉では3号炉北側防波壁周辺の地盤改良後の影響確認について記載 解析領域の相違 解析条件の相違 島根2号炉では防波壁周辺の地盤改良完了前を解析条件としている

b. 透水係数

既往の二次元浸透流解析における採用値を基本として設定する。透水係数の一覧を補足 4-1 表に示す。

補足 4-1 表 透水係数一覧

地層区分		透水係数 (m/sec)
改良地盤・セメント改良土		2×10^{-7}
盛土・旧表土		3×10^{-5}
2号炉周辺 以南	岩盤 I	7×10^{-7}
	岩盤 II	5×10^{-7}
3号炉周辺 以北	岩盤 I	2×10^{-7}
	岩盤 II	1×10^{-7}
構造物		0(不透水)

c. 境界条件等

初期条件は淡水飽和状態とし、境界条件は陸域は地表面に静水圧固定境界を海域は H. W. L. (O. P. +2. 43m) に静水圧固定境界とする。

降水量条件は入力なし(定常解析)とする。

(2) 解析モデル

現況モデル及び対策後モデルの概要を補足 4-2 図に示す。両者の違いは防潮堤の沈下対策の有無のみであり、他の条件は同一である。

b. 透水係数

透水係数は、補足 4-1 表に示すとおり、透水試験の結果等に基づき設定する。

補足 4-1 表 浸透流解析に係る透水係数設定値一覧

区分	透水係数 (cm/s)
C _H 級	5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}
D級	2×10^{-3}
砂礫層	4×10^{-3}
埋戻土 (掘削ズリ)	2×10^{-1}
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}

c. 解析条件

解析条件は、補足 4-2 表のとおりとする。

補足 4-2 表 解析条件一覧

	Case1 (再現解析)	Case2 (予測解析)
解析モデル	地盤改良前	地盤改良後
降雨条件	1,540mm/年 (発電所, 年平均降雨)	2,400mm/年
海側境界	H. W. L. に水位固定	同左
地下水位低下設備 (既設) の状態	稼働	非稼働
透水係数	補足4-1表のとおり	同左

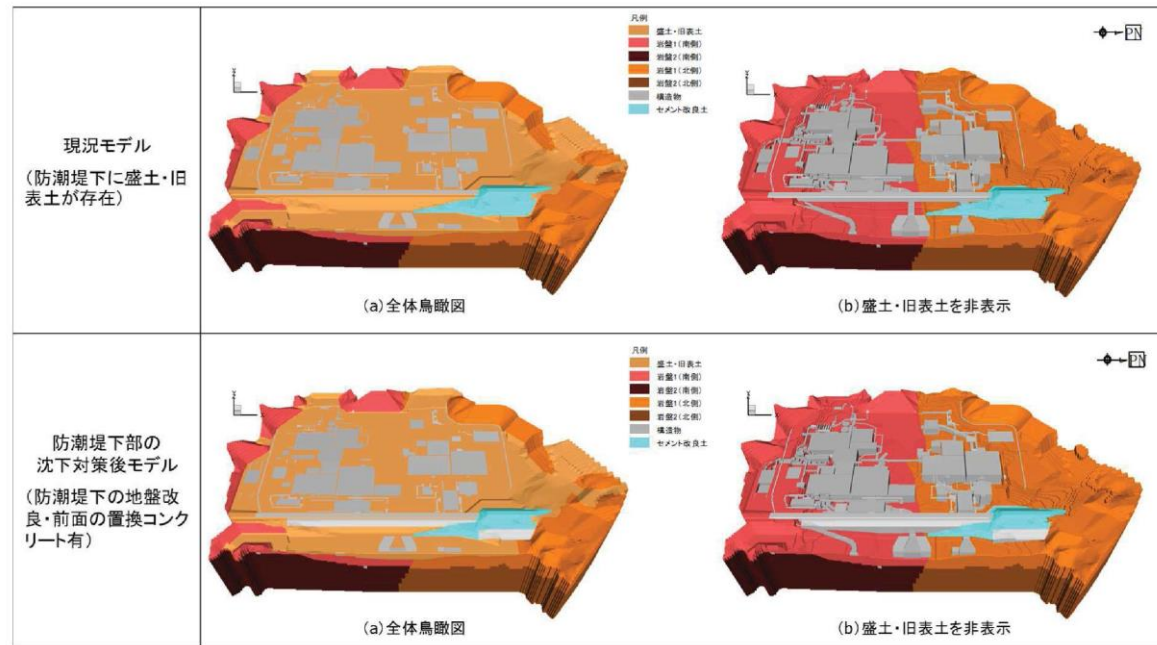
(2) 解析モデル

解析モデルの概要を補足 4-2 図に示す。地盤改良完了前モデル及び地盤改良完了後モデルの違いは防波壁周辺の地盤改良の有無のみであり、他の条件は同一である。

・ 解析条件の相違

・ 解析条件の相違
島根 2 号炉での降雨条件は観測降雨及び保守的な降雨条件としている

・ 解析条件の相違
島根 2 号炉の解析モデルは、地盤改良完了前モデルと地盤改良完了後モデルとしている

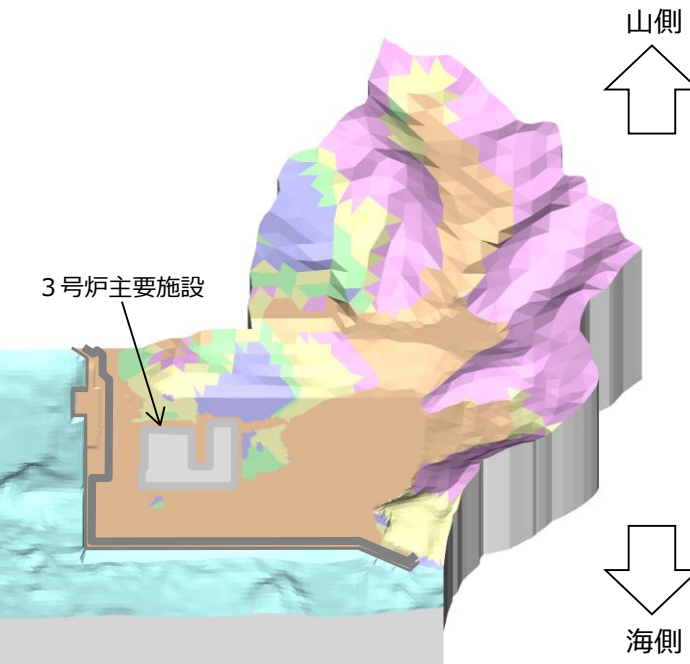


補足 4-2 図 現況モデル及び対策後モデルの概要

a. 定常状態(現況モデル)

現況モデル(防潮堤下に盛土・旧表土が存在)における自由地下水位の等高線図を補足 4-3 図に示す。

これによると、解析領域境界より建屋周辺に向かって地下水位は緩やかに下降しており、地下水位低下設備による水位低下効果が確認できる。また、防潮堤海側から防潮堤山側に向かって地下水位は緩やかに下降しており、防潮堤下部より山側に地下水が流入していることがわかる。



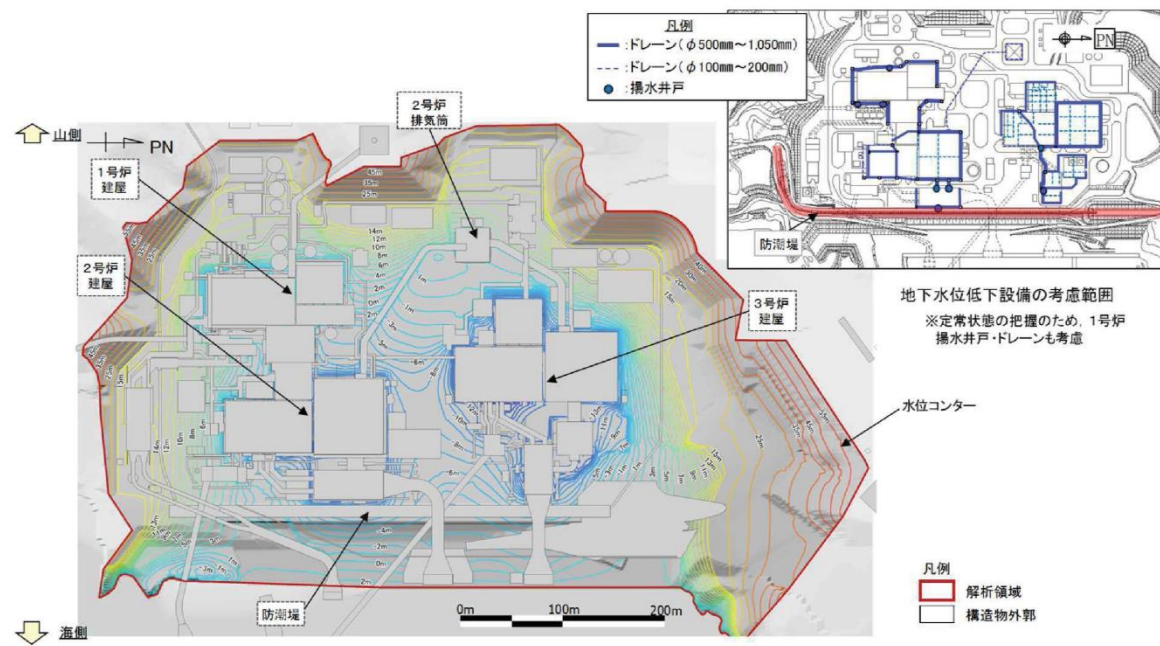
補足 4-2 図 解析モデルの概要

a. Case1 (再現解析：地盤改良完了前)

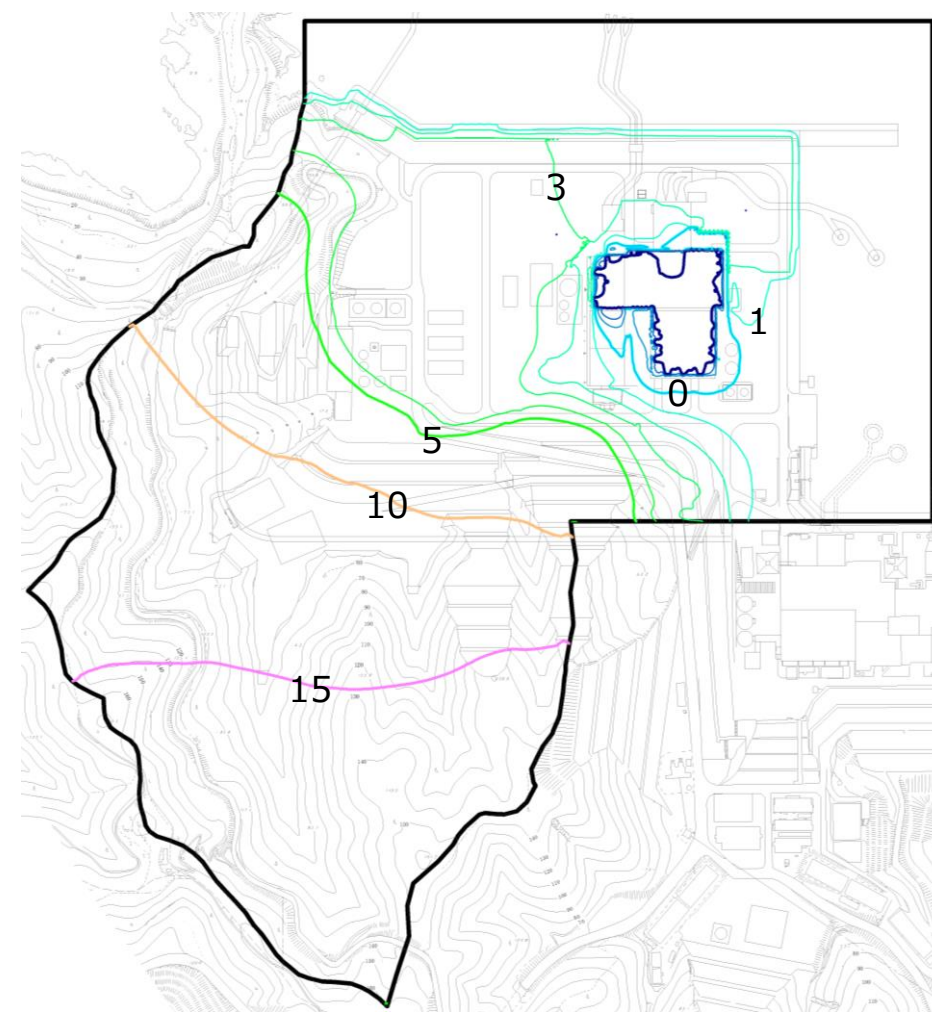
3号炉北側防波壁周辺の地盤改良完了前における地下水位のコンター図を補足 4-3 図に示す。これによると、解析領域境界(山側)より3号炉建物に向かって地下水位は緩やかに下降しており、地下水位低下設備(既設)による水位低下効果が確認できる。

地下水観測記録によると、3号炉北側防波壁近傍において、地下水位は概ね EL+1~3m で推移している。地下水位の上昇要因は、防波壁の設置及び周辺の地盤改良並びに降雨が考えられ、一方で、下降要因として、地下水位低下設備(既設)による水位低減効果が考えられる。これらの地下水位上昇・下降要因が釣り合うことにより、地下水位が平衡状態に保持されていると考えられる。

・説明の充実
島根 2号炉では地下水位観測記録についての説明を記載



補足 4-3 図 三次元浸透流解析結果(定常状態・現況モデル)



補足 4-3 図 三次元浸透流解析結果(定常状態・地盤改良完了前モデル)

b. 定常状態(沈下対策後モデル)

防潮堤下部の沈下対策後モデル(防潮堤下の地盤改良・前面の置換コンクリート有)における自由地下水位の等高線図を補足 4-4 図に示す。

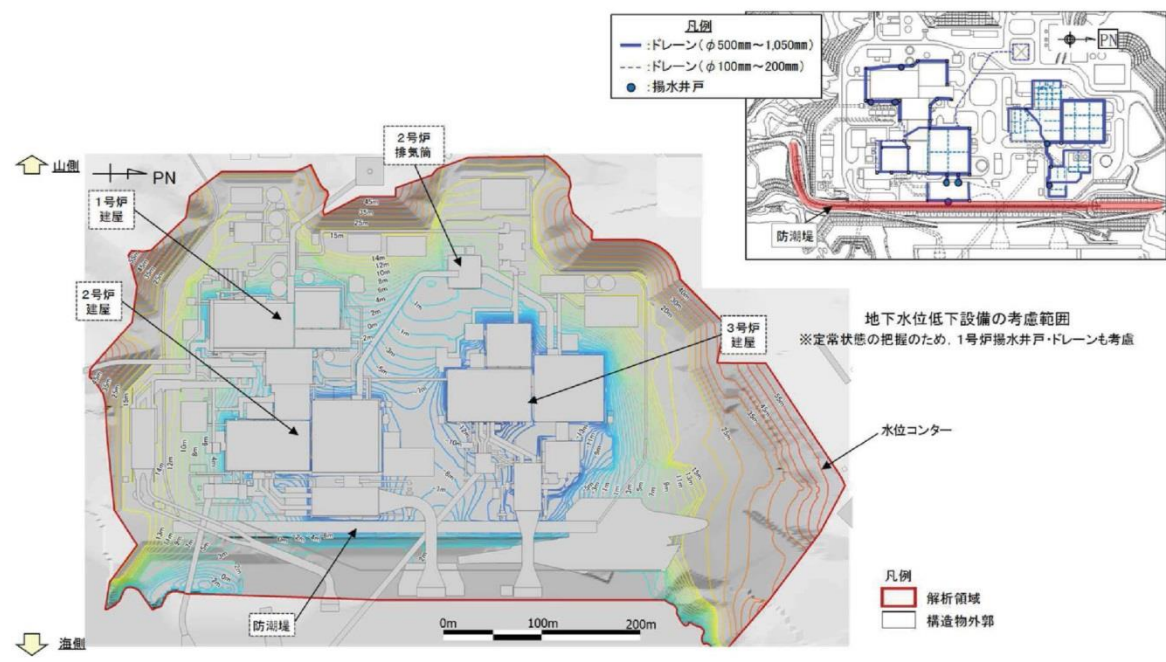
これによると、防潮堤海側より防潮堤山側に向かう地下水位は、防潮堤付近で不連続となっていることから、防潮堤の沈下対策により浸水経路が遮断されていることが確認できる。

b. Case2 (予測解析：地盤改良完了後)

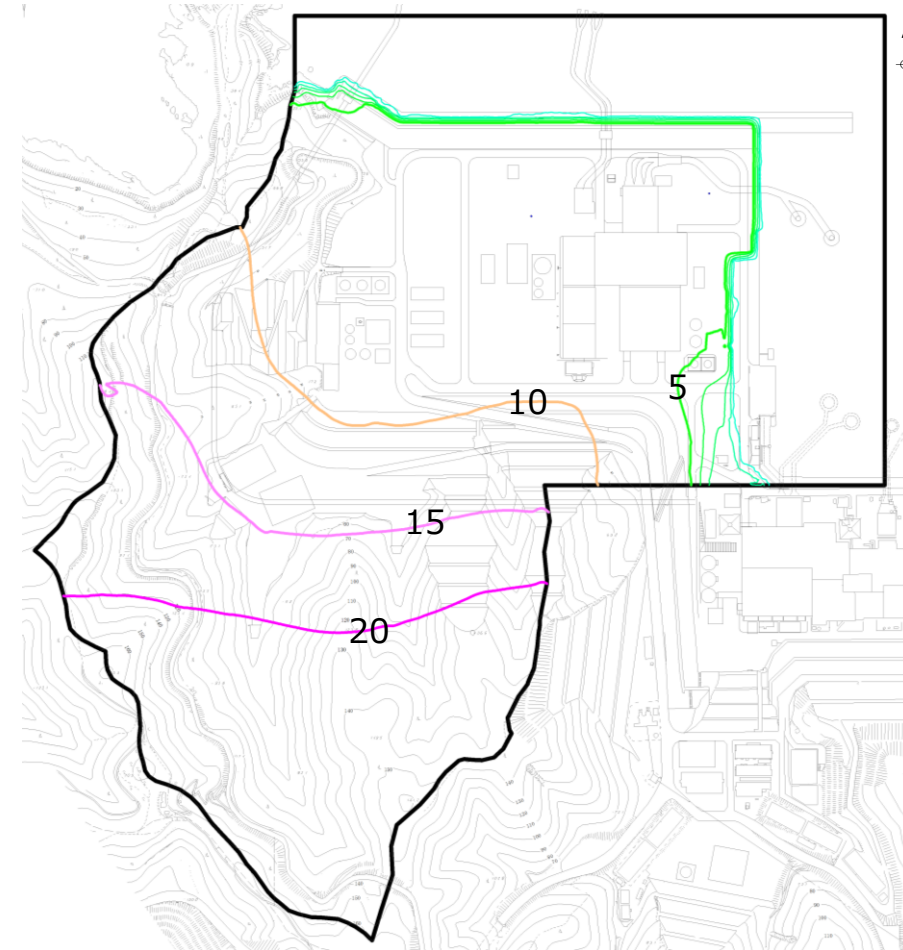
3号炉北側防波壁周辺の地盤改良完了後における地下水位のコンター図を補足 4-4 図に示す。
2号設置変更許可申請では、3号炉建物周辺の地下水位低下設備(既設)の機能に期待しないため、地下水位低下設備(既設)を保守的に考慮しない。また、降雨条件として、気象庁松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値(平均値+1σ)に、今後の気候変動予測による降水量の変化を加味し、降水量を設定した。

防波壁近傍において、地下水位は概ね EL+5m 程度であり、地表面まで上昇しないことを確認した。

・説明の充実
島根 2号炉では設定した降水量について記載



補足 4-4 図 三次元浸透流解析結果(定常状態・沈下対策後モデル)

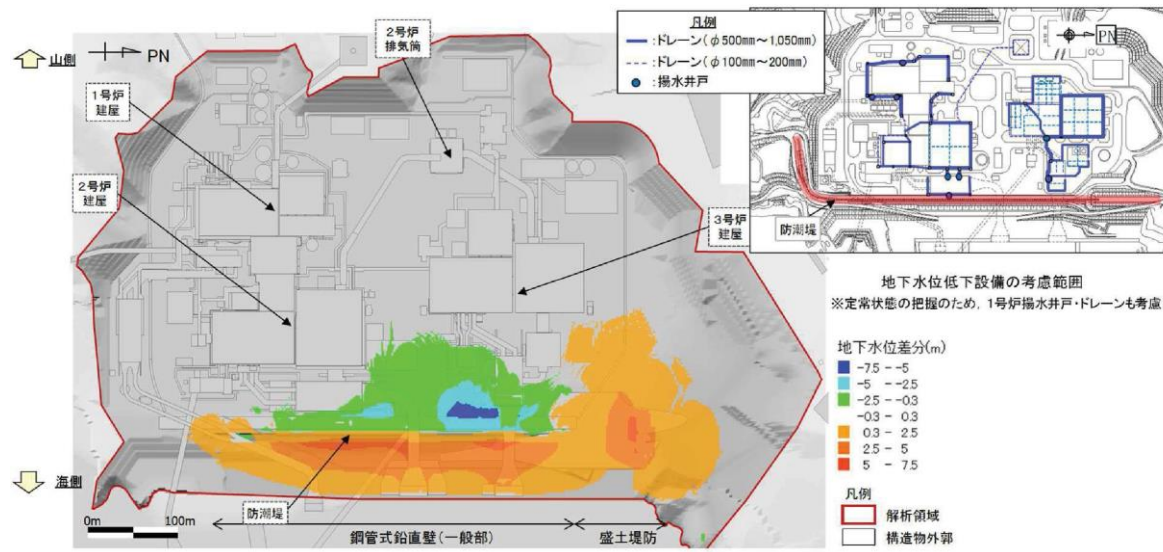


補足 4-4 図 三次元浸透流解析結果(定常状態・地盤改良完了後モデル)

c. 定常状態(沈下対策前後の差分)

防潮堤下部の沈下対策前後における自由地下水位の差分を補足 4-5 図に示す。
 これによると、沈下対策による地下水の遮断効果により、防潮堤海側の地下水位は地下水位低下設備の影響を受けなくなることから、対策前より相対的に上昇する。また、防潮堤山側については、沈下対策による影響範囲は海寄りの範囲に限定される。
 また、比較的地下水位低下設備に近い鋼管式鉛直壁(一般部)周辺では、海側からの海水供給が絶たれることにより、対策前より地下水位は下降する。一方、比較的地下水位低下設備が遠い盛土堤防周辺では対策前より地下水位が上昇する。このことは、防潮堤山側の設計用地下水位として鋼管式鉛直壁(一般部)を H.W.L.、盛土堤防を地表面としていることと整合的な結果となっている。

・ 解析条件の相違



補足 4-5 図 防潮堤下部の沈下対策前後における自由地下水位差分

2. 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布

地下水位低下設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を概略的に予測した浸透流解析の結果を補足 4-6 図に示す。

境界条件として、陸地は地表面に静水圧固定境界、海域は H. W. L. (0. P. +2. 43m) に静水圧固定境界を設定した。また、透水係数は再現解析で保守性が確認された値 (建設時工認段階の設定値)とした。

防潮堤の沈下対策(改良地盤・置換コンクリート)により敷地内から海側への排水経路が遮断されることから、敷地内に流入した地下水が滞留し、この結果、地下水位が地表面付近まで上昇する。

なお、地下水位低下設備の機能喪失後、地下水位が上昇し施設等の安全性に影響を与えるレベルに達するまでの期間を「時間余裕」として定義する。この時間余裕は、地下水位に係る対策の妥当性を検証する場合等、必要に応じて参照する。

2. 地下水位低下設備 (既設) が機能しない場合の地下水位分布

地下水位低下設備 (既設) が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した浸透流解析の結果を補足 4-5 図に示す。

浸透流解析における降水量の設定条件として、気象庁松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値 (平均値+1σ) に、今後の気候変動予測による降水量の変化を加味し、降水量を設定する。海域は H. W. L. に静水圧固定境界を設定した。また、透水係数は再現解析で保守性が確認された値とした。

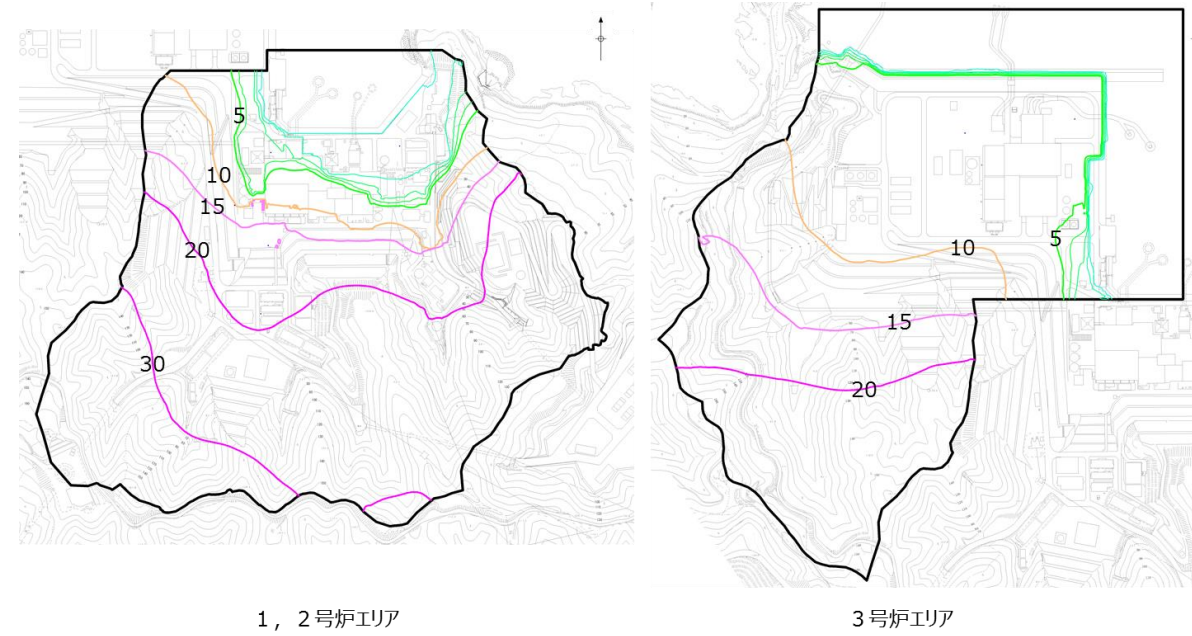
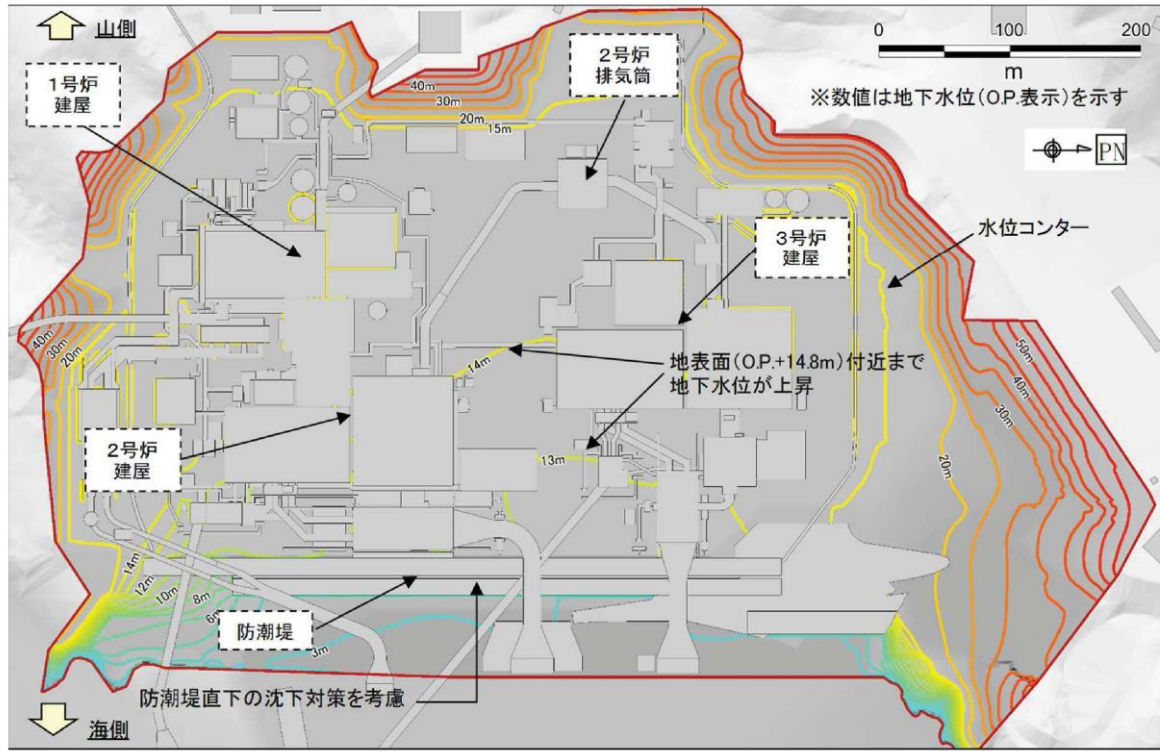
防波壁周辺の地盤改良により敷地内から海側への排水経路が遮断されることから、敷地内に流入した地下水が滞留し、この結果、地下水位が上昇する。

なお、難透水層である防波壁及び防波壁下部の地盤改良を介して、敷地内と海域の水位がバランスしており、敷地の山側から海側に向かう流動場が形成されることを確認した。

・説明の充実
島根 2 号炉での降雨条件を詳細に記載

・算定結果の相違

・説明の充実
島根 2 号炉では水位に関する考察を記載



補足 4-6 図 地下水水位低下設備が機能しない場合の地下水水位分布算定結果※

※:本図は解析境界の地表面に水位固定した定常解析により得られた地下水水位分布であり、実際の降雨条件とは異なるが、解析開始(地下水水位低下設備が機能喪失)から数年程度、で地下水水位が地表面近くに到達する。

補足 4-5 図 地下水水位低下設備 (既設) が機能しない場合の地下水水位分布算定結果

・算定結果の相違

3. 地下水水位低下設備が機能しない場合の影響

施設について、設計値を上回る地下水水位となった場合には基礎版の耐震性に影響が生じる可能性、土木構造物、津波防護施設及び浸水防止設備については、液状化影響として有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下による土圧、加速度が変化することで耐震性に影響が生じる可能性があるが(補足 4-2 表及び補足 4-3 表)、地下水水位低下設備の機能停止後の水位上昇範囲は、初期段階では建屋近傍に限定されることから(補足説明資料 6 参照)、揚圧力影響と液状化影響は段階的に生じるものと想定される。

また、アクセスルート(0.P.+14.8m 盤)については地下水水位が上昇した場合に、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりの影響を受ける可能性がある。これに対して、「第 I 編 2.4(3)c、アクセスルート機能維持の方針」に示す配慮事項により、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりの影響を受けることなく通行性を確保する設計する方針としている。

3. 地下水水位低下設備 (既設) が機能しない場合の影響

耐震評価において地下水水位の影響を受ける可能性のある施設等について、設置許可基準規則の該当条項及び審査区分と、地下水水位が上昇した場合の常時及び地震時の影響を評価した(既工認の設計における地下水水位との相対比較による)。

・対象施設の相違

補足 4-2 表 地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項(建物・構築物)

施設等	耐震クラス (検討用 地震動)	審査区分及び設置許可 基準規則の該当条項		適合性審査において地下水位低下設備の 機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 建設時 1 認等の設計における地下水位の扱い	
		設置 許可	1. 認※5	常時	地震時(地下水位は補足4-6図参照)	設計用揚圧力	設計への反映事項
原子炉建屋 (直接基礎)	S※1	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	周辺地盤(液状化)影響 揚圧力影響 設計用地下水位(設計用揚 圧力)を上回る場合には、基 礎版の耐震性(間接支持機 能)を確保できない可能性が ある。 <4条, 39条, 5条, 40条>	揚圧力29.4kN/m ² (建屋基礎底面) O.P.-14.1m	地下水位低下設備の効果を 見込んだ地下水位を考慮し て耐震評価を実施
制御建屋 (直接基礎)	S※2	—	4条(3条2項) 39条(38条2項)	OK	地下外壁の設計では、地下水位が 低下している状態として地下水位を考 慮していないため、基礎版上端レベ ルを上回る地下水位となった場合に は、地下水位が上昇し躯体の耐震性 に影響が生じる可能性がある。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	揚圧力0kN/m ² (建屋基礎底面) O.P.-1.5m	地下水位低下設備の効果を 見込んだ地下水位を考慮し て耐震評価を実施
3号 加 海水熱 交換器建屋 (直接基礎)	—※3 (Ss)	—	4条(3条2項) 39条(38条2項) 5条, 10条	OK	設計地下水位を上回る地下水位に 対して、排気筒の耐震性に影響が及 ぶ可能性<4条(3条2項), 39条(38条 2項)>	揚圧力14.7kN/m ² (建屋基礎底面) O.P.-12.5~-16.25m	地下水位低下設備の効果を 見込んだ地下水位を考慮し て耐震評価を実施
排気筒 (直接基礎)	S※4	—	4条(3条2項) 39条(38条2項)	OK	設計地下水位を上回る地下水位に 対して、排気筒の耐震性に影響が及 ぶ可能性<4条(3条2項), 39条(38条 2項)>	揚圧力85kN/m ² (排気筒基礎底面) O.P.-4.0m	地下水位低下設備の効果を 見込んだ地下水位を考慮し て耐震評価を実施

※1：原子炉建屋原子炉棟のみ耐震Sクラス、それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※2：中央制御室遮蔽のみ耐震Sクラス、それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※3：防潮壁(耐震Sクラス)等の間接支持構造物。
 ※4：非常用ガス処理系の排気機能を有するため耐震Sクラス。
 ※5：A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。

補足 4-3 表 地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項
(基礎地盤・周辺斜面、建物・構築物)

施設等	耐震クラス 検討用地震動	設置許可基準規則		適合性審査において地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない場合の 影響及び設置許可基準規則の該当条項		既設置許可における地下水位の扱い	
		3条 38条	4条4項 39条2項	43条	常時	地震時	設計への 反映事項
原子炉建屋 (直接基礎)	S※3	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	液状化影響(周辺地盤)※7 地下外壁の設計では、地下水位が低下して いる状態として地下水位を考慮していないため、 基礎版上端レベルを上回る地下水位となっ た場合には、地下水位が上昇し、躯体の耐 震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項), 39条(38条2項)]	揚圧力0.8kN/m ² 建物基礎底面 EL-4.7m
タービン建物 (直接基礎)	B※4 (Ss)	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	液状化影響(周辺地盤)※7 地下外壁の設計では、地下水位が低下して いる状態として地下水位を考慮していないため、 基礎版上端レベルを上回る地下水位となっ た場合には、地下水位が上昇し、躯体の耐 震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項), 39条(38条2項)]	揚圧力2.0kN/m ² 建物基礎底面 EL0.0m
廃棄物処理建物 (直接基礎)	B※4 (Ss)	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	液状化影響(周辺地盤)※7 地下外壁の設計では、地下水位が低下して いる状態として地下水位を考慮していないため、 基礎版上端レベルを上回る地下水位となっ た場合には、地下水位が上昇し、躯体の耐 震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項), 39条(38条2項)]	揚圧力2.0kN/m ² 建物基礎底面 EL0.0m
制御室建物 (直接基礎)	S※5	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	液状化影響(周辺地盤)※7 地下外壁の設計では、地下水位が低下して いる状態として地下水位を考慮していないため、 基礎版上端レベルを上回る地下水位となっ た場合には、地下水位が上昇し、躯体の耐 震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項), 39条(38条2項)]	揚圧力0.0kN/m ² 建物基礎底面 EL+0.1m
排気筒 (直接基礎)	S※6 C※4 (Ss)	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	液状化影響(周辺地盤)※7 地下外壁の設計では、地下水位が低下して いる状態として地下水位を考慮していないため、 基礎版上端レベルを上回る地下水位となっ た場合には、地下水位が上昇し、躯体の耐 震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項), 39条(38条2項)]	揚圧力0.0kN/m ² 建物基礎底面 EL+2.0m

※1 基礎地盤・周辺斜面の評価は設置許可段階において実施。
 ※2 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価における地下水位設定については、原子炉建屋及びタービン建物の地下水位は基礎上面とし、取水槽及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定。(添付資料 6)
 ※3 原子炉棟のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※4 耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※5 中央制御室遮蔽のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※6 排気筒(非常用ガス処理系用)のみ耐震Sクラス。
 ※7 A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。

補足4-2表 地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響
及び設置許可基準規則の該当条項(土木構造物・津波防護施設・浸水防止設備)

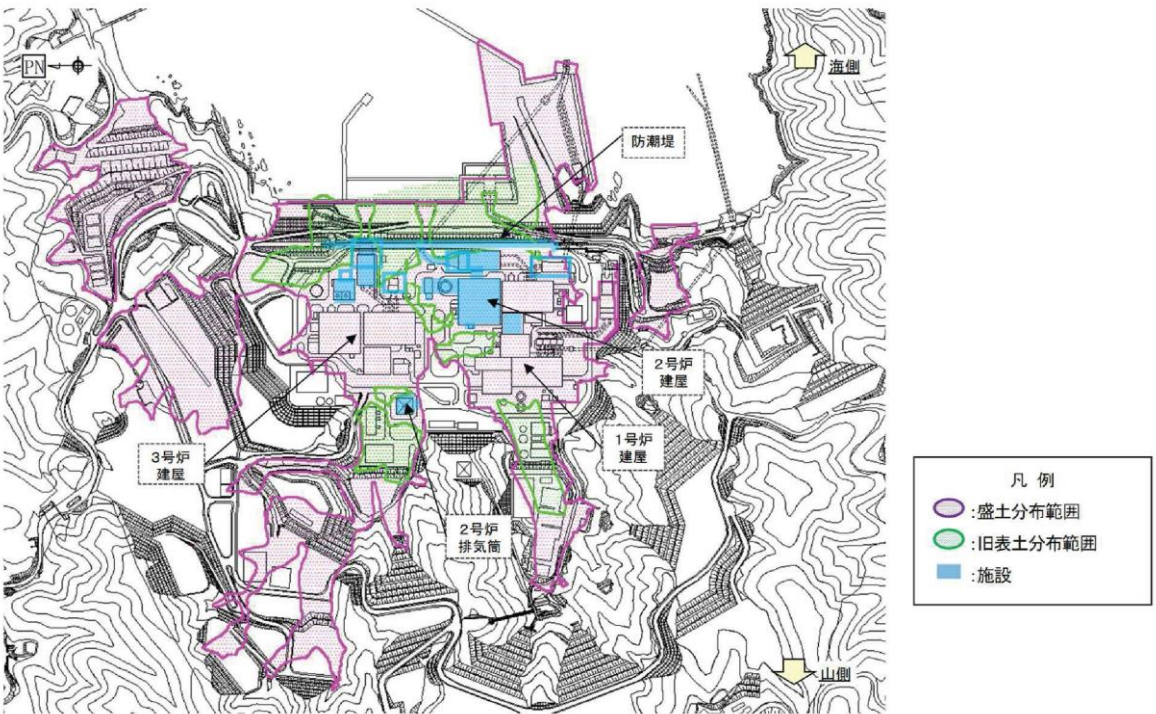
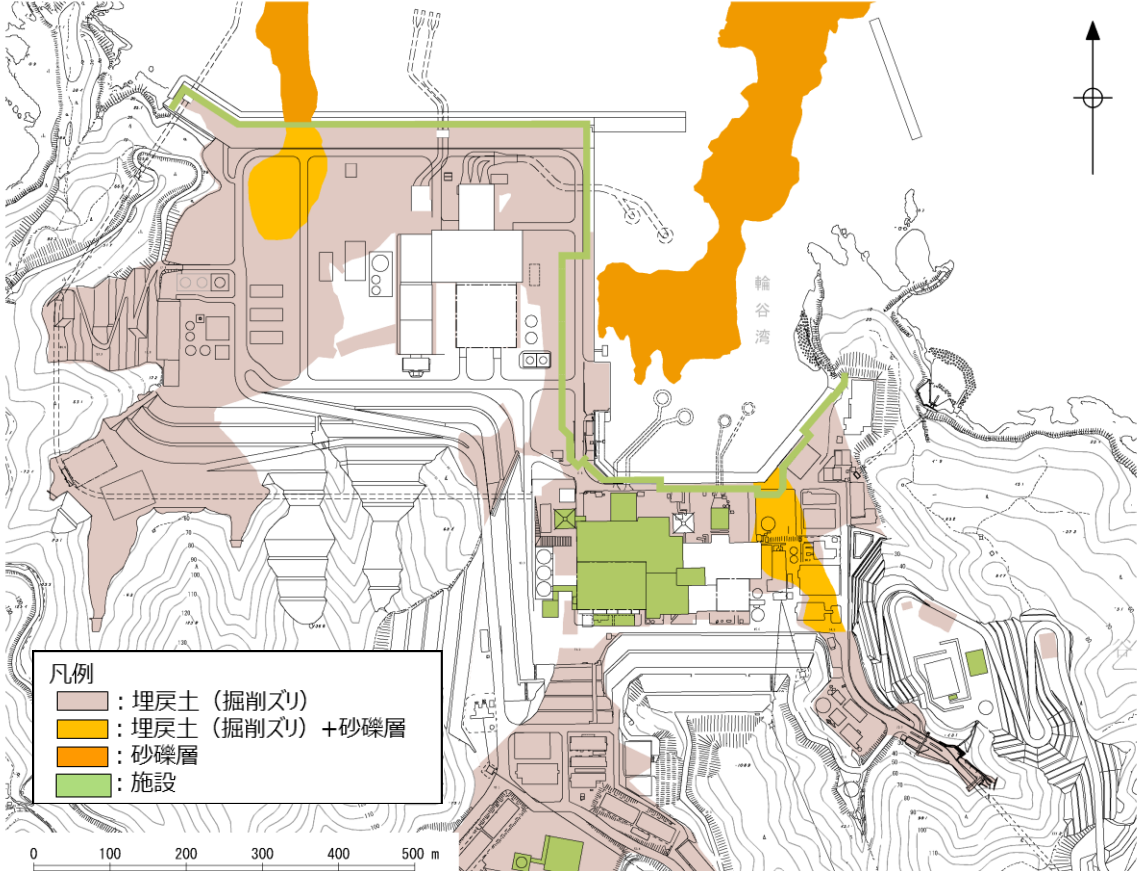
対象施設	耐震クラス (検討用 地震動)	審査区分及び設置許可 基準規則の該当条項		適合性審査において地下水位低下設備 の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 建設時工認等の設計における 地下水位の扱い	
		設置 許可	工認 ^{※5}	常時	地震時(地下水位は補足4-6図参照) 周辺地盤(液状化)影響	設計用地下水位	設計への反映事項
防潮堤 (杭基礎)	S	— ^{※6}	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	地盤改良する杭周辺の地盤には液状化が発生しないため、耐震性への影 響は軽微。 (4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条)	— (新設)	—
防潮壁 (杭基礎)	S	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化 し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大 とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり 等)。 (4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条)	— (新設)	—
海水ポンプ室 (直接基礎)	— ^{※1-4} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	躯体周辺は地盤改良するため、耐震性への影響は軽微。また、間隙水圧 の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保で きない可能性(浮き上がり等)。 (4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条)	EW断面: O.P.-14.2m~2.43m NS断面: O.P.-14.1m~14.8m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮 耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件 として考慮
原子炉機器冷却 海水配管ダクト (直接基礎)	— ^{※1,3} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	躯体周辺は地盤改良するため、耐震性への影響は軽微。 (4条(3条2項), 39条(38条2項))	O.P.-14.2m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
取水路 (直接基礎)	— ^{※1,2} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化 し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大 とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり 等)。 (4条(3条2項), 39条(38条2項))	EW断面: O.P.-14.2m~2.43m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
軽油タンク室 (直接基礎)	— ^{※1,3} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	— (建設工認時対象外)	—	—
軽油タンク室(II) (直接基礎)	— ^{※1,3} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	— (新設)	—	—
復水貯蔵タンク基礎 (直接基礎)	— ^{※3} (Ss)	—	39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化 し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大 とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり 等)。 (39条(38条2項))	EW断面: O.P.-6.0m NS断面: O.P.-11.1m~+10.725m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
軽油タンク 連絡ダクト (直接基礎)	— ^{※1,3} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化 し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大 とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり 等)。 (4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条)	— (建設工認時対象外)	—
排気筒 連絡ダクト (直接基礎)	— ^{※1,3} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	O.P.-8.0m~+4.5m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
3号炉 海水ポンプ室 (直接基礎)	— ^{※4} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	EW断面: O.P.-14.6m~2.43m NS断面: O.P.-14.7m~1.5m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
貫通部止水処置 (直接基礎)	S	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	— (新設)	—	—
3号炉機器冷却 海水系放水ビット (直接基礎)	— ^{※4} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	— (建設工認時対象外)	—	—
揚水井戸 (直接基礎)	— ^{※4} (Ss)	—	4条(3条2項), 39条(38条2項),5 条,40条	OK	— (建設工認時対象外)	—	—

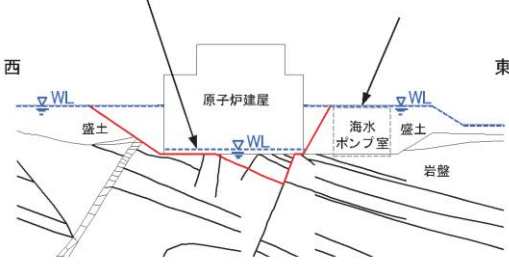
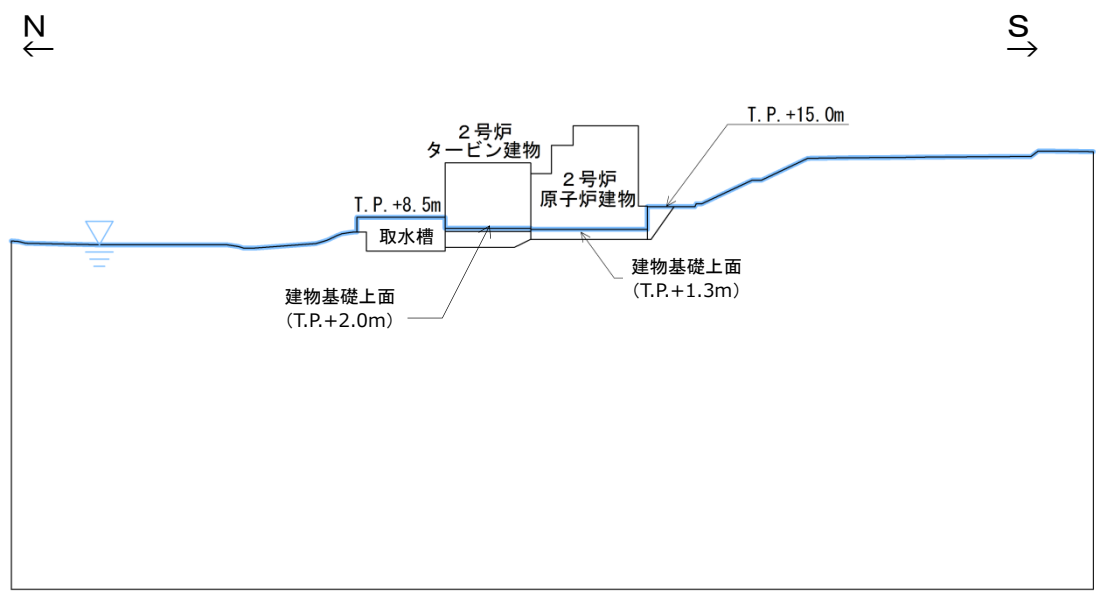
※1：屋外重要土木構造物。 ※2：常設重大事故防止設備等。 ※3：常設重大事故防止設備等の間接支持構造物。 ※4：浸水防止設備の間接支持構造物。
 ※5：A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。
 ※6：鋼管式鉛直壁(一般部)山側の地下水位はL.W.L.(O.P.+1.43m、約1mの沈降を考慮)に設定し構造成立性の見直しを説明の上、工認段階で地下水位に変更が生じる場合には、安全
 性への影響を評価した上で必要に応じて対策を実施。なお、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防は山側の地下水位を地表面に設置。
 ※7：女川の盛土及び旧表土は、繰返しせん断による有効応力の減少はあってもせん断抵抗が完全に失われることはない。また、せん断応力の作用により有効応力が回復し、粘り強い挙動
 を示すため、浮上がりに対する耐性は大きいと考えらるが、保守的に浮上りもとのと評価した。なお、その影響は、地下水位低下設備が機能停止してから地下水位が地表面近くまで
 達するまで数年程度(参考値)であることを踏まえると、地下水位低下設備の機能停止後、直ちに発生するものではない。

補足4-3表 地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項
(屋外重要土木構造物・津波防護施設・重大事故等対処施設)

設備名称	基礎	耐震クラス (検討用 地震動)	設置許可基準規則 ^{※4}	適合性審査において地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない場合の 影響及び設置許可基準規則の該当条項		建設時工認等の設計における 地下水位の扱い	
				常時	地震時 (周辺地盤) ※4	設計用地下水位	設計への反映事項
取水槽	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	EL+0.3m	耐震評価に用いる地 震応答解析の解析条 件として考慮
屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	EL+0.3m	耐震評価に用いる地 震応答解析の解析条 件として考慮
屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	躯体周辺はマンメイドバンク(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条 (3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク ~原子炉建物)	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	躯体周辺はマンメイドバンク(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条 (3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
防波壁(鋼管杭式擁壁)	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
防波壁(波返り擁壁)	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
1号炉取水槽流路縮小工	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
防波壁流路防波扉	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
1号放水連絡通路防波扉	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	— (既工認対象外)	—
第1ベンチフィルタ格納槽	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性 に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響小	躯体周辺はマンメイドバンク(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条 (3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
緊急時対策所建物	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
緊急時対策所用燃料地下タンク	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク ~ガスタービン発電機)	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	— (既工認対象外)	—

※1：屋外重要土木構造物 ※2：津波防護施設 ※3：重大事故等対処施設 ※4：A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。

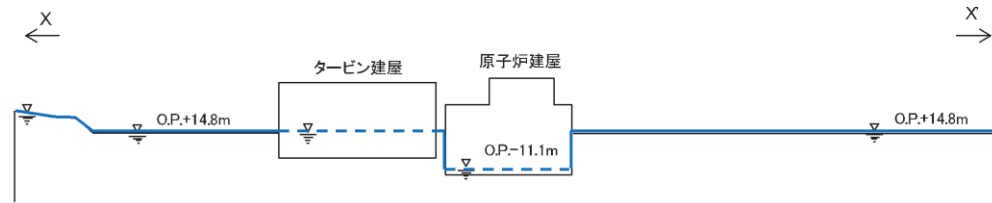
女川原子力発電所 2号炉 (2019.7.30版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(参考) <u>盛土・旧表土分布</u>と対象施設の配置との関係</p> <p>液状化等による影響(設置許可基準規則第3条第2項)の観点から、<u>盛土・旧表土</u>の分布と対象施設の配置との関係を補足4-7図に示すとおり確認した。</p> <p>なお、<u>女川原子力発電所</u>における<u>盛土・旧表土</u>は、液状化強度試験結果から「非液状化」または「繰返し軟化」と分類され、有効応力がゼロまで低下して液体状とはならず、ひずみが漸増する粘り強い挙動を示すことが確認されている(別紙17参照)。</p> 	<p>(参考) <u>埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層</u>と対象施設の配置との関係</p> <p>液状化等による影響(設置許可基準規則第3条第2項)の観点から、<u>埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層</u>の分布と対象施設の配置との関係を補足4-6図に示すとおり確認した。</p> <p>なお、<u>島根原子力発電所</u>における<u>埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層</u>は、液状化強度試験結果から「非液状化」又は「繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)」と分類され、有効応力がゼロまで低下して液体状とはならず、ひずみが漸増する粘り強い挙動を示すことが確認されている。</p> 	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化評価対象層の相違 島根2号炉では、埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層を液状化対象層として設定
<p>補足4-7図 施設等の配置と<u>盛土・旧表土</u>の分布</p> <p>なお、液状化影響の評価については、「別紙17 液状化影響の検討方針」に基づき評価を行う方針とし、その概要は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化等の周辺地盤の変状による施設への影響評価においては、施設周辺の地下水位や地盤等の状況を踏まえて、液状化検討対象施設を抽出する。 抽出した液状化検討対象施設に対し、液状化等による影響が及ぶおそれがある場合は、有効応力解析または全応力解析を行い、保守的な解析手法を選定する。 液状化を考慮する場合の評価は、地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮した評価(有効応力解析等)によるものとし、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定することを基本とする。 	<p>補足4-6図 施設等の配置と<u>埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層</u>の分布</p> <p>なお、液状化影響の評価については、「別紙11 液状化影響の検討方針について」に基づき評価を行う方針とし、その概要は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化等の周辺地盤の変状による施設への影響評価においては、施設周辺の地下水位や地盤等の状況を踏まえて、液状化検討対象施設を抽出する。 抽出した液状化検討対象施設に対し、液状化等による影響が及ぶおそれがある場合は、有効応力解析又は全応力解析を行い、保守的な解析手法を選定する。 液状化を考慮する場合の評価は、地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮した評価(有効応力解析等)によるものとし、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定することを基本とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化評価対象層の相違 島根2号炉では、埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層を液状化対象層として設定

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 7. 30 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">補足説明資料 5</p> <p style="text-align: center;">基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方</p> <p>1. 地下水位の設定方針</p> <p><u>建設時の設置許可では、基礎地盤の安定性評価で設定する地下水位は、基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージとして補足 5-1 図に示すとおり、原子炉建屋及びタービン建屋で地下水位の低下を見込むものの、地盤の地下水位は保守的に地表面に設定している。</u></p> <p><u>また、敷地全体を包含して地盤の安定性を評価するため、原子炉建屋及びタービン建屋以外の地下水位は地表面とし、かつ隣接する地中構造物を盛土としてモデル化し構造物の強度を見込まないことで、保守的な評価としている。</u></p> <p><u>女川 2 号炉新規制基準適合性審査においては、「地下水位の設定について」の整理のとおり、設置変更許可段階では地下水位低下設備は、施設の耐震設計の前提条件となる地下水位を一定の範囲に保持する機能を有し、供用期間中の全ての状態においてその機能を維持する必要があることから、設計基準対象施設として位置付けるとともに、重要安全施設への影響に鑑み安全機能の重要度分類におけるクラス 1 相当の配慮として、多重性及び独立性を確保した設計とする方針を示す。また、工事計画認可段階においては、設計基準対象施設として位置付けた地下水位低下設備の基準適合性を示し、施設の耐震設計に用いる設計用地下水位は、地下水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設定する。</u></p> <p><u>基礎地盤の安定性評価においては、原子炉建屋では建屋の設計水位を反映して地下水位を基礎版中央に設定し、それ以外の地下水位は地表面に設定する。</u></p> <p><u>なお、基礎地盤のすべりに対する評価において、地下水位以深の盛土・旧表土が地震動により繰り返し軟化し強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討を実施する。</u></p> <p><u>また、周辺地盤の液状化等の変状については、周辺地盤の液状化等による地盤変状を考慮した場合でも、当該施設の機能が損なわれないよう設計することとし、設置許可基準規則第 4 条へ適合することを確認する。</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="201 1417 430 1470" style="width: 45%;"> <p>原子炉建屋の地下水位は基礎版中央とする</p> </div> <div data-bbox="608 1417 1216 1470" style="width: 45%;"> <p>周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定する。 海水ポンプ室等は盛土としてモデル化し、構造物の強度を見込まない。</p> </div> </div>  <p style="text-align: center;">補足 5-1 図 基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージ</p>	<p style="text-align: right;">補足説明資料 5</p> <p style="text-align: center;">基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方</p> <p>1. 地下水位の設定</p> <p><u>補足 5-1 図に示すとおり、原子炉建物基礎地盤の安定性評価における地下水位の設定については、原子炉建物及びタービン建物の地下水位は基礎上面とし、取水槽及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。</u></p> <p><u>なお、その他の耐震重要施設及び重大事故等対処施設の基礎地盤の安定性評価における地下水位の設定についても同様の考え方で設定する。</u></p> <p><u>基礎地盤のすべりに対する評価においては、地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により繰り返し軟化し強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討を実施する。(補足 5-2 図にイメージ図を示す。)</u></p> <p><u>また、周辺地盤の液状化等の変状については、周辺地盤の液状化等による地盤変状を考慮した場合でも、当該施設の機能が損なわれないよう設計することとし、設置許可基準規則第 4 条へ適合することを確認する。</u></p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <p style="text-align: center;">補足 5-1 図 原子炉建物基礎地盤の地下水位</p>	<p>・記載の相違</p> <p>島根 2 号炉では地下水位の設定方針と設定方法を合わせて記載。なお、その他の基礎地盤の安定性評価における地下水位の設定についても同様の考え方で設定する。</p>

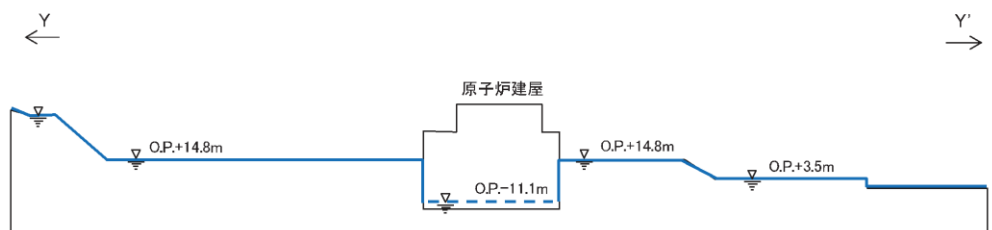
2. 地下水位(原子炉建屋)

補足 5-2 図に示すとおり原子炉建屋基礎地盤原子炉建屋基礎地盤のうち、原子炉建屋の地下水位は基礎版中央とし、タービン建屋及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

【X-X' 断面】



【Y-Y' 断面】

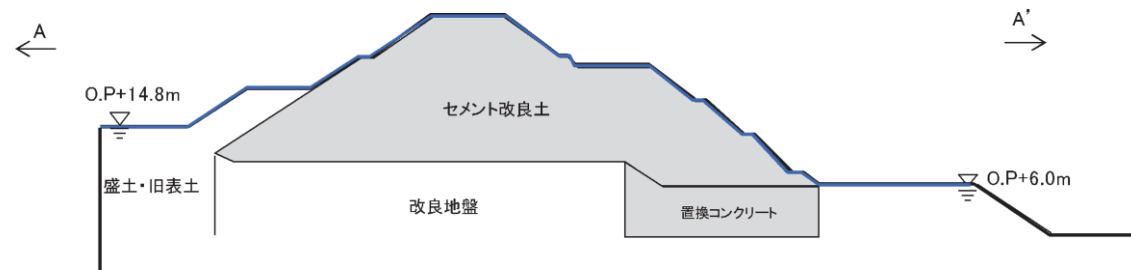


補足 5-2 図 原子炉建屋基礎地盤の地下水位
(平成 31 年 4 月 5 日第 700 回審査会合資料 1-1p63 修正)

3. 地下水位(防潮堤)

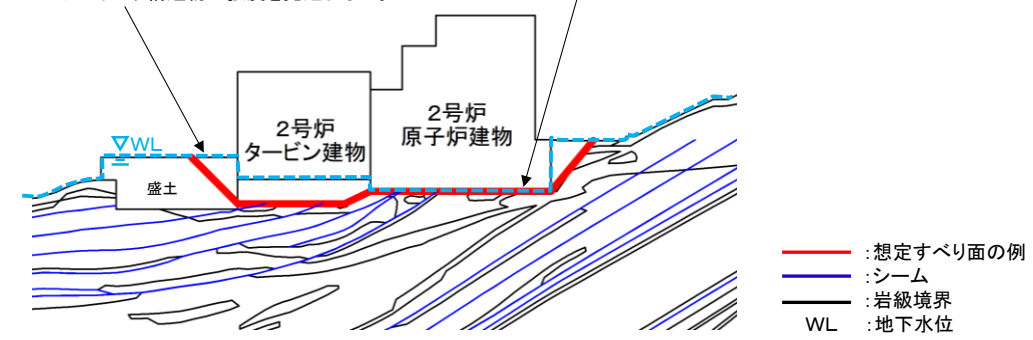
補足 5-3 図に示すとおり防潮堤(盛土堤防)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

また、補足 5-4 図に示すとおり防潮堤(鋼管式鉛直壁)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

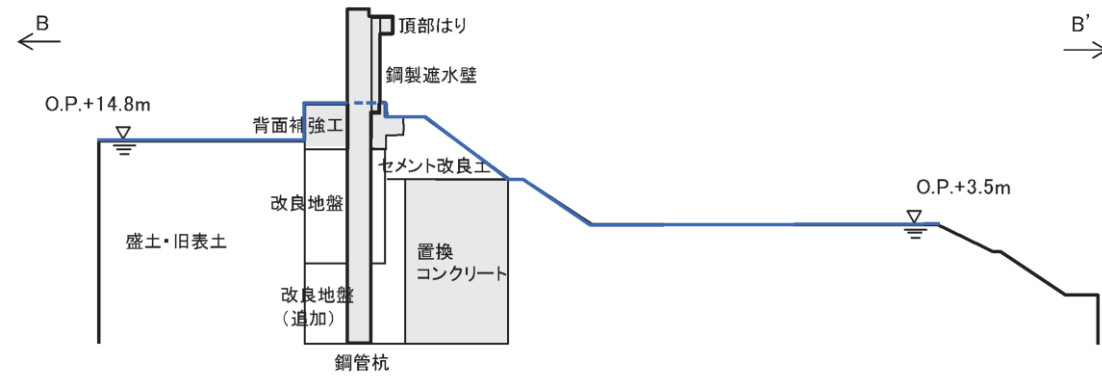


補足 5-3 図 防潮堤(盛土堤防)基礎地盤の地下水位

周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定する。原子炉建物及びタービン建物の地下水位は、建物基礎上面とする。取水槽等は盛土としてモデル化し、構造物の強度を見込まない。



補足 5-2 図 基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージ



補足 5-4 図 防潮堤(鋼管式鉛直壁)基礎地盤の地下水位

4. (参考)防潮堤の構造成立性評価における地下水位設定との比較

防潮堤の構造成立性評価における地下水位設定との比較を補足 5-5 図に示す。

	地下水位の設定	備考
設置許可基準規則 第3条 (基礎地盤 の安定性評 価)	鋼管式鉛直壁 (一般部) 山側: 地表面 海側: 地表面	改良地盤に支持する構造物の 代表であり保守的な設定
	盛土堤防 山側: 地表面 海側: 地表面	同上
設置許可基準規則 第4.5条 (構造成立 性評価)	鋼管式鉛直壁 (一般部) 山側: HWL(O.P.+2.43m) 海側: HWL(O.P.+2.43m)	(山側) 海側同様、朔望平均満潮位 (HWL) ^{※1)} に設定 (海側) 朔望平均満潮位
	盛土堤防 山側: 地表面(O.P.+14.8m) 海側: 地表面	(山側) 地表面に設定 (セメント改良土もO.P.+14.8m に設定) (海側) 朔望平均満潮位

※ 工認段階で地下水位の設定が変更となった場合は再評価を行うとともに、施設の機能が損なわれ影響が及ぶ場合は、その機能が損なわれないよう適切な対策(地盤改良等の耐震補強)を実施する。

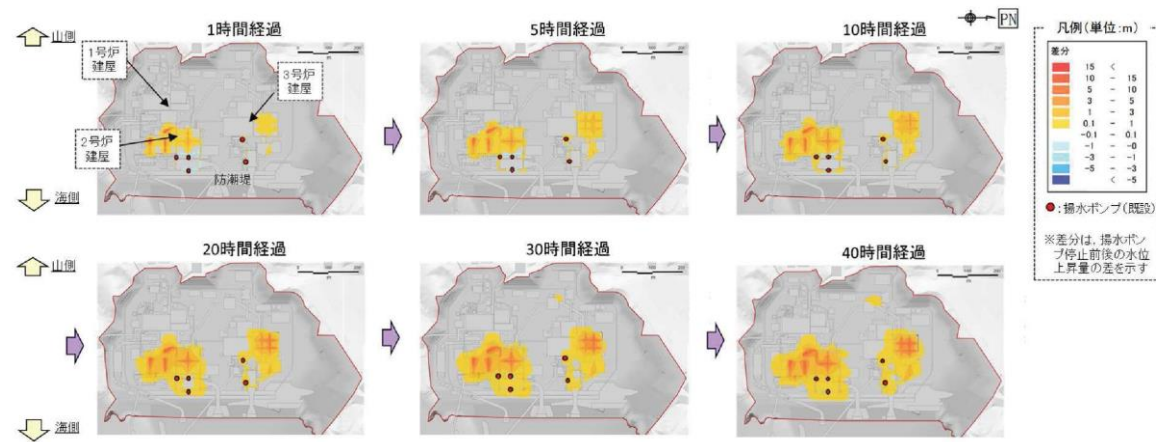
補足 5-5 図 防潮堤の構造成立性評価における地下水位設定との比較

補足説明資料 6

地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇

地下水位低下設備が設置される原子炉建屋周辺は岩盤を掘り込み構築し、盛土で埋め戻していることから、地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇範囲について評価した例を補足 6-1 図に示す。

地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇範囲は、初期段階では建屋近傍に限定され、機能喪失が長期間継続した場合はその周囲に拡大していくものと考えられる。



補足 6-1 図 三次元浸透流解析による揚水ポンプ停止後の水位上昇の評価例
(保守的に解析境界の法肩地表面に水位固定した非定常解析の例)

・島根 2号炉では地下水位低下設備の機能喪失を想定していないため記載なし

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 7. 30 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																
<p style="text-align: right;">補足説明資料7</p> <p style="text-align: center;">現行の重要度分類上の位置付けの整理</p> <p>1. 設置許可基準規則における耐震重要度分類</p> <p>耐震重要度分類指針の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。</p> <p>設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方を補足 7-1 表に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じたクラス分類 (S, B, C), また、それらに該当する施設が示されており、地下水位低下設備は、S クラス設備及び B クラス設備のいずれにも該当しないため、C クラスに分類できる。 第 I 編に示した機能喪失時の影響確認の結果を踏まえ、<u>原子炉建屋の基礎</u>や<u>土木構造物</u>等の間接支持構造物の耐震性を確保する観点から、地下水位低下設備の耐震性については、間接支持構造物に要求される耐震性 (S s 機能維持) を考慮する。 以上を踏まえ、地下水位低下設備の耐震重要度分類については、C クラスに分類し、基準地震動 S s に対して機能維持させる設計とする。 <p style="text-align: center;">補足 7-1 表 設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方</p> <table border="1" data-bbox="172 993 1252 1371"> <thead> <tr> <th>耐震クラス</th> <th>定義</th> <th>対象とする施設の例</th> <th>該当</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの</td> <td>・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 等</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設</td> <td>・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設</td> <td>—</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> <p>設置許可基準規則の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> 設置許可基準規則第 2 条における以下の定義から、地下水位低下設備は安全機能を有するものではない。 また、安全機能を有するものではないことから、安全施設にも該当しない。 	耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当	S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 等	×	B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等	×	C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○	<p style="text-align: right;">補足説明資料6</p> <p style="text-align: center;">現行の重要度分類上の位置付けの整理</p> <p>1. 設置許可基準規則における耐震重要度分類</p> <p>耐震重要度分類指針の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。</p> <p>設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方を補足 6-1 表に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じたクラス分類 (S, B, C), また、それらに該当する施設が示されており、地下水位低下設備は、S クラス設備及び B クラス設備のいずれにも該当しないため、C クラスに分類できる。 第 I 編に示した機能喪失時の影響確認の結果を踏まえ、<u>原子炉建屋基礎</u>等の間接支持構造物の耐震性を確保する観点から、地下水位低下設備の耐震性については、間接支持構造物に要求される耐震性 (S s 機能維持) を考慮する。 以上を踏まえ、地下水位低下設備の耐震重要度分類については、C クラスに分類し、基準地震動 S s に対して機能維持させる設計とする。 <p style="text-align: center;">補足 6-1 表 設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方</p> <table border="1" data-bbox="1311 993 2421 1371"> <thead> <tr> <th>耐震クラス</th> <th>定義</th> <th>対象とする施設の例</th> <th>該当</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの</td> <td>・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設等</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設</td> <td>・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設</td> <td>—</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> <p>設置許可基準規則の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> 設置許可基準規則第 2 条における以下の定義から、地下水位低下設備は安全機能を有するものではない。 また、安全機能を有するものではないことから、安全施設にも該当しない。 	耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当	S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設等	×	B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等	×	C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○	<p>・島根 2 号炉では、建物・構築物のみ地下水位低下設備に期待している</p>
耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当																															
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 等	×																															
B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等	×																															
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○																															
耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当																															
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設等	×																															
B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等	×																															
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○																															

女川原子力発電所 2号炉 (2019.7.30版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則における定義</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>第二条 五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。 イ <u>その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能</u> ロ <u>発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所(以下「工場等」という。)外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能</u> 八 「安全施設」とは、<u>設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。</u></p> </div> <p>設置許可基準規則における安全施設に該当しないことから、地下水位低下設備が有する機能に着目し、設備の位置づけについての観点から発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(以下「重要度分類指針」という。)に基づく整理を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備が有する機能について安全機能の重要度分類指針における位置づけを確認した結果、以降に示すとおり、安全機能を有する構築物, 系統及び機器に該当しないことを確認した。 <p>2. 安全機能の重要度分類</p> <p>(1)安全機能の区分</p> <p>安全機能を有する構築物, 系統及び機器を、それが果たす安全機能の性質に応じて、次の2種に分類される。</p> <p>①その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの(異常発生防止系。以下「PS」という。)</p> <p>②原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの(異常影響緩和系。以下「MS」という。)</p> <p>(2)重要度分類</p> <p>重要度分類指針では、PS及びMSのそれぞれに属する構築物, 系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じ、それぞれクラス1, クラス2及びクラス3に分類している。安全上の機能別重要度分類を補足 7-2 表に示す。</p> <p>なお、重要度分類指針においては、所要の安全機能を直接果たす構築物, 系統及び機器を「当該系」、当該系が機能を果たすのに直接、間接に必要な構築物, 系統及び機器を「関連系」と定義している。</p>	<p>実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則における定義</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>第二条 五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。 イ <u>その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能</u> ロ <u>発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所(以下「工場等」という。)外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能</u> ハ 「安全施設」とは、<u>設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。</u></p> </div> <p>設置許可基準規則における安全施設に該当しないことから、地下水位低下設備が有する機能に着目し、設備の位置づけについての観点から発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(以下「重要度分類指針」という。)に基づく整理を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備が有する機能について安全機能の重要度分類指針における位置づけを確認した結果、以降に示すとおり、安全機能を有する構築物, 系統及び機器に該当しないことを確認した。 <p>2. 安全機能の重要度分類</p> <p>(1)安全機能の区分</p> <p>安全機能を有する構築物, 系統及び機器を、それが果たす安全機能の性質に応じて、次の2種に分類される。</p> <p>①その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの(異常発生防止系。以下「PS」という。)</p> <p>②原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの(異常影響緩和系。以下「MS」という。)</p> <p>(2)重要度分類</p> <p>重要度分類指針では、PS及びMSのそれぞれに属する構築物, 系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じ、それぞれクラス1, クラス2及びクラス3に分類している。安全上の機能別重要度分類を補足 6-2 表に示す。</p> <p>なお、重要度分類指針においては、所要の安全機能を直接果たす構築物, 系統及び機器を「当該系」、当該系が機能を果たすのに直接、間接に必要な構築物, 系統及び機器を「関連系」と定義している。</p>	

補足 7-2 表 安全上の機能別重要度分類

重要度による分類	機能による分類	安全機能を有する構築物、系統及び機器		安全機能を有しない構築物、系統及び機器
		異常の発生防止の機能を有するもの(PS)	異常の影響緩和の機能を有するもの(MS)	
安全に関連する構築物、系統及び機器	クラス1	PS-1	MS-1	—
	クラス2	PS-2	MS-2	
	クラス3	PS-3	MS-3	
安全に関連しない構築物、系統及び機器		—	—	安全機能以外の機能のみを行うもの

(3) 地下水水位低下設備の重要度分類上の位置付け

重要度分類指針の分類に基づき、地下水水位低下設備の位置付けを整理した結果、『安全に関連する構築物、系統及び機器』に分類されないため、『安全機能以外の機能のみを行うもの』と整理できる。

安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水水位低下設備の位置付けを補足 7-3 表～補足 7-5 表に示す。

補足 7-3 表安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水水位低下設備の位置付け
クラス1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	該当しない
		(2)過剰反応度の印加防止機能	該当しない
		(3)炉心形状の維持機能	該当しない
	(1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	(1)原子炉の緊急停止機能	該当しない
		(2)未臨界維持機能	該当しない
		(3)原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	該当しない
		(4)原子炉停止後の除熱機能	該当しない
		(5)炉心冷却機能	該当しない
		(6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	該当しない
	安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	(1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	該当しない
(2)安全上特に重要な関連機能		該当しない	

補足 6-2 表 安全上の機能別重要度分類

重要度による分類	機能による分類	安全機能を有する構築物、系統及び機器		安全機能を有しない構築物、系統及び機器
		異常の発生防止の機能を有するもの(P S)	異常の影響緩和の機能を有するもの(M S)	
安全に関連する構築物、系統及び機器	クラス1	P S-1	M S-1	—
	クラス2	P S-2	M S-2	
	クラス3	P S-3	M S-3	
安全に関連しない構築物、系統及び機器		—	—	安全機能以外の機能のみを行うもの

(3) 地下水水位低下設備の重要度分類上の位置付け

重要度分類指針の分類に基づき、地下水水位低下設備の位置付けを整理した結果、『安全に関連する構築物、系統及び機器』に分類されないため、『安全機能以外の機能のみを行うもの』と整理できる。

安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水水位低下設備の位置付けを補足 6-3 表～補足 6-5 表に示す。

補足 6-3 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水水位低下設備の位置付け
クラス1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	該当しない
		(2)過剰反応度の印加防止機能	該当しない
		(3)炉心形状の維持機能	該当しない
	(1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	(1)原子炉の緊急停止機能	該当しない
		(2)未臨界維持機能	該当しない
		(3)原子炉冷却材圧力バウンダリの加圧防止機能	該当しない
		(4)原子炉停止後の除熱機能	該当しない
		(5)炉心冷却機能	該当しない
		(6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	該当しない
	安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	(1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	該当しない
(2)安全上特に重要な関連機能		該当しない	

補足 7-4 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と
地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け	
クラス2	PS-2 (1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	該当しない	
		(3) 燃料を安全に取り扱う機能	該当しない	
	MS-2 (2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	(1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能	該当しない	
		(1) PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	(1) 燃料プール水の補給機能	該当しない
		(2) 放射性物質放出の防止機能	(2) 放射性物質放出の防止機能	該当しない
MS-2 (2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(1) 事故時のプラント状態の把握機能	(1) 事故時のプラント状態の把握機能	該当しない	
	(2) 異常状態の緩和機能	(2) 異常状態の緩和機能	該当しない	
	(3) 制御室外からの安全停止機能	(3) 制御室外からの安全停止機能	該当しない	

補足 7-5 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と
地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス3	PS-3 (1) 異常状態の起回事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材保持機能(PS-1, PS-2以外のもの。)	該当しない
		(2) 原子炉冷却材の循環機能	該当しない
		(3) 放射性物質の貯蔵機能	該当しない
		(4) 電源供給機能(非常用を除く。)	該当しない
		(5) プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く。)	該当しない
		(6) プラント運転補助機能	該当しない
	MS-3 (2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	(1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	該当しない
		(2) 原子炉冷却材の浄化機能	該当しない
	MS-3 (1) 運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1, MS-2とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	(1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	該当しない
		(2) 出力上昇の抑制機能	該当しない
		(3) 原子炉冷却材の補給機能	該当しない
		(2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能

補足 6-4 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と
地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け	
クラス2	PS-2 (1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	該当しない	
		(3) 燃料を安全に取り扱う機能	該当しない	
	MS-2 (2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	(1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能	該当しない	
		(1) PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	(1) 燃料プール水の補給機能	該当しない
		(2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(2) 放射性物質放出の防止機能	該当しない
MS-2 (2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(1) 事故時のプラント状態の把握機能	(1) 事故時のプラント状態の把握機能	該当しない	
	(2) 異常状態の緩和機能	(2) 異常状態の緩和機能	該当しない	
	(3) 制御室外からの安全停止機能	(3) 制御室外からの安全停止機能	該当しない	

補足 6-5 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と
地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス3	PS-3 (1) 異常状態の起回事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材保持機能(PS-1, PS-2以外のもの。)	該当しない
		(2) 原子炉冷却材の循環機能	該当しない
		(3) 放射性物質の貯蔵機能	該当しない
		(4) 電源供給機能(非常用を除く。)	該当しない
		(5) プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く。)	該当しない
		(6) プラント運転補助機能	該当しない
	MS-3 (2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	(1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	該当しない
		(2) 原子炉冷却材の浄化機能	該当しない
	MS-3 (1) 運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1, MS-2とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	(1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	該当しない
		(2) 出力上昇の抑制機能	該当しない
		(3) 原子炉冷却材の補給機能	該当しない
		(2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能

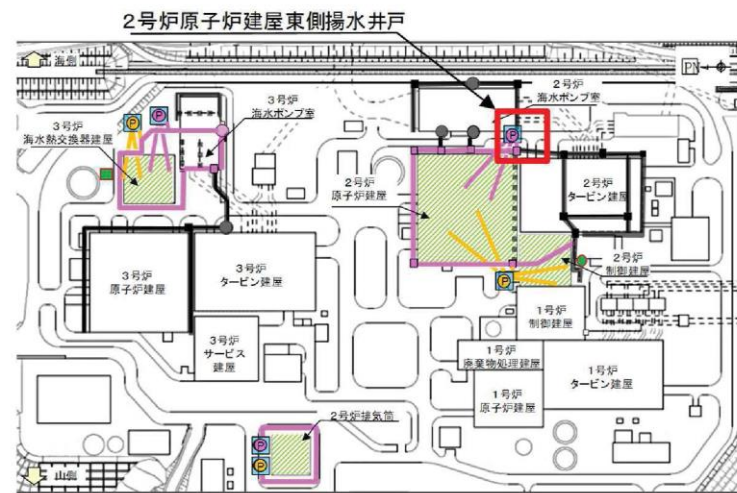
新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

1. 新設揚水井戸の構造概要

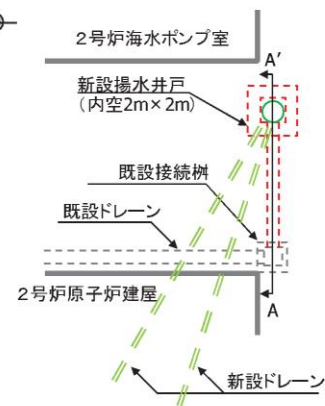
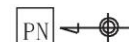
新設する揚水井戸は添付資料 2 に示すフローに基づき、耐久性、耐震性及び保守管理性を考慮して設計し、さらに安全施設の要求性能に配慮した配置とする。

2号原子炉建屋東側の新設揚水井戸を例とした構造・配置例を補足 8-1 図に示す。

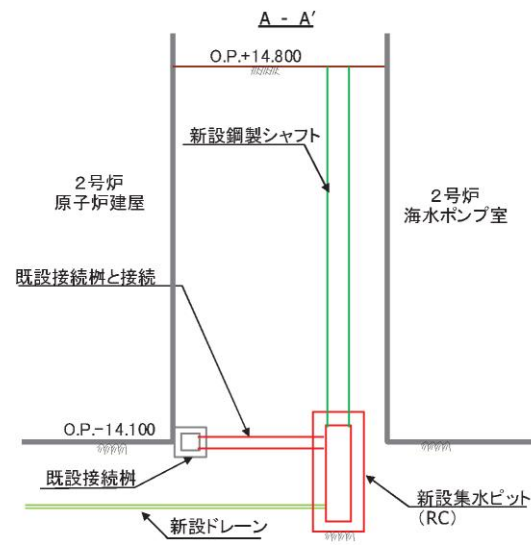
なお、揚水井戸の位置及び構造並びに施工方法については工認段階で詳細検討を行い決定する。



KEYPLAN



(平面図)



(断面図)

補足 8-1 図 新設揚水井戸の構造・配置例

新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

新設するドレーンは添付資料 1 に示すフローに基づき、信頼性（耐久性、耐震性及び保守管理性）を満足する設計とする。また、新設する揚水井戸については、ドレーンの点検性への配慮として、揚水井戸とドレーンの取り合い部へのアクセスが容易であり、十分な作業空間を確保するよう設計する。

2号原子炉建物周辺に新設揚水井戸を新設するが、南東側に配置する場合を例とした配置、構造イメージ及び施工手順を補足 7-1 図に示す。

なお、揚水井戸及びドレーンの配置及び構造については、詳細設計段階で確定する。

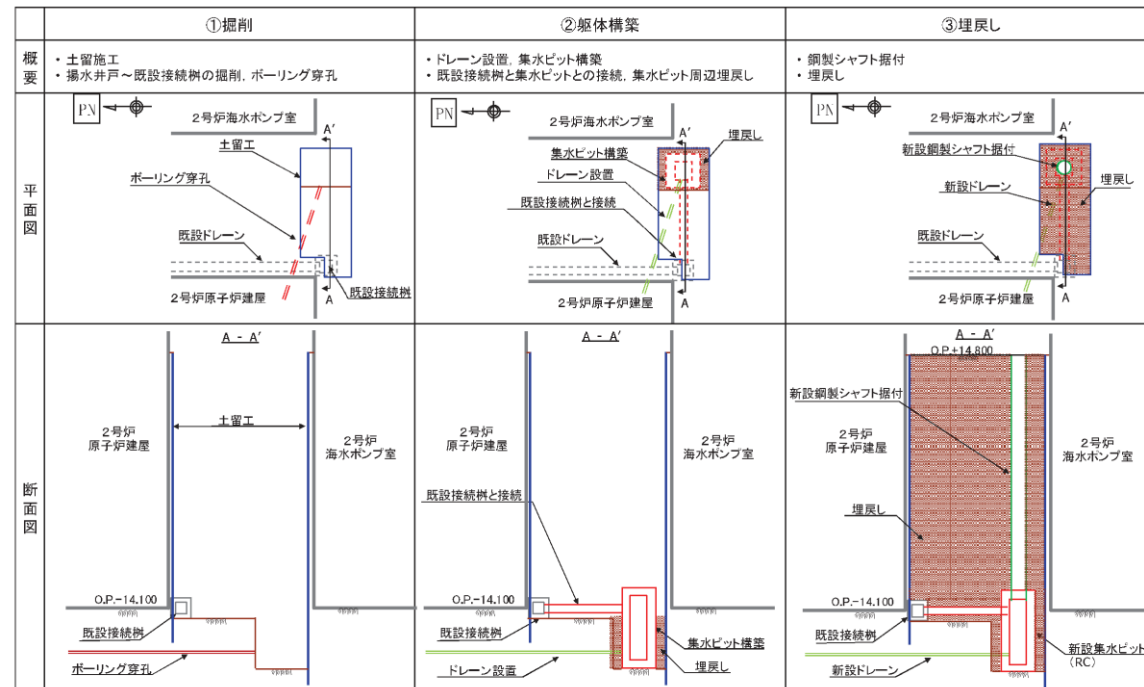
	①立坑掘削・土留め工	②排水ドレーン工	③揚水井戸躯体構築 他
施工手順 (案)	<ul style="list-style-type: none"> 立坑掘削 円形ライナープレートによる土留め設置 	<ul style="list-style-type: none"> 水平ボーリングによる穿孔 ドレーン材の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 揚水井戸躯体構築 躯体周囲の埋戻し 揚水ポンプ、付帯設備(配管、昇降設備等)設置
配置図 (案)			
構造イメージ			

補足 7-1 図 新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

・対象施設の相違
島根 2号炉で新設する新設揚水井戸及びドレーンについての配置について記載

2. 新設揚水井戸の施工手順

新設する揚水井戸の施工手順(例)を補足 8-2 図に示す。



補足 8-2 図 揚水井戸の施工手順(例)

・記載の相違
島根 2号炉では補足 7-1 図に記載

補足説明資料 9

2号炉海水ポンプ室周辺のドレーンに集水される地下水について

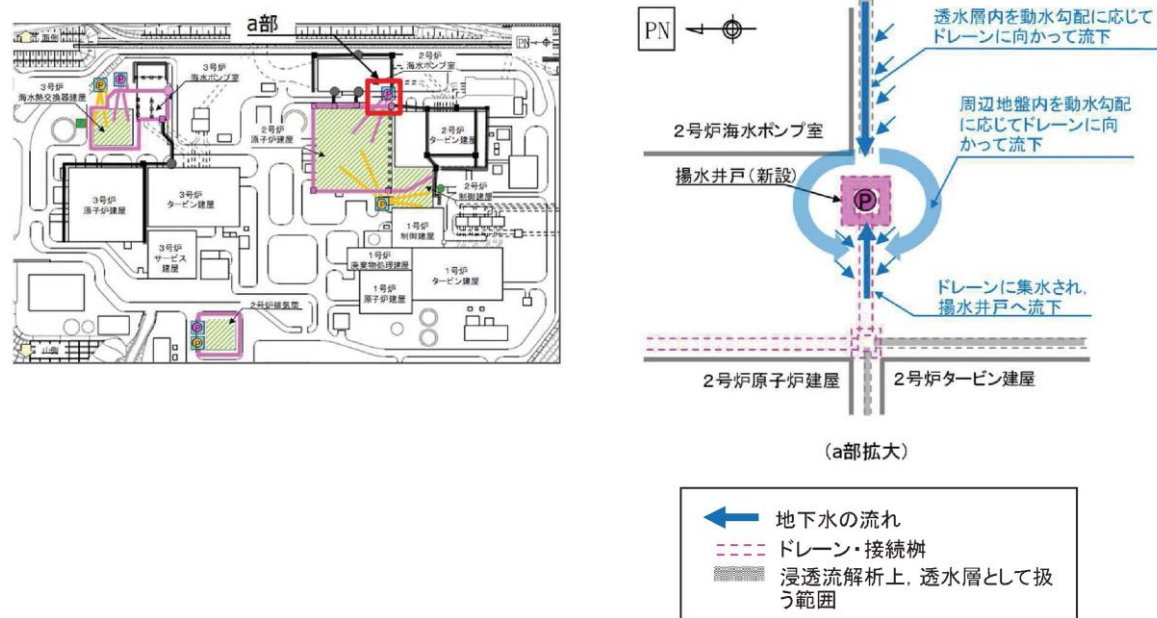
1. 地下水の排水の考え方

集水機能を担うドレーンは、安全重要度分類におけるクラス1相当の信頼性を確保できる範囲を管路(A-1)として考慮することとしている。2号炉海水ポンプ室周辺の既設ドレーンは耐久性・耐震性等を満足するものの閉塞等の単一故障への対応が困難であることから、浸透流解析上は地盤(ドレーン周囲の碎石相当の透水係数を有する透水層(B-1))として取扱うこととしている。

2号炉海水ポンプ室周辺のドレーン(透水層)に集水される地下水は、2号炉原子炉建屋東側のドレーンに向かって碎石層及び周辺地盤内を動水勾配に応じて流下し、2号炉原子炉建屋東側の揚水井戸のホンプにて排水される(補足9-1図)。

また、当該揚水井戸は2号炉海水ポンプ室周辺のドレーン近傍に新設し、補足9-1図に示す流下経路上付近において基礎掘削を行う計画であることから、排水性の観点から踏まえ、必要に応じ井戸周辺の埋め戻し材に碎石等の透水性に優れた材料を用いる、あるいは揚水井戸を集水しやすい構造とする等の検討を進める。

なお、集水機能を担うドレーンに接続樹を介す等により地盤(B-1, B-2)として取扱う既設ドレーンが接続される箇所があるが、集水機能に影響を及ぼさない構造であることを工事計画認可段階で示す。



補足 9-1 図 2号炉海水ポンプ室周辺のドレーンからの地下水の排水経路イメージ

・島根2号炉では既設ドレーンが接続される箇所がないため記載なし

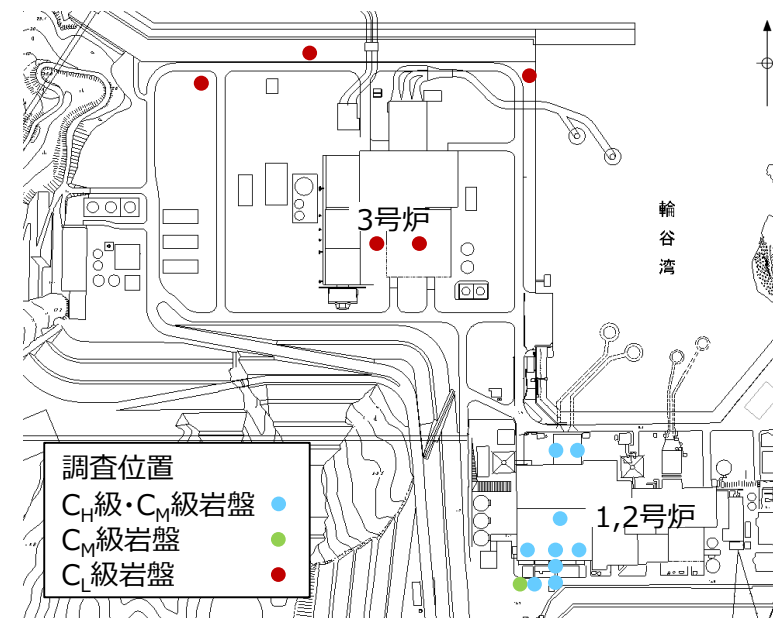
補足説明資料 8

透水係数の妥当性確認

1. CH級, CM級, CL級岩盤

建設時工認では、原子炉建物直下に分布する頁岩・凝灰岩（上層部）及び頁岩・凝灰岩（下層部）の2種類において、地盤工学会基準の現場透水試験（ルジオン試験）に基づき透水係数を設定していた。

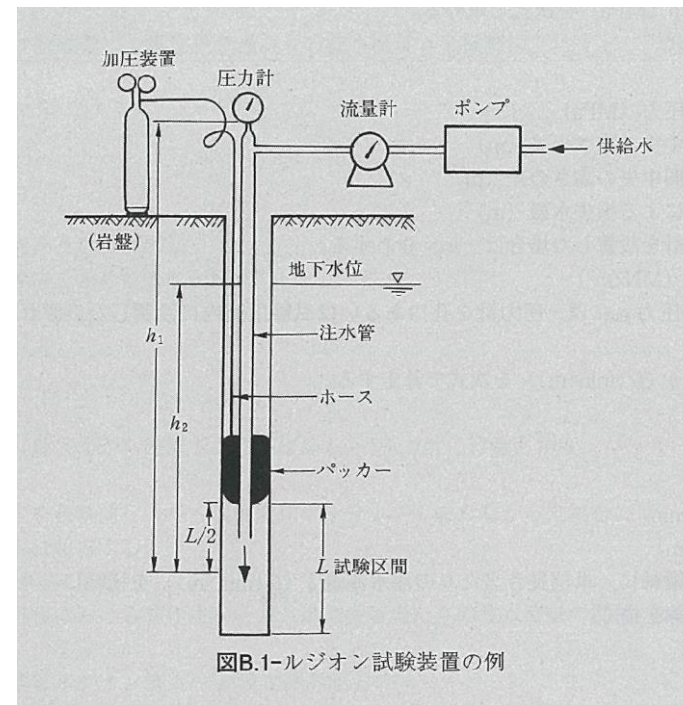
今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として、補足 8-1 図のとおり敷地の岩級に合わせて透水係数を設定する。CH級, CM級岩盤については、建設時工認の現場透水試験より透水係数を設定した。なお、CL級岩盤については2号炉周辺岩盤に分布していないことから、3号敷地造成前の尾根部における現場透水試験より透水係数を設定した。



	透水係数 (cm/s)	試験方法
CH級	4.5×10^{-5}	ルジオン試験
CM級	5.6×10^{-4}	
CL級	1.0×10^{-3}	

補足 8-1 図 現場透水試験結果 (CH級, CM級及びCL級岩盤)

・説明方針の相違
島根2号炉では、透水係数の妥当性確認について説明

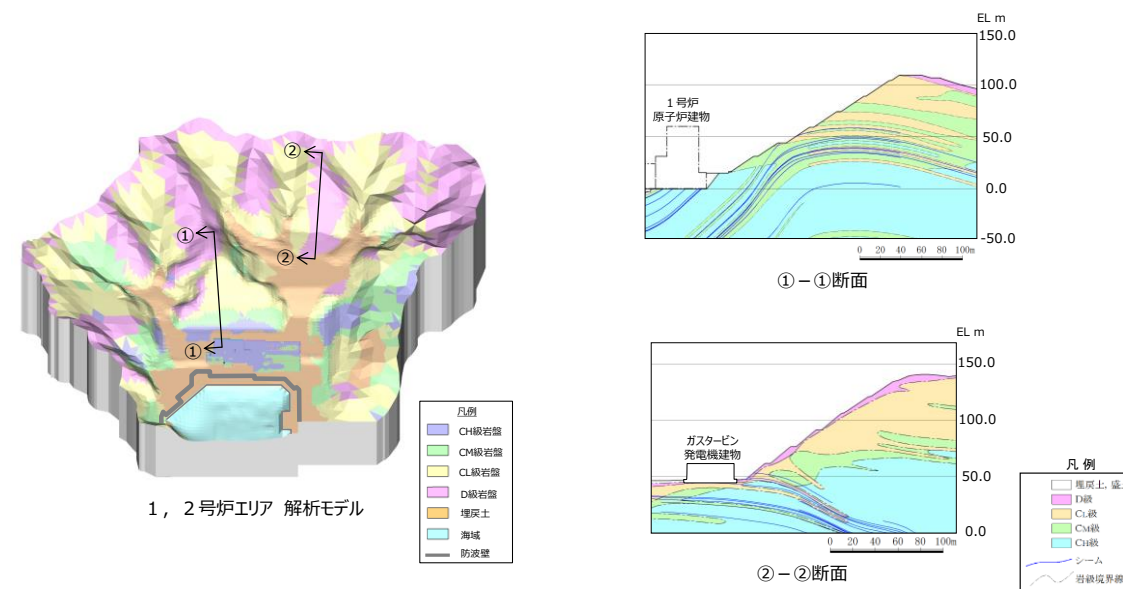


図B.1-ルジオン試験装置の例

補足 8-2 図 現場透水試験 (ルジオン試験) の概要図 (地盤調査の方法と解説 (地盤工学会, 2013))

2. D 級岩盤

D 級岩盤は補足 8-3 図に示すとおり、主として地山の表層に薄く分布している。地盤工学会基準の現場透水試験 (ルジオン試験) の試験区間長は通常 5m とされているが、表層は風化が進行しているため、試験区間の確保ができないことから、現場透水試験による透水係数の取得が困難である。

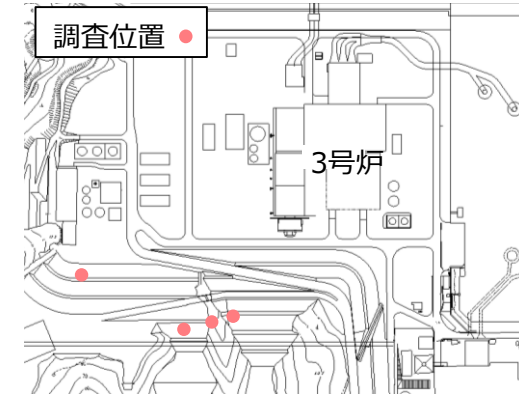


補足 8-3 図 D 級岩盤の分布状況

D 級岩盤は現場透水試験からの透水係数の設定が困難であることから、補足 8-4 図に示す粒径加積曲線から求めた 20%粒径 D_{20} が 0.05mm であるため、クレーガーの方法* (地盤工学会) により補足 8-5 図から推定した透水係数 $2.8 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ($\approx 3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$) を設定していた。

しかし、D 級岩盤は補足 8-1 表に示すとおり、割れ目の発達した岩盤と風化の進行した岩盤に大別されるが、粒度試験 1 2 試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩は 1 試料のみであったため、その特性を透水係数に反映できていないと考える。

※ 粒径加積曲線から求まる 20%粒径 D_{20} を用いて透水係数の概略値を推定する方法





	20%粒径 (mm)	透水係数 (cm/s)
D級岩盤	0.05	2.8×10^{-4}

補足 8-4 図 D 級岩盤の粒度試験結果

D_{20} (mm)	k (cm/s)	D_{20} (mm)	k (cm/s)
0.005	3.0×10^{-6}	0.18	6.85×10^{-3}
0.01	1.05×10^{-5}	0.20	8.90×10^{-3}
0.02	4.00×10^{-5}	0.25	1.40×10^{-2}
0.03	8.50×10^{-5}	0.30	2.20×10^{-2}
0.04	1.75×10^{-4}	0.35	3.20×10^{-2}
0.05	2.80×10^{-4}	0.40	4.50×10^{-2}
0.06	4.60×10^{-4}	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50	7.50×10^{-2}
0.08	9.00×10^{-4}	0.60	1.10×10^{-1}
0.09	1.40×10^{-3}	0.70	1.60×10^{-1}
0.10	1.75×10^{-3}	0.80	2.15×10^{-1}
0.12	2.60×10^{-3}	0.90	2.80×10^{-1}
0.14	3.80×10^{-3}	1.00	3.60×10^{-1}
0.16	5.10×10^{-3}	2.00	1.80

補足 8-5 図 クレーガーの方法 (土質試験の方法と解説(地盤工学会, 2000))

補足 8-1 表 代表的な D 級岩盤のコア性状

岩相	黒色頁岩	凝灰岩
コア写真		
	割れ目の発達により岩級が低下 (No.19E3 G.L.-0.96~-1.80m)	風化の進行により岩級が低下 (No.B-3(2006) G.L.-0.30~-2.15m)

以上を踏まえ、局所的に分布する黒色頁岩のような割れ目が発達した D 級岩盤の場合は、粒径加積曲線から求めた 20%粒径 D_{20} が 0.10mm であるため、クレーガーの方法により補足 8-6 図から推定した透水係数は $1.75 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ($\approx 2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) となる。D 級岩盤の透水係数の違いによる地下水位への影響を確認するため、補足 8-7 図のとおり浸透流解析（再現解析）を実施した結果、各観測孔位置での地下水位に大きな差異は認められなかった。

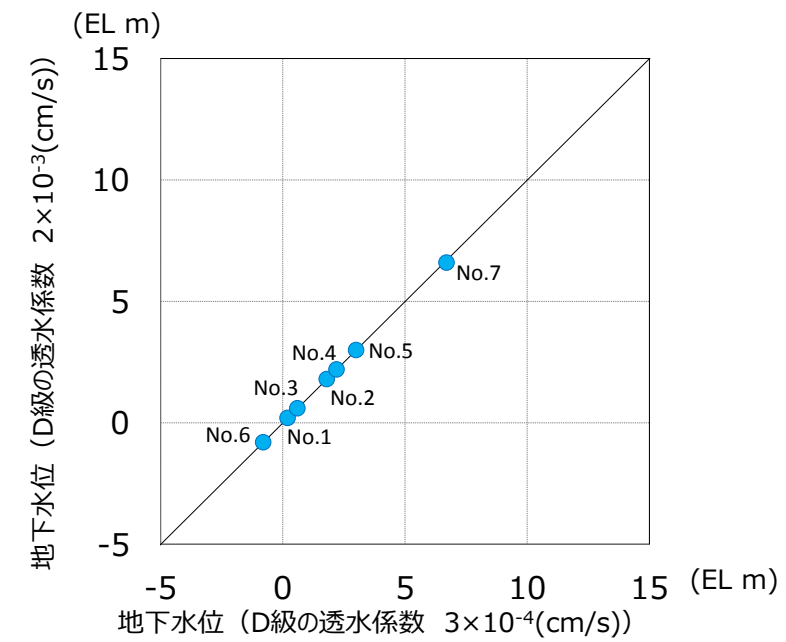
しかしながら、揚水量が低減する傾向が認められることから、地下水位が高く算定されると判断し、割れ目が発達した D 級岩盤の影響を考慮した透水係数 $2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ を採用する。

補足 8-2 表 D 級岩盤（黒色頁岩）の透水係数

	20%粒径 (mm)	透水係数 (cm/s)
D級岩盤 (黒色頁岩)	0.10	1.75×10^{-3}

D_{20} (mm)	k (cm/s)	D_{20} (mm)	k (cm/s)
0.005	3.0×10^{-6}	0.18	6.85×10^{-3}
0.01	1.05×10^{-5}	0.20	8.90×10^{-3}
0.02	4.00×10^{-5}	0.25	1.40×10^{-2}
0.03	8.50×10^{-5}	0.30	2.20×10^{-2}
0.04	1.75×10^{-4}	0.35	3.20×10^{-2}
0.05	2.80×10^{-4}	0.40	4.50×10^{-2}
0.06	4.60×10^{-4}	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50	7.50×10^{-2}
0.08	9.00×10^{-4}	0.60	1.10×10^{-1}
0.09	1.40×10^{-3}	0.70	1.60×10^{-1}
0.10	1.75×10^{-3}	0.80	2.15×10^{-1}
0.12	2.60×10^{-3}	0.90	2.80×10^{-1}
0.14	3.80×10^{-3}	1.00	3.60×10^{-1}
0.16	5.10×10^{-3}	2.00	1.80

補足 8-6 図 クレーガーの方法（土質試験の方法と解説(地盤工学会, 2000)）



	揚水量(m³/日)
D級岩盤 3×10 ⁻⁴ (cm/s)	858
D級岩盤 2×10 ⁻³ (cm/s)	856

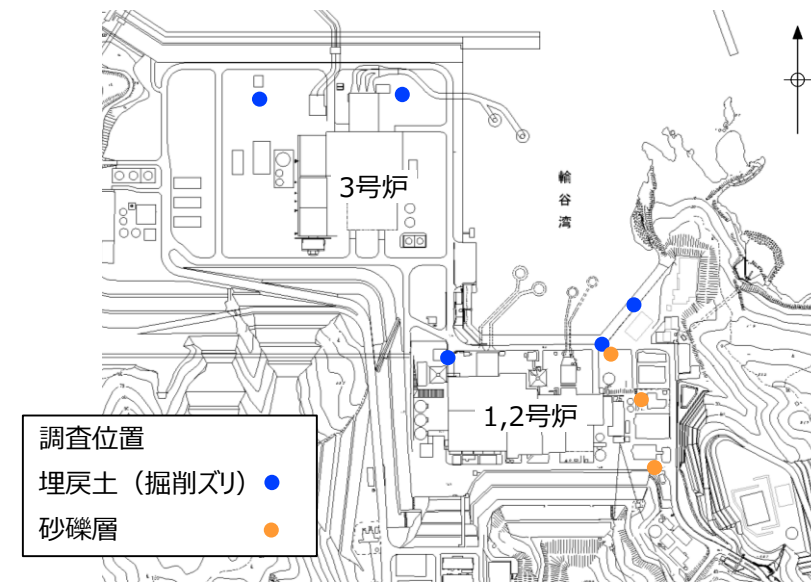
補足 8-7 図 D 級岩盤の透水性係数の妥当性確認 (再現解析)

3. 埋戻土 (掘削ズリ), 砂礫層

建設時工認の埋戻し土の透水性係数は、工学的な観点から岩盤の透水性係数より 1 オーダー大きな値とすることで地下水位を保守的に評価することに重点を置き、現場透水試験によらず透水性係数を設定していた。

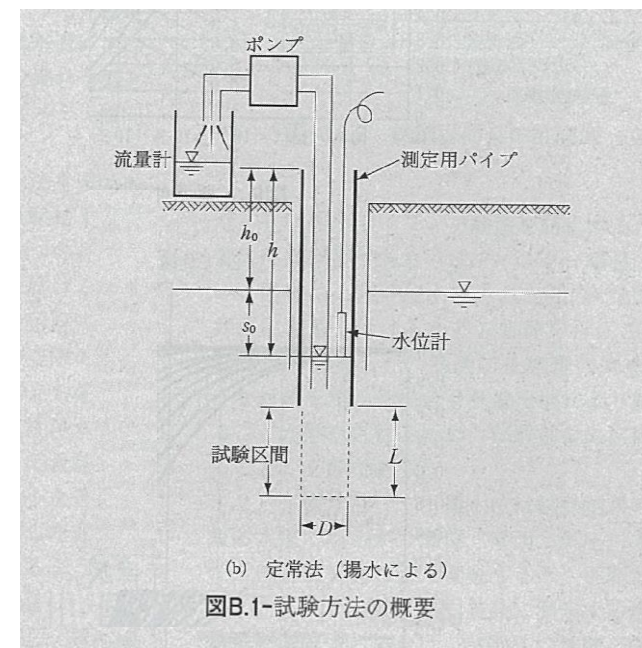
今回、埋戻土 (掘削ズリ), 砂礫層については、解析の精度向上を目的として、補足 8-8 図のとおり地盤工学会基準の現場透水試験 (回復法) を実施し、直接的に透水性係数を求めて設定した。

埋戻土 (掘削ズリ) は敷地全域に分布しているため、幅広い地点で試験を実施し、砂礫層は局部的に分布している範囲内で試験を実施した。



	透水係数 (cm/s)	試験方法
埋戻土 (掘削ズリ)	1.7×10^{-1}	回復法
砂礫層	3.6×10^{-3}	

補足 8-8 図 現場透水試験結果 (埋戻土 (掘削ズリ) 及び砂礫層)



補足 8-9 図 現場透水試験 (回復法) の概要図 (地盤調査の方法と解説(地盤工学会, 2013))

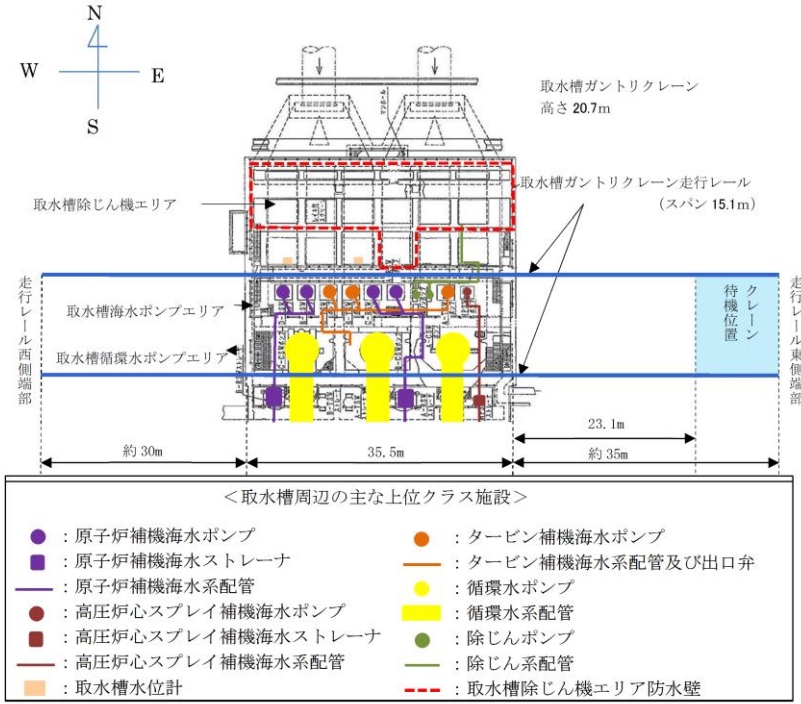
実線・・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
 波線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表 [第4条 地震による損傷の防止 別紙-18]

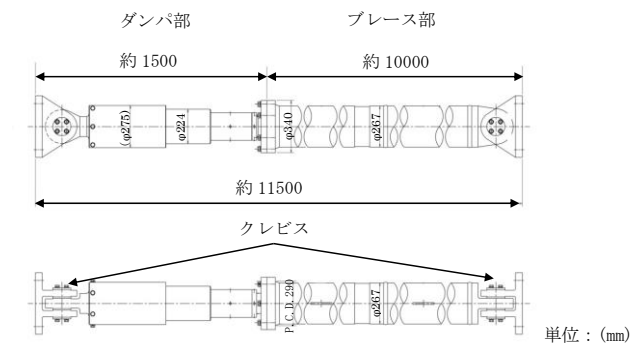
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: center;"><u>別紙-18 機器・配管系への制震装置の適用について</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 概要 2. 単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 基本方針 <ol style="list-style-type: none"> 2.1.1 要求事項 2.1.2 構造の概要 2.1.3 設計方針 2.1.4 適用規格 2.2 耐震評価方法 <ol style="list-style-type: none"> 2.2.1 評価方針 2.2.2 単軸粘性ダンパの配置検討 2.2.3 性能試験及び解析モデル 2.2.4 地震応答解析手法 2.2.5 単軸粘性ダンパ評価 2.2.6 機器評価 2.3 耐震評価結果 3. 三軸粘性ダンパの配管系への設置 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 基本方針 <ol style="list-style-type: none"> 3.1.1 要求事項 3.1.2 構造の概要 3.1.3 設計方針 3.1.4 適用規格 3.2 耐震評価方法 <ol style="list-style-type: none"> 3.2.1 評価方針 3.2.3 性能試験及び解析モデル 3.2.4 地震応答解析手法 3.2.5 三軸粘性ダンパ評価 3.2.6 配管系評価 3.3 耐震評価結果 <ol style="list-style-type: none"> 3.3.1 評価条件 3.3.2 評価結果 4. 実績との比較 5. まとめ 	<p>・対象設備の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>島根2号炉では、制震装置を適用した機器・配管系の地震応答解析手法を用いる</p>

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
		<p style="text-align: center;">添 付 資 料</p> <p>1-1 制震装置の減衰性能に影響する検討項目の抽出</p> <p>1-2 既工認実績のある制震装置との差異の整理</p> <p>1-3 Time History Broadening の概要</p> <p>1-4 新規制基準適合性審査の実績等を踏まえた検討事項に対する考察</p> <p>1-5 制震装置に応じた減衰性能の表現及びモデル化</p> <p>2-1 取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の選定</p> <p>2-2 単軸粘性ダンパの性能試験方法</p> <p>2-3 単軸粘性ダンパの特性試験</p> <p>2-4 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析手法</p> <p>2-5 単軸粘性ダンパの減衰性能と取水槽ガントリクレーンの応答の関係</p> <p>3-1 三軸粘性ダンパの低速移動時の拘束力</p> <p>3-2 配管系に設置する制震装置の選定</p> <p>3-3 三軸粘性ダンパに関する ASME Boiler and Pressure Vessel Code の記載</p> <p>3-4 三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験の概要</p> <p>3-5 三軸粘性ダンパの減衰性能及び解析モデルによる表現</p> <p>3-6 三軸粘性ダンパの特性試験</p> <p>3-7 三軸粘性ダンパの据付公差による減衰性能への影響</p> <p>3-8 三軸粘性ダンパの性能試験方法</p> <p>3-9 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法</p> <p>3-10 三軸粘性ダンパの減衰性能と配管系の応答の関係</p> <p>3-11 三軸粘性ダンパの配管への取付部の設計について</p> <p>3-12 三軸粘性ダンパの耐震評価方法に関する海外実績との比較</p>	

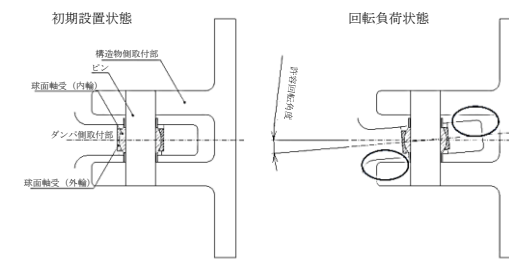
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>1. 概要</p> <p>島根2号炉において、波及的影響を防止するための対策を行う取水槽ガントリクレーン及びBクラスの配管系に、耐震性向上を目的として制震装置を設置する。</p> <p>大きな地震力が作用する機器・配管系に対して、耐震構造による補強では設計及び施工が困難となる場合、制震装置の設置により地震応答を低減することは有効な耐震補強の手法のひとつである。</p> <p>制震装置の適用にあたっては、その減衰性能を適切にモデル化し、制震装置を組み込んだ機器・配管系の地震応答解析を実施する必要がある。本資料では、制震装置の構造、作動原理等を示した上で、制震装置の減衰性能を適切に考慮したモデル化及び地震応答解析手法について説明する。また、取水槽ガントリクレーンの車輪部のすべり、浮上り等の非線形挙動のモデル化及び解析手法については、別紙ー7 添付資料ー2「取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴解析の適用について」に示す。</p> <p>なお、制震装置（単軸粘性ダンパ）の設置は、島根2号炉、島根3号炉及び柏崎6 / 7号炉等の排気筒で実績がある。</p>	

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
		<p>2. 単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置</p> <p>2.1 基本方針</p> <p>2.1.1 要求事項</p> <p>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及び取水槽周辺の上位クラス施設概要を第2-1図に示す。</p> <p>発電所の運転中など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、基準地震動S_sによる地震力に対して取水槽ガントリクレーンが損傷、転倒及び落下することで、上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。</p>  <p>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</p>	

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
		<p>2.1.2 構造の概要</p> <p>(1) 取水槽ガントリクレーンの構造概要</p> <p>取水槽ガントリクレーンの構造を第 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。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。</p> <p>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、横行方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置する。制震装置選定の考え方を添付資料 2-1 に示す。単軸粘性ダンパの設置は、島根 2号炉、島根 3号炉及び柏崎 6 / 7号炉等の排気筒で実績がある。</p> <p>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部、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、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。</p> <div data-bbox="1739 1388 2466 1770" style="border: 1px solid black; height: 180px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">第 2-2 図 取水槽ガントリクレーンの構造</p>	



単軸粘性ダンパ及びブレーズの構造



クレビス部詳細

第2-3図 単軸粘性ダンパ取付部の構造

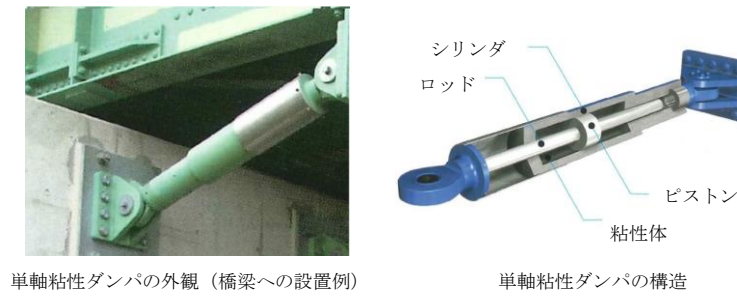
(2) 単軸粘性ダンパの構造概要

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの仕様を第2-1表に示す。また、単軸粘性ダンパの外観及び構造を第2-4図に示す。単軸粘性ダンパは主にシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体により構成されている。単軸粘性ダンパの粘性体は化学的に安定であり、消防法で定められている危険物に該当しない。

単軸粘性ダンパの動作原理を第2-5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外面の間に形成されるオリフィス部を粘性体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものであり、自重等の静的荷重は支持しない。

第2-1表 単軸粘性ダンパの仕様

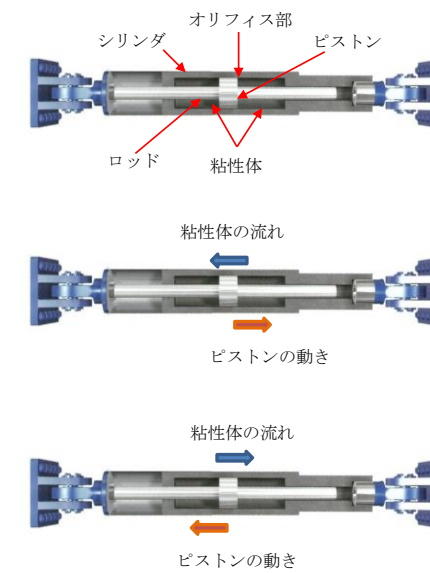
定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
220	1535	224	533	300	100



単軸粘性ダンパの外観 (橋梁への設置例)

単軸粘性ダンパの構造

第2-4図 単軸粘性ダンパの外観及び構造



第2-5図 単軸粘性ダンパの動作原理

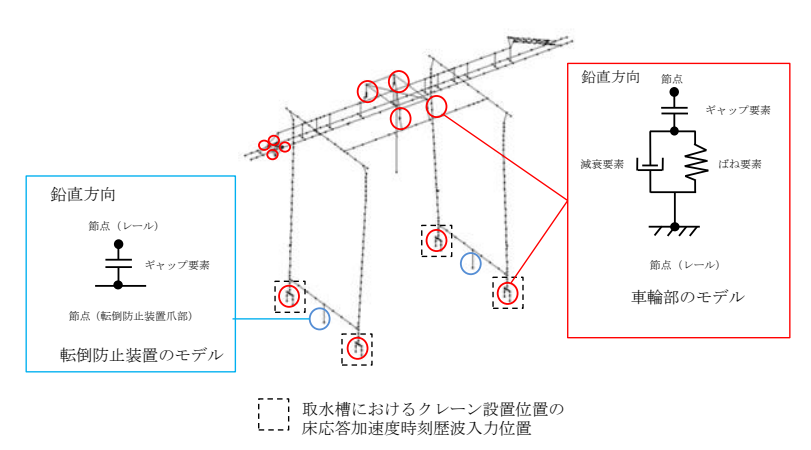
2.1.3 設計方針

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フローを第2-6図に、設計プロセスを第2-2表に示す。また、単軸粘性ダンパ設置前の取水槽ガントリクレーンと単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを第2-7図に示す。単軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに制震装置を適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様である。

第2-6図の耐震設計フローは、基本的に一般的な機器の設計フローと同じであるが、第2-6図における単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、2.2項にて詳細に説明する。

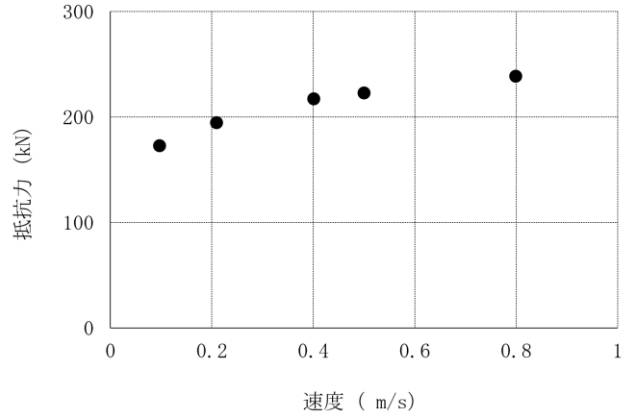
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第2-6図 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フロー</p>	

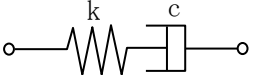
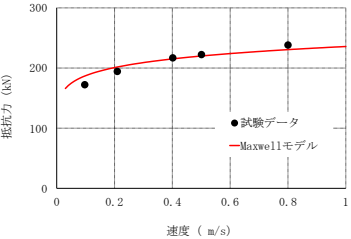
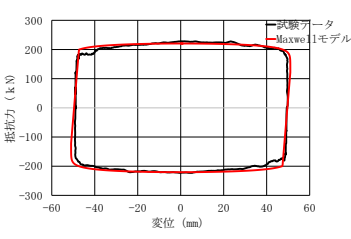
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																
		<p>第2-2表 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの設計プロセス</p> <table border="1" data-bbox="1736 300 2496 1241"> <thead> <tr> <th>番号※1</th> <th>実施事項</th> <th>内容</th> <th>追加設計プロセス</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(1)</td> <td>設計条件の決定</td> <td>取水槽ガントリクレーンの仕様, 設計条件を決定する。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>(2)</td> <td>取水槽ガントリクレーンのモデル化</td> <td>取水槽ガントリクレーン本体を構成する主要部材を質点及びはり要素でモデル化し, 車輪部のすべり及び浮上り等の非線形挙動をギャップ要素, ばね要素及び減衰要素でモデル化する。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>(3)</td> <td>単軸粘性ダンパの配置検討</td> <td>単軸粘性ダンパの配置を検討する。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討</td> <td>単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し, 性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(5)</td> <td>単軸粘性ダンパの性能試験</td> <td>単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件を設定し, 性能試験を実施する。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(6)</td> <td>単軸粘性ダンパのモデル化</td> <td>性能試験結果から単軸粘性ダンパの減衰性能をMaxwellモデルによりモデル化する。また, 減衰性能のばらつきを考慮して, 地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(7)</td> <td>単軸粘性ダンパの解析モデルの追加</td> <td>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパをモデル化したMaxwellモデルを追加する。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(8)</td> <td>地震応答解析の実施</td> <td>地震応答解析を実施し, 応力, 変位等を求める。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>(9)</td> <td>単軸粘性ダンパ評価</td> <td>地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>(10)</td> <td>機器評価</td> <td>地震応答解析結果を基に, 発生応力, 浮上り量, 吊具荷重が許容値以内であることを確認する。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>(11)</td> <td>詳細構造設計</td> <td>地震応答解析結果を基に, 各部の詳細構造設計を行う。</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 : 番号は第2-6図の耐震設計フローの番号に対応している。</p>	番号※1	実施事項	内容	追加設計プロセス	(1)	設計条件の決定	取水槽ガントリクレーンの仕様, 設計条件を決定する。	—	(2)	取水槽ガントリクレーンのモデル化	取水槽ガントリクレーン本体を構成する主要部材を質点及びはり要素でモデル化し, 車輪部のすべり及び浮上り等の非線形挙動をギャップ要素, ばね要素及び減衰要素でモデル化する。	—	(3)	単軸粘性ダンパの配置検討	単軸粘性ダンパの配置を検討する。	○	(4)	単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討	単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し, 性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。	○	(5)	単軸粘性ダンパの性能試験	単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件を設定し, 性能試験を実施する。	○	(6)	単軸粘性ダンパのモデル化	性能試験結果から単軸粘性ダンパの減衰性能をMaxwellモデルによりモデル化する。また, 減衰性能のばらつきを考慮して, 地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。	○	(7)	単軸粘性ダンパの解析モデルの追加	取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパをモデル化したMaxwellモデルを追加する。	○	(8)	地震応答解析の実施	地震応答解析を実施し, 応力, 変位等を求める。	—	(9)	単軸粘性ダンパ評価	地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。	○	(10)	機器評価	地震応答解析結果を基に, 発生応力, 浮上り量, 吊具荷重が許容値以内であることを確認する。	—	(11)	詳細構造設計	地震応答解析結果を基に, 各部の詳細構造設計を行う。	—	
番号※1	実施事項	内容	追加設計プロセス																																																
(1)	設計条件の決定	取水槽ガントリクレーンの仕様, 設計条件を決定する。	—																																																
(2)	取水槽ガントリクレーンのモデル化	取水槽ガントリクレーン本体を構成する主要部材を質点及びはり要素でモデル化し, 車輪部のすべり及び浮上り等の非線形挙動をギャップ要素, ばね要素及び減衰要素でモデル化する。	—																																																
(3)	単軸粘性ダンパの配置検討	単軸粘性ダンパの配置を検討する。	○																																																
(4)	単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討	単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し, 性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。	○																																																
(5)	単軸粘性ダンパの性能試験	単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件を設定し, 性能試験を実施する。	○																																																
(6)	単軸粘性ダンパのモデル化	性能試験結果から単軸粘性ダンパの減衰性能をMaxwellモデルによりモデル化する。また, 減衰性能のばらつきを考慮して, 地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。	○																																																
(7)	単軸粘性ダンパの解析モデルの追加	取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパをモデル化したMaxwellモデルを追加する。	○																																																
(8)	地震応答解析の実施	地震応答解析を実施し, 応力, 変位等を求める。	—																																																
(9)	単軸粘性ダンパ評価	地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。	○																																																
(10)	機器評価	地震応答解析結果を基に, 発生応力, 浮上り量, 吊具荷重が許容値以内であることを確認する。	—																																																
(11)	詳細構造設計	地震応答解析結果を基に, 各部の詳細構造設計を行う。	—																																																

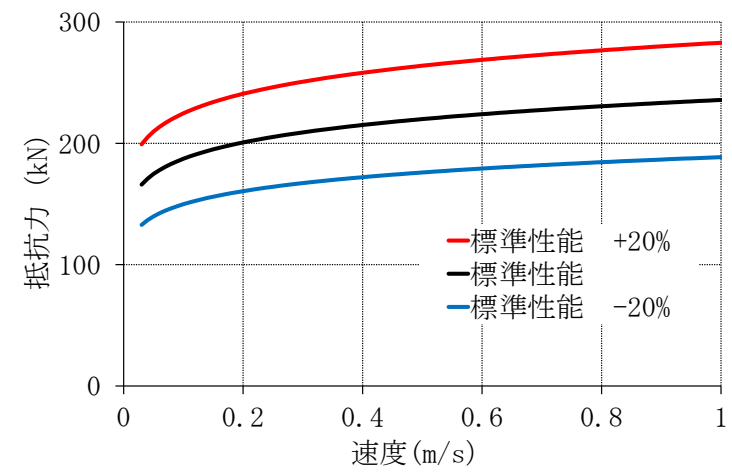
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>単軸粘性ダンバを設置前の取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル</p> <p>単軸粘性ダンバを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル</p> <p>第2-7図 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル</p> <p>2.1.4 適用規格</p> <p>取水槽ガントリクレーンの設計には、以下の規格（以下「J E A G 4 6 0 1等」という。）を適用する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（社）日本電気協会 ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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） 	

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																										
		<p>取水槽ガントリクレーンの設計における適用規格の適用範囲について第2-3表に示す。</p> <p>第2-3表 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの適用規格及び適用範囲</p> <table border="1" data-bbox="1736 436 2496 1010"> <thead> <tr> <th>適用対象</th> <th>適用範囲</th> <th>適用規格</th> <th>適用の考え方</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">取水槽 ガントリ クレーン全体</td> <td>減衰定数</td> <td>— (振動試験結果)</td> <td>振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。</td> </tr> <tr> <td>一般事項 構造強度評価</td> <td rowspan="2">J E A G 4 6 0 1 等</td> <td rowspan="2">従来のクレーンの評価と同様である。</td> </tr> <tr> <td>吊具</td> <td>構造強度評価</td> </tr> <tr> <td>トロリ</td> <td>浮上り量評価</td> <td>— (構造寸法に基づく)</td> <td>クレーンの構造寸法に基づき設定する。</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">単軸粘性ダンパ</td> <td rowspan="2">構造強度評価</td> <td>許容荷重</td> <td>J E A G 4 6 0 1 等</td> </tr> <tr> <td>許容変位</td> <td>— (構造寸法に基づく)</td> </tr> <tr> <td>減衰性能の設定</td> <td>— (性能試験結果)</td> <td>制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.2 耐震評価方法</p> <p>2.2.1 評価方針</p> <p>2.1.3 にて整理した単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、具体的な評価方針を以下に示す。</p> <p>まず、取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討する。次に、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し、性能試験及びモデル化における対応方針を検討する。単軸粘性ダンパのモデル化を行うために、実機使用条件を踏まえた性能試験条件により、実機に設置する単軸粘性ダンパを用いた性能試験を実施する。性能試験の結果に基づき減衰性能を設定し、単軸粘性ダンパを Maxwell モデルによりモデル化する。この Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加し、地震応答解析を行う。単軸粘性ダンパの評価として、地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。</p>	適用対象	適用範囲	適用規格	適用の考え方	取水槽 ガントリ クレーン全体	減衰定数	— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。	一般事項 構造強度評価	J E A G 4 6 0 1 等	従来のクレーンの評価と同様である。	吊具	構造強度評価	トロリ	浮上り量評価	— (構造寸法に基づく)	クレーンの構造寸法に基づき設定する。	単軸粘性ダンパ	構造強度評価	許容荷重	J E A G 4 6 0 1 等	許容変位	— (構造寸法に基づく)	減衰性能の設定	— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。	
適用対象	適用範囲	適用規格	適用の考え方																										
取水槽 ガントリ クレーン全体	減衰定数	— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。																										
	一般事項 構造強度評価	J E A G 4 6 0 1 等	従来のクレーンの評価と同様である。																										
吊具	構造強度評価																												
トロリ	浮上り量評価	— (構造寸法に基づく)	クレーンの構造寸法に基づき設定する。																										
単軸粘性ダンパ	構造強度評価	許容荷重	J E A G 4 6 0 1 等																										
		許容変位	— (構造寸法に基づく)																										
	減衰性能の設定	— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。																										

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																
		<p>2.2.2 単軸粘性ダンパの配置検討</p> <p>取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討する。単軸粘性ダンパはピストン、ロッドが軸方向に移動することで生じる抵抗力により減衰性能を発揮するため、大きな変位が生じる取水槽ガントリクレーンのガーダと脚の間に設置する。</p> <p>2.2.3 性能試験及び解析モデル</p> <p>(1)単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討</p> <p>単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの評価においては単軸粘性ダンパの減衰性能を適切に取得して設定することが重要であるため、単軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化にあたって、減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して抽出した（添付資料1-1参照）。減衰性能への影響の検討結果を第2-4表に示す。減衰性能に影響する項目については、減衰性能を取得するための性能試験条件の設定において適切に考慮する、若しくは地震応答解析においてばらつきとして考慮する方針とする。</p> <p>第2-4表 減衰性能への影響の検討結果（単軸粘性ダンパ）</p> <table border="1" data-bbox="1745 1146 2484 1425"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>項目</th> <th>減衰性能への影響</th> <th>対応方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>連続加振</td> <td>連続加振による減衰性能への影響は十分小さいことを試験により確認している（添付資料2-3参照）。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>振動数</td> <td>減衰性能は、加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認した（添付資料2-3参照）。</td> <td>左記の変動及びばらつき要因を合わせて、±20%の減衰性能のばらつきを考慮する。</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>製造公差</td> <td>製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(2)単軸粘性ダンパの性能試験</p> <p>a. 性能試験条件の設定</p> <p>単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえ、性能試験条件を設定する。</p> <p>加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は比較的小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパの許容変位100mmの中で実機使用条件を含む幅広い試験速度（0.1～0.8m/s）を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパの性能試験条件を第2-5表に示す。</p>	No.	項目	減衰性能への影響	対応方針	1	連続加振	連続加振による減衰性能への影響は十分小さいことを試験により確認している（添付資料2-3参照）。	—	2	振動数	減衰性能は、加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認した（添付資料2-3参照）。	左記の変動及びばらつき要因を合わせて、±20%の減衰性能のばらつきを考慮する。	3	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。		
No.	項目	減衰性能への影響	対応方針																
1	連続加振	連続加振による減衰性能への影響は十分小さいことを試験により確認している（添付資料2-3参照）。	—																
2	振動数	減衰性能は、加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認した（添付資料2-3参照）。	左記の変動及びばらつき要因を合わせて、±20%の減衰性能のばらつきを考慮する。																
3	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。																	

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														
		<p>b. 性能試験の実施</p> <p>設定した性能試験条件により，単軸粘性ダンパの性能試験を実施する。性能試験の詳細について添付資料 2-2 に示す。地震応答解析に適用する単軸粘性ダンパの減衰性能は，実機に設置する単軸粘性ダンパについて性能試験を実施のうえ設定する。単軸粘性ダンパは抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するように設計されており，非線形の挙動を示すことから，その減衰性能は抵抗力と速度の関係で把握する。性能試験結果により取得した減衰性能を第 2-8 図に示す。</p> <p>第 2-5 表 単軸粘性ダンパの性能試験条件</p> <table border="1" data-bbox="1884 651 2398 844"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>振動数 (Hz)</th> <th>加振速度 (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td rowspan="5">1.6</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>  <p>第 2-8 図 性能試験結果</p> <p>(3) 単軸粘性ダンパのモデル化</p> <p>a. 減衰性能のモデル化</p> <p>性能試験の結果に基づき，単軸粘性ダンパの減衰性能をモデル化する。</p> <p>単軸粘性ダンパは，加振速度の変化に対して抵抗力の変化が小さく，振動数依存性も比較的小さいことから，速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットを組み込んだ 2 パラメータの Maxwell モデルを用いる。単軸粘性ダンパの減衰性能を模擬する Maxwell モデルを第 2-9 図に示す。加振振動数 1.6Hz の場合の Maxwell モデルによる計算値と性能試験結果の比較を第 2-10 図に示す。この図から，速度と抵抗力の関係及び履歴曲線で囲まれる面積に相当する散逸エネ</p>	No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)	1	1.6	0.1	2	0.2	3	0.4	4	0.5	5	0.8	
No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)															
1	1.6	0.1															
2		0.2															
3		0.4															
4		0.5															
5		0.8															

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
		<p>ルギーのいずれに関しても、Maxwell モデルにより減衰性能を精度良く表現できることが分かる。</p> <p>b. ばらつきの考慮</p> <p>単軸粘性ダンパの減衰性能のばらつきを考慮して、地震応答解析に用いる解析モデルを設定する。性能試験結果に基づいてモデル化した単軸粘性ダンパの減衰性能に対して、第2-4表に基づき、振動数による±10%の変動と、製造公差による±10%のばらつきを合わせて±20%のばらつきを考慮する。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばらつきを考慮して標準性能+20%、標準性能、標準性能-20%の3段階設定する。標準性能+20%の減衰性能を設定する理由は、単軸粘性ダンパの取付部材の設計においては減衰性能が高く抵抗力が大きい場合の荷重を適用するためである。地震応答解析モデルにおける減衰性能の設定を第2-11図に示す。</p> <div style="text-align: center;">  <p>k : ばね剛性 c : 速度の0.1乗に比例する ダッシュポットの減衰係数</p> </div> <p>第2-9図 単軸粘性ダンパのMaxwellモデル</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>速度と抵抗力の関係</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>速度0.5m/sにおける 正弦波1周期分の履歴曲線</p> </div> </div> <p>第2-10図 Maxwellモデルによる計算値と性能試験結果の比較</p>	

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
		 <p>第2-11 図 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定</p> <p>(4) 単軸粘性ダンパの解析モデルの追加</p> <p>単軸粘性ダンパをモデル化した Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加することにより、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを作成する。</p> <p>2.2.4 地震応答解析手法</p> <p>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るため、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。(添付資料2-4 参照) 標準性能+20%、標準性能、標準性能-20%の3段階の減衰性能に対応した地震応答解析を行い、これらの最大応答を用いて耐震評価を行う(第2-11 図参照)。</p> <p>取水槽ガントリクレーンの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、鉛直方向ともに別紙-7 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」に示す原子炉建物天井クレーンの減衰定数2.0%を適用する。</p> <p>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。取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、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</p>	

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
		<p>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 (添付資料 1-3 参照)。</p> <p>2.2.5 単軸粘性ダンパ評価 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析によって得られた応答値が、単軸粘性ダンパの減衰性能を取得した性能試験の試験条件の範囲内であることを確認する。 また、単軸粘性ダンパが許容限界を満足し、地震時にその機能を維持する設計とするため、単軸粘性ダンパは許容荷重及び許容変位を満たすように設計する。</p> <p>2.2.6 機器評価 取水槽ガントリクレーンは、地震に伴う損傷、落下によって上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求されるため、機器評価における評価方法及び許容限界は第 2-6 表のとおりとする。許容限界は、J E A G 4 6 0 1 等に基づき設定することを基本とする。</p>	

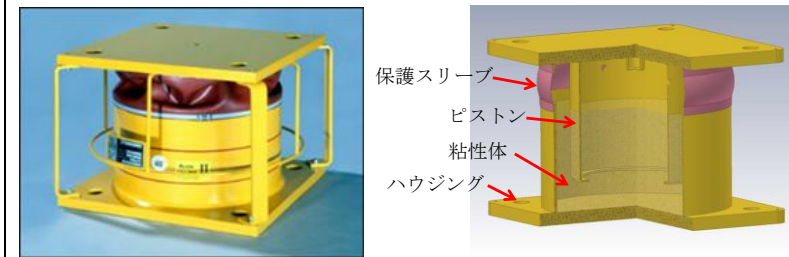
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																				
		<p style="text-align: center;">第2-6表 機器評価における評価方法及び許容限界</p> <table border="1" data-bbox="1733 264 2499 1075"> <thead> <tr> <th>評価方針</th> <th>設計地震力</th> <th>部位</th> <th>評価方法</th> <th>許容限界</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないこと</td> <td rowspan="7">基準地震動 S_sによる地震力</td> <td>取水槽ガントリ クレーン本体</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IV_ASの許容 応力</td> </tr> <tr> <td>転倒防止装置</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IV_ASの許容 応力</td> </tr> <tr> <td>レール</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IV_ASの許容 応力</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">トロリ</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IV_ASの許容 応力</td> </tr> <tr> <td>浮上り量が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>トロリストッ パ高さに基づ く許容浮上り 量</td> </tr> <tr> <td>吊具</td> <td>吊具部分の荷重が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>吊具の許容荷 重</td> </tr> <tr> <td>ブレース</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IV_ASの許容 応力</td> </tr> <tr> <td>単軸粘性ダンパ</td> <td>単軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容荷重及び 許容変位</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.3 耐震評価結果</p> <p>取水槽ガントリクレーンの評価結果は、別紙-7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」に示す。また、地震応答解析は3段階の減衰性能を設定して実施することから、3段階の減衰性能と取水槽ガントリクレーンの地震応答についてまとめた結果を添付資料2-5に示す。</p> <p>単軸粘性ダンパを含めた取水槽ガントリクレーンの解析結果から、単軸粘性ダンパの応答値と解析上の前提条件の比較を第2-7表に示す。単軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。</p> <p>第2-7表 単軸粘性ダンパの応答値と解析上の前提条件の比較</p> <table border="1" data-bbox="1733 1688 2499 1759"> <thead> <tr> <th></th> <th>発生値</th> <th>解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大速度</td> <td>0.47 (m/s)</td> <td>0.8 (m/s)</td> </tr> </tbody> </table>	評価方針	設計地震力	部位	評価方法	許容限界	上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S _s による地震力	取水槽ガントリ クレーン本体	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力	転倒防止装置	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力	レール	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力	トロリ	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力	浮上り量が許容限界を超えないことを確認する。	トロリストッ パ高さに基づ く許容浮上り 量	吊具	吊具部分の荷重が許容限界を超えないことを確認する。	吊具の許容荷 重	ブレース	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力	単軸粘性ダンパ	単軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び 許容変位		発生値	解析条件	最大速度	0.47 (m/s)	0.8 (m/s)	
評価方針	設計地震力	部位	評価方法	許容限界																																			
上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S _s による地震力	取水槽ガントリ クレーン本体	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力																																			
		転倒防止装置	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力																																			
		レール	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力																																			
		トロリ	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力																																			
			浮上り量が許容限界を超えないことを確認する。	トロリストッ パ高さに基づ く許容浮上り 量																																			
		吊具	吊具部分の荷重が許容限界を超えないことを確認する。	吊具の許容荷 重																																			
		ブレース	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IV _A Sの許容 応力																																			
単軸粘性ダンパ	単軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び 許容変位																																					
	発生値	解析条件																																					
最大速度	0.47 (m/s)	0.8 (m/s)																																					

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
		<p>3. 三軸粘性ダンパの配管系への設置</p> <p>3.1 基本方針</p> <p>3.1.1 要求事項</p> <p>三軸粘性ダンパは外側主蒸気隔離弁から低圧タービン，復水器までの主蒸気系配管に設置する。三軸粘性ダンパの設置範囲を第3-1図に示す。当該配管の耐震重要度分類はBクラスである。また，外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの範囲はS d機能維持設計とする。</p> <p>なお，既工認では基準地震動S 1の最大加速度の1/2の値を鉛直震度として求まる鉛直方向地震力を考慮していたが，今回工認では鉛直方向の動的地震力を考慮する。大口径の主蒸気系配管に対しては，鉛直方向の動的地震力の影響は大きく，耐震構造による補強では設計及び施工が困難であることから，三軸粘性ダンパによる耐震補強を行う。</p> <div data-bbox="1736 924 2478 1312" data-label="Diagram"> </div> <p>第3-1図 三軸粘性ダンパの設置範囲及び耐震クラス</p> <p>3.1.2 構造の概要</p> <p>(1) 主蒸気系配管の構造概要</p> <p>外側主蒸気隔離弁から低圧タービン，復水器までの主蒸気系配管は，大口径配管（主流路は600A～1600A程度）であり，また運転時には高温になるため，熱膨張による配管変位を考慮した設計が必要である。地震荷重が大きく，熱膨張の変位を拘束するサポートの設置が困難であることから，熱膨張の変位を拘束しない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。三軸粘性ダンパ設置範囲の主蒸気系配管について，代表箇所を第3-2図に示す。</p> <p>配管系の応答は，複数の振動モードの重ね合わせであり，応答の方向も部位により異なるため，3方向に減衰性能を発揮し，熱膨張</p>	

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
		<p>による低速度の運動を拘束しない(添付資料3-1参照)三軸粘性ダンパを主蒸気系配管に設置する。制震装置選定の考え方を添付資料3-2に示す。</p> <p>なお、三軸粘性ダンパの合計質量(約50台想定)は、建物の配管系設置床の質点質量に対して0.1%以下であり、建物の地震応答解析結果への影響は軽微である。また、三軸粘性ダンパを設置する配管系については三軸粘性ダンパ設置に伴う質量増加を踏まえてモデル化を行う。</p> <div data-bbox="1733 625 2475 869" data-label="Image"> </div> <p>(a) 主蒸気ヘッド周辺 (600A) (b) 高圧タービン下部 (1050A)</p> <p>第3-2図 三軸粘性ダンパ設置範囲の主蒸気系配管(代表箇所)</p> <p>(2) 三軸粘性ダンパの構造概要</p> <p>三軸粘性ダンパの外観及び構造を第3-3図に、仕様を第3-1表に、動作機構を第3-4図に示す。三軸粘性ダンパは、主にピストン、ハウジング及び粘性体から構成されており、粘性体への異物等の混入防止のために保護スリーブが取り付けられている。三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当しない。三軸粘性ダンパは、粘性体に入ったハウジングにピストンが挿入された構造であり、粘性体とピストンの間に相対運動が生じることで、相対運動の方向と逆向きに流動抵抗力による減衰性能を発揮する。水平方向については回転対称な構造であるため、方向による減衰性能の違いはないが、鉛直方向については動作機構が異なるため、水平方向とは減衰性能が異なる。三軸粘性ダンパは自重等の静的荷重は支持せず、熱膨張のような低速度の運動を拘束しない。</p> <p>三軸粘性ダンパは、原子力発電所に用いることができる制震装置として ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-Subsection NF- Supports に記載されており(添付資料3-3参照)、海外の原子力発電所において振動対策及び地震対策として設置実績がある。海外の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置例を第3-5図に示す。なお、国内においては原子力分野</p>	

以外で、石油プラントの配管系（口径 300A）、コンサートホール等の大規模建物の制振システム及び振動台等の機械装置の防振対策等への採用実績があり、採用実績の例を第 3-6 図に示す。

また、三軸粘性ダンパを配管系に設置した場合の有効性を確認するため、配管系を対象とした加振試験を実施し、地震応答の低減に有効であることを確認した。加振試験の詳細は添付資料 3-4 に示す。



第 3-3 図 三軸粘性ダンパの外観及び構造

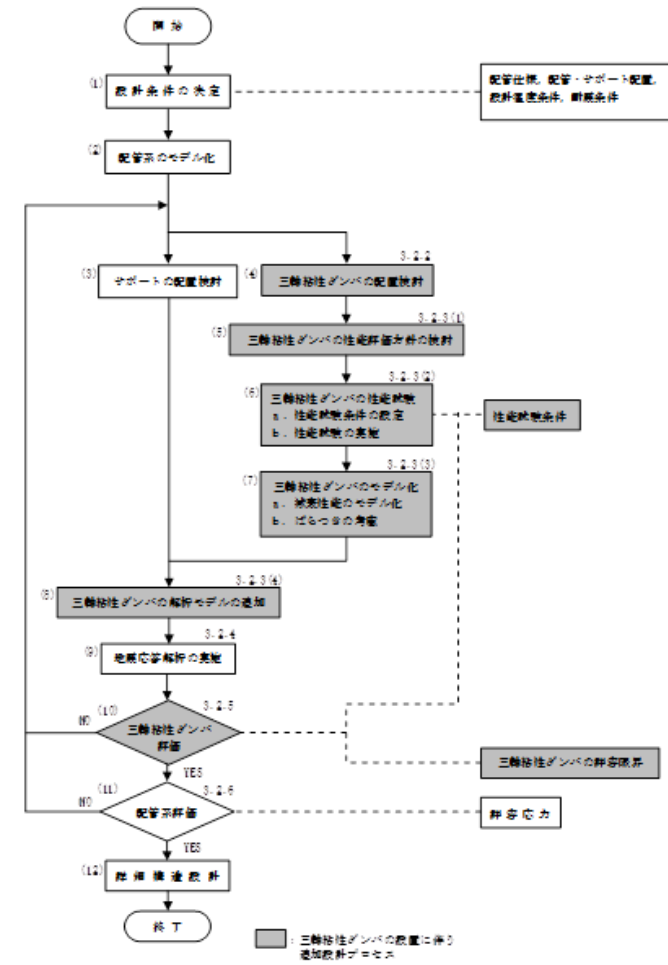
第 3-1 表 三軸粘性ダンパの仕様

型式	外径 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)		許容変位 (mm)	
				水平	鉛直	水平	鉛直
中型	325	343	111	68	27		
大型	630	586	691	350	140		



第 3-4 図 三軸粘性ダンパの動作機構

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
		<div data-bbox="1724 205 2490 514" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1715 520 2472 600">第3-5図 海外の原子力発電所における三軸粘性ダンパの設置例</p> <div data-bbox="1724 669 2490 978" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1768 1014 2454 1050">第3-6図 国内における三軸粘性ダンパの採用実績の例</p> <p data-bbox="1715 1106 1923 1138">3.1.3 設計方針</p> <p data-bbox="1715 1150 2513 1541">三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震設計フローを第3-7図に、設計プロセスを第3-2表に示す。また、三軸粘性ダンパ設置前の配管系と三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析モデルの一例を第3-8図に示す。三軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに制震装置を適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様である。また、4パラメータMaxwellモデルによる三軸粘性ダンパのモデル化は、海外の原子力発電所において実績のあるモデル化手法である。</p> <p data-bbox="1715 1554 2513 1722">第3-7図の耐震設計フローは、基本的に一般的な配管系の設計フローと同じであるが、第3-7図における三軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、3.2項にて詳細に説明する。</p>	

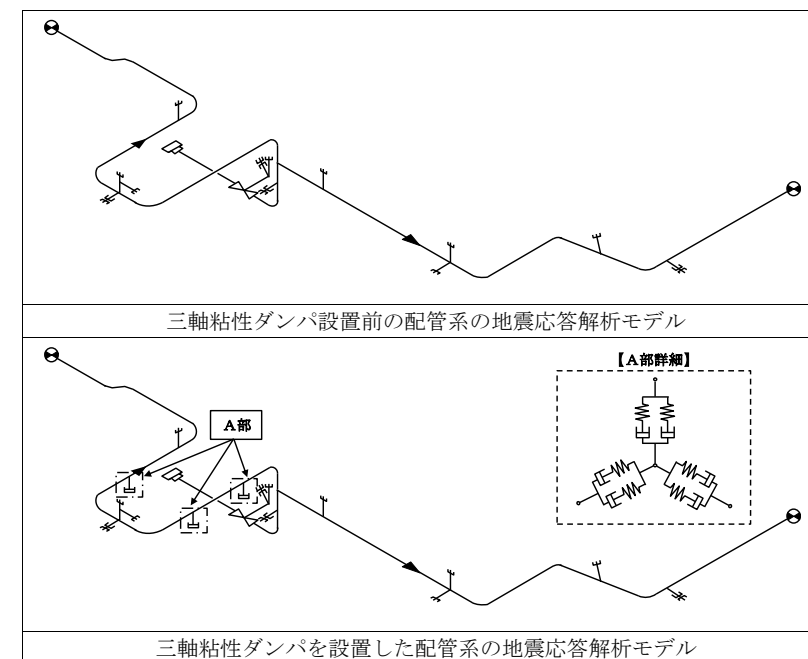


第3-7図 三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震設計フロー

第3-2表 三軸粘性ダンパを設置した配管系の設計プロセス

番号*1	実施事項	内容	追加設計プロセス
(1)	設計条件の決定	配管系の仕様, 配置他設計条件を決定する。	-
(2)	配管系のモデル化	配管系を3次元はりモデルによりモデル化する。	-
(3)	サポートの配置検討	サポートの配置を検討する。	-
(4)	三軸粘性ダンパの配置検討	三軸粘性ダンパの配置を検討する。	○
(5)	三軸粘性ダンパの性能評価方法の検討	三軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し, 性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。	○
(6)	三軸粘性ダンパの性能試験	三軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件により, 性能試験を実施する。	○
(7)	三軸粘性ダンパのモデル化	性能試験結果から三軸粘性ダンパの減衰性能を4パラメータ Maxwell モデルによりモデル化する。また, 減衰性能のばらつきを考慮して, 地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。	○
(8)	三軸粘性ダンパの解析モデルの追加	配管系の地震応答解析モデルに三軸粘性ダンパをモデル化した4パラメータ Maxwell モデルを追加する。	○
(9)	地震応答解析の実施	地震応答解析を実施し, 応力, 変位等を求める。	-
(10)	三軸粘性ダンパ評価	地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び三軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。	○
(11)	配管系評価	地震応答解析結果を基に, 配管系の発生応力が許容応力を満たしていることを確認する。	-
(12)	詳細構造設計	地震応答解析結果を基に, 各部の詳細構造設計を行う。	-

※1: 番号は第3-7図の耐震設計フローの番号に対応している。



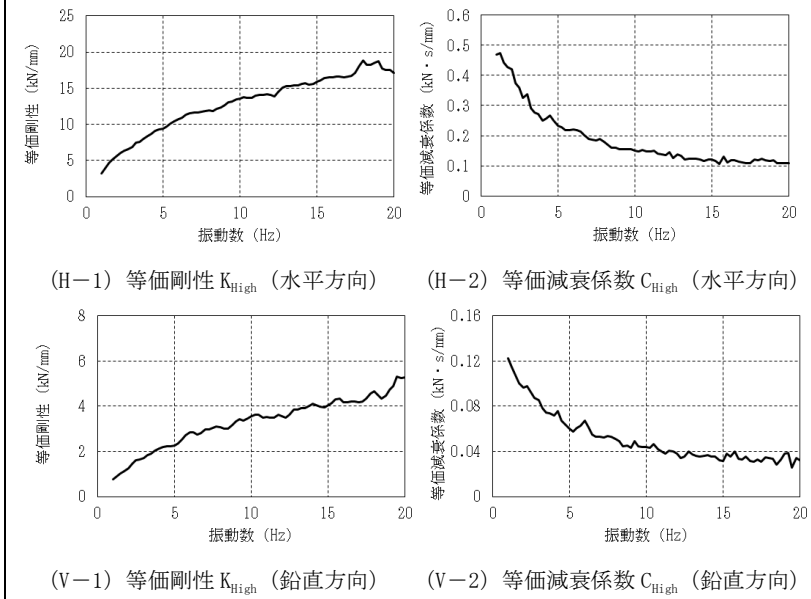
第3-8図 配管系の地震応答解析モデル

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																								
		<p>3.1.4 適用規格</p> <p>配管系の設計に用いる規格としては、原子力発電所の施設設計に用いる J E A G 4 6 0 1 等を基本とする。配管系の設計における適用規格の適用範囲について第 3-3 表に示す。</p> <p>第 3-3 表 三軸粘性ダンパを設置した配管系の適用規格及び適用範囲</p> <table border="1" data-bbox="1739 537 2490 1094"> <thead> <tr> <th>適用対象</th> <th>適用範囲</th> <th>適用規格</th> <th>適用の考え方</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">配管系全体</td> <td>減衰定数</td> <td>— (振動試験結果)</td> <td>振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。</td> </tr> <tr> <td>一般事項</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>配管</td> <td>構造強度評価</td> <td rowspan="2">J E A G 4 6 0 1 等</td> <td rowspan="2">従来の配管系、支持構造物の評価と同様である。</td> </tr> <tr> <td>支持構造物</td> <td>構造強度評価</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">三軸粘性ダンパ</td> <td>構造強度評価</td> <td>— (構造寸法に基づく)</td> <td>制震装置ごとの構造寸法に基づき設定する。</td> </tr> <tr> <td>減衰性能の設定</td> <td>— (性能試験結果)</td> <td>制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.2 耐震評価方法</p> <p>3.2.1 評価方針</p> <p>3.1.3にて整理した三軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価方針を以下に示す。</p> <p>まず、配管系の地震荷重の低減に効果的な三軸粘性ダンパの配置を検討する。次に、三軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し、性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。三軸粘性ダンパのモデル化を行うために、実機使用条件を踏まえた性能試験条件により、三軸粘性ダンパを用いた性能試験を実施する。性能試験の結果に基づき減衰性能を設定し、三軸粘性ダンパを4パラメータ Maxwell モデルによりモデル化する。この4パラメータ Maxwell モデルを配管系の地震応答解析モデルに追加し、地震応答解析を行う。三軸粘性ダンパの評価として、地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び三軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。</p>	適用対象	適用範囲	適用規格	適用の考え方	配管系全体	減衰定数	— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。	一般事項			配管	構造強度評価	J E A G 4 6 0 1 等	従来の配管系、支持構造物の評価と同様である。	支持構造物	構造強度評価	三軸粘性ダンパ	構造強度評価	— (構造寸法に基づく)	制震装置ごとの構造寸法に基づき設定する。	減衰性能の設定	— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。	
適用対象	適用範囲	適用規格	適用の考え方																								
配管系全体	減衰定数	— (振動試験結果)	振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用する(別紙-7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」参照)。																								
	一般事項																										
配管	構造強度評価	J E A G 4 6 0 1 等	従来の配管系、支持構造物の評価と同様である。																								
支持構造物	構造強度評価																										
三軸粘性ダンパ	構造強度評価	— (構造寸法に基づく)	制震装置ごとの構造寸法に基づき設定する。																								
	減衰性能の設定	— (性能試験結果)	制震装置の特性に応じて試験結果に基づき設定する。																								

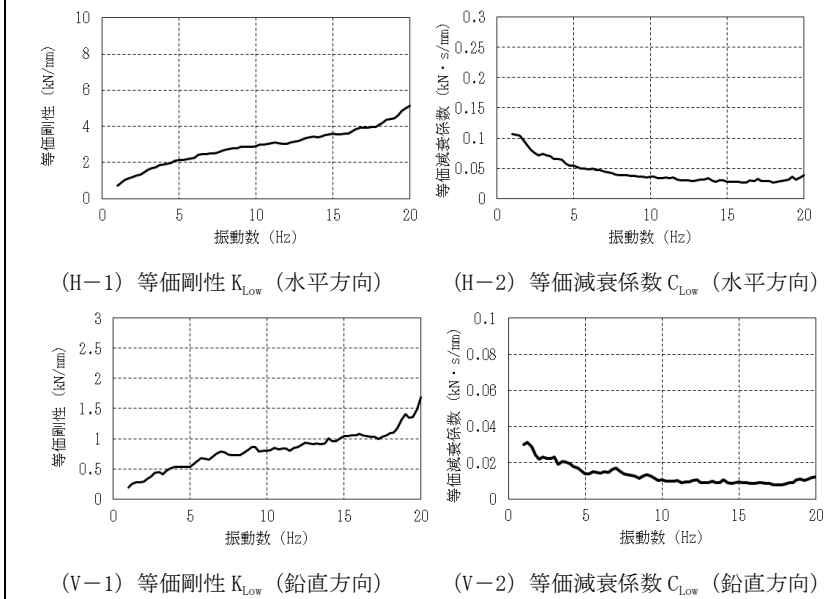
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>3.2.2 三軸粘性ダンパの配置検討</p> <p>配管系の地震荷重の低減に効果的な三軸粘性ダンパの配置を検討する。三軸粘性ダンパは粘性体とピストンの間に相対運動が生じることで減衰性能を発揮するため、配管系の変位が大きくなる箇所に設置する。</p> <p>3.2.3 性能試験及び解析モデル</p> <p>(1) 三軸粘性ダンパの性能評価方針の検討</p> <p>三軸粘性ダンパの粘性体は粘弾性を有するため、その減衰性能は等価剛性K及び等価減衰係数Cにより表現する(添付資料3-5参照)。また、三軸粘性ダンパはその構造から水平方向加振に対する減衰性能は各方向で等しいが、水平方向加振と鉛直方向加振では減衰性能が異なるため、各方向で減衰性能を表現する。</p> <p>三軸粘性ダンパを設置した配管系の評価においては三軸粘性ダンパの減衰性能を適切に取得して設定することが重要であるため、三軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化にあたって、減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案(平成26年1月) 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して抽出した(添付資料1-1参照)。抽出した項目と減衰性能への影響の検討結果を第3-4表に示す。減衰性能に影響する項目については、減衰性能を取得するための性能試験条件の設定において適切に考慮する、若しくは地震応答解析においてばらつきとして考慮する方針とする。</p>	

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																													
		<p>第3-4表 減衰性能への影響の検討結果 (三軸粘性ダンパ)</p> <table border="1" data-bbox="1736 262 2478 1102"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>項目</th> <th>減衰性能への影響</th> <th>対応方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>水平・鉛直同時加振</td> <td>地震時に三軸粘性ダンパは3方向同時加振されることから、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能に差異がないことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>放射線</td> <td>放射線による減衰性能への影響が十分小さいことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>温度</td> <td>粘性体は高温になるほど粘度が低下する性質があることから、粘性体の温度によって三軸粘性ダンパの減衰性能が変動することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。</td> <td rowspan="3">減衰性能を取得する性能試験条件の設定において考慮する。</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>振幅</td> <td>減衰性能は加振振幅が大きいほど低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>連続加振</td> <td>減衰性能は連続加振により累積消費エネルギーが増大すると低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>製造公差</td> <td>製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。</td> <td rowspan="2">左記のばらつき要因を合わせて±30%の減衰性能のばらつきを考慮する。</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>据付公差</td> <td>据付公差による減衰性能のばらつきは±20%以内で管理する (添付資料 3-7 参照)。</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 三軸粘性ダンパの性能試験</p> <p>a. 性能試験条件の設定</p> <p>三軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえ、性能試験条件を設定する。三軸粘性ダンパはその構造から水平方向加振に対する減衰性能は各方向で等しいが、水平方向加振と鉛直方向加振では減衰性能が異なるため、水平方向及び鉛直方向でそれぞれ性能試験を実施する。</p> <p>減衰性能への影響の検討結果 (第3-4表参照) に基づき、三軸粘性ダンパの減衰性能については、変動及びばらつきを包絡するように減衰性能の上限と下限を設定する。第3-4表のうち温度、振幅及び連続加振による変動を踏まえた第3-5表に示す性能試験条件により、高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High}) と、低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low}) を性能試験で取得する。具体的な性能試験条件の設定例について添付資料 3-8 に示す。なお、減衰性能の設定において上限及び下限を設定する理由は、減衰性能が低いほど配管系の応答は大きくなる傾向であるが、三軸粘性ダンパを支持する構造物の設</p>	No.	項目	減衰性能への影響	対応方針	1	水平・鉛直同時加振	地震時に三軸粘性ダンパは3方向同時加振されることから、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能に差異がないことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	—	2	放射線	放射線による減衰性能への影響が十分小さいことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	—	3	温度	粘性体は高温になるほど粘度が低下する性質があることから、粘性体の温度によって三軸粘性ダンパの減衰性能が変動することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	減衰性能を取得する性能試験条件の設定において考慮する。	4	振幅	減衰性能は加振振幅が大きいほど低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	5	連続加振	減衰性能は連続加振により累積消費エネルギーが増大すると低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	6	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。	左記のばらつき要因を合わせて±30%の減衰性能のばらつきを考慮する。	7	据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきは±20%以内で管理する (添付資料 3-7 参照)。	
No.	項目	減衰性能への影響	対応方針																													
1	水平・鉛直同時加振	地震時に三軸粘性ダンパは3方向同時加振されることから、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能に差異がないことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	—																													
2	放射線	放射線による減衰性能への影響が十分小さいことを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	—																													
3	温度	粘性体は高温になるほど粘度が低下する性質があることから、粘性体の温度によって三軸粘性ダンパの減衰性能が変動することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。	減衰性能を取得する性能試験条件の設定において考慮する。																													
4	振幅	減衰性能は加振振幅が大きいほど低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。																														
5	連続加振	減衰性能は連続加振により累積消費エネルギーが増大すると低下することを試験により確認している (添付資料 3-6 参照)。																														
6	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。	左記のばらつき要因を合わせて±30%の減衰性能のばらつきを考慮する。																													
7	据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきは±20%以内で管理する (添付資料 3-7 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																		
		<p>計においては上限の減衰性能に基づく最大荷重を適用するためである。</p> <p>b. 性能試験の実施</p> <p>設定した性能試験条件により，三軸粘性ダンパの性能試験を実施する。性能試験の詳細について添付資料 3-8 に示す。地震応答解析に適用する三軸粘性ダンパの減衰性能は，実機に設置する各型式の三軸粘性ダンパについて性能試験を実施のうえ設定する。</p> <p>第 3-5 表に示す性能試験条件に基づいて取得した三軸粘性ダンパの高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High}) と，低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low}) を第 3-9 図及び第 3-10 図に示す。</p> <p style="text-align: center;">第 3-5 表 三軸粘性ダンパの性能試験条件の設定</p> <table border="1" data-bbox="1736 804 2466 1171"> <thead> <tr> <th rowspan="2">取得性能</th> <th rowspan="2">試験条件設定の考え方</th> <th colspan="3">性能試験条件</th> </tr> <tr> <th>温度</th> <th>加振振幅</th> <th>累積消費エネルギー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High})</td> <td>実機使用条件より減衰性能を高く取得するため，室温，微小加振振幅，微小累積消費エネルギーとする。</td> <td>常温</td> <td>小</td> <td>小</td> </tr> <tr> <td>低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low})</td> <td>実機使用条件より減衰性能を低く取得するため，実機使用で想定される最高温度，最大加振振幅，最大累積消費エネルギーとする。</td> <td>高温^{※1}</td> <td>大^{※1}</td> <td>大^{※1}</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 1 : 実機使用条件を想定して設定する。</p>	取得性能	試験条件設定の考え方	性能試験条件			温度	加振振幅	累積消費エネルギー	高側ダンパ試験性能 (K_{High} , C_{High})	実機使用条件より減衰性能を高く取得するため，室温，微小加振振幅，微小累積消費エネルギーとする。	常温	小	小	低側ダンパ試験性能 (K_{Low} , C_{Low})	実機使用条件より減衰性能を低く取得するため，実機使用で想定される最高温度，最大加振振幅，最大累積消費エネルギーとする。	高温 ^{※1}	大 ^{※1}	大 ^{※1}	
取得性能	試験条件設定の考え方	性能試験条件																			
		温度	加振振幅	累積消費エネルギー																	
高側ダンパ試験性能 (K_{High} , C_{High})	実機使用条件より減衰性能を高く取得するため，室温，微小加振振幅，微小累積消費エネルギーとする。	常温	小	小																	
低側ダンパ試験性能 (K_{Low} , C_{Low})	実機使用条件より減衰性能を低く取得するため，実機使用で想定される最高温度，最大加振振幅，最大累積消費エネルギーとする。	高温 ^{※1}	大 ^{※1}	大 ^{※1}																	



第3-9図 高側ダンパ試験性能 (中型の例)



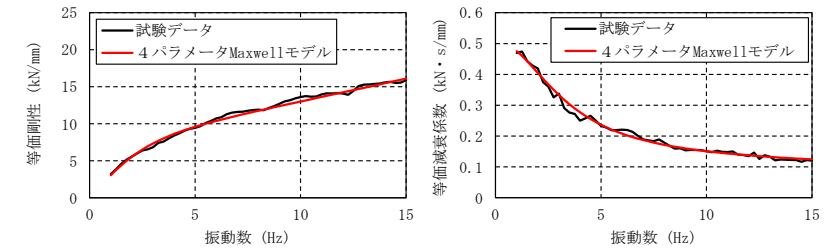
第3-10図 低側ダンパ試験性能 (中型の例)

(3) 三軸粘性ダンパのモデル化

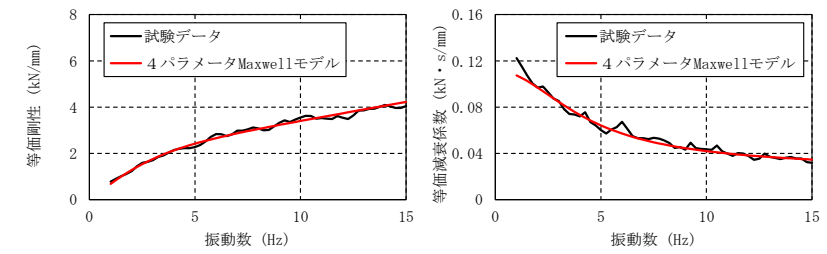
a. 減衰性能のモデル化

性能試験の結果に基づき、三軸粘性ダンパの減衰性能をモデル化する。三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C は振動数依存性を有しているが、4パラメータ Maxwell モデルにより、その振動数特性を精度良くモデル化できる。4パラメータ Maxwell モデルを第3-11図に、4パラメータ Maxwell モデルによる性能試験結果のモデル化を第3-12図及び第3-13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
		<p>三軸粘性ダンパの減衰性能は、水平方向及び鉛直方向でそれぞれ高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High}) 及び低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low}) を性能試験により取得するため、4パラメータ Maxwell モデルは各方向に対して高側及び低側を設定する。</p> <p>b. ばらつきの考慮</p> <p>三軸粘性ダンパの減衰性能のばらつきを考慮して、地震応答解析に用いる解析モデルを設定する。性能試験結果に基づいてモデル化した三軸粘性ダンパの高側及び低側の減衰性能に対して、さらに第3-4表のうち製造公差による±10%のばらつきと、据付公差による±20%のばらつきを合わせて±30%のばらつきとして考慮し、解析上の減衰性能の上限 ($K_1=1.3 \times K_{High}$, $C_1=1.3 \times C_{High}$) 及び下限 ($K_5=0.7 \times K_{Low}$, $C_5=0.7 \times C_{Low}$) を第3-14図のように設定する。また、保守的に変動及びばらつきを考慮することで上限と下限の減衰性能の差が大きくなるため、等間隔に補間した減衰性能も設定することとし、上限と下限を含めた5段階の減衰性能を設定する。地震応答解析モデルにおける減衰性能の設定を第3-6表、第3-15図に示す。</p> <div data-bbox="1765 1071 2478 1354" style="text-align: center;"> <p>k_a, k_b :ばね剛性 c_a, c_b :ダッシュポットの減衰係数</p> </div> <p>第3-11図 三軸粘性ダンパの4パラメータ Maxwell モデル</p>	

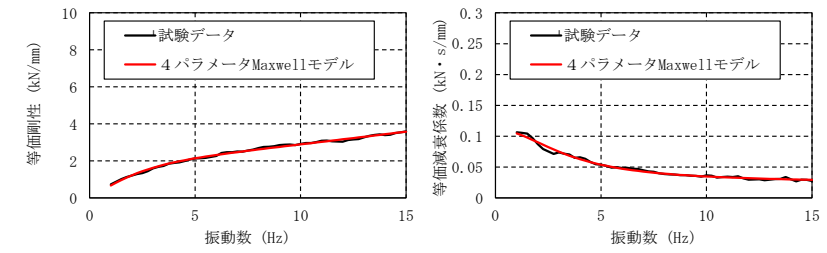


(H-1) 等価剛性 K_{High} (水平方向) (H-2) 等価減衰係数 C_{High} (水平方向)

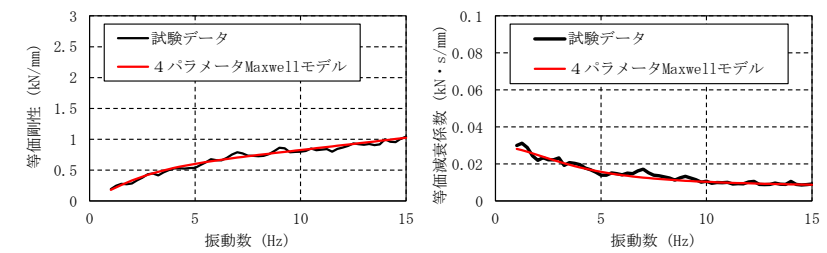


(V-1) 等価剛性 K_{High} (鉛直方向) (V-2) 等価減衰係数 C_{High} (鉛直方向)

第3-12図 高側ダンパ試験性能のモデル化 (中型の例)



(H-1) 等価剛性 K_{Low} (水平方向) (H-2) 等価減衰係数 C_{Low} (水平方向)



(V-1) 等価剛性 K_{Low} (鉛直方向) (V-2) 等価減衰係数 C_{Low} (鉛直方向)

第3-13図 低側ダンパ試験性能のモデル化 (中型の例)

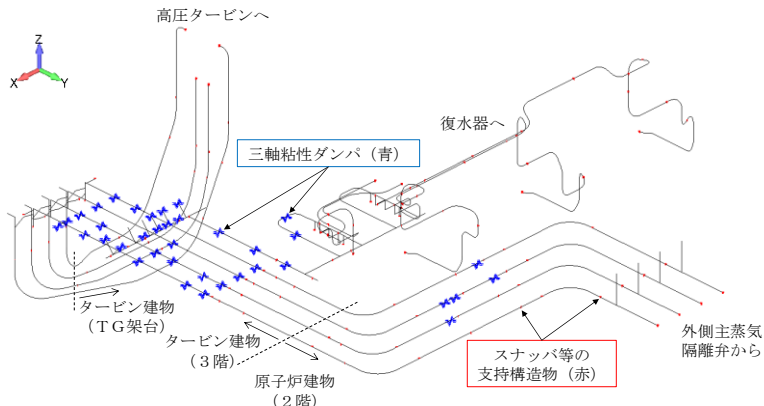
第3-6表 地震応答解析モデルにおける減衰性能の設定

解析モデル	減衰性能
1	K_1, C_1 (上限)
2	均等に内挿
3	
4	
5	K_5, C_5 (下限)

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
		<div data-bbox="1745 226 2481 642"> <p>(H-1) 等価剛性 (水平方向) (H-2) 等価減衰係数 (水平方向)</p> <p>(V-1) 等価剛性 (鉛直方向) (V-2) 等価減衰係数 (鉛直方向)</p> </div> <p>第 3-14 図 性能試験による減衰性能の上限と下限の設定 (中型の例)</p> <div data-bbox="1745 814 2481 1230"> <p>(H-1) 等価剛性 (水平方向) (H-2) 等価減衰係数 (水平方向)</p> <p>(V-1) 等価剛性 (鉛直方向) (V-2) 等価減衰係数 (鉛直方向)</p> </div> <p>第 3-15 図 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定 (中型の例)</p> <p>(3) 三軸粘性ダンパの解析モデルの追加</p> <p>三軸粘性ダンパをモデル化した 4 パラメータ Maxwell モデルを配管系の地震応答解析モデルに追加することにより，三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析モデルを作成する。</p> <p>3.2.4 地震応答解析手法</p> <p>三軸粘性ダンパを設置した配管系は減衰が大きくなるため，地震応答解析手法としてスペクトルモーダル解析は適用できず，時刻歴応答解析を適用する (添付資料 3-9 参照)。三軸粘性ダンパの減衰性能の上限と下限を含めた 5 段階の減衰性能に対応した地震応答解析を行い，これらの最大応答を用いて耐震評価を行う。</p> <p>配管系の減衰定数については，別紙-7 添付資料-6 「最新知見</p>	

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
		<p>として得られた減衰定数の採用について」に示す配管系の減衰定数を適用する。</p> <p>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。三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析では、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 (添付資料 1-3 参照)。</p> <p>3.2.5 三軸粘性ダンパ評価</p> <p>三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析によって得られた応答値が、三軸粘性ダンパの減衰性能を取得した性能試験の試験条件の範囲内であることを確認する。</p> <p>また、三軸粘性ダンパが許容限界を満足し、地震時にその機能を維持する設計とするため、三軸粘性ダンパは許容荷重及び許容変位を満たすように設計する。なお、許容変位の評価においては配管系の熱移動も考慮する。</p> <p>3.2.6 配管系評価</p> <p>三軸粘性ダンパを設置する外側主蒸気隔離弁から低圧タービン、復水器までの主蒸気系配管の耐震重要度分類はBクラスであり、外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの範囲はS d 機能維持設計とするため、応力評価等における許容限界は第 3-7 表のとおりとする。許容限界は、J E A G 4 6 0 1 等に基づき設定することを基本とする。</p>	

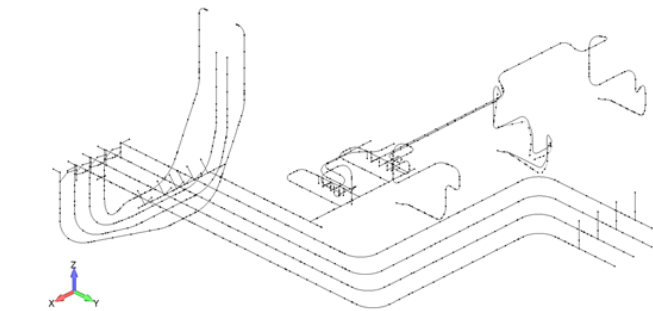
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																					
		<p style="text-align: center;">第3-7表 配管系評価における評価方法及び許容限界</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">範囲</th> <th style="width: 15%;">地震力</th> <th style="width: 10%;">部位</th> <th style="width: 40%;">評価方法</th> <th style="width: 20%;">許容限界</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで</td> <td rowspan="3">静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力</td> <td>配管</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 BASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>支持構造物</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 BASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>三軸粘性ダンパ</td> <td>三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容荷重及び許容変位</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">弾性設計用地震動Sdによる地震力</td> <td>配管</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IVASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>支持構造物</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 IVASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>三軸粘性ダンパ</td> <td>三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容荷重及び許容変位</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">上記以外の範囲</td> <td rowspan="3">静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力</td> <td>配管</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 BASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>支持構造物</td> <td>部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容応力状態 BASの許容応力</td> </tr> <tr> <td>三軸粘性ダンパ</td> <td>三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。</td> <td>許容荷重及び許容変位</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.3 耐震評価結果</p> <p>3.3.1 評価条件</p> <p>(1) 評価対象配管モデル</p> <p>外側主蒸気隔離弁から高圧タービン、復水器までの配管系を対象としてSd機能維持評価結果を示す。配管モデルを第3-16図に示す。当該配管モデルには三軸粘性ダンパを37箇所設置予定である。</p> <p>三軸粘性ダンパを設置する前の配管モデルの固有周期及び刺激係数を第3-8表に示す。また、主要な振動モードのモード図を第3-17図に示す。</p> <p>(2) 入力地震動</p> <p>弾性設計用地震動Sd-1, Sd-D, Sd-F1, Sd-F2, Sd-N1, Sd-N2のうち最も評価上厳しいと考えられるSd-1を入力地震動とする。なお詳細設計段階においては、弾性設計用地震動の6波を考慮して、耐震評価を実施する。Sd-1の加速度時刻歴及び床応答スペクトルを第3-18図～第3-21図に示す。</p>	範囲	地震力	部位	評価方法	許容限界	外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで	静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力	支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力	三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位	弾性設計用地震動Sdによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IVASの許容応力	支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IVASの許容応力	三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位	上記以外の範囲	静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力	支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力	三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位	
範囲	地震力	部位	評価方法	許容限界																																				
外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで	静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力																																				
		支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力																																				
		三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位																																				
	弾性設計用地震動Sdによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IVASの許容応力																																				
		支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 IVASの許容応力																																				
		三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位																																				
上記以外の範囲	静的地震力及び弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じたものによる地震力	配管	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力																																				
		支持構造物	部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。	許容応力状態 BASの許容応力																																				
		三軸粘性ダンパ	三軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び許容変位																																				

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
		<p>評価対象配管は原子炉建物及びタービン建物に支持されるため、各支持点（三軸粘性ダンパ及びスナッチ等の支持構造物）に対応した各建物の加速度時刻歴を入力する。なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮して、解析は三方向同時入力により実施する。</p> <p>3.3.2 評価結果</p> <p>三軸粘性ダンパを含む配管系の評価結果を第3-9表～第3-12表に、配管の最大応力発生箇所を第3-22図に示す。三軸粘性ダンパを含めた配管系の構造強度評価が成立し、三軸粘性ダンパの応答値が解析上の前提条件の範囲内であることを確認した。なお、三軸粘性ダンパ以外の支持構造物については算出された荷重に基づいて設計を行う。また、地震応答解析は5段階の減衰性能を設定して実施することから、5段階の減衰性能と配管系の地震応答についてまとめた結果を添付資料3-10に示す。</p> <p>三軸粘性ダンパの配管取付部の構造等の詳細については、添付資料3-11に示す。</p>  <p>第3-16図 評価対象の配管モデル</p>	

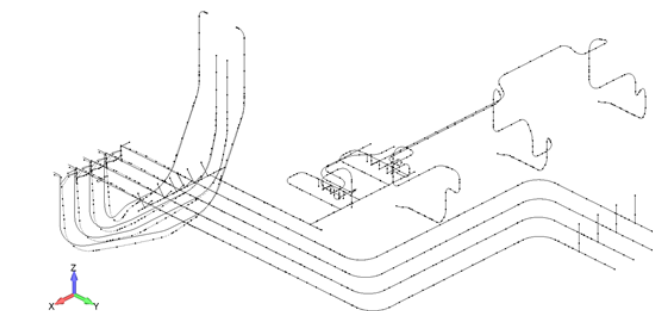
第3-8表 固有周期及び刺激係数

モード	固有周期 (s)	刺激係数 ^{※1}		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.141	0.023	0.433	-1.608
2次	0.138	-1.826	6.356	-4.263
3次	0.112	0.726	-0.214	0.053
4次	0.109	6.901	13.153	1.067
5次	0.108	0.684	-0.335	-1.264
6次	0.106	-4.331	1.345	-0.471
7次	0.103	0.765	-0.701	-0.642
8次	0.102	-0.068	0.387	0.273
65次	0.050	3.859	1.941	-0.146

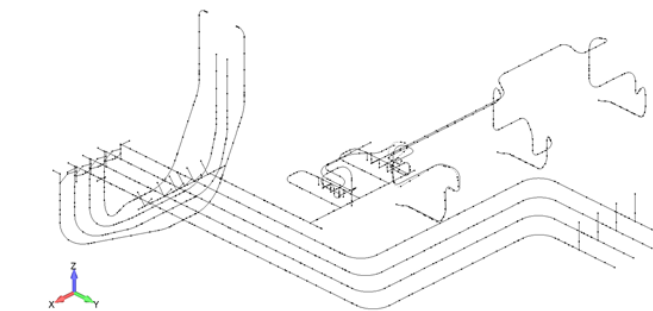
※1：モード質量が1となるように固有ベクトルを正規化して算出



(a) 1次モード

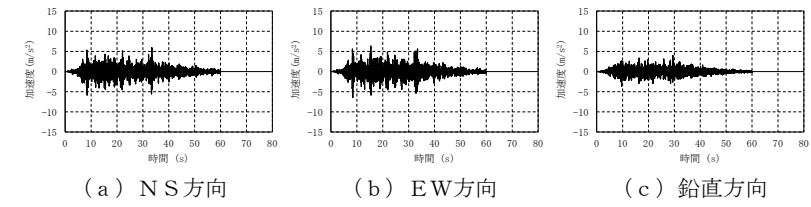


(b) 2次モード

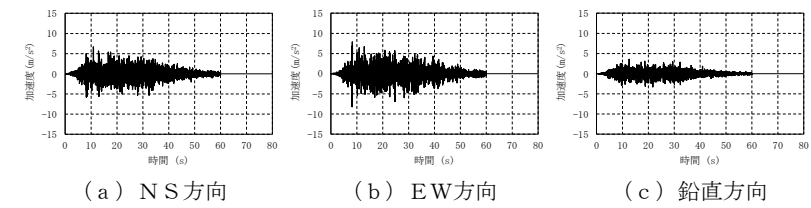


(c) 3次モード

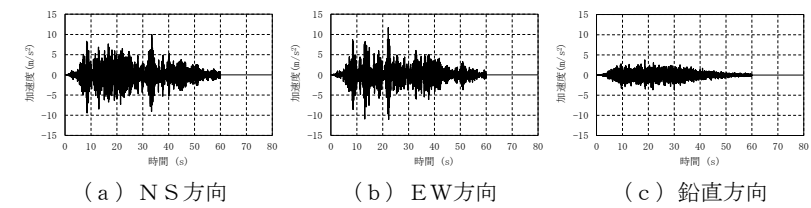
第3-17図 振動モード図



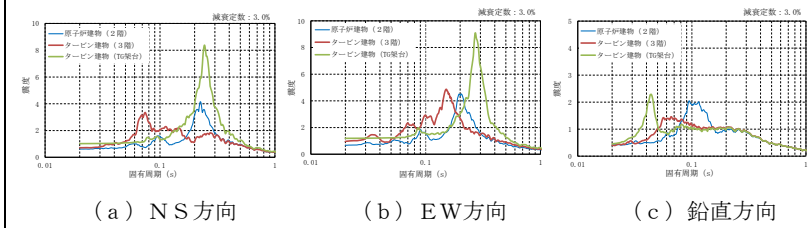
第3-18図 原子炉建物 (2階: EL. 23800) の加速度時刻歴



第3-19図 タービン建物 (3階: EL. 20600) の加速度時刻歴



第3-20図 タービン建物 (TG 架台: EL. 20480) の加速度時刻歴

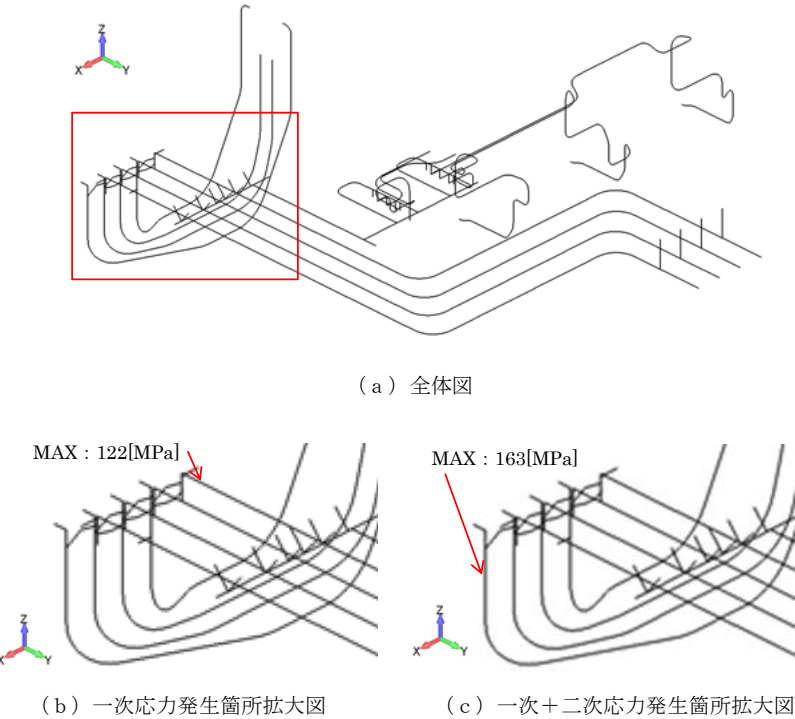


第3-21図 床応答スペクトル

第3-9表 配管の構造強度評価結果

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

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																																												
		<p data-bbox="1822 212 2407 239">第3-10表 三軸粘性ダンパの構造強度評価結果</p> <table border="1" data-bbox="1843 254 2368 436"> <thead> <tr> <th colspan="2">評価項目</th> <th>発生値</th> <th>許容限界</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">最大荷重^{※1}</td> <td>水平</td> <td>117 (kN)</td> <td>350 (kN)</td> </tr> <tr> <td>鉛直</td> <td>36 (kN)</td> <td>140 (kN)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最大変位^{※1}</td> <td>水平</td> <td>4.3 (mm)</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>鉛直</td> <td>2.7 (mm)</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1843 443 2125 470">※1：最も厳しい結果を記載</p> <p data-bbox="1724 527 2481 604">第3-11表 三軸粘性ダンパ取付部（クランプ）の構造強度評価結果</p> <table border="1" data-bbox="1843 625 2368 737"> <thead> <tr> <th colspan="2">評価項目</th> <th>発生値</th> <th>許容限界</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">最大荷重^{※1}</td> <td>水平</td> <td>117 (kN)</td> <td>156 (kN)</td> </tr> <tr> <td>鉛直</td> <td>36 (kN)</td> <td>140 (kN)</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1843 743 2125 770">※1：最も厳しい結果を記載</p> <p data-bbox="1733 842 2496 869">第3-12表 三軸粘性ダンパの応答値と解析上の前提条件の比較</p> <table border="1" data-bbox="1843 898 2368 1094"> <thead> <tr> <th colspan="2">評価項目</th> <th>発生値</th> <th>解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">最大変位^{※1}</td> <td>水平</td> <td>4.3 (mm)</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>鉛直</td> <td>2.7 (mm)</td> </tr> <tr> <td>累積消費</td> <td>水平</td> <td>12.3 (kJ)</td> </tr> <tr> <td>エネルギー^{※1}</td> <td>鉛直</td> <td>3.6 (kJ)</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1843 1100 2125 1127">※1：最も厳しい結果を記載</p>	評価項目		発生値	許容限界	最大荷重 ^{※1}	水平	117 (kN)	350 (kN)	鉛直	36 (kN)	140 (kN)	最大変位 ^{※1}	水平	4.3 (mm)		鉛直	2.7 (mm)	評価項目		発生値	許容限界	最大荷重 ^{※1}	水平	117 (kN)	156 (kN)	鉛直	36 (kN)	140 (kN)	評価項目		発生値	解析条件	最大変位 ^{※1}	水平	4.3 (mm)		鉛直	2.7 (mm)	累積消費	水平	12.3 (kJ)	エネルギー ^{※1}	鉛直	3.6 (kJ)	
評価項目		発生値	許容限界																																												
最大荷重 ^{※1}	水平	117 (kN)	350 (kN)																																												
	鉛直	36 (kN)	140 (kN)																																												
最大変位 ^{※1}	水平	4.3 (mm)																																													
	鉛直	2.7 (mm)																																													
評価項目		発生値	許容限界																																												
最大荷重 ^{※1}	水平	117 (kN)	156 (kN)																																												
	鉛直	36 (kN)	140 (kN)																																												
評価項目		発生値	解析条件																																												
最大変位 ^{※1}	水平	4.3 (mm)																																													
	鉛直	2.7 (mm)																																													
累積消費	水平	12.3 (kJ)																																													
エネルギー ^{※1}	鉛直	3.6 (kJ)																																													

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
		 <p>(a) 全体図</p> <p>(b) 一次応力発生箇所拡大図</p> <p>(c) 一次+二次応力発生箇所拡大図</p> <p>MAX : 122[MPa]</p> <p>MAX : 163[MPa]</p> <p>第3-22図 配管の最大応力発生箇所</p> <p>4. 実績との比較</p> <p>既工認実績のある制震装置との差異に着目し、機器・配管系への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。既工認実績との差異の確認結果について、詳細は添付資料1-2に示す。</p> <p>また、三軸粘性ダンパについては、海外実績と島根2号炉における耐震評価方法を添付資料3-12で比較し、海外実績に加えて減衰性能の変動及びばらつきを考慮していることを示した。</p> <p>制震装置を設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえて重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮していることを確認するため、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正平成29年11月15日，原規技発第1711152号）」に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討を実施していることを確認した。確認の結果を添付資料1-4に示す。工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。</p>	

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
		<p>5. まとめ</p> <p>単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパは、その減衰性能を Maxwell モデルにより精度良くモデル化できる。単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパの減衰性能の表現方法及びモデル化の考え方について、添付資料 1-5 で比較して示した。また、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーン及び三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析では、減衰性能の変動及びばらつきを踏まえて段階的に設定した減衰性能に対応した地震応答解析を行い、これらの最大応答を用いて耐震評価を行う。従って、単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパのモデル化は妥当であり、減衰性能の変動及びばらつきを適切に考慮していることから、地震応答解析手法として妥当と考える。</p> <p>設定した耐震評価方法に基づき、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーン及び三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震評価を実施し、構造成立性を確認した。</p> <p>【参考文献】</p> <p>(1) 免震構造の審査手引きの提案 (平成 26 年 1 月) 独立行政法人原子力安全基盤機構</p> <p>(2) 三方向粘性ダンパを適用した機器・配管系の地震応答解析法に関する確性試験報告書 (平成 28 年 3 月) 一般財団法人 発電設備技術検査協会</p> <p>(3) I. Tamura, M. Kuramasu, "A STUDY ABOUT THE EFFECTIVENESS OF SEISMIC SAFETY IMPROVEMENT BY INSTALLING VISCOELASTIC DAMPERS AT PIPING SYSTEMS AND COMPONENTS," Proceedings of ICAPP 2017, Fukui and Kyoto (Japan), April 24-28, 2017.</p> <p>(4) V. Kostarev, I. Tamura, M. Kuramasu, F. Barutzki, P. Vasiliev, Y. Enomoto, Y. Namita, S. Okita, Y. Sato , "Shaking Table Test of a Piping System with Viscoelastic Dampers Subjected to Severe Earthquake Motions," ASME Pressure Vessels & Piping Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, July 17-21, 2016, PVP2016-64004 (2016).</p> <p>(5) I. Tamura, M. Kuramasu, F. Barutzki, D. Fischer, V. Kostarev, A. Berkovsky, P. Vasiliev, T. Inoue, S. Okita, Y. Namita, "Dynamic Analysis of NPP Piping System and Components with Viscoelastic Dampers Subjected to Severe Earthquake Motions," ASME Pressure Vessels & Piping Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, July</p>	

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
		<p>17-21, 2016, PVP2016-64029 (2016).</p> <p>(6) 免震構造設計指針 日本建築学会</p> <p>(7) パッシブ制振構造 設計・施工マニュアル 第2版 社団法人日本免震構造協会</p> <p>(8) 金子美香, 熊谷仁志, 岡田敬一, “三次元大型振動台と三次元大振幅振動台の開発”, 日本地震工学会論文集第16巻, 第9号, 2016</p> <p>(9) Masaya Aoyama, Toshiaki Itou, Kouji Yamamoto, Hiroki Matsunaga, Ryouta Inoue, Shuhei Kaneko, “Development and Design of System to Control Vibrations due to Human Rhythmic Action of Concert Audiences using Floating Mass Damper,” Proceedings of the 7th Structural Engineers World Congress 2019 Architecture and Structure : From Past to Future, Istanbul, Turkey, April 24-26, 2019.</p>	

添付資料 1-1 制震装置の減衰性能に影響する検討項目の抽出

制震装置の減衰性能の設定において考慮すべき事項について「免震構造の審査手引きの提案（平成 26 年 1 月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して第 1-1-1 添表に整理した。各項目について単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパの構造、使用条件、性能試験方法等を踏まえて、減衰性能への影響の検討要否を第 1-1-2 添表に整理した。第 1-1-2 添表で検討要となった項目については、制震装置のモデル化にあたって減衰性能への影響を検討する。

第 1-1-1 添表 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (1/3)

項目	内容	記載箇所
①制震装置に応じた減衰性能の設定	制震装置に応じた減衰性能の設定方法について検討する。	【本文】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 31 【解説】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 38 【審査等のポイント】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 42
②地震入力方向	地震入力方向による減衰性能の変化について検討する。	【本文】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 31 【解説】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 38 【審査等のポイント】 5. 4. 8(機器免震に係る考慮事項)(1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 42
③使用環境	使用環境を踏まえて減衰性能を設定する。	【本文】 5. 4. 6 p. 30 【解説】 5. 4. 6 p. 33

<p>柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)</p>	<p>東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)</p>	<p>島根原子力発電所 2号炉</p> <p>第1-1-1 添表 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (2/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1804 1115 1834 1226">項目</th> <th data-bbox="1804 793 1834 1115">内容</th> <th data-bbox="1804 254 1834 793">記載箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1893 1115 1923 1226">④ 温度</td> <td data-bbox="1893 793 1952 1115">減衰性能の変化要因として温度による影響を検討する。</td> <td data-bbox="1834 254 1952 793">【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1982 1115 2012 1226">⑤ 速度</td> <td data-bbox="1982 793 2041 1115">減衰性能の変化要因として速度による影響を検討する。</td> <td data-bbox="1982 254 2041 793">【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.31</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2041 1115 2071 1226">⑥ 振動数</td> <td data-bbox="2041 793 2101 1115">減衰性能の変化要因として振動数による影響を検討する。</td> <td data-bbox="2041 254 2101 793">【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2101 1115 2131 1226">⑦ 連続加振</td> <td data-bbox="2101 793 2160 1115">作動中の減衰性能の変化について検討する。</td> <td data-bbox="2101 254 2160 793">【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2190 1115 2220 1226">⑧ 経年劣化</td> <td data-bbox="2190 793 2249 1115">経年劣化による減衰性能のばらつきについて検討する。</td> <td data-bbox="2160 254 2309 793">【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41 【参考資料-4】</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	記載箇所	④ 温度	減衰性能の変化要因として温度による影響を検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41	⑤ 速度	減衰性能の変化要因として速度による影響を検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.31	⑥ 振動数	減衰性能の変化要因として振動数による影響を検討する。	【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36	⑦ 連続加振	作動中の減衰性能の変化について検討する。	【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41	⑧ 経年劣化	経年劣化による減衰性能のばらつきについて検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41 【参考資料-4】	<p>備考</p>
項目	内容	記載箇所																			
④ 温度	減衰性能の変化要因として温度による影響を検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41																			
⑤ 速度	減衰性能の変化要因として速度による影響を検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.31																			
⑥ 振動数	減衰性能の変化要因として振動数による影響を検討する。	【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.36																			
⑦ 連続加振	作動中の減衰性能の変化について検討する。	【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p.41																			
⑧ 経年劣化	経年劣化による減衰性能のばらつきについて検討する。	【本文】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】 5.4.8(建屋免震・機器免震共通)の考慮事項(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41 【参考資料-4】																			

<p>柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)</p>	<p>東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)</p>	<p>島根原子力発電所 2号炉</p> <p>第1-1-1 添表 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (3/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1852 1150 2039 1272">項目</th> <th data-bbox="1852 806 2039 1150">内容</th> <th data-bbox="1852 231 2039 806">記載箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1881 1150 2039 1272">⑩製造公差</td> <td data-bbox="1881 806 2039 1150">製造公差による減衰性能のばらつきについて検討する。</td> <td data-bbox="1881 231 2039 806">【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2068 1150 2139 1272">⑪据付公差</td> <td data-bbox="2068 806 2139 1150">据付公差による減衰性能のばらつきについて検討する。</td> <td data-bbox="2068 231 2139 806">【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2139 1150 2228 1272">⑫制震装置の構造上の動作制限</td> <td data-bbox="2139 806 2228 1150">制震装置の構造上、動作に影響を与える機構等があれば、その影響を検討する。</td> <td data-bbox="2139 231 2228 806">【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震装置変位防止用ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー、結露に対する免震機能の変化の考慮 p.36</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2288 1150 2460 1272">⑬地震以外の外的事象</td> <td data-bbox="2288 806 2460 1150">地震以外の外的事象による減衰性能への影響を検討する。</td> <td data-bbox="2288 231 2460 806">【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.42</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	記載箇所	⑩製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41	⑪据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41	⑫制震装置の構造上の動作制限	制震装置の構造上、動作に影響を与える機構等があれば、その影響を検討する。	【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震装置変位防止用ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー、結露に対する免震機能の変化の考慮 p.36	⑬地震以外の外的事象	地震以外の外的事象による減衰性能への影響を検討する。	【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.42	<p>備考</p>
項目	内容	記載箇所																
⑩製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41																
⑪据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.35 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつき p.41																
⑫制震装置の構造上の動作制限	制震装置の構造上、動作に影響を与える機構等があれば、その影響を検討する。	【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震装置変位防止用ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー、結露に対する免震機能の変化の考慮 p.36																
⑬地震以外の外的事象	地震以外の外的事象による減衰性能への影響を検討する。	【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.31 【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.36 【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等外的事象に対する免震機能の変化の考慮 p.42																

第1-1-2添表 減衰性能への影響の検討項目の抽出

項目 ^{※1}	要否	車軸粘性ダンパ 理由	三軸粘性ダンパ 理由
①制震装置に応じた減衰性能の検証	-	車軸粘性ダンパの性能試験結果を踏まえて減衰性能を適切にモデル化する。	三軸粘性ダンパの性能試験結果を踏まえて減衰性能を適切にモデル化する。
②地震入力方向	-	車軸粘性ダンパは、制震方向のみ動作することから、この方向に加振して減衰性能を取得する。	三軸粘性ダンパは、水平方向は回転軸が構造であり方向による減衰性能の違いはないが、水平方向は鉛直方向では動作機構が異なるためそれぞれ性能試験を実施して減衰性能を取得する。また、三軸に動作するものであることから、水平・鉛直両方向による減衰性能への影響を確認する。
③ ④温度 使用 環境	-	屋外で使用するため、使用環境温度の変化は小さい。また、減衰性能に對する温度の影響は小さいことを試験により確認済みである。(添付2-2-2参照)	屋内の使用環境範囲による減衰性能への影響を確認する。
放熱線	-	屋外で使用するため放熱線の影響を受けない。	放熱線による減衰性能への影響を確認する。
⑤経年劣化	-	化学的に安定な粘弾体を使用しており、減衰性能の劣化は生じない。車軸粘性ダンパは10年以上の継続使用の実績がある。	化学的に安定な粘弾体を使用しており、減衰性能の劣化は生じない。三軸粘性ダンパは10年以上の継続使用の実績がある。
⑥振動数	○	振動数による減衰性能への影響を確認する。	三軸粘性ダンパの減衰性能は振動数依存性を有することから、この振動数特性を適切にモデル化する。
⑦速度	-	車軸粘性ダンパは非線形の振動を示すことから、減衰性能は速度と抵抗力の関係として把握し、これを適切にモデル化する。	速度(振幅)等による減衰性能への影響を確認する。
⑧連続加振	○	連続加振による減衰性能への影響を確認する。	連続加振による減衰性能への影響を確認する。
⑨製造公差	○	製造公差による減衰性能のばらつきが生じる。	製造公差による減衰性能のばらつきが生じる。
⑩振付公差	-	車軸粘性ダンパはオリフィス等を粘弾体が移動する際の運動抵抗により減衰性能を発生させるため、ヒストン位置による減衰性能の変化は小さい。また、振付時にシムによりヒストン位置を調整するため、振付公差は小さい。	振付公差による減衰性能のばらつきが生じる。
⑪制震装置の構造上の動作制限	-	変位防止ストロップ、右座、補強、変位防止カバー等の制震装置の動作を制限するものは設置しておらず、減衰性能に影響はない。また、シリンドラは密封構造で、密閉されているため影響はない。	変位防止ストロップ、右座、補強等の制震装置の動作を制限するものは設置しておらず、変位防止カバーにあたる密封スリーブは柔軟性を有しておりヒストンの動作に影響するものではないため、減衰性能に影響はない。また、屋内で使用し、使用環境において結露は生じない。
⑫地震以外の外的事象	-	津波対策の実施により津波の敷地内への流入は防止しており、津波による減衰性能への影響を考慮する必要はない。なお、シリンドラは密封構造であるため、雨水の影響はない。また、車軸粘性ダンパは円筒形状であり、風及び積層により受け変じる荷重は小さく、動作への影響はない。	屋内で使用するため、津波、風、積雪等の外的事象による減衰性能への影響はない。

※1：第1-1-2添表内の各項目番号は、第1-1-1添表内の各項目番号に対応している。
 ※2：三軸粘性ダンパの減衰性能は振動数に応じて表現しており、ある振動数において加振速度を変更することは加振振幅を変更すること等しいため、加振振幅を変更することにより減衰性能の減衰依存性を把握する。

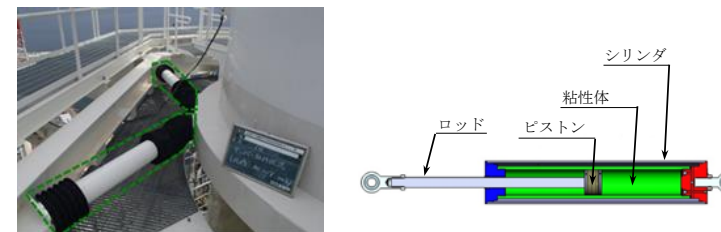
添付資料 1-2 既工認実績のある制震装置との差異の整理

1. はじめに

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパ及び配管系に設置する三軸粘性ダンパと既工認実績である島根2号炉排気筒に設置した制震装置(単軸粘性ダンパ)との差異に着目し、機器・配管系への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理する。

2. 島根2号炉の排気筒で実績のある制震装置について

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



第1-2-1添図 島根2号炉の排気筒に設置した単軸粘性ダンパの外観及び構造

第1-2-1添表 単軸粘性ダンパの仕様

全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
1350	165	86	144	300

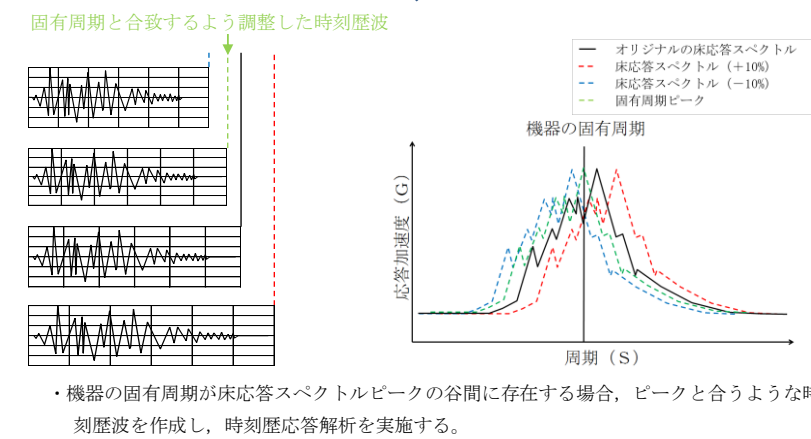
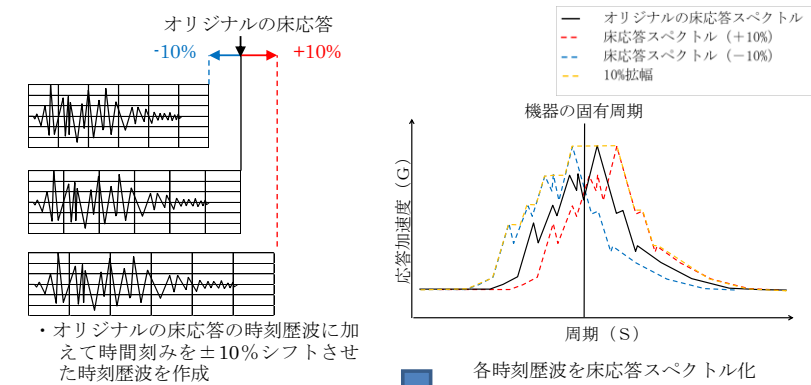
3. 今回適用する制震装置と既工認実績のある制震装置の差異

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパ及び配管系に設置する三軸粘性ダンパと島根2号炉排気筒の単軸粘性ダンパを比較し、機器・配管系への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。結果を第1-2-2添表及び第1-2-

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																																																										
		<p>ー3 添表に示す。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。</p> <p>第1-2-2 添表 適用実績のある制震装置との差異の整理 (単軸粘性ダンパ)</p> <table border="1" data-bbox="1757 432 2490 930"> <thead> <tr> <th></th> <th>単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】</th> <th>単軸粘性ダンパ 【取水槽ガントリクレーン】</th> <th>差異</th> <th>検討内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>適用対象</td> <td>排気筒</td> <td>取水槽ガントリクレーン</td> <td>○</td> <td>適用対象のモデル化の方法を検討 (2.1.3 参照)</td> </tr> <tr> <td>環境条件</td> <td>屋外</td> <td>屋外</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>制震装置</td> <td>単軸線形タイプ</td> <td>単軸非線形タイプ</td> <td>○</td> <td>制震装置のモデル化の方法を検討 (2.2.3 参照)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">解析</td> <td>制震装置モデル</td> <td>Maxwellモデル</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>解析手法</td> <td>時刻歴応答解析</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>第1-2-3 添表 適用実績のある制震装置との差異の整理 (三軸粘性ダンパ)</p> <table border="1" data-bbox="1757 1110 2490 1640"> <thead> <tr> <th></th> <th>単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】</th> <th>三軸粘性ダンパ 【配管系】</th> <th>差異</th> <th>検討内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>適用対象</td> <td>排気筒</td> <td>配管系</td> <td>○</td> <td>適用対象のモデル化の方法を検討 (3.1.3 参照)</td> </tr> <tr> <td>環境条件</td> <td>屋外</td> <td>屋内</td> <td>○</td> <td>屋内の環境条件による制震装置の減衰性能への影響を検討 (3.2.1 参照)</td> </tr> <tr> <td>制震装置</td> <td>単軸線形タイプ</td> <td>三軸非線形タイプ</td> <td>○</td> <td>制震装置のモデル化の方法を検討 (3.2.3 参照)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">解析</td> <td>制震装置モデル</td> <td>Maxwellモデル (4パラメータ)</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>解析手法</td> <td>時刻歴応答解析</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>		単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】	単軸粘性ダンパ 【取水槽ガントリクレーン】	差異	検討内容	適用対象	排気筒	取水槽ガントリクレーン	○	適用対象のモデル化の方法を検討 (2.1.3 参照)	環境条件	屋外	屋外	—	—	制震装置	単軸線形タイプ	単軸非線形タイプ	○	制震装置のモデル化の方法を検討 (2.2.3 参照)	解析	制震装置モデル	Maxwellモデル	—	—	解析手法	時刻歴応答解析	—	—		単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】	三軸粘性ダンパ 【配管系】	差異	検討内容	適用対象	排気筒	配管系	○	適用対象のモデル化の方法を検討 (3.1.3 参照)	環境条件	屋外	屋内	○	屋内の環境条件による制震装置の減衰性能への影響を検討 (3.2.1 参照)	制震装置	単軸線形タイプ	三軸非線形タイプ	○	制震装置のモデル化の方法を検討 (3.2.3 参照)	解析	制震装置モデル	Maxwellモデル (4パラメータ)	—	—	解析手法	時刻歴応答解析	—	—	
	単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】	単軸粘性ダンパ 【取水槽ガントリクレーン】	差異	検討内容																																																									
適用対象	排気筒	取水槽ガントリクレーン	○	適用対象のモデル化の方法を検討 (2.1.3 参照)																																																									
環境条件	屋外	屋外	—	—																																																									
制震装置	単軸線形タイプ	単軸非線形タイプ	○	制震装置のモデル化の方法を検討 (2.2.3 参照)																																																									
解析	制震装置モデル	Maxwellモデル	—	—																																																									
	解析手法	時刻歴応答解析	—	—																																																									
	単軸粘性ダンパ 【島根2号炉排気筒】	三軸粘性ダンパ 【配管系】	差異	検討内容																																																									
適用対象	排気筒	配管系	○	適用対象のモデル化の方法を検討 (3.1.3 参照)																																																									
環境条件	屋外	屋内	○	屋内の環境条件による制震装置の減衰性能への影響を検討 (3.2.1 参照)																																																									
制震装置	単軸線形タイプ	三軸非線形タイプ	○	制震装置のモデル化の方法を検討 (3.2.3 参照)																																																									
解析	制震装置モデル	Maxwellモデル (4パラメータ)	—	—																																																									
	解析手法	時刻歴応答解析	—	—																																																									

添付資料 1-3 Time History Broadening の概要

ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1
 -NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History
 Broadening) より引用



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					
		<p>添付資料 1-4 新規制基準適合性審査の実績等を踏まえた検討事項に対する考察</p> <p>制震装置を設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえて重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮されていることを確認する。具体的には、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正 平成 29 年 11 月 15 日，原規技発第 1711152 号）」（以下「工認審査ガイド」という。）に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討が実施されていることを確認する。</p> <p>確認の結果を第 1-4-1 添表に示す。工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。</p> <p>第 1-4-1 添表 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (1/4)</p> <table border="1" data-bbox="1810 798 2211 1900"> <thead> <tr> <th data-bbox="1810 1764 1914 1900">検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)</th> <th data-bbox="1810 1302 1914 1764">工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容</th> <th data-bbox="1810 798 1914 1302">追加検討 事項の有無 (○：有 —：無 (考慮済))</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1914 1764 2211 1900">4. 1 使用材料及び材 料定数</td> <td data-bbox="1914 1302 2211 1764"> 単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン 機器・配管系の地震応答解析及び構造設計において、工認審査ガイドに従って適用可能な規格及び基準等を使用する。 地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。なお、制震装置により機器・配管系に付与される減衰が大きくなるため、影響は軽微であると考えているが、詳細設計段階において ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行い、影響が軽微であることを確認する (添付資料 1-3 参照)。 </td> <td data-bbox="1914 798 2211 1302"> — (考慮済) — (考慮済) </td> </tr> </tbody> </table>	検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容	追加検討 事項の有無 (○：有 —：無 (考慮済))	4. 1 使用材料及び材 料定数	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン 機器・配管系の地震応答解析及び構造設計において、工認審査ガイドに従って適用可能な規格及び基準等を使用する。 地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。なお、制震装置により機器・配管系に付与される減衰が大きくなるため、影響は軽微であると考えているが、詳細設計段階において ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行い、影響が軽微であることを確認する (添付資料 1-3 参照)。	— (考慮済) — (考慮済)
検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容	追加検討 事項の有無 (○：有 —：無 (考慮済))						
4. 1 使用材料及び材 料定数	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン 機器・配管系の地震応答解析及び構造設計において、工認審査ガイドに従って適用可能な規格及び基準等を使用する。 地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。なお、制震装置により機器・配管系に付与される減衰が大きくなるため、影響は軽微であると考えているが、詳細設計段階において ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行い、影響が軽微であることを確認する (添付資料 1-3 参照)。	— (考慮済) — (考慮済)						

第1-4-1 添表 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (2/4)

検討事項 (工認審査ガイド) 4. 機器・配管系 に関する事項	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容		追加検討 事項の有無 (○:有 —:無)
	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
4. 2 荷重及び荷重の 組合せ	地震力と地震力以外の荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき適切に組み合わせる。	同左	— (考慮済)
4. 3 許容限界	取水槽ガントリクレーンに係る許容限界及び単軸粘性ダンパの許容荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定する。 単軸粘性ダンパの許容変位は、その構造、寸法に基づき設定する。	配管、支持構造物に係る許容限界及び三軸粘性ダンパの許容荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定する。 三軸粘性ダンパの許容変位は、その構造、寸法に基づき設定する。	— (考慮済)
4. 4 地震応答解析 4. 4. 1 地震応答解析手 法及び地震応 答解析モデル	地震応答解析手法は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は、性能試験結果に基づいてモデル化し、減衰性能のばらつきを考慮する。 取水槽ガントリクレーンの水平方向及び鉛直方向の減衰定数については、最新の知見を反映して設定する。詳細は、別紙-7 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」に示す。	地震応答解析手法は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等を参考に設定する。 配管系の地震応答解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等を参考に設定する。また、三軸粘性ダンパの減衰性能は、性能試験結果に基づいてモデル化し、減衰性能の変動及びばらつきを考慮する。 配管系の水平方向及び鉛直方向の減衰定数については、最新の知見を反映して設定する。詳細は、別紙-7 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」に示す。	— (考慮済)

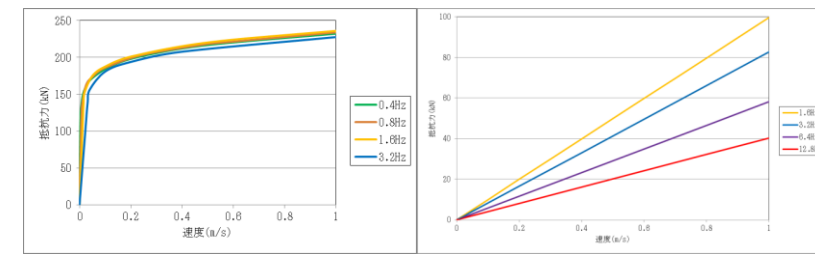
第1-4-1 添表 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (3/4)

検討事項 工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容		追加検討 事項の有無 ○：有 —：無 (考慮済) (考慮済)
	単軸粘性ダンバを設置する取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンバを設置する配管系	
4. 4. 2 入力地震力	入力地震力は、取水槽ガントリクレーン設置位置の応答波を用いる。	入力地震力は、配管系設置位置の応答波を用いる。	— (考慮済)
4. 5 構造設計手法 4. 5. 1 構造解析手法及 び構造解析モデ ル	構造解析手法及び構造解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。構造解析モデルの材料定数は、「4. 1 使用材料及び材料定数」による。	構造解析手法及び構造解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。構造解析モデルの材料定数は、「4. 1 使用材料及び材料定数」による。	— (考慮済)
4. 5. 2 水平方向及び鉛 直方向地震力の 組合せ	水平2方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関しては、三方向同時入力により地震応答解析を行う。	水平2方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関しては、三方向同時入力により地震応答解析を行う。	— (考慮済)

第1-4-1 添表 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (4/4)

検討事項 工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容		追加検討 事項の有無 ○：有 —：無
	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン	三軸粘性ダンパを設置する配管系	
4. 6 基準地震動Ssによる地震力に対する耐震設計 4. 6. 1 構造強度	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動Ssによる地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものである。構造強度に関する耐震設計においては、耐震性を確認する上で必要な評価対象部位を決定し、施設に作用する応力等が工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定した許容限界を超えていないことを確認する。	三軸粘性ダンパを設置する配管系はBクラス（一部Sd機能維持設計）であり、基準地震動Ssによる地震力に対する耐震設計の対象に該当しない。	— (考慮済) 【取水槽ガントリクレーン】
4. 6. 2 動的機能	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動Ssによる地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものであり、動的機能維持の対象に該当しない。	三軸粘性ダンパを設置する配管系はBクラス（一部Sd機能維持設計）であり、動的機能維持の対象に該当しない。	— (対象外) 【配管系】
4. 7 弾性設計用地震動Sdによる地震力・静的地震力に対する耐震設計	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動Ssによる地震力に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要求されるものであり、弾性設計用地震動Sdによる地震力及び静的地震力に対する耐震設計の対象に該当しない。	三軸粘性ダンパを設置する配管系はBクラス（一部Sd機能維持設計）である。構造強度に関する評価対象部位においては、耐震性を確認する上で必要な評価対象部位を決定し、施設に作用する応力等が工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定した許容限界を超えていないことを確認する。	— (対象外) 【取水槽ガントリクレーン】 — (考慮済) 【配管系】

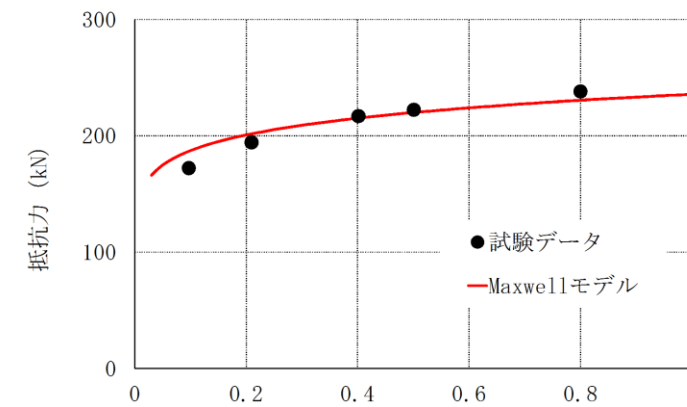
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>添付資料 1-5 制震装置に応じた減衰性能の表現及びモデル化</p> <p>本資料では、単軸粘性ダンパと三軸粘性ダンパについて減衰性能の特性を整理し、その違いを踏まえた減衰性能の表現及びモデル化の考え方を示す。</p> <p>1. 制震装置の減衰性能の振動数依存性</p> <p>単軸粘性ダンパと三軸粘性ダンパについて、振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係を第 1-5-1 添図に示す。</p> <p>単軸粘性ダンパは、微小速度の領域を除けば速度の変化に対して抵抗力の変化が小さい。一方、三軸粘性ダンパは、速度と抵抗力がほぼ比例関係とみなすことができる。</p> <p>また、振動数の変化に対して、単軸粘性ダンパはの速度と抵抗力の関係の変化は小さいが、三軸粘性ダンパは速度と抵抗力の関係の変化が大きい。</p> <p>2. 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化</p> <p>単軸粘性ダンパは、微小速度では速度の変化に対して抵抗力が大きく変化し、それ以降は速度の変化に対して抵抗力の変化が小さいという特性を有している。これは単軸粘性ダンパの抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するように設計されているためである。また、単軸粘性ダンパの速度と抵抗力の関係に対して、振動数依存性は小さいことが確認されている。このような特性を踏まえて、単軸粘性ダンパの減衰性能は、速度と抵抗力の関係として表現することとし、解析モデルとしては速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットを組み込んだ Maxwell モデルを使用する。Maxwell モデルのパラメータ数は 2 つであるが、第 1-5-2 添図に示すとおり、2 つのパラメータで精度良く減衰性能を表現することができる。</p> <p>3. 三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化</p> <p>三軸粘性ダンパは減衰性能の振動数依存性が大きいことから、各振動数における等価剛性及び等価減衰係数により減衰性能を表現する。また、解析モデルとしては減衰性能の振動数特性を表現できる Maxwell モデルを使用する。</p> <p>一般的な Maxwell モデルのパラメータ数は 2 つであるが、精度良く振動数特性を表現することを目的として、パラメータ数を増やした 4 パラメータ Maxwell モデルを使用する(第 1-5-3 添図参照)。</p>	



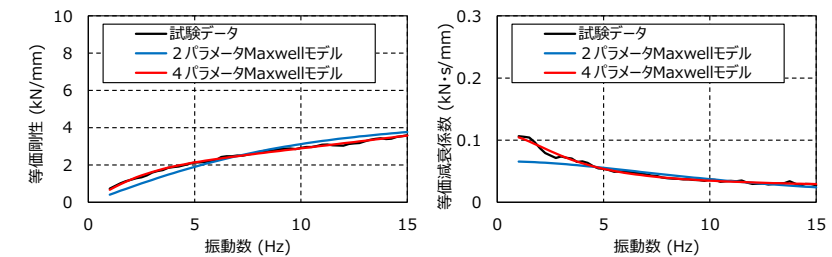
(a) 単軸粘性ダンパ

(b) 三軸粘性ダンパ

第1-5-1 添図 振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係



第1-5-2 添図 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化



(H-1) 等価剛性 (水平方向)

(H-2) 等価減衰係数 (水平方向)

第1-5-3 添図 三軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

添付資料 2-1 取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の選定

取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置として単軸粘性ダンパを選定した理由について第 2-1-1 添表に整理した。

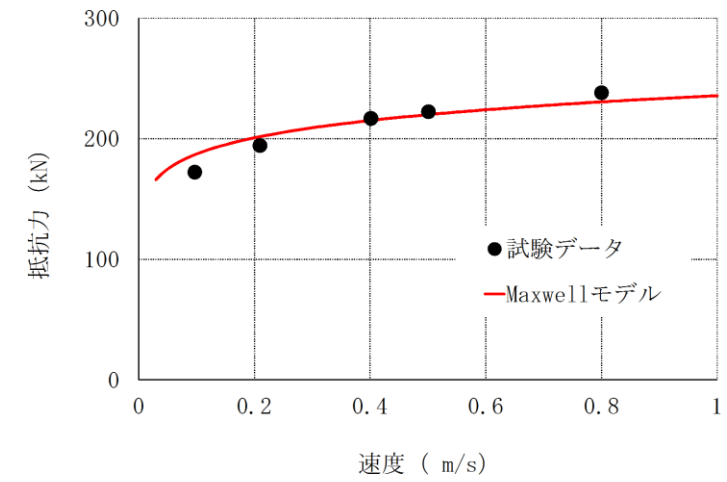
第 2-1-1 添表 取水槽ガントリクレーンに設置する制震装置の検討

分類	ダンパの種類	原理	作動方向	支持荷重	抵抗力の特性	原子力施設における適用実績	適用性	理由
履歴型	弾塑性ダンパ	材料の弾塑性変位を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1方向 又は 2方向	熱影響 地震荷重	抵抗力は、材料の初期剛性、二次剛性で決まる。 抵抗力は、硬質材の締め付け力等で決定し、履歴曲線は矩形に近い。	なし	△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰返しにより抵抗力が変化する。また、ダンパの剛性が高いため、クレーンの剛性が高くなる。
	摩擦ダンパ	摩擦抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ					○	粘性ダンパと特性は類似しているが、加振繰返し回数が多いと、性能が変化する場合がある。
	鉛ダンパ	鉛の塑性流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ					△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰返しにより抵抗力が変化する。
粘性型	粘性ダンパ (非線形)	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1方向	地震荷重	抵抗力は速度のべき乗(0.1~1)に比例し、0.1 乗の場合、履歴曲線は矩形に近い。 抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。	なし	◎	微小変位から最大変位まで、抵抗力の変化が小さく、エネルギー吸収が大きい。また、クレーンの剛性を高くせず、地震エネルギーの吸収を大きくできる。
	粘性ダンパ (線形)	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ					○	適用は可能であるが、粘性ダンパほどのエネルギー吸収が期待できない。
	オイルダンパ	オイルの流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ					○	適用は可能であるが、粘性ダンパほどのエネルギー吸収が期待できない。
三軸	粘性ダンパ	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ	3方向		抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。	海外での適用例あり	△	取水槽ガントリクレーンは1軸方向の地震荷重の低減を必要としているため、3方向の減衰は必要ない。

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
		<p>添付資料 2-2 単軸粘性ダンパの性能試験方法</p> <p>単軸粘性ダンパは、微小速度の領域を除けば速度の変化に対する抵抗力の変化を小さくすることを目的として、速度の 0.1 乗に比例した減衰性能を発揮するように設計されており、性能試験で設計通りの抵抗力が得られることを確認する。また、抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルによりモデル化できることを確認する。ここでは、Maxwell モデルのパラメータを決定し、単軸粘性ダンパをモデル化するための性能試験方法について示す。</p> <p>1. 単軸粘性ダンパの性能試験方法</p> <p>単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成を第 2-2-1 添図に示す。単軸粘性ダンパの性能試験では、アクチュエータを用いて単軸粘性ダンパを所定の正弦波により加振し、加振中の変位及び荷重を測定する。性能試験条件を第 2-2-1 添表に示す。加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパのストローク 100mm の中で実機使用条件を含む幅広い試験速度 (0.1~0.8m/s) を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパ設置前の取水槽ガントリクレーンの固有振動数 (1.03Hz) 及び予備解析における単軸粘性ダンパの入力波形の主要な振動数 (0.8Hz~2.0Hz 程度) を考慮して加振振動数は 1.6Hz とした。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は温度の影響を受けない (添付資料 2-3 参照) ことから、性能試験は室温にて実施した。単軸粘性ダンパの性能試験結果を第 2-2-2 添図に示す。測定した速度及び抵抗力に適合するように、Maxwell モデルのパラメータを決定する。パラメータの設定は最小二乗法により実施しており、第 2-2-2 添図に示すとおり、Maxwell モデルによって試験結果として得られた減衰性能を精度良く表現できることを確認した。</p> <div data-bbox="1724 1507 2475 1814" style="border: 1px solid black; height: 146px; width: 253px; margin: 10px auto;"></div> <p>第 2-2-1 添図 単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成</p>	

第2-2-1 添表 単軸粘性ダンパの性能試験条件

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

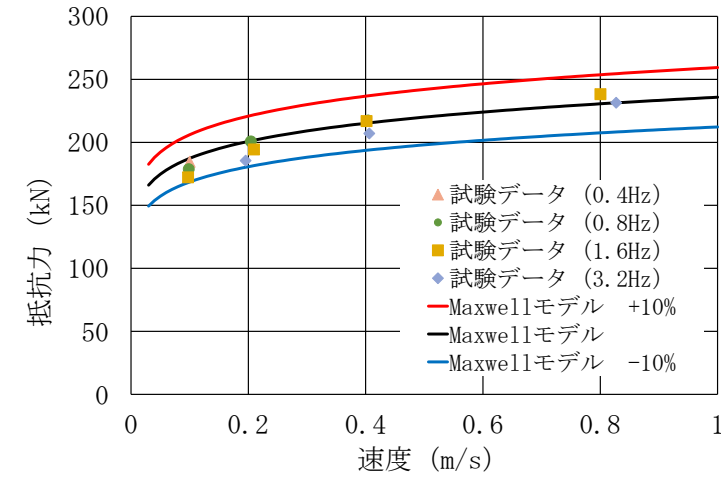


第2-2-2 添図 単軸粘性ダンパの性能試験結果

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																													
		<p>添付資料 2-3 単軸粘性ダンパの特性試験</p> <p>単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する特性を把握するために実施した特性試験の結果を以下に示す。なお、(1)及び(2)の特性試験は、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパを用いて実施した。また、(3)温度依存性試験については、温度による減衰性能への影響が生じる場合、その主要な要因は粘性体の物性変化と考えられることから、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと同タイプ(粘性体が同一)で定格荷重の異なるダンパを用いた。</p> <p><試験項目></p> <p>(1) 加振振動数を変更した特性試験 (2) 連続加振試験 (3) 温度依存性試験</p> <p>1. 加振振動数を変更した特性試験</p> <p>加振振動数に応じた単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、以下の試験条件で単軸粘性ダンパの特性試験を実施した。</p> <p>1.1 試験条件</p> <p>4段階の加振速度を設定し、同一の加振速度で振動数を変更した正弦波により特性試験を実施した。試験条件を第2-3-1添表に示す。</p> <p>第2-3-1添表 加振振動数を変更した特性試験の試験条件</p> <table border="1" data-bbox="1834 1346 2335 1724"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>加振速度 (m/s)</th> <th>振動数 (Hz)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td rowspan="3">0.1</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td rowspan="3">0.2</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td rowspan="3">0.4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td rowspan="2">0.8</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table>	No.	加振速度 (m/s)	振動数 (Hz)	1	0.1	0.4	2	0.8	3	1.6	4	0.2	0.8	5	1.6	6	3.2	7	0.4	0.8	8	1.6	9	3.2	10	0.8	1.6	11	3.2	
No.	加振速度 (m/s)	振動数 (Hz)																														
1	0.1	0.4																														
2		0.8																														
3		1.6																														
4	0.2	0.8																														
5		1.6																														
6		3.2																														
7	0.4	0.8																														
8		1.6																														
9		3.2																														
10	0.8	1.6																														
11		3.2																														

1.2 試験結果

試験結果を第2-3-1添図に示す。この図には、加振振動数1.6Hzの時のMaxwellモデルによる計算値をあわせて示しているが、振動数を変更することによる抵抗力の変化は小さく、その変化幅は±10%以内であることが確認された。



第2-3-1添図 加振振動数を変更した単軸粘性ダンパの特性試験結果

2. 連続加振試験

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

2.1 試験条件

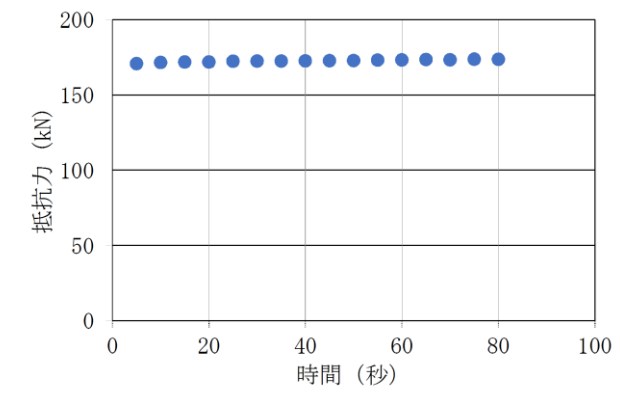
第2-3-2添表に試験条件を示す。試験条件は、取水槽ガントリクレーンにおける単軸粘性ダンパの散逸エネルギーを上回る条件として設定した。

第2-3-2添表 連続加振による試験条件

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

2.2 試験結果

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



第2-3-2 添図 連続加振試験結果

3. 温度依存性試験

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

3.1 試験条件

試験条件を第2-3-3 添表に示す。屋外に設置することから、温度は-10℃、23℃、40℃の3段階とした。

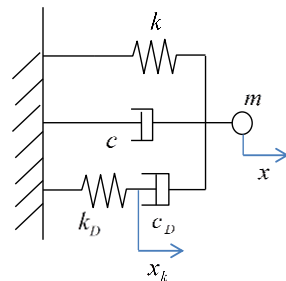
第2-3-3 添表 温度依存性試験の試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)	温度 (℃)
1	1.0	0.13	-10
2			23
3			40
4		0.26	-10
5			23
6			40
7		0.39	-10
8			23
9			40
10		0.52	-10
11			23
12			40

3.2 試験結果

試験結果を第2-3-3 添図に示す。温度が異なっても、抵抗力にほとんど差が見られないことから、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響がないことを確認した。

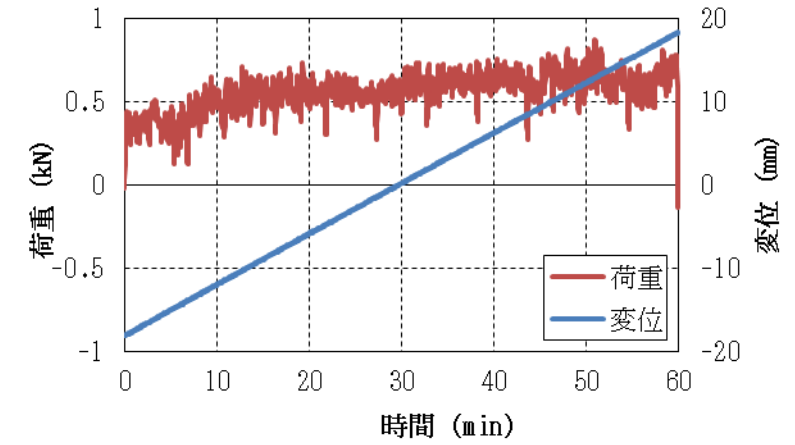
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第2-3-3添図 温度依存性試験結果</p>	

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
		<p>添付資料 2-4 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析手法</p> <p>本資料では、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの時刻歴応答解析手法を説明する。</p> <p>1. 地震応答解析</p> <p>地震による慣性力を受けるクレーンの運動方程式を以下に示す。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばね（クレーンの剛性マトリクスの要素として考慮）と抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットを直列に接続した Maxwell モデルでモデル化する。</p> $[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + [C_D][\dot{X}_D]^{0.1}\{I\} = -[M]\{\ddot{y}\} \quad (1)$ <p>[M], [C], [K]: クレーンの質量, 減衰, 剛性マトリクス [C_D]: 相対速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットの減衰マトリクス [X_D]: クレーンの相対変位マトリクス {x}: クレーンの変位ベクトル {I}: 単位ベクトル y: 地動加速度</p> <p>2. 個別要素のモデル化</p> <p>2.1 単軸粘性ダンパの減衰</p> <p>単軸粘性ダンパを含む系の運動方程式の簡単な例として、1 質点系に単軸粘性ダンパを表す Maxwell モデルを接続した第 2-4-1 添図に示す系の運動方程式を示す。</p>  <p>第 2-4-1 添図 単軸粘性ダンパを接続した 1 質点系のモデル</p> <p>ここで(1)式の {x} を</p> $\{x\} = \begin{pmatrix} x \\ x_k \end{pmatrix} \quad (2)$ <p>とすると、この系の運動方程式は以下となる。</p>	

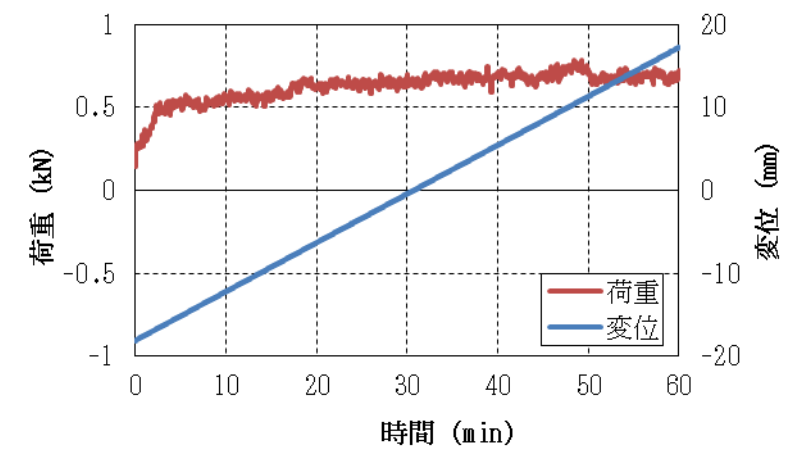
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p> $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = -m\ddot{y} \quad (3)$ $k_D(x_k) - c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = 0 \quad (4)$ </p> <p> 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、単軸粘性ダンパの抵抗力の速度に対する非線形性を表す $[C_D][\dot{\mathbf{x}}_D^{0.1}]\{I\}$ の項が存在することから、直接積分による時刻歴応答解析を採用する。 </p> <p> 2.2 取水槽ガントリクレーンの構造減衰 取水槽ガントリクレーンの解析に適用する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。 </p> $[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5)$ <p> $[C]$: 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 </p> <p> 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。 </p> $h = \frac{\alpha}{2\omega_n} + \frac{\beta\omega_n}{2} \quad (6)$ <p> 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 </p> <p> 2.3 車輪部の非線形要素 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 </p>	

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																																		
		<p>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2-4-2添図に示すように、ギャップ要素と直列に配置する。</p> <p>なお、取水槽ガントリクレーンの車輪部のすべり、浮上り等の非線形挙動のモデル化及び解析手法については、別紙-7 添付資料-2「取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴解析の適用について」に示す。</p> <div data-bbox="1923 577 2285 856" style="text-align: center;"> </div> <p>第2-4-2添図 車輪部の非線形要素</p> <p>添付資料2-5 単軸粘性ダンパの減衰性能と取水槽ガントリクレーンの応答の関係</p> <p>単軸粘性ダンパの減衰性能と取水槽ガントリクレーンの応答の関係を第2-5-1添表及び第2-5-2添表に示す。</p> <p>取水槽ガントリクレーンの荷重及び単軸粘性ダンパの最大変位は、減衰性能を変化させても影響は軽微であった。また、単軸粘性ダンパの最大荷重は、減衰性能が高いほど算出値が大きくなる傾向であり、これは単軸粘性ダンパの減衰性能が高くなることで単軸粘性ダンパが負担する荷重が大きくなるためである。</p> <p>第2-5-1添表 取水槽ガントリクレーンの荷重</p> <table border="1" data-bbox="1745 1516 2481 1822"> <thead> <tr> <th rowspan="2">減衰性能</th> <th colspan="3">ガーダ</th> <th colspan="3">脚</th> </tr> <tr> <th>せん断 (kN)</th> <th>軸力 (kN)</th> <th>曲げモーメント (kN・m)</th> <th>せん断 (kN)</th> <th>軸力 (kN)</th> <th>曲げモーメント (kN・m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>標準性能 +20%</td> <td>708.8</td> <td>1303</td> <td>2043</td> <td>566.3</td> <td>1794</td> <td>3160</td> </tr> <tr> <td>標準性能</td> <td>660.7</td> <td>1262</td> <td>2014</td> <td>512.5</td> <td>1752</td> <td>3189</td> </tr> <tr> <td>標準性能 -20%</td> <td>721.3</td> <td>1335</td> <td>2220</td> <td>499.3</td> <td>1869</td> <td>3267</td> </tr> </tbody> </table>	減衰性能	ガーダ			脚			せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	標準性能 +20%	708.8	1303	2043	566.3	1794	3160	標準性能	660.7	1262	2014	512.5	1752	3189	標準性能 -20%	721.3	1335	2220	499.3	1869	3267	
減衰性能	ガーダ			脚																																	
	せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	せん断 (kN)	軸力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)																															
標準性能 +20%	708.8	1303	2043	566.3	1794	3160																															
標準性能	660.7	1262	2014	512.5	1752	3189																															
標準性能 -20%	721.3	1335	2220	499.3	1869	3267																															

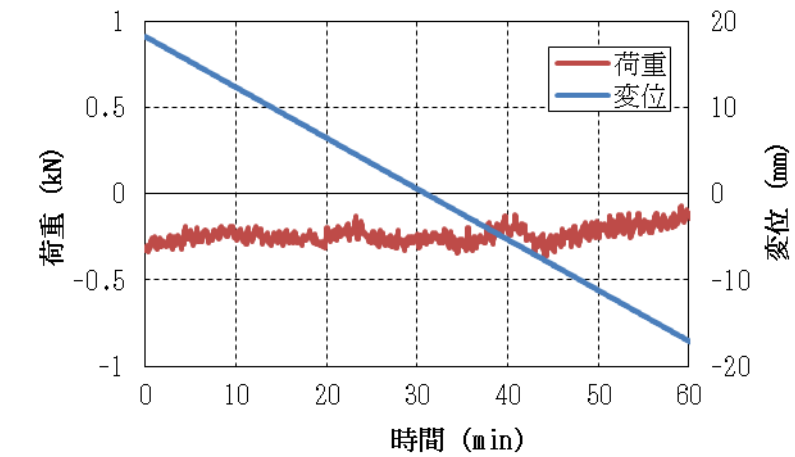
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																				
		<p style="text-align: center;">第2-5-2 添表 単軸粘性ダンパの荷重及び変位</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>減衰性能</th> <th>最大変位 (mm)</th> <th>最大荷重 (kN)</th> <th>最大速度 (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>標準性能+20%</td> <td>41</td> <td>260.2</td> <td>0.44</td> </tr> <tr> <td>標準性能</td> <td>41</td> <td>218.3</td> <td>0.47</td> </tr> <tr> <td>標準性能-20%</td> <td>40</td> <td>173.6</td> <td>0.44</td> </tr> </tbody> </table> <p>添付資料 3-1 三軸粘性ダンパの低速移動時の拘束力</p> <p>1. 概要</p> <p>三軸粘性ダンパは熱膨張のような低速度の運動を拘束しないものであるが、低速移動時の拘束力を定量的に確認するため、低速移動試験を実施した。</p> <p>2. 試験条件</p> <p>低速移動試験の試験条件を第3-1-1 添表に示す。熱膨張が大きい主蒸気配管がプラント起動時に約4.5時間で通常運転温度まで昇温することから、大型ダンパの水平方向許容変位72mmと等しい熱変位が約4.5時間で生じることを想定した場合の速度0.005mm/sに余裕をみて、試験条件は0.01mm/sとした。</p> <p style="text-align: center;">第3-1-1 添表 低速移動試験の試験条件</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>試験体</th> <th>速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大型</td> <td>0.01mm/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 試験結果</p> <p>試験結果を第3-1-1 添図～第3-1-3 添図に示す。熱膨張を想定した低速移動に対して三軸粘性ダンパの発生荷重は1kNを下回る十分に小さな値となり、三軸粘性ダンパは熱膨張のような低速度の運動を拘束しないことが確認された。</p>	減衰性能	最大変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	標準性能+20%	41	260.2	0.44	標準性能	41	218.3	0.47	標準性能-20%	40	173.6	0.44	試験体	速度	大型	0.01mm/s	
減衰性能	最大変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大速度 (m/s)																				
標準性能+20%	41	260.2	0.44																				
標準性能	41	218.3	0.47																				
標準性能-20%	40	173.6	0.44																				
試験体	速度																						
大型	0.01mm/s																						



第3-1-1添図 水平方向の低速移動に対する発生荷重



第3-1-2添図 鉛直方向（ピストンを上げる方向）の低速移動に対する発生荷重



第3-1-3添図 鉛直方向（ピストンを下げる方向）の低速移動に対する発生荷重

添付資料 3-2 配管系に設置する制震装置の選定

配管系に設置する制震装置として三軸粘性ダンパを選定した理由について第3-2-1添表に整理した。

第3-2-1添表 配管系に設置する制震装置の検討

分類	ダンパの種類	原理	作動方向	支持荷重	抵抗力の特性	原子力施設における適用実績	適用性	理由
粘性型	弾塑性ダンパ	材料の弾塑性変形を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1方向 又は 2方向	熱膨張 地盤荷重	抵抗力は、材料の初期弾性、二次弾性で決まる。	なし	△	装置本体では熱膨張を拘束するため、別途熱膨張を逃がす積付方法を検討する必要がある。
	摩擦ダンパ	摩擦抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は、摩擦係数の決め付け力等で決定し、履歴曲線は矩形に近い。		△	
	鉛ダンパ	鉛の慣性流動抵抗力を利用し、エネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は鉛の慣性、二次弾性で決まる。		△	
単軸粘性型	粘性ダンパ (非線形)	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1方向	地盤荷重	抵抗力は速度のべき乗(0.1~1)に比例し、0.1乗の場合、履歴曲線は矩形に近い。	なし	○	三方向に応答する配管系に対して、1方向のみに減衰性能を発揮する。
	粘性ダンパ (線形)	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。		○	
三軸粘性型	粘性ダンパ	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ	3方向	地盤荷重	抵抗力は速度のべき乗(0.4~1)に比例し、履歴曲線は楕円に近い。	海外での適用例あり	○	三方向に減衰性能を発揮するため、三方向に応答する配管系に適している。
	粘性ダンパ	粘性体の流動抵抗力を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。		◎	

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


添付資料 3-3 三軸粘性ダンパに関する ASME Boiler and Pressure Vessel Code の記載

三軸粘性ダンパは ASME Boiler and Pressure Vessel Code において、原子力発電所に設置できる典型的なダンパとして例示されている。三軸粘性ダンパに関する ASME Boiler and Pressure Vessel Code の記載について第 3-3-1 添表に示す。

第 3-3-1 添表 ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION I-Subsection NF-Supports 2013 の記載

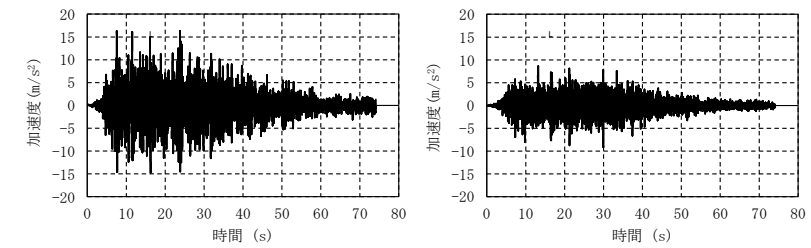
主な記載箇所		記載内容
ARTICLE NF-1000 INTRODUCTION	NF-1100 SCOPE AND GENERAL REQUIREMENTS	NF-1132 Boundary Between Supports and the Building Structure NF-1214 Standard Supports
	NF-1200 TYPES OF SUPPORTS AND ATTACHMENTS	
NONMANDATORY APPENDIX NF-E DAMPERS, ENERGY ABSORBERS, AND SNUBBERS	NF-1210 TYPES OF SUPPORTS	NF-E-1210 DESCRIPTION NF-E-1220 FUNCTION
	NF-E-1000	
ARTICLE NF-E-1000	NF-E-1210 DAMPERS	NF-E-1230 APPLICATIONS NF-E-1240 MODELING

支持構造物と建物・構築物との取合について記載されており、Figure NF-1132-1 の典型例の中に三軸粘性ダンパが図示されている (第 3-3-1 添表参照)。
基本的な支持構造物の例として三軸粘性ダンパが記載されており、Figure NF-1214-1 の支持装置の典型例の中に三軸粘性ダンパが図示されている (第 3-3-1 添表参照)。
ダンパは動的振動を低減させる機能を持つ支持装置として使用され、系に減衰を付加することが記載されている。
三軸粘性ダンパを例として、構造、動作等について記載されている。
ダンパは振動対策や地震対策等に用いられることが記載されている。
ダンパは動的な支持装置であり静的荷重に対しては機能しないことが記載されている。また、機器・配管系にダンパを設置した場合の数値解析法として、モーダル解析及び時刻歴解析が記載されている。

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
		 <p data-bbox="1724 705 2481 779">第3-3-1添図 ASME Boiler and Pressure Vessel Code の関連図</p>	

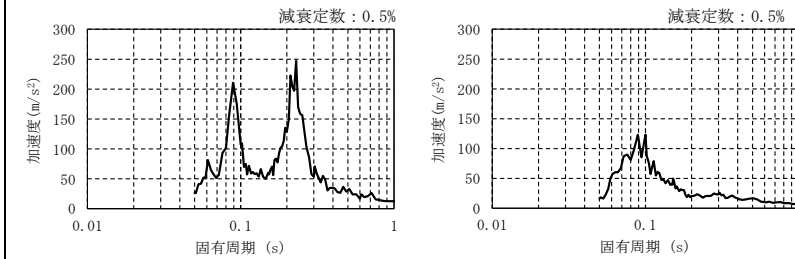
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																		
		<p>添付資料 3-4 三軸粘性ダンパを設置した配管系の加振試験の概要</p> <p>1. 試験の概要</p> <p>配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合の効果を検証するため、配管系の加振試験を実施し、配管応答の低減効果を確認した。試験の概要を第 3-4-1 添表に、加振台仕様を第 3-4-2 添表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第 3-4-1 添表 試験の概要</p> <table border="1" data-bbox="1792 625 2504 693"> <tr> <td>実施期間</td> <td>2014. 6. 9～2014. 6. 13</td> </tr> <tr> <td>実施場所</td> <td>奥村組技術研究所振動台</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">第 3-4-2 添表 加振台仕様</p> <table border="1" data-bbox="1724 831 2504 1062"> <tr> <td>寸法</td> <td colspan="2">4m×4m</td> </tr> <tr> <td>最大積載量</td> <td colspan="2">60t</td> </tr> <tr> <td>運転周波数帯域</td> <td colspan="2">DC-70Hz</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最大加速度^{※1}</td> <td>水平</td> <td>3G</td> </tr> <tr> <td>鉛直</td> <td>3G</td> </tr> </table> <p>※1：定格積載量（20t）での最大加速度を示す。</p> <p>2. 加振試験条件</p> <p>2.1 試験体</p> <p>三軸粘性ダンパを設置した配管系（以下「ダンパ設置配管」という。）と三軸粘性ダンパを設置しない配管系（以下「ダンパ無配管」という。）の2種類の試験体を用いて加振試験を実施した。配管系試験体を第 3-4-1 添図に、配管系試験体構造図を第 3-4-2 添図に示す。いずれの配管系も配管部は 200A Sch40 の直管（STPT410）及びショートエルボ（STPT410）で構成している。また、配管系は終端 2 箇所アンカにより固定され、1 箇所スプリングハンガにより支持されており、弁を模擬した付加質量（372kg）を有する。ダンパ設置配管には、三軸粘性ダンパを配管系の 2 箇所に合計 4 台（2 箇所×2 台）設置した。</p>	実施期間	2014. 6. 9～2014. 6. 13	実施場所	奥村組技術研究所振動台	寸法	4m×4m		最大積載量	60t		運転周波数帯域	DC-70Hz		最大加速度 ^{※1}	水平	3G	鉛直	3G	
実施期間	2014. 6. 9～2014. 6. 13																				
実施場所	奥村組技術研究所振動台																				
寸法	4m×4m																				
最大積載量	60t																				
運転周波数帯域	DC-70Hz																				
最大加速度 ^{※1}	水平	3G																			
	鉛直	3G																			

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
		<div data-bbox="1774 212 2496 485" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1804 491 2466 520" data-label="Caption"> <p>配管系試験体 (ダンパ無配管) 配管系試験体 (ダンパ設置配管)</p> </div> <div data-bbox="1923 569 2288 598" data-label="Caption"> <p>第3-4-1 添図 配管系試験体</p> </div> <div data-bbox="1893 680 2297 1115" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1881 1150 2347 1180" data-label="Caption"> <p>第3-4-2 添図 配管系試験体の構造図</p> </div> <div data-bbox="1724 1245 1923 1274" data-label="Section-Header"> <p>2.2 入力地震波</p> </div> <div data-bbox="1724 1289 2510 1629" data-label="Text"> <p>地震波加振における入力地震波は、耐震バックチェック評価用地震動 S s - 1 (600gal) に対して島根原子力発電所 2号炉原子炉建物の地震応答解析により算出した床応答波を参考に設定した地震波を用いた。入力地震波の加速度時刻歴波形を第3-4-3添図に、応答スペクトルを第3-4-4添図に示す。加振レベルは、配管系が弾性域に留まり、三軸粘性ダンパ設置位置の変位及び荷重が三軸粘性ダンパの許容範囲内となる最大加振レベルを目安として設定した。</p> </div> <div data-bbox="1724 1646 2510 1766" data-label="Text"> <p>配管系試験体は Y 方向加振時の応答よりも X 方向加振時の応答が大きくなる傾向があるため、水平方向加振は X 方向を代表とし、地震波加振は X + Z 方向について実施した。</p> </div> <div data-bbox="1745 1782 2466 1812" data-label="Text"> <p>各試験ケースにおける加速度レベルを第3-4-3 添表に示す。</p> </div>	



(a) 水平方向 (X方向) (b) 鉛直方向 (Z方向)

第3-4-3 添図 入力地震波の加速度時刻歴波形



(a) X方向 (b) Z方向

第3-4-4 添図 入力地震波の応答スペクトル

第3-4-3 添表 地震波加振の試験ケース

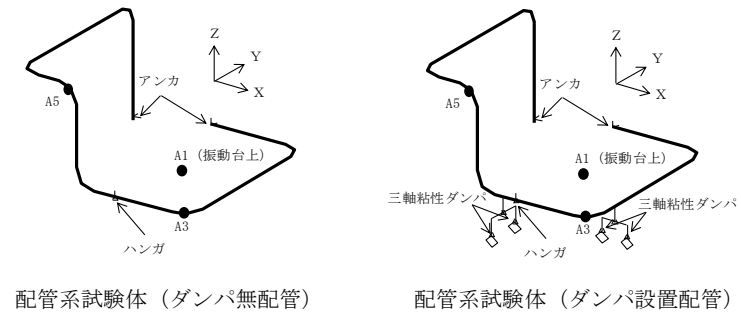
No.	試験体条件	加速度レベル (m/s ²)	
		X方向	Z方向
1	ダンパ無配管	1.5	0.84
2		2.5	1.41
3	ダンパ設置配管	2.5	1.41
4		10	5.6
5		18	10.1

3. 加振試験結果

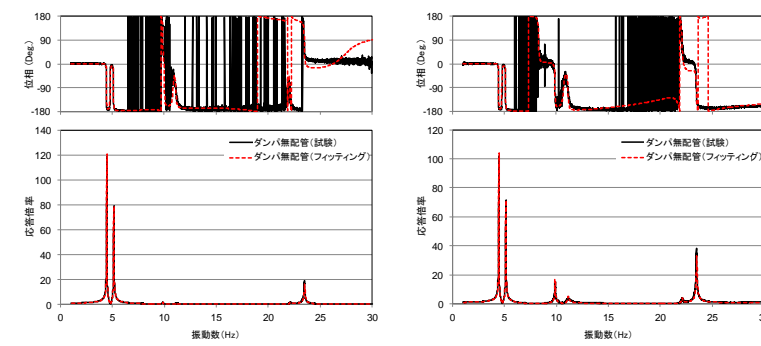
3.1 正弦波掃引試験結果

配管系試験体の概略図を第3-4-5添図に示す。また、ダンパ無配管におけるX方向の正弦波掃引試験結果について、振動台上の加振方向の加速度に対する配管位置の加振方向の応答加速度の振動伝達特性を第3-4-6添図に、カーブフィットにより得られた配管系試験体の固有振動数とモード減衰比を第3-4-4添表に示す。同様にダンパ設置配管での振動伝達特性を第3-4-7添図に、配管系試験体の固有振動数とモード減衰比を第3-4-5添表に示す。第3-4-5添表において、固有振動数とモード減衰比の値は概略値で示す。ダンパ設置配管の場合、配管系の減衰が非常に大きくなり、カーブフィットに対して固有振動数、モード減衰比の感度が低くなるため、モード減衰比を一律20%とした概略値で試験結果とカーブフ

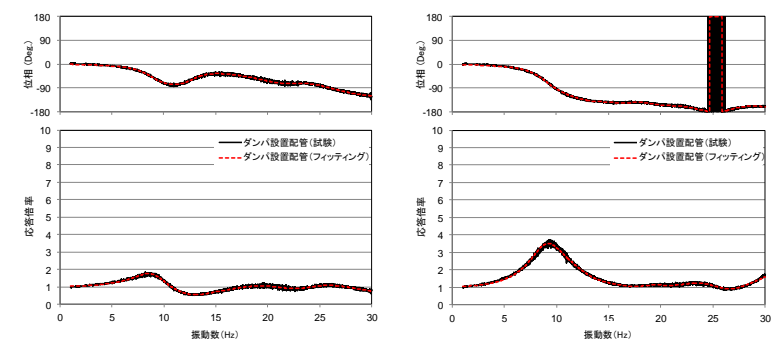
ィットが良好に一致する。これらの結果から、ダンパ無配管では最大で 120 倍程度の応答倍率を持つ複数のピークがあったが、ダンパ設置配管での応答倍率は最大で 4 倍程度まで低減されたことを確認した。また、ダンパ無配管は減衰比が非常に小さいが、ダンパ設置配管は減衰比が非常に大きいことが確認された。



第 3-4-5 添図 配管系試験体の概略図

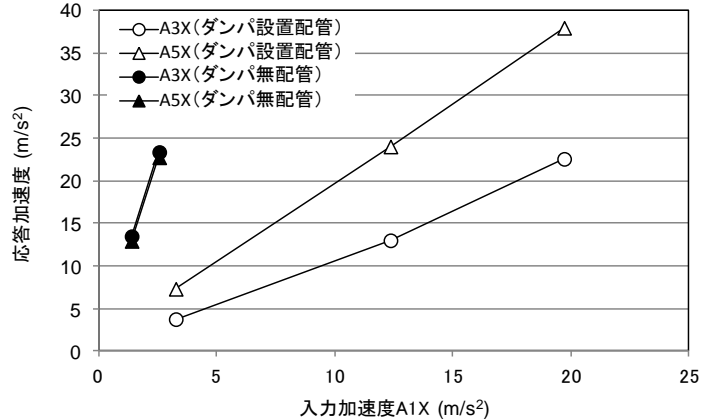
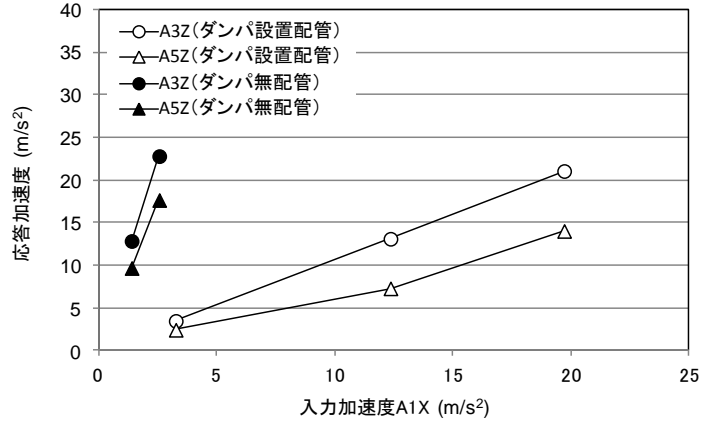


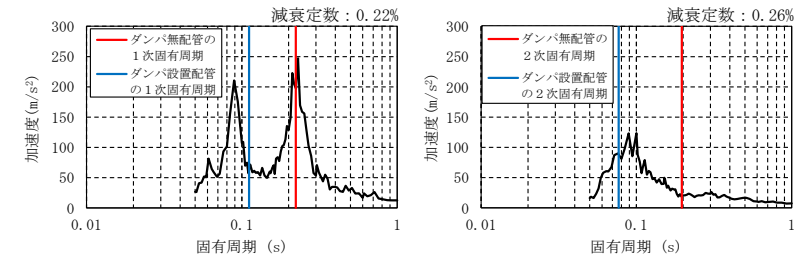
第 3-4-6 添図 振動伝達特性 (ダンパ無配管, X 方向加振, 入力加速度, 0.5m/s²)



第 3-4-7 添図 振動伝達特性 (ダンパ設置配管, X 方向加振, 入力加速度 1.0m/s²)

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																																										
		<p data-bbox="1745 212 2466 239">第3-4-4 添表 固有振動数とモード減衰比 (ダンパ無配管)</p> <table border="1" data-bbox="1855 264 2356 491"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>固有振動数(Hz)</th> <th>モード減衰比(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.1</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>3</td><td>9.9</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>4</td><td>11.1</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>5</td><td>22.1</td><td>0.30</td></tr> <tr><td>6</td><td>23.5</td><td>0.15</td></tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1730 569 2481 596">第3-4-5 添表 固有振動数とモード減衰比 (ダンパ設置配管)</p> <table border="1" data-bbox="1855 621 2356 848"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>固有振動数(Hz)</th> <th>モード減衰比(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9</td><td>20</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td><td>20</td></tr> <tr><td>3</td><td>17</td><td>20</td></tr> <tr><td>4</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>5</td><td>23</td><td>20</td></tr> <tr><td>6</td><td>25</td><td>20</td></tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1715 930 2050 957">3.2 地震波加振の試験結果</p> <p data-bbox="1715 974 2510 1409">入力地震波 (X+Z方向) により加振した場合のダンパ無配管とダンパ設置配管の配管応答加速度を第3-4-8 添図及び第3-4-9 添図に示す。第3-4-8 添図では、ダンパ無配管の応答倍率 (応答 / 入力) が A3 及び A5 の位置で 10 倍程度であるのに対し、ダンパ設置配管の場合の応答倍率は A3 の位置で 1 倍程度、A5 の位置で 2 倍程度であり、応答がそれぞれ 1/10, 1/5 に低減されている。また、第3-4-9 添図では、ダンパ無配管の応答倍率が A3 及び A5 の位置で 10 倍程度であるのに対し、ダンパ設置配管の場合の応答倍率は A3 の位置で 1 倍程度、A5 の位置で 0.7 倍程度であり、応答がそれぞれ 1/10, 7/100 に低減されている。</p> <p data-bbox="1715 1423 2510 1902">地震波加振試験において応答が低減した要因には、ダンパ設置配管のモード減衰比が大きくなったことに加えて、ダンパ設置配管の固有振動数が剛側に変動することによる影響も含まれる。固有振動数の変動による影響について考察するため、X方向の応答が卓越する1次モードと、Z方向の応答が卓越する2次モードに着目し、ダンパ設置前後における床応答スペクトルの値を第3-4-10 添図にて比較した。X方向入力では、1次固有周期における床応答スペクトルの値がダンパ設置前後で0.3倍程度となっており、Z方向入力では、2次固有周期における床応答スペクトルの値がダンパ設置前後で5倍程度となっている。これに対して、地震波加振試験におけるダンパ設置前後の応答倍率の変化はX方向で1/10, 1/5であり、</p>	No.	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)	1	4.5	0.22	2	5.1	0.26	3	9.9	0.26	4	11.1	0.55	5	22.1	0.30	6	23.5	0.15	No.	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)	1	9	20	2	13	20	3	17	20	4	19	20	5	23	20	6	25	20	
No.	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)																																											
1	4.5	0.22																																											
2	5.1	0.26																																											
3	9.9	0.26																																											
4	11.1	0.55																																											
5	22.1	0.30																																											
6	23.5	0.15																																											
No.	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)																																											
1	9	20																																											
2	13	20																																											
3	17	20																																											
4	19	20																																											
5	23	20																																											
6	25	20																																											

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
		<p>床応答スペクトルの低下率よりも大きく低減されている。また、Z方向では床応答スペクトルの値は大きくなっているにも関わらず応答倍率は1/10, 7/100に低減されている。床応答スペクトルの変化よりも大きく応答倍率が低減されていることは、三軸粘性ダンパの設置による減衰の効果と考えられる。</p> <p>以上より、正弦波掃引試験により確認された三軸粘性ダンパの応答低減効果は、地震波加振試験の結果においても確認された。</p>  <p>第3-4-8添図 入力加速度A1Xに対するX方向の応答加速度 (地震波X+Z方向加振)</p>  <p>第3-4-9添図 入力加速度A1Xに対するZ方向の応答加速度 (地震波X+Z方向加振)</p>	



(a) X方向入力 (b) Z方向入力

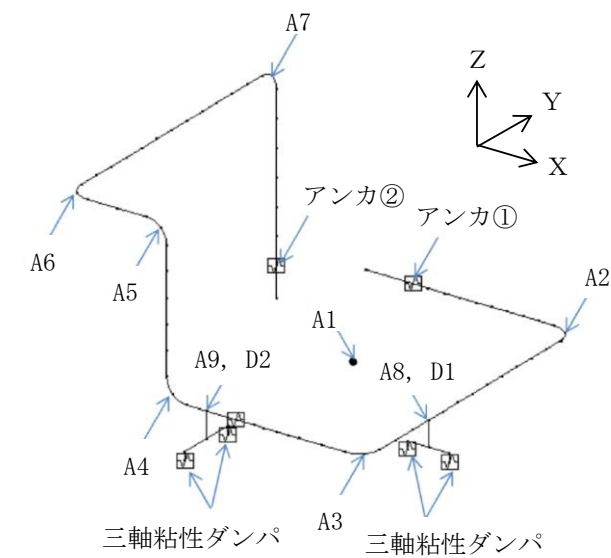
第3-4-10添図 卓越モードの固有周期における応答スペクトルの比較

4. 三軸粘性ダンパを適用した配管系の加振試験結果による妥当性確認

三軸粘性ダンパを適用した配管系の地震応答解析法の妥当性を加振試験結果と解析結果の比較により確認する。

4.1 解析モデル

三軸粘性ダンパを適用した配管系の加振試験の試験体をモデル化して地震応答解析を実施した。解析モデルを第3-4-11添図に示す。なお、解析手法は「3.2.4 地震応答解析手法」の通りであり、その詳細を添付資料3-9に示す。



第3-4-11添図 解析モデル

4.2 解析ケース

「3.2.3 項(3)b. ばらつき考慮」に基づき、三軸粘性ダンパの減衰性能のばらつきを考慮して設定した上限の減衰性能 (K_1, C_1)、下限の減衰性能 (K_5, C_5) 及びその間の3つの内挿点の計5ケースの

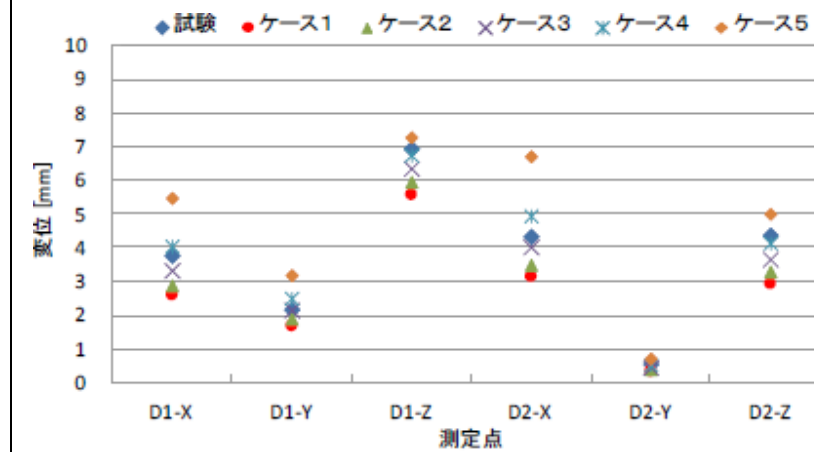
減衰性能により地震応答解析を実施した。地震応答解析ケースを第3-4-6添表に示す。なお、地震応答解析の対象とする試験ケースは、X方向及びZ方向の最大加振ケース（X方向：19.7m/s²、Z方向：10.6m/s²）とした。

第3-4-6添表 解析ケース

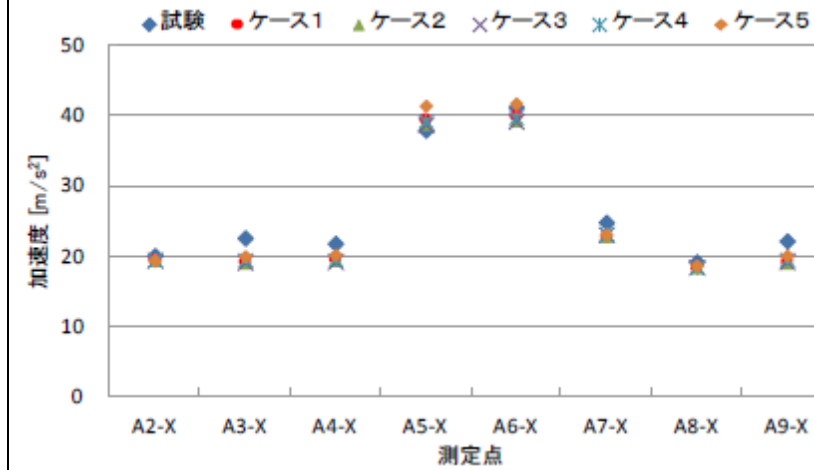
解析ケース	減衰性能
1	K ₁ , C ₁ (上限)
2	均等に内挿
3	
4	
5	K ₅ , C ₅ (下限)

4.3 解析結果

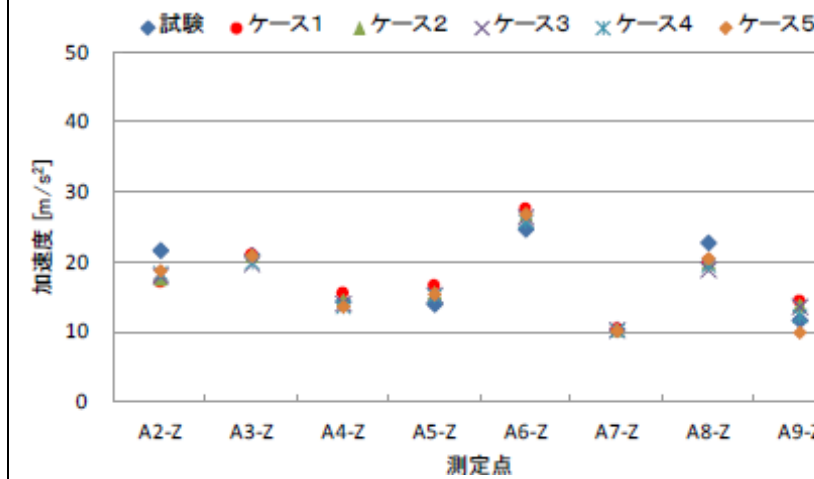
三軸粘性ダンパの最大応答変位の試験結果と解析結果を第3-4-12添図に示す。X方向及びZ方向の最大応答加速度の試験結果と解析結果を第3-4-13添図に示す。三軸粘性ダンパの最大応答変位の解析結果は、試験結果を上回る保守的な評価となっている。また、配管最大応答加速度の解析結果は、試験結果に対して-10%程度以上の精度で一致している。



第3-4-12添図 三軸粘性ダンパ最大応答変位



(a) X方向



(b) Z方向

第3-4-13添図 最大応答加速度

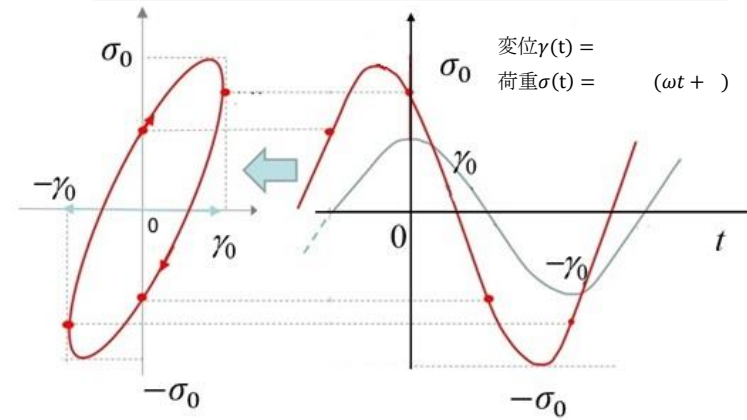
4.4 解析結果の考察

上限の減衰性能 (K_1, C_1), 下限の減衰性能 (K_5, C_5) 及びその間に内挿した減衰性能で地震応答解析を行い, 最大応答変位及び最大応答加速度を適切に評価できることを確認した。最大応答変位については, 解析結果が試験結果を上回っており, 地震動による配管応力を保守的に評価することができる。

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
		<p>添付資料 3-5 三軸粘性ダンパの減衰性能及び解析モデルによる表現</p> <p>1. 三軸粘性ダンパの性能の表し方</p> <p>三軸粘性ダンパに使用される粘性体は粘弾性を有しており、三軸粘性ダンパの減衰性能は粘弾性を表すパラメータにより表現される。一般に粘弾性体を式 (1) に示す正弦波変位 $\gamma(t)$ で加振すると、第 3-5-1 添図に示すように位相が変位に対して δ ($0 \sim \pi/2$) 進んだ荷重 $\sigma(t)$ (式 (2)) が生じる。</p> $\gamma(t) = \gamma_0 \cos \omega t \quad (1)$ $\sigma(t) = \sigma_0 \cos(\omega t + \delta) \quad (2)$ <p>γ_0: 変位の振幅 ω: 変位の角振動数 σ_0: 荷重の振幅 δ: 位相角 (変位及び荷重の位相差)</p> <p>荷重 $\sigma(t)$ は、式 (3) に示すとおり変位成分に比例する弾性応答成分と速度成分に比例する粘性応答成分の和として表現することができる。</p> $\begin{aligned} \sigma(t) &= \sigma_0 \cos(\omega t + \delta) \\ &= \sigma_0 \cos \delta \cdot \cos \omega t - \sigma_0 \sin \delta \cdot \sin \omega t \\ &= \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cos \delta \cdot \gamma_0 \cos \omega t - \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \sin \delta \cdot \gamma_0 \sin \omega t \end{aligned} \quad (3)$ <p>式 (3) の最大変位 γ_0 と最大荷重 σ_0 の比 σ_0/γ_0 を等価剛性 K と呼ぶ。等価剛性 K は粘弾性体の剛性を定量的に定義する一般的なパラメータである。</p> <p>荷重の式 (3) に対して一周分の積分を行うと変位成分に比例する弾性応答成分の項は 0、速度成分に比例する粘性応答成分の項は $\pi \sigma_0 \gamma_0 \sin \delta$ となり、粘性応答成分による散逸エネルギーが求められる。散逸エネルギーは第 3-5-1 添図のリサージュ曲線で囲まれる面積に相当する。このような減衰性能を定量的に定義するため、粘弾性体を散逸エネルギーの等しい理想的な粘性体である速度比例型ダッシュポットに置き換えた場合の比例係数を等価減衰係数 C と定義する。一周分の変位 $\gamma(t)$ を減衰係数 C のダッシュポットに入力した場合の散逸エネルギーが $C\gamma_0^2\omega\pi$ であるので、散逸エネルギーに関して式 (4) の関係となる。従って、等価減衰係数 C は式 (5) となる。</p> $\pi \sigma_0 \gamma_0 \sin \delta = C \gamma_0^2 \omega \pi \quad (4)$ $C = \frac{\sigma_0}{\gamma_0 \omega} \sin \delta \quad (5)$ <p>三軸粘性ダンパの減衰性能は、これまで述べた粘弾性体の基本的な性質と同様に、等価剛性 K 及び等価減衰係数 C により表現することができる。</p>	

三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C は振動数依存性を有しており、一般に振動数が高いほど等価剛性 K は大きく、等価減衰係数 C は小さくなる傾向がある。

γ_0 : 変位の振幅 ω : 変位の角振動数
 σ_0 : 荷重の振幅 δ : 位相角 (変位及び荷重の位相差)



第3-5-1添図 典型的な粘弾性体の荷重-変位特性
(左: 荷重-変位, 右: 荷重-時間)

2. 三軸粘性ダンパの解析モデル

粘弾性体のモデル化には、Voigt モデル、Maxwell モデル及びそれらを混合したモデル等が一般的に用いられている。三軸粘性ダンパの減衰性能は振動数依存性を有するため、その振動数特性を表現できる Maxwell モデルを採用する。Maxwell モデルは、第3-5-2添図に示すばね剛性 ($=k$) とダッシュポットの減衰係数 ($=c$) を直列につないだものである。また、 k/c を Maxwell モデルの特性振動数 ($=\omega_0$) とする。Maxwell モデルに変位 $\gamma = \gamma_0 \cos \omega t$ を与えた場合の荷重 $\sigma(t)$ を以下に示す。

$$\sigma(t) = \gamma_0 K_e \cos \omega t + \gamma_0 K_v \sin \omega t \quad (6)$$

γ_0 : 変位の振幅 ω : 変位の角振動数,
 K_e : 三軸粘性ダンパの貯蔵弾性率, K_v : 三軸粘性ダンパの損失弾性率

または,

$$\sigma(t) = \gamma_0 K \cos(\omega t + \delta) \quad (7)$$

K : 三軸粘性ダンパの等価剛性 ($=\sqrt{K_e^2 + K_v^2}$) δ : 位相角 ($=\tan^{-1}(K_v/K_e)$)

Maxwell モデルの場合、 K_e 及び K_v は以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} K_e &= k(\omega/\omega_0)^2 / (1 + (\omega/\omega_0)^2) \\ K_v &= k(\omega/\omega_0) / (1 + (\omega/\omega_0)^2) \end{aligned} \quad (8)$$

k : Maxwell モデルのばね剛性 ω_0 : Maxwell モデルの特性振動数

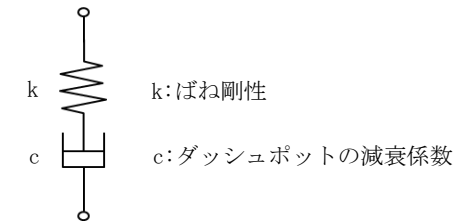
三軸粘性ダンパのモデル化にあたっては、その減衰性能の振動数

特性をより精度良く表現するため、Maxwell モデルを 2 つ並列にした 4 パラメータ Maxwell モデル (第 3-5-3 添図参照) を用いる (第 3-5-4 添図参照)。4 パラメータ Maxwell モデルでは、 K_e 及び K_v は以下の式となる。

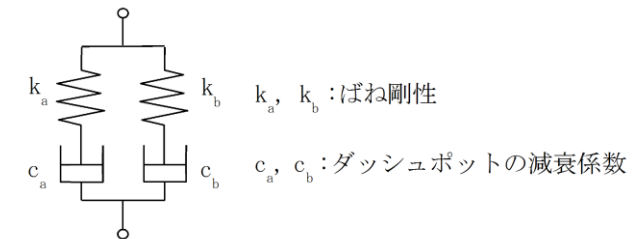
$$\begin{aligned} K_e &= K_a(\omega/\omega_a)^2/(1+(\omega/\omega_a)^2) + K_b(\omega/\omega_b)^2/(1+(\omega/\omega_b)^2) \\ K_v &= K_a(\omega/\omega_a)/(1+(\omega/\omega_a)^2) + K_b(\omega/\omega_b)/(1+(\omega/\omega_b)^2) \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $\omega_a = k_a/c_a$, $\omega_b = k_b/c_b$

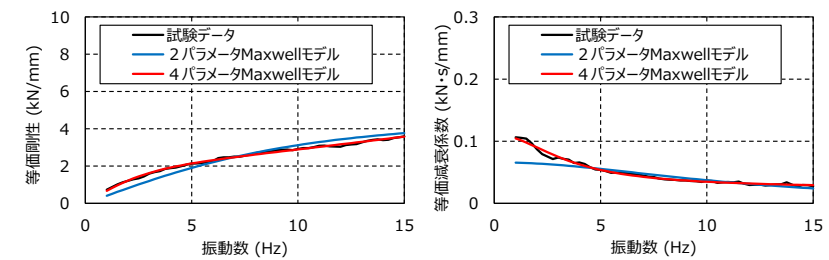
4 パラメータ Maxwell モデルのパラメータは、三軸粘性ダンパの性能試験結果に基づいて設定する。



第 3-5-2 添図 Maxwell モデル

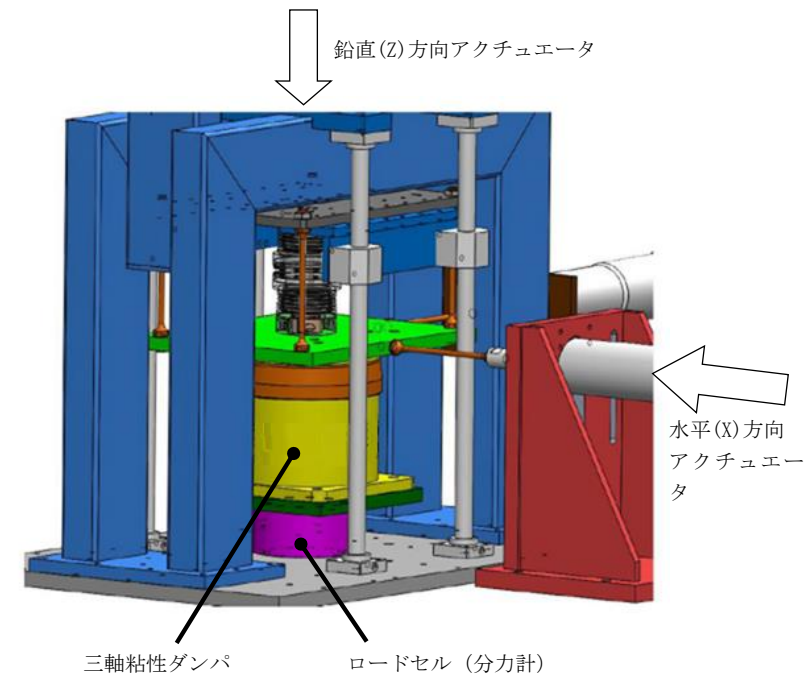


第 3-5-3 添図 4 パラメータ Maxwell モデル



第 3-5-4 添図 4 パラメータ Maxwell モデルと Maxwell モデルの比較 (中型の例)

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
		<p>添付資料 3-6 三軸粘性ダンパの特性試験</p> <p>三軸粘性ダンパの減衰性能に影響する特性を把握するために実施した特性試験の結果を以下に示す。なお、三軸粘性ダンパは型式によらず構造は同じであり、使用する粘性体も同一であることから、特性試験結果については、中型及び小型（実機適用なし）の試験結果で代表して示す。</p> <p><試験項目></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 水平・鉛直同時加振試験（水平・鉛直同時加振） 2. 放射線照射試験（放射線） 3. 粘性体温度を変えた性能試験（温度） 4. 加振振幅を変えた性能試験（振幅） 5. 連続加振試験（連続加振） <p>1. 水平・鉛直同時加振試験</p> <p>三軸粘性ダンパの性能試験は、水平、鉛直の各方向で1方向加振を行う方法により実施する。一方、地震時に三軸粘性ダンパは3方向同時加振されることから、水平方向加振と鉛直方向加振で相互に減衰性能に影響を及ぼす場合は、性能試験で取得した減衰性能と地震時の減衰性能に差が生じる可能性がある。そのため、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能の比較を行った。水平・鉛直同時加振試験の概略図を第3-6-1添図に示す。試験条件を第3-6-1添表に、変位の時刻歴波形を第3-6-2添図に、試験結果を第3-6-3添図に示す。第3-6-3添図のとおり、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振では減衰性能に差がないことを確認した。</p>	



第3-6-1 添図 水平・鉛直同時加振試験

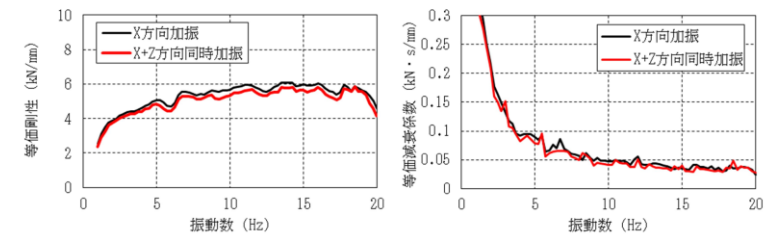
第3-6-1 添表 水平・鉛直同時加振試験条件

No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)
1	中型	20	水平	ランダム波	3	32
2			鉛直			
3			水平・鉛直			

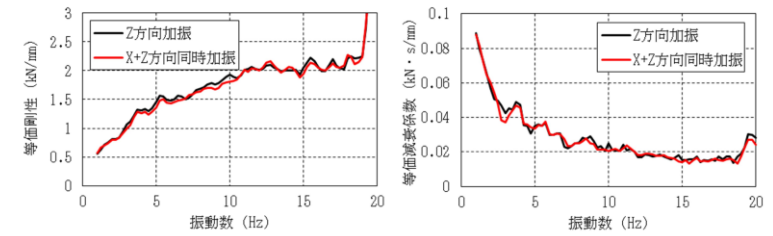


(H) 水平方向 (V) 鉛直方向

第3-6-2 添図 変位の時刻歴波形



(H-1) 等価剛性 (水平単独と比較) (H-2) 等価減衰係数 (水平単独と比較)



(V-1) 等価剛性 (鉛直単独と比較) (V-2) 等価減衰係数 (鉛直単独と比較)

第3-6-3 添図 水平・鉛直同時加振による減衰性能への影響確認結果

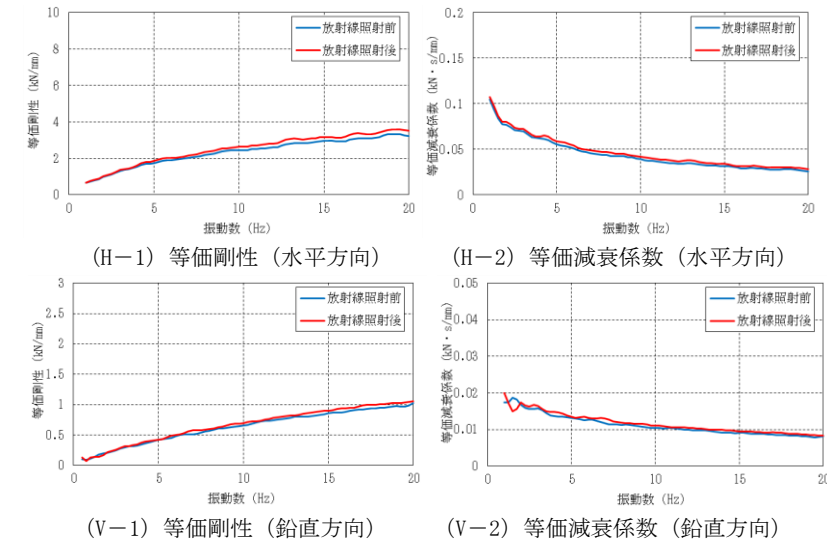
2. 放射線照射試験

放射線による三軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、 γ 線照射量を変えた第3-6-2添表に示す試験条件にて三軸粘性ダンパの性能試験を実施した。 γ 線照射量は、島根2号炉の一般管理区域における40年間積算放射線量0.004kGyに余裕を見た1kGyとした。

結果を第3-6-4添図に示す。第3-6-4添図のとおり、1kGyの照射では減衰性能は変化しておらず、影響がないことが確認された。

第3-6-2 添表 放射線照射試験条件

No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)	γ 線照射量
1	小型	20	水平	ランダム波	1	32	照射なし
2							1kGy
3			鉛直				照射なし
4							1kGy



第3-6-4添図 放射線による減衰性能への影響確認結果

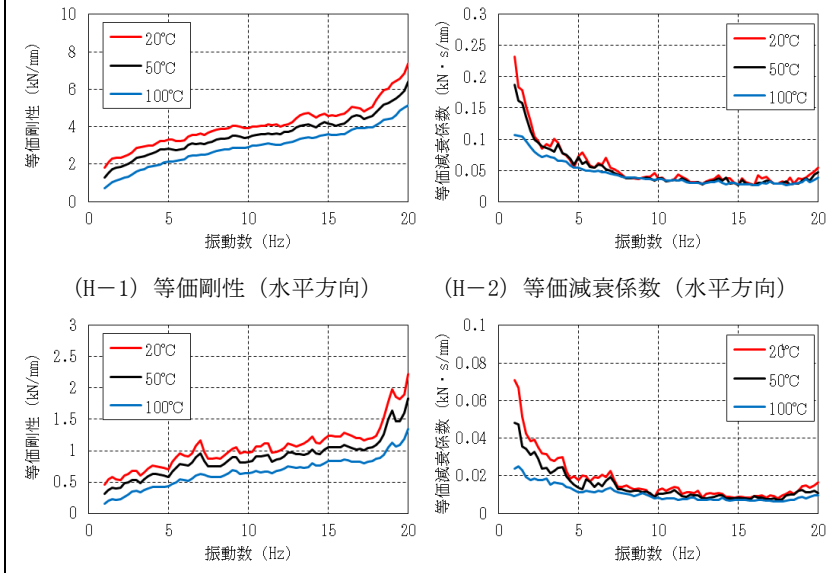
3. 粘性体温度を変えた性能試験

粘性体温度による三軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、粘性体温度を変えた第3-6-3添表の試験条件にて三軸粘性ダンパの性能試験を実施した。

試験結果を第3-6-5添図に示す。第3-6-5添図のとおり、粘性体温度が高くなるほど三軸粘性ダンパの減衰性能が低下することが確認された。これは、粘性体の温度が上昇するほどその粘度が低下することが要因と考えられる。

第3-6-3添表 粘性体温度を変えた性能試験条件

No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)
1	中型	20	水平	ランダム波	6	32
2		50				
3		100				
4		20	鉛直			
5		50				
6		100				



第3-6-5添図 粘性体温度による減衰性能への影響確認結果

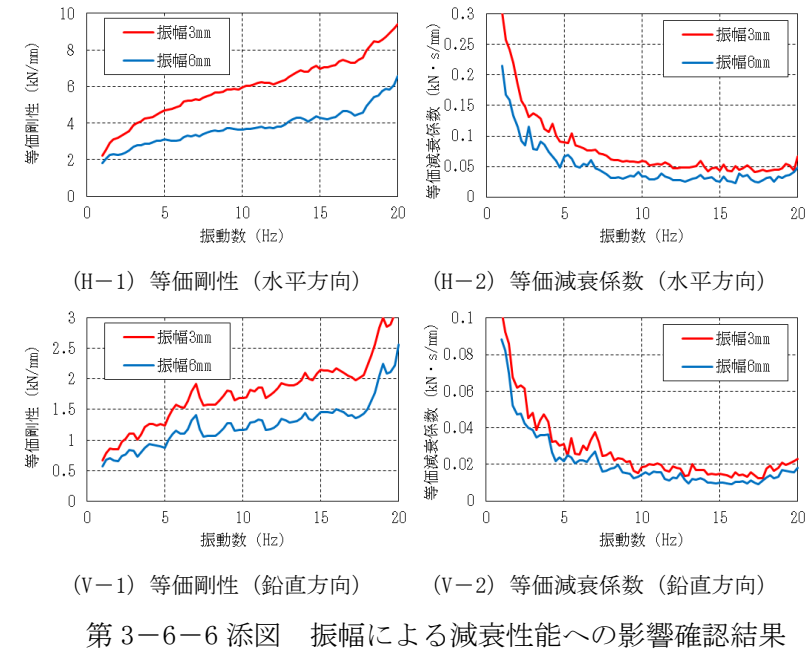
4. 加振振幅を変えた性能試験

振幅の大きさによる三軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、振幅を変えた第3-6-4添表の試験条件にて三軸粘性ダンパの性能試験を実施した。

試験結果を第3-6-6添図に示す。第3-6-6添図のとおり、振幅が大きいくほど三軸粘性ダンパの減衰性能が低下することが確認された。これは、三軸粘性ダンパで消費されたエネルギーにより粘性体温度が上昇したこと、粘性体が内部で流動し、ダンパピストンとの接触状態が変化したことが要因と考えられる。

第3-6-4添表 加振振幅を変えた性能試験条件

No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)
1	中型	20	水平	ランダム波	3	32
2			鉛直			
3			水平		6	
4			鉛直			



5. 連続加振試験

連続加振による三軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、第 3-6-5 添表に示す試験条件により、連続加振試験を実施した。

試験結果を第 3-6-7 添図に示す。第 3-6-7 添図のとおり、三軸粘性ダンパの累積消費エネルギー W が増大すると単調に減衰性能が低下することが確認された。これは、三軸粘性ダンパで消費されたエネルギーにより粘性体温度が上昇したこと、粘性体が内部で流動し、ダンパピストンとの接触状態が変化したことが要因と考えられる。累積消費エネルギー W とは加振により三軸粘性ダンパで消費されるエネルギーの総和をいい、以下の式 (1) で表される。

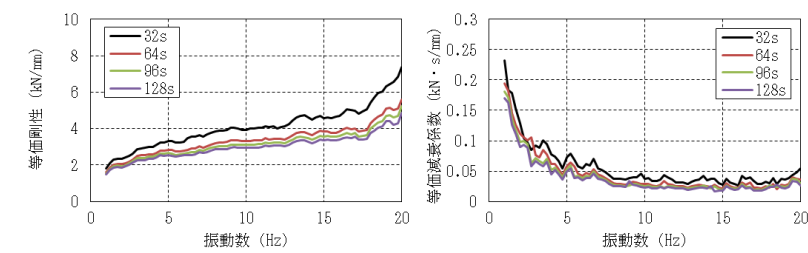
$$W = \int_0^T F(t) \frac{dx(t)}{dt} dt \quad (1)$$

ここで、

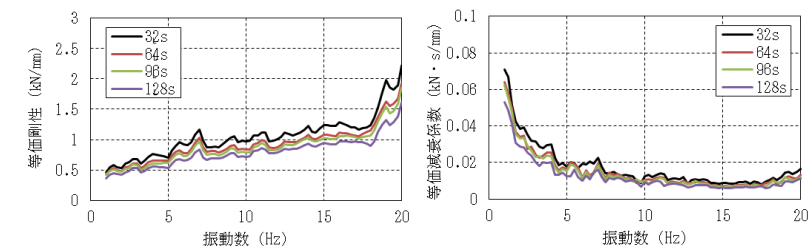
$F(t)$: 三軸粘性ダンパ反力, $x(t)$: 三軸粘性ダンパ変位, T : 加振継続時間

第3-6-5 添表 連続加振試験条件

No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)
1	中型	20	水平	ランダム波	6	32
2			鉛直			
3			水平			64
4			鉛直			
5			水平			96
6			鉛直			
7			水平			128
8			鉛直			



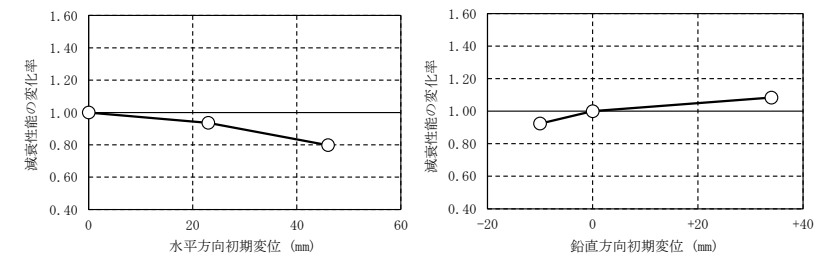
(H-1) 等価剛性 (水平方向) (H-2) 等価減衰係数 (水平方向)



(V-1) 等価剛性 (鉛直方向) (V-2) 等価減衰係数 (鉛直方向)

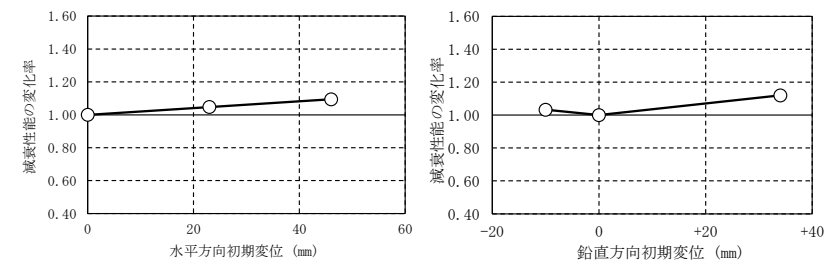
第3-6-7 添図 連続加振による減衰性能への影響確認結果

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																																														
		<p>添付資料 3-7 三軸粘性ダンパの据付公差による減衰性能への影響</p> <p>三軸粘性ダンパは、配管系の熱移動も考慮した上で、運転時にハウジング中心付近の標準位置にピストンが位置するように据付を行うことから、標準位置からのピストンの初期変位は小さいと考えられるが、その影響の程度を把握するため、三軸粘性ダンパのピストンに標準位置からの初期変位を与えた場合の減衰性能への影響を試験により確認した。なお、ピストン及びハウジングの角度については、水準器を用いて水平を保って据付を行うこと及び配管の熱移動により生じる配管のねじれは微小であることから、減衰性能への影響は軽微と判断する。</p> <p>三軸粘性ダンパの初期変位による減衰性能への影響確認試験の試験ケースを第 3-7-1 添表に、試験結果を第 3-7-1 添図～第 3-7-2 添図に示す。三軸粘性ダンパの減衰性能は振動数依存性を有するため、減衰性能の変化率は 5～15Hz の平均値で示す。また、等価剛性及び等価減衰係数のうち、より大きい変化率を減衰性能の変化率と整理する。</p> <p>試験により把握した初期変位による減衰性能への影響を第 3-7-2 添表に整理する。試験結果に基づき、初期変位による減衰性能への影響が±20%以内となるようにピストン位置の基準を定めて管理する。なお、本資料では、中型の三軸粘性ダンパを代表として試験結果を示したが、大型の三軸粘性ダンパについても初期変位による減衰性能への影響について同様の管理を行う。</p> <p style="text-align: center;">第 3-7-1 添表 初期変位の影響確認試験条件</p> <table border="1" data-bbox="1822 1373 2430 1780"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">型式</th> <th rowspan="2">温度 (°C)</th> <th rowspan="2">加振方向</th> <th rowspan="2">入力波形</th> <th rowspan="2">振幅 (mm)</th> <th rowspan="2">継続時間 (s)</th> <th colspan="2">初期変位 (mm)</th> </tr> <tr> <th>水平</th> <th>鉛直^{※1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td rowspan="10">中型</td> <td rowspan="10">20</td> <td>水平</td> <td rowspan="10">ランダム波</td> <td rowspan="10">6</td> <td rowspan="10">32</td> <td rowspan="2">0</td> <td rowspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>鉛直</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>水平</td> <td rowspan="2">23</td> <td rowspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>鉛直</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>水平</td> <td rowspan="2">46</td> <td rowspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>鉛直</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>水平</td> <td rowspan="2">0</td> <td rowspan="2">34</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>鉛直</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>水平</td> <td rowspan="2">0</td> <td rowspan="2">-10</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>鉛直</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：鉛直方向の初期変位についてはピストンを引き抜く方向をマイナスとする。</p>	No.	型式	温度 (°C)	加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)	初期変位 (mm)		水平	鉛直 ^{※1}	1	中型	20	水平	ランダム波	6	32	0	0	2	鉛直	3	水平	23	0	4	鉛直	5	水平	46	0	6	鉛直	7	水平	0	34	8	鉛直	9	水平	0	-10	10	鉛直	
No.	型式	温度 (°C)								加振方向	入力波形	振幅 (mm)	継続時間 (s)	初期変位 (mm)																																			
			水平	鉛直 ^{※1}																																													
1	中型	20	水平	ランダム波	6	32	0	0																																									
2			鉛直																																														
3			水平				23	0																																									
4			鉛直																																														
5			水平				46	0																																									
6			鉛直																																														
7			水平				0	34																																									
8			鉛直																																														
9			水平				0	-10																																									
10			鉛直																																														



(H) 水平方向初期変位 (V) 鉛直方向初期変位

第3-7-1添図 水平方向の減衰性能の変化



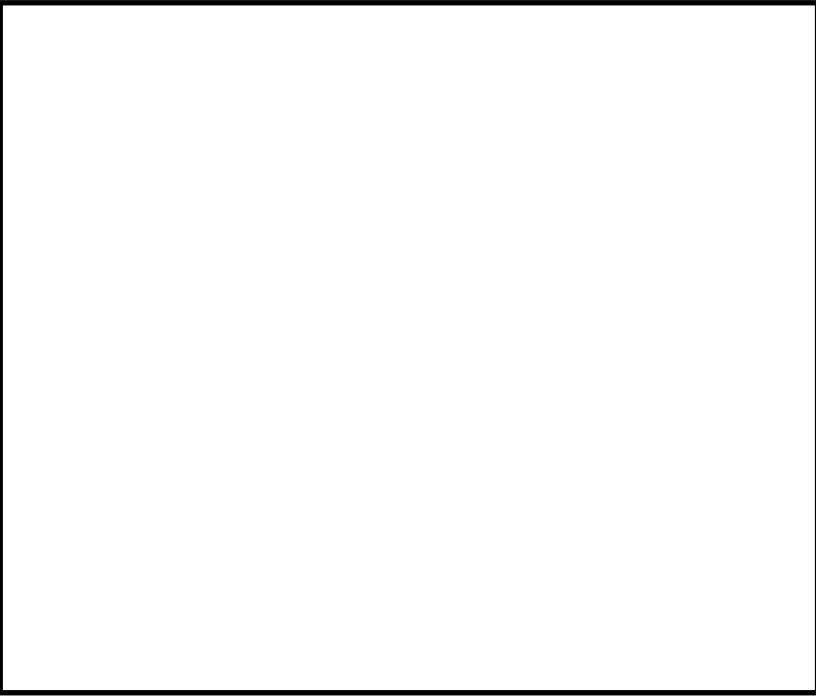
(H) 水平方向初期変位 (V) 鉛直方向初期変位


第3-7-2添図 鉛直方向の減衰性能の変化

第3-7-2添表 三軸粘性ダンパの初期変位による減衰性能への影響

	減衰性能への影響	
	水平方向初期変位	鉛直方向初期変位
水平方向の減衰性能	初期変位が大きいかほど直線的に減衰性能が低下する (最大で-20%となる)。	上向きの初期変位に対しては減衰性能が低下する (-10mmに対して-10%未満)。下向きの初期変位に対しては減衰性能が高くなる (最大で+10%未満)。
鉛直方向の減衰性能	初期変位が大きいかほど直線的に減衰性能が大きくなる (最大で+10%未満)。	上向きの初期変位に対しては減衰性能の変化は軽微である。下向きの初期変位に対しては減衰性能が高くなる (最大で+13%未満)。

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
		<p>添付資料 3-8 三軸粘性ダンパの性能試験方法</p> <p>三軸粘性ダンパの減衰性能は等価剛性 K 及び等価減衰係数 C によって表現し、減衰性能の振動数特性を精度良く表現できる4パラメータ Maxwell モデルによりモデル化する。ここでは、三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C を取得し、4パラメータ Maxwell モデルのパラメータを決定するための性能試験方法について示す。</p> <p>1. 性能試験方法</p> <p>三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C を取得し、4パラメータ Maxwell モデルの4つのパラメータを決定するための性能試験は、以下の流れで実施する。</p> <p>最初に粘性体が均一に所定の温度となるように三軸粘性ダンパを恒温槽等で加温する。次に、試験機を用いて三軸粘性ダンパを所定の変位波形で加振し、加振中の変位及び荷重を測定する。なお、減衰性能は水平方向加振と鉛直方向加振で異なることから、水平方向及び鉛直方向のそれぞれで加振を行い、データを取得する。加振中に測定した変位及び荷重の時刻歴波形からフーリエ変換によりフーリエスペクトルを求めて、伝達関数を算出し、三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C を得る。最後に、性能試験により取得した三軸粘性ダンパの等価剛性 K 及び等価減衰係数 C に基づき、4パラメータ Maxwell モデルの4つのパラメータを決定する。性能試験のフローを第3-8-1添図に示す。</p> <p>三軸粘性ダンパの性能試験においては、温度、加振振幅及び連続加振による減衰性能の変動を考慮して、高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High}) と低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low}) を取得する。高側ダンパ試験性能 (K_{High}, C_{High}) は実際の使用条件よりも高い減衰性能となる試験条件で、低側ダンパ試験性能 (K_{Low}, C_{Low}) は実際の使用条件よりも低い減衰性能となる試験条件で取得する性能である。試験条件の設定例を第3-8-1添表に示す。</p>	

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3-8-1 添表 三軸粘性ダンパの性能試験条件の例 	

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
		 <p data-bbox="1884 1239 2344 1270">第3-8-1 添図 性能試験フロー(1/3)</p>	

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
		<div data-bbox="1733 205 2513 1056" style="border: 2px solid black; height: 405px; width: 263px;"></div> <p data-bbox="1881 1062 2347 1094">第3-8-1 添図 性能試験フロー(2/3)</p> <div data-bbox="1733 1152 2513 1719" style="border: 2px solid black; height: 270px; width: 263px;"></div> <p data-bbox="1881 1734 2347 1766">第3-8-1 添図 性能試験フロー(3/3)</p>	

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
		<p>添付資料 3-9 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法</p> <p>本資料では、三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析に用いる時刻歴応答解析手法を説明する。</p> <p>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。</p> $[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{I\}\ddot{y} \quad (1)$ <p>$[M]$, $[C]$, $[K]$: 配管系の質量, 減衰, 剛性マトリクス $\{x\}$: 配管系の変位ベクトル $\{I\}$: 単位ベクトル \ddot{y} : 地動加速度</p> <p>ここで、減衰マトリクスの値が小さいとして $[C]=0$ と仮定し、$-[M]\{I\}\ddot{y} = 0$ とすると、</p> $[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0 \quad (2)$ <p>となる。この式を用いて実固有値解析を行うことにより各モードの固有角振動数 ω_i とモードマトリクス $[\Lambda]$ が算出される。モードマトリクス $[\Lambda]$ を使い $\{x\}$ を以下の式で表現する。</p> $\{x\} = [\Lambda]\{q\} \quad \{q\} : \text{各次モードの応答} \quad (3)$ <p>式(3)を式(1)に代入して左側から $[\Lambda]^T$ を掛けると以下の式になる。</p> $[\Lambda]^T[M][\Lambda]\{\ddot{q}\} + [\Lambda]^T[C][\Lambda]\{\dot{q}\} + [\Lambda]^T[K][\Lambda]\{q\} = -[\Lambda]^T[M]\{I\}\ddot{y} \quad (4)$ <p>式(4)について、$[C]$ の値が小さく、対角化できると仮定して展開すると以下の式になる。</p> $\begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & m_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} \{\ddot{q}\} + \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & c_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} \{\dot{q}\} + \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & k_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} \{q\} = -[\Lambda]^T[M]\{I\}\ddot{y} \quad (5)$ <p>式(5)は式(6)に示すモード空間での非連成の運動方程式となる。</p> $\ddot{q}_i + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i + \omega_i^2q_i = -\beta_i\ddot{y} \quad (6)$ <p>ここで、</p> $\zeta_i : i \text{ 次のモード減衰比} \quad \beta_i : i \text{ 次モードの刺激係数} \left(= \frac{\{\lambda_i\}^T[M]\{I\}}{\{\lambda_i\}^T[M]\{\lambda_i\}} \right)$ <p>λ_i : i 次モードの固有ベクトル q_i : i 次モードの応答</p> <p>減衰マトリクス $[C]$ の値が小さい場合は、式(6)に示したモード空間での非連成の運動方程式から、i 次モードのモードベクトル $\{\lambda_i\}$、刺激係数 β_i 及び i 次モードの固有角振動数 ω_i の応答スペクトル値を用いて、スペクトルモーダル解析を行うことができる。</p> <p>一方で、配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合、減衰マトリクス $[C]$ が大きな値となり対角化できず、$[M]$, $[C]$, $[K]$ の3つのマトリクスを解く複素固有値解析になる。この場合、固有値、固有ベクトルは複素数となるため、上記のスペクトルモーダル解析は適用できない。三軸粘性ダンパの減衰性能を解析モデルへ反映して</p>	

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
		<p>解析を行う方法としては、モード解析を用いて、三軸粘性ダンパによって与えられる減衰が非対角項にある状態のまま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があり、MSC.Nastran の標準機能として実装されている⁽¹⁾。本手法は、対角化できない減衰マトリックスが存在する場合にモード座標において連成した運動方程式を解く時刻歴モーダル解析手法であり、モード座標を用いること以外は、一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様の手法である。この方法を用いることで配管系の設計用減衰定数と対応したモード減衰を考慮することができる。三軸粘性ダンパを設置した配管系では減衰マトリックス$[C]$は、三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリックス$[C_D]$と、各モードに一律付与する配管系の減衰定数に対応した減衰マトリックス$[C_p]$の和として式(7)のように設定することが可能である。</p> $[C]=[C_p]+[C_D] \quad (7)$ <p>ここで、$[C_p]$は一般的な配管系と同様の減衰マトリックスであり、モード空間では対角項が配管の減衰定数に関する要素、非対角項がすべてゼロ要素からなる式(8)のような対角行列となる。</p> $[A]^T[C_p][A] \cong \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & 2\zeta_i\omega_i & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} \quad (8)$ <p>なお、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。</p> $[M]\{\ddot{x}_a\}+[C]\{\dot{x}_a\}+[K]\{x_a\}=-[M]\{I\}\ddot{y}_0-[C]\{\dot{x}_b\}-[K]\{x_b\} \quad (9)$ <p>$\{x_a\}$: 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 $[C]$: 入力点の相対速度に対応した減衰マトリックス $[K]$: 入力点の相対変位に対応した剛性マトリックス</p> <p>式(9)の左辺は式(1)と同様である。右辺第一項は、地動加速度に替えて基準入力点の加速度を用いるが、その意味は式(1)の右辺と同様である。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(9)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</p>	

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
		<p>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。</p> <p>【参考文献】</p> <p>(1) MSC. Nastran ユーザーガイド 基礎動解析</p>	

添付資料 3-10 三軸粘性ダンパの減衰性能と配管系の応答の関係

三軸粘性ダンパの減衰性能と配管系の応答の関係を第 3-10-1 添表及び第 3-10-2 添表に示す。配管モーメント及び三軸粘性ダンパの最大変位は、減衰性能が低いほど算出値が大きくなる傾向であり、三軸粘性ダンパの減衰性能が低くなるほど配管系の応答が大きくなるといえる。また、三軸粘性ダンパの最大荷重は、減衰性能が高いほど算出値が大きくなる傾向であり、これは三軸粘性ダンパの減衰性能が高いことにより三軸粘性ダンパが負担する荷重が大きくなるためである。

第 3-10-1 添表 配管モーメント

項目	減衰性能	発生値
配管モーメント ^{※1}	K ₁ , C ₁	3.19 × 10 ⁵ (N・m)
	K ₂ , C ₂	3.27 × 10 ⁵ (N・m)
	K ₃ , C ₃	3.30 × 10 ⁵ (N・m)
	K ₄ , C ₄	3.38 × 10 ⁵ (N・m)
	K ₅ , C ₅	3.59 × 10 ⁵ (N・m)

※1：最も厳しい結果を記載

第 3-10-2 添表 三軸粘性ダンパの荷重及び変位

項目	減衰性能	発生値	
		水平	鉛直
最大荷重 ^{※1}	K ₁ , C ₁	117 (kN)	36 (kN)
	K ₂ , C ₂	104 (kN)	31 (kN)
	K ₃ , C ₃	84 (kN)	24 (kN)
	K ₄ , C ₄	69 (kN)	18 (kN)
	K ₅ , C ₅	36 (kN)	9 (kN)
最大変位 ^{※1}	K ₁ , C ₁	1.4 (mm)	1.7 (mm)
	K ₂ , C ₂	1.6 (mm)	1.8 (mm)
	K ₃ , C ₃	1.8 (mm)	2.1 (mm)
	K ₄ , C ₄	2.4 (mm)	2.3 (mm)
	K ₅ , C ₅	4.3 (mm)	2.7 (mm)

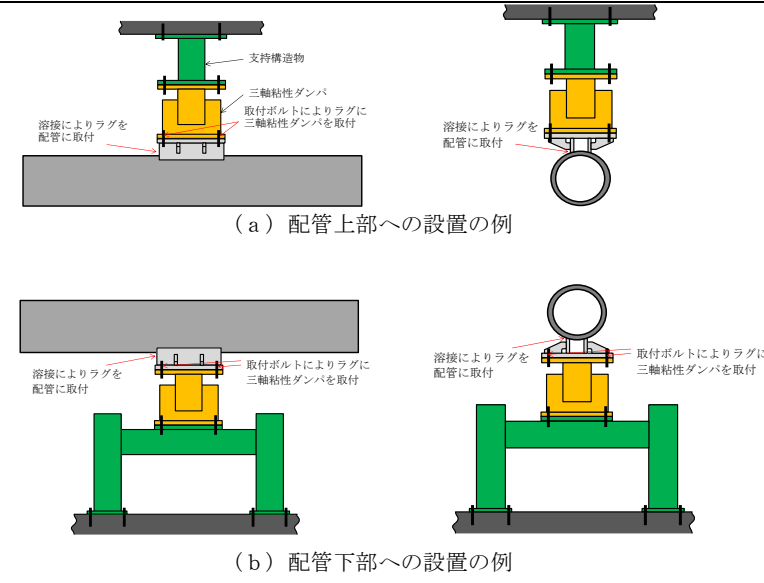
※1：最も厳しい結果を記載

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
		<p>添付資料 3-11 三軸粘性ダンパの配管への取付部の設計について</p> <p>三軸粘性ダンパは、ラグ又はクランプにより配管に取り付ける。本資料では、配管への取付部の構造概要、荷重伝達機構及び構造成立性を示す。また、配管系への三軸粘性ダンパの配置計画の成立性について説明する。</p> <p>1. ラグの設計について</p> <p>1. 1 構造概要</p> <p>ラグの構造の概要を第 3-11-1 添図に示す。ラグの構造については、従来のアンカサポート等の設計と同様であり、配管と溶接により一体となる構造とする。ラグと三軸粘性ダンパは第 3-11-2 添図のとおり取付ボルトにより接続する。</p> <p>1. 2 荷重の伝達機構</p> <p>地震により配管に振動が生じた場合、ラグは配管と一体となって運動し、取付ボルトを介して三軸粘性ダンパに運動が伝達される。これを受けて、三軸粘性ダンパのピストンが粘性体中を移動し、抵抗力が生じる。この抵抗力は、三軸粘性ダンパのピストンから取付ボルト及びラグを介して配管へ伝達される。</p> <p>1. 3 構造成立性について</p> <p>ラグは三軸粘性ダンパを接続すること以外は従来の構造及び設計と同様であり、三軸粘性ダンパの発生荷重に対して十分な構造強度を持つように設計する。</p> <p>なお、取付ボルトは、三軸粘性ダンパの構造強度評価において、三軸粘性ダンパの許容荷重に対する評価を行う。</p> <p>2. クランプの設計について</p> <p>2. 1 構造概要</p> <p>クランプの構造の概要を第 3-11-3 添図に示す。クランプは上部クランプ及び下部クランプから構成され、第 3-11-4 添図のように上部クランプと下部クランプをクランプボルトにより締め付けることで配管に取り付ける。クランプと三軸粘性ダンパは取付ボルトにより接続する。</p>	

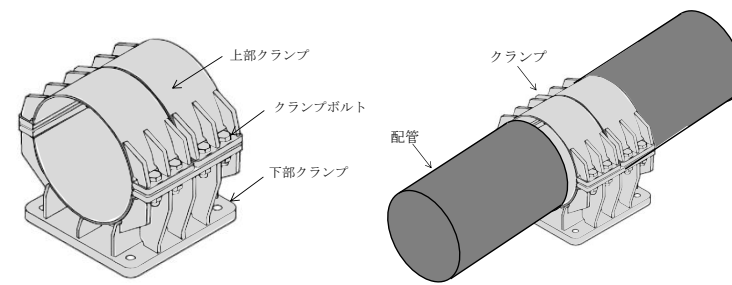
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2. 2 荷重の伝達機構</p> <p>地震により配管に振動が生じた場合、クランプは配管と一体となって運動し、取付ボルトを介して三軸粘性ダンパに運動が伝達される。これを受けて、三軸粘性ダンパのピストンが粘性体中を移動し、抵抗力が生じる。この抵抗力は、三軸粘性ダンパのピストンから取付ボルト及びクランプを介して配管へ伝達される。クランプから配管への荷重伝達機構は、荷重の方向により異なることから、各方向の荷重伝達機構を以下に示す。</p> <p>【クランプから配管への荷重伝達機構】</p> <p>(1) 水平方向</p> <p>水平方向の荷重伝達機構を第 3-11-5 添図に示す。水平方向については、配管軸方向及び配管軸直角方向に分けて説明する。</p> <p>a. 配管軸方向</p> <p>第 3-11-5 添図 (a) に示すように、クランプが配管を押し返すことや、配管軸方向の摩擦によりクランプが配管を拘束することで荷重が伝達される。</p> <p>b. 配管軸直方向</p> <p>第 3-11-5 添図 (b) に示すように、クランプが配管を押し返すことや、配管周方向の摩擦によりクランプが配管を拘束することで荷重が伝達される。</p> <p>(2) 鉛直方向</p> <p>鉛直方向の荷重伝達機構を第 3-11-6 添図に示す。クランプボルトで配管に取り付けられたクランプが配管を押し返すことで荷重が伝達される。</p> <p>2. 3 構造成立性について</p> <p>クランプに対して水平方向及び鉛直方向における三軸粘性ダンパの荷重伝達機構を考慮のうえ、許容荷重を設定する。クランプに接続される三軸粘性ダンパの地震応答解析における最大荷重と設定した許容荷重を比較することで構造成立性を確認する。</p> <p>(1) 水平方向荷重に対するクランプの構造成立性</p> <p>水平方向の荷重はクランプと配管の摩擦によって制限されるため、クランプの最大摩擦力と等しくなるときの三軸粘性ダンパのピストンに生じる荷重をクランプの許容荷重とする。許容荷重の算出方法を以下に示す。</p> <p>上部クランプと下部クランプにおいて、許容荷重の算出方法は同様であるため、下部クランプを例に説明する。クランプ締付力により、下部クランプに一樣な圧力が p_l が生じた状態を考える。第 3-</p>	

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
		<p>11-7 添図に示すとおり，下部クランプと配管が接している範囲の角度$-\alpha \leq \theta \leq \alpha$の中で微小角度$d\theta$を考えると，$d\theta$においてクランプの締付により鉛直方向に生じる力$Q_{ld\theta}$は式(1)となる。</p> $Q_{ld\theta} = N_{ld\theta} \cdot \cos \theta = p_l \cdot \frac{D}{2} \cdot d\theta \cdot B \cdot \cos \theta \quad (1)$ <p>ここで，$N_{ld\theta}$は微小角度$d\theta$においてクランプ面に垂直な方向に生じる力，Dは配管外径，Bはクランプ幅である。</p> <p>$Q_{ld\theta}$をクランプが配管と接している角度$-\alpha \leq \theta \leq \alpha$で積分すると，鉛直方向の力の総和$Q_l$は式(2)となる。</p> $Q_l = \int_{-\alpha}^{\alpha} Q_{ld\theta} = \int_{-\alpha}^{\alpha} p_l \cdot \frac{D}{2} \cdot B \cdot \cos \theta \cdot d\theta = p_l \cdot \frac{D}{2} \cdot B \cdot 2\sin \alpha \quad (2)$ <p>この鉛直方向の力Q_lはクランプの締付力F_cと等しいため，</p> $F_c = Q_l = p_l \cdot \frac{D}{2} \cdot B \cdot 2\sin \alpha \quad (3)$ <p>となり，クランプの締付による下部クランプに生じる圧力p_lは式(4)となる。</p> $p_l = \frac{F_c}{D \cdot B \cdot \sin \alpha} \quad (4)$ <p>この圧力p_lが角度$-\alpha \leq \theta \leq \alpha$の部分の面積に加わるため，クランプの締付により下部クランプに生じる垂直抗力F_{IN}は式(5)となる。</p> $F_{IN} = p_l \cdot \frac{D}{2} \cdot 2\alpha \cdot B = \frac{F_c}{D \cdot B \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{D}{2} \cdot 2\alpha \cdot B = \frac{F_c \cdot \alpha}{\sin \alpha} \quad (5)$ <p>摩擦係数をμとすると下部クランプに生じる静止摩擦力F_{lf}は式(6)となる。</p> $F_{lf} = \mu \cdot F_{IN} = \frac{\mu \cdot F_c \cdot \alpha}{\sin \alpha} \quad (6)$ <p>上部クランプについても同様に静止摩擦力F_{uf}を計算すると，上部クランプと下部クランプによる摩擦力F_fは式(7)となる。</p> $F_f = F_{uf} + F_{lf} = 2F_{lf} = 2 \frac{\mu \cdot F_c \cdot \alpha}{\sin \alpha} \quad (7)$ <p>配管軸方向の拘束についてはF_fが許容荷重となる。</p> <p>配管軸直角方向の拘束については，三軸粘性ダンパの抵抗力がピストンと粘性体の接触面で生じることから，荷重作用点を考慮して算出したモーメントに対してすべりが生じることのない摩擦力を確保する。そのため，配管外径をD，荷重発生箇所のモーメントアームをL_mとすると，モーメントのつり合いから式(8)により配管軸直角方向の許容荷重F_aが得られる。</p>	

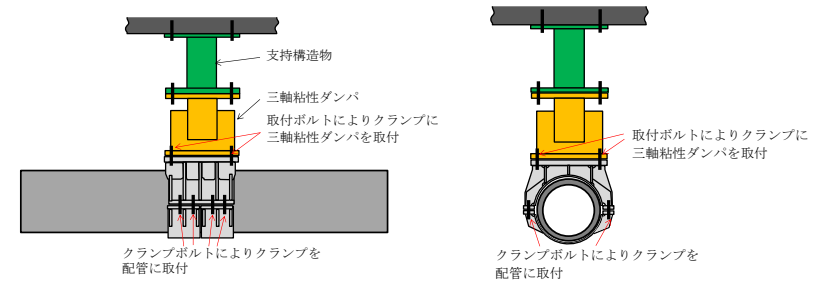
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		$F_f \cdot \frac{D}{2} = F_a \cdot L_m \quad (8)$ $F_a = \frac{F_f D}{2L_m}$ <p>許容荷重 F_f 及び F_a を式 (7), (8) 及びクランプの諸元により算出した結果を第 3-11-1 添表に示す。なお、クランプの構造成立性の確認にあたっては、値の小さい軸直角方向の許容荷重 F_a を水平方向の共通の許容荷重として第 3-11-2 添表のとおり設定する。</p> <p>(2) 鉛直方向荷重に対するクランプの構造成立性</p> <p>三軸粘性ダンパは鉛直方向の許容荷重が 140 (kN) であり、水平方向と比べて小さいため、クランプの許容荷重も第 3-11-2 添表のとおり接続する三軸粘性ダンパと同じ 140 (kN) に設定する。三軸粘性ダンパ及びクランプ共通の許容荷重 140 (kN) に対して、クランプの構成部品の中で余裕が小さいと想定される評価対象部位としてクランプボルトの構造強度評価を J E A G 4 6 0 1 等に基づいて実施した。評価の結果は第 3-11-3 添表のとおりであり、構造成立性を確認した。</p> <p>3. 配管系への三軸粘性ダンパの配置計画の成立性について</p> <p>三軸粘性ダンパは、配管への取付方法としてラグ又はクランプを選択可能であり、配管の上部及び下部のいずれの位置にも設置することができる。配管への取付方法及び設置位置は設置スペース、干渉物、施工性等を考慮して現場状況に応じて選択することから、配置計画の成立性に問題はないと判断している。</p> <div data-bbox="1825 1318 2368 1522" data-label="Image"> </div> <p>第 3-11-1 添図 ラグの構造概要</p>	



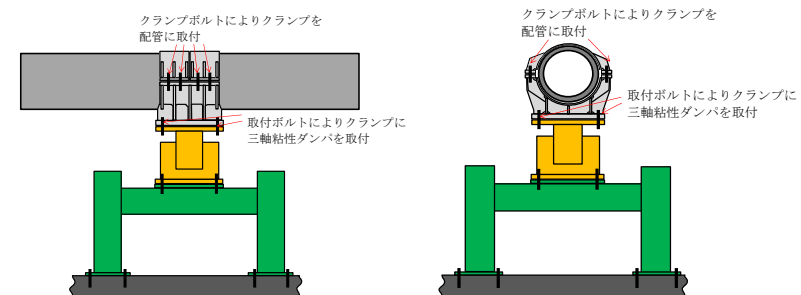
第3-11-2 添図 ラグの配管への取付及び三軸粘性ダンパへの接続



第3-11-3 添図 クランプの構造概要

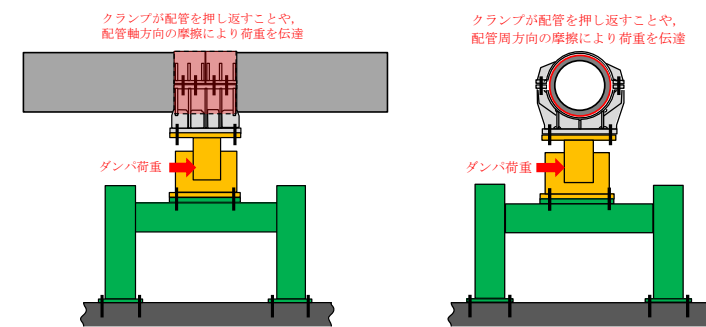


(a) 配管上部への設置の例



(b) 配管下部への設置の例

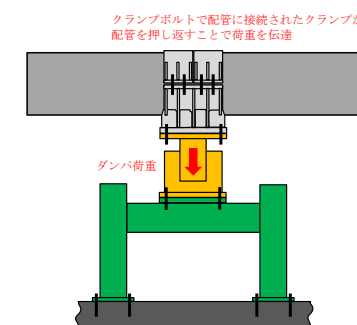
第3-11-4 添図 クランプの配管への取付及び三軸粘性ダンパへの接続



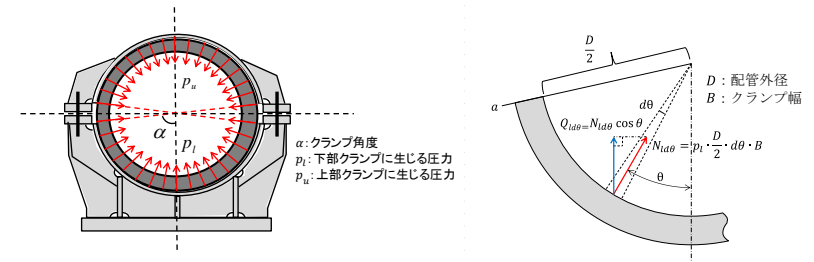
(a) 配管軸方向荷重の伝達

(b) 配管軸直方向荷重の伝達

第3-11-5 添図 クランプによる水平方向の荷重伝達機構



第3-11-6 添図 クランプによる鉛直方向の荷重伝達機構



第3-11-7 添図 クランプ締付力による鉛直方向の力の算出

第3-11-1 添表 クランプの諸元及び水平方向許容荷重の算出値

摩擦係数 μ	締付力 F_c (kN)	クランプ角度 α (rad)	配管 直径 D (mm)	モーメント アーム L_m (mm)	算出値	
					F_f (kN)	F_a (kN)
0.3	660.8	$(85/180)\pi$	609.6	1150	590	156

第3-11-2 添表 クランプの許容荷重

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

※1 : より厳しい配管軸直角方向の許容荷重に合わせて設定

※2 : 三軸粘性ダンパの鉛直方向の許容荷重に合わせて設定

第3-11-3 添表 鉛直方向許容荷重によるクランプボルトの評価結果

評価項目	発生値	許容限界 ^{※1}
引張応力	25 (MPa)	398 (MPa)

※1 : 許容応力状態B_ASの許容応力

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															
		<p data-bbox="1724 212 2502 285">添付資料 3-12 三軸粘性ダンパの耐震評価方法に関する海外実績との比較</p> <p data-bbox="1724 348 2502 688">三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震評価方法について、海外実績と島根 2 号炉の比較を第 3-12-1 添表に示す。第 3-12-1 添表に示すとおり、三軸粘性ダンパを設置する場合の耐震評価方法は同様である。島根 2 号炉では、海外実績における耐震評価方法に加えて減衰性能の変動及びばらつきを考慮しているが、これは「免震構造の審査手引きの提案（平成 26 年 1 月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」及び工認審査ガイドを踏まえて考慮することとしたものである。</p> <p data-bbox="1724 751 2502 825">第 3-12-1 添表 海外実績と島根 2 号炉における耐震評価方法の比較</p> <table border="1" data-bbox="1792 835 2442 1560"> <thead> <tr> <th data-bbox="1792 835 1991 863">項目</th> <th data-bbox="1991 835 2228 863">海外実績</th> <th data-bbox="2228 835 2442 863">島根 2 号炉</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1792 863 1991 1119">減衰性能のパラメータ設定方法</td> <td data-bbox="1991 863 2228 1119">三軸粘性ダンパの性能試験結果に基づき、等価剛性及び等価減衰係数のフィッティングにより 4 パラメータ Maxwell モデルのパラメータを設定している。</td> <td data-bbox="2228 863 2442 1119">同左</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1792 1119 1991 1182">地震応答解析手法</td> <td data-bbox="1991 1119 2228 1182">時刻歴応答解析を適用している。</td> <td data-bbox="2228 1119 2442 1182">同左</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1792 1182 1991 1339">三軸粘性ダンパの許容限界</td> <td data-bbox="1991 1182 2228 1339">地震応答解析結果から三軸粘性ダンパの荷重及び変位を算出し、許容荷重及び許容変位と比較している。</td> <td data-bbox="2228 1182 2442 1339">同左</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1792 1339 1991 1560">減衰性能の変動及びばらつき</td> <td data-bbox="1991 1339 2228 1560">—</td> <td data-bbox="2228 1339 2442 1560">減衰性能の変動及びばらつきを包絡するように上限及び下限の減衰性能を設定した上で、5 段階の段階的な減衰性能を設定する。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	海外実績	島根 2 号炉	減衰性能のパラメータ設定方法	三軸粘性ダンパの性能試験結果に基づき、等価剛性及び等価減衰係数のフィッティングにより 4 パラメータ Maxwell モデルのパラメータを設定している。	同左	地震応答解析手法	時刻歴応答解析を適用している。	同左	三軸粘性ダンパの許容限界	地震応答解析結果から三軸粘性ダンパの荷重及び変位を算出し、許容荷重及び許容変位と比較している。	同左	減衰性能の変動及びばらつき	—	減衰性能の変動及びばらつきを包絡するように上限及び下限の減衰性能を設定した上で、5 段階の段階的な減衰性能を設定する。	
項目	海外実績	島根 2 号炉																
減衰性能のパラメータ設定方法	三軸粘性ダンパの性能試験結果に基づき、等価剛性及び等価減衰係数のフィッティングにより 4 パラメータ Maxwell モデルのパラメータを設定している。	同左																
地震応答解析手法	時刻歴応答解析を適用している。	同左																
三軸粘性ダンパの許容限界	地震応答解析結果から三軸粘性ダンパの荷重及び変位を算出し、許容荷重及び許容変位と比較している。	同左																
減衰性能の変動及びばらつき	—	減衰性能の変動及びばらつきを包絡するように上限及び下限の減衰性能を設定した上で、5 段階の段階的な減衰性能を設定する。																