

東通原子力発電所 津波評価について
(第1068回審査会合コメントに対するコメント回答及び評価方針)

2023年8月4日
東北電力株式会社

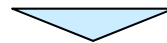
本日の説明内容

■津波水位評価位置に係るコメント内容

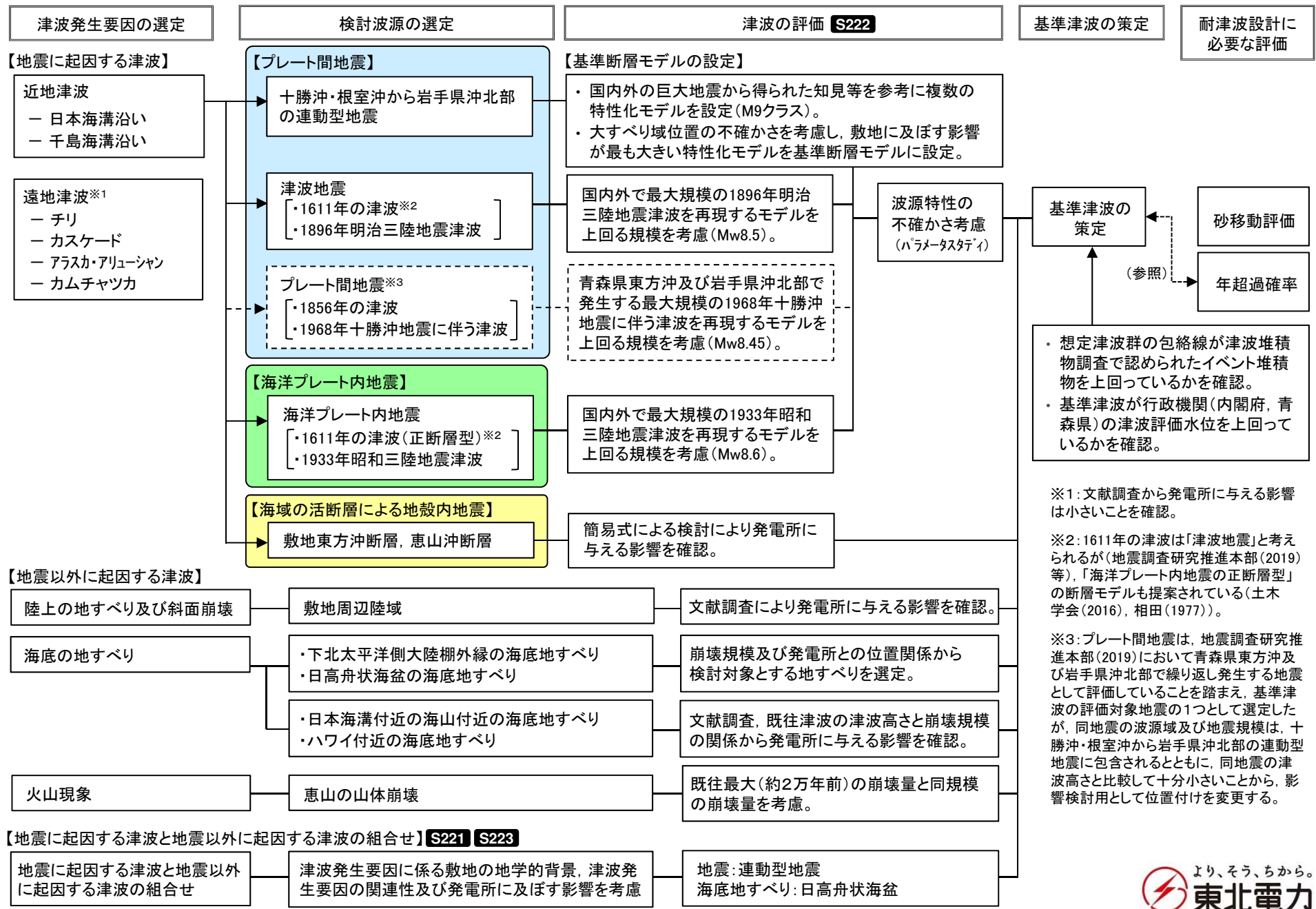
No.	コメント時期	コメント内容
S222	2022年9月2日 第1068回審査会合	水位上昇側の津波水位評価位置のうち敷地前面の設定の考え方について説明すること。また、取水口前面、補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を評価位置に設定する目的について、図等を用いて説明すること。

■地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメント内容

No.	コメント時期	コメント内容
S221	2022年9月2日 第1068回審査会合	地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の評価のうち水位下降側評価の組合せ時間算定位置について、安全機能を有しない取水口前面位置を設定することの必要性について再整理すること。
S223	2022年9月2日 第1068回審査会合	連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ評価のうち水位上昇側の評価について、海底地すべり位置での地震動継続時間の時間範囲で、線形足し合わせにより組合せ時間を算定し、同波動場で解析する方法を用いると地震単独の水位よりも水位が低下する理由を説明すること。その際、他の組合せ評価方法の必要性も含めて検討すること。



- ・「津波水位評価位置に係るコメント(S222)」及び「組合せ評価のうち水位下降側評価の組合せ時間算定位置に係るコメント(S221)」は、評価の前提に対するコメントであるため、本日コメント回答する。
- ・「組合せ評価のうち水位上昇側の評価に係るコメント(S223)」については、本日評価方針を説明し、評価結果については今後の審査会合で説明する。



目次

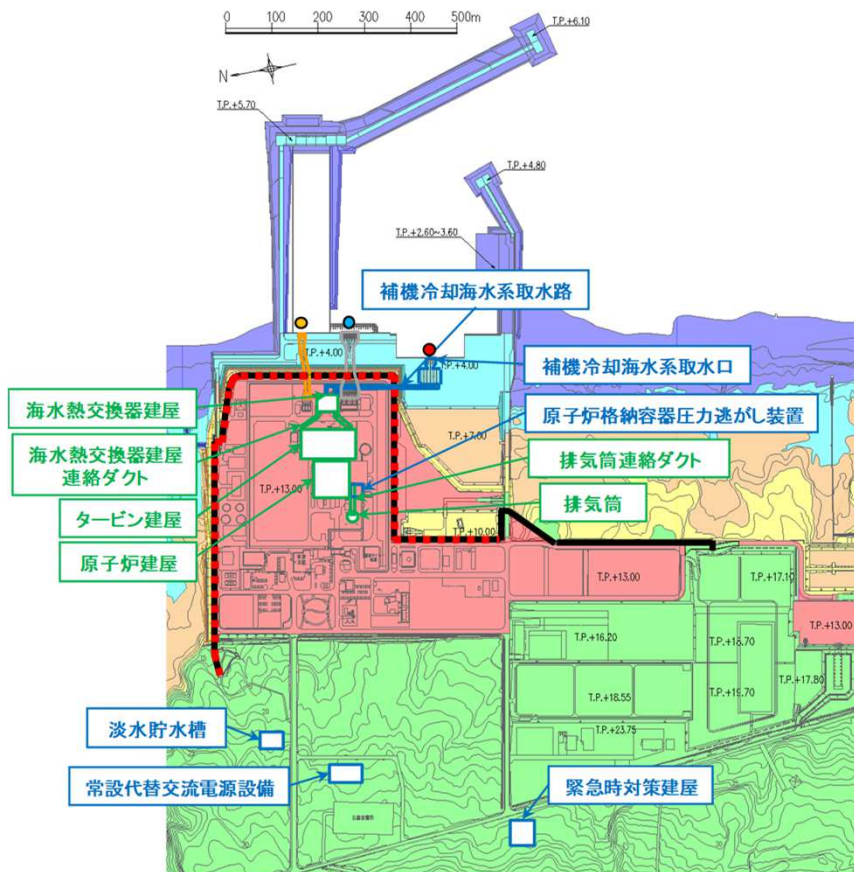
説明の概要	4
I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)	
1. 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係	17
2. コメント回答の概要	18
3. 敷地前面	20
4. 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面	23
II. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価(コメント回答及び評価方針)	
1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)	26
2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)	32

1. 津波水位の評価位置に係るコメントNo. S222

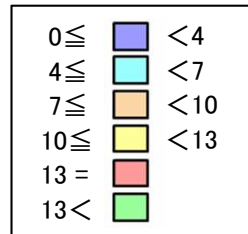
No.	コメント内容
S222	水位上昇側の津波水位評価位置のうち敷地前面の設定の考え方について説明すること。また、取水口前面、補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を評価位置に設定する目的について、図等を用いて説明すること。

■コメント回答方針：敷地前面

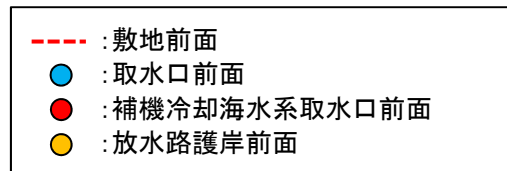
- 耐震重要施設等は、南北方向に長い敷地のうち標高T.P.+13.0mの整地盤の限定的なエリアに設置している。
- 以上の敷地形状及び施設配置の特徴を踏まえ、基準津波による遡上波の到達を評価する敷地前面の範囲は、発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮して設定している。
- 敷地前面の設定範囲の妥当性について、水位上昇側の評価で影響が大きい「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル①)」の津波来襲特性から説明する。



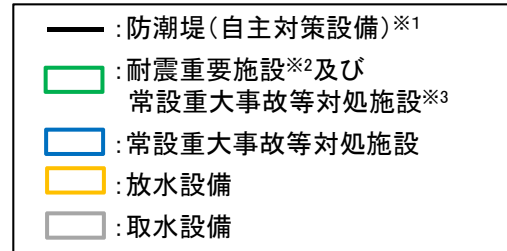
【標高(T.P., m)】



【津波水位の評価位置】



【施設位置】



※1 緊急安全対策の更なる安全性向上のための対策として設置。設置標高はT.P.+13.0mであり津波が到達しないことから、解析結果には影響しない。

※2 設置許可基準規則第3条の対象となる耐震重要施設(間接支持構造物を含む)

※3 設置許可基準規則第38条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)

説明の概要

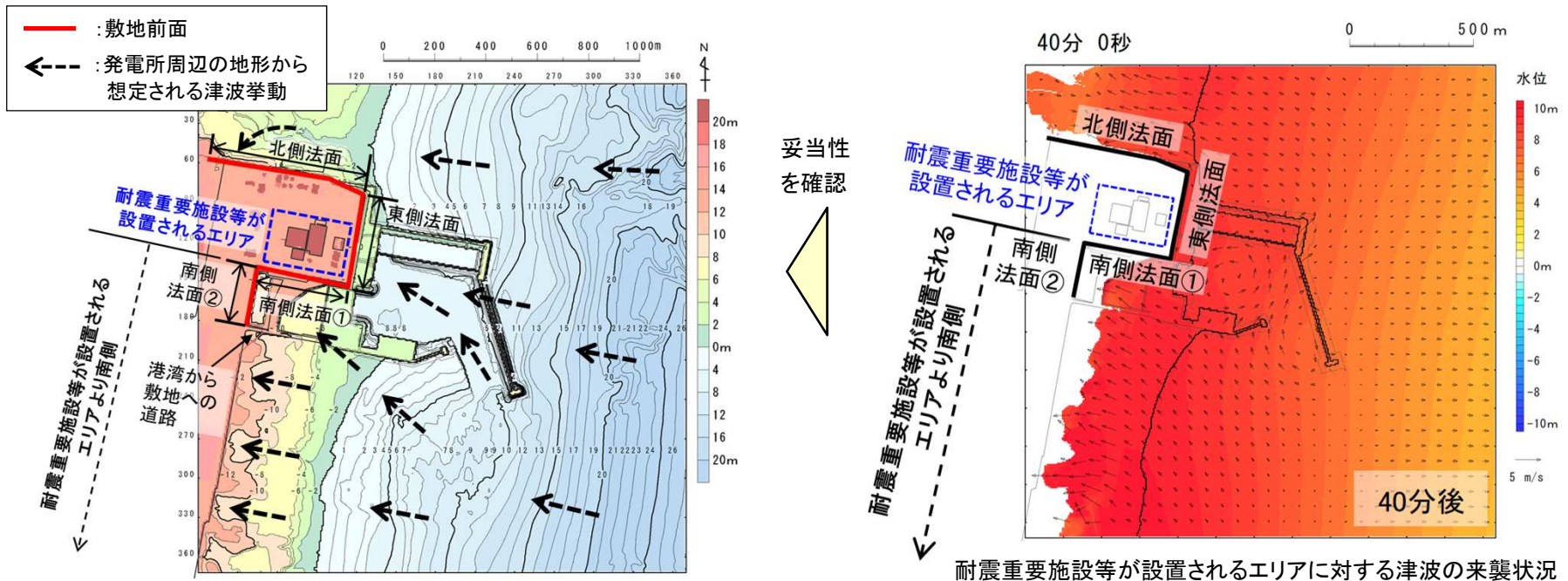
1. 津波水位の評価位置に係るコメントNo. S222

■コメント回答：敷地前面の設定範囲の妥当性

- ・ 発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮し、敷地(T.P.+13.0m)のうち耐震重要施設等が設置されるエリア(以下、「エリア」という。)を取り囲むように津波水位の評価位置を設定した(敷地前面を北側法面、東側法面、南側法面①、南側法面②で構成した)。
- ・ 同エリアに対する津波の来襲状況から、敷地前面の設定範囲の妥当性を確認した。

【敷地前面の設定範囲の考え方】

- 北側法面: 東から来襲した津波が谷状地形に沿って遡上し、エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置とし、北側法面の西側の端部はT.P.+16.0mの地山に擦りつく位置に設定した。
- 東側法面: 東から来襲した津波が直接来襲することが想定されることから、評価位置に設定した。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し、エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置に設定した。
- 南側法面②: エリアより南側は、東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上することが想定されるため、エリアへの遡上波の回り込みはなく、津波水位の評価位置として設定する必要はない。ただし、「南側法面①」の西側の端部がエリアに近接することから、一定の離隔を確保する観点で「南側法面②」を評価位置に設定し、その端部は港湾から敷地への道路の交差点までとした。以上から、南側法面②よりさらに南側は評価位置に設定しない。

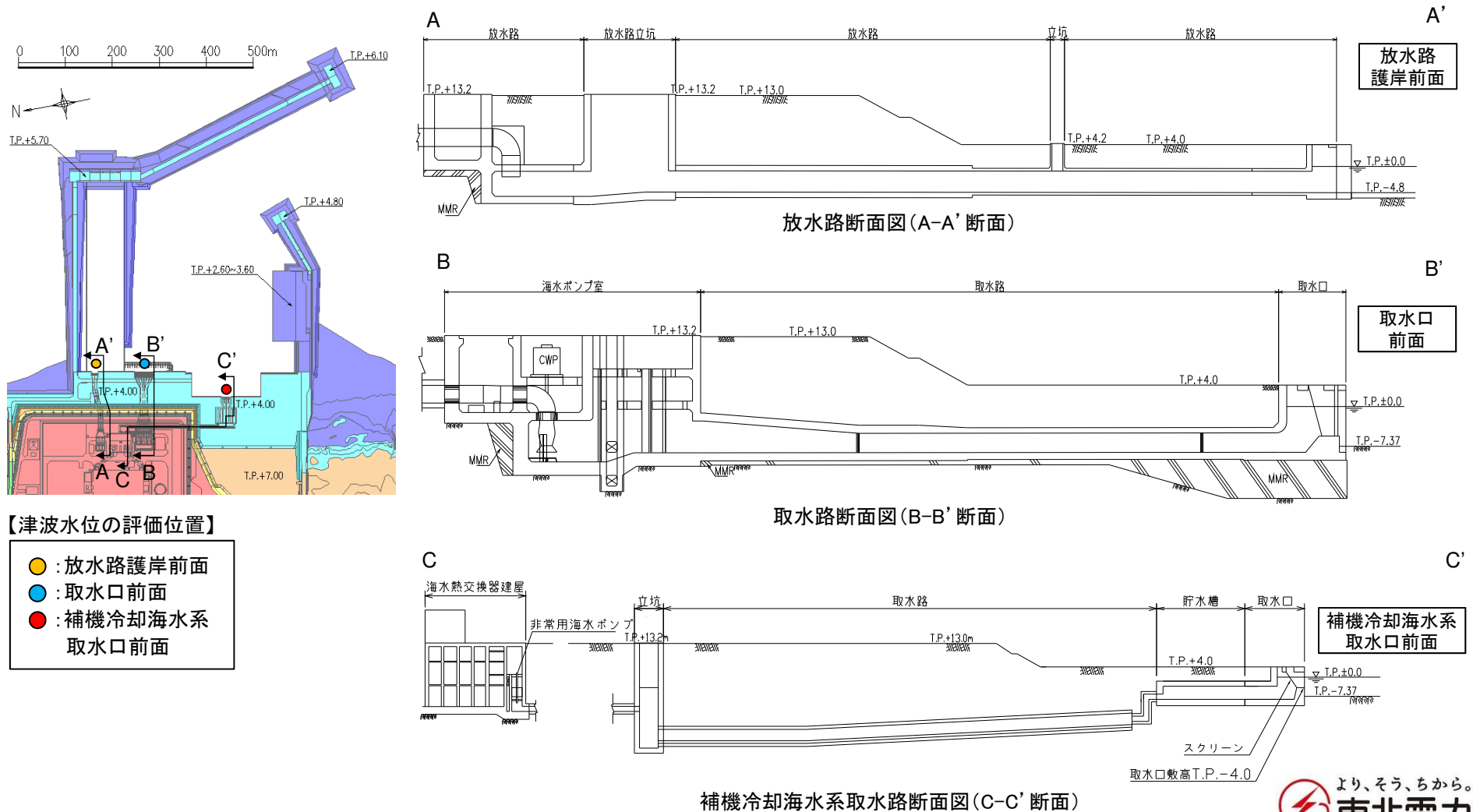


説明の概要

1. 津波水位の評価位置に係るコメントNo. S222

■コメント回答：取水口前面，補機冷却海水系取水口前面，放水路護岸前面

- 取水路及び放水路を介し，重要な安全機能を有する施設の設置された敷地(T.P.+13.0m)へ津波が流入するかを評価するため，取水口前面，補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を津波水位の水位上昇側の評価位置として設定した。



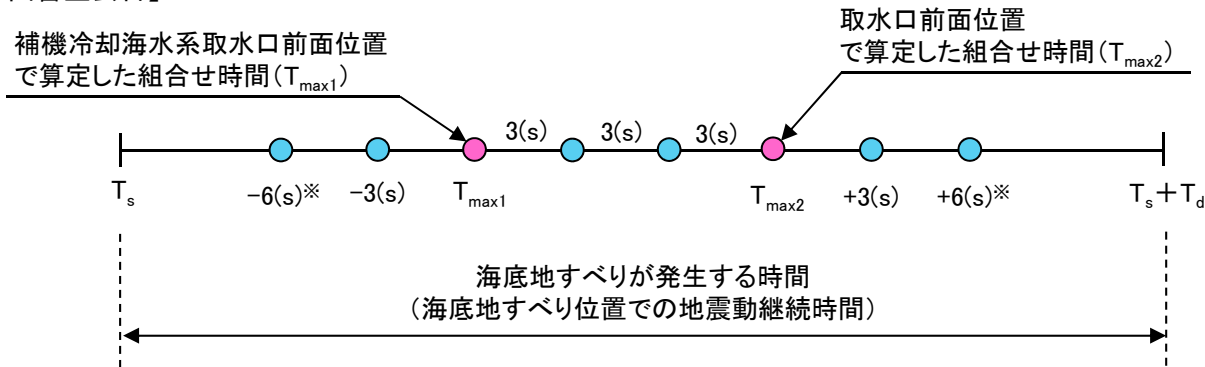
2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S221

No.	コメント内容
S221	地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の評価のうち水位下降側評価の組合せ時間算定位置について、安全機能を有しない取水口前面位置を設定することの必要性について再整理すること。

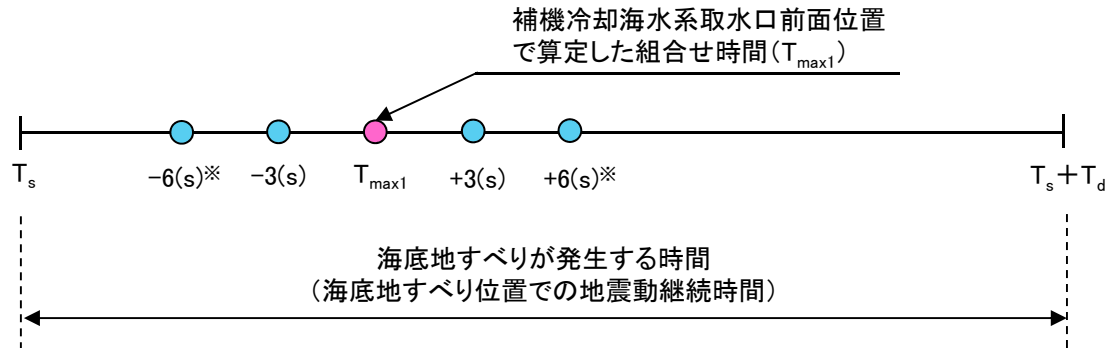
■評価方針

- パラメータスタディ範囲を広めに設定することを目的に、補機冷却海水系取水口前面位置に加え、水位上昇側の評価位置である取水口前面位置でも組合せ時間を算定する方針としていたが、同設備は安全機能を有しない設備であることから、組合せ時間算定位置として設定しない方針に変更する。
- 以上から、パラメータスタディ範囲は、補機冷却海水系取水口前面位置で算定した組合せ時間を基本に設定し、最大水位下降量及び補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間を評価する。

【第1068回審査会合】



【今回(変更)】



※: ±6秒の範囲でピークが確認されない場合には、ピークが確認できるまでパラメータスタディ範囲を拡大する。

2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S221

■評価結果(概要)

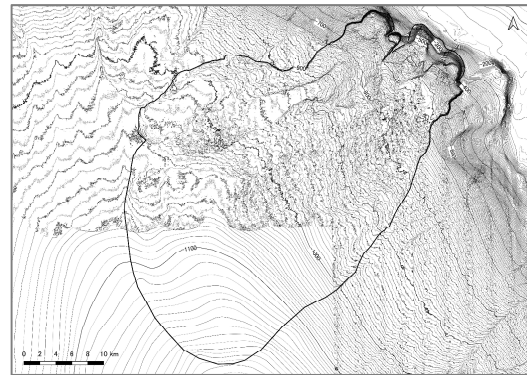
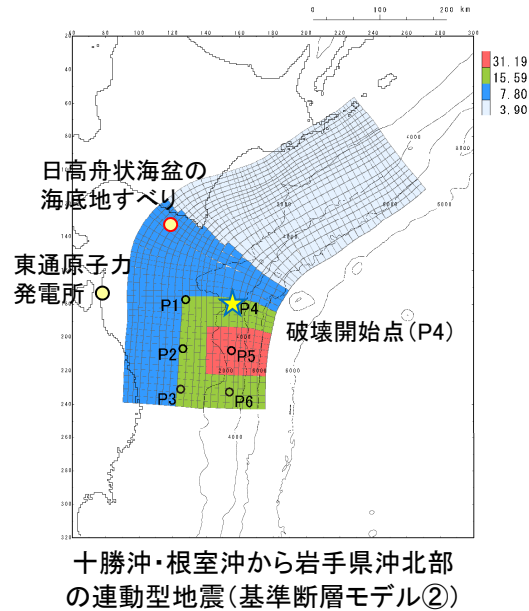
- 連動型地震の水位下降側決定ケースである基準断層モデル②, 基準断層モデル③と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せについて, 両評価ともに, 第1068回審査会合で説明した評価結果に変更はない。

【連動型地震(基準断層モデル②)と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の組合せ(第1068回審査会合での説明内容に加筆)】

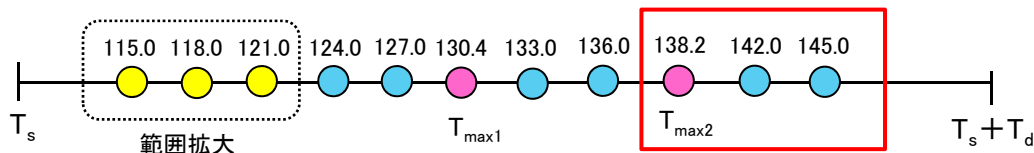
□ : 組合せ時間算定位置として設定しない

	波源モデル		海底地すべりが発生する時間範囲 ($T_s \sim T_s + T_d$)	線形足し合わせによる組合せ時間		
	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	日高舟状海盆の海底地すべり		敷地前面	補機冷却海水系取水口前面 (T_{max1})	取水口前面 (T_{max2})
水位下降側	基準断層モデル②	二層流モデル	45.2(s)~268.1(s)	—	130.4(s)	138.2(s)

□ : 決定ケース

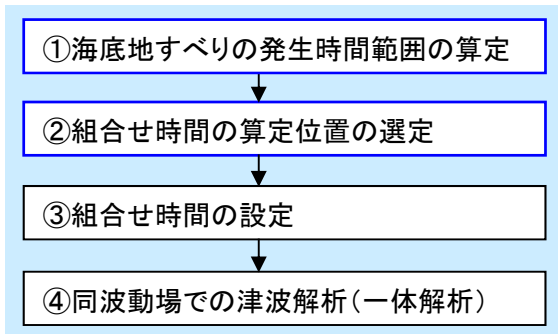


組合せ時間差(s)	補機冷却海水系取水口前面		備考
	最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
115.0	-5.11(-5.113)	4.4	範囲拡大
118.0	-5.11(-5.114)	4.4	範囲拡大
121.0	-5.12(-5.115)	4.4	範囲拡大
124.0	-5.11(-5.111)	4.4	
127.0	-5.11(-5.109)	4.4	
130.4	-5.11(-5.110)	4.4	T_{max1}
133.0	-5.11(-5.109)	4.4	
136.0	-5.11(-5.107)	4.4	
138.2	-5.11(-5.105)	4.4	T_{max2}
142.0	-5.10	4.3	
145.0	-5.10	4.3	



No.	コメント内容
S223	連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ評価のうち水位上昇側の評価について、 <u>海底地すべり位置での地震動継続時間の時間範囲で、線形足し合わせにより組合せ時間を算定し、同波動場で解析する方法を用いると地震単独の水位よりも水位が低下する理由を説明すること。</u> 【検討1】 その際、 <u>他の組合せ評価方法の必要性も含めて検討すること。</u> 【検討3】

■第1068回審査会合での説明内容
【組合せ評価方法(評価フロー)】



【評価結果(水位上昇側)】

敷地前面における最大水位上昇量
 組合せ津波: 10.14m
 (連動型地震: 11.18m)

【評価対象とする津波の選定】

- ◆地震に起因する津波
 - 十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震
- ◆地震以外に起因する津波
 - 日高舟状海盆の海底地すべり
 - 地すべり①と地すべり②の同時活動

■評価方針

【検討1-1】海底地すべりの発生時間範囲の妥当性(評価フロー①)

- ・海底地すべりの発生メカニズム、2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波に関する知見から、地震動継続時間中に海底地すべりの発生を想定することの合理性を確認する。

【検討1-2】組合せ時間算定位置の妥当性(評価フロー②)

- ・連動型地震の津波特性(周期・波長)及び来襲特性から、補機冷却海水系取水口前面、取水口前面で代表することの妥当性を確認する。

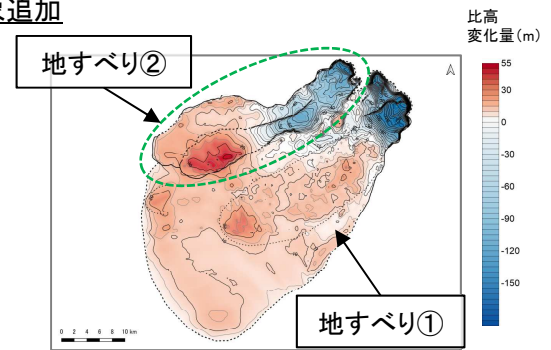
【検討2】地震単独津波の水位を下回る要因の分析

- ・日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性、地震単独と組合せ津波の津波伝播特性から分析する。

【検討3】評価方針:日高舟状海盆の海底地すべりの評価対象追加

- ・地震単独津波の水位を下回る要因・日高海底地すべりの形成過程及び津波特性(=東通のサイト特徴)を考慮し、日高舟状海盆の海底地すべりについて、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に加え、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」との組合せ評価も実施する。

- 日高舟状海盆の海底地すべり
 - 地すべり①と地すべり②の同時活動
 - 地すべり①単独<追加>
 - 地すべり②単独<追加>



日高舟状海盆の海底地すべり(比高変化分布)

説明の概要

2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

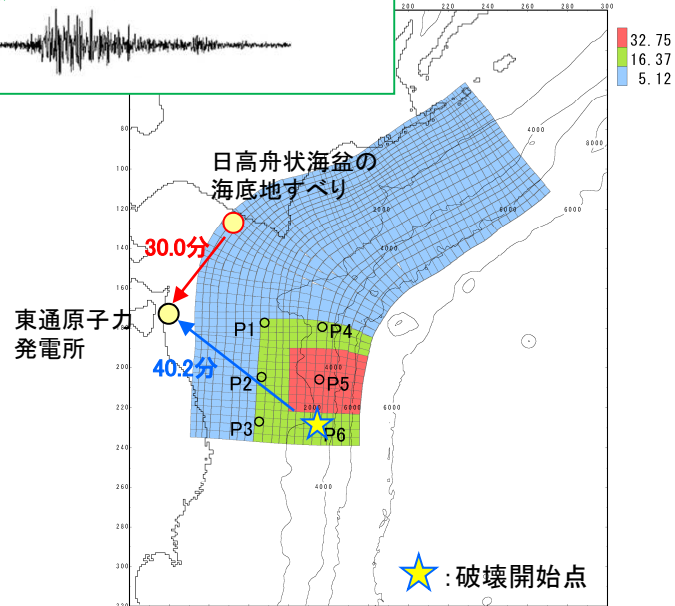
■ 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因の分析: 検討方針

- 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に発電所に到達するため、発電所地点では、連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。

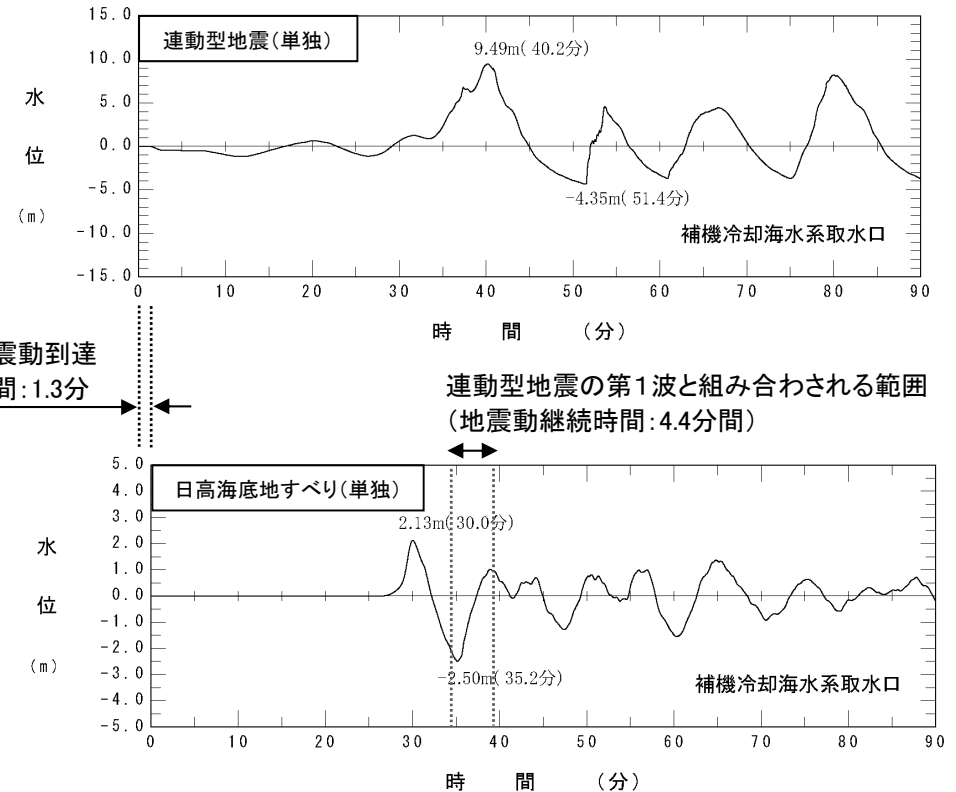
【各津波の最高水位到達時間及び海底地すべりの発生時間範囲の関係】

- 連動型地震(単独)の最高水位到達時間: 40.2分
- 海底地すべり(単独)の最高水位到達時間: 30.0分
- 海底地すべりの発生時間範囲: 地震発生1.3分~5.7分後(4.4分間)

海底地すべりの発生時間範囲:
地震発生1.3分~5.7分後(4.4分間)



【発電所地点(補機冷却海水系取水口前面位置)における水位時刻歴波形】



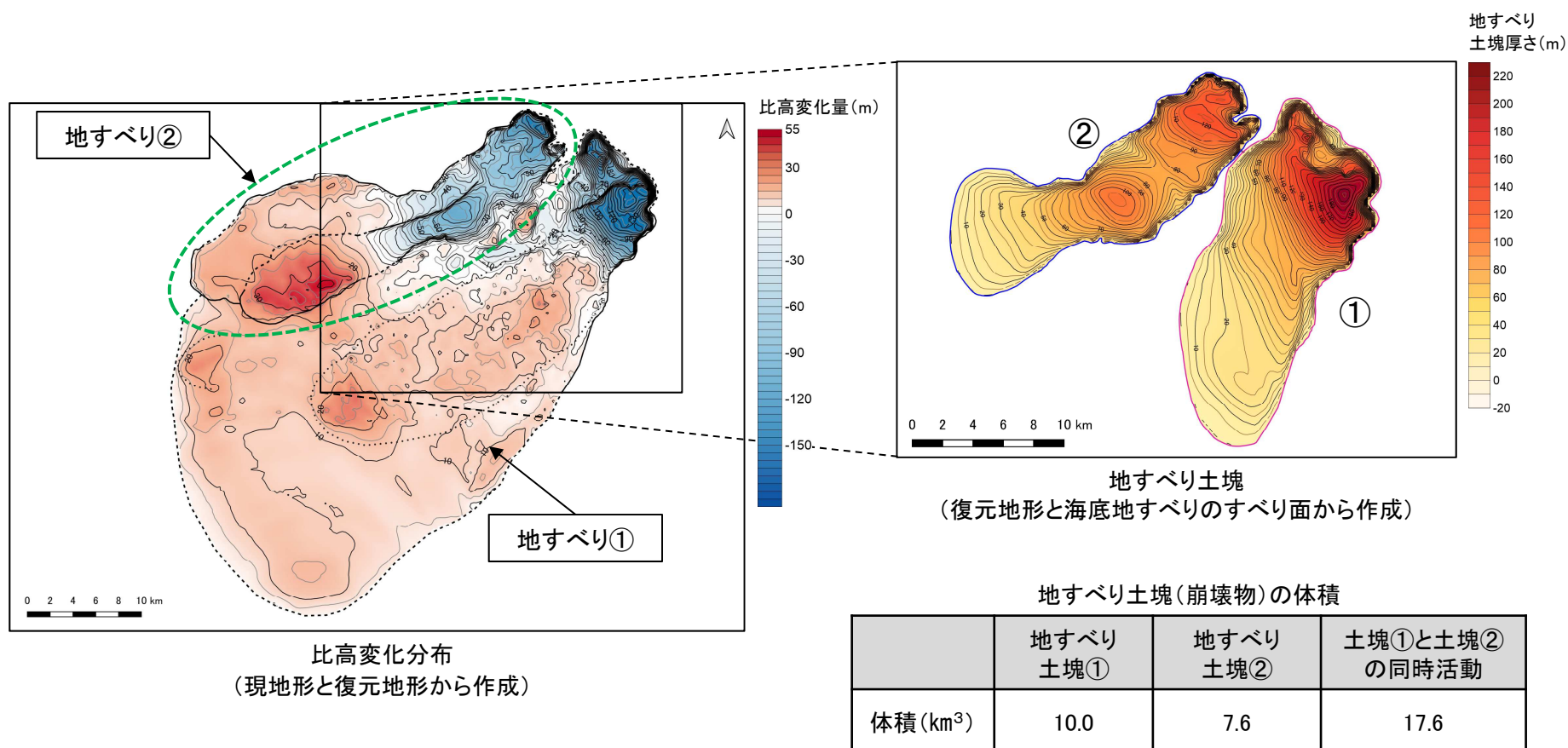
組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因について、日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性(水位変動量, 周期, 波長)及び連動型地震(単独)と組合せ津波の津波伝播特性の比較から分析する。

説明の概要

2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

■日高舟状海盆の海底地すべりの評価: 地すべり規模の保守性

- 日高舟状海盆の海底地すべりは複数回の活動で形成された可能性が考えられ、地すべり地形は地すべり①と地すべり②に区分される。地すべりの形成過程については、堆積構造から地すべり①の後に、地すべり②が発生したと考えられる。
- 海底地すべりに伴う津波の水位変動量は、想定する地すべり規模(地すべり土塊の体積)に起因することから、保守的に地すべり①と地すべり②の同時活動を考慮し、連動型地震との組合せを評価している。



説明の概要

2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

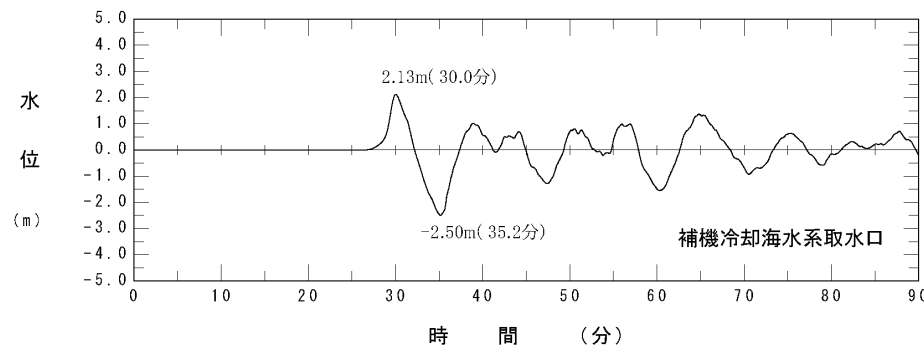
■ 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因

- 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性について、地すべり規模の保守性(地すべり①と地すべり②の同時活動)を考慮した影響から、第1波の水位変動量は大きく、周期、波長も長い。
- 組合せ津波が地震単独津波の水位を下回る要因は、上記の津波特性を有する海底地すべり津波の第1波の押し波が沖合を通過し、その後の引き波により、初期水面(T.P.±0.0m)から水面が低下した状態に、連動型地震の津波の第1波が来襲するためと考えられる。

【日高海底地すべりの津波特性(第1波)】

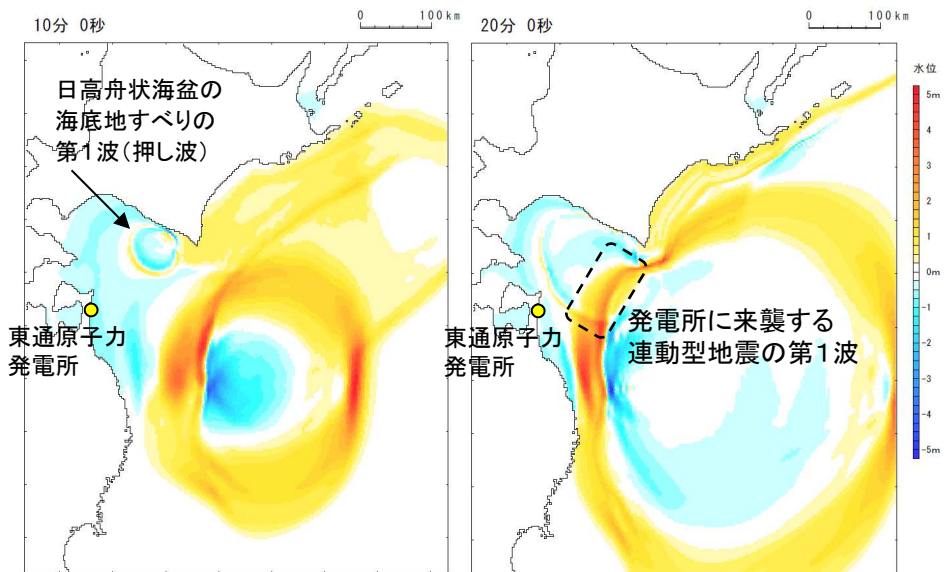
- ✓ 水位変動量：+2.13m ~ -2.50m ※1
- ✓ 周期：約10分 ※1
- ✓ 波長：30km程度

※1: 補機冷却海水系取水口前面位置



補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形

【組合せ津波のスナップショット※2】



地震発生10分後

地震発生20分後

※2: 水位上昇側決定ケース, 組合せ時間: 地震発生87.5秒後

【下回る要因分析から得られた知見】

- 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に沖合を通過し、発電所に到達する。そのため、沖合では日高海底地すべりの第1波の引き波と連動型地震の第1波(押し波)が干渉し、発電所地点では、(沖合で干渉した)連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。
- 上記に対し、「地すべり①と地すべり②の同時活動」は、地すべり規模の保守性を考慮したことにより、第1波の水位下降量は大きく、その周期・波長も長い津波となり、これが、連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因になっていることを確認した。

説明の概要

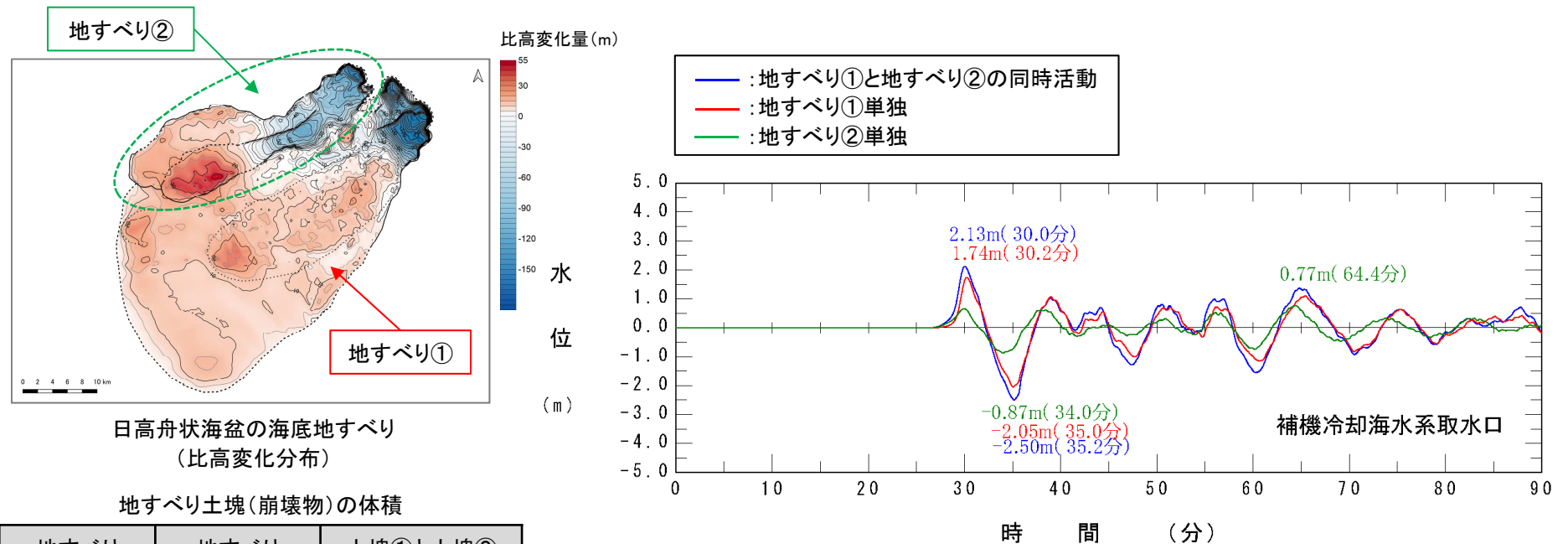
2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

■評価方針: 日高舟状海盆の海底地すべり①単独及び地すべり②単独の津波特性

- 「地すべり①と地すべり②の同時活動」, 「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」の補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形の比較を以下に示す。
- 海底地すべりの津波特性は想定する地すべり規模に起因し, 規模が小さくなると, 第1波の水位変動量は小さく, 周期・波長※は短くなる。
※: 波長に関する考察の詳細は, 本資料「Ⅱ章 2.6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】」に記載。

【日高海底地すべりの津波特性(第1波)】

- 地すべり①単独: 「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して周期はほぼ同様であるが, 最低水位は0.5m程度小さい。
- 地すべり②単独: 「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して周期は2分程度短いとともに, 最低水位も1.6m程度小さい。



補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(二層流モデル)

2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

■評価方針

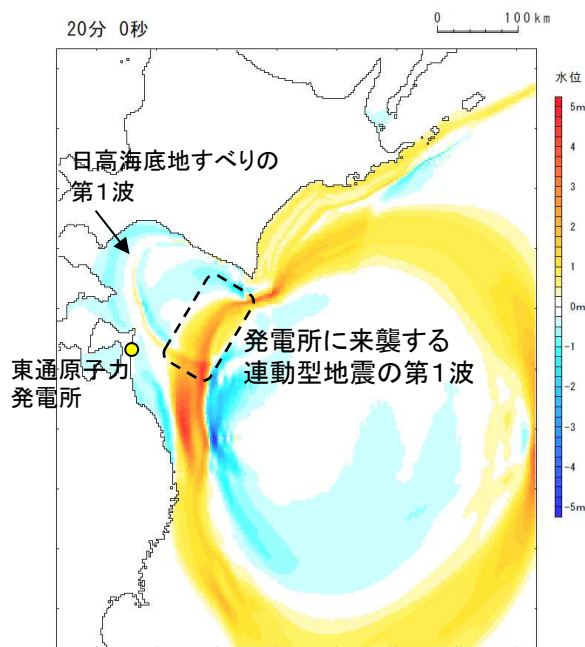
【東通のサイト特徴】

- 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に沖合を通過し、発電所に到達する。そのため、沖合では日高海底地すべりの第1波の引き波と連動型地震の第1波(押し波)が干渉し、発電所地点では、(沖合で干渉した)連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。
- 上記に対し、「地すべり①と地すべり②の同時活動」は、地すべり規模の保守性を考慮したことにより、第1波の水位下降量は -2.5m^* と大きく、その周期は約10分 * 、波長は30km程度と長い津波となり、これが、連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因になっていることを確認した。
- 海底地すべりの津波特性は想定する地すべり規模に起因するため、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」の津波特性は、「地すべり①と地すべり②の同時活動」と異なる。
- 特に、「地すべり②単独」については、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して、第1波の水位下降量は1.6m程度小さい * とともに、周期は2分程度 * 、波長は5km程度短いことから、連動型地震との組合せを評価した場合、連動型地震(単独)津波の水位を上回る可能性がある。

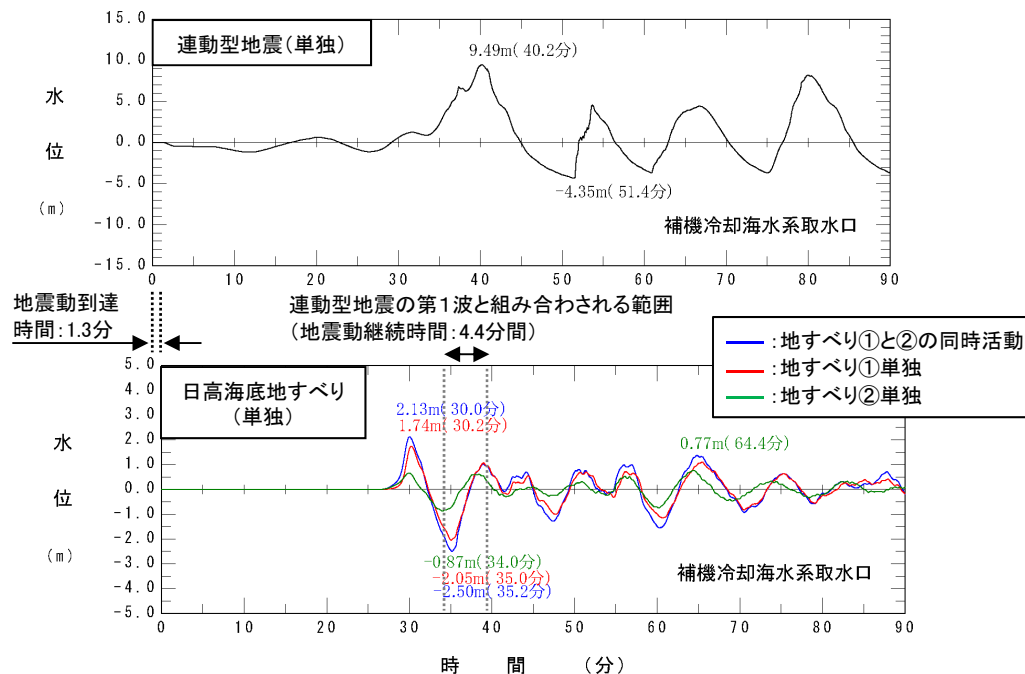
【評価内容】

※：補機冷却海水系取水口前面位置

- 上記東通のサイト特徴から、日高海底地すべりの第1波の水位下降量、周期及び波長の大小が評価に与える影響を検討することが重要であることを踏まえ、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に加え、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」との組合せを評価する。
- なお、日高海底地すべりの形成過程から「地すべり①の発生後に、地すべり②が発生するケース」も考えられるが、発電所に先行して到達する地すべり①の第1波の水位下降量に、遅れて到達する地すべり②の第1波の水位上昇量を足し合わせても、地すべり②単独の第1波の水位下降量を上回らない。したがって、時間差を考慮した地すべりとの組合せ津波の水位は、地すべり②単独との組合せ津波の水位を下回る。



組合せ津波のスナップショット(地震発生20分後)



発電所地点(補機冷却海水系取水口前面位置)における水位時刻歴波形

余白

I . 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)※

※:コメント回答内容を踏まえた津波水位の評価位置に係る説明の詳細は,補足説明資料「I . 津波水位の評価位置」に記載。

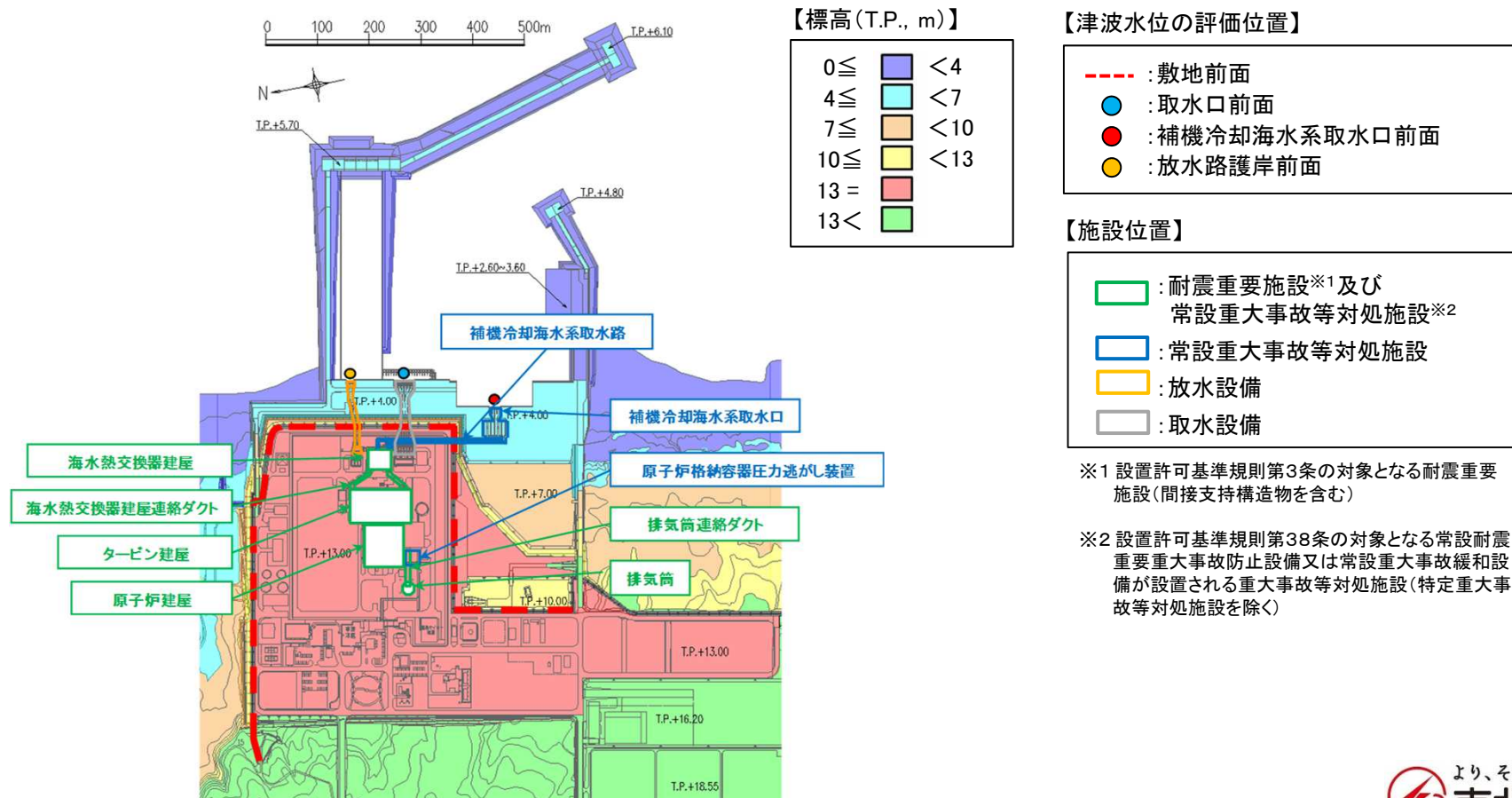
1. 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係
2. コメント回答の概要
3. 敷地前面
4. 取水口前面,補機冷却海水系取水口前面,放水路護岸前面

1. 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

No.	コメント内容
S222	水位上昇側の津波水位評価位置のうち敷地前面の設定の考え方について説明すること。また、取水口前面、補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を評価位置に設定する目的について、図等を用いて説明すること。

■第1068回審査会合での説明内容

- 耐震重要施設等が設置された敷地(T.P.+13.0m)へ津波が遡上するかを評価するため敷地前面(下図:赤点線)を津波水位の評価位置とする。
- 各経路を介し、耐震重要施設等が設置された敷地(T.P.+13.0m)へ津波が流入するかを評価するため、取水口前面、補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を水位上昇側の津波水位の評価位置とする。



※1 設置許可基準規則第3条の対象となる耐震重要施設(間接支持構造物を含む)

※2 設置許可基準規則第38条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)

I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)

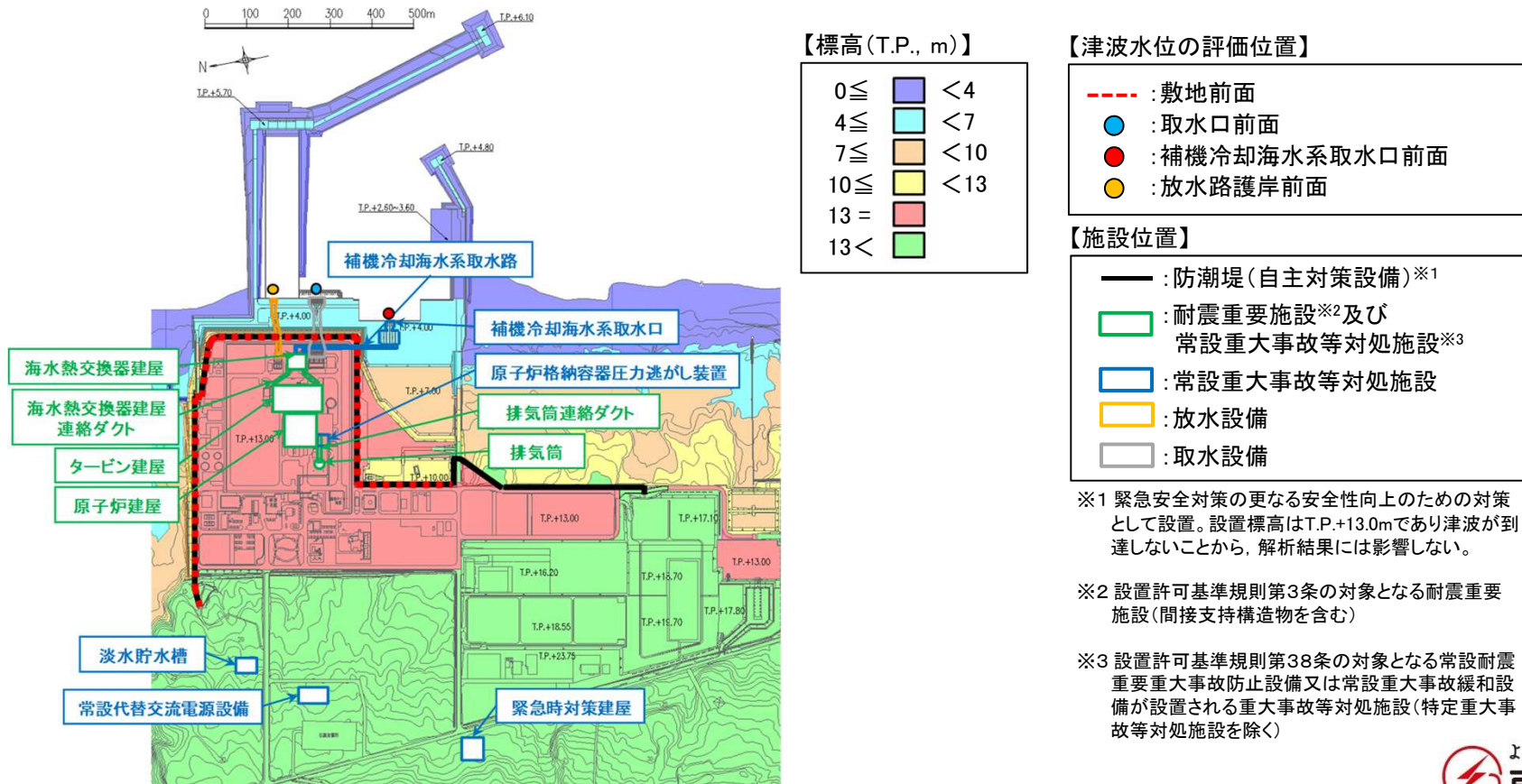
2. コメント回答の概要

■敷地前面

- 耐震重要施設等は、南北方向に長い敷地のうち標高T.P.+13.0mの整地盤の限定的なエリアに設置している。
- 以上の敷地形状及び施設配置の特徴を踏まえ、基準津波による遡上波の到達を評価する敷地前面の範囲は、発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮して設定している。
- 敷地前面の設定範囲の妥当性について、水位上昇側の評価で影響が大きい「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル①)」の津波来襲特性から説明する。

■取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面

- 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面を水位上昇側の評価位置と設定することについて、設備概要図を用いて説明する。



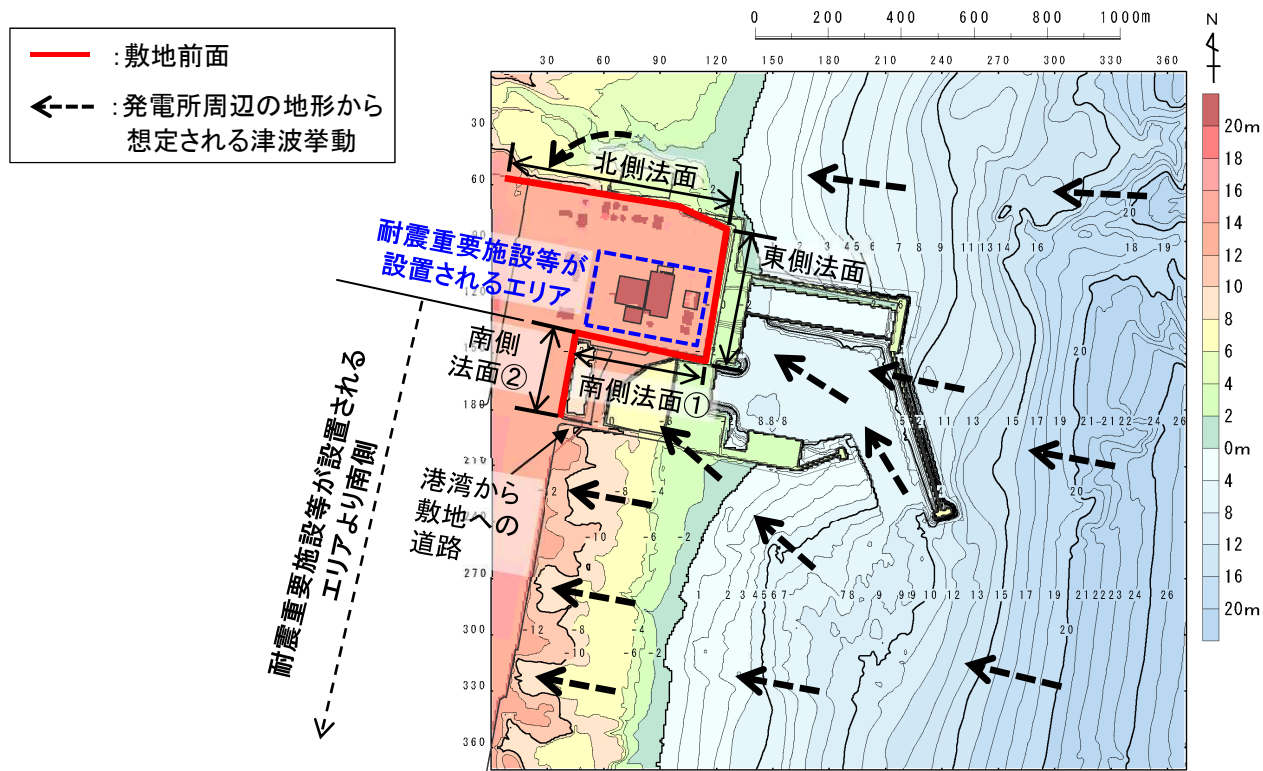
余白

3. 敷地前面

■敷地前面の設定範囲の考え方

- 発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮し、敷地(T.P.+13.0m)のうち耐震重要施設等が設置されるエリア(以下、「エリア」という。)を取り囲むように津波水位の評価位置を設定した(敷地前面を北側法面、東側法面、南側法面①、南側法面②で構成した)。

- 北側法面: 東から来襲した津波が谷状地形に沿って遡上し、エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置とし、北側法面の西側の端部はT.P.+16.0mの地山に擦りつく位置に設定した。
- 東側法面: 東から来襲した津波が直接来襲することが想定されることから、評価位置に設定した。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し、エリアへの遡上波の回り込みが想定されることから評価位置に設定した。
- 南側法面②: エリアより南側は、東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上することが想定されるため、エリアへの遡上波の回り込みはなく、津波水位の評価位置として設定する必要はない。ただし、「南側法面①」の西側の端部がエリアに近接することから、一定の離隔を確保する観点で「南側法面②」を評価位置に設定し、その端部は港湾から敷地への道路の交差点までとした。以上から、南側法面②よりさらに南側は評価位置に設定しない。



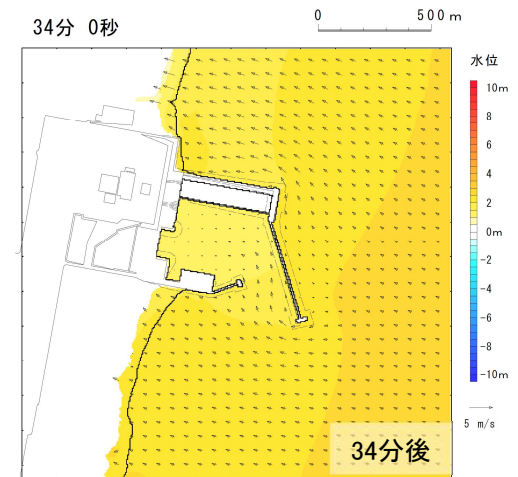
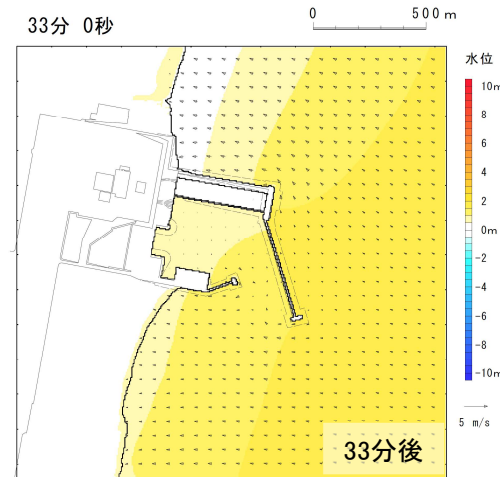
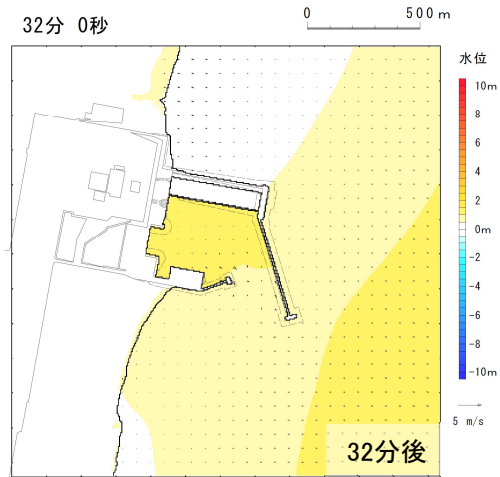
I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)

3. 敷地前面

- 敷地前面の設定範囲の妥当性について、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル①)の津波来襲特性から以下のとおり確認した。

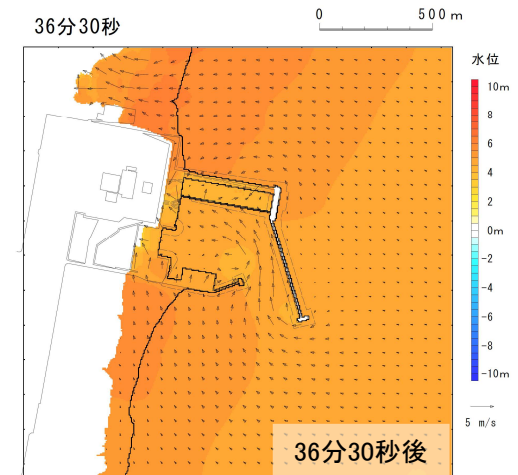
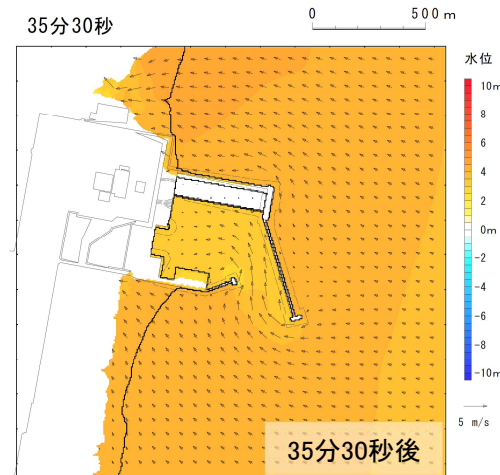
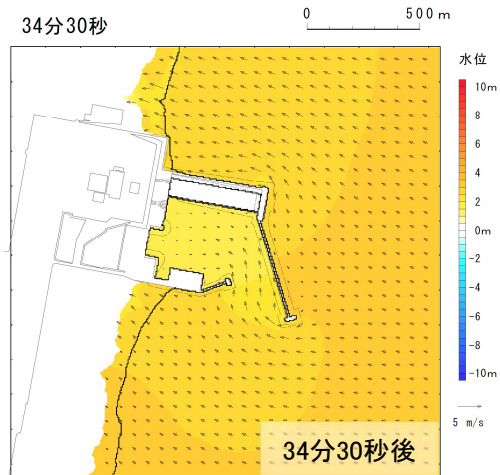
■ 第1波の来襲状況

- 津波は発電所に対し東から来襲する。



■ 耐震重要施設等が設置されるエリアの北側の遡上状況

- 東から来襲した津波は谷状地形に沿って遡上する。

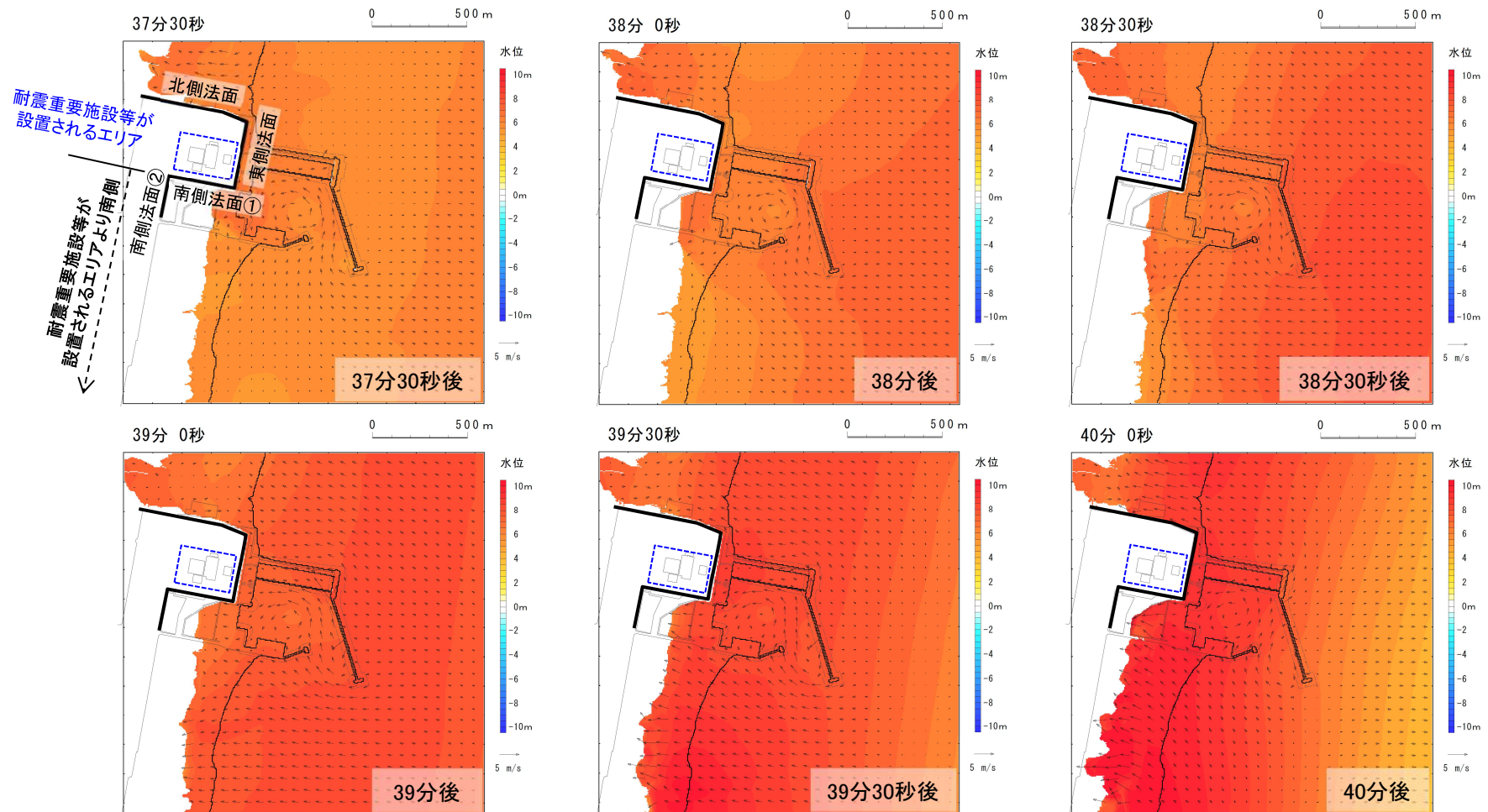


3. 敷地前面

■ 敷地前面の設定範囲の妥当性(耐震重要施設等が設置されるエリアへの来襲状況)

- ・ エリアに対する津波の来襲状況から、敷地前面の設定範囲の妥当性を以下のとおり確認した。

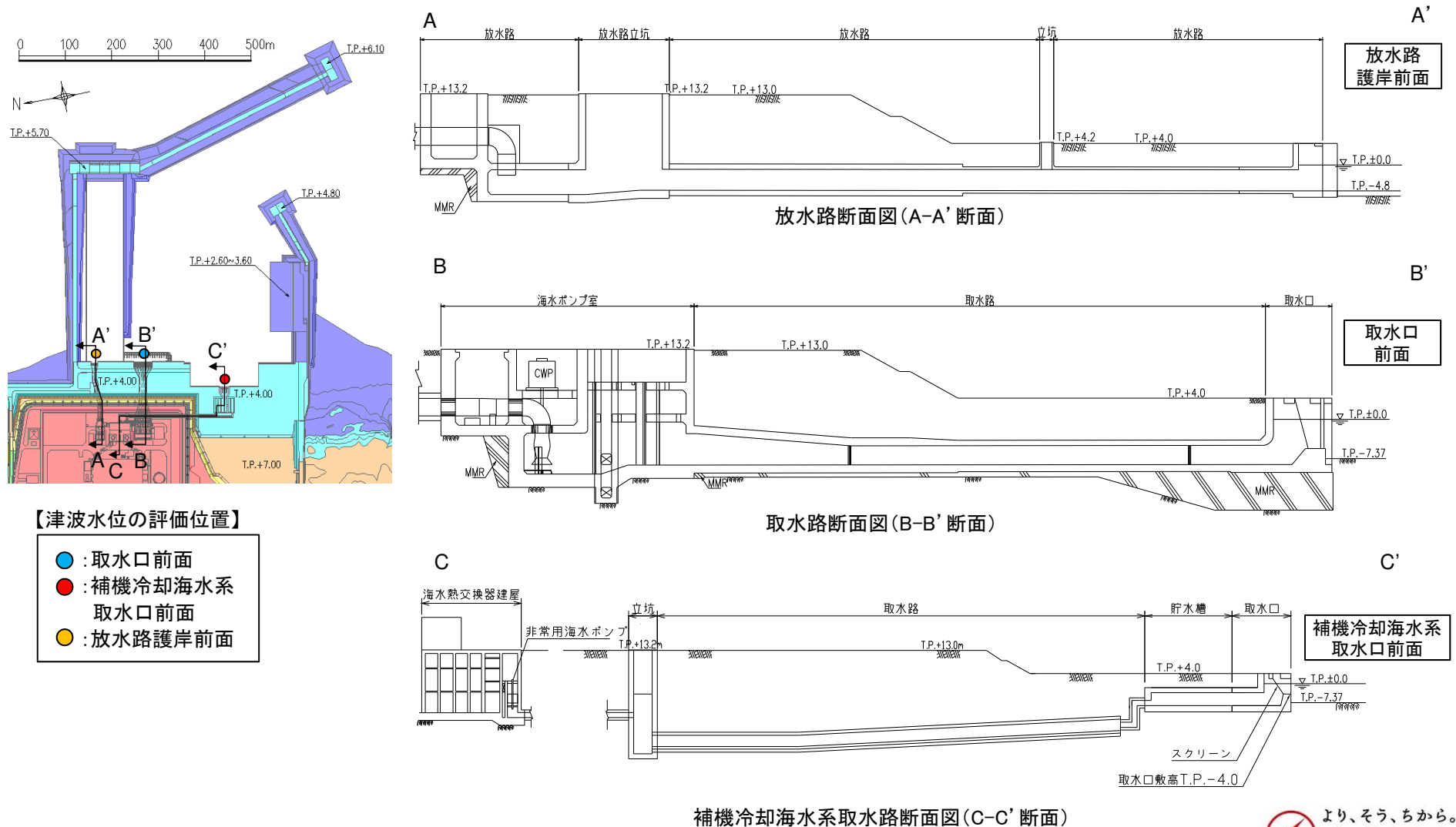
- 北側法面: 谷状地形に沿って遡上した津波が、エリアに回り込むように遡上する(地震発生38分30秒~40分後)。
- 東側法面: 東から来襲した津波がエリアに直接来襲する(地震発生37分30秒~40分後)。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し、エリアの南側に回り込むように遡上する(地震発生39分~40分後)。
- 南側法面②(エリアより南側): 東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上し、エリアへの回り込みはない(地震発生39分~40分後)。



I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)

4. 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面

- 取水路及び放水路を介し, 重要な安全機能を有する施設の設置された敷地 (T.P.+13.0m) へ津波が流入するかを評価するため, 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面及び放水路護岸前面を津波水位の水位上昇側の評価位置として設定した。



補機冷却海水系取水路断面図(C-C' 断面)

Ⅱ．地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 (コメント回答及び評価方針)※

※:第1068回審査会合での説明内容は, 補足説明資料「Ⅱ．地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価(第1068回審査会合(抜粋))」に記載。

1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)
2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

余白

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)

- 1. 1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係
- 1. 2 評価方針
- 1. 3 評価結果

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)

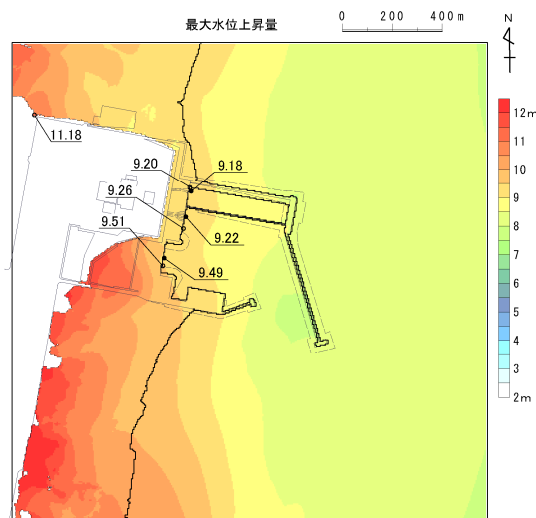
1.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

No.	コメント内容
S221	地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の評価のうち水位下降側評価の組合せ時間算定位置について、安全機能を有しない取水口前面位置を設定することの必要性について再整理すること。

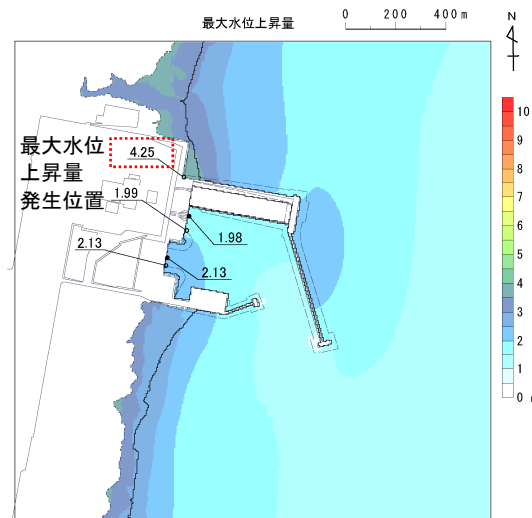
■第1068回審査会合での説明内容

【水位下降側の組合せ時間算定位置】

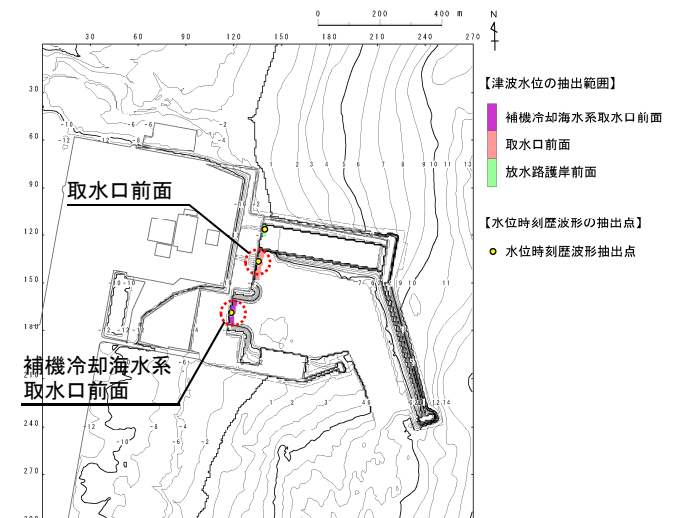
- 水位上昇側及び水位下降側の評価点である水位時刻歴波形の抽出位置のうち連動型地震及び日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が到達する補機冷却海水系取水口前面、取水口前面位置を対象に組合せ時間を算定した。



連動型地震に伴う津波の最大水位上昇量分布
(基準断層モデル①)



日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の
最大水位上昇量分布



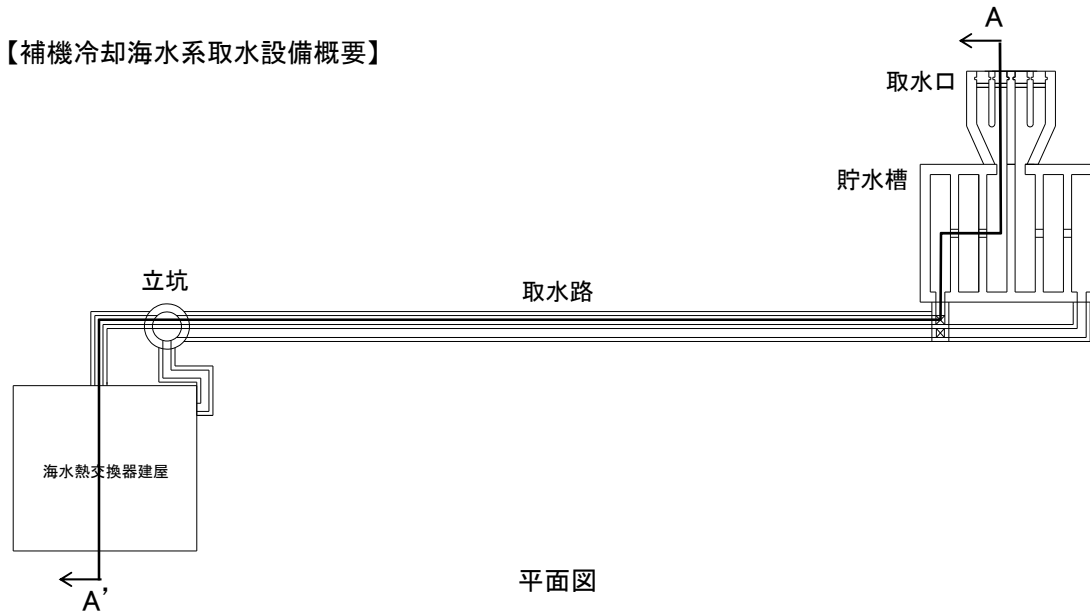
水位時刻歴波形の抽出位置

1.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

■水位下降側の津波水位の評価位置:補機冷却海水系取水口前面

- ・ 非常用海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)の取水性を評価するため, 補機冷却海水系取水口前面を津波水位の水位下降側の評価位置とする。
- ・ 補機冷却海水系取水設備は, 津波が取水口敷高(T.P.-4.0m)を下回る場合の非常用海水ポンプの運転に必要な海水を貯留する構造を兼ねていることから, 補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間についても評価する。

【補機冷却海水系取水設備概要】



■非常用海水ポンプの運転可能継続時間

(A)有効貯水量:約5,000(m³)

取水口敷高(T.P.-4.0m)から非常用海水ポンプの取水可能水位(T.P.-7.5m)までの容量

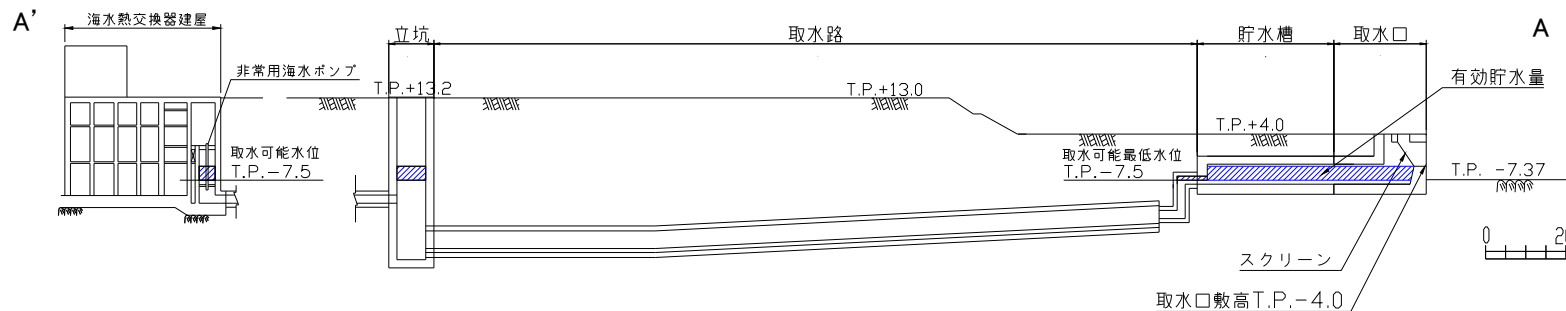
(B)非常用海水ポンプの運転可能継続時間:約35(分)

(A)/非常用海水ポンプの取水量
= 5,000(m³)/8,340(m³/hr) × 60 = 約35分

非常用海水ポンプの取水量

	運転台数*	流量 (m ³ /hr)	取水量 (m ³ /hr)
原子炉補機冷却 海水ポンプ	2台 × 2系統	8,000	8,340
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1台 × 1系統	340	

※:非常用海水ポンプの最大運転台数を考慮



:津波水位が取水口敷高を下回る場合に, 非常用海水ポンプの取水に必要な海水が設備内に確保される範囲(約5,000m³)

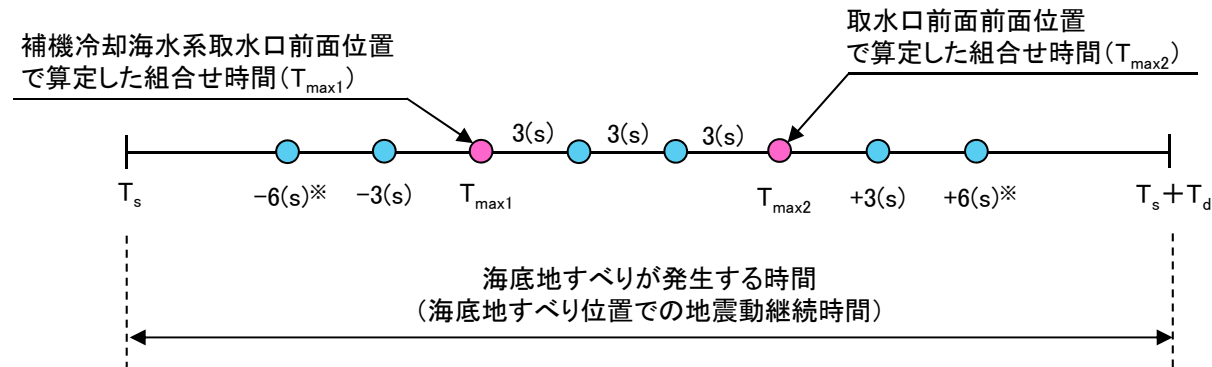
断面図(A-A'断面)

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)

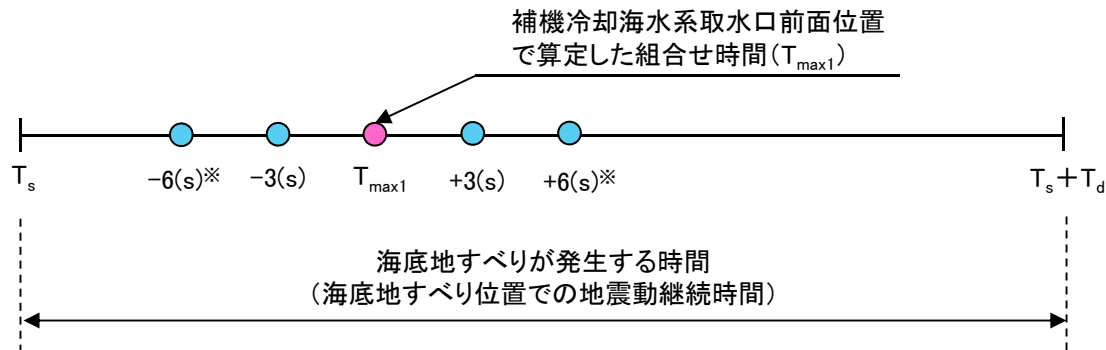
1.2 評価方針

- ・ パラメータスタディ範囲を広めに設定することを目的に、補機冷却海水系取水口前面位置に加え、水位上昇側の評価位置である取水口前面位置でも組合せ時間を算定する方針としていたが、同設備は安全機能を有しない設備であることから、組合せ時間算定位置として設定しない方針に変更する。
- ・ 以上から、パラメータスタディ範囲は、補機冷却海水系取水口前面位置で算定した組合せ時間を基本に設定し、最大水位下降量及び補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間を評価する。

【第1068回審査会合】



【今回(変更)】



※: ±6秒の範囲でピークが確認されない場合には、ピークが確認できるまでパラメータスタディ範囲を拡大する。

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)

1.3 評価結果

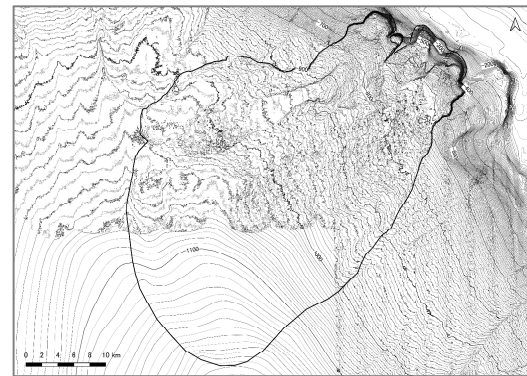
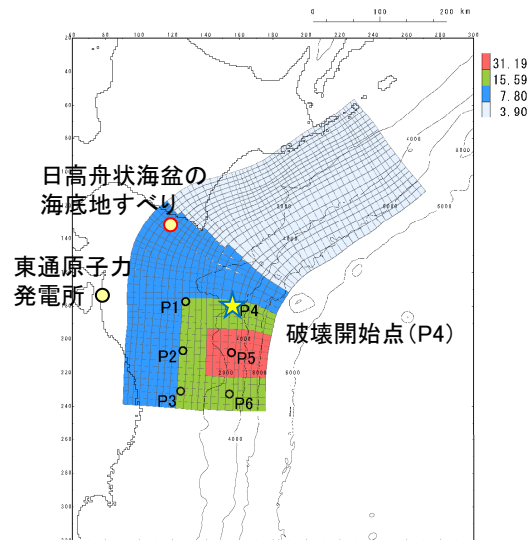
■連動型地震(基準断層モデル②)と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の組合せ

- 最大水位下降量及び取水口敷高を下回る継続時間は、補機冷却海水系取水口前面の組合せ時間($T_{max1}=130.4s$)をベースに、パラメータスタディを実施した組合せ時間(121.0s)で決定しており、第1068回審査会合で説明した評価結果に変更はない。

□ : 組合せ時間算定位置として設定しない

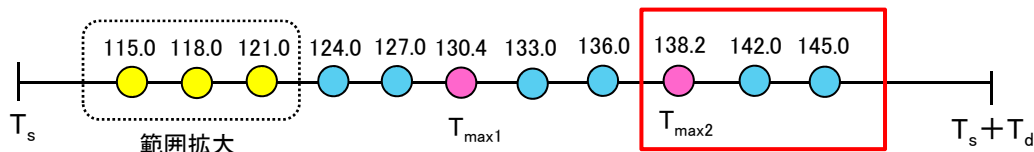
	波源モデル		海底地すべりが発生する時間範囲($T_s \sim T_s + T_d$)	線形足し合わせによる組合せ時間		
	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	日高舟状海盆の海底地すべり		敷地前面	補機冷却海水系取水口前面(T_{max1})	取水口前面(T_{max2})
水位下降側	基準断層モデル②	二層流モデル	45.2(s)~268.1(s)	—	130.4(s)	138.2(s)

□ : 決定ケース



日高舟状海盆の海底地すべり(浦河沖の海底地すべり)

十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル②)



組合せ時間差(s)	補機冷却海水系取水口前面		備考
	最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
115.0	-5.11(-5.113)	4.4	範囲拡大
118.0	-5.11(-5.114)	4.4	範囲拡大
121.0	-5.12(-5.115)	4.4	範囲拡大
124.0	-5.11(-5.111)	4.4	
127.0	-5.11(-5.109)	4.4	
130.4	-5.11(-5.110)	4.4	T_{max1}
133.0	-5.11(-5.109)	4.4	
136.0	-5.11(-5.107)	4.4	
138.2	-5.11(-5.105)	4.4	T_{max2}
142.0	-5.10	4.3	
145.0	-5.10	4.3	

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)

1.3 評価結果

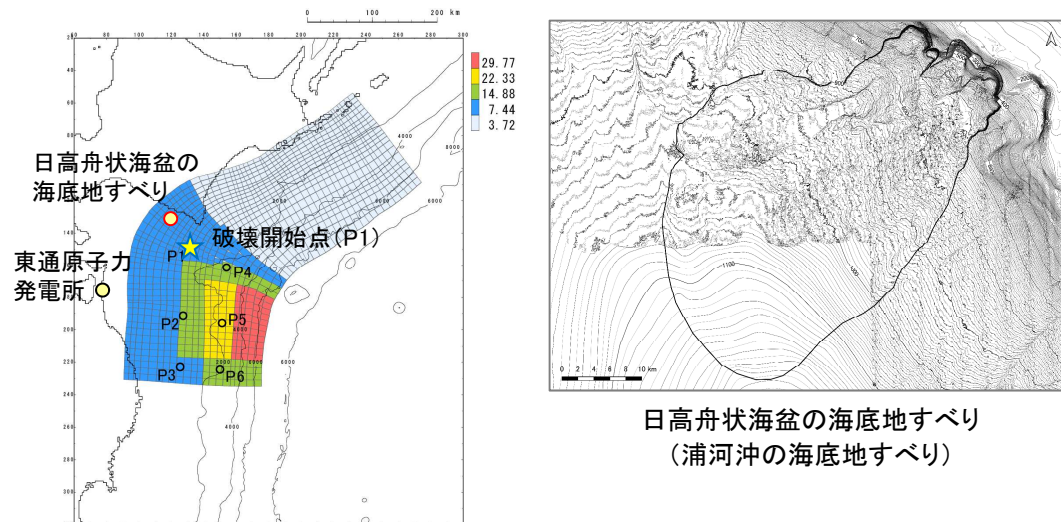
■連動型地震(基準断層モデル③)と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の組合せ

- 補機冷却海水系取水口前面の組合せ時間($T_{\max1}=187.9\text{s}$)と、取水口前面の組合せ時間($T_{\max2}=187.9\text{s}$)は同一であることから、第1068回審査会で説明した評価結果に変更はない。

□ : 組合せ時間算定位置として設定しない

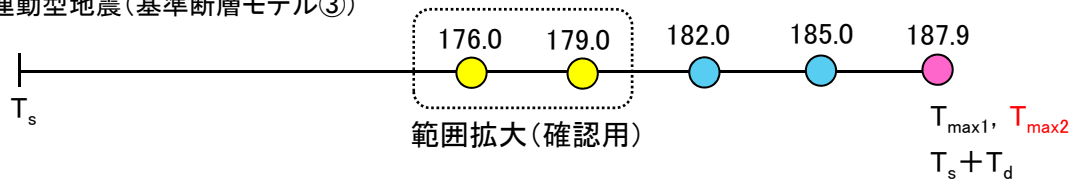
	波源モデル		海底地すべりが発生する時間範囲($T_s \sim T_s + T_d$)	線形足し合わせによる組合せ時間		
	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	日高舟状海盆の海底地すべり		敷地前面	補機冷却海水系取水口前面($T_{\max1}$)	取水口前面($T_{\max2}$)
水位下降側	基準断層モデル③	二層流モデル	17.9(s)~187.9(s)	—	187.9(s)	187.9(s)

□ : 決定ケース



日高舟状海盆の海底地すべり
(浦河沖の海底地すべり)

組合せ時間差(s)	補機冷却海水系取水口前面		備考
	最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
176.0	-5.21	4.2	範囲拡大
179.0	-5.25	4.3	範囲拡大
182.0	-5.29(-5.286)	4.4	
185.0	-5.29(-5.288)	4.5	
187.9	-5.29(-5.290)	4.5	$T_{\max1}$ $T_{\max2}$



Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

- 2. 1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係
- 2. 2 評価方針
- 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】
- 2. 4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】
- 2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】
- 2. 6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】

II. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

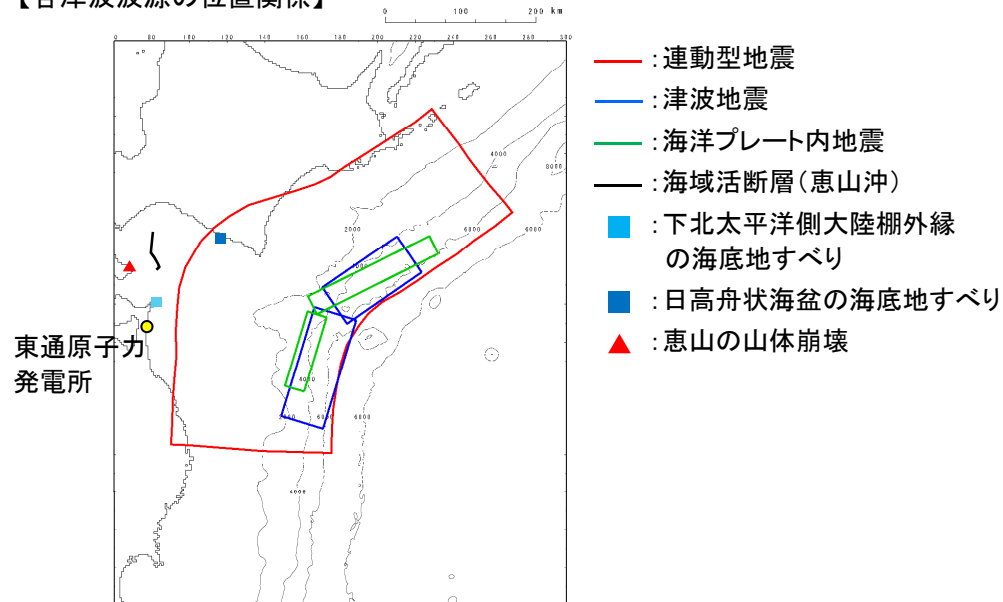
2.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

No.	コメント内容
S223	連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ評価のうち水位上昇側の評価について、海底地すべり位置での地震動継続時間の時間範囲で、線形足し合わせにより組合せ時間を算定し、同波動場で解析する方法を用いると地震単独の水位よりも水位が低下する理由を説明すること。その際、他の組合せ評価方法の必要性も含めて検討すること。

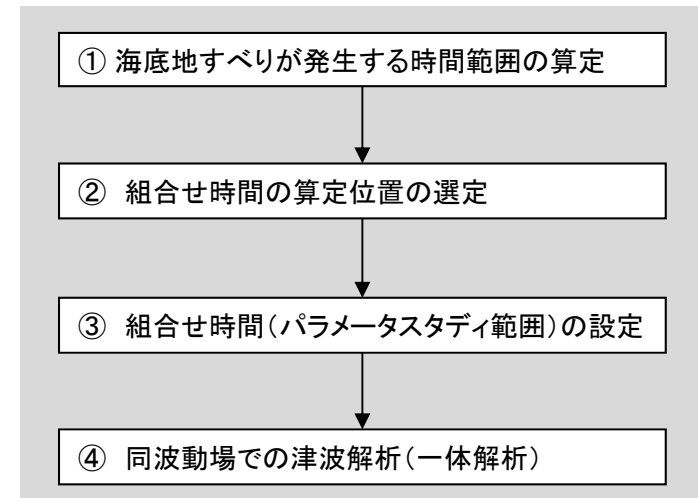
■第1068回審査会合での説明概要：評価対象とする津波の選定及び組合せ評価方法

- 津波発生要因に係る敷地の地学的背景、津波発生要因の関連性及び発電所の津波高さや補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間に与える影響を考慮して、「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」と「日高舟状海盆の海底地すべり」を組合せ評価の対象とした。
- 組合せ評価方法について、海底地すべりは海底地すべり位置での地震動継続時間範囲で発生するものとし(評価フロー①)、組合せ時間は、敷地前面(遡上域)及び発電所港湾内の複数地点を対象に、津波高さ等に及ぼす影響が大きい時間を各津波の水位時刻歴波形の線形足し合わせにより算定した(評価フロー②)。津波解析は、線形足し合わせにより算定した組合せ時間が同波動場による解析においても影響が大きくなるとは限らないことを踏まえ、組合せ時間を変化させたパラメータスタディを実施した(評価フロー③、評価フロー④)。

【各津波波源の位置関係】



【評価フロー】



II. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

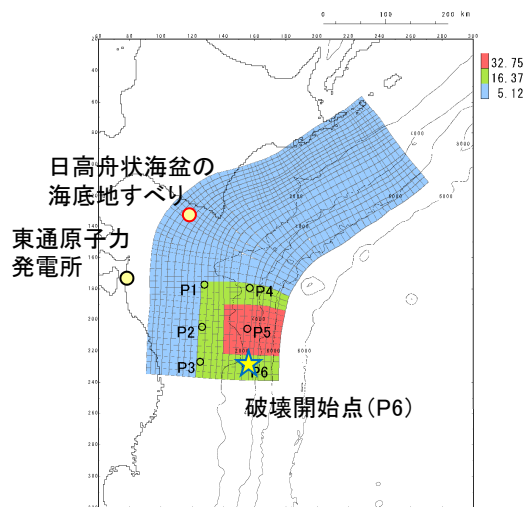
2.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

■第1068回審査会合での説明概要：水位上昇側の評価結果

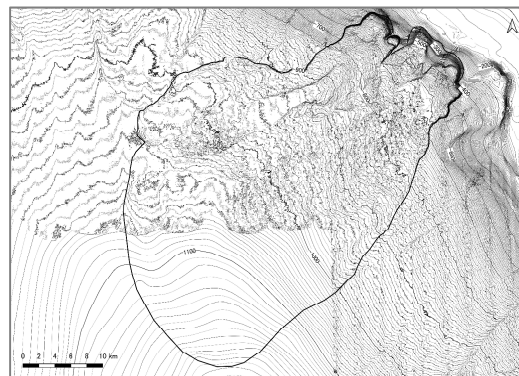
- 連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりを組合せた敷地前面における最大水位上昇量を10.14mと評価。同評価は、連動型地震(単独)の最大水位上昇量11.18mを下回る。

【線形足し合わせによる組合せ時間(T_{max})の算定結果】

	波源モデル		海底地すべりが発生する時間範囲($T_s \sim T_s + T_d$)	線形足し合わせによる組合せ時間		
	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	日高舟状海盆の海底地すべり		敷地前面	補機冷却海水系取水口前面(T_{max1})	取水口前面(T_{max2})
水位上昇側	基準断層モデル①	二層流モデル	76.0(s)~339.9(s)	重畳しない	76.6(s)	87.5(s)



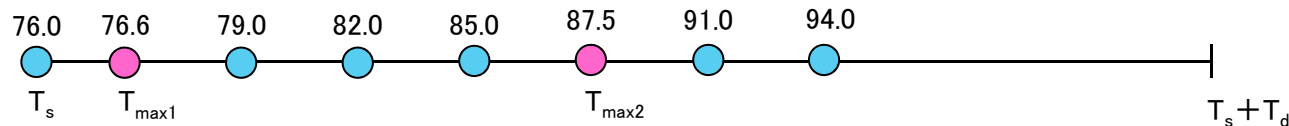
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル①)



日高舟状海盆の海底地すべり(浦河沖の海底地すべり)

□ : 決定ケース

組合せ時間差(s)	敷地前面最大水位上昇量(m)	備考
76.0	10.10	
76.6	10.12	T_{max1}
79.0	10.09	
82.0	10.11	
85.0	10.10	
87.5	10.14	T_{max2}
91.0	10.11	
94.0	10.09	

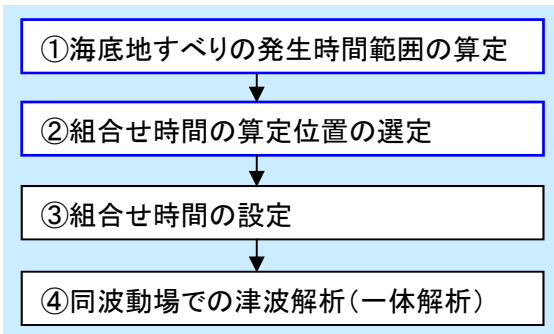


2.2 評価方針

No.	コメント内容
S223	連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ評価のうち水位上昇側の評価について、 <u>海底地すべり位置での地震動継続時間の時間範囲で、線形足し合わせにより組合せ時間を算定し、同波動場で解析する方法を用いると地震単独の水位よりも水位が低下する理由を説明すること。</u> 【検討1】 その際、 <u>他の組合せ評価方法の必要性も含めて検討すること。</u> 【検討3】

■第1068回審査会合での説明内容

【組合せ評価方法(評価フロー)】



【評価結果(水位上昇側)】

敷地前面における最大水位上昇量
 組合せ津波: 10.14m
 (連動型地震: 11.18m)

【評価対象とする津波の選定】

◆地震に起因する津波

十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震

◆地震以外に起因する津波

日高舟状海盆の海底地すべり
 > 地すべり①と地すべり②の同時活動

■評価方針

【検討1-1】海底地すべりの発生時間範囲の妥当性(評価フロー①)

- ・海底地すべりの発生メカニズム、2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波に関する知見から、地震動継続時間中に海底地すべりの発生を想定することの合理性を確認する。

【検討1-2】組合せ時間算定位置の妥当性(評価フロー②)

- ・連動型地震の津波特性(周期・波長)及び来襲特性から、補機冷却海水系取水口前面、取水口前面で代表することの妥当性を確認する。

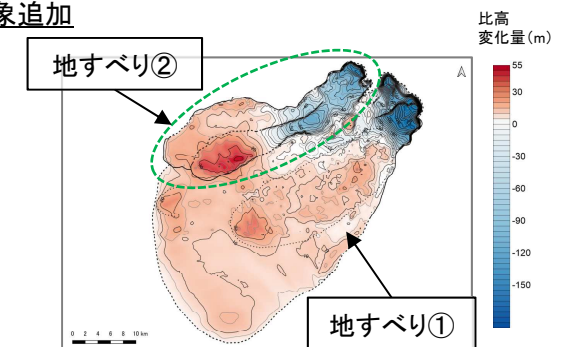
【検討2】地震単独津波の水位を下回る要因の分析

- ・日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性、地震単独と組合せ津波の津波伝播特性から分析する。

【検討3】評価方針:日高舟状海盆の海底地すべりの評価対象追加

- ・地震単独津波の水位を下回る要因・日高海底地すべりの形成過程及び津波特性(=東通のサイト特徴)を考慮し、日高舟状海盆の海底地すべりについて、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に加え、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」との組合せ評価も実施する。

日高舟状海盆の海底地すべり
 > 地すべり①と地すべり②の同時活動
 > 地すべり①単独<追加>
 > 地すべり②単独<追加>



日高舟状海盆の海底地すべり(比高変化分布)

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2.3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

2.3.1 検討方針

2.3.2 海底地すべりの発生メカニズム

2.3.3 2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波

2.3.4 まとめ

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

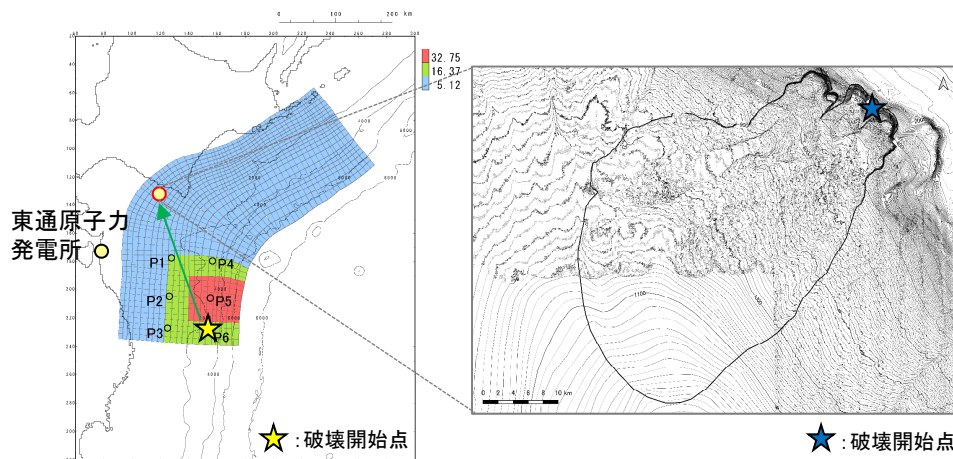
2. 3. 1 検討方針

- 地震による地震動が海底地すべり位置に到達する時間(T_s)から、Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性から得られる地震動継続時間(T_d)の範囲($T_s \sim T_s + T_d$)で海底地すべりの発生を想定することの合理性について、海底地すべりの発生メカニズムに関する知見及び2018年インドネシア・スラウェシ島で発生した地震と海底地すべりに伴う津波の事例から確認する。

■ 海底地すべりが発生する時間範囲の設定方法

① 地震動の到達時間(T_s)の算定

- 地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離(=震源距離)とS波速度(3.4km/s(地震調査研究推進本部(2009)))から、海底地すべり位置に地震動が到達する時間(T_s)を算定する。

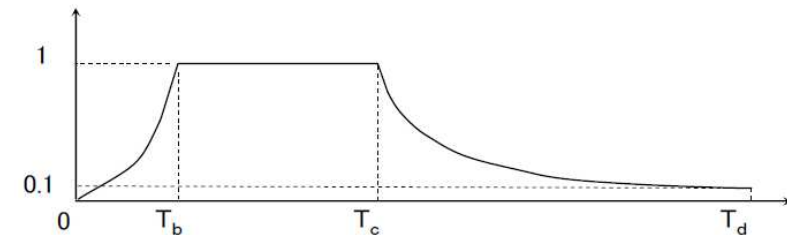


十勝沖・根室沖から岩手県沖北部
の連動型地震
水位上昇量決定ケース
(破壊開始点:P6)

日高舟状海盆の海底地すべり
(浦河沖の海底地すべり)

② 海底地すべり位置での地震動継続時間($T_s \sim T_s + T_d$)の算定

- Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性から海底地すべり位置での地震動継続時間($T_s \sim T_s + T_d$)を算定する。



$$T_b = 10^{0.5M - 2.93} \quad (\text{立ち上がり部の継続時間})$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0} \quad (\text{強震部の継続時間})$$

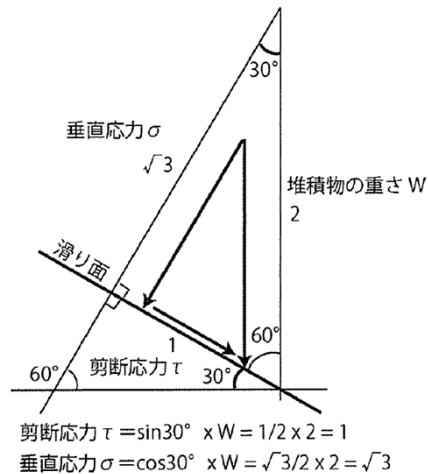
$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6} \quad (\text{減衰部の継続時間})$$

Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

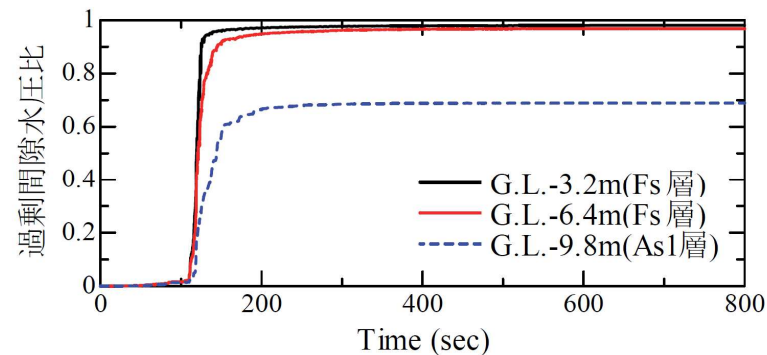
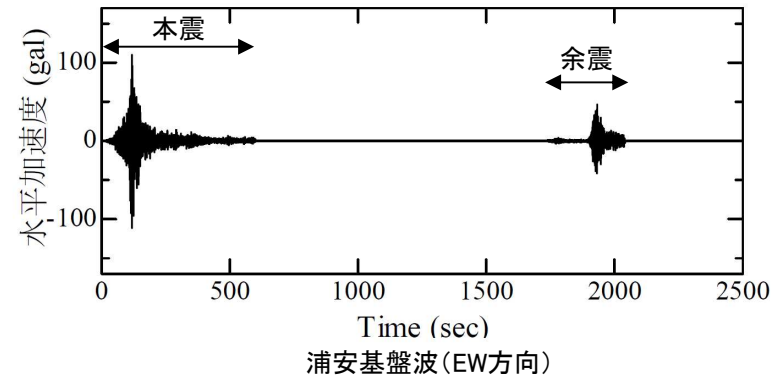
2. 3. 2 海底地すべりの発生メカニズム

- 川村(2022)は、海底地すべりの発生原因について、陸上でも海底でも斜面で地すべりが起きるのは斜面の安定性が失われる(土のせん断強度がせん断応力を下回る)ことが原因であるとし、その要因については、地震動によるせん断応力の増加や液状化によるせん断強度の低下などがあるとしている。
- 上田ほか(2014)は、2011年東北地方太平洋沖地震において液状化が発生した浦安市高洲地区を対象に、同地区の地盤情報に基づく地盤モデル、観測記録※を用いた地震応答解析を実施し、地震動(本震)の継続時間中に過剰間隙水圧比が上昇し、液状化が発生していたことを示している。
※:K-NET浦安で得られた観測記録(EW方向)を等価線形化法を用いて基盤面まで引き戻した波形。



せん断強度 $= \tan \phi \times \cos \theta$
 $\times (\text{上載圧} W - \text{間隙水圧}) + \text{粘着力}$
 せん断応力 $= \sin \theta \times \text{上載圧} W$

応力バランスの模式図
(川村(2022))



過剰間隙水圧比の時刻歴(非排水解析)(本震のみ考慮)

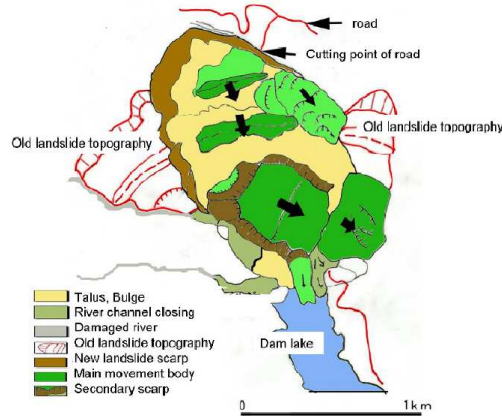
2011年東北地方太平洋沖地震における浦安市の地震応答解析結果
(上田ほか(2014)に一部加筆)

II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

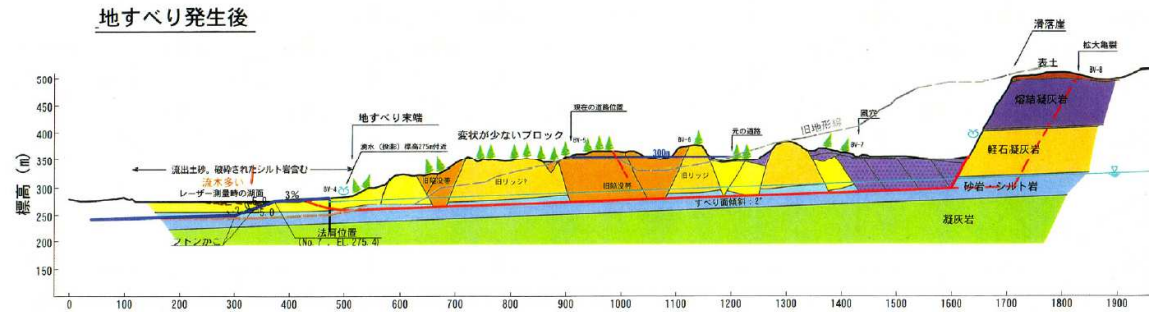
2. 3. 2 海底地すべりの発生メカニズム

- ・ 風間ほか(2011)は、2008年岩手・宮城内陸地震において、荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべり(最大幅約900m, 最大長さ約1300m, 最大移動距離約320m)の発生メカニズムについて、ダムサイトで観測された強振動記録を基にした滑動解析から、地震動による繰り返しせん断による有効応力の低下(過剰間隙水圧の上昇)が主因であった可能性を指摘している。

■ 荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべり

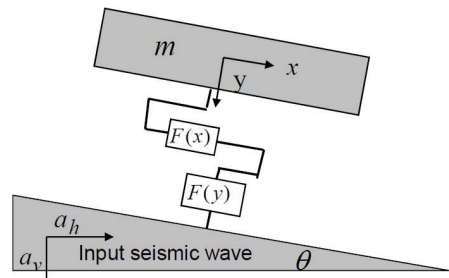


平面図

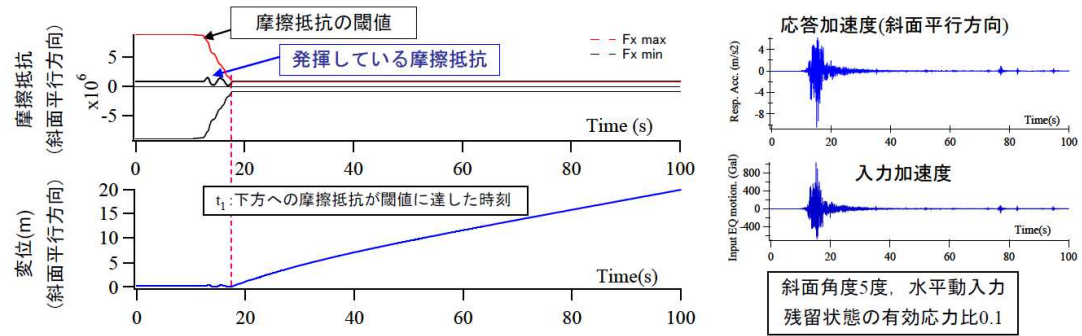


断面図

■ 有効応力の低下を考慮した滑動解析



すべりモデル(1質点モデル)※



解析結果

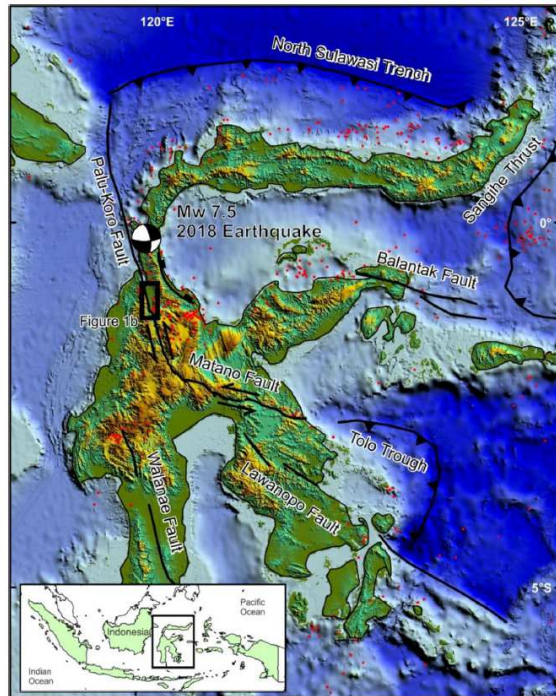
※: 主すべり土塊を角度θの基礎地盤に設置し、斜面直交方向・平行方向にばねとダッシュポットを連結。さらに、スライダを設置。

II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

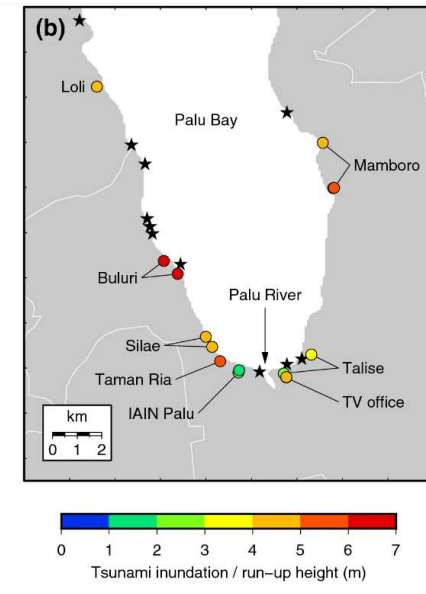
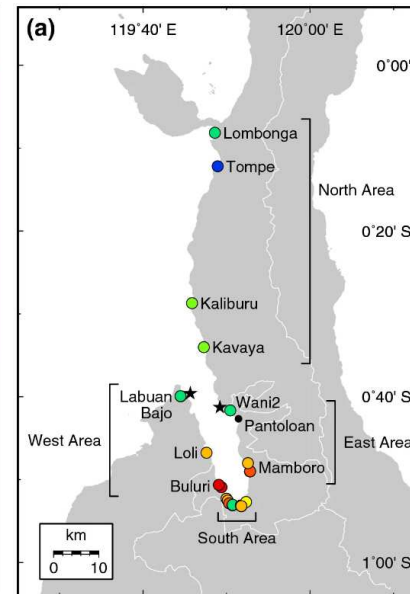
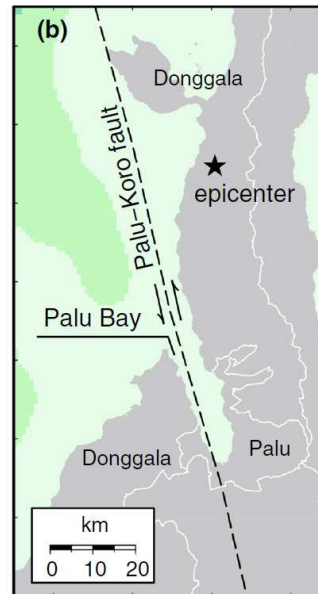
2. 3. 3 2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波

■津波の概要

- ・ インドネシア・スラウェシ島は、太平洋プレート、オーストラリアプレート、ユーラシアプレートが衝突する三重会合点に位置する。スラウェシ島中央部には主要な活断層であるパル・コロ断層が横断しており、同断層の活動は左横ずれの傾向がある。2018年の地震は、パル・コロ断層の活動により発生した地震(左横ずれ)であり、その地震規模はMw7.5とされる(Patria and Purna(2020))。
- ・ 2018年の地震では津波も発生し、震源付近の北部地域(Kavaya~Lombonga)の浸水・遡上高は3m未満であったのに対し、震源の南に位置するパル湾内の遡上高は5mを上回り、湾奥では10mを上回る遡上高も確認されている(Mikami et al.(2019), Widiyanto et al.(2019))。
- ・ 震源付近の北部地域と比較して、パル湾内の遡上高が大きくなった要因は、地震により発生した海底地すべりに伴う津波によるものとされる(Mikami et al.(2019), Chatuphorn et al.(2022))。



インドネシア・スラウェシ島付近の断層帯及び
2018年の地震の震源位置
(Patria and Purna(2020))



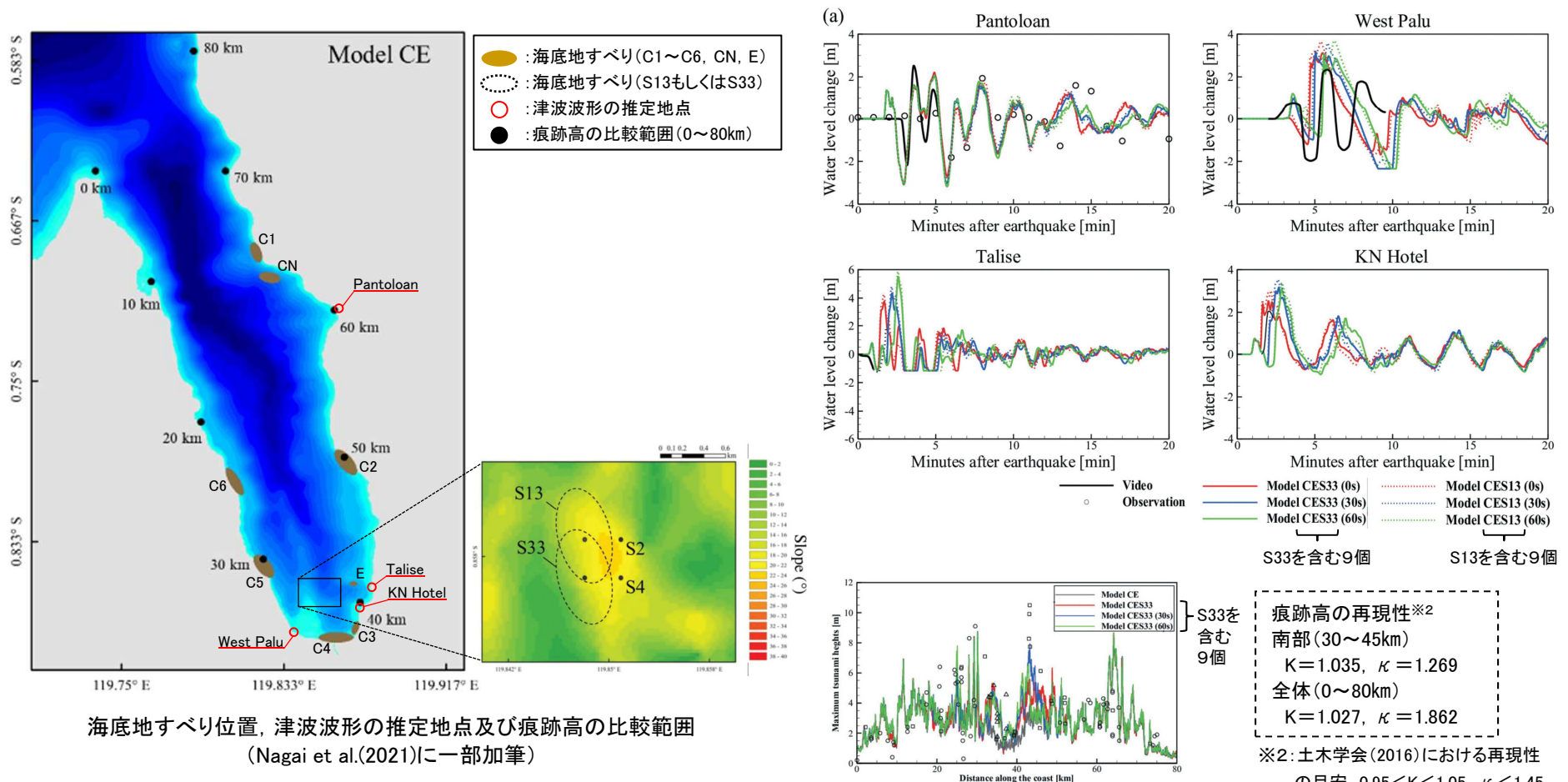
2018年の地震の震源付近及びパル湾内における浸水・遡上高の分布
(Mikami et al.(2019))

2. 3. 3 2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波

■津波波形及び痕跡高の再現シミュレーション

- Nagai et al.(2021)は、既往研究による海底地形調査、同研究での海底斜面勾配分析に基づき設定した複数の海底地すべり(C1~C6, CN, E, S13もしくはS33※1, 全9個)を対象に、ビデオ画像から推定された津波波形及びパル湾周辺で確認された痕跡高の再現シミュレーション(二層流モデル)を実施。
- 地震と同時に海底地すべりが発生することを基本としたうえで、海底地すべりS33の発生を約60秒遅らせると、他の海底地すべりによる津波と重なり合い、パル湾南部のWest Palu, Talise, KN Hotelの津波波形及びパル湾南部(30km~45km)の痕跡高の再現性が向上するとしている。

※1 : Danny et al.(2021)が海底地形調査から推定した海底地すべりを基に、海底斜面勾配分析から海底地すべりS13, S33を推定し、両地すべりを対象に津波シミュレーションを実施。



海底地すべり位置、津波波形の推定地点及び痕跡高の比較範囲 (Nagai et al.(2021))に一部加筆)

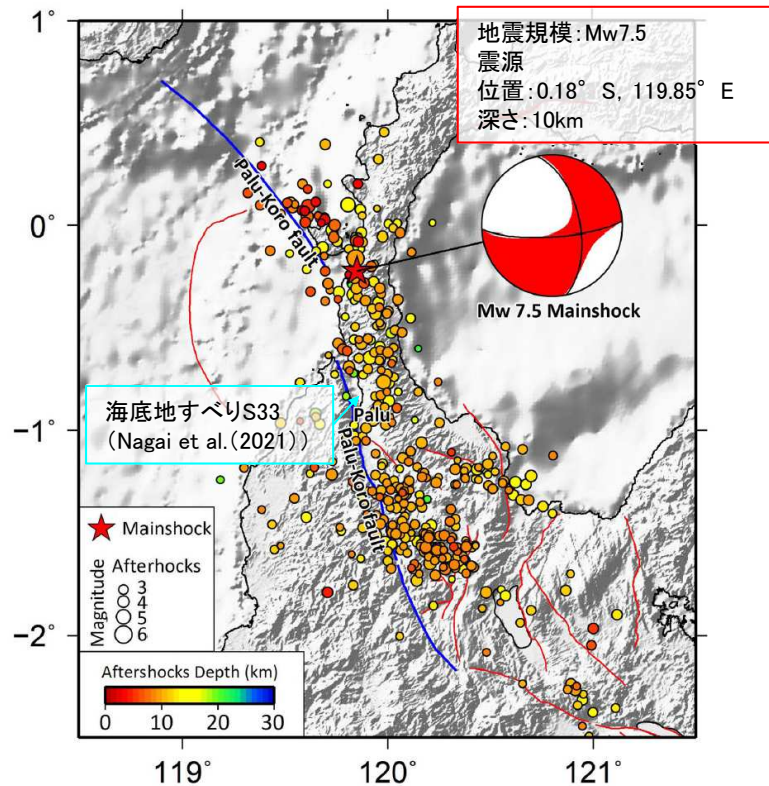
津波波形及び痕跡高の再現シミュレーション結果(Nagai et al.(2021))

II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

2. 3. 3 2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波

■海底地すべりの発生タイミングに関する考察

- Nagai et al.(2021)による地震発生60秒後に発生した海底地すべりS33が、パル・コロ断層の活動により発生した地震動継続時間中に発生したものを確認するため、Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性から得られる地震動継続時間と比較した。
- 海底地すべりS33位置での地震動継続時間は地震発生後22.4秒～95.9秒であることから、海底地すべりS33は地震動継続時間中に発生したものと考えられる。



2018年インドネシア・スラウェシ島で発生した地震の震源と海底地すべりのS33位置 (Pepen et al.(2019)に一部加筆)

【海底地すべりS33位置への地震動到達時間(T_s)の算定】

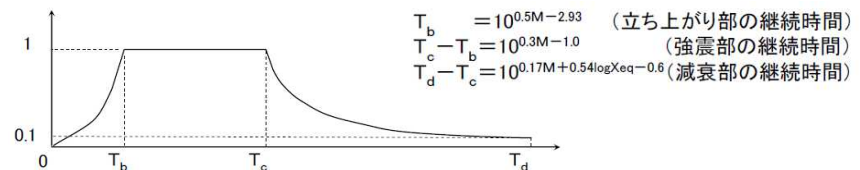
震源距離	S波速度	地震動到達時間(T_s)
76.1 (km)	3.4 (km/s)	22.4 (s)

【Noda et al.(2002)から得られる地震動継続時間(T_d)の算定】

地震規模 (Mw)	震源距離 (X_{eq})	振幅包絡線の経時特性		
		T_b	T_c	T_d
7.5	76.1 (km)	6.6 (s)	24.4 (s)	73.5 (s)

【海底地すべりS33位置での地震動継続時間($T_s \sim T_s + T_d$)】

地震動到達時間 (T_s)	地震動継続時間 (T_d)	海底地すべり位置での地震動継続時間 ($T_s \sim T_s + T_d$)
22.4 (s)	73.5 (s)	22.4 (s) ~ 95.9 (s)



海底地すべりS33位置での地震動継続時間の算定

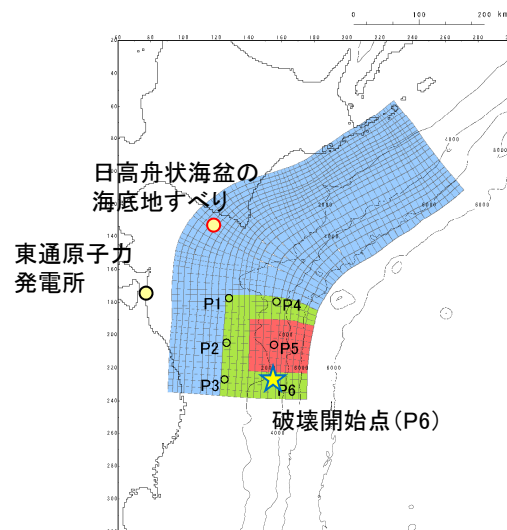
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 3 海底地すべりの発生時間範囲の妥当性【検討1-1】

2. 3. 4 まとめ

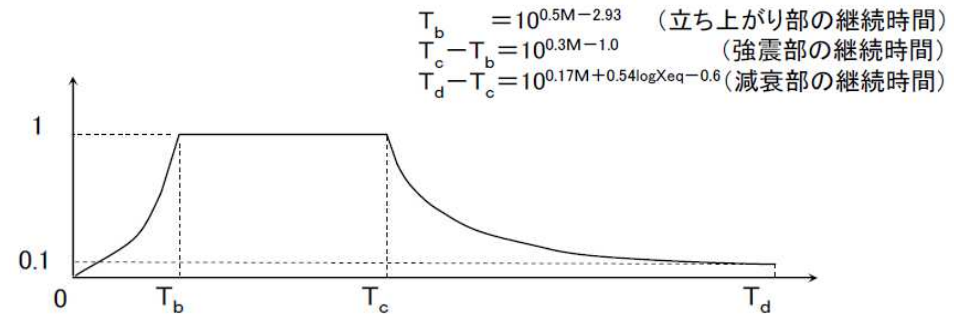
- 海底地すべりの発生メカニズムに関する知見及び2018年インドネシア・スラウェシ島の地震(Mw7.5)と海底地すべりに伴う津波の事例から、地震動継続時間の範囲で海底地すべりの発生を想定することは合理的であることを確認した。
- 組合せ評価で考慮する連動型地震の地震規模はMw9.0であり、その地震動継続時間は約4分と長いことも踏まえると、地震動継続時間に海底地すべりの発生を想定することは妥当と考えられる。

■連動型地震(基準断層モデル①)の地震動継続時間(T_d)

区分	波源モデル	破壊開始点	地震規模	地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離(=震源距離)	振幅包絡線の経時特性		
					T_b	T_c	T_d
水位上昇側	基準断層モデル①	P6	9.04	258.3(km)	38.9(s)	90.4(s)	263.9(s)



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル①)



Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性

II. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2.4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】

2.4.1 検討方針

2.4.2 連動型地震の津波特性

2.4.3 まとめ

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】

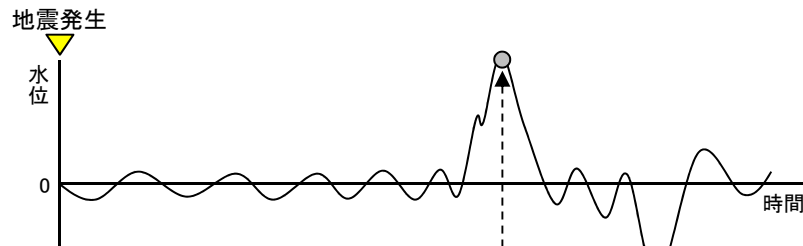
2. 4. 1 検討方針

■組合せ時間(パラメータスタディ範囲)の設定

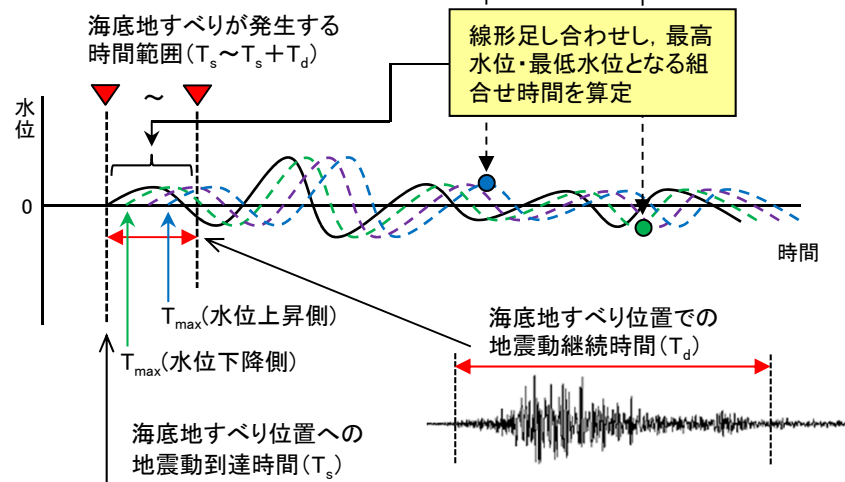
- ・ 組合せ時間は、敷地前面、補機冷却海水系取水口前面及び取水口前面位置における水位時刻歴波形を用いて、津波水位が最も高くなる、もしくは最も低くなる組合せ時間(T_{max})を線形足し合わせにより算定する(【STEP1】)。
- ・ 水位時刻歴波形の線形足し合わせにより算定した組合せ時間(T_{max})を基本として、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の周期(約10分=約600秒)の1/100に相当する±6秒の範囲を対象に、3秒間隔でパラメータスタディを実施する(【STEP2】)。

【STEP1】線形足し合わせによる組合せ時間(T_{max})の算定

地震に起因する津波の水位時刻歴波形



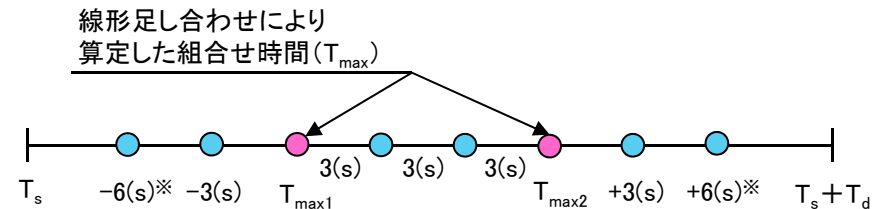
海底地すべりに起因する津波の水位時刻歴波形



【STEP2】組合せ時間(パラメータスタディ範囲)の設定

- ・ STEP1で算定した各算定位置の組合せ時間(T_{max})を基本に、日高舟状海盆の海底地すべりの津波周期(約10分=600秒)の1/100に相当する±6秒の範囲を対象に、3秒間隔でパラメータスタディを実施する。
- ・ 上記±6秒の範囲でピークが確認できない場合には、ピークを確認できるまでパラメータスタディ範囲を拡大する。

パラメータスタディ範囲の設定(概念)



※: ±6秒の範囲でピークが確認されない場合には、ピークが確認できるまでパラメータスタディ範囲を拡大する。

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】

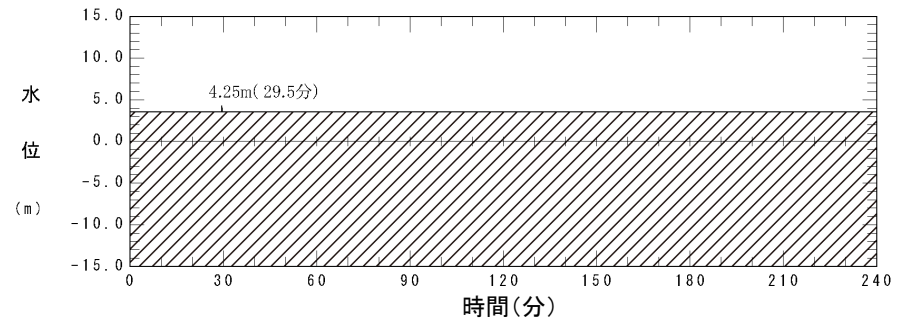
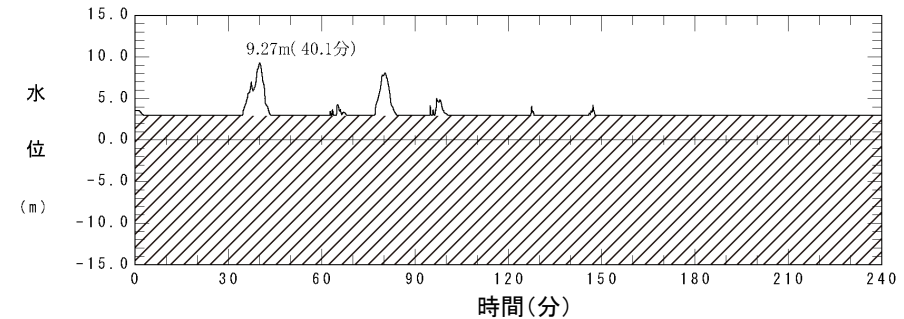
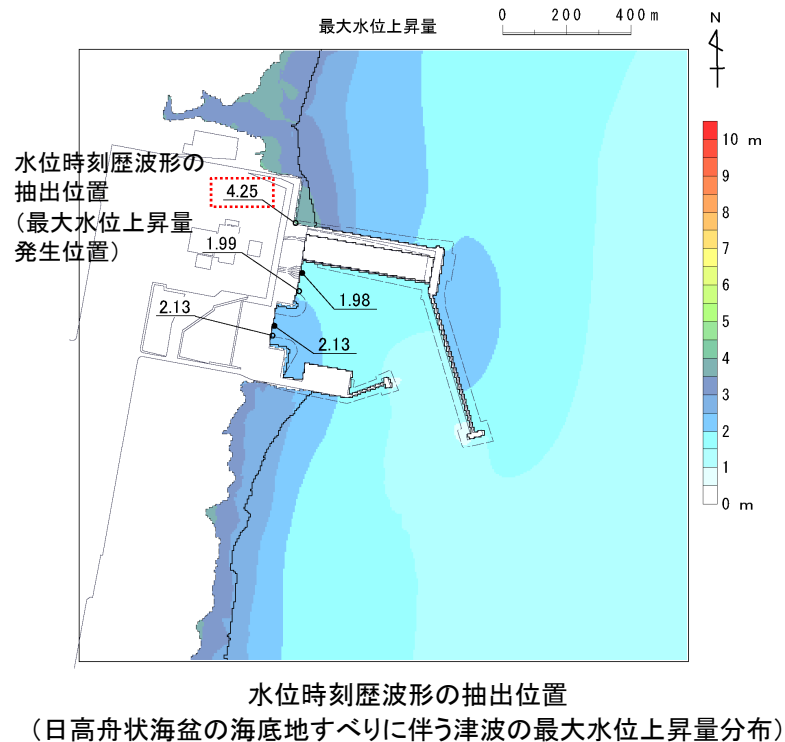
2. 4. 1 検討方針

■ 検討方針

- 補機冷却海水系取水口前面及び取水口前面を組合せ時間の算定位置として代表させることの妥当性について、連動型地震に起因する津波の津波特性(周期、波長)及び発電所周辺への津波来襲特性から確認する。

【組合せ時間算定位置の選定(第1068回審査会合での説明概要)】

- 敷地前面(遡上域)の組合せ時間算定位置は、連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の最大水位上昇量分布の比較から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の最大水位上昇量発生位置を代表地点に選定。
- 日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波は、連動型地震に伴う津波よりも早く敷地前面(遡上域)に到達するとともに、第1波のみしか陸域に遡上しないことから、海底地すべりが発生する時間範囲:76.0s~339.9sでは、連動型地震に伴う津波の水位上昇に影響しないことを確認。
- 放水路護岸前面については、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の津波水位は、放水路導流堤(T.P.+3.1m)より小さく、同位置に津波は到達しない。
- 以上から、連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりととの組合せ時間算定位置は、補機冷却海水系取水口前面及び取水口前面位置の2点とした。

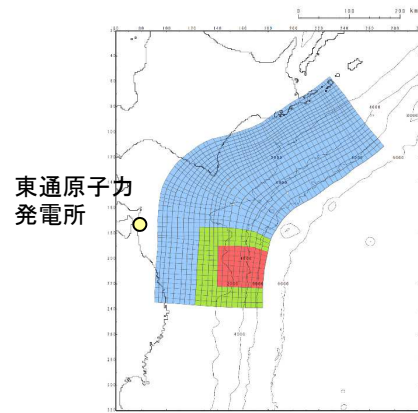


※: 図中斜線部は水位抽出点の地盤の標高を示す

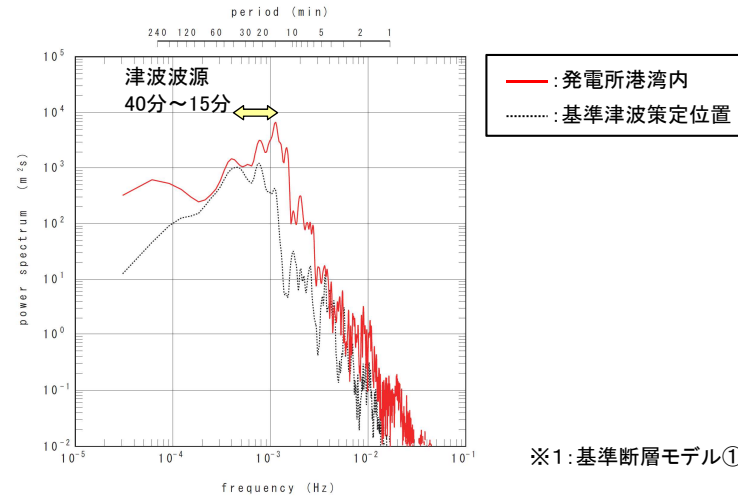
2. 4. 2 連動型地震の津波特性

- 連動型地震の周期は15分～40分程度の長周期成分が卓越し、最高水位を決定する第1波の波長は基準津波策定位置で70km程度、発電所周辺で40km程度と長い。
- また、発電所地点の津波高さは10m程度と高いことから、発電所港湾施設や発電所周辺の微地形の影響は小さい。

■周期特性(特性化モデル②※1)

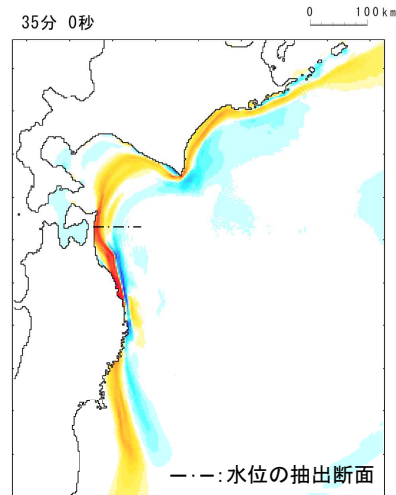


特性化モデル②※1
(大すべり域位置:南へ約100km移動)

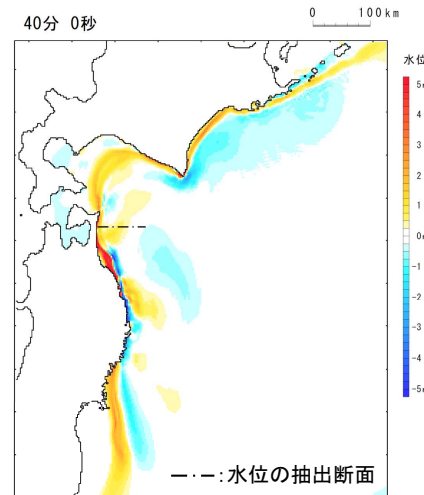


※1: 基準断層モデル①のベースモデル(概略パラメータスタディ決定ケース)

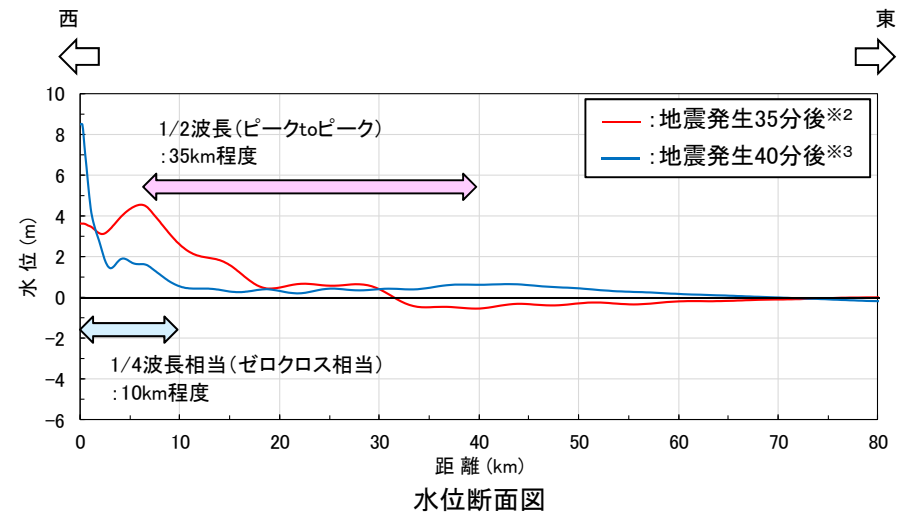
■波長(特性化モデル②)



地震発生35分後※2



地震発生40分後※3



※2: 基準津波策定位置における最高水位発生時間付近
※3: 発電所地点における最高水位発生時間付近

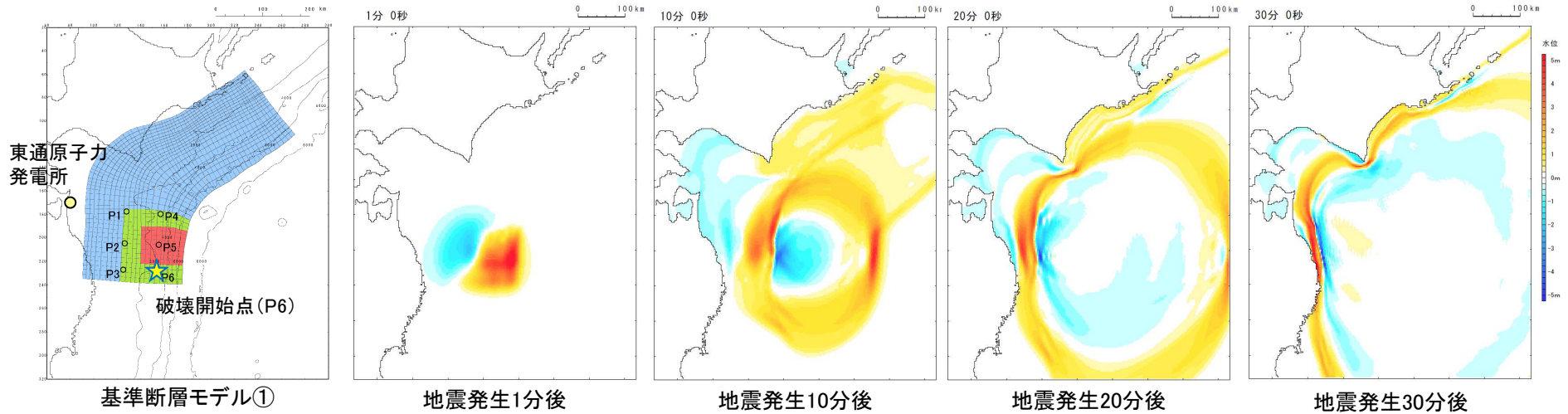
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】

2. 4. 2 連動型地震の津波特性

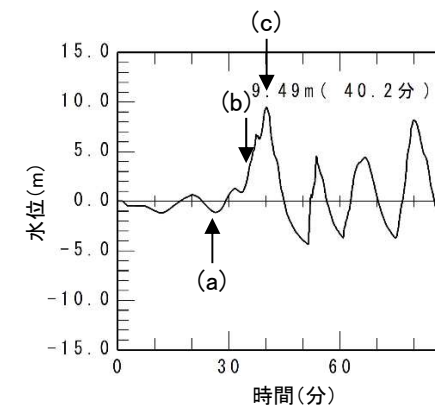
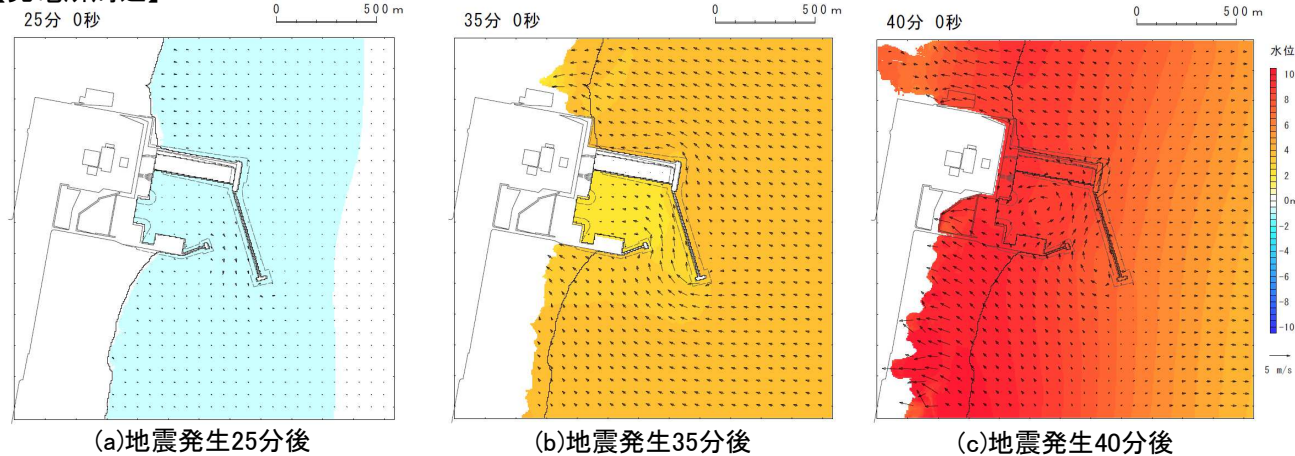
- 連動型地震の周期は15分～40分程度、波長は40km程度と長いことから、遡上域を含む発電所周辺には同じ高さの津波が同じタイミングで来襲する。

■津波伝播特性(基準断層モデル①)

【広域】



【発電所周辺】



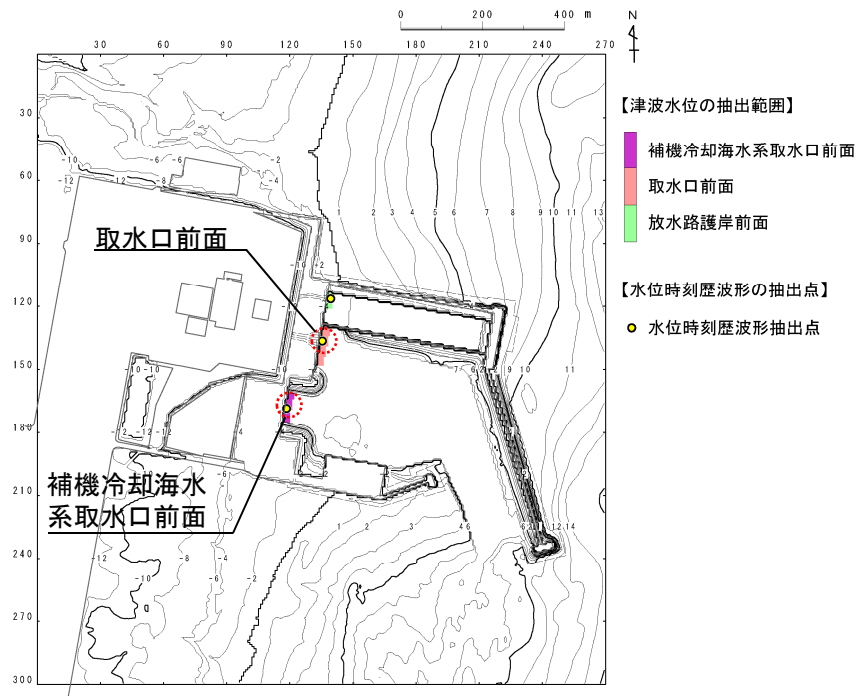
補機冷却海水系取水口前面水位時刻歴波形

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 4 組合せ時間算定位置の妥当性【検討1-2】

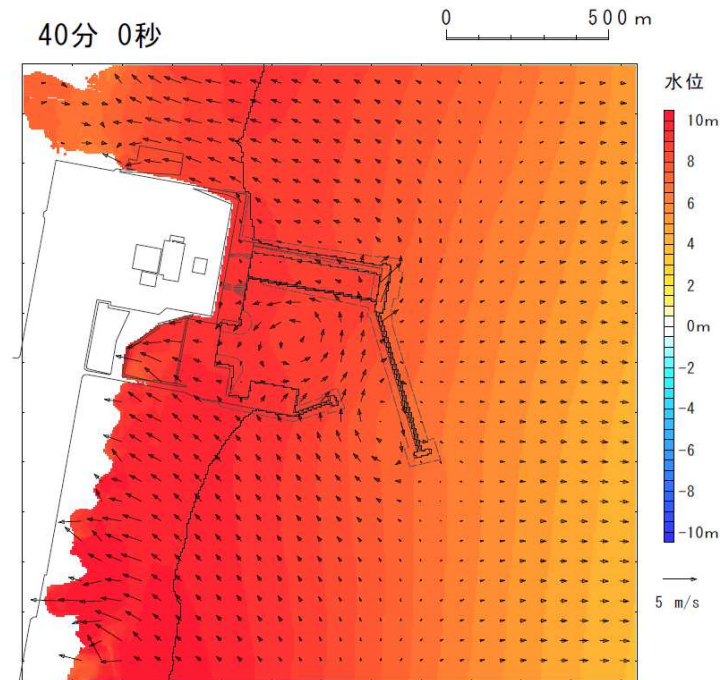
2. 4. 3 まとめ

- 連動型地震の周期は15分～40分程度の長周期成分が卓越するとともに、最高水位を決定する第1波の波長は発電所周辺で40km程度と長いことから、遡上域を含む発電所周辺には、同じ高さの津波が同じタイミングで来襲する。
- 以上の連動型地震の津波特性から、敷地前面(遡上域)を含めて、補機冷却海水系取水口前面及び取水口前面を組合せ時間の算定位置として代表させることは妥当である。

■ 海域における組合せ時間算定位置



■ 連動型地震の津波来襲特性



地震発生40分後
(最高水位到達時間付近)

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

2. 5. 1 検討方針

2. 5. 2 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

2. 5. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

2. 5. 4 まとめ

余白

II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

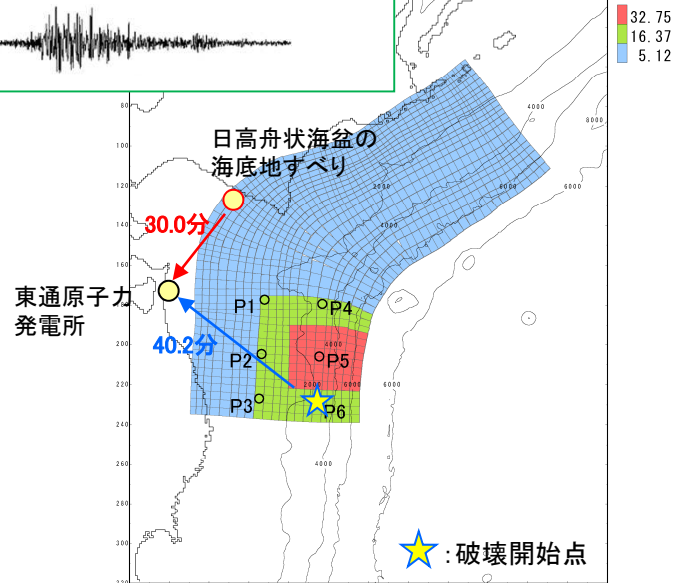
2. 5. 1 検討方針

- 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に発電所に到達するため、発電所地点では、連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。

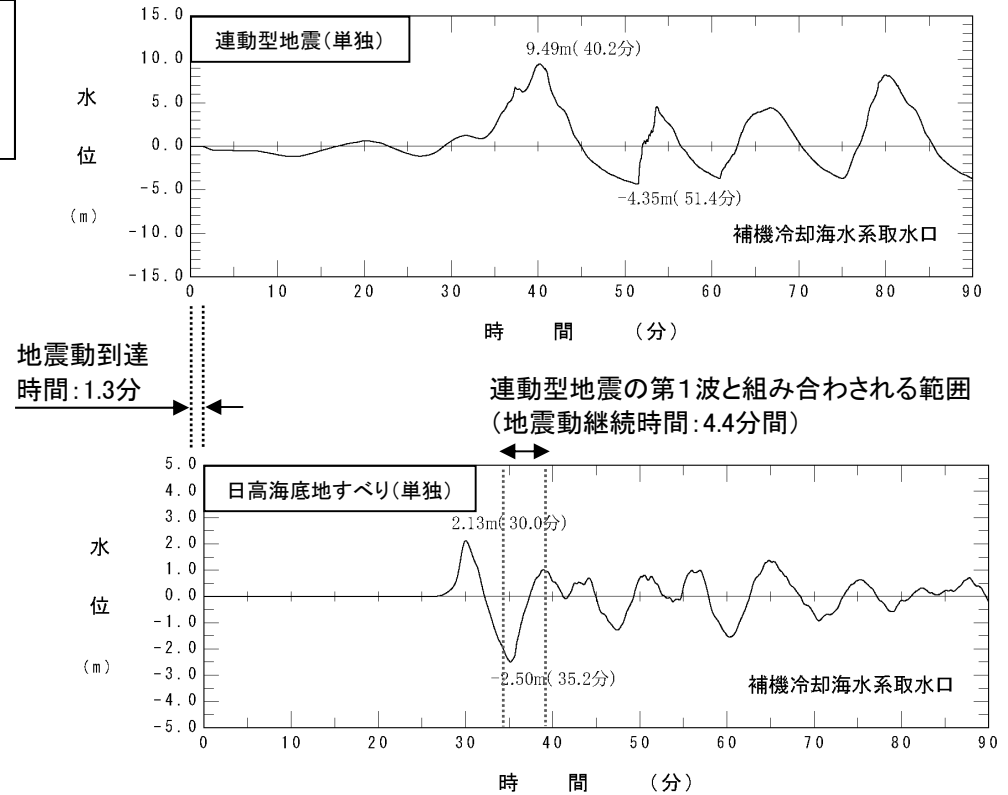
【各津波の最高水位到達時間及び海底地すべりの発生時間範囲の関係】

- 連動型地震(単独)の最高水位到達時間: 40.2分
- 海底地すべり(単独)の最高水位到達時間: 30.0分
- 海底地すべりの発生時間範囲: 地震発生1.3分～5.7分後(4.4分間)

海底地すべりの発生時間範囲
: 地震発生1.3分～5.7分後(4.4分間)



【発電所地点(補機冷却海水系取水口前面位置)における水位時刻歴波形】



組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因について、日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性(水位変動量、周期、波長)及び連動型地震(単独)と組合せ津波の津波伝播特性の比較から分析する*。

*: 連動型地震の活動に伴う地殻変動(初期海面変動)が、日高海底地すべりの津波伝播特性に及ぼす影響の詳細は、補足説明資料「IV. 連動型地震の活動に伴う地殻変動が日高舟状海盆の海底地すべりの津波伝播特性に及ぼす影響」に記載。

II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

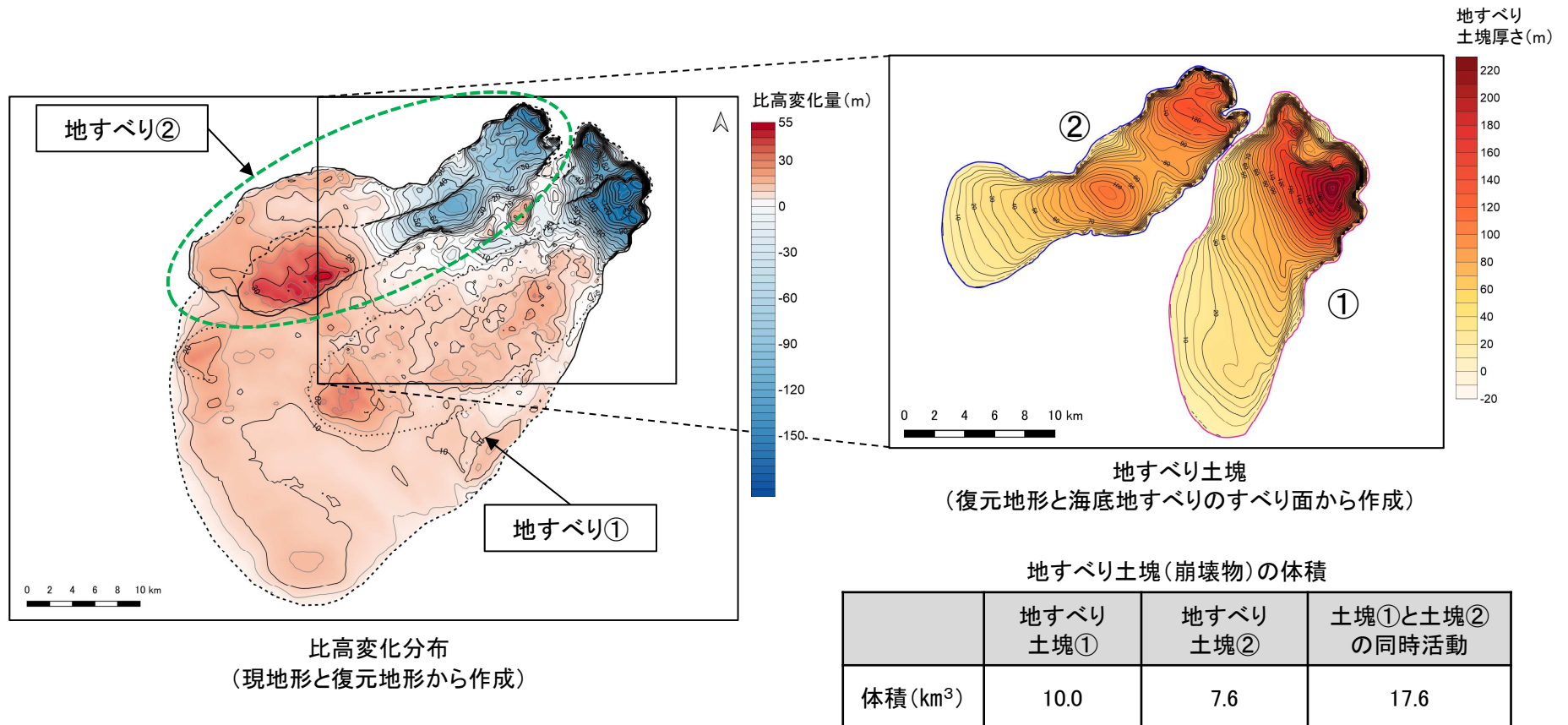
2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

2. 5. 2 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

■日高舟状海盆の海底地すべりの評価:地すべり規模の保守性

- 日高舟状海盆の海底地すべりは複数回の活動で形成された可能性が考えられ、地すべり地形は地すべり①と地すべり②に区分される。地すべりの形成過程については、堆積構造から地すべり①の後に、地すべり②が発生したと考えられる。
- 海底地すべりに伴う津波の水位変動量は、想定する地すべり規模(地すべり土塊の体積)に起因することから、保守的に地すべり①と地すべり②の同時活動を考慮し、連動型地震との組合せを評価している※。

※:日高舟状海盆の海底地すべり評価の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 日高舟状海盆の海底地すべり(浦河沖)の評価(第1068回審査会合(抜粋))」に記載。



II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

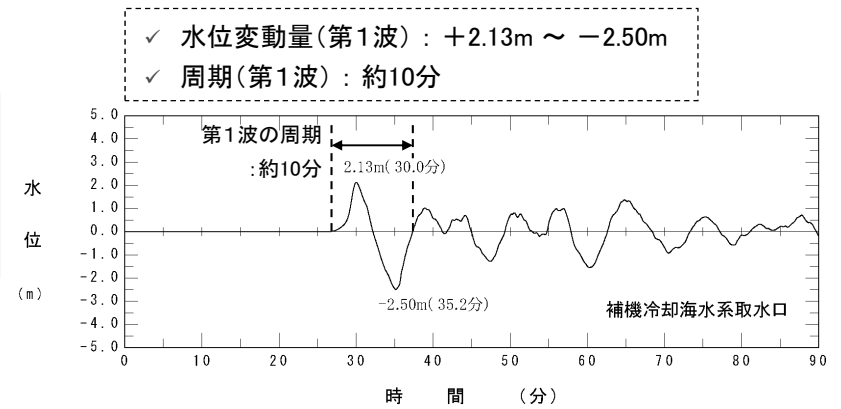
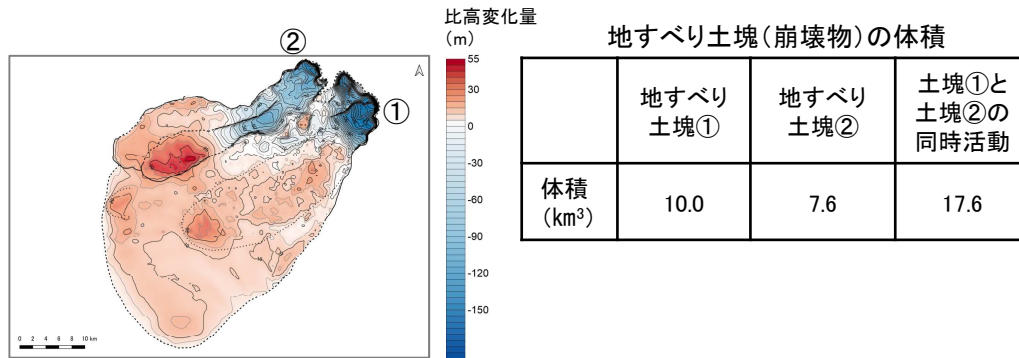
2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

2. 5. 2 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

■日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

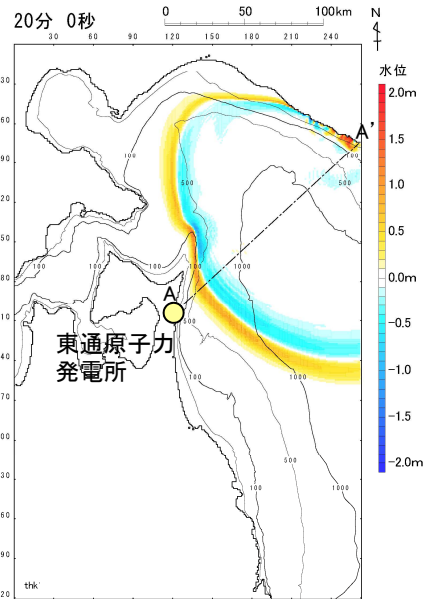
- ・ 地すべり規模の保守性(地すべり①と地すべり②の同時活動)を考慮した影響から第1波の水位変動量は大きく、周期、波長も長い。
- ・ また、第1波以降の水位変動はほとんどない特性を有する。

【海底地すべり規模及び津波特性】

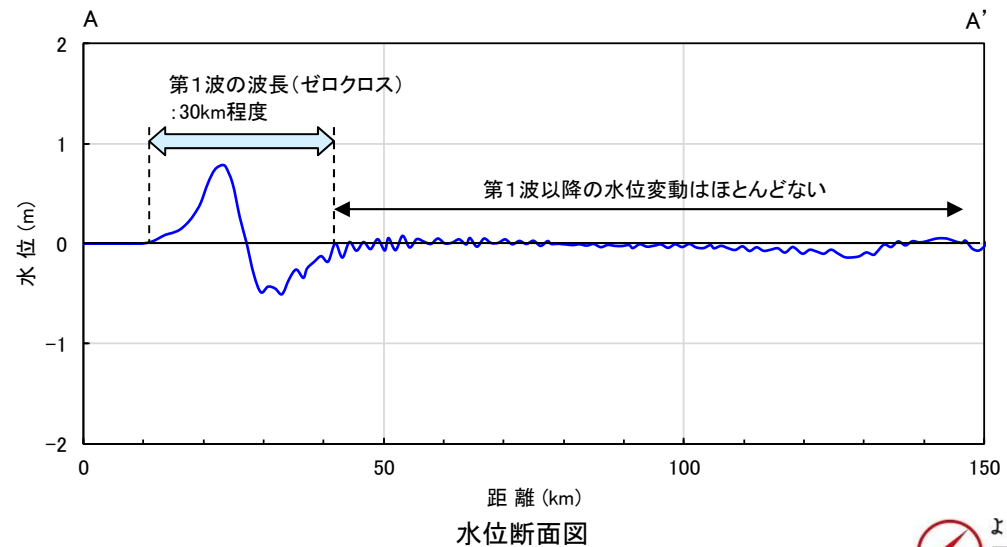


補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形

【波長】



海底地すべり発生20分後



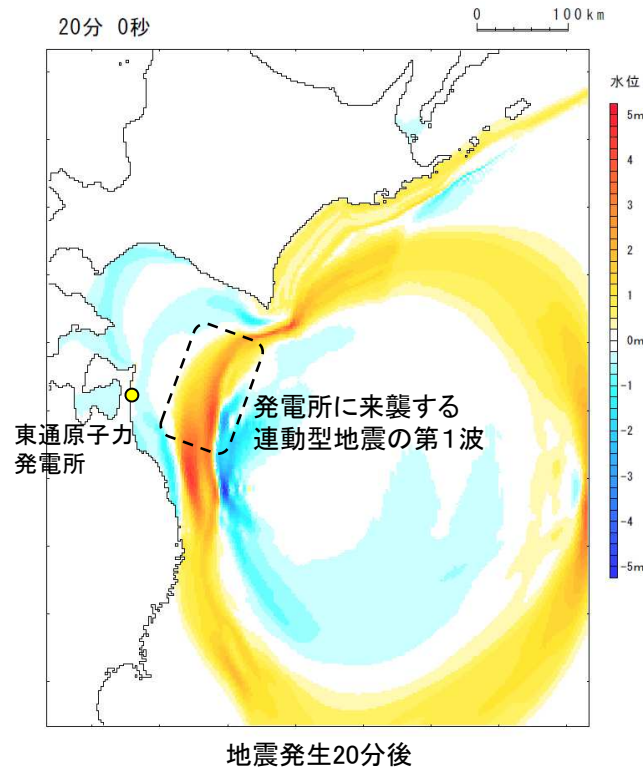
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

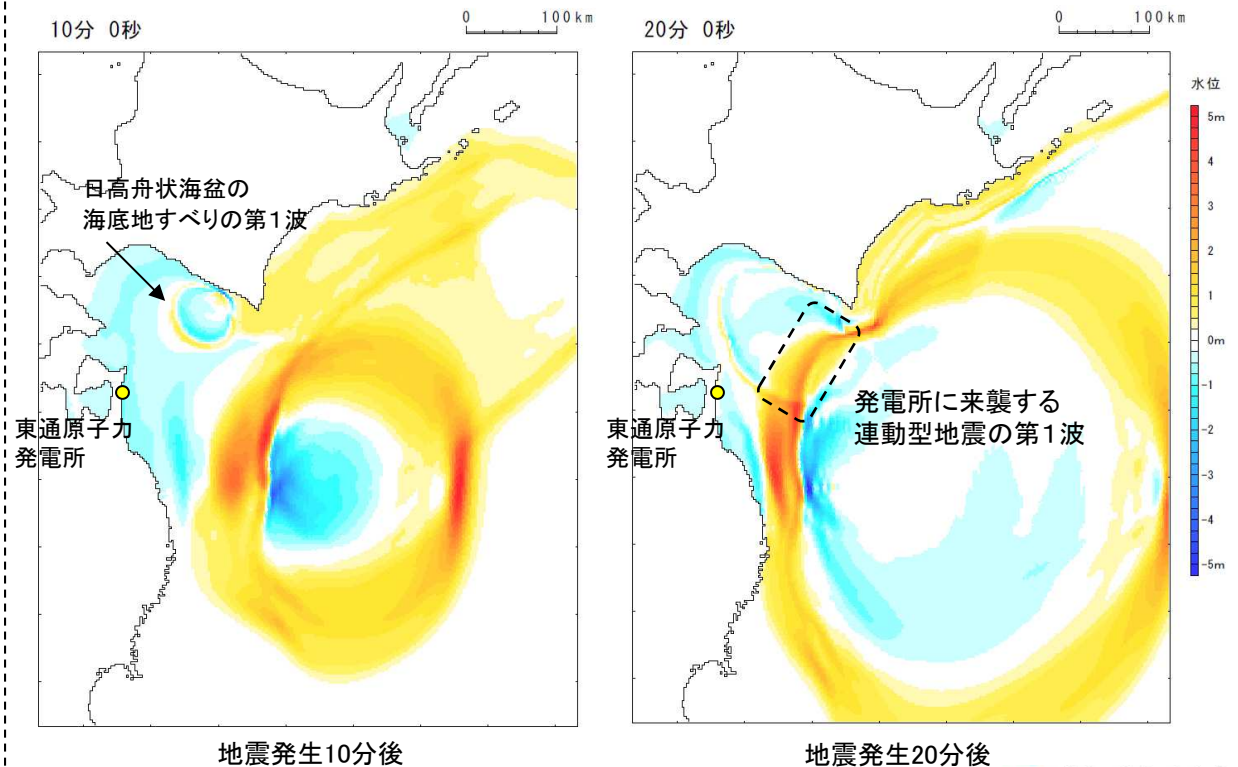
2. 5. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

- ・ 連動型地震, 連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ津波の津波伝播特性の比較を以下に示す。
- ・ 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性について, 地すべり規模の保守性を考慮した影響から, 第1波の水位変動量は大きく, 周期・波長も長い。
- ・ 組合せ津波が地震単独津波の水位を下回る要因は, 上記の津波特性を有する海底地すべり津波の第1波の押し波が沖合を通過し, その後の引き波により, 初期水面(T.P.±0.0m)から水面が低下した状態に, 連動型地震の津波の第1波が来襲するためと考えられる。
- ・ 地震発生1分後～30分後までの津波伝播特性(スナップショット)の比較を次頁以降に示す。

■連動型地震



■連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ (水位上昇側決定ケース, 組合せ時間:地震発生87.5秒後)



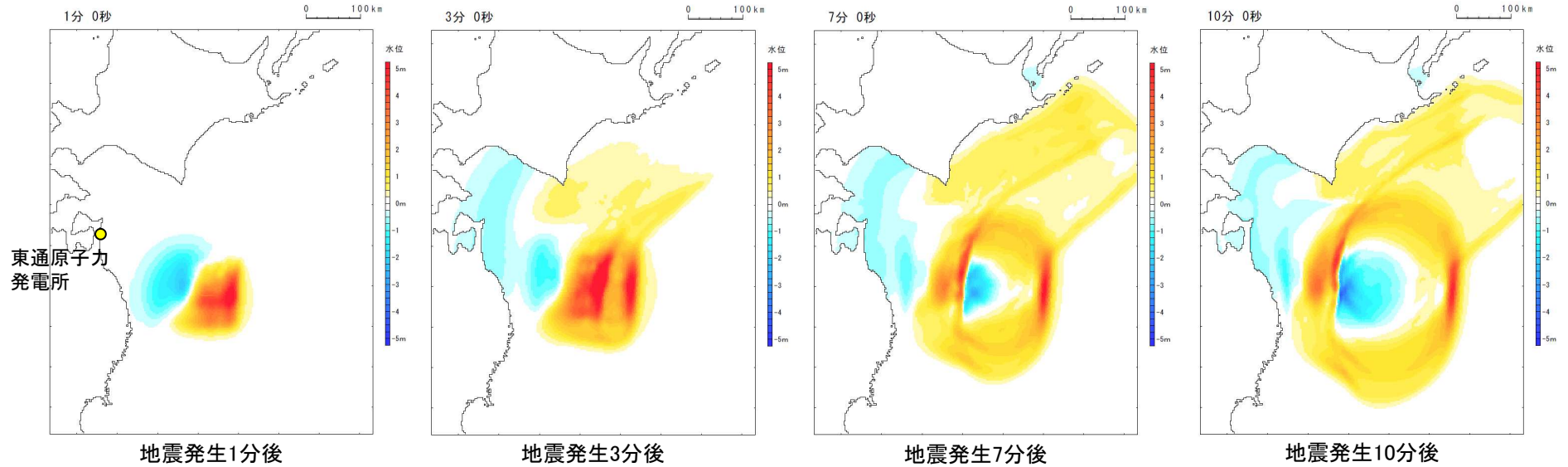
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

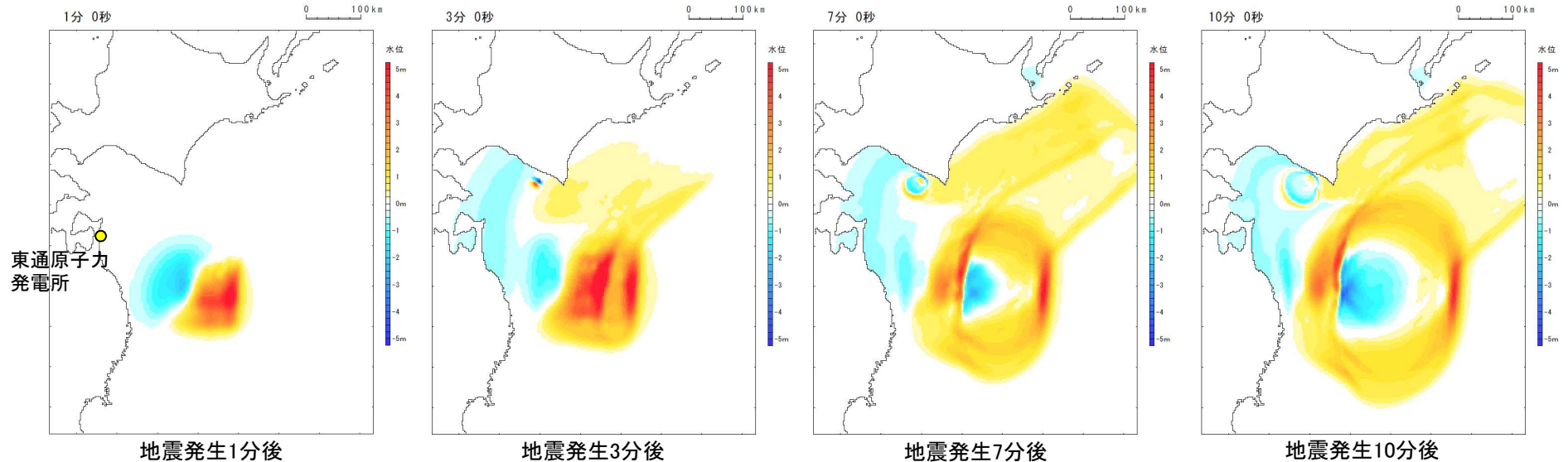
2. 5. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

■津波伝播特性(スナップショット)(1/2)

【連動型地震】



【連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ(水位上昇側決定ケース, 組合せ時間:地震発生87.5秒後)】



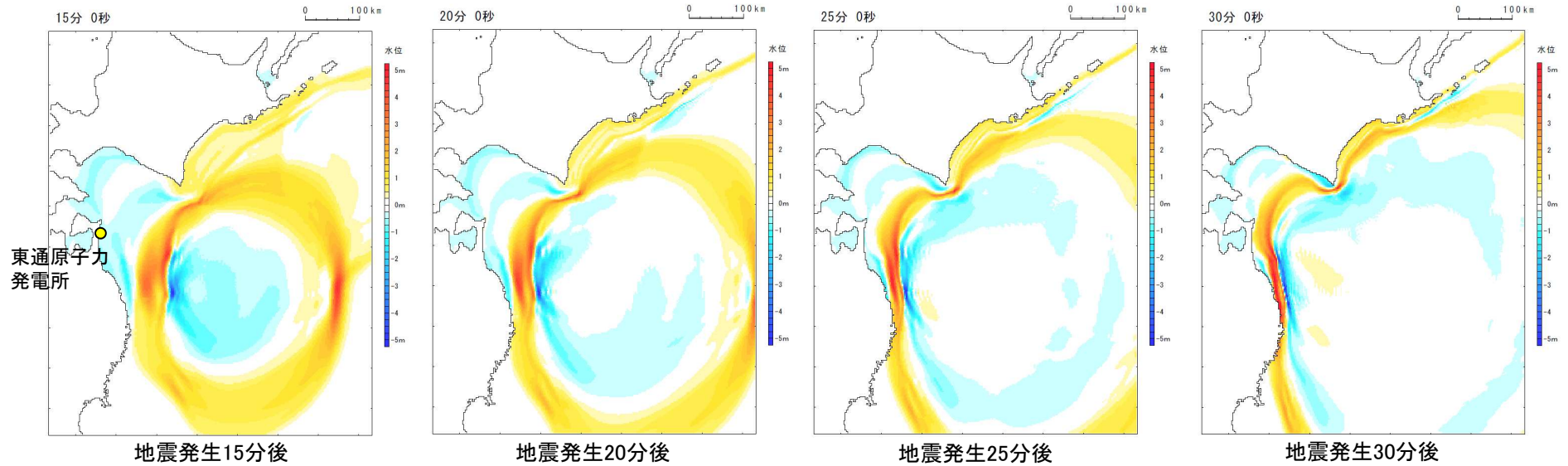
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

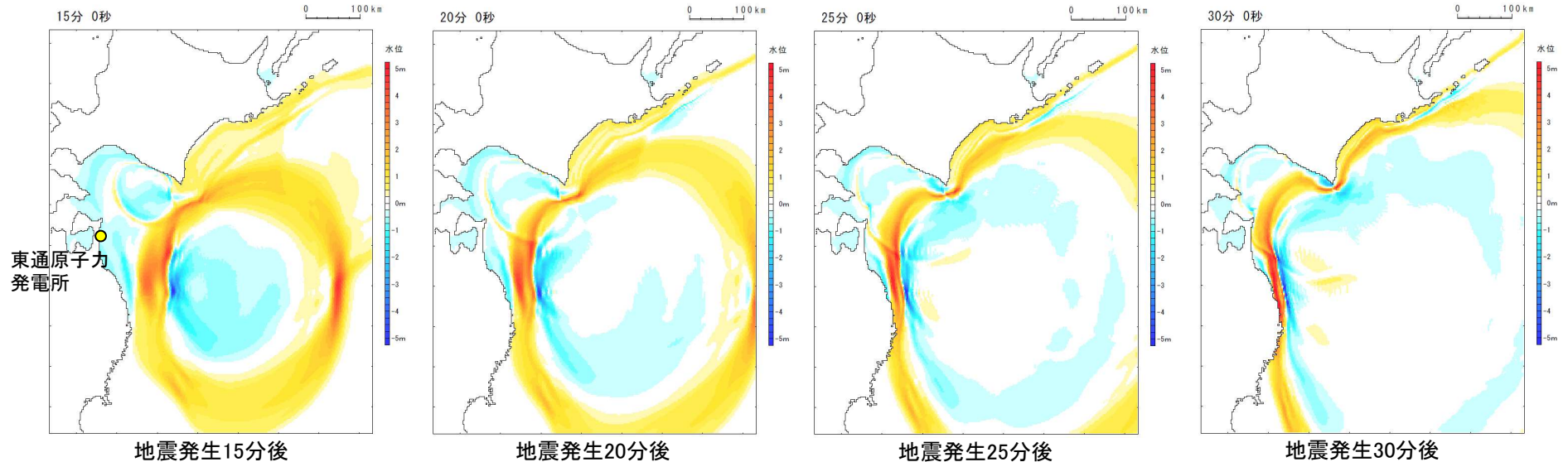
2. 5. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

■津波伝播特性(スナップショット)(2/2)

【連動型地震】



【連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ(水位上昇側決定ケース, 組合せ時間:地震発生87.5秒後)】



Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2. 5 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因【検討2】

2. 5. 4 まとめ

■下回る要因分析から得られた知見

- ・ 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に沖合を通過し、発電所に到達する。そのため、沖合では日高海底地すべりの第1波の引き波と連動型地震の第1波(押し波)が干渉し、発電所地点では、(沖合で干渉した)連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。
- ・ 上記に対し、「地すべり①と地すべり②の同時活動」は、地すべり規模の保守性を考慮したことにより、第1波の水位下降量は大きく、その周期・波長も長い津波となり、これが、連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因になっていることを確認した。

余白

Ⅱ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価

2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

2.6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】

Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)

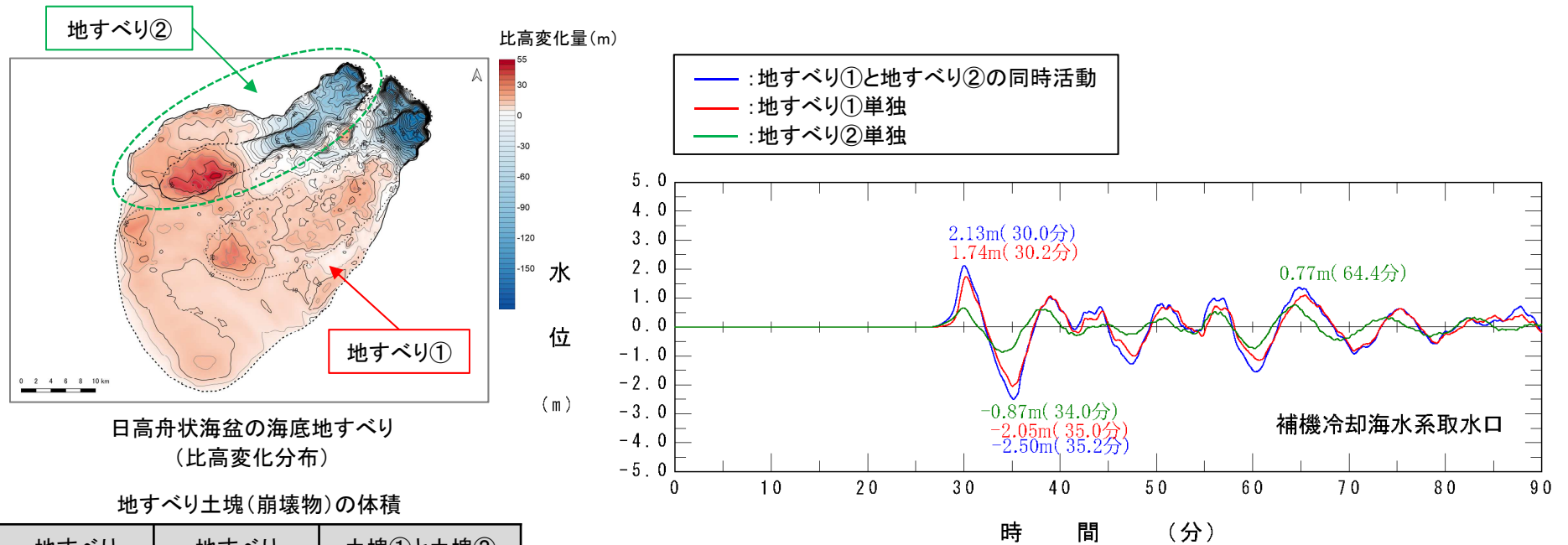
2. 6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】

■日高舟状海盆の海底地すべり:地すべり①単独及び地すべり②単独の津波特性(1/2)

- 「地すべり①と地すべり②の同時活動」,「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」の補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形の比較*を以下に示す。
- 海底地すべりの水位変動量,周期は想定する地すべり規模に起因し,規模が小さくなると,第1波の水位変動量は小さく,周期も短くなる。
※:津波解析は,地すべり①と地すべり②を分割して評価できる二層流モデルを用いて実施。

【日高海底地すべりの津波特性(第1波)】

- ✓ 地すべり①単独:「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して周期はほぼ同様であるが,最低水位は0.5m程度小さい。
- ✓ 地すべり②単独:「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して周期は2分程度短いとともに,最低水位も1.6m程度小さい。



補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(二層流モデル)

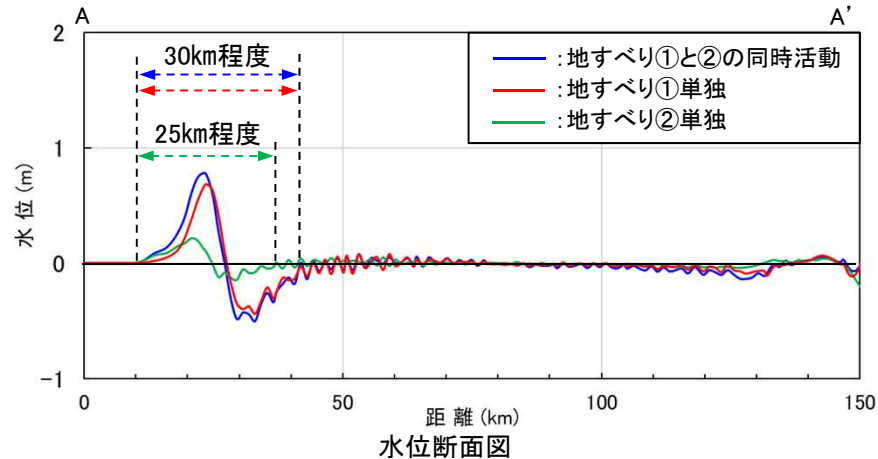
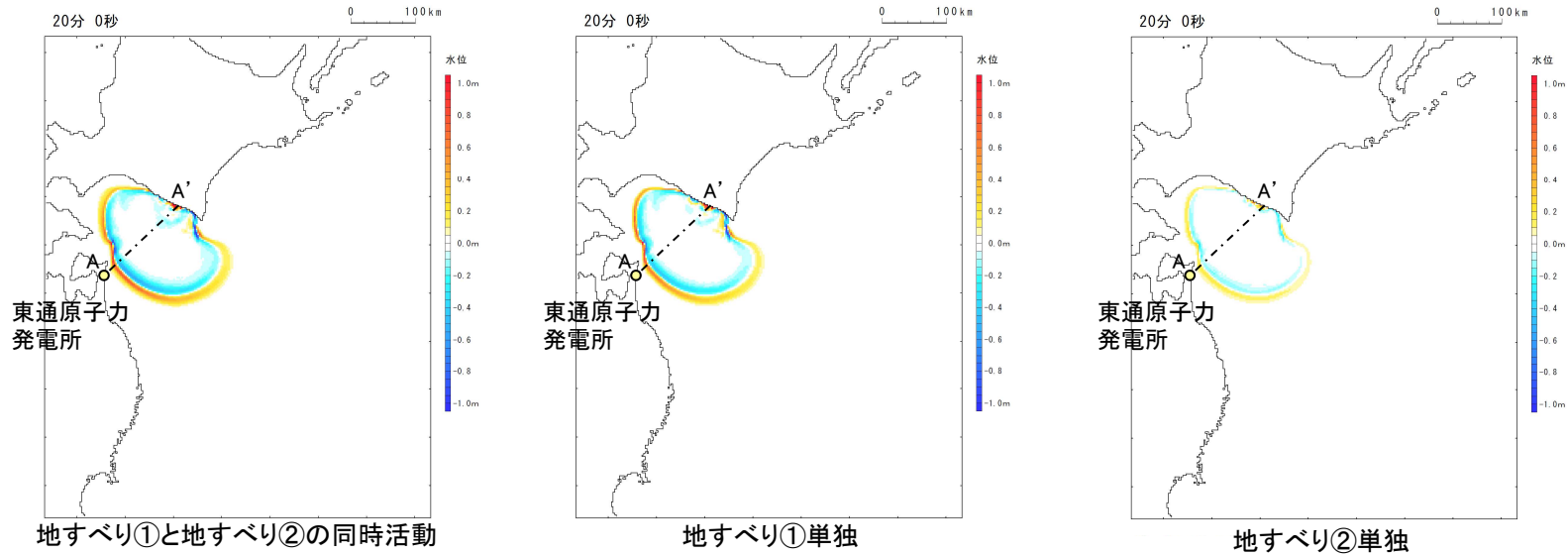
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223) (評価方針)

2. 6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】

■日高舟状海盆の海底地すべり: 地すべり①単独及び地すべり②単独の津波特性(2/2)

- ・ 「地すべり①と地すべり②の同時活動」、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」の波長(海底地すべり発生20分後の水位断面)の比較を以下に示す。
- ・ 海底地すべりの波長は想定する地すべり規模に起因し、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して、「地すべり②単独」の波長は5km程度短い。

【波長(海底地すべり発生20分後)】



海底地すべり	第1波の波長 (ゼロクロス)
①と②の同時活動	30km程度
①単独	30km程度
②単独	25km程度

2.6 コメントNo.S223に対する評価方針【検討3】

■評価方針

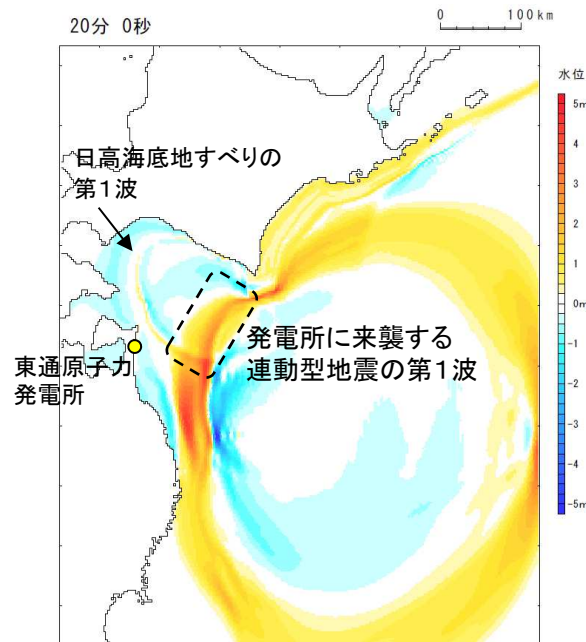
【東通のサイト特徴】

- 各津波波源と発電所の位置及び海底地すべりの発生時間範囲の関係から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が先に沖合を通過し、発電所に到達する。そのため、沖合では日高海底地すべりの第1波の引き波と連動型地震の第1波(押し波)が干渉し、発電所地点では、(沖合で干渉した)連動型地震の第1波(押し波)と日高海底地すべりの第2波(押し波)が組み合わせられる。
- 上記に対し、「地すべり①と地すべり②の同時活動」は、地すべり規模の保守性を考慮したことにより、第1波の水位下降量は -2.5m^* と大きく、その周期は約10分 * 、波長は30km程度と長い津波となり、これが、連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因になっていることを確認した。
- 海底地すべりの津波特性は想定する地すべり規模に起因するため、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」の津波特性は、「地すべり①と地すべり②の同時活動」と異なる。
- 特に、「地すべり②単独」については、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に対して、第1波の水位下降量は1.6m程度小さい * とともに、周期は2分程度 * 、波長は5km程度短いことから、連動型地震との組合せを評価した場合、連動型地震(単独)津波の水位を上回る可能性がある。

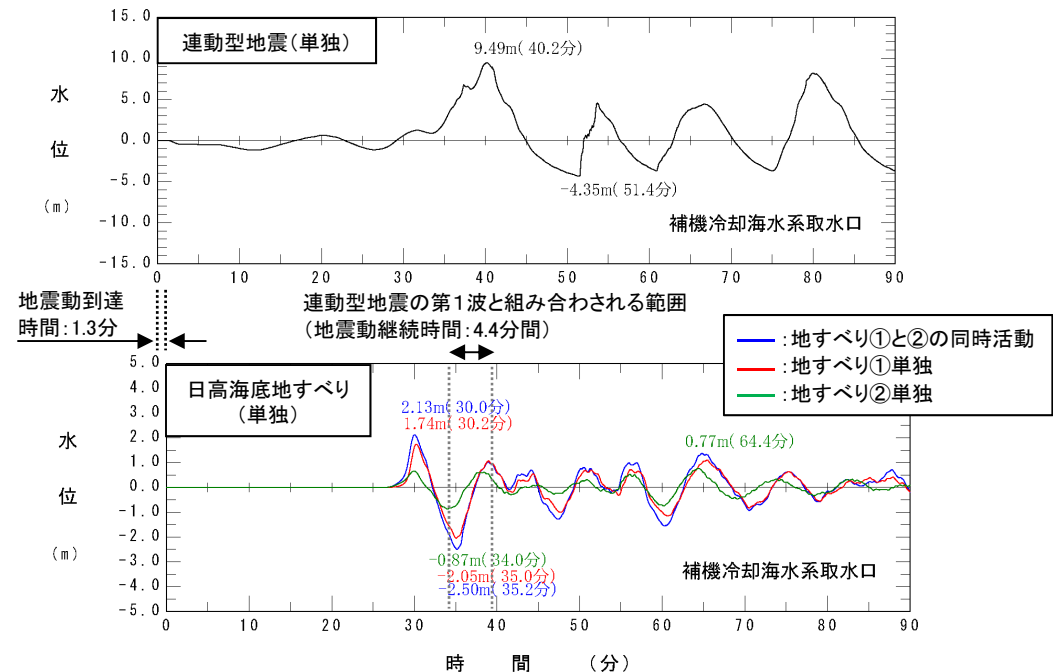
【評価内容】

- 上記東通のサイト特徴から、日高海底地すべりの第1波の水位下降量、周期及び波長の大小が評価に与える影響を検討することが重要であることを踏まえ、「地すべり①と地すべり②の同時活動」に加え、「地すべり①単独」及び「地すべり②単独」との組合せを評価する。
- なお、日高海底地すべりの形成過程から「地すべり①の発生後に、地すべり②が発生するケース」も考えられるが、発電所に先行して到達する地すべり①の第1波の水位下降量に、遅れて到達する地すべり②の第1波の水位上昇量を足し合わせても、地すべり②単独の第1波の水位下降量を上回らない。したがって、時間差を考慮した地すべりとの組合せ津波の水位は、地すべり②単独との組合せ津波の水位を下回る。

※:補機冷却海水系取水口前面位置



組合せ津波のスナップショット(地震発生20分後)



発電所地点(補機冷却海水系取水口前面位置)における水位時刻歴波形

参考文献

参考文献

1. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2019):日本海溝沿いの地震活動の長期評価
2. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術 2016
3. 相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション, 地震研究所彙報, Vol.52, pp.71-101
4. S.Noda, K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering, Oct.16-18, Istanbul
5. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009):付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
6. 川村喜一郎(2022):活動的縁辺域での海底地すべりの研究課題, 月刊地球, 号外, No.73, pp.38-45
7. 上田恭平・井澤淳・室野剛隆・井合進(2014):余震の発生が地盤の液化挙動に及ぼす影響に関する解析的検討, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4(地震工学論文集第33巻), I_578-I_585
8. 風間基樹・森友宏・株木宏明・松井哲志(2011):荒砥沢ダム上流部で発生した地すべりの滑動計算とその考察, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第5号(特集号)
9. Adi Patria and Purna Sulastya Putra(2020):Development of the Palu-Koro Fault in NW Palu Valley, Indonesia, Geoscience Letters, doi:10.1186/s40562-020-0150-2
10. TAKAHITO MIKAMI, TOMOYA SHIBAYAMA, MIGUEL ESTEBAN, TOMOYUKI TAKABATAKE, RYOTA NAKAMURA, YUTA NISHIDA, HENDRA ACHIARI, RUSLI, ABDUL GAFUR MARZUKI, MUHAMMAD FADEL HIDAYAT MARZUKI, JACOB STOLLE, CLEMENS KRAUTWALD, IAN ROBERTSON, RAFAEL ARA´ NGUIZ and KOICHIRO OHIRA(2019):Field Survey of the 2018 Sulawesi Tsunami: Inundation and Run-up Heights and Damage to Coastal Communities, Pure and Applied Geophysics, 3291-3304
11. Wahyu Widiyanto, Purwanto B. Santoso, Shih-Chun Hsiao and Rudy T. Imananta(2019):Post-event Field Survey of 28 September 2018 Sulawesi Earthquake and Tsunami, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.19, 2781-2794
12. Chatuphorn Somphong, Anawat Suppasri, Kwanchai Pakoksung, Tsuyoshi Nagasawa, Yuya Narita, Ryunosuke Tawatari, Shohei Iwai, Yukio Mabuchi, Saneiki Fujita, Shuji Moriguchi, Kenjiro Terada, Cipta Athanasius and Fumihiko Imamura(2022):Submarine landslide source modeling using the 3D slope stability analysis method for the 2018 Palu, Sulawesi, tsunami, Natural Hazards and Earth System Sciences, 891-907
13. Nagai Kaori, Abdul Muhari, Kwanchai Pakoksung, Masashi Watanabe, Anawat Suppasri, Taro Arikawa and Fumihiko Imamura(2021):Consideration of submarine landslide induced by 2018 Sulawesi earthquake and tsunami within Palu Bay, Coastal Engineering Journal, Vol.63, 446-466
14. Danny Hilman Natawidjaja, Mudrik R. Daryono, Gelar Prasetya, Udrek, Philip L-F. Liu, Nugroho Dwi Hananto, Widjo Kongko, Wahyu Triyoso, Anggraini Rizkita Puji, Irwan Meilano, Endra Gunawan, Pepen Supendi, Astyka Pamumpuni, Mashur Irsyam, Lutfi Faizal, Sri Hidayati, Benyamin Sapiie, Mipi A. Kusuma and Sukardan Tawil(2021):The 2018 Mw7.5 Palu ‘supershear’ earthquake ruptures geological fault’s multisegment separated by large bends: results from integrating field measurements, LiDAR, swath bathymetry and seismic-reflection data, Geophysical Journal International, 224, 985-1002
15. Pepen Supendi, Andri Dian Nugraha, Sri Widiyantoro, Chalid Idham Abdullah, Nanang T. Puspito, Kadek Hendrawan Palgunadi, D. Daryono and Samsul Hadi Wiyono(2019):Hypocenter relocation of the aftershocks of the Mw 7.5 Palu earthquake (September 28, 2018) and swarm earthquakes of Mamasa, Sulawesi, Indonesia, using the BMKG network data, Geoscience Letters, doi:10.1186/s40562-019-0148-9