

島根原子力発電所2号炉 内部溢水影響評価について (コメント回答)

令和元年10月
中国電力株式会社

審査会合での指摘事項に対する回答

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
1	令和元年7月25日	燃料プールのスロッシングによる溢水量評価について、他の位相の異なる地震動を用いた場合の影響を定量的に説明すること。	P2～6
2	令和元年7月25日	輪谷貯水槽（東側）のスロッシングによる溢水量評価の解析について、燃料プールと同様に異なる位相の地震動を用いた解析を実施し、その結果を踏まえて溢水量の妥当性を説明すること。また、燃料プールと同様に解析条件を詳細に説明すること。	P7～11
3	令和元年7月25日	タービン建屋内の安全系ケーブル絶縁抵抗試験について、運転時の環境条件を踏まえ経年劣化の考慮の必要性を整理して説明すること。	P12～15

■ 指摘事項（審査会合 令和元年7月25日）

燃料プールのスロッシングによる溢水量評価について、他の位相の異なる地震動を用いた場合の影響を定量的に説明すること。

【回答】

<前回までの検討>

- 燃料プールのスロッシング解析に用いる地震動は、スロッシングの固有周期が長周期（4～5秒）であることから、基準地震動 S_s のうち、長周期領域での応答加速度が大きい S_{s-D} を用いた。
- 水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力によるスロッシング解析において、 S_{s-D} は特定の方向性を持たない応答スペクトル手法に基づき策定された地震動であることから、水平2方向に同位相の地震動と位相特性の異なる地震動を用いた解析を実施した。この結果、位相特性の異なる地震動を用いた方がスロッシングによる溢水量が大きくなることを確認した。

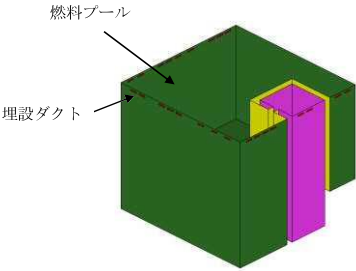
<今回の検討>

- 位相特性の異なる地震動を用いた追加のスロッシング解析として、NS方向＋鉛直方向とEW方向＋鉛直方向の2方向同時入力のスロッシング解析を行い、溢水量は2つの解析結果を足し合わせて設定することとした。
- 上記の溢水量が、位相特性の異なる地震動を用いた3方向同時入力のスロッシング解析による溢水量よりも大きくなり、保守的な設定であることを確認した。

審査会合での指摘事項に対する回答 No.1 (2/5)

● 燃料プールのスロッシング解析条件

・燃料プールのスロッシング解析条件を下表に示す。

項目	内容
モデル化範囲	燃料プール
解析モデル	 <p>The diagram shows a 3D perspective view of a fuel pool model. A green rectangular block represents the fuel pool, with a yellow rectangular block inside it representing an underground duct. Labels with arrows point to the '燃料プール' (fuel pool) and '埋設ダクト' (underground duct).</p>
境界条件	プール上部は開放とし，他は壁による境界を設定する。 スロッシングにより解析範囲外に流出した水は戻らないものとする。
初期水位	EL 42.56m (HWL:High Water Level)
評価用地震動	基準地震動Ss-Dによる燃料プール位置 (EL42.8m) の応答波
解析コード	汎用熱流体解析コード Fluent ver.18.1.0
解析時間	100 秒
物性値	密度[kg/m ³] : 1.190 (空気) , 998.2 (水) 粘性係数[Pa・s] : 1.827×10 ⁻⁵ (空気) , 1.094×10 ⁻³ (水)
プール寸法	14.0m (NS方向) ×13.5m (EW方向) ×11.73m (HWL)

審査会合での指摘事項に対する回答 No.1 (3/5)

- 燃料プールのスロッシング解析に用いる地震動
 - ・スロッシング固有周期（約4.3秒）において応答加速度が最大となるSs-Dを用いる。
 - ・原子炉建物の地震応答解析より得られる燃料プール位置（EL42.8m）の応答波を用いる。

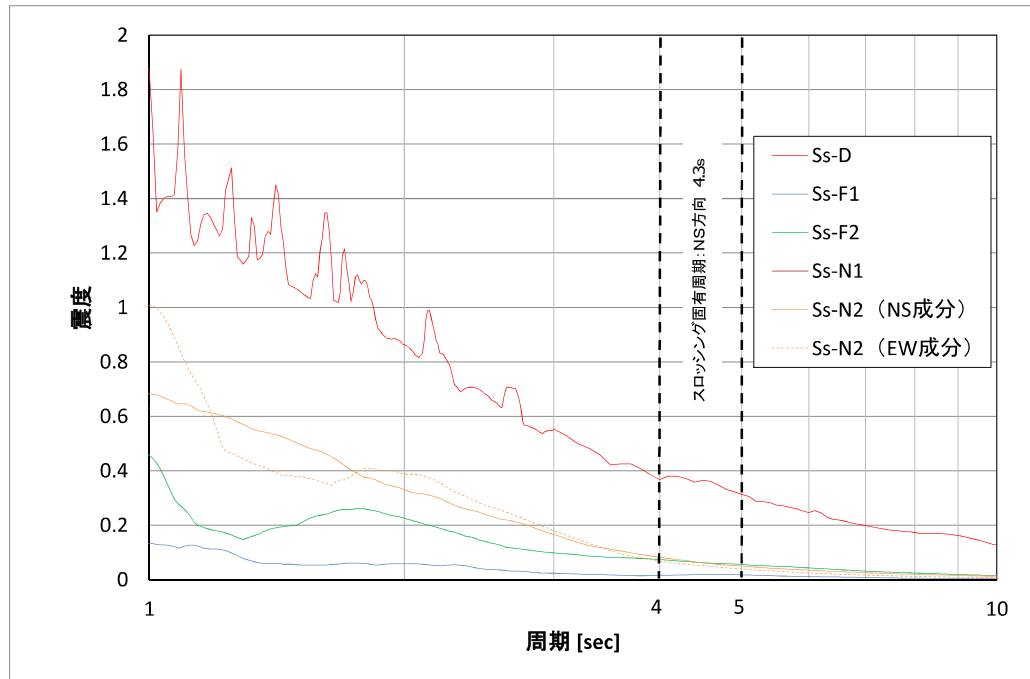


図1 燃料プールの床応答スペクトル
(NS方向 減衰0.5%※ EL42.8m)

※ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」に基づき、液体の揺動に対する設計用減衰定数である0.5%を用いた。

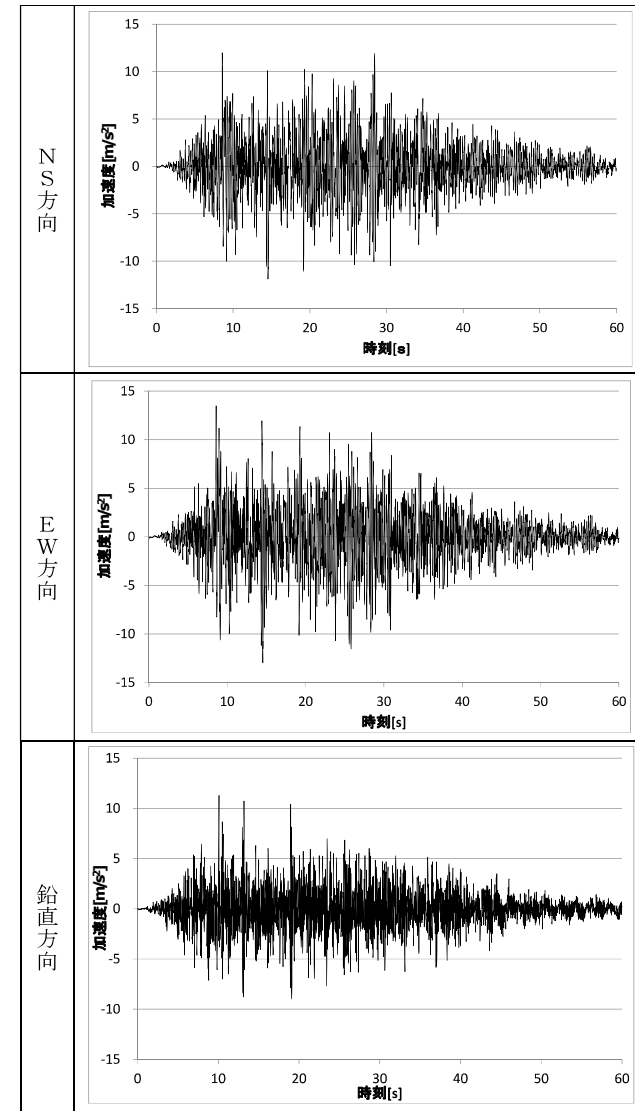


図2 入力地震動の加速度時刻歴波形

審査会合での指摘事項に対する回答 No.1 (4/5)

●燃料プールの溢水量算出結果

- ・NS方向+鉛直方向, EW 方向+鉛直方向にそれぞれSS-Dを入力したスロッシング解析の結果を下表に示す。
- ・内部溢水影響評価に用いる溢水量は, NS方向+鉛直方向, EW 方向+鉛直方向の解析結果を足し合わせた溢水量に対し, 解析コード (Fluent) における解析値と試験値の差異を踏まえて1.1倍を考慮し, 保守的に設定した。

表 燃料プールのスロッシング解析による溢水量 (2方向入力)

	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]	備考
①NS方向+鉛直方向	55	20	75	解析結果
②EW 方向+鉛直方向	56	21	76	解析結果
①+ ②	110	41	151	溢水量を足し合わせ
(①+ ②) ×1.1	121	45	166	1.1倍の考慮
内部溢水影響評価用	130	50	180	溢水影響評価に 用いる値

※ 表中の解析結果は, 小数点以下を切り上げた値を示す。また, 溢水量の足し合わせ及び係数倍は解析結果に基づき実施し, 表記上は小数点以下を切り上げた値を示す。

●燃料プールのスロッシングによる溢水量の保守性確認

・NS方向+鉛直方向, EW 方向+鉛直方向の解析結果の足し合わせにより設定した溢水量が, 3方向同時入力のスロッシング解析による溢水量より大きく, 保守的であること確認した。

表1 内部溢水影響評価に用いる溢水量

	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]
内部溢水影響評価に用いる溢水量	130	50	180

表2 燃料プールのスロッシング解析による溢水量 (3方向同時入力)

	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]
NS方向：Ss-D EW 方向：組合せ用地震動 鉛直方向：Ss-D	106	22	127
NS方向：組合せ用地震動 EW 方向：Ss-D 鉛直方向：Ss-D	101	23	123

※ 表の値は解析結果に対して小数点以下を切り上げた値を示す。

■ 指摘事項（審査会合 令和元年7月25日）

輪谷貯水槽（東側）のスロッシングによる溢水量評価の解析について、燃料プールと同様に異なる位相の地震動を用いた解析を実施し、その結果を踏まえて溢水量の妥当性を説明すること。また、燃料プールと同様に解析条件を詳細に説明すること。

【回答】

<前回までの検討>

- 輪谷貯水槽のスロッシング解析に用いる地震動は、スロッシングの固有周期が長周期（6秒以上）であることから、基準地震動 S_s のうち、長周期領域での応答加速度が大きい S_{s-D} を用いた。
- 水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力によるスロッシング解析において、 S_{s-D} は特定の方向性を持たない応答スペクトル手法に基づき策定された地震動であることから、水平2方向に同位相の地震動を用いた解析を実施した。

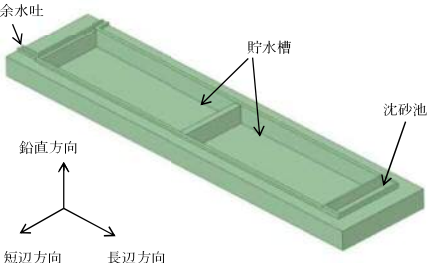
<今回の検討>

- 燃料プールのスロッシング解析と同様に、位相特性の異なる地震動を用いた解析として、短辺方向＋鉛直方向、長辺方向＋鉛直方向のスロッシング解析を行い、溢水量は2つの解析結果を足し合わせて設定することとした。
- 3方向同時入力による追加スロッシング解析として、水平2方向に位相特性の異なる地震動を用いた解析を実施し、上記により設定した溢水量が3方向同時入力のスロッシング解析による溢水量よりも大きく、保守的な設定であることを確認した。

審査会合での指摘事項に対する回答 No.2 (2/5)

● 輪谷貯水槽のスロッシング解析条件

- ・ 輪谷貯水槽（東側）のスロッシング解析条件を下表に示す。

項目	内容
モデル化範囲	輪谷貯水槽（東側） 2槽連結モデル
解析モデル	
境界条件	貯水槽上部は開放とし、他は壁による境界を設定する。 スロッシングにより解析範囲外に流出した水は戻らないものとする。
初期水位	EL 49.5m (HWL)
評価用地震動	基準地震動Ss-Dによる輪谷貯水槽の床応答
解析コード	汎用熱流体解析コード Fluent ver.18.2
解析時間	500 秒
物性値	密度[kg/m ³] : 1.21 (空気) , 999 (水) 粘性係数[Pa・s] : 1.799×10 ⁻⁵ (空気) , 1.154×10 ⁻³ (水)
貯水槽寸法	20m (短辺方向) × 51m (長辺方向) × 5.3m (HWL) × 2水槽

● 輪谷貯水槽のスロッシング解析に用いる地震動

- ・スロッシング固有周期（短辺方向：約6秒，長辺方向：約14秒）において応答加速度が最大となるSs-Dを用いる。
- ・輪谷貯水槽の地震応答解析による応答波を用いる。

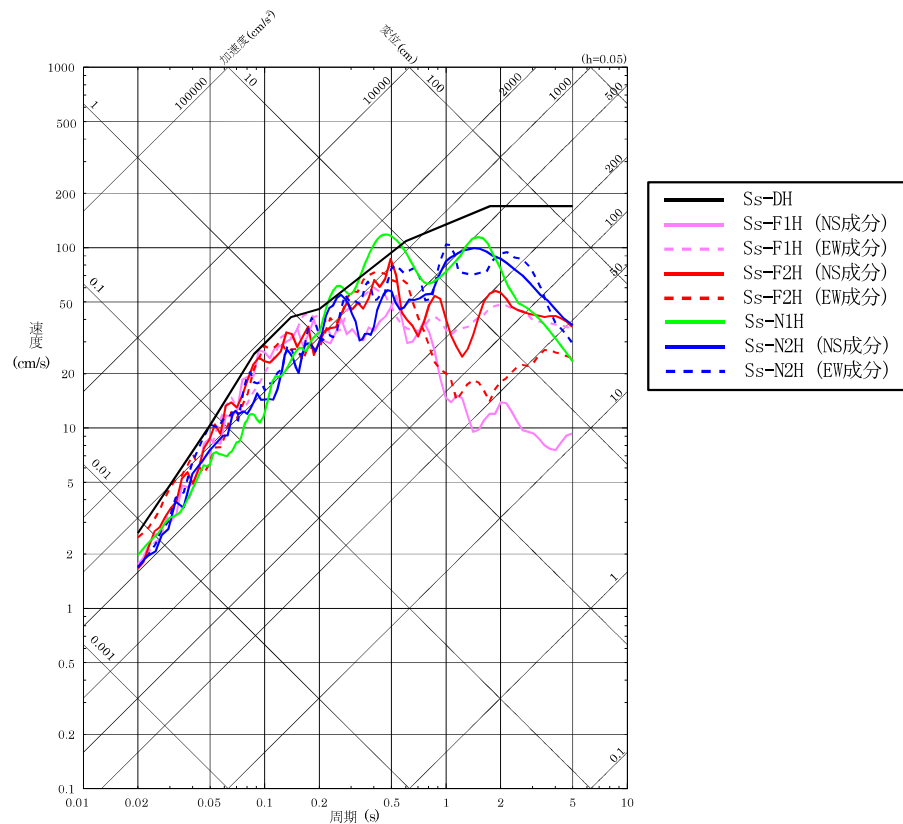


図1 基準地震動Ssの応答スペクトル（水平方向）

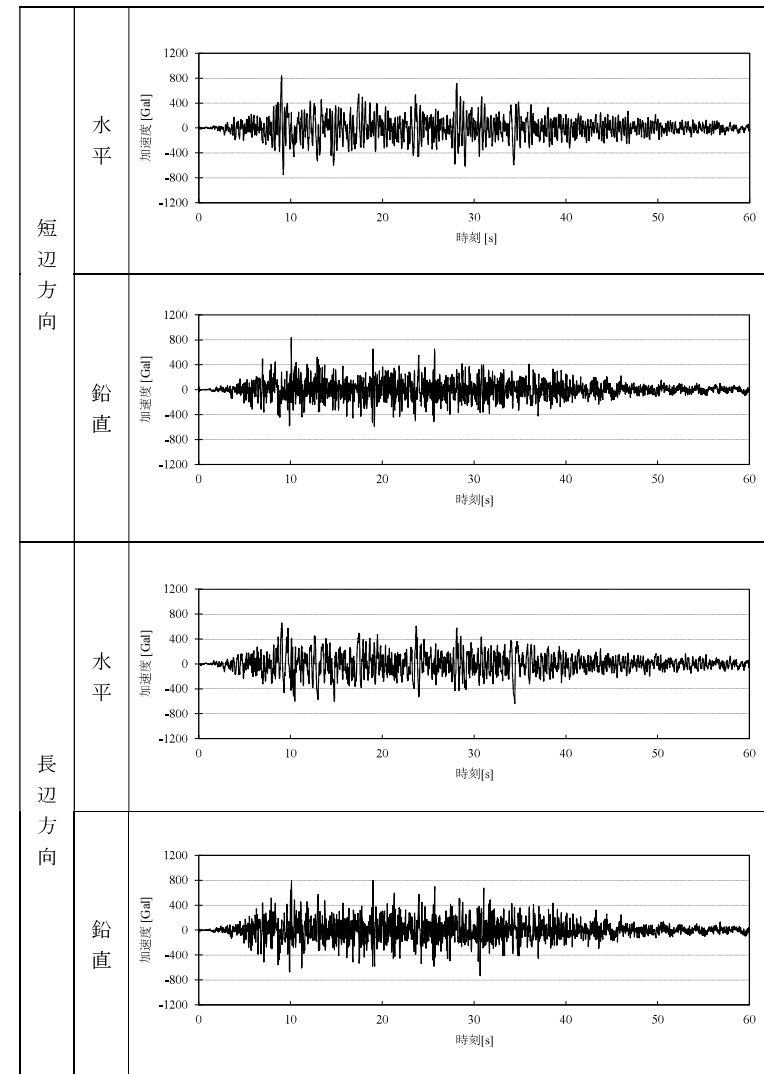


図2 入力地震動の加速度時刻歴波形

審査会合での指摘事項に対する回答 No.2 (4/5)

● 輪谷貯水槽の溢水量算出結果

- ・短辺方向 + 鉛直方向, 長辺方向 + 鉛直方向にそれぞれSS-Dを入力したスロッシング解析の結果を下表に示す。
- ・内部溢水影響評価に用いる溢水量は, 短辺方向 + 鉛直方向, 長辺方向 + 鉛直方向の解析結果を足し合わせた溢水量に対し, 解析コード (Fluent) における解析値と試験値の差異を踏まえて1.1倍を考慮し, 保守的に設定した。

表 輪谷貯水槽のスロッシング解析による溢水量 (2方向入力)

	溢水量 [m ³]	備考
①短辺方向 + 鉛直方向	1350	解析結果
②長辺方向 + 鉛直方向	344	解析結果
①+ ②	1694	溢水量を足し合わせ
(①+ ②) × 1.1	1864	1.1倍の考慮
内部溢水影響評価用	2200	溢水伝播拳動評価に用いる値

※ 表中の解析結果は, 小数点以下を切り上げた値を示す。また, 溢水量の足し合わせ及び係数倍は解析結果に基づき実施し, 表記上は小数点以下を切り上げた値を示す。

● 輪谷貯水槽のスロッシングによる溢水量の保守性確認

- ・短辺方向+鉛直方向, 長辺方向+鉛直方向の解析結果の足し合わせにより設定した溢水量が, 3方向同時入力のスロッシング解析による溢水量より大きく, 保守的であること確認した。

表1 内部溢水影響評価に用いる溢水量

	溢水量 [m ³]
内部溢水影響評価に用いる溢水量	2200

表2 輪谷貯水槽のスロッシング解析による溢水量 (3方向同時入力)

	溢水量 [m ³]
短辺方向 : Ss-D 長辺方向 : 組合せ用地震動 鉛直方向 : Ss-D	1485

※ 表の値は解析結果に対して小数点以下を切り上げた値を示す。

審査会合での指摘事項に対する回答 No.3 (1/4)

■ 指摘事項（審査会合 令和元年7月25日）
 タービン建屋内の安全系ケーブル絶縁抵抗試験について、運転時の環境条件を踏まえ経年劣化の考慮の必要性を整理して説明すること。

【回答】

■タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブルに対し、設置区画の環境条件における40年間の運転期間を包絡する環境、さらに原子炉建物（格納容器外）の事故時環境を模擬した劣化条件による耐環境試験を実施し、健全性を確認した。

●対象ケーブル

耐環境試験及び浸水課電試験を実施し、健全性を確認したタービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブル仕様を下表に示す。

表 タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブル

名称	シース	絶縁体	系統
6,600V 架橋ホ°リフレイン絶縁 難燃性特殊耐熱ビニルシース電力ケーブル	難燃性特殊 耐熱ビニル	架橋 ポリエチレン	原子炉補機海水系
600V 難燃性架橋ホ°リフレイン絶縁 難燃性特殊耐熱ビニルシース電力ケーブル		難燃性架橋 ポリエチレン	原子炉補機海水系 高圧炉心スプレイ補機海水系 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電系
難燃性架橋ホ°リフレイン絶縁 難燃性特殊耐熱ビニルシース制御ケーブル			原子炉補機海水系 高圧炉心スプレイ補機海水系

審査会合での指摘事項に対する回答 No.3 (2/4)

●耐環境試験（マンドレル耐電圧試験）

タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブルに対し、設置区画の環境条件における40年間の運転期間を包絡する環境、さらに原子炉建物（格納容器外）の事故時環境を模擬した劣化条件による耐環境試験を実施し、電氣的・機械的な健全性を確認する。

試験条件：劣化を模擬したケーブルに対し、ケーブル外径の約40倍の直径を持つ金属円筒の周囲にケーブルを巻き付け、真水中に浸漬させた状態で絶縁体厚さに対し、50 [Hz]または60 [Hz]の交流電圧3.2 [kV/mm]を印加。

表 建物内環境条件及び試験時の劣化条件

対象ケーブル設置区画 環境条件		試験時の劣化条件		
周囲温度 [°C]	放射線量 [Gy/40]	加速熱劣化	放射線照射線量 [Gy]	事故時雰囲気曝露
40	4	121°C※ 168時間※	5.0×10^5	最高171°C 最高0.43M Pa 約25時間

※ アレニウスの法則による40°C、40年を包絡する値

審査会合での指摘事項に対する回答 No.3 (3/4)

●浸水課電試験

タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブルは、海水等による浸水課電試験を実施し、海水の浸水による影響を確認する。

浸水課電試験に用いた水溶液を以下に、試験条件を表1、試験結果を表2に示す。

試験水溶液：標準海水、硫酸水溶液（3w t%）、カセイソーダ水溶液（3w t%）、水酸化カルシウム水溶液（0.5w t%）

表2 浸水課電試験結果

表1 浸水課電試験条件

名称	電圧 [V]	時間※3 [h]	水溶液温度※4 [°C]
6,600V 架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス電力ケーブル	4,000※1	200	90
600V 難燃性架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス電力ケーブル	480※2	200	90
難燃性架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス制御ケーブル	480※2	200	90

名称	判定基準※	絶縁抵抗[M Ω-km]			
		結果			
		標準海水	硫酸水溶液 (3w t%)	カセイソーダ水溶液 (3w t%)	水酸化カルシウム水溶液 (0.5w t%)
6,600V 架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス電力ケーブル	100≦	15,000	12,000	7,000	12,000
600V 難燃性架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス電力ケーブル		1,300	1,100	1,400	1,300
難燃性架橋ホ°リフレン絶縁難燃性特殊耐熱ビニルス制御ケーブル		2,000	1,300	1,600	1,800

※1 各芯遮蔽があるため大地間電圧に余裕を考慮した値
 ※2 ロードセンタ及びコントロールセンタ電圧460Vに余裕を考慮した値
 ※3 7日間（168時間）に余裕を考慮した値
 ※4 ケーブル絶縁体の連続許容温度

※ 高圧電動機絶縁抵抗判定基準5M Ω（回転電気機械一般（JEC-2100-2008）に基づき計算）を上回る値、低圧電路絶縁性能判定基準0.4M Ω（電気設備に関する技術基準を定める省令（電気設備の技術基準の解釈））を上回る値

●まとめ

タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブルは、以下により海水に没水しても健全性は維持されると考える。

- ・タービン建物内に設置している原子炉補機海水系等のケーブルに対し、設置区画の環境条件における40年間の運転期間を包絡する環境、さらに原子炉建物（格納容器外）における事故時環境を模擬した劣化条件による耐環境試験を実施し、健全性を確認した。また、海水等による浸水課電試験を実施し、海水等の浸水による影響が十分小さいことも確認した。
- ・耐環境試験におけるマンドレル耐電圧試験は、海水中ではなく真水中で行われているが、いずれも導電性を有する水中であり、浸水課電試験の絶縁抵抗測定結果に、水溶液による有意な違いがないことから、試験する水溶液によるマンドレル耐電圧試験結果への影響は十分小さいと考えられる。
- ・これまで系統機器の点検時に絶縁抵抗測定等を実施し、有意な絶縁特性低下がないこと、系統機器の点検時に実施する機器の動作試験においても絶縁機能の健全性を確認しており、屋外に布設され雨水や海塩粒子等に晒される原子炉補機海水系等のケーブル（タービン建物内に設置しているケーブルと同じ）についても、絶縁体の絶縁不良は確認されていない。