

2 外部事象

◇外部事象の選定、自然現象の組合せ

◇自然現象、人為事象に対する影響評価及び対策

規制要求事項

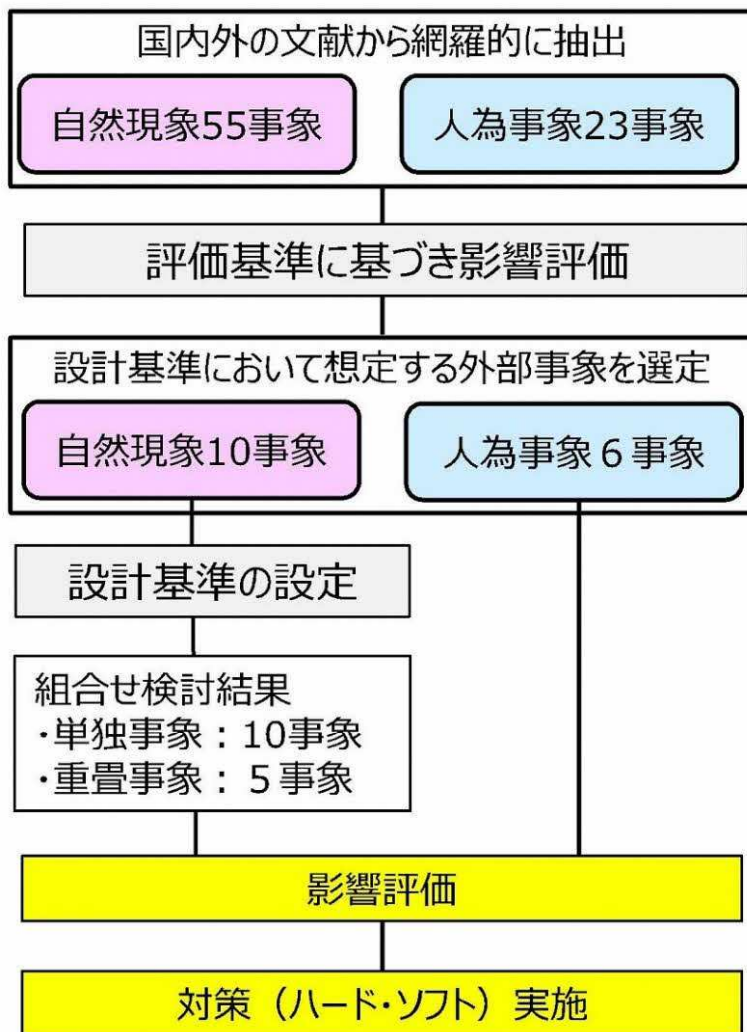
■ 規制要求事項

「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」（以下，「基準規則」という。）及びその解釈において，自然現象及び人為事象に対して，以下のとおり，安全施設の安全機能を維持することが求められている。

規制要求事項

基準規則	基準規則の解釈	
<p>(外部からの衝撃による損傷の防止) 第六条</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全施設※は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。 安全施設※は，人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。 <p>※：設計基準対象施設のうち，安全機能（原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能）を有するもの</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「想定される自然現象」とは，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。 自然現象は，過去の記録，現地調査の結果及び最新知見等を参考にして，必要のある場合には，異種の自然現象を重畳させる。 「人為によるもの（故意によるものを除く）」とは，飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。 	<p>自然現象の選定</p> <p>重畳(組合せ)も考慮</p> <p>人為事象の選定</p>

■ 以下のフローに従い外部事象の選定，評価を実施



- 自然現象，人為事象は，確率論的リスク評価（PRA）及びテロ等に対する国内外の文献から網羅的に抽出
- 海外での評価手法を参考とした評価基準により，発電所敷地の自然環境や敷地及び敷地周辺の状態を考慮し，設計基準において想定する外部事象を選定
- 選定した自然現象について，規格・基準類，観測記録の既往最大値又は発電所の周辺状況から島根原子力発電所において考慮すべき事象の規模（設計基準）を設定
- 自然現象は，重畳（組合せ）についても検討
- 選定した自然現象（重畳含む）及び人為事象について，島根原子力発電所の周辺状況等を踏まえ，個別に評価を実施

外部事象の選定・評価フロー

■ 外部事象の抽出に用いた文献

※下線部は島根2号炉との相違点

- ① 「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の解釈」（制定 平成25年6月19日 原規技発第1306193号 原子力規制委員会決定）
- ② 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定 平成25年6月19日 原規技発第1306194号 原子力規制委員会決定）
- ③ NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- ④ Specific Safety Guide No. SSG-3 (Rev.1) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, March 2024
- ⑤ 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998年
- ⑥ ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”, ASME/ANS, February 2009
- ⑦ DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE(NEI-12-06 August2012)
- ⑧ B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline(NEI-06-12 December 2006)-2011.5 NRC公表
- ⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人 日本原子力学会 2014年12月
- ⑩ Specific Safety Requirements No.SSR-1 "Site Evaluation for Nuclear Installation", IAEA , April 2019
- ⑪ NUREG-1407 "Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities", NRC, June 1991
- ⑫ 「産業災害全史」, 日本アソシエーツ, 2010年1月
- ⑬ 「日本災害史事典 1868-2009」, 日本アソシエーツ, 2010年9月

外部事象の選定

島根 2 号炉と同様の方針

抽出した自然現象（55事象）

1-1	風（台風）	1-29	高水温（海水温高）
1-2	竜巻	1-30	低水温（海水温低）
1-3	高温	1-31	海底地滑り
1-4	低温（凍結）	1-32	氷結（水面の凍結）
1-5	極限的な気圧	1-33	氷晶
1-6	降雨（豪雨）	1-34	氷壁
1-7	積雪（豪雪）	1-35	水中の有機物質
1-8	ひょう	1-36	生物学的事象
1-9	もや	1-37	津波
1-10	霜	1-38	太陽フレア，磁気嵐
1-11	干ばつ	1-39	洪水
1-12	塩害，塩雲	1-40	濃霧
1-13	砂嵐	1-41	森林火災※1
1-14	落雷	1-42	草原火災
1-15	隕石	1-43	満潮
1-16	地面の隆起	1-44	ハリケーン
1-17	動物	1-45	河川の迂回
1-18	火山（火山活動・降灰）	1-46	静振
1-19	雪崩	1-47	陥没
1-20	地滑り	1-48	高潮
1-21	地震活動	1-49	波浪
1-22	カルスト	1-50	土石流
1-23	地下水による浸食	1-51	土砂崩れ（山崩れ，崖崩れ）
1-24	海岸浸食（水面下の浸食）	1-52	泥湧出
1-25	湖又は河川の水位低下	1-53	水蒸気，熱湯噴出
1-26	湖又は河川の水位上昇	1-54	土壌の収縮又は膨張
1-27	海水面低	1-55	毒性ガス
1-28	海水面高		

抽出した人為事象（23事象）

2-1	船舶から放出される固体液体不純物	2-13	他ユニットからのタービン・ミサイル
2-2	水中への化学物質の流出	2-14	他ユニットからの内部溢水
2-3	船舶の衝突（船舶事故）	2-15	人工衛星の落下
2-4	交通機関（航空機を除く）の事故による爆発	2-16	飛来物（航空機落下）
2-5	交通機関（航空機を除く）の事故による化学物質流出	2-17	電磁的障害
2-6	爆発（発電所外）※1	2-18	ダム崩壊
2-7	化学物質流出（発電所外）	2-19	工業施設又は軍事施設事故（爆発，化学物質放出）
2-8	発電所内貯蔵の化学物質流出	2-20	タービン・ミサイル
2-9	パイプライン事故（爆発，化学物質流出）	2-21	有毒ガス
2-10	軍事施設からのミサイル	2-22	内部溢水
2-11	掘削工事	2-23	外部火災（近隣工場等の火災）※1
2-12	他ユニットからの火災		

青字：第 6 条対応で設計上考慮する事象として選定した事象
 緑字：組合せ検討時に追加した事象※2

※1 森林火災，爆発，外部火災（近隣工場等の火災）は火災・爆発としてまとめて評価
 ※2 地震，津波は第 6 条の対象事象ではないが，規制基準上要求される対象事象

■ 外部事象（自然現象，人為事象）の選定

- 海外での評価手法を参考とした評価基準※により，発電所敷地の自然環境や敷地及び敷地周辺の状況を考慮し，設計基準において想定する外部事象を選定

※評価基準：米国機械学会規格「リスク評価に関する規格」における外部事象の評価基準を参考とした

評価基準

基準 A	プラントに影響を及ぼすほど接近した場所に発生しない
基準 B	ハザード進展・襲来が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することが可能
基準 C	プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等又はそれ以下
基準 D	影響が他の事象に包含される
基準 E	発生頻度が非常に低い
基準 F	基準規則第 6 条の対象外事象（地震，津波等）

外部事象のスクリーニング例

No.	自然現象	評価結果	評価基準
1-15	隕石	安全施設の機能に影響を及ぼす隕石等が衝突する可能性は極めて低い (落下確率 10^{-9} : NUREG1407(NRC))	E
1-21	地震活動	「第 4 条 地震による損傷の防止」において評価	F
1-24	海岸浸食 (水面下の浸食)	海岸の浸食は進展が遅く十分に管理でき，補強工事等により侵食を食い止めることができることから，安全施設の機能に影響を及ぼすことはない	B
1-40	濃霧	安全施設の機能に影響を及ぼさない	C
1-51	土砂崩れ (山崩れ，崖崩れ)	土砂崩れ（山崩れ，崖崩れ）を地滑りの評価で考慮するため，「地滑り」による影響評価に包含	D

No.	人為事象	評価結果	評価基準
2-9	パイプライン事故	発電所周辺にパイプラインはない	A

- 外部事象（自然現象，人為事象）の選定結果
 選定した外部事象について，設計基準値を設定するとともに，個々の事象が安全施設に与える影響の評価を実施

外部事象の選定結果

自然現象（10事象）	人為事象（6事象）
1. 洪水 2. 風（台風） 3. 竜巻※1 4. 凍結 5. 降水 6. 積雪 7. 落雷 8. 地滑り・土石流 9. 火山の影響※1 10. 生物学的事象	1. 飛来物（航空機落下） 2. ダムの崩壊 3. 火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機落下火災等）※1 4. 有毒ガス※2 5. 船舶の衝突 6. 電磁的障害

※1 当該ハザードに関しては別資料にて説明
 ※2 「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」（平成29年4月 原子力規制委員会）に基づく影響評価については，別資料にて説明

外部事象の選定

下線：島根2号炉との方針の相違点

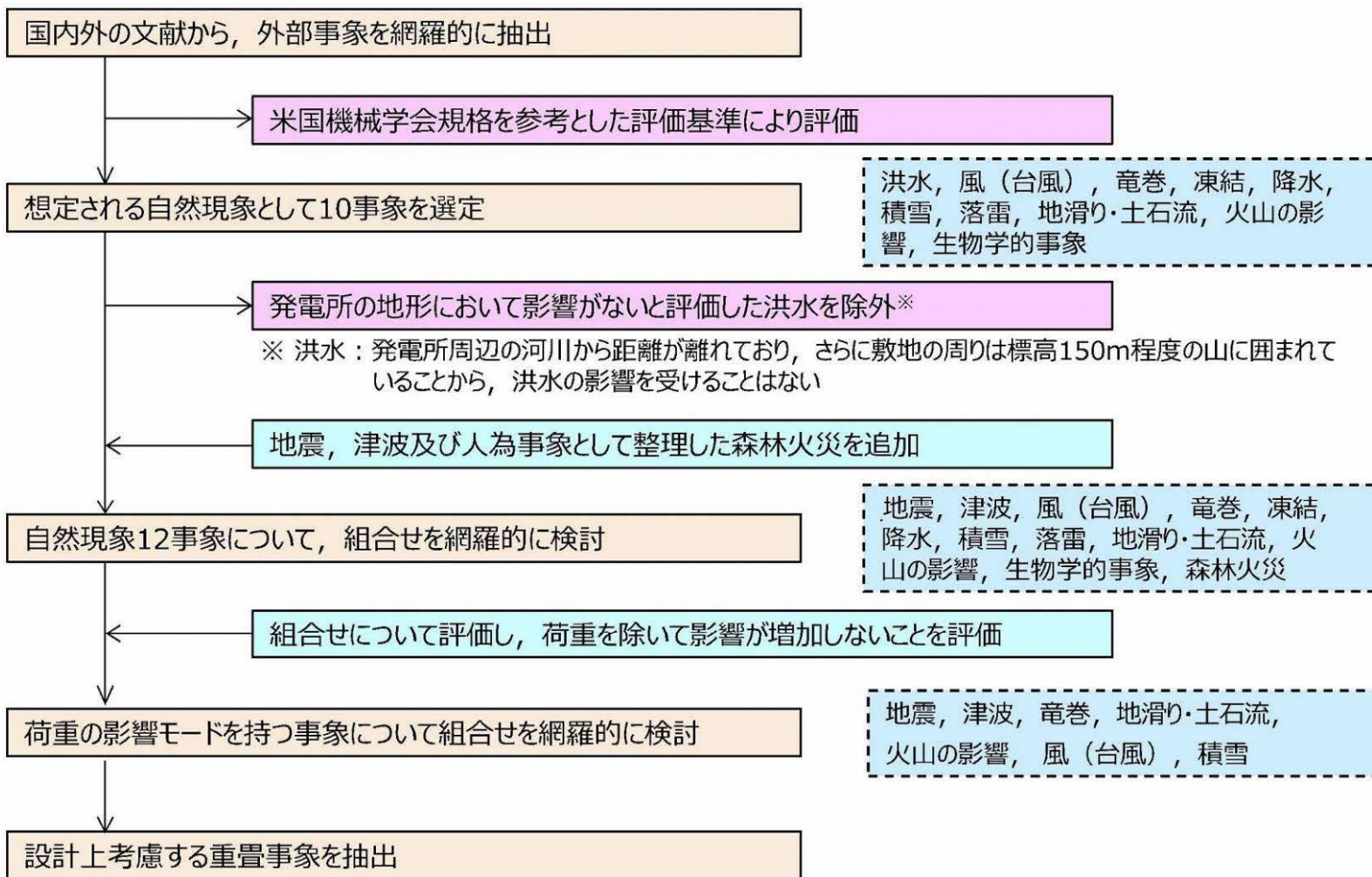
選定した自然現象及び設計基準

自然現象	設計基準	設計基準設定の考え方
洪水	—	発電所敷地周辺において洪水の要因（河川等）の有無を確認
風（台風）	30m/s	建築基準法に定める松江市における基準風速30m/s（10分平均）と過去の観測記録の既往最大値28.5m/s（10分平均）を比較し30m/sに設定
凍結	-8.7℃	過去の観測記録の既往最大値-8.7℃（日最低気温）に設定
降水	77.9mm/h	「島根県林地開発行為審査基準細則」等に定める設計雨量強度56mm/h（「松江」）と過去の観測記録の既往最大値77.9mm/h（日最大1時間降水量）を比較し77.9mm/hに設定
積雪	100cm	建築基準法に定める垂直積雪深70cm～85cm（松江市鹿島町）と過去の観測記録の既往最大値100cmを比較し100cmに設定
落雷	<u>200kA</u>	「電気技術指針（J E A G 4608（2020））」等により参照されている <u>200kA</u> と発電所構内における観測記録の既往最大値104kAを比較し <u>200kA</u> に設定
地滑り・土石流	—	「地すべり地形分布図」※1及び「国土数値情報 土砂災害危険箇所データ」※2を確認し、机上調査及び現地調査結果を踏まえ、地滑り及び土石流の発生を想定
生物学的事象	—	取水口への海生生物の襲来や、屋外設置の端子箱への小動物の侵入を想定

※1 独立行政法人防災科学技術研究所発行（平成17年）

※2 国土交通省国土政策局発行（平成15年）

■ 以下のフローに従い、自然現象の重畳（組合せ）検討を実施



自然現象の組合せ評価フロー

自然事象の組合せ

島根 2 号炉と同様の方針

- 発電所周辺の河川から距離が離れており、さらに敷地の周りは標高150m程度の山に囲まれていることから、影響を受けることはないと評価した洪水を除き、個別に評価する地震、津波及び人為事象として整理した森林火災を加えた12事象で重畳事象を検討
- 自然事象12事象について網羅的に組合せを分析（45の組合せを分析）
 - ・ 組合せは2事象を基本とする
 - ・ ただし、発生頻度の高い事象（風（台風）、凍結、降水、積雪）については、複数事象の組合せを1つの組合せとして考慮
（下表における* 1 及び* 2の組合せ）

自然現象の組合せ

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		* 1	* 2	竜巻	落雷	地滑り・土石流	火山の影響	生物学的事象	森林火災	地震	津波
A	* 1										
B	* 2	1									
C	竜巻	2	10								
D	落雷	3	11	18							
E	地滑り・土石流	4	12	19	25						
F	火山の影響	5	13	20	26	31					
G	生物学的事象	6	14	21	27	32	36				
H	森林火災	7	15	22	28	33	37	40			
I	地震	8	16	23	29	34	38	41	43		
J	津波	9	17	24	30	35	39	42	44	45	

* 1 : 風（台風） + 降水

* 2 : 風（台風） + 凍結 + 積雪

■ 組合せに関する検討（1 / 2）

- ・ 個々の自然現象がプラントに及ぼす影響（影響モード）ごとに組合せの影響を評価

自然現象の影響モード

	プラントに及ぼす影響								
	荷重	温度	閉塞	浸水	電氣的影響	腐食	磨耗	アクセス性	視認性
風（台風）	○	-	-	-	-	-	-	○	-
竜巻	○	-	-	-	-	-	-	○	-
凍結	-	○	○	-	-	-	-	○	-
降水	○	-	-	○	-	-	-	○	○
積雪	○	-	○	-	-	-	-	○	○
落雷	-	-	-	-	○	-	-	-	-
地滑り・土石流	○	-	-	-	-	-	-	○	-
火山の影響	○	-	○	-	○	○	○	○	○
生物学的事象	-	-	○	-	○	-	-	-	-
森林火災	-	○	○	-	○	-	○	○	○
地震	○	-	-	-	-	-	-	○	○
津波	○	-	-	○	-	-	-	○	-

影響モードの具体的影響

影響モード	具体的影響例
荷重	積雪や降下火砕物の重さによる静的荷重や地震による荷重
温度	低温や火災による熱的影響
閉塞	降下火砕物による空調フィルタの目詰まりや海生生物による取水口の閉塞
浸水	降雨，津波により敷地内に流入した水による影響
電氣的影響	落雷による設備損傷や電気盤内へのばい煙侵入による短絡影響
腐食	降下火砕物の付着による腐食影響
磨耗	降下火砕物，ばい煙の機器内部への侵入による軸受やシリンダ部の磨耗
アクセス性	道路上に堆積した雪・降下火砕物や，風・竜巻による屋外作業の妨げ
視認性	屋外に設置している自然現象監視カメラの視界不良

■ 組合せに関する検討（2 / 2）

- 以下の観点から考慮すべき組合せを選定
 - ① 個々の自然現象の設計に包含されるか
 - ② 同時に発生するとは考えられないか
 - ③ 安全施設に与える影響が自然現象を組み合わせることにより、個々の自然現象が与える影響よりも緩和されるか
- 1～45の組合せについて、「荷重」の影響モードを除き、観点①～③のいずれかに整理され影響が増長しないことを確認
- 「荷重」の影響モードについては、個別に組合せの評価を実施

自然現象の組合せの評価結果

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		* 1	* 2	竜巻	落雷	地滑り・土石流	火山の影響	生物学的事象	森林火災	地震	津波
A	* 1										
B	* 2	②③									
C	竜巻	①	①								
D	落雷	①	①	①							
E	地滑り・土石流	①	①	①	①						
F	火山の影響	①	①	①	①	①					
G	生物学的事象	①	①	①	①	①	①				
H	森林火災	①③	①③	①	①	①	①	①			
I	地震	①	①	①	①	①	①	①	①		
J	津波	①	①	①	①	①	①	①	①	①	

* 1 : 風 (台風) + 降水

* 2 : 風 (台風) + 凍結 + 積雪

■ 「荷重」のモードを有する自然現象

- 影響モードのうち「荷重」については重畳の組合せを検討
- 「荷重」の影響モードを有する自然現象を、発生頻度及び安全施設への影響度を考慮し、以下のとおり分類
 - ✓ 「主荷重」：「地震」、「津波」、「竜巻」、「地滑り・土石流」、「火山の影響」（降下火砕物による荷重）
 - ✓ 「従荷重」：「風（台風）」、「積雪」
- 「荷重」の影響モードを有する自然現象の組合せは、最大荷重の継続時間及び発生頻度を考慮して検討

荷重の影響モードをもつ自然現象の特徴

荷重の種類		荷重の大きさ	最大荷重 継続時間	発生頻度 (/年)	
主荷重	地震	大	短 (数分)	$5 \times 10^{-4} \text{ ※2}$	
	津波	大	短 (数分)	$10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ ※3}$	
	竜巻	大	短 (数分)	$1.6 \times 10^{-7} \text{ ※3}$	
	地滑り・ 土石流	衝突荷重	大	短 (数分)	10^{-2} ※4
		堆積荷重	中	長 (数十日)	
火山の影響	中	長 (数十日) ※1	$10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ ※5}$		
従荷重	風 (台風)	小	短 (数十分)	$2 \times 10^{-2} \text{ ※6}$	
	積雪	中	長 (数日) ※1	$2 \times 10^{-2} \text{ ※6}$	

※1 必要に応じて緩和措置を行うこととしている

※2 J E A G4601に記載されている基準地震動 S_2 の発生確率を読み替えて適用

※3 ハザード評価結果

※4 100年超過確率の降水により発生する可能性のある土石流

※5 約15,000年前の三瓶山噴火及び約80,000年前の大山噴火を考慮

※6 50年再現期待値

■ 主荷重同士の組合せについて

※下線部は島根2号炉との相違点

- 主荷重同士を網羅的に組み合わせ、随件事象、独立事象であるかを踏まえて評価し選定（下表参照）
- 地震+津波の組合せについては、余震と津波の組合せを考慮する
- 地震+津波以外の事象の組合せについては、独立事象であり、それぞれ頻度が十分小さい又はそれぞれの事象の影響範囲が異なることから組合せを考慮しない

主荷重同士の組合せ

		事象Ⅱ				
		地震	津波	竜巻	地滑り・土石流	火山の影響
事象Ⅰ	地震		○※1	×	×	×
	津波	○※2		×	×	×
	竜巻	×	×		×	×
	地滑り・土石流	○※3	×	×		×
	火山の影響	×	×	×	×	

○：組合せを考慮する，×：組合せを考慮しない

- ※1 基準地震動の震源からの本震と当該本震に伴う津波は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。ただし、当該地震に伴う津波と余震は同時に敷地に到達することを想定し、組合せを考慮する。
- ※2 基準津波又は海域活断層から想定される地震による津波と当該津波の波源を震源とする本震は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないため、組合せを考慮する必要はない。ただし、海域活断層から想定される地震による津波と当該津波の波源を震源とする余震は、同時に敷地に到達することを想定し、組合せを考慮する。なお、基準津波又は海域活断層から想定される地震による津波と基準地震動を独立事象として扱う場合は、それぞれの発生頻度が十分小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。
- ※3 両者は独立事象であり、地滑り・土石流の発生頻度及び最大荷重継続時間を踏まえると、地滑り・土石流による土砂の衝突荷重については、最大荷重継続時間内に地震が発生する頻度は十分小さいことから重量を考慮しない。一方、地滑り・土石流による土砂の堆積荷重については、地震荷重との組合せを考慮する。

- 主荷重と従荷重の組合せについて
 - 主荷重と組み合わせるべき従荷重について検討
 - 事象の継続時間，荷重の大きさを考慮
 - 組み合わせた荷重による影響評価に当たっては，建築基準法を考慮する

主荷重と従荷重の組合せ

			主荷重					火山の影響
			地震	津波	竜巻	地滑り・土石流		
						衝突荷重	堆積荷重	
従荷重	風 (台風)	建築基準法	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
		継続時間※1	短×短	短×短	短×短	短×短	長×短	長×短
		荷重の大きさ※2	大+小	大+小	大+小	大+小	中+小	中+小
		組合せ	○※3	○※3	×	○	○	○
	積雪	建築基準法	多雪区域は 組合せ考慮	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
		継続時間※1	短×長	短×長	短×長	短×長	長×長	長×長
		荷重の大きさ※2	大+中	大+中	大+中	大+中	中+中	中+中
		組合せ	○※4	○※4	×	×	×	○

- ：組合せを考慮する，×：組合せを考慮しない
- ※1 主荷重の時間×従荷重の時間
- ※2 主荷重の大きさ+従荷重の大きさ
- ※3 屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち，風荷重の影響が地震荷重又は津波荷重に対して大きい構造，形状及び仕様の施設において，組合せを考慮する。
- ※4 積雪による受圧面積が小さい施設又は常時作用している荷重に対して積雪荷重の影響が小さい施設を除き，組合せを考慮する。