

伊方発電所3号炉 津波評価について

本資料のうち、枠囲み [] の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

令和5年2月28日
四国電力株式会社

目次

0. 全体構成	P2
1. 既往津波に関する調査	P5
2. 津波伝播計算手法及び計算条件	P11
3. 地震に起因する津波	P20
4. 地震以外に起因する津波	P56
5. 重畳の検討	P94
6. 基準津波の策定及び検証	P107
7. 基準津波に対する安全性	P114
8. 超過確率の参照	P131

津波評価フロー (1/3)

1. 既往津波に関する調査

既往津波の文献調査

敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波について、文献調査による知見を整理

津波堆積物に関する文献調査

敷地前面海域の伊予灘をはじめ、周辺の津波堆積物に関する調査の知見を整理

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

津波に伴う水位変動の評価手法、計算領域、水平渦動粘性係数等を設定

3. 地震に起因する津波

プレート境界付近に想定される地震に伴う津波

- ・南海トラフの巨大地震
- ・南海トラフから南西諸島までの領域

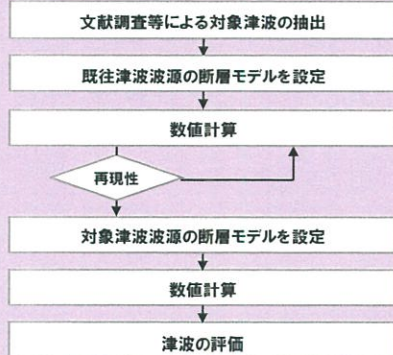
南海トラフの巨大地震



南海トラフから南西諸島までの領域



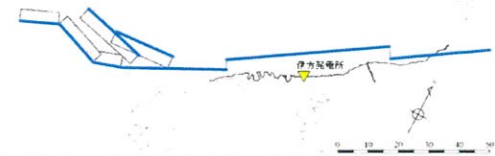
3.1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討



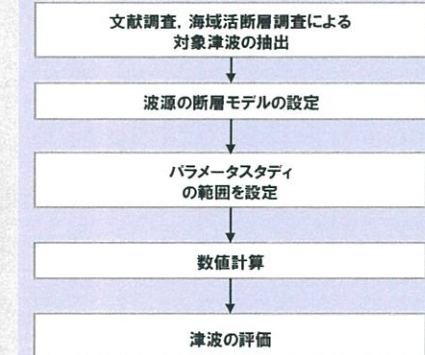
海域の活断層に想定される地震に伴う津波

- ・敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯: 海域部)の地震

敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯: 海域部)



3.2 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

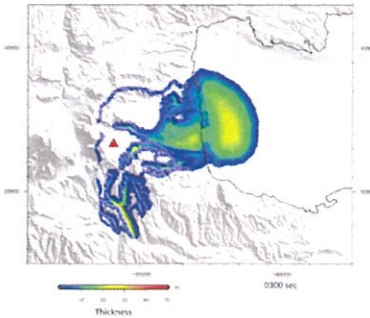


4. 地震以外に起因する津波

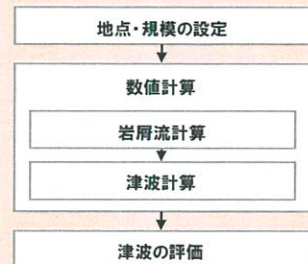
火山の山体崩壊に伴う津波

・鶴見岳の山体崩壊

鶴見岳の山体崩壊



4.1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討



地すべりに伴う津波

・海底地すべり
・伊予灘沿岸部の地すべり

伊予灘沿岸部の地すべり



4.2 地すべりに伴う津波の検討



5. 重畳の検討

組み合わせの検討

「地震に起因する津波」と「地震以外に起因する津波」で設定したそれぞれの津波の重畳について敷地への影響を検討

重畳条件の設定・数値シミュレーション

「敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震に伴う津波」と「伊予灘沿岸部の地すべり津波」を重畳させた津波評価

津波評価フロー (3/3)

6. 基準津波の策定及び検証

「地震に起因する津波」、「地震以外に起因する津波」及び「重畳の検討」の検討結果を踏まえ、基準津波を策定

上昇側

- ・重畳津波(敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震+伊予灘沿岸部の地すべり)・・・3ケース
- ・敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震に伴う津波・・・1ケース

下降側

- ・重畳津波(敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震+伊予灘沿岸部の地すべり)・・・1ケース

既往津波の文献調査による検証, 行政機関による既往評価との比較

7. 基準津波に対する安全性

取放水設備の水理特性を考慮した水位変動

施設評価等に用いる水位(海水ピット内の最高・最低水位等)を
管路解析により設定

砂移動に対する評価

非常用海水冷却系について, 土砂移動・堆積に対して取水口及び
取水路の通水性が確保されることを確認

8. 超過確率の参照

日本原子力学会(2012)及び土木学会(2011)に基づき, 津波ハザード評価を実施

1. 既往津波に関する調査

全体構成

1. 既往津波に関する調査

既往津波の文献調査

敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波について、文献調査による知見を整理

津波堆積物に関する文献調査

敷地前面海域の伊予灘をはじめ、周辺の津波堆積物に関する調査の知見を整理

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

3. 地震に起因する津波

4. 地震以外に起因する津波

5. 重畳の検討

6. 基準津波の策定及び検証

7. 基準津波に対する安全性

8. 超過確率の参照

既往津波の文献調査

○敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波について、文献調査を実施する。

渡辺 (1985;1998), 宇佐美 (2003), 宇津ほか編 (2001), 羽鳥 (1985;1988), 松岡ほか (2012), 平井 (2013), 松崎・平井 (2014), 村上ほか (1996;2002), 山本ほか (2001), 山本 (2003), 理科年表 (2012) 及び気象庁の発表

○地震に起因する津波

・瀬戸内海地域

→ 敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。

羽鳥 (1985), 松岡ほか (2012) より1596年に別府湾における慶長豊後の地震による記録があるものの、当地震での津波の記録は別府湾沿岸のみに限定されており (平井, 2013) (松崎・平井, 2014), 敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。

・太平洋側

→ 瀬戸内海沿岸における津波高さは最大で3m程度

南海トラフ沿いのプレート境界において、過去に概ね100～150年間隔でM8クラスの巨大地震が繰り返し発生している。これらの地震のうち、羽鳥 (1988), 村上ほか (1996;2002), 山本ほか (2001), 山本 (2003) は、1707年宝永地震津波、1854年安政南海地震津波及び1946年昭和南海地震津波を対象として痕跡高さの評価を実施しているが、これら論文においても瀬戸内海沿岸における津波高さは最大で3m程度であるとされている。



○地震以外に起因する津波

→ 敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。

陸上の斜面崩壊 (地すべり) に関連して、1596年の慶長豊後地震の際に、別府湾沿岸の高崎山で崖崩れが発生したとされ (吉岡ほか, 1997), 石辺・島崎 (2005) によって津波の二次的な要因となった可能性が指摘されている。

さらに、海底地すべりに関連して、同地震に伴う瓜生島沈没の事例が挙げられる。園生ほか (2002) は「瓜生島沈没伝説」として、海中地盤の水中音波探査等の結果から「大地震とそれによって発生した津波により、崩壊、液化化、地すべりなどの地変が起き、島とそこにあった家屋は流出して海底に没した」と推論している。仮に1596年の慶長豊後地震に伴い瓜生島が沈没したとしても、当地震での津波の記録は別府湾沿岸のみに限定され、敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。その他に海底地すべり及び陸上の斜面崩壊 (地すべり)、火山現象等、地震以外に起因する津波の記録は認められなかった。

1. 既往津波に関する調査

既往津波の文献調査

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

(単位: m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
愛媛県	西条市	西条	1-2 ^o		
	西条市	壬生川	1-2 ^o		
	松山市	三津浜		1.5 ^o	1.2 ^o
	松前町	松前	2 ^o		
	伊予市	伊予	2.5 ^o		
	愛南町	岩水		3.5-4	
	愛南町	溝倉	2-3		
	愛南町	深津	3-4		
	愛南町	久良	4-5		
	愛南町	貝塚	2-3		
	宇和島市	宇和島	3.1	2-3	1.5
	宇和島市	吾田	5	3.7	1.5
	西予市	三瓶			1.2
	八幡浜市	八幡浜			0.9
	伊方町	伊方			1.2
	伊方町	三崎			1.2
	伊方町	内口浦			0.7
香川県	内海町	内海	2 ^o		
	直島町	直島		1 ^o	
	高松市	高松	1.8 ^o	1.5 ^o	0.9
	高松市	庵治	1.8 ^o		
	高松市	香西		1.3 ^o	
	坂出市	木沢浦		1 ^o	
	坂出市	浜西		1.5 ^o	
	丸亀市	丸亀	2 ^o		
徳島県	鳴門市	撫美		1-2	0.9
	徳島市	徳島		1-2	1.4
	小松島市	小松島		1.5-2	2
	阿南市	中島		4-5	
	阿南市	橋	3-4	3	4
	阿南市	橋前			3.7
	美波町	阿部		5.5	
	美波町	山岐	6-7	7-8	4
	美波町	山岐 長門寺		7.2	
	美波町	山岐 八幡神社		7.7	
	美波町	田井 観音		4.3	
	美波町	田井			2
	美波町	木岐	6-7		4.2
	美波町	木岐 延命寺		6.5	
	美波町	木岐 大師庵		6.7	
	美波町	日和佐町		2-3	2.5, 3.6
	牟岐町	牟岐	6-7	6-7	4.5
	牟岐町	牟岐 杉尾神社	3.6		
	牟岐町	牟岐 石ヶ平	8		
	牟岐町	出羽島		6	3.6
	牟岐町	牟岐 薬師堂		4.7	

(単位: m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
徳島県	海陽町	浅川	6-7	6.5-7.2	4.7-5.3
	海陽町	那佐 那佐大師堂		5.5	
	海陽町	那佐			4.2
	海陽町	輪神	3	3.5	2
	海陽町	穴喰			3.6
	海陽町	穴喰 願行寺	5.5		
	海陽町	穴喰 鈴ヶ峯桜の本		5.3	
	海陽町	穴喰 穴喰川上流		4.5	
	海陽町	穴喰 八幡		3.6	
	海陽町	穴喰 祇園拝殿		3.2	
	海陽町	穴喰 愛宕山		3.9	
	海陽町	穴喰 古日大師堂		7.9	
	海陽町	穴喰 古日御番所		7.7	
高知県	東洋町	甲浦	6	3.6	4.3
	室戸町	佐喜浜	5		2.9
	室戸町	権名			4.8
	室戸町	津呂			1.9
	室戸町	室津	6-7	3	2
	室戸町	室半利町			3
	安田町	安田			2.3
	安芸市	伊尾木			3
	安芸市	安芸	6-7	5	3
	香南市	手結	6-7	5	3.3
	香南市	下夜須	9.3		
	香南市	岸本	5-6	5	1.5
	香南市	赤岡	4-5	4	
	香南市	古川	4-5		
	南国市	十市	7-8		
	高知市	仁井田	6-7		
	高知市	種崎	5-6		1.7
	高知市	下田	6-7		
	高知市	駿江	6-7		
	高知市	一宮	7.7		
	高知市	瀬江	5-6		1.3
	高知市	高知	2-3	3	0.5
	高知市	御免瀬	5-6		1.3
	高知市	深州島		5	2.2
	高知市	瀬戸	5-6	4.5-5	1.8
	高知市	桂浜	5-6	4.5-5	
	高知市	甲殿	5-6	5	4.3-5.1
	宇佐	宇佐	8-13	5.8-8.9	4.6
	土佐市	福島	7-8	7-8	4
	須崎市	奥浦	3.1		
	須崎市	野見			5.6
	須崎市	押岡			7-8
	須崎市	島井ノ郷	9	7-8	

(単位: m)

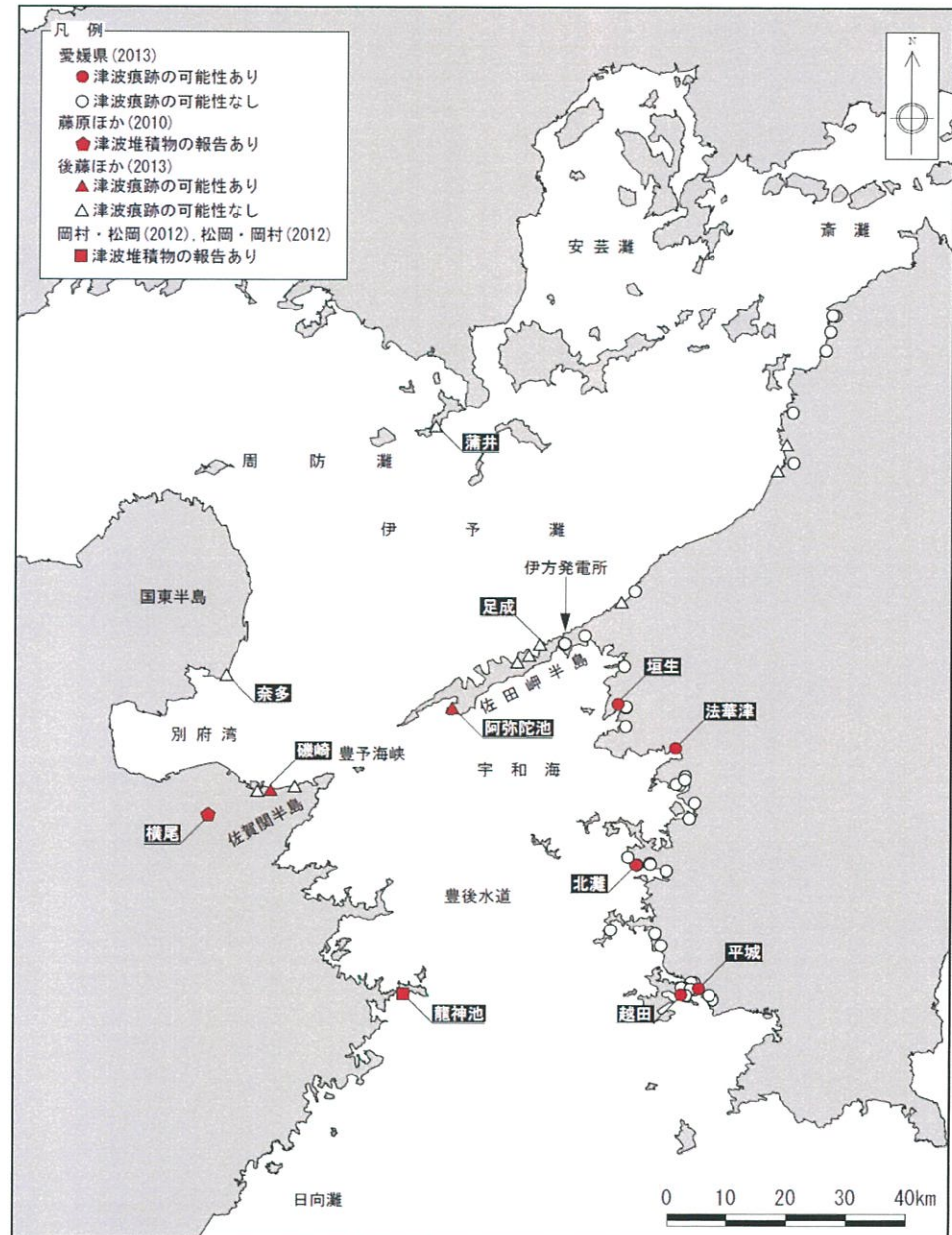
県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
高知県	須崎市	多ノ郷	8.7		
	須崎市	須崎	8	5.5	4.4
	須崎市	安和			5.1
	中土佐町	久礼	7.5-8	5.6-8.3	2.3, 3.7
	中土佐町	上ノ加江		5-6	2.5-3.1
	中土佐町	矢井賀		7.8	
	四万十町	興津		6	4.3
	里津町	佐賀			4.7
	里津町	伊田		5-6	
	里津町	上川口			4.9
	里津町	糠		8.5	4.0
	里津町	入野	8.6	6-6.5	
	四万十市	下田		4-5	3.9
	土佐清水市	布			2.5
	土佐清水市	下ノ加江	10	7.2	3.7
	土佐清水市	大岐	8.1	4.9-5.3	
	土佐清水市	以布利	10	4.3-4.7	3.1
	土佐清水市	窪津			4.4
	土佐清水市	大浜	8.6	5	
	土佐清水市	土佐清水	5	4	2.3
	土佐清水市	下基野		4-5	
	土佐清水市	三崎		7	3-6
	土佐清水市	下川口	7-8	4-5	3
	土佐清水市	貝ノ川	8		4
	土佐清水市	天津	7		
	大月町	古満目			4
	大月町	柏島			3.3
	宿毛市	片島			1.8
	宿毛市	ハイツカ神社	9.8	3.2	2.5
	宿毛市	清宝寺	4.5-5.5		
	宿毛市	和田の奥	4.1		
	宿毛市	天神社			3
	宿毛市	河戸堰		3.5-4	

※村上ほか(1996, 2002)の津波高さを基本とし、山本ほか(2001, 2003)の津波高さのデータを
追記したものの

津波堆積物に関する調査

○外海からの津波の影響が小さいことを踏まえ、敷地前面海域である伊予灘をはじめ、瀬戸内側で伊予灘と隣接する別府湾、周防灘、さらには宇和海側で伊予灘と豊予海峡で接する豊後水道の沿岸部を調査対象地域とし、当該地域における津波堆積物の報告事例を調査した。

○調査対象地域においては、近年、津波堆積物調査が精力的に進められており、岡村・松岡(2012)及び松岡・岡村(2012)、愛媛県県民環境部防災局危機管理課(2013)、藤原ほか(2010)、後藤ほか(2013)の報告がある(右図、次頁の表)。



津波堆積物に関する調査

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

文献	地点名	地質記録	イベント堆積物	イベントの年代	標高	備考
愛媛県(2013)	垣生	シルト、有機質粘土:層厚約2m	砂層	約400年前以前	調査地点:7.2m イベント堆積物:4.4m	
	法花津	シルト:層厚約2m	砂層	約920年前～1,780年前に2回	調査地点:3.5～3.6m イベント堆積物:1.2～1.4m	
			砂層		調査地点:同上 イベント堆積物:0.9～1.0m	
	北灘	シルト、有機質粘土:層厚約1m	砂層	約910年前～940年前	調査地点:3.4～3.5m イベント堆積物:1.8m	
			砂層	約1,120年前以前	調査地点:同上 イベント堆積物:1.5m	
	越田	シルト、有機質粘土:層厚約2m	砂層	約1,140年前～1,200年前	調査地点:2.1～2.6m イベント堆積物:1.8m	
砂層			約2,000年前～2,500年前	調査地点:同上 イベント堆積物:0.8～1.4m	堆積速度からの内挿年代	
砂層			約3,660年前～4,140年前	調査地点:同上 イベント堆積物:-0.3m～-0.2m		
平城	シルト、有機質粘土:層厚約4m	砂層:層厚6cm	不明	調査地点:4.8m イベント堆積物:3.3m		
藤原ほか(2010)	横尾	K-Ah(65cm)を含む厚さ約1.8mの堆積物	葉理や斜交層理が発達するK-Ah	約7,300年前	K-Ah基底:2.8m	横尾貝塚発掘ピットの観察結果アカホヤ噴火に伴う津波と解釈
後藤ほか(2013)	蒲井	腐植質シルト、砂質シルト:層厚約5m(約6,000年前～)	なし	-	地点標高:約5.5m(盛上1.3m)	
	足成	腐植質シルト、火山灰質砂:層厚約15m(約7,400年前～約200年前)	なし	-	地点標高:約3.5m(盛上1.3m)	
	阿弥陀池	砂質シルト、湖成堆積物:約10m(約4,300年前～現在)	砂層	約3,200年前	潟湖(浜堤:3.6～4.8m)	浜堤が未発達な時期のイベント。他に、600～700年前と3,200年前より少し前に湖沼環境の突発的変化(珪藻化石の分析結果)があり、前者は人為の影響を示唆。
	奈多	泥炭、腐食質シルト:約5m(約4,500年前～約700年前)	なし	-	地点標高:約4m(盛上2m) 砂丘標高:6.5～8.9m	
	磯崎	泥炭、腐食質シルト:1～2m(約5,000年前～)	基質を欠く逆統化する砂礫	磁器片を含む砂礫層の堆積後	地点標高:約2m(盛上1～1.5m)	
岡村・松岡(2012) 松岡・岡村(2012)	龍神池	湖成堆積物:層厚約5.4m(約3,500年前～現在)	砂層	1707年宝永 1361年正平 684年天武 約1,600年前 約1,900年前 約2,600年前 約3,000年前 約3,300年前	潟湖(海と細長い水路でつながっている)	

- 外洋に近い豊後水道において684年や約2,000年前に顕著な津波イベントが認められるものの、豊後水道から伊予灘へつながる**佐田岬西端の阿弥陀池ではこれらに対応する津波イベントが確認されず**、外洋で発生した津波が敷地の位置する伊予灘側に入ってきたときの影響は小さい。
- また、正断層型の海底活断層が分布する別府湾では津波イベントが示唆されているものの、横ずれ型の海底活断層が分布する**伊予灘で津波イベントの報告はない**。
- なお、約7,300年前の鬼界アカホヤ噴火時の津波堆積物が別府湾南岸で報告されているものの、敷地近傍の足成では**対応する津波イベントが確認されていない**。

○したがって、津波堆積物に関する文献調査によっても、**発電所の安全性に影響を与えるような津波の痕跡は認められなかった**。

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

全体構成

1. 既往津波に関する調査

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

津波に伴う水位変動の評価手法, 計算領域, 水平渦動粘性係数等を設定

3. 地震に起因する津波

4. 地震以外に起因する津波

5. 重畳の検討

6. 基準津波の策定及び検証

7. 基準津波に対する安全性

8. 超過確率の参照

津波伝播計算手法及び計算条件

○津波に伴う水位変動の評価は、**非線形長波理論(浅水理論)**の連続式および運動方程式に基づき、差分スキームとしてStaggered Leap-frog法を採用した平面二次元モデルによる津波シミュレーションプログラムを用いて実施する。

○津波シミュレーションにおける主な計算条件の考え方は以下のとおり。

・計算領域

伊予灘、別府湾及び周防灘を含む東西約180km、南北約160kmを基本とし、**波源域の大きさ、津波の空間波形、海底・海岸地形の特徴、敷地周辺の微地形、構造物等を考慮し、波源に応じて東西約180～2,300km、南北約160～1,600kmを設定。**

・計算格子間隔

敷地周辺における津波の挙動をより精度良く推計できるサイズとなるよう、敷地に近づくにしたがって最大1,600mから最小6.25mまで徐々に細かい格子サイズを設定。

・水深データ

海上保安庁の海図等に加え、平成25年8月に実施した沿岸部でのナローマルチビームによる**高精度の海底地形調査結果も考慮し、最新の調査・測量に基づき設定。**

・計算時間の長さ

最大の水位変動量が得られるよう、**津波の特性、波源との位置関係、津波到達時間及び津波継続時間を踏まえて十分長くなるよう、波源に応じて90分、5時間及び24時間を設定。**

・計算時間間隔

波源の周期を考慮し、数値計算手法に対する安定条件を十分満足するよう、波源に応じて0.02秒、0.0625秒及び0.5秒を設定。

・水平渦動粘性係数

土木学会(2002)を踏まえ、 $10\text{m}^2/\text{s}$ と $0\text{m}^2/\text{s}$ の場合における最大水位変動量を比較したところ、 $0\text{m}^2/\text{s}$ の方が有意に大きかったことから、安全側の評価となるよう $0\text{m}^2/\text{s}$ に設定。

⇒ 詳細は次頁以降のとおり。

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

主な計算条件

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

項目	計算条件
計算領域	(1946年昭和南海地震津波及び南海トラフの巨大地震に伴う津波) ・四国南方海域を中心として東西約1000km, 南北700kmの領域 (琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波) ・四国南方及び南西諸島海域を中心として東西約2300km, 南北1600kmの領域 (海域の活断層に想定される地震に伴う津波, 火山の山体崩壊に伴う津波, 地すべりに伴う津波及び重畳津波) ・東西約180km, 南北約160km
計算格子間隔※1	(1946年昭和南海地震津波, 南海トラフの巨大地震に伴う津波及び琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波) ・沖合いでの最大1600mから800, 400, 200,100,50, 25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定 (海域の活断層に想定される地震に伴う津波, 火山の山体崩壊に伴う津波, 地すべりに伴う津波及び重畳津波) ・沖合いでの最大400mから200,100,50,25,12.5, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定
計算時間間隔※2	(1946年昭和南海地震津波, 南海トラフの巨大地震に伴う津波及び琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波) ・0.5秒 (海域の活断層に想定される地震に伴う津波及び火山の山体崩壊に伴う津波) ・0.0625秒 (地すべりに伴う津波及び重畳津波) ・0.02秒
基礎方程式	・非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	(1946年昭和南海地震津波, 琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波, 海域の活断層に想定される地震に伴う津波及び重畳津波) ・Mansinha and Smylie(1971)の方法により計算 (南海トラフの巨大地震に伴う津波) ・内閣府検討会(2012) (火山の山体崩壊に伴う津波及び地すべりに伴う津波) ・岩屑流計算の結果による
沖合境界条件	・自由透過条件または吸収境界条件(ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした)
陸岸境界条件	・伊方発電所敷地周囲は陸上遡上を考慮 ・上記以外の陸岸は, 静水面より上昇する津波に対して完全反射条件 ・静水面より下降する津波に対して小谷(1998)の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦	・マンニングの粗度係数 $n=0.025(m^{-1/3} \cdot s)$
水平滑動粘性係数	・ $0m^2/s$
計算対象現象時間	(1946年昭和南海地震津波, 南海トラフの巨大地震に伴う津波及び琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波) ・24時間 (海域の活断層に想定される地震に伴う津波, 火山の山体崩壊に伴う津波及び重畳津波) ・5時間 (地すべりに伴う津波) ・90分

基礎方程式: 非線形長波(浅水理論)の方程式および運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{3/2}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{3/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

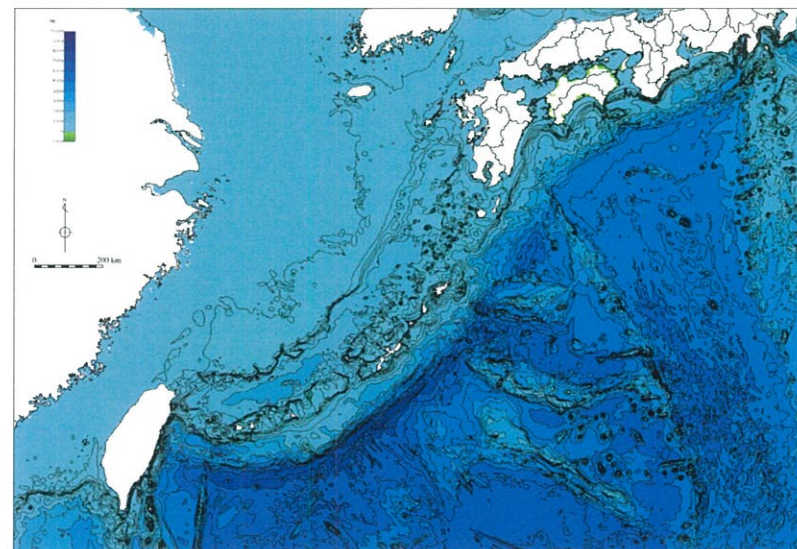
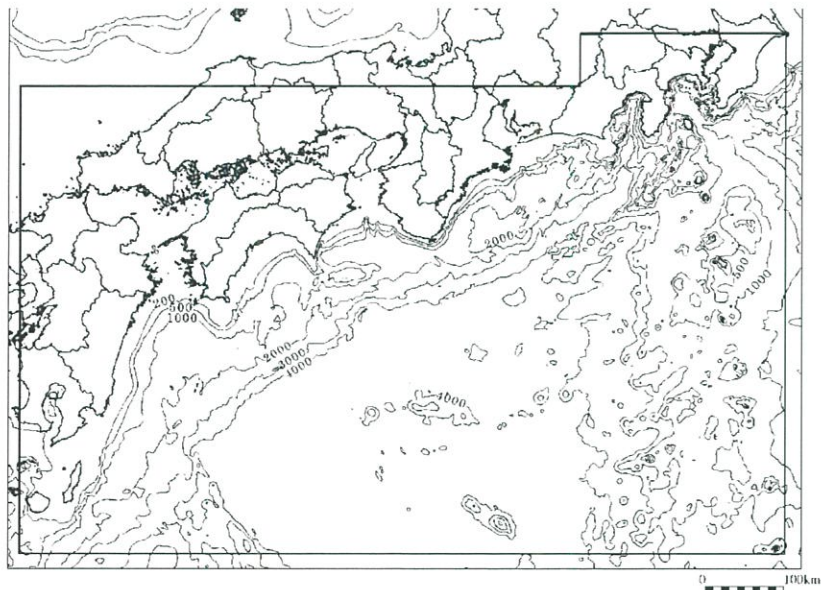
x, y : 水平方向座標, t: 時間, η : 静水面からの水位
M, N : それぞれx, y方向の線流量
K_h : 水平滑動粘性係数
D : 全水深(D=h+η)
h : 静水位
g : 重力加速度
n : マニングの粗度係数

※1 長谷川ほか(1987)に基づき設定
※2 安定条件(CFL条件)を十分満足するように設定

計算領域及び水深

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

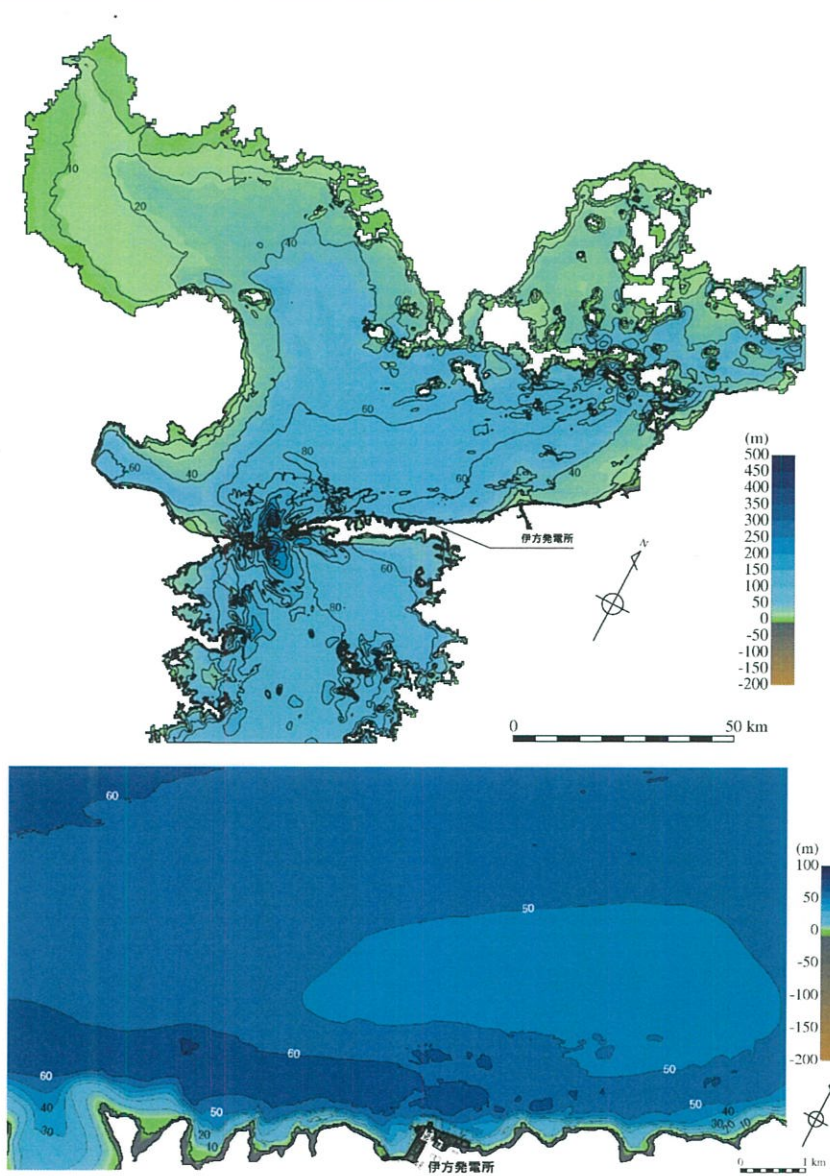


1946年昭和南海地震津波及び南海トラフの巨大地震に伴う津波



琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波

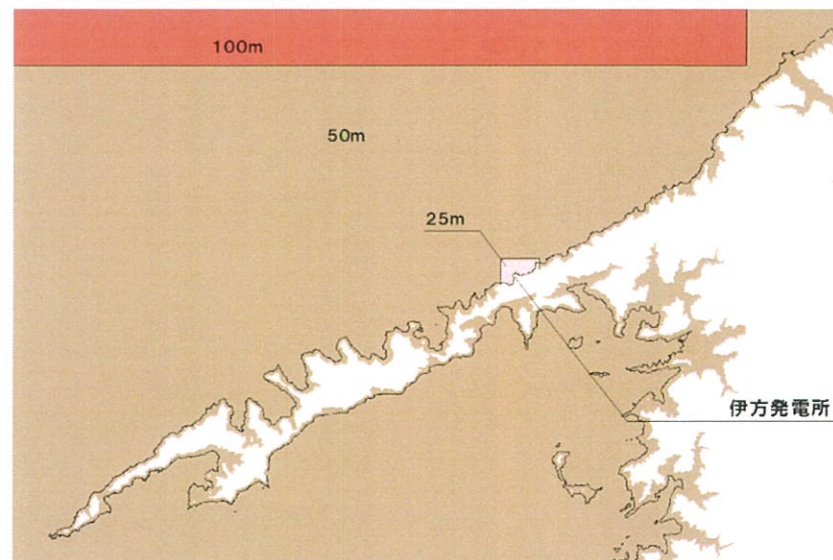
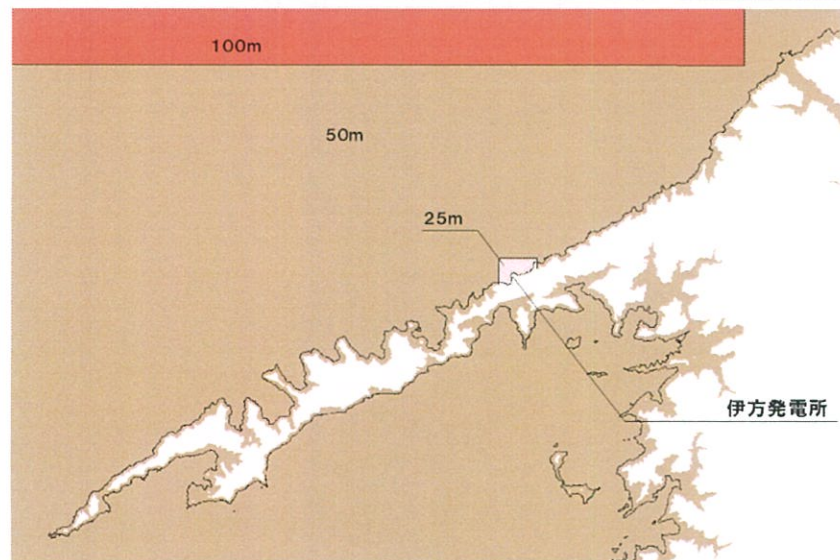
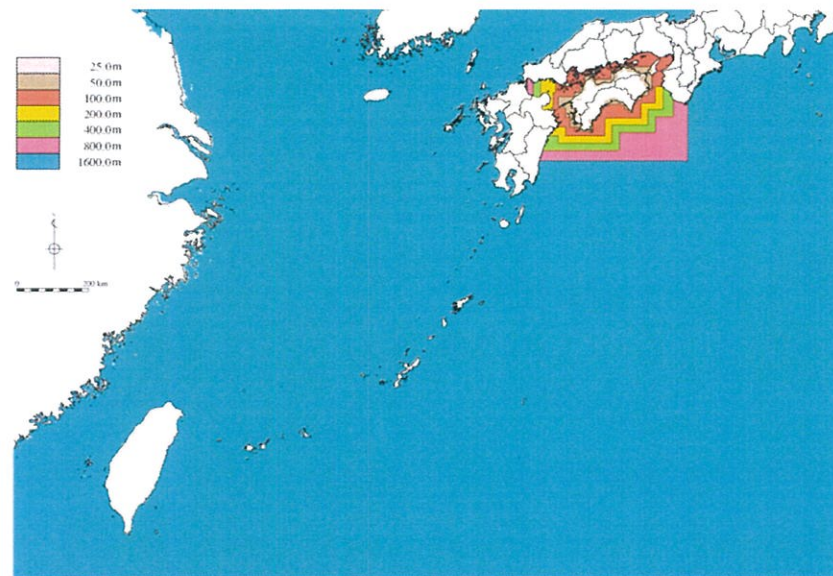
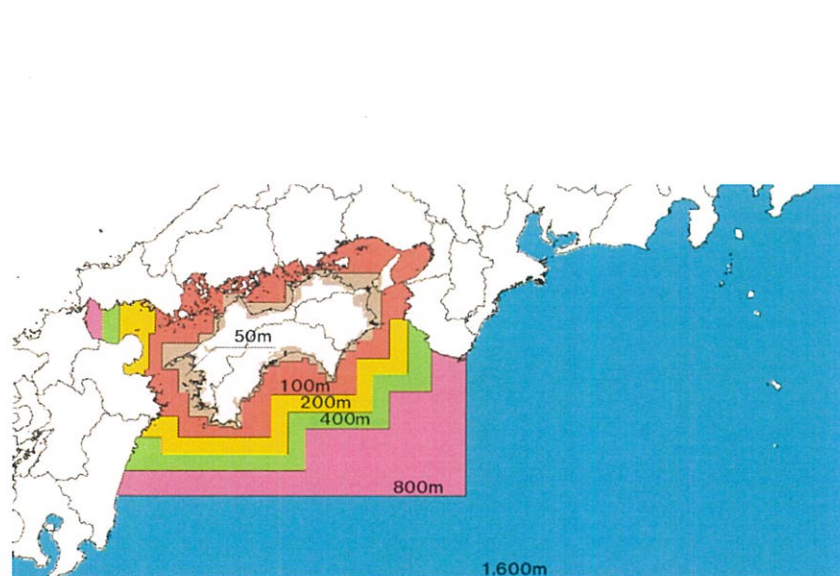
計算領域及び水深



海域の活断層に想定される地震に伴う津波，火山の山体崩壊に伴う津波，地すべりに伴う津波及び重畳津波

計算領域の格子分割

・沖合いでの最大1600mから800, 400, 200, 100, 50, 25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定。

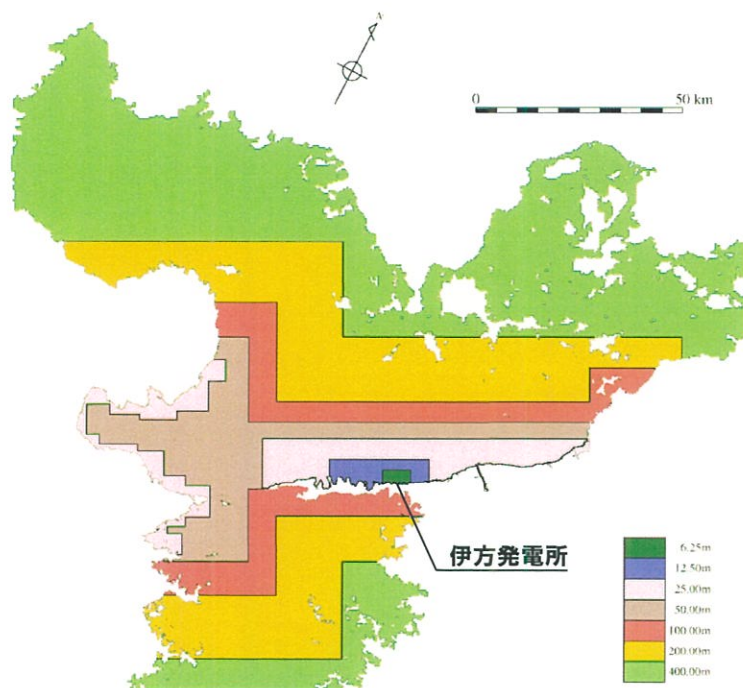


1946年昭和南海地震津波及び南海トラフの巨大地震に伴う津波

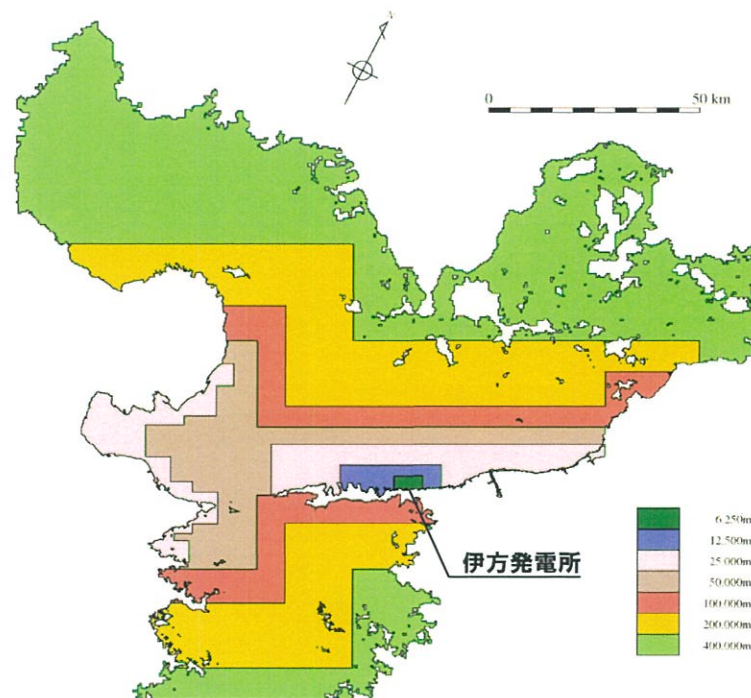
琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波

計算領域の格子分割

・伊予灘を中心として東西約180km, 南北160kmの領域を対象とし, 格子分割は最大400mから200m, 100m, 50m, 25m, 12.5m, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定する。



海域の活断層に想定される地震に伴う津波,
地すべりに伴う津波及び重畳津波



火山の山体崩壊に伴う津波

津波水位の評価地点

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

○津波水位の評価地点は、津波防護対象範囲に基づき下図のとおり選定した。



3. 地震に起因する津波

全体構成

1. 既往津波に関する調査

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

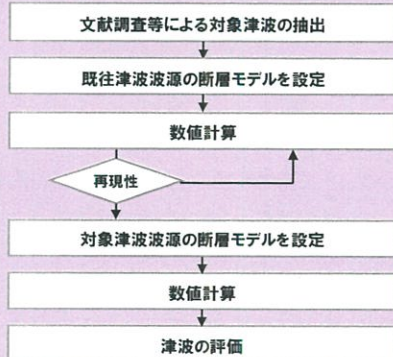
3. 地震に起因する津波

プレート境界付近に想定される地震に伴う津波

- ・南海トラフの巨大地震
- ・南海トラフから南西諸島までの領域



3.1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討



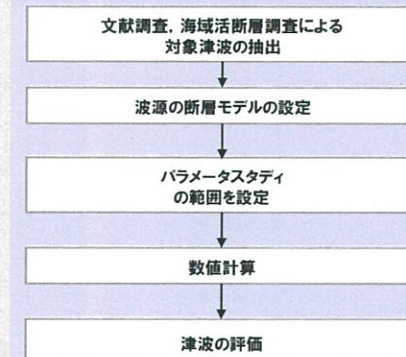
海域の活断層に想定される地震に伴う津波

- ・敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯: 海域部)の地震

敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯: 海域部)



3.2 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討



4. 地震以外に起因する津波

5. 重量の検討

6. 基準津波の策定及び検証

7. 基準津波に対する安全性

8. 超過確率の参照

3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

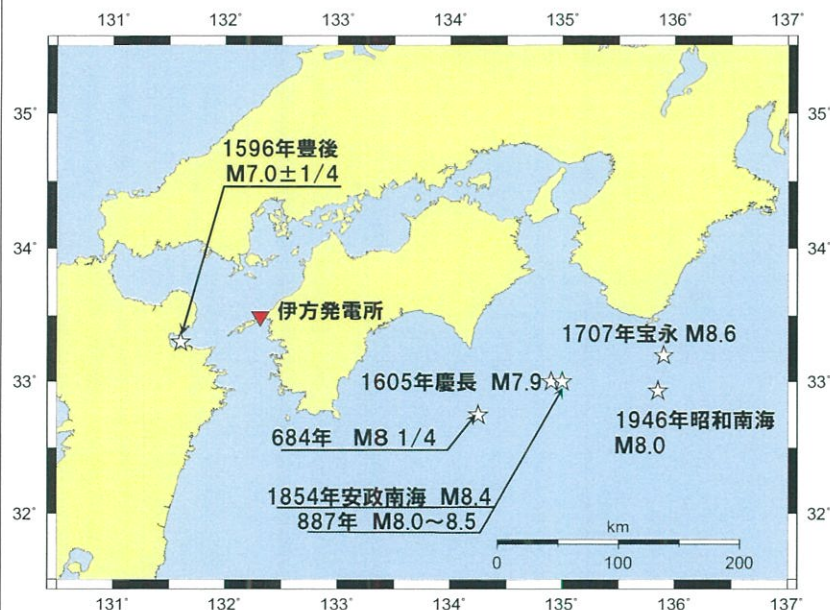
(1) 地震規模設定方法

(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

対象津波の選定

○南海道および近地において津波を起こした地震の震央位置



このうち痕跡高さの記録がある地震は、1707年宝永地震、1854年安政南海地震、1946年昭和南海地震であり、羽鳥（1988）によれば、これらの南海道の地震における瀬戸内海沿岸の津波の波高分布は西低東高と評価されている。

○想定東南海・南海地震津波 (Mw8.6)

1707年宝永地震津波や、1854年安政南海地震津波の痕跡高を包絡するように設定された「内閣府中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会（2003）」（以下、「中央防災会議」という。）による。

○南海トラフの巨大地震に伴う津波 (Mw9.1)

東北地方太平洋沖地震を踏まえてこれを上回る地震規模で設定された、南海トラフの巨大地震対策を検討する際に想定すべき最大クラスの地震を想定した「内閣府『南海トラフの巨大地震モデル検討会』（2011）（2012）」（以下、「内閣府検討会」という。）による。

なお、愛媛県（2013）は、内閣府検討会の南海トラフの巨大地震に伴う津波 (Mw9.1) を用いて評価を行っている。

○南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

「南海トラフの海域のテクトニクス背景は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」としている審査ガイドによる。

対象津波の選定

○敷地に対して影響が大きいと考えられる

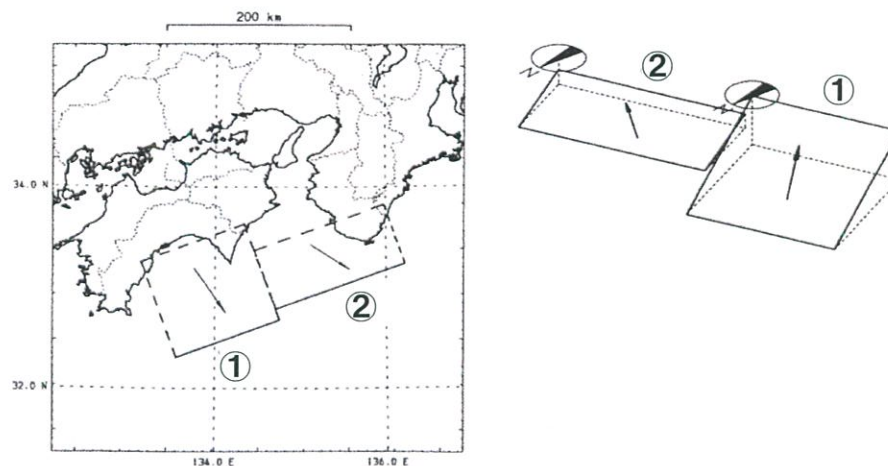
- ・内閣府検討会の「南海トラフの巨大地震に伴う津波」
 - ・審査ガイドの「南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波」
- を対象津波として選定する。

○対象津波の数値シミュレーションを行うにあたっては、計算手法及びモデルの妥当性を確認するため1946年昭和南海地震津波を対象として再現計算を行う。

※ 南海トラフの巨大地震に伴う津波（内閣府検討会）は、東北地方太平洋沖地震を踏まえて想定東南海・南海地震津波（中央防災会議）を上回る規模で設定されていることから、想定東南海・南海地震津波（中央防災会議）は選定しない。

断層モデル

○再現計算に用いる波源のモデルは相田(1981)に示されている1946年昭和南海地震のモデルを採用する。



	断層番号	
	①	②
長さL	120km	150km
幅W	120km	70km
すべり量D	5.0m	4.0m
上縁深さd	1km	10km
走向 θ	250°	250°
断層傾斜角 δ	20°	10°
すべり角 λ	104°	127°

3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

(1) 地震規模設定方法

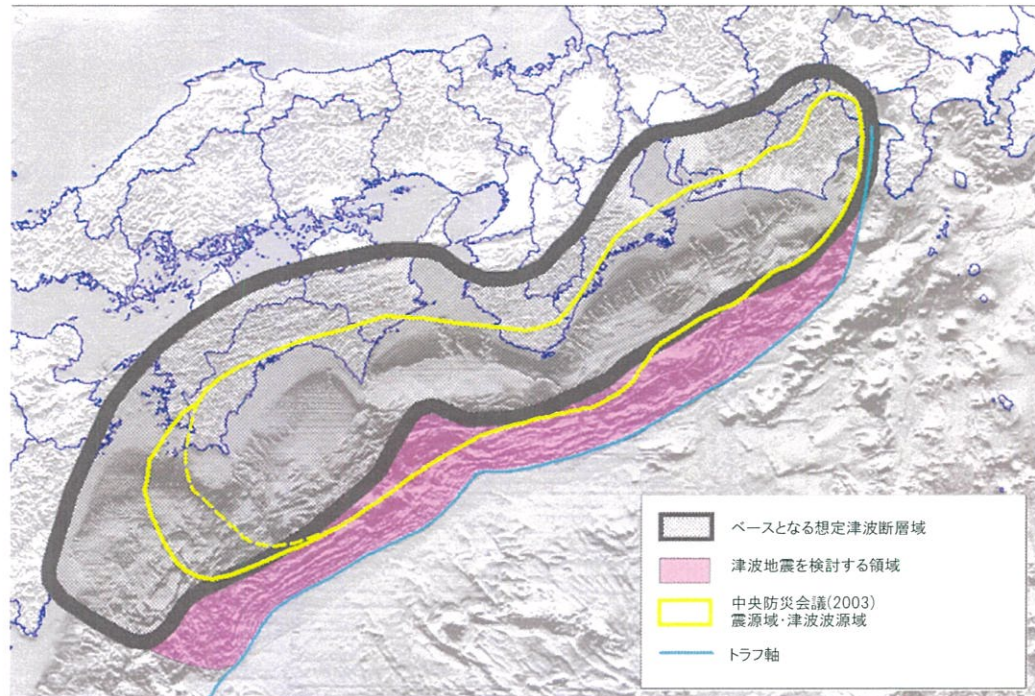
(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

断層モデル

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

- 内閣府検討会は、東北地方太平洋沖地震を契機として中央防災会議の下に設置された「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」により示された「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」との考え方(中央防災会議, 2011)に基づき、発生し得る最大クラスの地震・津波を検討し公表している。
- 想定津波波源域については、東側(駿河湾側)は駿河湾における南海トラフのトラフ軸から、南西側(日向灘側)は九州・パラオ海嶺の北側付近でフィリピン海プレート境界面の深さ約30kmからそれよりもやや深い深部低周波地震が発生している領域まで(日向灘の領域はプレート境界面の深さ約40kmまで)としている。



(内閣府検討会(2011)を基に作成)

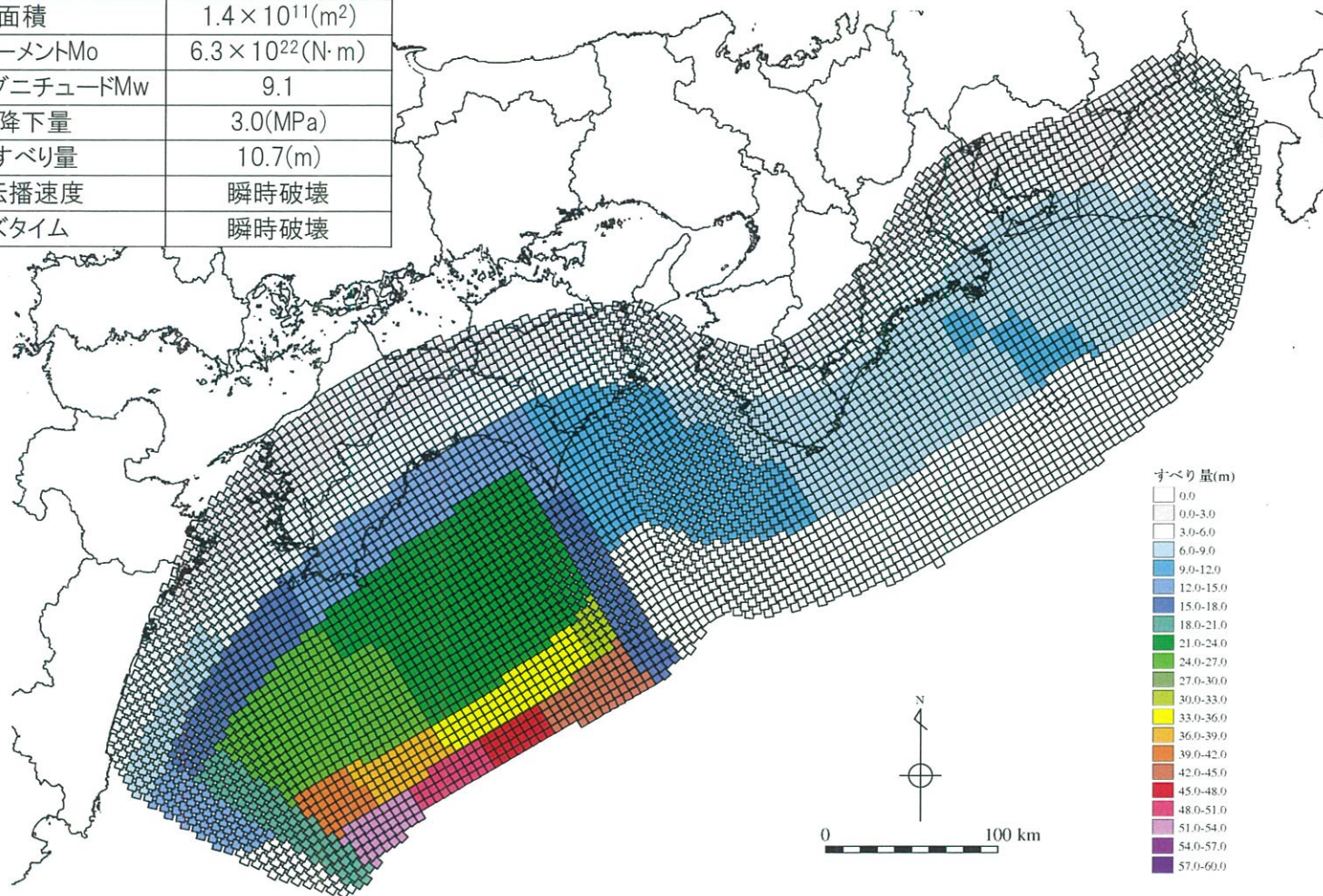
- 津波波源モデルの設定にあたっては、南海トラフで発生した過去地震に加えて、世界の海溝型地震の震源断層モデルの調査結果も踏まえて、地震規模(Mw9.1)を設定するとともに、津波水位への影響が大きい断層のすべり量に関して、「大すべり域(約20m)」、「超大すべり域(約40m)」の設定を行っている。波源が広大であるため、「大すべり域」等の設定位置により地域毎の影響度合いが異なることから、「大すべり域」等の位置を複数想定し、全11ケースの検討を実施している。

断層モデル

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

○内閣府検討会が公表した全11 ケースのうち、伊方発電所地点へ及ぼす影響が大きい四国沖から九州沖に大すべり域及び超大すべり域が設定されている津波断層モデルケース(ケース⑤『「四国沖～九州沖」に大すべり域を設定』)を対象津波として選定した。

総面積	$1.4 \times 10^{11}(\text{m}^2)$
地震モーメント M_0	$6.3 \times 10^{22}(\text{N}\cdot\text{m})$
モーメントマグニチュード M_w	9.1
応力降下量	3.0(MPa)
平均すべり量	10.7(m)
破壊伝播速度	瞬時破壊
ライズタイム	瞬時破壊

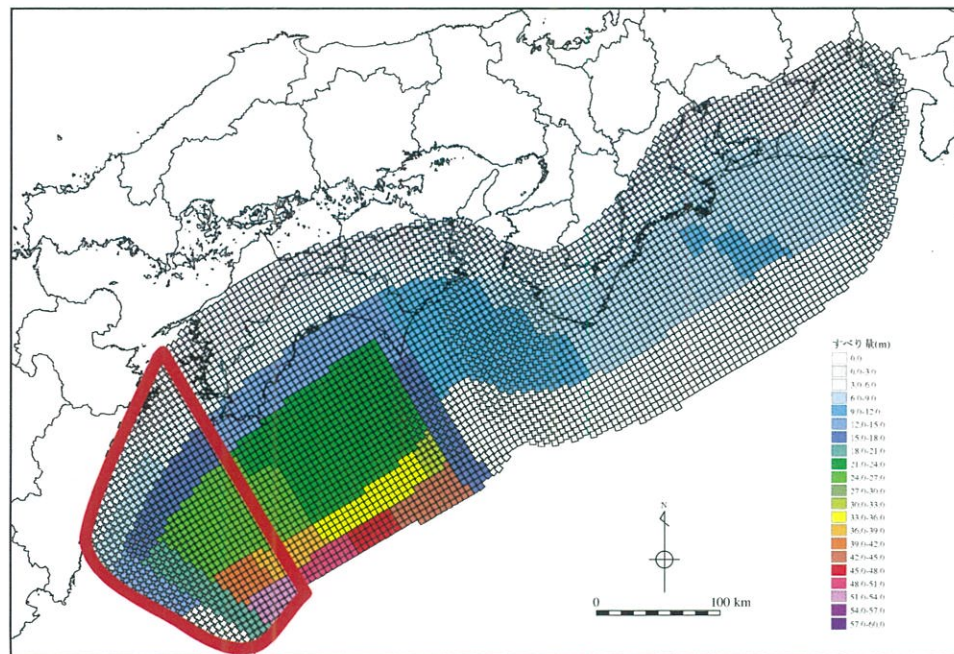


断層モデル図(ケース⑤『「四国沖～九州沖」に大すべり域を設定』)

日向灘第二版を踏まえた影響

- 「日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価(第二版)(地震調査研究推進本部, 2022)」(以下,「日向灘第二版」)において, 日向灘域でマグニチュード8.0程度の規模の地震が想定された(第一版ではマグニチュード7.6程度)。
- 前頁のとおり, 伊方発電所の津波評価においては, 内閣府検討会における南海トラフの巨大地震に伴う津波を選定・評価しており, 第一版の知見を用いていないため, 第二版を踏まえた直接的な影響はない。
- 内閣府検討会における南海トラフの巨大地震においては, 断層全体としてMw9.1, 日向灘域でMw8.6程度の地震規模を想定するとともに, 日向灘に多くの大すべり域を配分していることから, 第二版を踏まえた津波評価への影響はない。

■津波断層モデル(基本モデル/前頁の再掲)



日向灘域

■断層パラメータ(前頁の再掲)

総面積	$1.4 \times 10^{11}(\text{m}^2)$
地震モーメント M_0	$6.3 \times 10^{22}(\text{N}\cdot\text{m})$
モーメントマグニチュードMw	9.1
応力降下量	3.0(MPa)
平均すべり量	10.7(m)
破壊伝播速度	瞬時破壊
ライズタイム	瞬時破壊

日向灘域単独の地震規模は内閣府検討会では明記されていない。

左図のとおり, すべり量の配分には濃淡があり, 日向灘には多くの大すべり域が配分されているものの, 仮に全域の地震モーメント $6.3 \times 10^{22}(\text{N}\cdot\text{m})$ に日向灘域の面積比(18%)を乗じた場合の

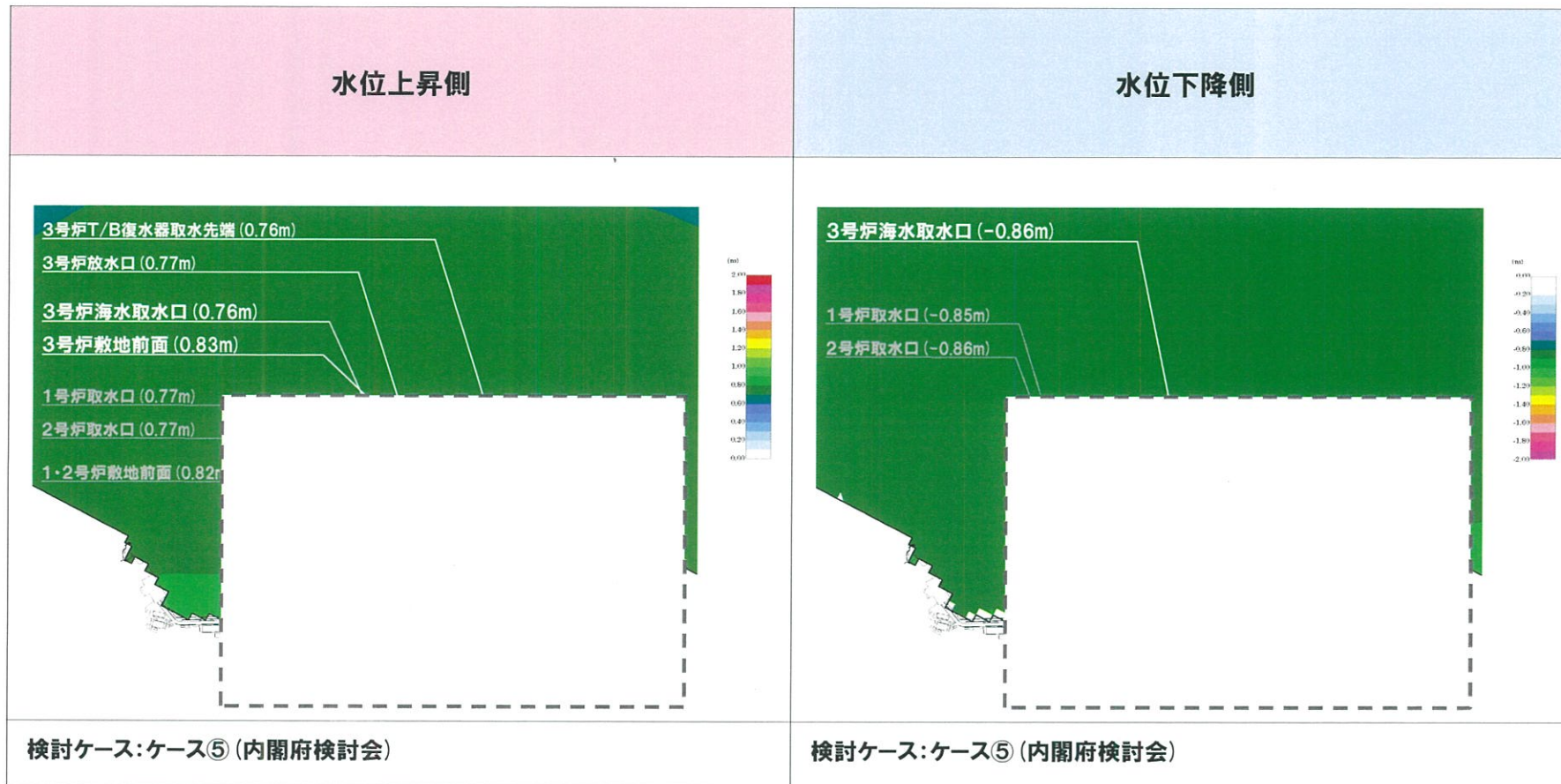
日向灘域の地震モーメントは $1.1 \times 10^{22}(\text{N}\cdot\text{m})$ となり, Kanamori(1977)のMw-M₀関係式からMw8.6程度となる。

計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

○南海トラフの巨大地震に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を以下に示す。



⇒ 次項で説明する「南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波」の計算結果と合わせて、評価地点別の最大水位変動量を次項末尾に整理する。

3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

(1) 地震規模設定方法

(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

検討方針

- 内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」において、南海トラフでは、最大クラスの津波波源モデル(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」と記載されている。**
- このことを踏まえ、2004年スマトラ沖地震をはじめとする世界の超巨大地震の発生地域において、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、その科学的・技術的知見等に基づき、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想定するとともに、琉球海溝に関する知見の収集状況を踏まえ、認識論的不確かさを補う観点(想定外の事象を無くす観点)から、津波評価を実施することとした。

南海トラフ～琉球海溝での分析

【固着域に関する分析】

- 世界の超巨大地震の発生地域において、「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

【破壊伝播の検討】

- 固着域の評価結果に、構造的境界に関する知見の分析結果を加え、破壊伝播の可能性を検討

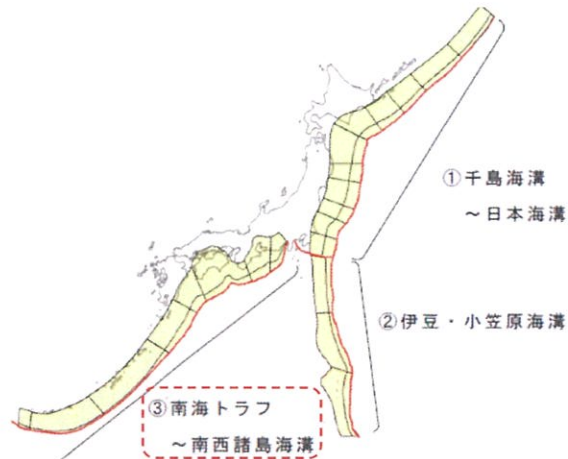
津波評価

【波源の設定】

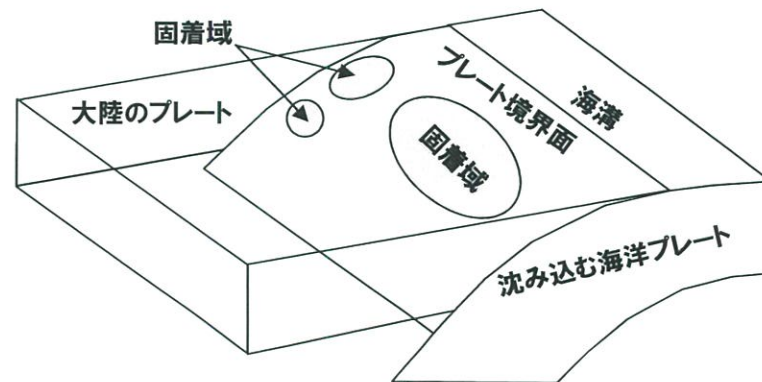
- 認識論的不確かさを補う観点から波源を設定(種子島東方沖から奄美群島太平洋沖(南部)までの断層が連動する津波波源(Mw9.0)を考慮)

【津波計算】

- 数値シミュレーションにより、津波計算を実施。敷地への影響を評価



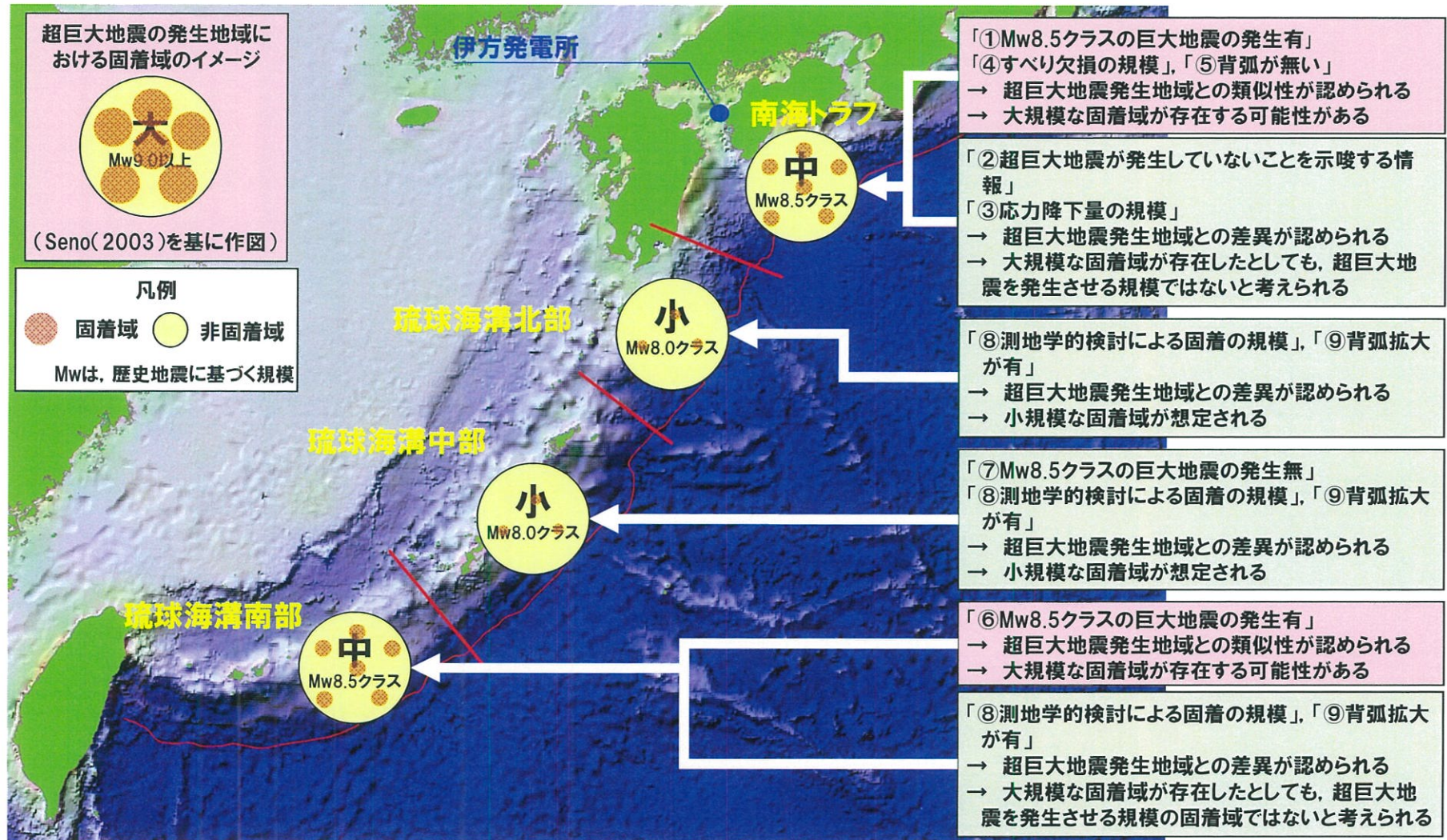
プレート間地震に起因する津波波源の対象領域(審査ガイド)



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)

(1) 固着域に関する分析

- 垣見(2003)の地震地体構造区分等を参考に区分した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、それを超える可能性を検討した。
- 世界の超巨大地震発生地域と南海トラフ～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、世界の超巨大地震発生地域レベルの固着域はなく、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。



各領域の固着域のイメージ

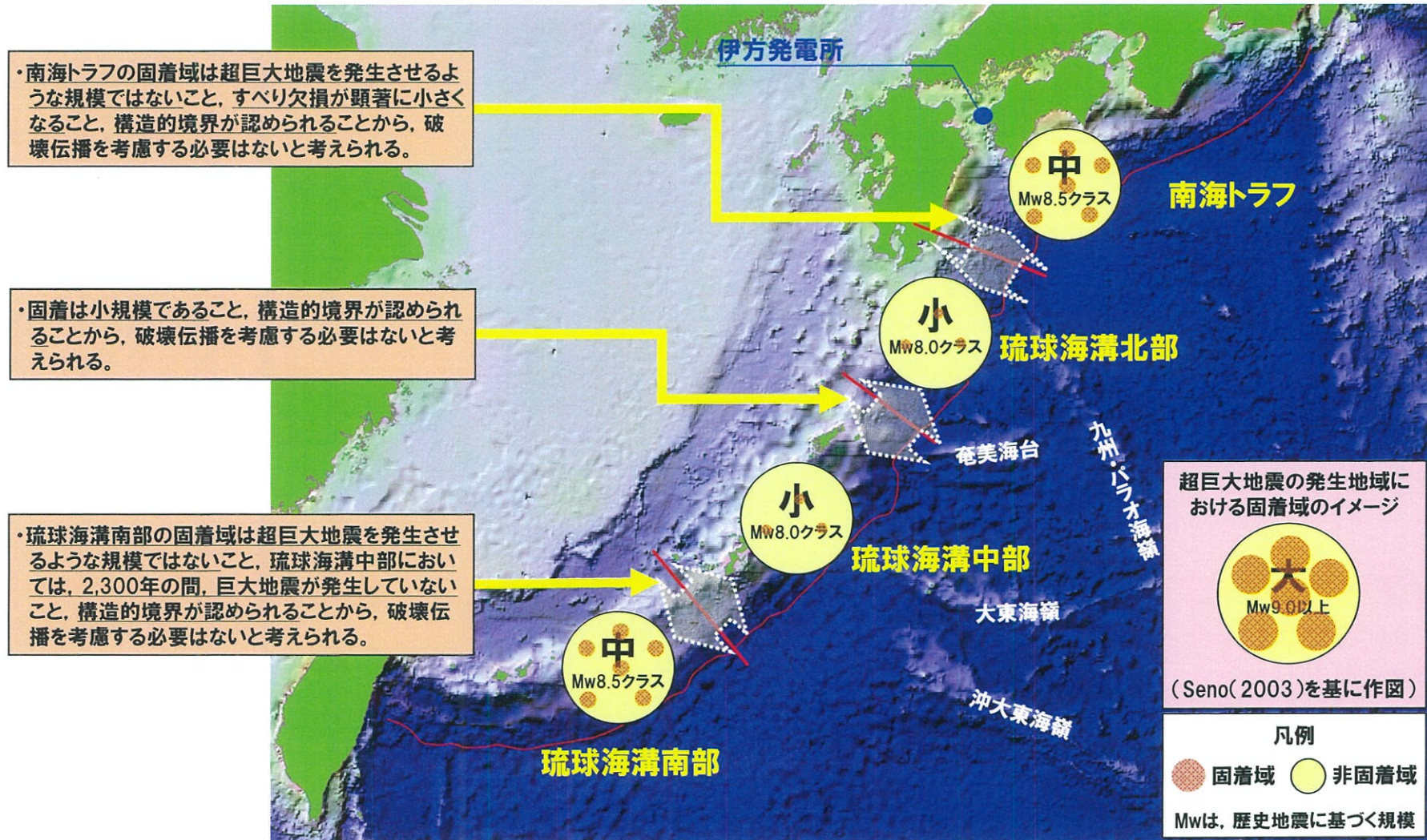
(1) 固着域に関する分析

○以上の検討を項目毎にまとめ、下表に示す。

		南海トラフ	琉球海溝
(1) 地震履歴		<ul style="list-style-type: none"> 過去5,000年間に、1707年宝永地震(M8.6)などの巨大地震が認められ、その発生間隔は、300~600年と考えられる。(内閣府(2011)) 約5,000年間の地質記録において、九州パラオ海嶺までの南海トラフ全域を波源域とする地震が発生した証拠は認められない。(地震調査推進本部(2013)) 過去6,000年間を通して、平地の上まで巨礫を運ぶような規模の津波はなかった可能性がある。(宍倉(2013)) 南海トラフにおける地震の応力降下量は、超巨大地震発生地域における地震の応力降下量に比べ、小さく、超巨大地震が発生する可能性は低い。(瀬野(2013)) 	<ul style="list-style-type: none"> 【南部】・1771年八重山地震(Mt8.5)が確認されている。(地震調査推進本部, 中村(2012)) 【中部】・1911年喜界島地震(M8.0)が確認されている。(地震調査推進本部) 【南部】・先島諸島では、2,600年前以降、150~400年間隔で繰返し地震が発生した痕跡(津波石)が認められる。(後藤(2012)) 【中部】・奄美・沖縄諸島では、規模の小さな石が認められるのみであり、2,300年前以降に巨大津波は発生していないと考えられる。(後藤(2012))
	凡例		
	世界の超巨大地震発生地域との差異がない	①: 津波堆積物調査等による知見から、Mw8.5クラスの巨大地震が繰返し発生しているとされ、世界との差異は認められない	【南部】⑥: 津波石等による知見からMw8.5クラスの巨大地震が繰返し発生しているとされ、世界との差異は認められない
	世界の超巨大地震発生地域との差異がある	②: 地質記録等から超巨大地震が発生した証拠は認められず、世界との差異が認められる ③: 応力降下量から、世界との差異が認められる	【中部】⑦: 津波石等による知見からMw8.5クラスの巨大地震は発生していないとされ、世界との差異が認められる
(2) テクトニクス等の情報	測地学的検討	<ul style="list-style-type: none"> GPS観測データを用いたすべり欠損分布(鷲谷他(2013))において、年間2cm以上のすべり欠損が認められる。 	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】・GPS観測データから、琉球海溝においては、陸側プレートの変位ベクトルは海側プレートに向いており、大規模な固着は想定されない。 【北部・中部】・GPS観測データを用いたすべり欠損分布(鷲谷他(2013))において、年間2cm以上のすべり欠損は認められない。 【中部】・海底GPS/A観測データにより固着域が確認されているが、最深部は、12~14kmとされ(中村(2012))、南海トラフと比べて浅いと考えられる。
	沈み込み帯の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ④: 南海トラフでは固着が強く、世界との差異が認められない 	【共通】⑧: 固着が弱く、世界との差異が認められる
		<ul style="list-style-type: none"> ・背弧海盆がない。 ⑤: 背弧海盆がなく、世界との差異が認められない 	<ul style="list-style-type: none"> ・拡大している背弧海盆(沖縄トラフ)がある。 【共通】⑨: 背弧拡大が認められ、世界との差異が認められる
評価結果	<ul style="list-style-type: none"> 南海トラフについては、Mw8.5クラスの巨大地震が発生していることなど(①・④・⑤)から、大規模な固着域が存在する可能性があるものの超巨大地震を発生させるような規模ではない(②・③)と想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・北部については、世界の超巨大地震発生地域との差異が認められ(⑧・⑨)、小規模な固着域が想定される。 ・中部についても、差異が認められ(⑦・⑧・⑨)、小規模な固着域が想定される。 ・南部については、Mw8.5クラスの巨大地震が発生していること(⑥)から、大規模な固着域が存在する可能性があるものの、超巨大地震を発生させるような規模ではない(⑧・⑨)と想定される。 	

(2) 破壊伝播の検討

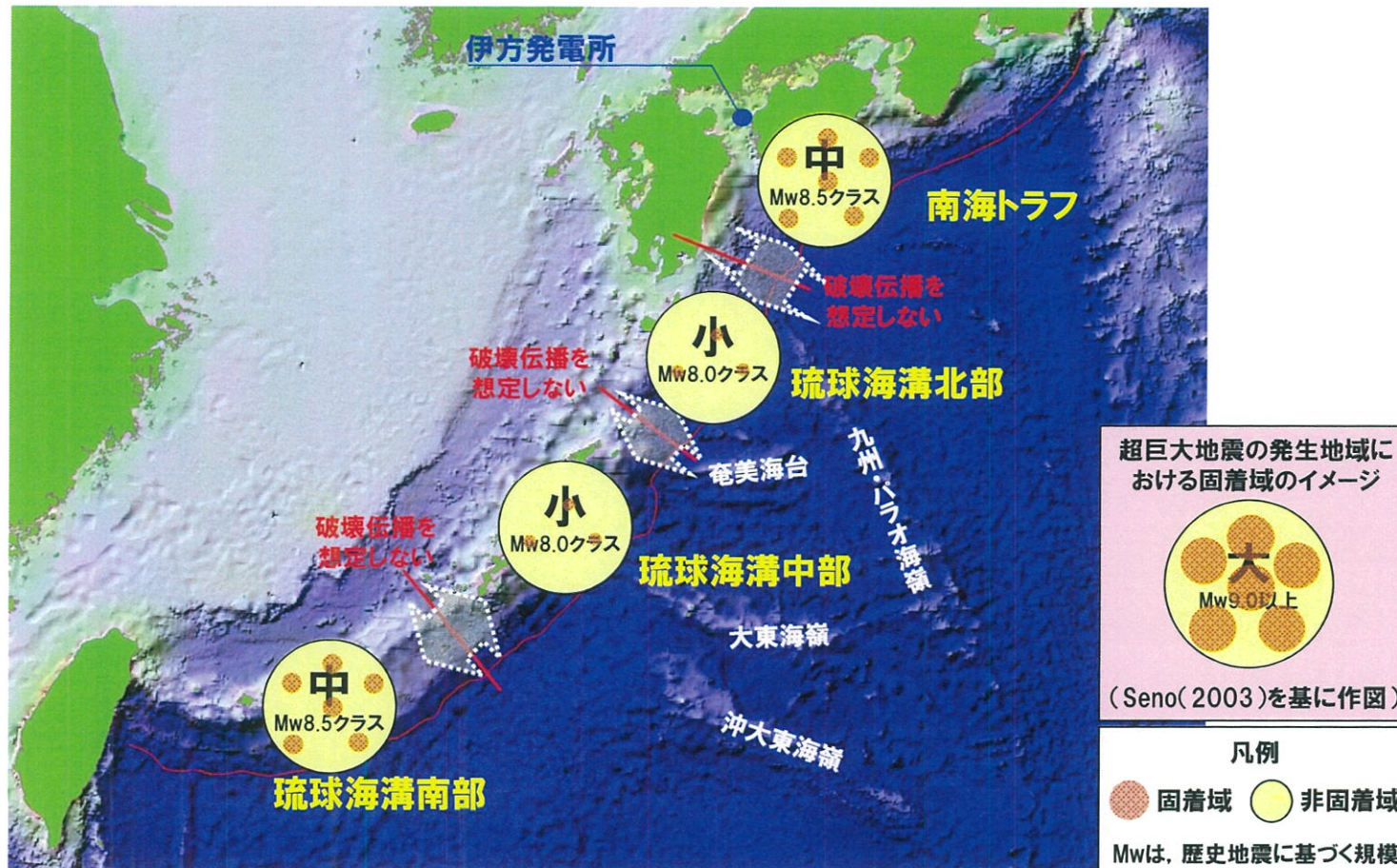
- 固着域及び構造的な境界に関する分析結果から、南海トラフ～琉球海溝において、各領域を横断するような破壊伝播(スケーリング的な運動)を考慮する必要はないと考えられる。



各領域の固着域のイメージ

(3) 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、それを超える可能性を検討した。
- 世界の超巨大地震発生地域と南海トラフ～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、世界の超巨大地震発生地域レベルの固着域はなく、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、各領域を横断するような破壊伝播(スケーリング的な運動)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

(4) 波源の設定 (波源域の想定)

○「南海トラフ～琉球海溝での分析」の結果、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リング的に破壊する場合を想定するとともに、琉球海溝に関する知見の収集状況を踏まえ、認識論的不確実さを補充する観点(想定外の事象を無くす観点)から、以下のとおり津波波源を設定することとした。

〔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リング的に破壊する場合を想定する。 → **Mw8.7～8.9の地震を想定**

(不確かさとして考慮した知見)

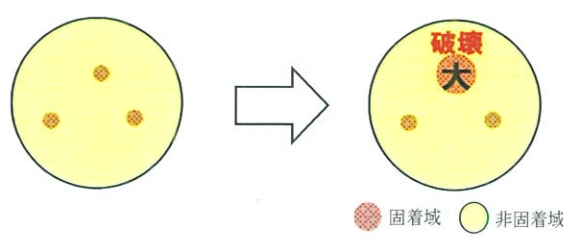
- ・東北地方太平洋沖地震では、想定されていなかった海溝軸付近(浅部)での固着域が破壊し、海溝軸付近で大きなすべりが観測された
→ 琉球海溝内の固着域は、小規模ではあるものの、海溝軸付近(浅部)に存在する可能性がある。
- ・海溝軸付近のすべり量は津波の大きさに与える影響が大きい
→ 海溝軸付近での固着域については、十分安全側に取り扱うべきと考えられる。

更なる安全性の検討 ↓

以下の通り、更なる安全評価上の観点から、科学的・技術的知見に基づく想定を超える津波波源を設定。 → **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)

・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



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

琉球海溝での破壊イメージ

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

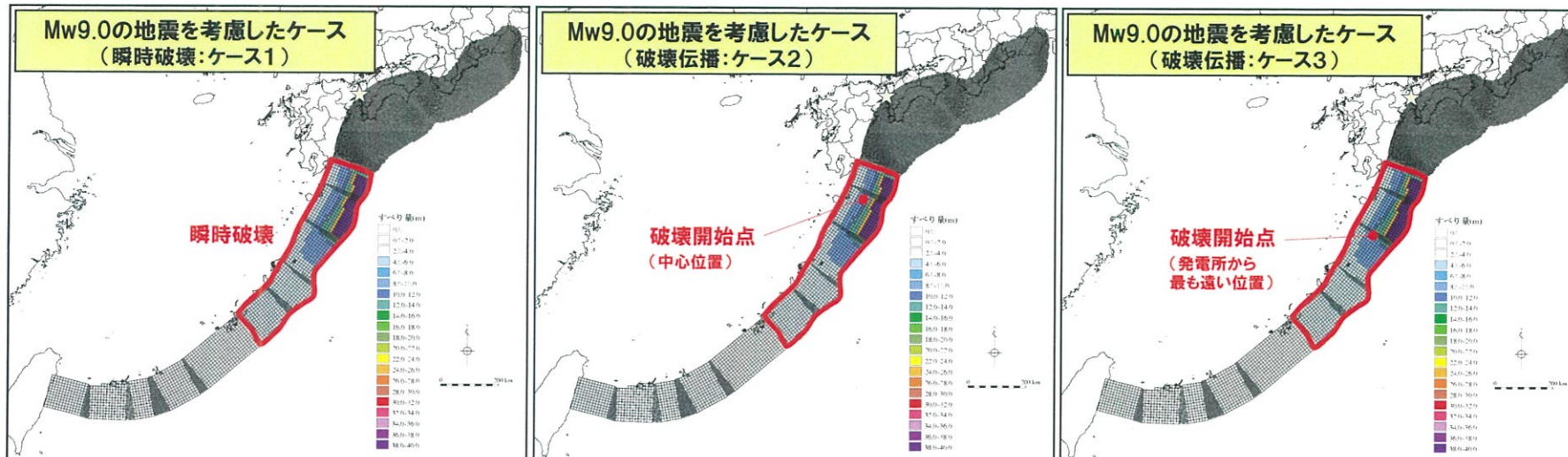
考慮した不確かさと知見に基づく想定を超える設定

〔南海トラフ〕

南海トラフでの津波は、内閣府の想定ケースのうち最も安全側のケースを代表とした。(津波評価実施済み)

(4) 波源の設定 (検討ケース: 琉球海溝Mw9.0の地震)

○認識論的不確実さを補充する観点(想定外の事象を無くす観点)から、発電所への影響が最も大きい箇所にMw9.0の地震を設定したケースとして、以下に示す。



想定波源域は赤枠線内

	Mw9.0の地震を考慮したケース (瞬時破壊: ケース1)
地震発生深さ	海溝軸～深さ40km
総面積	101,662km ²
モーメントマグニチュード'Mw	9.0
応力降下量	3.0MPa
剛性率	4.1×10 ¹⁰ N/m ²
平均すべり量	9.6m
地震モーメントMo	4.0×10 ²² N・m
大すべり域の面積比 (平均すべり量の倍率)	2倍:40% 3倍:20% 4倍:11%
すべり量の配置方法	平均すべり量の4倍領域: 深さ約10kmまで 平均すべり量の3倍領域: 深さ約15kmまで 平均すべり量の2倍領域: 深さ約25kmまで
すべり角	海溝軸に直交方向
破壊伝播速度	瞬時破壊
ライスタイム	瞬時破壊

	Mw9.0の地震を考慮したケース (破壊伝播: ケース2及びケース3)
地震発生深さ	海溝軸～深さ40km
総面積	101,662km ²
モーメントマグニチュード'Mw	9.0
応力降下量	3.0MPa
剛性率	4.1×10 ¹⁰ N/m ²
平均すべり量	9.6m
地震モーメントMo	4.0×10 ²² N・m
大すべり域の面積比 (平均すべり量の倍率)	2倍:40% 3倍:20% 4倍:11%
すべり量の配置方法	平均すべり量の4倍領域: 深さ約10kmまで 平均すべり量の3倍領域: 深さ約15kmまで 平均すべり量の2倍領域: 深さ約25kmまで
すべり角	海溝軸に直交方向
破壊伝播速度	2.5km/s
ライスタイム	1分

※日向灘第二版において、南西諸島周辺及び与那国島周辺の巨大地震としてマグニチュード8.0程度の規模の地震が想定されたものの(第一版ではマグニチュード7.5程度)、敷地までの距離が遠いこと、及び、南西諸島周辺においてMw9.0の波源を設定した評価を実施していることから、第二版を踏まえた影響はない。

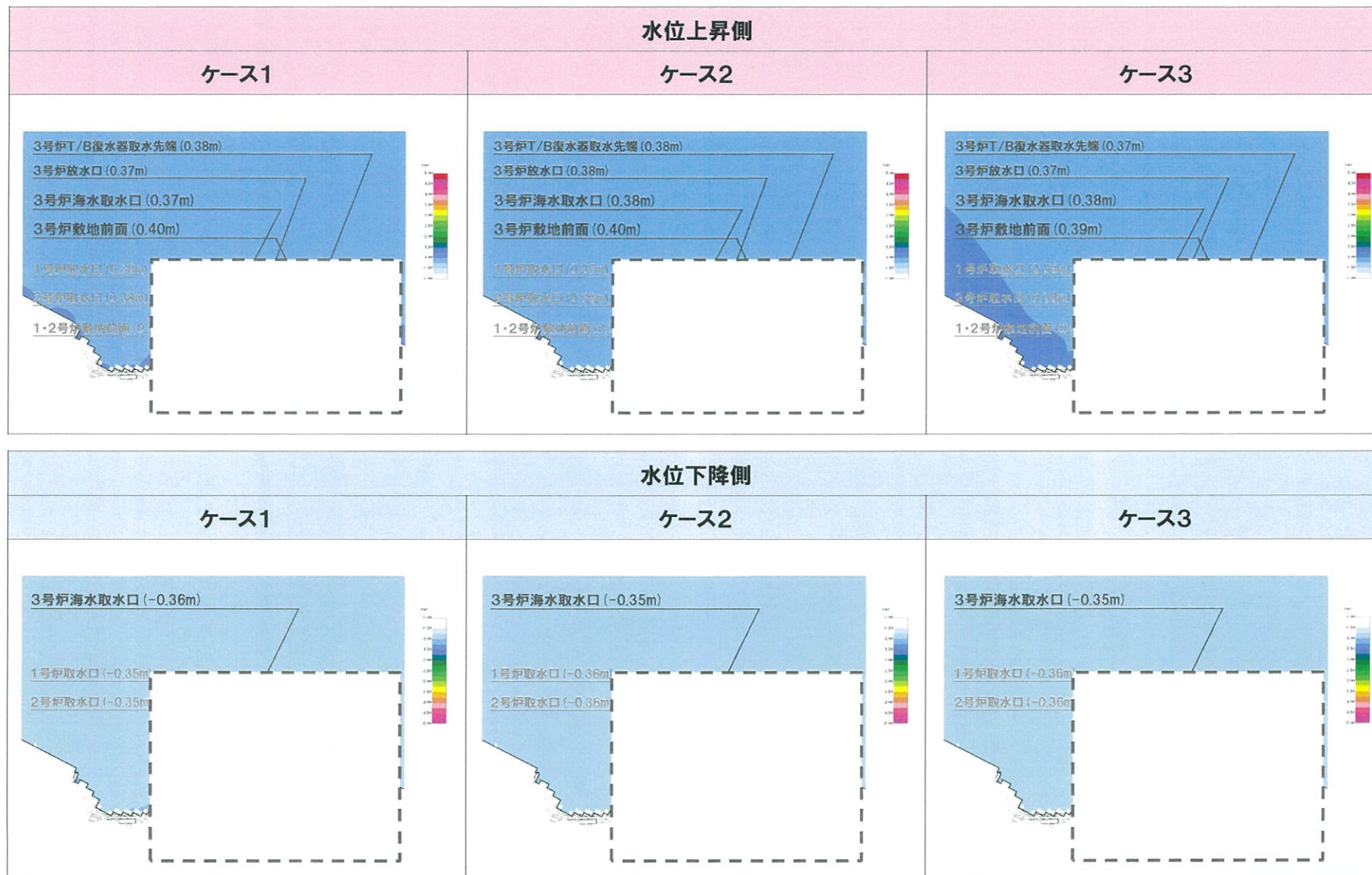
3. 地震に起因する津波

(5) 計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み「」の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

○琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を以下に示す。



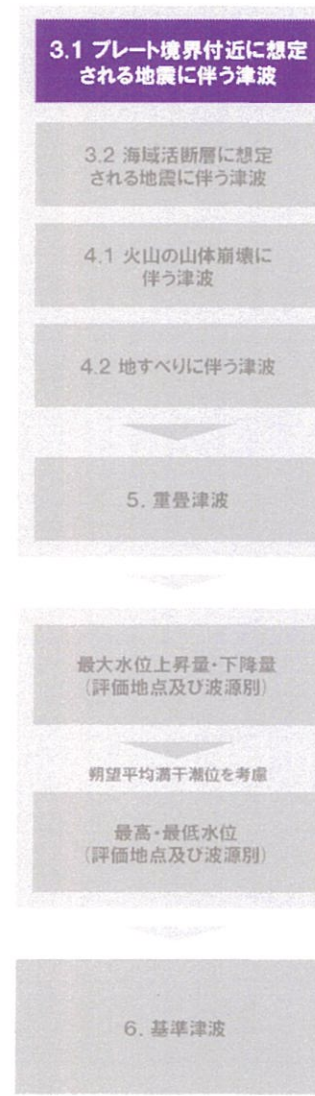
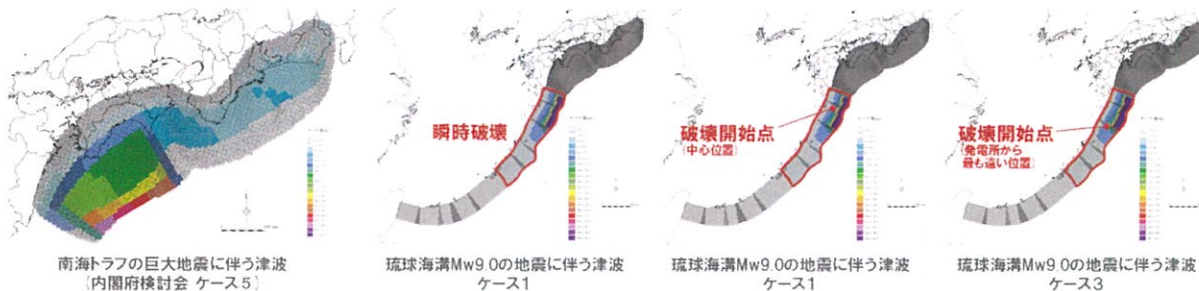
(5) 計算結果

○プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を下表に整理する。3号炉敷地前面における最大水位上昇量は約0.8m, 3号炉海水取水口における最大水位下降量は約0.9mであった。

○最も厳しいケースにおける時刻歴水位を添付資料に示す。 <添付資料> pp.98-99参照

検討ケース		一次評価地点				
		水位上昇側				水位下降側
		3号炉敷地前面	3号炉海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉海水取水口
南海トラフの巨大地震に伴う津波 (内閣府検討会 ケース5)		+0.83m [-0.84m]	+0.76m [-0.84m]	+0.76m [-0.84m]	+0.77m [-0.84m]	-0.86m [-0.84m]
琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波	ケース1	+0.40m [-0.06m]	+0.37m [-0.06m]	+0.38m [-0.06m]	+0.37m [-0.06m]	-0.36m [-0.06m]
	ケース2	+0.40m [-0.06m]	+0.38m [-0.06m]	+0.38m [-0.06m]	+0.38m [-0.06m]	-0.35m [-0.06m]
	ケース3	+0.39m [-0.06m]	+0.38m [-0.06m]	+0.37m [-0.06m]	+0.37m [-0.06m]	-0.35m [-0.06m]

下線: 各一次評価地点における地盤変動量を考慮した最も厳しいケース
[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起、-が沈降)



3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

(1) 地震規模設定方法

(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

地震規模の評価にあたって

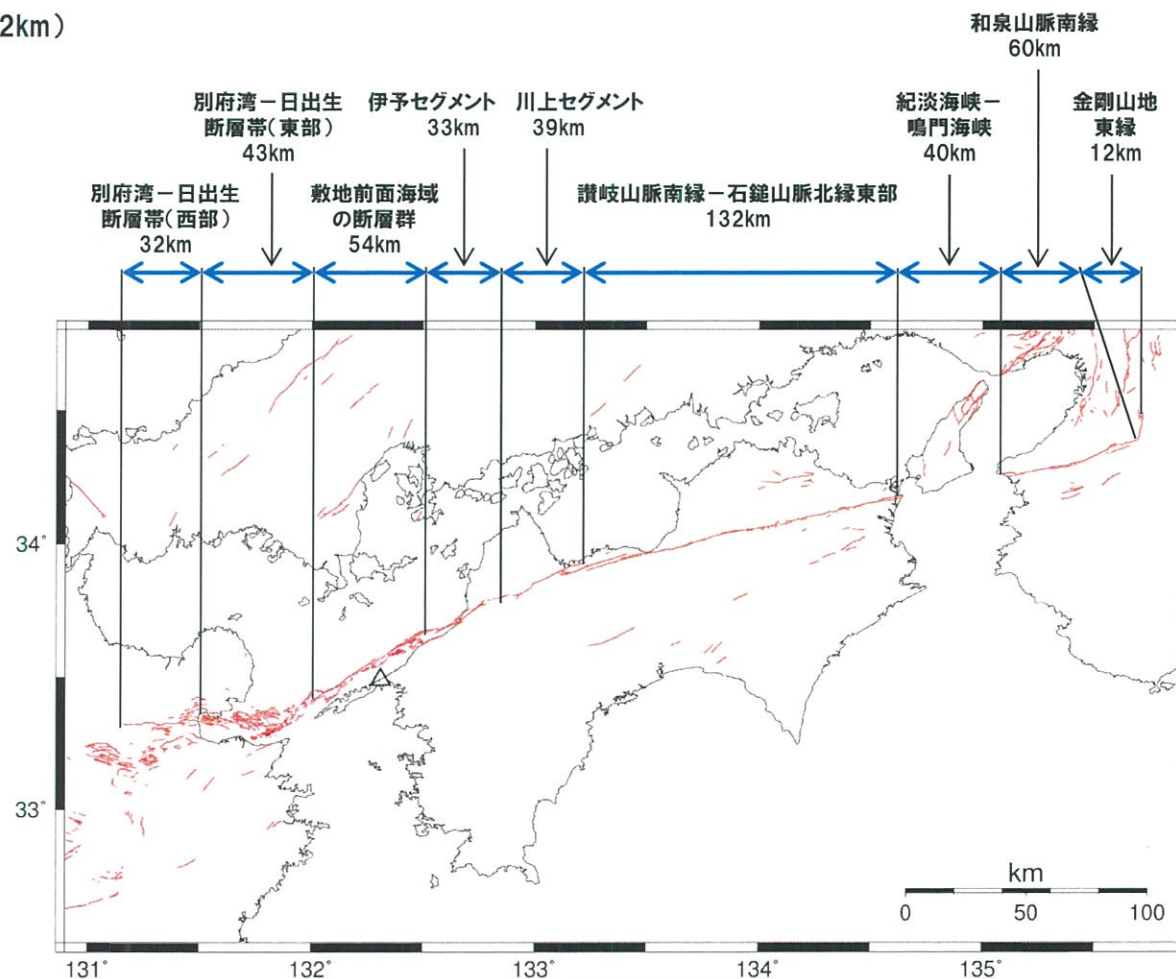
○伊方発電所の津波評価において、波源モデルを設定する際に考慮する活断層(セグメント)は以下のとおりとする。

・中央構造線断層帯

- 金剛山地東縁(長さ12km)
- 和泉山脈南縁(長さ60km)
- 紀淡海峡-鳴門海峡(長さ40km)
- 讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部(長さ132km)
- 川上セグメント(長さ39km)
- 伊予セグメント(長さ33km)
- 敷地前面海域の断層群(長さ54km)

・別府-万年山断層帯

- 別府湾-日出生断層帯(東部)(長さ43km)
- 別府湾-日出生断層帯(西部)(長さ32km)



○全長が400kmを超える長大な断層となることから、地震規模評価においては、

- (1) スケーリング則
- (2) 地震学・地質学的知見

の観点から慎重に検討を行うこととする。

地震規模設定方法

【考え方・方針】

地震規模は武村(1998)を用いた評価を基本とする

長大断層であるため、外挿となり、かつすべり量の飽和を考慮していない武村(1998)を全長に適用することは適切ではない

「地震規模想定区間」を設定して地震規模を評価する。
(概ね80kmを超えない範囲で「地震規模想定区間」を設定する)

伊予セグメントと敷地前面海域の断層群をあわせて87kmを「地震規模想定区間」として取り扱う。

伊予セグメント・敷地前面海域

別府-万年山断層帯

伊予セグメント・敷地前面海域のすべり量は約7~8mとなり、長大断層のスケージング則に照らして保守的な評価となっている。また、伊予断層や川上断層の1回あたりの変位量2~4mよりも保守的な設定となっている。

別府-万年山断層帯については、後述のとおり、1596年慶長豊後地震の痕跡を良好に再現している大分県(2013)を参考にして波源モデルを設定することとする。

【考慮する知見など】

対象とする活断層は中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯
→400kmを超える長大断層

長大断層は長さ80~100km程度で、平均すべり量が3~5mに飽和する

武村(1998)のデータベースで最大の断層長さは85km

「活断層の長期評価手法」報告書

「活動範囲」の長さが断層幅の4倍を超える場合には、単一の長さが断層幅の4倍を超えない「地震規模想定区間」の組合せを設定し、それぞれから発生する地震の規模を個別に評価したうえで、それらの地震のモーメント量の和をもって当該「活動範囲」の地震の規模とする。

地震学・地質学的には、別府湾-日出生断層帯(東部)と敷地前面海域の断層群の間で地震環境が異なり、セグメント境界と評価できる。

別府湾-日出生断層帯(東部)と四国の中央構造線断層帯はカスケードモデルが支持される。

別府湾-日出生断層帯(東部)は慶長豊後地震で活動し、津波の痕跡記録が残っている。

「活断層の長期評価手法」報告書

歴史地震など直接的な観察記録がある場合を除いて、従来通り、この経験式(武村, 1998)を用いて地震規模を推定する。

地震規模想定区間の設定

87km

【別府-万年山断層帯】
大分県(2013)を基に設定

【敷地前面海域】 54km
【伊予セグメント】 33km

敷地前面海域の断層群に設定したすべり量

- 室谷他(2010)によれば、長大断層の平均すべり量は3~5mに飽和するとされており、設定値(約7~8m)はそれよりも保守的な値となっている。
- また、伊予断層、川上断層の1回あたりのすべり量は、地形地質調査の結果から2~4mと推定されているが、それよりも保守的な評価となっている。

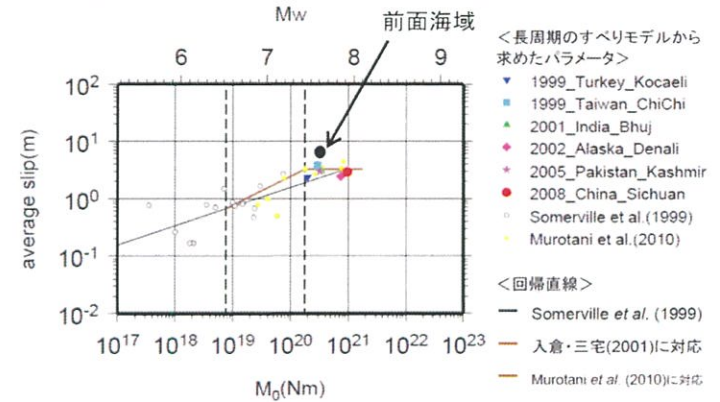
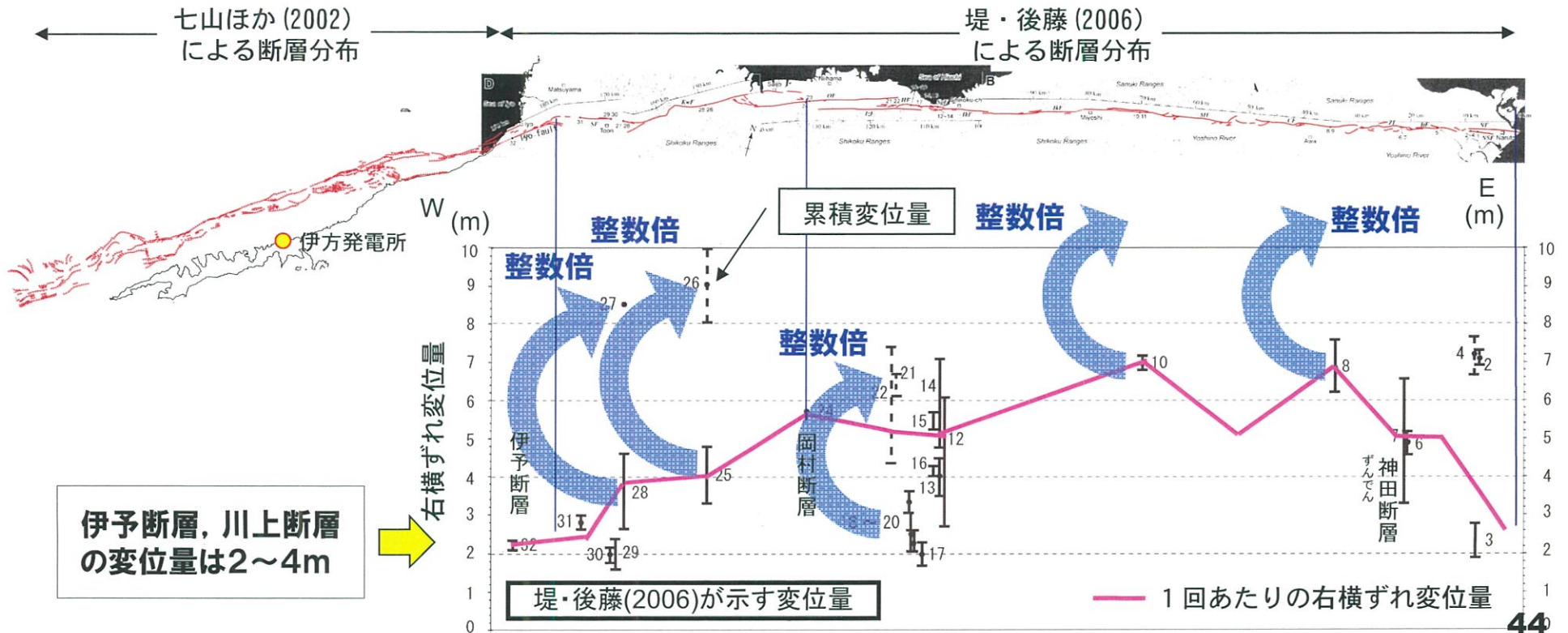


図 4.4 内陸地殻内地震の $M_0 - D$ (average slip) の関係



3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

(1) 地震規模設定方法

(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

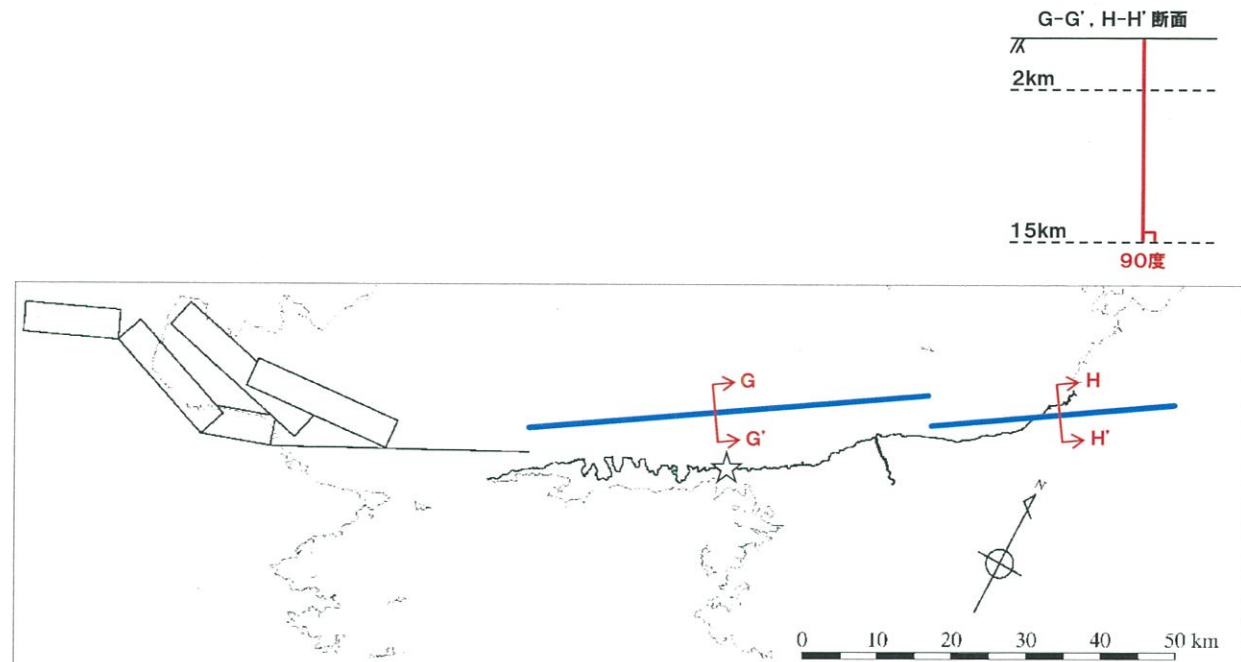
波源の基準断層モデル (敷地前面海域の断層群+伊予セグメント)

○中央構造線断層帯(断層長さ約360km)と別府-万年山断層帯のうち、海域の区間として伊予セグメント、敷地前面海域の断層群及び別府-万年山断層帯(以下「敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)」)を対象として波源の基準断層モデルを設定する。

【敷地前面海域の断層群+伊予セグメント】

- 詳細な地質調査結果から設定された地震動評価における基本震源モデルを踏まえ、以下のとおり設定する。
- 津波評価上安全側となるよう、断層上端深さについては0kmと設定する。

断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	3.3E+10	90	180	87	15.0	7.61	3.27E+20	7.59



波源の基準断層モデル (別府-万年山断層帯)

【別府-万年山断層帯】

- 別府-万年山断層帯については、地方自治体である大分県が、1596年慶長豊後地震に関する最新の津波痕跡高に関する知見を収集・考慮し、これを良好に再現できる断層パラメータを公表していることから(大分県津波浸水予測調査報告書, 2013), 当該パラメータを用いる。
- 大分県(2013)は、断層配置、すべり量の不均一性、複数断層の同時発生等について精緻な検討を行った上で断層パラメータを設定しているため、当該パラメータを用いることで十分に保守的な評価となると考えられるものの、想定外を無くす観点から、より安全側となるよう次のとおり断層パラメータを変更する。

① 地震規模増加：豊予海峡断層を佐田岬西端まで延伸

② すべり量増加：地震規模を一定とした上で、大分県設定値の剛性率 3.5×10^{10} (N/m²) から 3.3×10^{10} (N/m²) に変更

大分県(2013)

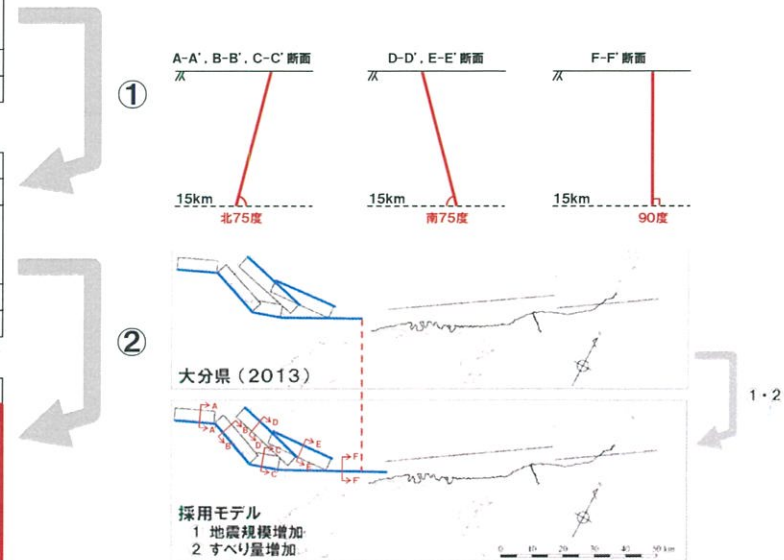
断層名	剛性率 (N/m ²)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	MW	M0 (Nm)	すべり量 (cm)
豊予海峡	3.5E+10	90	150	26.2	15.0000	7.16	6.88E+19	500.0
別府地溝南縁		75	-90	9.5	15.5300	7.15	6.67E+19	314.0
		75	-90	12.8				
別府湾断層帯		75	-90	22.5	15.5300	7.29	7.34E+19	600.0
		75	-90	20.5	15.5300			

① 地震規模増加 豊予海峡断層を佐田岬西端まで延伸

断層名	剛性率 (N/m ²)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	MW	M0 (Nm)	すべり量 (cm)
豊予海峡	3.5E+10	90	150	34.7	15.0000	7.24	9.11E+19	500.0
別府地溝南縁		75	-90	9.5	15.5300	7.15	6.67E+19	314.0
		75	-90	12.8				
別府湾断層帯		75	-90	22.5	15.5300	7.29	7.34E+19	600.0
		75	-90	20.5	15.5300			

② すべり量増加 地震規模を一定とした上で、大分県設定値の剛性率 3.5×10^{10} (N/m²) から 3.3×10^{10} (N/m²) に変更

断層名	剛性率 (N/m ²)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	MW	M0 (Nm)	すべり量 (cm)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.0000	7.24	9.11E+19	530.0
別府地溝南縁		75	-90	9.5	15.5300	7.15	6.67E+19	333.0
		75	-90	12.8				
別府湾断層帯		75	-90	22.5	15.5300	7.29	7.34E+19	637.0
		75	-90	20.5	15.5300			

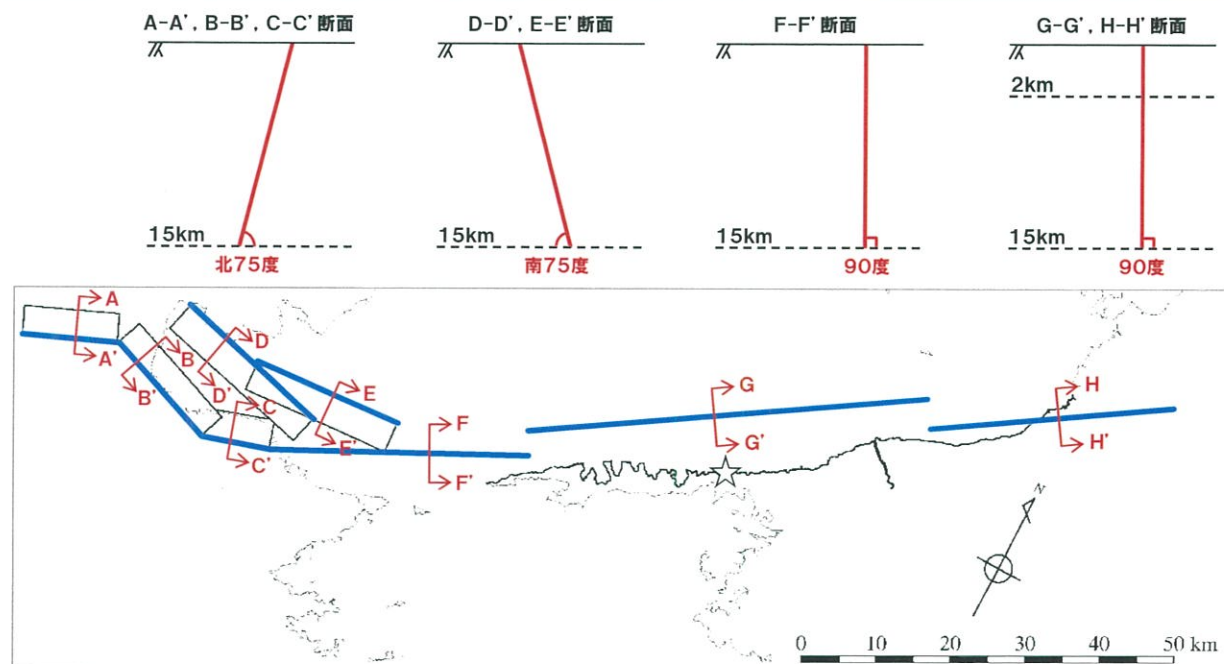


波源の基準断層モデル(全体)

○以上を踏まえ、基準断層モデルを以下のとおり設定する。

※ 剛性率については、伊方発電所付近は岩石密度が特に高く極めて堅硬な塩基性片岩が分布することから、地震調査研究推進本部(2011)が採用している中央構造線断層帯の剛性率 $3\sim 4 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ の中で上限に近い値に設定することが合理的であるものの、深部ボーリング調査(深度2km以浅)で確認した結晶片岩の中で相対的に密度が小さい泥質片岩(最頻値 2.75g/cm^3)が仮に地震発生層(深度2~15km)において密度 2.7g/cm^3 で連続するとした場合を想定すると、剛性率は $3.3 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ となることから、保守側にすべり量が大きくなるよう、この値を剛性率に設定した。

断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	3.3E+10	90	180	87	15.0	7.61	3.27E+20	7.59
断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府地溝南縁	3.3E+10	北75	-90	9.5	15.53	7.15	6.67E+19	3.33
		北75	-90	16.8				
		北75	-90	12.8				
別府湾断層帯	3.3E+10	南75	-90	22.5	15.53	7.29	7.34E+19	6.37
		南75	-90	20.5	15.53		3.34E+19	3.18



3. 1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

3. 1. 1 対象津波の選定

3. 1. 2 南海トラフの巨大地震に伴う津波

3. 1. 3 南海トラフから南西諸島までの領域を対象とした津波

3. 2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

3. 2. 1 波源の基準断層のモデルの設定

(1) 地震規模設定方法

(2) 波源の基準断層モデル

3. 2. 2 概略及び詳細パラメータスタディ

概略パラメータスタディ

○別府湾に想定される海域活断層は、前述のとおり大分県(2013)の断層パラメータを基に、より安全側となるよう地震規模及びすべり量を変更した。敷地前面海域の断層群及び伊予セグメントは、**基準断層モデルに対して断層傾斜角及びすべり角を±10度変化させる。**

赤字: 基準断層モデル

断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	3.3E+10	北80	170	87	15.2	7.61	3.27E+20	7.49
		90	180	87	15.0	7.61	3.27E+20	7.59
		南80	190	87	15.2	7.61	3.27E+20	7.49
断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府地溝南縁	3.3E+10	北75	-90	9.5	15.53	7.15	6.67E+19	3.33
		北75	-90	16.8				
		北75	-90	12.8				
別府湾断層帯	3.3E+10	南75	-90	22.5	15.53	7.29	7.34E+19	6.37
		南75	-90	20.5			3.34E+19	3.18

