

大飯発電所4号炉審査資料	
資料番号	KON4-PLM30-耐津波
提出年月日	令和4年7月25日

大飯発電所4号炉 高経年化技術評価
(耐津波安全性評価)

補足説明資料

令和4年7月25日

関西電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

目次

1. 概要	1
別紙	3
別紙 1. 津波監視カメラおよび潮位計の保全内容について	1-1
別紙 2. 定期取替品としている止水材料および防護壁境界部等の止水ゴムの 評価上の扱いについて	2-1
別紙 3. 水密扉の耐津波安全性評価における扱いについて	3-1

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第82条第1項の規定に基づき実施した高経年化技術評価のうち、耐津波安全性評価の評価結果について、補足説明するものである。

なお、表1に示す耐津波安全性評価の評価対象設備は、全て3・4号炉共用設備であり「大飯発電所3号炉 耐津波安全性評価書」による。

表1 耐津波安全性評価の評価対象設備

設備		浸水防護施設 の区分	評価対象/ 対象外の区別	
コンクリート 構造物および 鉄骨構造物	コンクリート 構造物	防護壁	津波防護施設	対象
		貯水堰	津波防護施設	対象
		防波堤	津波影響軽減 施設	対象
		止水壁 (コンクリート部)	浸水防止設備	対象
	鉄骨構造物	止水壁(鉄骨部)	浸水防止設備	対象
		海水ポンプエリア浸水防止 蓋	浸水防止設備	対象
計測制御設備	制御設備	津波監視カメラ (海水ポンプ室)	津波監視設備	対象外 ^{*1}
		津波監視カメラ (3号機原子炉格納施設)	津波監視設備	対象外 ^{*1}
	プロセス計測 制御設備	潮位(防護壁) (以下、潮位計という)	津波監視設備	対象外 ^{*1}
		潮位計(海水ポンプエリア)	津波監視設備	対象

*1：津波監視カメラは、津波の影響を受けない位置に設置するため、耐津波安全性評価対象外とする。また、潮位計(防護壁)は、波力の影響を受けない位置に設置するとともに、漂流物の影響を受けた場合であっても他の津波監視設備で機能補完を行うことから、耐津波安全性評価対象外とする。

なお、耐津波安全性評価書について、当社の記載方針を以下に示す。

大飯4号炉の下記の津波の影響を受ける浸水防護施設は、全て3、4号炉共用設備であり、「大飯発電所3号炉 耐津波安全性評価書」による。

- ・防護壁
- ・貯水堰
- ・防波堤
- ・止水壁
- ・海水ポンプエリア浸水防止蓋
- ・潮位計（海水ポンプエリア）

また、冷温停止状態が維持されることを前提とした評価書の 3.17 耐津波安全性評価 について、当社の記載方針を以下に示す。

3.17□耐津波安全性評価⁴

冷温停止状態維持を前提とした耐津波安全性評価において、大飯4号炉の津波の影響を受ける浸水防護施設は全て3、4号炉共用設備であり、「大飯発電所3号炉冷温停止状態が維持されることを前提とした評価書-3.17-耐津波安全性評価」による。⁴

別紙

別紙 1. 津波監視カメラおよび潮位計の保全内容について

別紙 2. 定期取替品としている止水材料および防護壁境界部等の止水ゴムの評価上の扱いについて

別紙 3. 水密扉の耐津波安全性評価における扱いについて

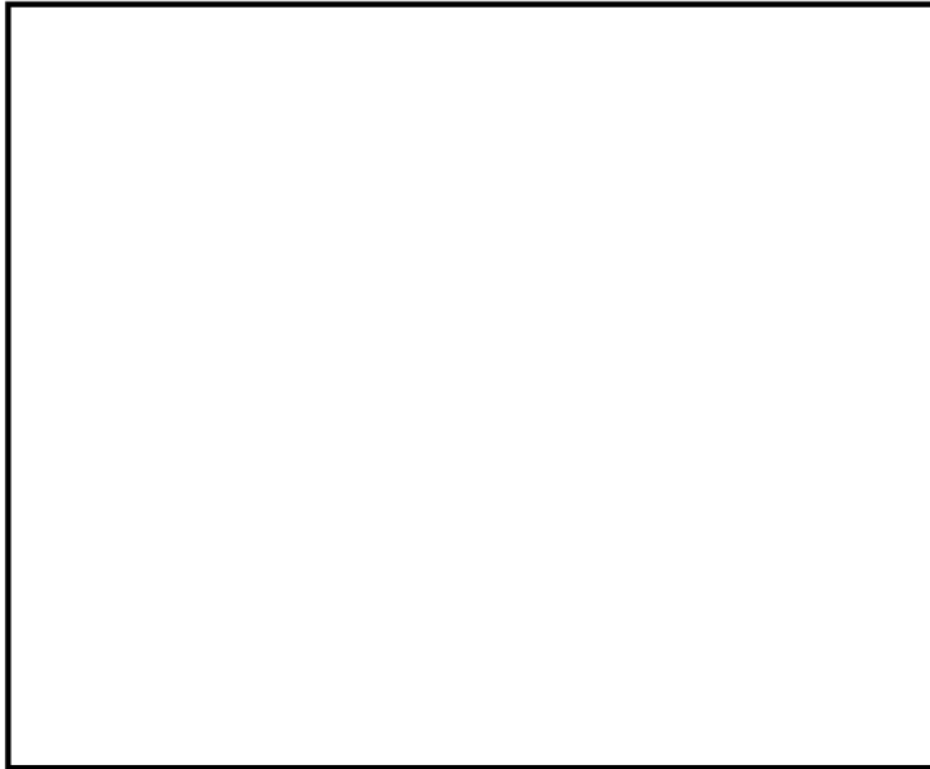
タイトル	津波監視カメラおよび潮位計の保全内容について
説明	<p>津波監視カメラおよび潮位計の保全内容については以下のとおりである。</p> <p>1. 津波監視カメラ 津波監視カメラは長期間の使用に伴い、特性変化が想定される。これらについては、機器点検時の動作試験（性能、機能試験）により、機器の健全性を維持している。 具体的な保全内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・映像出力信号の確認・カメラ動作機能の確認・電圧の確認・コネクタ・端子・配線の外観確認 等 <p>2. 潮位計 潮位計は、長期間の使用に伴い、特性変化が想定される。これらについては、機器点検時の模擬信号での校正試験・調整により、機器の健全性を維持している。 具体的な保全内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・反射板をセットし模擬的に水面距離を作り入出力特性を確認・前回からの特性変化確認・コネクタ・端子・配線の外観確認 等 <p style="text-align: right;">以 上</p>

タイトル	定期取替品としている止水材料および防護壁境界部等の止水ゴムの評価上の扱いについて
説明	<p>1. 定期取替品として扱っている止水材料について 「大飯発電所3号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」の「2.2.4 消耗品および定期取替品」に記載のとおり、海水ポンプエリア（浸水防止蓋）のパッキンは定期取替品として評価対象外としている。当該パッキンは、1回/4定検の頻度で取り換えを行うこととしている。</p> <p>2. 防護壁境界部等の止水ゴムについて 防護壁及び貯水堰に設置している止水ゴムの位置及び評価上の扱いは以下の通りである。</p> <p>(1) 止水ゴムの設置位置 防護壁においては、RC防護壁（横壁部）と海水ポンプ室の境界、RC防護壁（東側縦壁部）と止水壁の境界、RC防護壁（東側縦壁部）と防護壁のうち置換コンクリート部（以下「置換コンクリート部」という。）の境界、RC防護壁（西側縦壁部）と止水壁の境界及びRC防護壁（西側縦壁部）と置換コンクリート部の境界には、止水性の維持のため、伸縮性を有する止水ゴムを設置している。 貯水堰においては、漏えいが想定される杭基礎形式部と取付擁壁部の構造境界には、止水性の維持のため、伸縮性を有する止水ゴムを設置している。 防護壁及び貯水堰における止水ゴムの設置位置を添付1に示す。</p> <p>(2) 評価上の扱い 防護壁及び貯水堰に設置する止水ゴムはすべてコンクリートに埋設する構造であり、容易に取り替えができないことから、添付2の通り、平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された工事計画（以下「再稼働工認」という。）において長期的な耐久性能について確認し、50年以上の耐久性能を有していると評価している。また、防護壁及び貯水堰に設置する止水ゴム設置後の経過年数は2021年11月時点で3年であり、プラント運転開始後60年時点でも33年であることから問題はない。 以上より、今後も経年劣化の進展傾向が極めて小さいことが再稼働工認において確認されており、コンクリート構造物として耐津波安全性に要求される機能に有意な影響を与えるものではないと判断し、高経年化技術評価で改めて評価すべき着目部材として抽出していない。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> <p>添付1 防護壁及び貯水堰における止水ゴムの設置位置 添付2 止水ゴムの耐久性について</p>

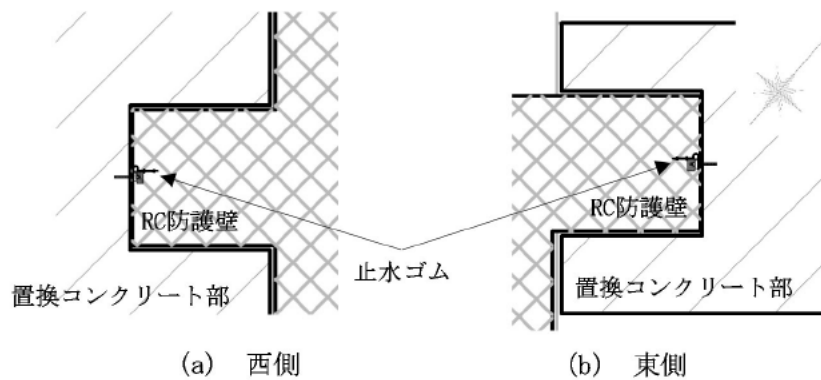
防護壁及び貯水堰における止水ゴムの設置位置

構造境界からの有意な漏えいを生じさせないために、防護壁のうち鉄筋コンクリート壁部（以下「RC防護壁」という。）と止水壁の境界部、RC防護壁と置換コンクリート部の境界部、貯水堰のうち取付擁壁部（以下「取付擁壁部」という。）と貯水堰のうち杭基礎形式部（以下「杭基礎形式部」という。）の境界部及びRC防護壁と海水ポンプ室の境界部に埋設型の止水ゴムを設置する設計としている。

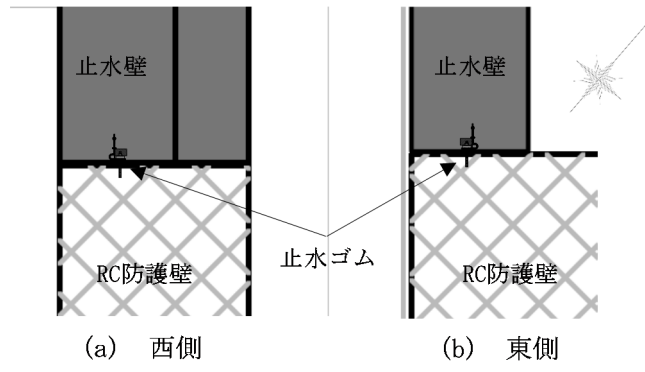
止水ゴムの設置位置を第2-1-1図～第2-1-3図に、止水ゴムの詳細図を第2-1-4図に示す。



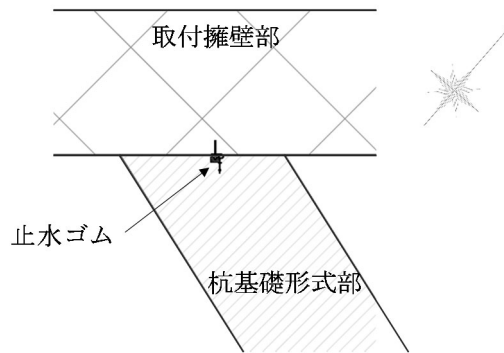
第2-1-1図 止水ゴム設置位置図



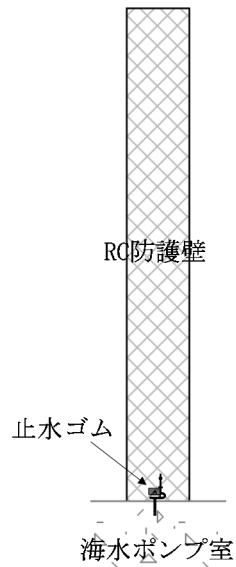
第2-1-2図 止水ゴム設置位置拡大図（平面図）(1/3)
 (①RC防護壁と置換コンクリート部の境界部)



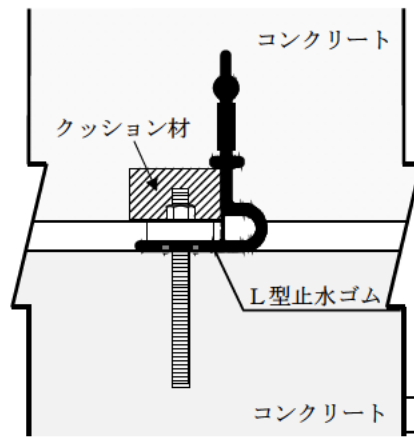
第2-1-2図 止水ゴム設置位置拡大図（平面図）（2/3）
 (②RC防護壁と止水壁の境界部)



第2-1-2図 止水ゴム設置位置拡大図（平面図）（3/3）
 (③杭基礎形式部と取付擁壁部の境界部)



第2-1-3図 止水ゴム設置位置断面図（A-A' 断面）
 (③RC防護壁と海水ポンプ室の境界部)



第2-1-4図 止水ゴム詳細図

止水ゴムの耐久性について

防護壁及び貯水堰に設置する止水ゴムはすべてコンクリートに埋設する構造であり、容易に取り替えができないことから、再稼働工認において長期的な耐久性能について確認し、50年以上の耐久性能を有していると評価している。以下に平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された工事計画 大飯発電所3号機発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書に係る補足説明資料 工事計画に係る補足説明資料（津波）（以下「再稼働工認 補足説明資料」という。）を示す。

5.14.4 耐久性について

止水ゴムはコンクリートに埋設する構造であり、容易に取り替えができないことから、長期的な耐久性能について評価する。

(1) 評価項目

一般的に、ゴムの耐久性能の評価項目としては、耐候性、耐熱性（耐熱老化性）及び耐寒性が考えられる。

a. 耐候性

屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨などの作用に抵抗する性質。

b. 耐熱性（耐熱老化性）

熱によって老化（酸化・分解）が促進されることに抵抗する性質。

c. 耐寒性

低温環境下にさらされ、硬化することによって弾性が失われることに抵抗する性質。なお、耐寒性については、温度が上がれば機能が回復するという点で、耐熱性（耐熱老化性）とは性質が異なる。

(2) 評価結果

耐候性、耐熱性（耐熱老化性）及び耐寒性の評価結果を以下に示す。

a. 耐候性

ゴム止水板研究会により、L型止水ゴムと同じく天然ゴムを主原料とした一般的なゴム止水板に関して、ウェザーメーター試験が実施されている。ウェザーメーター試験は、屋外に長期放置された場合を想定し、主に日光（紫外線）に対する耐性を評価するためのものである。第5-14-17図に試験方法、第5-14-18図に試験結果を示す。

ウェザーメーター試験結果からの推定では、初期伸び率400%（規格値）に対して、50年後においても伸び率[※]1200%を示していることから、十分な耐久性を有している。なお、ウェザーメーター試験は屋外曝露を想定したものであることから、ゴム止水板露出部の状態を再現しており、コンクリート躯体に埋設されたゴム止水板については、劣化速度はさらに緩やかになると評価されている。

本地点においても、L型止水ゴムはコンクリートに埋設することから、日光等の影響を受けにくく、劣化速度は上記のウェザーメーター試験結果よりさらに緩やかになると考えられる。

※1 ゴム止水板研究会では、ゴムの最大の特徴である弾性（伸び率）に着目して耐久性を評価しており、ゴム部材として機能するための最低限の伸び率として、伸び率 100%を寿命と設定している。

b. 耐熱性（耐熱老化性）

ゴム止水板研究会により、L型止水ゴムと同じく天然ゴムを主原料とした一般的なゴム止水板に関して、耐熱老化試験が実施されている。耐熱老化試験は、熱老化の影響を評価するためのものであり、各試験温度における寿命点を求め、寿命が絶対温度に反比例するというアレニウスの式を用いて、実用温度 20℃での寿命推定を行っている。第 5-14-17 図に試験方法、第 5-14-18 図に試験結果を示す。

耐熱老化試験による実用温度 20℃での寿命推定では、約 72 年後に伸び率 100%に達する結果となっていることから、十分な耐久性を有している。また、実際にコンクリートに埋設されていた製品の物性値（伸び）も第 5-14-18 図に示されており、耐熱老化試験による推定よりも大きくなっている。これは、埋設後酸素から遮断されるとともに、低温域となることから、ゴム止水板に対しては非常に緩やかな環境となっているためだと評価されている。

本地点においても、L型止水ゴムはコンクリートに埋設することから、酸素から遮断されるとともに、低温域となり、寿命は上記の耐熱老化試験による推定よりさらに長くなると考えられる。

c. 耐寒性

一般的に、天然ゴムのガラス転移温度^{*2}は-60℃程度（第 5-14-19 図）、使用性を考慮した耐寒温度は-50℃程度^{*3}とされている。最寄りの気象官署の観測記録（第 5-14-4 表）によると、過去最低気温は-11℃程度であることから、本地点での使用に関しては影響がないと評価する。

※2 ガラス転移温度以下では、ゴムはガラス状（非結晶部分の分子の動きがなくなった状態）となり、弾性を完全に失う。

※3 ガラス転移温度以上であっても、弾性の低下によって支障をきたすことがあるため、T-R 試験（低温弾性回復試験）値等を基に、一般的には-50℃程度とされている。

また、海水による影響も想定されるが、天然ゴムは耐海水性に優れており、港湾施設における使用実績も十分にあることから、本地点での使用に関しては影響がないと評価する。

(1) ウェザーメーター試験

試料：ゴム止水板よりJIS K 6301 (加硫ゴム物理試験方法)に規定された#3号ダンベルを採取。

試験機：デューサイクルサンシャインスーパーロングライフウェザーメーター (スガ試験機KK製)

光源の種類：サンシャインカーボンアーク

フィルターの形：パネル

透過率：255nm 以下 0%、400nm 90%以上

ブラックパネル温度：63±3°C

降雨サイクル：120minにおいて18min

時間：150、300、450、750、1200hrs

ウェザーメーター試験は、自然の紫外線量から換算して試験時間150hrsを一年と仮定しました。

(2) 耐熱老化試験

試料：(1)と同一

方法：JIS K 6301による。

温度：100、110、120°C

時間：24~114hrs

耐熱老化試験は、各試験温度における寿命点を求め、次にアレニウスの式から寿命(t)が絶対温度(1/T)に比例することにより、実用温度20°Cでの寿命の推定を行いました。

アレニウスの式

$$\log t = A + \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

t : 寿命

A、R : 定数

E : 活性化エネルギー

T : 絶対温度

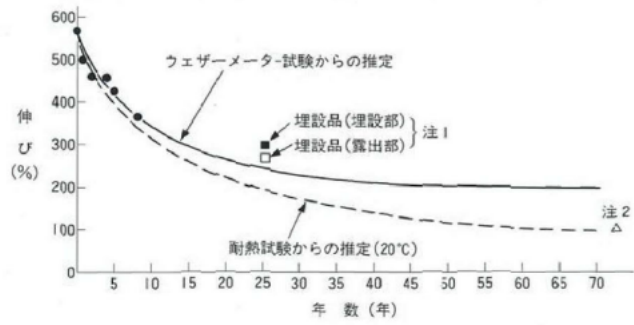
尚、寿命はゴムの伸びに着目して、ゴム部材として機能する為の最低限の伸び100%としました。

以上、促進試験結果と実際に施工埋設されていた製品との物性比較から、ゴム止水板の材料としての耐久性を推定しました。

第 5-14-17 図 試験方法

(ゴム止水板技術資料 (ゴム止水板研究会) から抜粋)

ウェザーメーターでの試験、耐熱老化試験から得られた数値、また実際に施工埋設されて
いた止水板の物性値（伸び）を併せ、グラフ化すると次のようになります。



注1. 愛知用水総合管理所、幹線水路神尾第二フリュームより昭和57年9月試料採取、昭和33年施工、経年数約25年。

注2. アレニウスプロットにより約72年後伸び100%に達する。

第 5-14-18 図 試験結果

(ゴム止水板技術資料 (ゴム止水板研究会) から抜粋)

各種加硫ゴムの低温特性値

ゴムの種類	カーボンブラック phr	低温特性値 (単位°C)				
		T_g	T_s	T_{10}	T_{50}	T_{70}
BR	SRF 50	-70以下	-70以下	-	-	-
天然ゴム NR	"	-62	-59	-59	-53	-48
SBR	"	-51	-58	-47	-41	-38
IIR	"	-61	-46	-56	-46	-42
CR (W)	"	-41	-	-38	-25	-6
CR (WRT)	"	-40	-37	-37	-28	-19
NBR (ハイカー1041)	"	-15	-20	-14	-10	-7
NBR (ハイカー1042)	"	-27	-36	-	-	-
CIIR						
(Esso Butyl HT-1066)	FEF 30	-56	-45	-45	-32	-23
CO (ハイドリソ100)	FEF 30	-25	-19	-18	-12	-9
ECO (ハイドリソ200)	FEF 30	-46	-40	-36	-30	-29
CSM (ハイパロン40)	FEF 40	-27	-43	-6	+6	+7
ACM (チアクリル76)	FEF 45	-	-18	-18	-8	-2
FKM (G-501)	FT 25	-	-36	-14	+9	+15
T (チオコールFA)	FEF 30	-49	-	-42	-30	-18
U (エラストサン455)	FEF 25	-32	-36	-22	-13	-7

T_g : ゲーマンねじり試験より (ガラス硬化温度: ゴムがガラス状に変化し、弾性を失う温度)

T_s : ぜい化試験より (ぜい化温度: 弾性回復の目安となる温度)

T_{10} , T_{50} , T_{70} : T-R試験より (ゴムの伸ばした状態で、ガラス硬化温度以下で凍結させた後、温度を上昇させながら自由に収縮させ、収縮率が10%、50%及び70%となったときの温度)

出典 丹野博夫: 日ゴム協誌, 46, 644 (1975)

第 5-14-19 図 ゴムの低温特性値

(非金属材料データブック (日本規格協会) から抜粋・加筆)

第 5-14-4 表 日最低気温の観測記録

観測地点	最低気温	観測日	期間
舞鶴特別地域気象観測所	-8.8℃	1977年2月16日	1947年～2015年
敦賀特別地域気象観測所	-10.9℃	1904年1月27日	1897年～2015年

(気象庁ホームページ「過去の気象データ」による)

(3) まとめ

一般的に、天然ゴムの耐久性に最も大きな影響を与える項目は耐候性であるとされているが、本地点では L 型止水ゴムをコンクリートに埋設することから、日光（紫外線）による影響は小さくなり、熱老化による影響が最も大きくなると考えられる。以上により、本地点で使用する L 型止水ゴムについては、50 年以上の耐久性能を有していると評価する。

なお、L 型止水ゴムにはアンカーボルトが使用されているが、材質はステンレス (SUS316) であることから、耐久性能には影響を与えないと考えられる。

タイトル	水密扉の耐津波安全性評価における扱いについて
説明	<p>大飯4号の水密扉は、耐津波安全性評価の対象設備としていないが、その理由は、以下のとおりである。</p> <p>浸水防護設備には、津波用の設備と内部溢水用の設備およびその共用の設備がある。</p> <p>当社のプラントで津波用の水密扉としては、タービン建屋内に海水を送る循環水管の伸縮継手部から、津波による水位上昇によりタービン建屋に海水が流入し、タービン建屋の地下で貯水しきれなくなる場合に、地表面より上にある水密扉が外部への溢水の障壁として期待される場合が該当する。</p> <p>大飯4号については「津波による循環水管伸縮継手からの流入量」や「タービン建屋内2次系機器からの漏水量」を加算しても、タービン建屋地下部の空間容量以下で収まり、敷地高さより水位は上がらない。よってタービン建屋から浸水防護重点化範囲へ浸水する扉等の溢水伝播経路は存在せず、津波の影響を受ける浸水防護設備として水密扉は抽出されていない。</p> <p>(大飯4号 新規制工事計画認可申請書 資料2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書 資料2-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価 4u-添2-2-4-46頁 参照)</p> <p>例えば、制御建屋水密扉およびディーゼル発電機室と湧水サンプとの境界の水密扉の、浸水防護設備としての用途と取り扱いについて説明する。</p> <p>【制御建屋水密扉】</p> <p>制御建屋水密扉については、以下を目的として設置されている水密扉であり、内部溢水用の浸水防護設備である。したがって耐津波安全性評価対象設備ではない。</p> <ul style="list-style-type: none"> －地震時の屋外タンクからの溢水が、防護対象設備がある制御建屋内へ伝播することを防止する －制御建屋内で発生を想定した溢水水位による静水圧により、建屋の外へ伝播することを防止する <p>(大飯4号 新規制工事計画認可申請書 資料8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書 資料8-1 溢水等による損傷防止の基本設計 4u-添8-1-13頁 参照)</p>

【ディーゼル発電機室と湧水サンプとの境界の水密扉】

ディーゼル発電機室と湧水サンプとの境界の水密扉については、原子炉周辺建屋の湧水は、耐震性を有する湧水サンプポンプ及び吐出ラインにより海へ排出可能なため湧水は問題とはならないが、万一湧水サンプポンプからの排水が機能しないと仮定した場合、当該水密扉により防護対象設備のあるディーゼル発電機室へ溢水は伝播しないよう設置されているものである。なお本水密扉は万一の備えの扱いであり、内部溢水用および津波用いずれの浸水防護設備でもない。したがって耐津波安全性評価対象設備ではない。

(大飯4号 新規制工事計画認可申請書

資料2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書

資料2-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価

4u-添2-2-4-47頁 参照)

なお、大飯3号の水密扉についても、同様の理由で、耐津波安全性評価の対象設備として抽出していない。

以 上