

島根原子力発電所 2号炉

津波による損傷の防止

設計荷重及び荷重の組合せ

(コメント回答)

令和2年9月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
46	R元.6.27	・耐津波設計において考慮する荷重及び荷重の組合せについて、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の設計にあたってそれぞれ設定する荷重及び荷重の組合せを整理した上で、説明すること。	P7～14
123	R 2.9.3 (本日回答)	・荷重の組合せについて、組合せのバリエーション（津波波源、施設の部位の個別評価等）が多いため、想定事象を網羅的に考慮していることが分かるよう基本的な考え方を整理した上で、個別の施設・設備、波源等に応じた対象とする荷重の考え方を説明すること。	P3～6

指摘事項に対する回答【No. 46, 123】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.46 津波荷重の設定】

○耐津波設計において考慮する荷重及び荷重の組合せについて、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の設計にあたってそれぞれ設定する荷重及び荷重の組合せを整理した上で、説明すること。

■ 回答

- ・津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の設計にあたってそれぞれ設定する荷重を整理した上で、津波防護施設（防波壁、防波扉及び1号炉取水槽流路縮小工）を代表に、耐津波設計において考慮する荷重及び荷重の組合せを整理した。（P7～14）

■ 指摘事項（第894回会合 令和2年9月3日）

【No.123 津波荷重の設定】

○荷重の組合せについて、組合せのバリエーション（津波波源、施設の部位の個別評価等）が多いため、想定事象を網羅的に考慮していることが分かるよう基本的な考え方を整理した上で、個別の施設・設備、波源等に応じた対象とする荷重の考え方を説明すること。

■ 回答

- ・荷重の組合せについて、基本的な考え方を整理するとともに、個別の施設・設備の設置状況や構造（形状）、津波波源等に応じた想定事象を網羅的に抽出して整理した。（P3～6）

1. 基本方針（1 / 4）

荷重の組合せの設定方針

- 耐津波設計において、設置許可基準規則及び関連審査ガイドを踏まえ、常時荷重、地震荷重、津波荷重等を考慮する。（考慮する各荷重の詳細と内容については、次ページ参照）
- 荷重の組合せの設定に当たっては、施設・設備の設置状況や構造（形状）等を考慮し、各荷重の組合せ要否を以下のとおり整理する。
 - 海域活断層から想定される地震による津波の影響を受ける施設・設備について、海域活断層から想定される地震による津波荷重に「余震荷重」を考慮する。（「【参考】余震荷重の設定」を参照）
 - 日本海東縁部に想定される地震による津波の影響を受ける施設・設備については、日本海東縁部に想定される地震による「余震荷重」は敷地への影響が明らかに小さいことから、「余震荷重」を考慮しない。（「【参考】余震荷重の設定」を参照）
 - 津波の直接的な影響を受ける施設・設備については、津波荷重として動的荷重を考慮する。ここで、動的荷重には「動的荷重（波力）」を考慮するが、経路からの津波が鉛直上向きに作用する施設・設備については、「動的荷重（突き上げ）」を考慮する。なお、「動的荷重（波力）」における津波荷重は、敷地高以上は朝倉式に基づき算定し、敷地高以深については谷本式に基づき算定する。（P6参照）
 - 津波の直接的な影響を受けない施設・設備については、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。（P6参照）
 - 漂流物の衝突が想定される施設・設備については、「漂流物衝突荷重」を考慮する。なお、漂流物衝突荷重は、施設・設備の設置高さに応じて、海域活断層から想定される地震による津波が到達する部位と日本海東縁部に想定される地震による津波が到達する部位とで個別に評価を行う。（P6参照）
 - 設置場所が屋外の施設・設備については、構造（形状）も踏まえて自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）を考慮する。なお、設置場所が屋内、敷地地下及び水路部の施設・設備については、当該箇所における自然現象の影響の有無を整理したうえで、影響の無い自然現象による荷重を考慮不要と整理する。（P5参照）

1. 基本方針（2/4）

耐津波設計において考慮する荷重

- 耐津波設計において考慮する荷重を下表に示す。

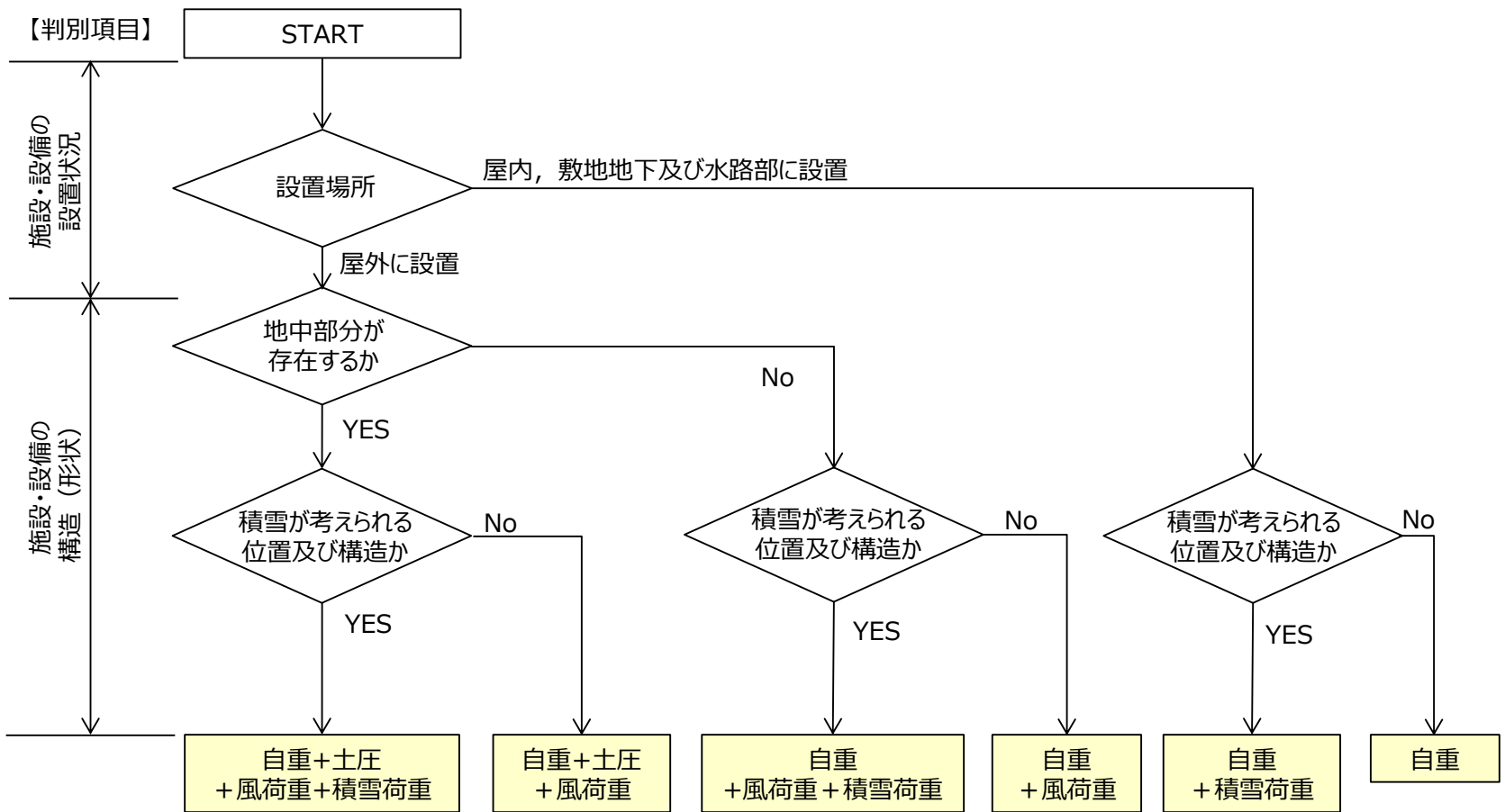
No.	項目	内容
1	常時荷重	常時作用している荷重として、自重、土圧、積載荷重及び海中施設に対する静水圧等を考慮する。なお、施設・設備に運転時の荷重が作用する場合は、運転時荷重を考慮する。
2	地震荷重	基準地震動 S_s による地震力を考慮する。
3	余震荷重	余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D による地震力を考慮する。なお、施設が浸水した状態で余震が発生した場合における、施設内滞留水に生じる動水圧荷重（スロッシングによる荷重等）も併せて考慮する。
4	動的荷重（波力）	津波により施設・設備に作用する動的荷重として、津波の波力による荷重を考慮する。
5	動的荷重（突き上げ）	津波により施設・設備に作用する動的荷重として、突き上げ荷重（経路からの津波が鉛直上向き方向に作用する場合の津波荷重）を考慮する。
6	静的荷重（静水圧）	津波又は低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水により施設・設備に作用する静的荷重として、静水圧を考慮する。
7	漂流物衝突荷重	漂流物の衝突荷重を考慮する。
8	風荷重	自然現象による荷重であり、「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する設計基準風速（30m/s）に伴う荷重を考慮する。
9	積雪荷重	自然現象による荷重であり、「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する建築基準法の考え方を参考とし設計積雪深（100cm）に係数0.35を考慮した荷重を組み合わせる。

1. 基本方針 (3 / 4)

常時荷重 (自然現象による荷重を含む) における荷重の組合せ選定フロー

- 常時荷重及び自然現象による荷重 (風荷重, 積雪荷重) の組合せは, 施設・設備の設置状況や構造 (形状) 等の条件を踏まえて, 以下の通り分類する。
- なお, 地震時の検討は, 全ての施設・設備において, 以下で分類した常時荷重 (自然現象による荷重含む) に地震荷重 (S s) を組み合わせて行う。

【常時荷重及び自然現象による荷重 (風荷重, 積雪荷重)】



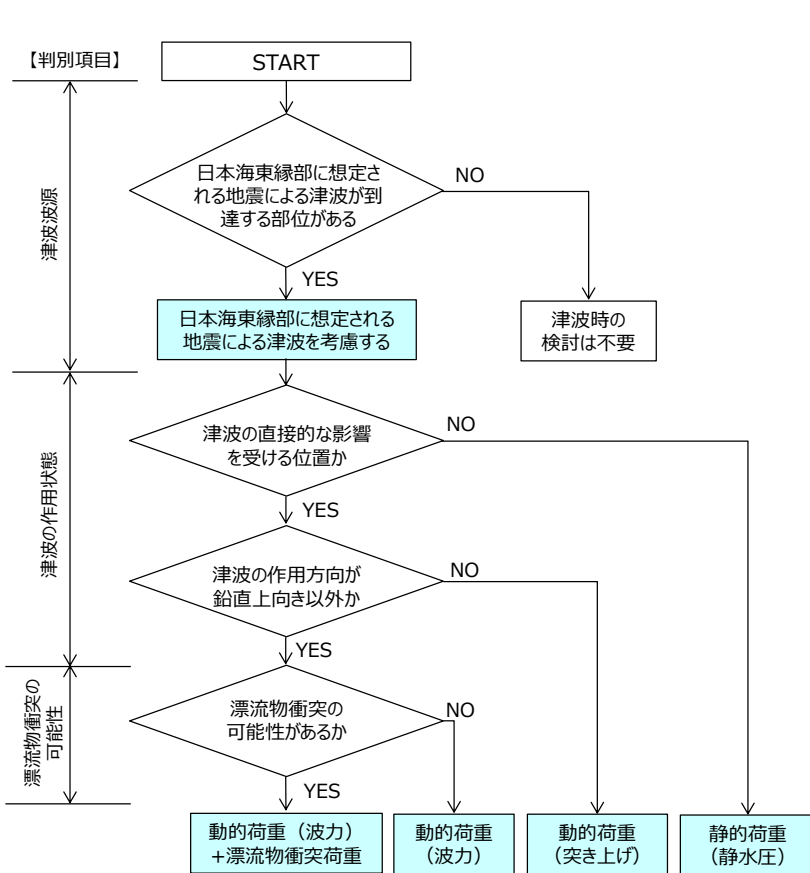
常時荷重及び自然現象による荷重 (風荷重, 積雪荷重) の組合せ選定フロー

1. 基本方針 (4 / 4)

津波時及び重畳時における荷重の組合せ選定フロー

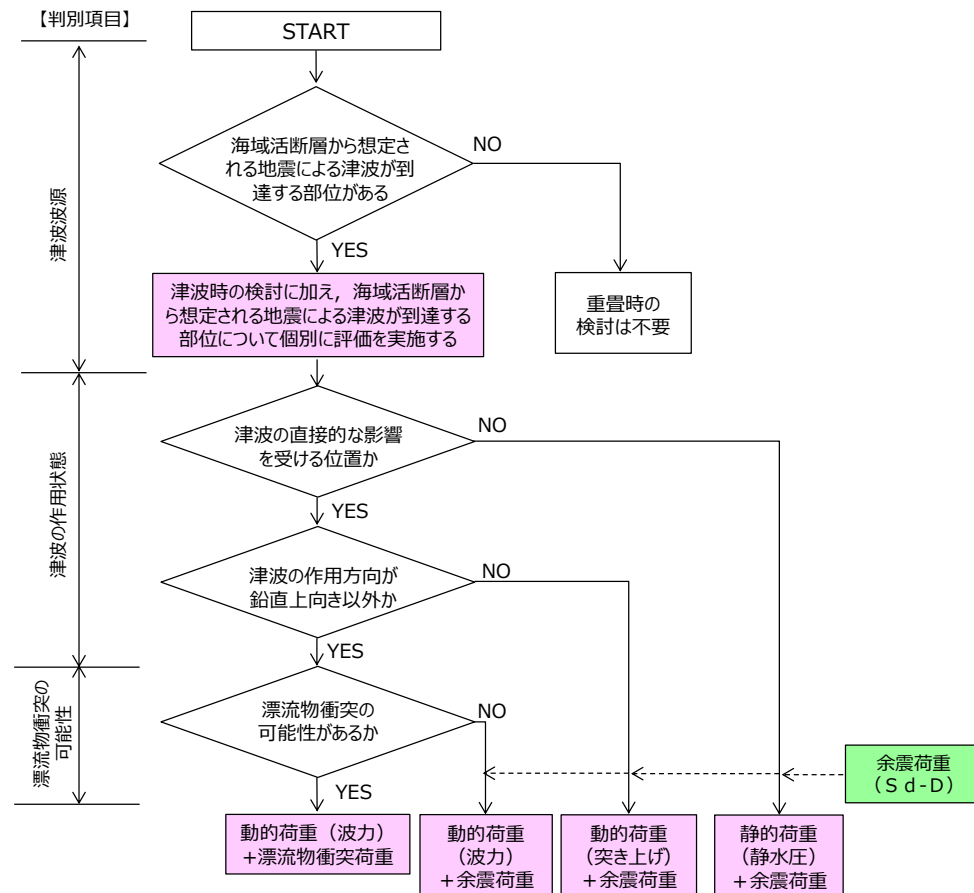
- 津波時及び重畳時の検討は、前頁で分類した常時荷重及び自然現象による荷重（風荷重、積雪荷重）に、津波波源、津波の作用状態及び漂流物衝突の可能性を踏まえて分類した以下の荷重を組み合わせる。
- なお、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受ける施設・設備については、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する。

【津波時】



津波時における荷重組合せの選定フロー

【重畳時】



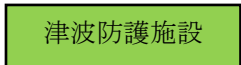
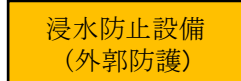
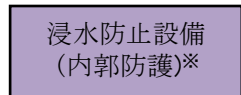



重畳時における荷重組合せの選定フロー

2. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備 (1 / 5)

- 設置許可基準規則 5 条及び40条の対象となる津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備を以下に示す。

凡例

-  設計基準対象施設（重大事故等対処設備を含む）の津波防護対象設備を内包する建物・区画
-  重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建物・区画
-  津波防護施設
-  浸水防止設備（外郭防護）
-  浸水防止設備（内郭防護）※
-  津波監視設備

※ 基準地震動Ssによる地震力に対してバウンダリ機能保持のみを要求する機器・配管を除く

津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の平面配置

2. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備 (2/5)

■ 津波防護施設で考慮する荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			漂流物衝突荷重	備考	
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧			
津波防護施設	防波壁	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○	○	○	○	○							
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	日本海東縁部	○	○	○	○			○					
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 漂流物衝突荷重	日本海東縁部	○	○	○	○			○			○		
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 漂流物衝突荷重	海域活断層	○	○	○	○			○			○		
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 余震荷重	海域活断層	○	○	○	○			○	○				
	防波扉	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○		○		○							防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	日本海東縁部	○		○				○					
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 漂流物衝突荷重	日本海東縁部	○		○				○			○		
	1号炉取水槽流路縮小工	屋外 (水路部)	常時荷重+地震荷重	—	○				○						津波荷重は津波時の静水圧, 流水圧及び流水の摩擦による推力を考慮する	
常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))			日本海東縁部	○						○						
常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) + 余震荷重			海域活断層	○						○	○					

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所で考慮する (【参考】余震荷重の設定)を参照)

2. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備 (3/5)

■ 浸水防止設備（外郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			漂流物衝突荷重	備考	
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧			
浸水防止設備 (外郭防護)	屋外排水路逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○							
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海東縁部	○								○			
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域活断層	○						○			○		
	除じん機エリア防水壁	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○		○		○							
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海東縁部	○		○						○			
	除じん機エリア水密扉	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○		○		○							
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海東縁部	○		○						○			
	床ドレン逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○			○	○							
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ))	日本海東縁部	○			○					○			
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ)) +余震荷重	海域活断層	○			○			○		○			
	貫通部止水処置	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○							
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海東縁部	○								○			
常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重			海域活断層	○						○		○				

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する (「【参考】余震荷重の設定」を参照)

2. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備 (4/5)

■ 浸水防止設備（内郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重※	津波荷重			備考
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧	
浸水防止設備 (内郭防護)	復水器エリア 防水壁	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○							○		
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○					○			○	
	復水器エリア 水密扉	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○							○		
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○					○			○	
	床ドレン 逆止弁	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○							○		
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○					○			○	
	貫通部 止水処置	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○							○		
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○					○			○	
隔離弁, ポンプ及び配管	屋内 (配管ダクト内) 又は屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○						
		常時荷重+静的荷重（静水圧）	日本海 東縁部	○								○		
		常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	海域 活断層	○					○			○		

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する（「【参考】余震荷重の設定」を参照）

2. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備 (5/5)

■ 津波監視設備で考慮する荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重※	津波荷重			漂流物衝突荷重	備考
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧		
津波監視設備	津波監視カメラ	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○		○	○	○						
	取水槽水位計	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○						
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	日本海東縁部	○						○				
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	海域活断層	○						○	○			

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する (「【参考】余震荷重の設定」を参照)

3. 荷重及び荷重の組合せ

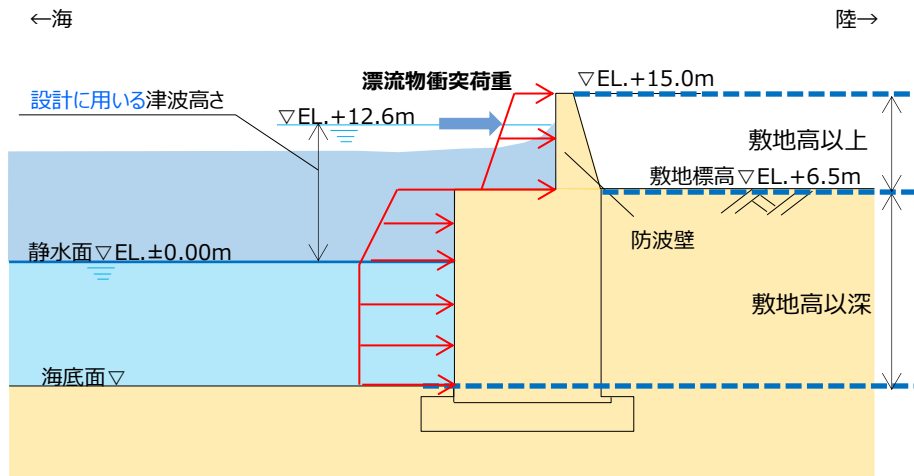
3.1 防波壁に考慮する荷重及び荷重の組合せ

■ 防波壁に作用する荷重，荷重の組合せ，津波時の荷重イメージを以下に示す。

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重 (海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以上の防波壁の部位においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。)
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁（波返重力擁壁）のケーソン等については，海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する)

※自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は設備の設置状況，構造（形状）等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する

荷重	内容
常時荷重	建造物の自重，土圧
自然現象による荷重	風荷重，積雪荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
余震荷重	弾性設計用地震動 S_{d-D} による地震動を考慮する（「【参考】余震荷重の設定」を参照）
津波荷重	動的荷重（波力）を考慮する なお，津波荷重は敷地高以上は朝倉式に基づき算定し，敷地高以深については谷本式に基づき算定する
漂流物衝突荷重	漂流物，荷重算定式について詳細検討を行ったうえで作用させる



敷地高以上：朝倉式により津波波圧算定
敷地高以深：谷本式により津波波圧算定

津波時の荷重イメージ図（波返重力擁壁）

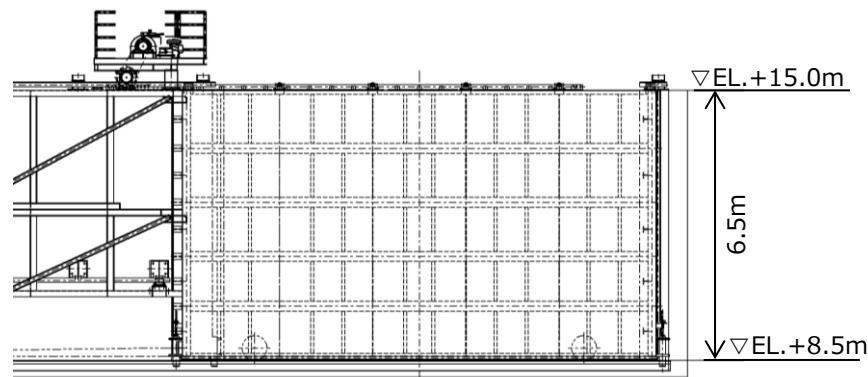
3. 荷重及び荷重の組合せ

3.2 防波扉に考慮する荷重及び荷重の組合せ

- 防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉に作用する荷重、荷重の組合せ、津波時の荷重イメージを以下に示す。

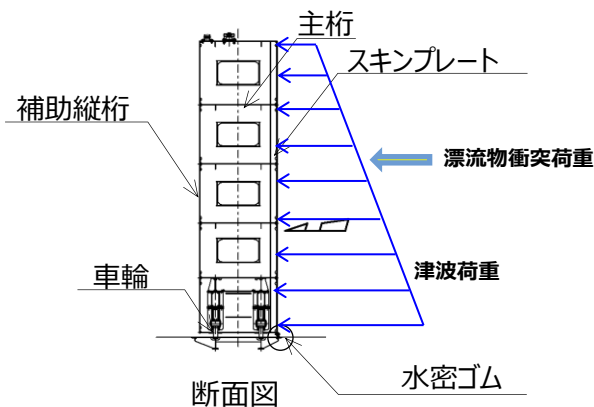
検討ケース	荷重の組合せ※1,2
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重

- ※1 自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は設備の設置状況、構造（形状）等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する
- ※2 海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けないため、余震荷重を考慮しない（「【参考】余震荷重の設定」を参照）



正面図

荷重	内容
常時荷重	建造物の自重
自然現象による荷重	風荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
津波荷重	動的荷重（波力）を考慮する なお、施設は敷地高以上に設置するため、津波荷重は朝倉式に基づき算定する
漂流物衝突荷重	漂流物、荷重算定式について詳細検討を行ったうえで作用させる



断面図

津波時の荷重イメージ図
(防波壁通路防波扉（3号炉東側）)

3. 荷重及び荷重の組合せ

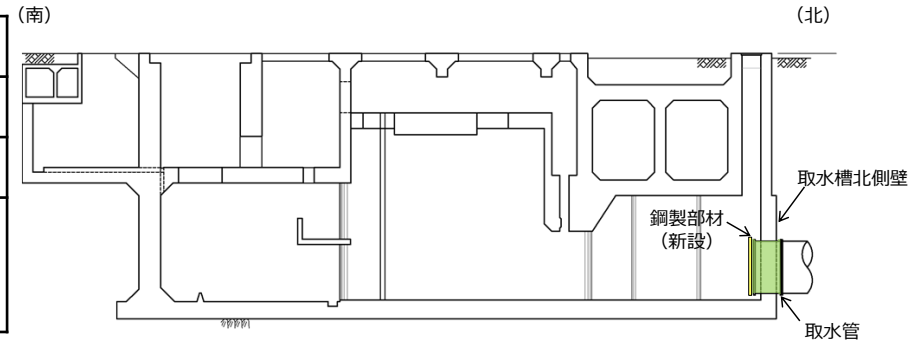
3.3 1号炉取水槽流路縮小工に考慮する荷重及び荷重の組合せ

■ 1号炉取水槽流路縮小工に作用する荷重，荷重の組合せ，津波時の荷重イメージを以下に示す。

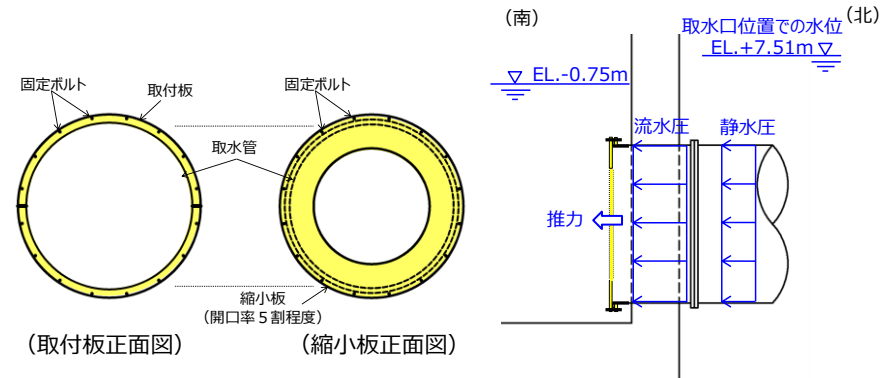
検討ケース	荷重の組合せ※1
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時※2	常時荷重 + 津波荷重
重畳時※3 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けるため余震荷重を考慮する)

- ※1 自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は，設備が水路部（1号炉取水管端部）に設置されることから考慮しない
- ※2 漂流物の衝突が想定されないため，漂流物衝突荷重は考慮しない
- ※3 余震荷重については，「【参考】余震荷重の設定」を参照

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
津波荷重	動的荷重（波力）を考慮する なお，動的荷重（波力）は，津波時の静水圧，流水圧及び流水の摩擦による推力を考慮する



1号炉取水槽流路縮小工配置図



1号炉取水槽流路縮小工拡大イメージ

津波時の荷重イメージ図
(1号炉取水槽流路縮小工)

【参考】余震荷重の設定 余震荷重

- 基準津波 1, 2, 3, 5 及び 6 の波源である「日本海東縁部に想定される地震」については、敷地から600km以上の距離（図 1 参照）にあり、その余震及び誘発地震の敷地への影響が明らかに小さいことから、津波荷重に組み合わせる余震荷重を設定しない。
- 基準津波 4 の波源である「海域活断層から想定される地震」については、敷地から距離が近いこと、その余震※¹及び誘発地震※²の地震動評価を行ったところ、その評価結果を全ての周期帯において弾性設計用地震動 $S_d - D$ が十分に上回る（図 2 参照）ことから、保守的に $S_d - D$ による荷重を「海域活断層から想定される地震」による津波荷重に組み合わせる余震荷重として設定する。

※¹:余震は、M6.7（過去の地震の本震規模(M0)と最大余震規模(M1)の関係(M1=M0-0.9)から設定）の地震を基準津波 4 の波源の位置に設定

※²:誘発地震は、M6.8（過去の誘発地震の規模に保守性を考慮して設定）の地震を敷地周辺の孤立した短い活断層の位置に設定

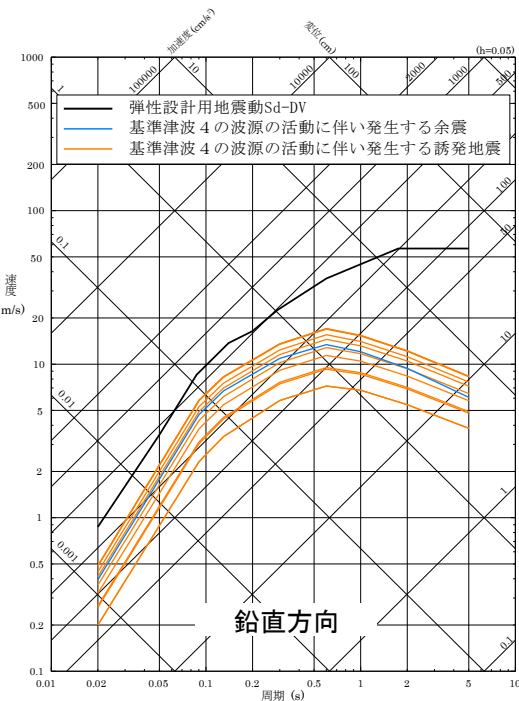
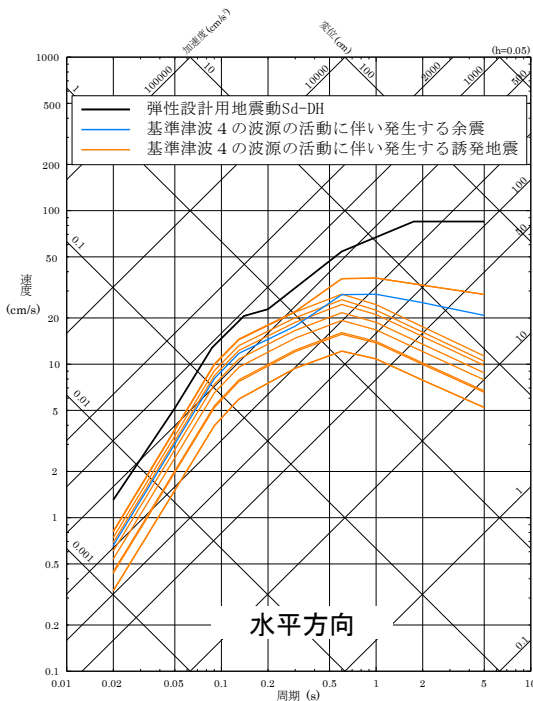
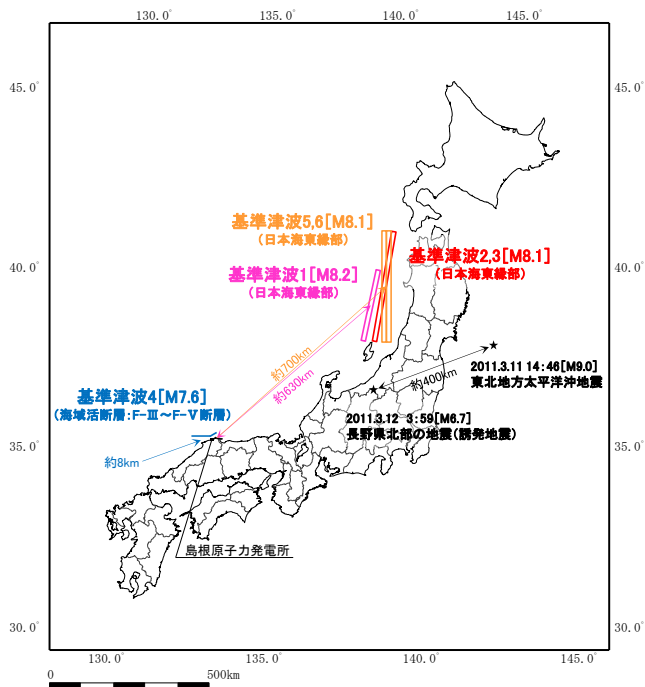


図 1 島根原子力発電所と基準津波の波源の位置関係及び2011年東北地方太平洋沖地震と2011年長野県北部の地震の震源位置

図 2 基準津波 4 の波源の活動に伴い発生する余震及び誘発地震と弾性設計用地震動 $S_d - D$ の比較

【参考】余震荷重の設定 その他の地震に関する検討（1 / 2）

- 日本海東縁部に想定される地震による基準津波については、当該津波の波源を震源とする余震との組合せを考慮しないことから、余震以外のその他の地震との組合せについて検討した。
- 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）において、自然現象の組合せは発生頻度及び最大荷重の継続時間を考慮して検討するとしている。そこで、日本海東縁部に想定される地震による基準津波について、発生頻度及び最大荷重継続時間を踏まえ、当該津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震（頻度が高く年に1回程度発生する地震動レベルの小さい地震を想定）が発生する頻度を算定すると、以下のとおり 2.3×10^{-8} / 年であり十分小さい※ことから、当該津波と余震以外のその他の地震との組合せを考慮しない。
- また、基準津波以外の津波は海域活断層から想定される地震による津波に比べて水位が低く敷地に与える影響は小さいため、余震荷重との組合せを考慮しない。

地震及び津波の最大荷重継続時間と発生頻度

荷重の種類	最大荷重継続時間 (年)	発生頻度 (/ 年)
地震 (基準地震動)	$10^{-5} \times 1$	$5 \times 10^{-4} \times 3$
津波 (基準津波)	$2.3 \times 10^{-4} \times 2$	$10^{-4} \sim 10^{-5} \times 4$

※ 1 : $10^{-5} = 5$ 分 / (365日×24時間×60分) として算出
 ※ 2 : $2.3 \times 10^{-4} = 120$ 分 / (365日×24時間×60分) として算出
 ※ 3 : JEAG4601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
 ※ 4 : ハザード評価結果
 ※ : JEAG4601において組み合わせるべき荷重としては、事象の発生確率、継続時間、地震動の発生確率を踏まえ、その確率が 10^{-7} / 炉年以下となるものは組合せが不要と記載されている

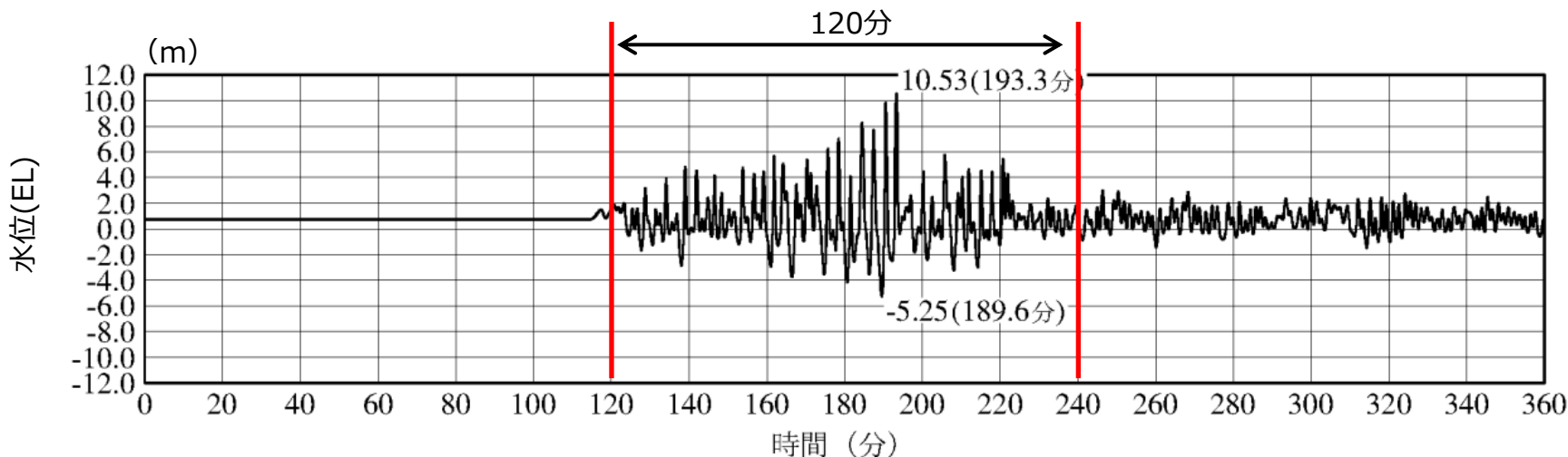
(基準津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震が発生する頻度)

基準津波の発生頻度		基準津波の最大荷重継続時間		余震以外のその他の地震の発生頻度 (想定)	
10^{-4} / 年	×	2.3×10^{-4} 年	×	1 / 年	= 2.3×10^{-8} / 年

【参考】余震荷重の設定 その他の地震に関する検討（2 / 2）

- 施設に対する入力津波の時刻歴波形の例を下図に示す。下図のとおり、入力津波が最大水位となるのは短時間であることから、津波による最大荷重継続時間も短時間となる。ただし、最大ではないものの比較的高い水位が発生していることから、他施設に対する入力津波の時刻歴波形も確認※し、高い水位が発生する範囲を余裕を持って包含する時間として、津波の最大荷重継続時間を120分に設定した。

※：「海域活断層から想定される地震による基準津波4」は、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」と比べ、その津波の継続時間が短いことから、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の時刻歴波形のうち、各施設に対して最も水位が高くなる入力津波の時刻歴波形を確認（「津波による損傷の防止」5条-別添1-添付22-21～25）



入力津波の時刻歴波形の例（2号炉取水槽（入力津波1，防波堤無し））