

東通原子力発電所1号炉審査資料	
資料番号	A1-CA-0112
提出年月日	2023年2月27日

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2月27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。

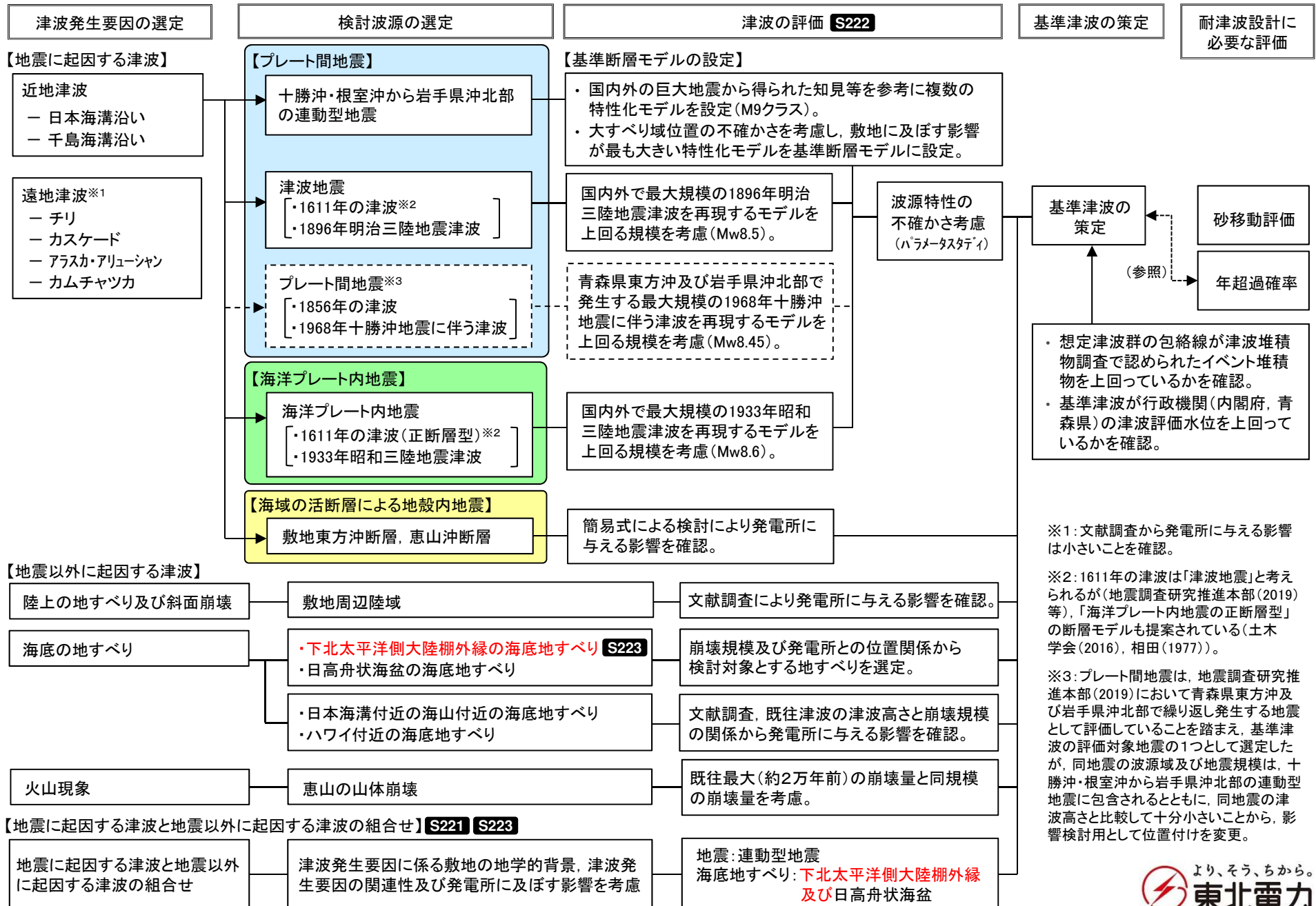
基準津波評価フロー

第1068回審査会合 (R4.9.2)
資料1-1 p2 一部修正

SO : 審査会合コメントNo.

赤字: 前回審査会合からの追加・変更箇所

2



※1: 文献調査から発電所に与える影響は小さいことを確認。

※2: 1611年の津波は「津波地震」と考えられるが(地震調査研究推進本部(2019)等)、「海洋プレート内地震の正断層型」の断層モデルも提案されている(土木学会(2016), 相田(1977))。

※3: プレート間地震は、地震調査研究推進本部(2019)において青森県東方沖及び岩手県沖北部で繰り返し発生する地震として評価していることを踏まえ、基準津波の評価対象地震の1つとして選定したが、同地震の波源域及び地震規模は、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震に包含されるとともに、同地震の津波高さと比較して十分小さいことから、影響検討用として位置付けを変更。

目次

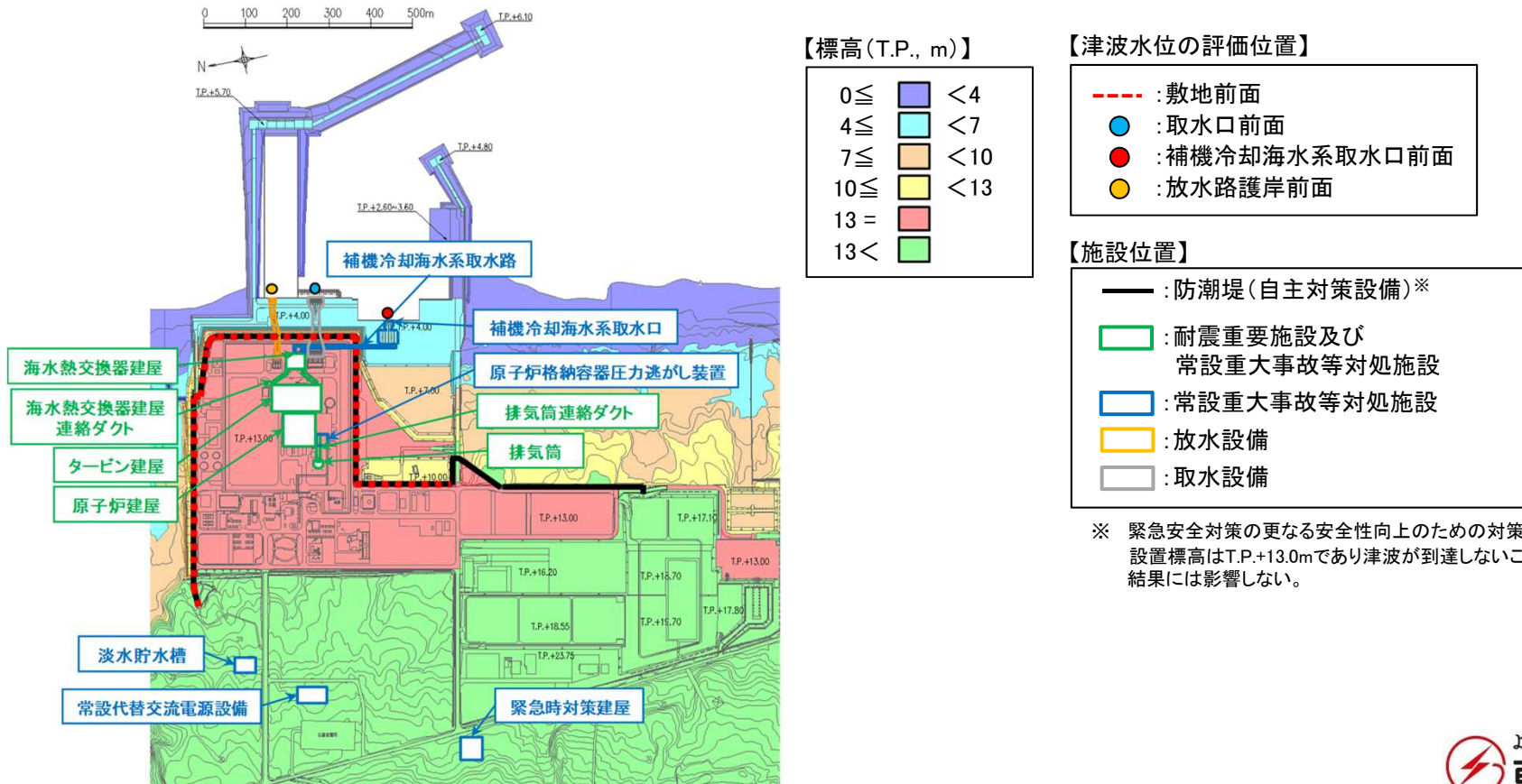
説明の概要	4
I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)	
1. 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係	15
2. コメント回答の概要	16
3. 敷地前面	18
4. 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面	21
II. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価	
1. 水位下降側評価の組合せ時間算定位置(コメントNo.S221)(コメント回答)	24
2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針)	30

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が高いエリアに囲まれた標高T.P.+13.0mのさらに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。



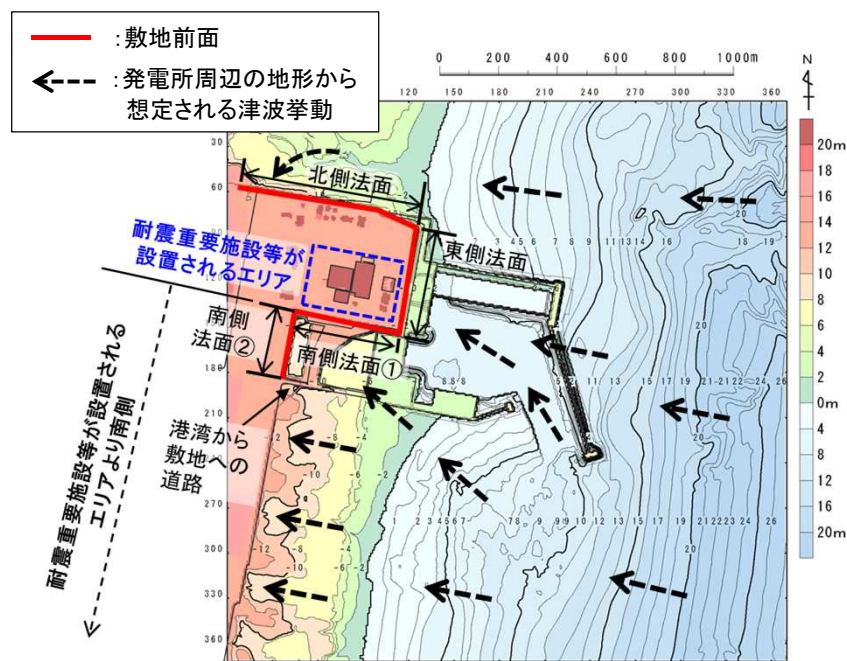
1. 津波水位の評価位置に係るコメントNo. S222

■コメント回答：敷地前面の設定範囲の妥当性

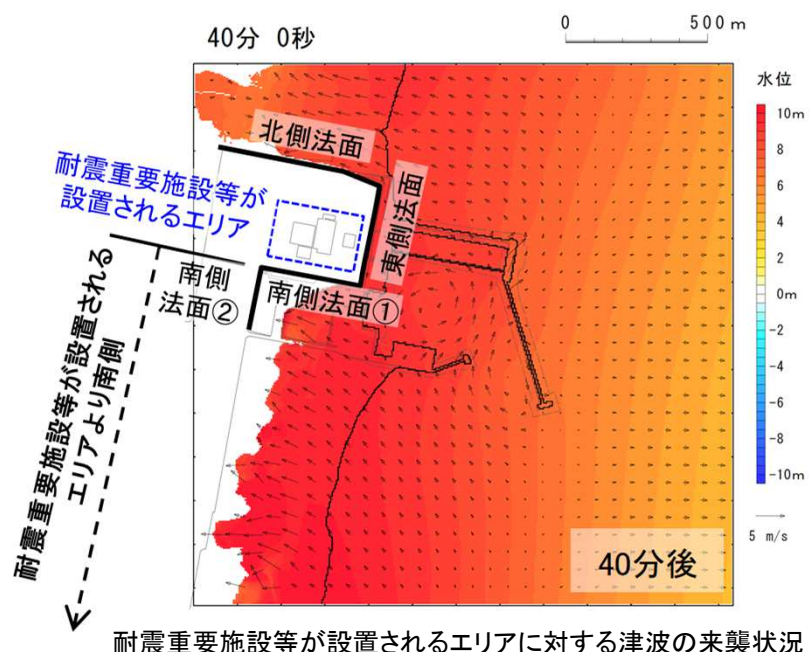
- ・ 発電所周辺の地形から想定される津波挙動を考慮し、敷地(T.P.+13.0m)のうち耐震重要施設等が設置されるエリア(以下、「エリア」という。)を取り囲むように津波水位の評価位置を設定した(敷地前面を北側法面、東側法面、南側法面①、南側法面②で構成した)。
- ・ 同エリアに対する津波の来襲状況から、敷地前面の設定範囲の妥当性を確認した。

【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部までとした。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。



妥当性を確認



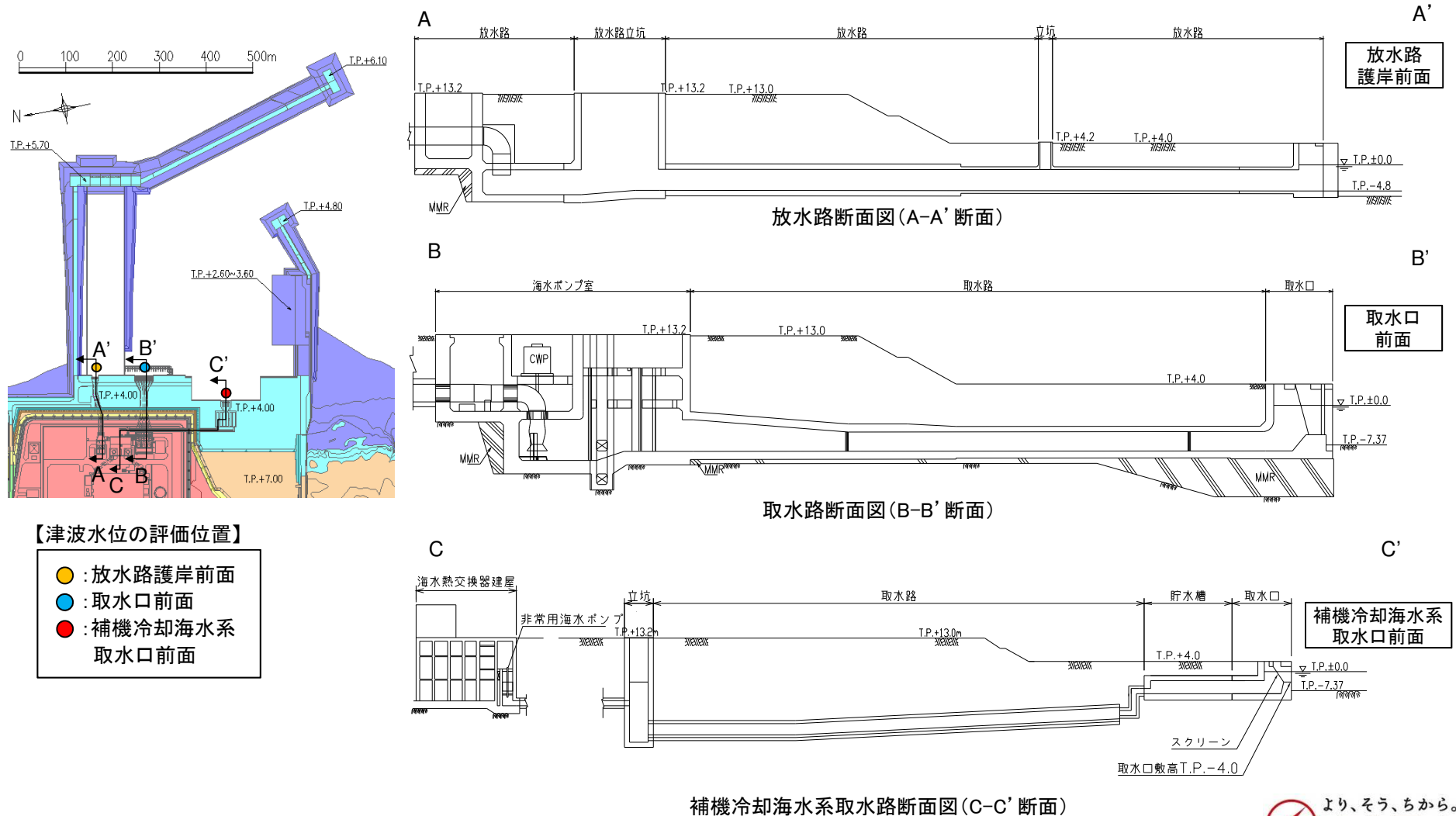
耐震重要施設等が設置されるエリアに対する津波の来襲状況

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。



補機冷却海水系取水路断面図(C-C' 断面)

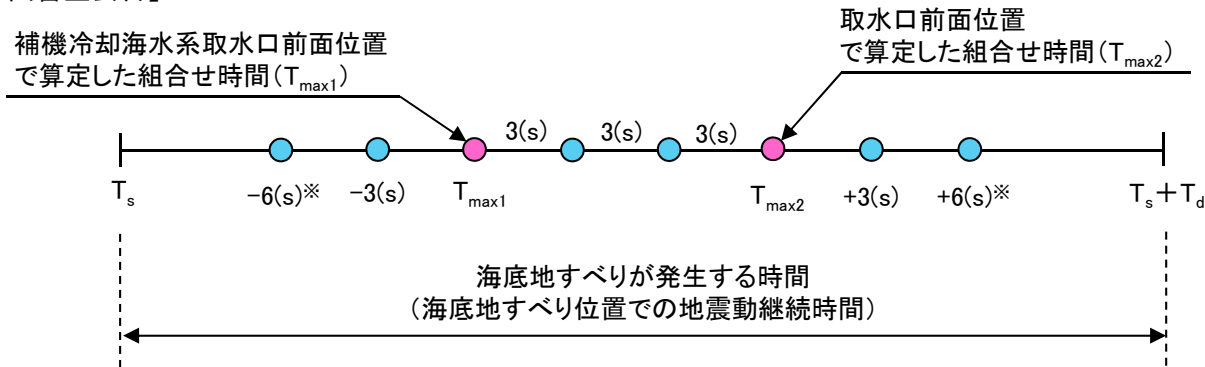
2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S221

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。

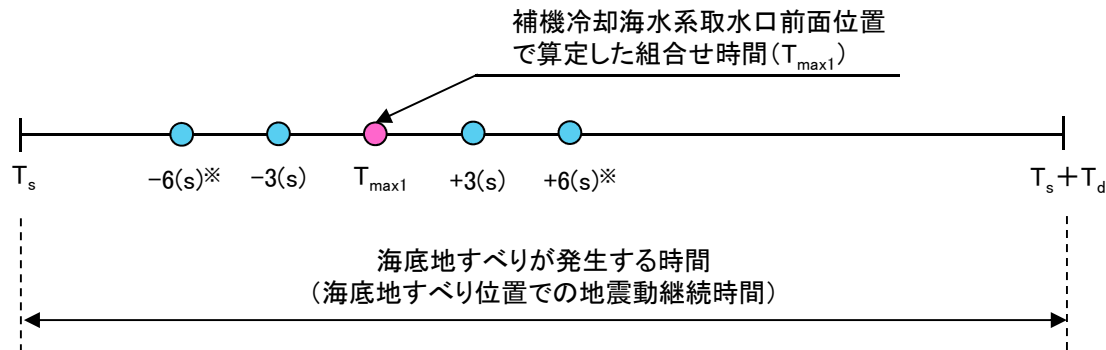
■評価方針

- 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。
- 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前面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)

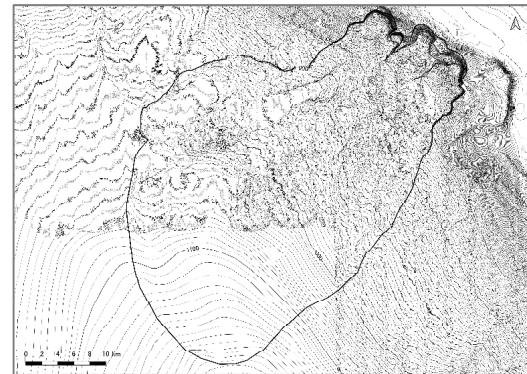
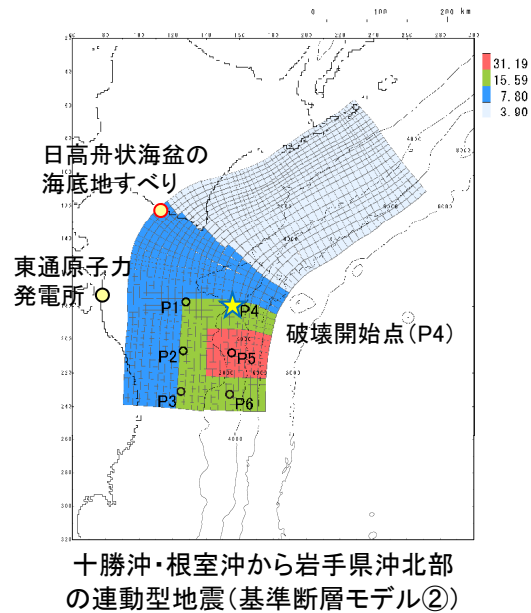
- 十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震の基準断層モデル②, 基準断層モデル③と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せについて, 両評価ともに, 第1068回審査会合で説明した評価結果に変更はない。

【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)】

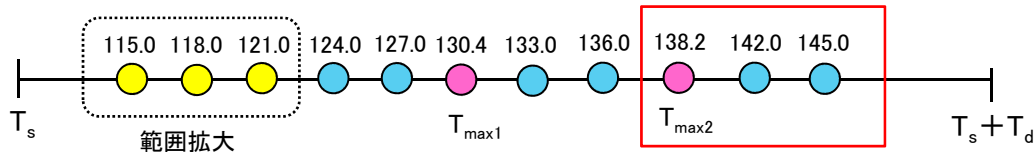
□ : 組合せ時間算定位置として設定しない

	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



日高舟状海盆の海底地すべり
(浦河沖の海底地すべり)



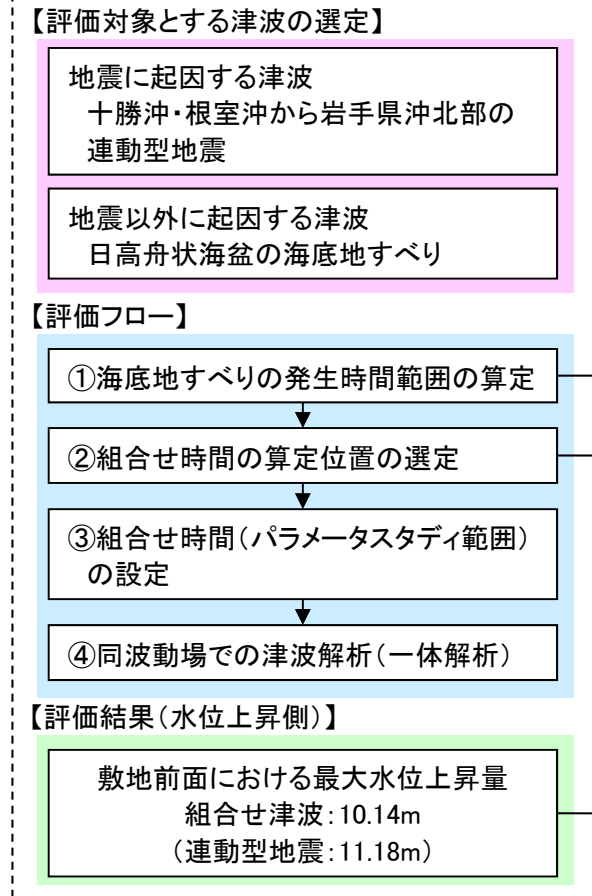
組合せ時間差 (s)	補機冷却海水系取水口前面		備考
	最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
115.0	-5.113	4.4	範囲拡大
118.0	-5.114	4.4	範囲拡大
121.0	-5.12 (-5.115)	4.4	範囲拡大
124.0	-5.111	4.4	
127.0	-5.109	4.4	
130.4	-5.110	4.4	T_{max1}
133.0	-5.109	4.4	
136.0	-5.107	4.4	
138.2	-5.105	4.4	T_{max2}
142.0	-5.10	4.3	
145.0	-5.10	4.3	

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、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。

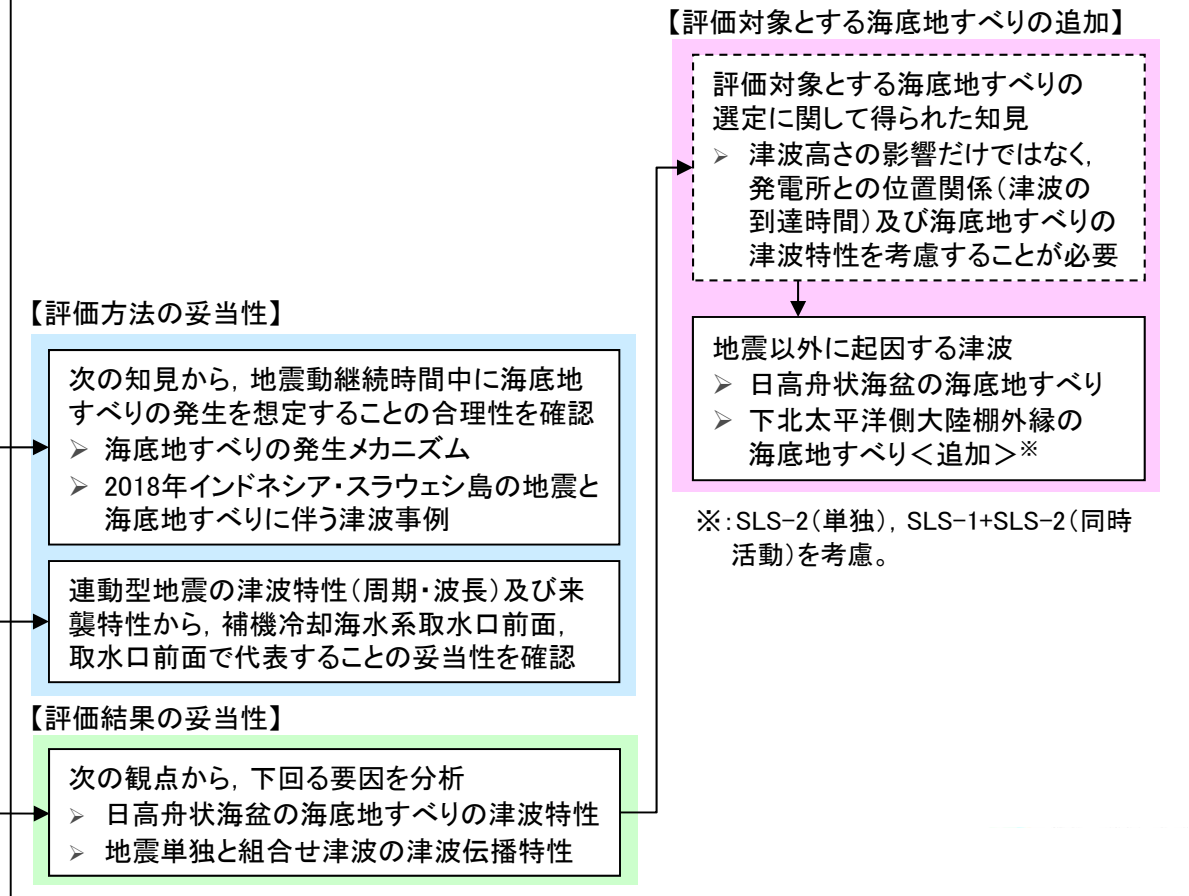
■評価方針(概要)

- ・ 組合せ評価方法(評価フロー①・②)の妥当性について、海底地すべりの発生メカニズム等に係る知見の追加収集、連動型地震の津波特性から確認する。
- ・ 組合せ評価結果の妥当性(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、地震単独と組合せ津波の津波伝播特性から確認する(分析する)。
- ・ 上記から得られた知見を踏まえ、下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりを組合せ対象として追加する。

【第1068回審査会合での説明内容】



【コメントを踏まえた検討内容】



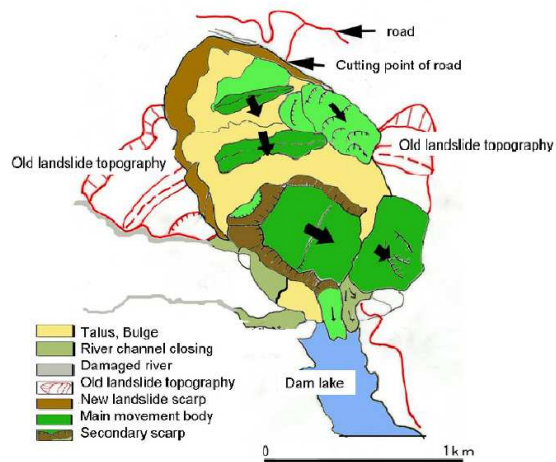
2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

■ 組合せ評価方法の妥当性：海底地すべりの発生時間範囲の算定(概要)

- 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。

【海底地すべりの発生メカニズム】

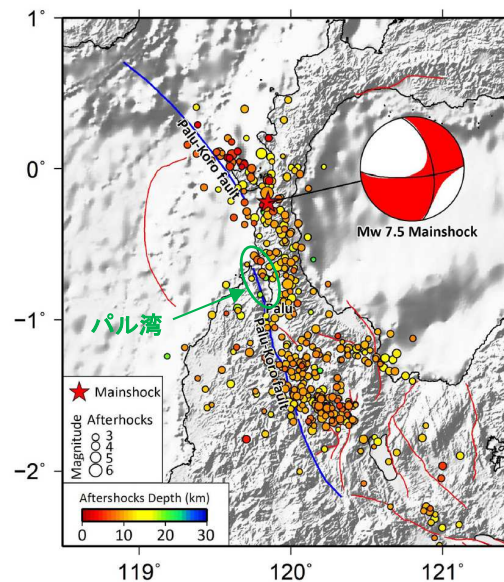
- 海底地すべりの発生要因, 2008年岩手・宮城内陸地震で発生した巨大地すべりの発生メカニズムに係る知見等から、地すべりは地震動による繰り返しせん断による有効応力の低下(過剰間隙水圧の上昇)を主因として発生するものと考えられる。



2008年の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
(風間ほか(2011))

【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】

- 2018年の地震(Mw7.5, 左横ずれ)では津波も発生。震源の南に位置するパル湾の遡上高は湾奥で10mを上回る。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よるものとされる。
- 海底地すべりの発生タイミングについて、津波波形及び痕跡高の再現シミュレーションに係る知見から、海底地すべりは地震と同時に発生。一部の海底地すべりは、地震発生から約60秒後に発生したとされるが、Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性から得られる海底地すべり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、同海底地すべりは、地震動継続時間中に発生したものと考えられる。



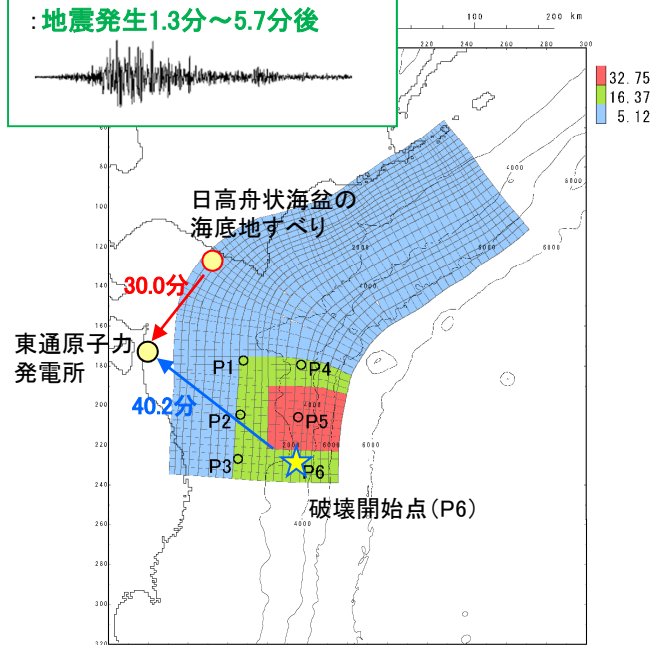
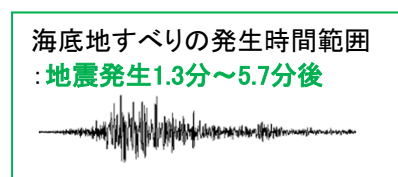
2018年の地震の震源とパル湾の位置関係
(Pepon et al.(2019)に一部加筆)

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

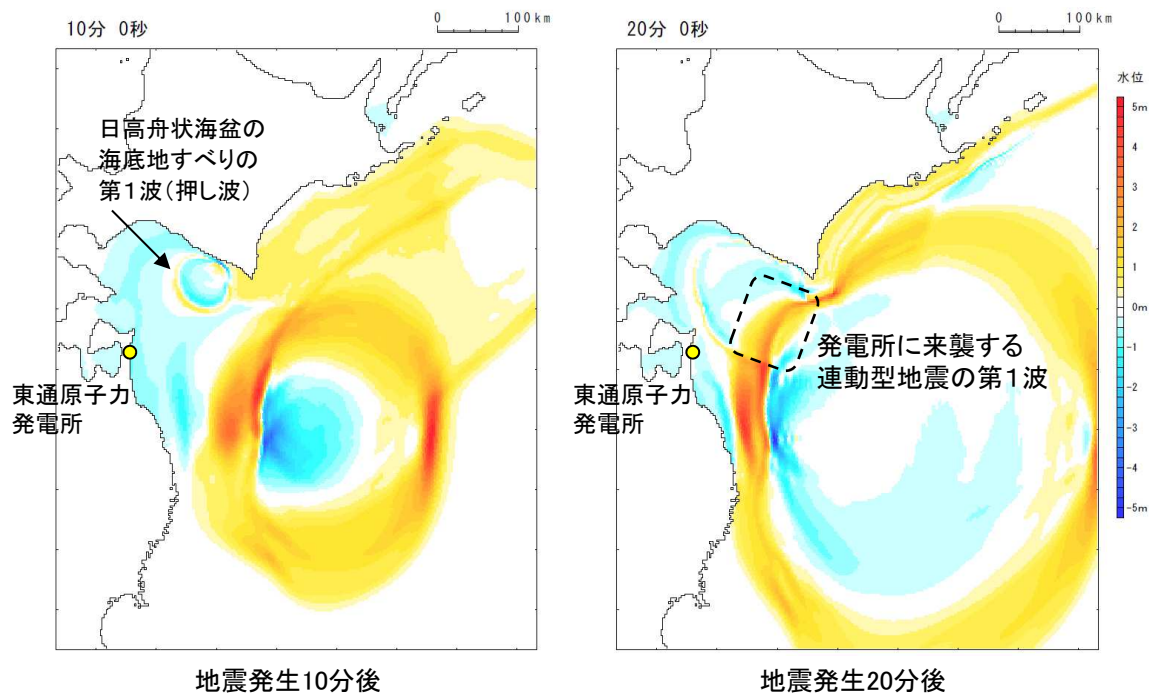
■評価結果の妥当性：組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因(概要)

- 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は、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から連動型地震の第1波と海底地すべりの第2波の重畳による評価となる。
- 組合せ津波が地震単独津波の水位を下回る要因は、周期(約10分)、波長(30km程度)が長い海底地すべりの第1波(押し波)が沖合を通過し、初期水面(T.P.±0.0m)から水面が低下したところに、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。



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1.5分後(87.5秒後))

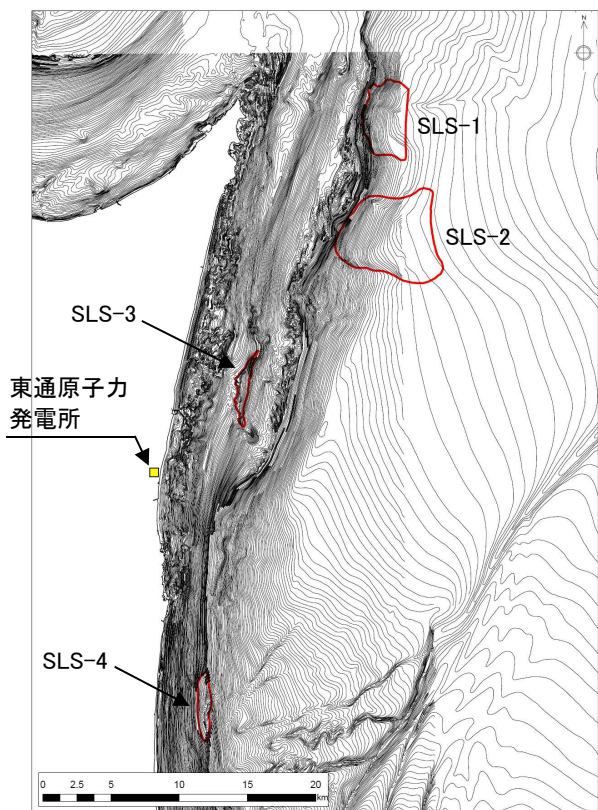


以上の要因分析から、連動型地震と組合せる海底地すべりの選定にあたっては、発電所の津波高さに与える影響の観点だけではなく、発電所との位置関係及び海底地すべりの津波特性を考慮する必要があることを確認した。

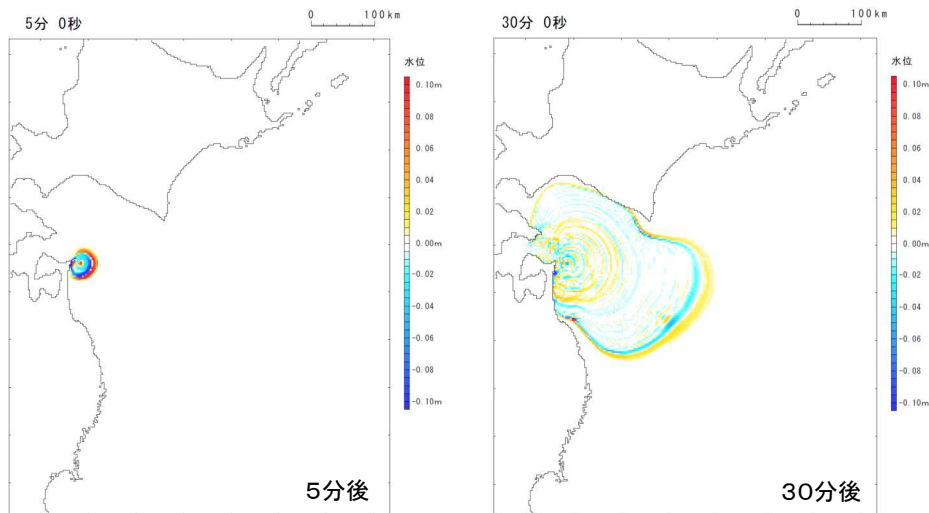
2. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せ評価に係るコメントNo. S223

■評価対象とする海底地すべりの追加：下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり(SLS-2(単独), SLS-1+SLS-2の同時活動)の追加

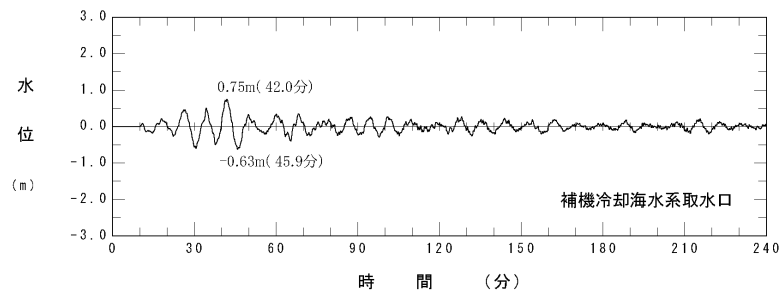
- 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりに伴う津波は、第1波の到達時間は約10分と早く、その後、周期の短い(約5分)津波が繰り返し来襲する特性を有するため、地震発生約40分後に到達する運動型地震の最高水位(第1波)と重なり、地震単独の水位よりも高くなる可能性があることを踏まえ、評価対象として追加する。
- 評価対象とする海底地すべりは、最も崩壊規模が大きい海底地すべりSLS-2(単独)に加え、北に位置する海底地すべりSLS-1との同時活動(SLS-1+SLS-2)も新たに評価したうえで、運動型地震との組合せ評価を実施する。
- 評価結果については、今後の審査会合で説明する。



下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり



海底地すべりSLS-2(単独)の津波伝播特性(スナップショット)



海底地すべりSLS-2(単独)の水位時刻歴波形
(補機冷却海水系取水口前面)

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。

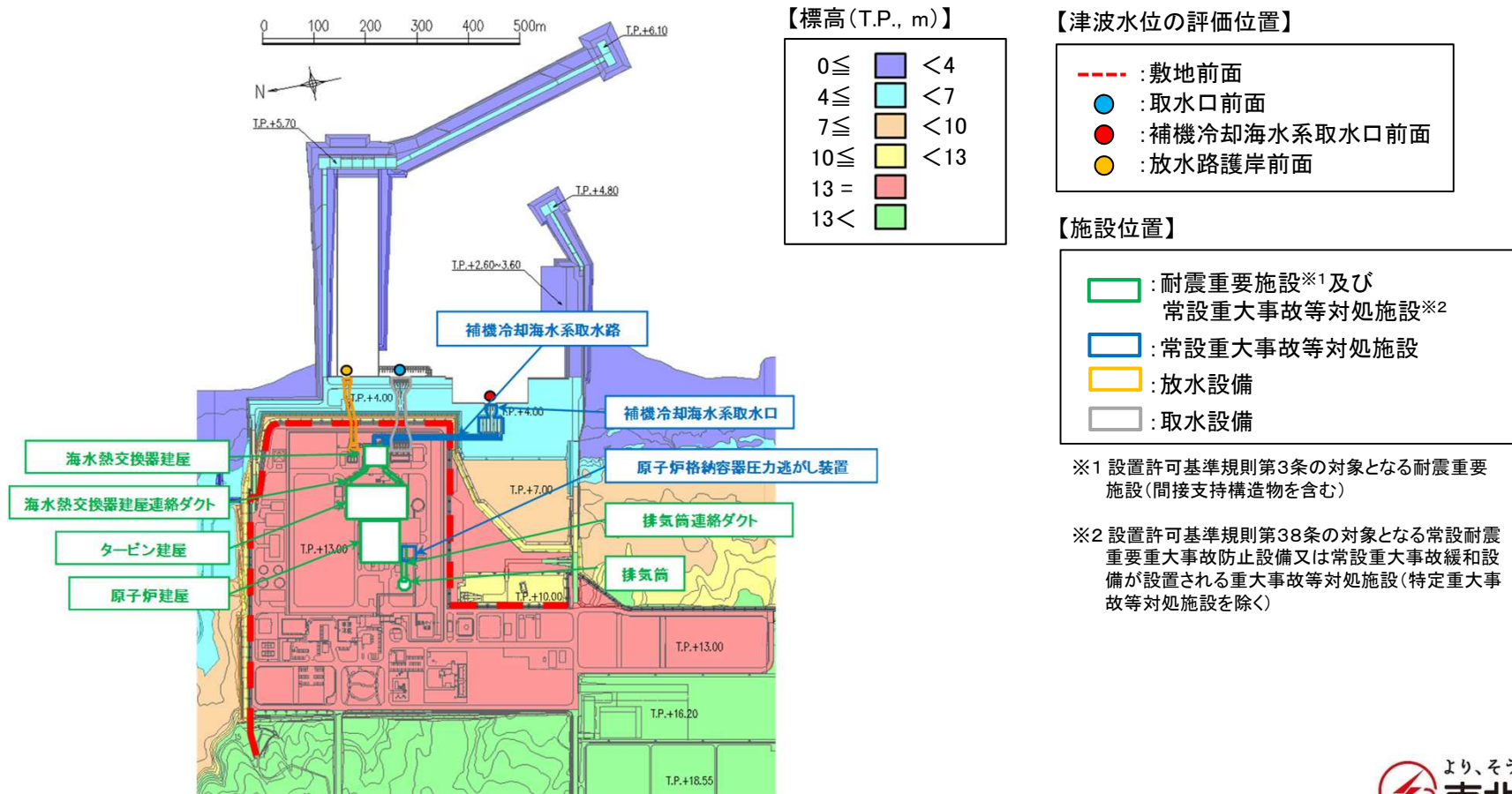
1. 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係
2. コメント回答の概要
3. 敷地前面
4. 取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面

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。



I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)

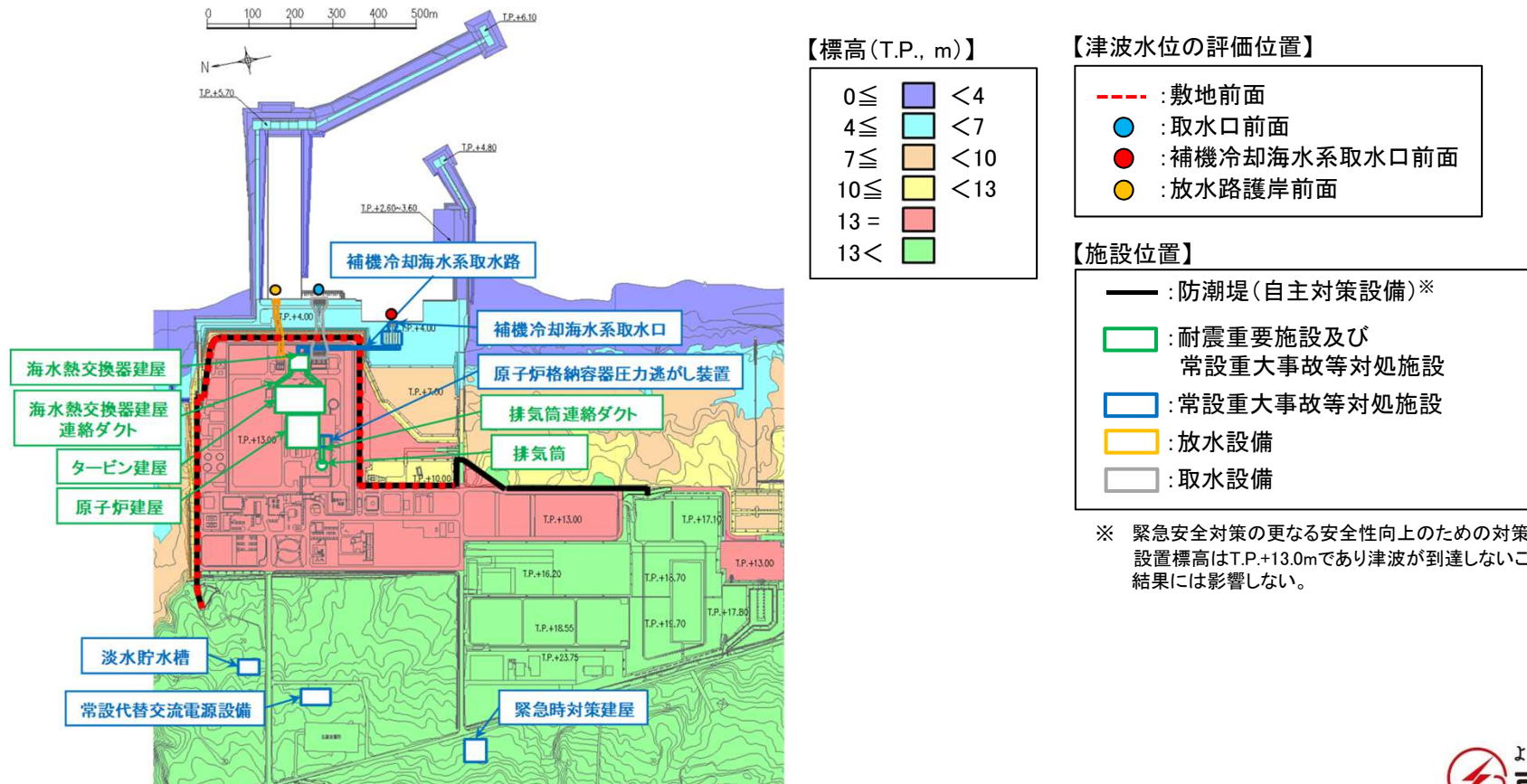
2. コメント回答の概要

■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が高いエリアに囲まれた標高T.P.+13.0mのさらに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。



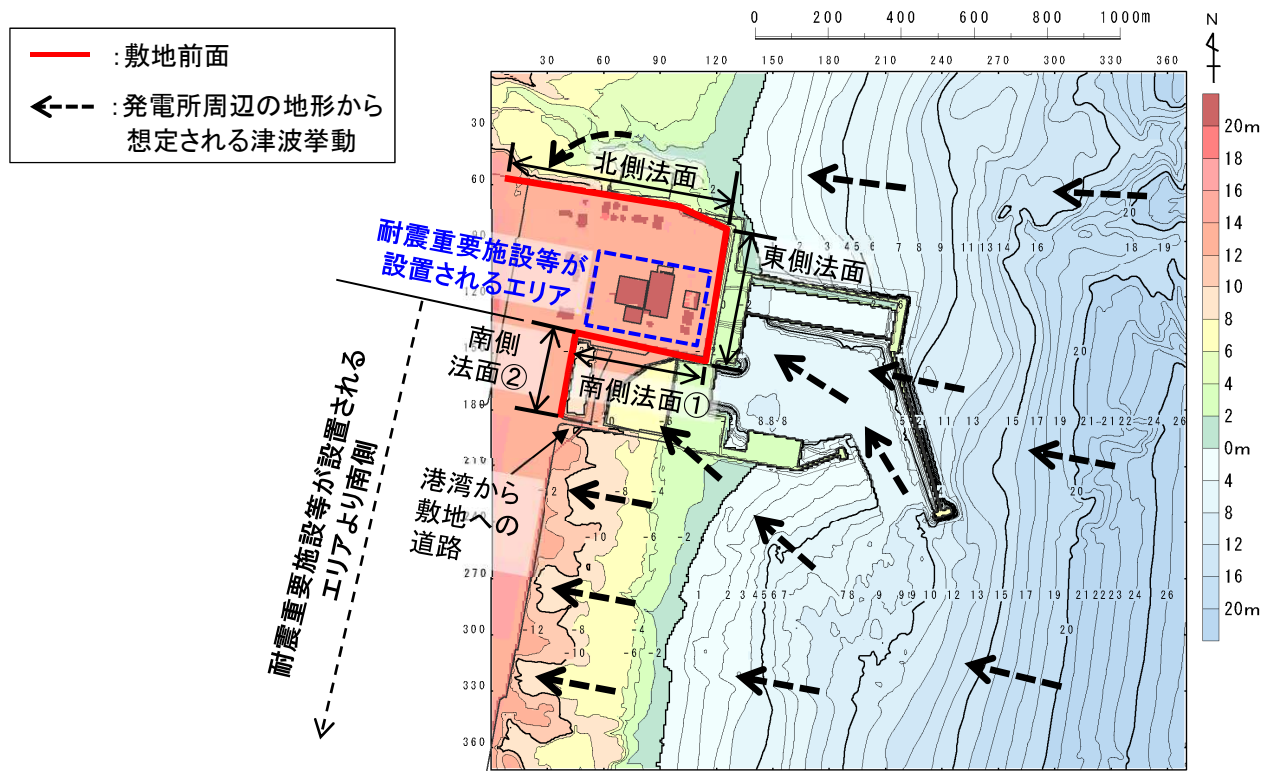
余白

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部までとした。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。



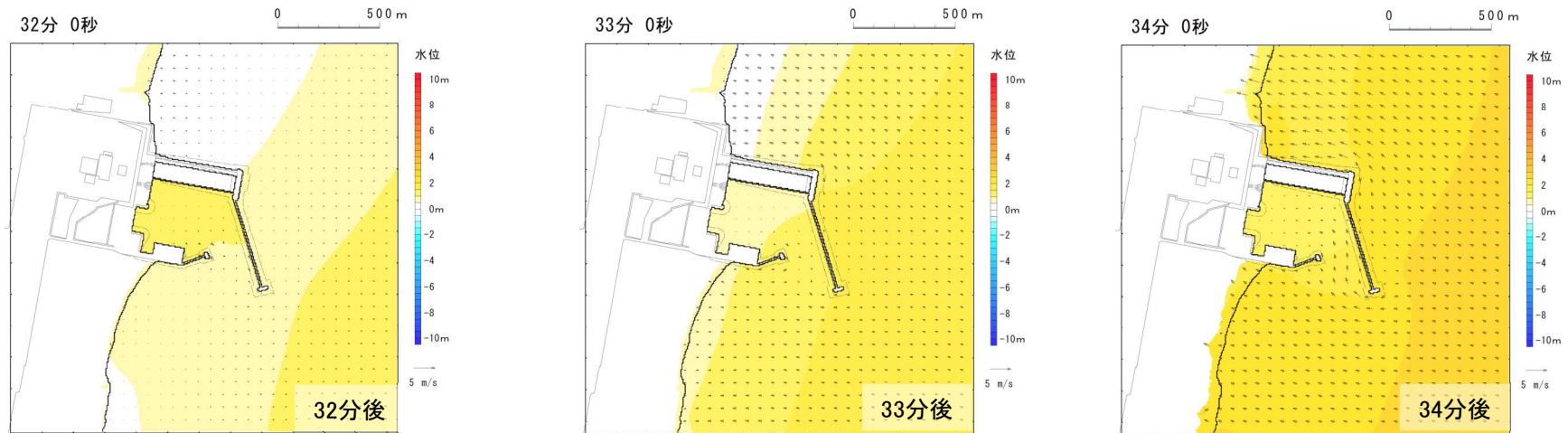
I. 津波水位の評価位置(コメントNo.S222)(コメント回答)

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。

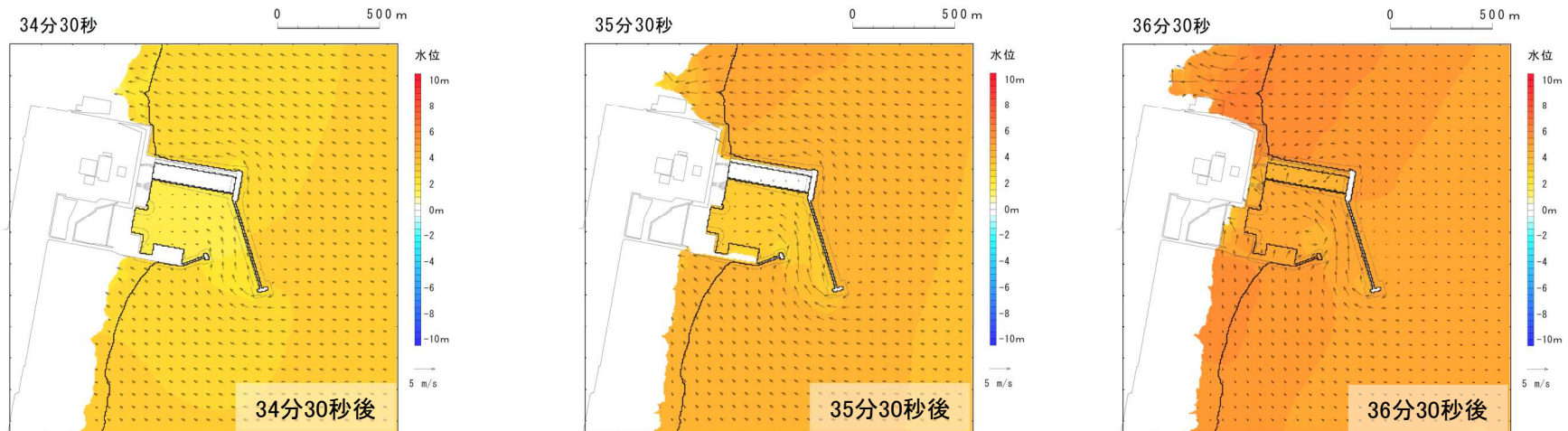
■ 第1波の来襲状況

- 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。

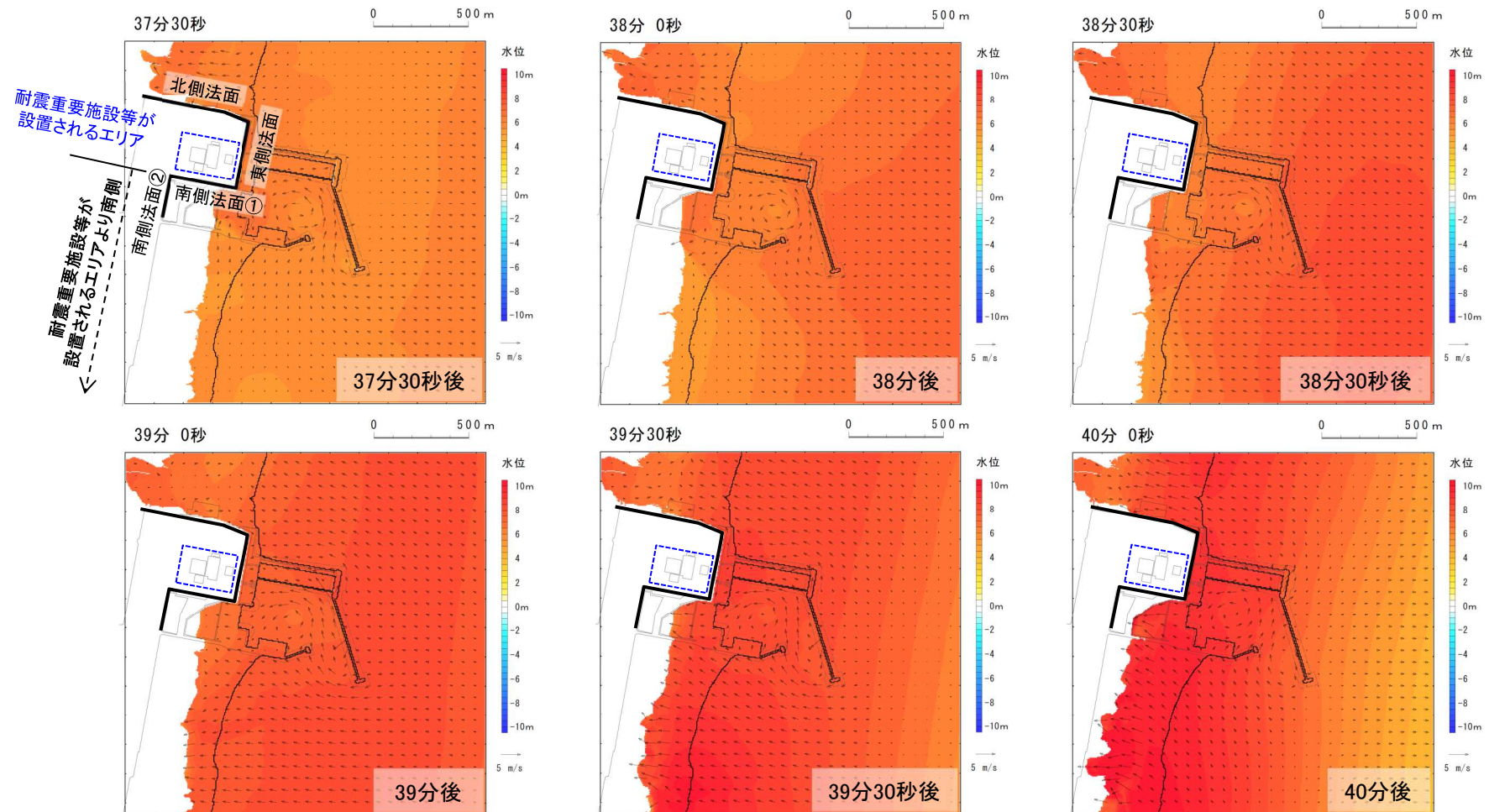


3. 敷地前面

■ 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。

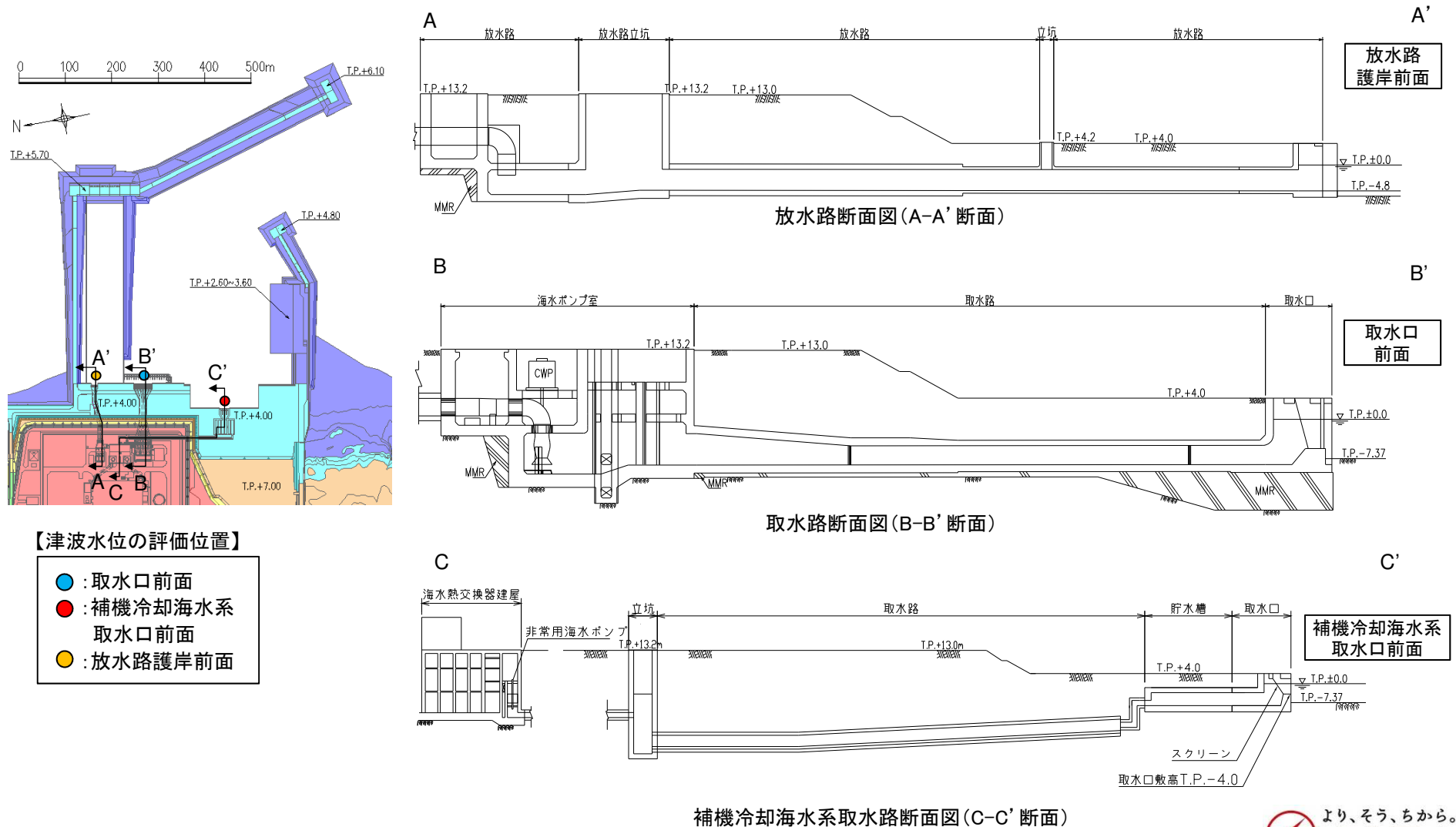
- 北側法面: 谷状地形に沿って遡上した津波が、エリアに回り込むように遡上する(地震発生38分30秒~40分後)。
- 東側法面: 東から来襲した津波がエリアに直接来襲する(地震発生37分30秒~40分後)。
- 南側法面①: 東から来襲した津波が海底地形の影響により北西方向に回折し、エリアの南側に回り込むように遡上する(地震発生39分~40分後)。
- 南側法面②(エリアより南側): 東から来襲した津波が海底地形の影響によりそのまま西方向へ遡上し、エリアへの回り込みはない(地震発生39分~40分後)。



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)

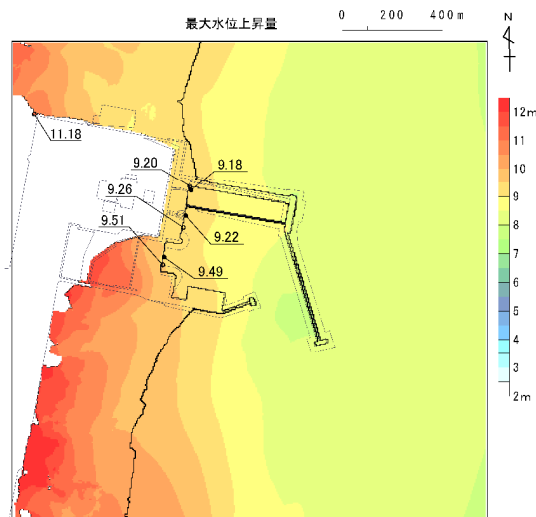
1.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

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。

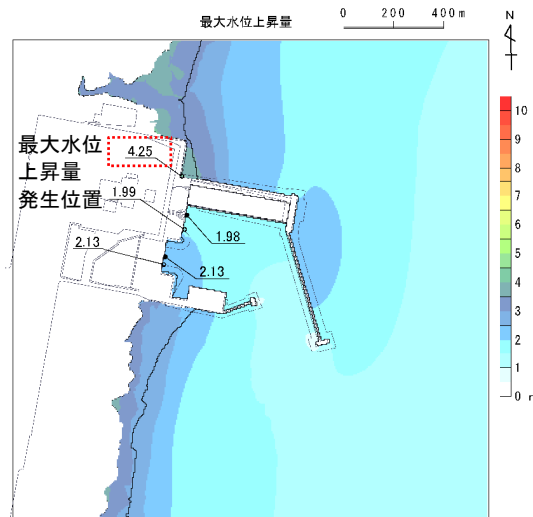
■第1068回審査会合での説明内容

【水位下降側の組合せ時間算定位置】

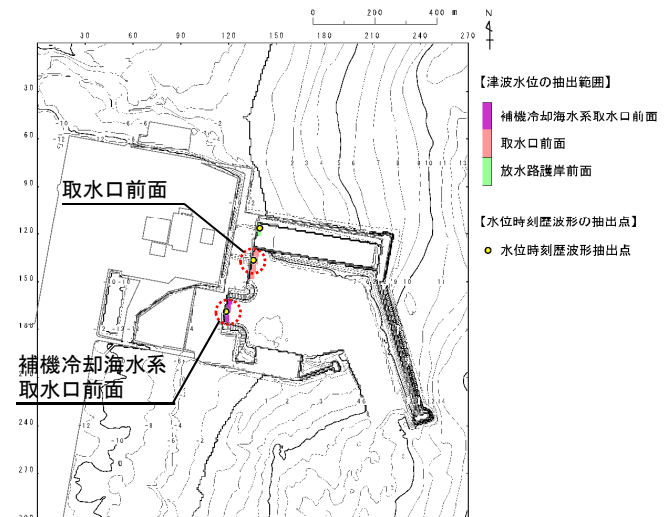
- 水位上昇側及び水位下降側の評価点である水位時刻歴波形の抽出位置のうち連動型地震及び日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波が到達する補機冷却海水系取水口前面、取水口前面位置を対象に組合せ時間を算定した。



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



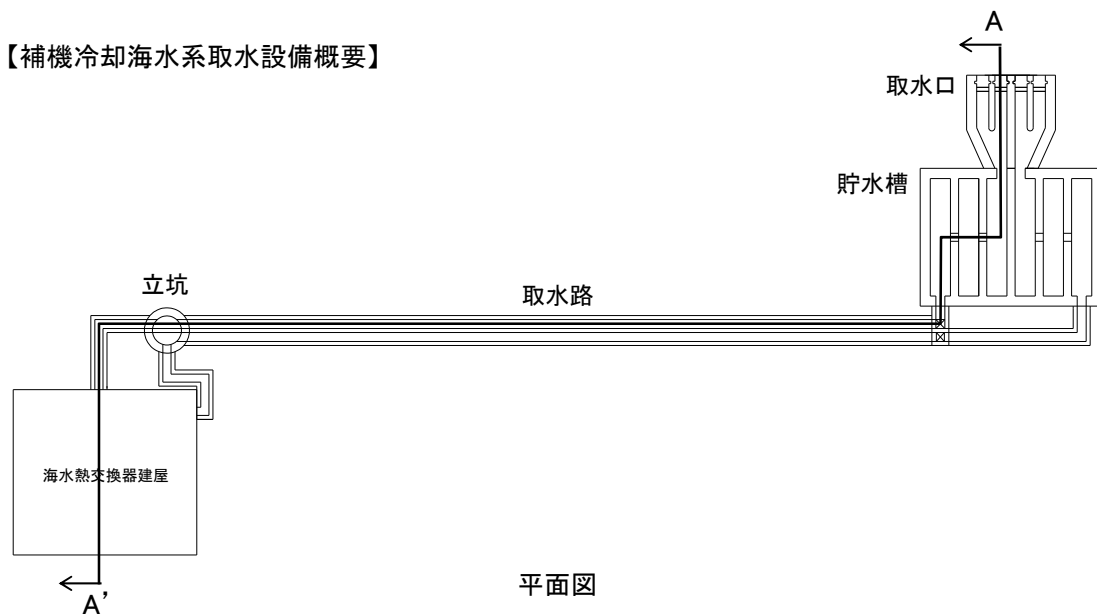
水位時刻歴波形の抽出位置

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

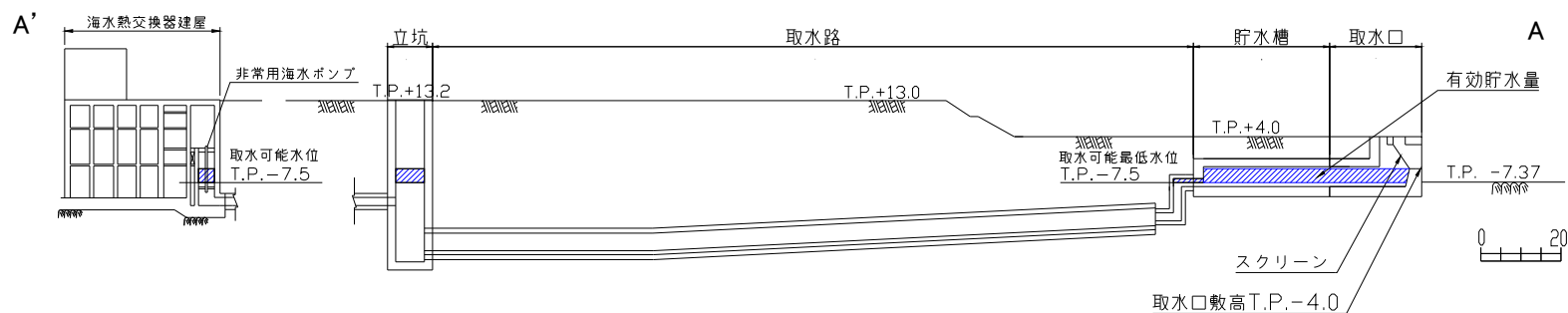
(B)非常用海水ポンプの運転可能継続時間:約35(分)

(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)

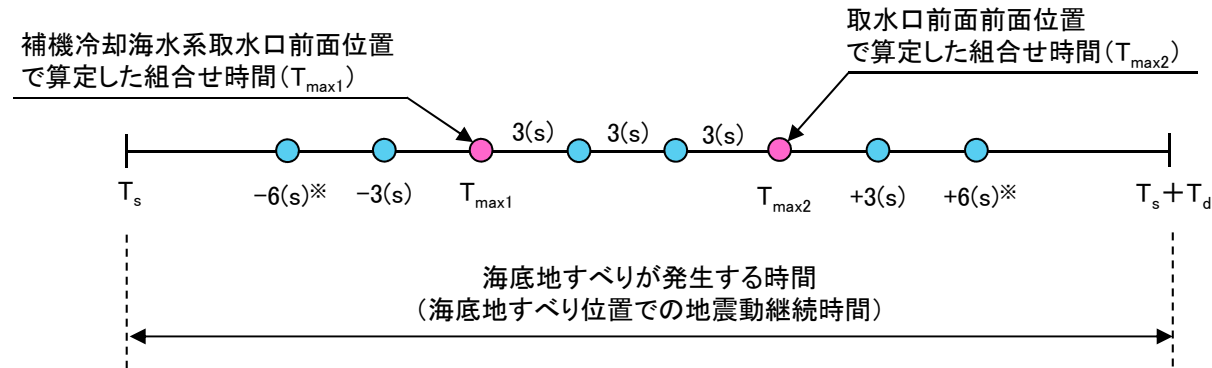
断面図(A-A'断面)

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)

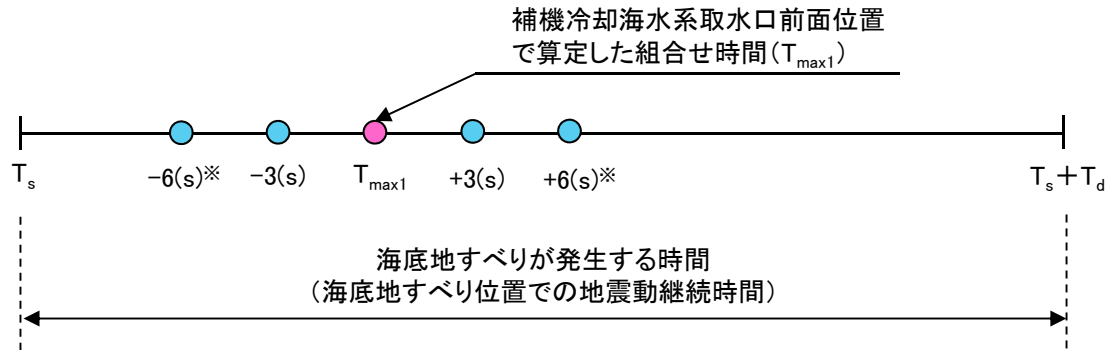
1.2 評価方針

- 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。
- 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前面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

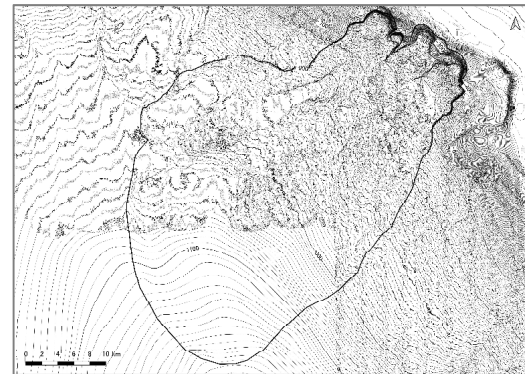
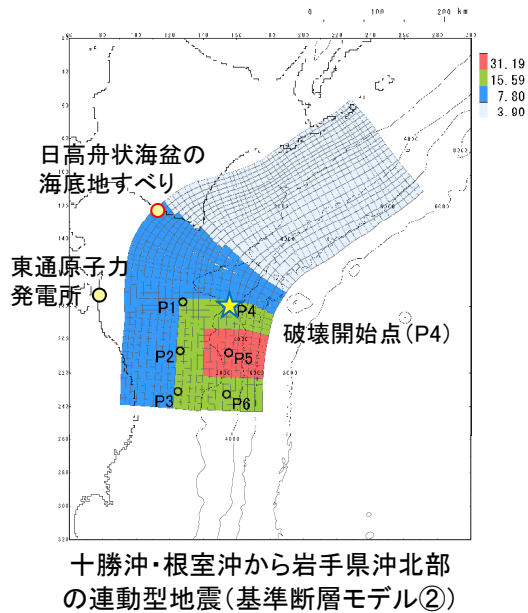
■連動型地震(基準断層モデル②)と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の組合せ

- 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。

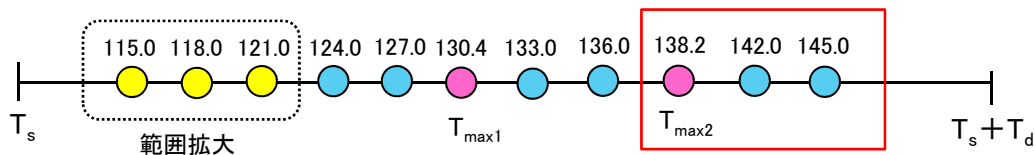
□ : 組合せ時間算定位置として設定しない

	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



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	-5.113	4.4	範囲拡大
118.0	-5.114	4.4	範囲拡大
121.0	-5.12 (-5.115)	4.4	範囲拡大
124.0	-5.111	4.4	
127.0	-5.109	4.4	
130.4	-5.110	4.4	T_{max1}
133.0	-5.109	4.4	
136.0	-5.107	4.4	
138.2	-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

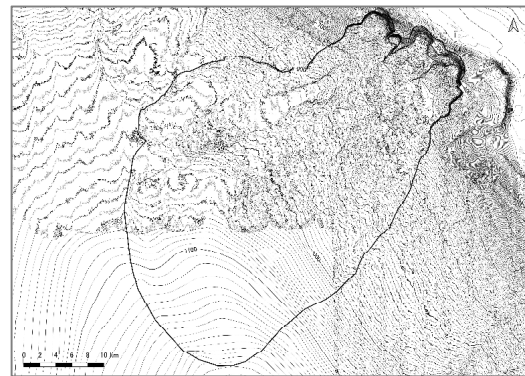
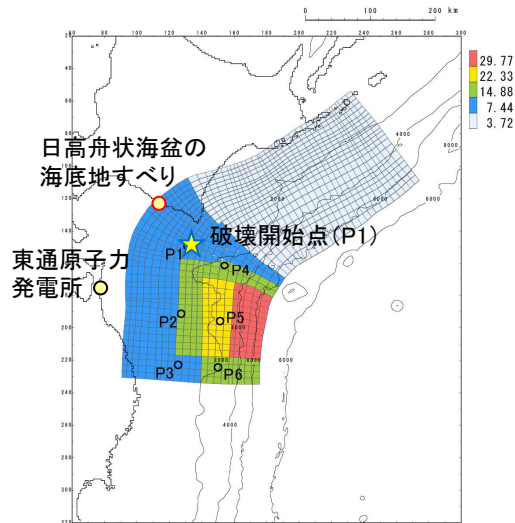
■連動型地震(基準断層モデル③)と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の組合せ

- 補機冷却海水系取水口前面の組合せ時間($T_{max1}=187.9s$)と、取水口前面の組合せ時間($T_{max2}=187.9s$)は同一であることから、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)

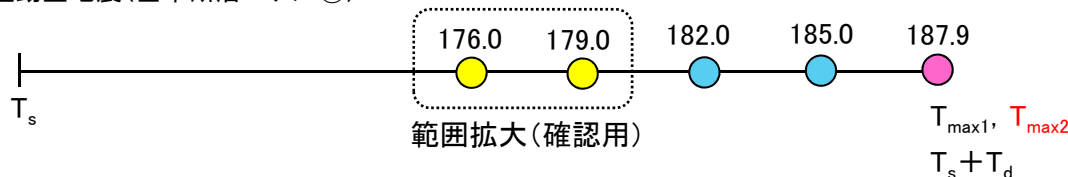
□ : 決定ケース



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	-5.286	4.4	
185.0	-5.288	4.5	
187.9	-5.29 (-5.290)	4.5	T_{max1} T_{max2}

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
- 2. 2 評価方針
- 2. 3 評価対象とする津波の選定(変更)
- 2. 4 海底地すべりの発生時間範囲
- 2. 5 組合せ時間算定位置
- 2. 6 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
- 2. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

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)

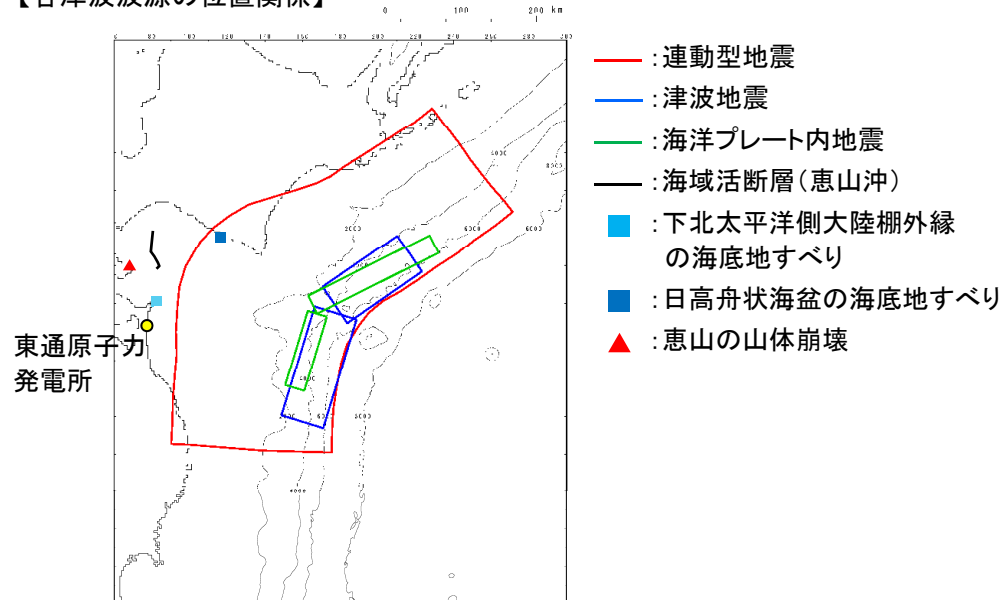
2.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

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。

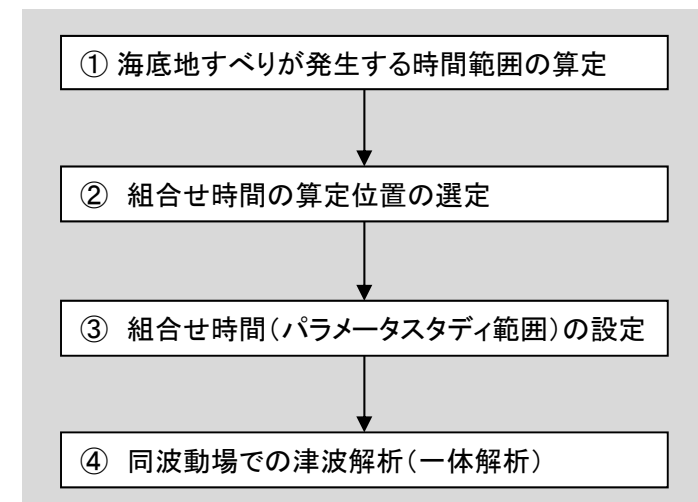
■第1068回審査会合での説明内容：評価対象とする津波の選定及び組合せ評価方法

- 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と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(遼上域)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)

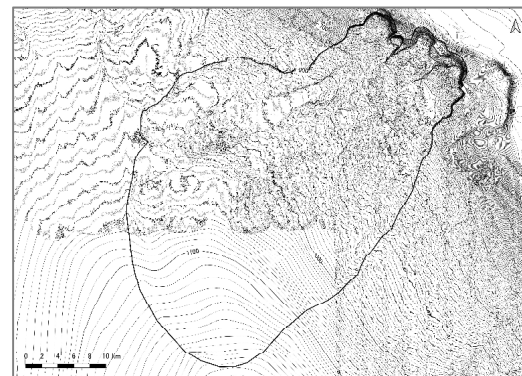
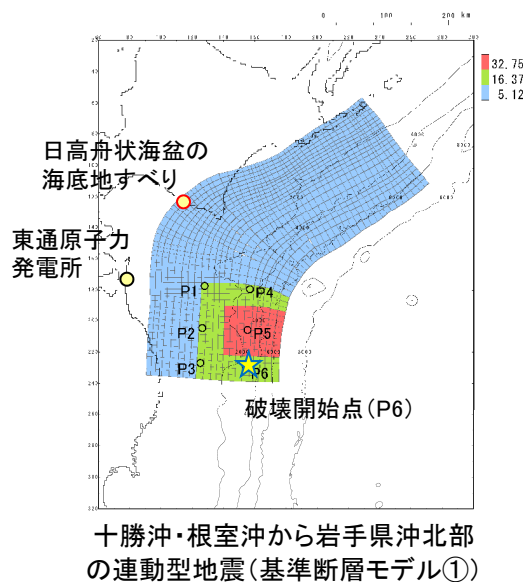
2.1 第1068回審査会合での説明内容とコメント内容の関係

■第1068回審査会合での説明内容：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。

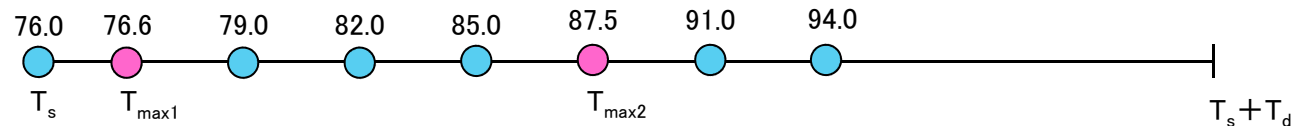
【線形足し合わせによる組合せ時間(T_{max})の算定結果】

	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)



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

- ・ 組合せ評価方法及び組合せ評価結果の妥当性を確認する。
- ・ 上記検討の結果、評価対象とする海底地すべりの選定にあたっては、津波高さの影響だけではなく、発電所との位置関係(津波到達時間)及び海底地すべりの津波特性(周期や波長等)を考慮することが必要と判断されることから、下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり※1を連動型地震に起因する津波との組合せ対象として追加する(評価方針を変更する)。
- ・ なお、下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価結果については、今後の審査会で説明する。
 ※1: 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり評価の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり評価(第1068回審査会合(抜粋))」に記載。

■第1068回審査会合での説明内容

【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

【評価フロー】

- ①海底地すべりの発生時間範囲の算定
- ②組合せ時間の算定位置の選定
- ③組合せ時間(パラメータスタディ範囲)の設定
- ④同波動場での津波解析(一体解析)

【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)

■コメントを踏まえた検討内容

【評価方法の妥当性】

(詳細はp36~43に記載)

次の知見から、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

- 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事例

(詳細はp44~48に記載)

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

【評価結果の妥当性】

(詳細はp50~57に記載)

次の観点から、下回る要因を分析

- 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

【評価対象とする海底地すべりの追加】

(詳細はp59~60に記載)

評価対象とする海底地すべりの選定に関して得られた知見

- 津波高さの影響だけではなく、発電所との位置関係(津波の到達時間)及び海底地すべりの津波特性を考慮することが必要

(詳細はp59, p61~66に記載)

地震以外に起因する津波

- 日高舟状海盆の海底地すべり
- 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり<追加>※2

※2: SLS-2(単独), SLS-1+SLS-2(同時活動)を考慮。

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)

2.2 評価方針

赤線: 前回審査会合からの変更箇所

- 十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震との組合せ評価を実施する海底地すべりを以下に示す。

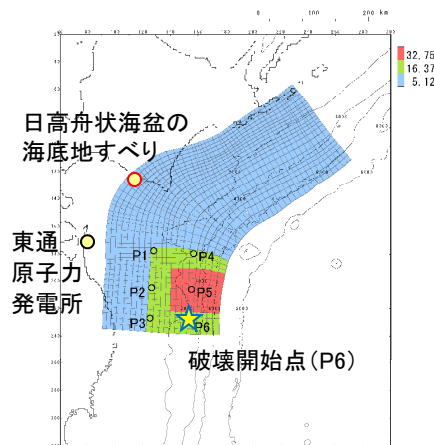
■第1068回審査会合での組合せ評価

◆地震に起因する津波

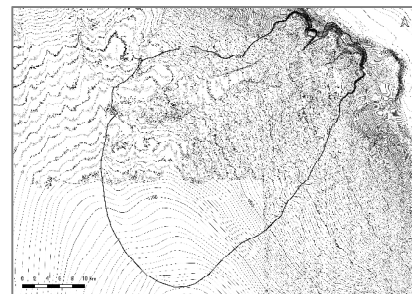
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震

◆地震以外に起因する津波

日高舟状海盆の海底地すべり



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)

■コメントを踏まえた組合せ評価(変更)

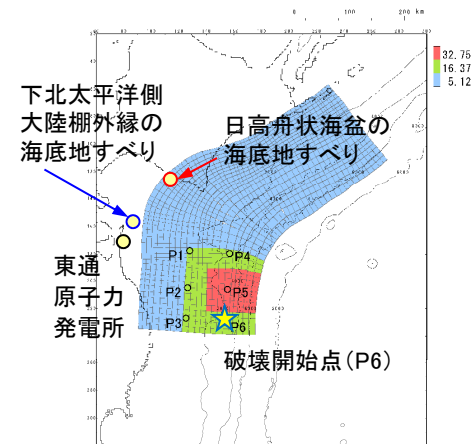
◆地震に起因する津波

十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震

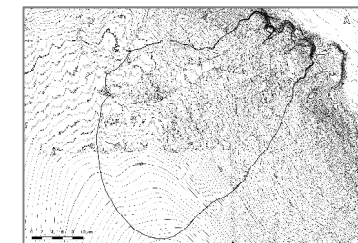
◆地震以外に起因する津波

日高舟状海盆の海底地すべり

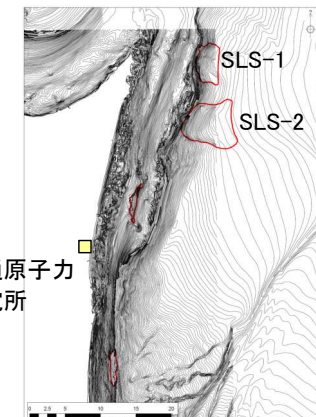
下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり
(SLS-2(単独), SLS-1とSLS-2の同時活動(SLS-1+SLS-2))



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



東通原子力発電所

下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり

2.3 評価対象とする津波の選定(変更)

赤字: 前回審査会合からの変更箇所

第1068回審査会合(R4.9.2)
資料1-1 p441 修正

■基本方針

- 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, 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を評価する。

■評価対象とする津波の選定

【地震に起因する津波】

- 想定波源域, 地震規模が大きく, 発電所に与える影響が最も大きい「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」を評価対象とする。

【地震以外に起因する津波】

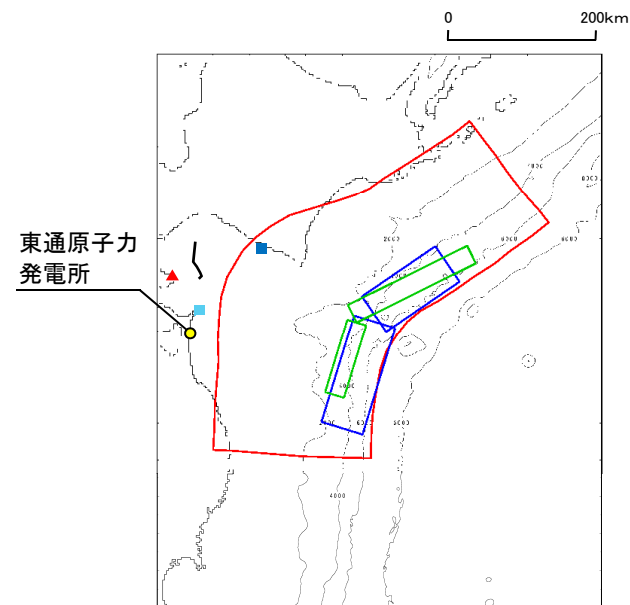
- 「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」の活動により地すべりが励起される可能性を考慮し, 発電所に与える影響が最も大きい「日高舟状海盆の海底地すべり(浦河沖の海底地すべり)」を評価対象とする。なお, 地震に起因する津波との組合せ評価の結果, 地震に起因する津波単独の評価結果を下回る場合には, その要因を分析し, 「下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり」との組合せの要否を検討する。
- 「ハワイ付近の海底地すべり」, 「恵山の山体崩壊」については, 「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」の活動との関連性は無いと考えられることから, 評価対象外とする。
- 「日本海溝付近における海山の海底地すべり」のほか, 短周期の波を発生させる要因の1つとして考えられる未知なる分岐断層(=「その他の地震」)や海底地すべり等が存在する可能性については, 「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」のうち特性化モデル④で考慮していることから, 本検討の対象外とする。

<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 <右図中: 赤線>
- 津波地震 <右図中: 青線>
- 海洋プレート内地震(正断層型の地震) <右図中: 緑線>
- 海域の活断層による地殻内地震(恵山沖断層) <右図中: 黒線>

<地震以外に起因する津波>

- 陸上の地すべり及び斜面崩壊
- 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり <右図中: 水色四角>
- 日高舟状海盆の海底地すべり(浦河沖の海底地すべり) <右図中: 紺色四角>
- 日本海溝付近における海山の海底地すべり
- ハワイ付近の海底地すべり
- 恵山の山体崩壊 <右図中: 赤三角>



各津波波源の位置関係

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 海底地すべりの発生時間範囲

2.4.1 検討方針

2.4.2 海底地すべりの発生メカニズム

2.4.3 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

2.4.4 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. 4 海底地すべりの発生時間範囲

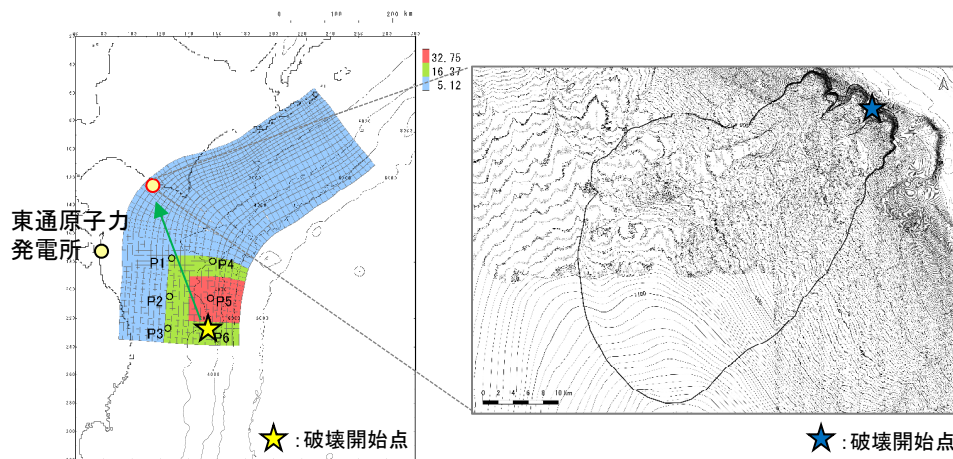
2. 4. 1 検討方針

- 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。

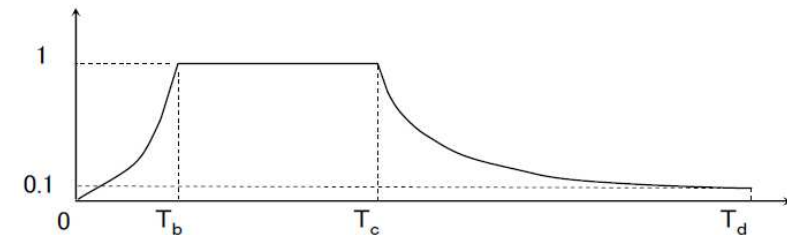


十勝沖・根室沖から岩手県沖北部
の連動型地震
水位上昇量決定ケース
(破壊開始点:P6)

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。



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

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

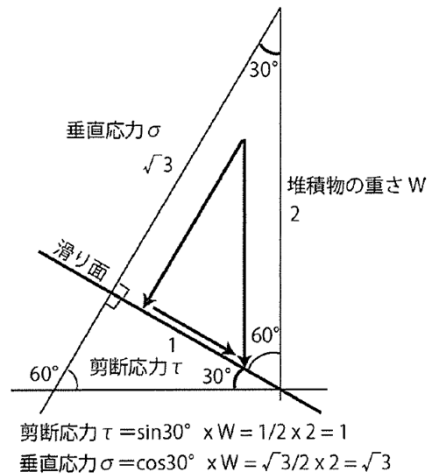
$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6} \quad (\text{減衰部の継続時間})$$

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. 4 海底地すべりの発生時間範囲

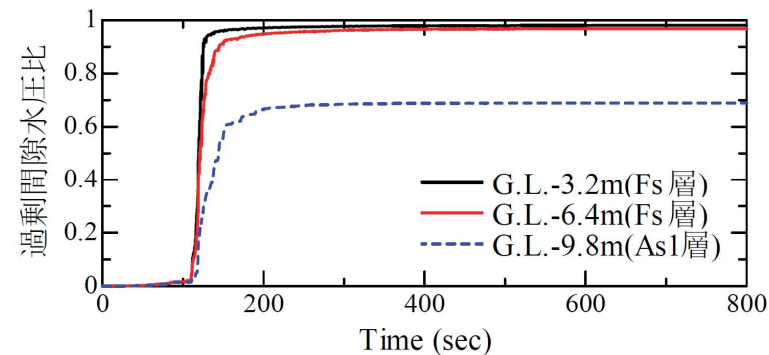
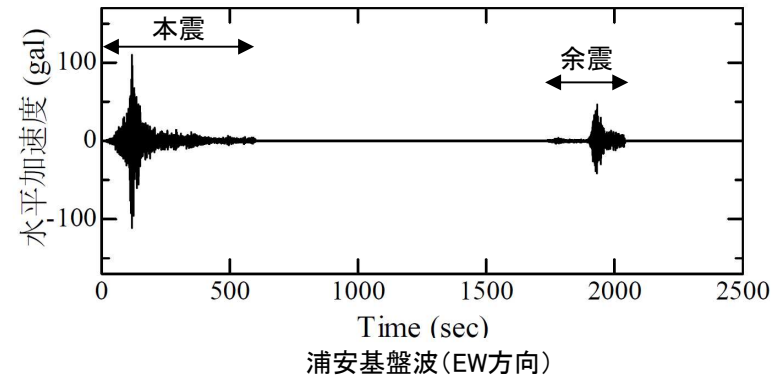
2. 4. 2 海底地すべりの発生メカニズム

- 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 (上載圧 W - 間隙水圧) + 粘着力
 せん断応力 = $\sin \theta \times$ 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)

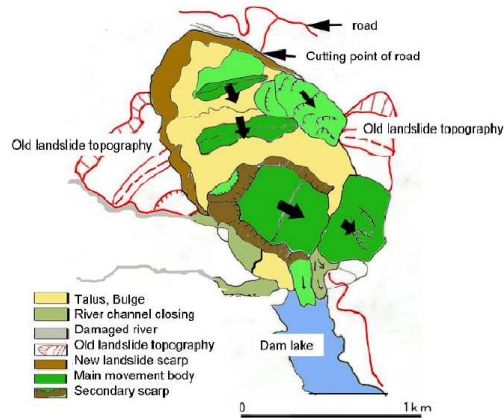
2011年東北地方太平洋沖地震における浦安市の地震応答解析結果
(上田ほか(2014)に一部加筆)

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. 4 海底地すべりの発生時間範囲

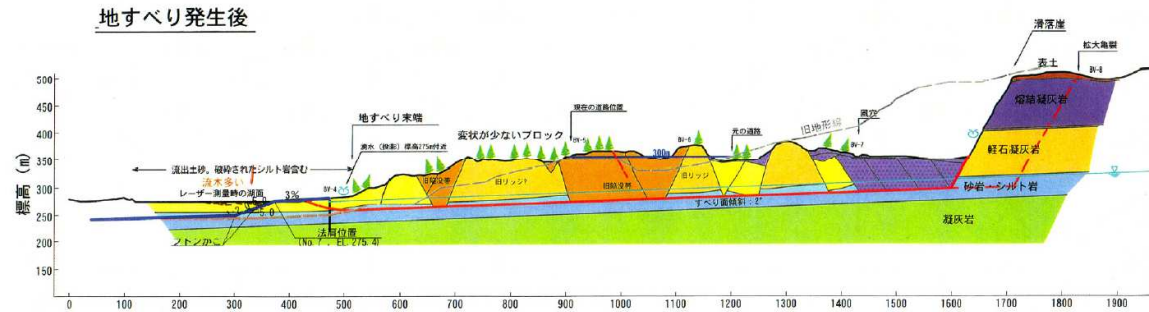
2. 4. 2 海底地すべりの発生メカニズム

- ・ 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

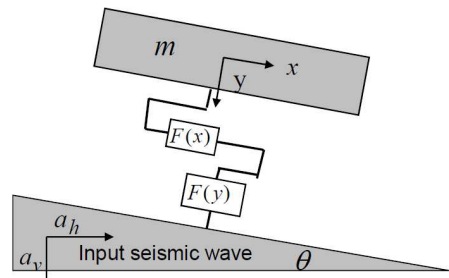


平面図

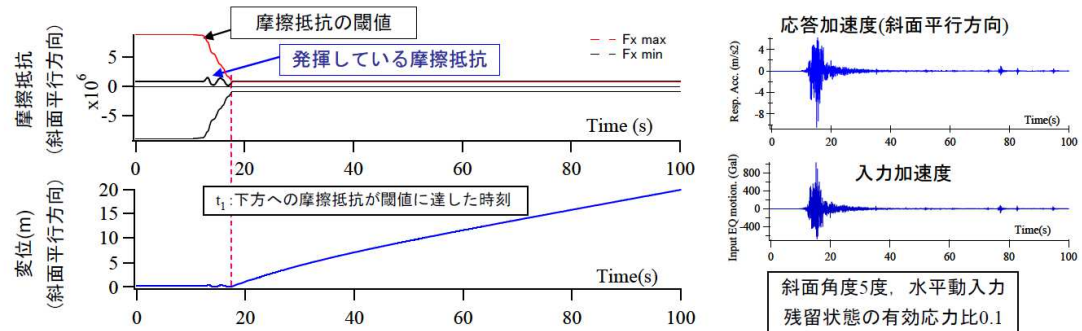


断面図

■ 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

斜面角度5度、水平動入力
残留状態の有効応力比0.1

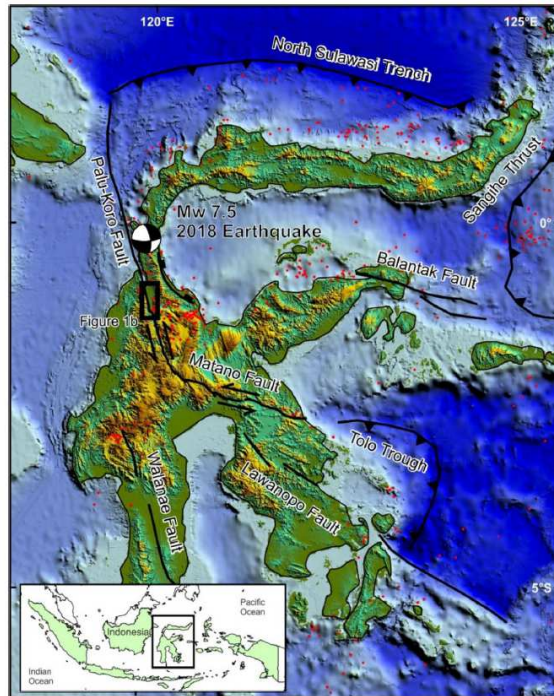
※: 主すべり土塊を角度θの基礎地盤に設置し、斜面直交方向・平行方向にばねとダッシュポットを連結。さらに、スライダを設置。

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. 4 海底地すべりの発生時間範囲

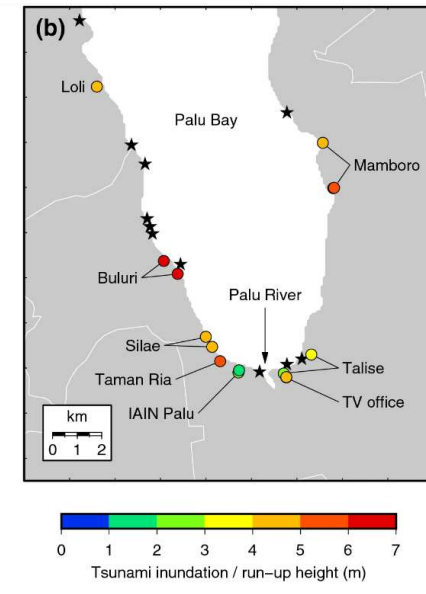
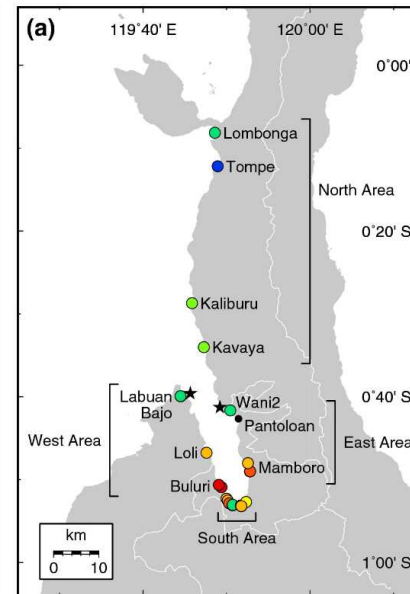
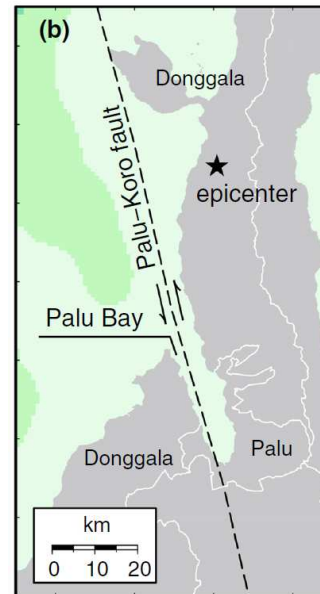
2. 4. 3 2018年インドネシア・スラウェシ島の地震と海底地すべりに伴う津波

■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))

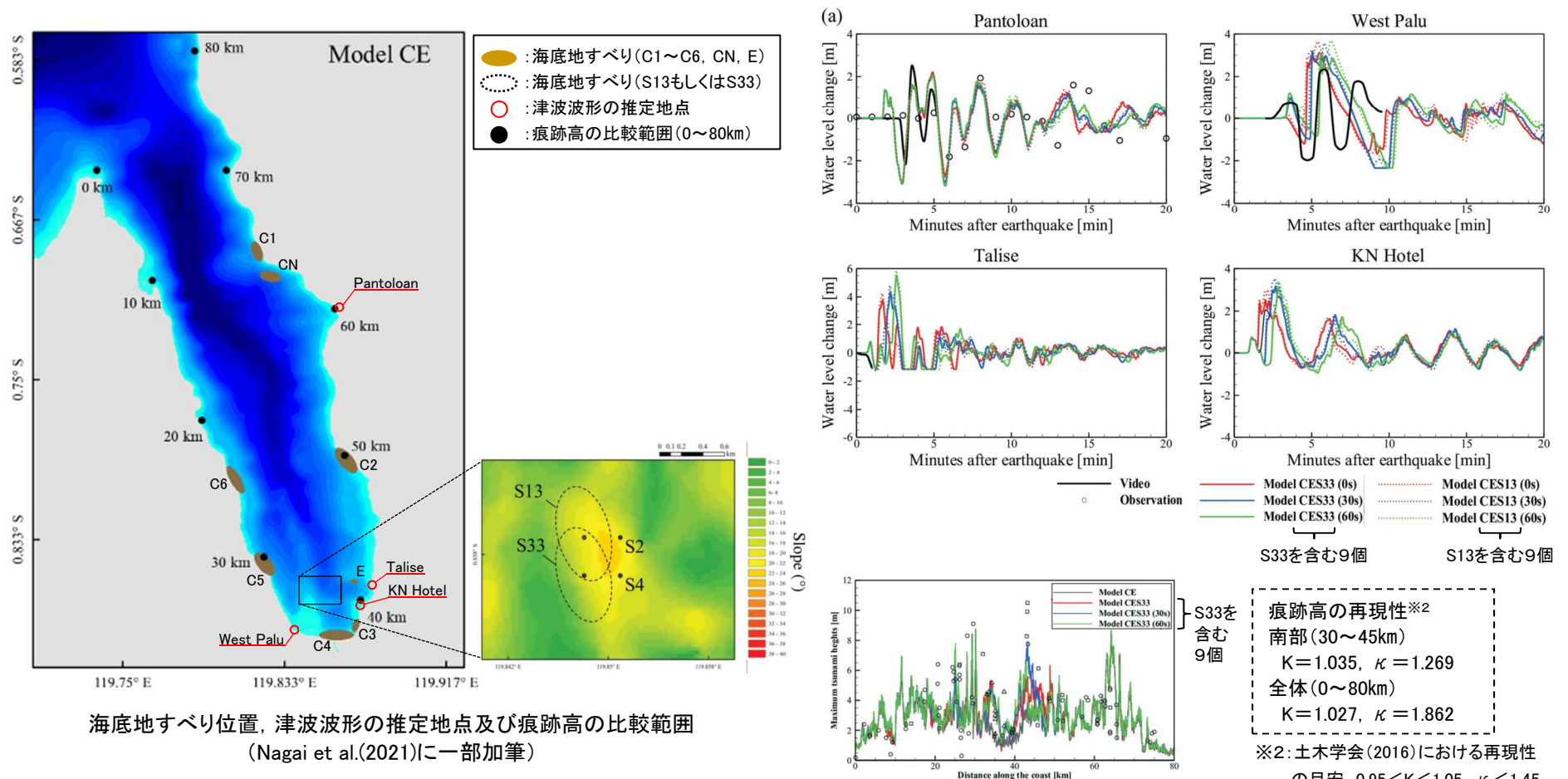
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223) (評価方針) 2. 4 海底地すべりの発生時間範囲

2. 4. 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)

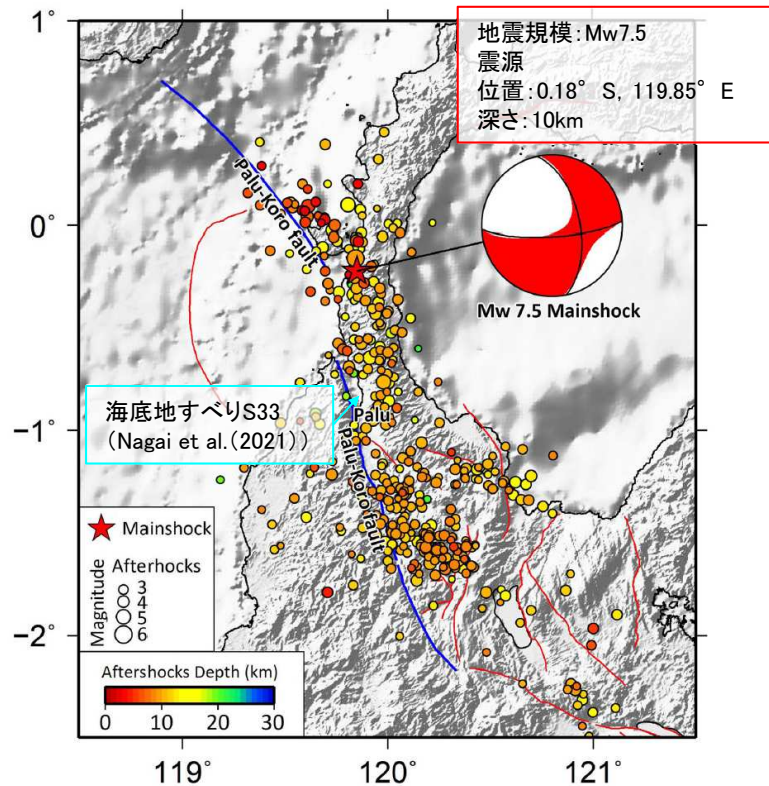
津波波形及び痕跡高の再現シミュレーション結果(Nagai et al.(2021))

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. 4 海底地すべりの発生時間範囲

2. 4. 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】

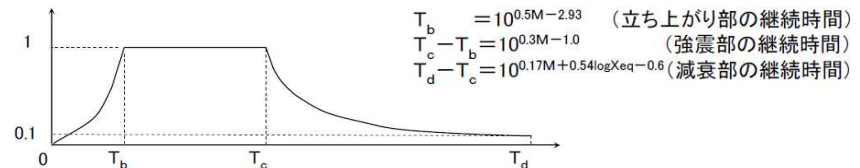
震源距離	S波速度	地震動到達時間(T_s)
76.1 (km)	3.4 (km/s)	22.4 (s)

【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

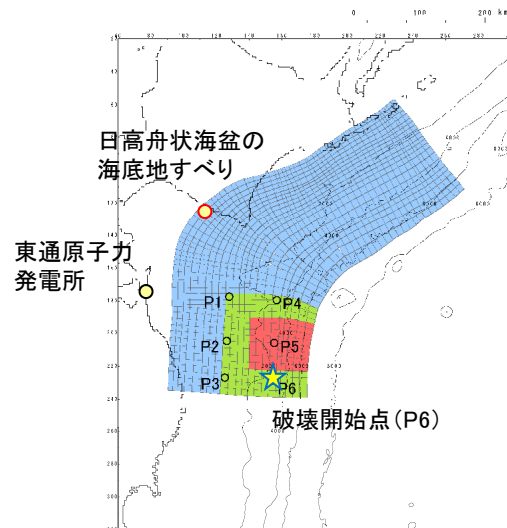
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 4 海底地すべりの発生時間範囲

2. 4. 4 まとめ

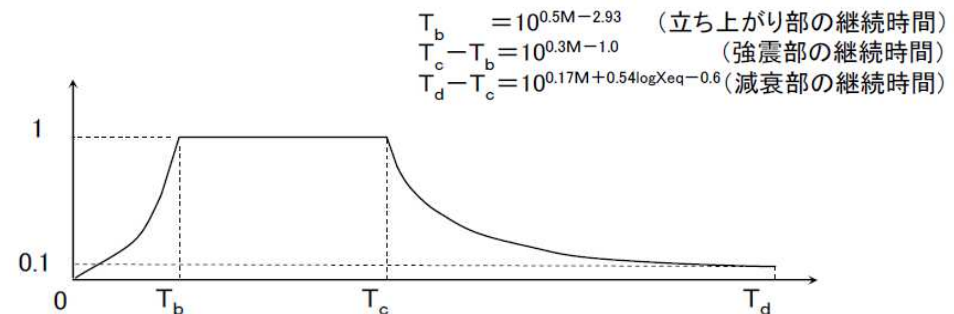
- 海底地すべりの発生メカニズムに関する知見及び2018年インドネシア・スラウェシ島の地震(Mw7.5)と海底地すべりに伴う津波の事例から、地震動継続時間の範囲で海底地すべりの発生を想定することは合理的であることを確認した。
- 組合せ評価で考慮する連動型地震の地震規模はMw9.0であり、その地震動継続時間は約4分と長いことも踏まえると、地震動継続時間に海底地すべりの発生を想定することは妥当と考えられる。

■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)

2.5 組合せ時間算定位置

2.5.1 検討方針

2.5.2 連動型地震の津波特性

2.5.3 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. 5 組合せ時間算定位置

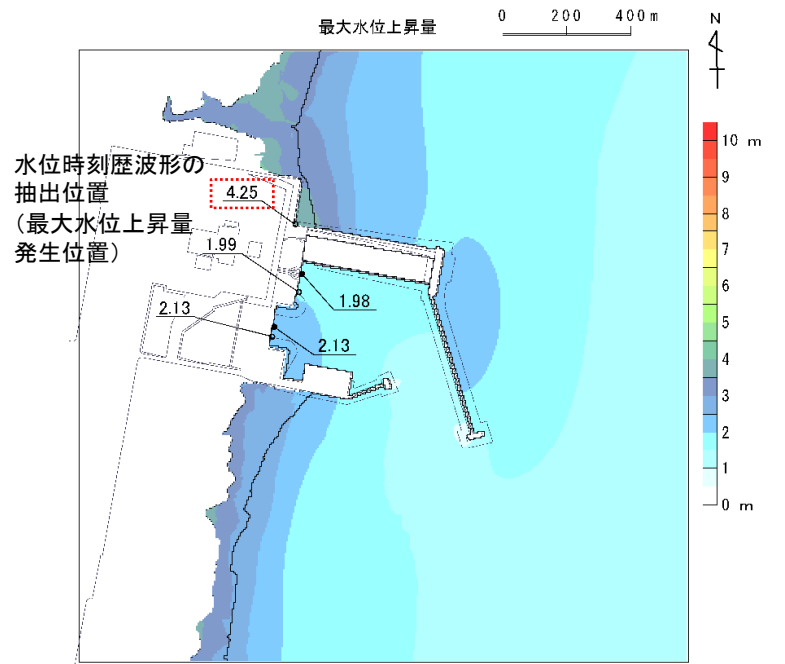
2. 5. 1 検討方針

- 津波水位評価位置※1のうち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算定の代表位置とす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。

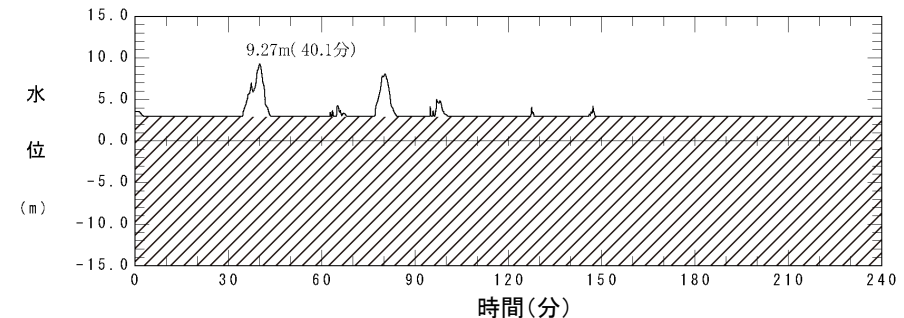
※1: 水位上昇側の津波水位評価位置: 敷地前面(遡上域), 補機冷却海水系取水口前面, 取水口前面及び放水路護岸前面

■組合せ時間算定位置の選定(概要)

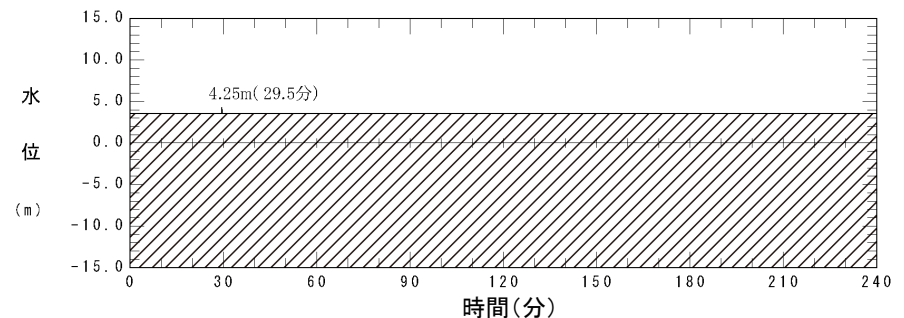
- 敷地前面(遡上域)の組合せ時間算定位置は、連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の最大水位上昇量分布の比較から、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の最大水位上昇量発生位置を代表地点に選定。
- 日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波は、連動型地震に伴う津波よりも早く敷地前面(遡上域)に到達するとともに、第1波のみしか陸域に遡上しないことから、海底地すべりが発生する時間範囲: 76.0s~339.9sでは、連動型地震に伴う津波の水位上昇に影響しないことを確認。
- 放水路護岸前面については、日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波の津波水位は、放水路導流堤(T.P.+3.1m)より小さ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



水位時刻歴波形の抽出位置
(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)



連動型地震に伴う津波(基準断層モデル①)※2



日高舟状海盆の海底地すべりに伴う津波※2

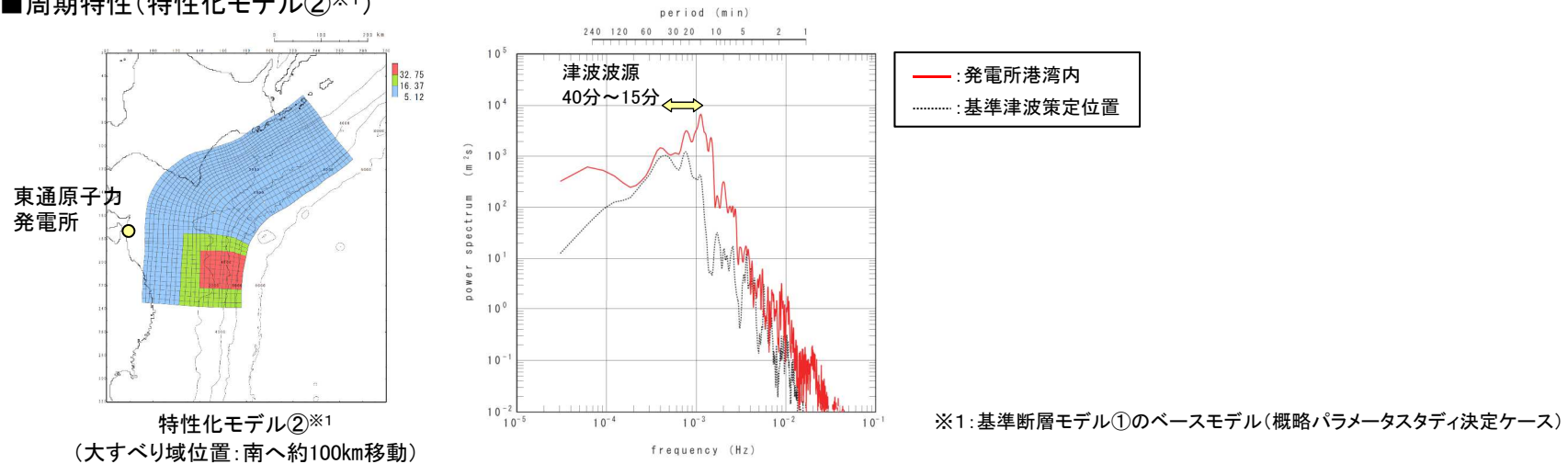
※2: 图中斜線部は水位抽出点の地盤の標高を示す

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 組合せ時間算定位置

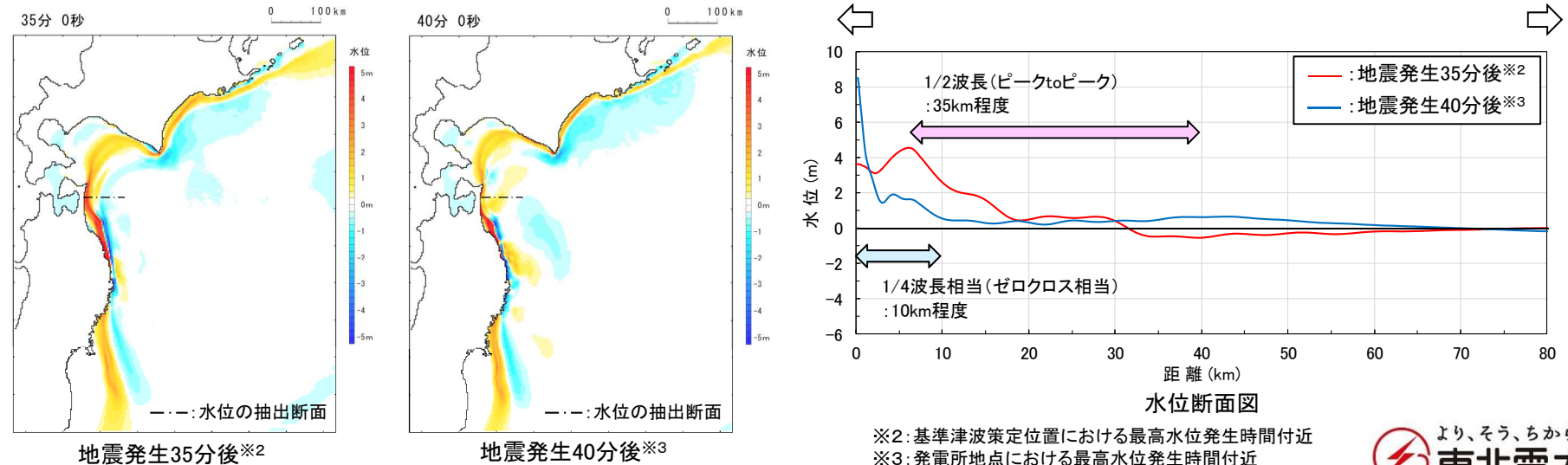
2. 5. 2 連動型地震の津波特性

- 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)



■波長(特性化モデル②)



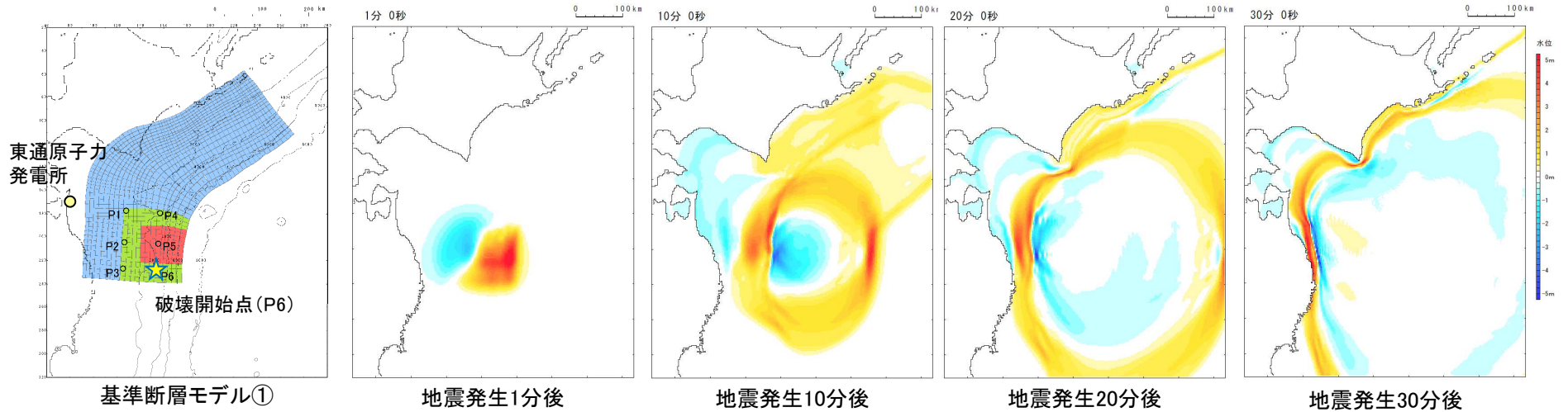
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 5 組合せ時間算定位置

2. 5. 2 連動型地震の津波特性

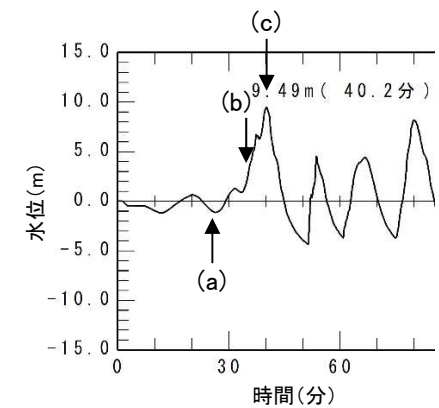
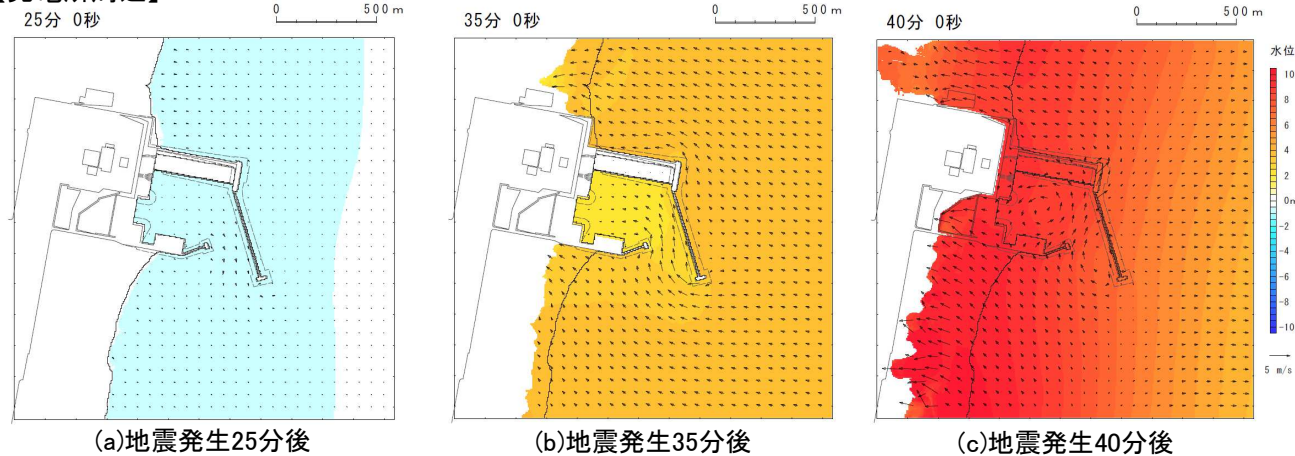
- 連動型地震の周期は15分～40分程度、波長は40km程度と長いことから、遡上域を含む発電所周辺には同じ高さの津波が同じタイミングで来襲する。

■津波伝播特性(基準断層モデル①)

【広域】



【発電所周辺】



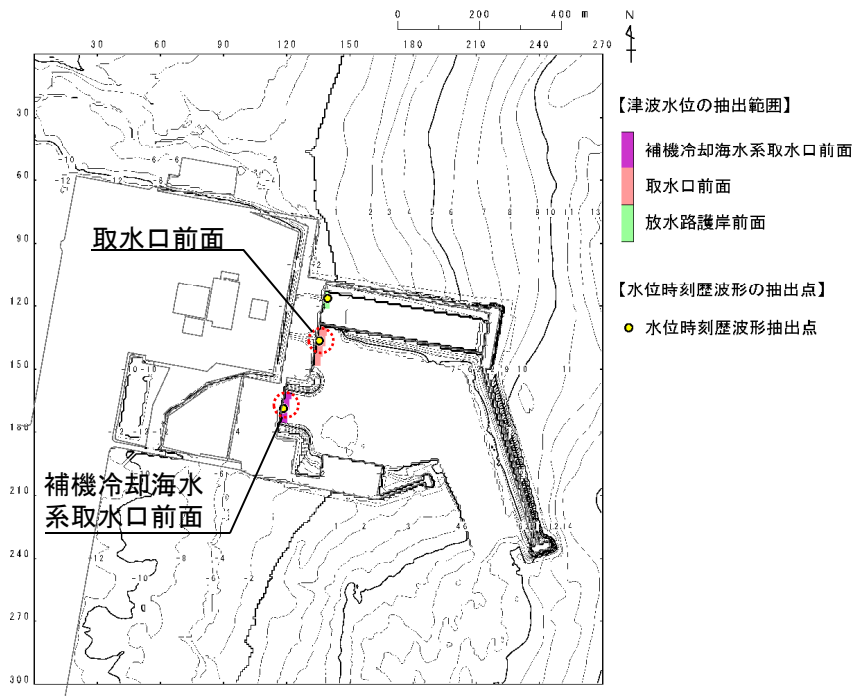
補機冷却海水系取水口前面水位時刻歴波形

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. 5 組合せ時間算定位置

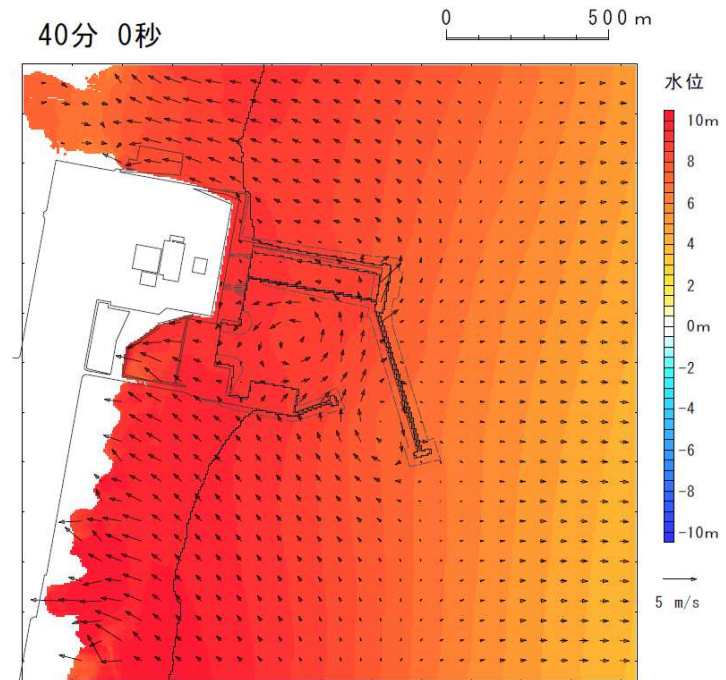
2. 5. 3 まとめ

- 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)

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 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

2. 6. 1 検討方針

2. 6. 2 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

2. 6. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

2. 6. 4 まとめ

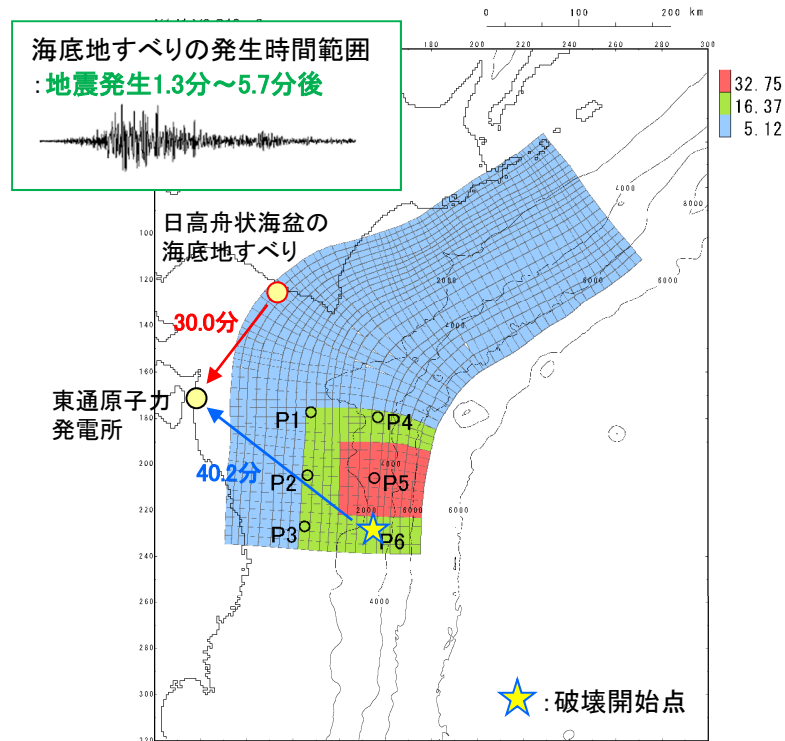
余白

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. 6 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

2. 6. 1 検討方針

- 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は、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から連動型地震の第1波と海底地すべりの第2波の重畳による評価となる。
- 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(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。

■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

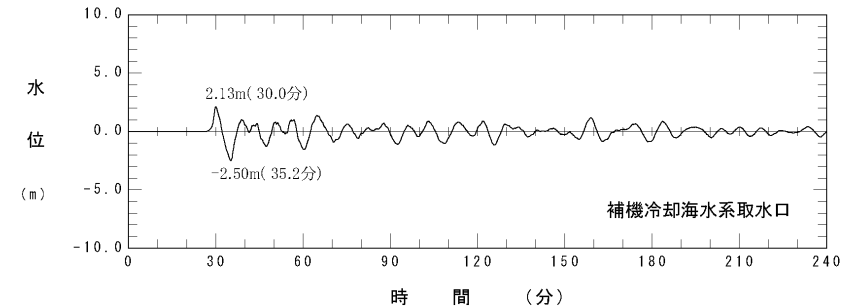
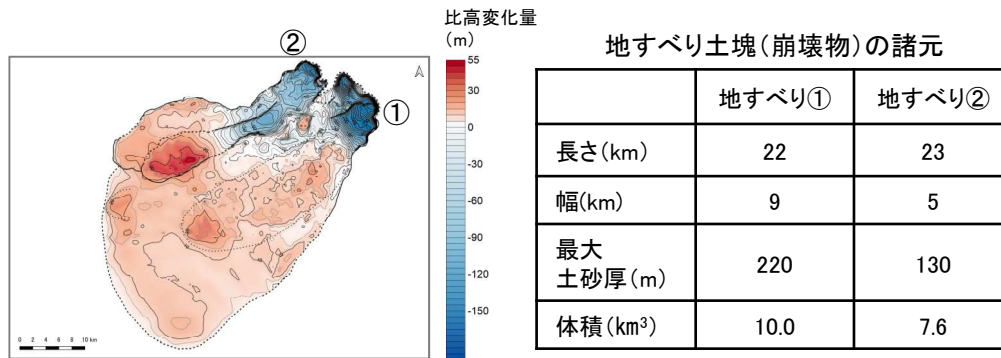
海底地すべりの発生時間範囲(発生遅れ): 地震発生1.3分～5.7分後

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. 6 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

2. 6. 2 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性

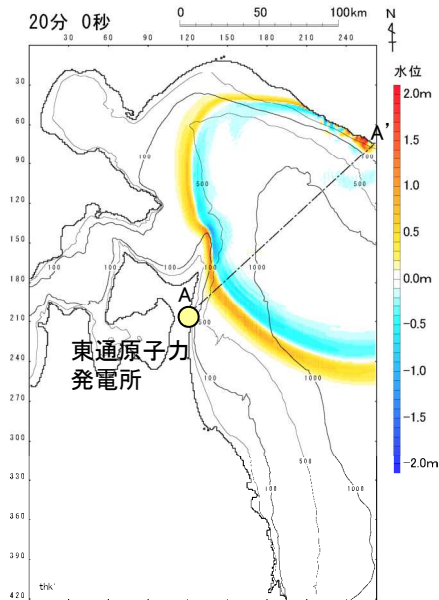
- 日高舟状海盆の海底地すべりは、地すべりの崩壊規模が大きいことに起因し、発電所位置における第1波の周期は約10分と長い。
- また、第1波の波長は30km程度と長いとともに、第1波以降の水位変動はほとんどないことが特徴である。

■海底地すべりの規模及び周期特性

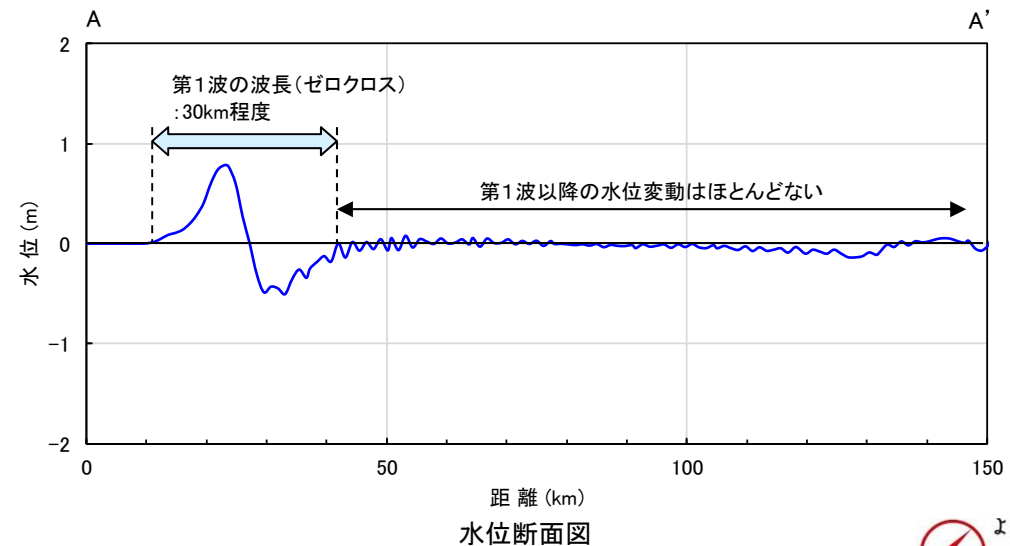


補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形

■波長



海底地すべり発生20分後

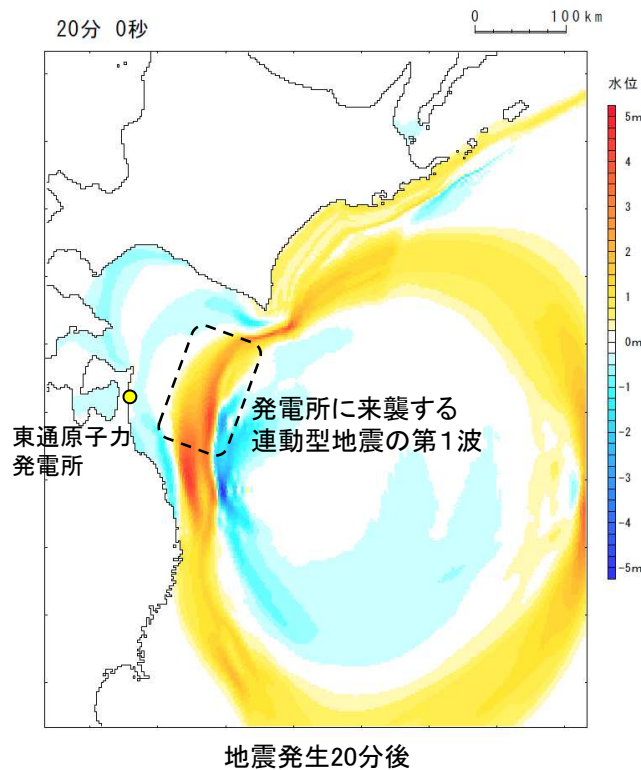


II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2.6 組合せ津波の水位が連動型地震(単独)津波の水位を下回る要因

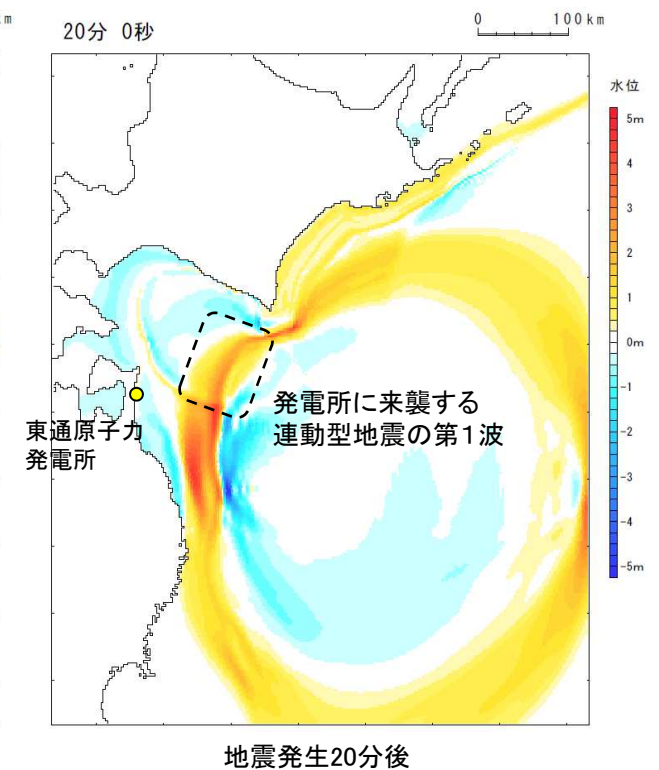
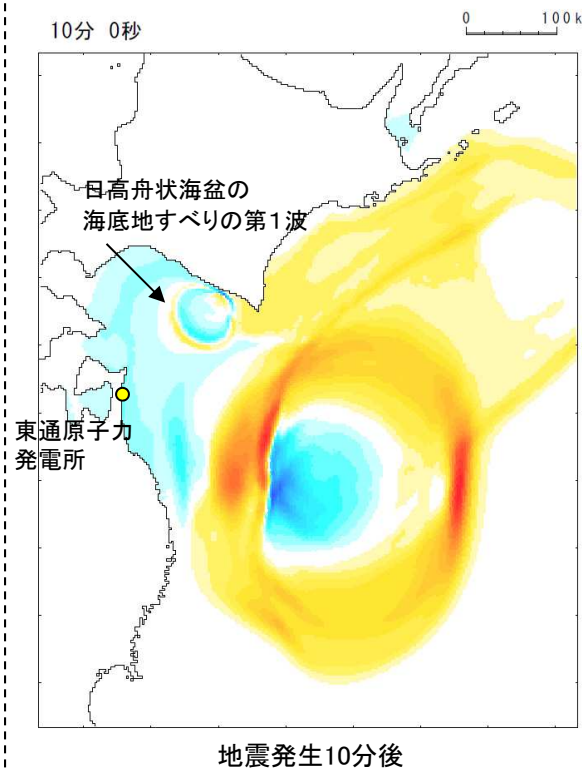
2.6.3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

- ・ 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。
- ・ 組合せ津波が地震単独津波の水位を下回る要因は, 周期(約10分), 波長(30km程度)が長い海底地すべりの第1波(押し波)が沖合を通過し, 初期水面(T.P.±0.0m)から水面が低下したところに, 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



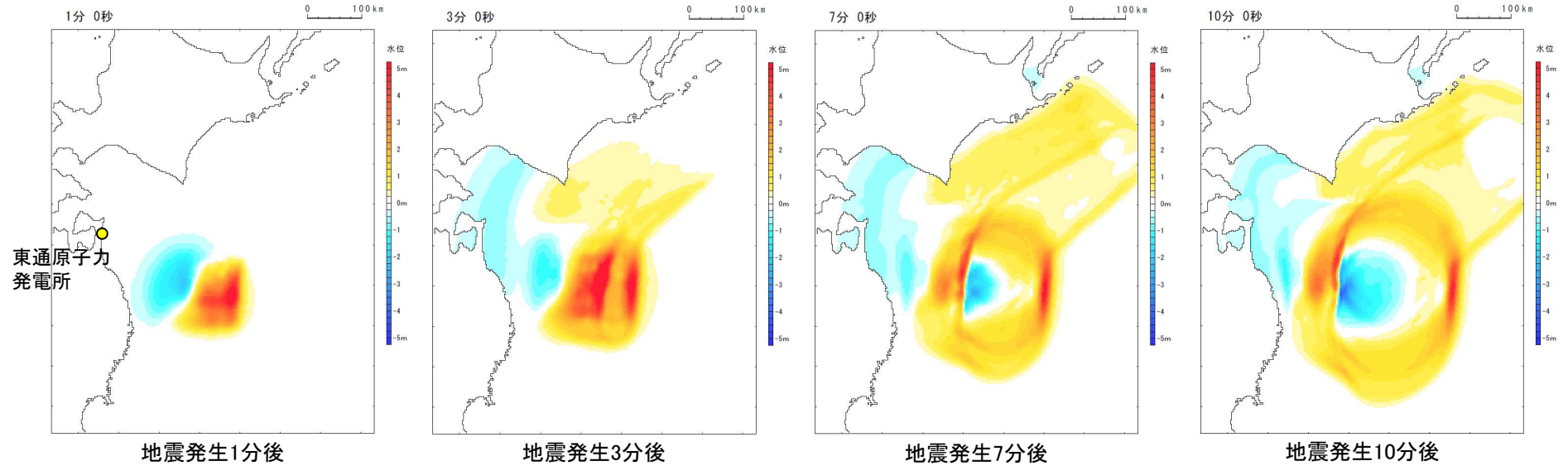
■連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ (水位上昇側決定ケース, 組合せ時間:地震発生1.5分後(87.5秒後))



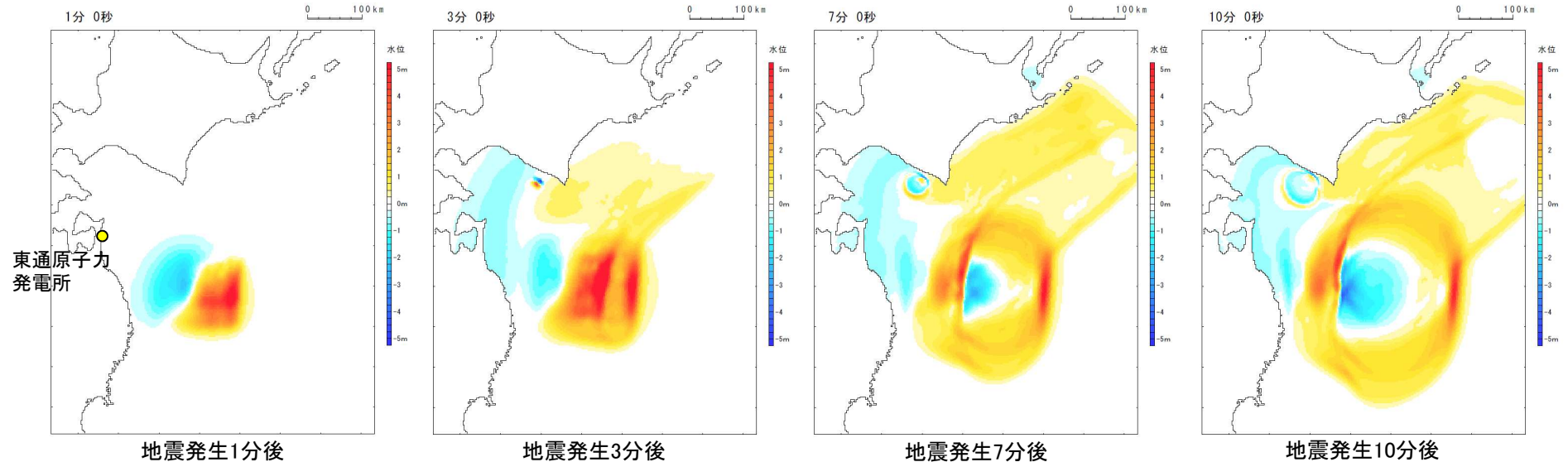
2. 6. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

■津波伝播特性(スナップショット)(1/2)

【連動型地震】



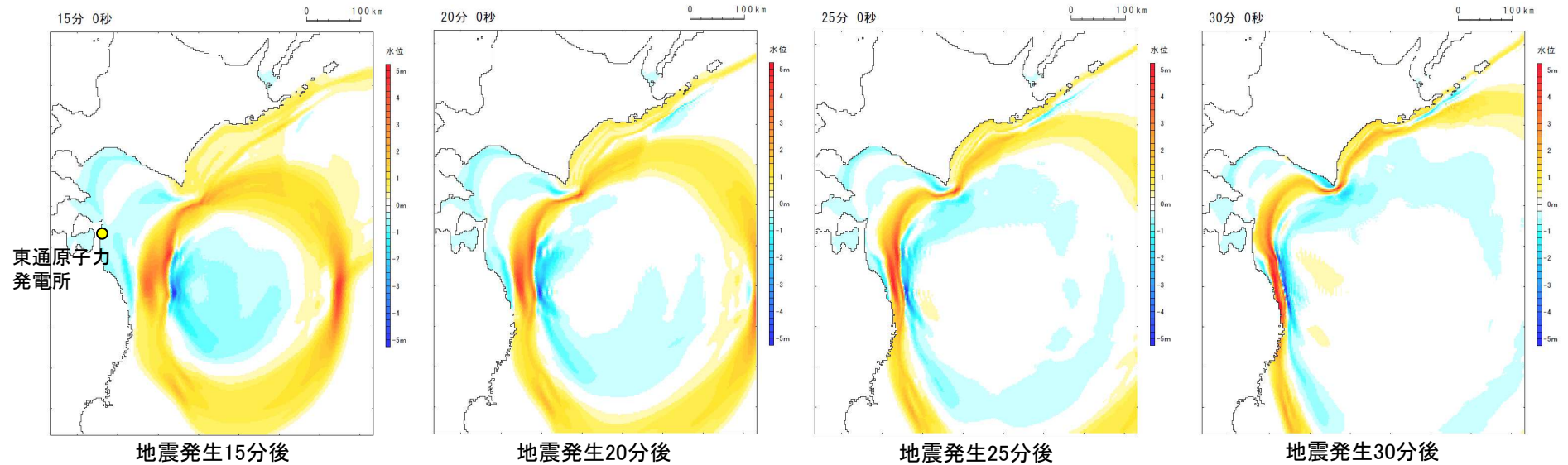
【連動型地震と日高舟状海盆の海底地すべりの組合せ(水位上昇側決定ケース, 組合せ時間:地震発生1.5分後(87.5秒後))】



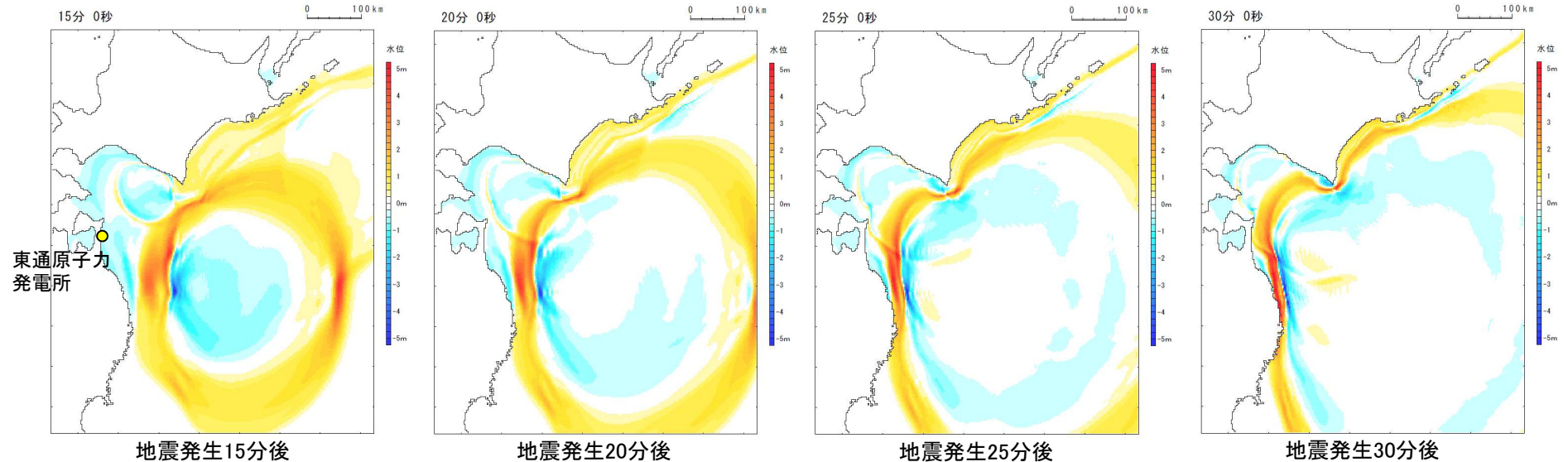
2. 6. 3 連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較

■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1.5分後(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. 6 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

2. 6. 4 まとめ

- ・ 日高舟状海盆の海底地すべりの津波特性(周期, 波長)及び連動型地震と組合せ津波の津波伝播特性の比較から, 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を分析した。
- ・ 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は, 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から連動型地震の第1波と海底地すべりの第2波の重畳による評価となる。
- ・ 組合せ津波の水位が地震単独津波の水位を下回る要因は, 周期・波長が長い日高舟状海盆の海底地すべりの第1波の押し波が沖合を通過し, 初期 水面(T.P.±0.0m)から水面が低下したところに, 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。
- ・ 以上の知見から, 連動型地震と組合せる海底地すべりの選定にあたっては, 発電所の津波高さに与える影響の観点だけではなく, 発電所との位置関係及び海底地すべりの津波特性を考慮する必要があることを確認した。

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. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2. 7. 1 評価方針

2. 7. 2 検討概要

2. 7. 3 津波海底地すべり前の地形(復元地形)の作成

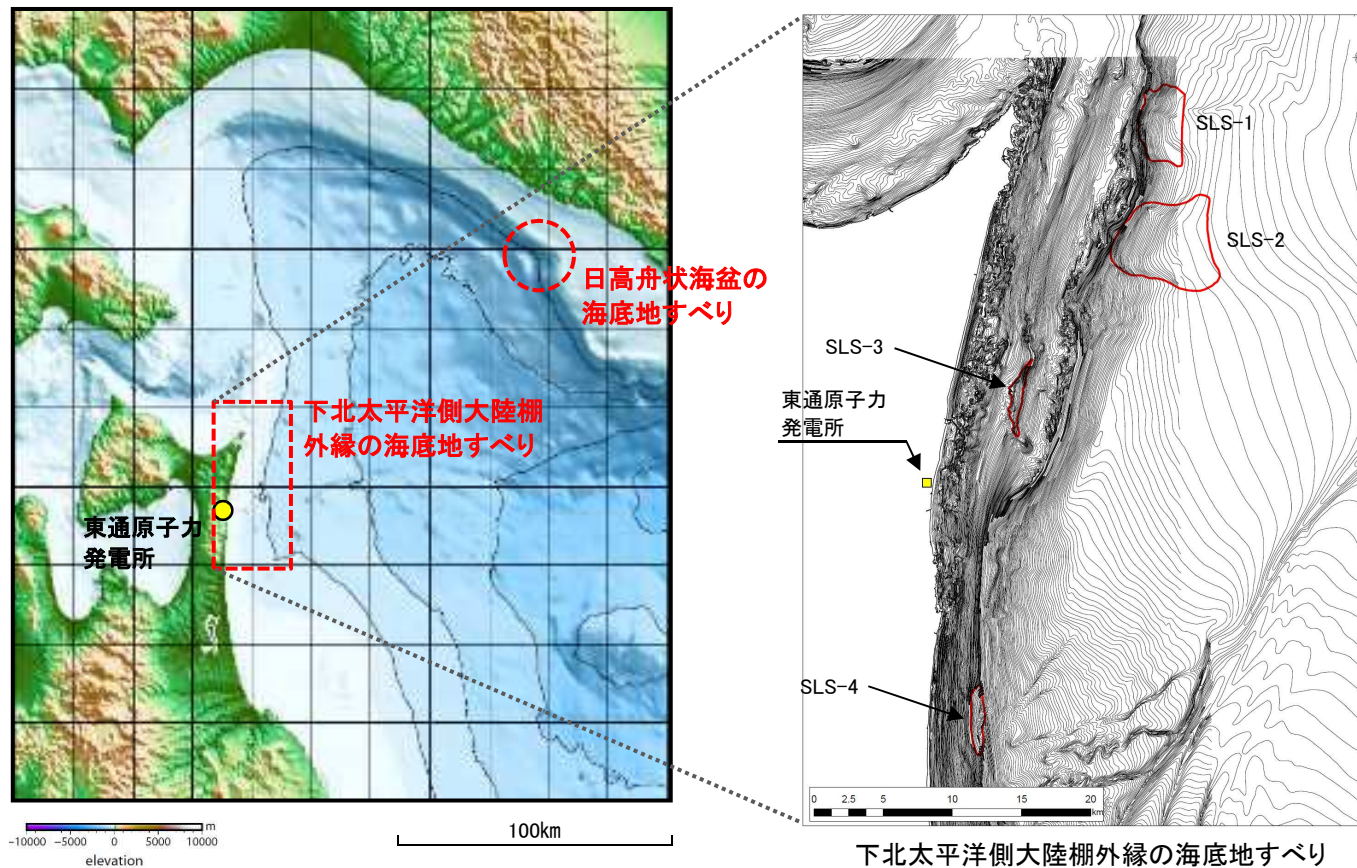
2. 7. 4 津波解析(Kinematic landslideモデル)に用いるパラメータ設定

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. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2. 7. 1 評価方針

■評価方針

- 日高舟状海盆の海底地すべりと連動型地震の組合せ津波が地震単独の水位よりも低下する要因は、発電所との位置関係から、周期・波長が長い日高舟状海盆の海底地すべりの第1波が沖合を通過し、初期水面(T.P.±0.0m)から水面が低下したところに、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。
- 以上から、連動型地震と組合せる海底地すべりの選定にあたっては、発電所の津波高さに与える影響の観点だけではなく、発電所との位置関係及び海底地すべりの津波特性を考慮する必要がある。
- 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりは、日高舟状海盆の海底地すべりと比較して発電所に近いため、第1波の最高水位到達時間は約10分と早く、その後、周期の短い津波が繰り返し来襲する特性を有するため(詳細は次頁に記載)、連動型地震の最高水位(第1波)と重なり、地震単独の水位よりも高くなる可能性があることを踏まえ、組合せ評価対象として追加する。



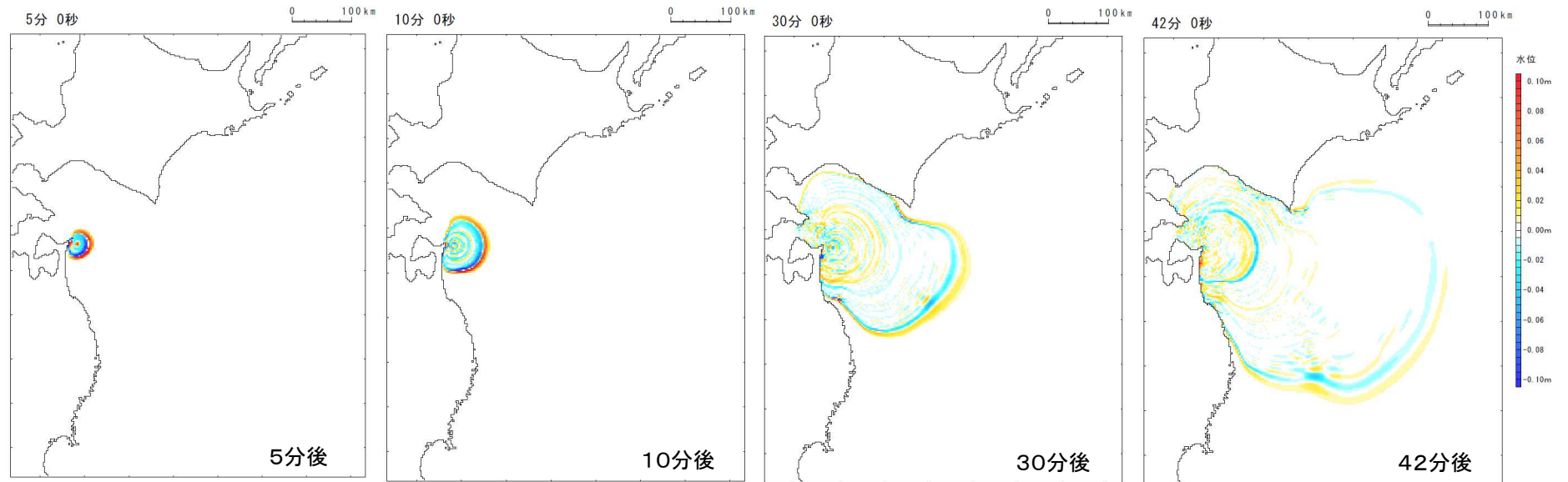
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2. 7. 1 評価方針

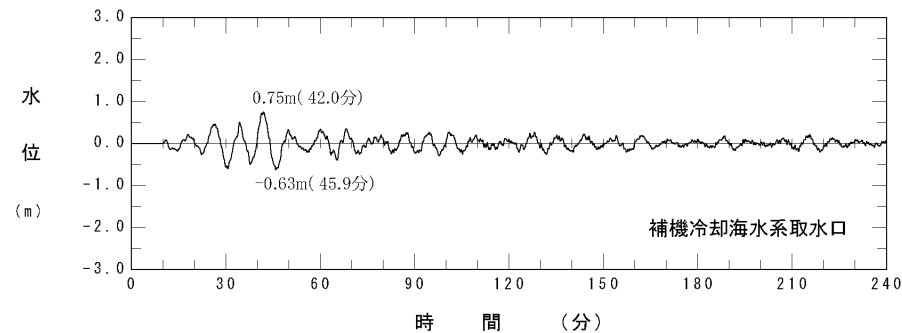
■下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりSLS-2(単独)の津波特性

- 下北太平洋側大陸棚の海底地すべりSLS-2(単独)は、日高舟状海盆の海底地すべりと比較して崩壊規模が小さいため、発電所位置での津波(第1波)の周期は約5分と短い。
- また、海底地すべり位置は発電所に近いため、第1波の到達時間は約10分と早く、その後、周期の短い(約5分)津波が繰り返し来襲する。

【津波伝播特性(スナップショット)】



【補機冷却海水系取水口前面における水位時刻歴波形】



2.7.1 評価方針

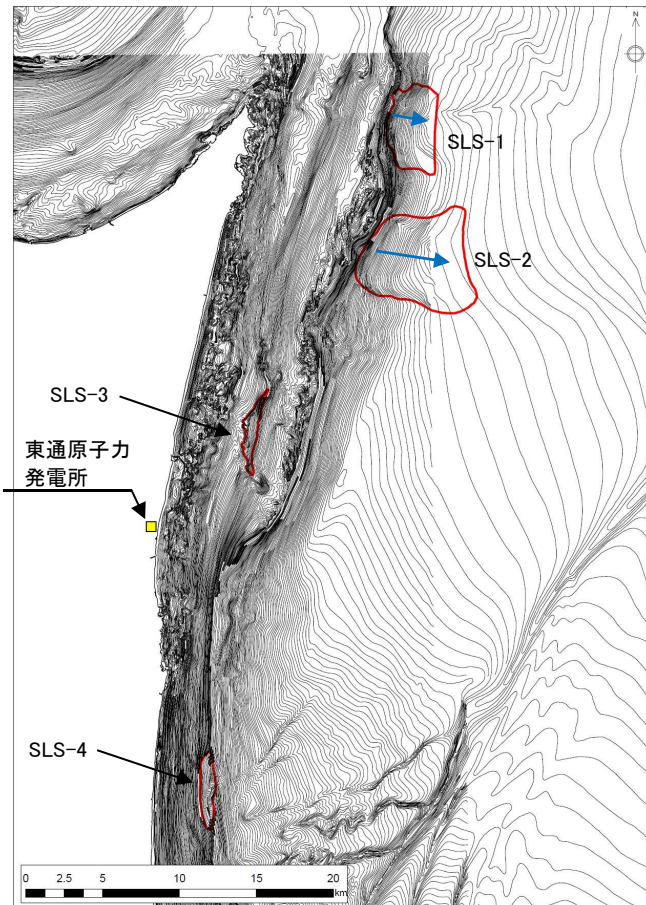
■下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり評価の見直し

- 4箇所の海底地すべり地形のうち最も崩壊規模が大きく、海底地すべり位置が比較的発電所に近い海底地すべりSLS-2(単独)を評価対象としたが、北に位置する海底地すべりSLS-1と同時活動した可能性があることを踏まえ、SLS-2(単独)に加え、SLS-1とSLS-2の同時活動(SLS-1+SLS-2)も新たに評価のうえ、連動型地震との組合せ評価を実施する^{※1}。

- 評価結果については、今後の審査会合で説明する。

※1: 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり評価の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべり評価(第1068回審査会合(抜粋))」に記載。

→ : 海底地すべりの移動方向^{※2}



海底地すべり地形分布図

抽出した海底地すべりの諸元

諸元	SLS-1	SLS-2	SLS-3	SLS-4	備考
長さ(m)	3000	6000	1200	1000	海底地形図からの読み取り
幅(m)	5350	5000	5000	5100	海底地形図からの読み取り
比高(m)	300	300	20	100	海底地形図からの読み取り
厚さ(m)	50	50	5	20	SLS-1, SLS-2: 現地地形と復元地形の差分から算定 SLS-3, SLS-4: McAdoo et al.(2000)による地すべり 諸元の算定方法を参考に算定
傾斜(°)	5.71	2.86	0.95	5.71	比高及び長さから算定
面積(km ²)	15.4	36.5	3.2	3.8	海底地形図からの読み取り
体積(km ³)	0.52	1.00	0.01	0.04	SLS-1, SLS-2: 現地地形と復元地形の差分から算定 SLS-3, SLS-4: McAdoo et al.(2000)による地すべり 諸元の算定方法を参考に算定

※2: 海底地すべりの移動方向は、海底地すべり前後の地形から推定した。

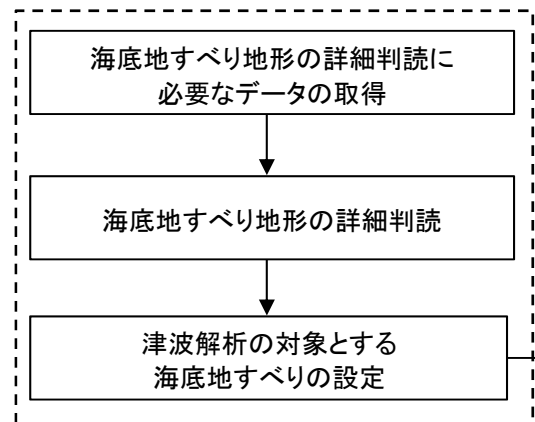
II. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2. 7. 2 検討概要

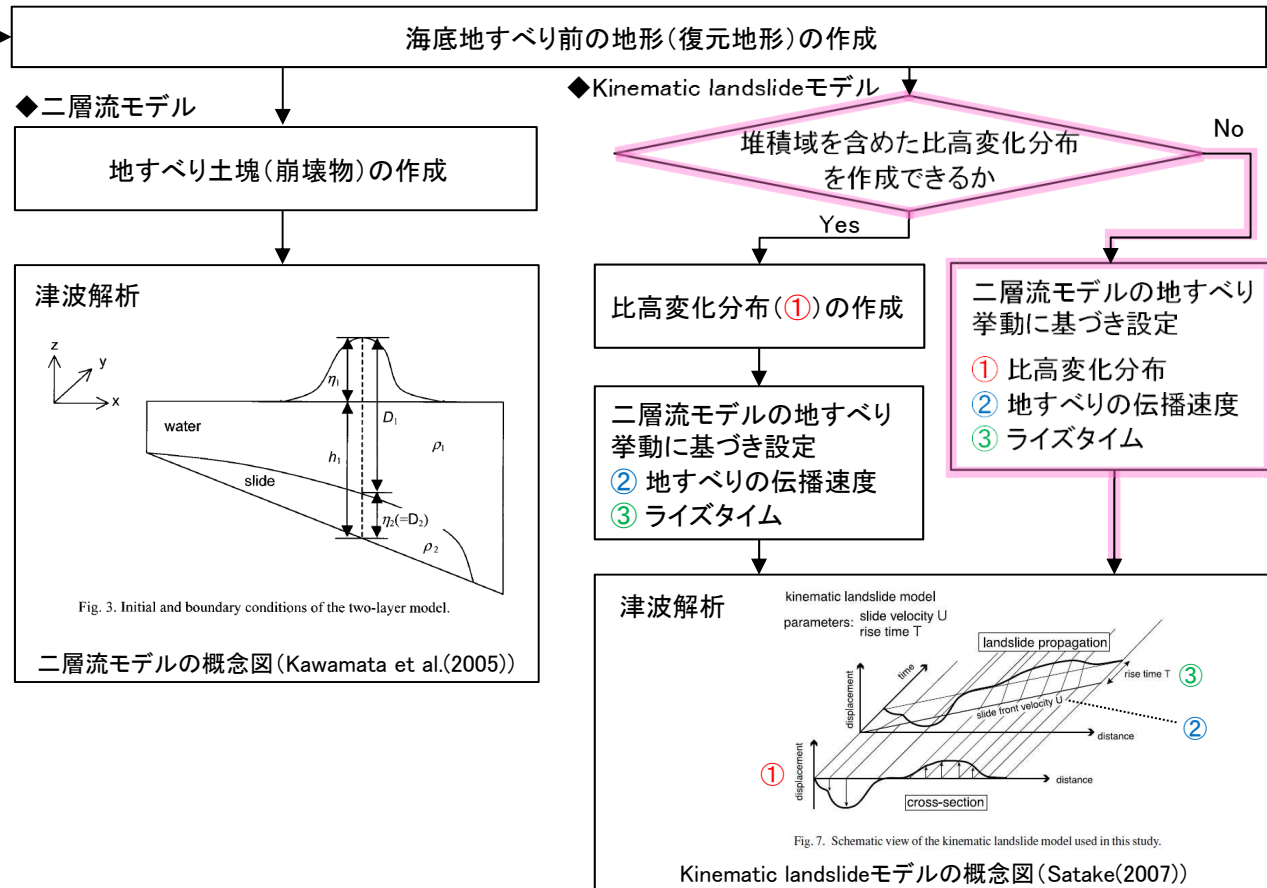
 第1068回審査会合(R4.9.2)
資料1-1 p388 再掲

- 以下フローに基づき津波解析を実施する。
- Kinematic landslideモデルに用いる比高変化分布について、海底地すべり堆積域の海底地形データの解像度が低く、海底地形データから比高変化分布を作成できないため、二層流モデルから得られる地すべりの挙動に基づき設定する。解析に用いる比高変化分布、地すべり伝播速度及びライズタイムについては、二層流モデルによる地すべり挙動に基づき、水位への影響が大きくなるように保守的に設定する。

STEP1: 解析対象とする海底地すべりの設定



STEP2: 津波解析



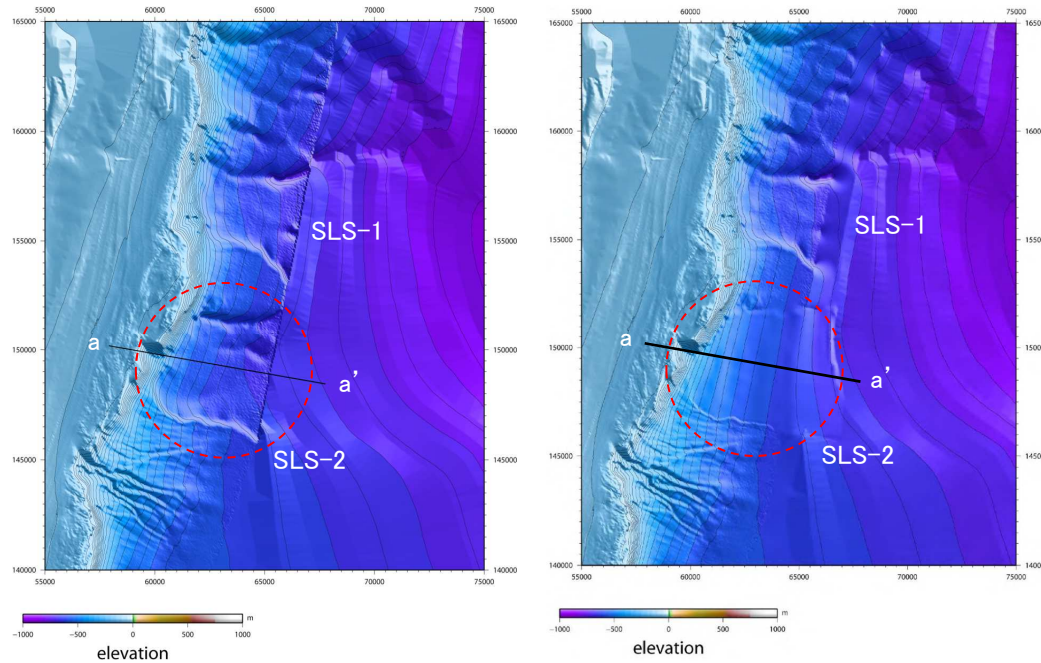
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2.7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2.7.3 海底地すべり前の地形(復元地形)の作成

第1068回審査会合(R4.9.2)
資料1-1 p389 再掲

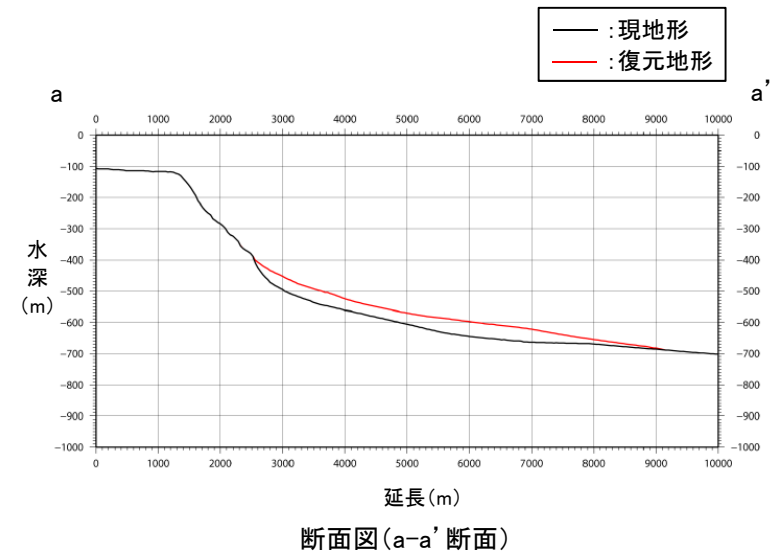
■海底地すべりSLS-2

- 海底地すべりSLS-2と、同地すべり周辺における海底地形(等深線)の関係から、海底地すべり前の地形を復元する。



海底地すべり地形(現地形)
(平面図)

海底地すべり前の地形(復元地形)
(平面図)



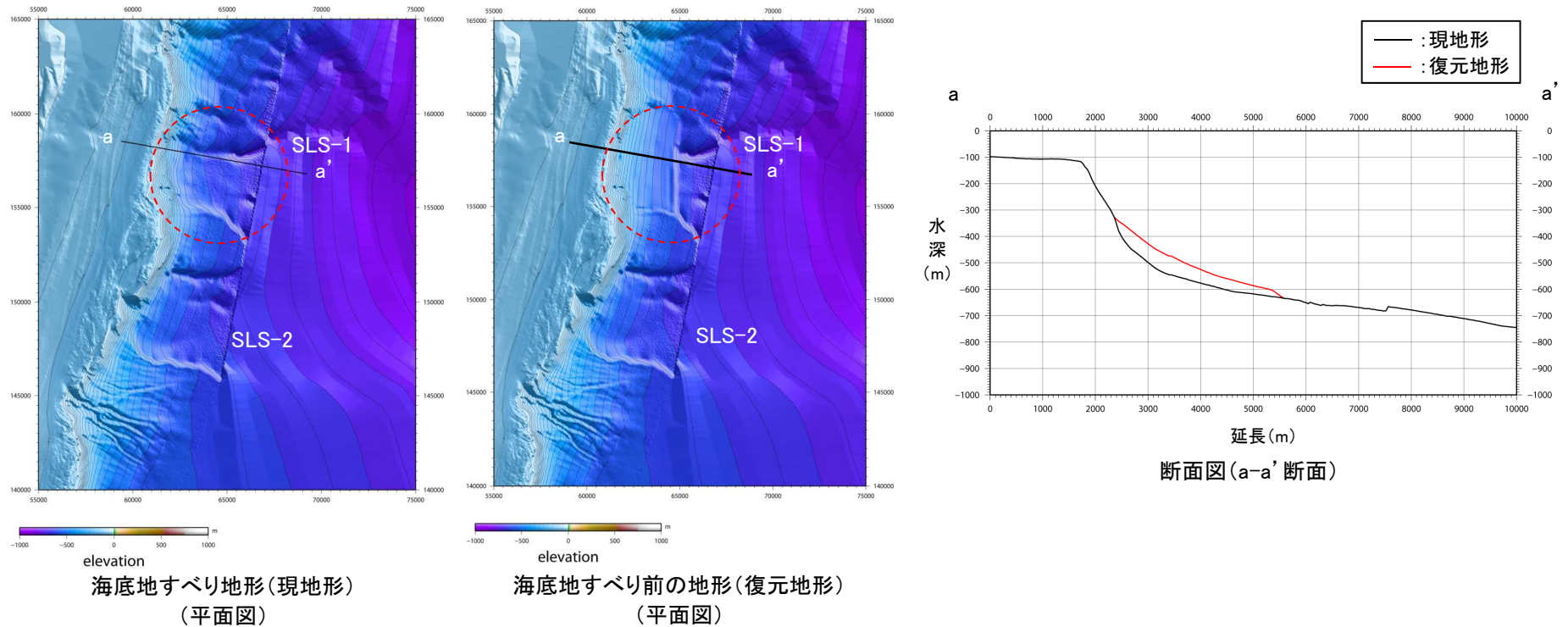
Ⅱ. 2. 組合せ評価方法及び評価結果(コメントNo.S223)(評価方針) 2. 7 下北太平洋側大陸棚外縁の海底地すべりとの組合せ評価

2. 7. 3 海底地すべり前の地形(復元地形)の作成

第1068回審査会合(R4.9.2)
資料1-2 p233 一部修正

■海底地すべりSLS-1

- 海底地すべりSLS-1と、同地すべり周辺における海底地形(等深線)の関係から、海底地すべり前の地形を復元する。

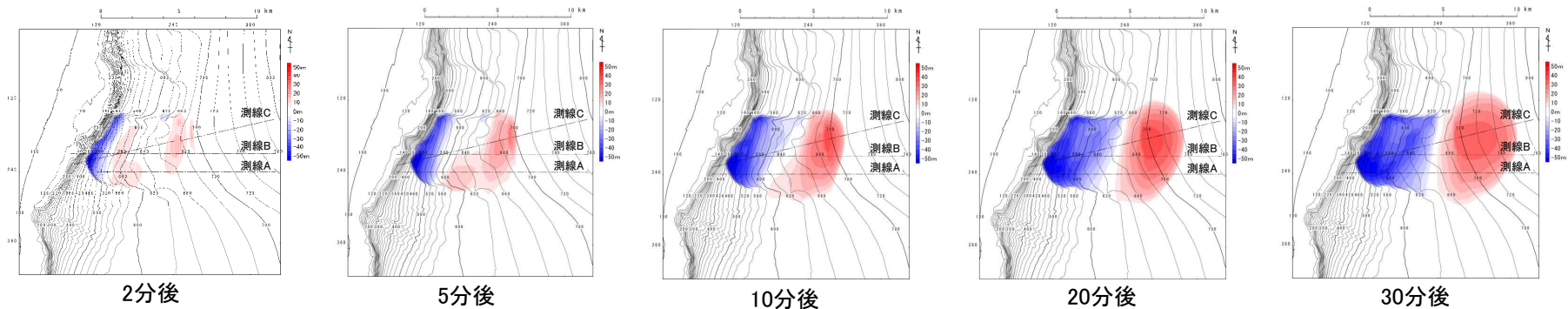


2. 7. 4 津波解析(Kinematic landslideモデル)に用いるパラメータ設定

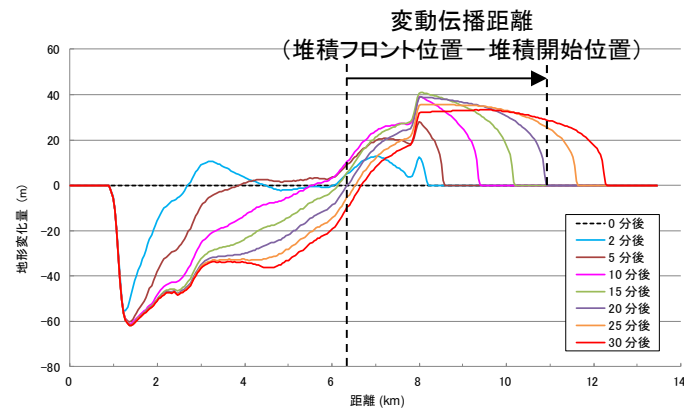
■海底地すべりSLS-2(単独)

- 解析に用いる各パラメータは、二層流モデルによる地すべり挙動に基づき、水位への影響が大きくなるように保守的に設定する。
- 二層流モデルから得られる地すべり発生2分後～30分後の地すべり挙動(スナップショット)を以下に示す。これから、地すべり発生20分後～30分後で概ね崩壊域が形成されることを踏まえ、比高変化量が大きく、地すべり伝播速度及びライズタイムが保守的となる地すべり発生20分後の比高変化分布を用いる。
- 地すべり伝播速度について、海底地すべり地形(現地形)から、海底地すべりは大陸棚斜面を滑落(Slide)して発生したと考えられることから、地震発生20分後の海底地すべり地形の堆積開始位置と堆積フロント位置を変動伝播距離とし、4m/sに設定する。
- ライズタイムについては、地形変化量の時系列から、崩壊域、堆積域ともに約30分間変動が継続するものの、崩壊域の最上部において2分程度で変動終了する範囲もあることから、保守的に2分(120秒)に設定する。
- 崩壊域、堆積域の破壊開始位置については、各領域の頂部に設定する。

【二層流モデルから得られる地すべり挙動(スナップショット)(青:崩壊域, 赤:堆積域)】



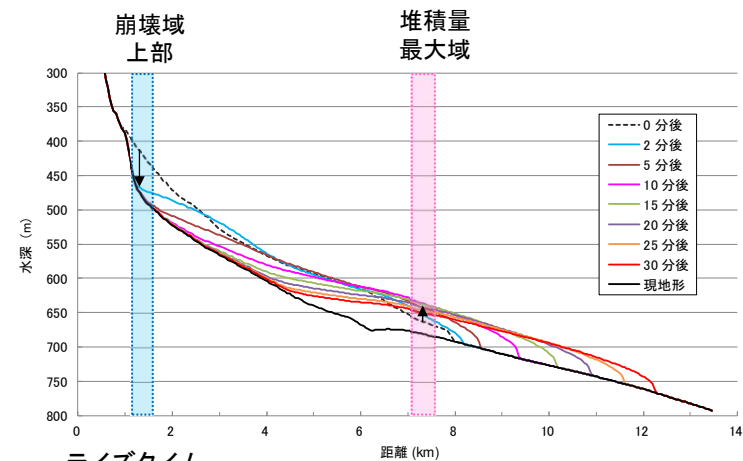
【二層流モデルから得られる地すべりの地形断面変化(測線C)】



地すべり伝播速度

$$= \text{変動伝播距離(堆積フロント位置 - 堆積開始位置)} \div \text{伝播時間}$$

$$= 4.69\text{km} \div 1200\text{s} = 3.91\text{m/s} \approx 4\text{m/s}$$



ライズタイム

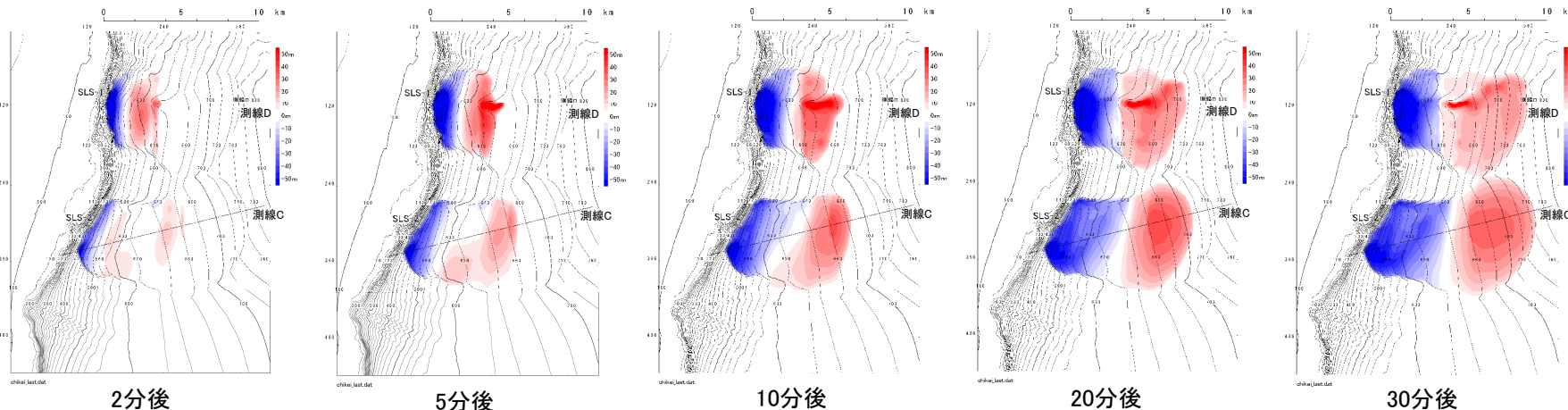
変動は30分間継続するが、崩壊域上部では2分程度で変動終了することから、保守的に2分(120s)に設定

2.7.4 津波解析(Kinematic landslideモデル)に用いるパラメータ設定

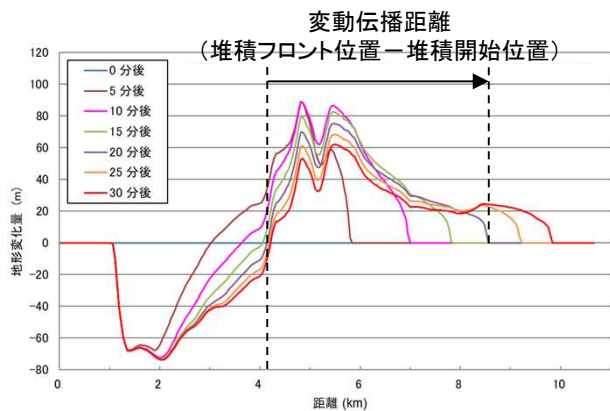
■海底地すべりSLS-1と海底地すべりSLS-2の同時活動(SLS-1+SLS-2)

- 二層流モデルから得られる地すべり発生2分後～30分後の地すべり挙動(スナップショット)を以下に示す。これから、地すべり発生20分後～30分後で概ね崩壊域が形成されることを踏まえ、比高変化量が大きく、地すべり伝播速度及びライズタイムが保守的となる地すべり発生20分後の比高変化分布を用いる。
- 地すべり伝播速度及びライズタイムについて、海底地すべりSLS-1は、海底地すべりSLS-2とほぼ同様の崩壊挙動を示すことから、海底地すべりSLS-2(単独)と同様に、地すべり伝播速度は4m/s、ライズタイムについては、保守的に2分(120秒)に設定する。

【二層流モデルから得られる地すべり挙動(スナップショット)(青:崩壊域, 赤:堆積域)】

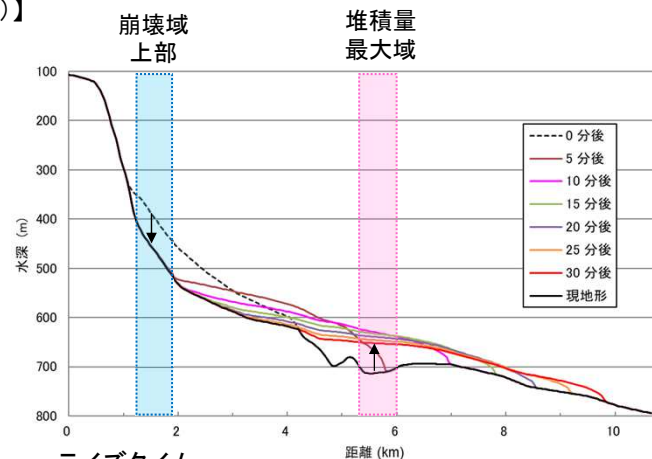


【二層流モデルから得られる海底地すべり(SLS-1)の地すべりの地形断面変化(測線D)】



地すべり伝播速度

= 変動伝播距離(堆積フロント位置 - 堆積開始位置) ÷ 伝播時間
 = 4.49km ÷ 1200s = 3.74m/s ≒ 4m/s



ライズタイム

変動は30分間継続するが、崩壊域上部では10分程度で変動終了することから、保守的に2分(120s)に設定

参考文献

参考文献①

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. 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)
5. 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
6. 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
7. 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」)
8. 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
9. 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状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), 1_578-1_585
10. 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
11. 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
12. 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
13. 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
14. 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

参考文献②

15. Danny Hilman Natawidjaja, Mudrik R. Daryono, Gear Prasetya, Udrekh, Philip L-F. Liu, Nugroho Dwi Hananto, Widjo Kongko, Wahyu Triyoso, Anggraini Rizkita Puji, Irwan Meilano, Endra Gunawan, Pepen Supendi, Astyka Pamumpuni, Mashyur 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
16. B.G.McAdoo, L.F.Pratson, D.L.Orange (2000) : Submarine landslide geomorphology, US continental slope, Marine Geology, 169, 103–136
17. K.KAWAMATA, K.TAKAOKA, K.BAN, F.IMAMURA, S.YAMAKI AND E.KOBAYASHI (2005) : MODEL OF TSUNAMI GENERATION BY COLLAPSE OF VOLCANIC ERUPTION: THE 1741 OSHIMA–OSHIMA TSUNAMI, Tsunamis: Case Studies and Recent Developments, pp.79–96
18. Kenji Satake (2007) : Volcanic origin of the 1741 Oshima–Oshima tsunami in the Japan Sea, Earth Planets Space, 59, 381–390