

今後の南海トラフ地震への対応・リスク評価の考え方、PWR型 ～川内原子力発電所及び玄海原子力発電所の 津波評価・津波対策について～

2017年8月1日
九州電力株式会社
笹田 俊治



本日のご説明内容

- 1 原子力発電所の概要
- 2 津波評価・津波対策
 - 2-1 川内原子力発電所
 - 2-2 玄海原子力発電所
- 3 継続的な取組み

<1 原子力発電所の概要>

原子力発電所の概要

- 2013年7月の福島事故の教訓を反映した新規規制基準の公布直後、川内1/2号と玄海3/4号の原子炉設置変更許可申請を実施。
- 川内1/2号は、新規規制基準のもと、それぞれ2015年9月と11月に通常運転復帰。
- 東日本大震災前(2010年度)は当社発電電力量の約39%を原子力発電で供給。

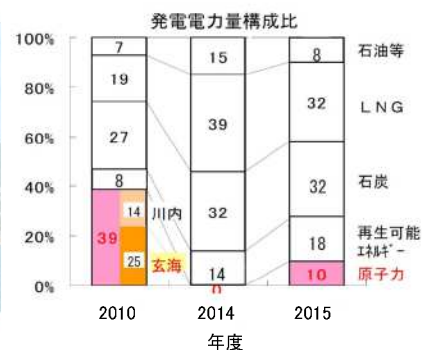
[玄海]

	1号	2号	3号	4号
所在地	佐賀県 玄海町			
定格電気出力	55万9千kW	55万9千kW	118万kW	118万kW
炉型式	加圧水型軽水炉(PWR)			
運転開始	1975年 【2015年運転終了】	1981年	1994年	1997年



[川内]

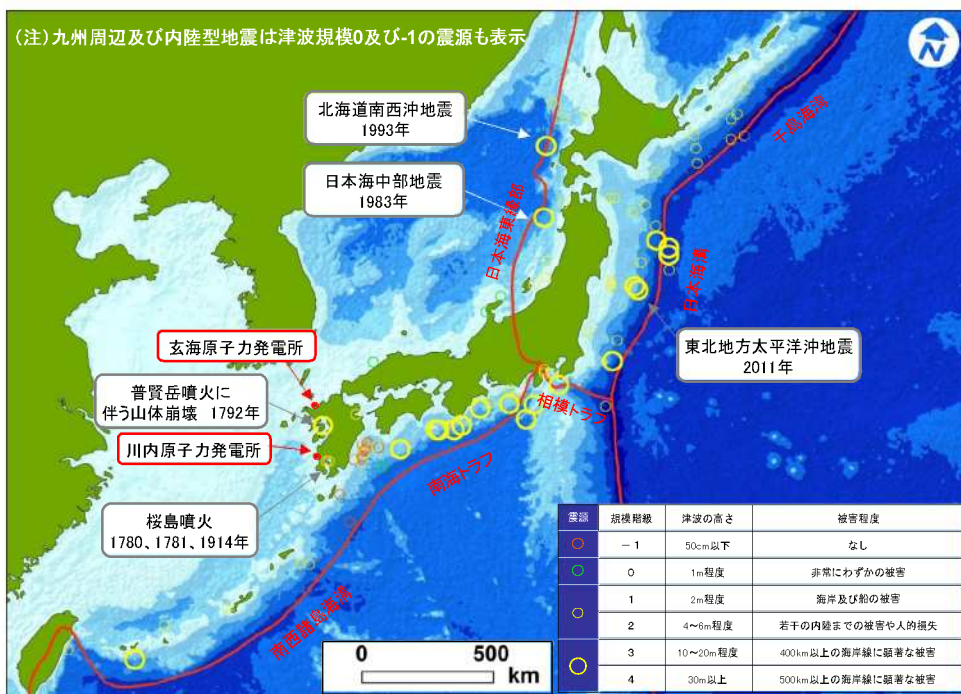
	1号	2号
所在地	鹿児島県 薩摩川内市	
定格電気出力	89万kW	89万kW
炉型式	加圧水型軽水炉(PWR)	
運転開始	1984年	1985年



<2 津波評価・津波対策>

原子力発電所敷地周辺における既往津波

- 原子力発電所の敷地前面にはプレート境界がなく、水深は比較的浅い領域。
- 九州沿岸域の既往津波による被害状況等に関する文献調査の結果、日本周辺の海域や遠地(チリ沖)で過去に発生した津波を含めて、原子力発電所敷地周辺の沿岸域に顕著な影響を及ぼした既往津波は認められない。



日本被害津波総覧【第2版】、渡辺偉夫著、東京大学出版会(1998)等を基に作成

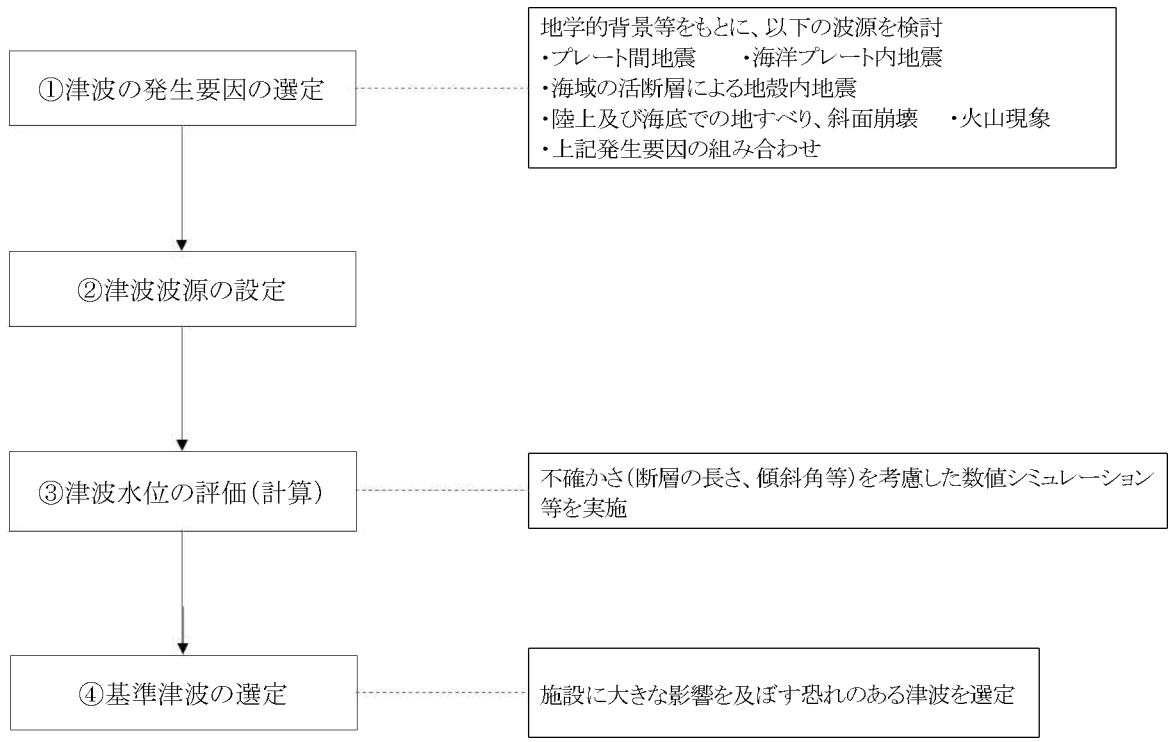
敷地周辺で観測された津波水位

[玄海]

	観測地点・水位
1983年 日本海中部地震	唐津・0.11m 博多・0.10m
1993年 北海道南西沖地震	飯屋・0.36m(全振幅) 唐津・0.22m(全振幅) 博多・0.07m(全振幅)

[川内]

	観測地点・水位
1960年 チリ地震	中甌・1.65m(全振幅)
2010年 チリ地震	枕崎・0.84m(全振幅)
2011年 東北地方太平洋沖地震	枕崎・0.91m 阿久根・0.47m 志布志・1.06m



<2-1 川内原子力発電所>

- 内閣府において、南海トラフでは、最大クラスの津波波源(Mw9.1)が設定されているが、審査ガイドにおいて、「この海域のテクトニクスの背景は2004年スマトラ島沖地震と類似していることから、津波波源の領域は、南海トラフから南西諸島海溝まで含めた領域が対象」と記載されており、Hsu and Sibuet(2005)においても、その類似性が指摘されている。また、McCaffrey(2008)によると、「全ての沈み込み帯でM9クラスの地震が発生しうる」とされている。
- これらを踏まえ、2004年スマトラ島沖地震をはじめとする超巨大地震の記録がある世界の沈み込み帯において、地震との関連性が高い「プレート境界面の固着域」に着目した分析を行い、その分析結果に基づき、南海トラフ～南西諸島海溝(以降、「琉球海溝」という)において、不確かさを考慮した津波波源を設定し、津波水位を評価。
- 更に、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の津波波源を設定し、津波水位を評価。

1 南海トラフ～琉球海溝での分析

- 固着域に関する分析
 - ✓ 超巨大地震の記録がある世界の沈み込み帯において、「プレート境界面の固着域」に着目した分析を実施
 - ✓ その科学的・技術的知見に基づき、南海トラフ～琉球海溝での固着域を評価
- 領域境界を越えて固着域が破壊する可能性の検討
 - ✓ 固着域の評価結果に、構造的境界に関する情報の分析結果を加え、領域境界を越えて固着域が破壊する可能性を検討

2 分析結果に基づく津波水位評価

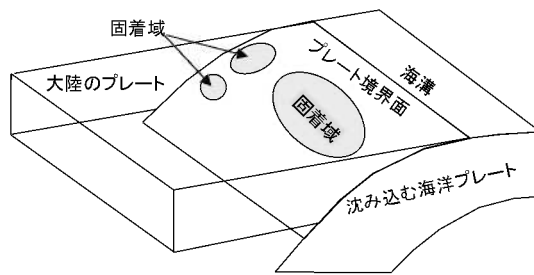
- 津波波源の設定
 - ✓ 連動破壊等を考慮した、十分安全側の津波波源域を想定
 - ✓ 審査ガイドに基づき、津波波源の不確かさを考慮した津波波源を設定
- 津波水位評価
 - ✓ 数値シミュレーションにより、津波水位を評価

3 東北地方太平洋沖地震津波の教訓を踏まえた津波水位評価

- 津波波源の設定
 - ✓ 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の津波波源を設定
- 津波水位評価
 - ✓ 数値シミュレーションにより、津波水位を評価



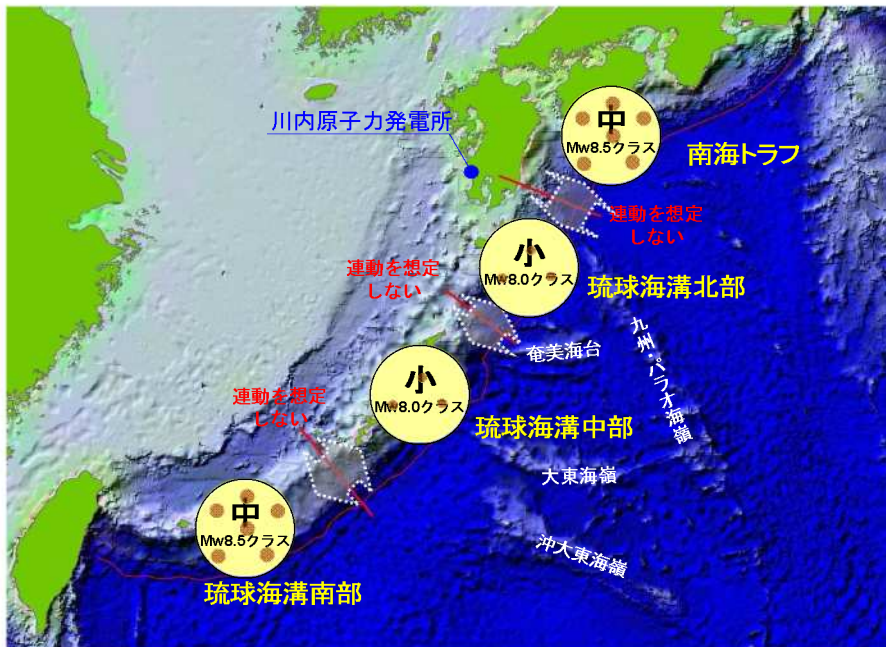
プレート間地震に起因する津波波源の対象領域(審査ガイド)



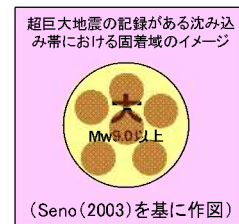
プレート境界面の固着域の模式図(津波の辞典(朝倉書店)を基に作成)

プレート間地震に伴う津波 (南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ)

- 各領域内における最大規模の歴史地震は、南海トラフではMw8.5クラス、琉球海溝北部・中部ではMw8.0クラス、琉球海溝南部ではMw8.5クラスであるものの、それらを超える可能性を検討。
- 超巨大地震の記録がある沈み込み帯と南海トラフ～琉球海溝を比較・分析した結果から、南海トラフ～琉球海溝においては、超巨大地震の記録がある沈み込み帯での固着域と同規模の固着域はなく、各領域内における最大規模の歴史地震と整合的な固着域が想定される。
- 固着域及び構造的な境界に関する分析結果から、南海トラフ～琉球海溝において、領域境界を越えた範囲がスケーリング則に従って連動する場合を考慮する必要はないと考えられる。



各領域の固着域のイメージ



凡例
 ● 固着域 ○ 非固着域
 Mwは、歴史地震に基づく規模

- 更に、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の津波波源を設定。

〔琉球海溝〕

固着域の分析結果を踏まえると、各領域内における最大規模の固着域による破壊範囲は各領域の大きさに比べ、十分小さいものの、不確かさを考慮し、領域内の複数の固着域が連動破壊することにより、領域全範囲がスケール的に破壊する場合を想定した。

Mw8.7~8.9の地震を想定

(不確かさとして考慮した知見)

- 東北地方太平洋沖地震では、想定されていなかった海溝軸付近(浅部)での固着域が破壊し、海溝軸付近で大きなすべりが観測された
→ 琉球海溝内の固着域は、小規模ではあるものの、海溝軸付近(浅部)に存在する可能性がある。
- 海溝軸付近のすべり量は津波の大きさに与える影響が大きい
→ 海溝軸付近での固着域については、十分安全側に取り扱うべきと考えられる。

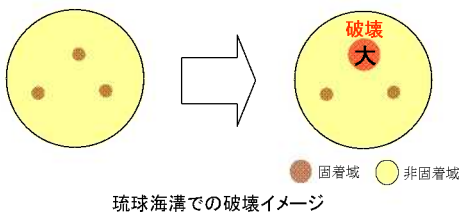
更なる安全性の検討

以下のとおり、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の津波波源を設定。

- 海溝軸付近での固着域が、東北地方太平洋沖地震レベルの大きさで破壊する場合を想定

※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、最大限の固着域として、東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)レベルの大きさを想定

Mw9.0の地震を想定
(発電所への影響が最も大きい箇所に設定)



不確かさを考慮(積上げ)

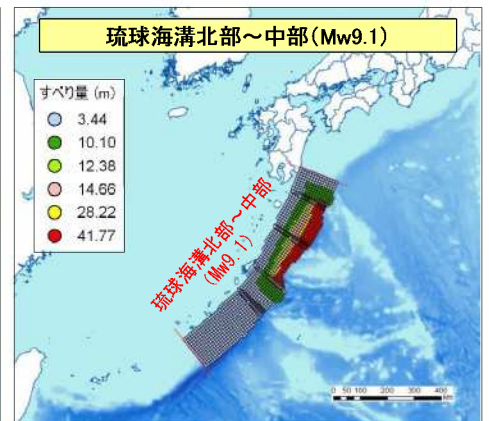
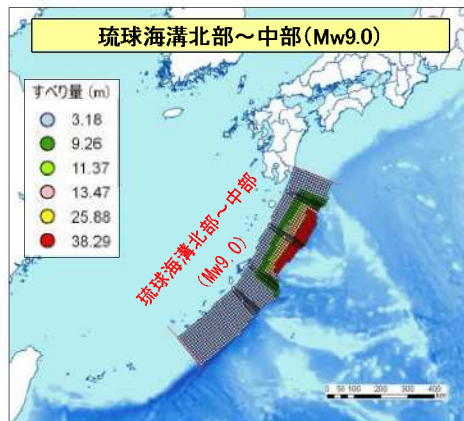
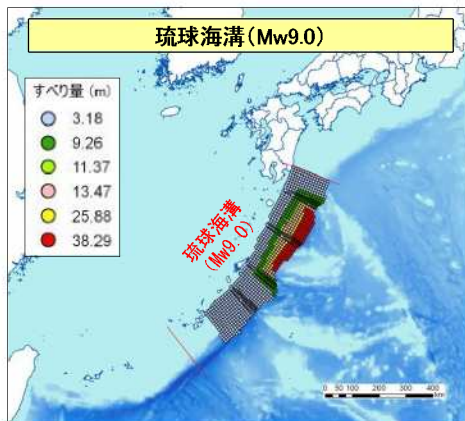
更なる想定

断層の長さ	各領域の全長と設定
断層の幅	南海トラフと同等の深さに対応する断層幅を設定
平均すべり量	巨大地震のばらつきを考慮
すべり量の不均一	大すべり域の面積を最大とし、安全側の位置に設定
破壊様式	破壊開始点等を安全側に設定

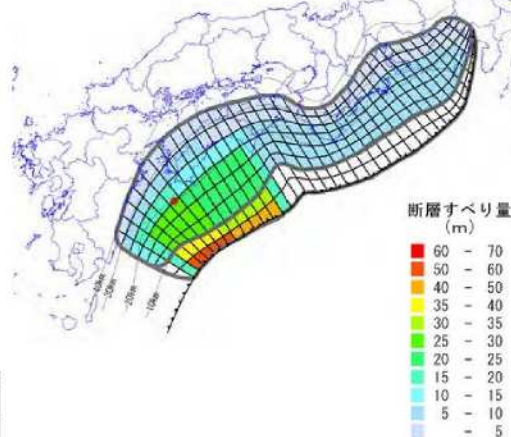
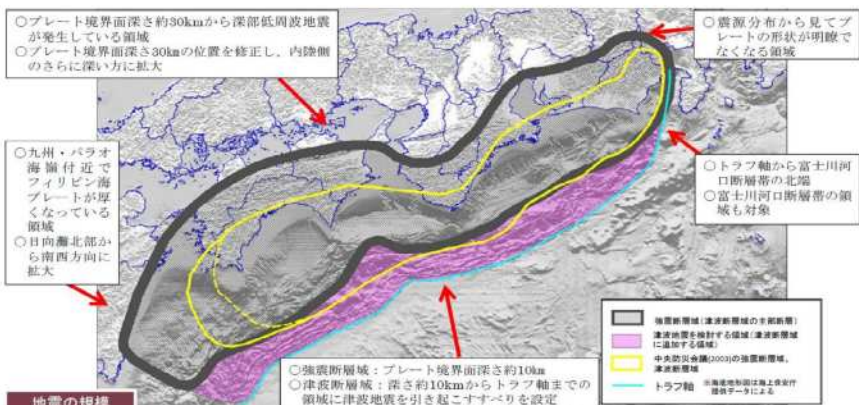
断層の長さ	Mw9.0の地震に対応する断層長さとして設定
-------	------------------------

考慮した不確かさ

- 琉球海溝における波源については、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から、海溝軸付近での固着域が東北地方太平洋沖地震レベルの大きさで破壊する場合を想定し、発電所への影響が最も大きい箇所にMw9.0の地震に伴う津波波源を設定。⇒『琉球海溝(Mw9.0)』
- 更に、琉球海溝(Mw9.0)の波源域を琉球海溝中部領域の南端まで延長させた場合として、以下の2ケースの津波波源を設定し、津波水位を評価。
 - 「琉球海溝(Mw9.0)の背景領域の破壊が琉球海溝中部領域の南端まで伝播したケース」⇒『琉球海溝北部～中部(Mw9.0)』
 - 「琉球海溝北部～中部の領域がスケール的に破壊したケース」⇒『琉球海溝北部～中部(Mw9.1)』
- 津波水位評価の結果、取水口位置での水位変動量においてはどのケースもほとんど変わらないものの、沿岸域(基準津波策定位置)での水位変動量やサイト周辺での最大水位変動量分布においては、『琉球海溝北部～中部(Mw9.1)』の地震に伴う津波の影響が、最も大きい。



- 南海トラフについては、内閣府(2012)による津波波源を設定。すべり量等のパラメータについては、内閣府(2012)において検討されている11ケースのうち、最も安全側と考えられる検討ケース⑤のパラメータを使用。



地震の規模

	南海トラフの巨大地震		南海			
	2011年 東北地方太平洋沖地震 (津波断層モデル)	2004年 スマタラ島沖地震 (津波断層モデル)	2011年 東北地方太平洋沖地震 (約10万km ² (約500km×約200km))	2004年 スマタラ島沖地震 (約18万km ² (約1200km×約150km))	2010年 チリ中部地震 (約6万km ² (約400km×約140km))	中央防災会議(2009) 南海断層域
面積	約14万km ²	約11万km ²	約10万km ² (約500km×約200km)	約18万km ² (約1200km×約150km)	約6万km ² (約400km×約140km)	約6.1万km ²
モーメント マグニチュード Mw	9.1	9.0	9.0 (気象庁)	9.1 (Ammon et al. 2005) [9.0 (理科年表)]	8.7 (Pulido et al. in press) [8.8 (理科年表)]	8.7

南海トラフの巨大地震の想定地震源域(内閣府(2012))

内閣府の想定ケースで最も安全側のケース(ケース⑤: Mw:9.1)

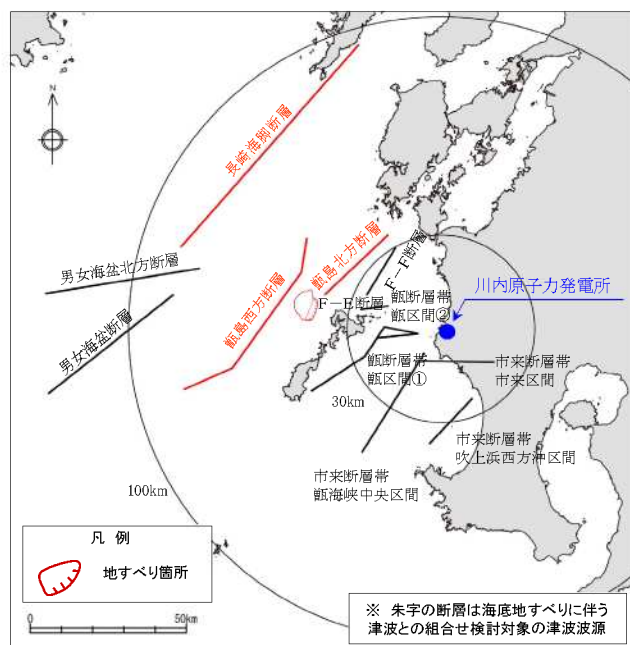
【内閣府】南海トラフの巨大地震の想定震源断層域(H24年8月)
 ・本報告の津波断層モデルは、Mw9クラスの巨大地震の中でも最大級のものである。
 ・検討した巨大地震による最大クラスの津波の想定は、平成23年9月の中央防災会議の報告に示されている二つのレベルの津波のうち、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波に相当するもので、他方のレベルの発生頻度の高い津波とは区別して扱う必要がある。

水位上昇側(取水口位置)	+1.04m
水位下降側(取水口位置)	-1.16m

* 潮位考慮なし

海域の活断層による地殻内地震に伴う津波

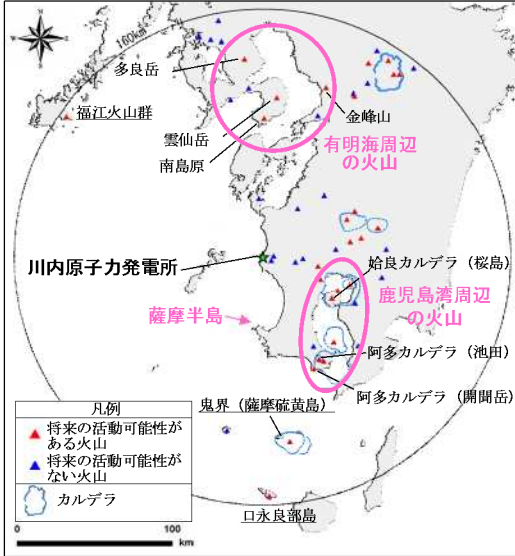
- 海域の活断層による地殻内地震に伴う津波については、当社調査結果及び地震調査研究推進本部における評価に基づき、津波波源を設定し、津波水位を評価。
- また、地震動によって、海底地すべりが発生する場合を想定し、上甕島の西側大陸斜面における海底地すべりとその周辺にある海域の活断層による地殻内地震に伴う津波の組合せについて、津波水位を評価。
- 数値シミュレーションの結果、これらの津波水位は、琉球海溝北部～中部(Mw9.1)の地震に伴う津波水位と比べて、小さいことを確認。



敷地周辺の海域活断層の津波波源

- 地理的領域(敷地から半径160km以内)の沿岸域にある第四紀火山を抽出し、将来の火山活動可能性及び運用期間中における火山活動の規模を検討。火山活動の規模については、カルデラは運用期間中の最大規模、その他の火山は過去最大規模を考慮。
- 将来の活動可能性がある火山を抽出し、①過去の火山現象の発生状況から、津波発生の可能性を検討し、②地形的障害の有無を考慮して、火山現象に伴う津波による敷地への影響を評価。
- いずれの火山においても、火山現象に伴う津波による敷地への影響はないと評価。

火山現象に伴う津波による敷地への影響評価結果の概要

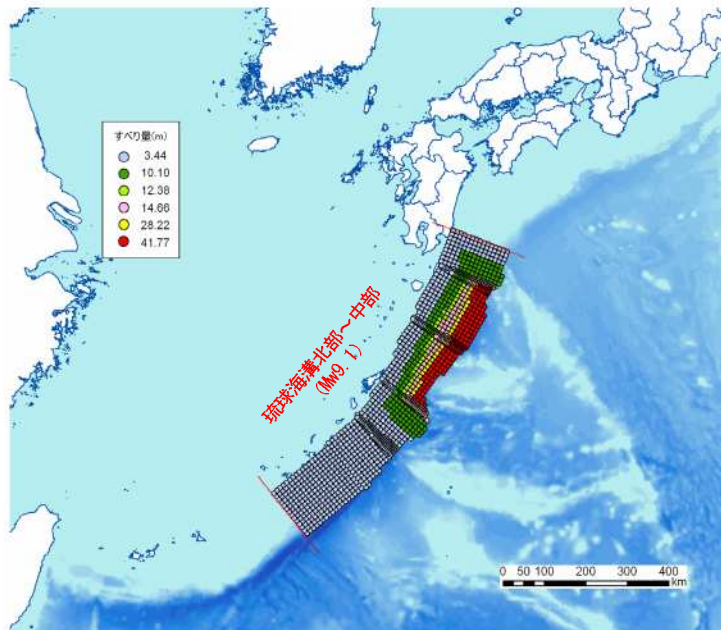


将来の活動可能性がある第四紀火山と地形的障害

抽出した火山 (敷地との距離)	①津波発生の可能性の検討					② 地形的障害	敷地への 影響
	過去の火山現象の発生状況				検討結果		
	山体崩壊	火山噴出物 (火砕流)	カルデラ 形成	その他の津波発生要因			
桜島 (52km)	なし	ほぼ なし	なし	火山性地震:大正噴火 海中噴火:安永噴火 (いずれも津波発生)	あり	あり (鹿児島湾)	なし
池田 (75km)	なし	あり	あり	認められない	あり	あり (鹿児島湾)	なし
開聞岳 (79km)	あり	ほぼ なし	なし	認められない	あり	あり (鹿児島湾)	なし
南島原 (90km)	なし	ほぼ なし	なし	認められない	なし	あり (有明海)	なし
雲仙岳 (103km)	あり (津波発生)	あり	なし	認められない	あり	あり (有明海)	なし
金峰山 (117km)	あり	ほぼ なし	なし	認められない	あり	あり (有明海)	なし
薩摩硫黄島 (120km)	なし	ほぼ なし	なし	海中噴火:昭和硫黄島 (津波発生なし)	あり	あり (薩摩半島)	なし
多良岳 (128km)	あり	ほぼ なし	なし	認められない	あり	あり (有明海)	なし
口永良部島 (154km)	あり	ほぼ なし	なし	認められない	あり	あり (薩摩半島)	なし
福江火山群 (156km)	なし	ほぼ なし	なし	認められない	なし	なし	なし

基準津波

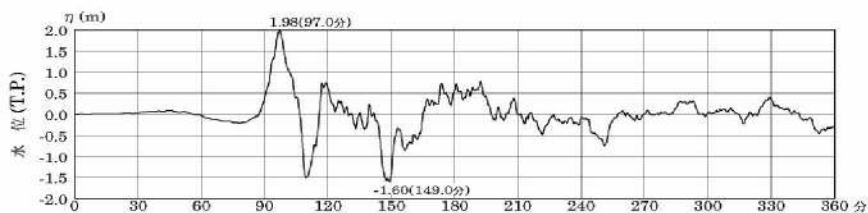
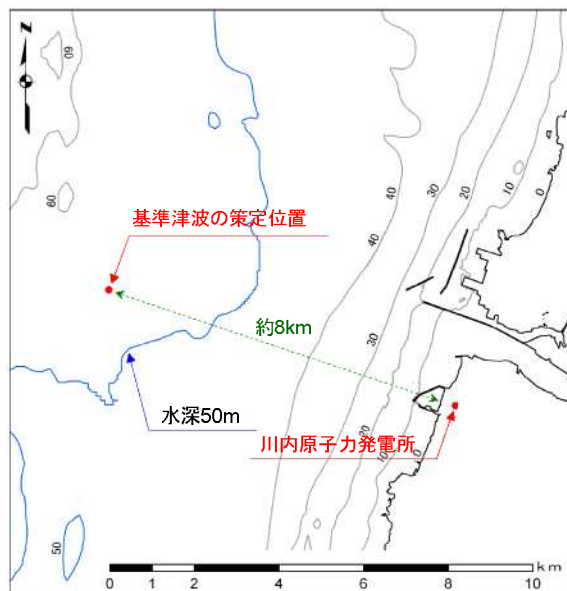
- 施設に最も影響を与える津波(基準津波)として、水位上昇側・下降側ともに琉球海溝北部~中部(Mw9.1)を選定。



*潮位考慮なし

琉球海溝北部~中部(Mw9.1)	
水位上昇側(取水口位置)	+3.52m
水位下降側(取水口位置)	-3.80m

○ 基準津波は、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微少となるよう、施設から離れた沿岸域で定義。

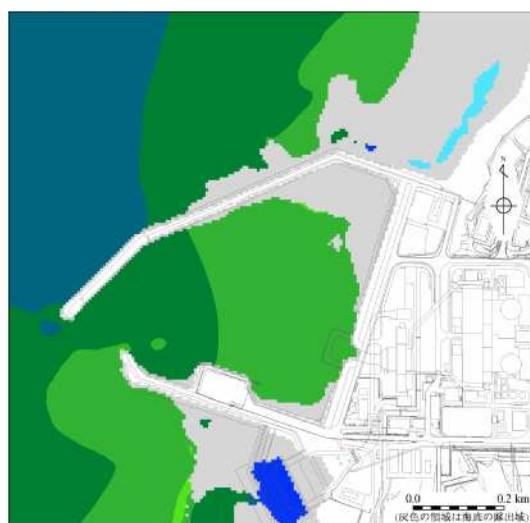


最大水位変動量（サイト周辺）

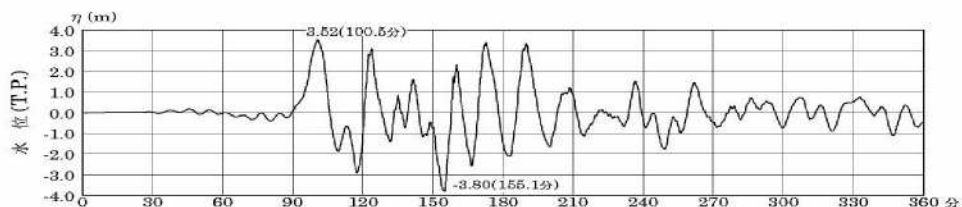
○ サイト周辺における最大水位変動量分布（初期潮位; T.P.±0.00m）は下図のとおり。



最大水位上昇量分布



最大水位下降量分布

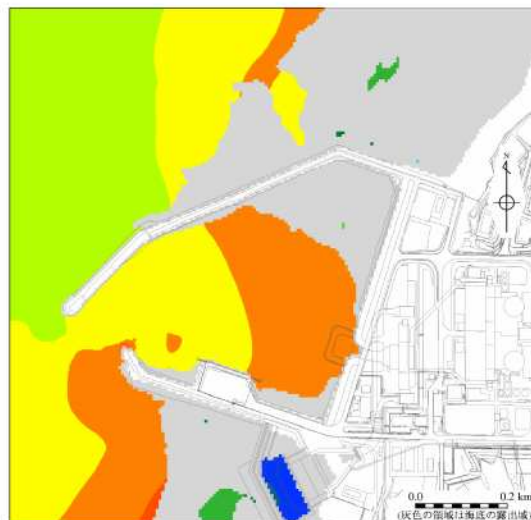


取水口位置での時刻歴波形

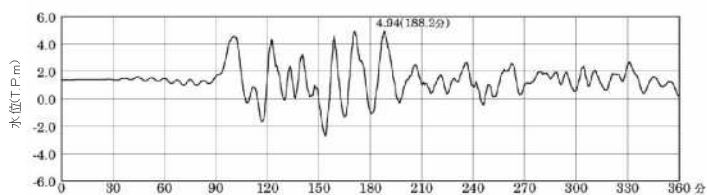
○ サイト周辺の最高水位分布(初期潮位;H.W.L.(T.P.+1.38m))及び最低水位分布(初期潮位;L.W.L.(T.P.-1.72m))は下図のとおり。



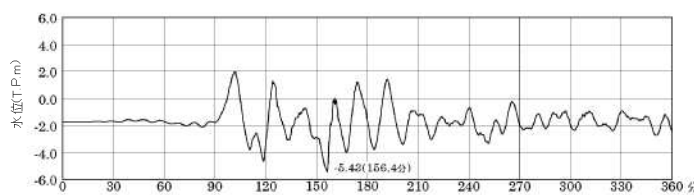
最高水位分布



最低水位分布

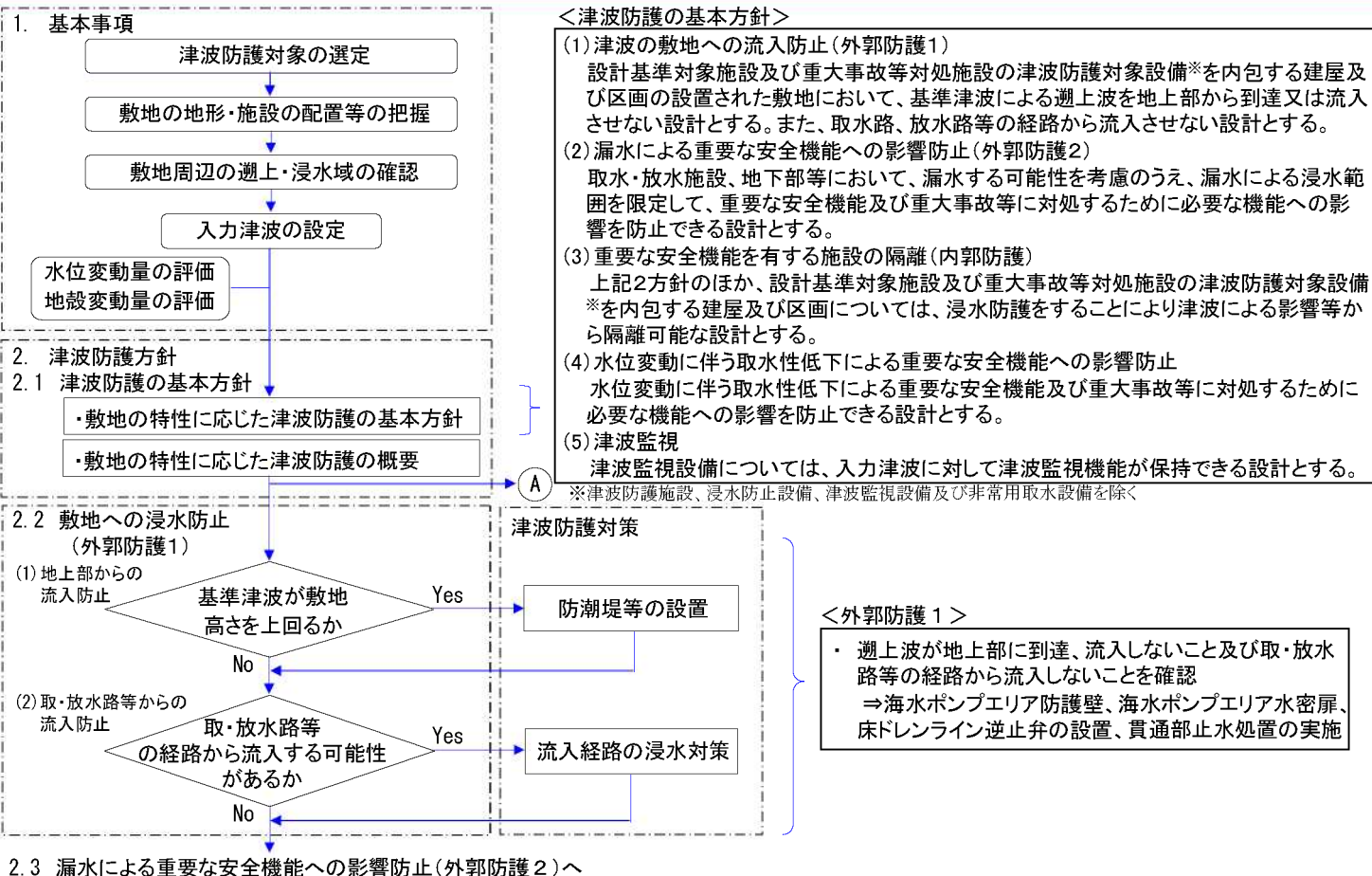


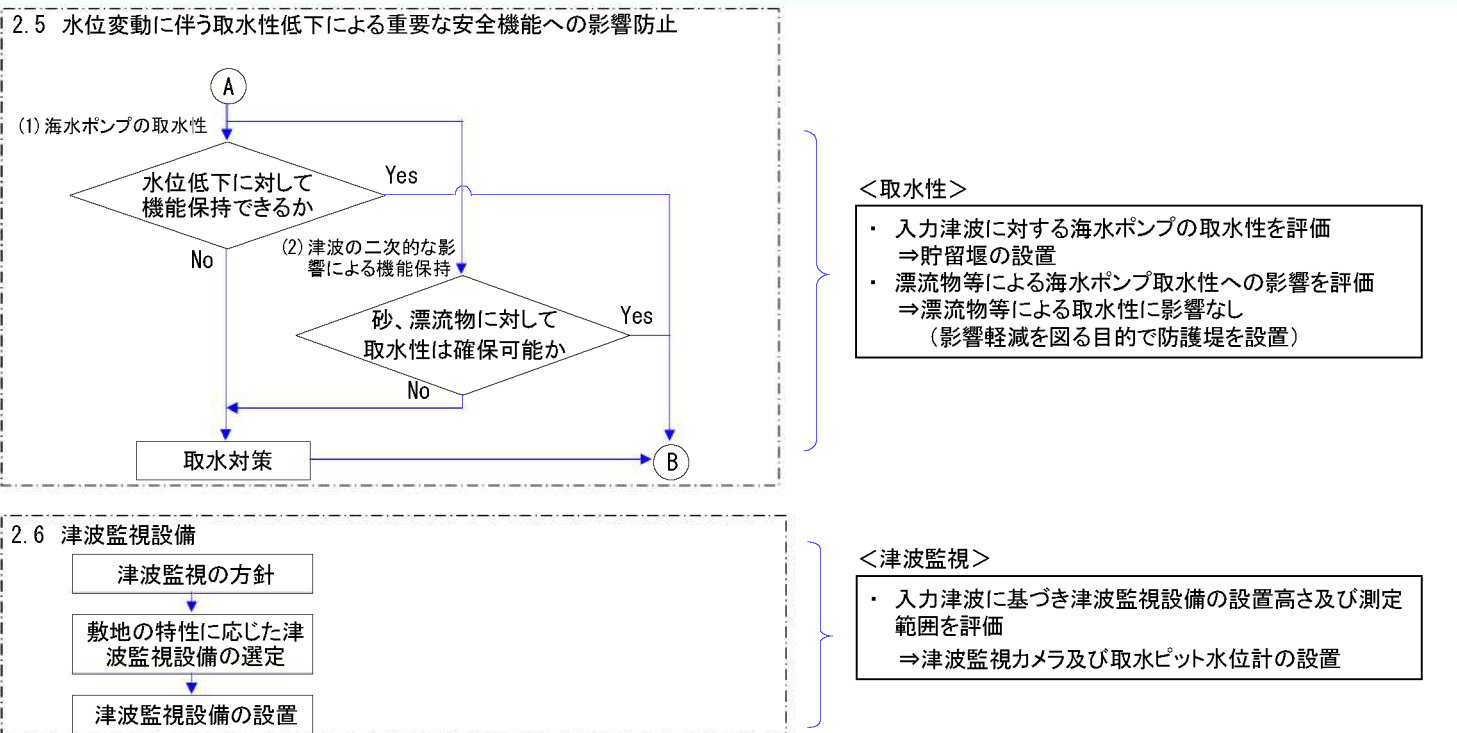
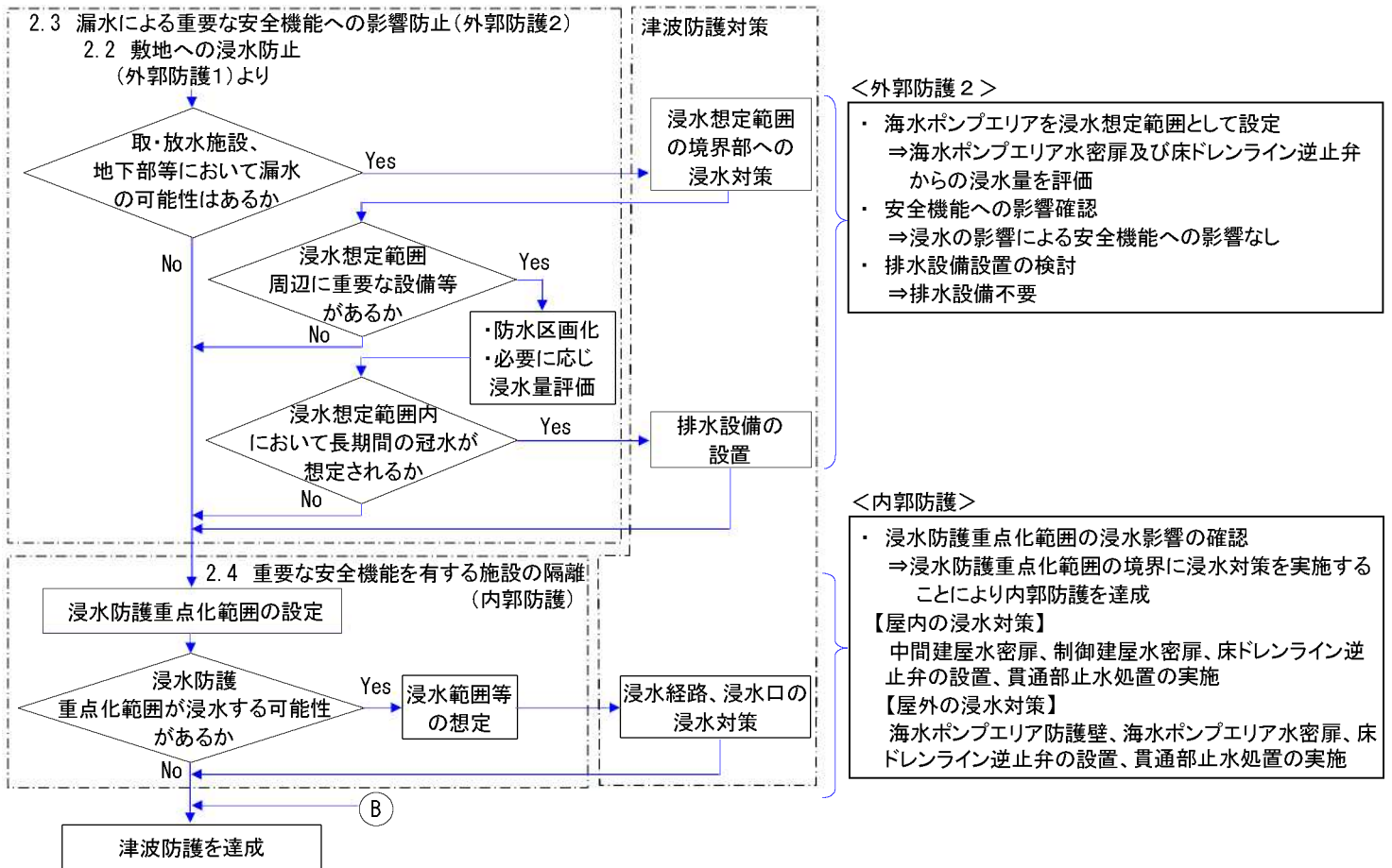
取水口位置での時刻歴波形



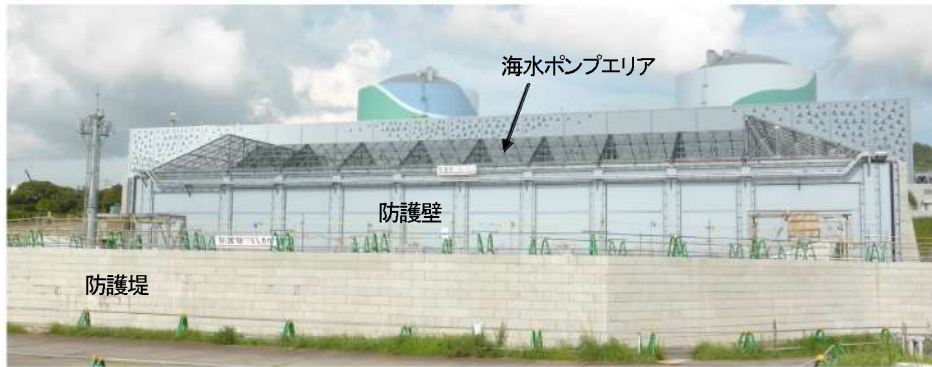
取水口位置での時刻歴波形

耐津波設計方針（1 / 3）





- 重要な安全機能を有する設備を内包する建屋はT.P.+13mの敷地に設置。
- 重要な安全機能を有する屋外設備である海水ポンプはT.P.+5mの敷地に設置され、その周囲にT.P.+15mの防護壁及び水密扉を設置。更に、その周囲に、津波の影響軽減を図る目的で、防護堤を設置。
- また、引き波時の取水対策として、取水口前面に貯留堰を設置。



海水ポンプエリアの防水対策の概観



海水ポンプエリア内の水密扉

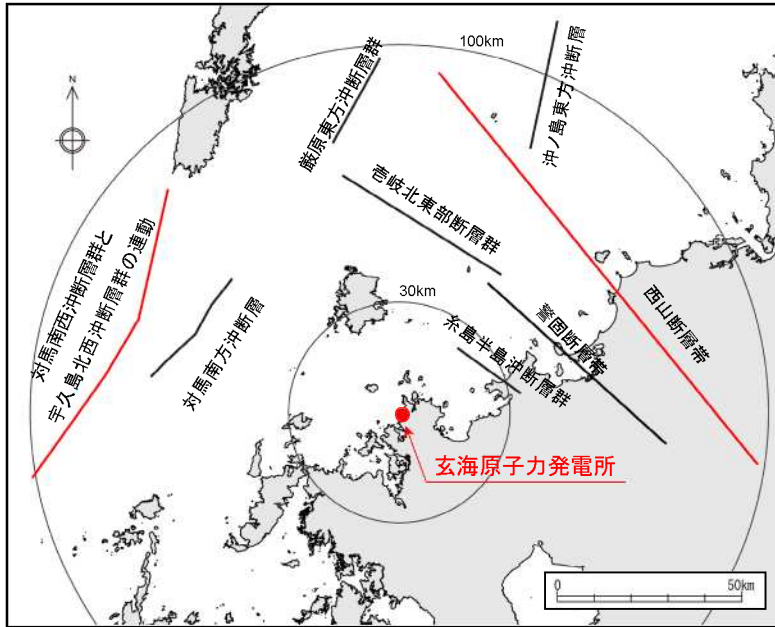


貯留堰の設置工事

<2-2 玄海原子力発電所>

玄海原子力発電所の基準津波

- 当社調査結果及び地震調査研究推進本部における評価に基づき、津波波源を設定し、数値シミュレーションを実施した結果、施設に最も影響を与える津波(基準津波)として、水位上昇側は対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の運動による地震に伴う津波、水位下降側は西山断層帯による地震に伴う津波を選定。

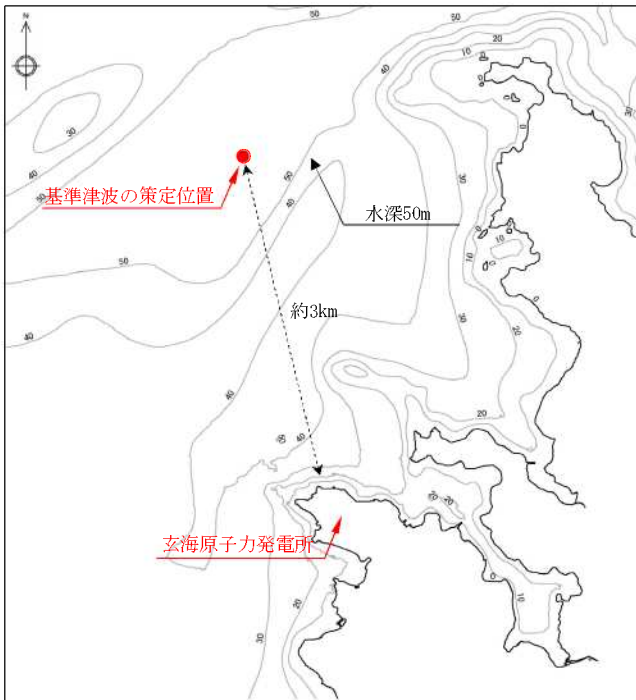


*潮位考慮なし

	西山断層帯 (Mw: 7.9、長さ: 約137km)	対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群 の運動 (Mw: 7.6、長さ: 約89km)
水位上昇側 (3/4号炉取水ピット前面)	+1.87m	+2.32m
水位下降側 (3/4号炉取水口)	-1.64m	-1.18m

基準津波の策定位置及び時刻歴波形

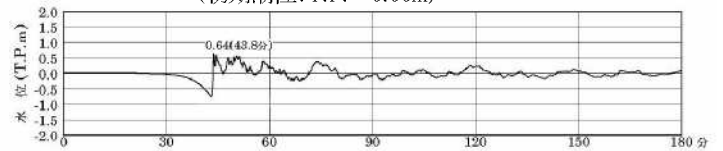
- 基準津波は、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微少となるよう、施設から離れた沿岸域で定義。



基準津波の策定位置

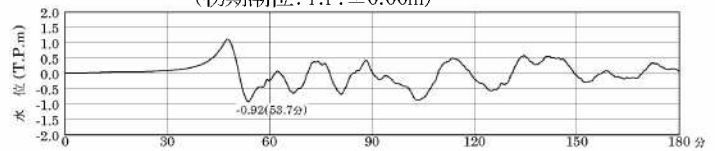
【水位上昇側】

対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の運動
(初期潮位: T.P. ± 0.00m)



【水位下降側】

西山断層帯
(初期潮位: T.P. ± 0.00m)



- 新規制基準を踏まえた上で、津波水位を十分安全側に評価。

<川内>

・琉球海溝における各領域内の固着域による破壊の大きさは、各領域の大きさに比べ、十分小さいと考えられるものの、安全評価上の観点から、領域内にある複数の固着域が連動破壊することにより、領域全範囲がスケールアップ的に破壊する場合を想定し、十分な不確かさを考慮した津波波源を設定し、水位評価を実施。

・更に、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の津波波源として、琉球海溝におけるプレート間地震(Mw9.1)を設定し、水位評価を実施。

<玄海>

・当該地域の断層は、基本的に津波が発生しにくい横ずれ断層であるものの上下変動を見込み、水位評価を実施。

・また、連動の可能性がある断層については、連動した断層長さにスケールアップ則を適用し、水位評価を実施。

- 津波による水位変動に加え、潮位のバラツキや地盤の変状などを安全側に考慮した水位を踏まえた津波対策を実施。
- 今後も、「南海トラフ広域地域防災プロジェクト(文部科学省)」、「日本海地震・津波調査プロジェクト(文部科学省)」などによる新たな知見を収集・反映し、原子力発電所の更なる安全性・信頼性の一層の向上に向けた取組みを継続。

原子力の安全性向上に向けた取組みに終わりはありません。

引き続き、「原子力の安全確保」を「電力の安定供給」に並ぶ当社のDNAとして組織に永続的に根付かせるとともに、経営の最重要課題として自主的・継続的な活動に取り組んでまいります。

<3 継続的な取組み>

○ 重大事故を防ぐため、5つの段階に応じた多様な安全対策を実施。

1 異常の発生を防ぎます

地震や津波、竜巻などの大規模な自然災害に対する備えを強化しました。

2 異常の拡大を防ぎます

重大事故の防止に必要な電力を確保するため、多種多様な発電機を新たに配備しました。

3 燃料の損傷を防ぎます

燃料の冷却を確実に実施するため、多種多様なポンプを新たに配備しました。

4 格納容器の破損を防ぎます

格納容器の冷却手段の多様化、水素濃度の低減対策を行いました。

5 放射性物質の放出及び拡散を抑えます

放射性物質の放出、拡散を抑えるため、放水砲や水中カーテンを配備しました。

- 原子力発電所において、万が一の重大事故等が発生した場合に、あらゆる事象に速やかに対応するため、緊急時の体制や手順を整備し、さまざまな訓練を繰り返し行い、対応能力の維持・向上に努めている。
- また、国や自治体の総合防災訓練等に参加するなど、関係機関との連携を図っている。

緊急時の運転操作訓練

運転シミュレータを使用した訓練

電源供給訓練

高圧発電機車による電源供給

給水供給訓練

可搬型ディーゼル注入ポンプの設置

原子力防災訓練

代替緊急時対策所での訓練

【対応要員の確保】

- ・勤務時間外や休日（夜間）でも、重大事故が発生した場合に、速やかに対応できるよう、発電所やその近くに52名の重大事故対策要員を常時確保する宿直体制を整備し、日々訓練を実施。（運転操作訓練、電源供給訓練など）

【原子力防災組織との連携】

- ・国や県が主催する原子力防災訓練に参加し、社外への通報連絡や関係機関と連携した訓練の習熟を図るとともに、防災訓練などの結果等を踏まえ、更なる改善、充実に努めている。（代替緊急時対策所での訓練）