

浜岡原子力発電所4号機 に係る津波対策について

平成26年9月11日

中部電力株式会社

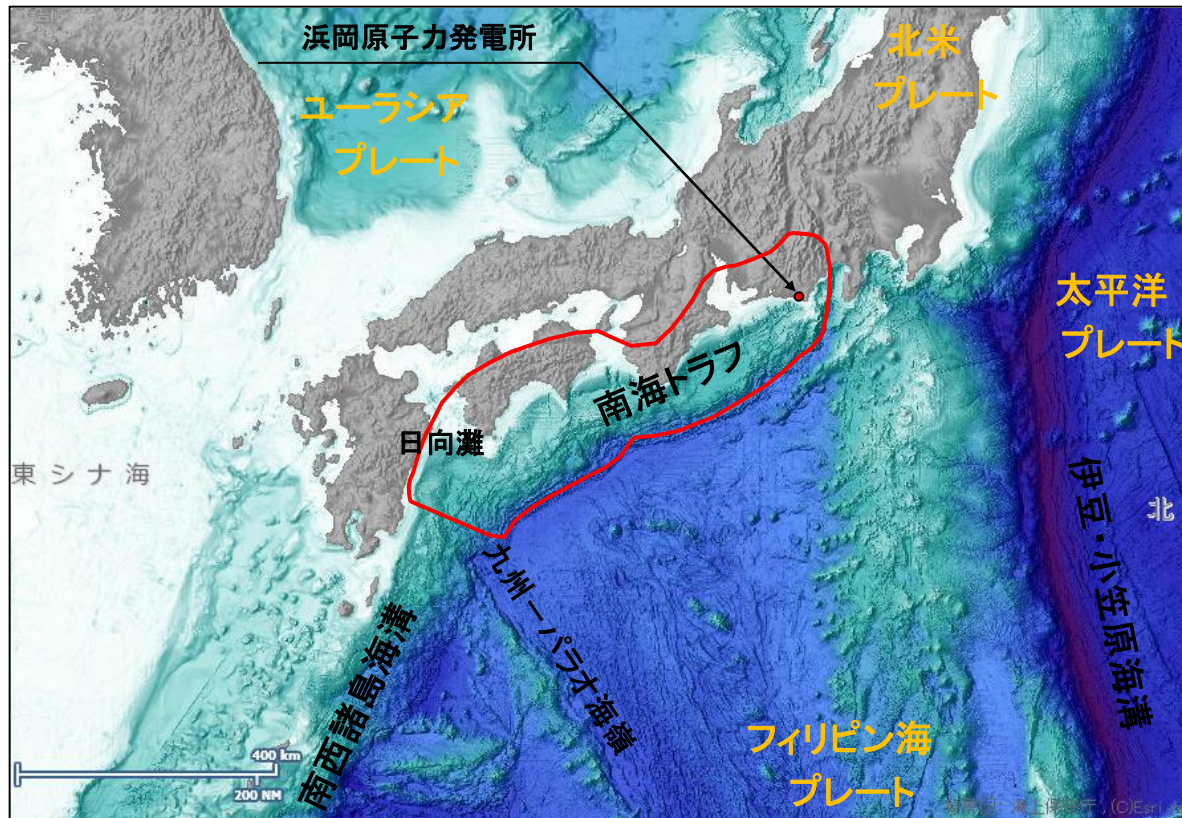
1. 津波	2
1.1 敷地に関わる津波発生要因	3
1.2 基準津波の策定の概要	4
1.3 津波痕跡に関する調査	5
1.4 プレート間地震に関する検討	8
1.5 海洋プレート内地震に関する検討	25
1.6 海域の活断層による地殻内地震に関する検討	27
1.7 地すべりに関する検討	29
1.8 基準津波の策定	31
2. 津波対策	33
2.1 基準津波に対する対策	34
2.2 基準津波を超える津波に対する対策	42
3. 津波監視システム	49
4. まとめ	56

1. 津波

- 1.1 敷地に関わる津波発生要因
- 1.2 基準津波の策定の概要
- 1.3 津波痕跡に関する調査
- 1.4 プレート間地震に関する検討
- 1.5 海洋プレート内地震に関する検討
- 1.6 海域の活断層による地殻内地震に関する検討
- 1.7 地すべりに関する検討
- 1.8 基準津波の策定

1.1 敷地に関わる津波発生要因

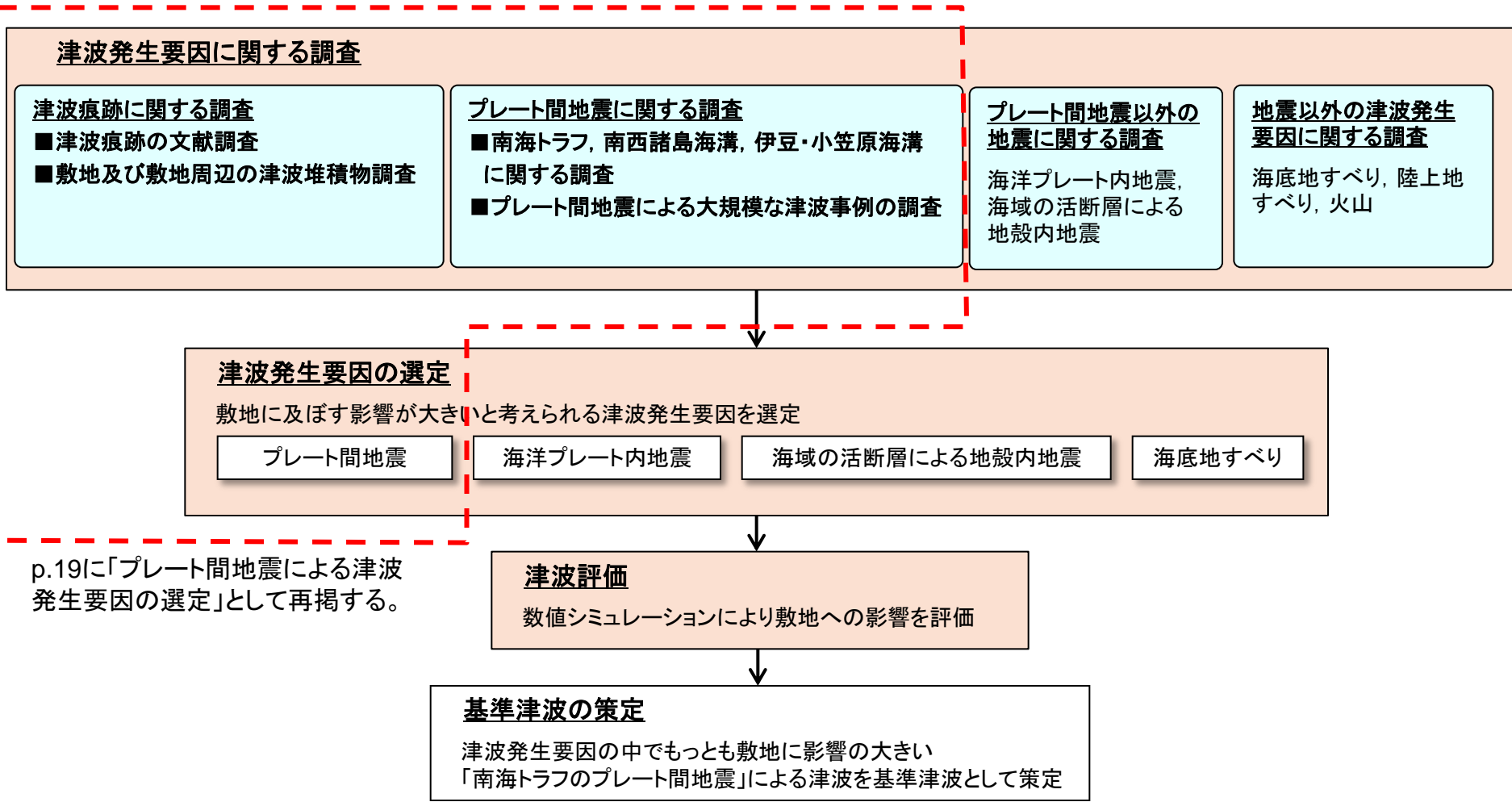
- 敷地の周辺では、南海トラフがフィリピン海プレートとユーラシアプレートとが接する境界に形成されている。南海トラフの南西側には南西諸島海溝がある。また、伊豆・小笠原海溝が太平洋プレートとフィリピン海プレートとが接する境界に形成されている。
- 南海トラフでは、M8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しており、敷地に関わる津波発生要因としてプレート間地震が挙げられる。また、プレート間地震以外の津波発生要因として海洋プレート内地震、海域の活断層による地殻内地震、地すべりや火山現象が挙げられる。



(海上保安庁「海洋台帳」を基に作成)

※地震調査委員会(2013)における南海トラフの最大クラスの地震の震源域を赤線で図示

1.2 基準津波の策定の概要



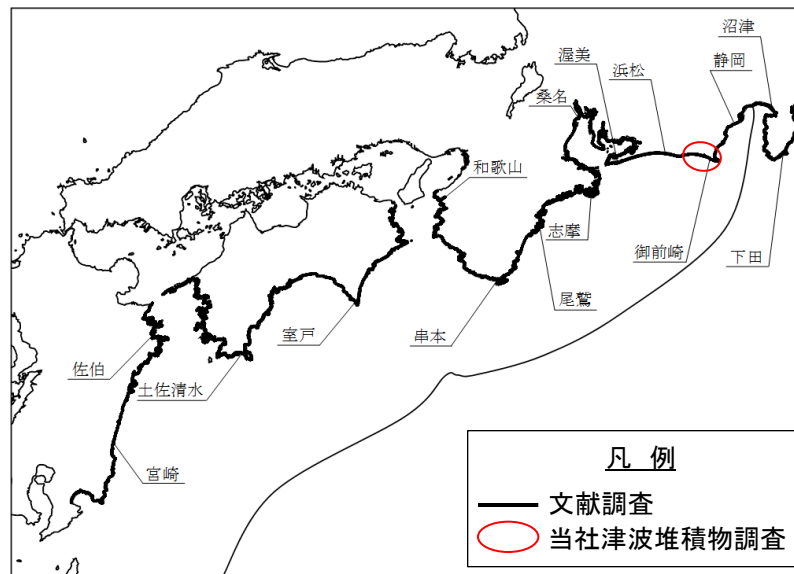
p.19に「プレート間地震による津波発生要因の選定」として再掲する。

1.3 津波痕跡に関する調査

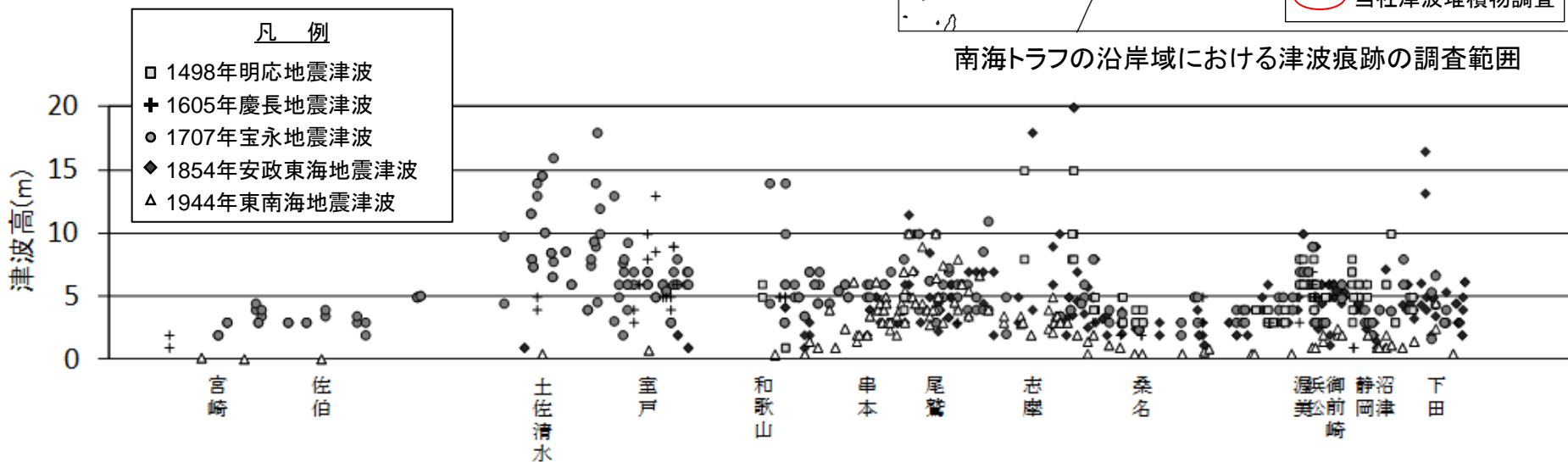
■ 既往津波による敷地への影響を把握するため、南海トラフの沿岸域における津波痕跡について文献調査を実施。

- 歴史記録に基づく津波痕跡に関する文献：
羽鳥(1980), 静岡県(1986)等
- 津波堆積物に関する文献：
岡村・松岡(2012), 藤原(2013), 宍倉(2013)等

■ また、敷地及び敷地周辺において津波堆積物調査を実施。



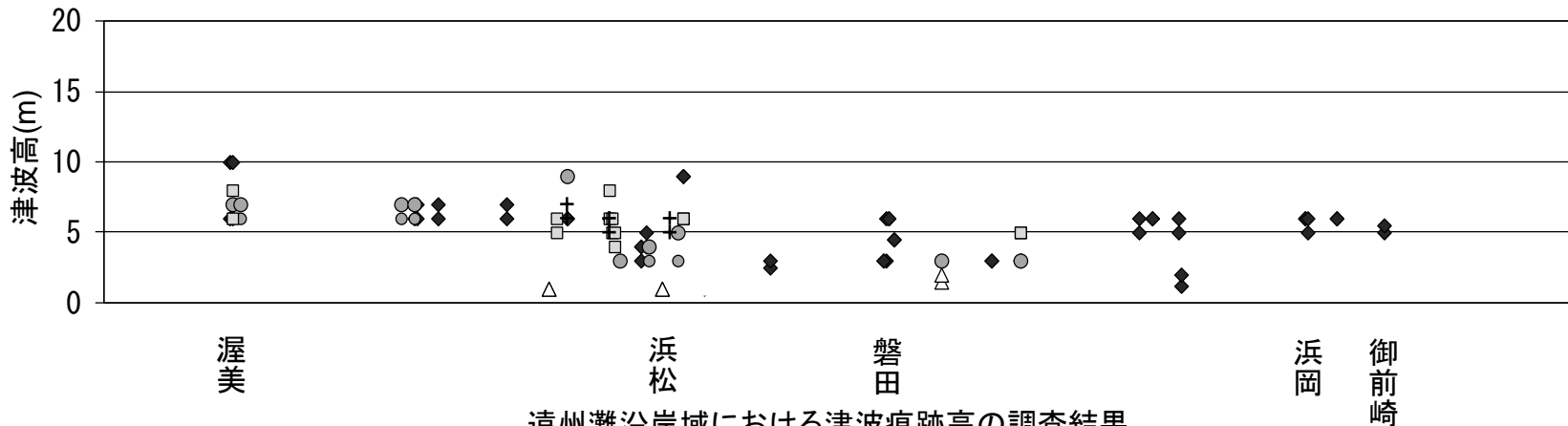
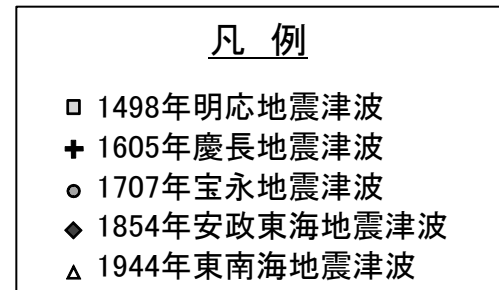
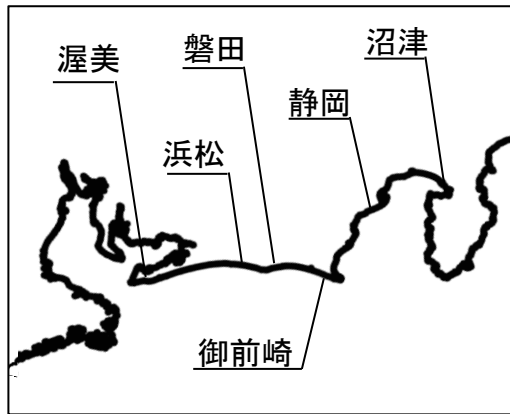
南海トラフの沿岸域における津波痕跡の調査範囲



南海トラフの沿岸域における津波痕跡高の調査結果

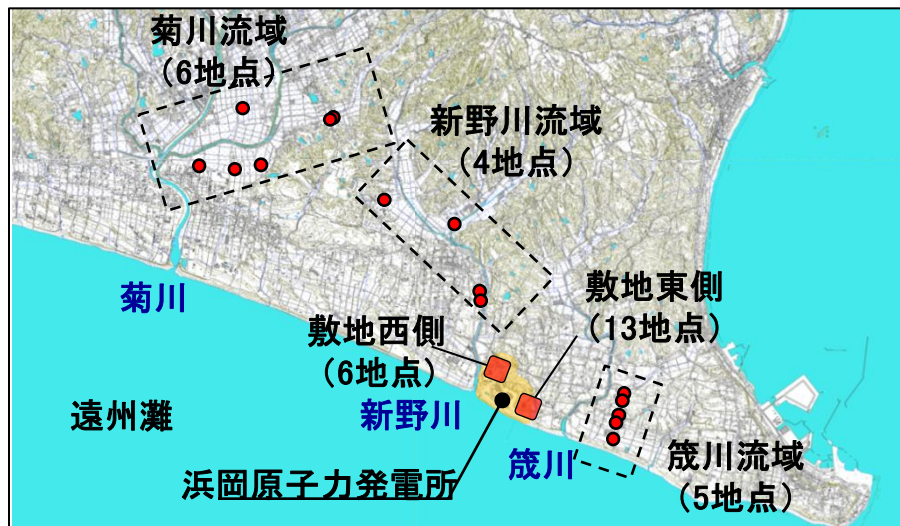
遠州灘沿岸域における津波痕跡

- 敷地が位置する遠州灘沿岸域における津波痕跡高は、概ね5～10m程度であり、1498年明応地震、1707年宝永地震及び1854年安政東海地震によるものが大きく、これらの津波については津波堆積物が発見されている。
- 敷地付近の津波痕跡高は、1854年安政東海地震の御前崎市佐倉(旧浜岡町)における6mである。
- 藤原(2013)は津波堆積物調査を実施し、遠州灘沿岸域の浜松平野や太田川低地では過去約4,000年間について海岸砂丘などの浜堤列を越えるような巨大な津波を示唆する痕跡は確認されないとしている。



敷地及び敷地周辺の津波堆積物調査

- 敷地及び敷地周辺の津波堆積物調査として、敷地の東側及び西側、箴川流域、新野川流域、菊川流域において沖積低地の泥層を対象にボーリング調査を実施。
- 津波起因の可能性が否定できない堆積物(以下「イベント堆積物」という。)を検討した結果、堆積当時の海面高さや海岸線などの地形も踏まえると、歴史津波に示された既往津波より規模が大きな津波を示唆する痕跡は確認されなかった。



敷地及び敷地周辺の津波堆積物調査の調査地点

敷地及び敷地周辺の津波堆積物調査の結果

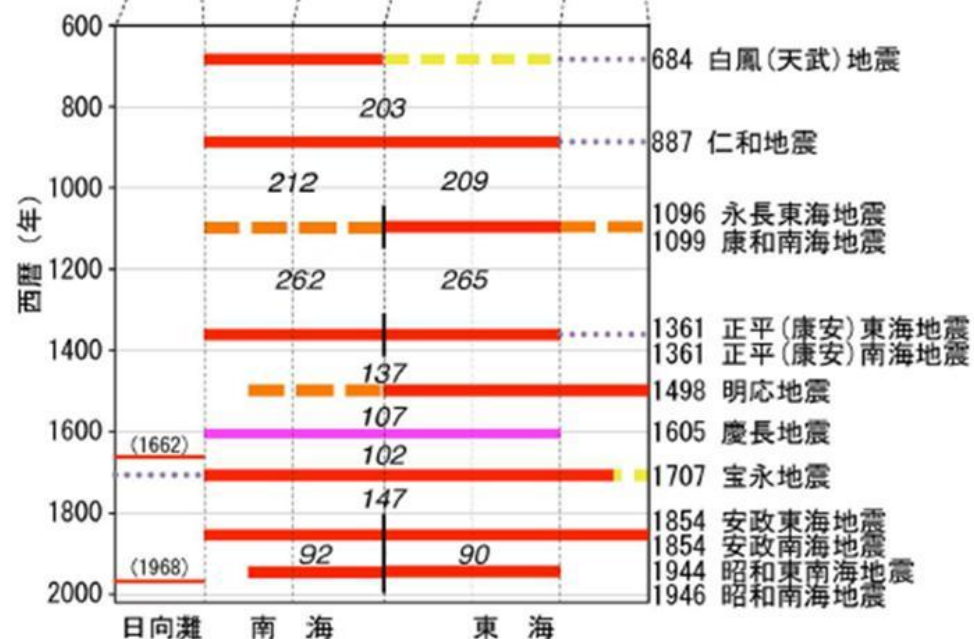
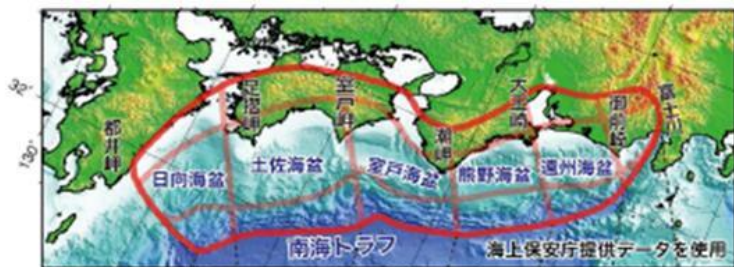
	イベント堆積物の有無		イベント堆積物の年代	イベント堆積物の標高 ()内は現在の標高
	地形が現在と概ね同じ時代	地形が現在と異なる時代		
敷地東側	無	有	約6,000年前	約0~8m ^{※1} (約5~13m)
敷地西側	無	有	約6,000年前	約1~5m ^{※1} (約6~10m)
箴川流域	無	無	—	—
新野川流域	無	無	—	—
菊川流域	有		約2,000年前以降	約3~4m未満 ^{※2} (約3~4m)
	無	有	約3,000年前以前	約1~3m未満 ^{※2} (約1~3m)

※1 約6千年前(縄文海進期)の標高(現在の標高より5m程度低いと推定, 杉山ほか(1988))を考慮

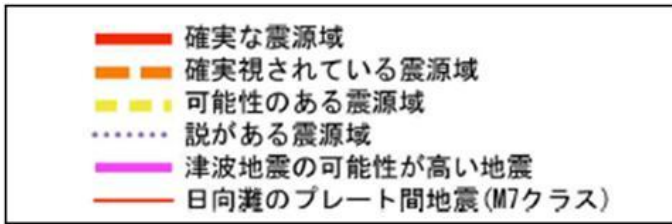
※2 縄文海進期以降の標高(現在の標高より低いと推定, 杉山ほか(1988))を考慮

歴史記録に基づく過去の地震の調査

- 南海トラフでは歴史記録に基づき過去約1,400年間について地震発生履歴が調査されている。
- 南海トラフでは100～200年の間隔で大地震が繰り返し発生している。



- 白鳳(天武)地震(684年)以降の地震を示している。
- 図中イタリック体で表した数字は、地震の発生間隔(年)を示す。
- 震源域は地形の境界(都井岬, 足摺岬, 室戸岬, 潮岬, 大王崎, 御前崎, 富士川)で東西方向に区切っている。
- 黒の縦棒は、南海と東海の地震が時間差(数年以内)をおいて発生したことを示す。

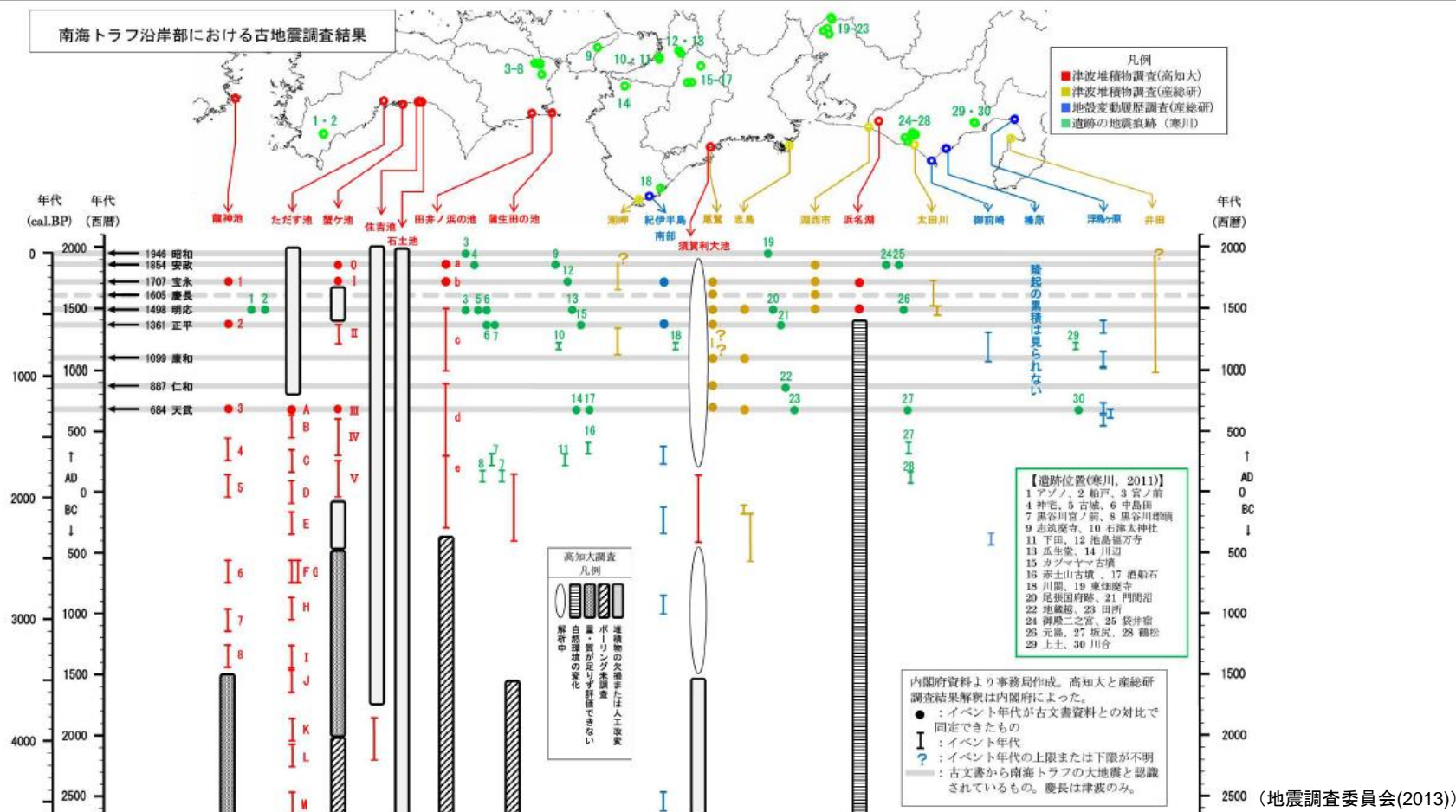


(地震調査委員会(2013))

歴史記録による南海トラフの過去の地震

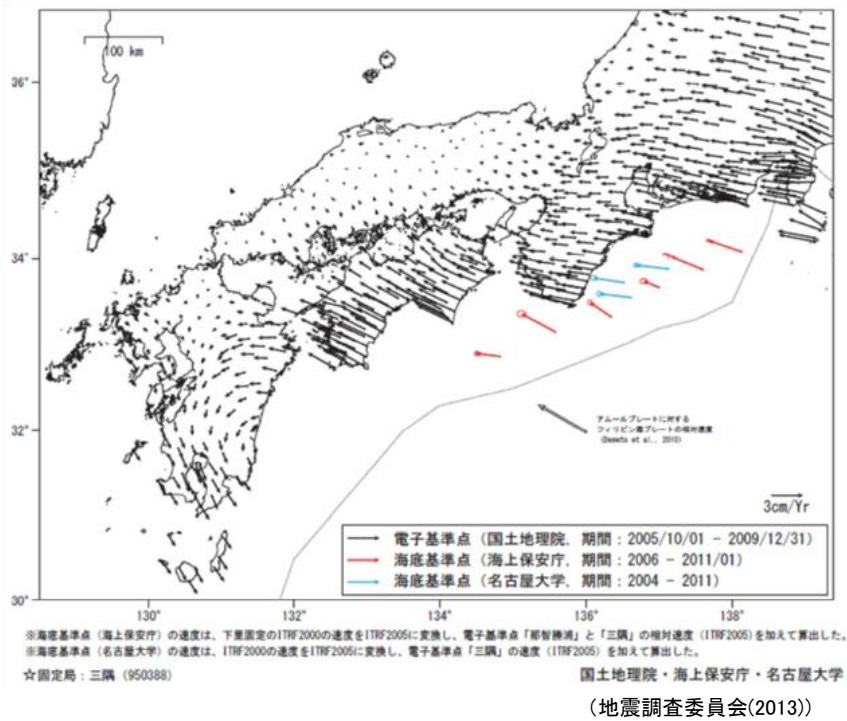
津波堆積物調査に基づく過去の地震の調査

- 南海トラフ沿岸部における津波堆積物調査では、複数の地域で歴史記録に示された既往津波によるものを含む約5,000年前以降の津波堆積物が発見されており、歴史記録から知られるものも含めて、津波が繰り返し発生していることが確認されている。
- 南海トラフでは、M8クラスの大地震が100～200年で繰り返し発生しているうち、痕跡として残る規模の津波(1707年宝永地震クラスの津波)が300～600年間隔で発生しているとされている。(地震調査委員会(2013))

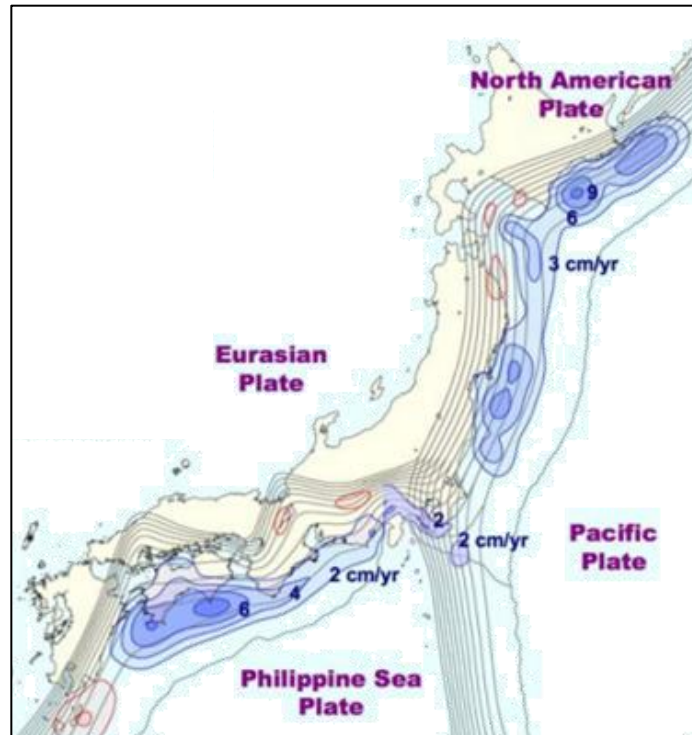


地殻変動観測結果

- 南海トラフ周辺の陸域の地殻変動観測結果によると、駿河湾から四国、大分県にかけての領域の変位は、沈み込むプレートの進行方向と同じである。一方、宮崎県より南西の領域の変位は、沈み込むプレートの進行方向と異なっている。(地震調査委員会(2013))
- 地殻変動観測結果を用いて推定された日本列島周辺のプレート境界のすべり遅れ分布 (Hashimoto et al.(2010))からは、駿河湾から日向灘にかけての領域ですべり遅れが確認され、日向灘より南西の領域ではすべり遅れが確認されない。



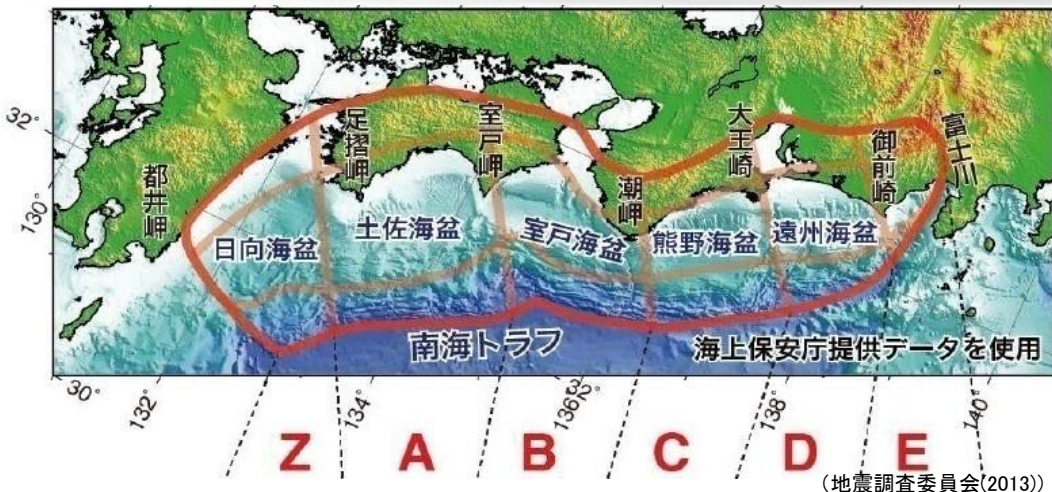
南海トラフ周辺の陸域及び海底の地殻変動観測結果



※ GPSデータから推定した日本列島周辺のプレート境界面上のすべり遅れ速度の分布
 ※ 青のコンターはすべり遅れ, 赤のコンターはすべり過剰, コンター間隔は2cm/年
 (Hashimoto et al.(2010)を基に作成)

日本列島周辺のプレート境界のすべり遅れ分布

地震調査委員会による想定震源域及び地震規模



地震調査委員会(2013)による想定震源域

■地震調査委員会(2013)は、南海トラフの地震活動の長期評価について、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ、最大クラスも含めた地震の多様性を考慮して評価を見直している。

■上図に示す領域全体がすべることで発生する地震が、南海トラフの「最大クラスの地震」であり、この「最大クラスの地震」の震源域は、過去の地震、フィリピン海プレートの構造、海底地形等に関する特徴など、現在の科学的知見に基づいて推定したものとしている。

■「最大クラスの地震」が起きた証拠は見つかっておらず、その発生確率の定量的な評価は困難であるが、南海トラフで起きるM8クラスの大地震の発生間隔が100～200年、宝永地震クラスの巨大地震の発生間隔が300～600年と推定されているのに対して、「最大クラスの地震」の発生間隔はこれらより一桁以上長いと考えられている。

(地震調査委員会(2013))

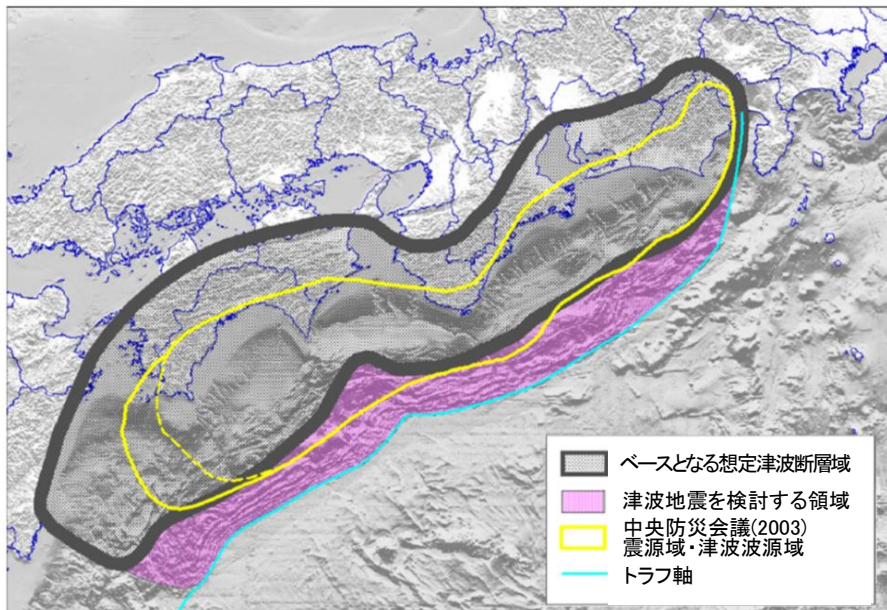
地震調査委員会(2013)による想定震源域及びその地震規模

	深さ	推定破壊域						スケールリング則から推定されるMr
		Z	A	B	C	D	E	
東海・南海地域が連動するパターン	浅部							8.8
	中部							
	深部							
	浅部							9.0 ^{*1}
	中部							
	深部							
	浅部							9.0
	中部							
	深部							
	浅部							9.1 ^{*2}
	中部							
	深部							
	浅部							8.7
	中部							
	深部							
	浅部							8.9
	中部							
	深部							
浅部							8.8	
中部								
深部								
浅部							9.0	
中部								
深部								
浅部							8.7	
中部								
深部								
浅部							8.9	
中部								
深部								
浅部							8.4	
中部								
深部								
東海・南海地域の2地震が時間差を置いて発生するパターン	浅部							8.7, 8.3
	中部							
	深部							
	浅部							8.5, 8.3
	中部							
	深部							
浅部							8.7, 8.2	
中部								
深部								
浅部							8.5, 8.2	
中部								
深部								

(地震調査委員会(2013))

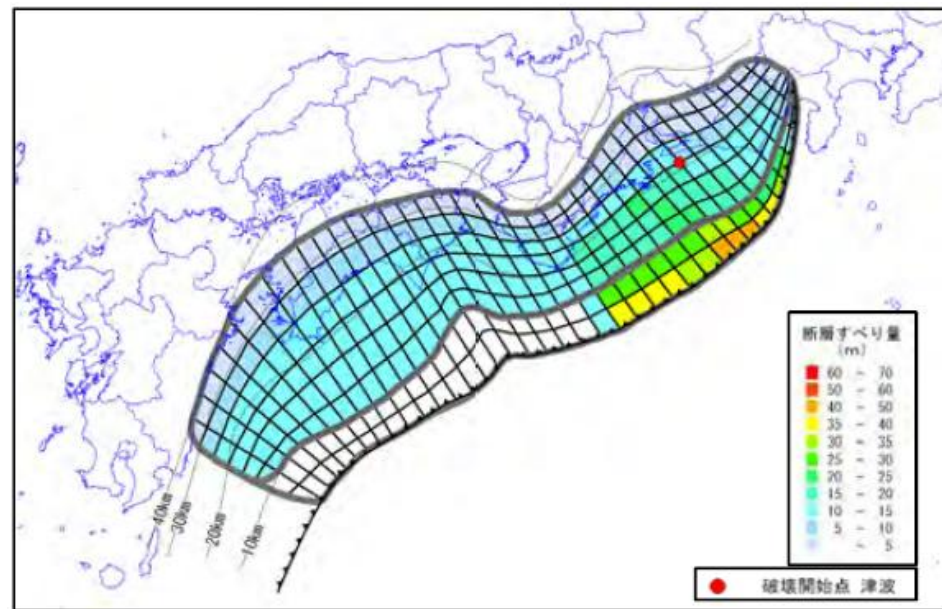
*1:内閣府(2011) 強震動計算モデル
*2:内閣府(2011) 津波計算モデル

- 内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」は、あらゆる可能性を考慮した巨大な地震・津波の想定を行っており、最大クラスの津波断層モデルを設定し、それをを用いて津波高・浸水域等を推計している。
- 津波断層モデルは、2011年東北地方太平洋沖地震、2010年チリ地震、2004年スマトラ沖地震といった世界の巨大な地震の解析事例の分析結果に基づき設定されており、大すべり域及び超大すべり域が配置されている。 (内閣府(2012))



(内閣府(2011)を基に作成)

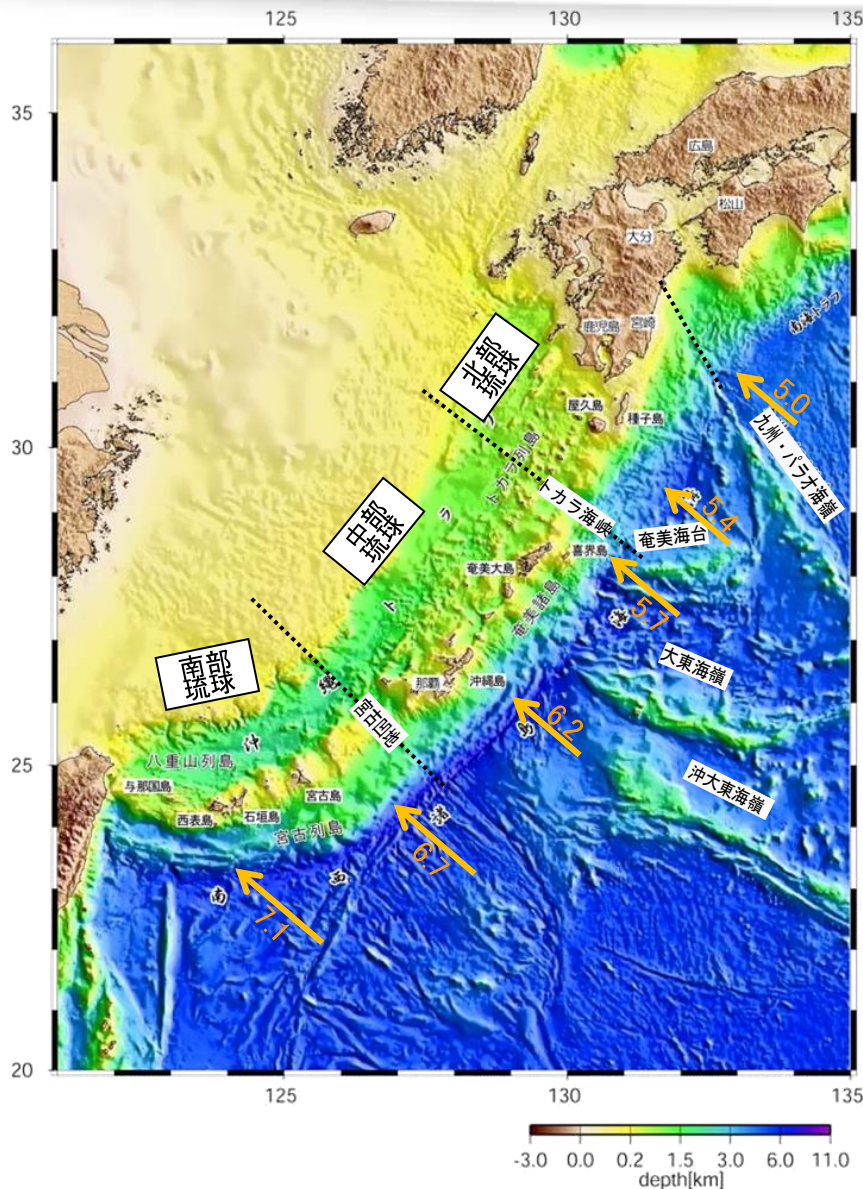
「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による
南海トラフで想定される最大クラスの津波断層域



(内閣府(2012))

「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による津波断層モデル
(ケース①「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり域」を設定)

南西諸島海溝の特徴



- 南西諸島海溝は、フィリピン海プレートの西端部がユーラシアプレートに沈み込んでいる九州南部から台湾に至る海溝。
- 北西側には、活動的な背弧海盆である沖縄トラフがある。
- 海底地形は、南部琉球側では比較的起伏に乏しいフィリピン海盆が広がるのに対し、北部琉球側では起伏に富んだ海底の高まりが存在する。また、トカラ海峡と宮古凹地を境界として海溝軸方向に3つの地質構造区分(北部琉球, 中部琉球, 南部琉球)が示されている。(荒井ほか(2013), 横瀬ほか(2010), 小西(1965)等)
- フィリピン海プレートの沈み込速度は5.0~7.1cm/年程度。(Seno et al.(1993))

凡例

←

フィリピン海プレート
の沈み込み速度
(cm/年)

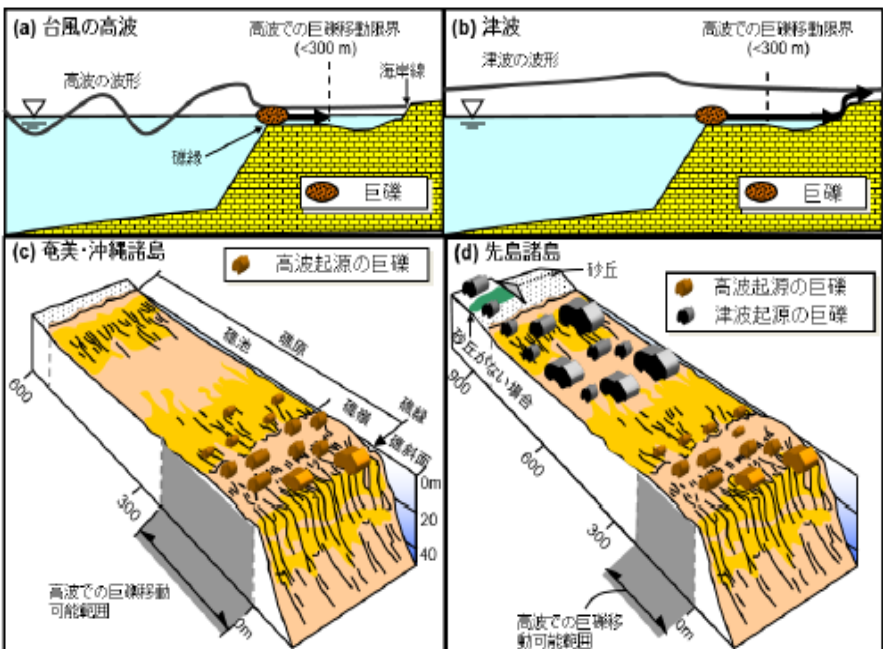
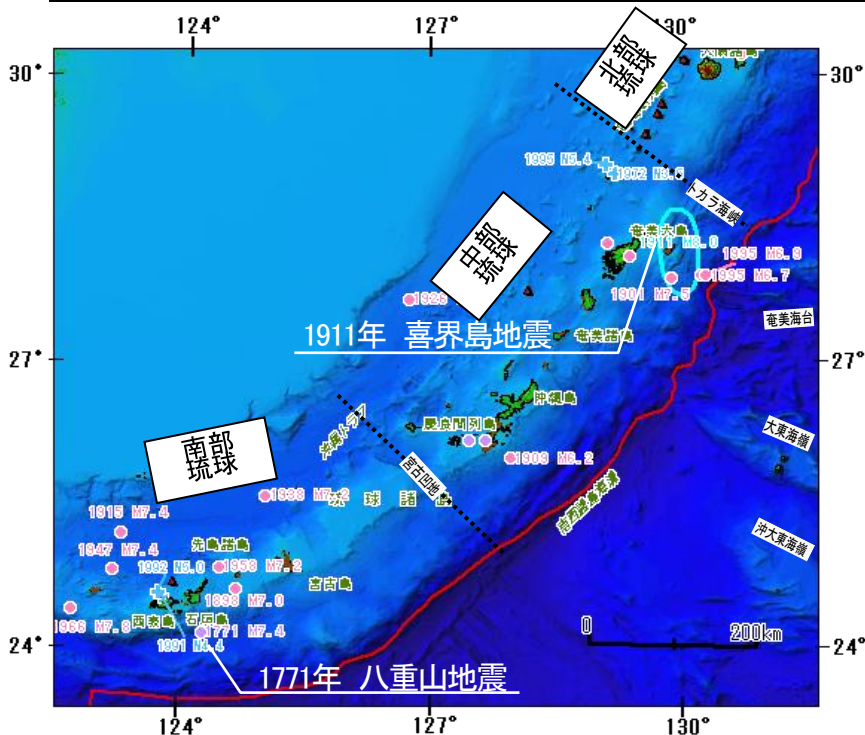
(地震調査委員会(2004), Seno et al.(1993)を基に作成)

南西諸島海溝周辺の海底地形

過去の地震の調査

■津波を伴った大地震は、北部琉球では記録がなく、中部琉球では1911年奄美大島近海の地震、南部琉球では1771年八重山地震等がある。(地震調査委員会(2009))

■また、津波石の調査により、南部琉球では大きな津波が繰り返し到来した形跡が約2,400年前まで確認されているが、中部琉球では大きな津波が到来した形跡が確認されない。(Araoka et al.(2013), 後藤・島袋(2012) 等)。



中部琉球 南部琉球 (後藤(2012)を基に作成)

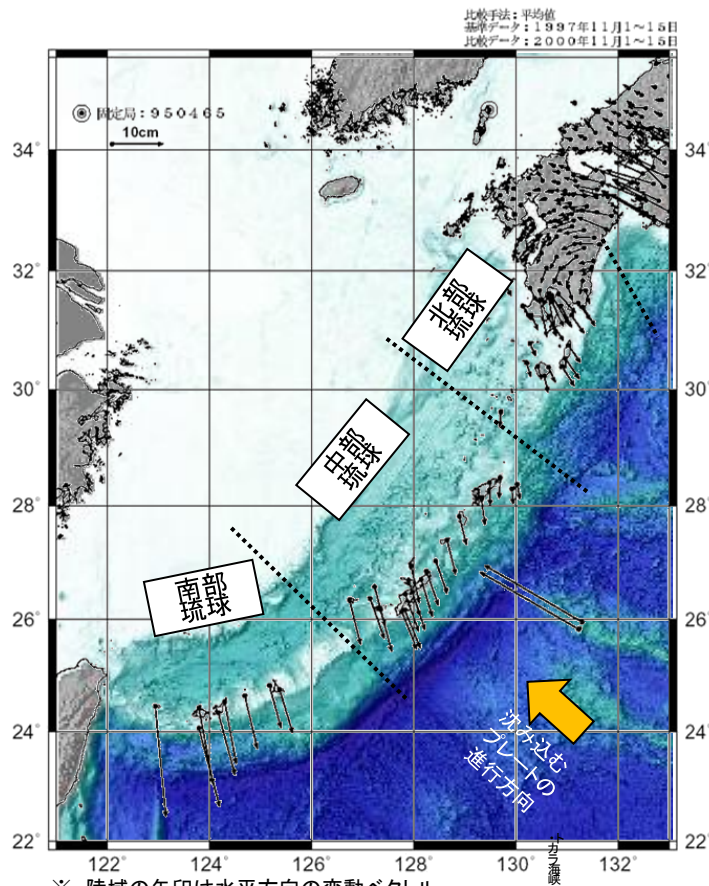
南西諸島海溝周辺の海底地形 (地震調査委員会(2004)を基に作成)

津波および台風の高波により運ばれた巨礫の分布の特徴の違い

- ・先島諸島では、津波石を動かす規模の津波が約150~400年間隔で繰り返し発生していたことが、少なくとも過去2,400年まで確認される。(Araoka et al.(2013))
- ・各島で合計5000個以上の岩塊を調査した結果、津波石と特定できる岩塊は先島諸島にしか存在せず、奄美、沖縄諸島のリーフ上の岩塊は、いずれも台風の高波による打ち上げで説明できる。(後藤・島袋(2012))
- ・奄美諸島、沖縄諸島では、先島諸島で発生する規模の大津波は、少なくとも過去2,300年間は来襲した痕跡がない。つまり、奄美諸島から先島諸島まで琉球列島全域に影響を及ぼしうる巨大津波は、少なくとも過去2,300年間は発生した形跡がない。(Goto et al.(2013))

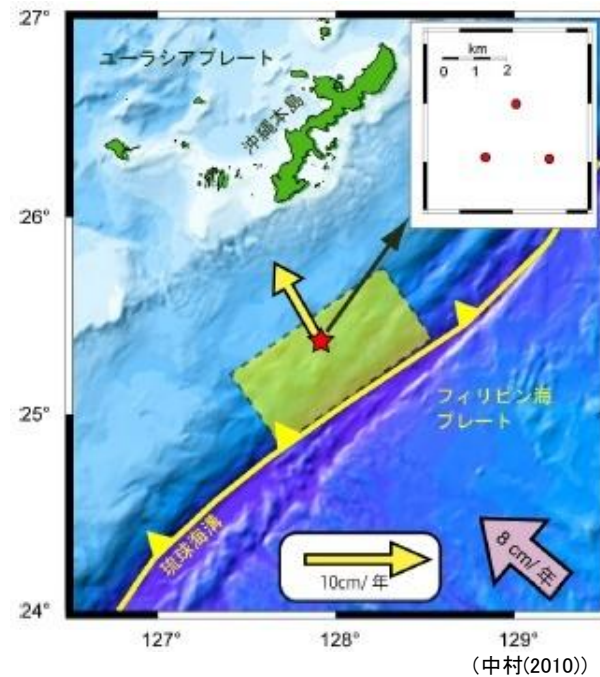
地殻変動観測結果

- 南西諸島周辺の陸域の地殻変動観測結果によると、南西諸島は沈み込むプレートの進行方向と逆の南東方向に移動している。(地震調査委員会(2004))
- 沖縄本島沖の海溝付近では、海底地殻変動観測により上盤側のプレートが沈み込むプレートの進行方向と同じ北西方向に移動している結果が得られている。(中村(2010))



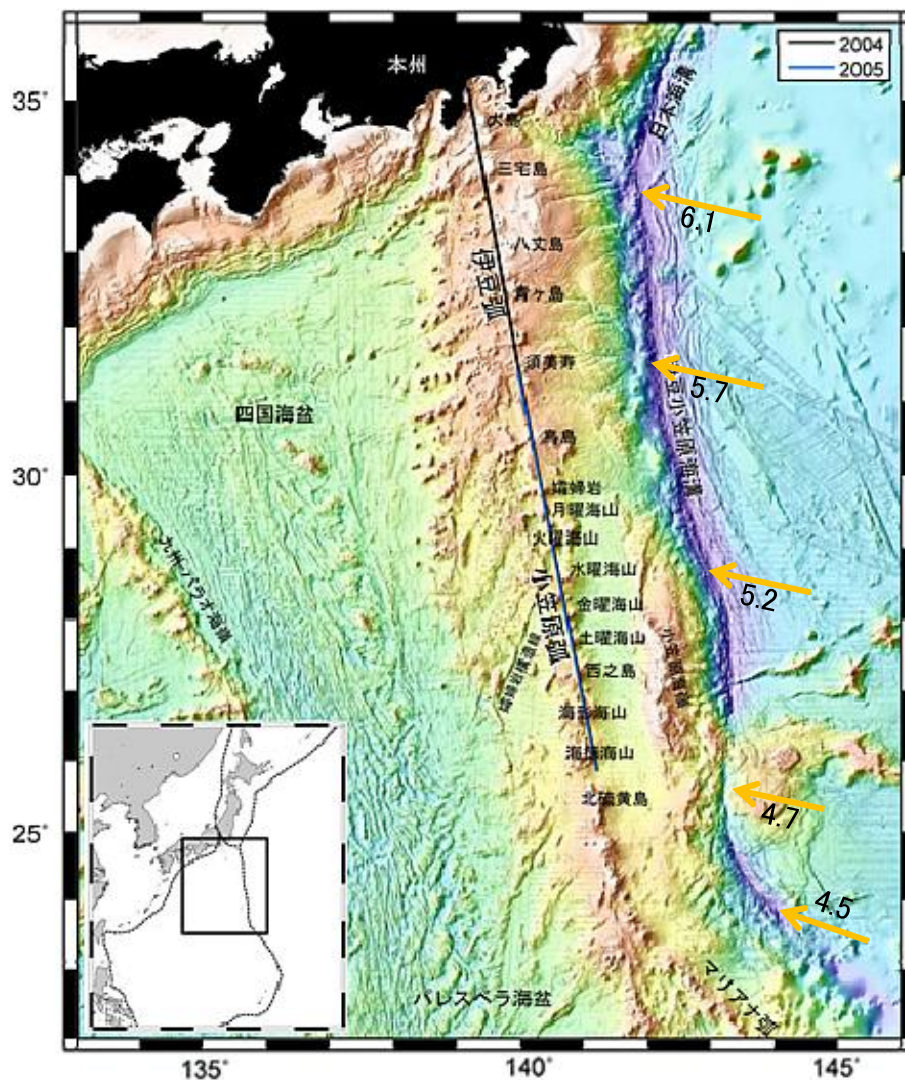
※ 陸域の矢印は水平方向の変動ベクトル
(地震調査委員会(2004)を基に作成)

南西諸島周辺の陸域地殻変動観測結果



沖縄本島沖の海溝付近の海底地殻変動観測結果


伊豆・小笠原海溝の特徴及び過去の地震の調査



(JAMSTEC(2007), Seno et al.(1993)を基に作成)

- 伊豆・小笠原海溝は、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込んでいる海溝。
- 太平洋プレートの沈み込み速度は4.5～6.1cm／年程度 (Seno et al.(1993))。
- 伊豆・小笠原海溝周辺で発生したプレート間地震には、1972年八丈島東方沖地震(M7.2)などがあるが、M8クラスの巨大地震の発生は知られていない。(地震調査委員会(2009))
- 津波については、1972年八丈島東方沖地震の際に発生した津波が本州太平洋沿岸で観測されており、敷地周辺の御前崎において最大波高は約0.5m(最大全振幅)である。(気象庁(1973))

凡例



太平洋プレートの沈み込み速度 (cm/年)

伊豆・小笠原海溝の海底地形

プレート間地震による大規模な津波事例の調査

- 世界の大規模な津波事例について、文献調査により過去の地震の調査等を実施。
- 世界のM9クラスの巨大地震が発生している場所では、津波堆積物調査等の過去数千年前まで遡った津波痕跡の調査により過去にも同様の巨大地震の発生が示唆されている。

地震名称	Mw	発生域	過去の地震の調査結果
1960年 チリ地震	9.5	チリ南部 バルディビア沖	<ul style="list-style-type: none"> ・歴史記録の調査により、1575年、1737年、1837年に巨大地震の発生が確認されている。このうち、1575年の地震が、最も広範囲での揺れと大きい津波、地殻の沈降を伴っており、1960年の地震に良く似ていたとされている。(Cisternasほか(2006)) ・津波堆積物の調査により、1960年の地震を含む合計8回分の地震・津波の痕跡が確認されており、最も古いイベントは、2,000年前頃であり、平均で約300年間隔の巨大地震の記録とされている。(Cisternasほか(2006))
1964年 アラスカ地震	9.2	アラスカ州沖	<ul style="list-style-type: none"> ・海岸段丘の調査により、約900年前と約1,500年前に、1964年の地震による隆起と同様の隆起をもたらした地震の発生が推定されている。(Shennan et al.(2009))
2004年 スマトラ島沖地震	9.1	スマトラ島沖 ～アンダマン諸島	<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物の調査等により、10世紀頃と15世紀頃に、2004年の地震と同様の震源域の巨大地震の発生が推定されている。(Rajendran (2013), 藤野(2013))
1952年 カムチャツカ地震	9.0	カムチャツカ半島沖	<ul style="list-style-type: none"> ・歴史記録の調査により、1737年に大津波の発生が確認されている。(Pinegina et al. (2003)) ・津波堆積物の調査により、約1kmの浸水距離を持つ5mより高い津波が過去3,000年間で1,000年あたり平均12回発生していること、10kmの浸水距離をもつ高さ約30mの津波が、約1,000年毎に1回発生していることが推定されている。(Pinegina et al.(2003))
2011年 東北地方 太平洋沖地震	9.0	岩手県沖 ～茨城県沖	<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物の調査により、過去2,500年間で4回の巨大津波による津波堆積物が確認されており、400～800年間隔で2011年の地震のような広い浸水域をもたらす巨大地震の発生が推定されている。(文部科学省研究開発局ほか(2010), 地震調査委員会(2011))

プレート間地震に関する津波発生要因の選定

津波発生要因に関する調査

津波痕跡に関する調査

- 津波痕跡の文献調査
- 敷地及び敷地周辺の津波堆積物調査

プレート間地震に関する調査

- 南海トラフ, 南西諸島海溝, 伊豆・小笠原海溝に関する調査
- プレート間地震による大規模な津波事例の調査

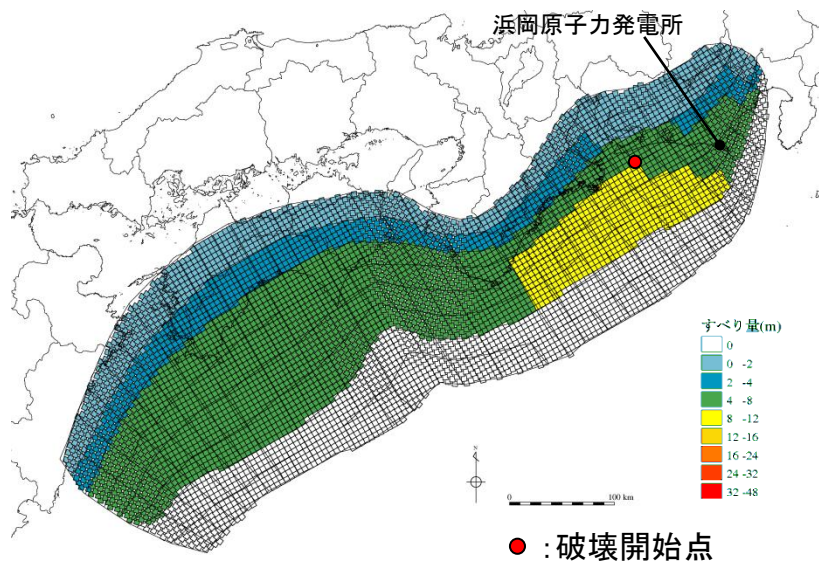


津波発生要因の選定

- 敷地に近く、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる、駿河湾から日向灘にかけての領域が津波波源となる「南海トラフのプレート間地震」を検討対象の津波発生要因として選定。
- 南海トラフから南西諸島海溝まで含めた領域を津波波源とするプレート間地震については、津波痕跡に関する調査、プレート間地震に関する調査の結果、南海トラフに加えて南西諸島海溝が津波波源となることによる敷地への影響は小さいと考えられることから、「南海トラフのプレート間地震」による津波評価により代表させる。

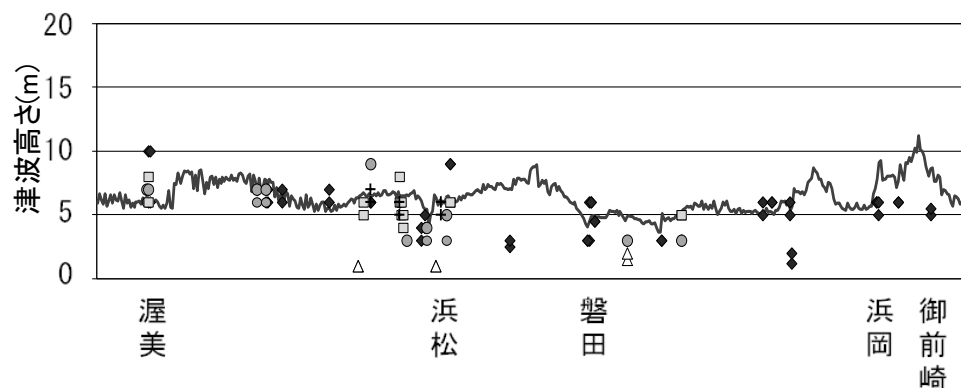
波源モデルの設定①

- 南海トラフの沿岸域では、巨大地震による津波痕跡高の情報が充実していることを踏まえ、既往津波の痕跡高を概ね再現する波源モデルを「基本ケース」として設定し、不確かさを考慮した津波評価を実施。
- 「基本ケース」の設定にあたっては、プレート境界浅部のすべりは考慮せず、深さ10km以深の主部断層のみにすべり量を設定し、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による検討結果を踏まえ、すべり分布の不均一性を考慮。



「基本ケース」の波源モデル

- 凡 例
- 「基本ケース」の津波評価結果
 - 1498年明応地震津波
 - + 1605年慶長地震津波
 - 1707年宝永地震津波
 - ◆ 1854年安政東海地震津波
 - △ 1944年東南海地震津波



「基本ケース」の津波評価結果と既往津波の痕跡高との比較

波源モデルの設定②

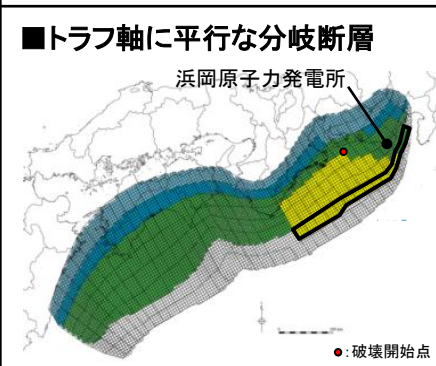
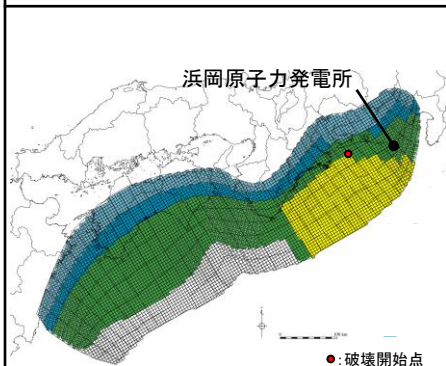
■不確かさの考慮について、南海トラフのプレート間地震の断層破壊形態は、深さ10km以深の主部断層のみが破壊するケースのほか、津波に及ぼす影響が大きい断層破壊形態として、深さ10km以浅の「プレート境界浅部にまで破壊が伝播するケース」及び「分岐断層に破壊が伝播するケース」があることから、これらのケースを考慮。また、「海底地すべりと組合せたケース」を考慮。更に、日本海溝で発生した2011年東北地方太平洋沖地震においてプレート境界浅部で大きなすべりが発生した事例を踏まえ、安全評価上、不確かさの考慮として「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース」を考慮。

プレート境界浅部に破壊が伝播するケース

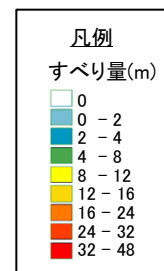
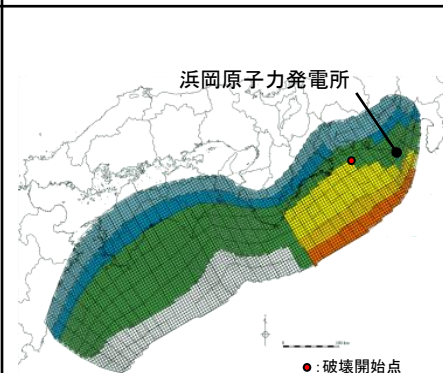
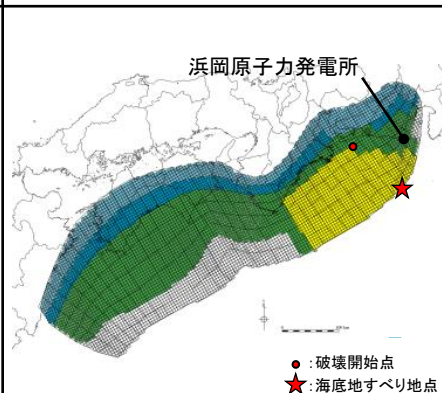
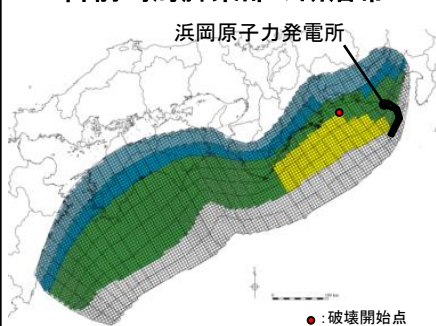
分岐断層に破壊が伝播するケース

海底地すべりと組み合わせたケース

プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース

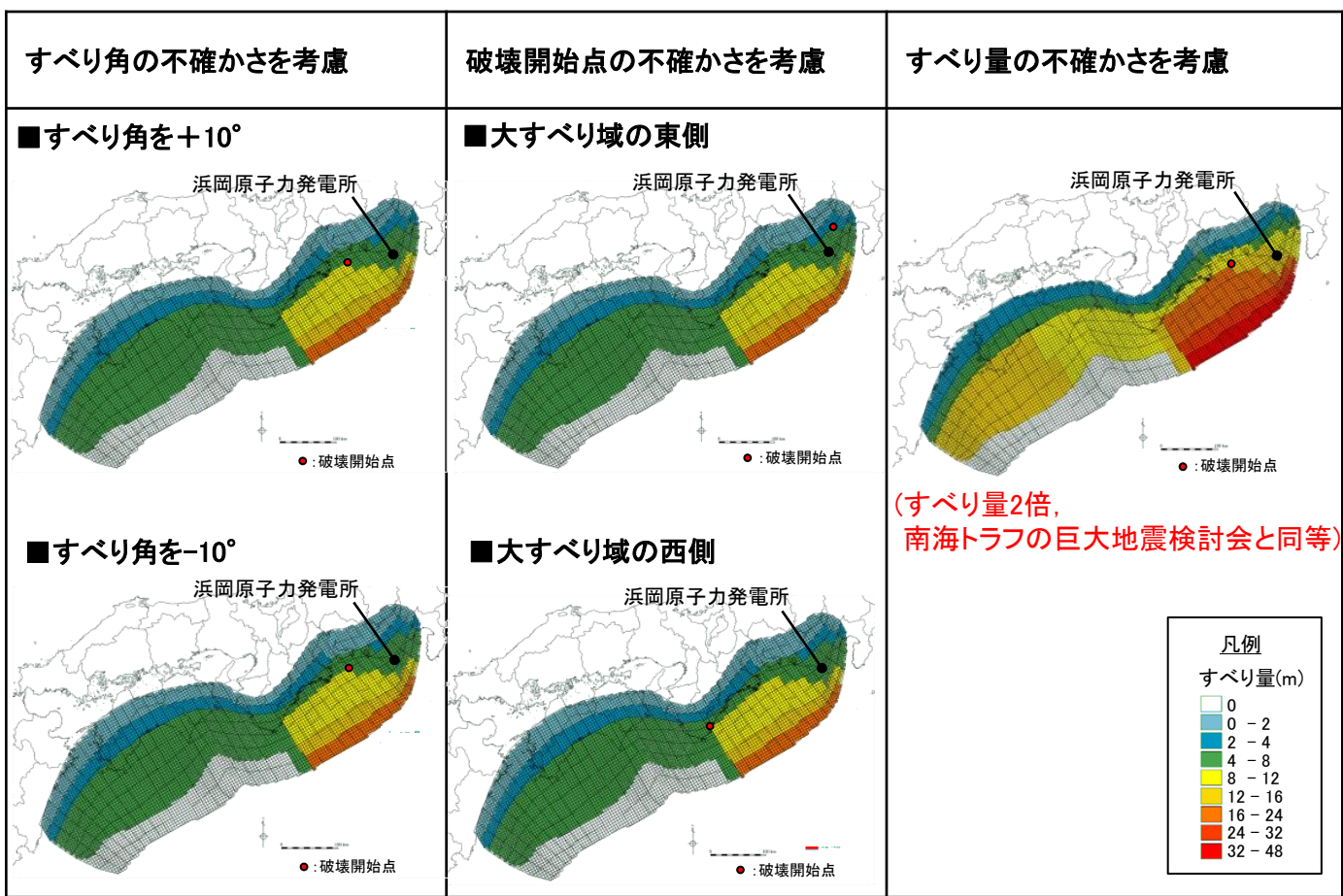


■御前崎海脚東部の断層帯



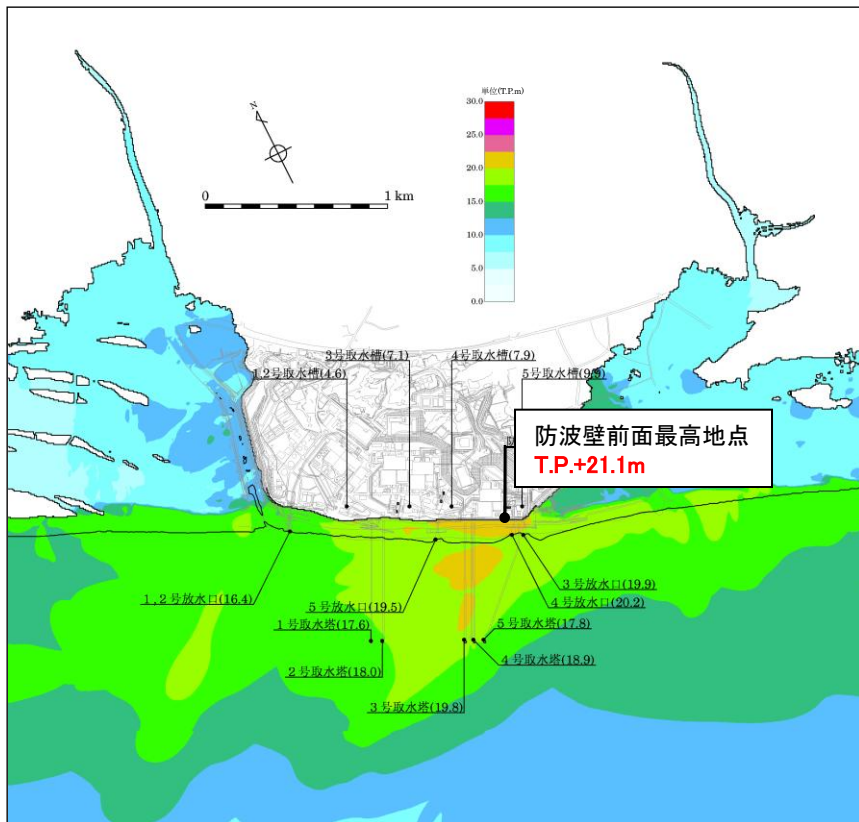
波源モデルの設定③

■更に、これらのケースのうち、敷地に最も大きな影響を与えると考えられる「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース」について、すべり角、破壊開始点、すべり量の不確かさを考慮。すべり量の不確かさは、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による津波断層モデルを踏まえ、「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース」の各小断層のすべり量を全て2倍にしたケースを考慮。このケースは、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による津波断層モデルと同等のモデルである。



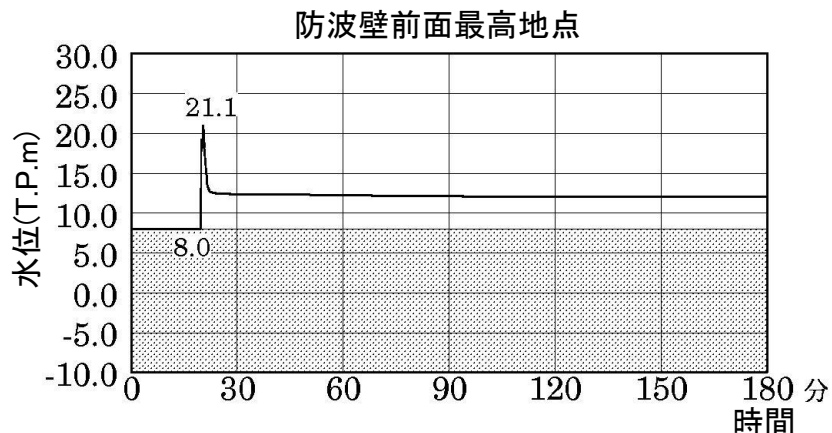
プレート間地震の津波評価結果①

■ 水位上昇側(朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮)の津波評価結果について、防波壁前面における最大上昇水位は、「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮)」におけるT.P.+21.1m。



※安全評価上、敷地の隆起を考慮せず

最大上昇水位分布



※網掛け部の上端は当該地点の標高

水位の時刻歴波形(水位上昇側)

取水槽の最大上昇水位

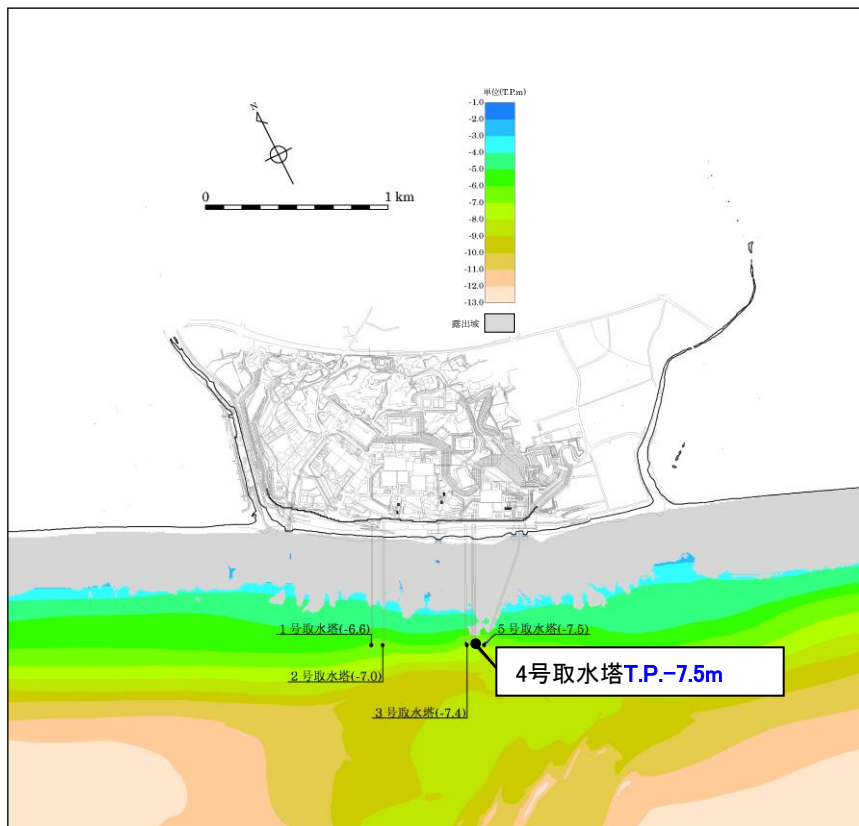
	最大上昇水位 (T.P.m)	溢水防止壁天端高 (T.P.m)
1,2号取水槽	4.6	※6.0
3号取水槽	7.1	10.0
4号取水槽	7.9	10.0
5号取水槽	9.9	12.0

※1,2号については、取水槽には溢水防止壁を設置せず、1,2号取水路の出口流路断面の縮小で対応することから、敷地高さを表示

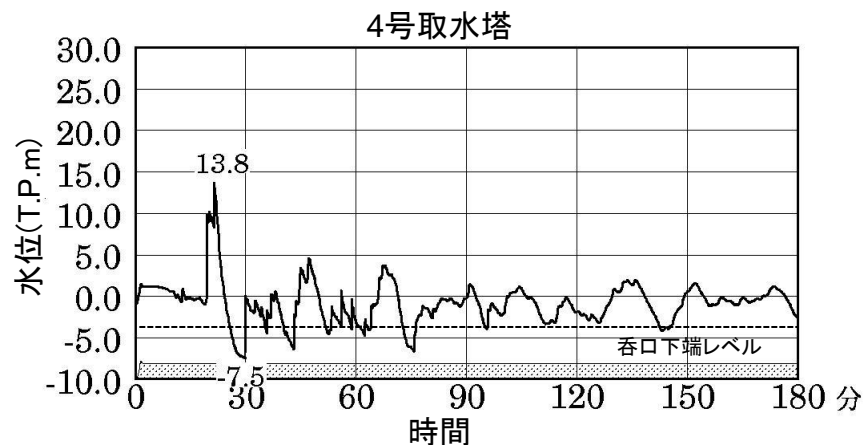
※朔望平均満潮位 T.P.+0.80mを考慮

最大上昇水位分布及び水位の時刻歴波形(水位上昇側)
(プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮))

■水位下降側(朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮)の津波評価結果について、「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮)」は、取水塔呑口下端レベルを下回る時間が最も長い。



最大下降水位分布



※網掛け部の上端は当該地点の標高
 ※呑口下端レベルには地盤隆起量を考慮

水位の時刻歴波形(水位下降側)

※朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮

最大下降水位分布及び水位の時刻歴波形(水位下降側)
 (プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮))

海洋プレート内地震に関する調査・選定

- 沈み込む海洋プレート内地震及び南海トラフの沖合の海洋プレート内地震に関する調査を行い、それぞれ海洋プレート内地震を想定。阿部(1989)の予測式による津波高を比較により、検討対象として敷地に大きな影響を与えると予想される津波発生要因を選定。
- 阿部(1989)の予測式による津波高の比較の結果、沈み込む海洋プレート内地震である「御前崎沖の想定沈み込む海洋プレート内地震」を検討対象の津波発生要因として選定。



海洋プレート内地震の断層位置

- 沈み込む海洋プレート内地震
2004年紀伊半島南東沖の地震の地震規模を用いた「御前崎沖の想定沈み込む海洋プレート内地震」を、安全評価上、南海トラフ沿いの敷地に近い位置に想定。
- 南海トラフの沖合の海洋プレート内地震
徳山ほか(2001)を踏まえ、「銭洲断層系による海洋プレート内地震」を想定。

海洋プレート内地震の諸元及び阿部(1989)の予測式による津波高の比較結果

名称	Mw	津波の伝播距離 Δ (km)	推定津波高 Ht(m)
御前崎沖の想定沈み込む海洋プレート内地震	7.5 ^{※1}	38.0	2.3
銭洲断層系による海洋プレート内地震	7.8 ^{※2}	154.9	1.3

※1 2004年紀伊半島南東沖地震の震源インバージョン結果 (Park and Mori(2005))

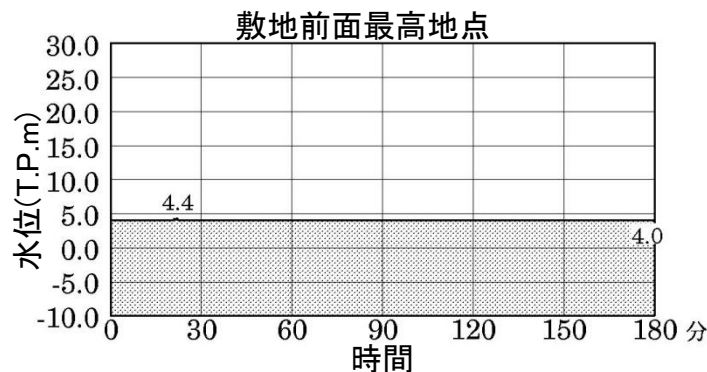
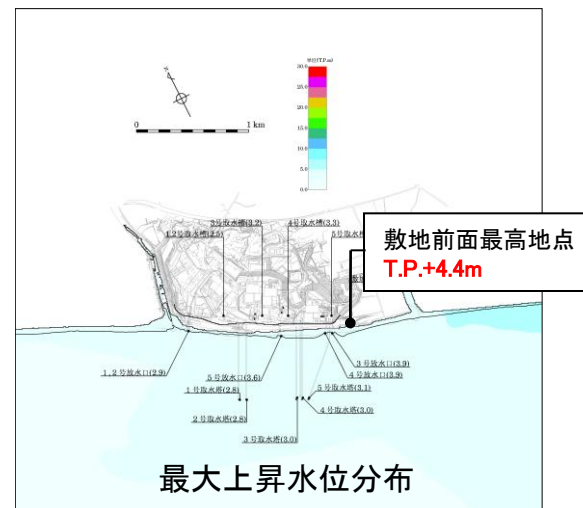
※2 徳山ほか(2001)に基づき断層長さを125.8kmと設定し、武村(1998)により地震規模を算定

海洋プレート内地震の津波評価

- 検討対象の津波発生要因として選定した、「御前崎沖の想定沈み込む海洋プレート内地震」について、2004年紀伊半島南東沖の地震の震源インバージョン解析結果(Park and Mori(2005))を参考に波源モデルを設定し、数値シミュレーションにより津波評価を実施。
- 敷地前面における最大上昇水位は、T.P.+4.4m。



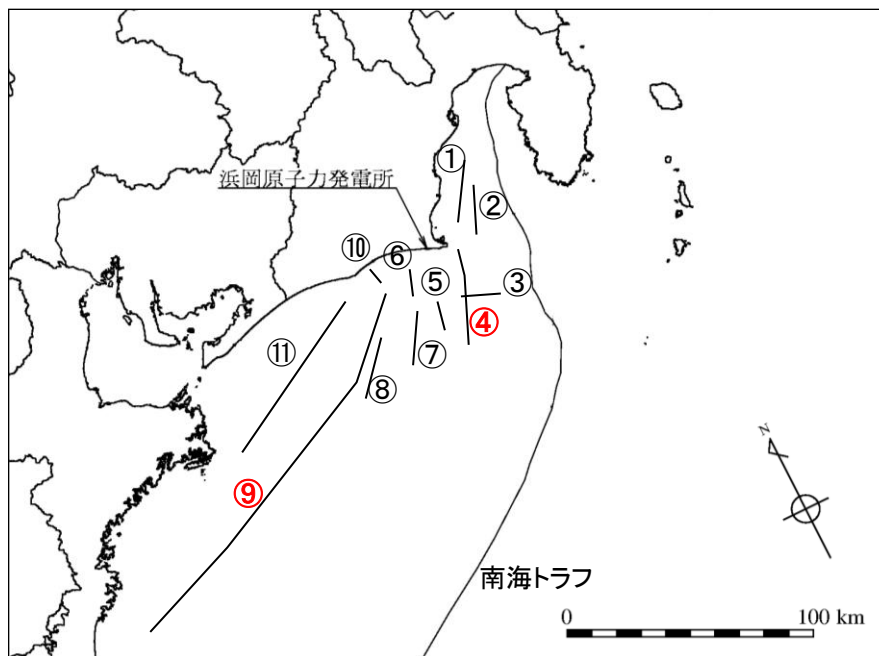
御前崎沖の想定沈み込む海洋プレート内地震の波源モデル



水位の時刻歴波形(水位上昇側) ※網掛け部の上端は当該地点の標高
 ※期望平均満潮位 T.P.+0.80mを考慮

■海域の活断層による地殻内地震について、阿部(1989)の予測式による津波高の比較により、敷地に大きな影響を与える
と予想される津波発生要因として「御前崎海脚西部の断層帯による地震」及び「遠州断層系による地震」を選定。

海域の活断層による地殻内地震の諸元
及び阿部(1989)の予測式による津波高の比較結果

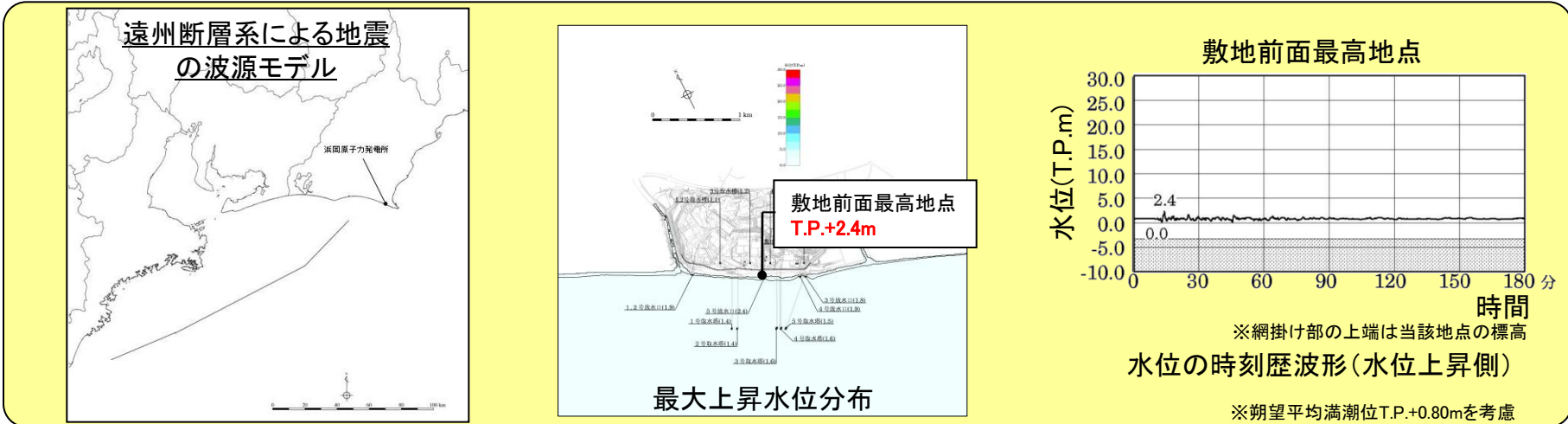
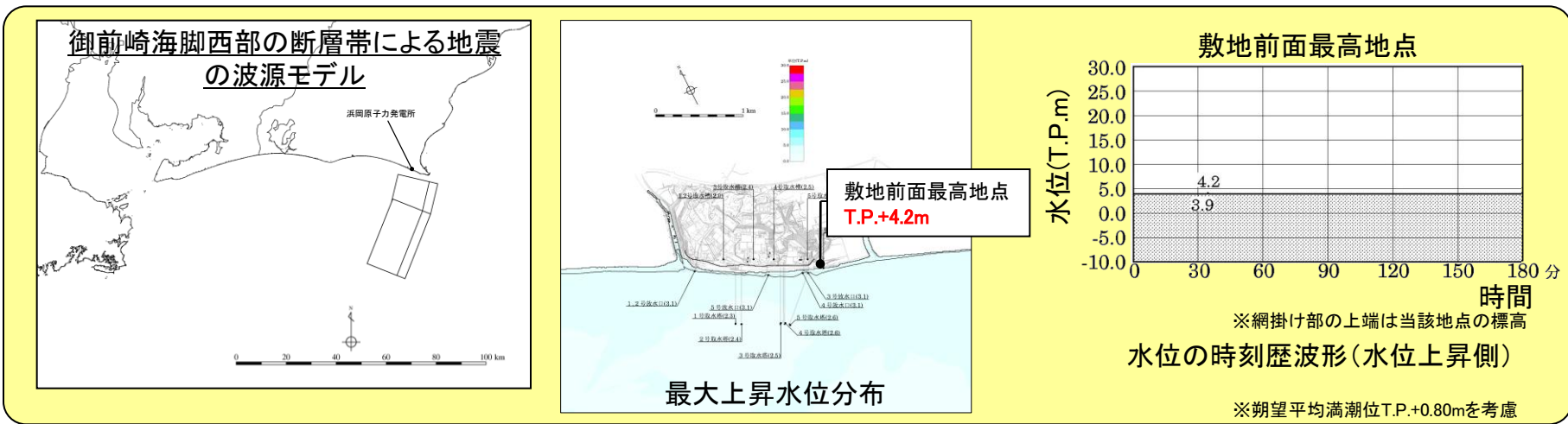


海域の活断層による地殻内地震の断層位置

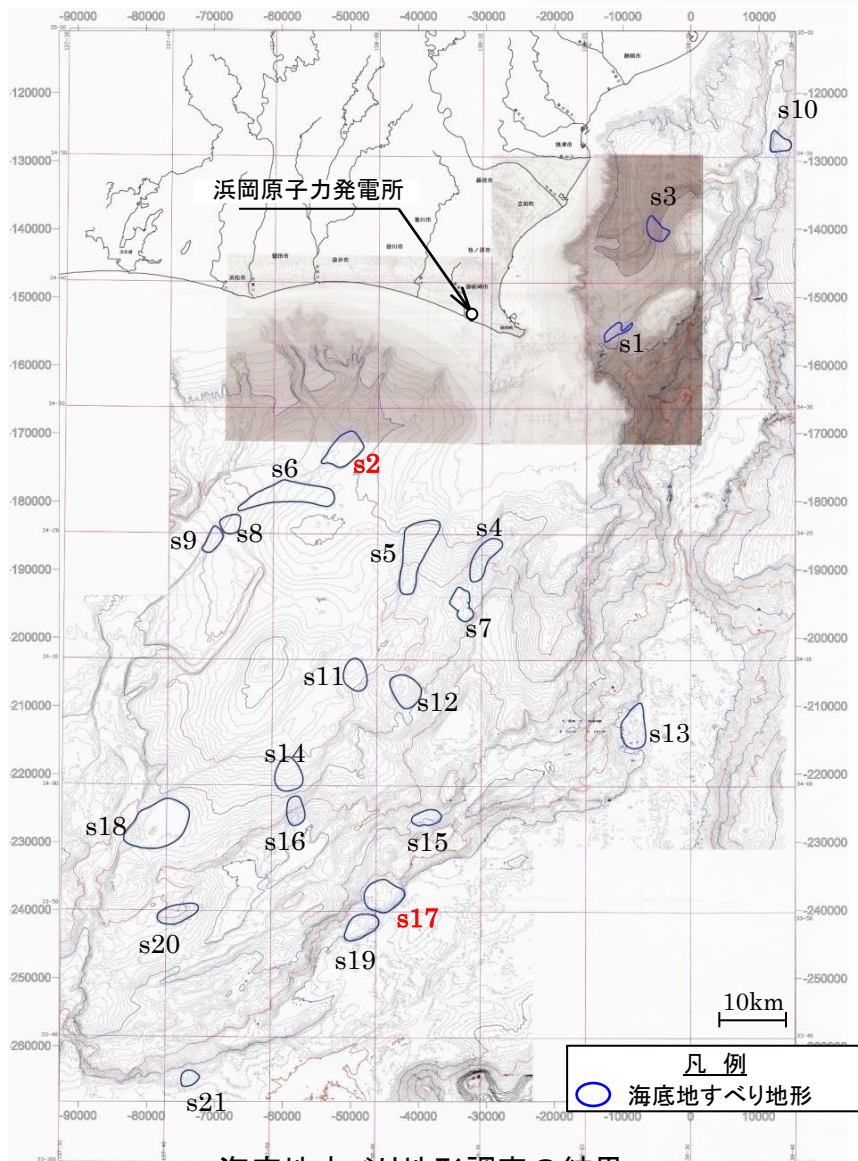
名称	断層長さ L(km)	Mw	津波の 伝播距離 Δ (km)	推定 津波高 Ht(m)
①石花海海盆内西部の断層帯	26.4	6.9	28.0	0.9
②石花海海盆内東部の断層帯	21.7	6.8	25.9	0.8
③F-12断層	16.0	6.6	29.4	0.5
④御前崎海脚西部の断層帯	40.2	7.2	25.8	1.6
⑤A-4断層	12.1	6.5	29.0	0.3
⑥A-5断層	11.5	6.4	15.4	0.6
⑦A-6断層	22.4	6.8	38.3	0.5
⑧天竜海底谷に沿う断層	26.1	6.9	55.1	0.5
⑨遠州断層系	173.7	7.9	110.2	2.0
⑩F-16断層	7.1	6.2	24.1	0.2
⑪浜松沖の正断層群	76.8	7.5	76.3	1.3

海域の活断層による地殻内地震の津波評価

- 検討対象の津波発生要因として選定した、「御前崎海脚西部の断層帯による地震」及び「遠州断層系による地震」について、地質調査結果等に基づき波源モデルを設定し、数値シミュレーションにより津波評価を実施。
- 敷地前面における最大上昇水位は、「御前崎海脚西部の断層帯による地震」におけるT.P.+4.2m。



海底地すべりに関する調査・選定



海底地すべり地形調査の結果

- 敷地に影響を与えることが予想される海底地すべり地形について、海底地形データ、当社の音波探査記録等を用い、芦(2010)、梶ほか(2010)等の海底地すべり地形に関する文献を踏まえて調査を実施。
- 検討対象の津波発生要因として、「s2地点の海底地すべり」、「s17地点の海底地すべり」を選定。

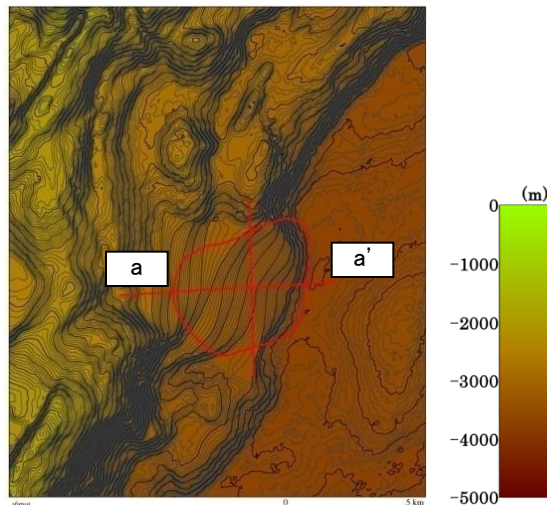
海底地すべり地形調査の結果

地点	規模(億m ³)	敷地からの距離(km)
s1	2	21.6
s2	8	27.1
s3	6	30.5
s4	9	35.0
s5	29	35.0
s6	15	38.0
s7	8	41.7
s8	4	46.4
s9	6	49.9
s10	14	52.3
s11	8	54.9
s12	7	55.5
s13	54	64.3
s14	9	72.1
s15	18	73.5
s16	4	76.7
s17	81	85.5
s18	34	87.4
s19	56	90.6
s20	23	97.4
s21	6	118.8

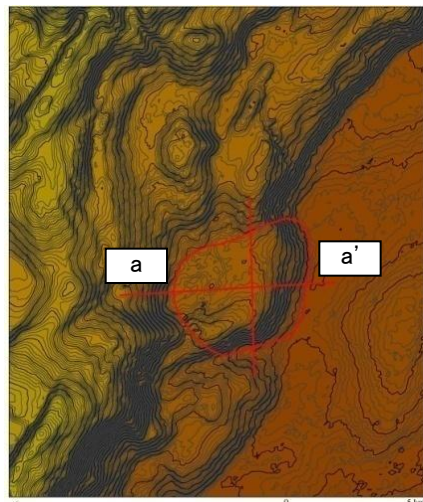
海底地すべりの津波評価

- 検討対象の津波発生要因として選定した、「s2地点の海底地すべり」及び「s17地点の海底地すべり」について、音波探査結果等に基づき海底地すべりモデルを設定し、数値シミュレーションにより津波評価を実施。数値シミュレーションは、二層流モデルに基づく手法、及びWattsほかの予測式に基づく手法を用いる。
- 敷地前面における最大上昇水位は、「s17地点の海底地すべり」によるT.P.+3.3m。

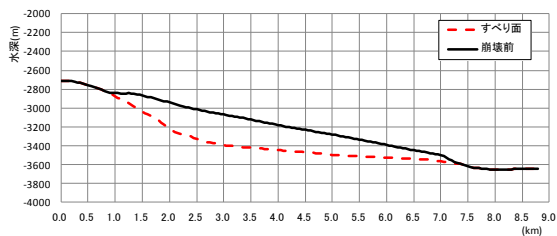
※水深コンター:10m毎



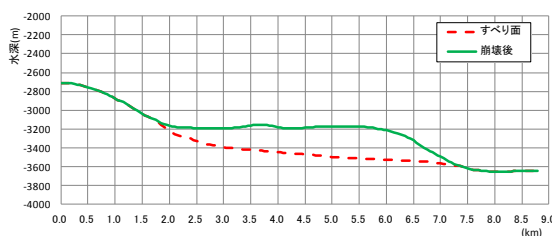
崩壊前の海底地形



崩壊後の海底地形



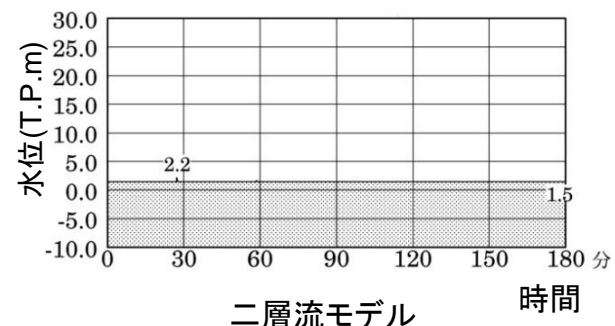
a - a' 断面



a - a' 断面

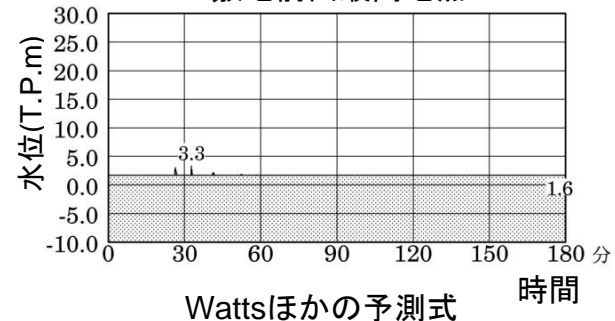
s17地点の海底地すべりモデル

敷地前面最高地点



二層流モデル

敷地前面最高地点



Wattsほかの予測式

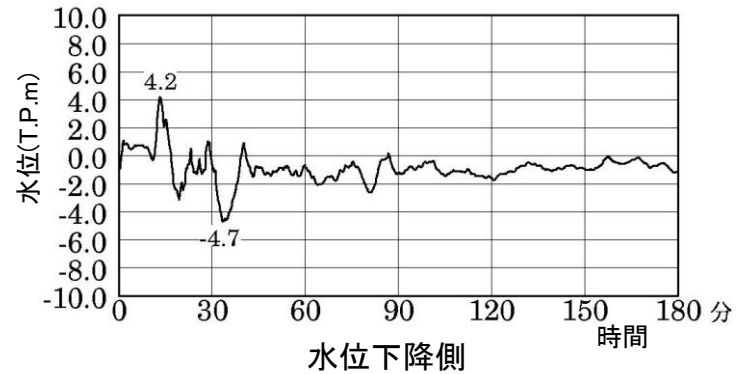
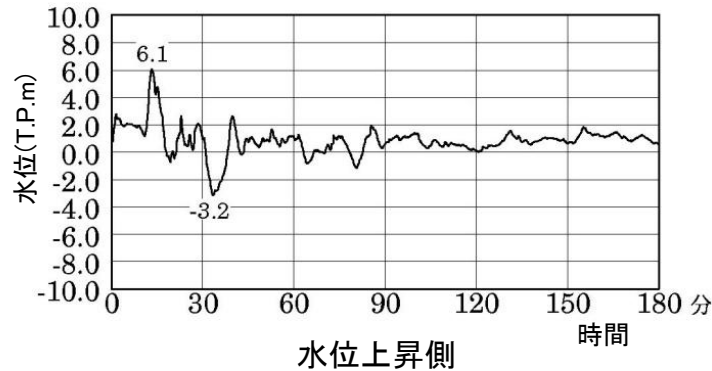
※網掛け部の上端は当該地点の標高
 ※期望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

水位の時刻歴波形(水位上昇側)

1.8 基準津波の策定

- 基準津波は、敷地に最も影響を与える津波を、水位上昇側及び水位下降側についてそれぞれ選定し、施設からの反射波の影響が微小となる、敷地から沖合へ約10km離れた位置で策定。
- 津波評価の結果に基づき、水位上昇側及び水位下降側ともに、敷地に最も影響を与える、「南海トラフのプレート間地震」における「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮)」による津波を基準津波として選定。

基準津波の水位の時刻歴波形



敷地前面での最大上昇水位

津波発生要因	敷地前面での最大上昇水位 T.P.+ m (位置)
南海トラフのプレート間地震	21.1m(防波壁前面)
海洋プレート内地震	4.4m(砂丘堤防前面)
海域の活断層による地殻内地震	4.2m(砂丘堤防前面)
海底地すべり	3.3m(砂丘堤防前面)

※期望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

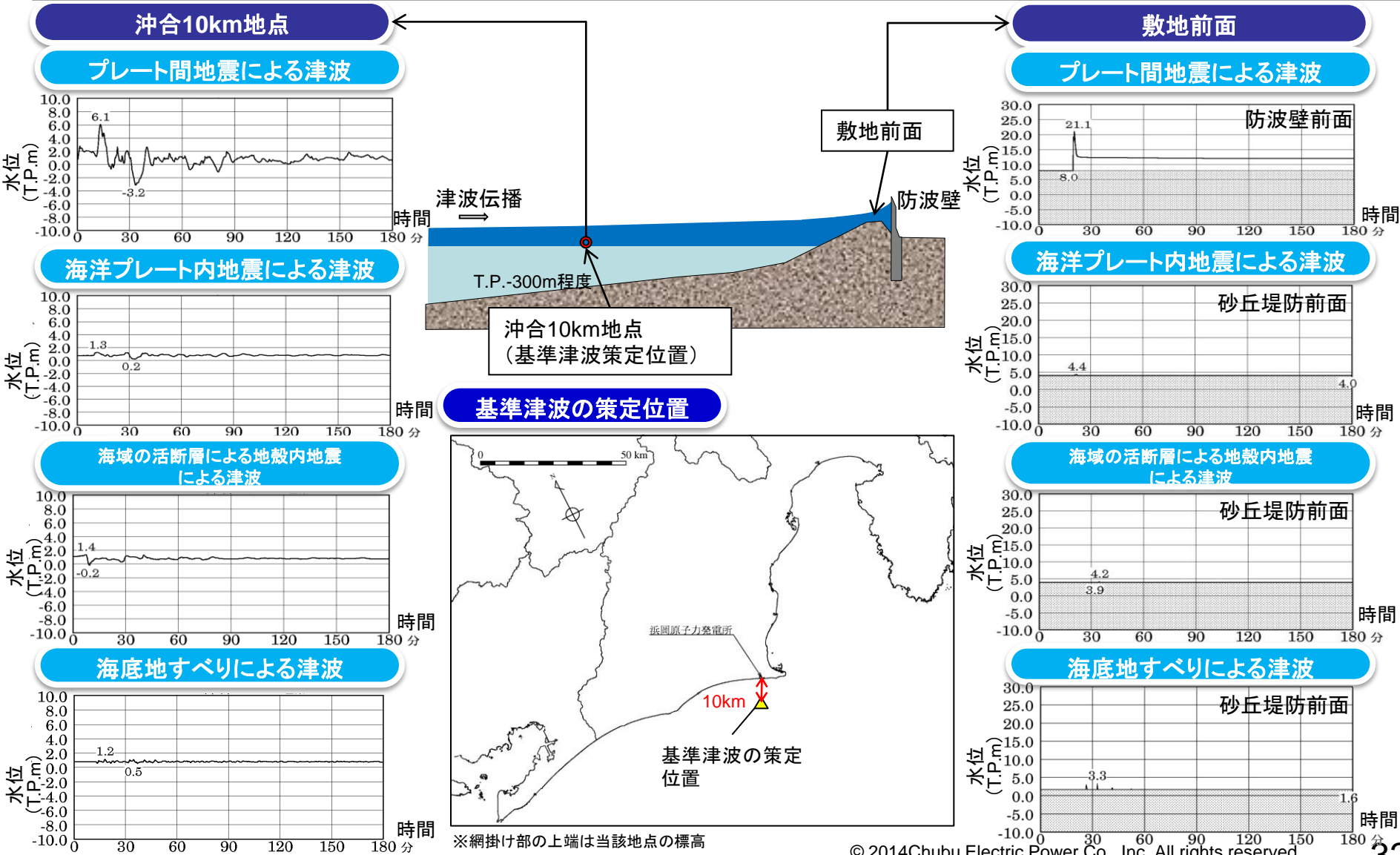
4号取水塔呑口部下端レベルを下回る時間

津波発生要因	下回る時間 ()内:最大下降水位T.P.m)
南海トラフのプレート間地震	5分程度(-7.5m)
海洋プレート内地震	下回らない(-3.9m)
海域の活断層による地殻内地震	下回らない(-4.1m)
海底地すべり	下回らない(-1.8m)

※期望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮

基準津波策定位置における水位の時刻歴波形

■各津波発生要因について、基準津波策定位置及び敷地前面における水位の時刻歴波形を示す。基準津波策定位置における上昇水位も、プレート間地震による津波が最大である。



※網掛け部の上端は当該地点の標高
 ※朔望平均満潮位 T.P.+0.80mを考慮

2. 津波対策

2.1 基準津波に対する対策

2.2 基準津波を超える津波に対する対策

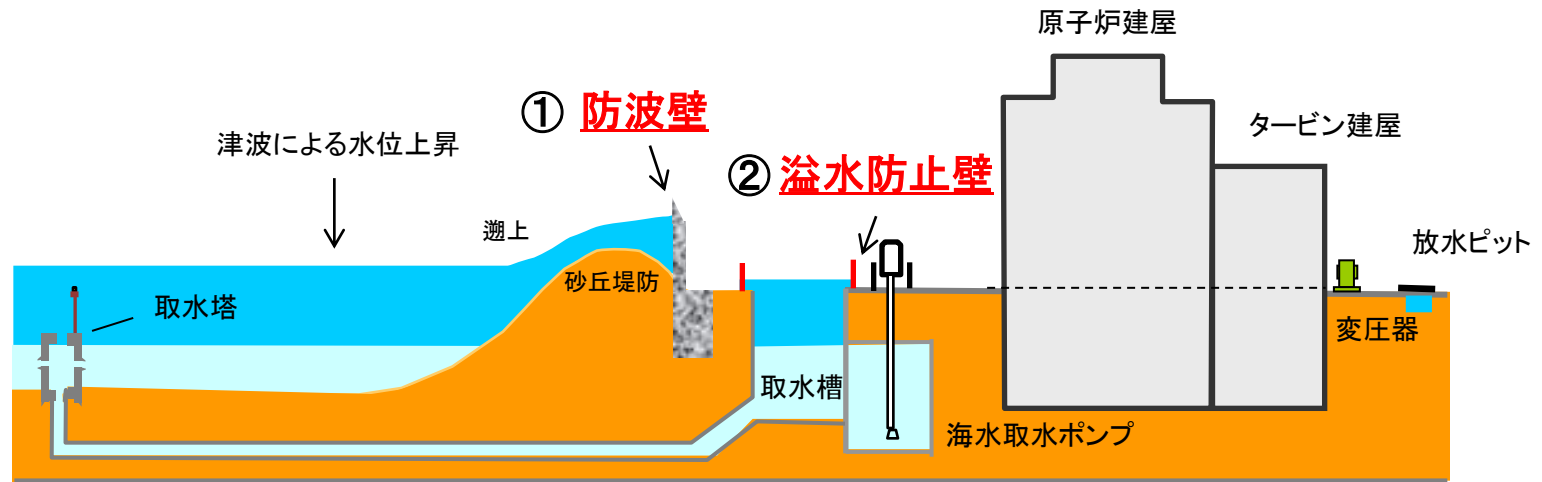
2.1 基準津波に対する対策

【規制要求事項】 基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと。
 取水路・放水路等の経路から流入させないこと。

【浜岡原子力発電所の主な対策】

敷地内への浸水を防ぐ

- ① **防波壁** (T.P.+22m) の設置等により、津波が発電所敷地内に直接浸入することを防ぐ
- ② 取水槽の周囲へ**溢水防止壁**を設置し、津波による海面上昇により取水槽から海水が溢れることを防ぐ



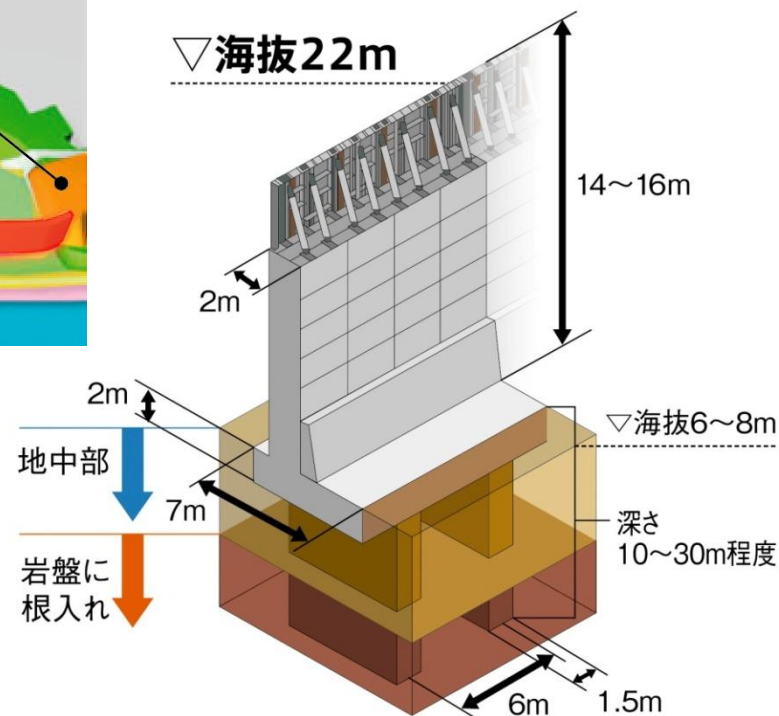
2.1 基準津波に対する対策 防波壁の設置

◆津波の敷地内への直接浸入を防ぐため、敷地前面の砂丘堤防の背後に**防波壁**を設置する。

防波壁の両端部は、**改良盛土**に接続することで、敷地の前面及び側面からの津波の浸入を防ぐ。

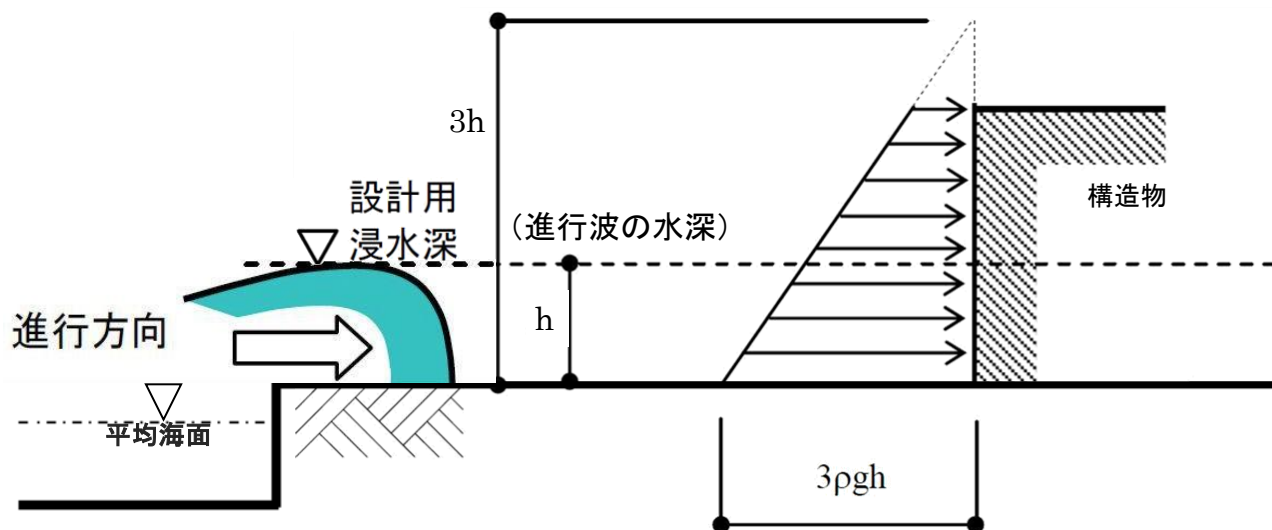


防波壁設置状況 (発電所側より)



設計用の津波波力の設定の考え方

防波壁は、その前面でせき上がり天端まで達するような津波に、十分余裕を持って耐えるよう設計することとし、その波力は、内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」およびここで参考とされている「朝倉らの研究成果」を参照し設定しました。



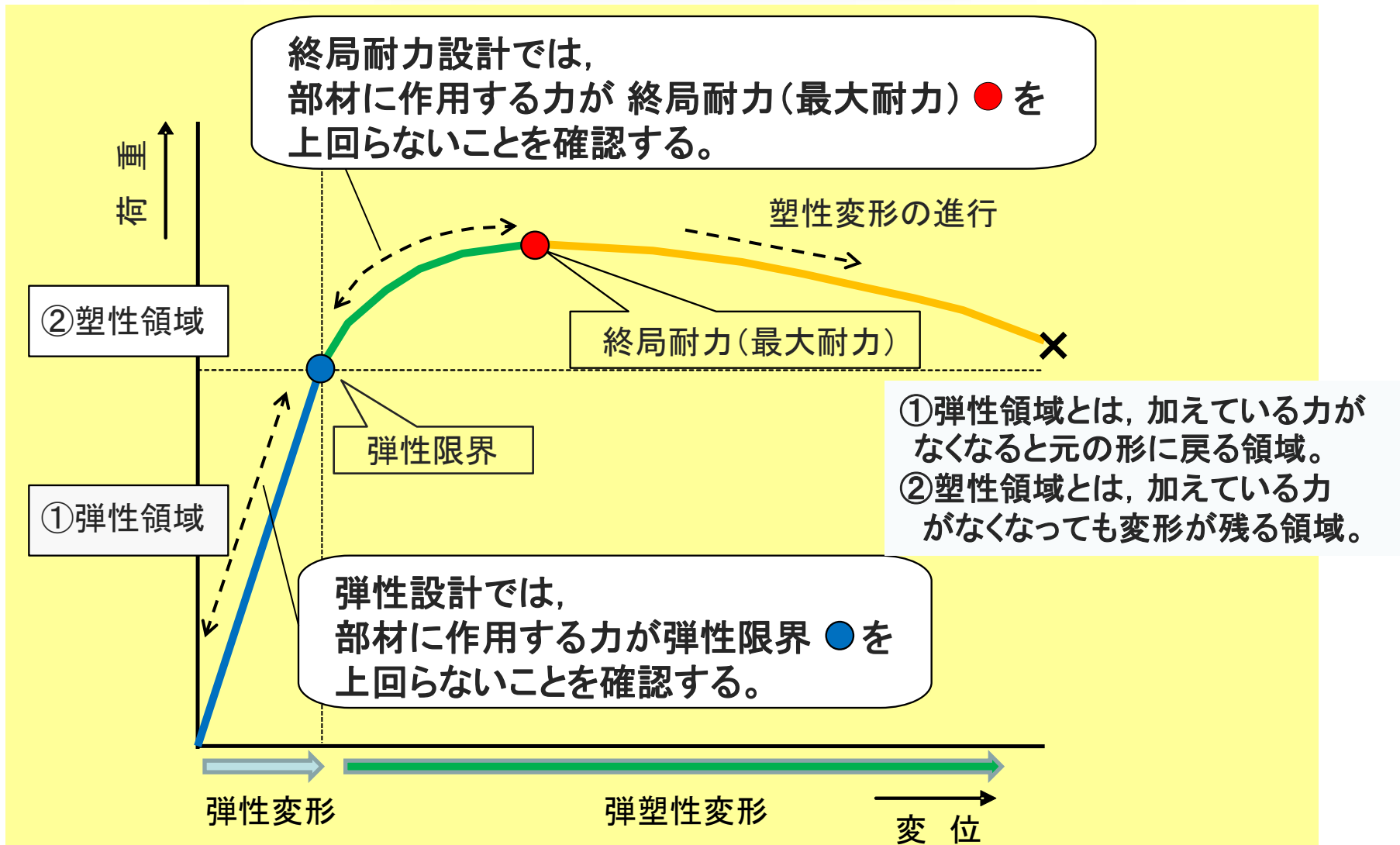
h : 設計用浸水深
 ρ : 水の単位体積重量
 g : 重力加速度
 静水圧: 水が静止した状態の水圧 ($= \rho gh$)

「朝倉らの研究成果」では、構造物にはたらく波力について、構造物がない状態での津波の進行波の水深に対して、その3倍の静水圧分布で評価できるものとしている。

防波壁にはたらく波力については、地上から天端高さ(T.P.+22m)までの高さの半分に相当する水深の進行波が防波壁で天端までせき上がり、この進行波の水深の3倍に相当する水深の静水圧分布がはたらくものとして設定した。

- ①設計外力〔壁の天端高さ(T. P. +22m)に達する津波に相当する波力〕に対して、津波の浸入を防ぐため、防波壁は一時的にわずかに変形しても元の形状に戻ることを確認。
→具体的な設計として、**作用する力が弾性限界を上回らないことを確認。(弾性設計)**
- ②設計外力を超える入力〔天端を越流する津波に相当する波力〕に対しても、津波の越流量を抑制するため、過度な変形が生じないこと。**(終局耐力設計)**
→T. P. +25mに相当する津波により**作用する力が終局耐力を上回らないことを確認。**

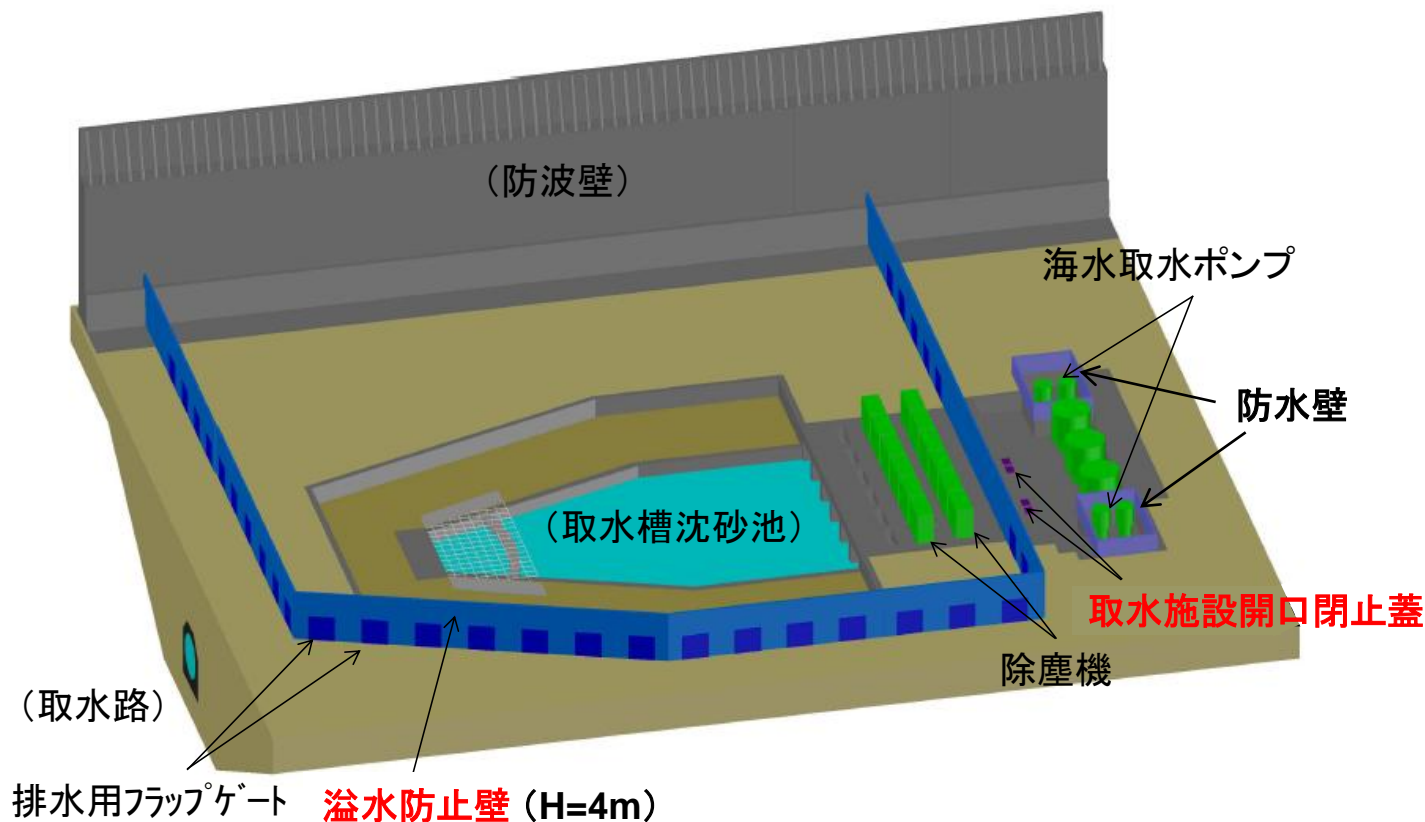
弾性設計と終局耐力設計(イメージ図)



部材の荷重－変位関係の模式図

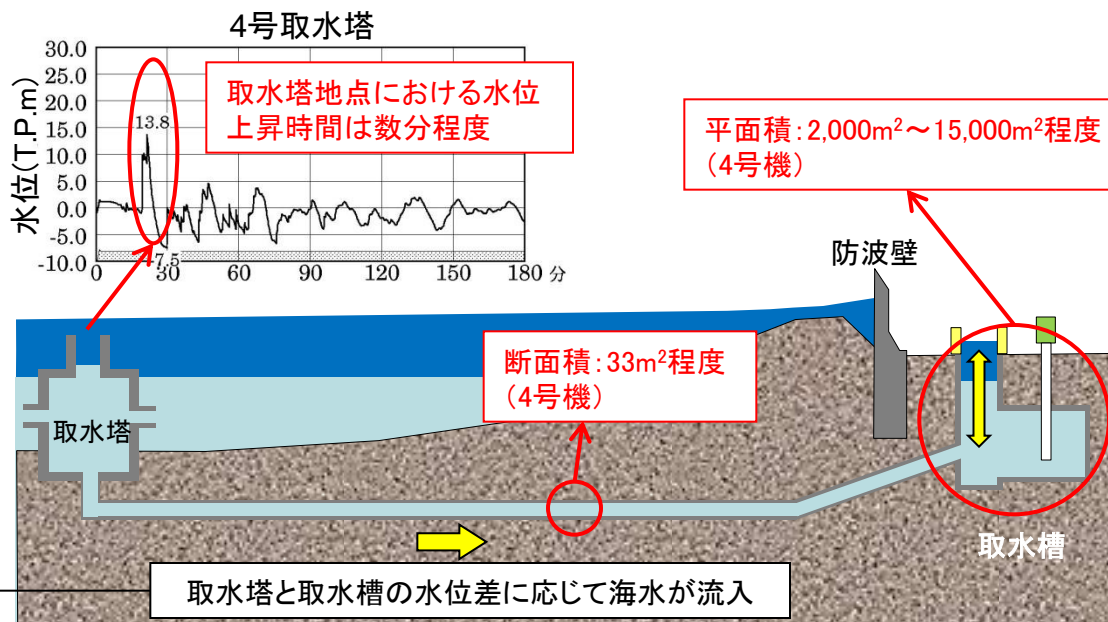
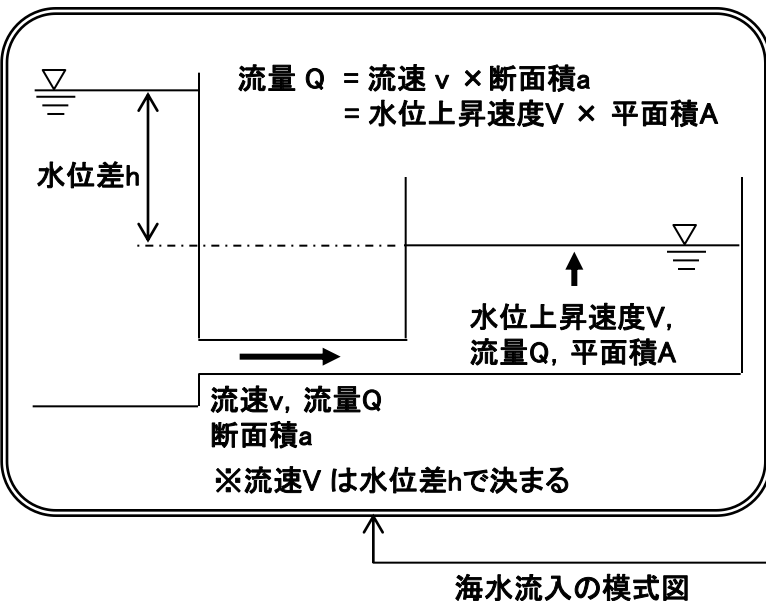
取水槽の溢水対策(3~5号機の例)

- ◆津波による取水槽から敷地への溢水を防ぐため、3~5号機の取水槽の周囲に**溢水防止壁**を設置する。また、取水・放水施設に接続する**開口部の閉止**を行う。
- ◆なお、海水取水ポンプの周囲に防水壁を設置し、同ポンプへの浸水防止を図っている。



防波壁と溢水防止壁の高さの違いについて

- 津波により外海水位が上昇すると、外海と敷地内の取水槽との間に水位差が生じる。この水位差に応じ、海水が取水路を通じて取水槽へ流入する。
- 海水の流入量は取水路内流速と取水路断面積の積で表される(流入量 = 流速 × 断面積)。取水路内流速が水位差と摩擦等による損失に応じて決まること、取水路断面積が小さいことから、津波時の取水槽への海水流入量は限定的である。
- 取水槽平面積は、取水路断面積と比べて60～450倍程度と非常に大きいことから、取水槽における水位上昇は外海よりも非常にゆっくりとしたものになる。
- また津波による外海の水位上昇時間は数分程度と短い。
- これらのことから、取水槽における上昇水位は外海よりも大幅に低くなるため、溢水防止壁の天端が防波壁より低くても敷地への溢水防止が可能となっている。



漏水・溢水に対する浸水防止対策

【規制要求事項】 津波による取水・放水施設等における漏水，地震・津波による溢水を想定した上で，それらに対して浸水対策を施すこと。

【浜岡原子力発電所の主な対策】

◆津波による漏水，地震・津波による溢水を想定した敷地浸水評価を行い，同評価結果に余裕をみた高さ(敷地面から+50cm程度の範囲)に対して，**水密扉の設置**，**貫通部止水処理**を施す。

漏水想定箇所(例)

- ・取水施設開口閉止蓋隙間
- ・海水取水ポンプピット雨水ドレン閉止部隙間

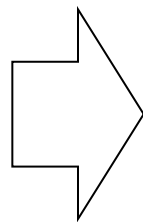


溢水想定箇所(例)

- ・低耐震クラスタンクの破損
- ・低耐震クラス配管の破損

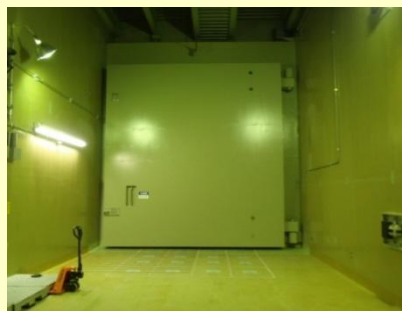


敷地内への
漏水・溢水

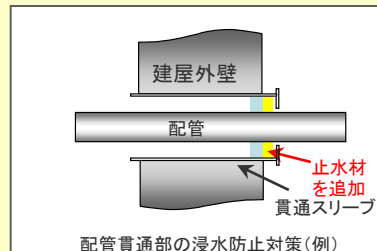


建屋内への浸水防止対策

・水密扉の設置



・貫通部止水処理



2.2 基準津波を超える津波に対する対策

【規制要求事項】 地震や津波による重大事故の発生リスクに対して、炉心損傷等を防止するために必要な措置を講じること。

【浜岡原子力発電所の主な対策】

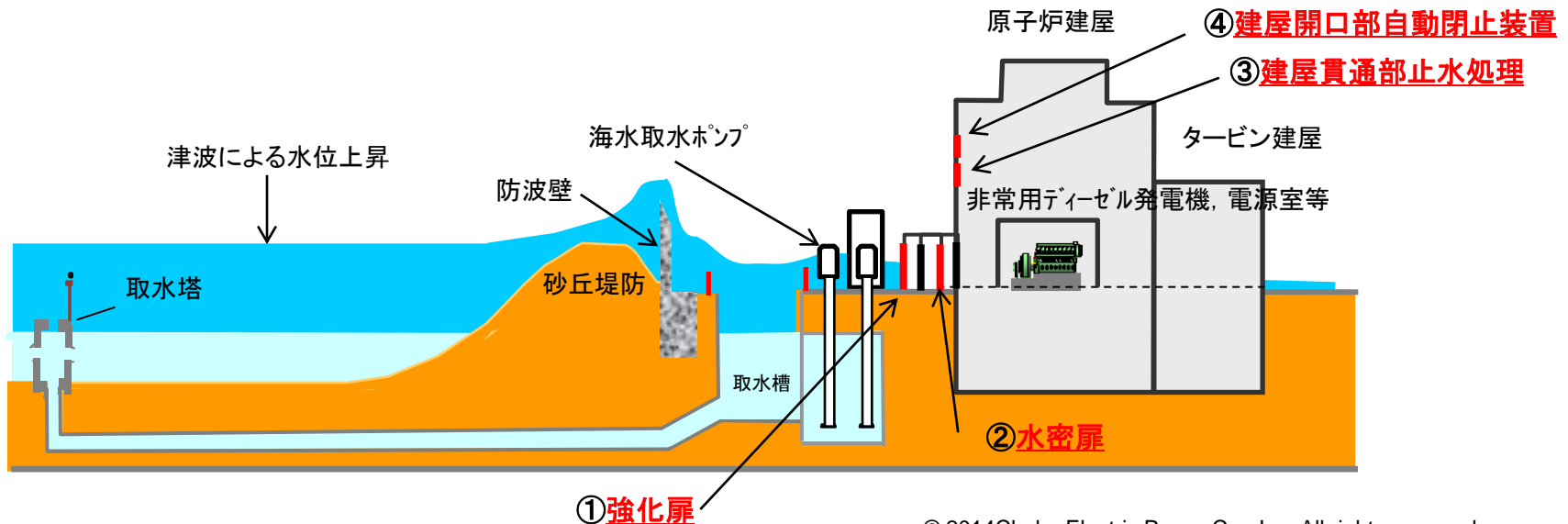
防波壁を越流する津波に対して、原子炉建屋等の重要建屋内への浸水を防ぐ対策を実施する。なお、重要機器室内への浸水を防ぐ対策も実施する。

建屋内への浸水を防ぐ

仮に津波が防波壁を越え、敷地が浸水した場合の対策

(対策範囲: 原子炉建屋T.P.+20m程度, その他の建屋T.P.+15m)

①②建屋外壁への水密扉・強化扉の設置, ③建屋貫通部止水処理, ④建屋開口部自動閉止装置の設置



建屋内への浸水防止対策(強化扉・水密扉)

◆建屋外壁へ水密扉・強化扉の設置する。

建屋外壁の防水構造扉の信頼性強化



強化扉

原子炉建屋大物搬入口
(外側)強化扉設置状況



水密扉

原子炉建屋大物搬入口
(内部)水密扉設置状況



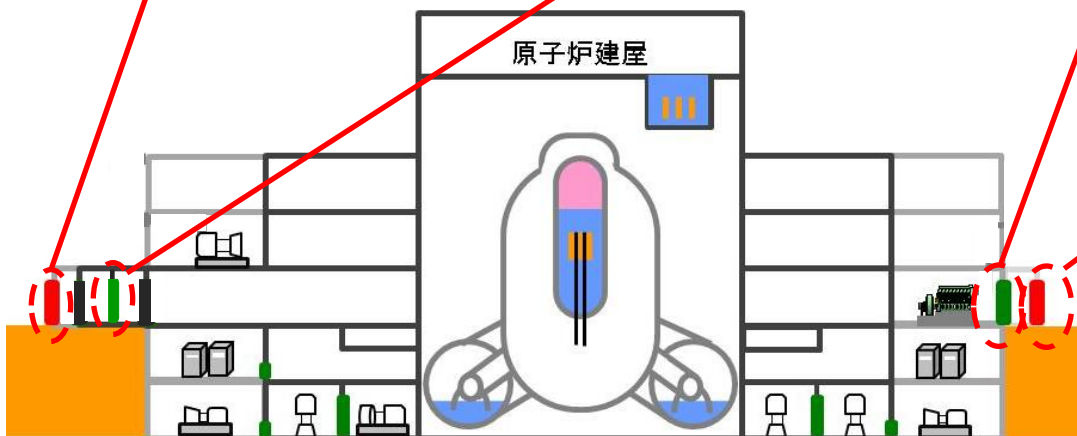
水密扉

水密扉設置状況



強化扉

強化扉設置状況

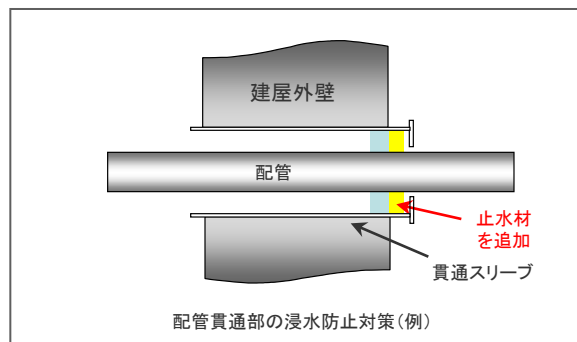


対象建屋	建屋内重要設備(例)
原子炉建屋	【注水】RCICポンプ, HPCSポンプ 【除熱】RCCWポンプ, RHRポンプ
海水熱交換器建屋	【除熱】RCCW熱交換器
緊急時海水取水ポンプ室	【除熱】EWSポンプ

建屋内への浸水防止対策(建屋貫通部止水処理)

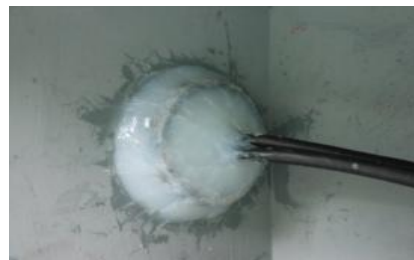
◆建屋の壁貫通部に対して、シール材注入による止水対策を実施する。

貫通部からの浸水防止対策



耐水圧性や耐震性を考慮して貫通部へシール材を注入することにより、貫通部の止水対策を図る。

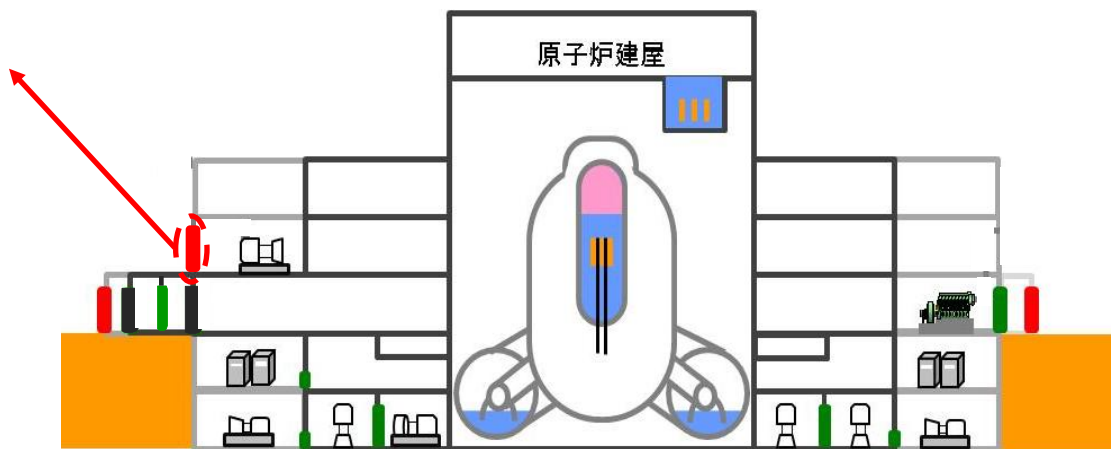
貫通部止水処理施工状況



電線管



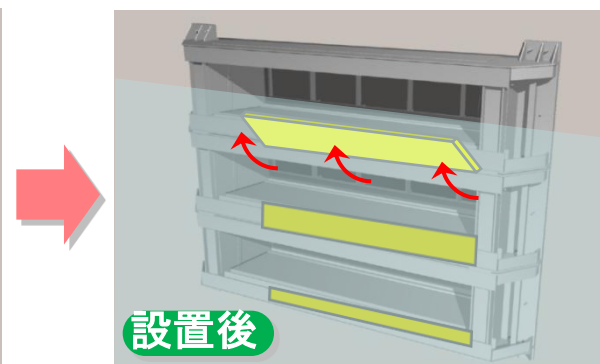
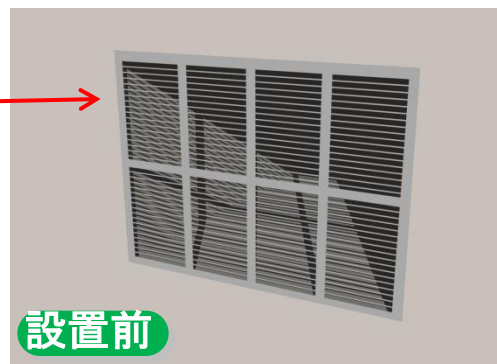
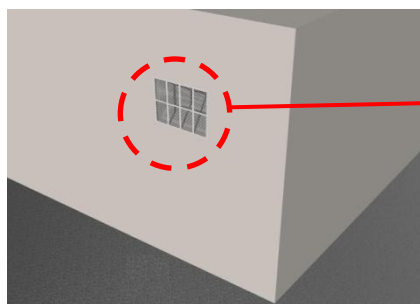
配管



建屋内への浸水防止対策(建屋開口部自動閉止装置)

◆重大事故等の発生をより確実に防止するため、原子炉建屋中間屋上の高さ(T.P.+15m~20m程度)までの建屋開口部に自動閉止装置を設置する。

建屋開口部自動閉止装置のイメージ

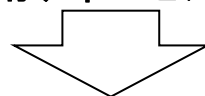


性能確認試験の状況

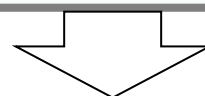
代替電源, 代替海水取水機能の確保

防波壁を越流する津波により,

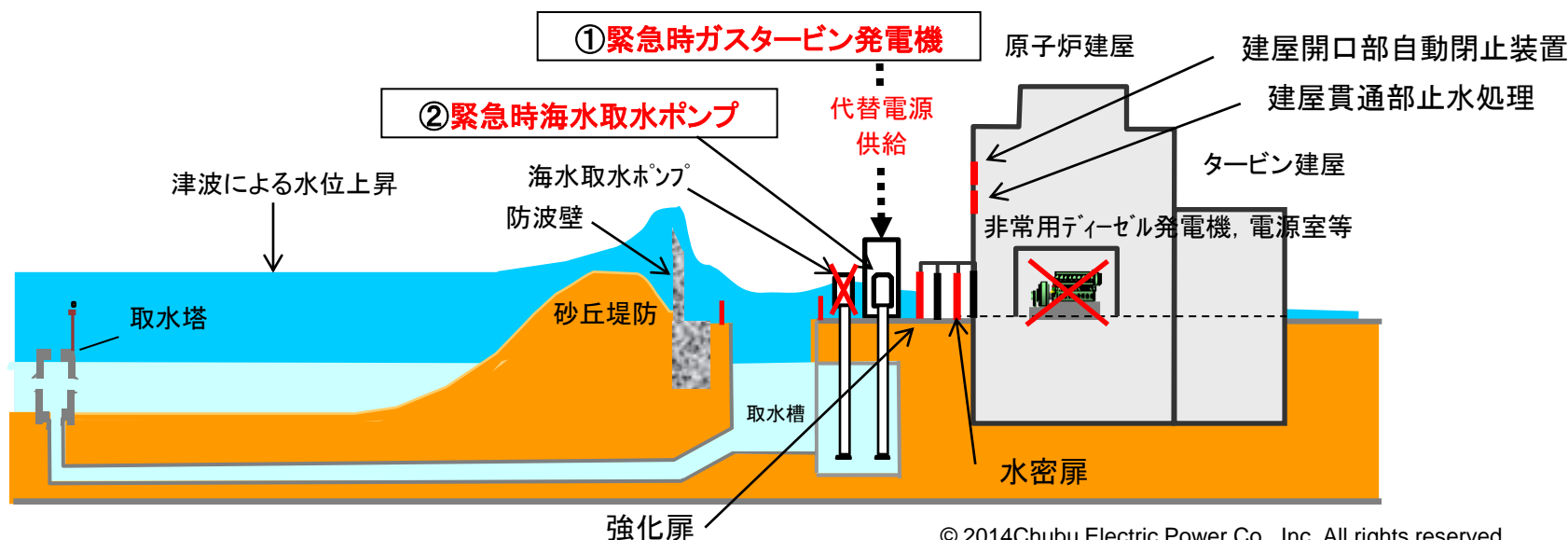
- ・海水取水ポンプが浸水(海水取水機能喪失)
- ・海水取水ポンプにより冷却している非常用ディーゼル発電機が機能喪失(電源供給機能喪失)



- ①緊急時ガスタービン発電機(高台(T.P.+40m)に設置)により代替の電源供給機能を確保
- ②緊急時海水取水ポンプ(防水構造の建屋内に設置)により代替の海水取水機能を確保

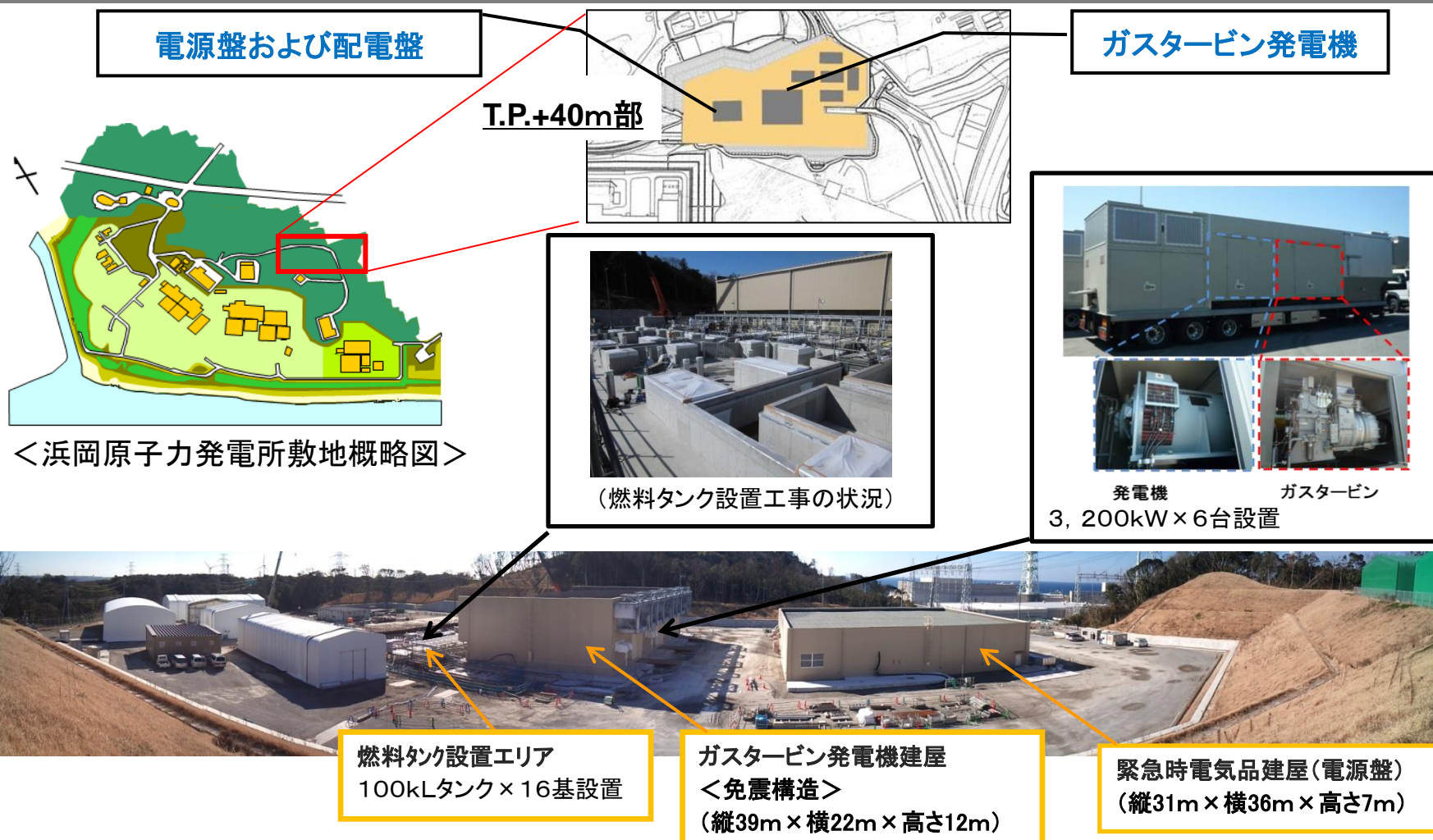


冷温停止



緊急時ガスタービン発電機の設置

◆「全交流電源喪失時」や「海水取水機能喪失時」においても代替の電源供給機能が確保可能となるように、空冷式ガスタービン発電機を設置する。

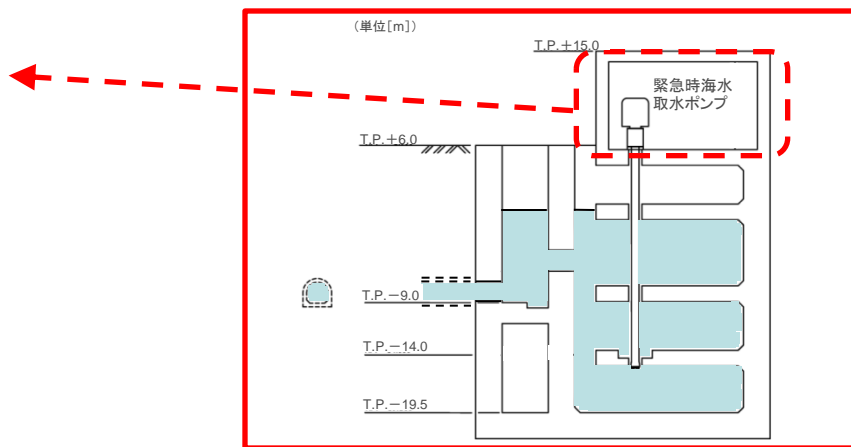


緊急時海水取水ポンプの設置

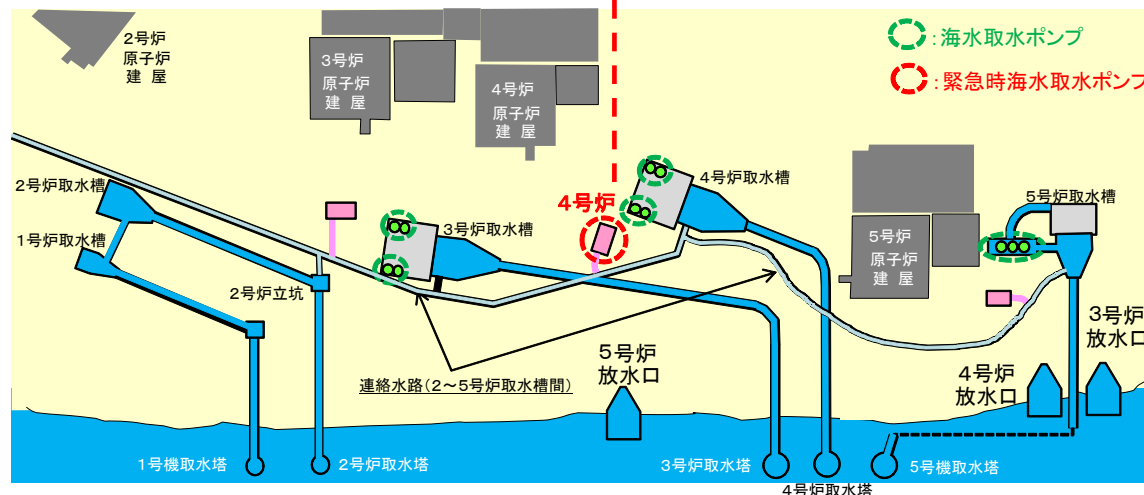
- ◆ 「全交流電源喪失時」や「海水冷却機能喪失時」においても代替の海水取水機能が確保可能となるように、緊急時海水取水ポンプを設置する。
電源については、緊急時ガスタービン発電機から受電する。



緊急時海水取水ポンプ



緊急時海水取水ポンプ室(防水構造の建屋)



3. 津波監視システム

津波監視設備の設置

【規制要求事項】 敷地への津波の襲来を察知するため、津波監視設備を設置すること。

【浜岡原子力発電所の主な対策】

<p>・津波監視カメラ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆津波の影響を受けない4号, 5号原子炉建屋屋上, 5号海水熱交換器建屋屋上の3ヶ所に設置 ◆敷地前面海域, 敷地内ともに昼夜問わず監視可能 ◆中央制御室に設置する監視モニタにて継続的に監視
<p>・取水槽水位計 ・緊急時海水取水ポンプピット水位計</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆津波による取水槽水位, 緊急時海水取水ポンプピット水位の上昇・下降により津波の襲来を察知

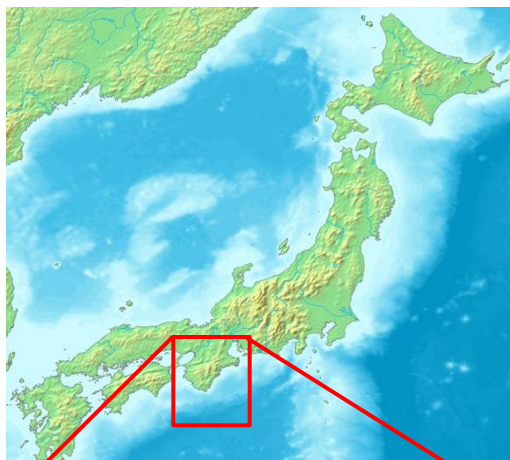
「津波監視システム」を構成する観測技術

- ◆ 津波監視設備の設置に加え、防災・減災の観点からの自主的な取り組みとして、観測技術を組み合わせて津波を検知し、浜岡原子力発電所での到達時刻・高さ、収束時期を予測する「津波監視システム」を構築中。

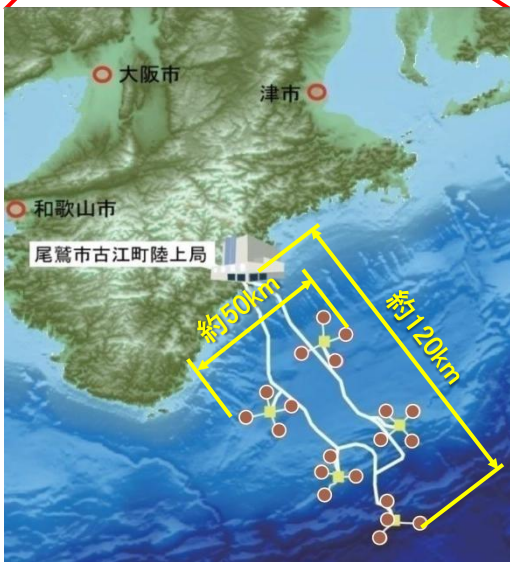
DONET ※ ((独)海洋研究開発機構)	尾鷲沖合の <u>地震動・潮位</u> を観測 → 津波の <u>到達時刻・高さ等</u> の予測
GPS波浪計 (国土交通省港湾局)	御前崎沖合の <u>潮位</u> を観測 → 津波の <u>到達時刻・高さ等</u> の予測
VHFレーダー (自社観測)	御前崎沖合の <u>流速・流向分布</u> を観測 → 津波の <u>到来方向</u> の監視
高感度カメラ (自社観測)	御前崎沖合～沿岸の <u>潮位変動</u> を観測 → 津波の <u>規模, 被災状況</u> の監視

※Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis

DONET 「地震・津波観測監視システム」



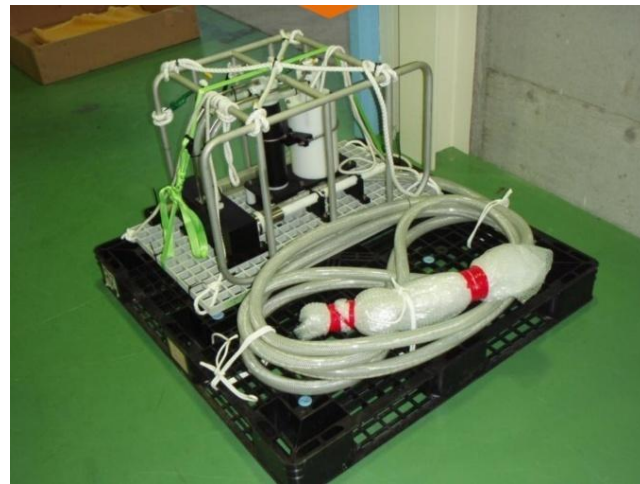
- ◆ 東南海地震(南海トラフ巨大地震)で発生した地震・津波をいち早く検知
- ◆ 沖合約120km, 幅約50kmの範囲に20箇所の観測点(地震計+水圧計)
- ◆ 浜岡原子力発電所地点の津波到達時刻・高さの予測を行うシステムを開発中



設置位置



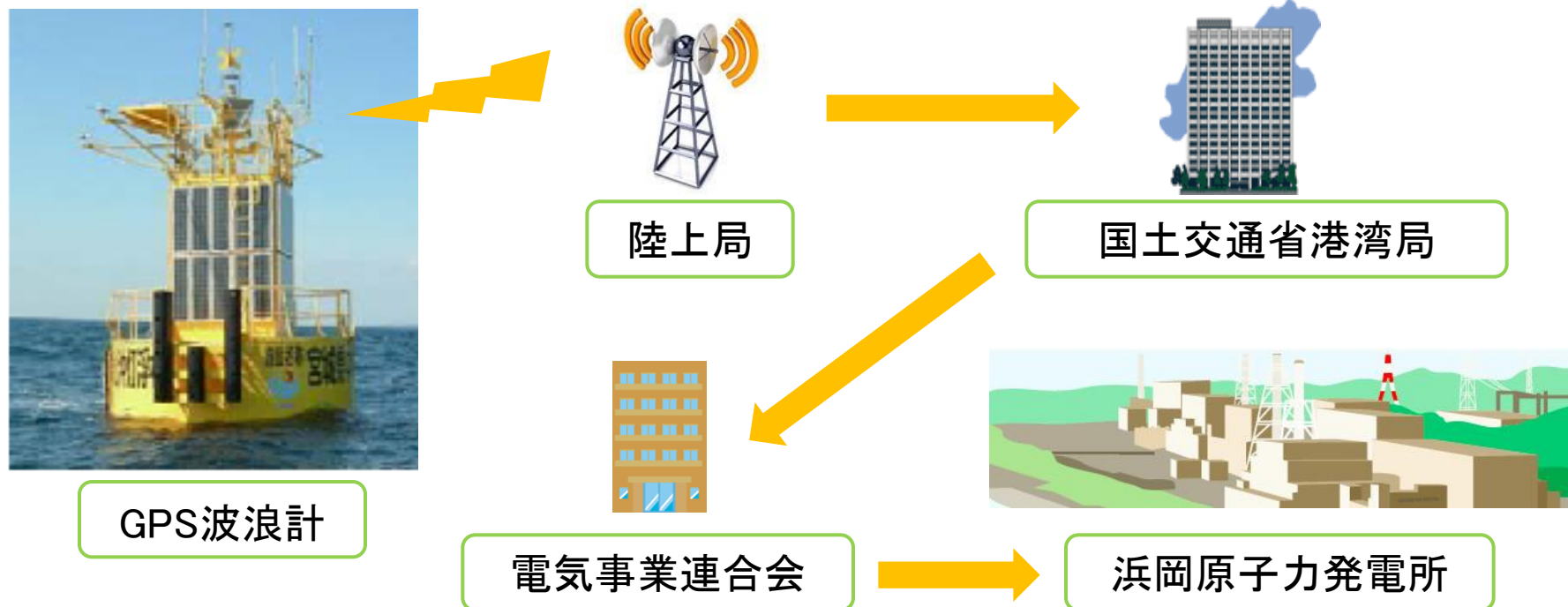
地震計



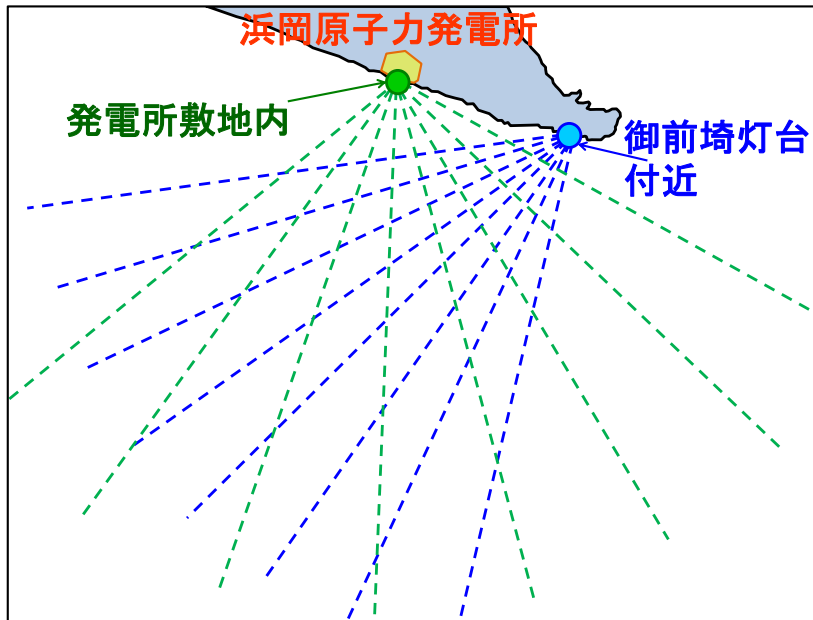
水圧計

GPS波浪計

- ◆ 「御前崎沖」GPS波浪計(沖合約20km)の潮位データを活用
- ◆ 電気事業連合会等を経由してリアルタイムデータを伝送
- ◆ 浜岡原子力発電所地点の津波到達時刻・高さの予測を行うシステムを開発し、実証試験開始



- ◆ 御前埼灯台付近，発電所敷地内の2個所に設置
- ◆ 有効観測距離は沖合約18km
- ◆ 通常時の海面流速・流向データを観測中
- ◆ より広範囲の観測ができるHFレーダーを開発中



VHFレーダー観測範囲



VHFレーダー設備(御前埼灯台付近)



- ◆ 「御前崎沖」GPS波浪計を視認可能
- ◆ 観測対象 → 昼間: GPS波浪計・水平線
→ 夜間: GPS波浪計の灯火
- ◆ GPS波浪計・水平線を目印に潮位を自動で検知する方法を開発
(日本電気(株)と共同で特許出願中)

昼間

御前崎沖
GPS波浪計

夜間

御前崎沖
GPS波浪計(灯火)

4. まとめ

- ◆ 津波評価の結果に基づき、水位上昇側及び水位下降側ともに、敷地に最も影響を与える、「南海トラフのプレート間地震」における「プレート境界浅部で大きなすべりが発生するケース(すべり量の不確かさを考慮)」による津波を基準津波として選定した。
- ◆ 基準津波による遡上波の地上部からの直接の流入を防止するため、敷地前面に防波壁等を設置する。また、取水路、放水路等の経路から敷地への津波の直接の流入を防止するため、溢水防止壁等を設置する。漏水・溢水による敷地浸水に対しても、水密扉設置等の浸水防止対策を実施する。更に、基準津波を超える津波に対しても、原子炉建屋等の重要建屋内への浸水防止対策を実施する。
- ◆ 敷地への津波の襲来を察知するため、津波監視カメラ等を設置する。また、防災・減災の観点から、観測技術を組み合わせて津波を検知し、浜岡原子力発電所での到達時刻・高さ、収束時期を予測する「津波監視システム」を構築中。