

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (1 / 2 1)

検討方針

- ・津波を発生させる要因の組合せ検討では、敷地に与える影響が大きいと考えられる日本海東縁部に想定される地震に伴う津波との組合せ対象として、佐井エリアの斜面崩壊に起因する津波を考慮した。
- ・上記に係り、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の組合せ対象として最も保守的な陸上の斜面崩壊が佐井エリアの陸上の斜面崩壊であることの妥当性を示す。検討フローは以下のとおり。

検討フロー

1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出

- ・日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形と、佐井エリア、恵山エリア、函館エリア、知内エリア及び竜飛崎エリアの陸上の斜面崩壊に起因するそれぞれの津波波形（概略影響検討、本編資料P.301～P.304）との線形足し合せを実施し、組合せの影響が最も大きくなる陸上の斜面崩壊を抽出する。

佐井エリアの影響が最大か？

YES

2. 数値シミュレーション

- ・1. の検討で抽出された佐井エリアの影響を上回る陸上の斜面崩壊による津波について、詳細数値シミュレーションを実施する。（二層流モデル及びkinematic landslideモデルを用いて総合的に評価）

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較

- ・佐井エリアの陸上の斜面崩壊による津波波形（詳細検討、本編資料P.323, 324参照）と2. で検討した地すべりによる津波波形とを、それぞれ日本海東縁部からの津波波形と線形に足し合せて、津波の組合せの影響について比較し、佐井エリアの影響が大きいことを確認する。

「佐井エリア」の保守性確認

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (2 / 2 1)

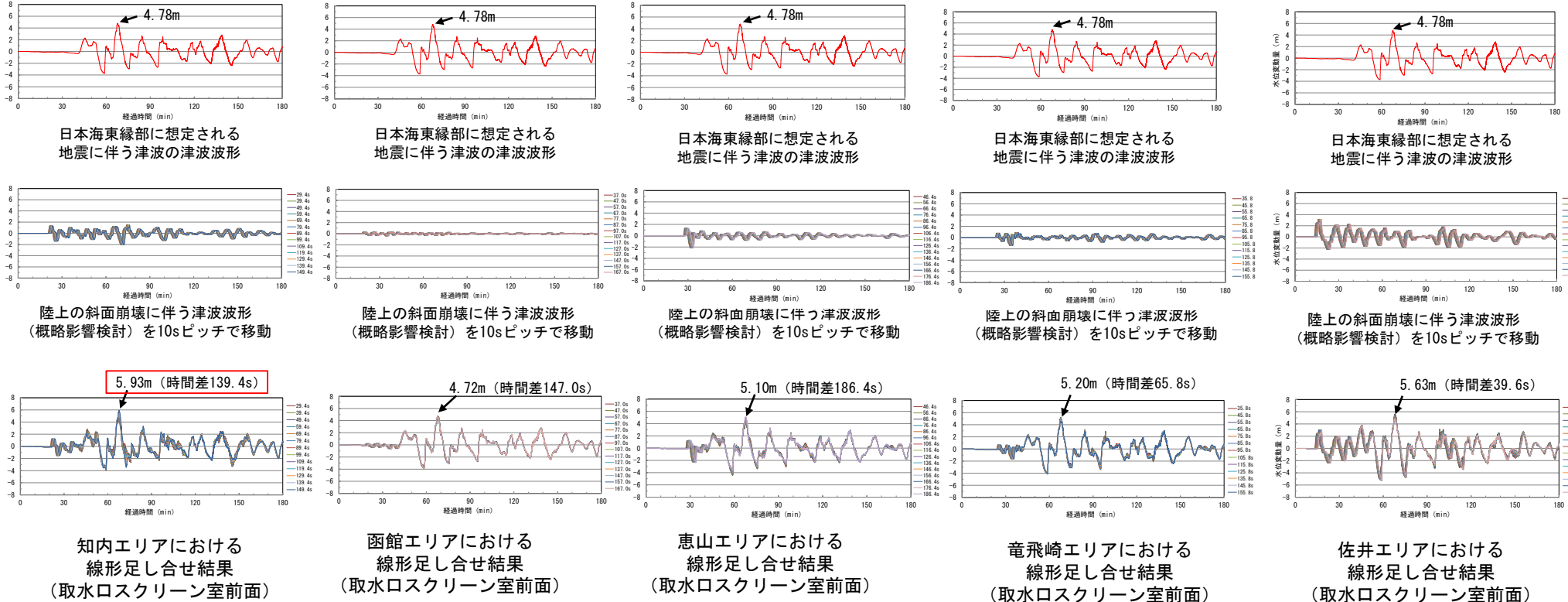
1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (1 / 3)

線形足し合せ結果【上昇側】

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と概略影響検討による各エリアの斜面崩壊による津波の波形とを線形に足し合わせて、上昇側の組合せの影響を比較した。なお、この際、斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (Ts) ※1及び斜面崩壊位置での地震継続時間 (Td) ※2を考慮し、斜面崩壊に伴う津波波形は、Ts~Ts+Td間で10秒ピッチで移動させている。
- 上昇側については知内エリアの影響が最も大きいことを確認した。

区分	地すべりエリア	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	Ts※1	Td※2
最大水位上昇ケース	知内エリア	99.9km	3.4km/s※3	29.4s	120.9s
	函館エリア	125.9km		37.0s	131.0s
	恵山エリア	157.8km		46.4s	142.1s
	竜飛崎エリア	121.8km		35.8s	129.5s
	佐井エリア	134.2km		39.6s	134.0s

※1: 各断面から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
 ※2: Noda et al. (2002) (87) による振幅包絡線の経時特性から算定
 ※3: 地震調査研究推進本部 (2009) (88) より



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形

陸上の斜面崩壊に伴う津波波形 (概略影響検討) を10sピッチで移動

陸上の斜面崩壊に伴う津波波形 (概略影響検討) を10sピッチで移動

陸上の斜面崩壊に伴う津波波形 (概略影響検討) を10sピッチで移動

陸上の斜面崩壊に伴う津波波形 (概略影響検討) を10sピッチで移動

陸上の斜面崩壊に伴う津波波形 (概略影響検討) を10sピッチで移動

知内エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

函館エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

恵山エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

竜飛崎エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

佐井エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (3 / 2 1)

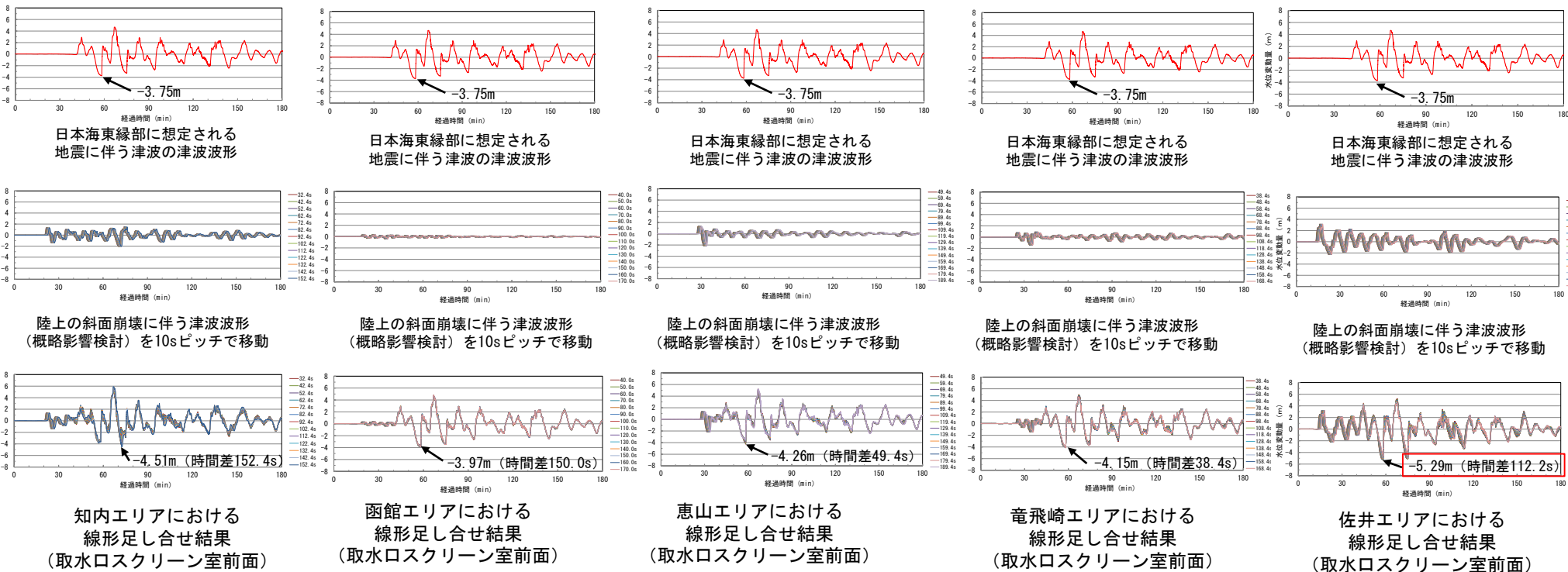
1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (2 / 3)

線形足し合せ結果【下降側】

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と概略影響検討による各エリアの斜面崩壊による津波の波形とを線形に足し合わせて、下降側の組合せの影響を比較した。なお、この際、斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (Ts) ※1 及び斜面崩壊位置での地震継続時間 (Td) ※2 を考慮し、斜面崩壊に伴う津波波形は、Ts ~ Ts + Td 間で10秒ピッチで移動させている。
- 下降側については佐井エリアの影響が最も大きいことを確認した。

区分	地すべりエリア	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	Ts※1	Td※2
最大水位下降ケース	知内エリア	109.7km	3.4km/s※3	32.4s	124.8s
	函館エリア	136.1km		40.0s	134.7s
	恵山エリア	167.9km		49.4s	145.5s
	竜飛崎エリア	130.3km		38.4s	132.6s
	佐井エリア	143.5km		42.2s	137.3s

※1: 各断面から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
 ※2: Noda et al. (2002) (87) による振幅包絡線の経時特性から算定
 ※3: 地震調査研究推進本部(2009) (88) より



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (4 / 2 1)

1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (3 / 3)

まとめ

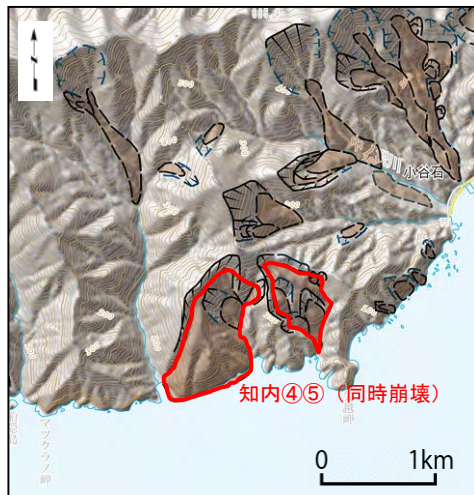
- ・ 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形と、佐井エリア、恵山エリア、函館エリア、知内エリア及び竜飛崎エリアの陸上の斜面崩壊に起因するそれぞれの津波波形（概略影響検討，本編資料P. 301～P. 304）との線形足し合せを実施し，組合せの影響が最も大きくなる陸上の斜面崩壊を以下のとおり抽出した。
 - ✓ 上昇側：知内エリアの陸上の斜面崩壊
 - ✓ 下降側：佐井エリアの陸上の斜面崩壊
- ・ 佐井エリア以外の知内エリアの陸上の斜面崩壊が抽出されたことから，知内エリアの陸上の斜面崩壊を対象として，詳細数値シミュレーションを実施する。（2. 数値シミュレーションで検討）

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (5 / 2 1)

2. 数値シミュレーション (1 / 1 2)

検討方針

- ・ 知内エリアを対象に、すべり面、崩壊量を設定し、数値シミュレーションによって敷地への影響を評価する。
- ・ 波源域の数値シミュレーション方法として、二層流モデルとkinematic landslideモデルの2つの手法を用いて敷地への影響を総合的に評価した。



「国土地理院の空中写真」

知内エリアの対象地すべりブロック
(本編資料P. 285参照)

波源域の数値シミュレーション方法

二層流モデル
(本編資料P. 269参照)

kinematic landslideモデル
(本編資料P. 270参照)

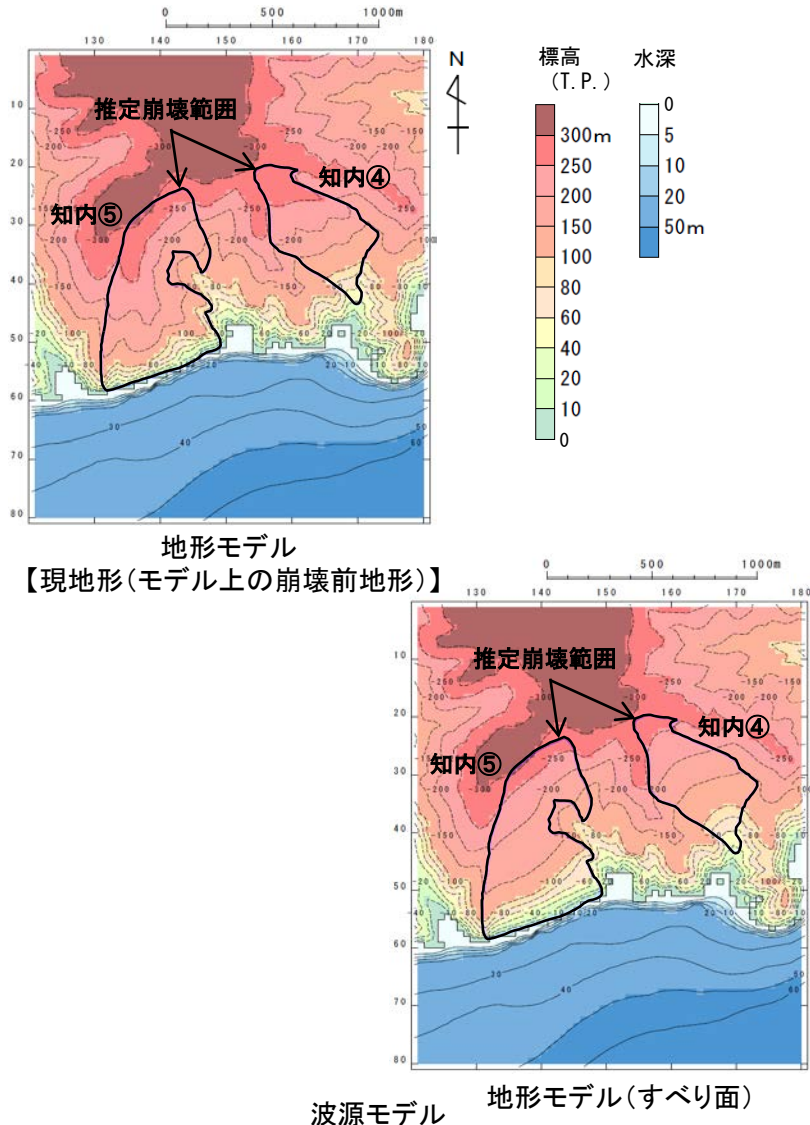
評価方針

敷地への影響を総合的に評価
(安全側の評価を採用)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (6/21)

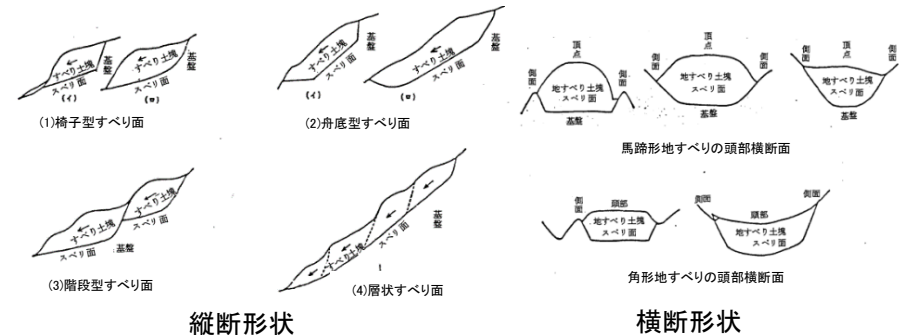
2. 数値シミュレーション (2/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (1/6)

すべり面及び崩壊量の設定【知内エリアの地すべり地形】



- 解析モデル①として二層流モデルを採用した※。
- 検討対象地すべり地形の推定すべり面は、高速道路調査会(1985)⁽⁸⁹⁾等を参照し、以下の考えに基づき設定した(P.308, P.309参照)。

- ・推定された地すべり厚さDが地すべりブロック中央部付近の代表的な厚さとする。
- ・地すべりブロック縦断方向に対しては、ブロック中央部付近でおおむね一定勾配を呈し、ブロック頭部に向かって漸増的に急勾配化させる。ブロック端部では、頭部とは逆に中央部から末端部に向かって徐々に緩勾配化させる。
- ・横断方向に対しては、ブロック中央部付近では一定勾配を呈し、ブロック側方境界部に向かって漸増的に急勾配化させる。
- ・すべり面形状が地表面地形形状に滑らかな接続となるようにする。



すべり面形状例 高速道路調査会(1985)⁽⁸⁹⁾に一部加筆

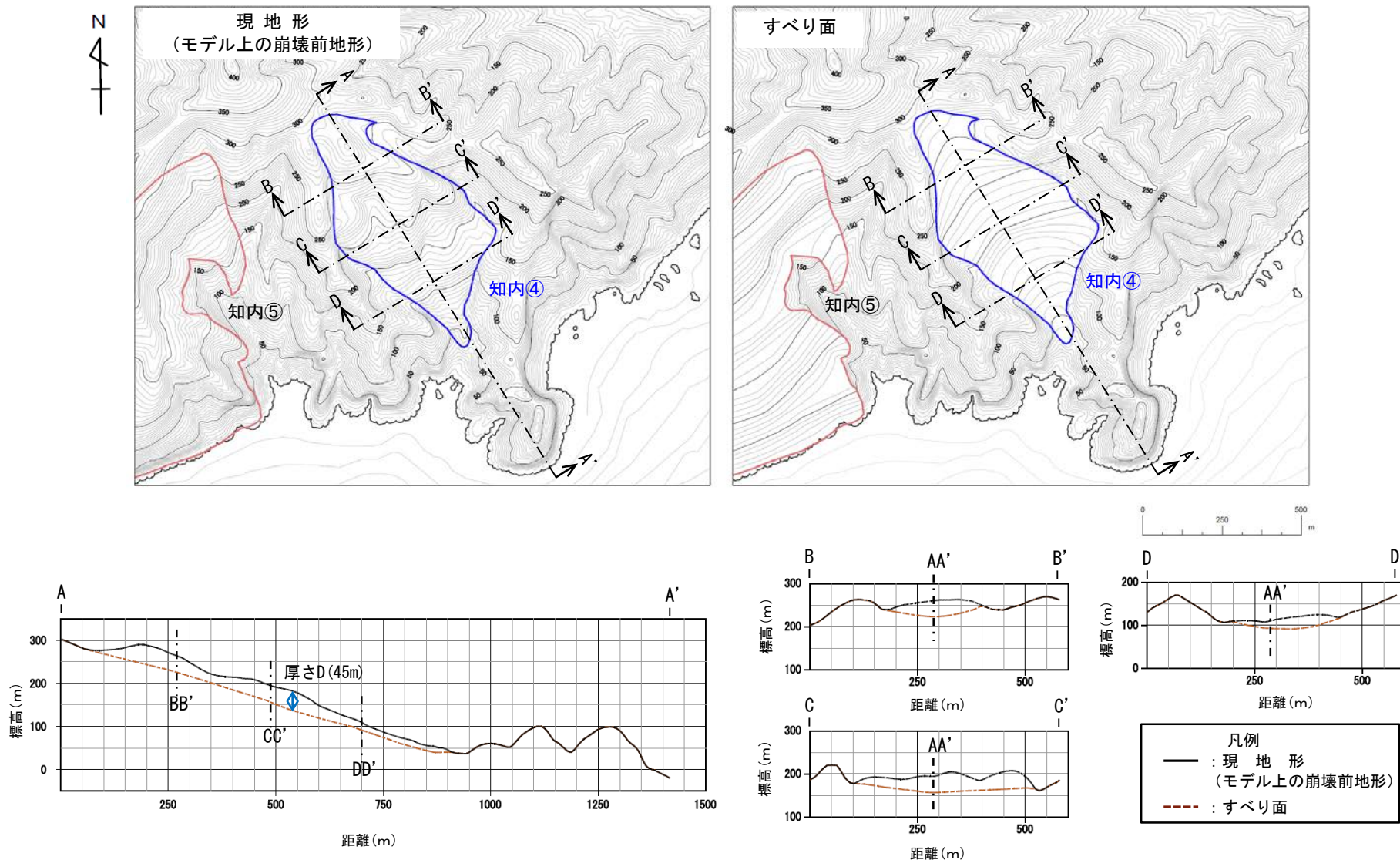
- 現地地形を解析モデル上の崩壊前地形と設定した。
- 作成した現地地形モデルとすべり面モデルより算出した知内エリアの検討対象地すべり地形(知内④⑤)の崩壊量は $1.29 \times 10^7 \text{m}^3$ である。

※「6-2. 二層流モデルの適用性について」参照。

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (7/21)

2. 数値シミュレーション (3/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (2/6)

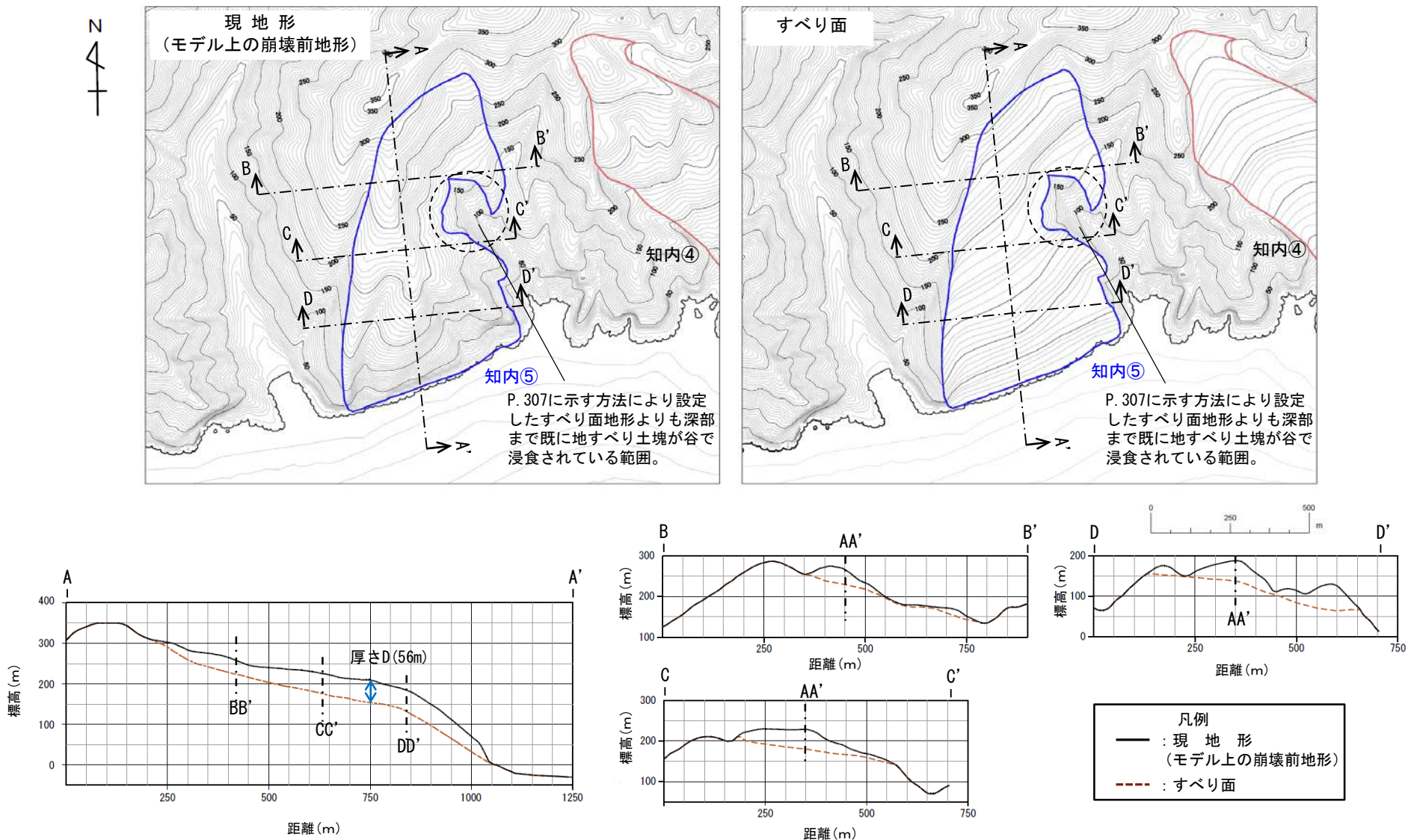
検討対象地すべり地形 縦断面図 (1/2) 【ブロック知内④】



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (8/21)

2. 数値シミュレーション (4/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (3/6)

検討対象地すべり地形 縦断面図 (2/2) 【ブロック知内⑤】



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (9/21)

2. 数値シミュレーション (5/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (4/6)

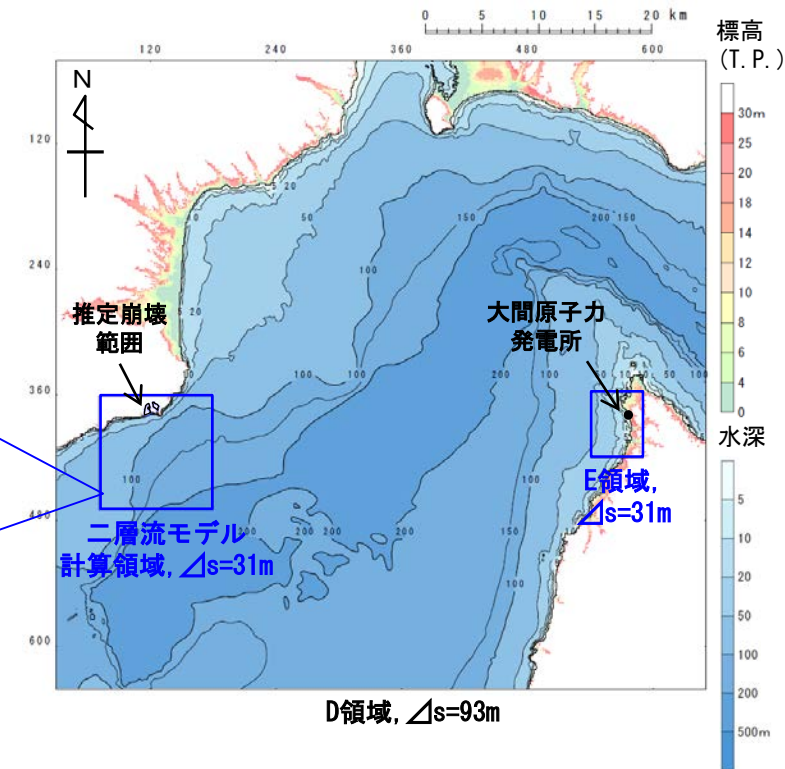
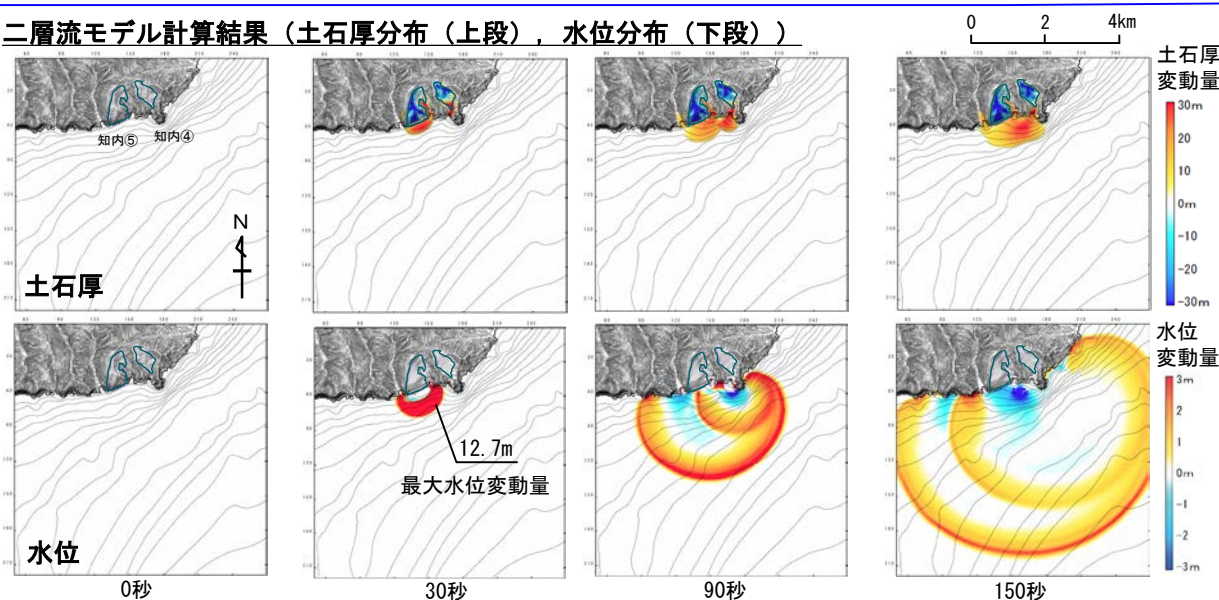
計算条件

- 二層流モデルの計算条件は下表のとおりである。なお、知内④⑤が同時に崩壊開始するものとした。
- 敷地への津波の伝播シミュレーションは、二層流モデル計算領域の境界部で得られた時刻歴波形を津波伝播計算領域に接続して実施した。

主な計算条件

項目	内容	設定根拠
海水密度	$\rho_1=1.03 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	一般値
崩壊物の密度	$\rho_2=2.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	
上層(水)の粗度係数	$n=0.025 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$	Kawamata et al. (2005) ⁽⁶⁸⁾ で1741年渡島大島火山津波を再現された値
下層(土砂)の粗度係数	$n=0.4 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$	
抗力係数	$C_D=2.0$	
水平拡散係数	$\nu=0.1 \text{ (m}^2\text{/s)}$	計算の安定性を考慮して設定
計算時間間隔	$\Delta t=1.0 \times 10^{-5} \text{ (s)}$	

二層流モデル計算結果 (土石厚分布 (上段), 水位分布 (下段))



計算領域図

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (10/21)



コメントNo.S5-36

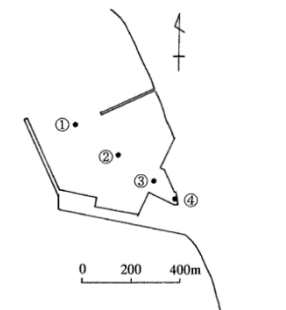
2. 数値シミュレーション (6/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (5/6)

計算結果

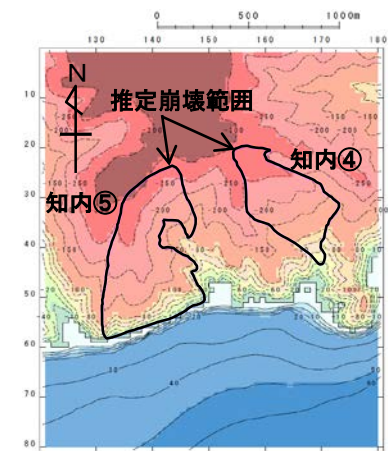
陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果 (上昇側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (上昇側)

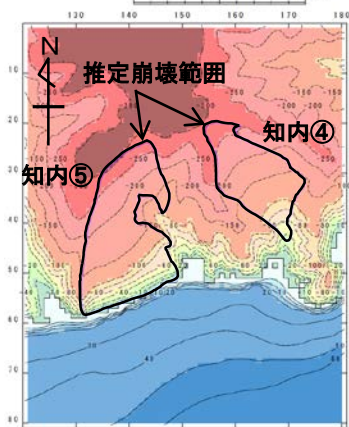
検討対象	解析モデル	敷地における最大水位上昇量
知内エリアの地すべり地形	二層流モデル	0.61m



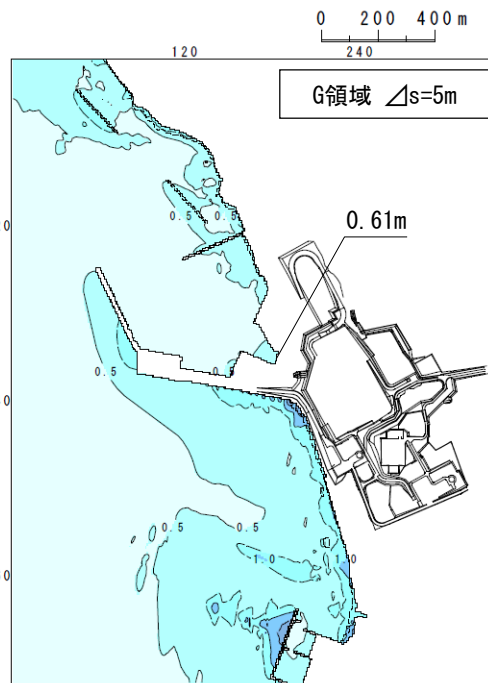
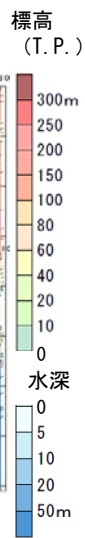
水位時刻歴波形出力点



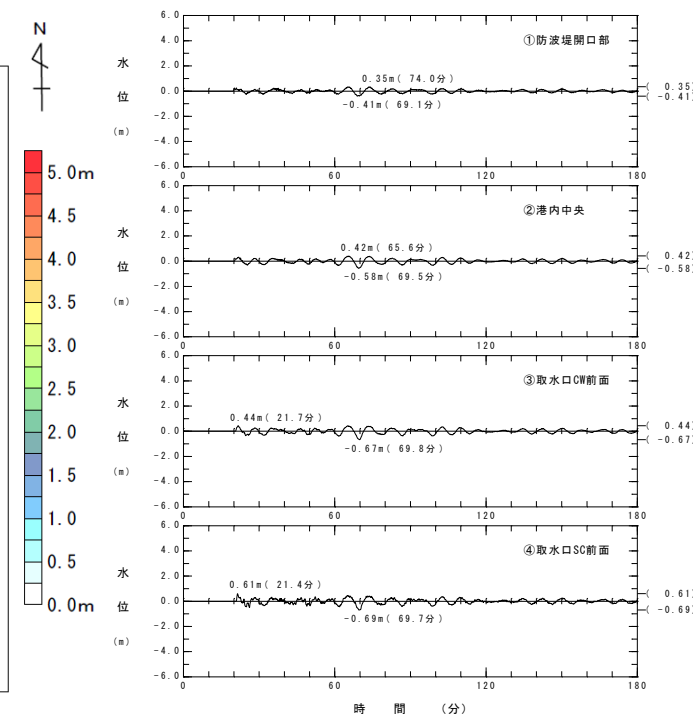
地形モデル
【現地形(モデル上の崩壊前地形)】



地形モデル(すべり面)



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

波源モデル

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (11/21)

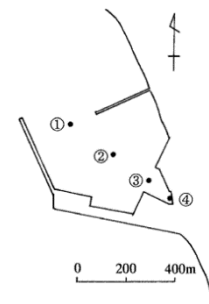
2. 数値シミュレーション (7/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (6/6)

計算結果

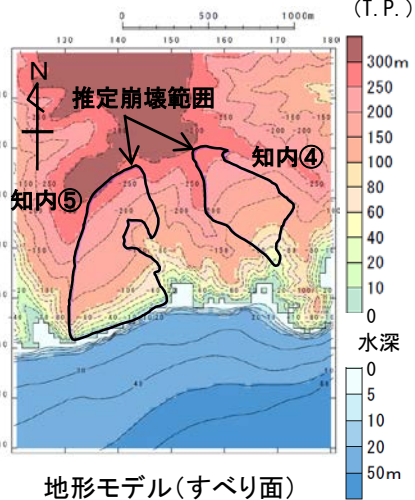
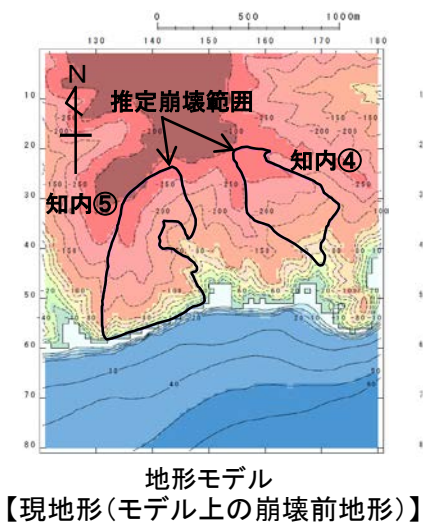
陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (下降側)

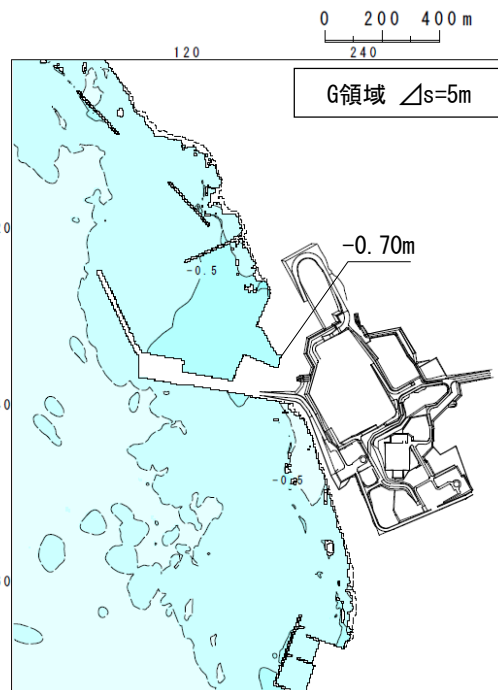
検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
知内エリアの地すべり地形	二層流モデル	-0.70m



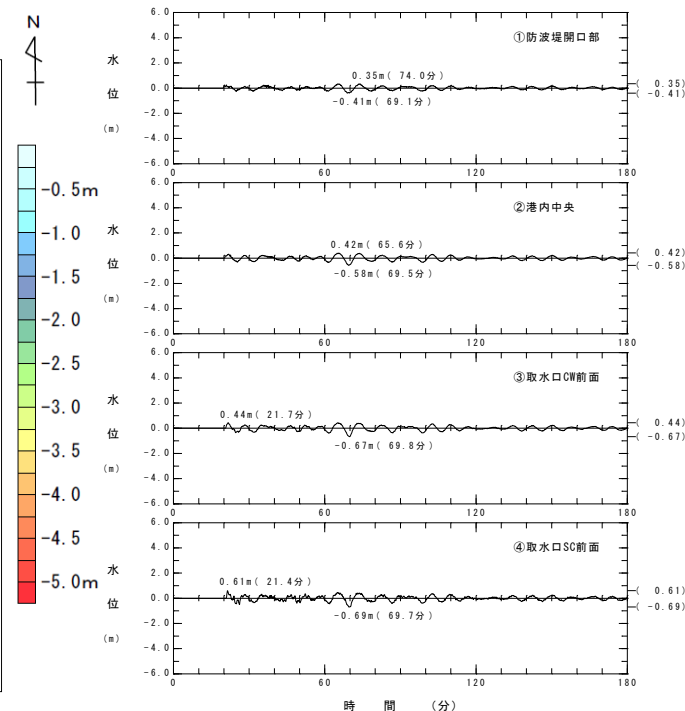
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位下降量分布



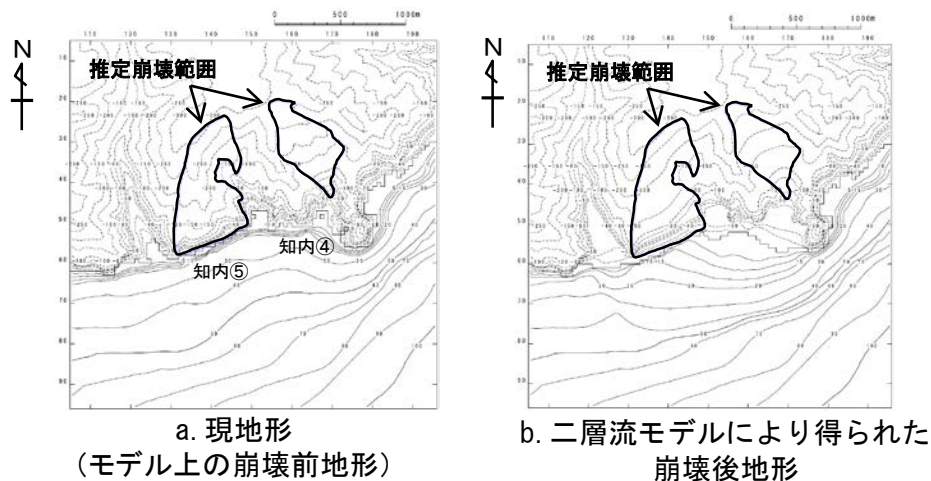
水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (12/21)

2. 数値シミュレーション (8/12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (1/4)

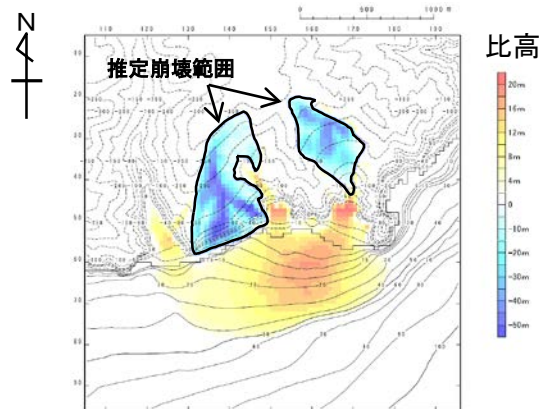
崩壊地形データの作成【知内エリアの地すべり地形】

- ・解析モデル②としてkinematic landslideモデルを採用した。
- ・kinematic landslideモデルの崩壊地形データ (比高分布) は, 現地形 (モデル上の崩壊前地形) と二層流モデルにより得られた崩壊後地形から作成した。

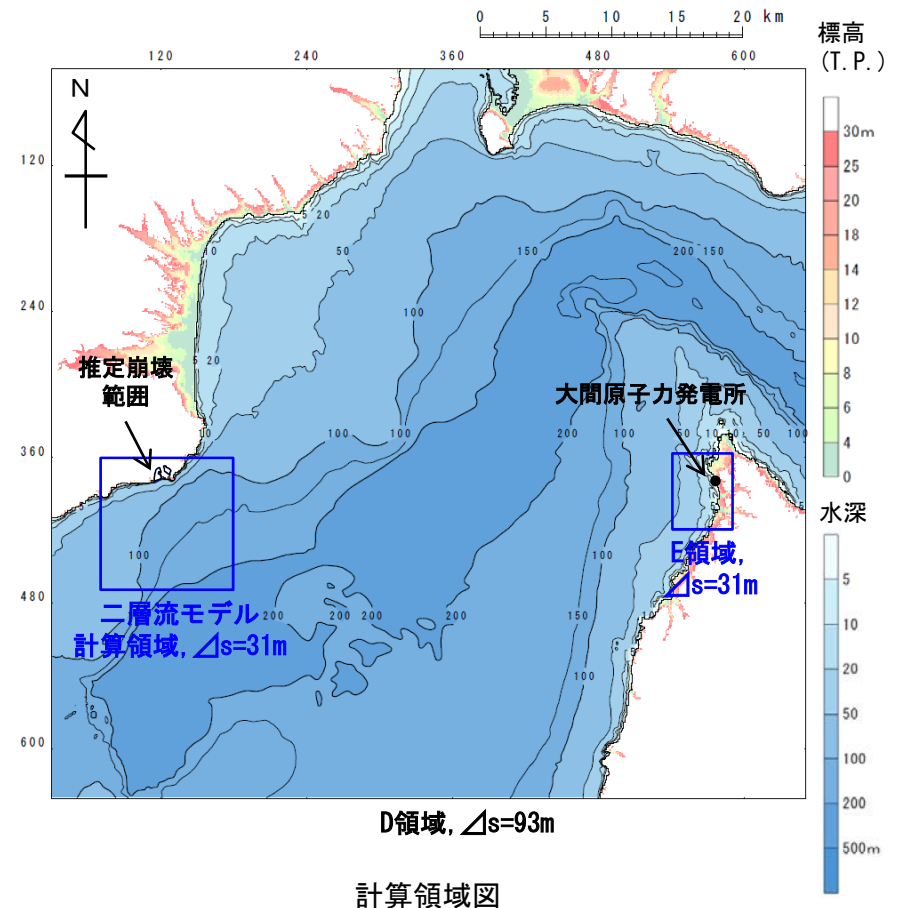


a. 現地形
(モデル上の崩壊前地形)

b. 二層流モデルにより得られた
崩壊後地形



崩壊に伴う地形変化 (b-a)
(比高分布)



D領域, Δs=93m

計算領域図

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (13/21)

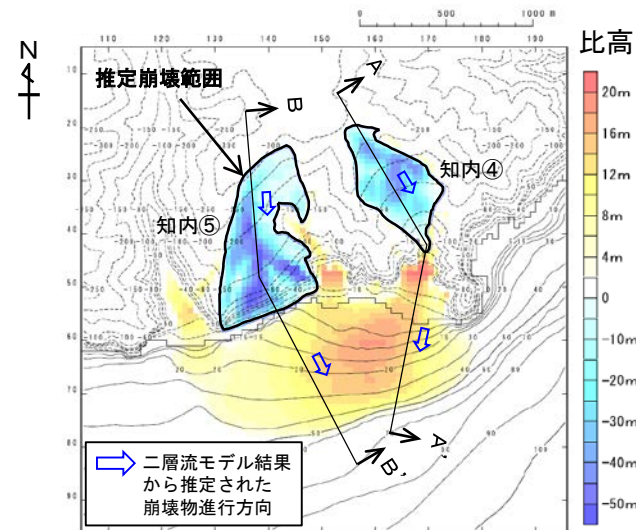
2. 数値シミュレーション (9/12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (2/4)

パラメータの設定【水平移動速度・比高変化継続時間】

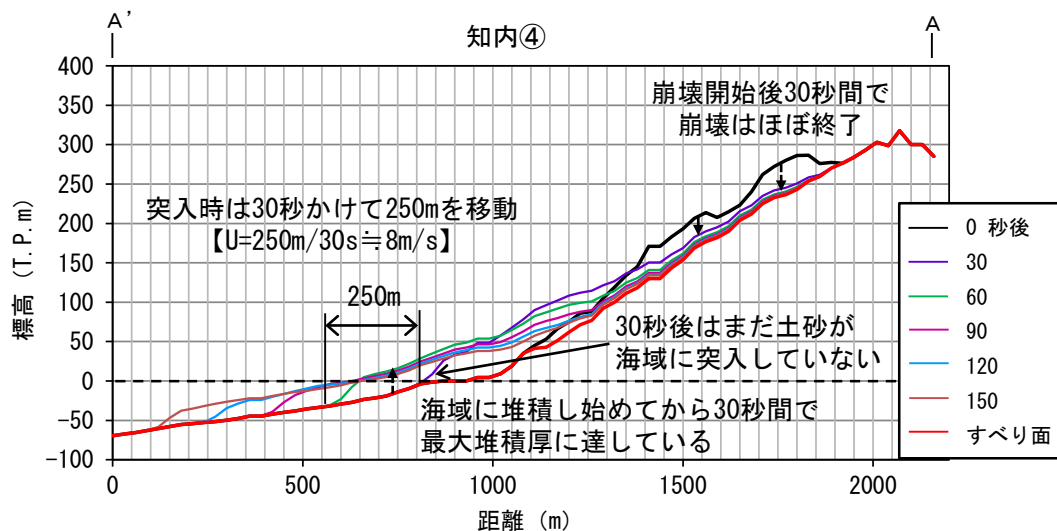
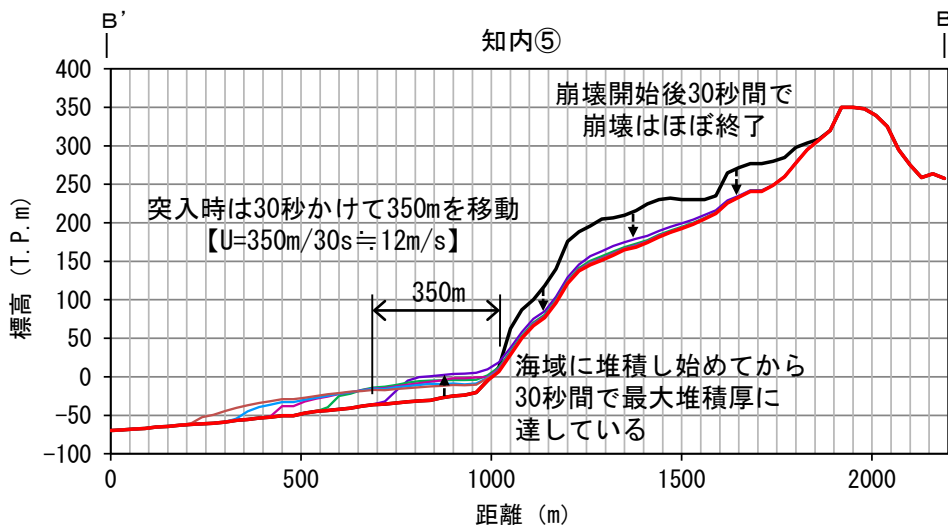
- kinematic landslideモデルで考慮する水平移動速度 U および比高変化継続時間 T は、二層流モデル解析で得られた崩壊測線上の崩壊物の移動状況より下記のとおり設定した。

水平移動速度 U_1 : 8m/s (知内④) 比高変化継続時間 T : 30秒
 U_2 : 12m/s (知内⑤)

- 崩壊物が海域に突入する時間については、知内⑤の崩壊物が先に海域に突入し、30秒後に知内④の崩壊物が海域に突入するものとした。



kinematic landslideモデルに用いる比高分布



kinematic landslideモデルに用いる U 及び T

(二層流モデル解析による崩壊測線上の崩壊物の移動状況より設定)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (14/21)



2. 数値シミュレーション (10/12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (3/4)

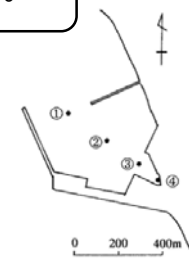
計算結果

コメントNo.S5-36

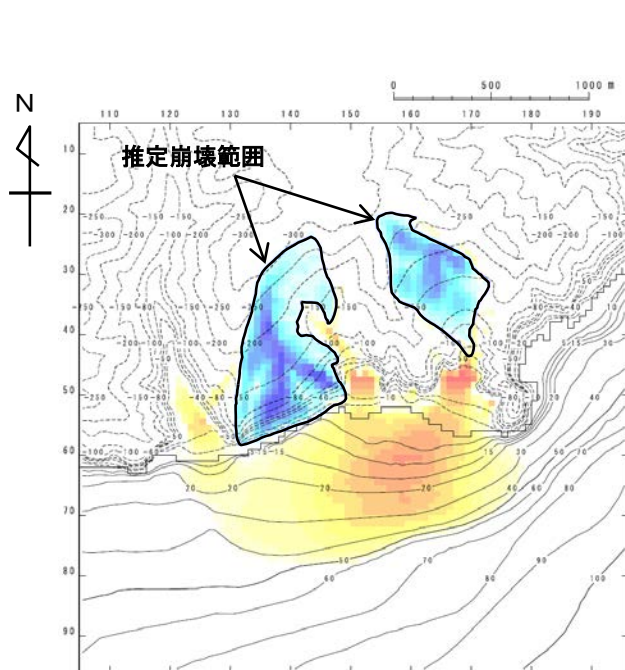
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (上昇側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (上昇側)

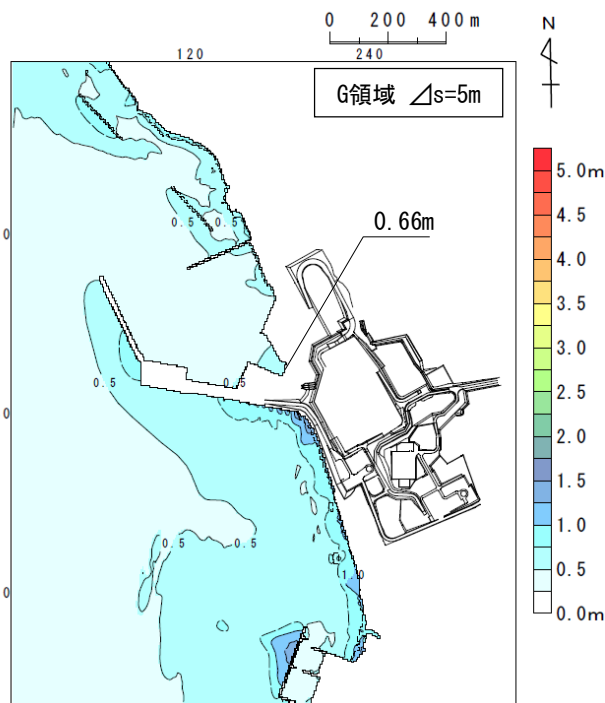
検討対象	解析モデル	敷地における 最大水位上昇量
知内エリアの 地すべり地形	kinematic landslide モデル	0.66m



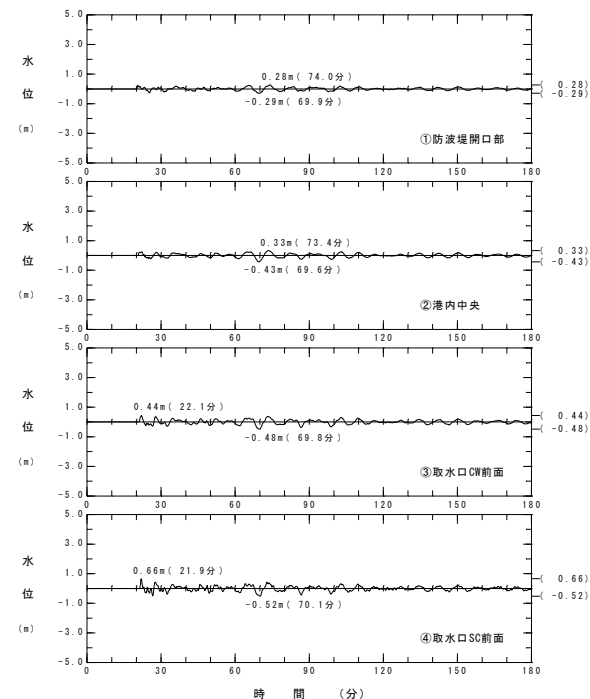
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (15 / 21)



2. 数値シミュレーション (11 / 12) : 解析モデル② <kinematic landslideモデル> (4 / 4)

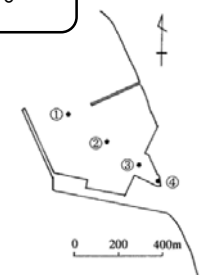
計算結果

コメントNo.S5-36

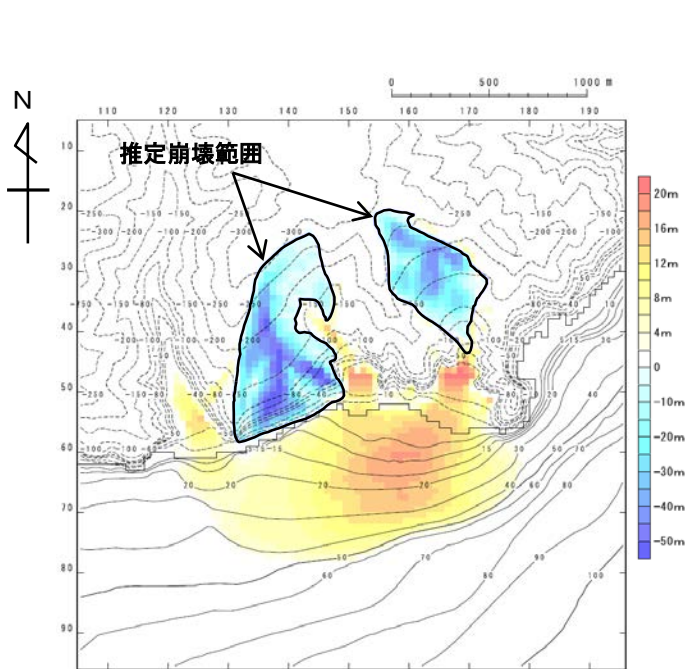
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (下降側)

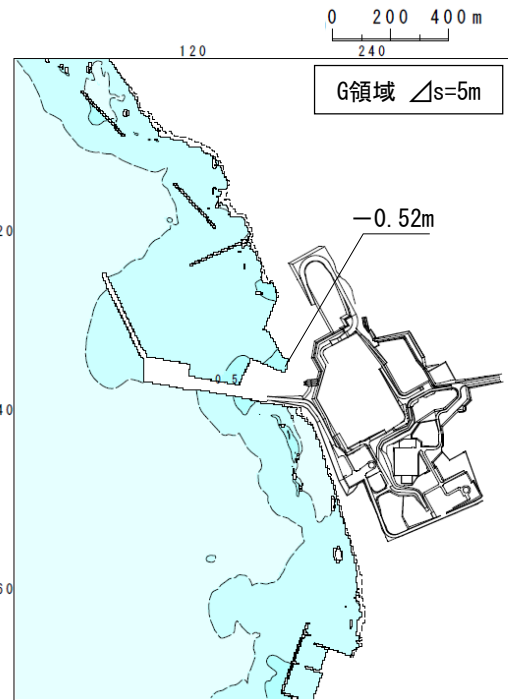
検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
知内エリアの地すべり地形	kinematic landslideモデル	-0.52m



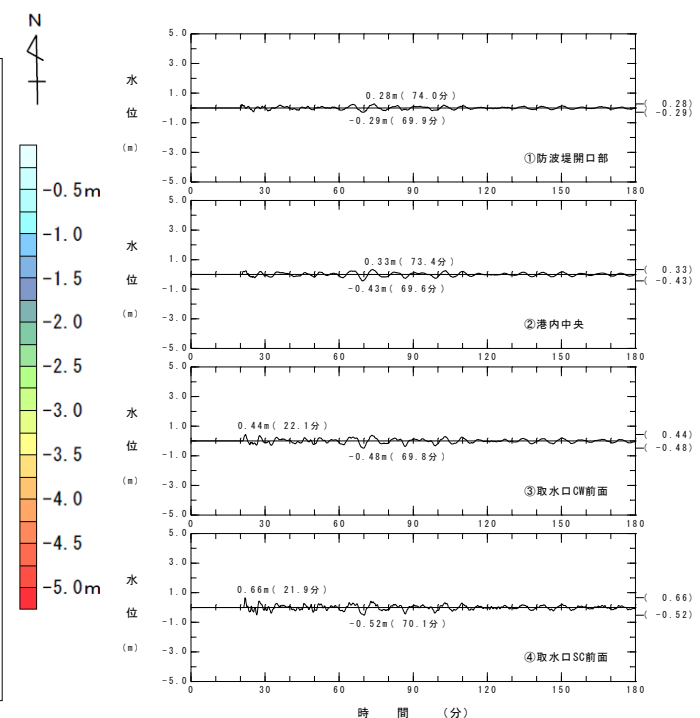
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (16/21)

2. 数値シミュレーション (12/12)

知内エリアに想定される陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果

- 知内エリアに想定される陸上の斜面崩壊に起因する津波の検討結果は以下のとおりである。
- 知内エリアの津波は佐井エリアの津波に比べ敷地における最大水位変動量は有意に小さい。

陸上の斜面崩壊に起因する津波

区分		解析モデル	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面 における 最大水位下降量	備考
陸上の斜面崩壊 に起因する津波	知内 エリア	二層流モデル	0.61m	-0.70m	—
		kinematic landslide モデル	0.66m	-0.52m	—
	佐井 エリア (参考)	二層流モデル	4.70m	-2.64m	本編資料 P. 293, P. 294参照
		kinematic landslide モデル	4.97m	-3.49m	本編資料 P. 297, P. 298参照

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (17/21)

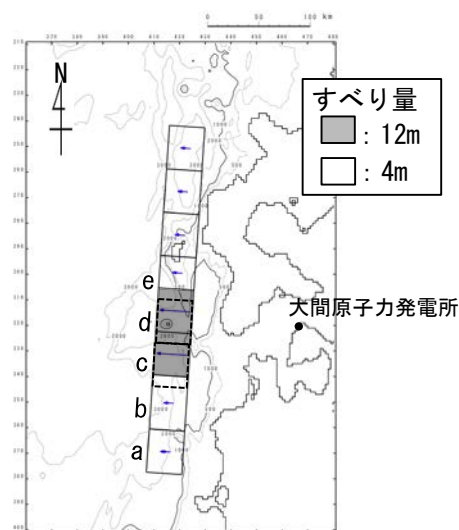
3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (1/5)

検討方針

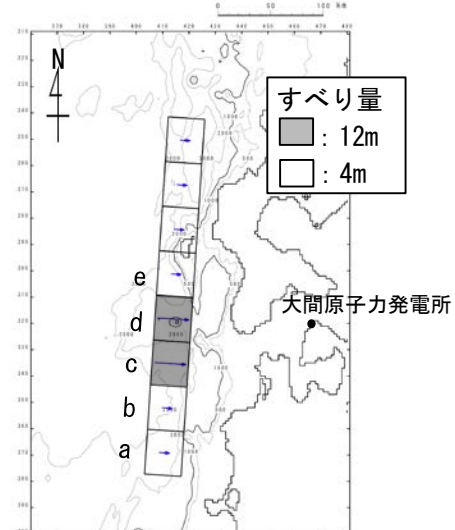
- 敷地に与える影響が大きいと考えられる日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上の斜面崩壊に起因する津波との組合せについて、佐井エリア及び知内エリアの2地点を対象に取水口前面位置における水位時刻歴波形の線形足し合せにより、津波が重畳した場合の敷地への影響を比較する。

■地震による津波

評価対象	地震	決定ケース
最大水位上昇ケース	日本海東縁部の地震 Mw=8.2	東西方向中央, 東傾斜 ($\delta=30^\circ$) の W=40.0km, アスペリティ位置c+dを北方へ10km移動, 上縁深さ5km
最大水位下降ケース	日本海東縁部の地震 Mw=8.2	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta=30^\circ$) の W=40.0km, アスペリティ位置c+d上縁深さ4km



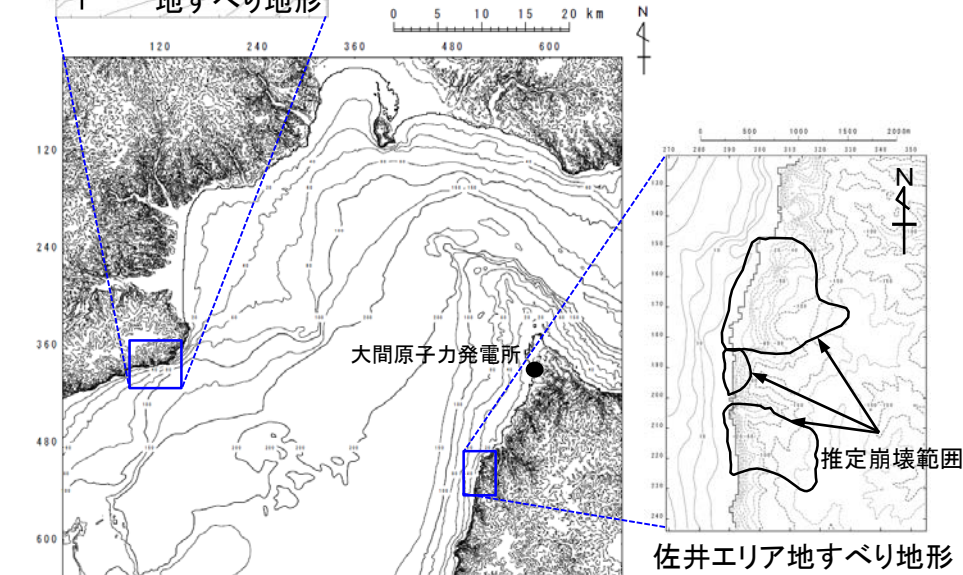
最大水位上昇ケース



最大水位下降ケース

■陸上の斜面崩壊に起因する津波

評価対象	解析モデル
佐井エリア 最大水位上昇ケース 及び最大水位下降ケース	kinematic landslideモデル
知内エリア 最大水位上昇ケース	kinematic landslideモデル
知内エリア 最大水位下降ケース	二層流モデル



推定崩壊範囲

佐井エリア地すべり地形

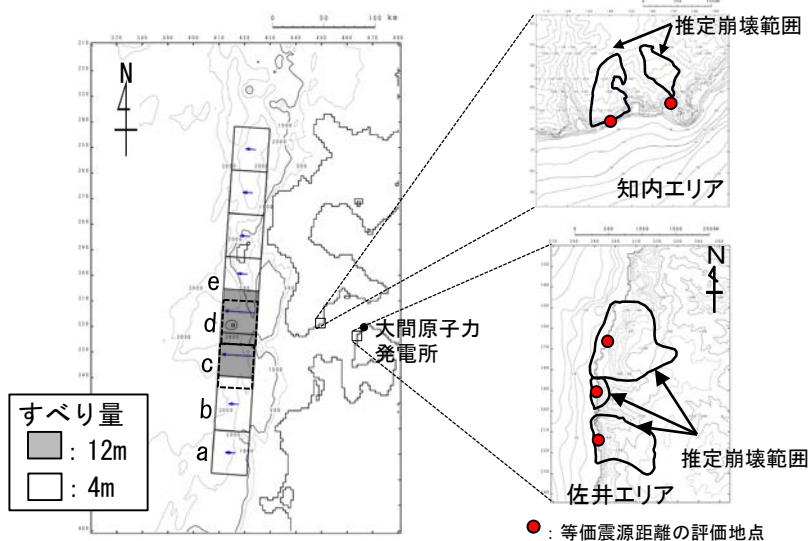
9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (18/21)

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (2/5)

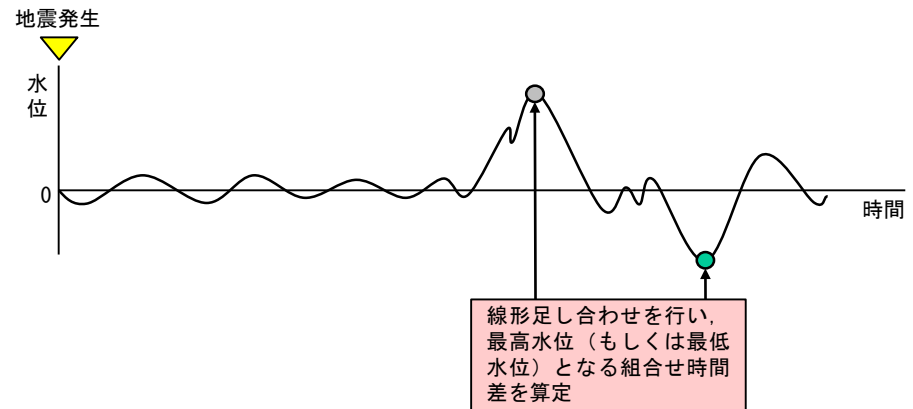
線形足し合せ方法

- 斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (T_s = 各断面層面から斜面崩壊位置までの等価震源距離 ÷ 地震波速度), 及び斜面崩壊位置での地震動継続時間 (T_d) から斜面崩壊が発生する時間範囲 ($T_s \sim T_s + T_d$) を算定し, その時間範囲で各津波の取水ロスクリーン室前面位置における水位時刻歴波形を線形に足し合わせ, 最大水位変動量の比較を行う。

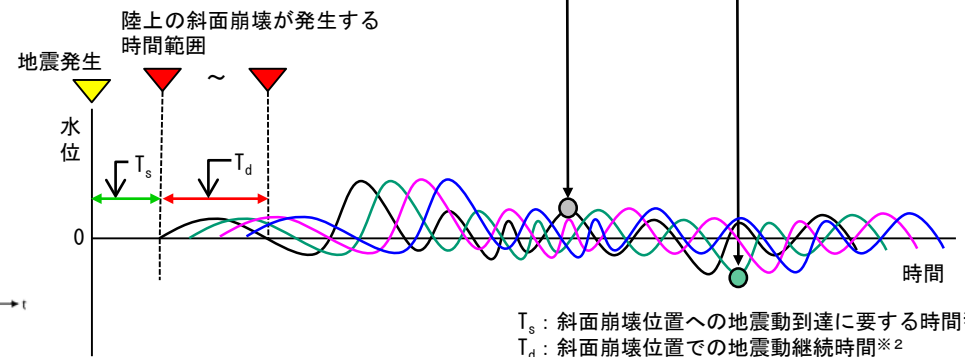
■時間差範囲の設定方法 (概念)



■地震による津波の敷地での水位時刻歴波形

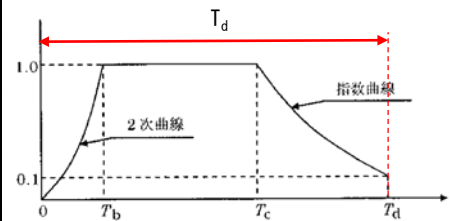


■陸上の斜面崩壊に起因する津波の敷地での水位時刻歴波形



区分	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	T_s ^{※1}	T_d ^{※2}
佐井エリア	最大水位上昇ケース	3.4km/s ^{※3}	39.6s	134.1s
	最大水位下降ケース		42.4s	137.4s
知内エリア	最大水位上昇ケース	3.4km/s ^{※3}	29.4s	120.9s
	最大水位下降ケース		32.4s	124.8s

斜面崩壊



※1 : 各断面層面から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
 ※2 : Noda et al. (2002)⁽⁸⁷⁾ による振幅包絡線の経時特性から算定
 ※3 : 地震調査研究推進本部 (2009)⁽⁸⁸⁾ より

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (19/21)

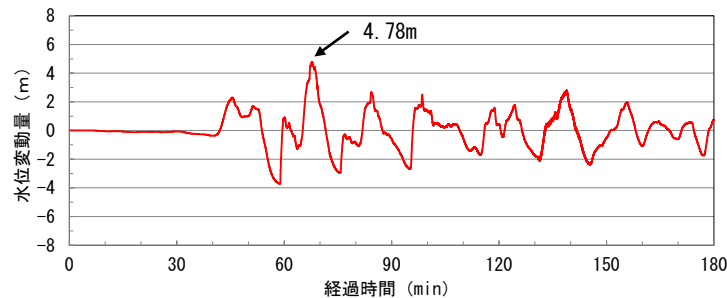


コメントNo.S5-36

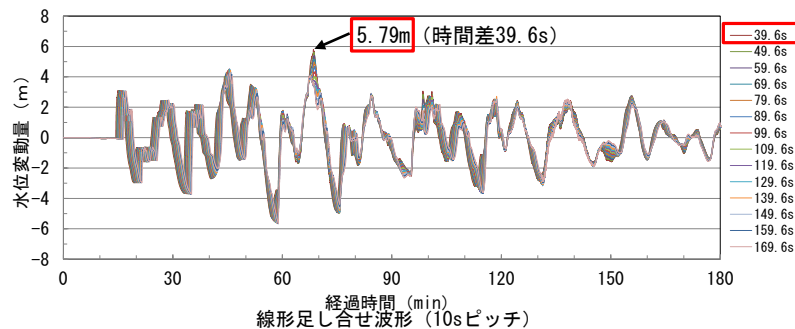
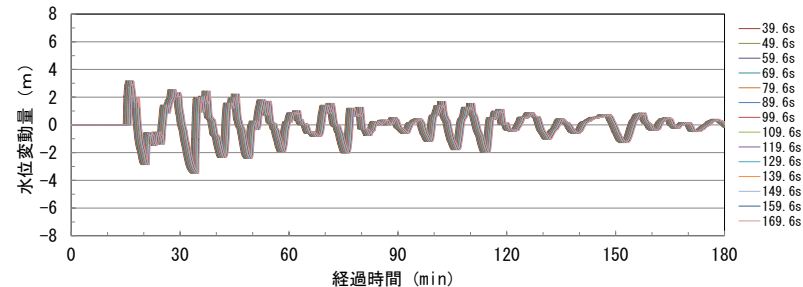
3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (3/5)

線形足し合せ結果【上昇側】

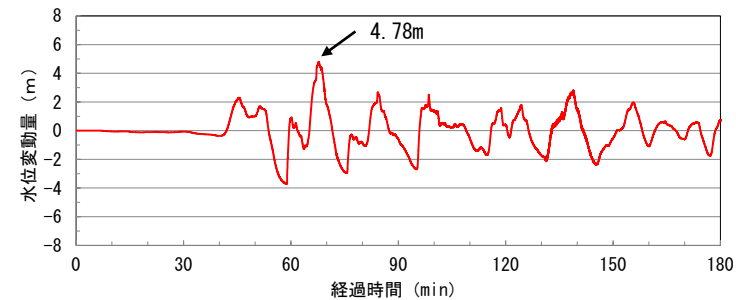
- 陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を、 $T_s \sim T_s + T_d$ 間を10秒ピッチで変化させ、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と2つの陸上の斜面崩壊に起因する津波の波形との線形足し合せを行い、水位時刻歴波形での最大水位上昇量を比較した。
- 重ね合わせた結果としての最大水位上昇量は佐井エリアの方が大きい。



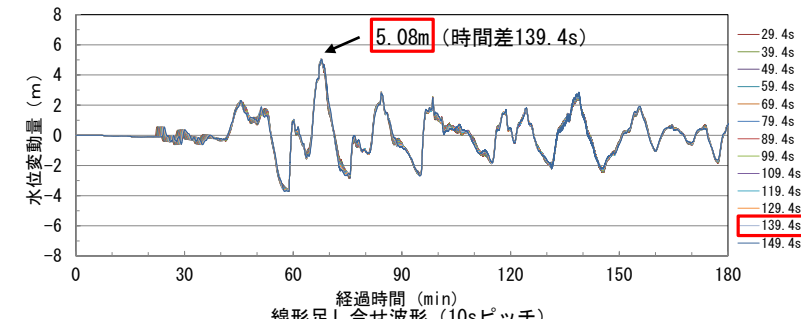
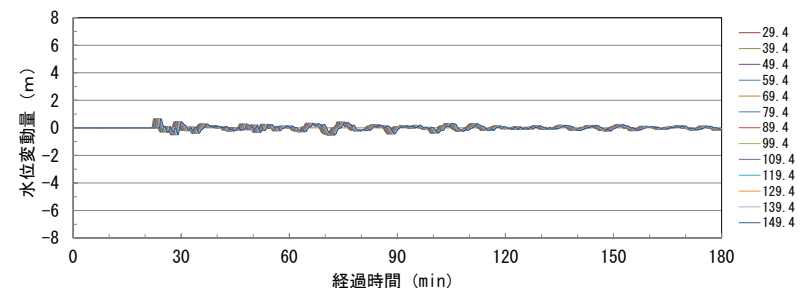
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形



佐井エリアにおける線形足し合せ結果



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形



知内エリアにおける線形足し合せ結果

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (20/21)

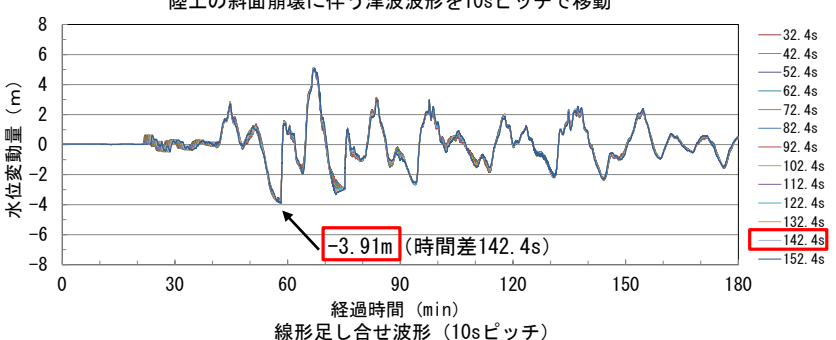
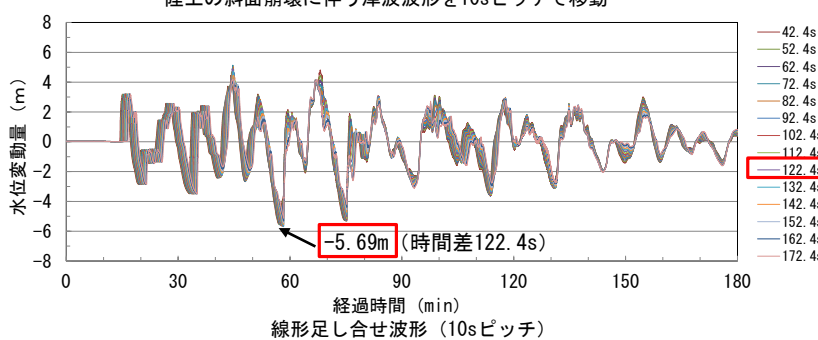
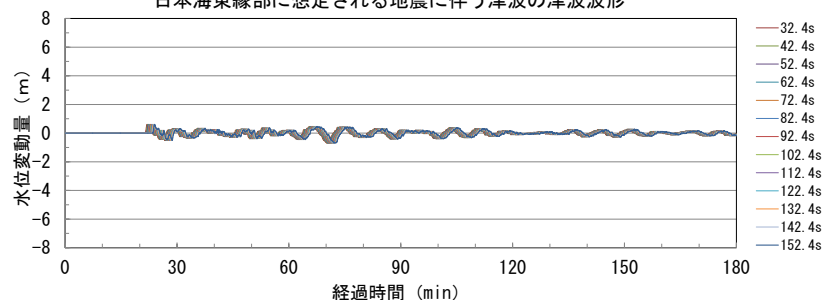
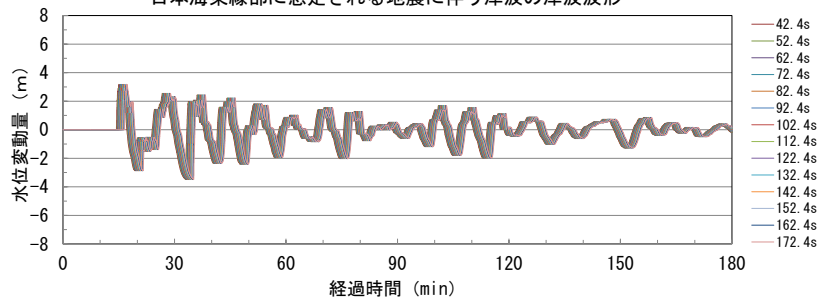
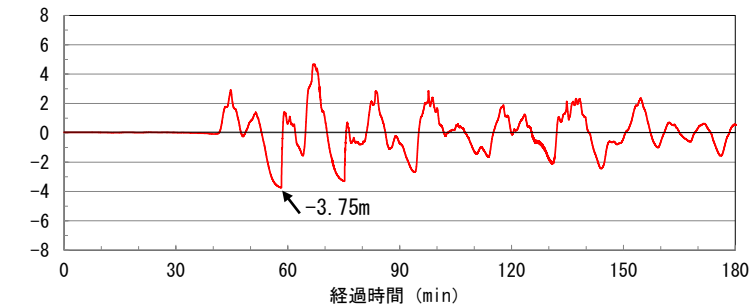
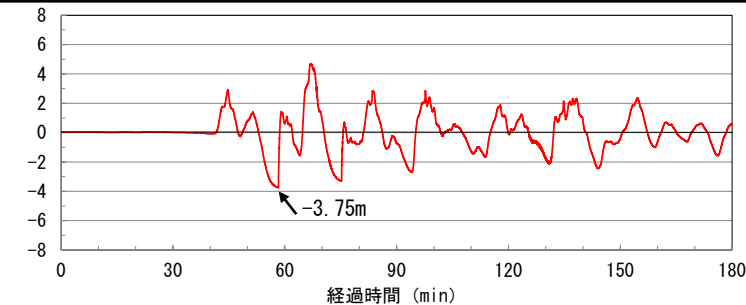


コメントNo.S5-36

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (4/5)

線形足し合せ結果【下降側】

- 陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を、 $T_s \sim T_s + T_d$ 間を10秒ピッチで変化させ、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と2つの陸上の斜面崩壊に起因する津波の波形との線形足し合せを行い、水位時刻歴波形での最大水位下降量を比較した。
- 重ね合わせた結果としての最大水位下降量は佐井エリアの方が大きい。



佐井エリアにおける線形足し合せ結果

知内エリアにおける線形足し合せ結果

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (21/21)



コメントNo.S5-36

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (5/5)

検討結果まとめ

- ・ 津軽海峡内に想定された5つの陸上の斜面崩壊（恵山エリア，函館エリア，知内エリア，佐井エリア，竜飛崎エリア）に起因する津波のうち，日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と重畳した場合に敷地への影響が比較的大きいと想定された佐井エリア，知内エリアについて，水位時刻歴波形の線形足し合せにより，敷地への影響を比較した結果，知内エリアに比べ佐井エリアの陸上の斜面崩壊に起因する津波の敷地への影響が有意に大きいことを確認した。
- ・ 以上より，日本海東縁部に想定される地震に伴う津波との組合せ対象として最も保守的な陸上の斜面崩壊は，佐井エリアの斜面崩壊と判断される。

(余白)

目次

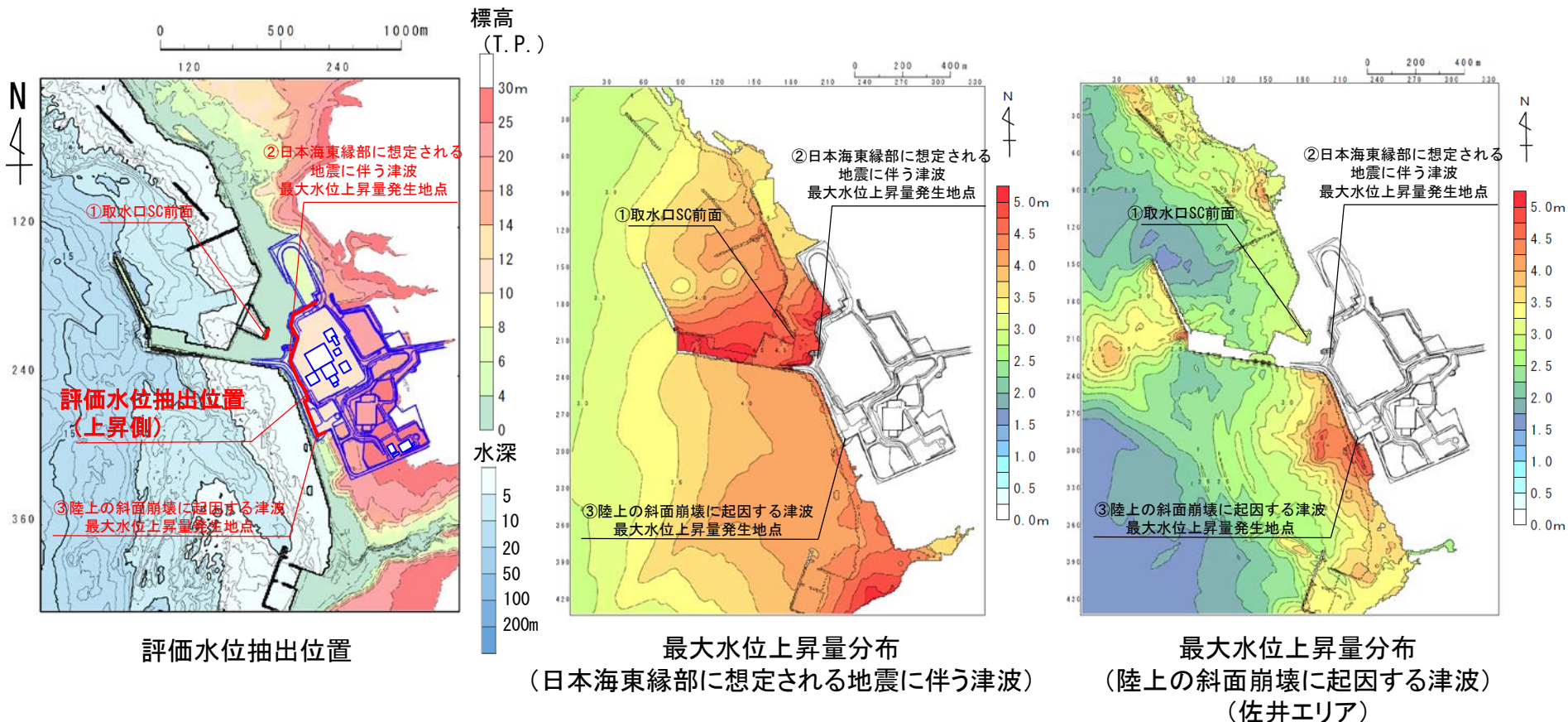
1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (1 / 6)

検討方針

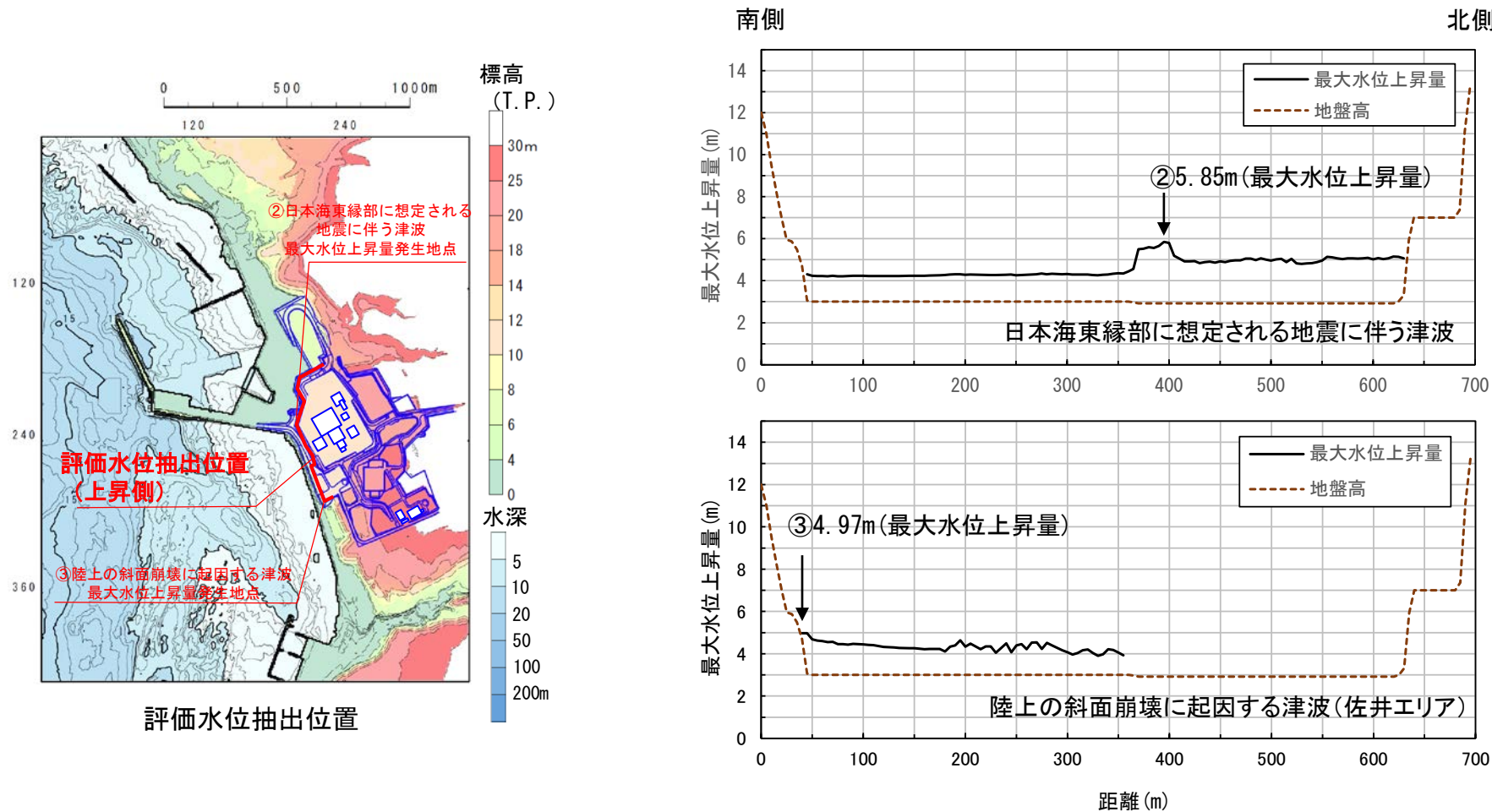
- 水位上昇側の線形足し合せ評価位置を取水口スクリーン室前面とすることの妥当性を示すために以下の検討を実施する。
- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波及び陸上の斜面崩壊（佐井エリア）に起因する津波の最大水位上昇量分布より、以下の3点で比較する（下図，次項P. 326参照）。
 - ① 取水口スクリーン室前面
 - ② 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の最大水位上昇量発生地点
 - ③ 陸上の斜面崩壊に起因する津波の最大水位上昇量発生地点
- 上記3点においてそれぞれの波形を線形に足し合せて、敷地の津波水位が最も高くなる地点を確認する。



9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (2 / 6)

評価水位抽出位置の最大水位上昇量分布

- 敷地前面の評価水位抽出位置（上昇側）における，日本海東縁部に想定される地震に伴う津波及び陸上の斜面崩壊（佐井エリア）に起因する津波の最大水位上昇量分布を並べて比較した結果，それぞれの津波水位が大きくなる範囲は異なることを確認した。

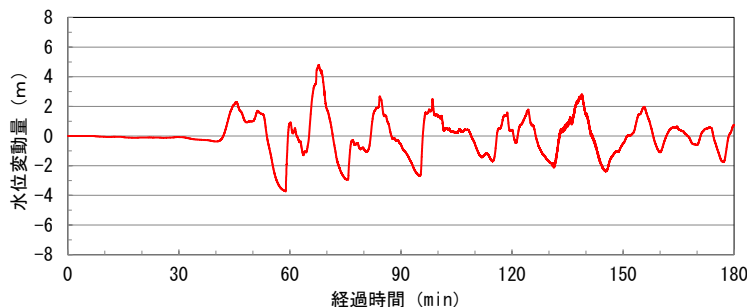


注: 最大水位上昇量の線がない箇所には津波は到達していない。

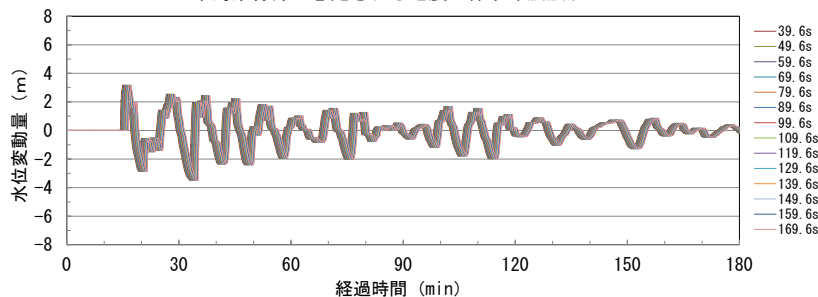
9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (3 / 6)

津波波形の線形足し合わせ : ①取水口スクリーン室前面

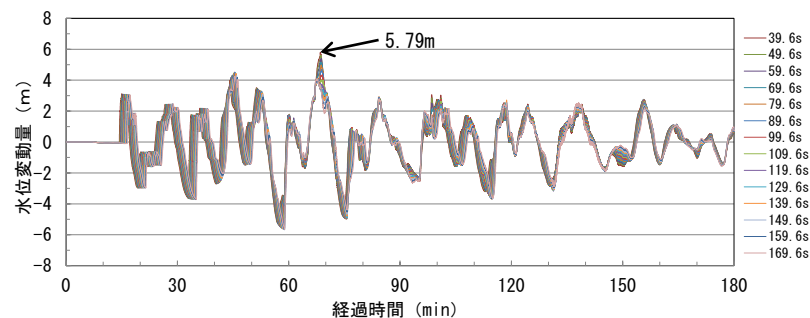
- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上の斜面崩壊に起因する津波を対象に、 T_s ※¹ (39.6s) 及び T_d ※² (134.1s) を考慮の上、取水口スクリーン室前面における津波波形の線形足し合わせを行った。
- その結果、線形足し合せによる最大水位上昇量は5.79mとなった。



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形



陸上の斜面崩壊に起因する津波波形を10sピッチで移動



取水口スクリーン室前面
線形足し合せ波形 (10sピッチ)

※ 1 : T_s : 斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間
 ※ 2 : T_d : 斜面崩壊位置での地震動継続時間

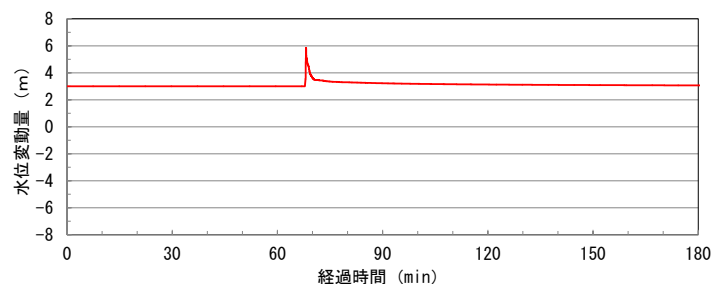
9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (4 / 6)

コメントNo.S5-36

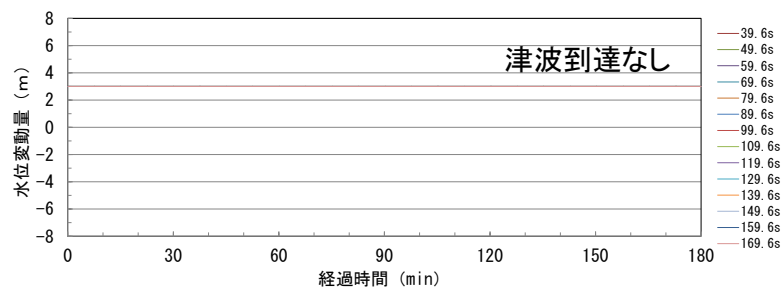


津波波形の線形足し合わせ：②日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の最大水位上昇量発生地点

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の最大水位上昇量発生地点には、陸上の斜面崩壊に起因する津波は到達しないため、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上の斜面崩壊に起因する津波の線形足し合わせはできないことを確認した。



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形

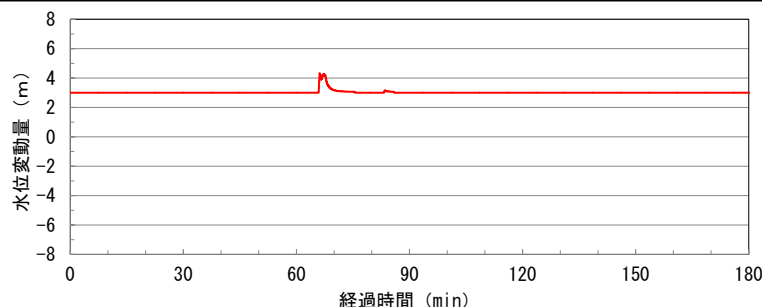


陸上の斜面崩壊に起因する津波波形を10sピッチで移動

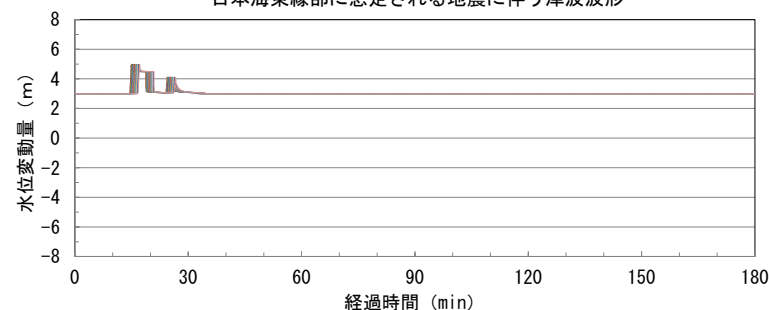
9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (5 / 6)

津波波形の線形足し合わせ：③陸上の斜面崩壊に起因する津波の最大水位上昇量発生地点

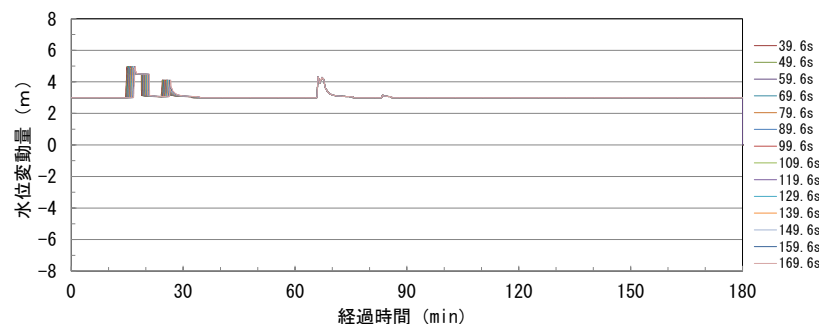
- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上の斜面崩壊に起因する津波を対象に、 T_s ※¹ (39.6s) 及び T_d ※² (134.1s) を考慮の上、陸上の斜面崩壊に起因する津波の最大水位上昇量発生地点における津波波形の線形足し合わせを行った。
- その結果、それぞれの最大水位上昇量発生時刻が50分程度ずれているため、それぞれの津波水位が重なる時刻はないことを確認した。



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形



陸上の斜面崩壊に起因する津波波形を10sピッチで移動



陸上の斜面崩壊に起因する津波の最大水位上昇量発生地点
線形足し合せ波形 (10sピッチ)

※1 : T_s : 斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間

※2 : T_d : 斜面崩壊位置での地震動継続時間

9-2. 線形足し合せ評価位置の検討 (6 / 6)



コメントNo.S5-36

津波波形の線形足し合わせ：まとめ

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上斜面崩壊（佐井エリア）に起因する津波との津波波形の線形足し合わせを検討した結果、評価水位抽出位置のうち、敷地の津波水位が最も高くなる地点は、①取水口スクリーン室前面であることが確認できた。
- したがって、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上の斜面崩壊に起因する津波との津波波形の線形足し合わせの検討は、取水口スクリーン室前面で実施する。

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について





10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性

検討方針

- 津波水位評価に津軽海峡や発電所専用港湾の影響が考慮されていることを確認するため、津軽海峡、発電所専用港湾及び津波の周期特性について検討する。
- 評価フロー及び評価内容は以下のとおり。

【評価フロー】

【評価内容】

①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握
(各代表地点の周期毎の増幅特性)

➢ 正弦波による津波解析を実施し、津軽海峡内の代表地点及び発電所専用港湾の地点固有の周期特性を把握する。

②. 津波の周期特性の把握
(各代表地点における津波の周期特性)

- ・ 津軽海峡開口部における津波周期特性
➢ 津軽海峡開口部の水位時刻歴波形を用いたスペクトル解析を実施して、津軽海峡開口部から津軽海峡に入射する津波の周期特性を把握する。
- ・ 基準津波策定位置の津波周期特性
➢ 基準津波策定位置の水位時刻歴波形を用いたスペクトル解析を実施して、津軽海峡内を伝播して敷地沖合に到達する津波の持つ周期特性を把握する。
- ・ 発電所専用港湾内の津波周期特性
➢ 取水口スクリーン室前面の水位時刻歴波形を用いたスペクトル解析を実施して、発電所専用港湾の影響を受けた津波の周期特性を把握する。

③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

➢ 津軽海峡内の代表地点及び発電所専用港湾の地点固有の周期特性と各波源から伝播してくる津波の周期特性とを比較して、津波の解析波形に地形の影響が適切に考慮されていることを確認する。

(余白)

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について





10-1. 検討方法 (1 / 4)

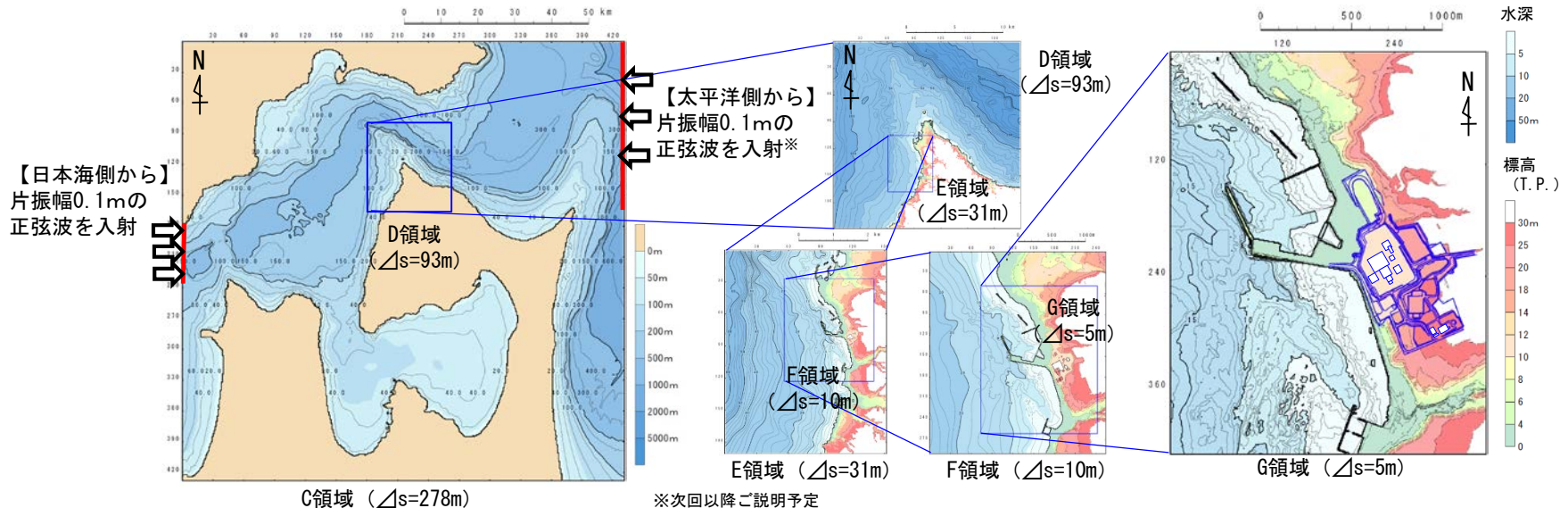
①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握 (1 / 2) : 計算条件

コメントNo.S5-37

・ 周期を変化させた正弦波による津波解析を実施して、津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性を把握する。下記に主な計算条件を示す。

計算条件一覧

項目	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域
計算格子間隔 Δs	278m (2500/9)	93m (2500/27)	31m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
計算時間間隔 Δt	0.2秒				
基礎方程式	非線形長波				
沖合境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 沖側境界：正弦波による水位変動を流量として入射し、岸からの反射波については自由透過させる。 側面水域境界：自由透過 				
陸側境界条件	完全反射条件	小谷ほか(1998) ⁽⁵⁸⁾ の遡上境界条件			
入射波	正弦波：5波以上、振幅・0.1m、周期：5分～40分(1分ピッチ)、40分～150分(10分ピッチ)、150分～360分(30分ピッチ)				
海底摩擦	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (土木学会(2016) ⁽⁵³⁾ より)				
水平渦動粘性係数	考慮しない				
潮位条件	T.P. $\pm 0.0\text{m}$				
計算時間	4時間を基本とし、入射周期が長いケースは5波相当の時間とする。				





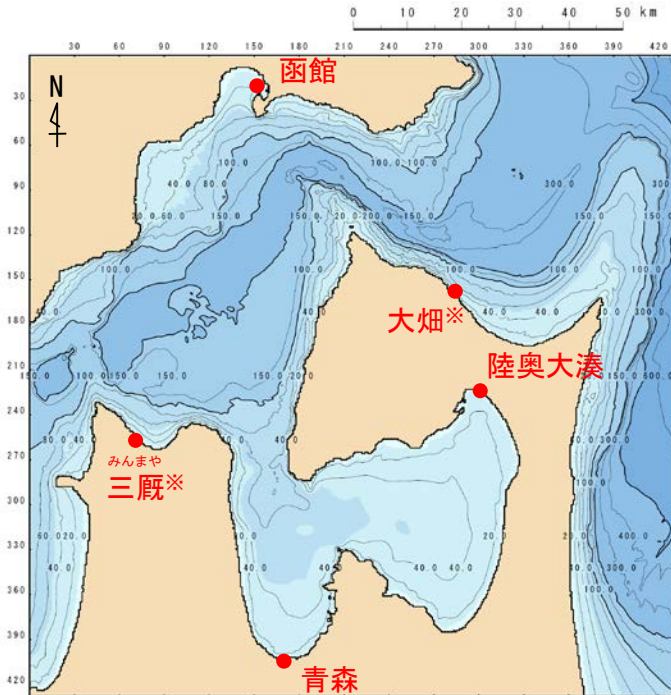
10-1. 検討方法 (2 / 4)

①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握 (2 / 2) : 評価方法・代表地点

正弦波入射解析による周期特性把握方法は以下のとおりとする。

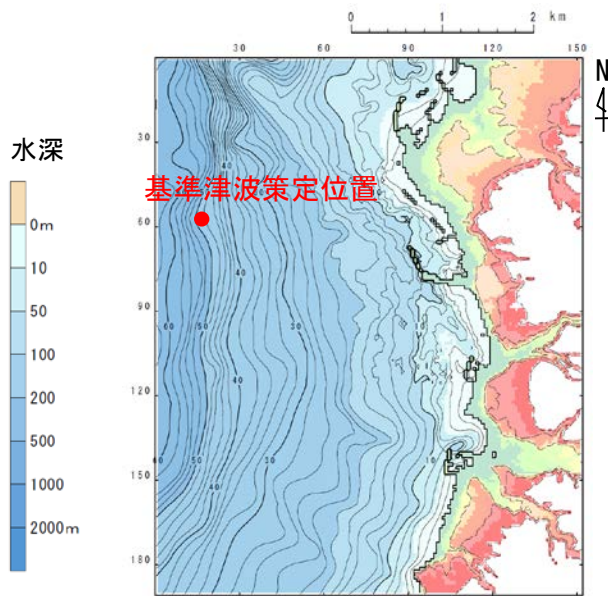
- 各周期における最大水位上昇量分布を確認し、津波の増幅特性と地形の関係を把握する。
- 津軽海峡や発電所専用港湾において最大水位の代表地点を複数設定 (下図) し、各周期に対して水位の増幅等を分析することで、津軽海峡や発電所専用港湾の周期特性を把握する。

日本海側からの津波に対する検討結果は、P. 341, P. 342に記載



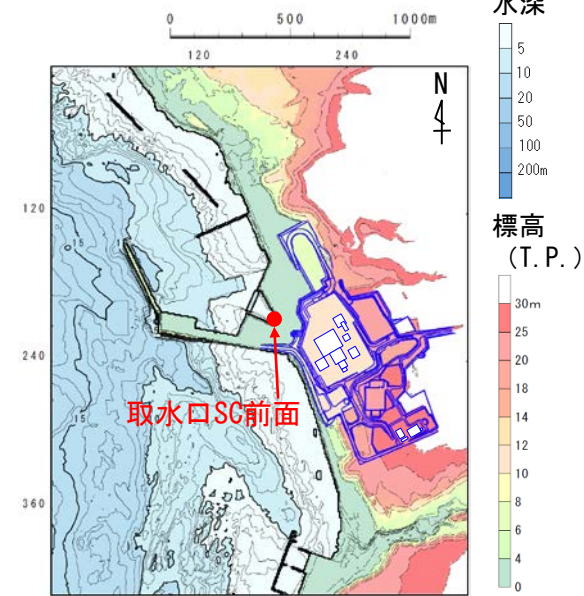
C領域 (Δs=278m)

※「大畑」は太平洋側からの津波のみ、「三厩」は日本海側からの津波のみを対象とする。



E領域 (Δs=31m)

周期特性の代表地点



G領域 (Δs=5m)



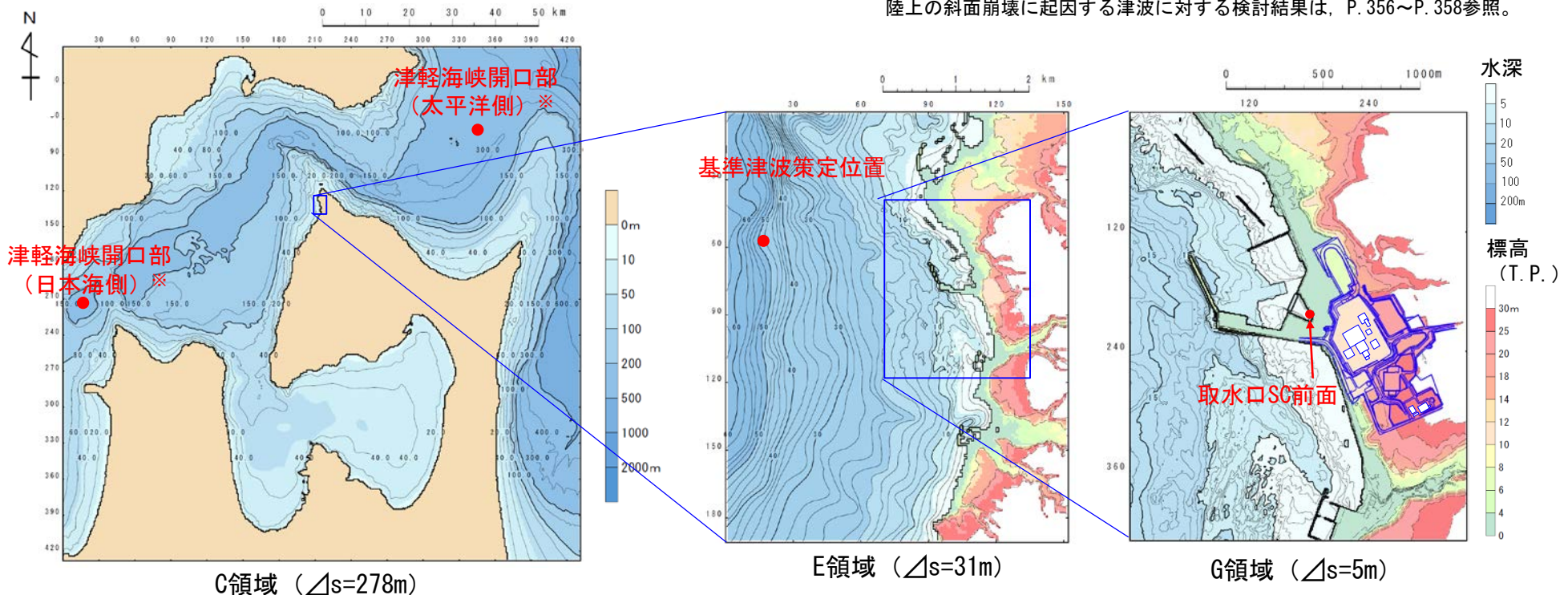
10-1. 検討方法 (3 / 4)

②. 津波の周期特性の把握：評価方法・代表地点

各波源から発電所に到達する津波の周期特性の把握のため、以下の目的に応じた地点の時刻歴波形を用いてスペクトル解析を実施する。

- ・ 津軽海峡開口部の津波周期特性把握：津軽海峡開口部
- ・ 敷地沖合の津波周期特性把握：基準津波策定位置
- ・ 発電所専用港湾の影響を受けた発電所地点の周期特性把握：敷地内の代表点として、取水口スクリーン室前面

日本海側からの津波に対する検討結果は、P. 344～P. 346参照。
火山現象に起因する津波に対する検討結果は、P. 350～P. 352参照。
陸上の斜面崩壊に起因する津波に対する検討結果は、P. 356～P. 358参照。



※「火山現象に起因する津波」は、日本海側のみを対象とする。
また、「陸上の斜面崩壊に起因する津波」は、津軽海峡内で発生するため両地点とも対象としない。

スペクトル解析代表地点



10-1. 検討方法 (4 / 4)

③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握」において正弦波解析により把握した各地点の固有の周期特性と「②. 津波の周期特性の把握」において検討した各代表地点における津波の周期特性とを比較して、津波の解析波形に地形の影響が適切に考慮されていることを確認する。

(余白)

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について

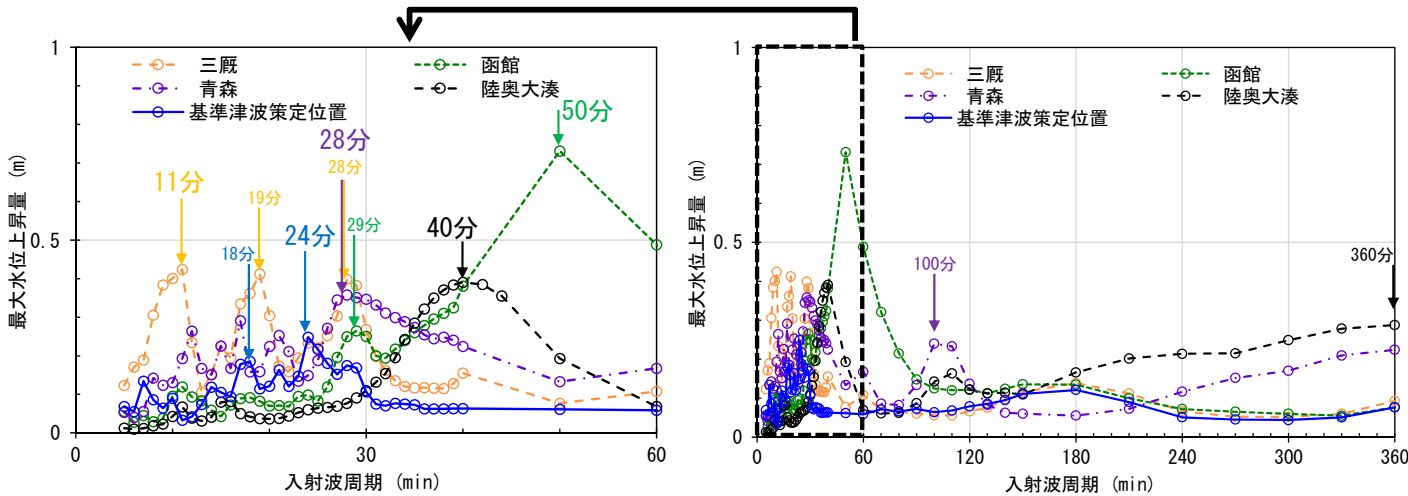




①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握：評価結果 (1/2)

津軽海峡内

- 津軽海峡内の代表地点における正弦波の増幅特性は以下のとおり。
- 基準津波策定位置では、他の代表地点に比べ顕著な水位増幅傾向は認められない。

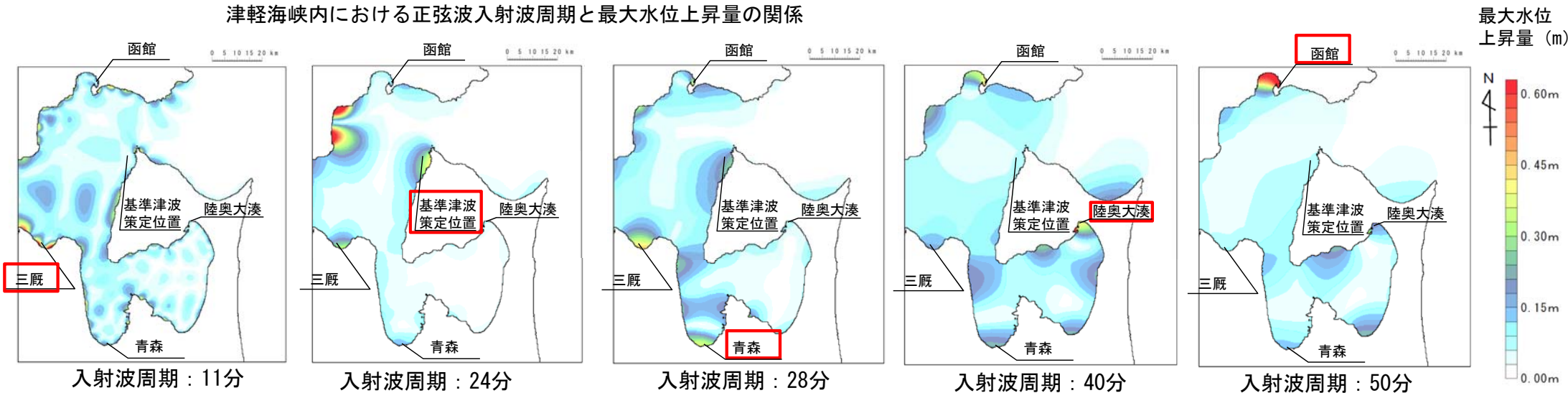


津軽海峡内における正弦波入射波周期と最大水位上昇量の関係

代表地点において水位の増幅が認められる周期

代表地点	顕著な水位の増幅が認められる周期
三厩	11分, 19分, 28分
函館	29分, 50分
青森	28分, 100分
陸奥大湊	40分, 360分
基準津波策定位置	18分, 24分

太字：最も水位の増幅率が大きな周期



正弦波入射波周期と最大水位上昇量分布の関係

□：該当周期で水位の増幅が認められる地点

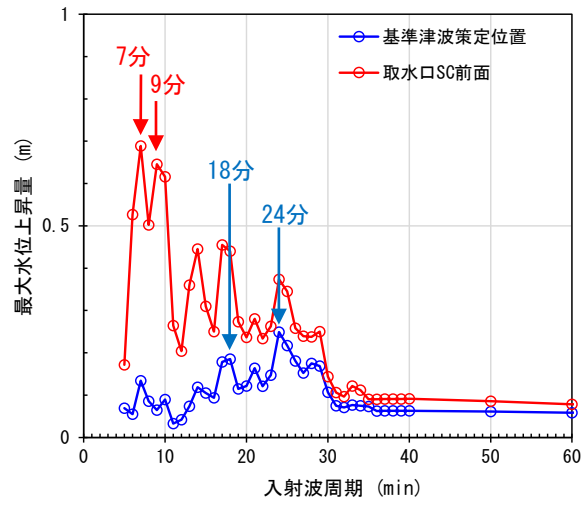


10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (2/16)

①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性の把握：評価結果 (2/2)

発電所専用港湾周辺

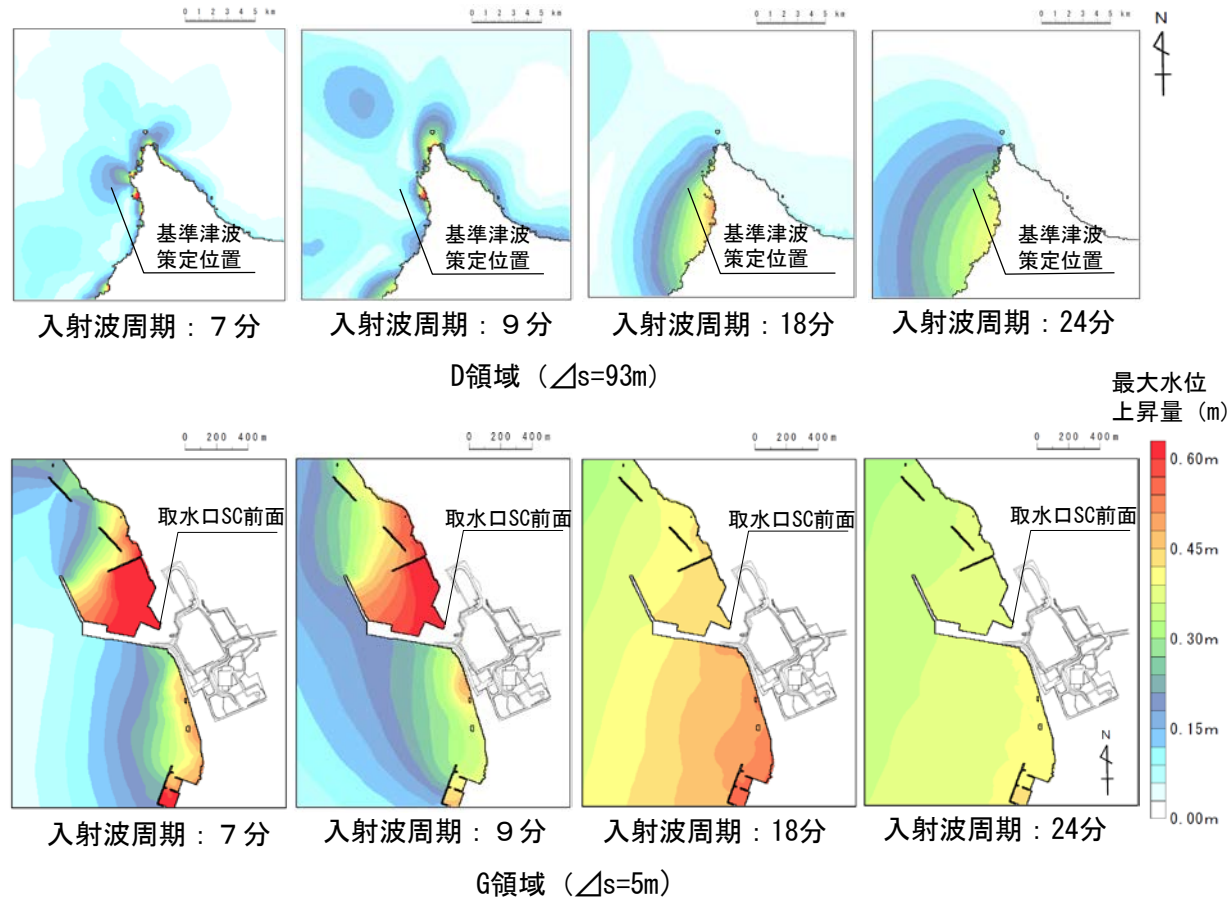
- ・ 発電所専用港湾周辺の代表地点における正弦波の増幅特性は以下のとおり。
- ・ 基準津波策定位置では、水位の増幅率は大きくないものの、周期18分及び24分に水位の増幅が認められる。
- ・ 取水口スクリーン室前面においても、周期18分及び24分で水位の増幅が認められ、さらに周期7分及び9分では顕著な水位の増幅が認められる。



発電所専用港湾周辺における正弦波入射波周期と最大水位上昇量の関係

代表地点において水位の増幅が認められる周期

代表地点	顕著な水位増幅が認められる周期
基準津波策定位置	18分, 24分
取水口スクリーン室前面	7分, 9分



正弦波入射波周期と最大水位上昇量分布の関係

(余白)

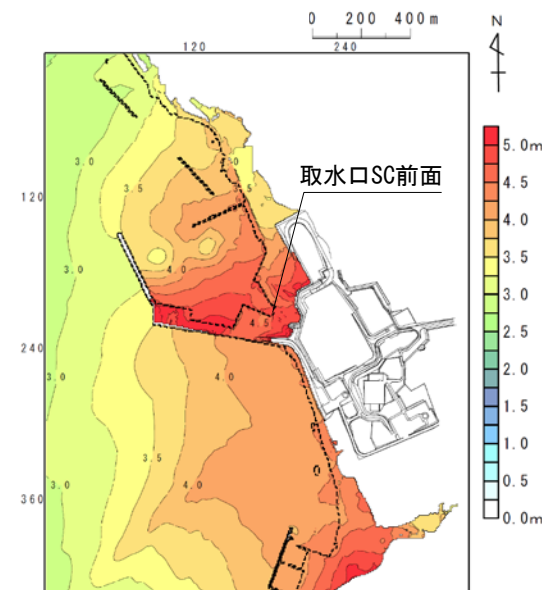
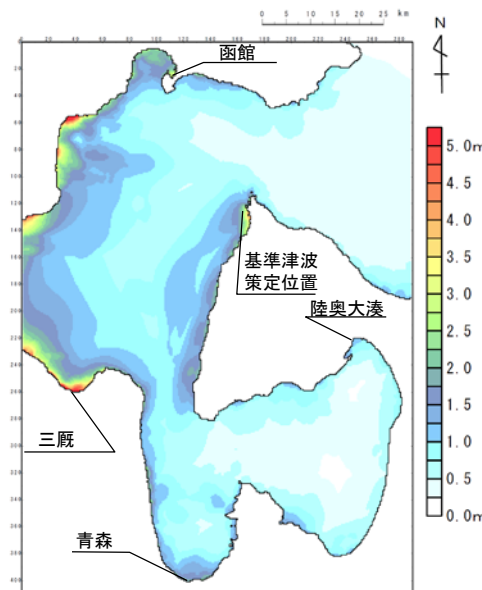
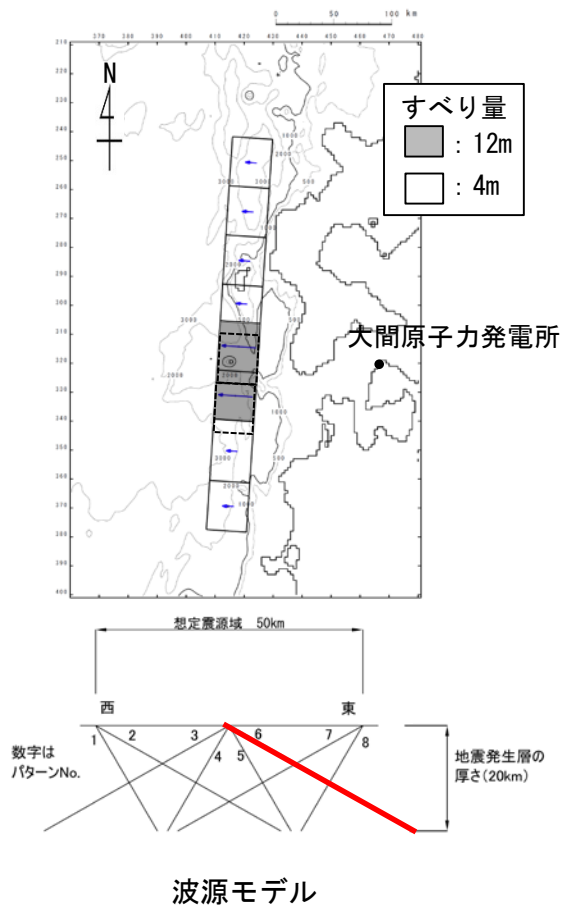


10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (3/16)

(1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (1/5)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析対象津波

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波のスペクトル解析の対象とした波源及び最大水位上昇量は以下のとおり。



最大水位上昇量分布

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析対象津波



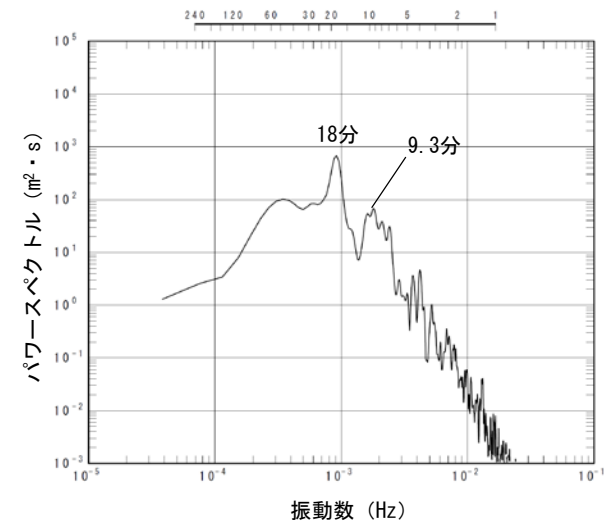
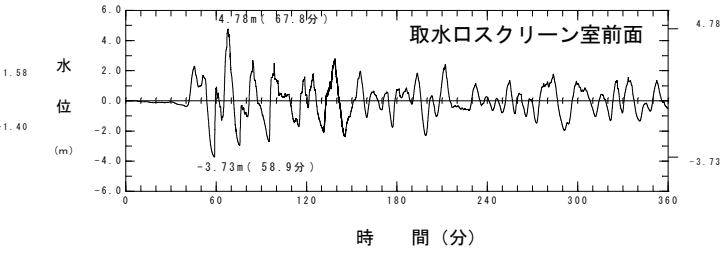
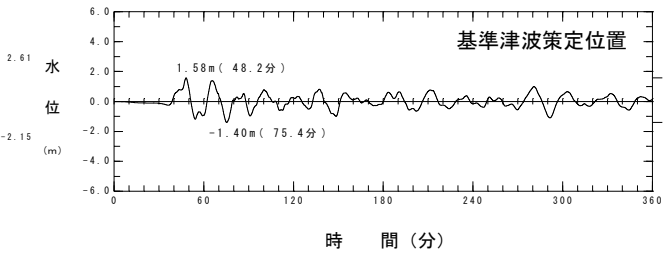
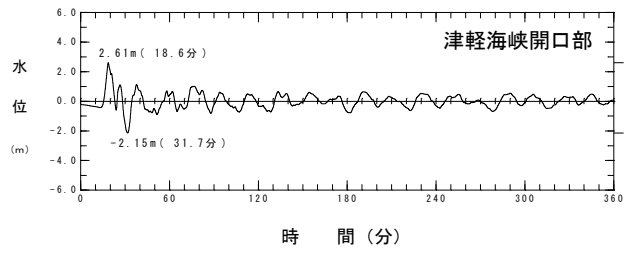
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (4/16)

(1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (2/5)

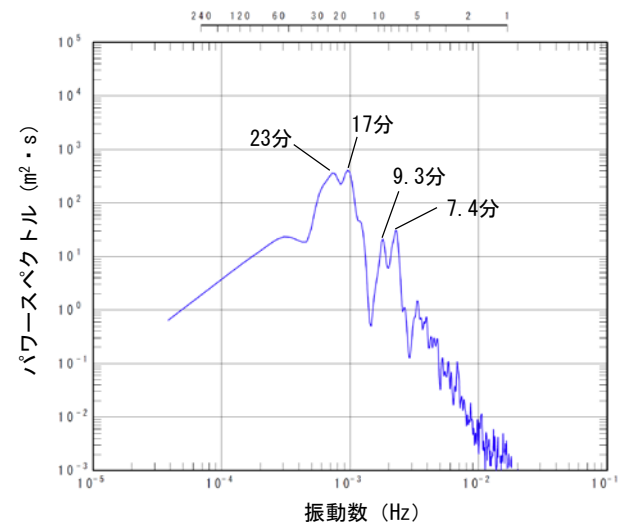
②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析結果

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波のスペクトル解析結果は以下のとおり。

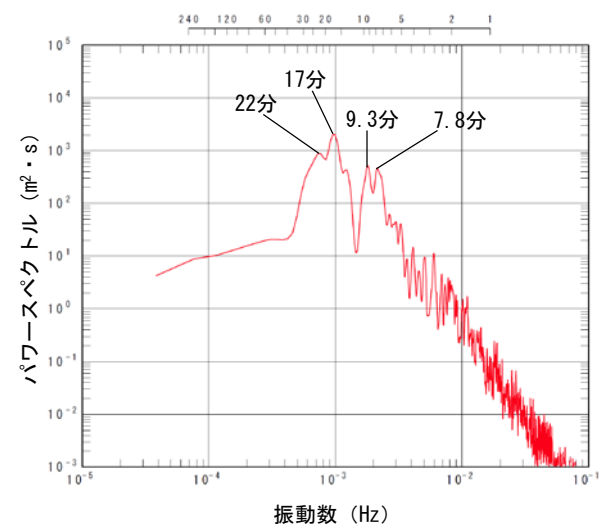
- ・ 津軽海峡開口部：津軽海峡入射時には、周期18分が卓越しており、周期9分にもピークが認められる。
- ・ 基準津波策定位置：津軽海峡内の伝播に伴い、周期17分~23分程度が卓越し、周期7分~9分程度にもピークが現れる。
- ・ 取水口スクリーン室前面：さらに発電所専用港湾内への伝播に伴い、周期17分~22分及び7分~9分程度の強度が顕著に増す。



津軽海峡開口部



基準津波策定位置



取水口スクリーン室前面

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果

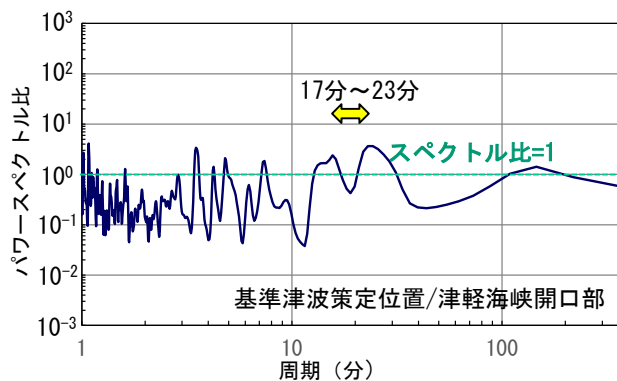
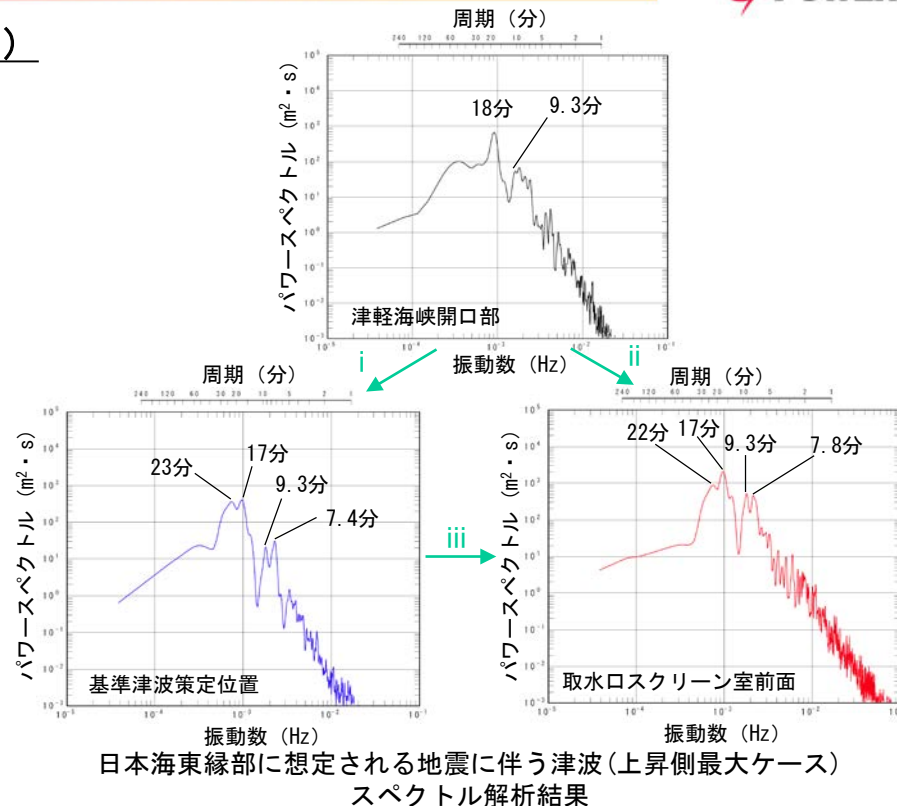


10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (5/16)

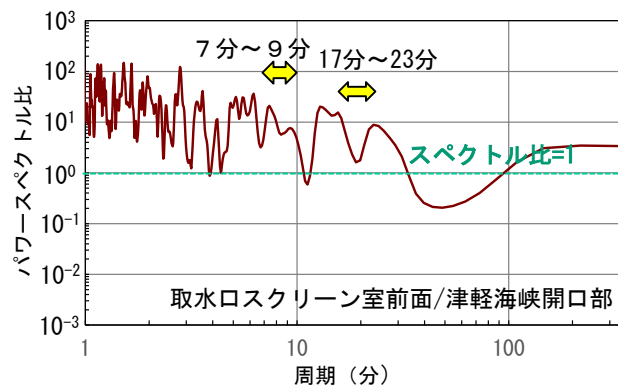
(1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (3/5)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル比

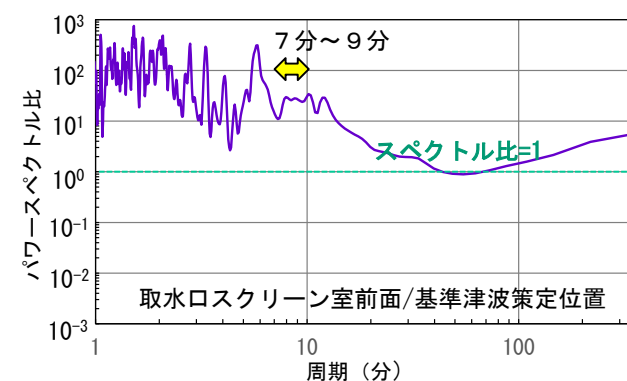
- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の代表地点のスペクトル比を比較した。
 - i 【津軽海峡開口部→基準津波策定位置】
スペクトル比はおおむね1付近または短周期（約10分以下）では1以下に分布する。基準津波策定位置において卓越する周期17分～23分にもピークが認められる。
 - ii 【津軽海峡開口部→取水口スクリーン室前面】
取水口スクリーン室前面で顕著な増幅特性を示した7分～9分程度以下の短周期のスペクトル比が1を超えて大きくなる。基準津波策定位置において卓越する周期17分～23分にもピークが認められる。
 - iii 【基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面】
取水口スクリーン室前面で顕著な増幅特性を示した7分～9分程度以下の短周期のスペクトル比が1を超えて大きくなる。



i 津軽海峡開口部→基準津波策定位置



ii 津軽海峡開口部→取水口スクリーン室前面



iii 基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波(上昇側最大ケース)代表地点間のスペクトル比



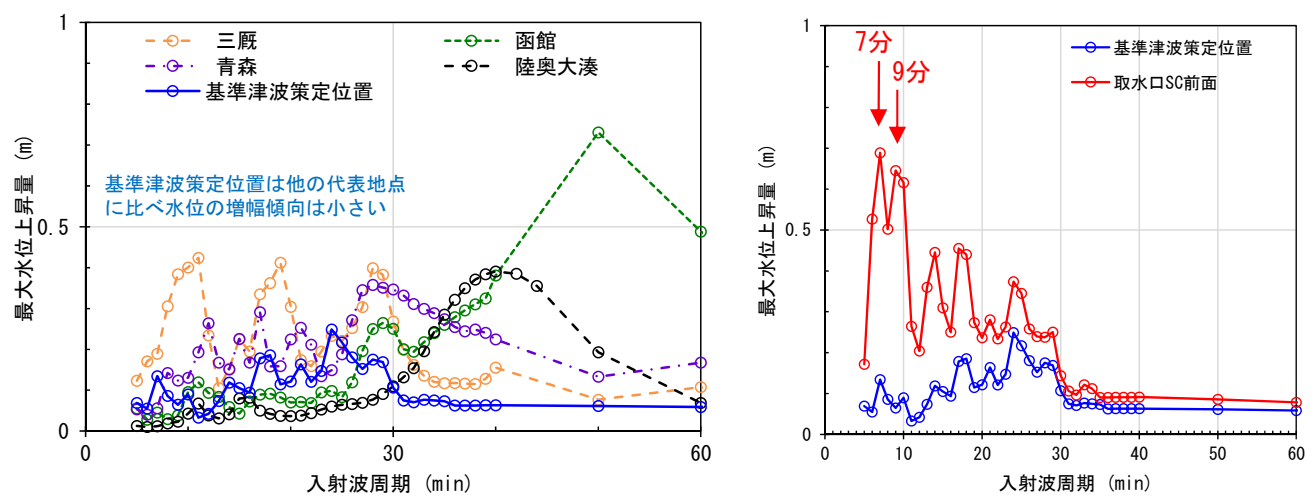
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (6/16)

(1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (4/5)

③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

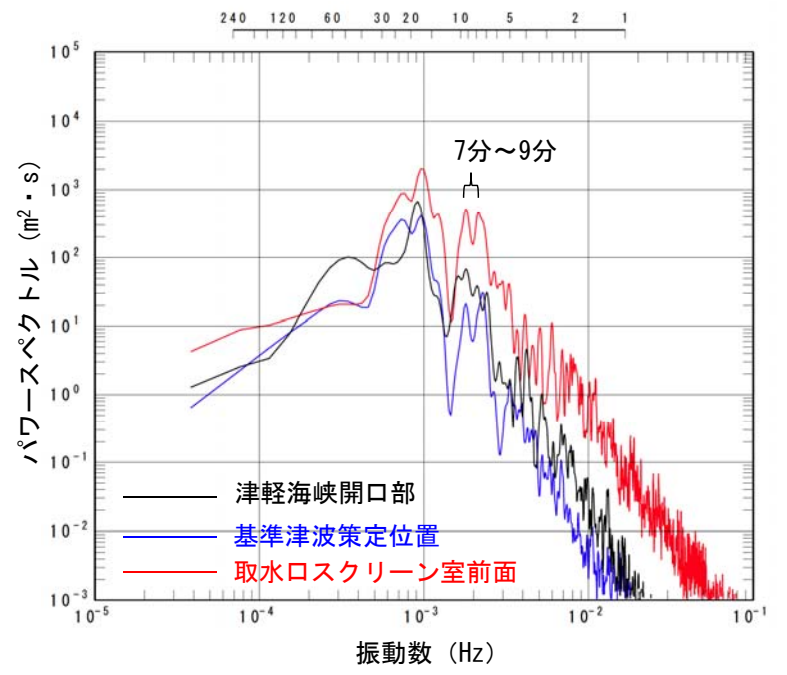
- 「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」の検討 (正弦波による解析) (P. 341, P. 342参照) では, 基準津波策定位置は津軽海峡の他の代表地点に比べ水位増幅特性の傾向は小さいこと及び取水口スクリーン室前面では, 周期7分及び9分で顕著な水位増幅特性を有することが確認された。
- 「②. 津波の周期特性」の検討 (スペクトル解析) (P. 345参照) では, 津軽海峡開口部と基準津波策定位置における周期特性には大きな変化は認められないが, 取水口スクリーン室前面では, 7分~9分の周期が顕著に増幅していることが確認された。
- 以上より, これらの正弦波による各代表地点の周期毎の増幅特性と, スペクトル解析による各代表地点における津波の周期特性とは, 整合的な結果を示すため, 津波の解析波形には地形の影響が適切に反映されていることが確認できた。

「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」評価結果
(各代表地点の周期毎の増幅特性)



正弦波入射波周期と最大水位上昇量の関係
日本海側からの正弦波による解析結果 (P. 341, P. 342参照)

「②. 津波の周期特性」評価結果
(各代表地点における津波の周期特性)



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果 (P. 345参照)



10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (7/16)

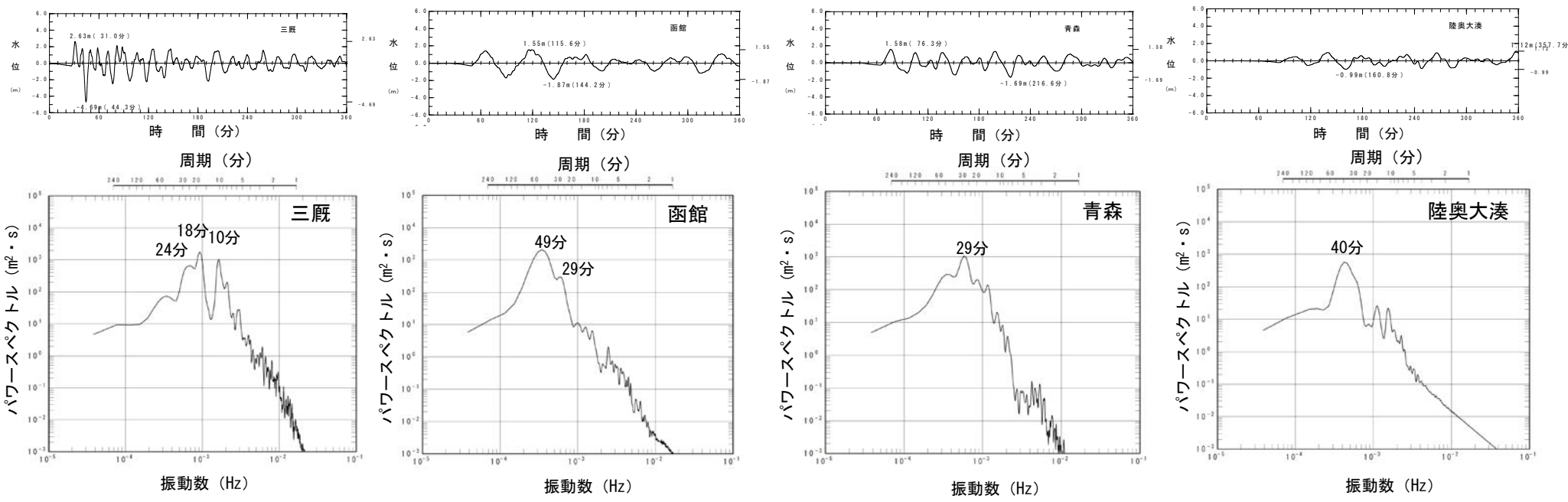
(1) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (5/5)

③. 【補足】津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

- 各代表地点において、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の解析波形には、正弦波による解析で得られた水位が増幅する周期と整合する周期にピークが認められた。
- 以上からも、津波の解析波形に津軽海峡の地形の影響が適切に考慮されていることが確認できた。

代表地点において水位の増幅が認められる周期
(日本海側からの正弦波による解析結果) (P. 341参照)

代表地点	顕著な水位の増幅が認められる周期
三厩	11分, 19分, 28分
函館	29分, 50分
青森	28分, 100分
陸奥大湊	40分, 360分



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波(上昇側最大ケース)
(スペクトル解析結果)

(余白)

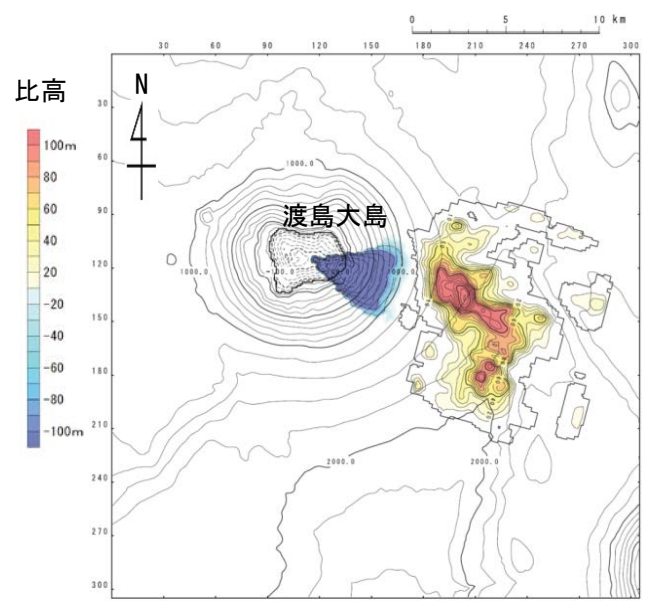


10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (8/16)

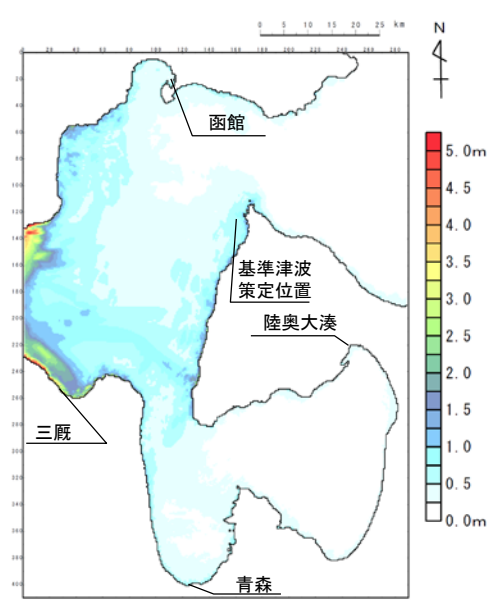
(2) 火山現象に起因する津波 (1/5)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析対象津波

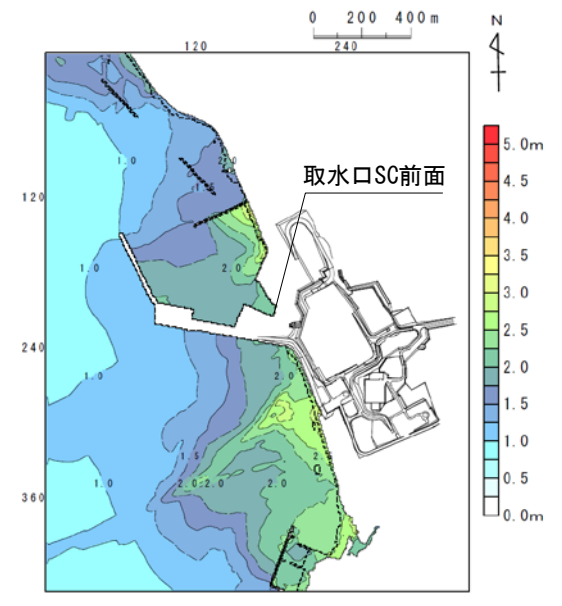
火山現象に起因する津波のスペクトル解析の対象とした波源及び最大水位上昇量は以下のとおり。



波源モデル
(kinematic landslideモデル)



C領域 (Δs=278m)



G領域 (Δs=5m)
最大水位上昇量分布

火山現象に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析対象津波



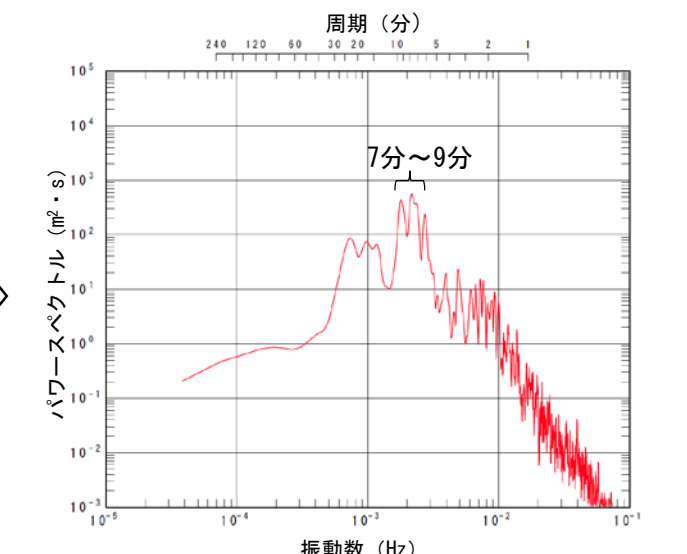
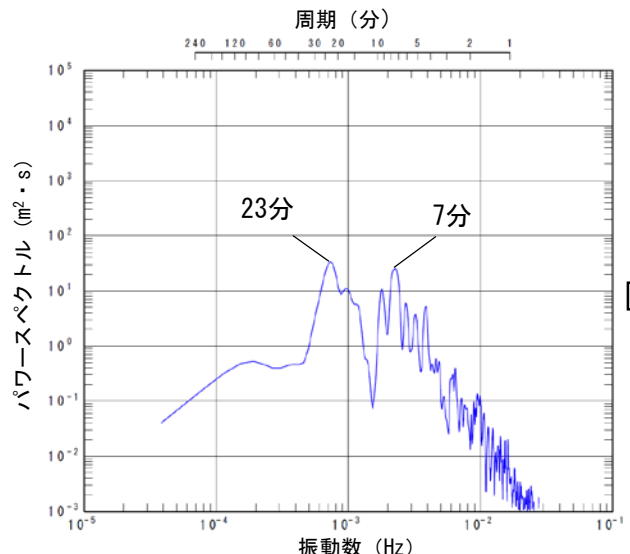
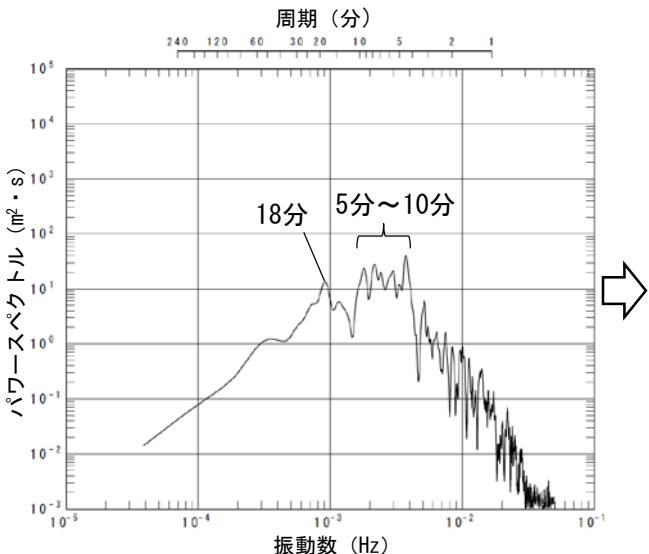
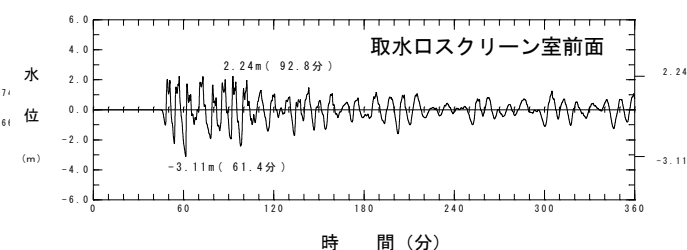
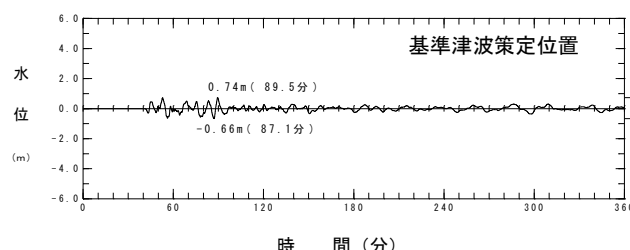
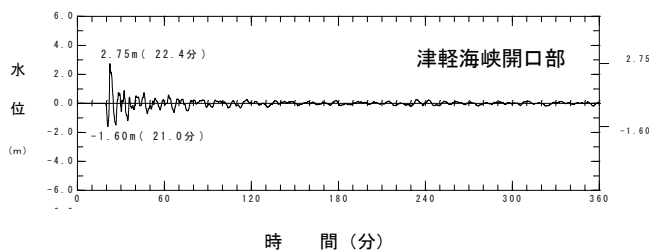
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (9/16)

(2) 火山現象に起因する津波 (2/5)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析結果

火山現象に起因する津波のスペクトル解析結果は以下のとおり。

- ・ 津軽海峡開口部：津軽海峡入射時には、周期5分～10分が卓越しており、周期18分にもピークが認められる。
- ・ 基準津波策定位置：津軽海峡内の伝播に伴い、周期23分程度が卓越し、周期7分程度にもピークが現れる。
- ・ 取水口スクリーン室前面：さらに発電所専用港湾内への伝播に伴い、周期7分～9分程度の強度が顕著に増す。



火山現象に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果

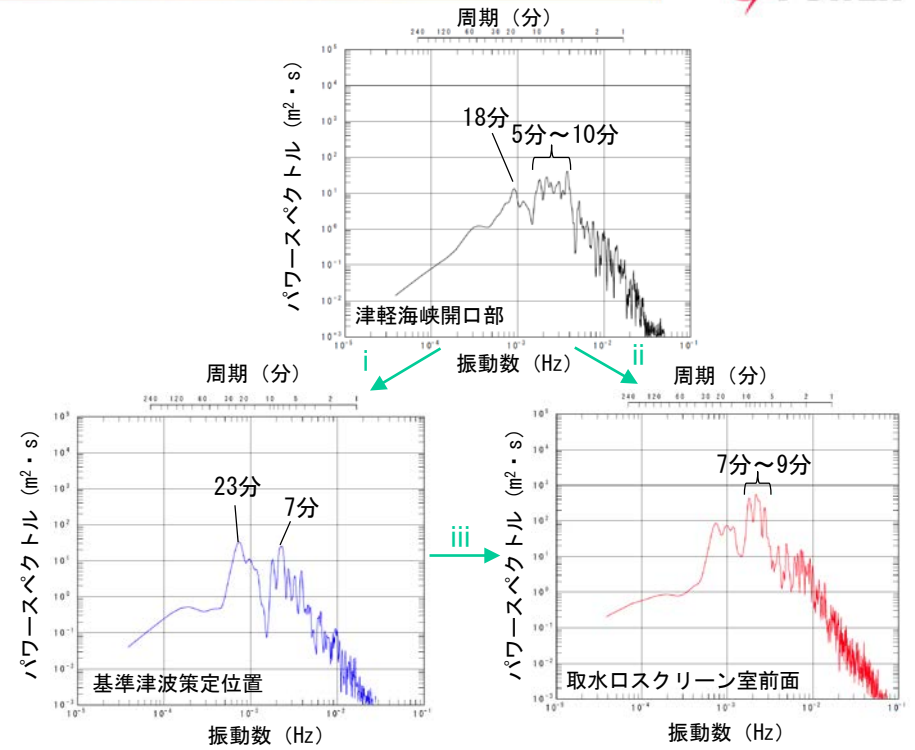


10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (10/16)

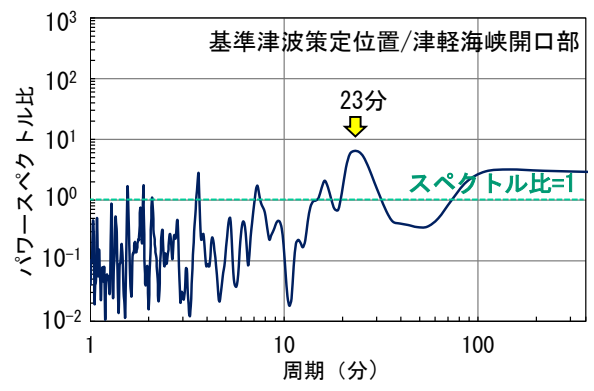
(2) 火山現象に起因する津波 (3/5)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル比

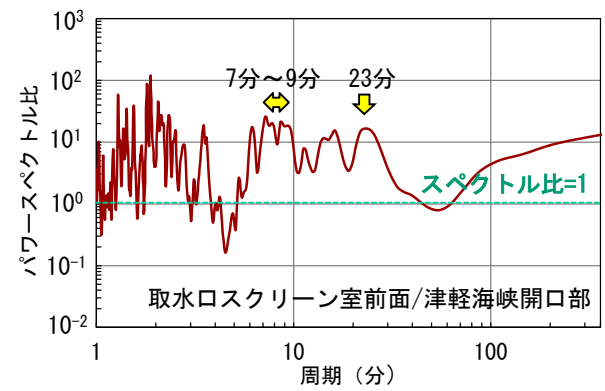
- 火山現象に起因する津波の代表地点のスペクトル比を比較した。
 - i 【津軽海峡開口部→基準津波策定位置】
スペクトル比はおおむね1付近または短周期（約10分以下）では1以下に分布する。基準津波策定位置において卓越する周期23分にピークが認められる。
 - ii 【津軽海峡開口部→取水口スクリーン室前面】
取水口スクリーン室前面で顕著な増幅特性を示した7分～9分程度以下の短周期のスペクトル比がおおむね1を超えて大きくなる。基準津波策定位置において卓越する周期23分にもピークが認められる。
 - iii 【基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面】
スペクトル比が1を超えて大きくなる。取水口スクリーン室前面で顕著な増幅特性を示した周期7分～9分程度及びその周期周辺にピークが認められる。



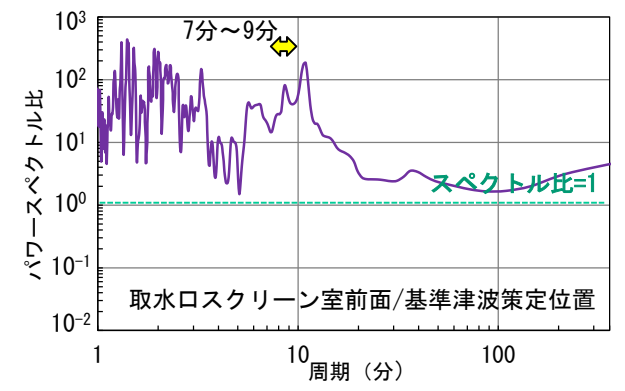
火山現象に起因する津波(上昇側最大ケース)スペクトル解析結果



i 津軽海峡開口部→基準津波策定位置



ii 津軽海峡開口部→取水口スクリーン室前面



iii 基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面

火山現象に起因する津波(上昇側最大ケース)代表地点間のスペクトル比



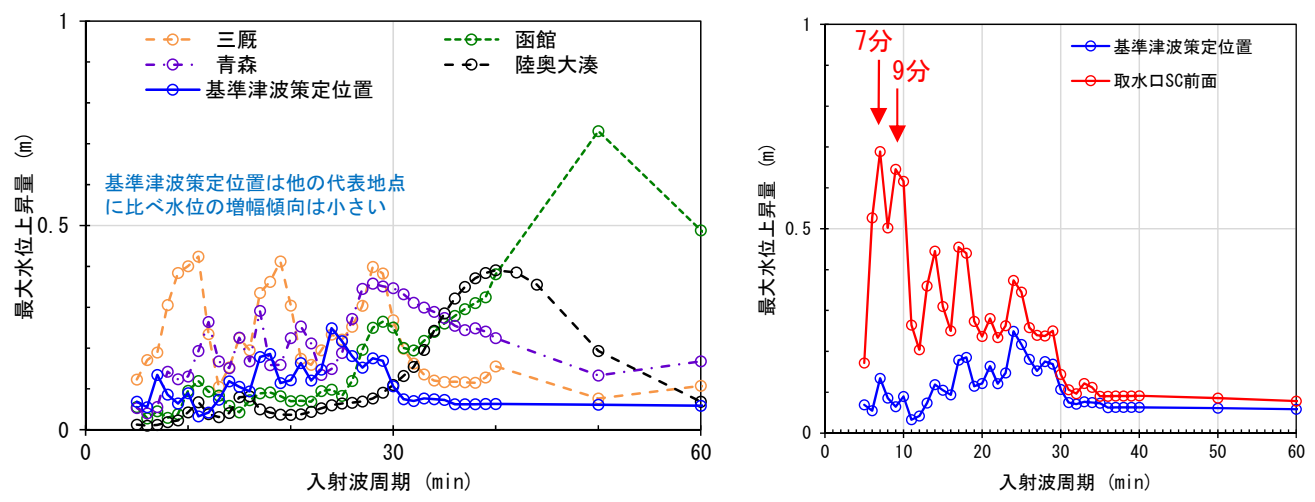
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (11/16)

(2) 火山現象に起因する津波 (4/5)

③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

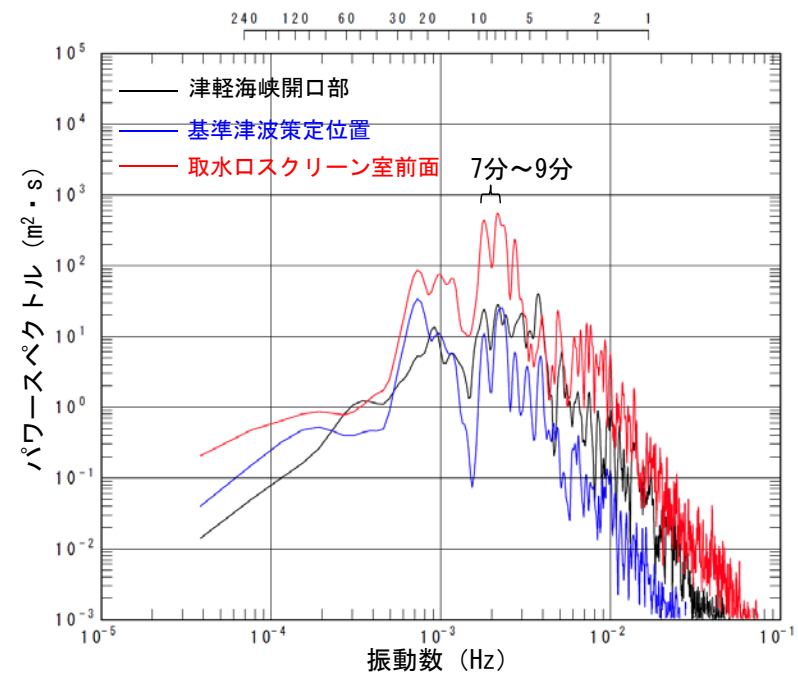
- 「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」の検討 (正弦波による解析) (P. 341, P. 342参照) では, 基準津波策定位置は津軽海峡の他の代表地点に比べ水位増幅特性の傾向は小さいこと及び取水口スクリーン室前面では, 周期7分及び9分で顕著な水位増幅特性を有することが確認された。
- 「②. 津波の周期特性」の検討 (スペクトル解析) (P. 351参照) では, 津軽海峡開口部と基準津波策定位置における周期特性には大きな変化は認められないが, 取水口スクリーン室前面では, 7分~9分の周期が顕著に増幅していることが確認された。
- 以上より, これらの正弦波による各代表地点の周期毎の増幅特性と, スペクトル解析による各代表地点における津波の周期特性とは, 整合的な結果を示すため, 津波の解析波形には地形の影響が適切に反映されていることが確認できた。

「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」評価結果
(各代表地点の周期毎の増幅特性)



正弦波入射波周期と最大水位上昇量の関係
日本海側からの正弦波による解析結果 (P. 341, P. 342参照)

「②. 津波の周期特性」評価結果
(各代表地点における津波の周期特性)



火山現象に起因する津波 (上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果 (P. 351参照)



10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (12/16)

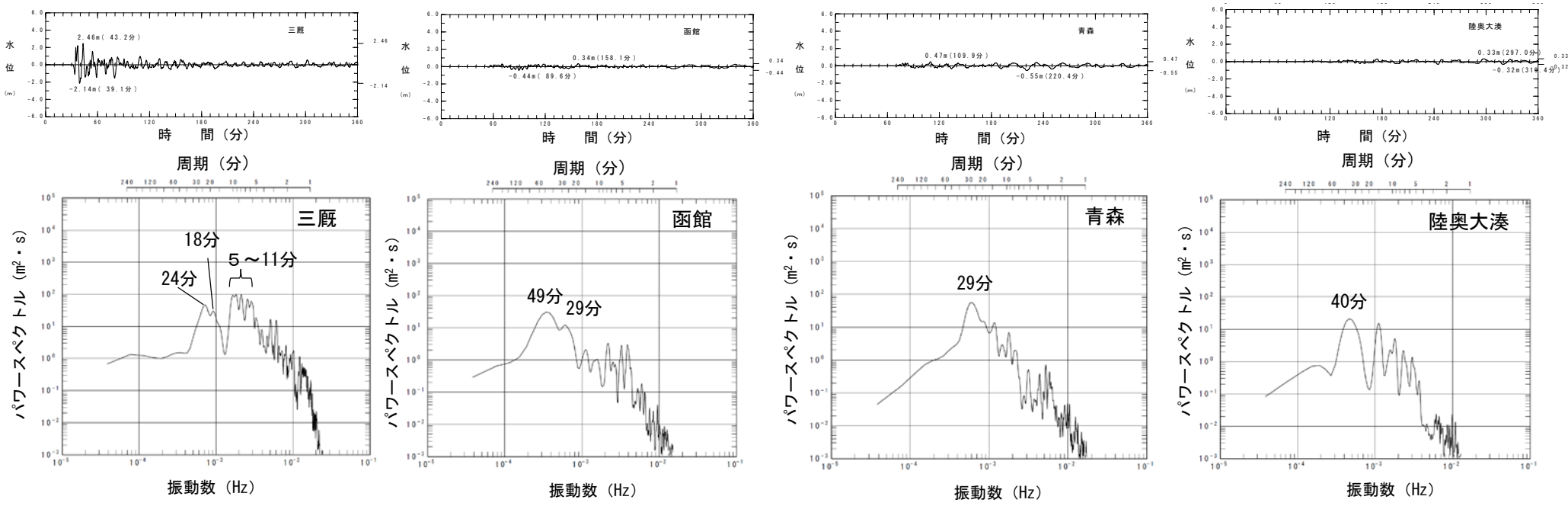
(2) 火山現象に起因する津波 (5/5)

③. 【補足】津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

- 各代表地点において、火山現象に起因する津波の解析波形には、正弦波による解析で得られた水位が増幅する周期と整合する周期にピークが認められた。
- 以上からも、津波の解析波形に津軽海峡の地形の影響が適切に考慮されていることが確認できた。

代表地点において水位の増幅が認められる周期
(日本海側からの正弦波による解析結果) (P.341参照)

代表地点	顕著な水位の増幅が認められる周期
三厩	11分, 19分, 28分
函館	29分, 50分
青森	28分, 100分
陸奥大湊	40分, 360分



火山現象に起因する津波(上昇側最大ケース)
(スペクトル解析結果)

(余白)



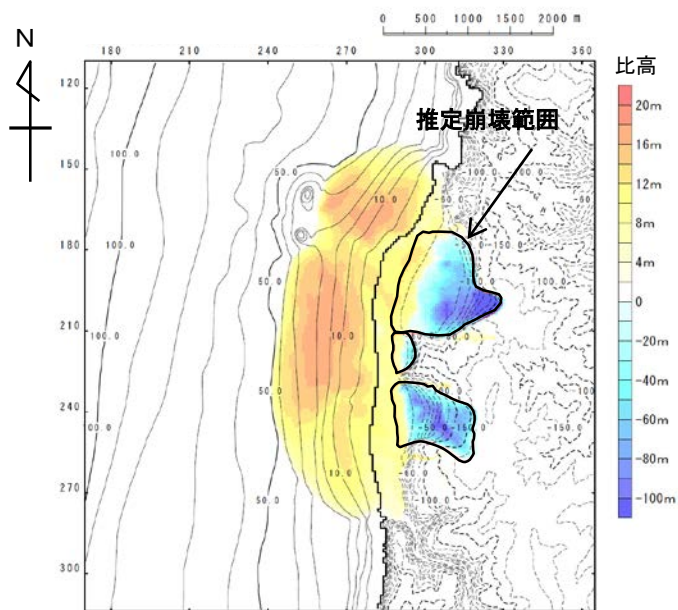
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (13 / 16)

(3) 陸上の斜面崩壊に起因する津波* (1 / 4)

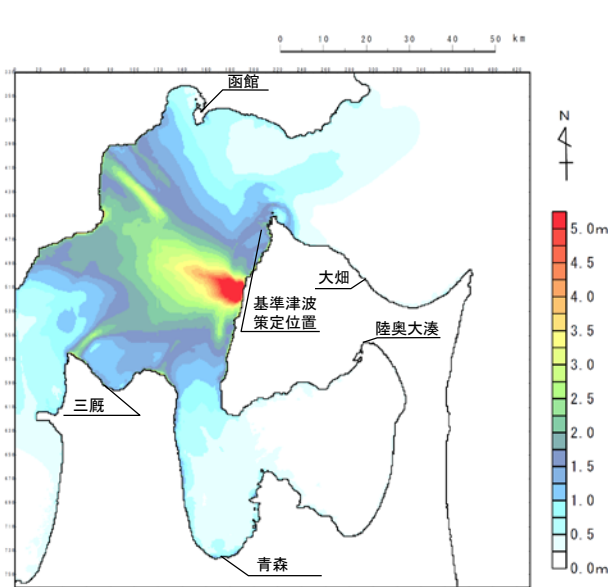
②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析対象津波

*佐井エリアの陸上の斜面崩壊に起因する津波は、敷地へ南西方向から伝播してくるため、伝播経路が大局的に同じである日本海側からの津波に分類。

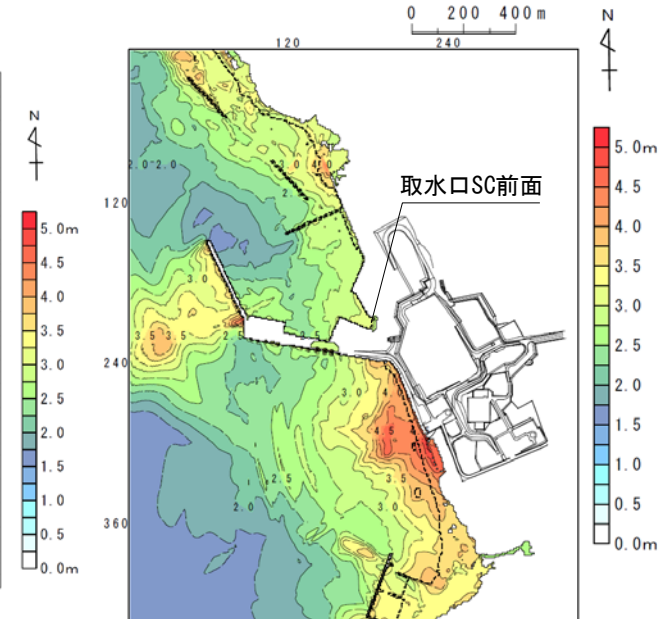
陸上の斜面崩壊に起因する津波のスペクトル解析の対象とした波源及び最大水位上昇量は以下のとおり。



波源モデル
(kinematic landslideモデル)



C領域 (Δs=278m)



最大水位上昇量分布

陸上の斜面崩壊に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析対象津波



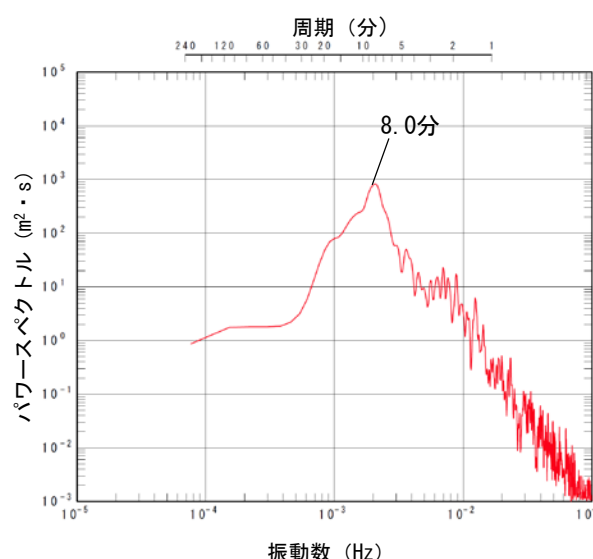
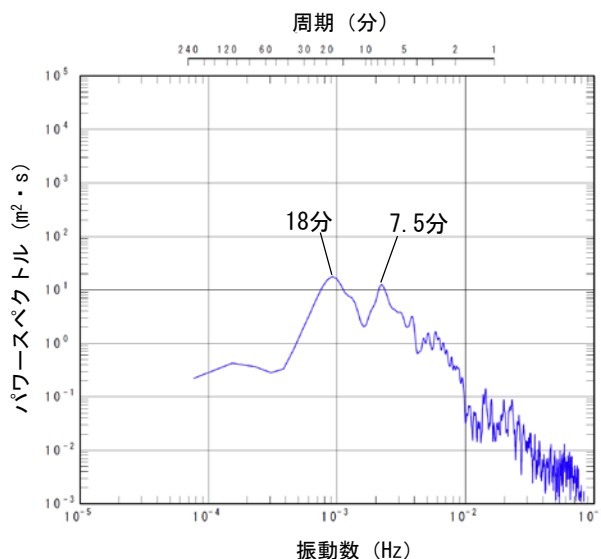
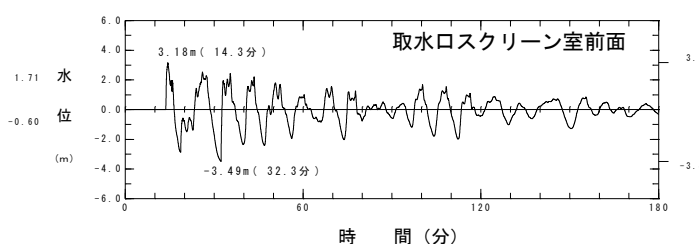
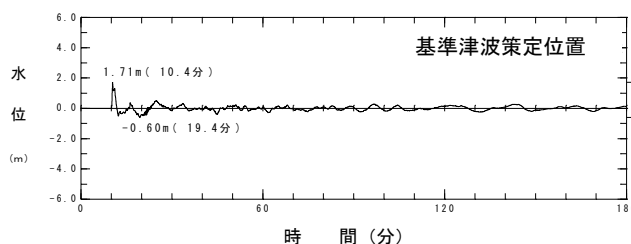
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (14 / 16)

(3) 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (2 / 4)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル解析結果

陸上の斜面崩壊に起因する津波のスペクトル解析結果は以下のとおり。

- ・ 基準津波策定位置：周期18分程度が卓越し、周期7分～8分程度にもピークが認められる。
- ・ 取水口スクリーン室前面：発電所専用港湾内への伝播に伴い、周期8分程度の強度が顕著に増す。



基準津波策定位置

取水口スクリーン室前面

陸上の斜面崩壊に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果



10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (15/16)

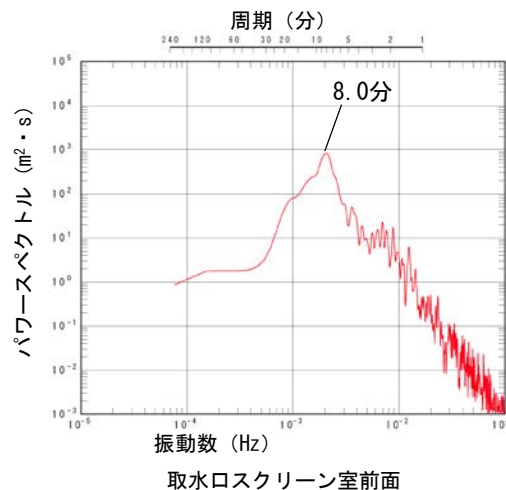
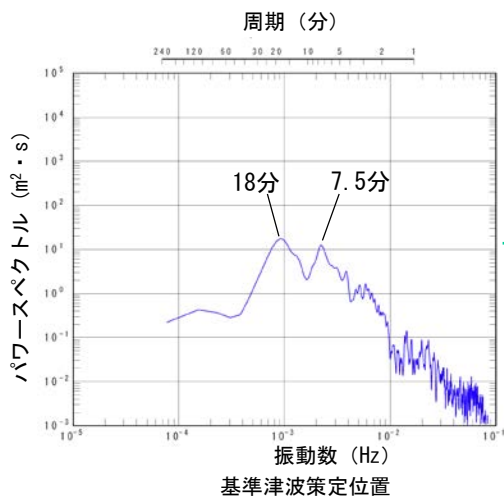
(3) 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (3/4)

②. 津波の周期特性の把握：スペクトル比

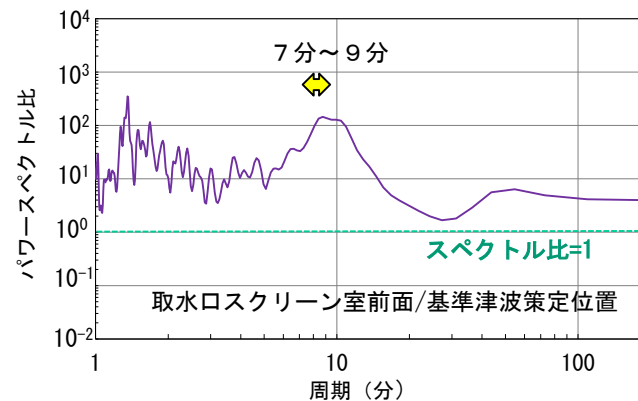
- 陸上の斜面崩壊に起因する津波の代表地点のスペクトル比を比較した。

【基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面】

- ほとんどの周期において、スペクトル比が1を超えている。
- 取水口スクリーン室前面で顕著な増幅特性を示した7分～9分程度にもピークが認められる。



陸上の斜面崩壊に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果



基準津波策定位置→取水口スクリーン室前面
陸上の斜面崩壊に起因する津波(上昇側最大ケース)
代表地点間のスペクトル比



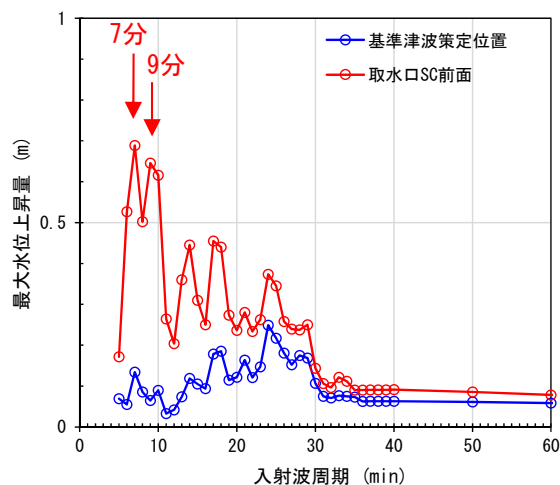
10-2. 日本海側からの津波に対する検討 (16 / 16)

(3) 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (4 / 4)

③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較

- 「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」の検討 (正弦波による解析) (P. 342参照) では、取水口スクリーン室前面では、周期7分~9分で顕著な水位増幅特性を有することが確認された。
- 「②. 津波の周期特性」の検討 (スペクトル解析) (P. 357参照) では、取水口スクリーン室前面では、7分~9分の周期が顕著に増幅していることが確認された。
- 以上より、これらの正弦波による各代表地点の周期毎の増幅特性と、スペクトル解析による各代表地点における津波の周期特性とは、整合的な結果を示すため、津波の解析波形には地形の影響が適切に反映されていることが確認できた。

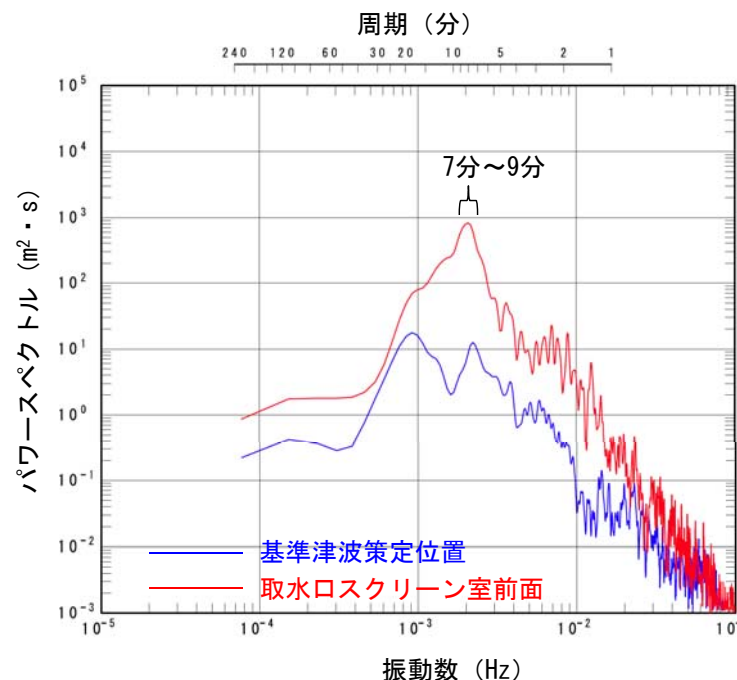
「①. 発電所専用港湾の周期特性」評価結果
(各代表地点の周期毎の増幅特性)



日本海側から入射した場合

正弦波入射波周期と最大水位上昇量の関係
日本海側からの正弦波による解析結果 (P. 342参照)

「②. 津波の周期特性」評価結果
(各代表地点における津波の周期特性)



陸上の斜面崩壊に起因する津波(上昇側最大ケース)
スペクトル解析結果 (P. 357参照)

「10-3. 太平洋側からの津波に対する検討（P. 360～P. 375）」は
次回以降ご説明予定

(余白)

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について

10-4. まとめ

津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性

- 「①. 津軽海峡及び発電所専用港湾の周期特性」の検討（正弦波による解析）
 - ✓ 津軽海峡内の各代表地点では、それぞれの地形の影響により、特定の周期で水位が増幅する傾向が確認された。（P. 341）
 - ✓ 敷地沖合の基準津波策定位置では、津軽海峡の他の代表地点に比べ水位増幅の傾向は小さいが、発電所専用港湾内の取水口スクリーン室前面では、特定の周期（7分，9分）で顕著な水位の増幅が確認された。（P. 342）
- 「②. 津波の周期特性」の検討（スペクトル解析）
 - ✓ 津軽海峡内の伝播に伴い、津軽海峡へ入射する津波の周期特性に各代表地点の地形の影響による周期特性が加わるため、各代表地点の特定の周期が増幅されることが確認された。（P. 345, P. 351, P. 357）
 - ✓ このため、取水口スクリーン室前面では、正弦波による解析とほぼ同様の周期（7分～10分）で顕著な水位の増幅が確認された。（P. 345, P. 351, P. 357）
- 「③. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性の比較」
 - ✓ 正弦波による各代表地点の周期毎の増幅特性と、各津波の周期特性を踏まえた各代表地点の増幅特性（スペクトル解析による各代表地点における津波の周期特性）とは、統合的な結果を示すため、津波の解析波形には地形の影響が適切に反映されていることが確認できた。（P. 347, P. 353, P. 359）

「10-4. まとめ（参考情報）（P. 378）」は
次回以降ご説明予定

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ評価位置の検討
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



1 1. 津波の伝播特性について (1 / 5)

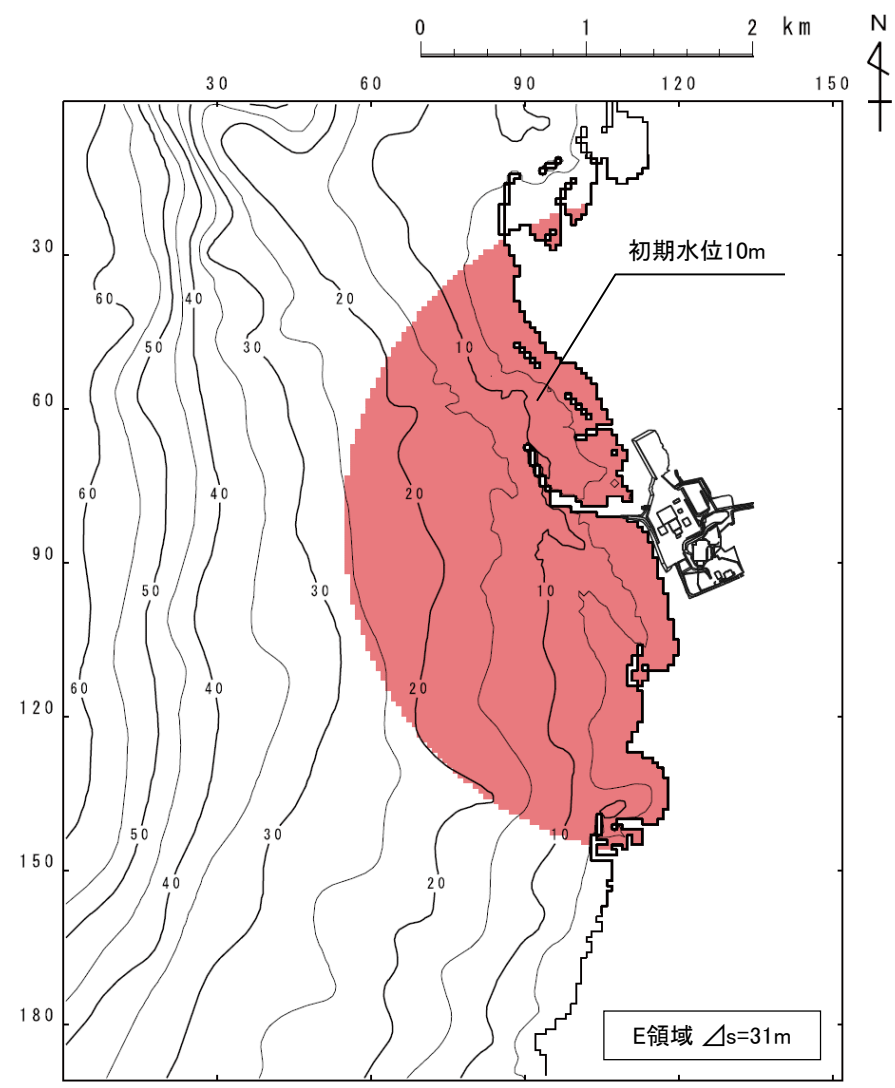
発電所への津波伝播特性の大局的な傾向を把握することを目的として、発電所を津波波源と仮定した場合の数値シミュレーションを実施した。



1 1. 津波の伝播特性について (2 / 5)

検討波源

- 発電所を津波波源と仮定した場合の数値シミュレーションにより大局的な伝播特性の傾向を確認した。
- 津波波源として、大間発電所を中心とする半径2kmの円を設定し、一律10mの初期水位を与え、津波伝播計算を実施した。



発電所を津波波源と仮定した場合の初期水位分布

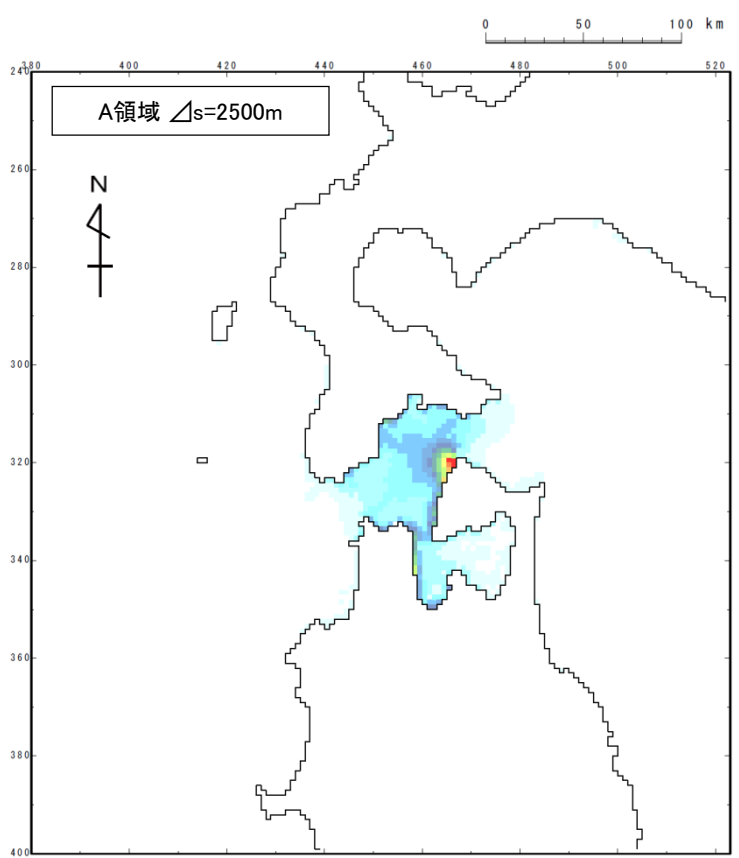


1.1. 津波の伝播特性について (3 / 5)

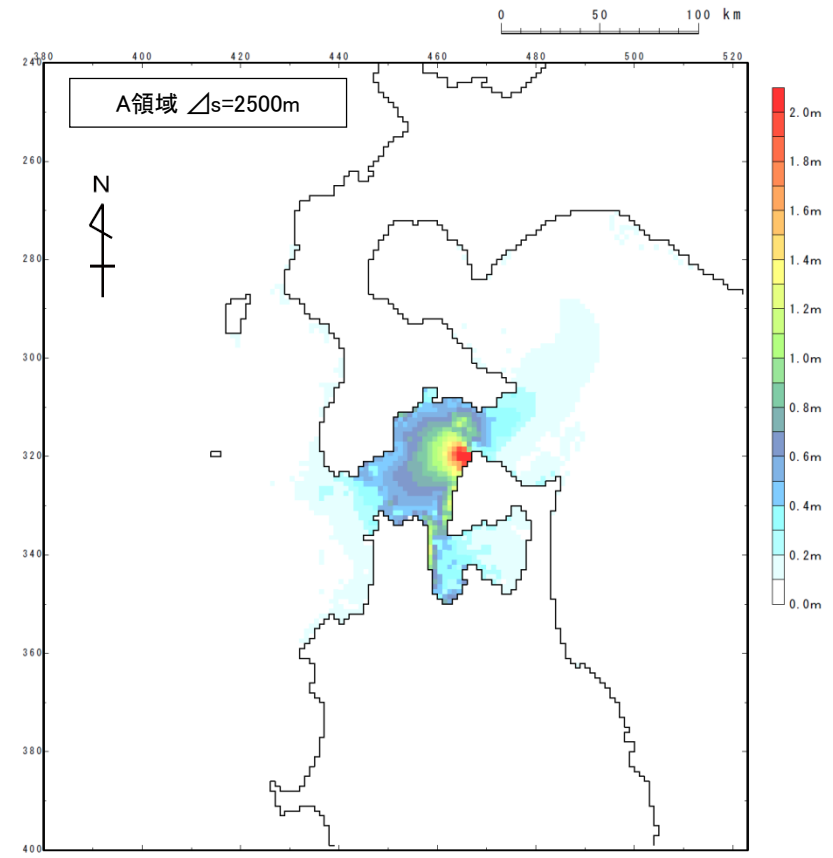
津波の伝播特性検討結果 (1 / 3)

- 水深による津波振幅への影響を軽減するため、「グリーンの法則」を用いて最大水位上昇量を補正※した場合も示した。
- 津軽海峡外へ伝播していく津波は、ほとんど認められない。

※：波源位置の水深を h_0 (=10m)，沖合地点の水深を h として，数値シミュレーションで得られる各格子の最大水位上昇量を「 $(h_0/h)^{1/4}$ 」で除して補正



水位補正前



水位補正後

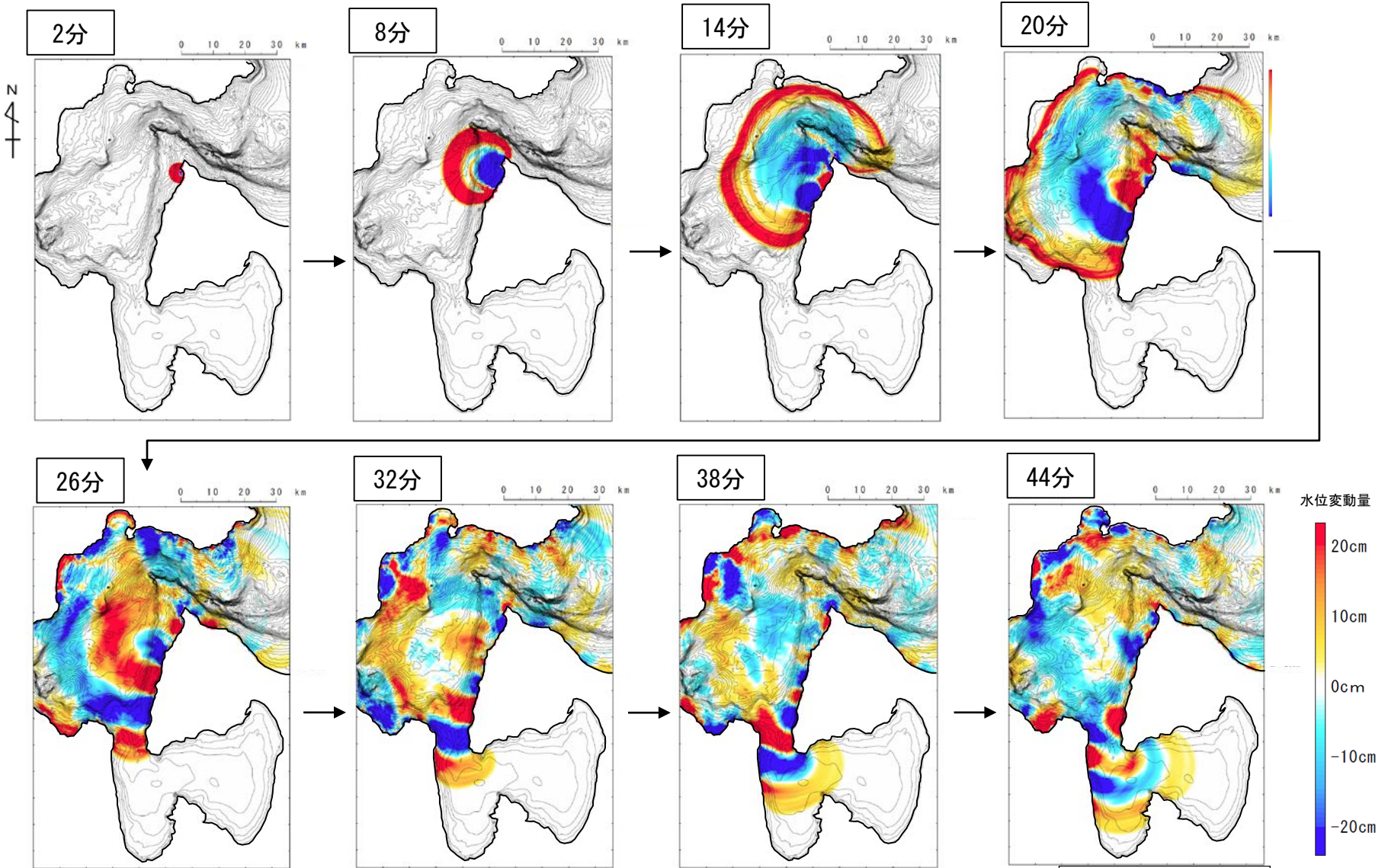
発電所を津波波源と仮定した場合の最大水位上昇量分布



1.1. 津波の伝播特性について (4 / 5)

津波の伝播特性評価結果 (2 / 3)

波源域から敷地周辺海域へ、同心円状に津波が伝播するが、対岸に津波が到達する約20分以降は、津軽海峡内での反射等の影響により、同心円形状が崩れていく。



発電所近傍の津波の伝播状況(2分~44分)

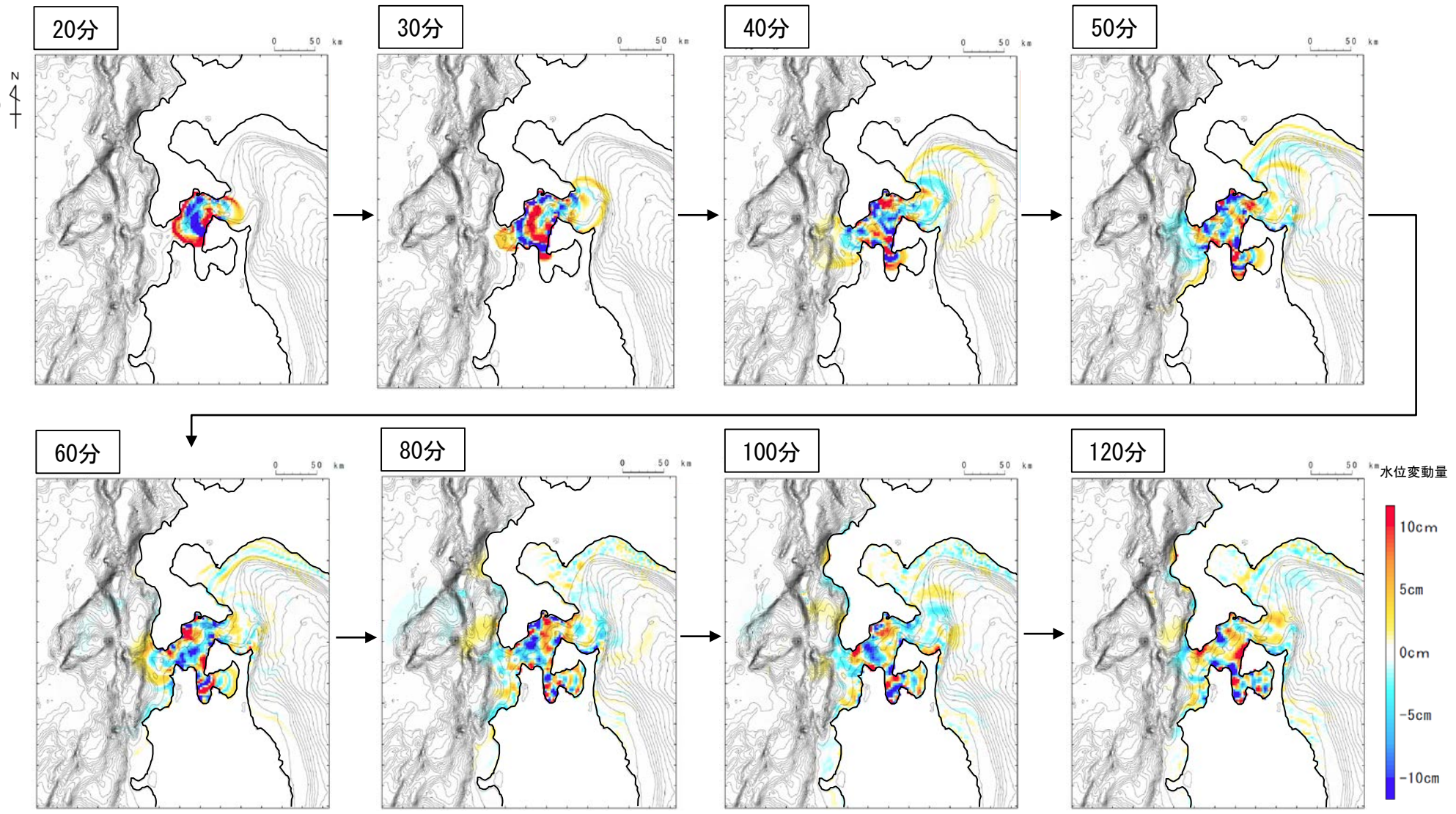
C領域 Δs=833m



1.1. 津波の伝播特性について (5 / 5)

津波の伝播特性評価結果 (3 / 3)

津軽海峡外への卓越した津波伝播の傾向は認められない。



津軽海峡外への津波の伝播状況 (20分～120分)

A領域 $\Delta s=2500m$

参考文献

- (1) 箕浦 (1990) : 東北日本における巨大津波の発生と周期, 歴史地震, 第6号, pp. 61-76.
- (2) 小岩直人・菊地恒佑・葛西未央 (2013) : 青森県鯉ヶ沢町鳴沢川下流部に認められる歴史時代の津波堆積物, 日本第四紀学会講演要旨集, 43, pp. 14-15.
- (3) 熊谷秀平・梅田浩司・鎌滝孝信・小岩直人・藤田奈津子 (2017) : 青森県鯉ヶ沢町にみられるイベント堆積物, 東北地域災害科学研究, 第53巻, pp. 7-13.
- (4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003) : 日本海東縁部の地震活動の長期評価について, 62p.
- (5) 北海道 (2013) : 北海道に津波被害をもたらす想定地震の再検討ワーキンググループ, 平成24年度, 日本海沿岸の津波浸水想定の特検・見直し報告書.
- (6) 青森県 (2015) : 第7回青森県海岸津波対策検討会 資料.
- (7) 秋田県 (2013) : 秋田県地震被害想定調査 報告書.
- (8) 山形県 (2012) : 津波浸水域予測図.
- (9) 新潟県 (2016) : 新潟県地域防災計画 (津波災害対策編) 平成28年3月修正.
- (10) 富山県 (2012) : 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ現地調査結果, 2012/12/29.
- (11) 石川県 (2012) : 石川県津波浸水想定区域図.
- (12) 福井県 (2012) : 福井県における津波シミュレーション結果について.
- (13) 鳥取県 (2012) : 鳥取県津波対策検討委員会 津波波源の設定について.
- (14) 島根県 (2012) : 島根県地震被害想定調査報告書 津波の想定.
- (15) 山口県 (2015) : 津波浸水想定 (日本海沿岸) について.
- (16) 徳山 英一, 本座 栄一, 木村 政昭, 倉本 真一, 芦 寿一郎, 岡村 行信, 荒戸 裕之, 伊藤 康人, 徐 垣, 日野 亮太, 野原 壯, 阿部 寛信, 坂井 眞一, 向山 建二郎 (2001) : 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, 第13巻, 第1号, pp. 27-53.
- (17) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2012) : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (第二版) について, 173p.
- (18) 佐竹 健治 (2013) : 第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要, pp. 414-416.
- (19) Shinzaburo Ozawa, Takuya Nishimura, Hisashi Suito, Tomokazu Kobayashi, Mikio Tobita & Tetsuro Imakiire (2011) : Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake, NATURE, Vol. 475, pp. 373-376.
- (20) Akira Hasegawa, Keisuke Yoshida, Youichi Asano, Tomoki Okada (2012) : Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, Earth and Planetary Science Letter 355-356, pp. 231-243.
- (21) 海洋研究開発機構 (2013) : 地球深部探査船「ちきゅう」の掘削調査により明らかにされた東北地方太平洋沖地震震源域の応力状態変化, 海洋研究開発機構 プレスリリース.
- (22) 佐竹健治 (2011) : 日本海溝の巨大地震のスーパーサイクル, 予知連絡会報86.
- (23) 岡村行信, 佐竹健治, 宍倉正展, 藤原 治, 澤井祐紀, 小松原純子, 藤野滋弘, 行谷佑一, 藤井雄士郎, Than Tin, Aung (2010) : 地質調査・津波シミュレーションにもとづく地震発生履歴に関する研究, 文部科学省研究開発局他2010重点成果報告_宮崎沖.
- (24) 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治 (2013) : 貞観津波と東日本大震災の津波, 平川新・今村文彦・東北大学災害科学国際研究所, 東日本大震災を分析する2 震災と人間・まち・記録, 株式会社 明石書店, pp. 179-188.
- (25) 行谷祐一, 佐竹健治, 山本滋 (2010) : 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における869年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, No. 10 p. 1-21.
- (26) 宍倉正展, 藤原治, 澤井祐紀, 行谷祐一, 谷川晃一郎 (2012) : 2011東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界, 活断層・古地震研究報告, No. 12 p. 45-61.
- (27) Lingling Ye, Thorne Lay, and Hiroo Kanamori (2012) : The Sanriku-Oki low-seismicity region on the northern margin of the great 2011 Tohoku-Oki earthquake rupture, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B02305, doi:10.1029/2011JB008847.
- (28) Naoki Uchida and Toru Matsuzawa (2011) : Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, Earth Planets Space, 63, 675-679.

- (29) Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa (2009) : What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth and Planetary Science*, 283 (2009) 111-121.
- (30) Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Kazuo Nakahigashi, Shin'ichi Sakai, Kimihiro Mochizuki, Kenji Uehira, Yoshihiro Ito, Ryusuke Azuma, Yuka Kaiho, Tetsuo No, Hajime Shiobara, Ryota Hino, Yoshio Murai, Hiroshi Yakiwara, Toshinori Sato, Yuya Machida, Takashi Shinbo, Takehi Isse, Hiroki Miyamachi, Koichiro Obana, Narumi Takahashi, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda, Kenji Hirata, Sumio Yoshikawa, Kazushige Obara, Takaya Iwasaki, and Naoshi Hirata (2011) : Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, 63, 835-840.
- (31) 内閣府 (2012) : 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) 津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—, 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 100p.
- (32) 杉野英治, 呉 長江, 是永真理子, 根本 信, 岩渕洋子, 蛭沢勝三 (2013) : 原子力サイトにおける2011 東北地震津波の検証, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号 (特集号) .
- (33) 杉野英治, 岩渕洋子, 橋本紀彦, 松末和之, 蛭沢勝三, 亀田弘行, 今村文彦 (2014) : プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号.
- (34) 穴倉正展 (2013) : 1960年チリ地震 (Mw9.5) の履歴と余効変動, 地震予知連絡会 会報 第89巻, 12-7.
- (35) Ian Shennan, Antony Long, Natasha Barlow (2007) : Recurrent Holocene Paleoseismicity and Associated Land/Sea-Level Changes in South Central Alaska , I Shennan, AJ Long and N Barlow.
- (36) 谷岡勇市郎 (2013) : アラスカ・アリューシャン・カムチャッカ沈む込み帯の巨大地震について, 地震予知連絡会 会報 第89巻, 12-9.
- (37) Kusala Rajendran (2013) : On the recurrence of great subduction zone earthquakes, SPECIAL SECTION: EARTH SCIENCES.
- (38) Yushiro Fujii and Kenji Satake (2013) : Slip Distribution and Seismic Moment of the 2010 and 1960 Chilean Earthquakes Inferred from Tsunami Waveforms and Coastal Geodetic Data, *Pure Appl. Geophys.* 170, pp.1493-1509.
- (39) Kenji Satake, Kelin Wang, Brian F. Atwater (2003) : Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 108, NO. B11, 2535.
- (40) Jean M. Johnson, Kenji Satake, Sanford R Holdahl, Jeanne Sauber (1996) : The 1964 Prince William Sound earthquake: Joint inversion of tsunami and geodetic data, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 101, NO. B1, pp. 523-532.
- (41) Jean M. Johnson and Kenji Satake (1999) : Asperity Distribution of the 1952 Great Kamchatka Earthquake and its Relation to Future Earthquake Potential in Kamchatka, *Pure and applied Geophysics*, pp. 541-553.
- (42) Yuichiro Tanioka, Yudhicara, Tomohiro Kususose, S. Kathirolu, Yuichi Nishimura, Sin-Iti Iwasaki, Kenji Satake (2006) : Rupture process of the 2004 great Sumatra-Andaman earthquake estimated from tsunami waveforms, *Earth Planets Space*, 58, pp. 203-209.
- (43) R. McCaffrey (2008) : Global Frequency of Magnitude 9 Earthquakes, *The Geological Society of America*.
- (44) Christopher H. Scholz and Jaime Campos (2012) : The seismic coupling of subduction zones revisited, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, B05310, doi:10.1029/2011JB009003 , 2012.
- (45) Daniel Melnick, Bodo Bookhagen, Manfred R. Strecker, Helmut P. Echtler (2009) : Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 114, B01407.
- (46) Sergio E. Barrientos and Steven N. Ward (1990) : The 1960 Chile earthquake: inversion for slip distribution from surface deformation, *Geophys. J. Int.*, 103, pp. 589-598.
- (47) 松本剛・土井明日加・喜瀬慎一郎・阿部なつ江 (2010) : 海洋地球物理観測データに基づくチリ三重点のテクトニクス, 極域科学・宙空圏・気水圏・生物・地学シンポジウム講演予稿集.
- (48) Emily S. Finzel, Jeffrey M. Trop, Kenneth D. Ridgway, Eva Enkelmann (2011) : Upper plate proxies for flat-slab subduction processes in southern Alaska, *Earth and Planetary Science Letters* 303 pp. 348-360.
- (49) Aaron G. Wech (2016) : Extending Alaska's plate boundary: Tectonic tremor generated by Yakutat subduction, *GEOLOGY*, July 2016; v. 44; no. 7; pp. 587-590.

- (50) Roland von Huene, John J. Miller and Wilhelm Weinrebe (2012) : Subducting plate geology in three great earthquake ruptures of the western Alaska margin, Kodiak to Unimak, *Geosphere*; June 2012 v. 8 no. 3 pp. 628-644.
- (51) Ian Shennan, Natasha Barlow, Gary Carver, Frank Davies, Ed Garrett and Emma Hocking (2014) : Great tsunamigenic earthquakes during the past 1000 yr on the Alaska megathrust, *GEOLOGY*, doi:10.1130/G35797.1
- (52) Changjiang Wu, Hideaki Tsutsumi, Hongjun Si, Yusuke Saijo (2012) : Rupture Process of the 2011 Mw9.0 Tohoku Earthquake And Strong Motion Simulation from the Viewpoint of NPP Seismic Design, 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- (53) 社団法人土木学会 原子力土木委員会 津波小委員会 (2016) : 原子力発電所の津波評価技術 2016.
- (54) Toshiya Fujiwara, Shuichi Kodaira, Tetsuo No, Yuka Kaiho, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda (2011) : The 2011 Tohoku-Oki Earthquake: Displacement Reaching the Trench Axis, *SCIENCE*, VOL. 334.
- (55) 内閣府 (2012) : 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて, 南海トラフの巨大地震モデル検討会第12回会合, 参考資料1, 30p.
- (56) Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, Yuichi Namegaya (2013) : Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492, May 2013, doi: 10.1785/0120120122.
- (57) Yusuke Yokota and Kazuki Koketsu (2015) : A very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earthquake, *NATURE COMMUNICATIONS*, DOI: 10.1038/ncomms6934.
- (58) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, 土木学会, pp. 356-360.
- (59) Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971) : The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.
- (60) JAMSTEC (2007) : 紀伊半島沖熊野灘における巨大津波の成因について～三次元反射法音波探査による海底下の地質構造の解析結果～, プレスリリース
- (61) JAMSTEC (2011) : 津波断層の活動痕を初めて発見～地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削計画の成果～, プレスリリース
- (62) 奥村与志弘・後藤浩之 (2013) : 海溝型地震の分岐断層破壊シナリオで発生する津波の特徴に関する一考察, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No. 4 (地震工学論文集第32巻), I_750-I_757.
- (63) Yushiro Fujii and Kenji Satake (2007) : Tsunami Source of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake Inferred from Tide Gauge and Satellite Data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 1A, pp. S192-S207, doi:10.1785/0120050613.
- (64) 河田恵昭・小池信昭・嘉戸重仁・井上雅夫 (1998) : わが国沿岸部における遠地津波の伝播特性について, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 336-340.
- (65) 清水文健・井口隆・大八木規夫 (2009) : 地すべり地形分布図 第43集「函館」, 防災科学技術研究所研究資料.
- (66) 清水文健・井口隆・大八木規夫 (2009) : 地すべり地形分布図 第42集「野辺地・八戸」, 防災科学技術研究所研究資料.
- (67) 清水文健・大八木規夫 (1987) : 地すべり地形分布図 第5集「青森・仙台」, 防災科学技術研究所研究資料.
- (68) Kawamata, K., K. Takaoka, K. Ban, F. Imamura, S. Yamaki, E. Kobayashi (2005) : Model of tsunami generation by collapse of volcanic eruption: the 1741 Oshima-Oshima tsunami, K. Satake (ed), *Tsunamis: Case Studies and Recent Developments*, pp. 79-96.
- (69) 松本智裕・橋和正・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : 土石流による津波発生・伝播モデルの開発, 海岸工学論文集, 第45巻, 土木学会, pp. 346-350.
- (70) 今村文彦・後藤大地・嶋原良典・喜多村雄一・松原隆之・高岡一章・伴一彦 (2001) : 土砂突入による津波発生機構に関する基礎検討, 海岸工学論文集, 第48巻, 土木学会, pp. 321-325.
- (71) Maeno, F and Imamura, F (2007) : Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 34, L23303, doi:10.1029/2007GL031222.
- (72) Maeno, F and Imamura, F (2011) : Tsunami generation by a rapid entrance of pyroclastic flow into the sea during the 1883 Krakatau eruption, Indonesia, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 116, B09205, doi:10.1029/2011JB008253.
- (73) 柳澤英明・青木歩・佐々恭二・井上公夫 (2014) : 地滑り・津波統合モデルによる寛政4年(1792)有明海津波の再現シミュレーション, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. I_151-I_155.
- (74) 佐竹健治 (1997) : ハワイの津波堆積物ーアメリカ地質学会コルディセラ分科会および巡検に参加してー, 地質ニュース518号, 21-28.

- (75) Eakins, B. W., Robinson J. E., Kanamatsu, T., Naka, J., Smith, J. R., Takahashi, E., Clague, D. A., (2003): Hawaii's Volcanoes Revealed, U. S. Geological Survey Geologic Investigations Series I-2809, <http://geopubs.wr.usgs.gov/i-map/i2809>.
- (76) 羽鳥徳太郎(1976): 1975年ハワイ島(Kalapana)津波と日本沿岸での挙動, 地震第2輯, 第29巻, pp355-363. Nettles_2004_BSSA.
- (77) Nettles, M. and Ekström, G. (2004): Long-Period Source Characteristics of the 1975 Kalapana, Hawaii, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 2, pp. 422-429.
- (78) Day, S. J., P. Watts, S. T. Grilli and J. T. Kirby (2005): Mechanical models of the 1975 Kalapana, Hawaii earthquake and tsunami, Marine Geology, 215, pp59-92.
- (79) Ma, K-F., H. Kanamori, K. Satake (1999): Mechanism of the 1975 Kalapana, Hawaii, earthquake inferred from tsunami data, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. B6, Pages 13, 153-13, 167, June 10, 1999.
- (80) Moore, J. G., D. A. Clague, R. T. Holcomb, P. W. Lipman, W. R. Normark, and M. E. Torresan (1989): Prodigious submarine landslides on the Hawaiian Ridge, J. Geophys. Res., 94 (B12), pp. 17465-17484, doi:10.1029/JB094iB12p17465.
- (81) 横瀬久芳(2007): ハワイ諸島における巨大海底地すべり, 日本地質学会, 第114年学術大会, S-10.
- (82) 横瀬久芳(2010): ハワイ諸島の巨大海底地すべり群と津波一流山の高さ分布におけるフラクタル次元一, 月刊地球, 号外No. 61, pp. 71-79.
- (83) McMurtry, G. M., P. Watts, G. J. Fryer, J. R. Smith, F. Imamura (2004): Giant landslides, mega-tsunamis, and paleo-sea level in the Hawaiian Islands, Marine Geology, Vol. 203, Issues 3-4, pp. 219-233.
- (84) Guillou, H., M-O. Garcia, L. Turpin (1997): Unspiked K-Ar dating of young volcanic rocks from Loihi and Pitcairn hot spot seamounts, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 78, pp. 239-249.
- (85) Papadopoulos, G. A. and S. Kortekaas (2003): Characteristics of Landslide Generated Tsunamis from Observational Data, Submarine Mass Movements and Their Consequences, Volume 10 of the series Advances in Natural and Technological Hazards Research, pp. 367-374.
- (86) Satake, K. (2007): Volcanic origin of the 1741 Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea, Earth Planets Space, Vol159, pp. 381-390.
- (87) Noda, S., 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 Analysis. Oct. 16-18, Istanbul.
- (88) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2009): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- (89) 財団法人 高速道路調査会 (1985): 地すべり地形の安定度評価に関する研究報告, pp. 33-pp. 36.
- (90) 高橋将(1976): 津軽海峡と内浦湾における津波特性, 海岸工学講演会論文集, 第23巻, 土木学会, pp. 459-463.
- (91) 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, 144p.