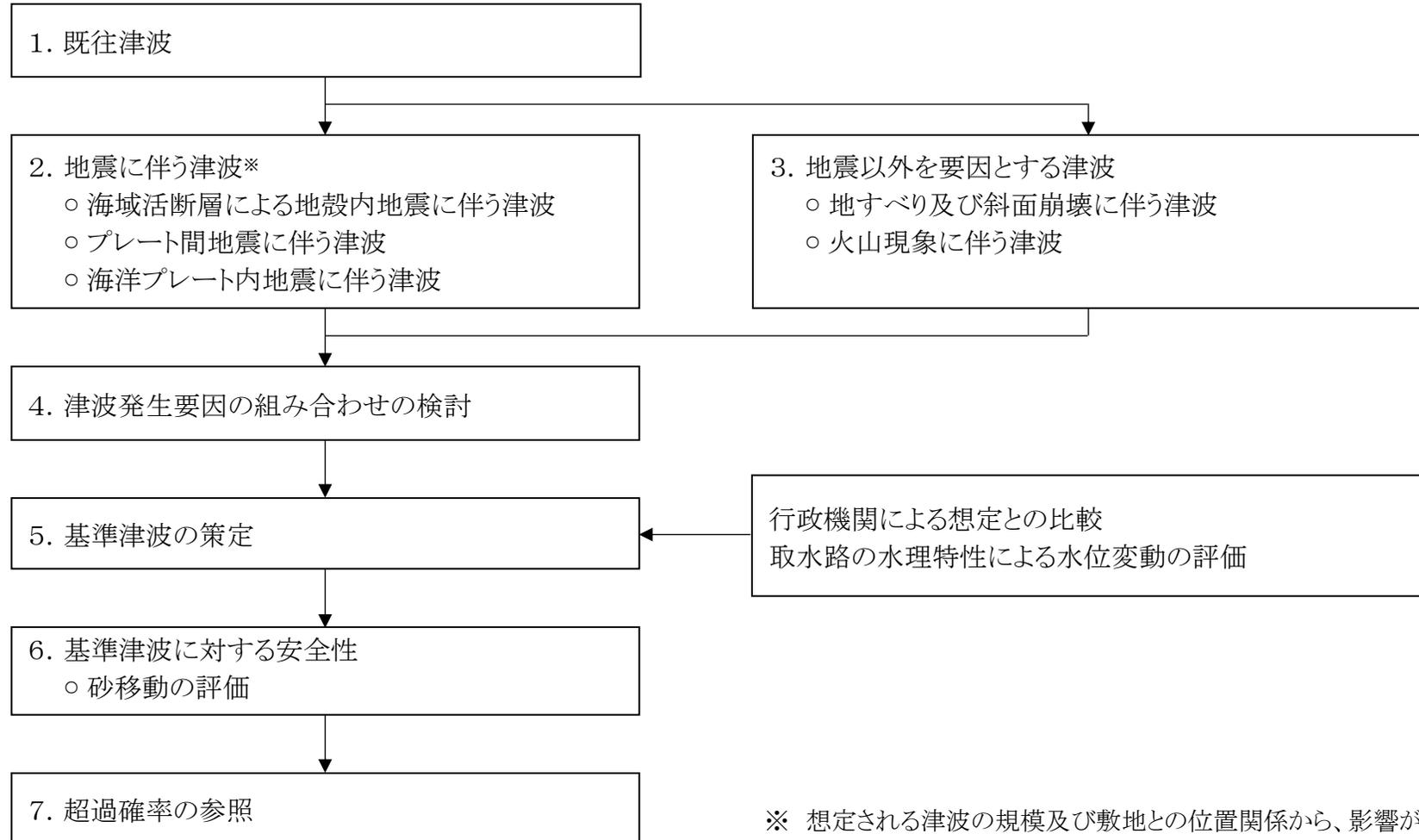


玄海原子力発電所3号炉及び4号炉 基準津波について

平成29年1月19日
九州電力株式会社

基準津波策定の検討方針

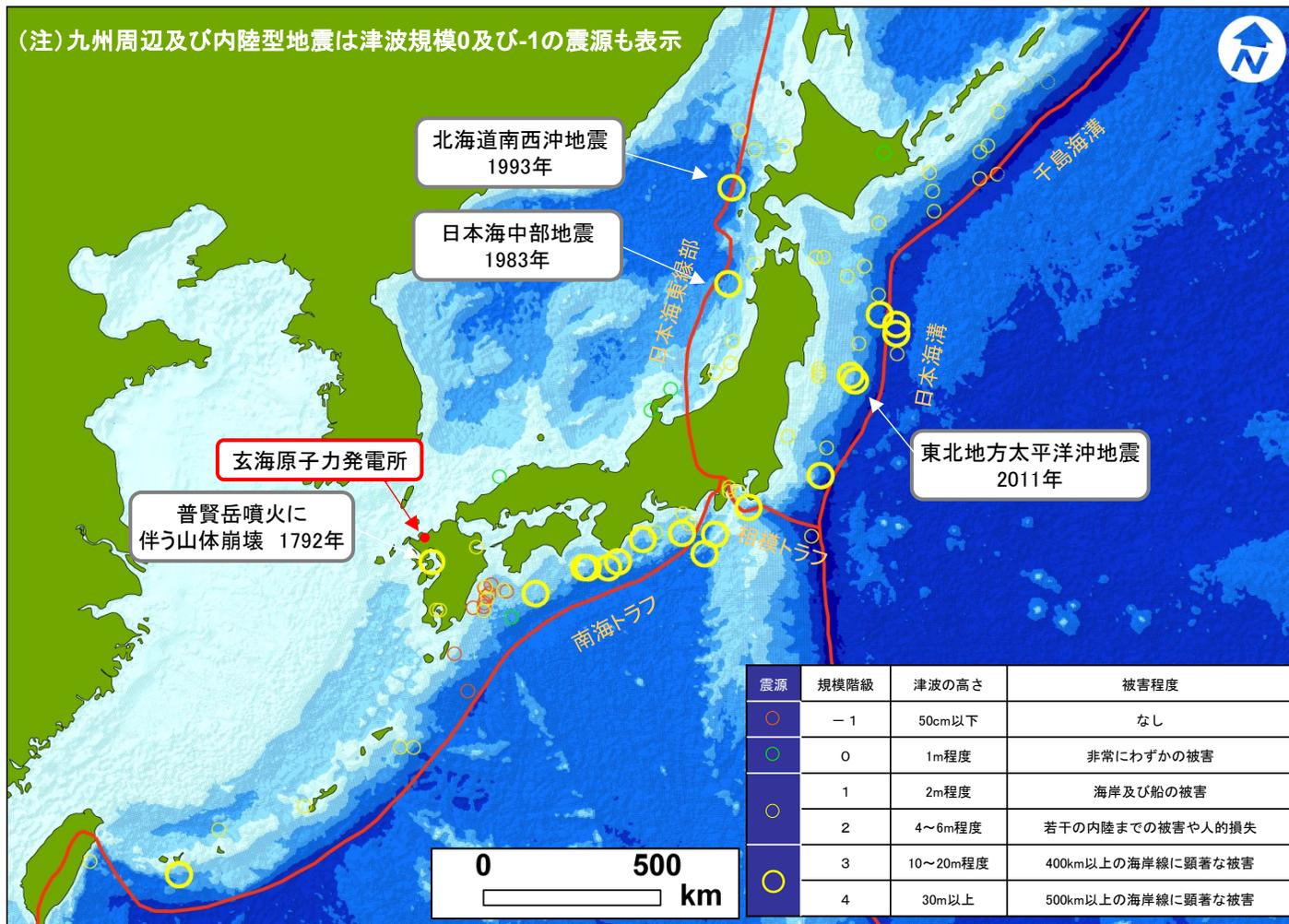
- 基準津波は、供用中に設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波について、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、地震に伴う津波、地震以外を要因とする津波及びこれらの組み合わせによる津波を想定し、不確かさを考慮して策定する。
- 基準津波策定の検討フローを下記に示す。



※ 想定される津波の規模及び敷地との位置関係から、影響が大きい「海域活断層による地殻内地震に伴う津波」を対象に検討

玄海原子力発電所敷地周辺における既往津波

- 玄海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である。
- 九州沿岸域の既往津波による被害状況、痕跡高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、玄海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。



敷地周辺で観測された津波水位

	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	仮屋・0.36m (全振幅) 唐津・0.22m (全振幅) 博多・0.07m (全振幅)

玄海原子力発電所敷地周辺における既往津波

○ 玄海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。

1993 北海道南西沖津波(検潮記録)

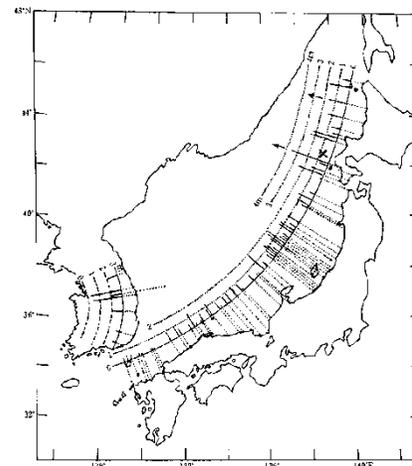


図15-2 北海道沖津波の検潮記録による最大津波高

1960 チリ津波(検潮記録)

表15-1 1960年チリ津波の検潮記録による最大津波高

検潮所	最大全高津 (cm)	検潮所	最大全高津 (cm)
網走	52	赤松	86
花咲	359	大坂	100
朝日	610	神戸	50
函館	415	津本	140
八戸	582	宇野	21
岩手	170	高松	40
秋田	151	小松島	154
小倉	348	金沢	541
鯖子	>310	土佐清水	286
青森	21	宗和島	156
津軽	158	津島	248
関田	38	津島	52
伊東	140	比崎	156
内浦	214	深堀	96
清水港	217	女神	150
新前崎	309	新江	156
鹿島	79	下関	40
名古屋	178	外ヶ浦	28
鳥羽	177	徳島	50
平本	(36.8)	徳島	14
丁津	107	徳島	45
和歌山	152	若ヶ浜	10

() は未測定

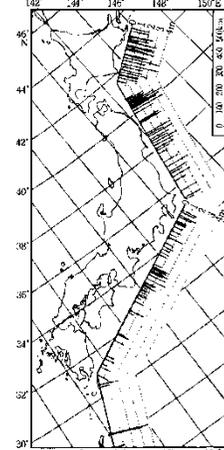
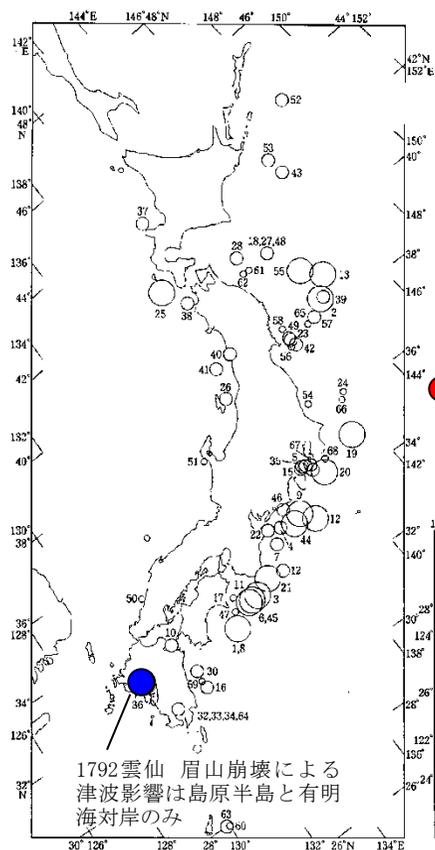


図15-1 1960年チリ津波における日本沿岸津波の検潮の高き分布

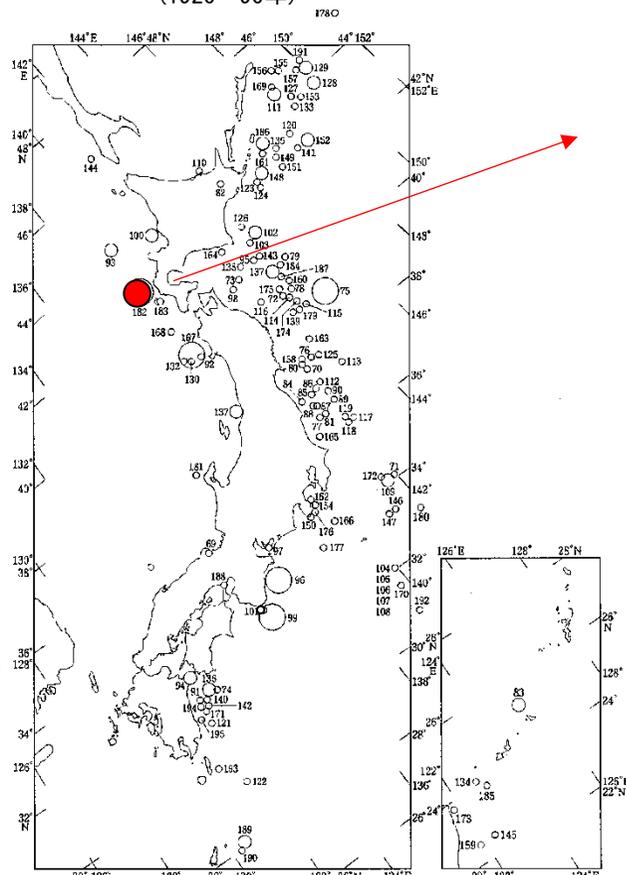
日本及びその周辺の海域で発生した津波 (684~1925年)



1792雲仙 眉山崩壊による津波影響は島原半島と有明海対岸のみ

図11 日本およびその周辺の海域で発生した津波(684~1925年)
大きい丸はm=3.4、中くらいの丸はm=1.2、小さい丸はm=1.0、数字は表11.1の番号と同じ。

日本及びその周辺の海域で発生した津波 (1926~96年)



● 検潮記録または痕跡高を資料から抜粋した津波

図12 日本およびその周辺の海域で発生した津波(1926~96年)
丸の大きさを数字は、図11の説明と同じ。

出典：日本被害津波総覧第2版、渡辺偉夫著、1998、東京大学出版会(一部加筆)

海域活断層による地殻内地震に伴う津波

○ 海域活断層による地殻内地震に伴う津波評価については、以下の流れで検討した。

(1) 津波波源の設定

- ・ 海域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、地震調査研究推進本部（2013）等における評価に基づき、津波波源の位置・規模を設定する。



(2) 簡易予測式による津波高の検討

- ・ 簡易予測式による津波高の検討から、発電所に及ぼす影響が大きいと考えられる津波波源を抽出する。



(3) 数値シミュレーションによるパラメータスタディ

- ・ 抽出した津波波源について、不確かさを考慮したパラメータスタディにより、安全側の津波水位を評価する。

海域活断層による地殻内地震に伴う津波評価における検討フロー

簡易予測式による評価

- 海域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、地震調査研究推進本部等における評価に基づき、津波波源を設定し、簡易予測式による津波高の検討から、発電所に及ぼす影響が大きいと考えられる津波波源を抽出する。
- 簡易予測式による評価においては、推定津波高1.0m以上となった警固断層帯、吉岐北東部断層群、西山断層帯及び対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動を、数値シミュレーションによる津波評価の検討対象として選定した。

簡易予測式による評価結果

断層名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	すべり量 (m)	地震 モーメント※ (N・m)	モーメント※ マグニチュード*	津波の 伝播距離 (km)	推定 津波高 (m)
糸島半島沖断層群	21.2	14.1	1.76	1.35×10^{19}	6.7	26	0.8
警固断層帯	65.4	15.0	5.44	1.10×10^{20}	7.3	44	2.0
吉岐北東部断層群	50.8	15.0	4.23	1.13×10^{20}	7.3	51	1.7
対馬南方沖断層	35.0	15.0	2.91	5.34×10^{19}	7.1	59	0.9
西山断層帯	136.9	15.0	11.38	4.57×10^{20}	7.7	67	3.4
対馬南西沖断層群と 宇久島北西沖断層群 の連動	88.5	15.0	7.36	3.42×10^{20}	7.6	76	2.5
厳原東方沖断層群	26.3	15.0	2.19	3.02×10^{19}	6.9	86	0.4
沖ノ島東方沖断層	35.5	15.0	2.95	5.51×10^{19}	7.1	97	0.6

■ : 数値シミュレーション対象断層

※ 陸域に分布する場合は、海域部の断層長ささと全体の断層長さの比で按分した値を用いている。

阿部(1989)

ここに、Ht: 数十km程度の区間での平均津波高(m)、

$$\log H_t = M_w - \log \Delta - 5.55 + C$$

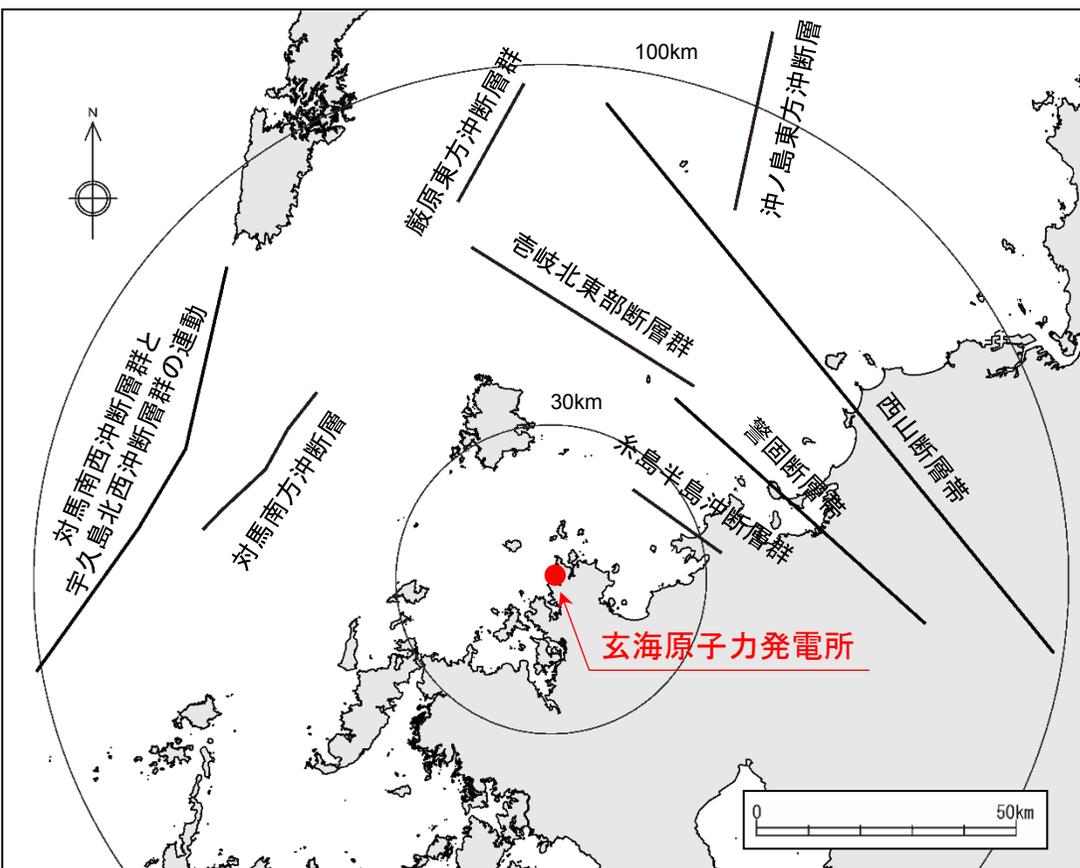
Hr: 区間平均高の最大値(m)、

Mw: モーメントマグニチュード、

Δ: 震央から観測点までの海洋上最短距離(km)、

C: 地域補正係数(日本海側は0.2)

$$\log H_r = 0.5 M_w - 3.3 + C$$



敷地周辺の海域活断層の津波波源

海域活断層による地殻内地震に伴う津波の評価結果

○ 不確かさを考慮したパラメータスタディから、海域活断層による地殻内地震に伴う津波のうち、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連動、水位下降側は西山断層帯による地殻内地震に伴う津波が、最も安全側となった。

パラメータスタディの結果

断層名 (長さ)	落ちの 方向 (走向)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (cm)	上縁深さ (km)	最大水位変動量 (初期潮位: T.P.±0.00m)		断層名 (長さ)	落ちの 方向 (走向)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (cm)	上縁深さ (km)	最大水位変動量 (初期潮位: T.P.±0.00m)	
						上昇側(m)	下降側(m)							上昇側(m)	下降側(m)
						取水ピット前面	取水口							取水ピット前面	取水口
警固断層帯 (65.4km)	西 (311.92°)	90	0	544	0	+0.08	-0.08	西山断層帯 (136.9km)	西 (321.00°)	90	0	1138	0	+0.08	-0.16
			10		+0.20	-0.17	10				+0.82		-0.53		
			20		+0.34	-0.27	20				+1.49		-0.76		
			30		+0.43	-0.34	30				+1.87		-0.96		
	東 (131.92°)	90	0	544	0	+0.08	-0.08		東 (141.00°)	90	0	1138	0	+0.08	-0.16
			10		+0.11	-0.15	10				+0.51		-0.66		
			20		+0.20	-0.23	20				+0.94		-1.25		
			30		+0.29	-0.32	30				+1.33		-1.64		
壱岐北東部 断層群 (50.8km)	西 (301.59°)	90	0	423	0	+0.07	-0.07	対馬南西沖 断層群 と 宇久島北西 沖断層群 の連動 (88.5km)	西 (11.57°) (29.38°) (34.04°)	90	0	736	0	+0.09	-0.08
			10		+0.28	-0.18	10				+0.35		-0.51		
			20		+0.50	-0.30	20				+0.70		-0.89		
			30		+0.67	-0.40	30				+1.02		-1.18		
	東 (121.59°)	90	0	423	0	+0.07	-0.07		東 (191.57°) (209.38°) (214.04°)	90	0	736	0	+0.09	-0.08
			10		+0.19	-0.24	10				+0.68		-0.36		
			20		+0.30	-0.43	20				+1.47		-0.70		
			30		+0.40	-0.61	30				+2.32		-1.00		
												2.5	+1.45	-	

最大ケース

(参 考)

参考 九州北部地域の特徴 (地震調査研究推進本部 平成25年2月)

- 九州地域の活断層の分布、断層の型(正断層・逆断層・右横ずれ断層といったずれのタイプ)及び活動性には地域差がある。
- 九州北部では、北西-南東方向に延びる左横ずれの活断層が卓越する。また、一部に北北東-南南西方向に延びる右横ずれの活断層も見られることから、この区域は東西方向に圧縮する力が働いていると考えられる。

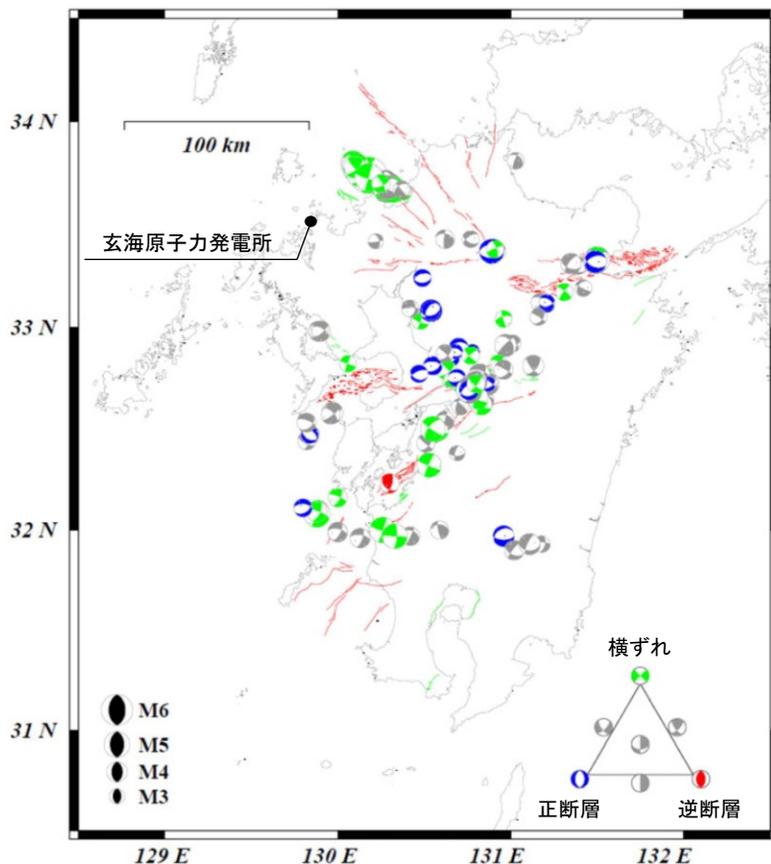


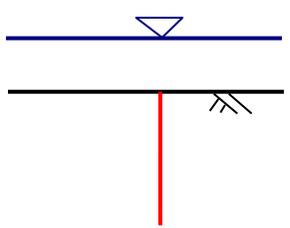
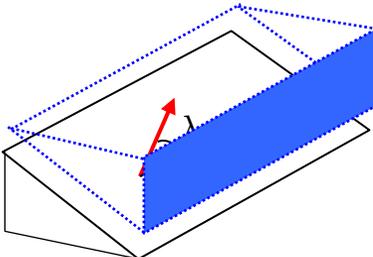
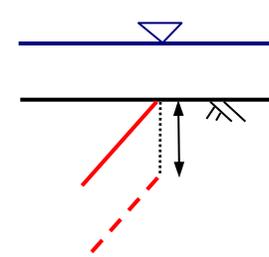
図9-1 九州地域で発生した陸域の浅い地震の発震機構(気象庁の一元化データに基づき防災科学技術研究所作成)
1997年10月1日-2000年12月31日、深さ0-20 km、 $M \geq 3.0$ 。図8-1の波線で囲んだ領域内の発震機構解のあるイベントに限る。

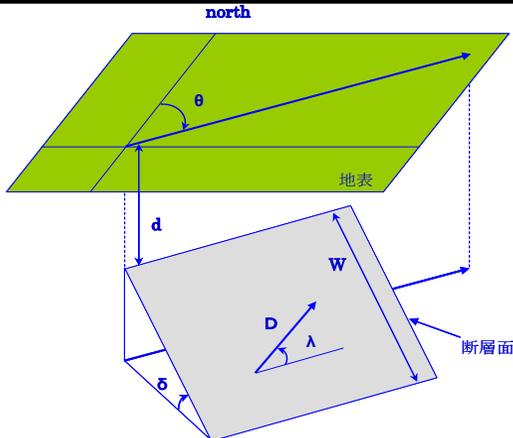
九州地域で発生した陸域の浅い地震の発震機構解
(九州地域の活断層の長期評価(第一版)、地震調査研究推進本部(2013)に加筆)

参考 パラメータスタディ

○ 数値シミュレーションによるパラメータスタディは、土木学会(2002)及び土木学会(2016)を参考に、以下の方法により実施した。

項目	内容
①傾斜角	横ずれ断層として、 90° (東落ち、西落ちを考慮)を設定
②すべり角	横ずれ断層として、 0° 、 10° 、 20° 、 30° (北西-南東走向は左横ずれ、北東-南西走向は右横ずれ)を設定
③上縁深さ	0kmを基本ケースとし、パラメータスタディの最大ケースについて2.5kmで実施 (5kmについては既往の評価結果から0km、2.5kmに比べ十分小さいことから実施しない)

①傾斜角 δ	②すべり角 λ	③上縁深さ d
 <p>90° (東落ち、西落ちを考慮)</p>	 <p>0°、10°、20°、30°</p>	 <p>0km、2.5km</p>



断層パラメータの模式図

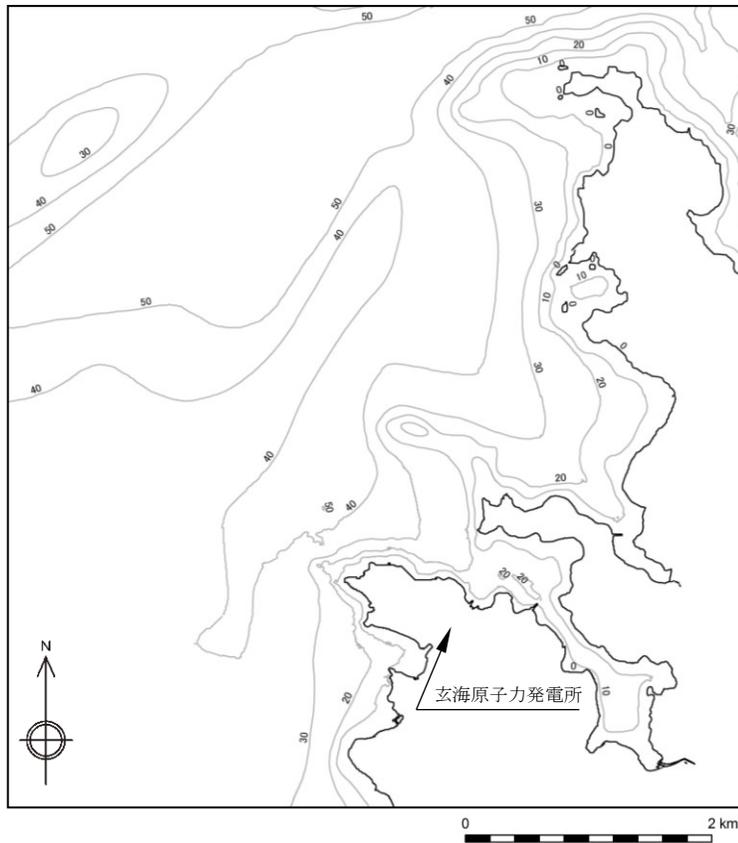
θ : 走向
 d : 上縁深さ
 D : すべり量
 λ : すべり角
 δ : 傾斜角
 W : 断層幅

すべり量の算出方法

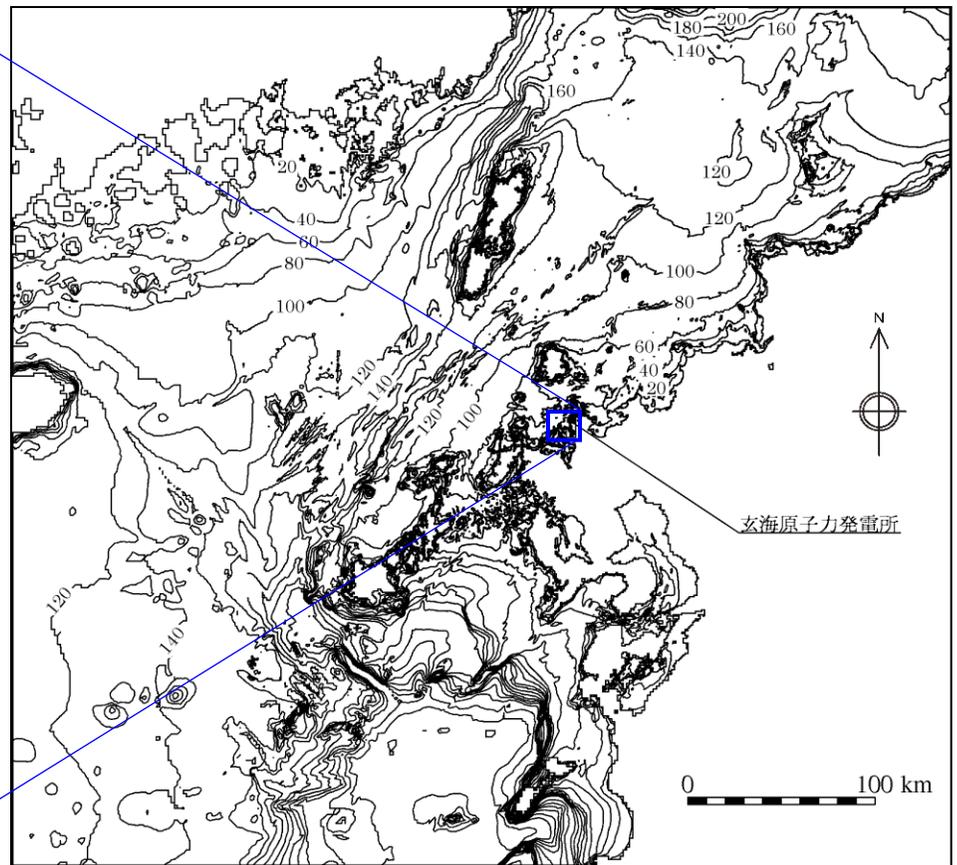
- モーメントマグニチュード (M_w)
 $\log L = 0.75M_w - 3.77$ (武村(1998))
- 地震モーメント (M_0)
 $\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$ (kanamori(1977))
- すべり量 (D)
 $D = M_0 / \mu LW$

参考 数値シミュレーションに用いる水深

- 最新の海底地形図及び深淺測量図を基に解析に使用する水深データを作成した。



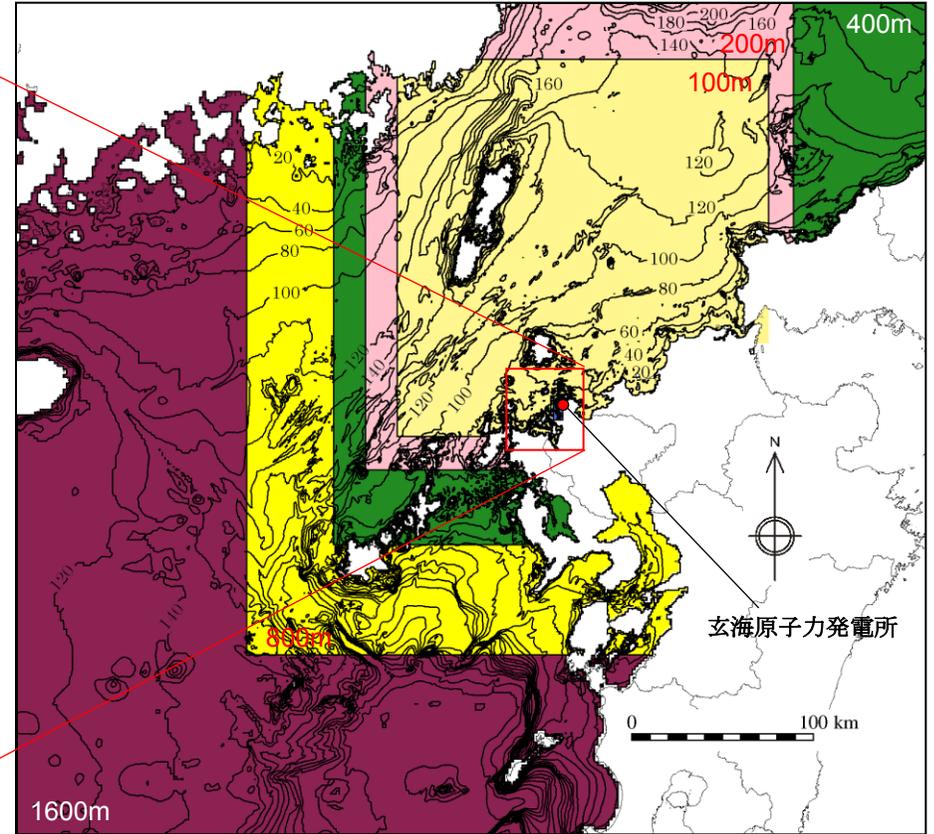
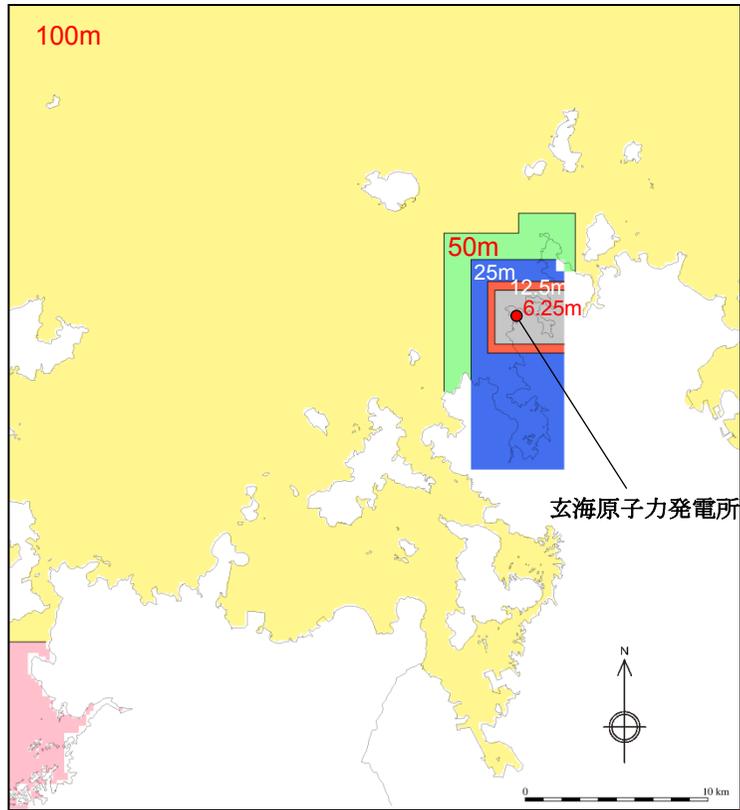
数値シミュレーションに用いた水深(発電所近傍)



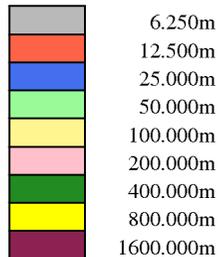
数値シミュレーションに用いた水深(広域)

参考 計算格子分割

○ 計算格子分割は下図のとおり。



格子サイズ



海域活断層による津波の計算格子分割

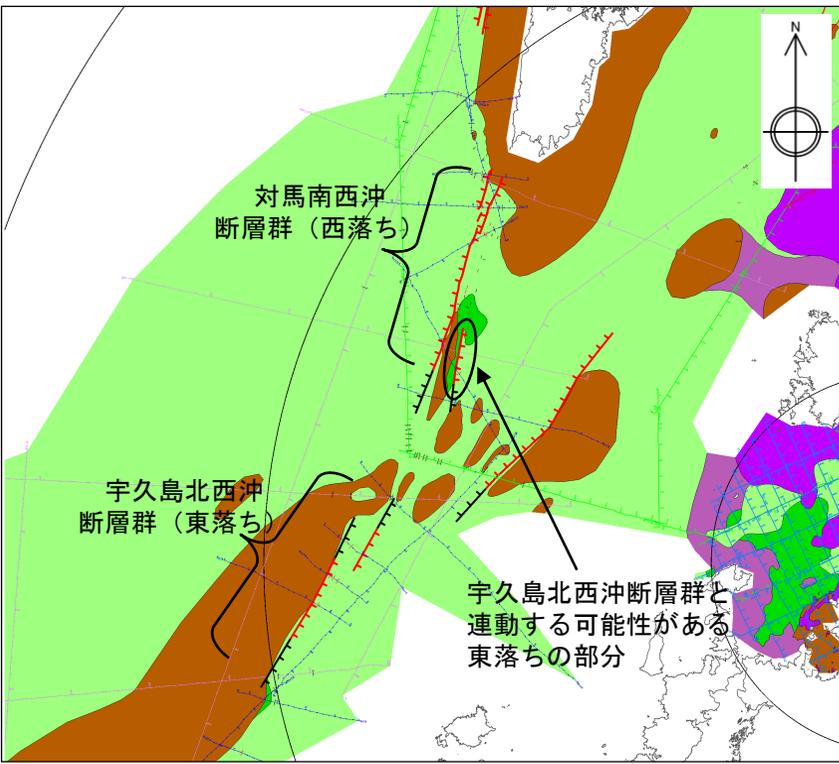
参考 対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群が連動する場合の波源モデル

- 対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群が連動する場合の波源モデルについては、宇久島北西沖断層群と対馬南西沖断層群の東落ちの部分が連動する場合を想定し、安全側となる波源モデルとして、宇久島北西沖断層群と対馬南西沖断層群の全区間が東落ちとなる波源モデルを設定した。
- なお、全区間が西落ちとなる波源モデルについても検討している。

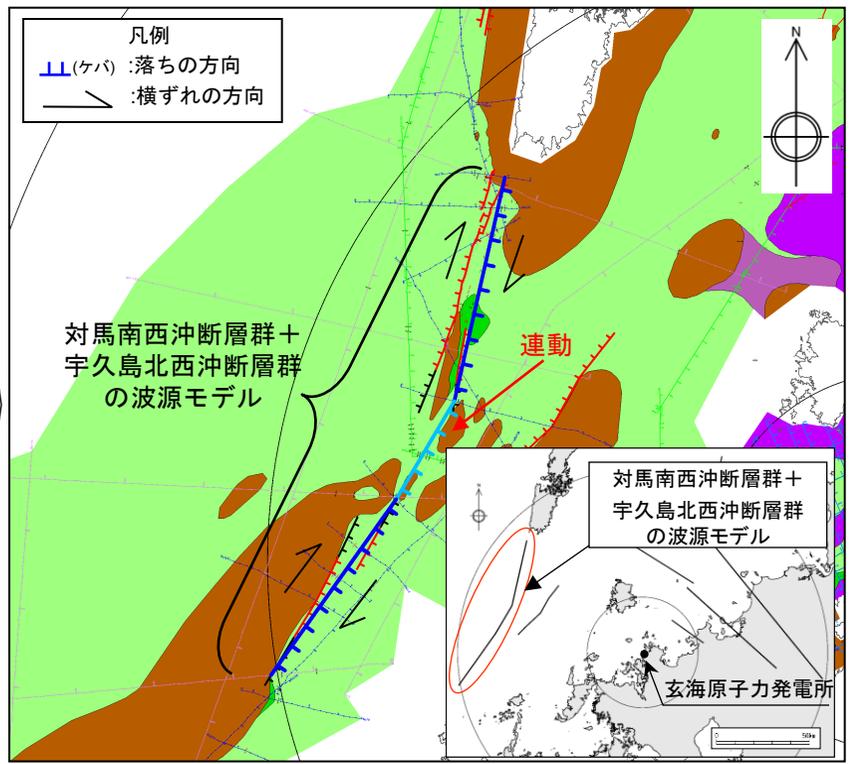
地質層序

地質時代	地層名		
第四紀	完新世	A層	
	後期	B1層	
		B2層	
		B3層	
	中期	B4-1層	
		B4-2層	
	前期	B4-3層	
		V1層	
	第三紀	鮮新世	C1-1層
		前期	C1-2層
V2層			
中新世		後期	
		前期	
古第三紀		漸新世	C3層
	始新世		
暁新世			

凡例	
地質構造	連続性のある断層
	連続性のない断層
	* 左側は低下部を示す。
音波探査測線	九州電力株式会社によるマルチチャンネル音波探査 (4ch, 9ch, 18ch, 27ch, 36ch) 測線 (2008年)
	九州電力株式会社によるシングルチャンネル音波探査 (9ch) 測線 (2008年)
	九州電力株式会社によるシングルチャンネル音波探査 (スバー) 測線 (1979~1982年)
	石原貞司によるマルチチャンネル音波探査 (エアガン) 測線 (注: 横断断面入り道大島沖音波探査結果参照)



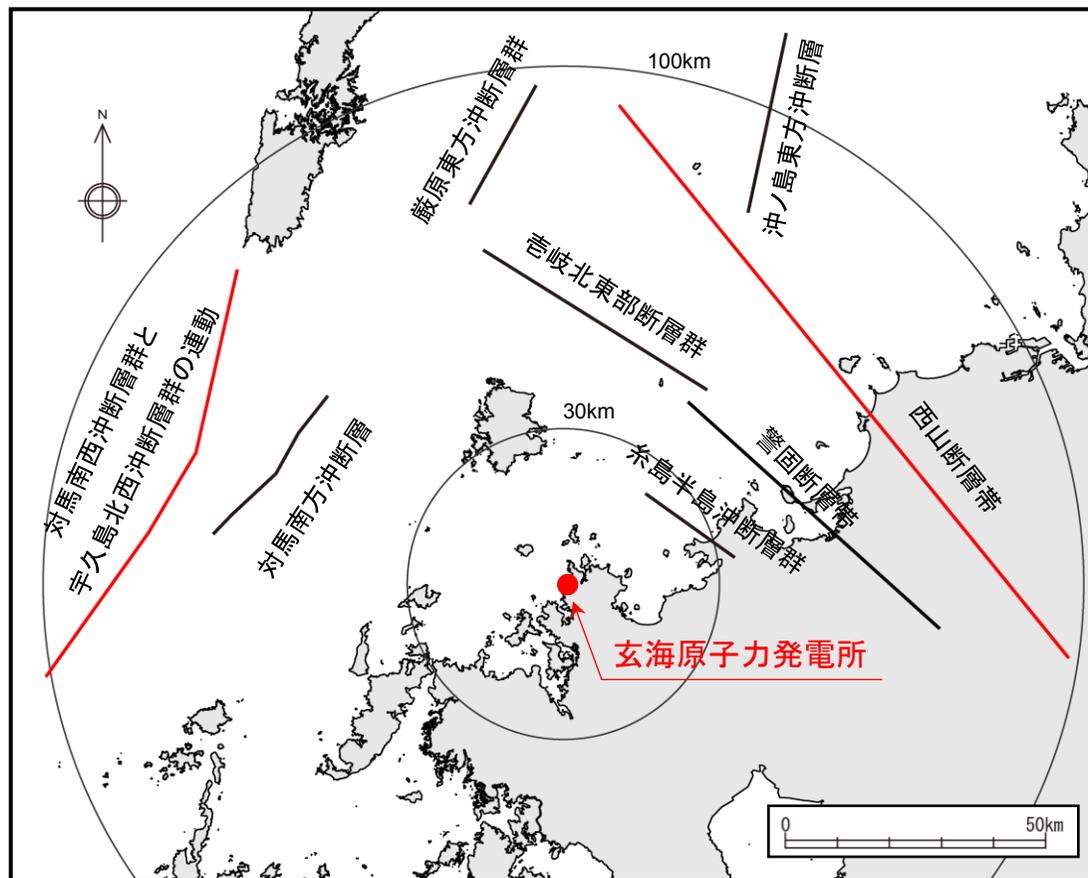
対馬南西部の海底地質図



対馬南西沖断層群 + 宇久島北西沖断層群の波源モデル

玄海原子力発電所の基準津波

- 数値シミュレーションの結果、施設に最も影響を与える津波（基準津波）は、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連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となった。



	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 の連動 (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

* 潮位考慮なし

サイト周辺の最大水位変動量

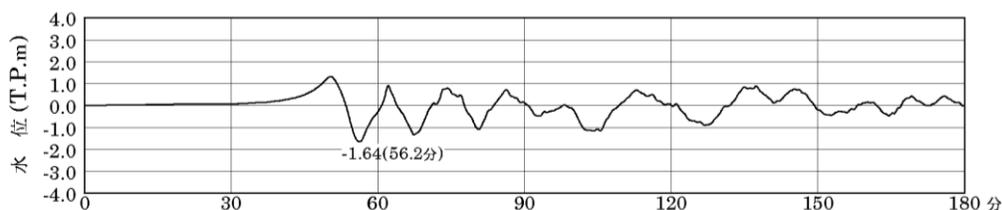
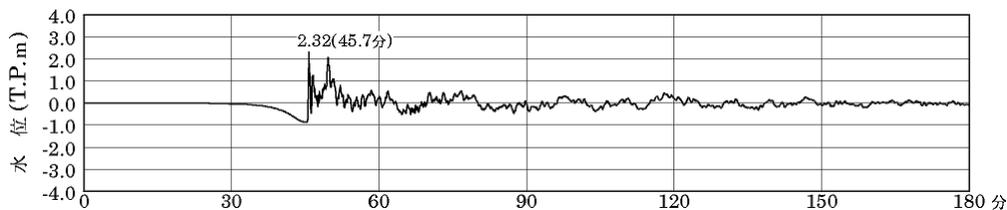
- 対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動による地震に伴う津波(水位上昇側)、西山断層帯による地震に伴う津波(水位下降側)のサイト周辺における最大水位変動量分布(初期潮位:T.P.±0.00m)は下図のとおり。

最大水位上昇量分布

最大水位下降量分布

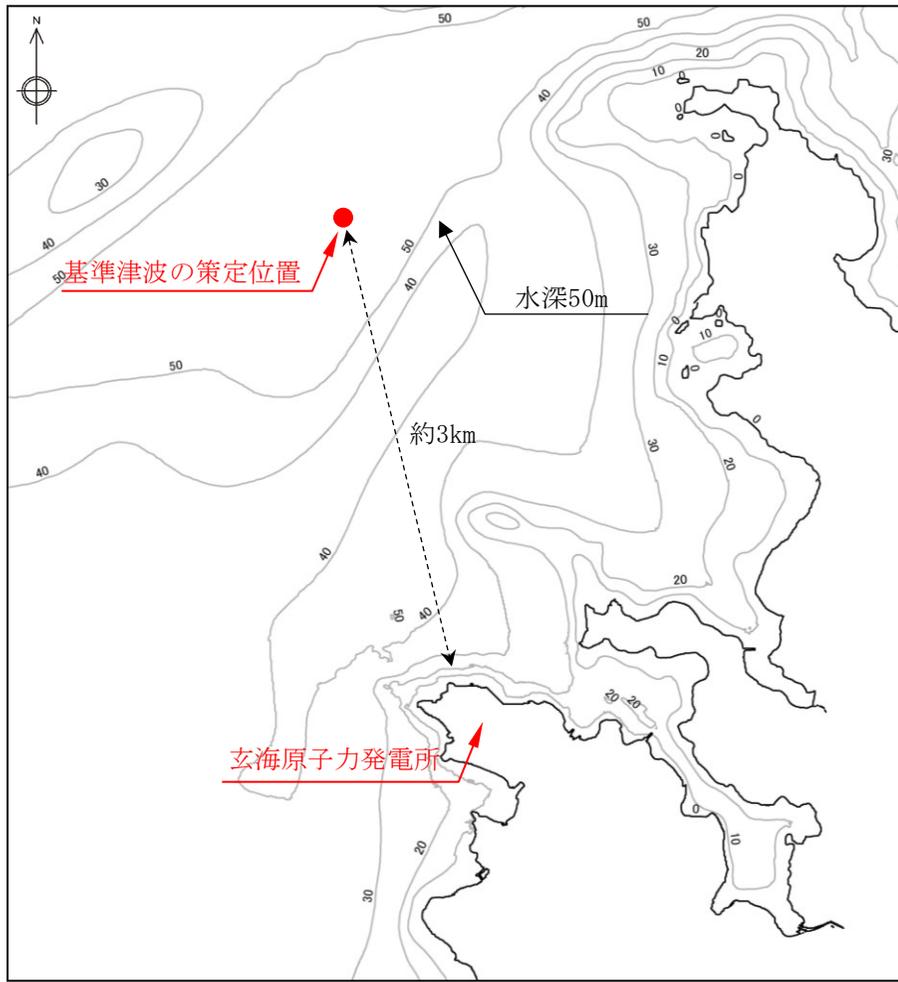
3, 4号炉取水ピット前面での時刻歴波形

3, 4号炉取水口での時刻歴波形



基準津波の策定位置及び時刻歴波形

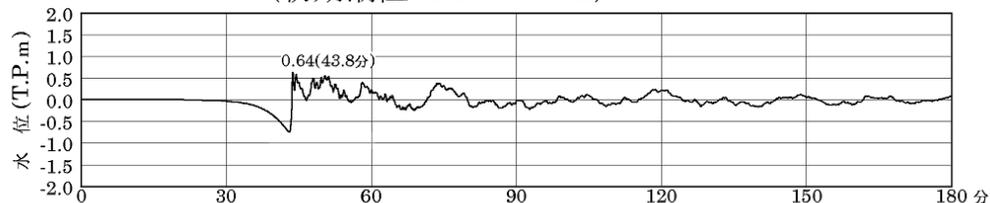
○ 基準津波は、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微少となるよう、施設から離れた沿岸域で定義した。



基準津波の策定位置

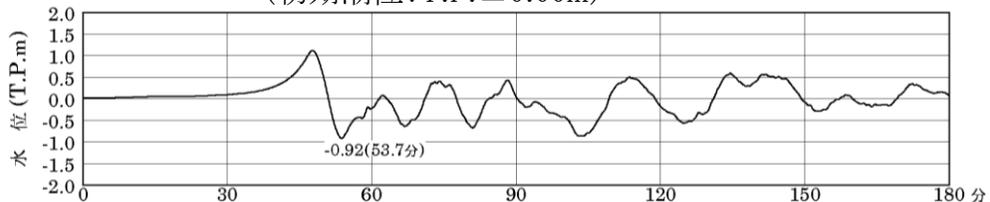
【水位上昇側】

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



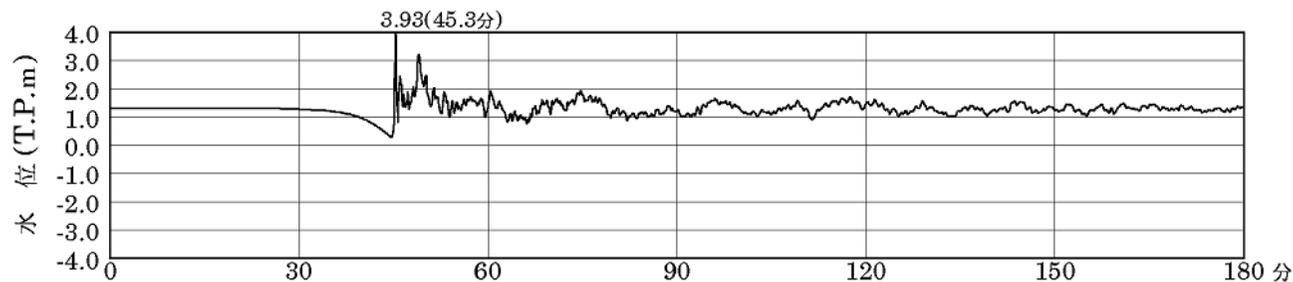
【水位下降側】

西山断層帯
(初期潮位: T.P. ± 0.00m)



(1) 最高水位分布 (サイト周辺)

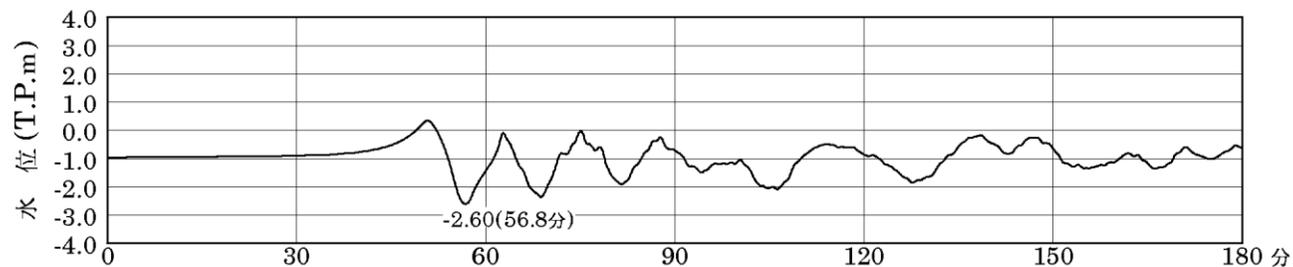
- 基準津波によるサイト周辺の最高水位分布(対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動;上昇側最大ケース、初期潮位:H.W.L.(T.P.+1.31m))は下図のとおり。



最高水位分布

(2) 最低水位分布 (サイト周辺)

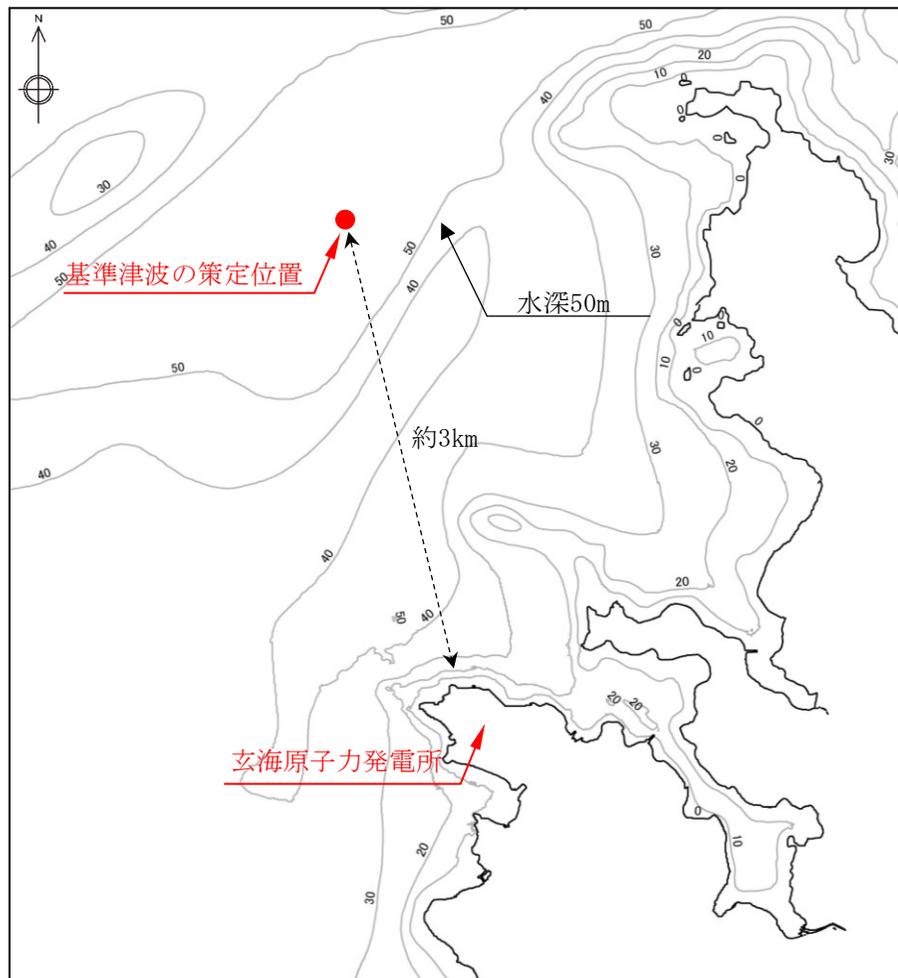
○ 基準津波によるサイト周辺の最低水位分布(西山断層帯; 下降側最大ケース、初期潮位:L.W.L. (T.P.-0.98m))は下図のとおり。



最低水位分布

(3) 基準津波の策定位置での時刻歴波形

○ 基準津波の策定位置での時刻歴波形(初期潮位:朔望平均潮位)は下図のとおり。

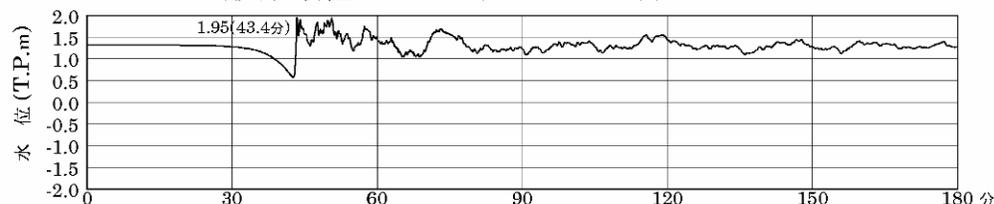


基準津波の策定位置

【水位上昇側】

対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動

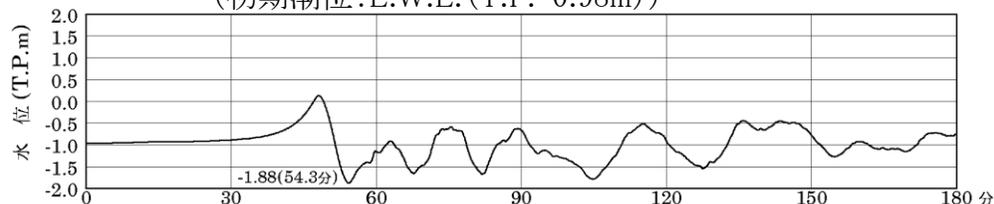
(初期潮位:H.W.L.(T.P.+1.31m))



【水位下降側】

西山断層帯

(初期潮位:L.W.L.(T.P.-0.98m))



- 設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波(基準津波)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。
- 「基準津波」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定することが適切なものを策定すること。



- 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し、基準津波を策定した。
 - ・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、津波水位評価を行った。
 - ・「日本海における大規模地震に関する調査検討会」の報告書等を踏まえ、断層長さを安全側に評価した上で、断層モデルは、すべり量、傾斜角、上縁深さ等の不確実性を考慮し、十分安全側の評価となる設定を行った。
 - ・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リング則を適用したすべり量を見込み、落ちの方向についても、安全側に評価した。
 - ⇒ この結果、津波による水位に対して、サイトは十分安全であることを確認した。
- 今後も、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て、「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・反映していくとともに、九州西岸域における津波堆積物調査などにより、知見の拡充を図っていく。

基準津波	最大水位上昇量(最高水位) [3/4号炉取水ピット前面水位]	最大水位下降量(最低水位) [3/4号炉取水口水位]
①西山断層帯(申請時;断層長さ 111km)	+1.31m (T.P.+2.83m)	-1.33m (T.P.-2.29m)
②西山断層帯(第46回審査会合;断層長さ 111km)	+1.50m (T.P.+3.02m)	-1.46m (T.P.-2.42m)
③対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動(第74回審査会合)	+2.32m (T.P.+3.93m)	-1.18m (T.P.-2.17m)
④西山断層帯(第135回審査会合;断層長さ 137km)	+1.87m (T.P.+3.31m)	-1.64m (T.P.-2.60m)

※ ①: 計算メッシュ詳細化前・水平渦動粘性係数 $10\text{m}^2/\text{s}$ 、②・③・④: 計算メッシュ詳細化後・水平渦動粘性係数 $0\text{m}^2/\text{s}$
 () は朔望平均潮位を考慮した水位

- 基準津波による遡上波は重要な安全機能を有する施設の配置された敷地に到達、流入しないことを確認している。また、水位低下時も海水ポンプの取水性に影響がないことを確認している。