

## 九州電力株式会社川内原子力発電所への視察について（報告）

令和4年11月18日  
原子力規制庁

原子炉安全専門審査会・核燃料安全専門審査会火山部会委員6名（小川審査委員、宮町審査委員、奥野臨時委員、高橋臨時委員、上田専門委員、田中専門委員）により、令和4年7月28日（木）に九州電力株式会社（以下「九州電力」という。）川内原子力発電所において、火山対策設備等の現地視察を行った。

奥野臨時委員より、現地での質問に加えて視察終了後に気付き事項が提示され、事務局より九州電力へその内容を伝達した。九州電力から令和4年10月21日に現地での質問回答とあわせて当該気付き事項への回答として別添資料の提出を受けた。

火山部会委員による川内原子力発電所視察後の  
ご質問への回答について

2022年10月21日  
九州電力株式会社

余 白

## 【ご質問】

### 1. 取水口について（津波との関連）

Q1-1. 津波は水だけでなく、大量の泥や瓦礫を含んで押し寄せたり引いたりするが、取水口周辺が泥や瓦礫により埋まったとしても、冷却水を取水できるのか？

Q1-2. 土砂移動計算における高橋ほか（1999）の詳細は？

### 2. 津波について

Q2-1. 基準津波はどのように算定したのか？

Q2-2. 想定以上の高さに津波がきた場合の対処は？

### 3. 降灰時のフィルタ交換について

Q3-1. 降灰時の非常用ディーゼル発電機へのフィルタコンテナ接続作業や、フィルタの交換作業は、平時よりも対応が困難になると考えられるが、作業は時間内に完了できるのか？

Q3-2. フィルタコンテナを常設すれば良いのではないのか？

Q3-3. 降灰に備えた屋根（渡り廊下）の設置と床のかさ上げはしないのか？

2

## 1. 取水口について（津波との関連）

2015年3月16日  
第705回ヒアリング資料修正

Q1-1. 津波は水だけでなく、大量の泥や瓦礫を含んで押し寄せたり引いたりするが、取水口周辺が泥や瓦礫により埋まったとしても、冷却水を取水できるのか？

### A1-1.

取水した海水中のゴミや漂流物が海水ポンプに吸い込まれないよう、海水ポンプ前に流入防止設備（トラッシュレイキ付バースクリーン、ロータリースクリーン）を設置している。なお、流入防止装置は80%程度の閉塞までは許容できるが、押し波によりスクリーンに捕捉されたものも引き波により外れてしまうため、80%程度まで閉塞することは考えにくい。

仮に、流入防止設備又は取水口が泥や瓦礫により完全に閉塞した場合は、海水システムの圧力低下や流量低下等の関連パラメータの警報が発信することにより閉塞を察知し、プラントを手動停止することとしている。

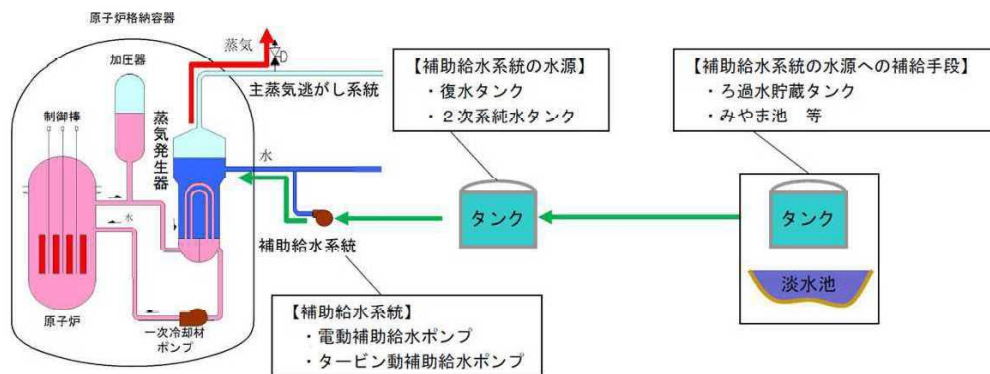
（プラント停止後の操作については、次ページにて説明）

# 1. 取水口について（津波との関連）

Q1-1. 津波は水だけでなく、大量の泥や瓦礫を含んで押し寄せたり引いたりするが、取水口周辺が泥や瓦礫により埋まったとしても、冷却水を取水できるのか？

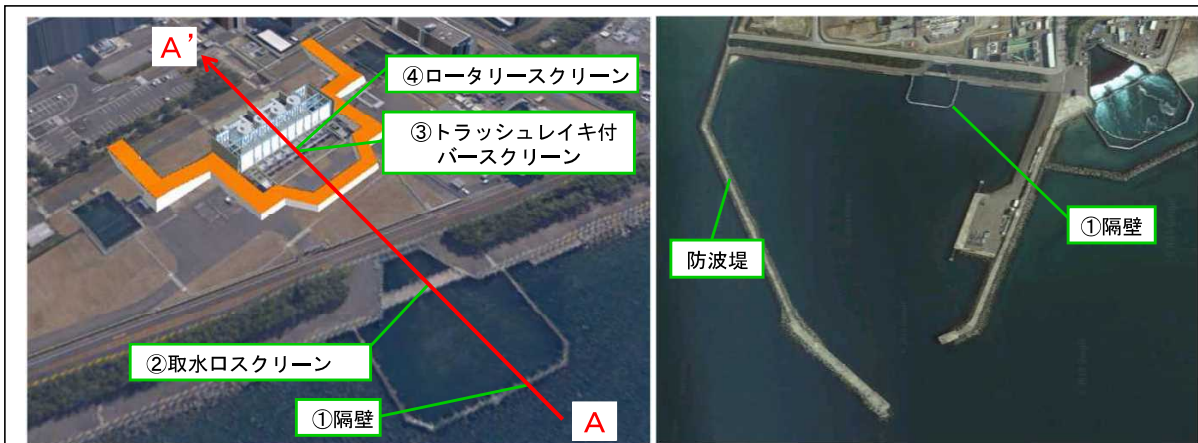
## A1-1. プラント停止後の操作について

- 海水ポンプの運転が継続できない場合は、規定文書に基づき、プラントを手動停止することとしている。
- プラント停止後は海水ポンプの運転が継続できない場合でも動作可能である補助給水系統及び主蒸気逃がし系統を使用し、蒸気発生器2次側による原子炉の冷却が可能であり、プラントの「冷やす」機能は適切に維持される。なお、プラントの「止める」「閉じ込める」機能は、海水ポンプ停止に関わらず適切に維持される。
- また、補助給水系の水源は、復水タンク及び2次系純水タンクを確保している。これらのタンクについては、ろ過水貯蔵タンクやみやま池等からの補給が可能となっており、長期的に冷却を継続することが可能である。

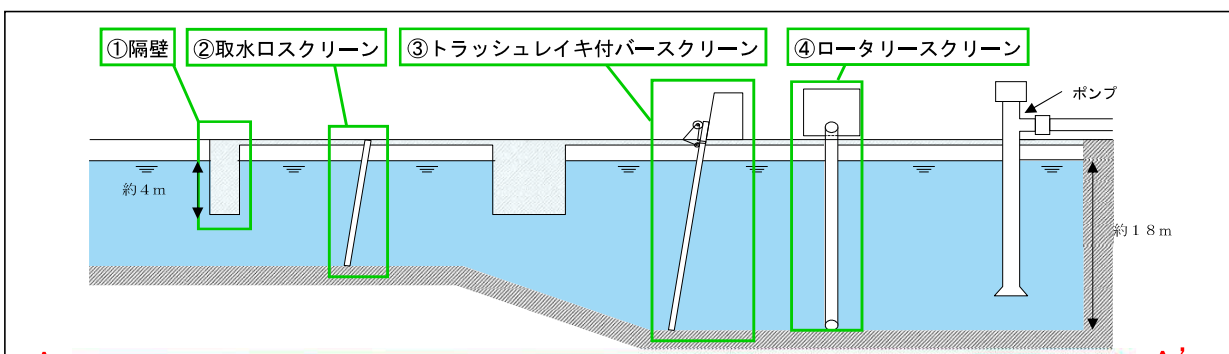


# 1. 取水口について（津波との関連）

2019年4月8日取水口の除塵設備に係る九州電力との面談資料修正



【取水設備の外観】



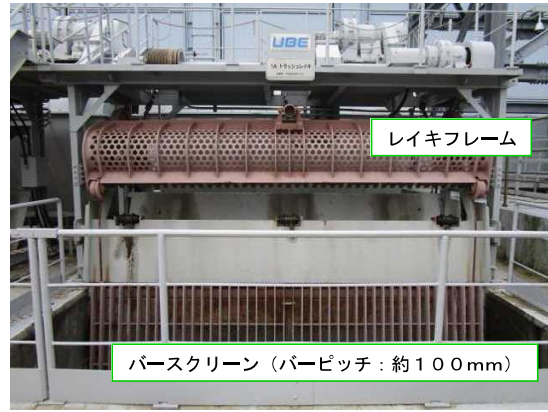
【取水設備の構成（断面図）】

# 1. 取水口について（津波との関連）

2019年4月8日取水口の除塵設備に係る九州電力との面談資料修正



①隔壁（カーテンウォール）



③トラッシュレイキ付バースクリーン



②取水口スクリーン  
ピッチ：約200mm



④ロータリースクリーン  
ピッチ：約9mm

# 1. 取水口について（津波との関連）

2014年4月23日  
第107回審査会合資料修正

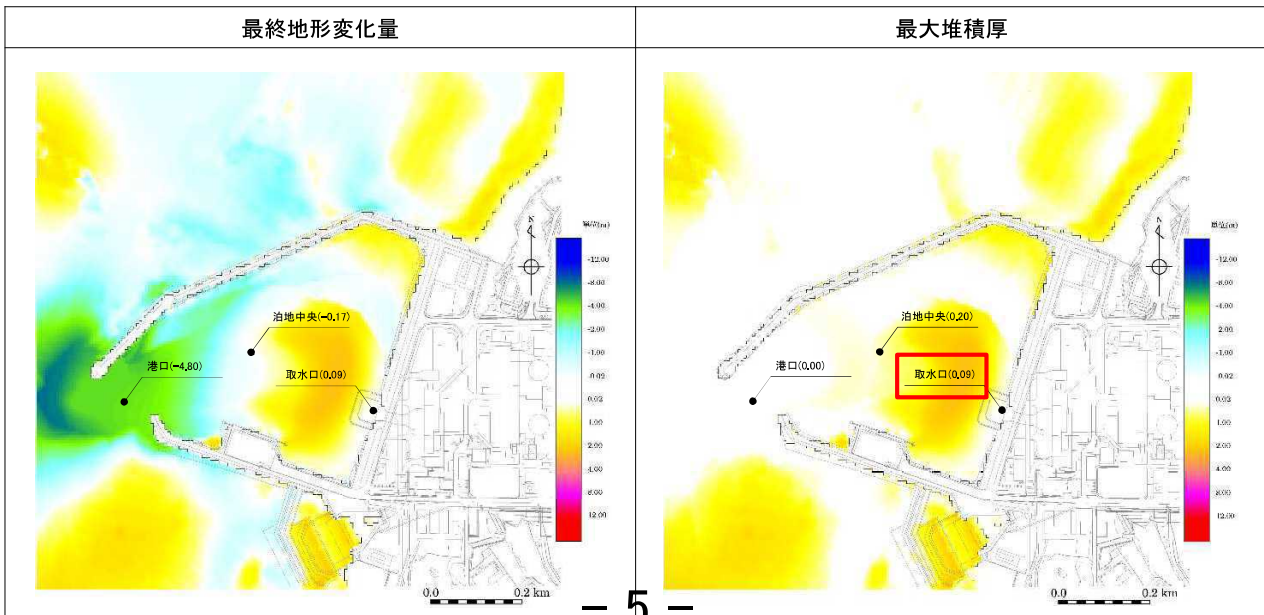
## Q1-2. 土砂移動計算における高橋ほか（1999）の詳細は？

### 【土砂移動に関する当社評価について】

当社既往評価では、基準津波に伴う土砂移動・堆積によって取水口及び取水路が閉塞し、非常用海水冷却系が喪失しないことを確認するため、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動評価を実施。

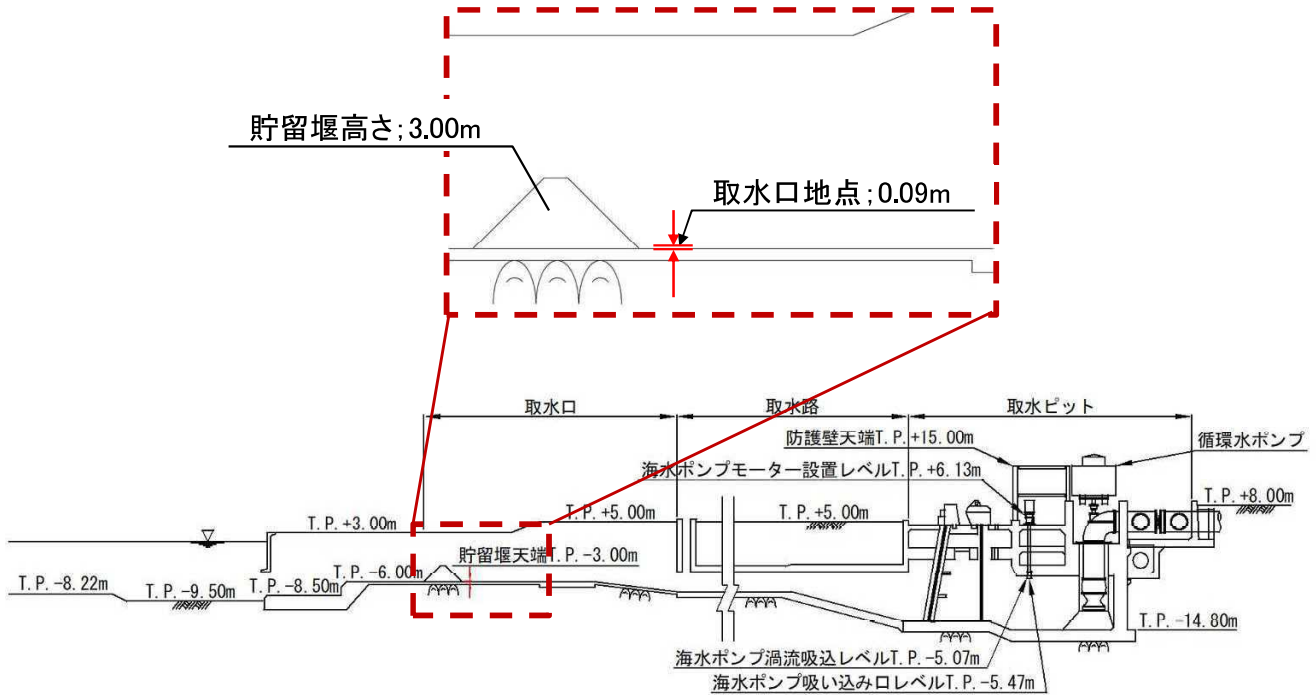
なお、シミュレーションに必要なパラメータである流速、初期砂層厚分布、平均粒径は、当社基準津波のシミュレーション及び敷地前面海域の地質調査結果を基に設定している。

数値シミュレーション結果(高橋ほか(1999)の手法(浮遊砂上限濃度:5%))





P7のシミュレーション結果における取水口地点;0.09mを取水口～取水路縦断面図に図示すると以下の通り。



【高橋ほか（1999）の詳細】

砂移動計算では、砂粒が底面と接触を保ちながら移動する掃流砂層と、砂粒が水中に保持され流水とともに移動する浮遊砂層を独立に取扱い、交換砂量を考慮した各層での砂の連続の式を元に、地盤高の変化量が算出される。

高橋ほか(1999)では、この砂移動計算において、流砂量式及び巻き上げ量の算定式を水理実験により求めた上で、浮遊砂濃度が非平衡な状態においても適用可能な津波を対象とした土砂移動モデルを提案。その上で、1960年チリ地震津波来襲時の宮城県気仙沼湾を対象に、数値計算による本モデルの検証を実施し、提案したモデルの妥当性を確認している。

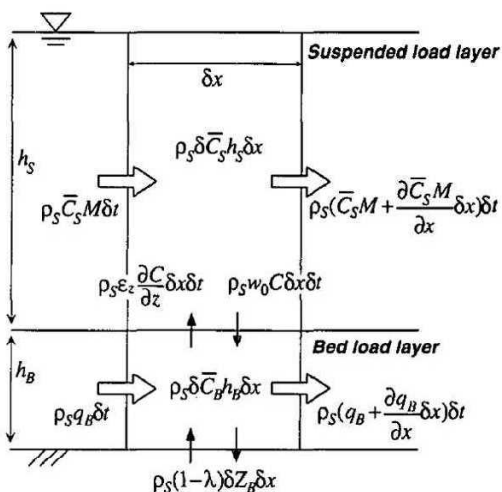


図-1 掃流砂層・浮遊砂層分離モデルの概念図

砂移動の計算手法

高橋ほか（1999）の手法に基づく計算式	
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial (C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial (MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
流砂量式	$Q = 21\psi^{1.5} \sqrt{sgd^3}^{**}$
巻き上げ量の算定式	$E = 0.012\psi^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma^{**}$
沈降量の算定式	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	$\mu_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$

\*高橋ほか（1999）の実験公式

- Z : 水深変化量 (m)      t : 時間 (s)      x : 平面座標
- Q : 単位幅、単位時間当たりの掃流砂量 (m<sup>3</sup>/s/m)      w : 土粒子の沈降速度 (m/s)
- ψ : シールズ数      D : 全水深 (m)      M : U×D (m<sup>2</sup>/s)
- σ : 砂の密度 (kg/m<sup>3</sup>)      λ : 空隙率      s : =σ/ρ-1
- g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)      d : 砂の粒径 (m)      U : 流速 (m/s)
- n : マニングの粗度係数 (s/m<sup>1/3</sup>)
- ρ : 海水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)      C<sub>s</sub> : 浮遊砂体積濃度

## 【参考：浮遊砂上限濃度について】

高橋ほか(1999)の手法では、浮遊砂上限濃度を5%に設定し、数値シミュレーションを実施している。  
藤田ほか(2010)では、高橋ほか(1999)の手法により、1960年チリ津波時の八戸港における地形変化事例に対する再現計算を実施し、主に浮遊砂上限濃度の設定値の妥当性評価の観点から現地適用性の検証を実施している。なお、浮遊砂上限濃度は、1、2、5%に変化させたパラメータスタディを実施。

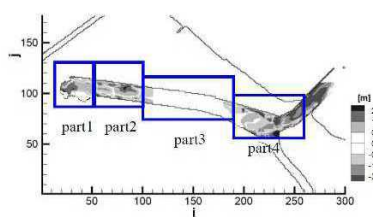
各領域の侵食量と堆積量の再現性を確認した結果、浮遊砂上限濃度は基本的には1～2%程度と設定すれば良いとしている。

### 計算条件

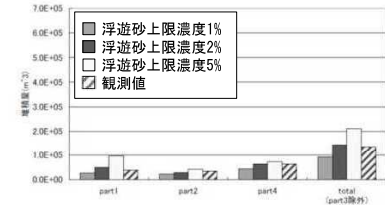
表-4 実地形適用計算の計算条件

項目	条件
計算格子間隔	10.3m
計算時間間隔	0.45秒
流体の基礎方程式	非線形長波
計算時間	10時間
陸側境界条件	遡上考慮
沖側境界条件	図-10の時間波形を入力 潮位は T.P.+0.0 とする
粒径	0.26mm
砂の密度	2675kg/m <sup>3</sup>
空隙率	0.4
沈降速度	0.035m/s
浮遊砂上限濃度	1%, 2%, 5%
粗度係数	0.03
水平渦動粘性係数	10m <sup>2</sup> /s

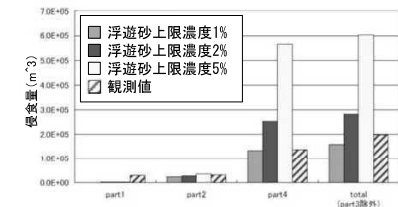
### 領域区分



### 堆積量



### 侵食量



領域ごとの堆積量・侵食量（上図：堆積量、下図：侵食量）

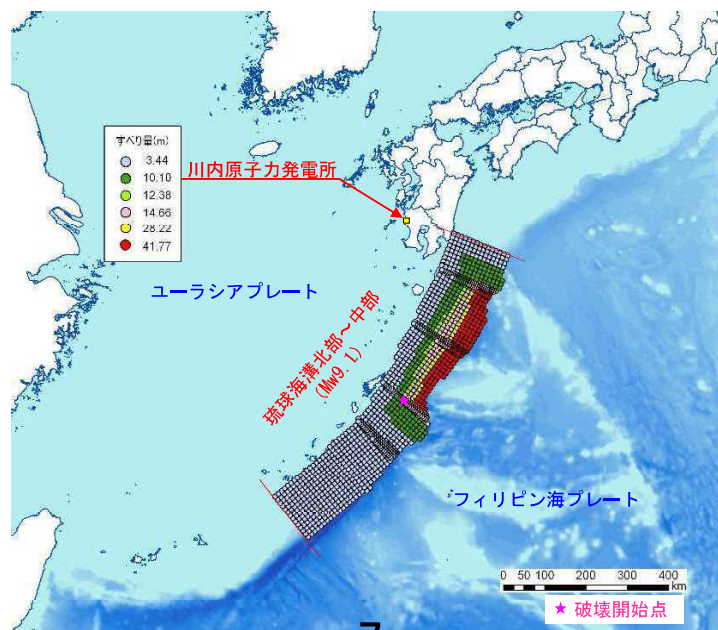
# 2. 津波について

## Q2-1. 基準津波はどのように算定したのか？

A2-1. 施設に最も影響を与える津波（基準津波）として、水位上昇側・下降側ともに、琉球海溝北部～中部のプレート間地震(Mw9.1)を津波波源とする津波を設定している。

基準津波による最高水位・最低水位は、以下の通り。

- ・最高水位（朔望平均満潮位時、取水口位置）： T.P.+5m程度
- ・最低水位（朔望平均干潮位時、取水口位置）： T.P.-5.5m程度



基準津波の津波波源については、2011年東北地方太平洋沖地震津波の教訓を踏まえ、現在の知識・データが全てとせず、安全意識として、これを超えることが起こりうるとの観点で設定した。

**【現在の知識・データに基づく想定】**

固着域の分析の結果、琉球海溝において想定される地震の最大規模は、琉球海溝北部及び中部ではMw8.0クラス、琉球海溝南部ではMw8.5クラスと考えられる。しかしながら、十分な不確かさを考慮した津波波源として、領域内にある複数の固着域が連動破壊することを想定し、各領域の全範囲が破壊する規模を想定。

➡ Mw8.7~8.9の地震を想定

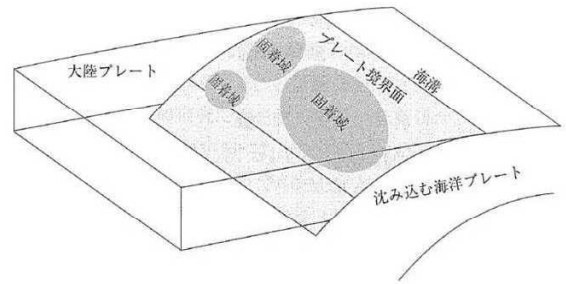


図 プレート境界面の固着状態を示す模式図  
(出典：「津波の辞典」, 首藤他, 朝倉書店, 2007)

↓ 更なる安全性の検討

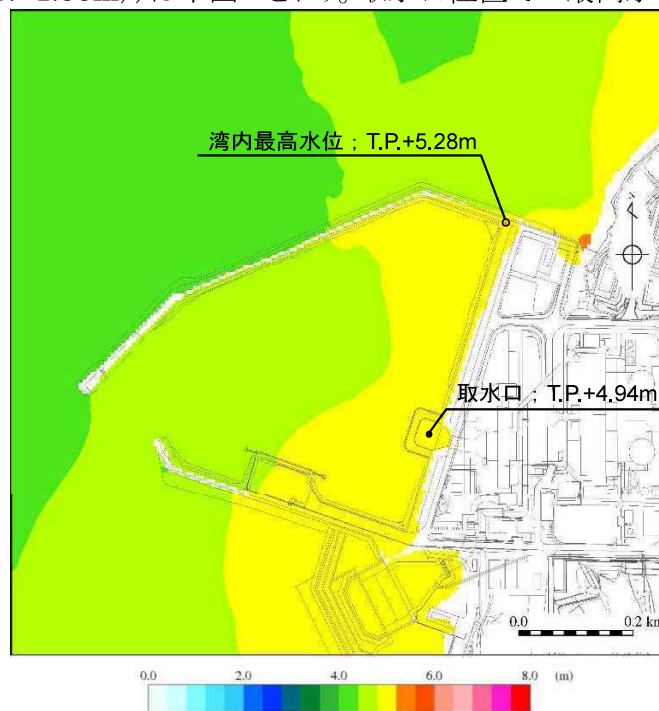
**【安全意識として、現在の知識・データを超えることを想定】**

琉球海溝では東北地方太平洋沖地震レベルの固着域は確認されないものの、琉球海溝の海溝軸付近で東北地方太平洋沖地震と同規模(Mw9.1)の地震が発生する場合を想定し、領域境界を越えて琉球海溝北部から琉球海溝中部までの領域が破壊する規模を想定。

➡ Mw9.1の地震を想定

**【敷地周辺の最高水位分布について】**

基準津波によるサイト周辺の最高水位分布(琉球海溝北部~中部(Mw9.1);上昇側最大ケース、初期水位;H.W.L.(T.P.+1.38m))は下図のとおり。取水口位置での最高水位;T.P.+4.94m。



最高水位分布



# 余 白

## 2. 津波について

Q2-2. 想定以上の高さに津波が来た場合の対処は？

A2-2.

### 【入力津波の設定】

各施設・設備の津波に対する設計を行うため入力津波を設定する。設定に当たっては、安全意識として現在の知識・データを超えることを想定して策定した基準津波による水位変動に加え、潮位のバラつき等を安全側に考慮し、設定。

	基準津波の高さ（水位上昇側）		入力津波の高さ（水位上昇側）
	初期潮位：T.P. ±0m	初期潮位：朔望平均満潮位	
取水口位置	+3.52m	+4.94m	+6.00m
津波高さのイメージ			

## A2-2.

設計基準対象施設の津波防護対象設備のうち屋外施設である海水ポンプについては、基準津波に対し十分余裕を持った設定とした入力津波(T.P.+6m)に対し、防護堤(T.P.+8m)及び海水ポンプエリア防護壁(T.P.+15m)を設置しており、余裕を持った設計としている。

発電所の主要設備は、入力津波の2倍以上の高さである約T.P.+13mに設置されており、遡上波を地上部から到達又は流入させない設計としている。

加えて、原子力発電所所在市町村沿岸を含む津波予測区において大津波警報が発表された場合には、プラント停止を含む対応を実施する運用としている。

※プラント停止後、海水ポンプの運転が継続できない場合の操作についてはp4を参照。



16

## 3. 降灰時のフィルタ交換について

2018年12月7日  
第901回ヒアリング資料修正

Q3-1. 降灰時の非常用ディーゼル発電機へのフィルタコンテナ接続作業や、フィルタの交換作業は平時よりも対応が困難になると考えられるが、作業は時間内に完了できるのか？

## A3-1.

## 【フィルタコンテナ接続の作業成立性】

非常用ディーゼル発電機へのフィルタコンテナ接続作業は、降灰が発電所敷地に到達する前に実施するため、降灰による影響はない。

下記のとおり想定作業時間内に完了できることを確認している。

## 《作業の成立性》

必要要員数:4名/ユニット

作業時間(想定):70分※(移動10分、作業60分)

作業時間(実績):42分(移動7分、作業35分)

※桜島薩摩噴火と同規模の噴火を想定した発電所敷地への降灰到達は解析結果から噴火発生後80分としている。

また、作業開始は下記の通り噴火発生後10分としている。

- ・気象庁が発表する降灰予報により「多量」の降灰が予想された場合(10分以内)
- ・気象庁が発表する噴火に関する火山観測報において地理的領域(発電所敷地から半径160km)内の活火山に20km以上の噴煙が観測されたが、噴火後10分以内に降灰予報が発表されない場合
- ・降下火砕物による発電所への重大な影響が想定される場合



(次ページへ続く)

Q3-1. 降灰時の非常用ディーゼル発電機へのフィルタコンテナ接続作業や、フィルタの交換作業は平時よりも対応が困難になると考えられるが、作業は時間内に完了できるのか？

A3-1.

【フィルタ交換の作業成立性】

非常用ディーゼル発電機のフィルタコンテナのフィルタ交換については、下記の通り想定作業時間内に完了できることを確認している。

《作業の成立性》

- 必要要員数: 8名/ユニット
- 作業時間(想定): 120分(1交換サイクル当たり)
- 作業時間(実績): 94分(1交換サイクル当たり)

屋外で実施する作業は、降灰時の作業環境を考慮し、以下の対応を実施している。

- ・防護具(マスク・ゴーグル等)の着用
- ・ヘッドライト・懐中電灯等の携行
- ・資機材(除灰用シャベル)の配備

なお、清掃については降灰の影響を受けないタービン建屋内で実施している。

### 3. 降灰時のフィルタ交換について

Q3-2. フィルタコンテナを常設すればよいのではないのか？

A3-2. フィルタコンテナは「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」の要求事項に基づき、火山対策として配備している。

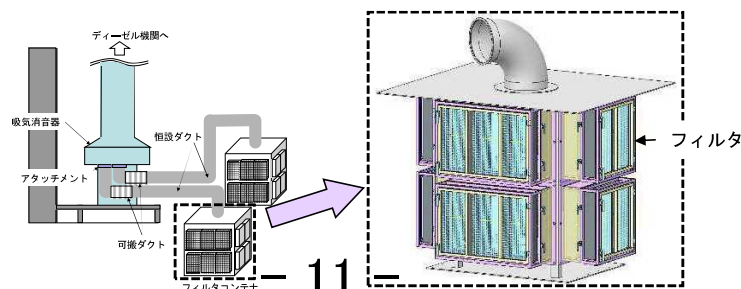
一方、非常用ディーゼル発電機は、火山含めた様々な事象による外部電源喪失時に発電所内の必要な電力を供給する役割がある。

フィルタコンテナを常設した場合、通常運転時に実施している非常用ディーゼル発電機の起動試験や負荷試験にてフィルタが劣化し、外部電源喪失時に機能を発揮できない可能性があるため、通常時は切り離れた運用としている。

(仮に、フィルタが閉塞しないようフィルタを外した状態でフィルタコンテナを接続した場合、降灰時にフィルタ取付作業が発生する。)

なお、フィルタコンテナ接続作業については、A3-1のとおり降灰が発電所敷地に到達する前に完了できることを確認している。

《実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第83条1項口(1)の記載》  
火山現象による影響が発生し、又は発生するおそれがある場合における**非常用交流動力電源設備の機能を維持するための対策**に関すること。



### 3. 降灰時のフィルタ交換について

#### Q3-3. 降灰に備えた屋根（渡り廊下）の設置と床のかさ上げはしないのか？

A3-3. フィルタ運搬ルートは、通常時の発電所運用において大型車両による運搬ルートとしても利用しており、屋根（渡り廊下）の設置や床のかさ上げした場合に、作業に支障がある可能性があるため、屋根（渡り廊下）の設置や床のかさ上げは実施していない。

なお、フィルタの運搬に際しては、降灰時の作業環境を考慮して下記の対応(A3-1)を実施することから、降灰に備えた屋根の設置や灰雨の作業スペースへの流れ込みに備えた床のかさ上げがなくとも対応可能と考えている。

- ・ヘッドライト・懐中電灯等の携行
- ・資機材(除灰用シャベル)の配備

また、高濃度降灰により視界が悪化する場合は、視認性向上の更なる対策として下記を実施することとしている。

- ・屋外での作業を行う者の視認性向上:ヘッドライト及び反射材付ベストの着用
- ・屋外作業エリアの視認性向上 :ポール、反射材、電飾等の設置
- ・屋外の移動ルートの視認性向上 :ロープ、反射材、電飾等の設置

