

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7月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

No.	審査会合日	コメント趣旨	回答頁
1	令和元年5月9日	屋外タンク等の溢水影響評価フローについて、保有水量によって溢水源から除外される考え方及び溢水防護対象設備が設置された建物・区画からの距離だけで溢水源から除外される考え方を見直すこと。	P.2～8
2	令和元年5月9日	循環水系配管の損傷を想定した浸水量評価については、第5条の内郭防護の確認内容でもあるため、内郭防護の審査に向けた準備を行うこと。	P.9～12
3	令和元年5月9日	燃料プールのスロッシングによる溢水量評価の解析で、水平2方向の入力地震動として同位相の基準地震動 S_s-D を用いていることで、溢水量が保守的に見積もられることを示すこと。また、保守性を考慮して解析値を1.1倍することについて、試験と解析の差異や応答スペクトルの拡幅相当の余裕考慮の有無を含め1.1倍の根拠を示すこと。	P.13～19

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (1/7)

■ 指摘事項（審査会合 令和元年5月9日）

屋外タンク等の溢水影響評価フローについて，保有水量によって溢水源から除外される考え方及び溢水防護対象設備が設置された建物・区画からの距離だけで溢水源から除外される考え方を見直すこと。

【回答】

- 屋外タンク等の溢水影響評価フローを見直し，保有水量及び溢水防護対象設備が設置された建物・区画からの距離に関わらず，溢水源とするフローとした。
- フローに基づき抽出した溢水源とする屋外タンク等の配置及びリストを次ページ以降（P.3 ,P.4）に示す。

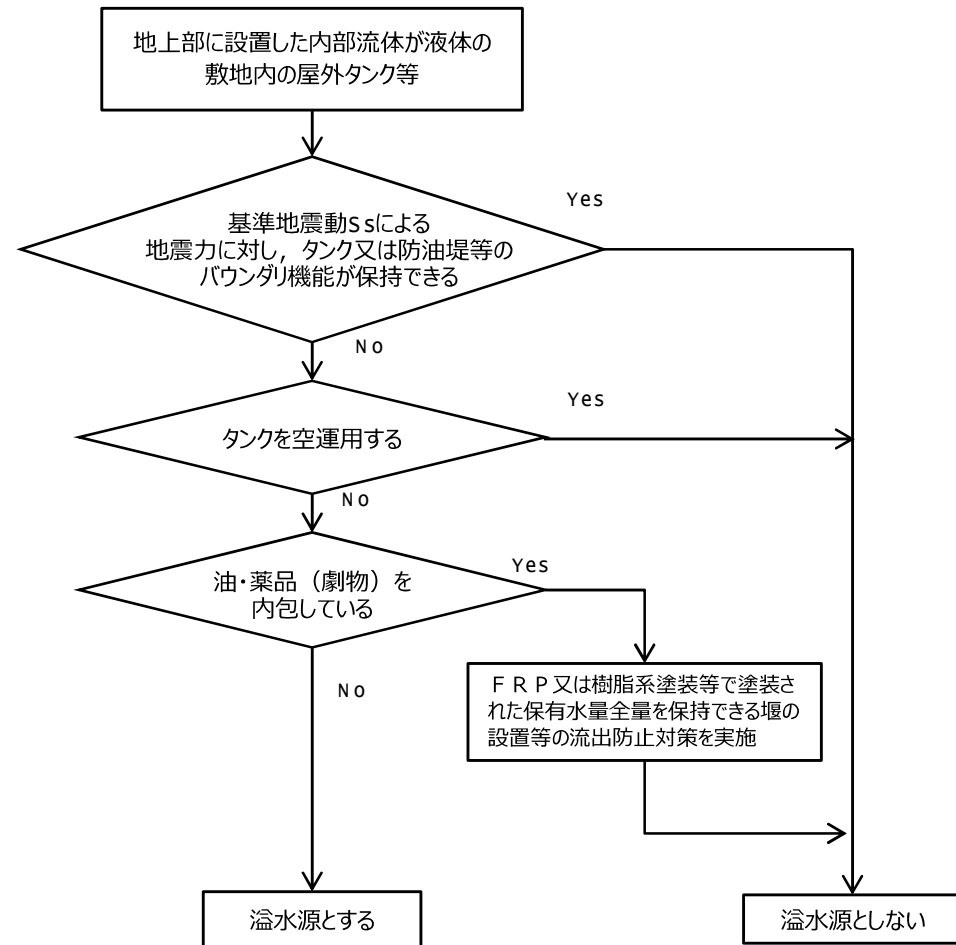


図 溢水源とする屋外タンク等の選定フロー

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (2/7)

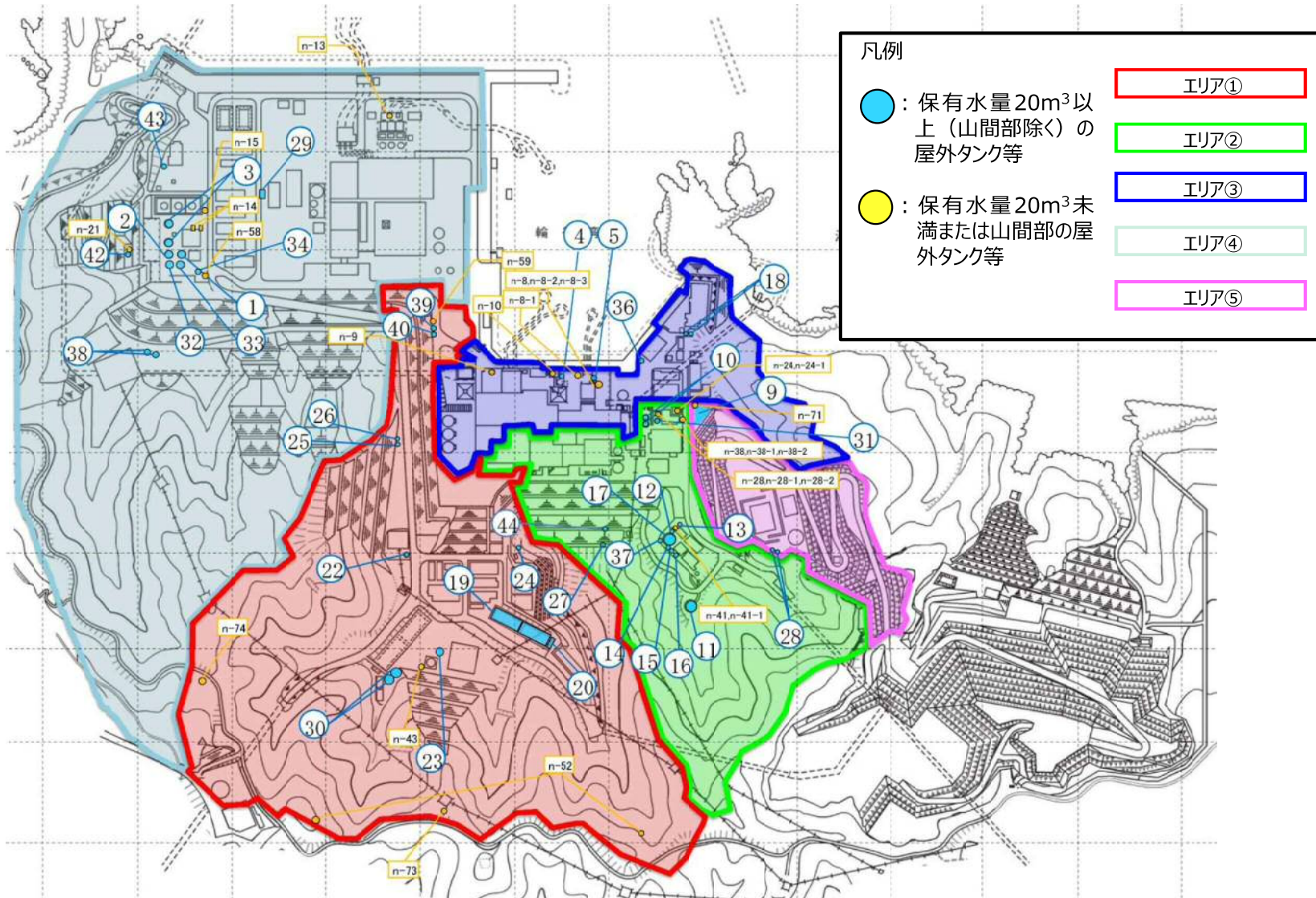


図 溢水源とする屋外タンク等の配置

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (3/7)

表 溢水源とする屋外タンク等

No	名称	保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動 評価に用いる 溢水量 [m ³] ^{※3}	配置 No	保有水量 20m ³ 以上 (山間部除 く)の屋外タ ンク等	エリア No	合計 保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動評 価に用いる合計 溢水量 [m ³] ^{※2}	No	名称	保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動 評価に用いる 溢水量 [m ³] ^{※3}	配置 No	保有水量 20m ³ 以上 (山間部除 く)の屋外タ ンク等	エリア No	合計 保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動評 価に用いる合計 溢水量 [m ³] ^{※2}			
1	雑用水タンク	33	49	25	○	エリア①	2,342	2,625 (2,485)	41	変圧器消火水槽	222	245	4	○	エリア③	357	448 (399)			
2	宇中系統中継水槽 (西山水槽)	30	45	26	○				42	電解液受槽 (1号)	22	33	5	○						
3	褥子水洗タンク	100	150	22	○				43	A-SB廻り消火設備タンク	46	69	18	○						
4	ガスタービン発電機用軽油タンク用消火タンク	49	73	23	○				44	B-SB廻り消火設備タンク	46	69	18	○						
5	A-44m 盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○				45	消火タンク, 消火ポンプ, 制御盤(4号館)	21	32	36	○						
6	B-44m 盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○				46	鉄イオン溶解タンク (1号)	1	-	n-8	-						
7	輪谷貯水槽 (東側) 沈砂池	260	286	20	○				47	電解液受槽 (2号)	10	-	n-8-1	-						
8	原水80t水槽	80	120	24	○				48	1号海水電解装置電解槽(循環5分 8槽)	2	-	n-8-2	-						
9	仮設水槽-1(2号西側法面付近)	20	30	39	○				49	2号海水電解装置電解槽(非循環5分 12槽)	2	-	n-8-3	-						
10	仮設水槽-2(2号西側法面付近)	20	30	40	○				50	鉄イオン溶解タンク (2号)	18	-	n-9	-						
11	輪谷貯水槽 (東側)	1,440 ^{※1}	1,500	19	○				51	北口警備所東側汚水中継槽	9	-	n-10	-						
12	泡消火薬剤貯蔵槽 (ガスタービン発電機用軽油タンク)	1	-	n-43	-	52	3号ろ過水タンク (A)	1,000	1,100	1	○	エリア④	6,901	7,668 (6,938)						
13	山林用防火水槽 (スカイライン)	50	-	n-52	-	53	3号純水タンク (A)	1,000	1,100	2	○									
14	山林用防火水槽 (スカイライン)	50	-	n-52	-	54	消火用水タンク (A)	1,200	1,320	3	○									
15	仮設水槽(2号西側法面付近)	2	-	n-59	-	55	消火用水タンク (B)	1,200	1,320	3	○									
16	防火水槽	20	-	n-74	-	56	3号仮設海水淡水化装置	25	38	29	○									
17	防火水槽	20	-	n-73	-	57	仮設合併処理槽	31	46	34	○									
18	純水タンク(A)	600	660	10	○	58	3号純水タンク (B)	1,000	1,100	32	○									
19	純水タンク(B)	600	660	10	○	59	3号ろ過水タンク (B)	1,000	1,100	33	○									
20	2号ろ過水タンク	3,000	3,300	11	○	60	A-44m 盤廻り消火設備タンク(北側)	155	171	38	○									
21	1号除だく槽	87	131	12	○	61	B-44m 盤廻り消火設備タンク(北側)	155	171	38	○									
22	1号ろ過器	62	93	13	○	62	宇中合併浄化槽 (1)	47	71	42	○									
23	2号除だく槽	102	113	14	○	63	宇中合併浄化槽 (2)	88	131	43	○									
24	2号ろ過器	36	54	15	○	64	海水電解装置脱気槽	12	-	n-13	-									
25	2号濃縮槽	30	45	16	○	65	重油タンク用泡原液差圧調合槽	2	-	n-15	-									
26	1号ろ過水タンク	3,000	3,300	17	○	66	宇中受水槽	17	-	n-21	-									
27	7.4m盤受水槽 (2槽)	60	90	27	○	67	プロータンク	1	-	n-14	-									
28	純水装置廃液処理設備	40	60	31	○	68	排水放流槽	1	-	n-14	-									
29	2.2m盤受水槽	30	45	37	○	69	訓練用模擬水槽	4	-	n-58	-									
30	5.9m盤トイレ用貯水槽	32	48	44	○	70	管理事務所1号館東側調整池	1,520	1,672	9	○	エリア⑤	1,830	2,014 (1,840)						
31	補助ボイラープロータンク	1	-	n-24	-	71	A-50m 盤廻り消火設備タンク	155	171	28	○									
32	補助ボイラー冷却水冷却塔	1	-	n-24-1	-	72	B-50m 盤廻り消火設備タンク	155	171	28	○									
33	C-真空脱気塔	3	-	n-28	-	73	濁水処理装置	10	-	n-71	-									
34	D-真空脱気塔	3	-	n-28-1	-	合計										19,372	21,354			
35	C/D用冷却水回収槽	2	-	n-28-2	-															
36	A-真空脱気塔	2	-	n-38	-															
37	B-真空脱気塔	2	-	n-38-1	-															
38	冷却水回収槽	2	-	n-38-2	-															
39	1号除だく槽排水槽	7	-	n-41	-															
40	トイレ用ろ過水貯槽	8	-	n-41-1	-															

- ※ 1 基準地震動sによるスロッシング水を考慮した
- ※ 2 ()内はエリア内の溢水源とする屋外タンク等の保有水量の合計を示す
- ※ 3 評価に用いる溢水量は保有水量を以下の通り割り増した
 20m³以上100m³以下の屋外タンク等 : 1.5倍
 100m³を超える屋外タンク等 : 1.1倍
 輪谷貯水槽 (東側) : 1,440m³を切り上げた1,500m³とした

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (4/7)

■ 屋外タンク等の溢水伝播挙動評価

汎用熱流体解析コードFluentを用いて、図に示す評価モデルより敷地の水位を算出する。

● 溢水伝播挙動評価条件

- 溢水源となるタンクを表現し，地震による損傷をタンク側板が瞬時に消失するとして模擬する。
- 構内排水路による排水機能及び敷地外への排出は期待しない。
- 輪谷貯水槽(東側)は基準地震動 S_s によって生じるスロッシングによる溢水量（時刻歴）を模擬する。

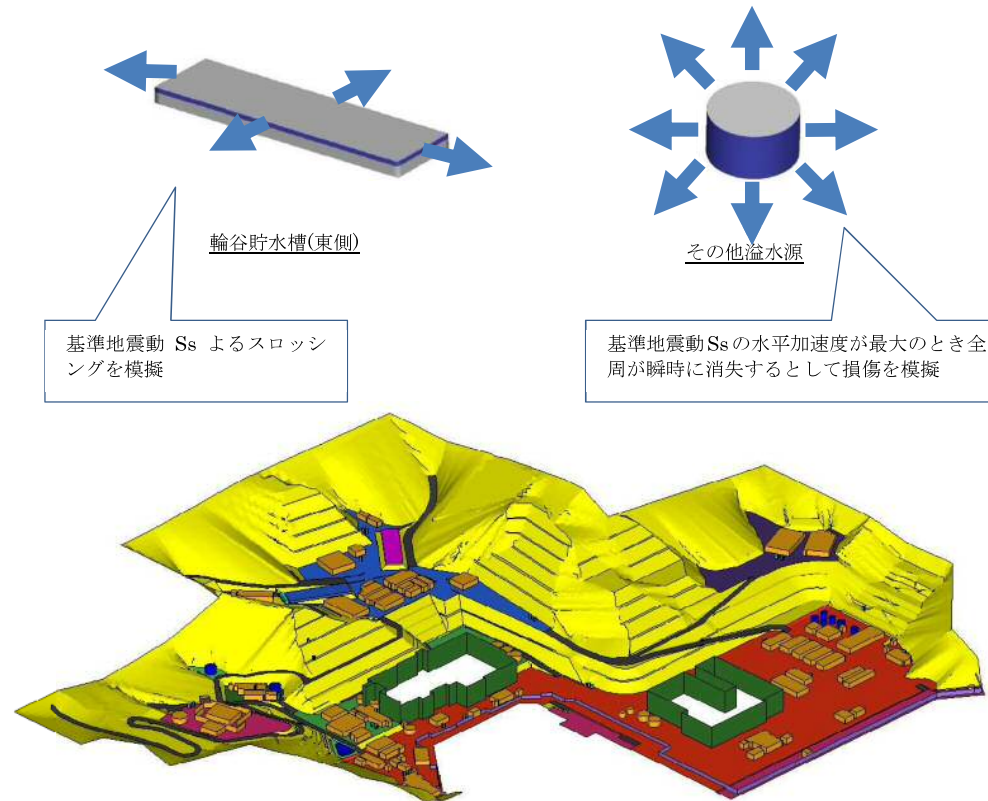


図 溢水伝播挙動の評価モデル

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (5/7)

● 評価モデル (1/2)

- 島根原子力発電所の敷地形状を三次元モデルで模擬する。
- 溢水源のモデル化にあたっては、敷地形状（尾根、谷、敷地高さ）を踏まえた発電所構内に流入する降水の集水範囲から、屋外タンク等の設置エリアを5箇所のエリアに区分する。

表 エリア区分で考慮した敷地形状

設置エリア	考慮した主な敷地形状
エリア①/②	尾根
エリア①/③	敷地高さ
エリア①/④	尾根
エリア②/③	敷地高さ
エリア②/⑤	敷地高さ
エリア③/⑤	谷

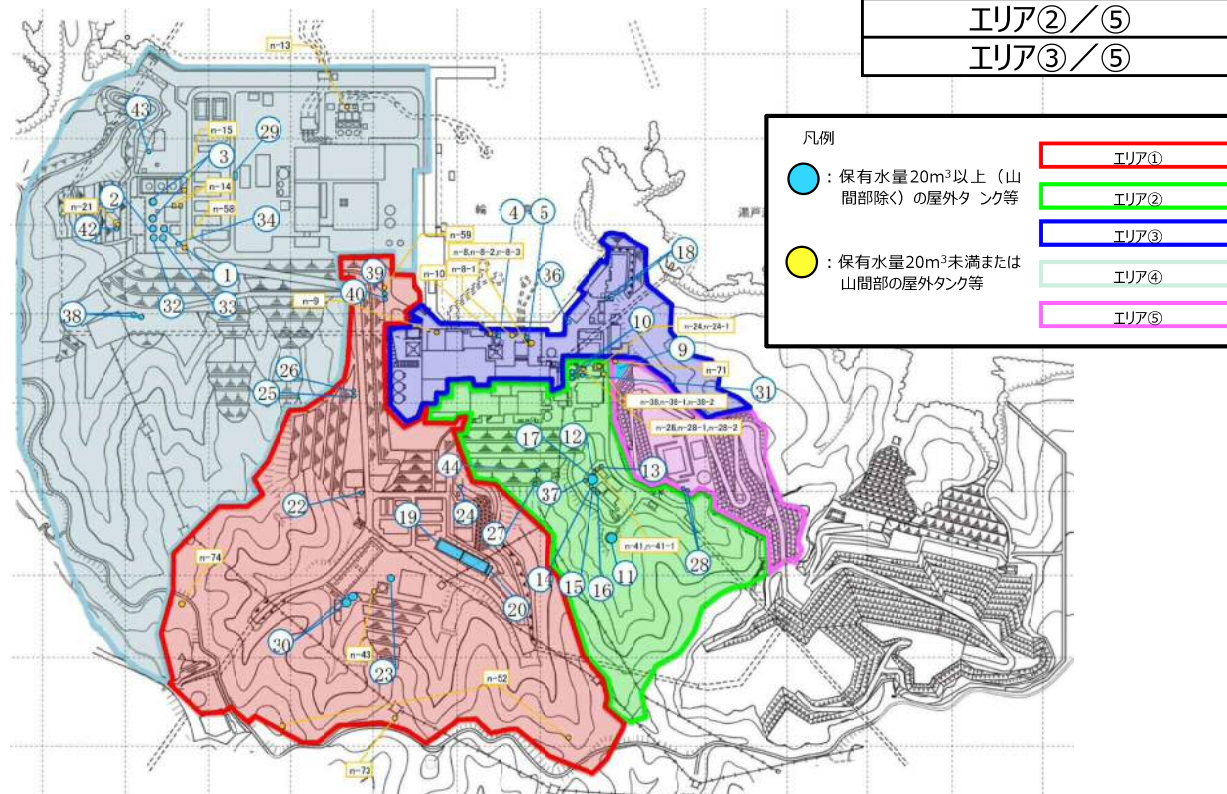


図 各エリアと溢水源とする屋外タンク等の配置

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (6/7)

● 評価モデル (2/2)

分散している溢水源を集中させることで水位が高くなることから、以下の通り屋外タンク等をモデル化する。

- ・ 保有水量20m³以上（山間部除く）の屋外タンク等はその設置位置でモデル化する。
- ・ 保有水量20m³未満または山間部の屋外タンク等は、その設置位置でモデル化せず、モデル化する屋外タンク等の保有水量を割り増すことで考慮する。

表 各エリア内の屋外タンク等の合計保有水量と溢水伝播挙動評価に用いる溢水量（エリア①）

No	名称	保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動評価に用いる溢水量 [m ³] ^{※3}	配置 No	保有水量20m ³ 以上（山間部除く）の屋外タンク等	エリア No	合計 保有水量 [m ³]	溢水伝播挙動評価に用いる合計 溢水量[m ³] ^{※2}
1	雑用水タンク	33	49	25	○	エリア ①	2,342	2,625 (2,485)
2	宇中系統中継水槽（西山水槽）	30	45	26	○			
3	碍子水洗タンク	100	150	22	○			
4	ガスタービン発電機用軽油タンク用消火タンク	49	73	23	○			
5	A-44m 盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○			
6	B-44m 盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○			
7	輪谷貯水槽（東側）沈砂池	260	286	20	○			
8	原水80t水槽	80	120	24	○			
9	仮設水槽-1(2号西側法面付近)	20	30	39	○			
10	仮設水槽-2(2号西側法面付近)	20	30	40	○			
11	輪谷貯水槽（東側）	1,440 ^{※1}	1,500	19	○			
12	泡消火薬剤貯蔵槽（ガスタービン発電機用軽油タンク）	1	-	n-43	-	143		
13	山林用防火水槽（スカイライン）	50	-	n-52	-			
14	山林用防火水槽（スカイライン）	50	-	n-52	-			
15	仮設水槽(2号西側法面付近)	2	-	n-59	-			
16	防火水槽	20	-	n-74	-			
17	防火水槽	20	-	n-73	-			

※1 基準地震動Ssによるスロッシング水を考慮した

※2 () 内はエリア内の溢水源とする屋外タンク等の保有水量の合計を示す

※3 評価に用いる溢水量は保有水量を以下の通り割り増した

20m³以上100m³以下の屋外タンク等：1.5倍

100m³を超える屋外タンク等：1.1倍

輪谷貯水槽（東側）：1,440m³を切り上げた1,500m³とした

審査会合における指摘事項に対する回答 No.1 (7/7)

■ 評価結果

溢水防護対象設備を設置する建物については、各扉付近の溢水水位より外壁に設置された扉の設置位置（敷地高さ（EL15.0m）から0.3m以上）が高いことから溢水防護区画への浸水はなく、溢水防護対象設備に影響を与えることがないことを確認した。



- 地点1：原子炉建物南面
- 地点2：原子炉建物西面1
- 地点3：原子炉建物西面2
- 地点4：B-非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク格納槽北面

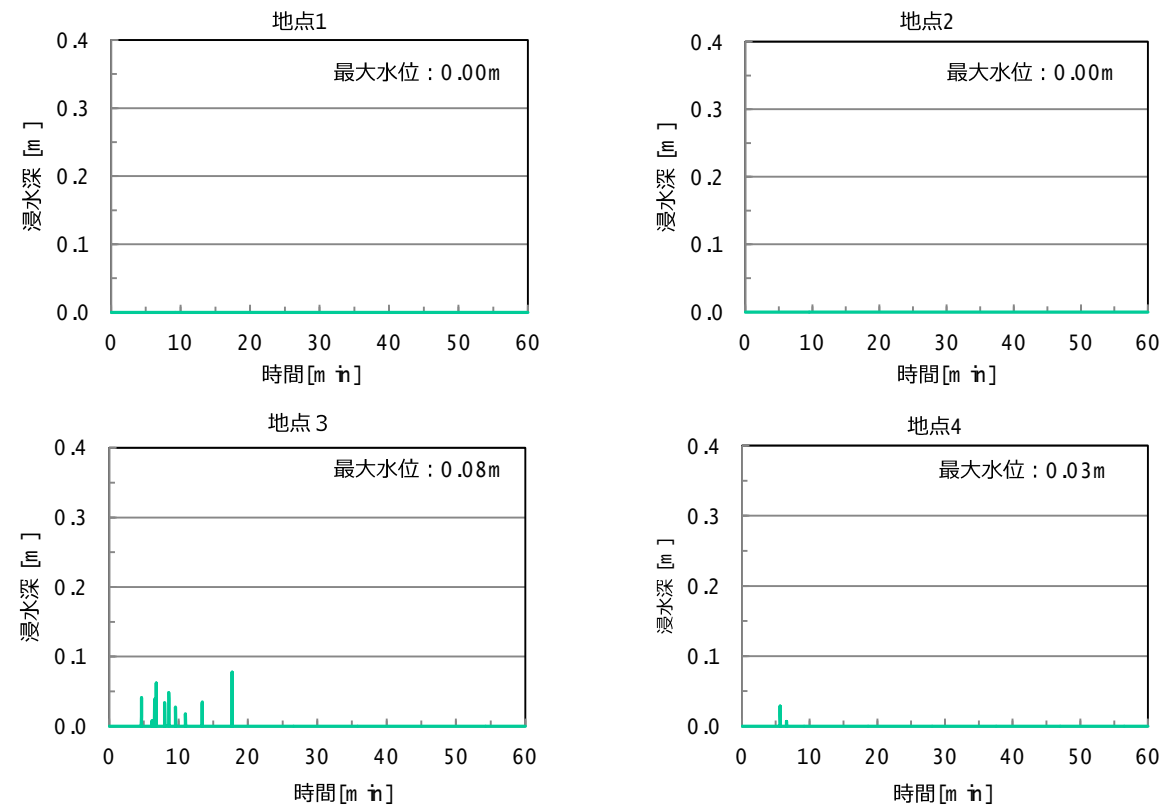


図 溢水伝播挙動評価結果（例）

■ 指摘事項（審査会合 令和元年5月9日）

循環水系配管の損傷を想定した浸水量評価については、第5条の内郭防護の確認内容でもあるため、内郭防護の審査に向けた準備を行うこと。

【回答】

■ これまで敷地近傍の地震である海域活断層に想定される地震による津波について評価していたが、日本海東縁部に想定される地震による津波が襲来する評価を追加した。なお、本内容は第5条の内郭防護においても説明する。

- 循環水系及びタービン補機海水系の津波流入防止対策（P.10）
- 海域活断層に想定される地震による津波に係る評価（P.11）
- 日本海東縁部に想定される地震による津波に係る評価（P.12）

●循環水系及びタービン補機海水系の津波流入防止対策

循環水系は、地震大信号と漏えい検知器動作のAND条件でインターロックが作動し、ポンプ出口弁及び復水器出入口弁が閉止することにより津波の流入を防止する。

タービン補機海水系は、ポンプ出口弁を閉止するとともに、出口側配管の逆止弁により津波の流入を防止する。

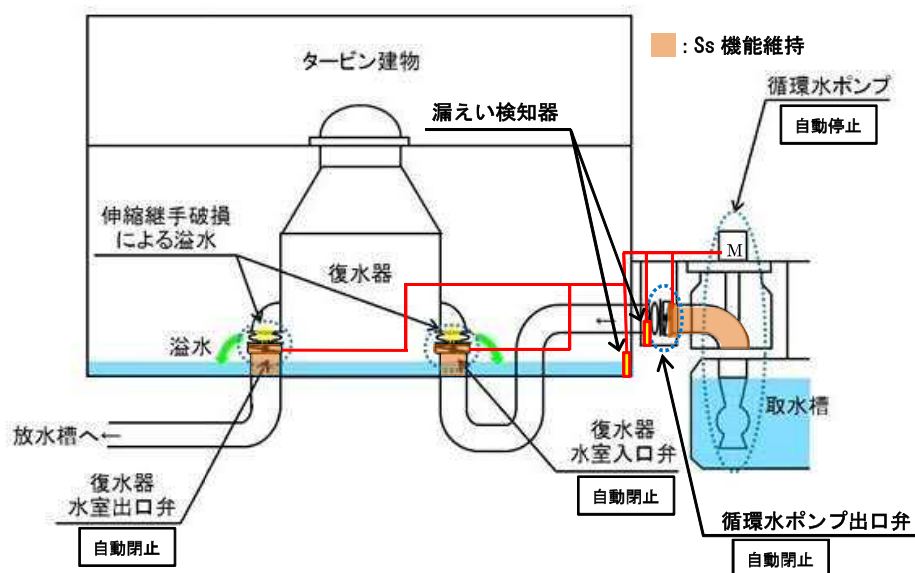


図 循環水ポンプ停止及び循環水系弁閉止
インターロック設置概要図

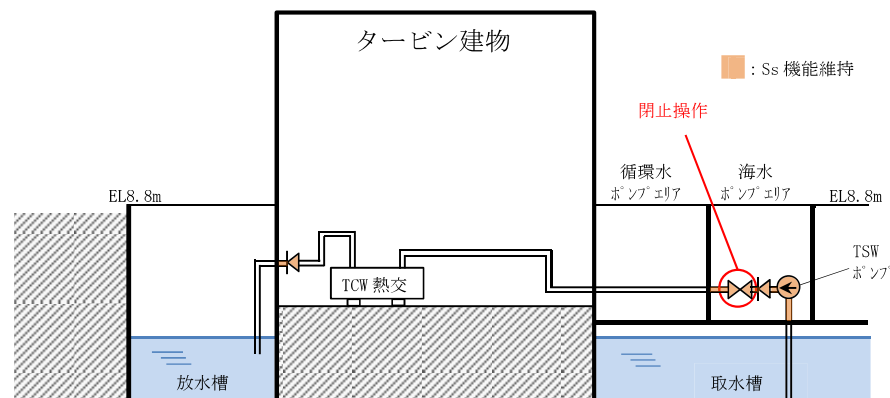


図 タービン補機海水系概要図

審査会合における指摘事項に対する回答 No.2 (3/4)

● 海域活断層に想定される地震による津波に係る評価

海域と接続のある耐震B ,Cクラス機器のうち、循環水系はインターロックによる弁閉止により津波の流入を防止する。

タービン補機海水系は、津波襲来までに海域と隔離されないため、取水槽側からの流入を考慮する。

海域活断層に想定される地震による津波の最大水位（EL4.8m）を考慮した場合でも、タービン建物内水位は、想定破損による溢水水位（EL4.9m）より低いため、想定破損による没水影響評価に包含される。

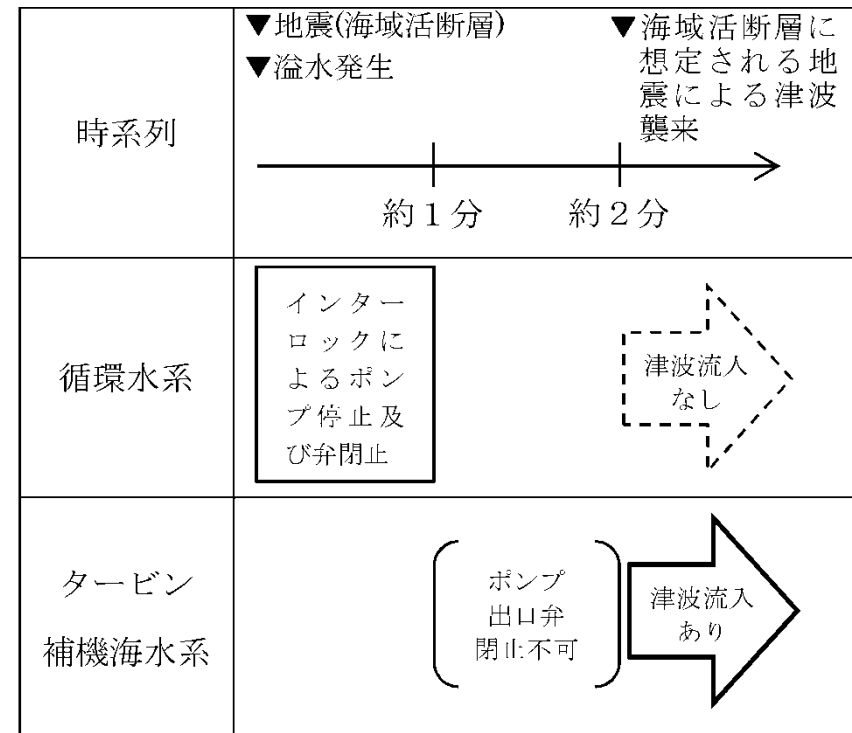


図 海域活断層に想定される地震による津波襲来に係る時系列

● 日本海東縁部に想定される地震による津波に係る評価

敷地近傍の地震により海域と接続するB, Cクラス機器である循環水系及びタービン補機海水系が損傷した後に, 日本海東縁部に想定される地震による津波が襲来する場合に津波の流入が想定される。

循環水系が損傷した場合, インターロックによる弁閉止により津波の流入を防止する。

タービン補機海水系が損傷した場合, ポンプ出口弁を閉止するとともに, 出口側配管の逆止弁により津波の流入を防止する。

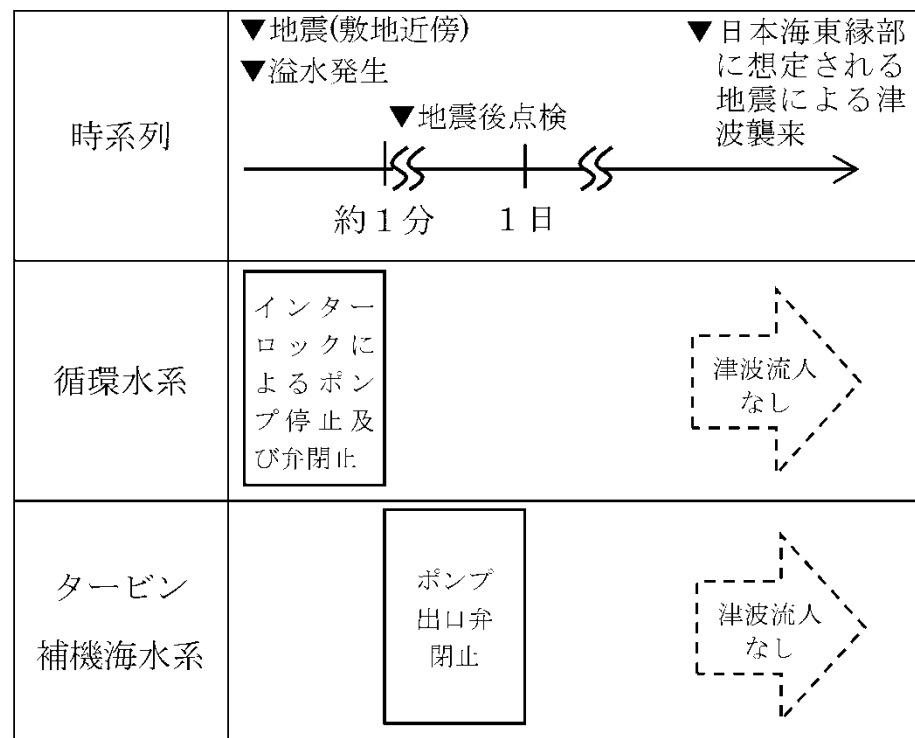


図 日本海東縁部に想定される地震による津波襲来に係る時系列

審査会合における指摘事項に対する回答 No.3

■ 指摘事項（審査会合 令和元年5月9日）

燃料プールのスロッシングによる溢水量評価の解析で、水平2方向の入力地震動として同位相の基準地震動 S_s-D を用いていることで、溢水量が保守的に見積もられることを示すこと。また、保守性を考慮して解析値を1.1倍することについて、試験と解析の差異や応答スペクトルの拡幅相当の余裕考慮の有無を含め1.1倍の根拠を示すこと。

【回答 No.3-1】

- 燃料プールのスロッシングによる溢水量評価においては、同位相の地震動を用いたスロッシング解析により必ずしも保守的に溢水量を算出できるとは限らないことから、水平方向に位相の異なる地震動を用いてスロッシング解析を実施し、溢水量を算出することとした。

【回答 No.3-2】

- 水を内包する矩形水槽の正弦波加振試験を対象として溢水量及び液面高さの変化について試験結果と解析結果の比較を行い、汎用熱流体解析コード（Fluent）によるスロッシング解析の妥当性を確認した。
- 試験と解析で溢水量はほぼ同等の結果となり、溢水量の差異を考慮しても解析値を1.1倍して内部溢水影響評価に適用することは妥当であることを確認した。
- 応答スペクトルの拡幅に相当する影響検討として、地盤物性等の不確かさを考慮した場合のスロッシング解析への影響について評価し、影響が軽微であることを確認した。

審査会合における指摘事項に対する回答 No.3-1 (1/3)

●スロッシング解析に用いる地震動について

- ・燃料プールのスロッシング解析には、基準地震動Ssのうちスロッシング固有周期において応答加速度が最大となるSs-Dを用いた。(左図参照)
- ・Ss-Dは応答スペクトル波であり水平方向の方向性はないことから、スロッシング解析では水平2方向のうち1方向にSs-Dと位相特性の異なる模擬地震波(組合せ用地震動)による応答波を入力した。(右図参照)
- ・組合せ用地震動は、水平2方向の組合せ影響評価用として、基準地震動と同じ作成方法にて位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて作成した。

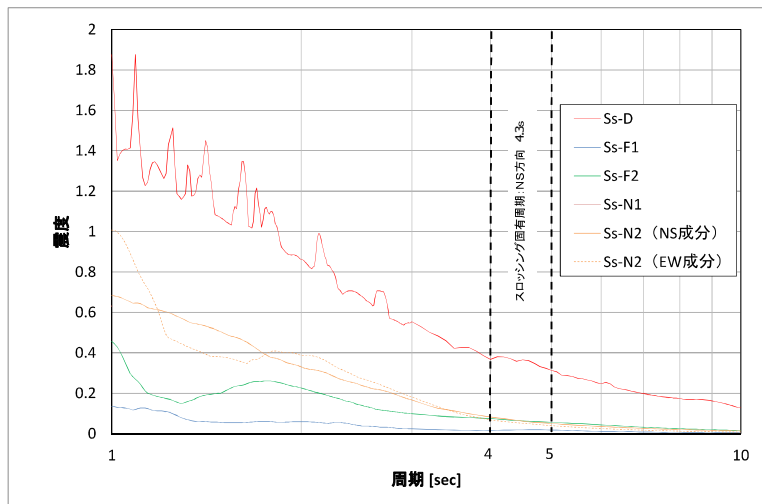


図 燃料プールの床応答スペクトル (NS方向 減衰0.5%)

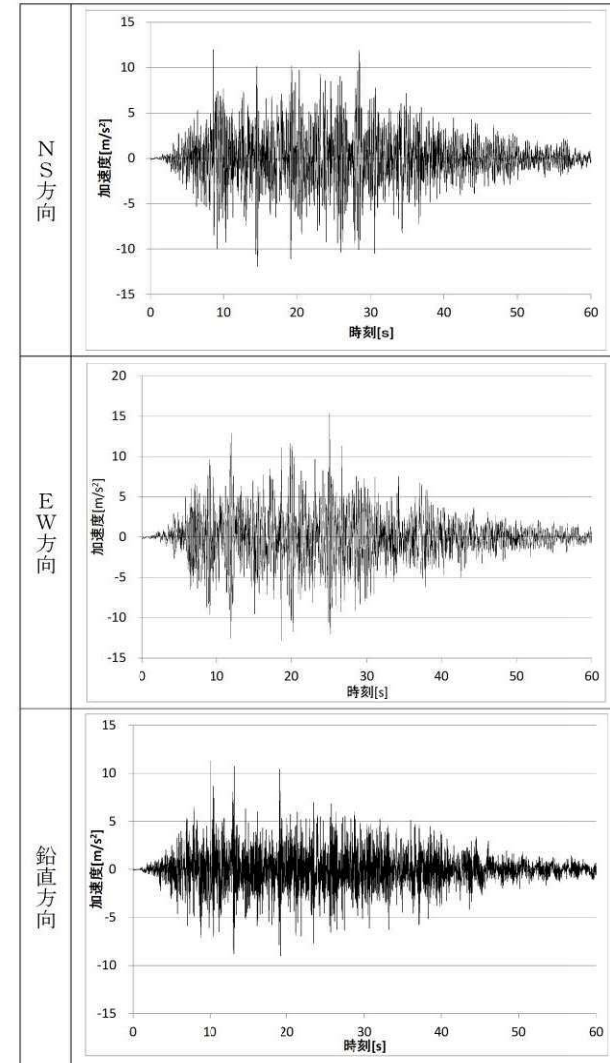


図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW方向に組合せ用地震動を適用)

● 溢水量の算出結果

- ・水平 2 方向にS s-D を入力したケースと水平2方向のうち1方向に組合せ用地震動を入力したケースのスロッシング解析の結果を表に示す。
- ・S s-D 及び組合せ用地震動を用いた解析は下記2ケースを実施し， 溢水量の大きくなる①の結果を解析値として用いる。
 - ①NS方向：S s-D， EW 方向：組合せ用地震動 （溢水量合計値：127m³）
 - ②NS方向：組合せ用地震動， EW 方向：S s-D （溢水量合計値：123m³）
- ・内部溢水影響評価では， S s-D 及び組合せ用地震動を用いた解析結果を1.1倍し， スロッシングによる溢水量として用いる。

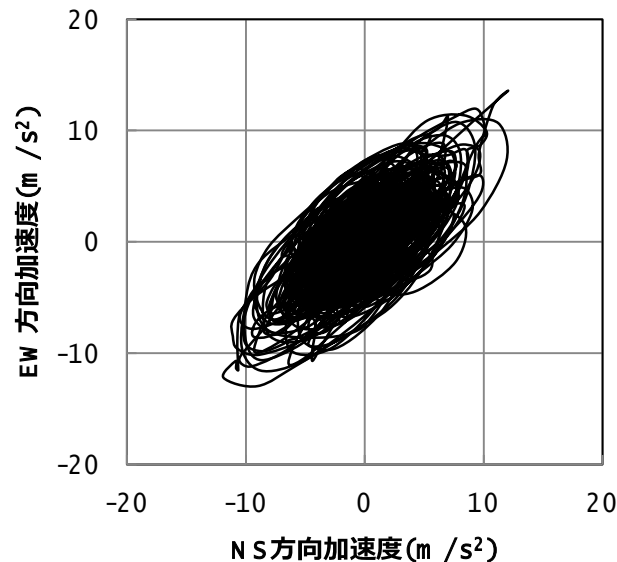
表 燃料プールのスロッシングによる溢水量解析値

	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]
S s-D 及び組合せ用地震動による解析	106	22	127
S s-D による解析	85	22	106

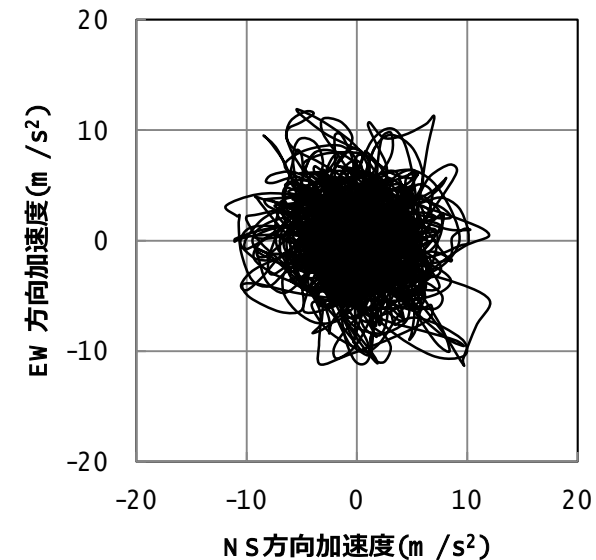
●入力地震動の方向性に対する考察

- NS, EW 方向にSS-Dを入力すると, 加振方向に指向性のある地震動となる。(図(1)参照)
- 水平の1方向にSS-D, 1方向に組合せ用地震動を入力すると, 加振方向がランダムな地震動となる。(図(2)参照)
- 既往知見※により, 矩形貯槽のスロッシング挙動において, 加振方向により最大波高が変化することが確認されている。
- 現実的な地震動を考慮すると, 1方向に組合せ用地震動を用いて評価することは妥当である。

※出典：則竹一輝, 鈴木森晶他, 「矩形貯槽におけるスロッシング挙動とその抑制方法に対する検討」, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol.68, No.2 (応用力学論文集Vol.15), 1-785-1-794, 2012.



(1) NS方向及びEW方向ともにSS-Dを用いた場合



(2) NS方向にSS-D, EW方向に組合せ用地震動を用いた場合

図 燃料プールのスロッシング解析入力波のオービット

● 矩形水槽の加振試験によるFluentの妥当性検証について

- ・Fluentを用いたスロッシング解析の妥当性検証を目的とし、下図に示す矩形水槽の加振試験で得られた液面高さ及び溢水量と解析によって得られた値の比較を実施した。
- ・加振試験では、試験体のスロッシング1次固有振動数（約1.6Hz）で最大加速度約70 mm/s²の正弦波にて加振し、溢水量及び液面高さを計測した。

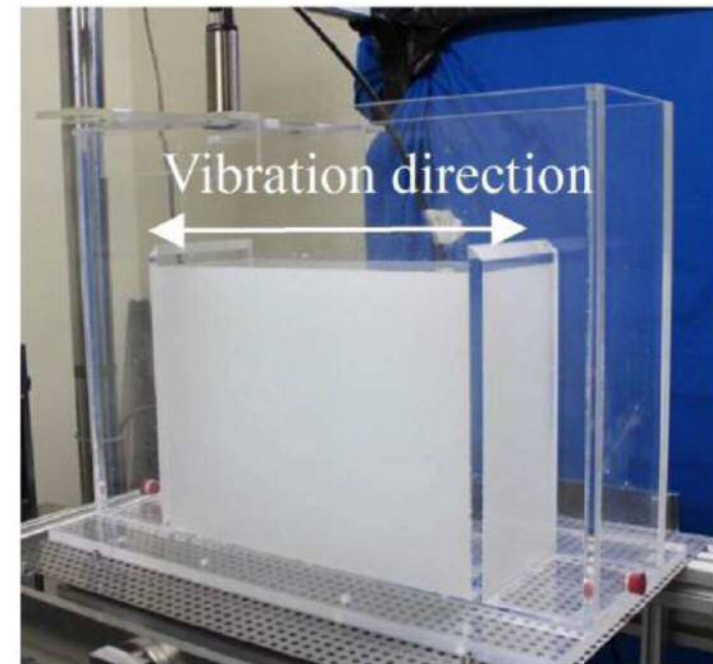
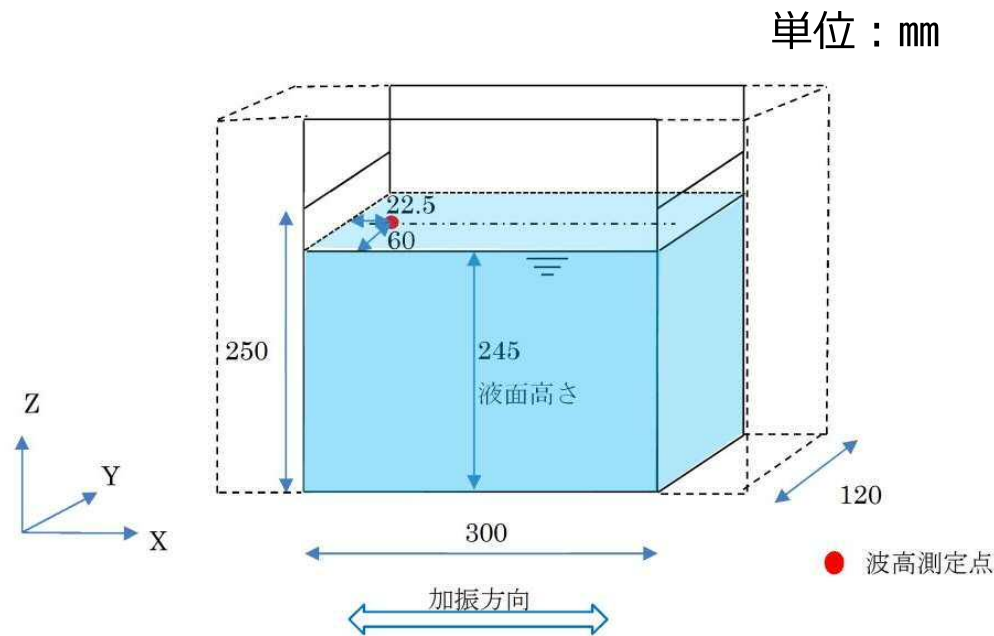


図 加振試験の試験体※

※出典：藤田，牛尾，鬼塚ら(2017)，「使用済み燃料プールの地震時溢水量評価に用いる解析コードの検証」，日本原子力学会 2017年 秋の大会 -3B11-

●Fluentの妥当性検証結果

- ・加振試験の試験値とFluentによる解析値を比較した結果、溢水量及び液面高さともほぼ同等の結果が得られており、Fluentによる溢水量評価の妥当性を確認した。
- ・内部溢水影響評価では、スロッシング解析によって得られた溢水量を1.1倍した値を用いているが、検証で得られた試験値と解析値の溢水量の差異（8.5%）を考慮すると、妥当であることを確認した。

表 溢水量の比較

試験値	解析値	備考
213cm ³	231cm ³	解析値は試験値の108.5%

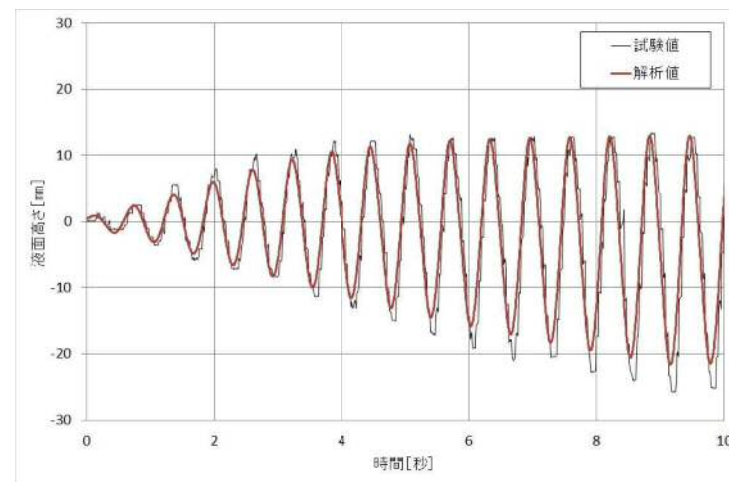


図 液面高さの変化の比較

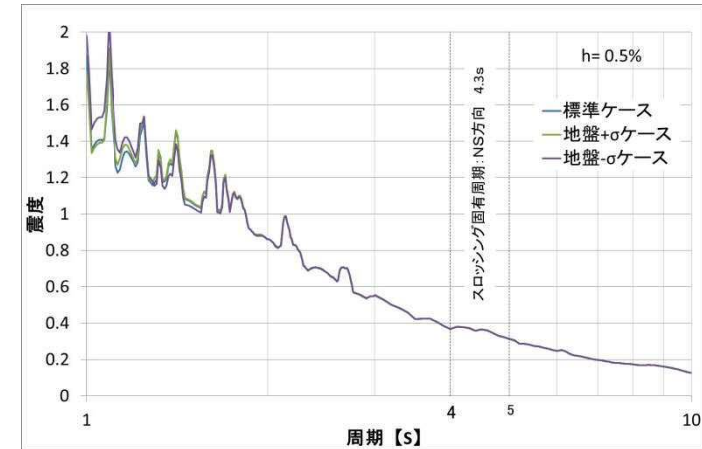
審査会合における指摘事項に対する回答 No.3-2 (3/3)

●地盤物性等の不確かさによる影響確認結果

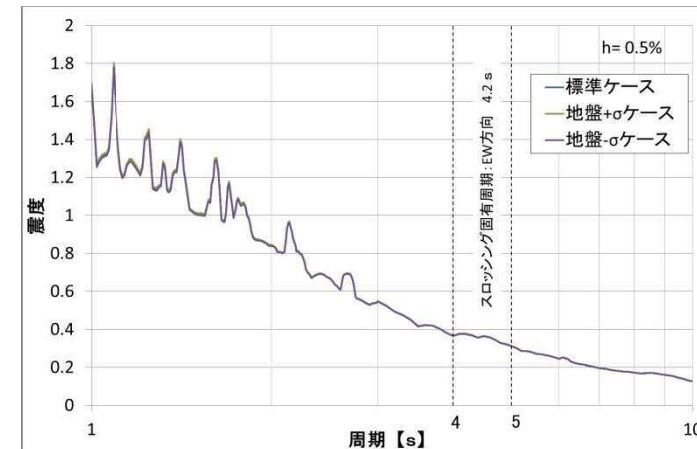
- ・溢水量を算定するためのスロッシング解析は、床応答スペクトルを用いた解析ではなく時刻歴解析であることから、地盤物性等の不確かさ（地盤 $\pm\sigma$ ）による影響を確認した。
- ・スロッシング固有周期においては、標準ケースと地盤 $+\sigma$ ケース及び地盤 $-\sigma$ ケースの応答加速度の差は小さく、地盤物性等の不確かさによるスロッシング解析への影響は軽微であることを確認した。

表 スロッシング固有周期における応答加速度比の最大値

	NS方向	EW方向
標準ケース	1	1
地盤 $+\sigma$ ケース	1.001	1.002
地盤 $-\sigma$ ケース	1.001	1.000



NS方向



EW方向

図 床応答スペクトルの比較