

泊発電所の基準津波について

平成26年12月5日
北海道電力株式会社

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

1. 評価方針

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

1. 評価方針

基準津波策定方針

- 施設の供用期間中に極めてまれではあるが、発生する可能性のある津波を想定する。
- 地震以外（火山による山体崩壊、海底地すべり及び陸上の斜面崩壊）の津波を想定する。
- 上記の組合せを考慮したうえで、基準津波を策定する。

2. 地震による津波

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

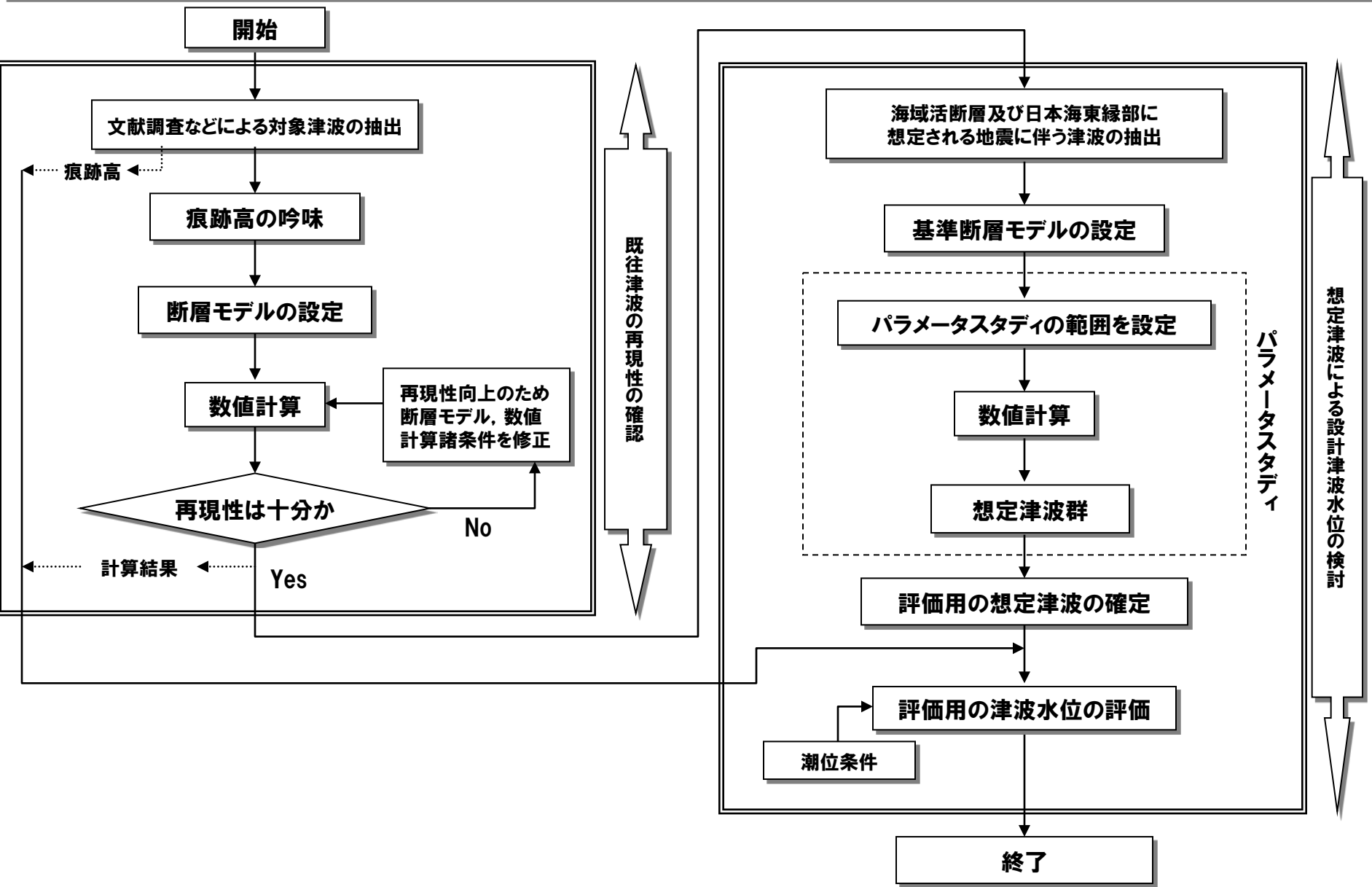
2. 地震による津波

検討方針

- 土木学会 (2002)「原子力発電所の津波評価技術」に示される検討手順に基づき、以下のとおり敷地前面、取水口及び放水口における水位変動を検討する。
 - ①文献調査及び数値シミュレーションによる既往津波の再現性検討 (数値シミュレーションの妥当性確認)
 - ②海域活断層及び日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の基準断層モデル (波源モデル) の設定と数値シミュレーションによる検討

2. 地震による津波

評価フロー



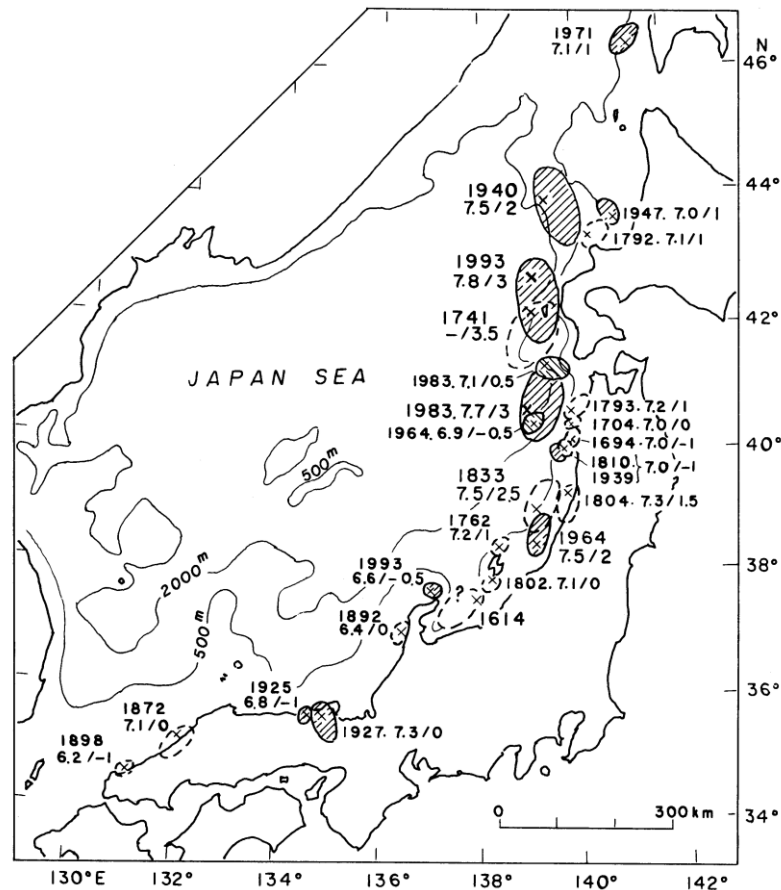
2-1 文献調査結果

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

2-1 文献調査結果

泊発電所敷地周辺における既往津波

- 敷地周辺の既往津波の発生状況及び痕跡高について文献調査を行い、敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波を選定。
- 北海道西岸に大きな影響を与えたと考えられる津波は以下のとおり。
 - 1741年(渡島西岸)津波
 - 1792年(後志)地震津波
 - 1940年積丹半島沖地震津波
 - 1983年日本海中部地震津波
 - 1993年北海道南西沖地震津波
- 敷地付近で津波高が記録されている津波のうち、最大のものは、1993年北海道南西沖地震津波である。
- その津波高(痕跡高)は泊村及び岩内町において、それぞれ、3.04m及び3.56mである。



[羽鳥(1995)]

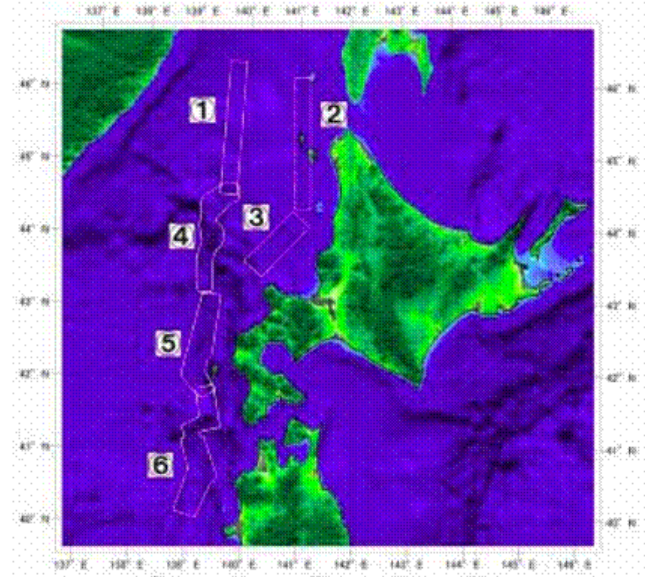
日本海で発生した地震と津波波源域

2-1 文献調査結果

行政機関による津波評価

<北海道 (2010)>

- 津波対策の基礎資料としての活用を目的として、津波の数値シミュレーションを実施。
- 波源モデルは、地震調査研究推進本部(2003)の想定震源域を踏まえて、既往津波の代表的モデル等を想定。
- 敷地周辺における想定が最大の波源は、1993年北海道南西沖地震津波の痕跡高を説明できる高橋ほか(1995)によるDCRC-26モデルである。



番号	地震	緯度 λ ($^{\circ}$)	経度 ϕ ($^{\circ}$)	深さ d (km)	方位 θ ($^{\circ}$)	傾斜角 δ ($^{\circ}$)	すべり u (m)	長さ L (km)	幅 b (km)	すべり量 U (cm)
①	北海道北西沖 (沖側)	44.62	139.48	1	5	45	90	200	24	547
②	北海道北西沖 (沿岸側)	46.22	141.17	1	180	45	90	200	24	547
③	留萌沖 (走向225 $^{\circ}$)	44.13	141.16	0	225	40	90	100	35	150
④	神威岬沖 (satake2005)	43.77	139.32	1	180	45	90	55	24	175
		44.57	139.24	0	22	45	90	16	42	164
		44.55	139.58	0	184	45	90	16	42	223
		44.17	139.48	0	162	45	90	16	37	274
		43.69	139.13	0	0	45	90	16	53	58
⑤	北海道南西沖	43.13	139.4	10	188	35	80	90	25	571
		42.31	139.25	5	175	60	105	26	25	400
⑥	青森県西方沖	42.11	139.21	5	150	60	105	30.5	15	1200
		41.9	139.45	1	170	60	90	55	24	175
		41.35	138.9	1	60	30	90	30	23	80
		40.92	139.06	1	340	30	90	30	40	45
		40.67	139.18	1	340	30	90	30	40	548
		40.47	138.92	1	20	30	90	30	40	324
40.21	138.8	1	20	30	90	30	40	166		

北海道(2010)より

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

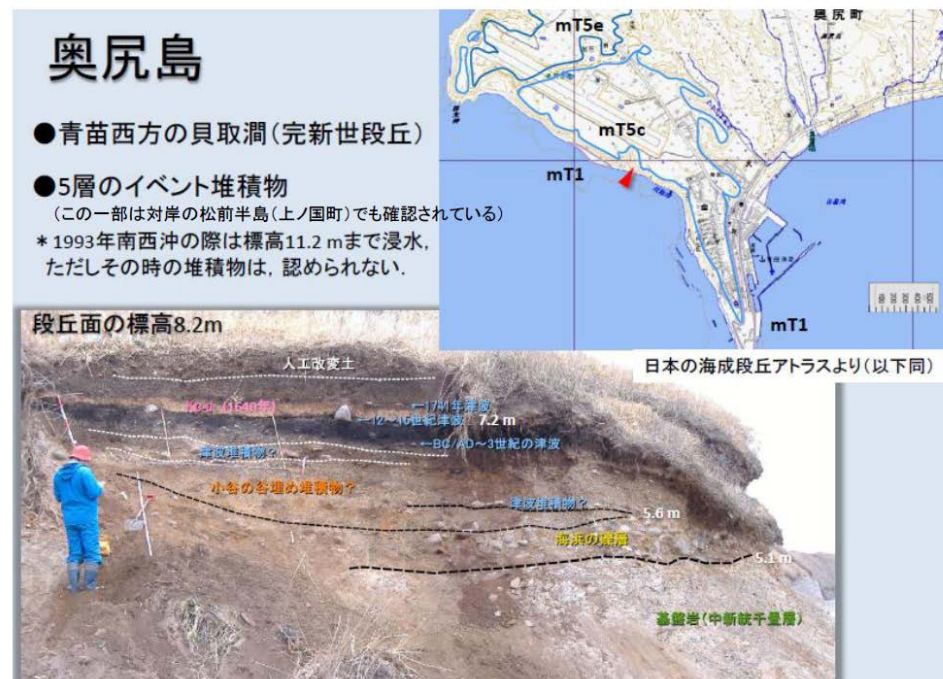
2-2 津波堆積物調査結果

行政機関による津波堆積物調査結果 (2/3)

<北海道 (2013)>

- 奥尻島では、1741年(渡島西岸)津波の津波堆積物、12~16世紀の津波堆積物、BC/AD~3世紀を含む5層のイベント堆積物を確認している。
- また、その一部は松前半島でも確認されている。

■奥尻島(平成24年4月実施) 過去にも複数回の津波の発生を確認



北海道(2013)より

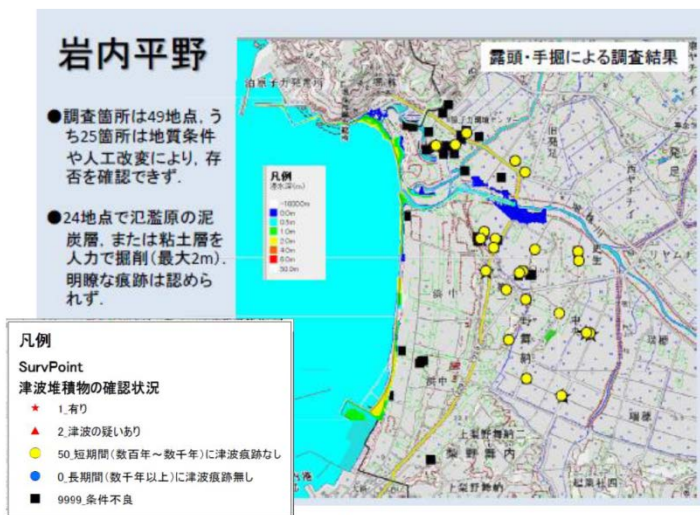
2-2 津波堆積物調査結果

行政機関による津波堆積物調査結果 (3/3)

<北海道 (2013)>

- 岩内平野では、49地点で調査を行っており、そのうち、25地点は地質条件や人工改変により存否を確認できていない。
- 24地点で氾濫原の泥炭層、粘土層について掘削調査を行っているが明瞭な痕跡は認められていない。
- 岩内平野におけるボーリング調査結果(KY-07)では、標高-3.2m付近で海洋性プランクトンの化石を確認しており、高潮もしくは津波による可能性があるものと記載されている。

■岩内平野(平成24年5~8月実施) 明瞭な堆積物は見つからなかった



(参考1-4) ボーリング等による調査

岩内平野の津波堆積物調査

泥炭層が厚い地点で、古い時代の津波堆積物の有無を確認

●砂丘(沿岸砂堤列)の海側への成長速度を一定と仮定し、

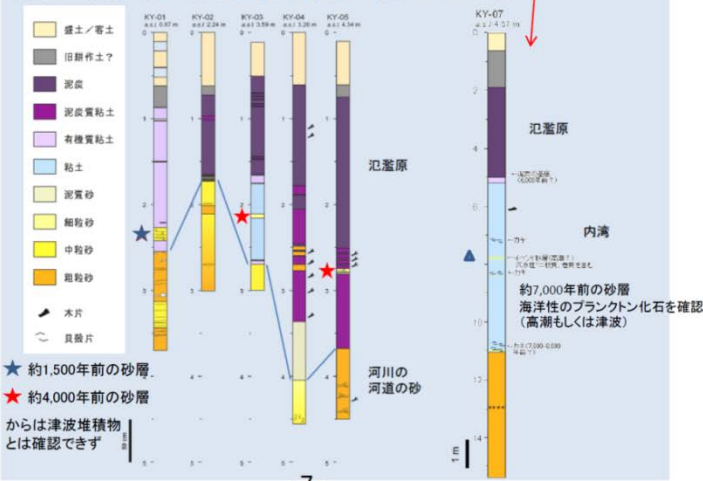
- ~1kyr前→KY-01
- ~2kyr前→KY-02
- ~3kyr前→KY-03
- 4~6kyr前→KY-04, 05

として調査地点を5点設定

●追加で6,000年前までの確認ボーリングを実施(★KY-07)



約7,000年前以降は明瞭な津波堆積物は確認できていない



2-2 津波堆積物調査結果

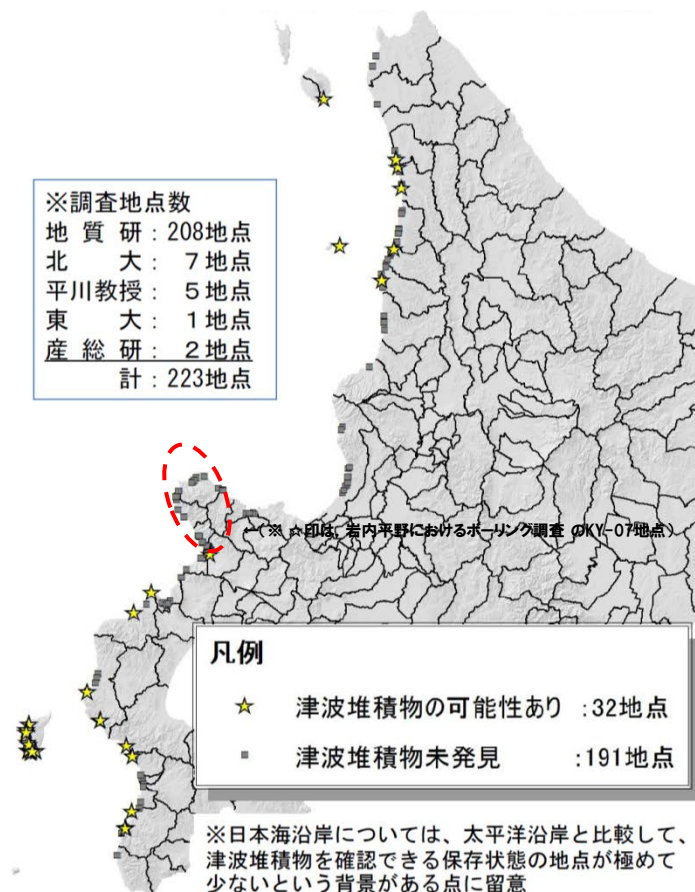
当社による津波堆積物調査結果 (1/2)

<地表地質踏査結果>

- 神威岬から尻別川河口の沿岸部において、黒土や崖錐堆積物中に狭在する海成層の有無に着目した踏査を実施した。
- 調査結果より、黒土や崖錐堆積物中に海成層が狭在するような、津波堆積物の可能性を示唆する露頭は確認できなかった。
- なお、北海道の調査においても当該地点沿岸部では、津波堆積物が未発見とされている。



地表地質踏査範囲



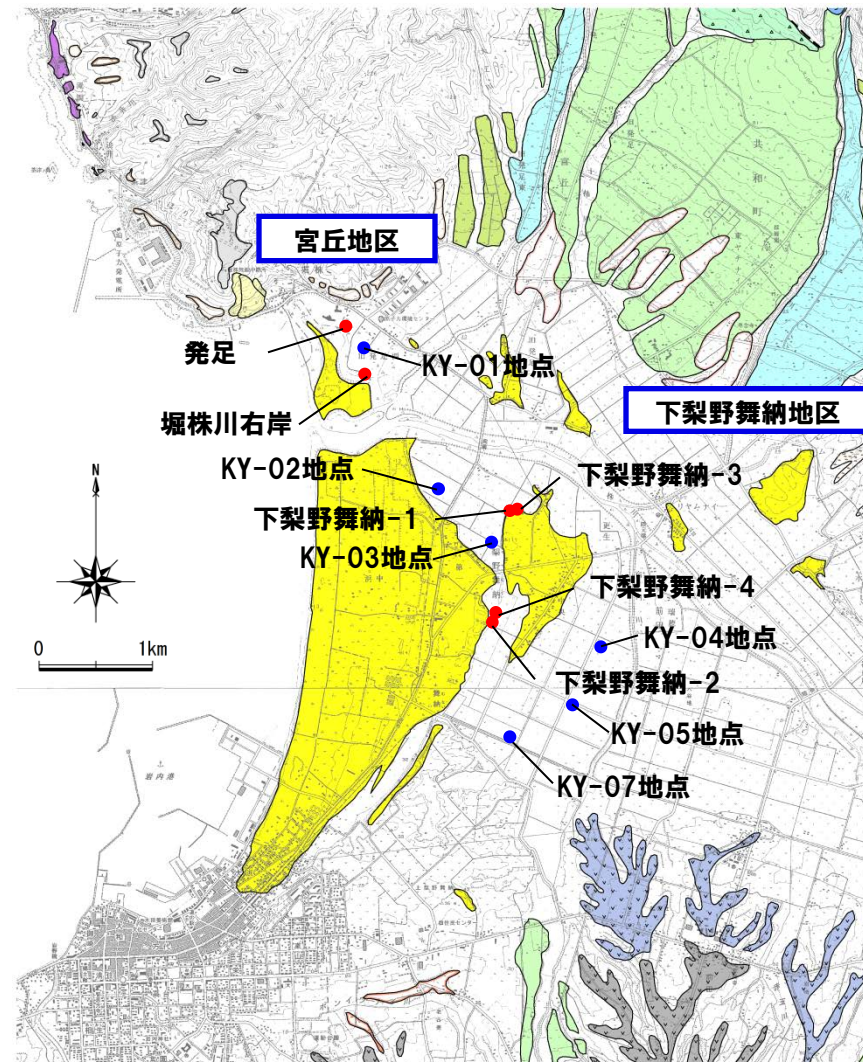
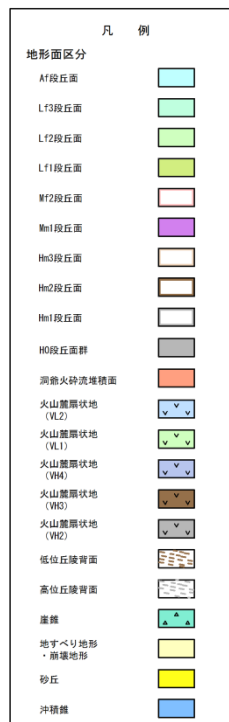
日本海側における津波堆積物調査地点
(2013.3.8現在 北海道(2013)に加筆)

2-2 津波堆積物調査結果

当社による津波堆積物調査結果 (2/2)

<ボーリング調査結果>

- 岩内平野内で北海道が実施した地層引き抜き調査(KY-01地点~KY-05地点)結果では、一部の地点でイベント砂層が確認されているが、珪藻分析及び化学分析の結果から河川の洪水起源のものと考えられている。
- 当社において宮丘地区及び下梨野舞納地区で実施したボーリング調査では、3地点でイベント堆積物の可能性のある堆積物が推定される区間が抽出されたが、珪藻分析結果より、河川性堆積物または氾濫原堆積物と推定された。
- 北海道が実施したボーリング調査(KY-07地点)では、標高-3.2m付近に約7,000年前のイベント砂層が確認されており、津波または高潮起源によるものの可能性があるとして評価している。
- 今回の当社の調査では、北海道の調査で確認できていなかった約1,600年前以降の地層について、一部確認することができた。
- 北海道及び当社の調査結果では、岩内平野周辺において、KY-07地点以外に津波堆積物の可能性を示唆する堆積物は確認されおらず、現時点においては、少なくとも、約7,000年前以降について、明瞭な津波堆積物は、確認できていない。



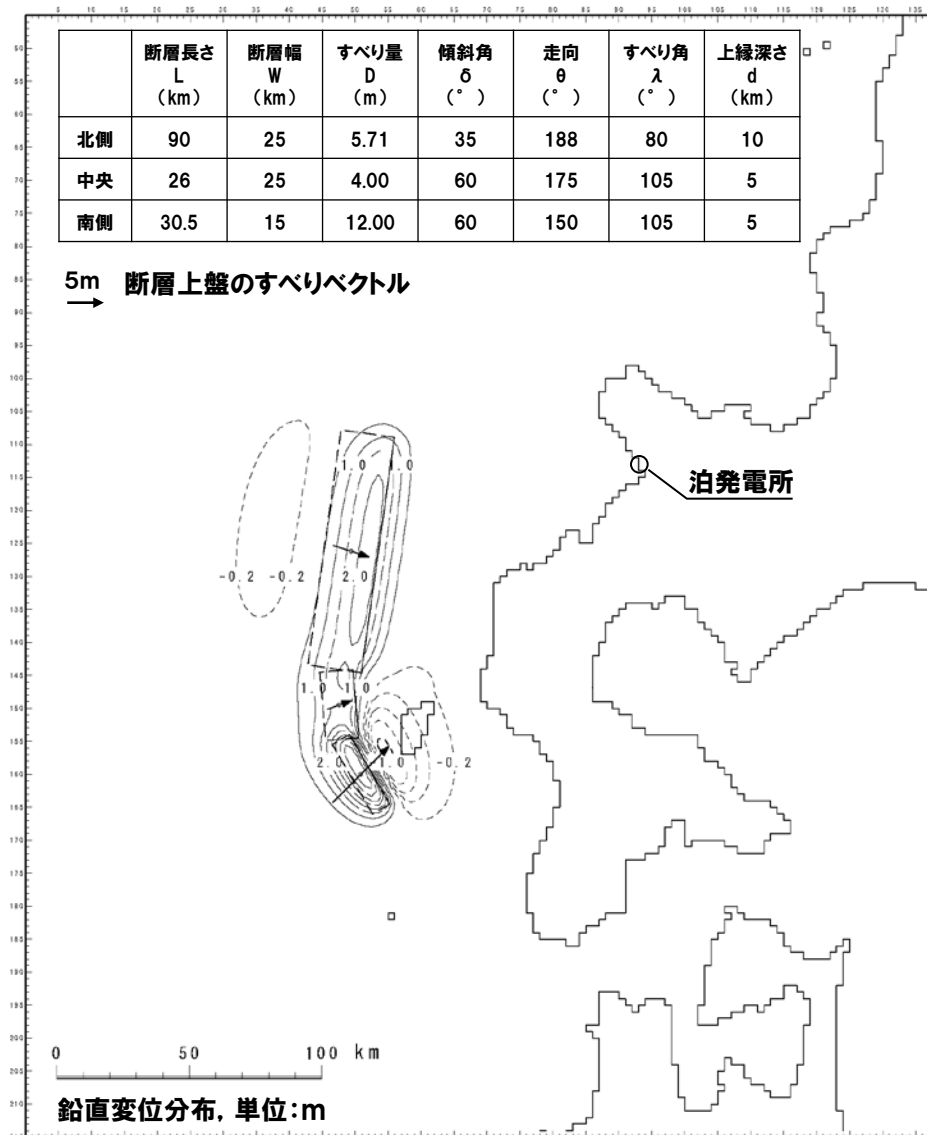
調査地点位置図 (●北海道, ●当社)

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

2-3 既往津波の再現性検討

既往津波の再現性検討

○既往津波に関する文献調査及び簡易予測式による津波高の検討結果から、敷地における推定津波高が最も大きい1993年北海道南西沖地震津波を数値シミュレーションの検証の対象として選定。



1993年北海道南西沖地震津波の断層モデル (DCRC-26)

2-3 既往津波の再現性検討

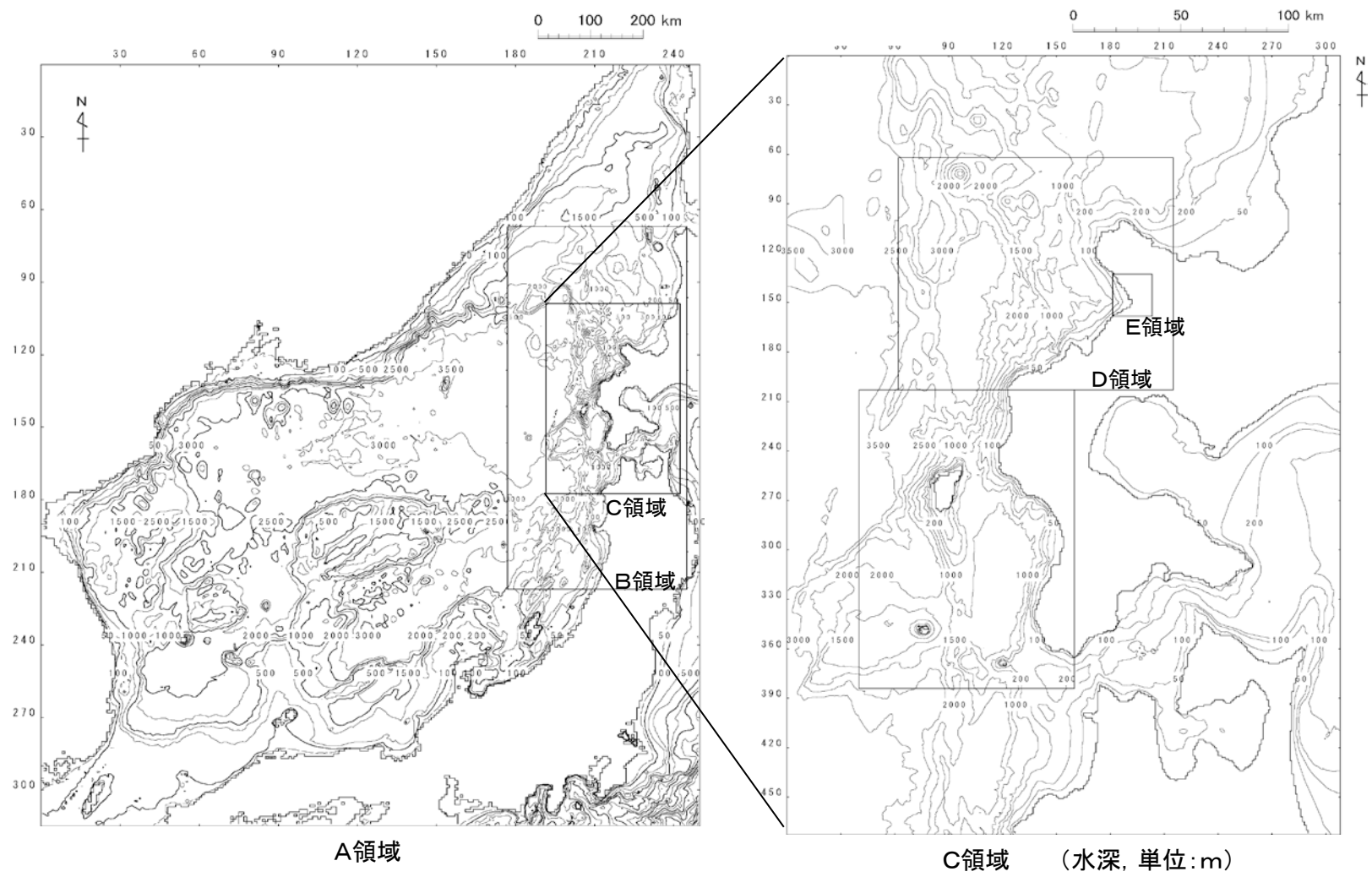
計算手法及び計算条件

○計算は、後藤ほか(1982)に基づき非線形長波の連続式及び運動方程式を基礎方程式とし、計算格子間隔を5kmから5mとした。

項目 \ 領域	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
計算領域	日本海全域(南北約1,500km, 東西約1,200km)							
計算格子間隔 Δs	5 km	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10 m (2500/243)	5 m (2500/486)
計算時間間隔 Δt	0.1秒(計算安定条件より設定)							
基礎方程式	線形長波	非線形長波						
沖合境界条件	自由透過	外側の格子領域と、水位・流量を接続						
陸側境界条件	完全反射				小谷ほか(1998)の 遡上境界条件			
初期条件	地震断層モデルを用いてMansinha and Smylie (1971)の方法により計算される海底地殻変位を初期水位として海面上に与える。							
海底摩擦	考慮 しない	マニングの粗度係数 $n=0.03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ (土木学会(2002))						
水平渦動粘性	考慮 しない	係数 $K_h=1.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ (土木学会(2002))						
計算潮位	検証計算:T.P.±0.0m 予測計算:M.S.L.=T.P.+0.21m							
計算時間	地震発生後3時間							

2-3 既往津波の再現性検討

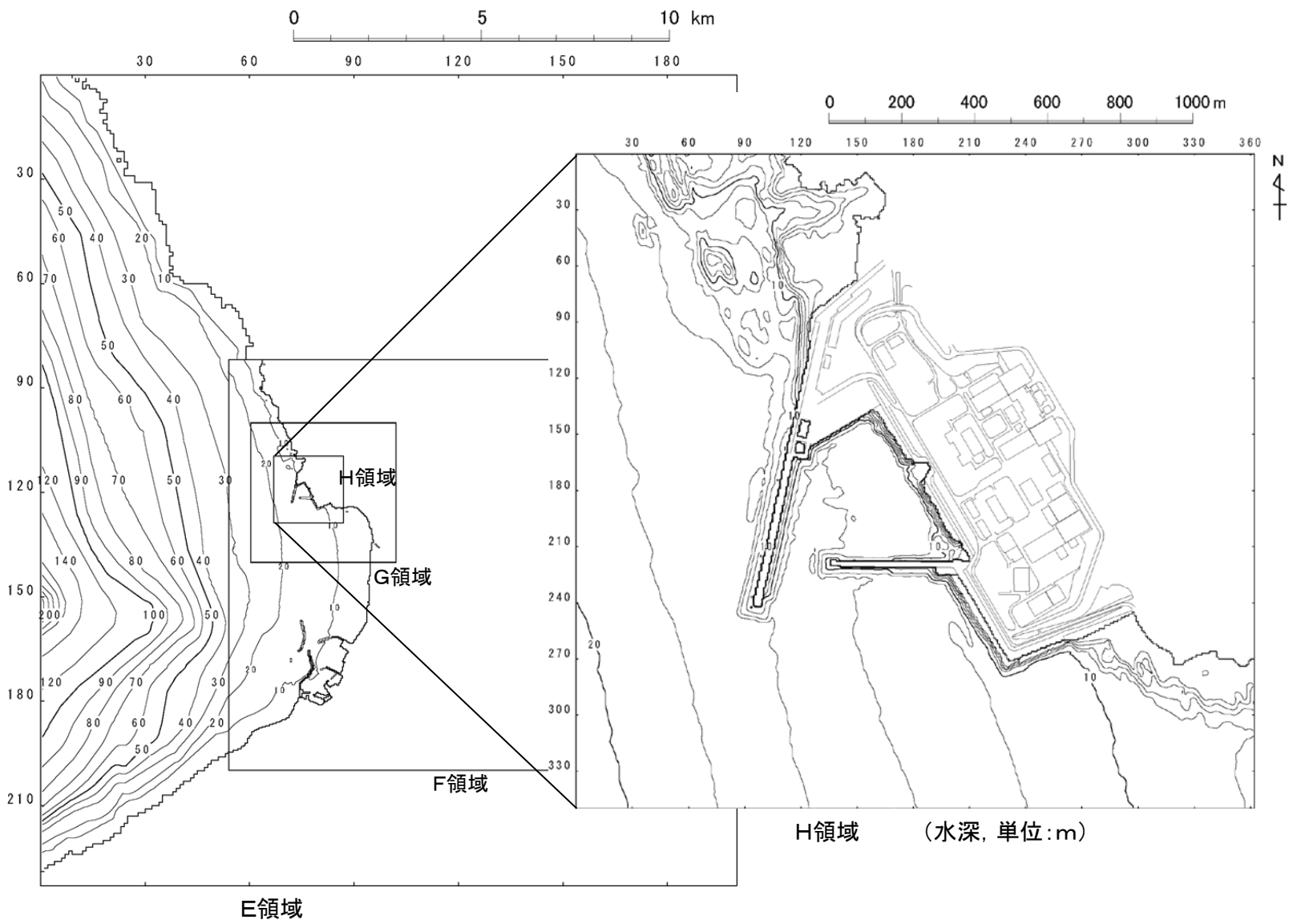
海底地形のモデル化 (1/2)



計算領域と水深

2-3 既往津波の再現性検討

海底地形のモデル化 (2/2)



H領域 (水深, 単位:m)

E領域

計算領域と水深

2-3 既往津波の再現性検討

再現性の評価

- 再現性の評価の指標としては、相田（1977）による痕跡高と津波の数値シミュレーションにより計算された津波高との比から求める幾何平均値K及びバラツキを表す幾何標準偏差 κ を用いた。
- 幾何平均値K及び幾何標準偏差 κ については、土木学会（2002）による再現性の目安が以下のように示されている。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log \kappa = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right\}^{1/2}$$

$$K_i = \frac{R_i}{H_i}$$

ここで R_i は i 番目の地点の観測値（痕跡高）、 H_i は i 番目の地点の計算値

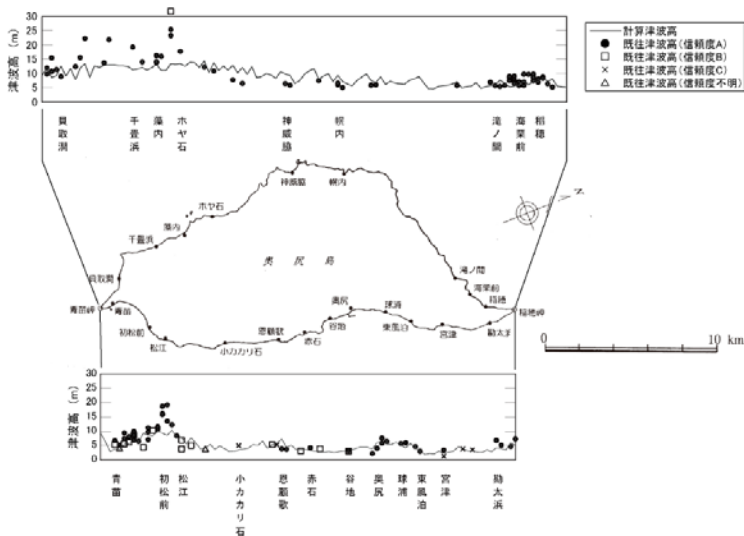
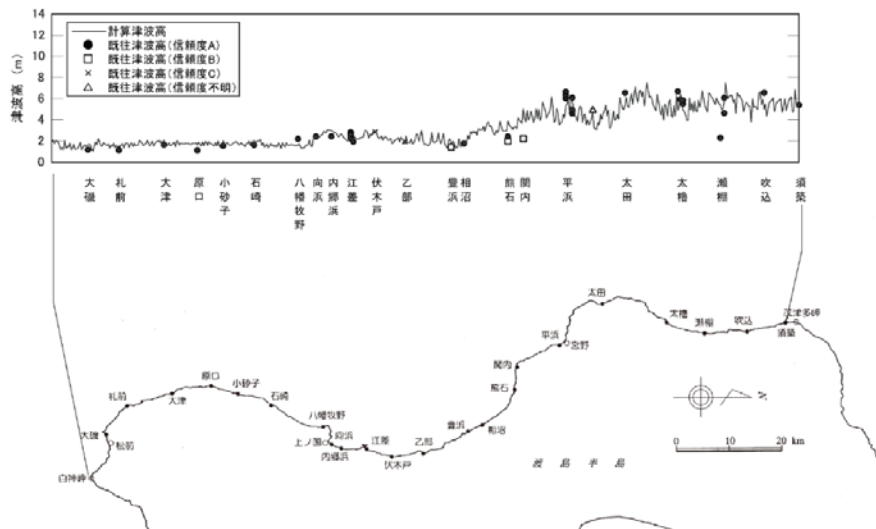
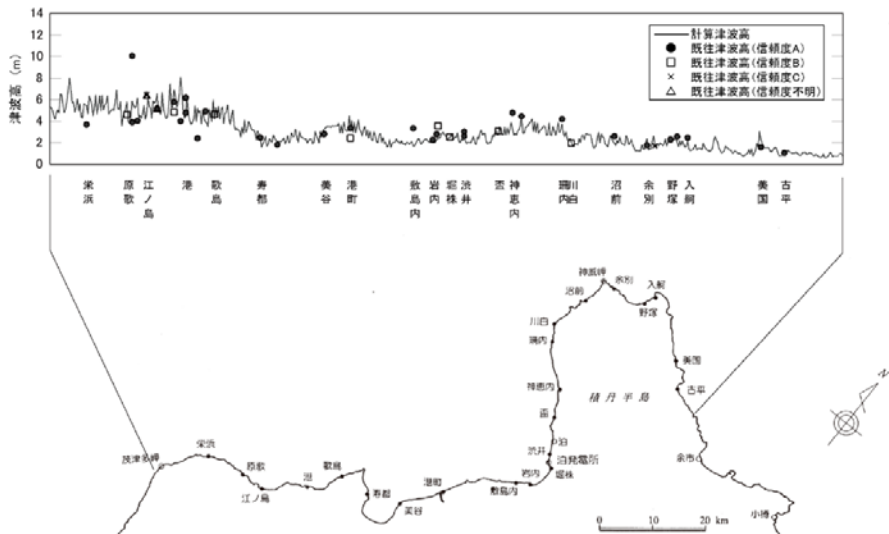
【幾何平均値K及び幾何標準偏差 κ の再現性の目安（土木学会（2002）による）】

$$0.95 < K < 1.05$$

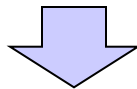
$$\kappa < 1.45$$

2-3 既往津波の再現性検討

既往津波と計算津波高の比較 (1993年北海道南西沖地震津波)



北海道西岸 (n=151)
 $K=0.99, \kappa=1.37$



再現性は良好であり、数値シミュレーションが妥当であることを確認した。

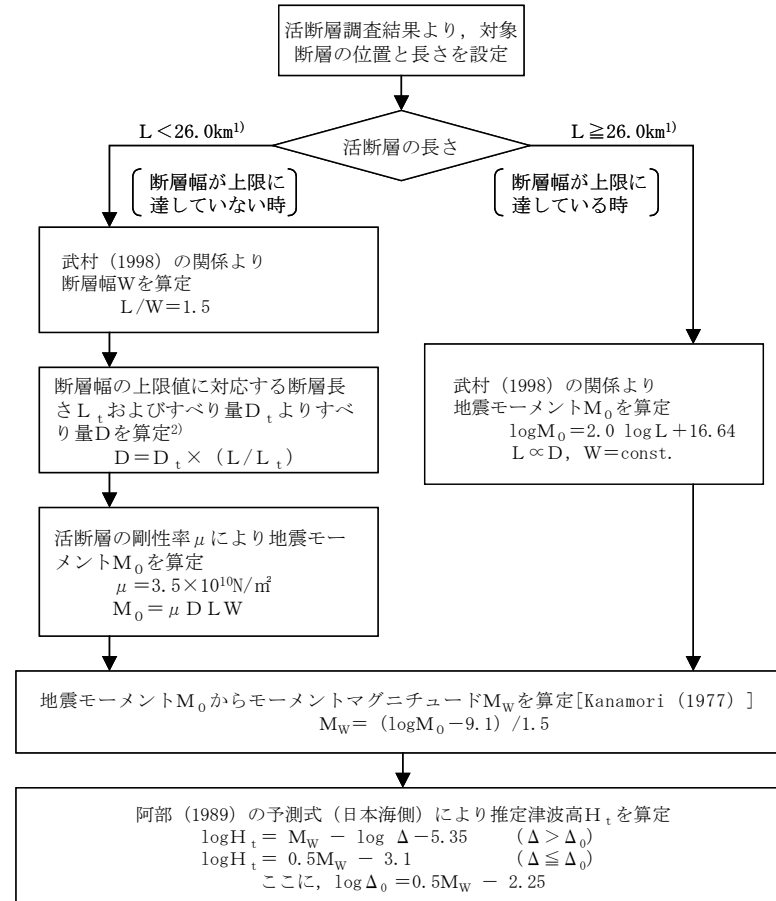
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
 2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

検討方針

- 発電所敷地前面において、後期更新世以降の活動を考慮する断層のうち、敷地に影響が大きいと考えられるものを検討対象断層とする。
- 阿部（1989）の簡易予測式により推定津波高を算定し、数値シミュレーションを実施する評価対象波源を抽出した。



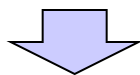
1) 断層幅の上限 W_t は、地震発生層の厚さ H_e を 15 km とし、傾斜角 δ を 60° ($30 \sim 60^\circ$ のうち M_W が最大となる値) とした際には、 $W_t = H_e / \sin \delta = 17.3 \text{ km}$ となる。また、断層幅の上限に対応する断層長さ L_t は、 $L_t = 1.5 W_t = 26.0 \text{ km}$ となる。

2) 断層幅の上限に対応するすべり量 D_t は、モーメントマグニチュードを $M_{W_t} = (\log L_t + 3.77) / 0.75 = 6.91$ 、地震モーメントを $M_{0_t} = 10^{(1.5 M_{W_t} + 9.1)} = 2.95 \times 10^{19} \text{ Nm}$ 、剛性率を $\mu = 3.50 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とした際には、 $D_t = M_{0_t} / (\mu L_t W_t) = 1.87 \text{ m}$ となる。

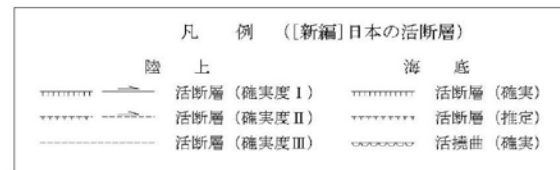
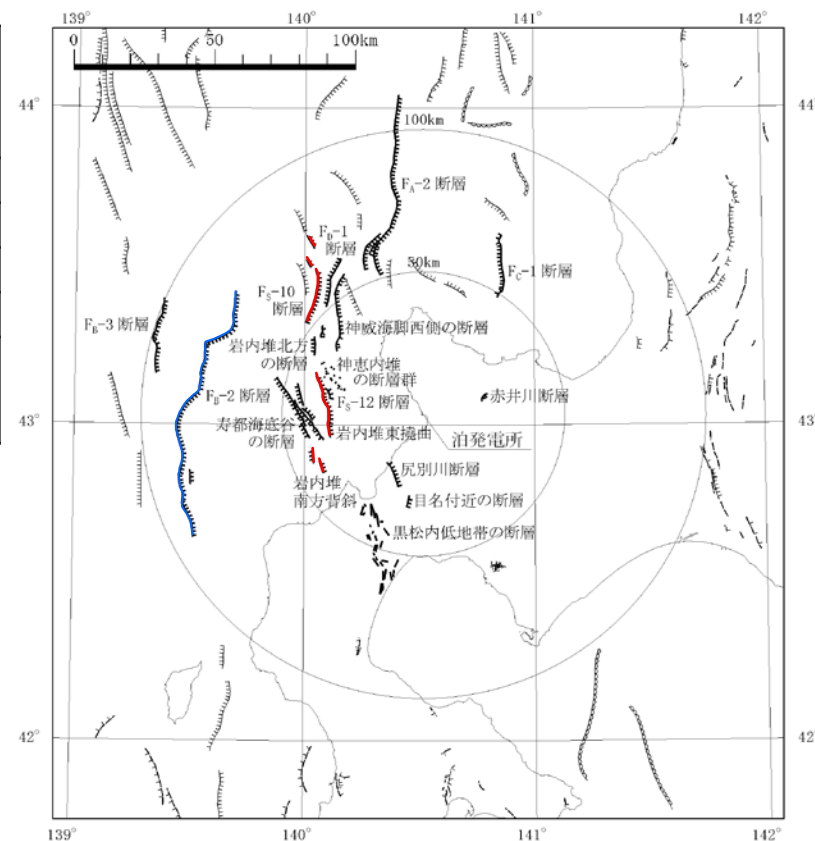
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

簡易予測式による推定津波高

名称	断層長さ L (km)	幅 W (km)	すべり量 D (m)	地震 モーメント M_0 ($N \cdot m$)	モーメント マグニチュード M_W	津波の 伝播距離 Δ (km)	推定 津波高 H_t (m)
岩内堆東撓曲	23.7	15.8	1.69	2.21×10^{19}	6.8	34	0.9
寿都海底谷の断層	32	17.3	2.28	4.42×10^{19}	7.0	44	1.1
神威海嶺西側の断層	31.5	17.3	2.24	4.28×10^{19}	7.0	48	1.0
F_B-2断層	101	17.3	7.19	4.40×10^{20}	7.7	85	2.6
F_S-10断層 ～岩内堆東撓曲 ～岩内堆南方背斜	98	17.3	6.98	4.15×10^{20}	7.7	42	5.1



- 簡易予測式により、推定津波高が大きい評価となったF_B-2断層及び、一連の断層として評価する「F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜」について、数値シミュレーションを実施。
- 断層の連動については、今後の審査で説明予定。



太線は主な活断層を示す。

[活断層研究会(1991)に一部加筆]

海域活断層分布

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

F_B-2断層

津波評価手法

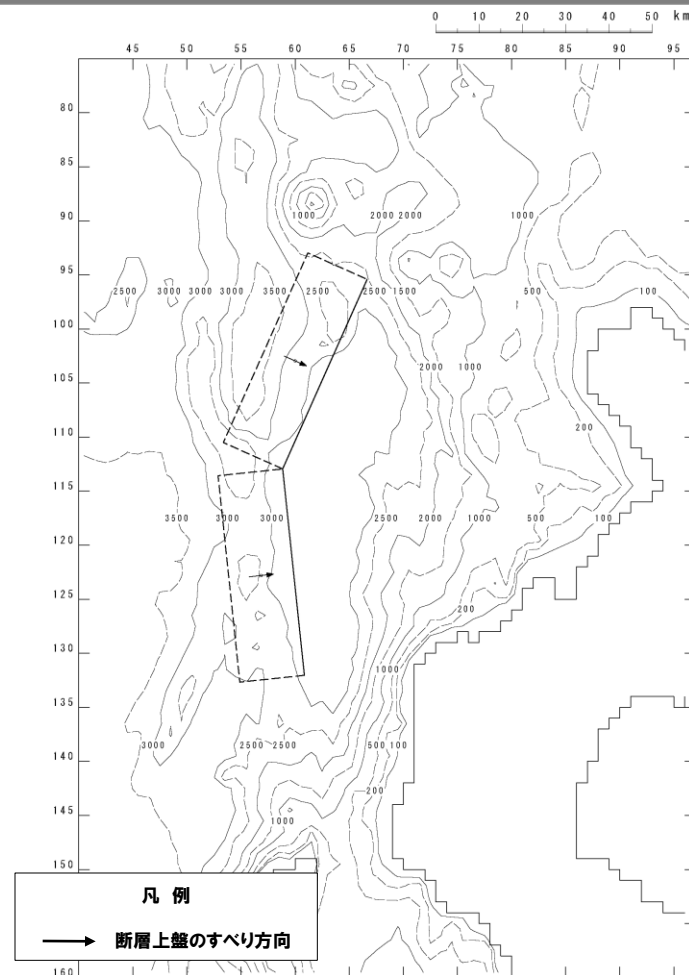
- 土木学会(2002)に基づき、基準断層モデルを設定し、不確かさを考慮した数値シミュレーションを実施。

基準断層モデル

- 地質調査結果より、断層位置、断層長さ、走向、傾斜方向を設定。
- 地質調査結果に基づき、北断層48km及び南断層48kmの矩形モデルを設定。

[基準断層モデル諸元]

断層パラメータ	F _B -2断層	備考
モーメントマグニチュード M_w	7.67	武村(1998)に基づくスケーリング則により設定。
断層長さ L	96km (48km×2)	地質調査結果により設定。
断層幅 W	21.21km	地震発生層の厚さ(15km)と傾斜角により設定。
すべり量 D	5.65m	M_w , L, Wにより設定。
断層面上縁深さ d	0km	
走向 θ	北断層 204° 南断層 174°	地質調査結果により、西側傾斜の逆断層と設定。
傾斜角 δ	45°	日本海東縁部の傾斜角30~60°より設定。
すべり角 λ	90°	



基準断層モデル図

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

パラメータスタディ (F_B-2断層)

- ①概略パラメータスタディとして、傾斜角とすべり角を組み合わせた9ケースの数値シミュレーションを実施し、敷地前面の水位上昇及び水位下降（1, 2号炉取水口, 3号炉取水口）に関して各々の最大ケースを抽出。
- ②詳細パラメータスタディとして、上記で得られた最大ケースについて、断層面上縁深さ6ケースの数値シミュレーションを実施。

①概略パラメータスタディ

パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	
傾斜角	30, 45, 60°	3	計 9
すべり角	75, 90, 105°	3	

最大
ケース

②詳細パラメータスタディ

区分	パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	
敷地前面 最大水位上昇ケース	断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	計6
1, 2号炉取水口 最大水位下降ケース	断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	
3号炉取水口 最大水位下降ケース				

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

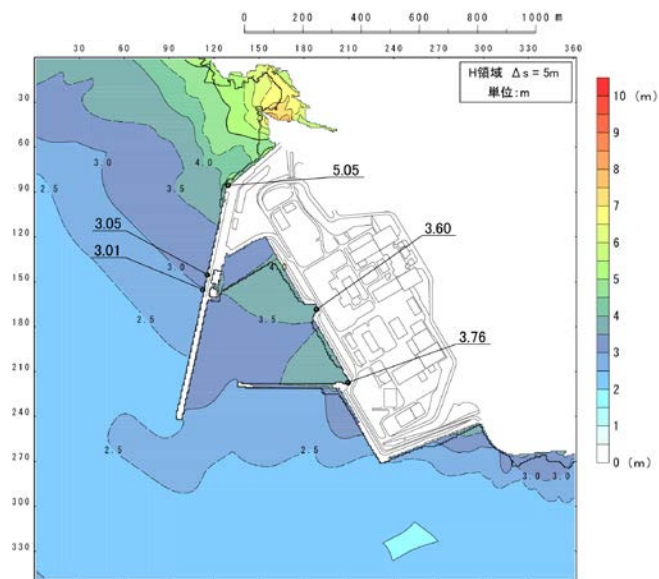
数値シミュレーション結果 (F_B-2断層) (詳細パラメータスタディ)

数値シミュレーション結果一覧

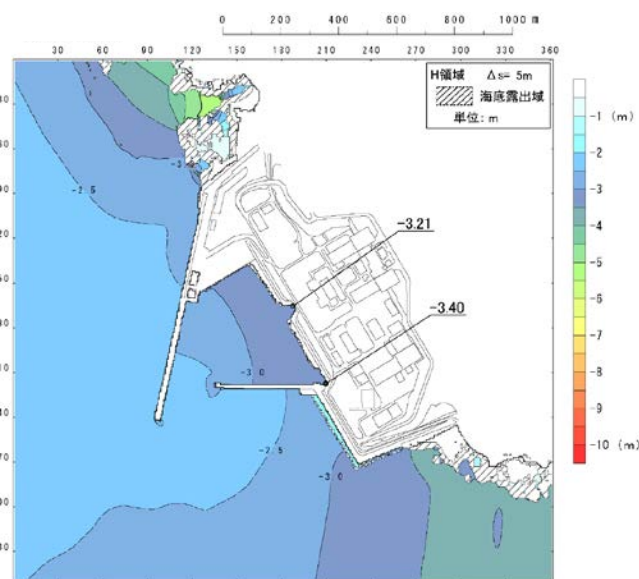
区分	計算値	断層パラメータの概要
敷地前面 最大水位上昇量	5.05m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 5.0\text{km}$
3号炉取水口 最大水位上昇量	3.76m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 5.0\text{km}$
3号炉取水口 最大水位下降量	3.40m	傾斜角 $\delta = 45^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 2.5\text{km}$
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	3.60m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 5.0\text{km}$
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	3.21m	傾斜角 $\delta = 45^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 2.5\text{km}$

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

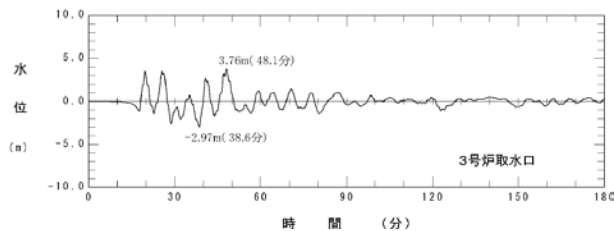
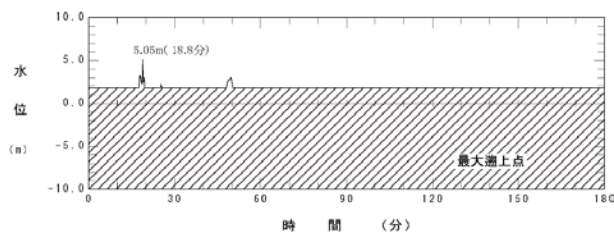
数値シミュレーション結果 (3号炉) (F_B-2断層) (詳細パラメータスタディ)



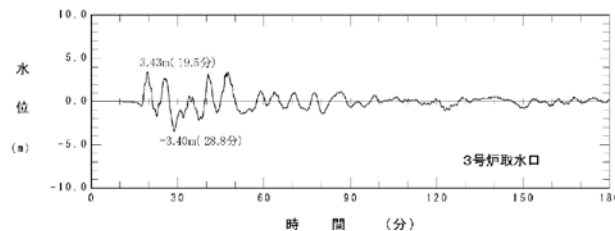
最大水位上昇量分布
(敷地前面最大水位上昇ケース)



最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



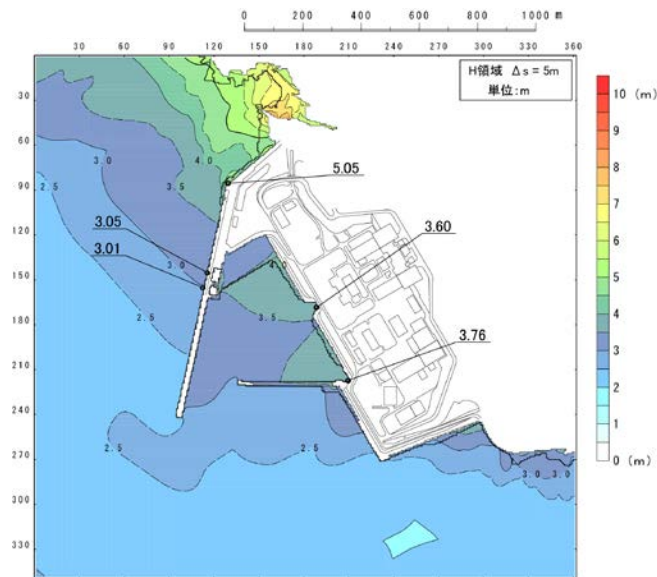
水位時刻歴波形
(敷地前面最大水位上昇ケース)



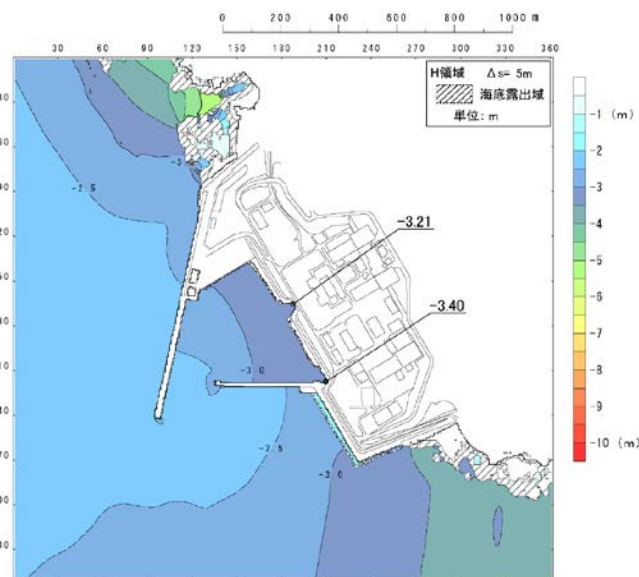
水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

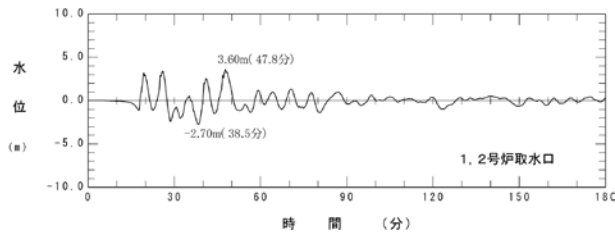
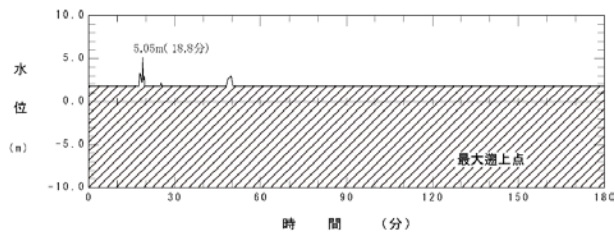
数値シミュレーション結果 (1, 2号炉) (F_B-2断層) (詳細パラメータスタディ)



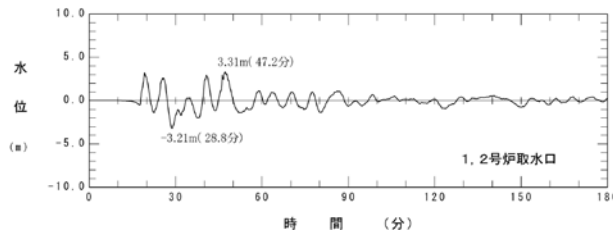
最大水位上昇量分布
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



水位時刻歴波形
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

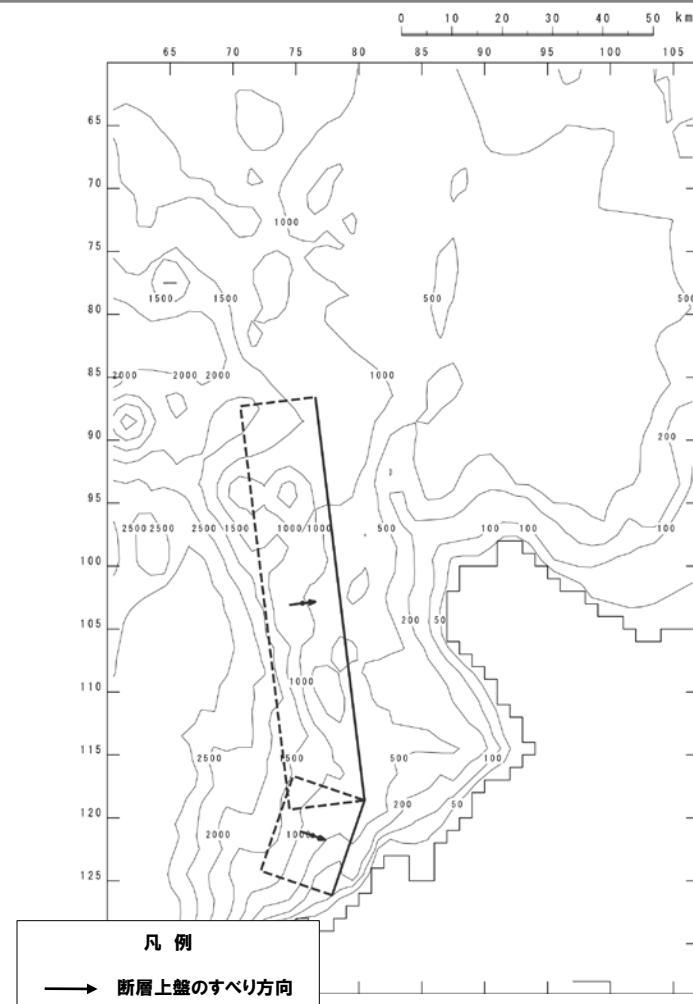
一連の断層による検討 (F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜)

基準断層モデル

- 地質調査結果より、断層位置、断層長さ、走向、傾斜方向を設定。
- 地質調査結果に基づき、北断層80.7km及び南断層19.9kmの矩形モデルを設定。
- パラメータスタディの方法は F_B-2 断層の方法と同様。

[基準断層モデル諸元]

断層パラメータ	F_S-10 断層～ 岩内堆東撓曲～ 岩内堆南方背斜	備考
モーメントマグニチュード M_W	7.70	武村(1998)に基づくスケーリング則により設定。
断層長さ L	100.6km (80.7km+19.9km)	地質調査結果により設定。
断層幅 W	21.21km	地震発生層の厚さ(15km)と傾斜角により設定。
すべり量 D	5.92m	M_W , L , W により設定。
断層面上縁深さ d	0km	
走向 θ	北断層 173° 南断層 199°	地質調査結果により、西側傾斜の逆断層と設定。
傾斜角 δ	45°	日本海東縁部の傾斜角30～60°より設定。
すべり角 λ	90°	



基準断層モデル図

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

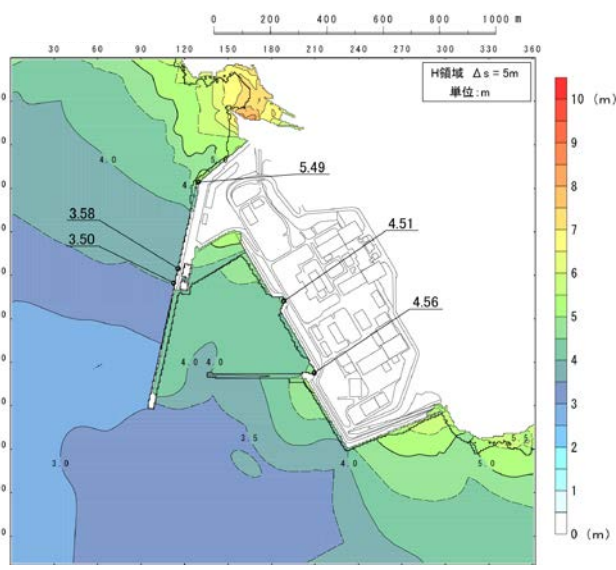
数値シミュレーション結果 (F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜) (詳細パラメータスタディ)

数値シミュレーション結果一覧

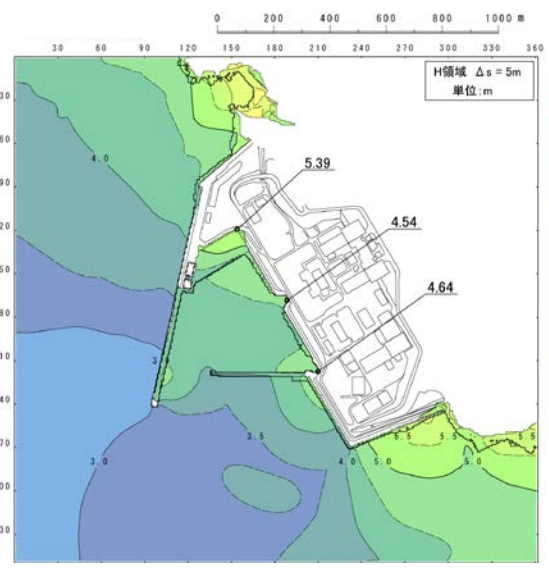
区分	計算値	断層パラメータの概要
敷地前面 最大水位上昇量	5.49m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 2.5\text{km}$
3号炉取水口 最大水位上昇量	4.64m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 5.0\text{km}$
3号炉取水口 最大水位下降量	4.24m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 2.5\text{km}$
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	4.54m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 5.0\text{km}$
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	3.92m	傾斜角 $\delta = 60^\circ$, すべり角 $\lambda = 90^\circ$, 断層面上縁深さ $d = 2.5\text{km}$

2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

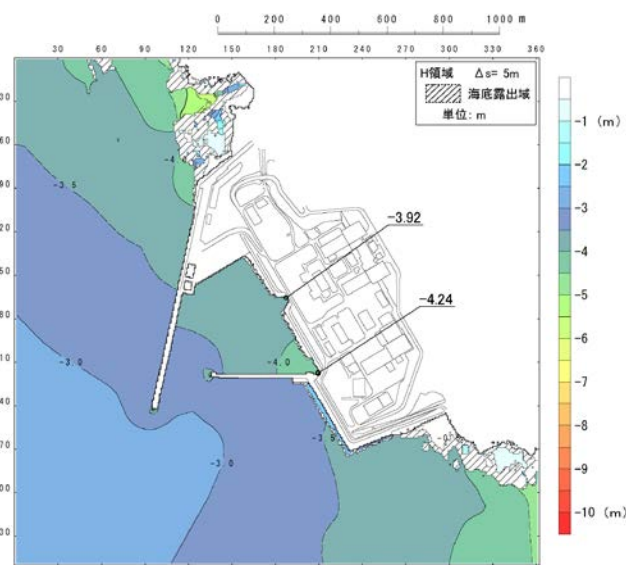
数値シミュレーション結果 (3号炉) (F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜) (詳細パラメータスタディ)



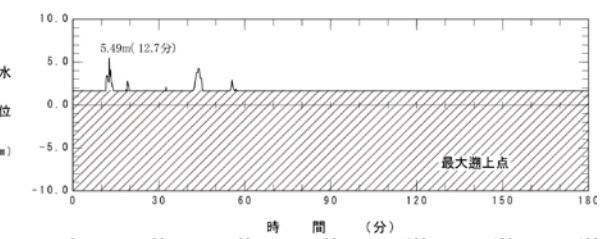
最大水位上昇量分布
(敷地前面最大水位上昇ケース)



最大水位上昇量分布
(取水口最大水位上昇ケース)



最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



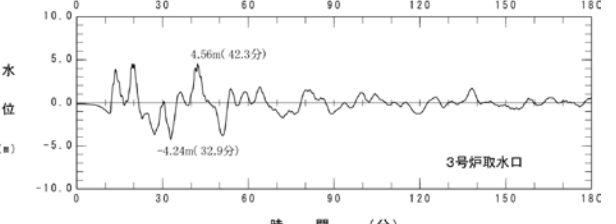
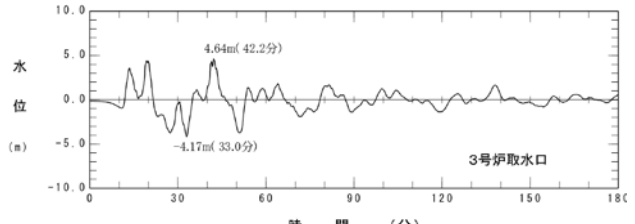
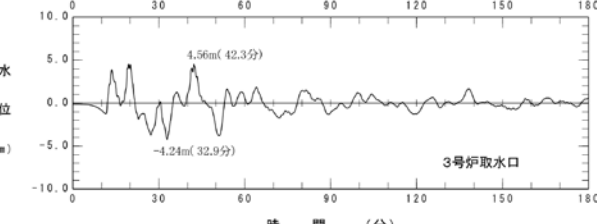
水位時刻歴波形
(敷地前面最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位上昇ケース)

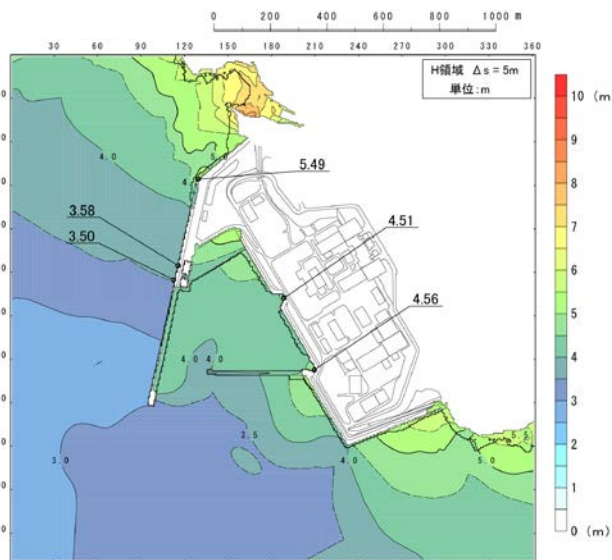


水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

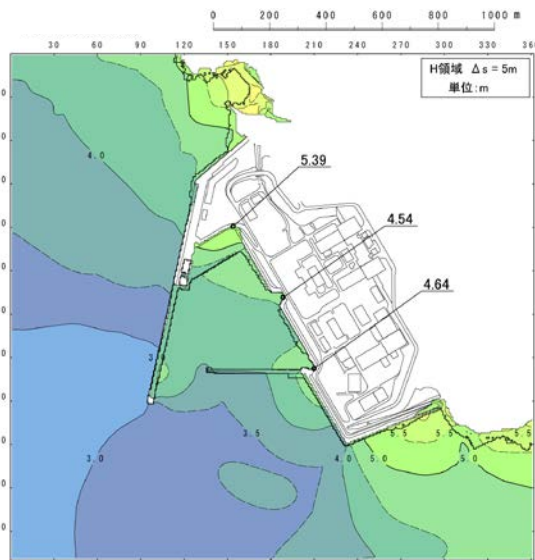


2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

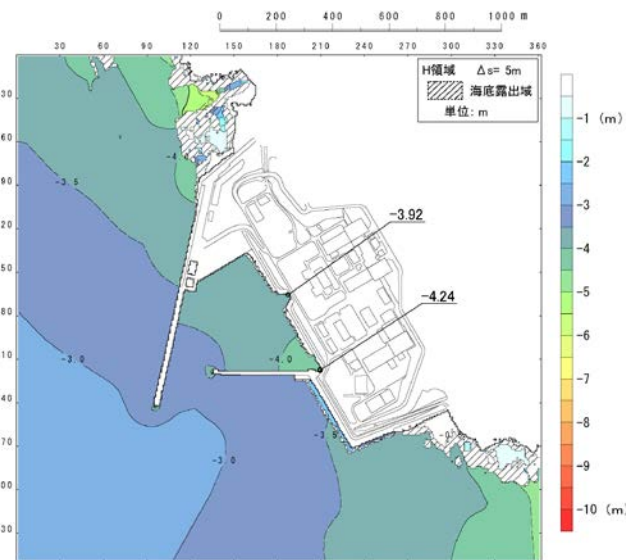
数値シミュレーション結果 (1, 2号炉) (F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜) (詳細パラメータスタディ)



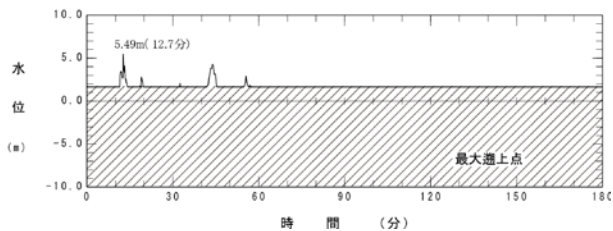
最大水位上昇量分布
(敷地前面最大水位上昇ケース)



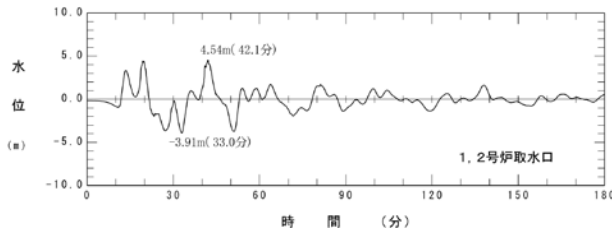
最大水位上昇量分布
(取水口最大水位上昇ケース)



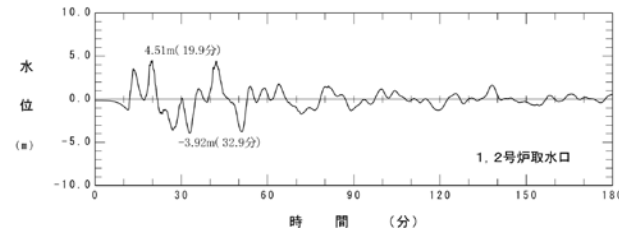
最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



水位時刻歴波形
(敷地前面最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

検討方針

- 土木学会(2002)「原子力発電所の津波評価技術」に基づき、基準断層モデルを設定し、不確かさを考慮した数値シミュレーションを実施する。
- 日本海東縁部における連動を考慮する波源について、日本海東縁部の地形、地質・地質構造、震源分布などの最新の知見を整理したうえで、敷地への影響について検討する。

土木学会 (2002) に基づく検討

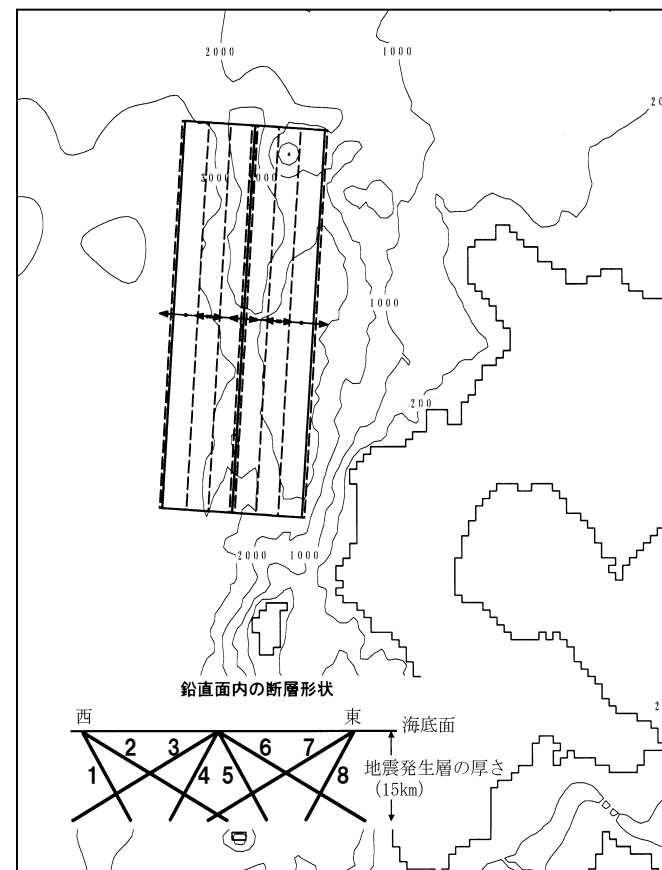
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

基本ケース

○土木学会(2002)に基づき、基準断層モデルを設定し、不確かさを考慮した数値シミュレーションを実施。

基準断層モデル

- 1993年北海道南西沖地震の津波を再現する波源モデルの M_w 7.84を下回らないように M_w 7.85と設定。
- 日本海東縁部に位置する東西幅50kmの帯状の発生海域を想定。



基準とする波源位置及びパターン

[基準断層モデル諸元]

断層パラメータ	日本海東縁部	備考
モーメントマグニチュード' M_w	7.85	1993年北海道南西沖地震の津波を再現するモデルの M_w (7.84) を下回らないように設定。
断層長さ L	131.1km	武村(1998)に基づくスケーリング則により設定。
断層幅 W	30, 17.3km	地震発生層の厚さ(15km)と傾斜角により設定。
すべり量 D	5.45, 9.45m	M_w , L, Wにより設定。
断層面上縁深さ d	0km	
走向 θ	3, 183°	海底地形の特徴により西傾斜と東傾斜の2通りを設定。
傾斜角 δ	30, 60°	
すべり角 λ	90°	

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

パラメータスタディ

- ①位置と走向を組合せた216ケースの数値シミュレーションを行い、敷地前面の水位上昇及び取水口の水位下降に関して各々の最大ケースを抽出。
- ②上記で得られた最大ケースについて、傾斜角と断層面上縁深さを組合せた27ケースの数値シミュレーションを実施。

①概略パラメータスタディ

パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	
南北方向位置	基準, 南に10, 20km, 北に10, 20, 30, 40, 50, 60km移動	9	計 216
東西方向位置	8パターン	8	
走向	基準, $\pm 10^\circ$	3	



②詳細パラメータスタディ

区分	パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	
敷地前面 最大水位上昇ケース	傾斜角	45, 52.5, 60°	3	計9
	断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	
1, 2号炉取水口 最大水位下降ケース	傾斜角	45, 52.5, 60°	3	計9
	断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	
3号炉取水口 最大水位下降ケース	傾斜角	45, 52.5, 60°	3	計9
	断層面上縁深さ	0, 2.5, 5km	3	

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

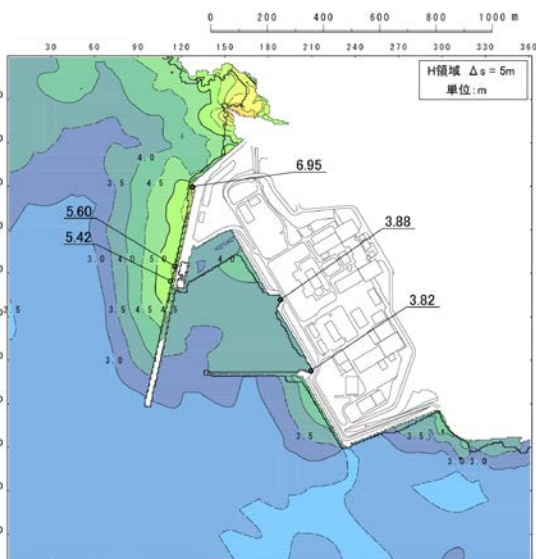
数値シミュレーション結果 (詳細パラメータスタディ)

数値シミュレーション結果一覧

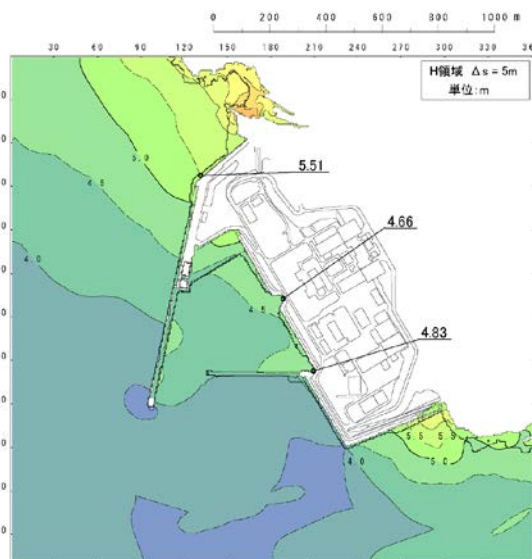
区分	計算値	断層パラメータの概要
敷地前面 最大水位上昇量	6.95m	東西方向中央, 西傾斜 ($\delta = 52.5^\circ$) のW=17.3kmの断層を北へ10km移動, 走向を基準+10°, 断層面上縁深さd=0.0km
3号炉取水口 最大水位上昇量	4.83m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 52.5^\circ$) のW=17.3kmの断層を南北方向基準位置, 走向を基準, 断層面上縁深さd=5.0km
3号炉取水口 最大水位下降量	5.79m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 52.5^\circ$) のW=17.3kmの断層を南北方向基準位置, 走向を基準, 断層面上縁深さd=5.0km
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	4.71m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 60.0^\circ$) のW=17.3kmの断層を南北方向基準位置, 走向を基準-10°, 断層面上縁深さd=5.0km
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	5.71m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 45.0^\circ$) のW=17.3kmの断層を南北方向基準位置, 走向を基準, 断層面上縁深さd=5.0km

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

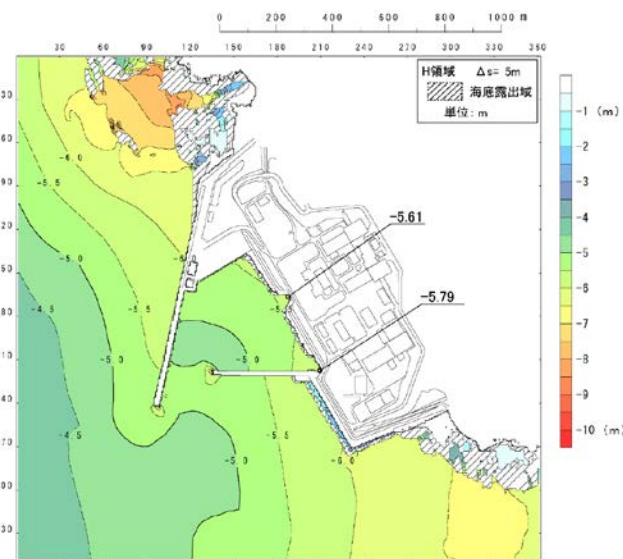
数値シミュレーション結果 (3号炉) (詳細パラメータスタディ)



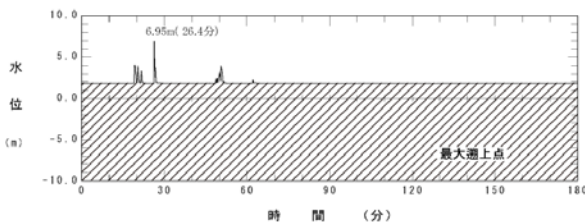
最大水位上昇量分布
(敷地前面最大水位上昇ケース)



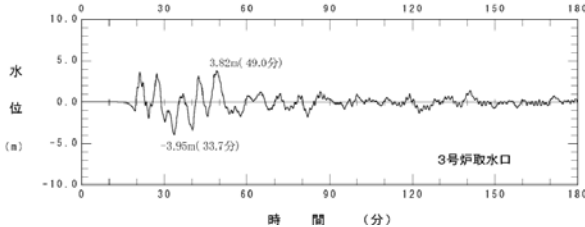
最大水位上昇量分布
(取水口最大水位上昇ケース)



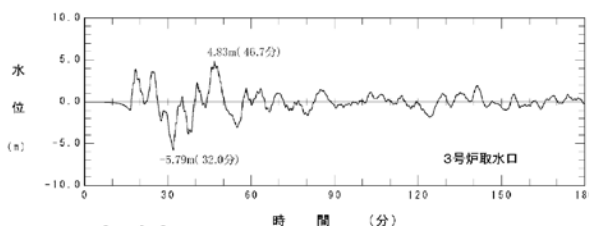
最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



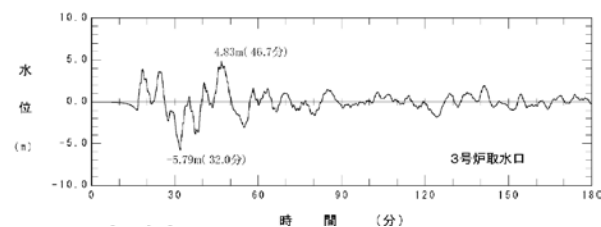
水位時刻歴波形
(敷地前面最大水位上昇ケース)



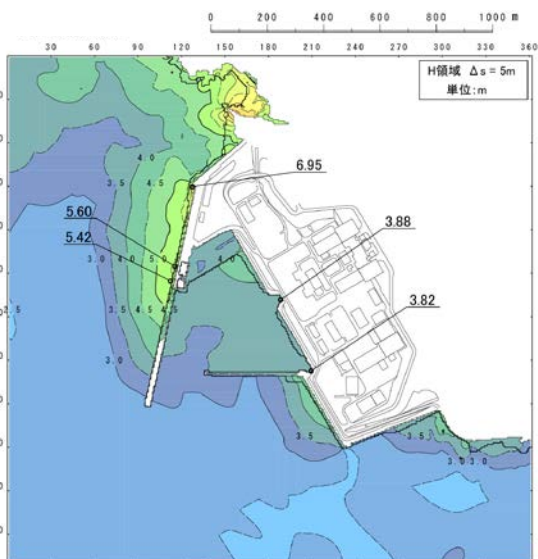
水位時刻歴波形
(取水口最大水位上昇ケース)



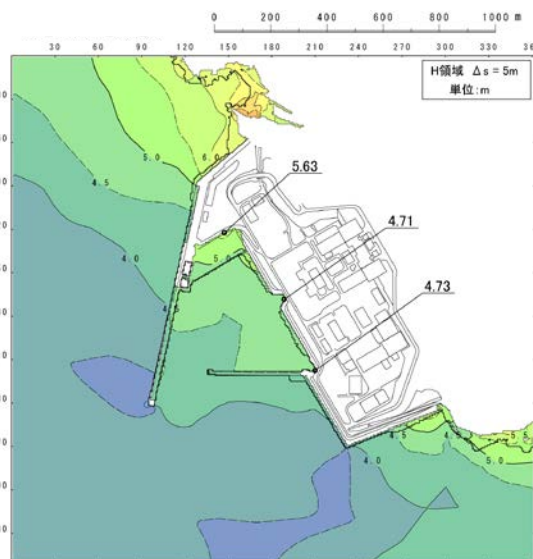
水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)



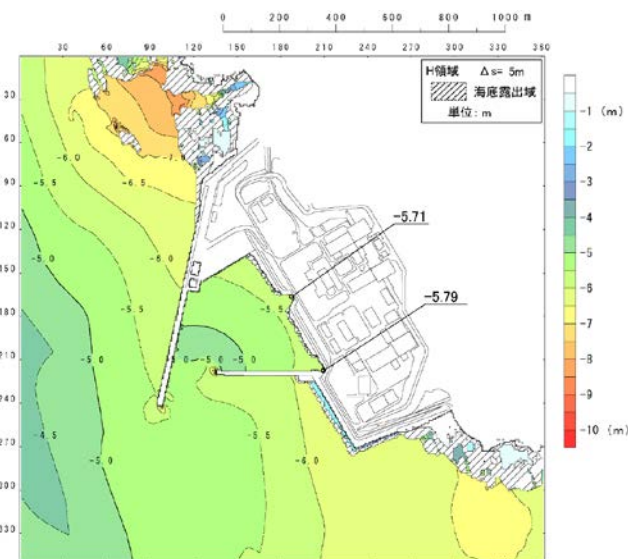
数値シミュレーション結果 (1, 2号炉) (詳細パラメータスタディ)



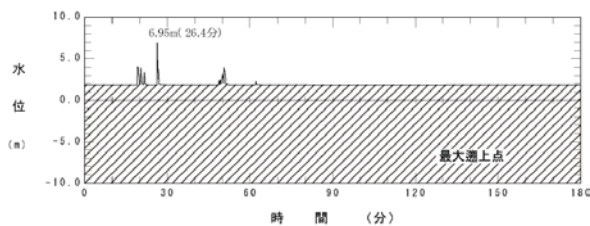
最大水位上昇量分布
(敷地前面最大水位上昇ケース)



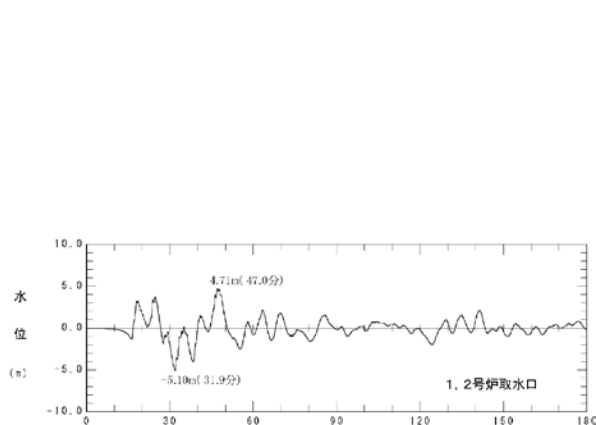
最大水位上昇量分布
(取水口最大水位上昇ケース)



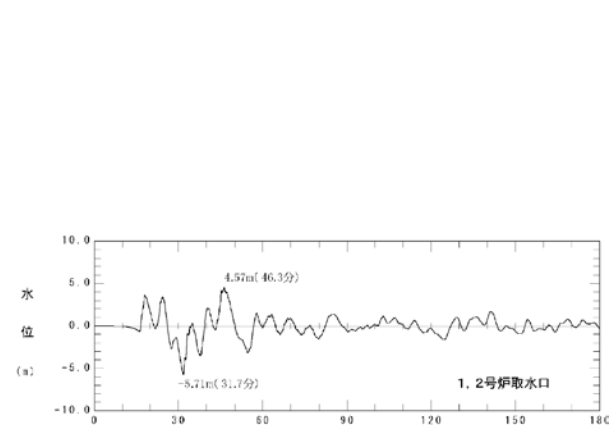
最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



水位時刻歴波形
(敷地前面最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位上昇ケース)

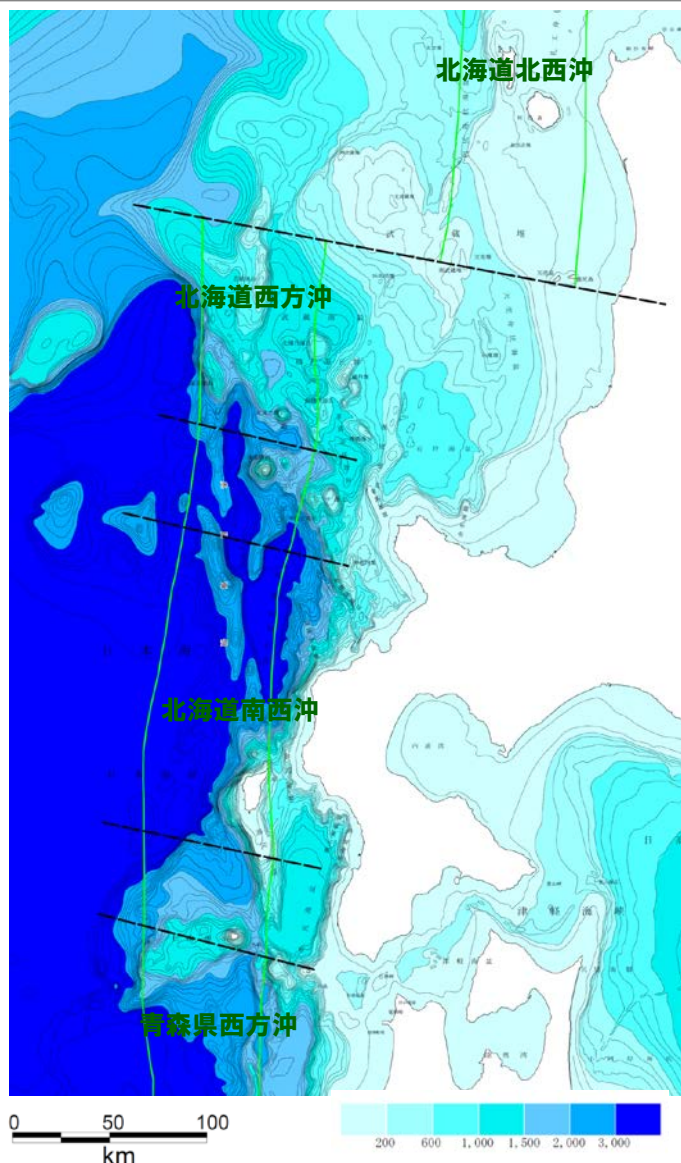


水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

連動を考慮した検討

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

連動を考慮する波源についての考え方

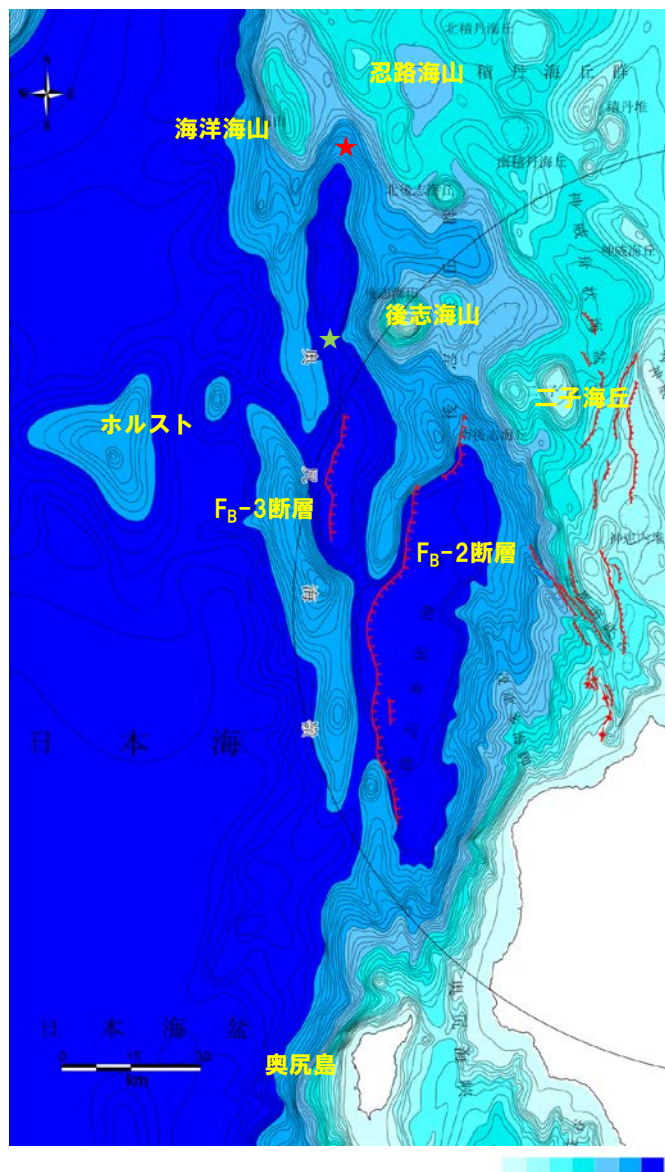


- 連動を考慮する波源域は、以下を踏まえ、日本海盆東縁の奥尻海嶺沿いとして検討した。
 - ・日本海東縁で発生した比較的規模の大きい「北海道南西沖地震」, 「日本海中部地震」が日本海盆東縁の水深3,000m以深の海洋地殻, あるいは, それに近い地殻構造をもつ海域で発生したと考えられている。
 - ・日本海東縁部中部 (津軽半島西方～積丹半島西方) では, 奥尻海嶺を中心とした比較的幅の狭い範囲に活断層が集中しており, このゾーンでひずみが解消していると考えられている。

- 端部の検討にあたっては, 海上保安庁水路部 (2001) 等において, 本地域における震源域が基盤深度の急変や海底火山, 日本海拡大時のホルスト等周辺と地殻構造が異なると予測される海底で区分されることを踏まえて設定した。

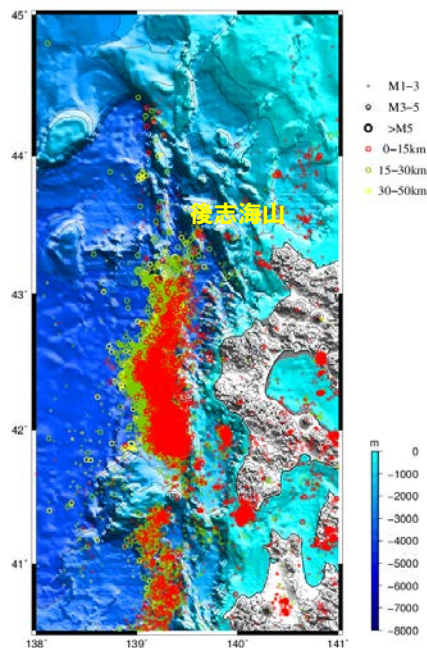
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

波源北端の検討



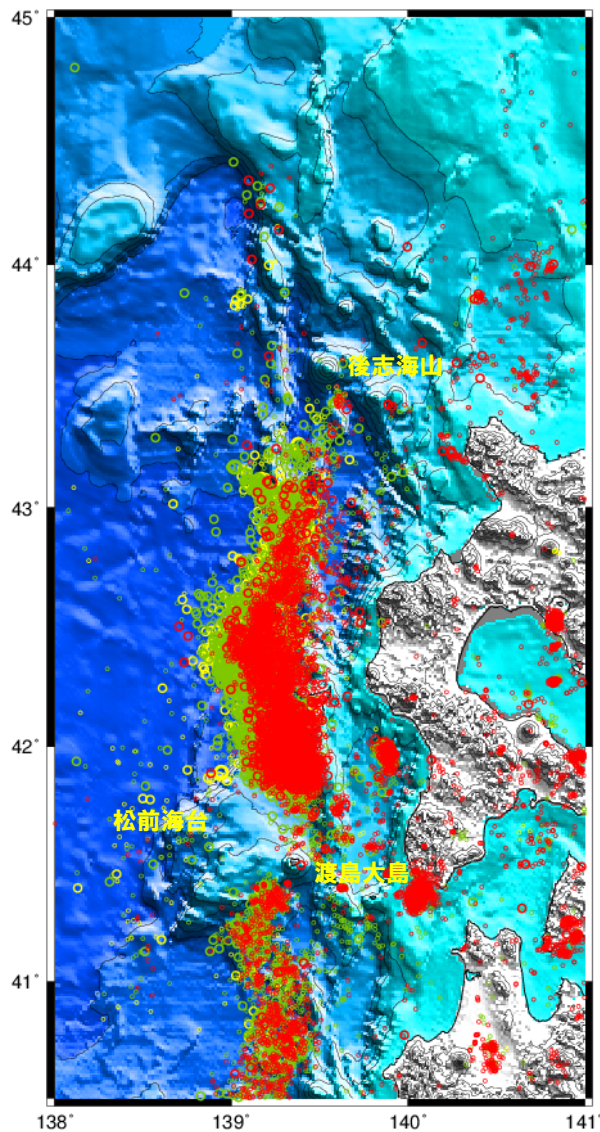
敷地周辺海域の地形図

- 敷地周辺海域では、岡村ほか（1998）による「後志舟状海盆西側」の構造区にあたる後志舟状海盆西側にF_B-2断層（約101km），後志舟状海盆北西の小海盆の西縁にF_B-3断層（約45km）を震源として考慮する断層として評価している。
- また、F_B-3断層が分布する小海盆北端（図中★）の北方には水深3,000m以深の小海盆が分布する。
- F_B-3断層付近の小海盆及びその北方の小海盆西側のN-S方向の高まりは、約300万年前以降の東西圧縮応力場で成長した短縮変形の一部と考えられる。
- これらの海盆は、後志海山の形成により分化したものと推定され、後志海山付近で基盤構造が変化している可能性が考えられ、北海道南西沖地震以降10年間の震源分布においても後志海山を越えて震源の集中は認められない。
- しかし、これらの海盆は構造的に類似していることを考慮し、北側の海盆（以下、「海洋海山南東の海盆」という）の北端（図中★）まで考慮した。



日本海東縁中部の震源分布
 期間1993/6/1～2003/5/31；
 深さ0～50km M₀≥1

波源南端の検討

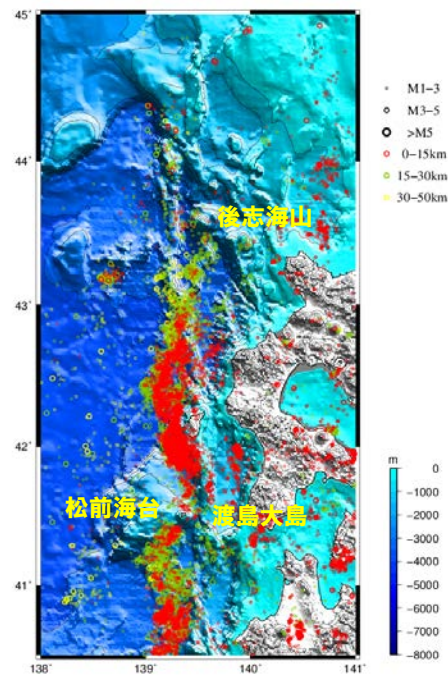


日本海東縁中部の震源分布

期間1993/6/1～2003/5/31；深さ0～50km, $M \geq 1$

- M1-3
- ◐ M3-5
- ◉ >M5
- 0-15km
- 15-30km
- 30-50km

- 左図は、北海道南西沖地震直前の1993年6月から10年間の50km以浅の震源位置を示す。
- 震源は、岡村ほか（1998）に示される「奥尻島及び奥尻海嶺」及び「後志舟状海盆西側」構造区に集中し、北部では主に後志舟状海盆西縁（ F_B -2断層）沿いに、南部では、奥尻海脚に沿いに帯状に分布するが、北部では後志海山、南部では松前海台及び渡島大島を越えて連続しない。
- 以上を踏まえ、南端については北海道南西沖地震の断層モデルのうち余震域の分布範囲と調和的な青柳ほか（2000）の断層モデルの南端とした。



日本海東縁中部の震源分布

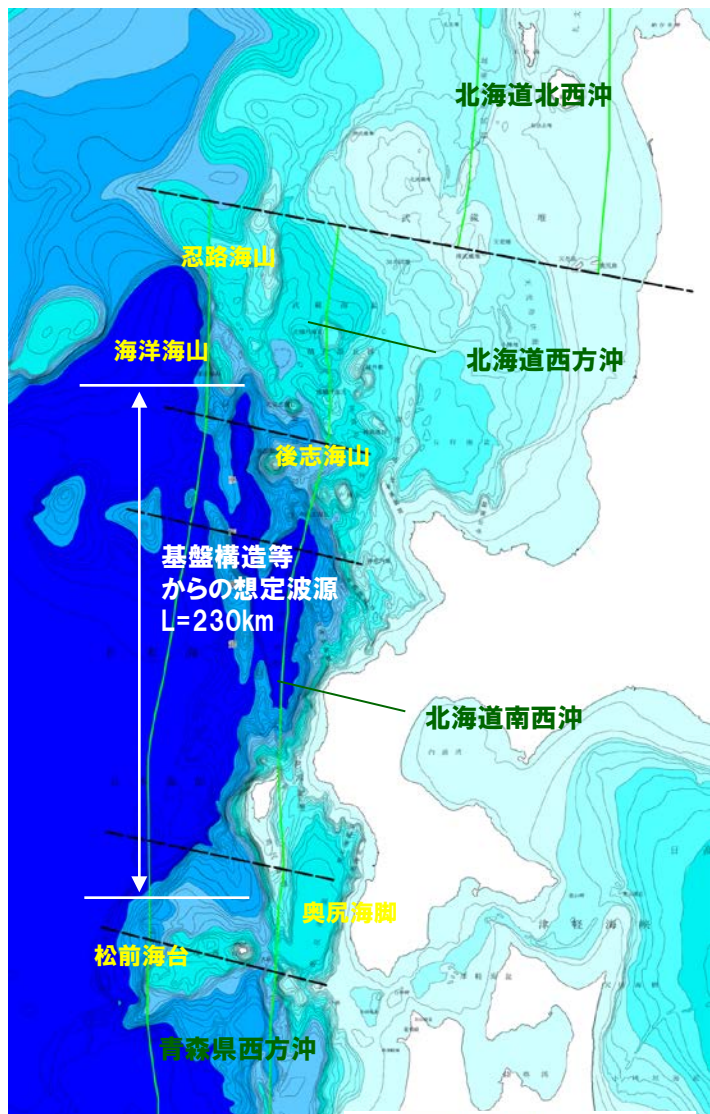
期間2003/6/1～2011/12/31；深さ0～50km, $M \geq 1$

- M1-3
- ◐ M3-5
- ◉ >M5
- 0-15km
- 15-30km
- 30-50km

2003年以降においても、震源の数が少なくなるが、大局的な震源の分布方向、範囲の傾向は変わらない。

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

地震本部 (2003) における評価対象領域との対比



検討の基本とする波源

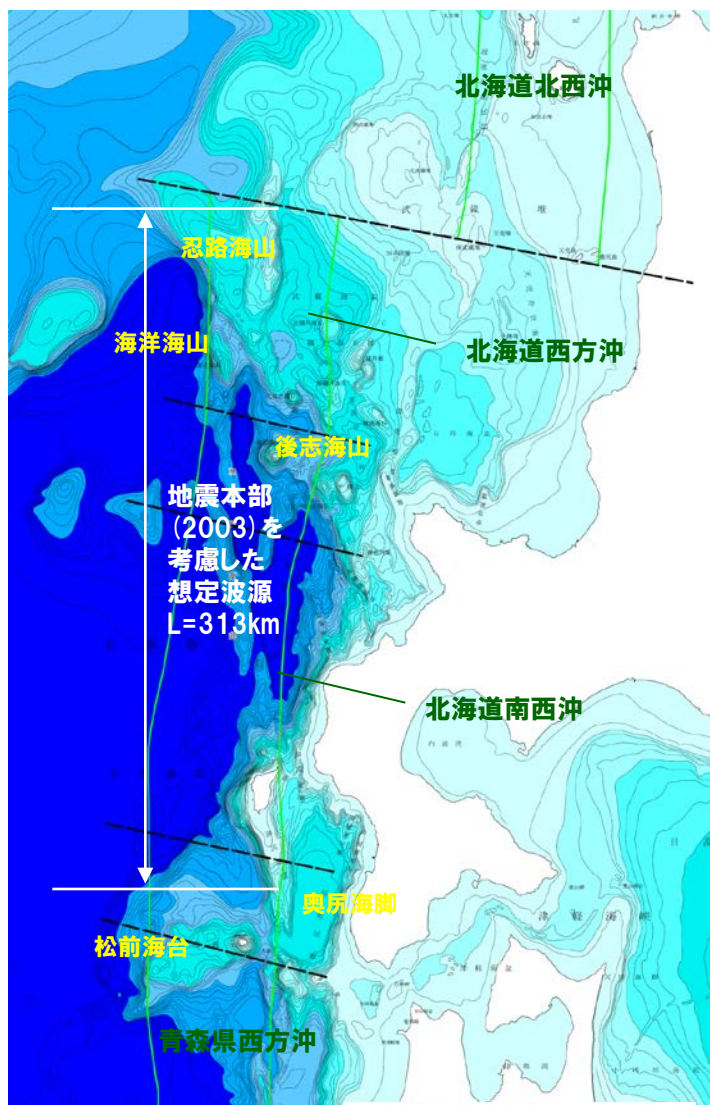
- 基盤構造等の検討結果から、日本海東縁における波源の連動評価の基本とする波源として、奥尻海脚～海洋海山南東の海盆の北端(約230km)を考慮する。
- 波源の傾斜方向は、波源の主要部となる後志舟状海盆沿いの地質構造を考慮して西傾斜とする。
- 一方、地震本部(2003)では、奥尻海嶺沿いに北海道南西沖及び北海道西方沖の地震の発生領域を設定しており、それぞれ、M7.8及びM7.5の逆断層型の地震規模を想定している。
- 「基本とする波源」は、北海道南西沖の地震の発生領域を包含し、北端付近では、地震本部(2003)における北海道西方沖の地震の発生領域と一部重複する。
- また、日本海盆東縁に接する奥尻海嶺の一部(海洋海山)が、北海道西方沖の地震の発生領域の中央部付近に認められる。



波源連動(長さ)の評価に当たっては、長さの不確かさを念頭におき、保守的に地震本部(2003)における北海道西方沖の地震の発生領域も考慮して検討することとする。

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

波源の連動を考慮する範囲について



- 波源連動の評価に当たっては、「基本とする波源」が地震本部（2003）における北海道西方沖の地震の発生領域と重複することを鑑み、保守的にそれを包含する範囲とし、奥尻海嶺沿いの北海道西方沖の地震の発生領域の北端とした。
- 上記の追加検討結果を踏まえ、北端及び南端は以下のとおりとし、約313kmと評価する。

北端：地震本部における北海道西方沖の領域の震源断層面の北端。
南端：青柳ほか（2000）の断層モデルの南端。

- なお、計算で使用する波源モデルは、上記範囲を包絡する延長320kmの西傾斜の矩形モデルを基本として検討する。

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

波源モデルについて

- 連動評価としては、地質構造、地震観測結果等の検討から得られた約313kmを包絡する320kmの範囲について、日本海東縁部を対象とした根本ほか(2009)のアスペリティモデルにより検討する。
- 根本ほか(2009)では日本海東縁部を対象としたアスペリティを考慮した想定地震の津波波源モデルの検討を行い、以下の結果を得ている。
 - ・日本海東縁部で発生した既往の3地震(1964年新潟地震・1983年日本海中部地震・1993年北海道南西沖地震)に対してインバージョン解析を実施し、既往津波の再現計算による検証を行った。
 - ・上記モデルと、Somervilleほか(1999,2002)が示した地震動解析に基づく内陸地殻内地震及びプレート境界型地震で示された断層すべりの不均質性の特徴を比較した、アスペリティに関する統計的性質は整合的であった。
 - ・以上に基づき、日本海東縁部における想定地震に関する合理的な津波波源モデルの構築方法として、以下を提案している。
 - >断層面を4分割する。
 - >1セグメントをアスペリティ領域とする。
 - >3セグメントを背景領域とする。
 - >すべり量は以下のとおり。

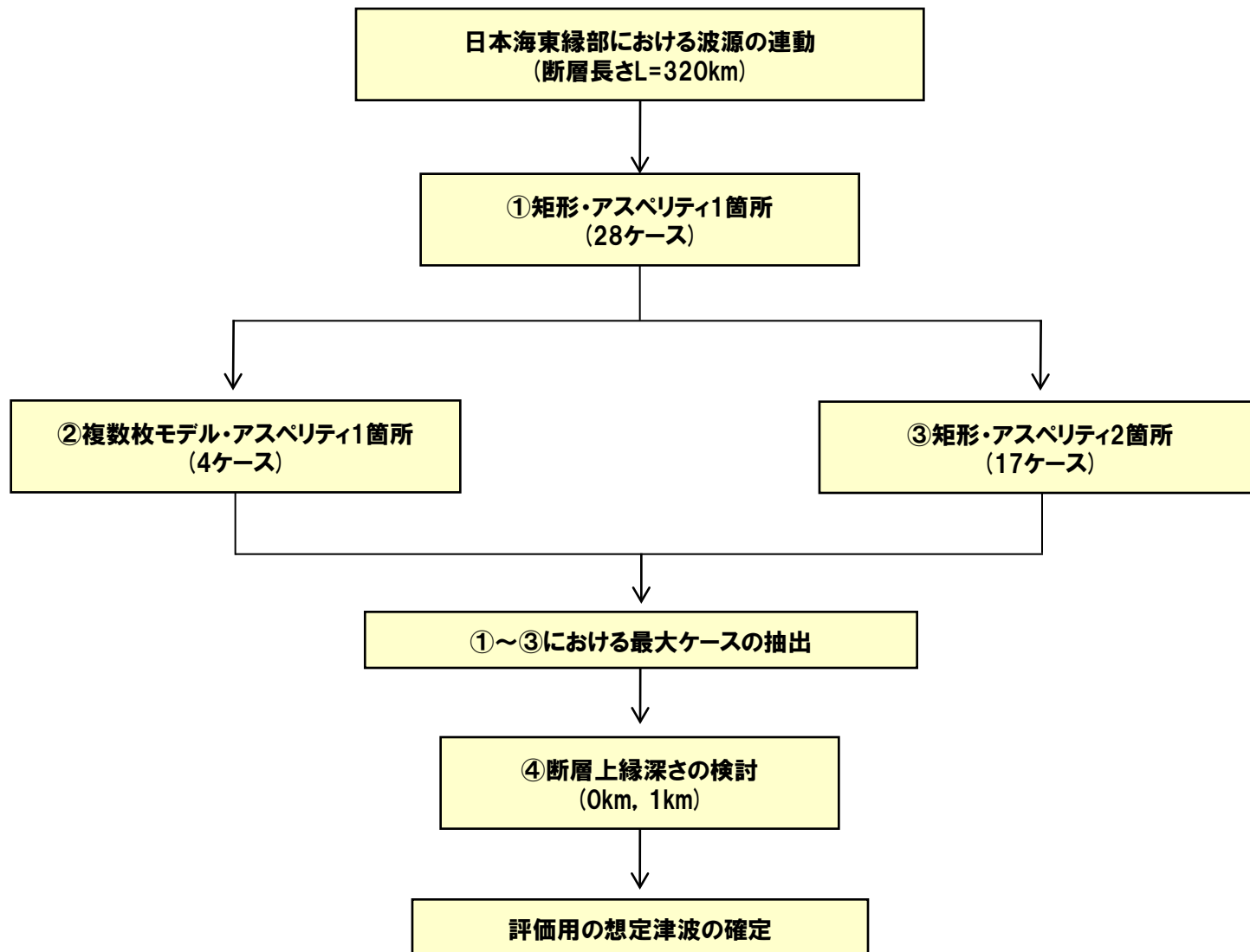
$$D_a = 2 \times D$$

$$D_b = 2/3 \times D$$

D	: 平均すべり量
D_a	: アスペリティのすべり量
D_b	: 背景領域のすべり量
- 以上より、断層パラメータについて、以下のとおり設定する。
 - >アスペリティに与える最大すべり量は、Murotani et al.(2010)における飽和最大すべり量約10m及び北海道南西沖地震を再現する波源モデルの最大すべり量12mを考慮して、安全側検討として、アスペリティのすべり量(最大すべり量) $D_a=12m$ 、背景領域のすべり量 $D_b=4m$ とする。
 - >地震発生層の厚さは根本ほか(2009)に基づき20km。

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

検討フロー



2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

検討結果 (波源モデル)

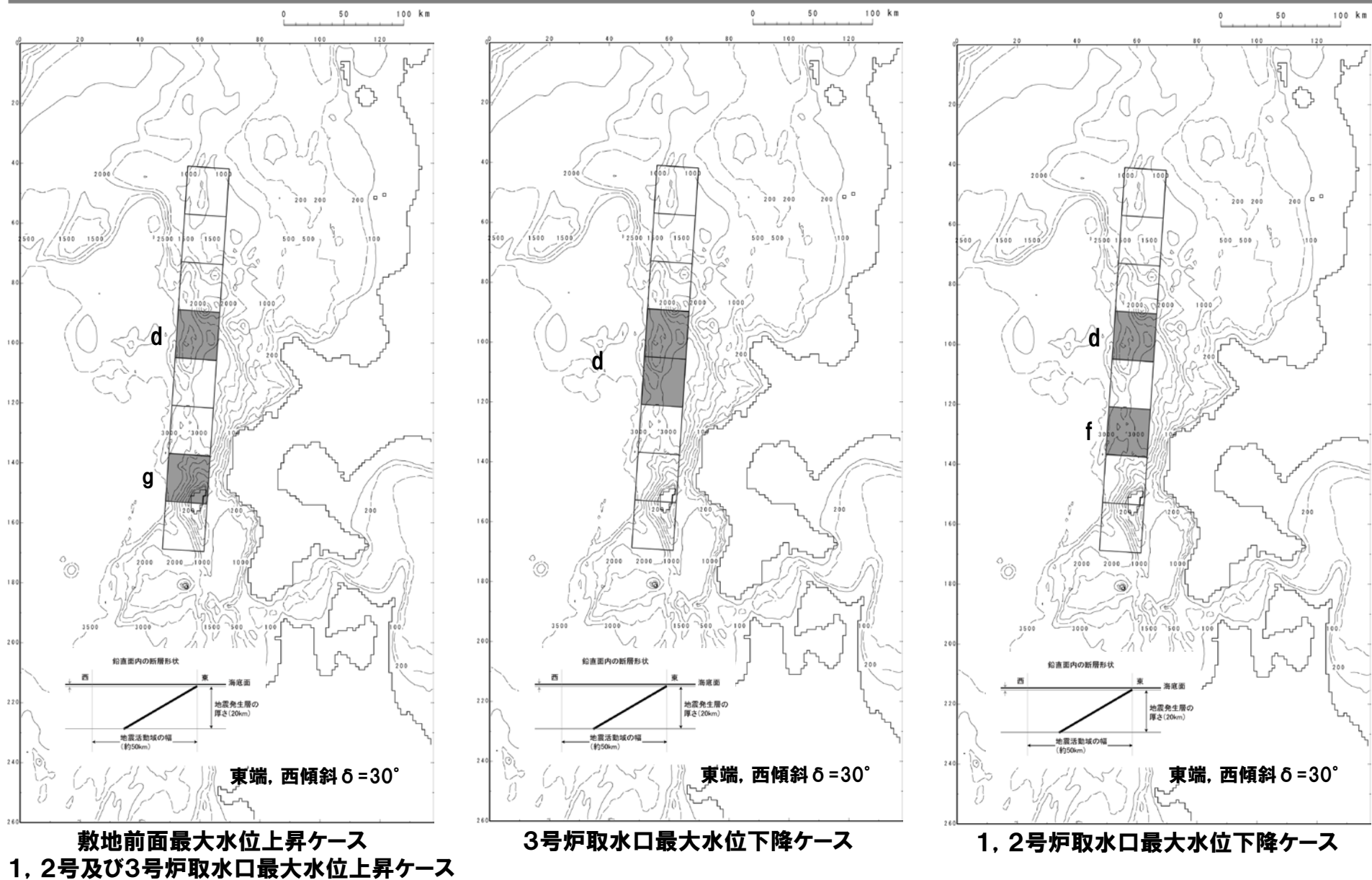
- 連動評価としては、地震本部 (2003) における北海道西方沖の地震の発生領域を包含する範囲とし、奥尻海嶺沿いの北海道西方沖の地震の発生領域の北端 (地震本部 (2003) における北海道西方沖の領域の震源断層面の北端) から青柳ほか (2000) の断層モデル南端までの313kmを包絡する320kmの西傾斜の波源モデルを想定する。
- 日本海東縁部を対象とした根本ほか (2009) のアスペリティモデルにより検討する。
- 検討の結果、最大ケースとなる「矩形モデル・アスペリティ (1箇所・2箇所)」を「評価用の想定津波」とする。

[基準断層モデル諸元]

断層パラメータ	日本海東縁部	備考
モーメントマグニチュード M_w	8.22, 8.06	
断層長さ L	320km	
断層幅 W	40, 23.1km	根本 (2009) と傾斜角により設定。
すべり量 D	$D_a=12m, D_b=4m$	D_b : 根本 (2009) より設定。
断層面上縁深さ d	1km	根本 (2009) より設定。
走向 θ	183°	海底地形の特徴により西傾斜を設定。
傾斜角 δ	$30, 60^\circ$	
すべり角 λ	90°	

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

評価用の想定津波の確定 (パラメータスタディとアスペリティ位置図)



2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

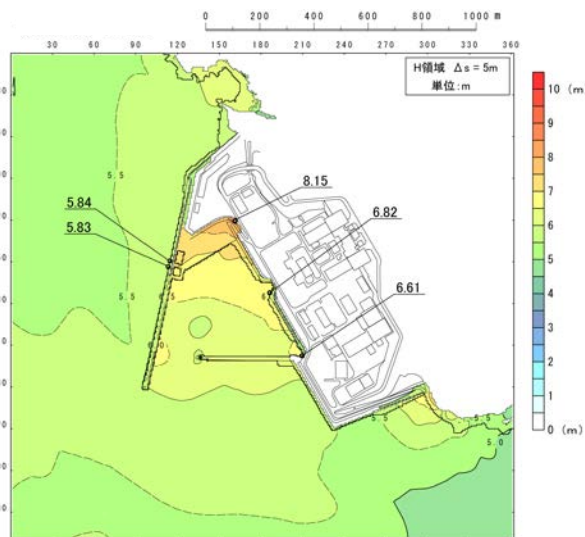
評価用の想定津波の確定 (数値シミュレーション結果)

数値シミュレーション結果一覧

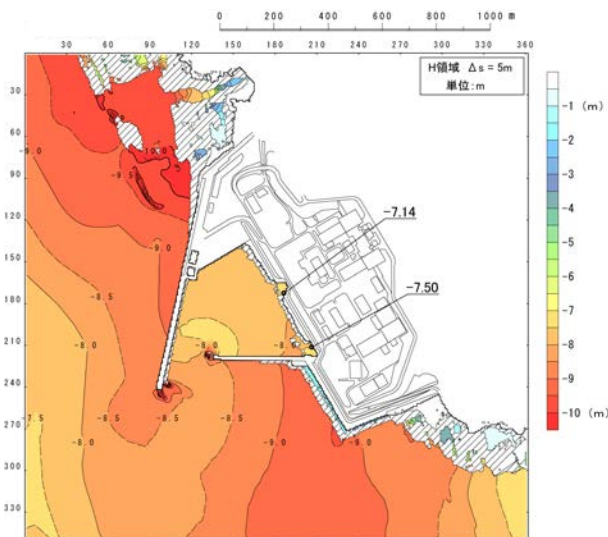
区分	計算値	断層パラメータの概要
敷地前面 最大水位上昇量	8.15m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 30^\circ$) のW=40.0km, 断層上縁深さ1km, アスペリティ位置dg (2箇所)
3号炉取水口 最大水位上昇量	6.61m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 30^\circ$) のW=40.0km, 断層上縁深さ1km, アスペリティ位置dg (2箇所)
3号炉取水口 最大水位下降量	7.50m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 30^\circ$) のW=40.0km, 断層上縁深さ1km, アスペリティ位置d (1箇所)
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	6.82m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 30^\circ$) のW=40.0km, 断層上縁深さ1km, アスペリティ位置dg (2箇所)
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	7.18m	東西方向東端, 西傾斜 ($\delta = 30^\circ$) のW=40.0km, 断層上縁深さ1km, アスペリティ位置df (2箇所)

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

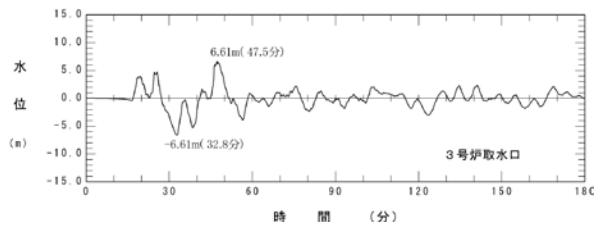
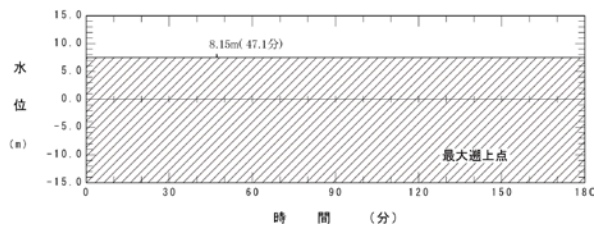
評価用の想定津波の確定 (数値シミュレーション結果 (3号炉))



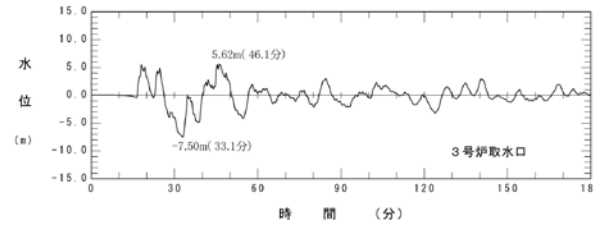
最大水位上昇量分布
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



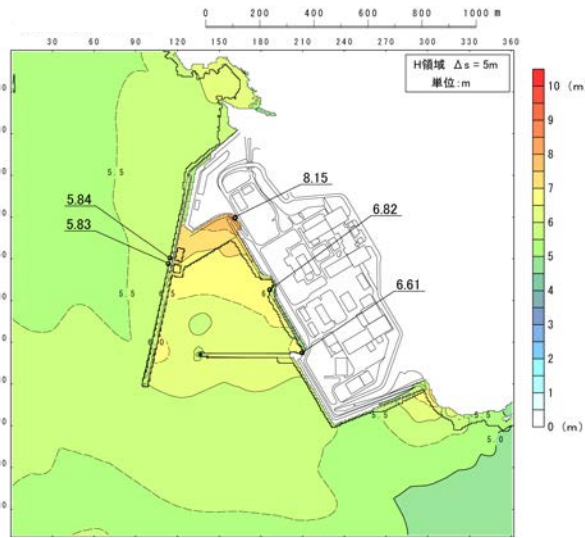
水位時刻歴波形
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



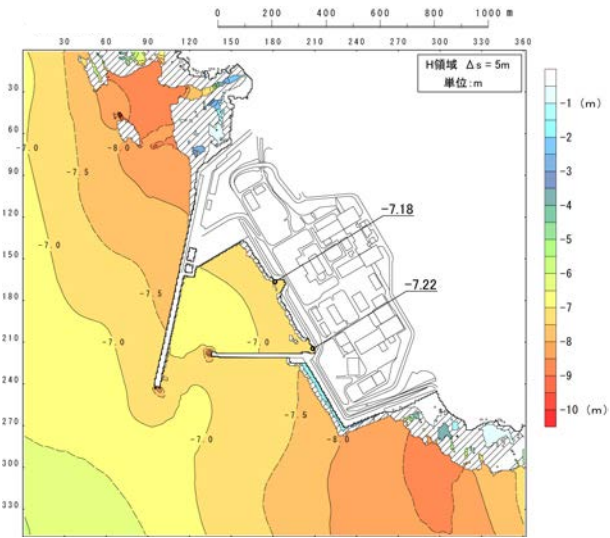
水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

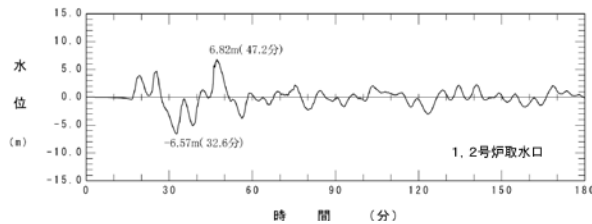
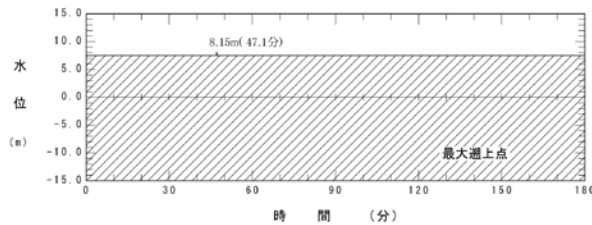
評価用の想定津波の確定 (数値シミュレーション結果 (1, 2号炉))



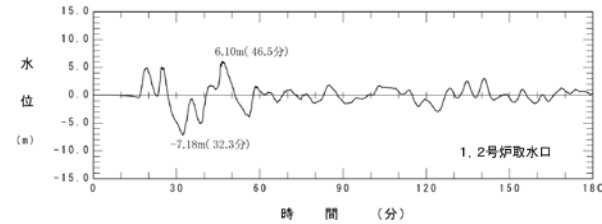
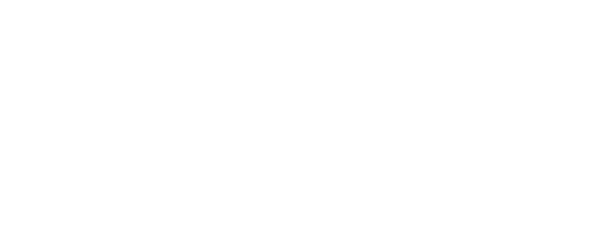
最大水位上昇量分布
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



最大水位下降量分布
(取水口最大水位下降ケース)



水位時刻歴波形
(敷地前面・取水口最大水位上昇ケース)



水位時刻歴波形
(取水口最大水位下降ケース)

2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

まとめ

- 土木学会(2002)に基づき、断層長さ131.1kmの波源モデルを基本ケースとし、不確かさを考慮した数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーション結果は下表のとおり。
- 保守的な評価のため、日本海東縁部における連動を考慮する波源について、日本海東縁部の地形、地質・地質構造、震源分布などの最新の知見を整理したうえで、敷地への影響について検討した。数値シミュレーション結果は下表のとおり。

数値シミュレーション結果一覧(土木学会(2002))

区分	計算値
敷地前面 最大水位上昇量	6.95m
3号炉取水口 最大水位上昇量	4.83m
3号炉取水口 最大水位下降量	5.79m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	4.71m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	5.71m

数値シミュレーション結果一覧(連動考慮)

区分	計算値
敷地前面 最大水位上昇量	8.15m
3号炉取水口 最大水位上昇量	6.61m
3号炉取水口 最大水位下降量	7.50m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	6.82m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	7.18m

3. 地震以外の津波

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

3. 地震以外の津波

検討方針

○地震以外の津波として、以下を検討する。

- ①火山による山体崩壊に伴う津波
- ②海底地すべりに伴う津波
- ③陸上の斜面崩壊に伴う津波

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

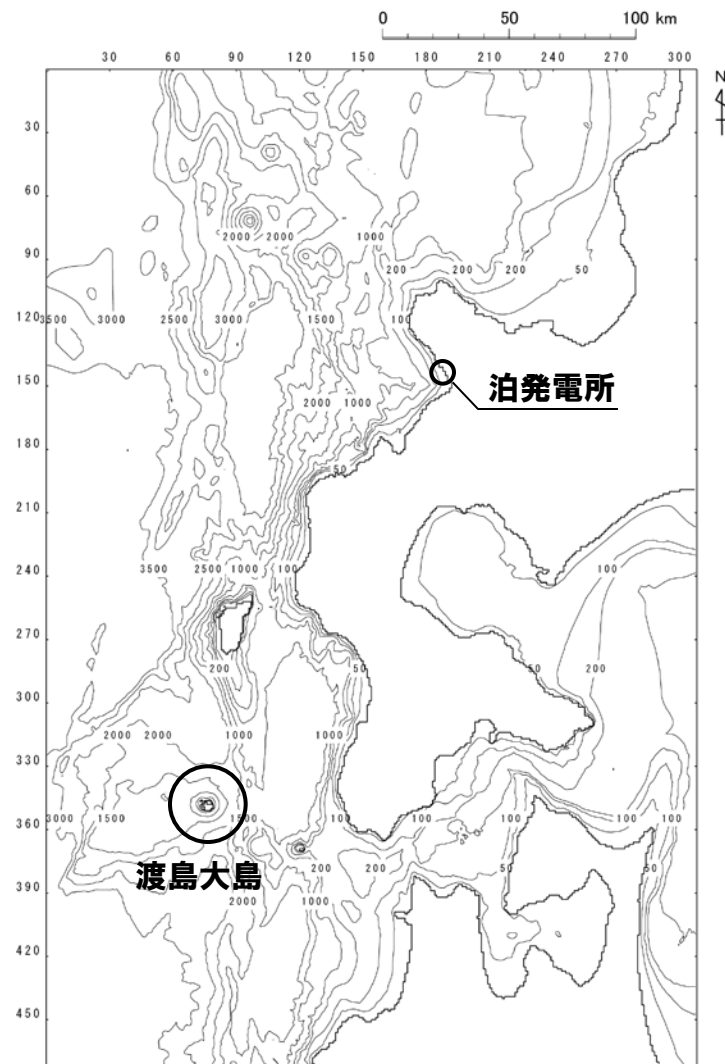
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波

文献調査結果

- 敷地周辺で火山噴火による山体崩壊に伴って発生した津波としては、1741年（渡島西岸）津波が挙げられる。

数値シミュレーション

- 津波の数値シミュレーションは、以下の2モデルを実施。
 - ①Kinematic landslideモデル
崩壊物が斜面を滑り降りる過程を想定し、「位置エネルギー」を与えるモデル
 - ②二層流モデル
崩壊物が海底斜面を滑り降りる過程（下層）と、そのために海面に起こる波（上層）を同時に計算する相互作用モデル

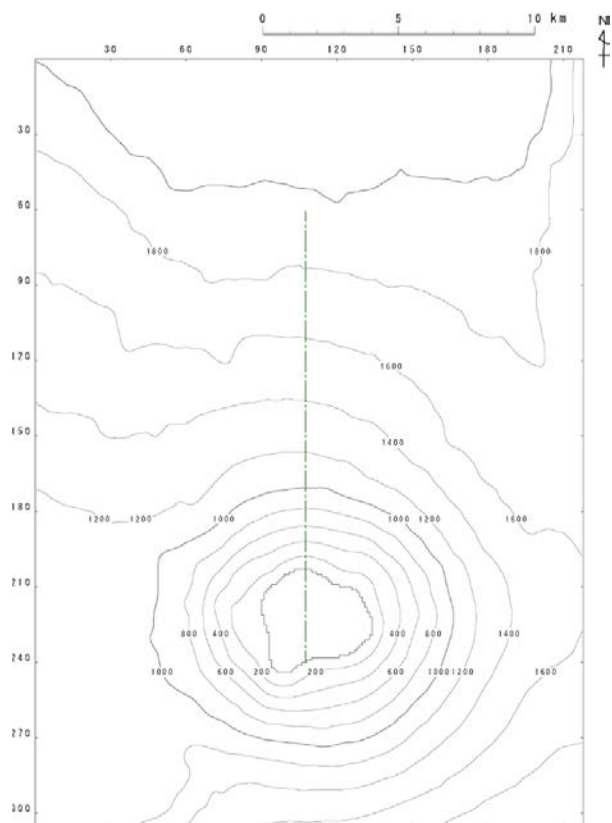


渡島大島位置図

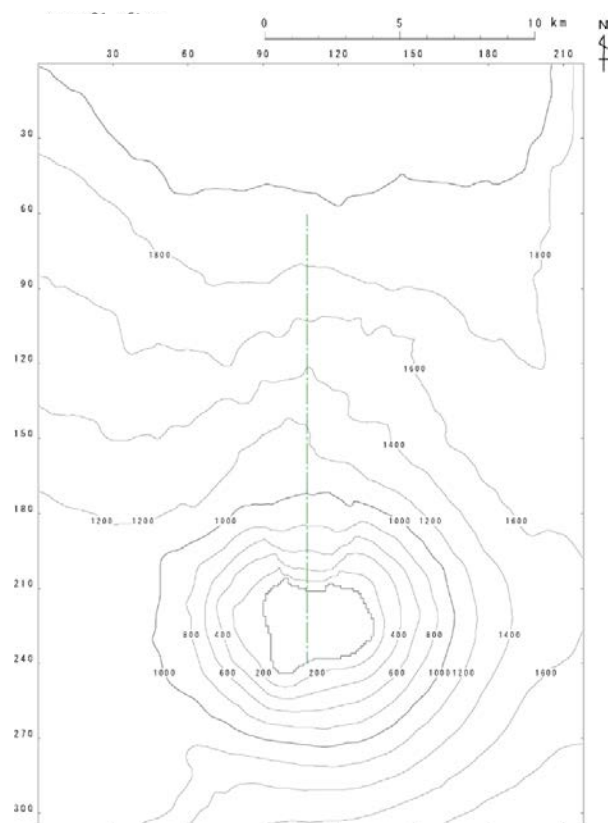
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波

噴火前地形と噴火後地形及び最終地形変化量 (1/2)

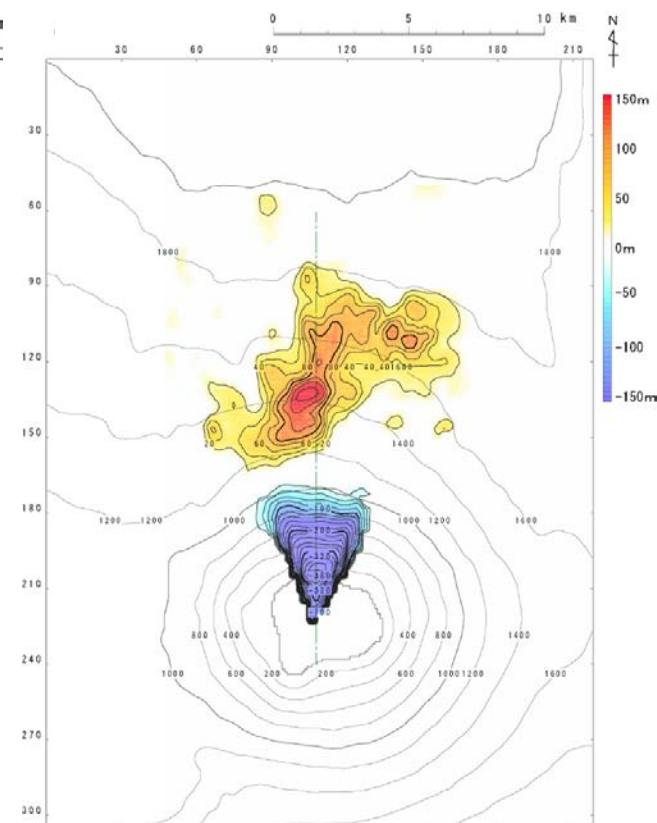
○山体崩壊に関する解析に当たっては, Satake (2007) に示されている渡島大島周辺の測深図に基づく地形変化から噴火前と噴火後の地形変化を推定。



噴火前地形

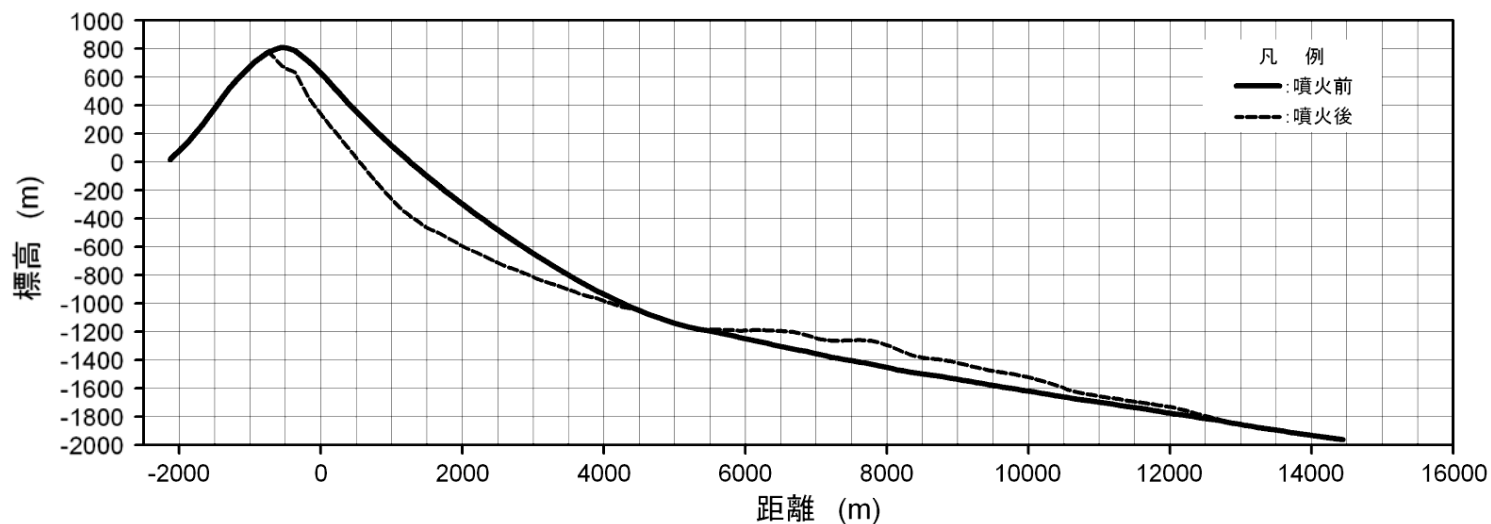


噴火後地形



最終地形変化量

噴火前地形と噴火後地形及び最終地形変化量 (2/2)



噴火前地形と噴火後地形の断面形状

3-1 火山による山体崩壊に伴う津波

採用したパラメータ (Kinematic landslideモデル)

入力データ	入力値等	備考
計算時間間隔 Δt (s)	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (時間)	3	
比高変化 (m)	最大388	Satake (2007) による崩壊前後の地形を基にデータ化。
鉛直変位ライズタイム (s)	120	Satake (2007) に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake (2007) に基づき設定。

3-1 火山による山体崩壊に伴う津波

採用したパラメータ (二層流モデル)

入力データ		入力値等	備考
計算時間間隔 Δt (s)		崩壊後5分まで:0.002秒 崩壊後5分以降:0.2秒	崩壊後5分までは計算が安定に進むよう Δt を小さく設定。 5分以降は計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (時間)		6	
海水密度 (kg/m ³)		1,030	一般値を使用。
崩壊物密度 (kg/m ³)		2,000	松本ほか (1998) に基づき設定。
底面粗度係数 n (m ^{-1/3} ・s)	上層	0.03	土木学会 (2002) に基づき設定。
	下層	0.40	Kawamata et al. (2005) に基づき設定。
界面抵抗係数 f_{int}		0.0	Kawamata et al. (2005) に基づき設定。
渦動粘性係数 ν (m ² /s)	下層	0.1	Kawamata et al. (2005) に基づき設定。

3-1 火山による山体崩壊に伴う津波

数値シミュレーション結果

区 分	Kinematic landslide モデル	二層流モデル
敷地前面 最大水位上昇量	1.59m	1.53m
3号炉取水口 最大水位上昇量	1.32m	0.69m
3号炉取水口 最大水位下降量	1.01m	0.92m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	1.22m	0.60m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	0.97m	0.63m

まとめ

- 文献調査結果から、敷地周辺で火山噴火による山体崩壊に伴って発生した津波として、1741年（渡島西岸）津波が挙げられた。
- 上記について、Satake (2007) に示されている渡島大島周辺の測深図に基づく地形変化から噴火前と噴火後の地形変化を推定し、Kinematic landslideモデル及び二層流モデルにより数値シミュレーションを実施した。
- 数値シミュレーションの結果、計算値は日本海東縁部に想定される地震に伴う津波を下回ることを確認した。
- 火山による山体崩壊に伴う津波については、火山噴火に伴う事象であり、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波とは独立した事象であると考えられるため、組み合わせについては考慮しない。

3-2 海底地すべりに伴う津波

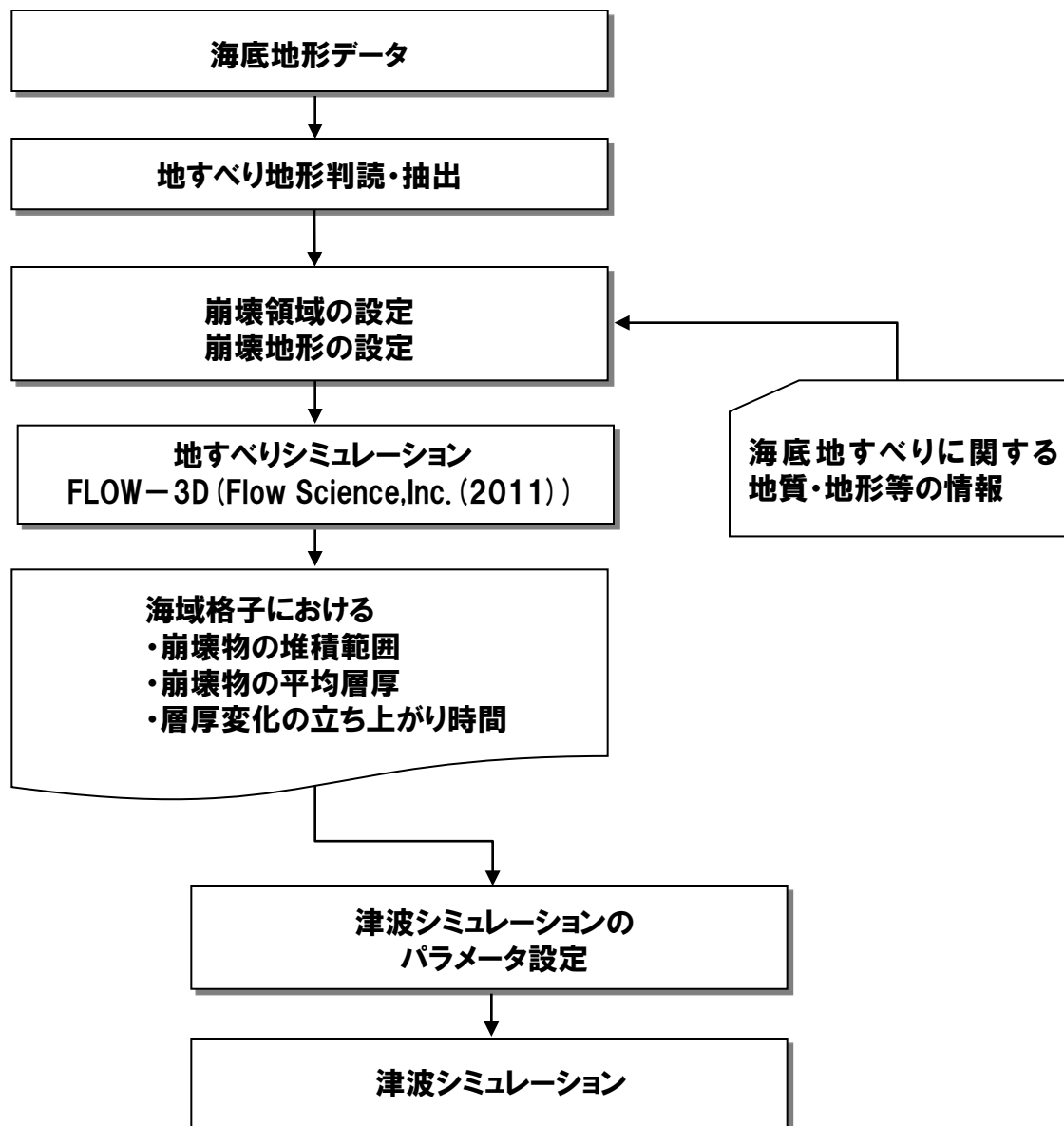
1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

検討方針

- 敷地周辺の海域において津波の波源として評価している日本海東縁部に位置し、 F_B-2 断層が認められる急崖地形である後志舟状海盆西縁付近を対象として、海底地形データ等に基づき、地すべり地形を抽出。
- 抽出した地すべり地形について、規模の大きい順に数値シミュレーションを実施し、敷地への影響の有無を順次判定する。
- 地すべり地形前後区間の等高線の分布状況や、地すべり固有の地形的特徴を考慮し、地すべり前地形の等高線を推定。
- そのうえで、津波の数値シミュレーションは、海底地すべりのシミュレーション結果を波源とすることにより実施。
- 地すべりによる津波発生モデルについては、火山による山体崩壊に伴う津波の検討結果において、敷地に対して影響が大きい結果となった「Kinematic landslideモデル」の手法を用いる。

3-2 海底地すべりに伴う津波

検討フロー



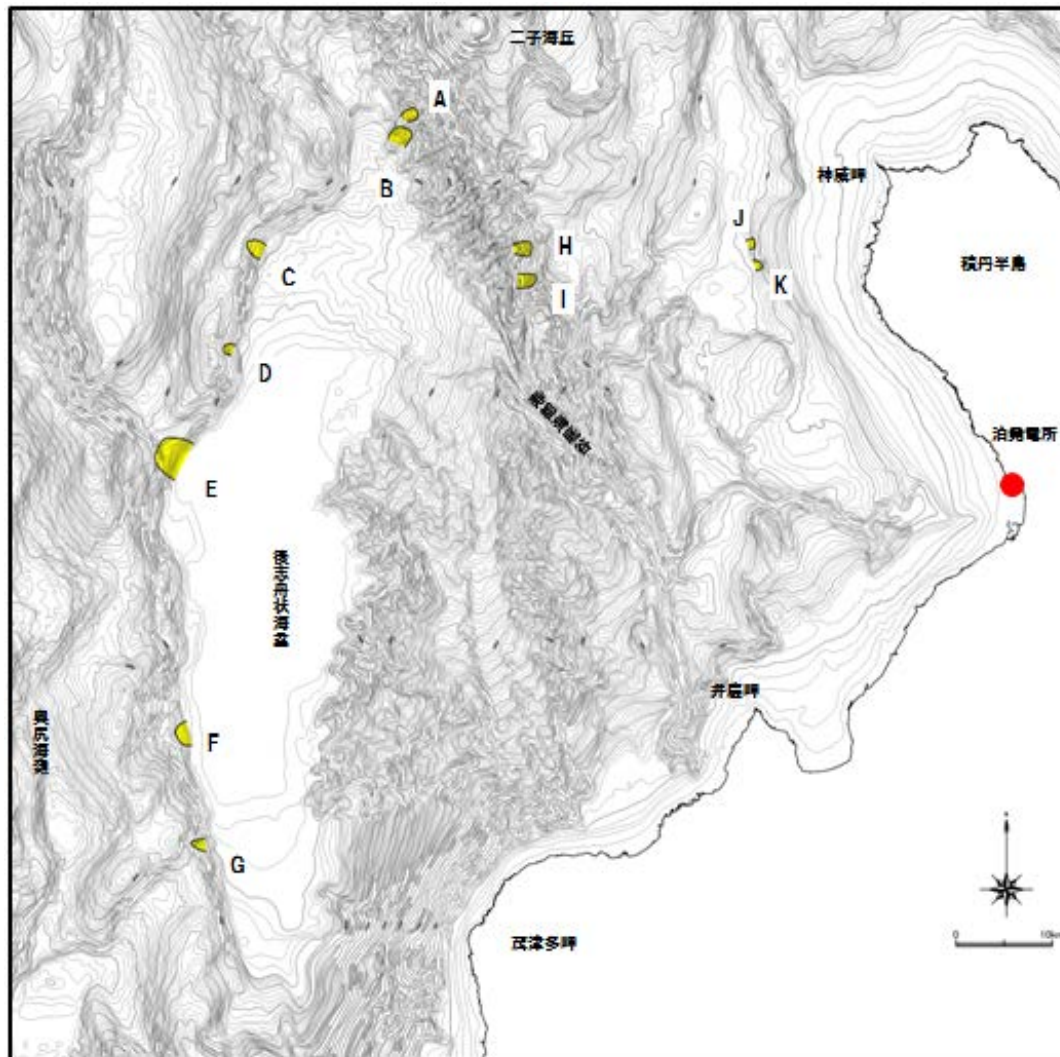
3-2 海底地すべりに伴う津波

海底地すべり地形の抽出手順

- ①敷地前面海域周辺において、3秒データ(約100mDEM)より等深線図を作成。それ以外の範囲については日本水路協会発行のM7000を用いて等深線図を作成。
- ②等深線図の斜面中に、平面形が馬蹄形、半円形及びコの字型などの凹地を呈する地形において滑落崖状、抜け跡状の地形を抽出する。
- ③抽出した地形の下方に地すべり土塊(台地状、扇状地状の地形)があるかどうかを検討する。
- ④抽出においては、土塊は陸上に比べて薄く広がる特徴がある点に留意する。

3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべり地形の抽出結果 (1/2)



3-2 海底地すべりに伴う津波

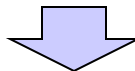
海底地すべり地形の抽出結果 (2/2)

地すべり 地形	L 長さ (m)	W 幅 (m)	H 高低差 (m)	D 推定厚さ (m) Brune et al. (2009)	長さ×厚さ (m ²)	規模の 順位	概略体積 (m ³)	体積の 順位	発電所 までの 距離 (km)
A	2,000	1,200	180	56	111,000	3	44,000,000	4	72
B	2,200	2,000	230	61	134,000	2	90,000,000	2	71
C	2,000	1,600	280	56	111,000	3	59,000,000	3	80
D	1,000	1,000	260	28	28,000	9	9,000,000	9	81
E	3,000	3,100	350	83	250,000	1	258,000,000	1	87
F	1,400	2,200	140	39	54,000	8	40,000,000	5	89
G	1,700	1,000	280	47	80,000	5	27,000,000	8	91
H	1,600	1,400	420	44	71,000	7	33,000,000	7	55
I	1,700	1,400	480	47	80,000	5	37,000,000	6	54
J	700	1,000	120	19	14,000	11	5,000,000	11	37
K	900	1,000	130	25	23,000	10	8,000,000	10	35

3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション結果

区分	地すべりA	地すべりB	地すべりC	地すべりD	地すべりE	地すべりF	地すべりG	地すべりH	地すべりI	地すべりJ	地すべりK
敷地前面 最大水位上昇量	0.12m	0.17m	0.09m	-	0.37m	0.06m	-	-	-	-	-
3号炉取水口 最大水位上昇量	0.12m	0.13m	0.07m	-	0.32m	0.03m	-	-	-	-	-
3号炉取水口 最大水位下降量	0.14m	0.16m	0.07m	-	0.24m	0.04m	-	-	-	-	-
1, 2号炉取水口 最大水位上昇量	0.11m	0.13m	0.06m	-	0.28m	0.03m	-	-	-	-	-
1, 2号炉取水口 最大水位下降量	0.13m	0.16m	0.06m	-	0.23m	0.03m	-	-	-	-	-
概略体積の順位	4 ($4.4 \times 10^7 \text{ m}^3$)	2 ($9.0 \times 10^7 \text{ m}^3$)	3 ($5.9 \times 10^7 \text{ m}^3$)	9 ($9.0 \times 10^6 \text{ m}^3$)	1 ($2.6 \times 10^8 \text{ m}^3$)	5 ($4.0 \times 10^7 \text{ m}^3$)	8 ($2.7 \times 10^7 \text{ m}^3$)	7 ($3.3 \times 10^7 \text{ m}^3$)	6 ($3.7 \times 10^7 \text{ m}^3$)	11 ($5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$)	10 ($8.0 \times 10^6 \text{ m}^3$)
影響の順位	3	2	4	-	1	5	-	-	-	-	-



- 概略体積の大きい順にシミュレーションを実施。
- 地すべりAのシミュレーション結果と、地すべりFのシミュレーション結果を境として、計算値が10cm未満となり、敷地への影響が小さくなることを確認した。
- 以上のことから、基準津波策定に当たって考慮する海底地すべりに伴う津波として、『地すべりA, B, E』の3箇所を選定する。

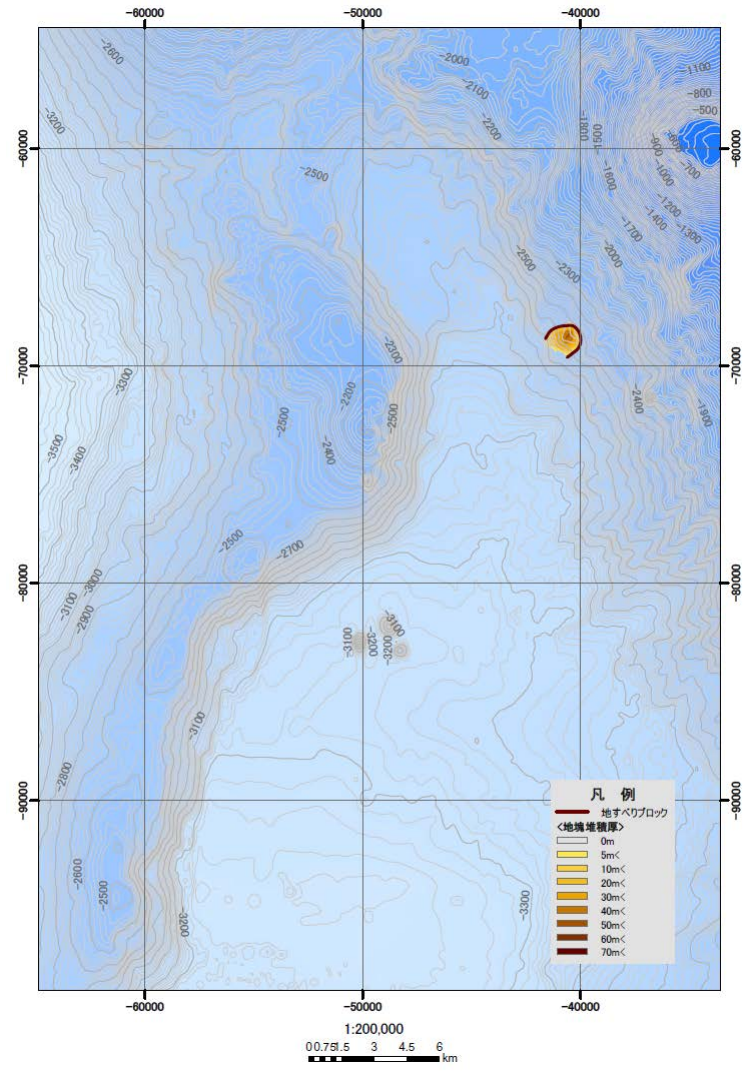
3-2 海底地すべりに伴う津波

採用したパラメータ (FLOW-3D)

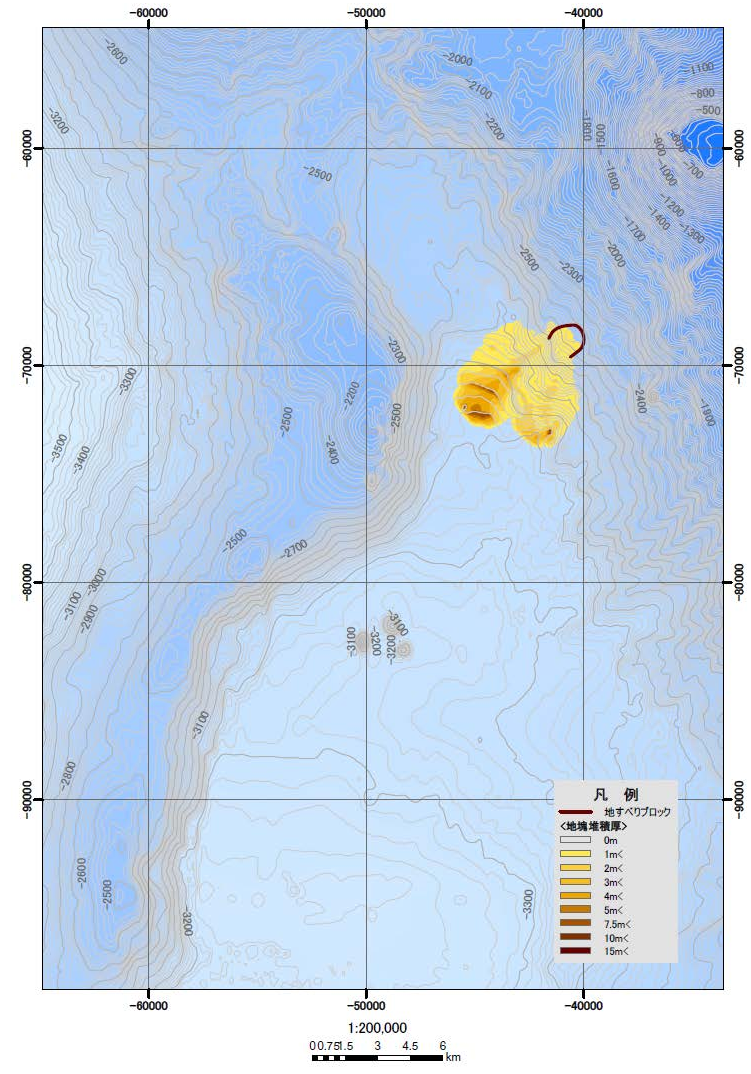
海水の密度 (kg/m ³)	1.030	一般値を使用。
海水の粘性係数 (Pa・s)	0.001	鈴木ほか(1980)に基づき設定。
海水の初期水面位置 (m)	T.P. +0.21	予測計算の計算潮位。
地すべり地塊の密度 (kg/m ³)	2,000	地すべり時に想定される地塊の土質状態(砂～礫, 礫混り砂状が混在)に対して, 東日本高速道路(株)ほか(2006), 東日本高速道路(株)ほか(2007)に基づき設定。
地すべり地塊の粘性係数 (Pa・s)	10	高橋ほか(1993)の実験結果の平均値として設定。
地塊粒子の平均半径 (m)	0.05	地すべり時に想定される地塊の土質状態(砂～礫, 礫混り砂状が混在)に対して, 地盤工学会(2009)に基づき設定。
地塊粒子の抵抗係数	0.5	日本機械学会(2006)に基づき設定。
計算メッシュ間隔 (m)	100	波源域の海底地形データ精度。
計算時間間隔 (s)	初期値0.01	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (s)	1,800	地塊の移動速度が十分に緩速になる時間を包絡するように設定。

3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (海底地すべりA)



崩壊前

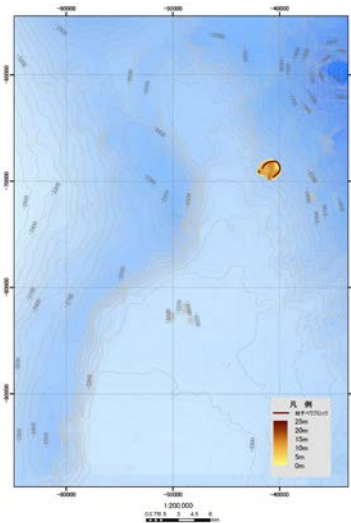


崩壊後 (10分後)

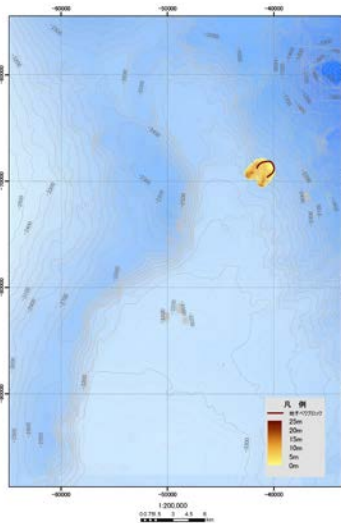
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりA) (1/2)

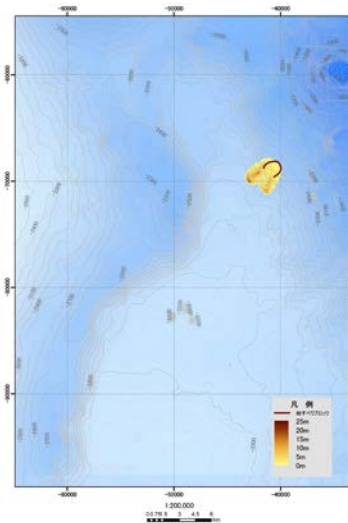
1分後



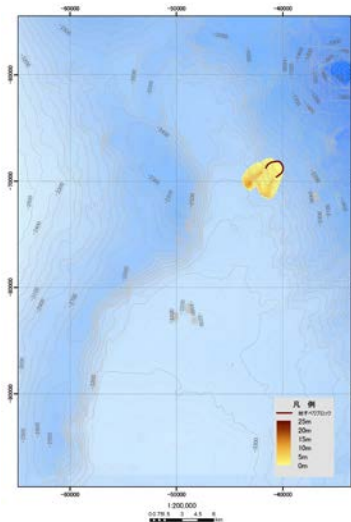
2分後



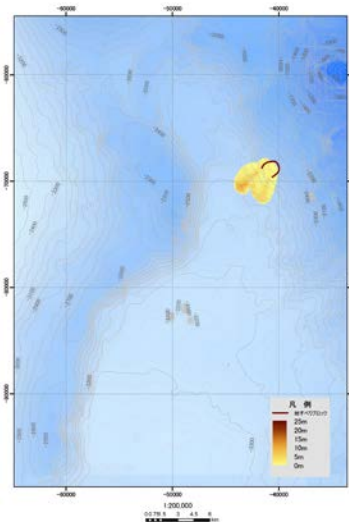
3分後



4分後



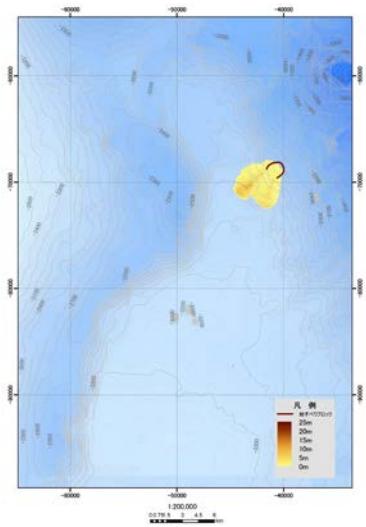
5分後



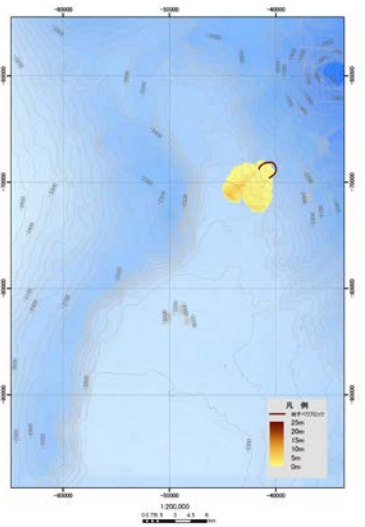
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりA) (2/2)

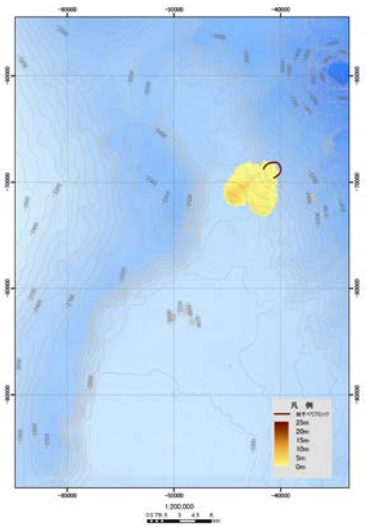
6分後



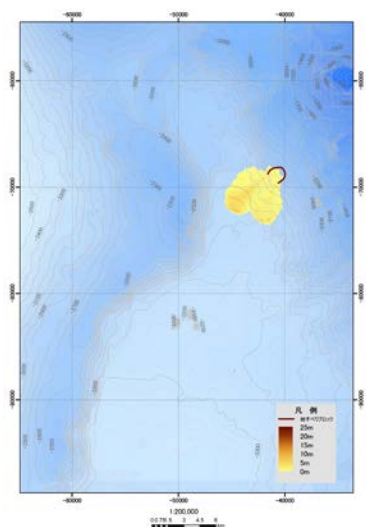
7分後



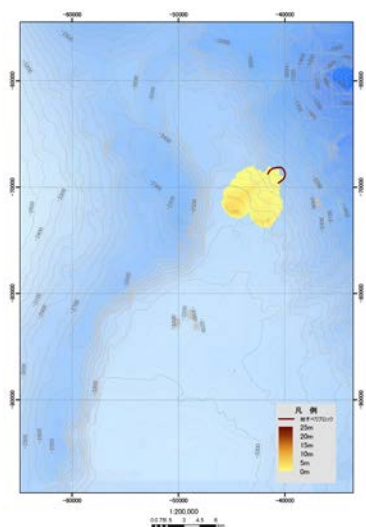
8分後



9分後

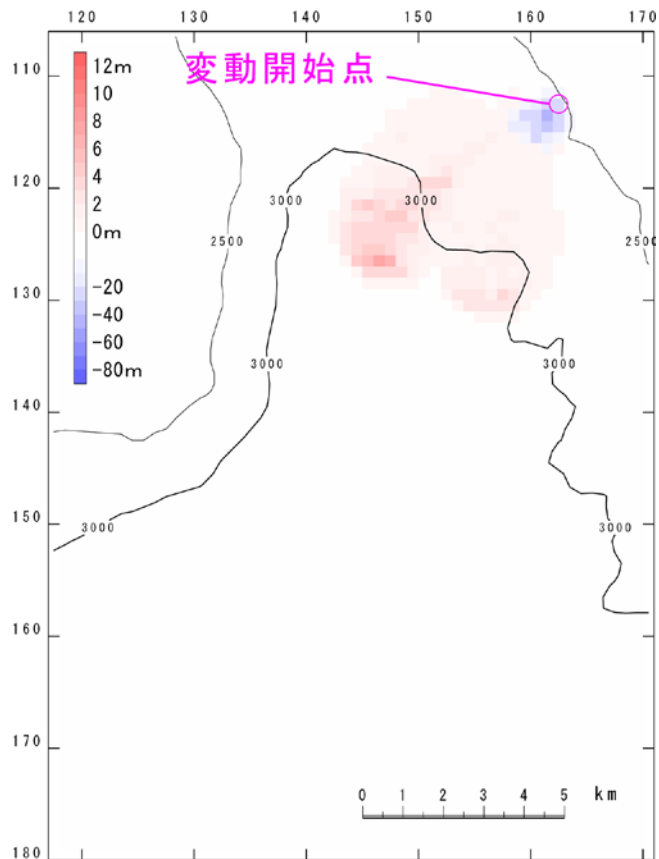


10分後



3-2 海底地すべりに伴う津波

採用したパラメータ (海底地すべりA) (Kinematic landslideモデル)

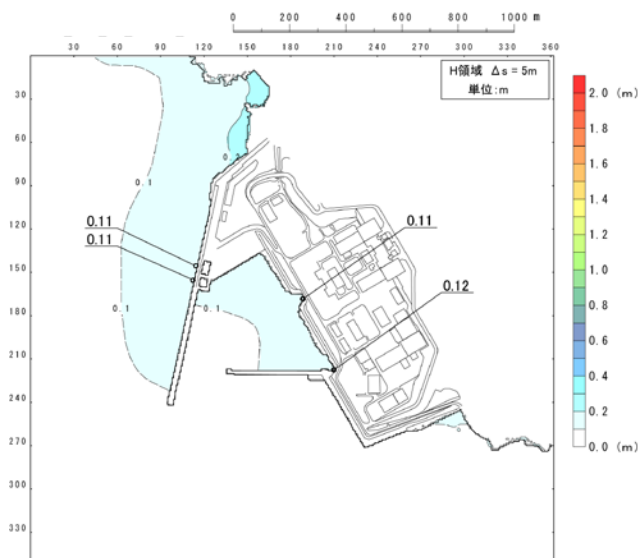


FLOW-3Dによる10分後の地形変化量分布

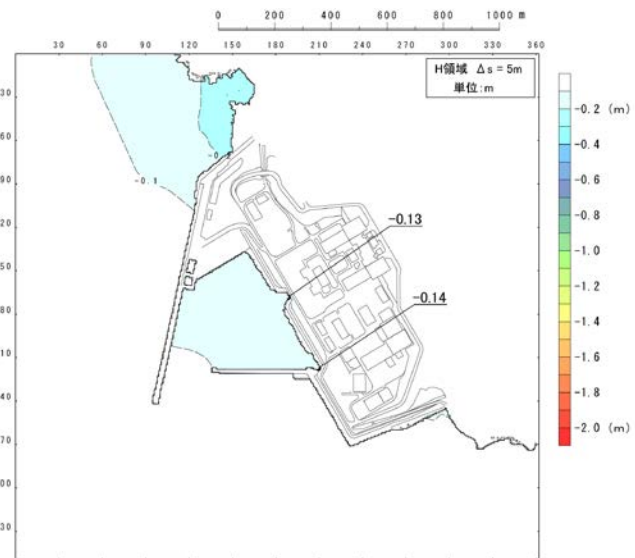
入力データ	入力値等	備考
計算時間間隔 Δt (s)	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (時間)	3	
比高変化 (m)	最大40	FLOW-3Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズタイム (s)	120	Satake (2007) に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake (2007) に基づき設定。

3-2 海底地すべりに伴う津波

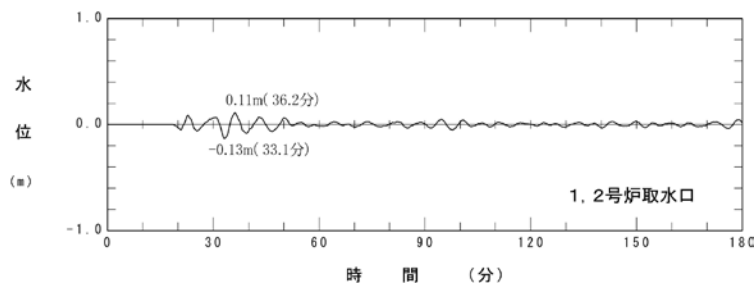
津波シミュレーション結果 (海底地すべりA)



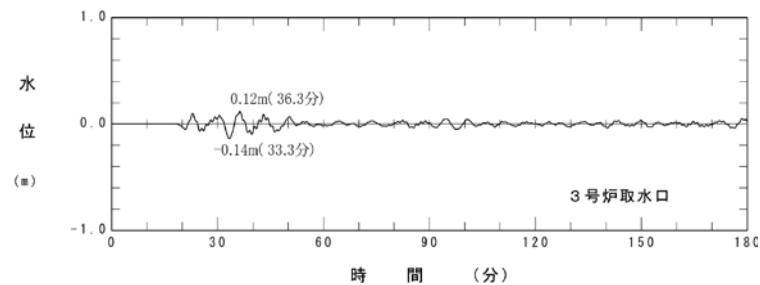
最大水位上昇量分布



最大水位下降量分布



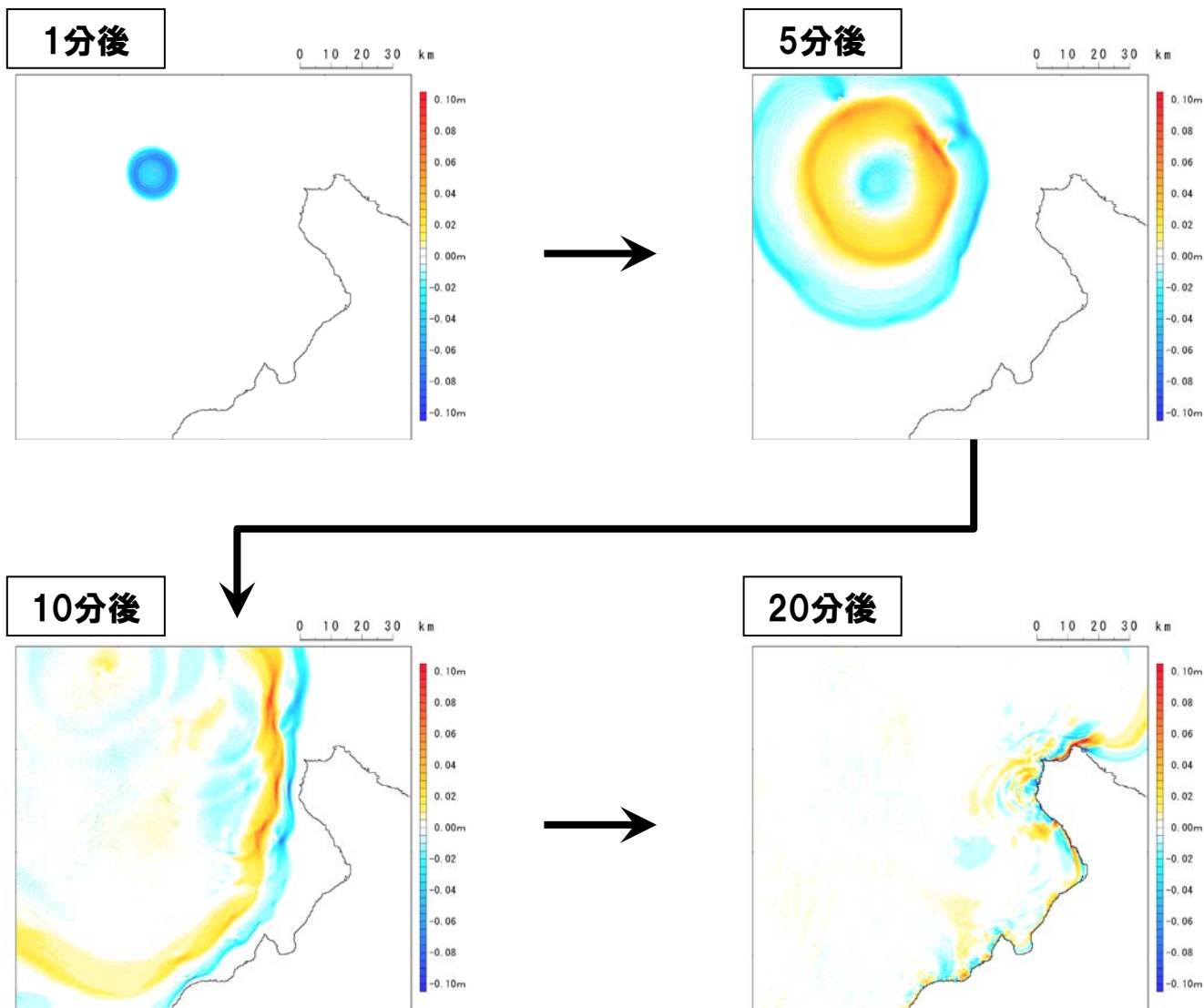
水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)



水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

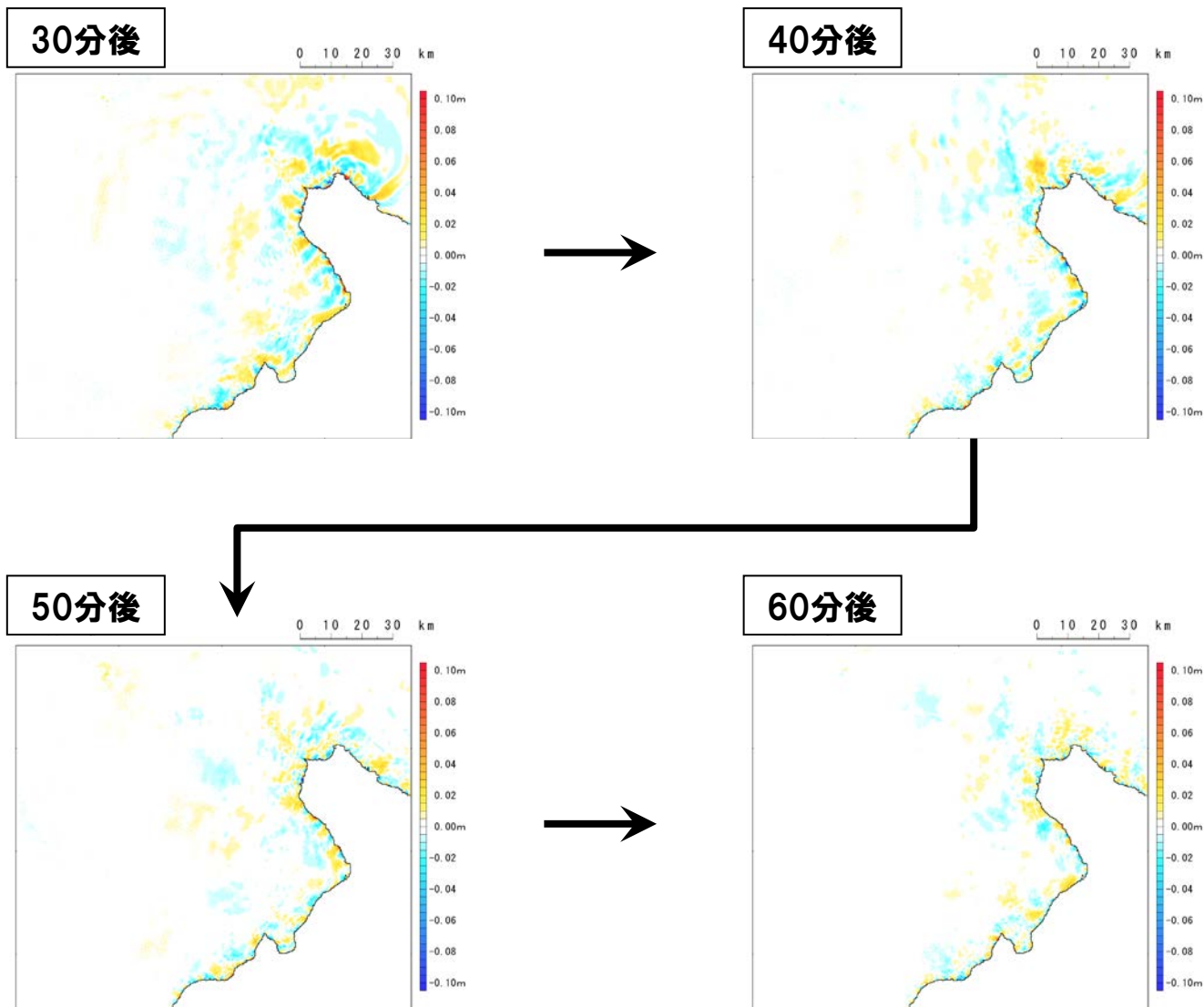
3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりA) (1/2)



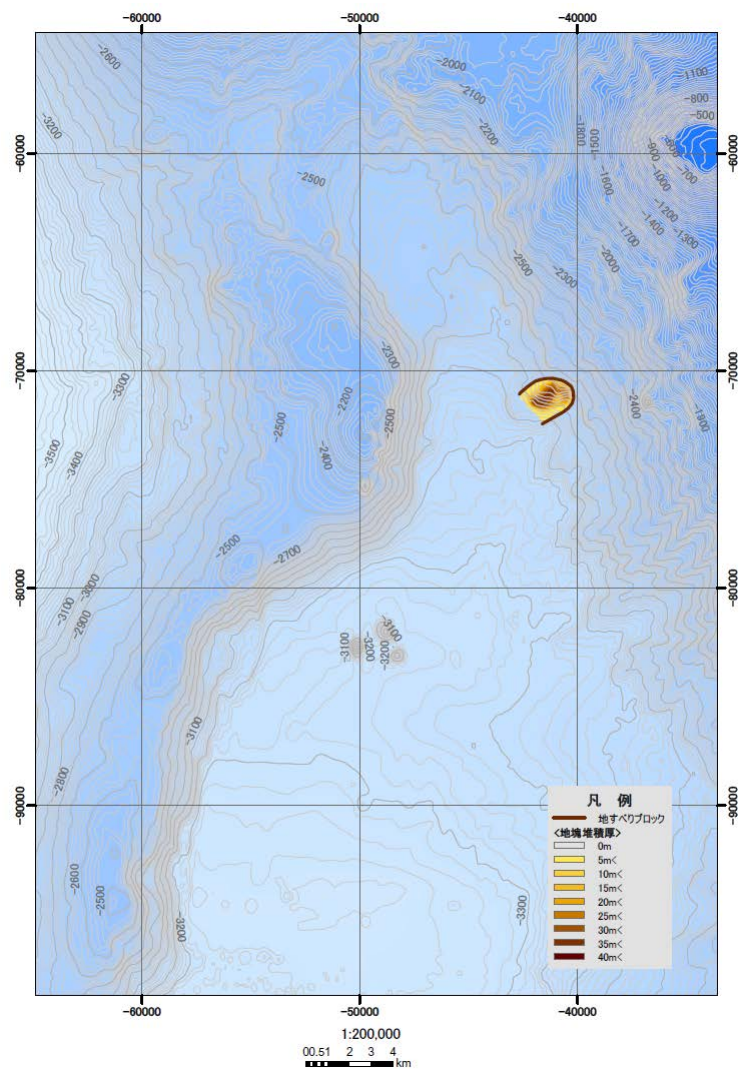
3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりA) (2/2)

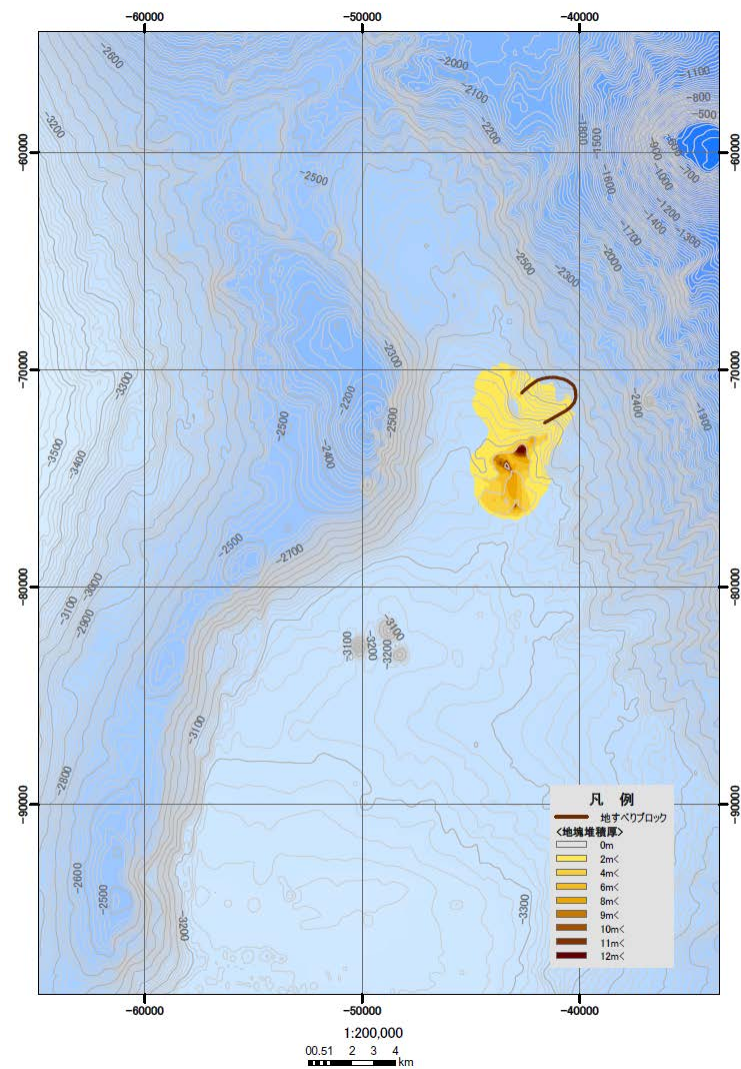


3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (海底地すべりB)



崩壊前

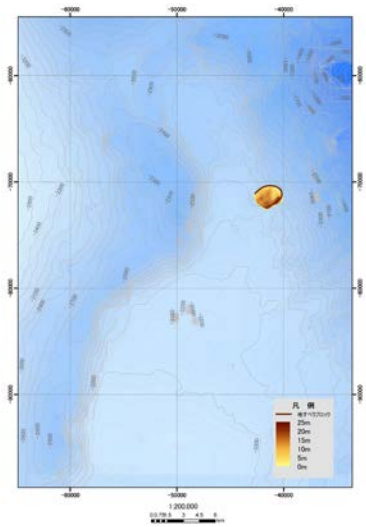


崩壊後 (10分後)

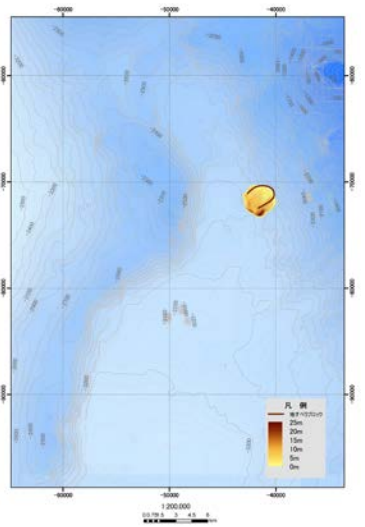
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりB) (1/2)

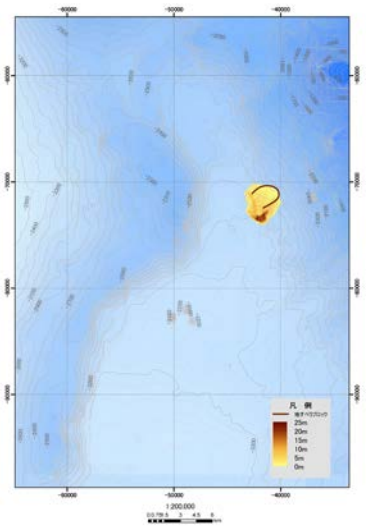
1分後



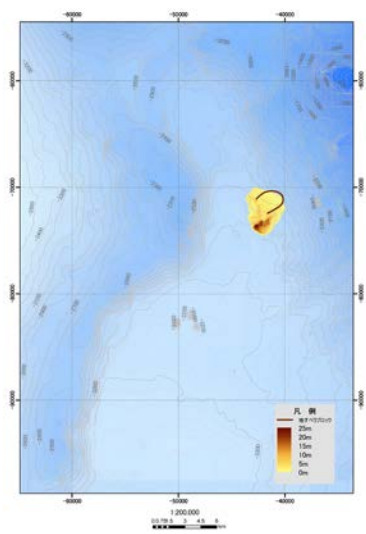
2分後



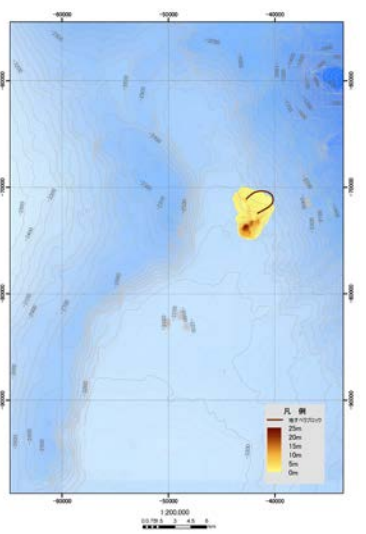
3分後



4分後



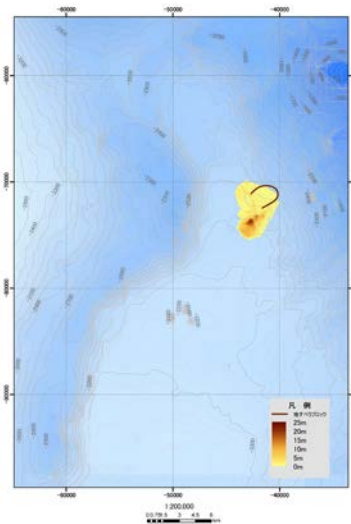
5分後



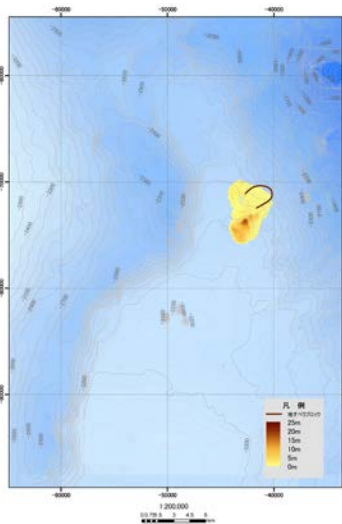
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりB) (2/2)

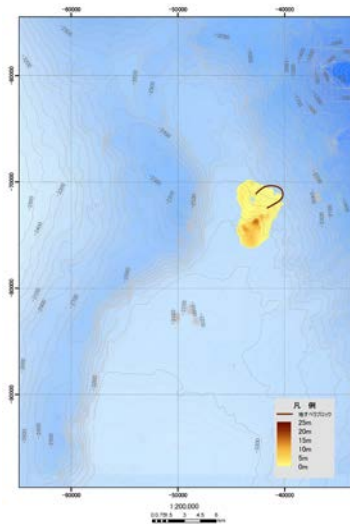
6分後



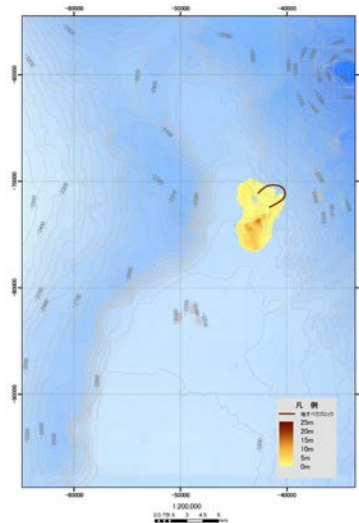
7分後



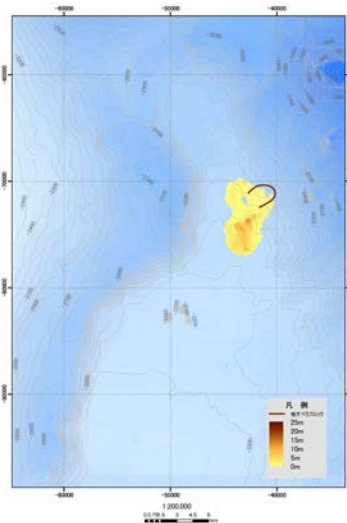
8分後



9分後

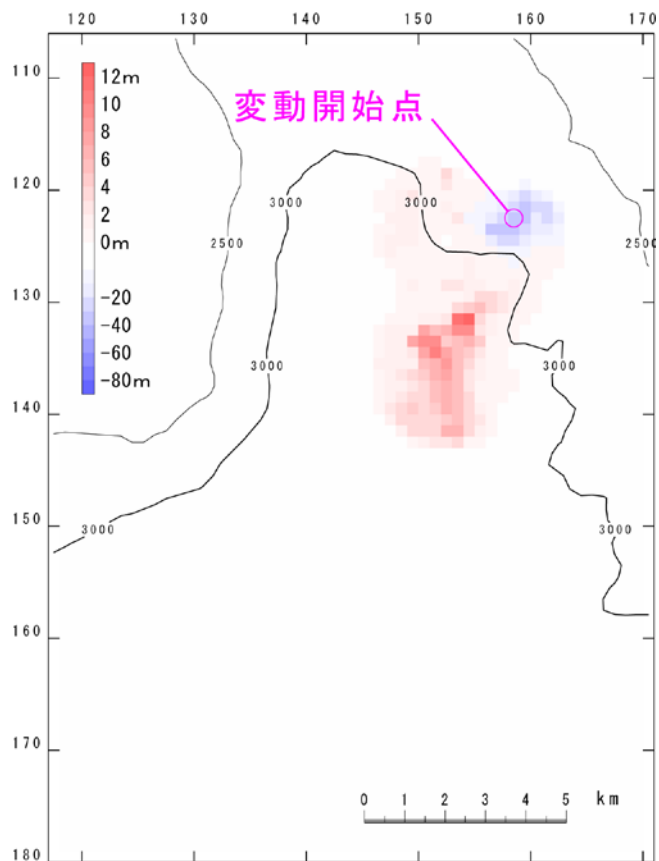


10分後



3-2 海底地すべりに伴う津波

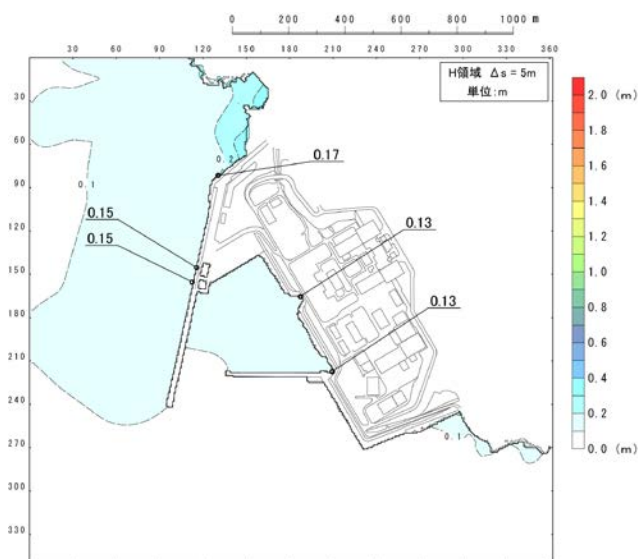
採用したパラメータ (海底地すべりB) (Kinematic landslideモデル)



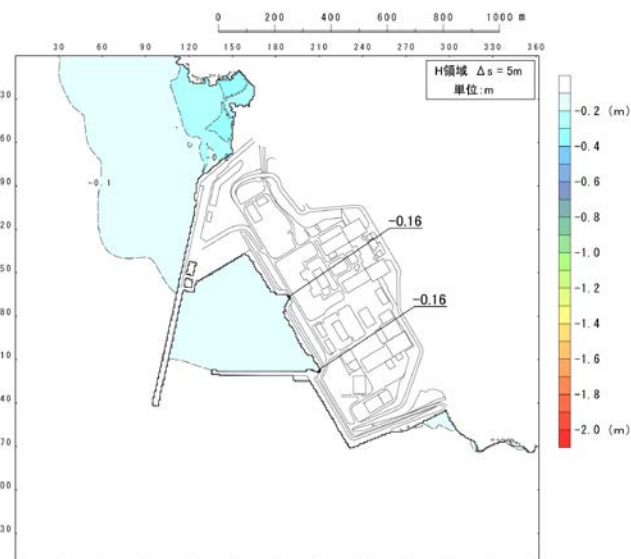
FLOW-3Dによる10分後の地形変化量分布

入力データ	入力値等	備考
計算時間間隔 Δt (s)	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (時間)	3	
比高変化 (m)	最大34	FLOW-3Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズタイム (s)	120	Satake (2007) に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake (2007) に基づき設定。

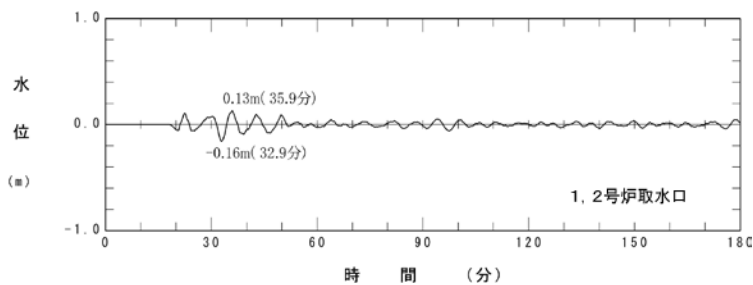
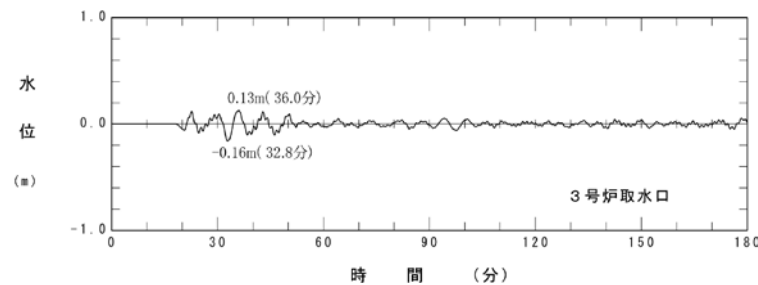
津波シミュレーション結果 (海底地すべりB)



最大水位上昇量分布

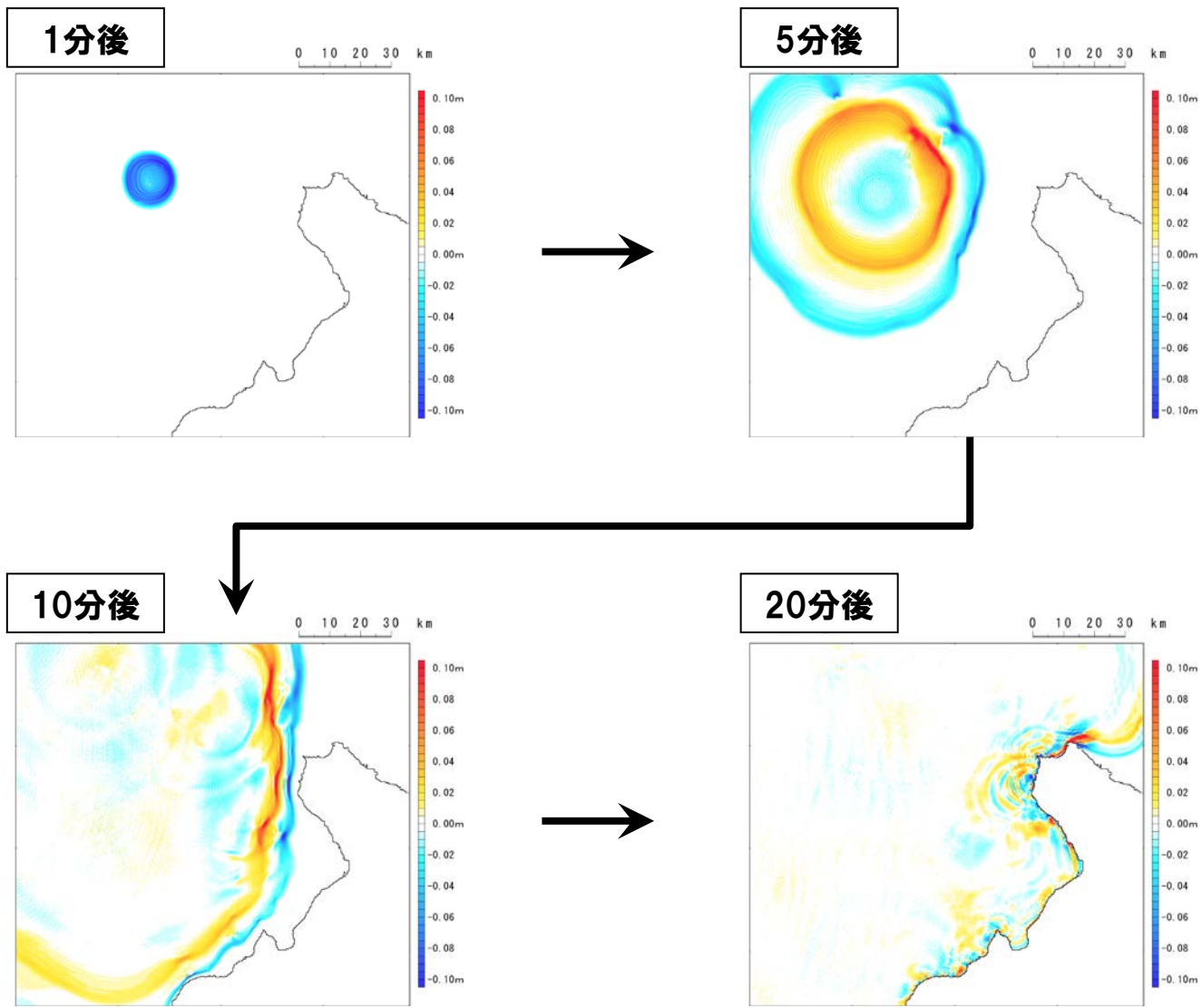


最大水位下降量分布

水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

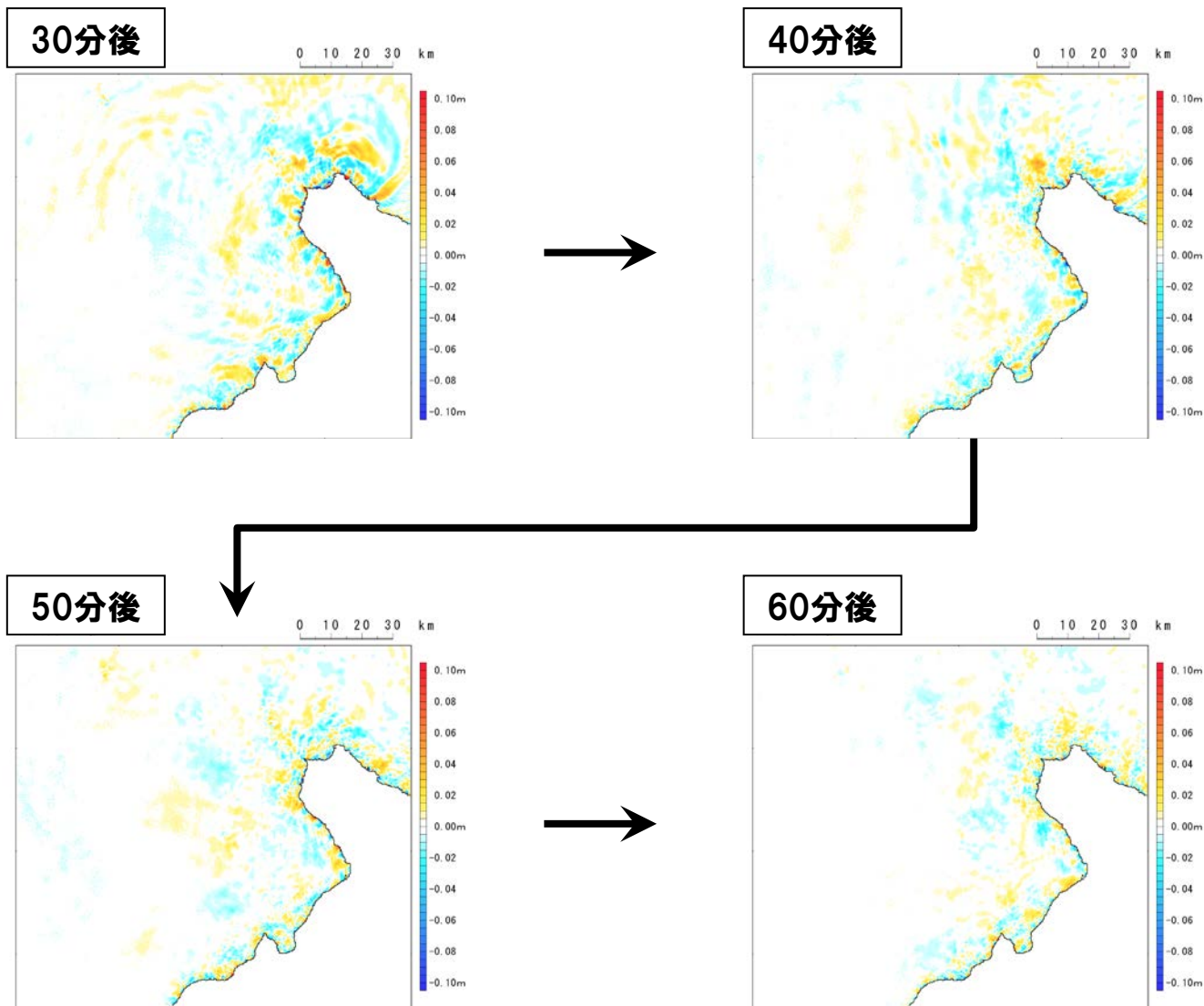
3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりB) (1/2)



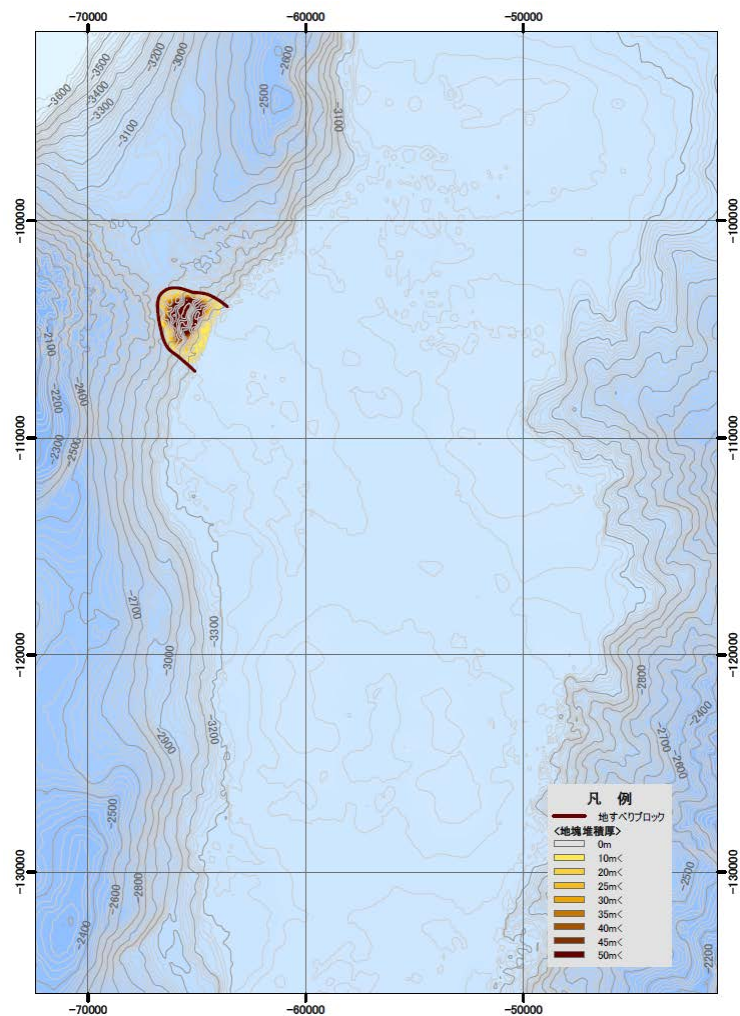
3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりB) (2/2)



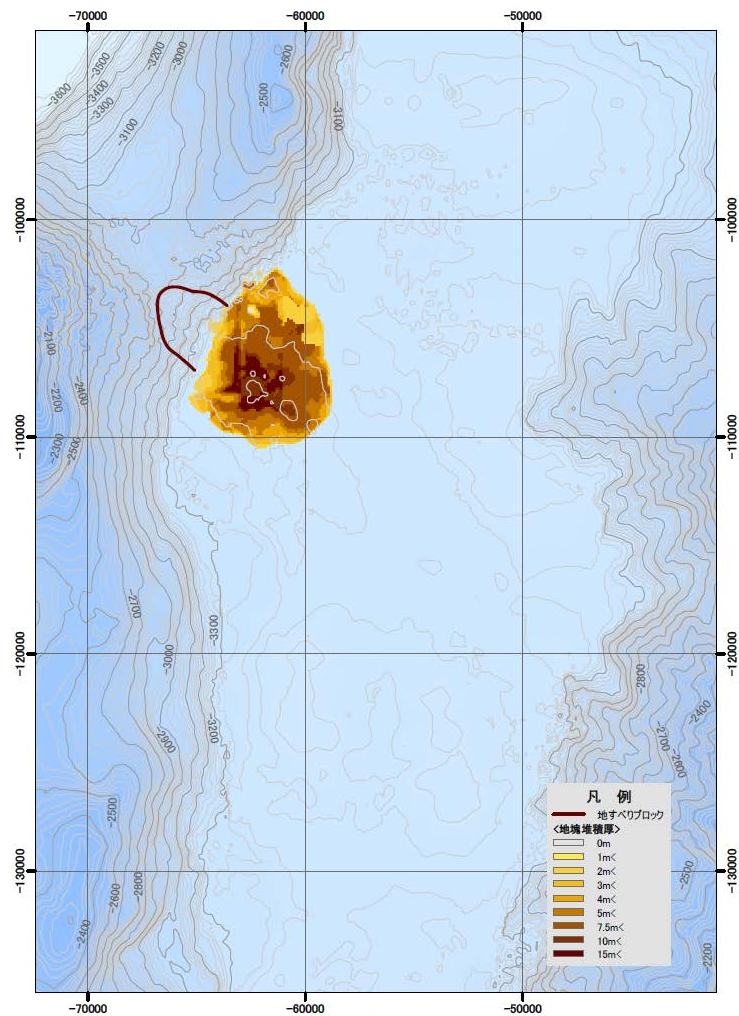
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (海底地すべりE)



1:200,000
00.75 1.5 3 4.5 6
km

崩壊前



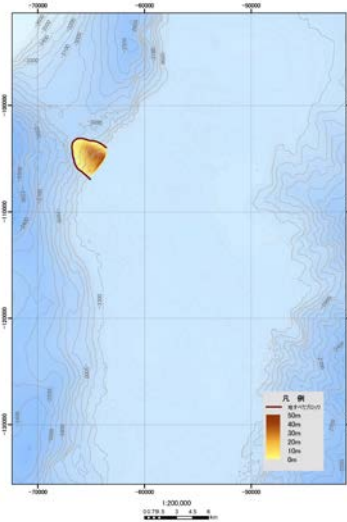
1:200,000
00.75 1.5 3 4.5 6
km

崩壊後 (10分後)

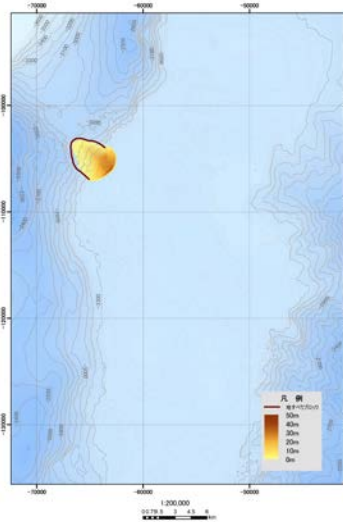
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりE) (1/2)

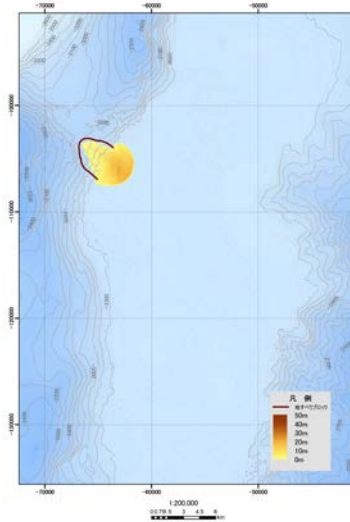
1分後



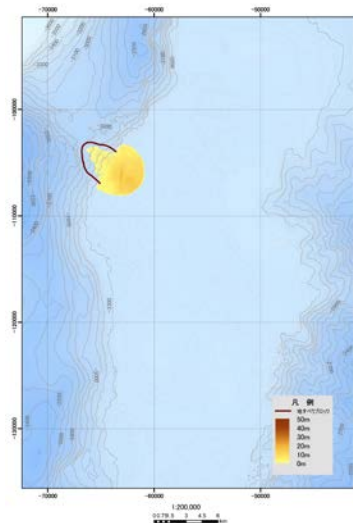
2分後



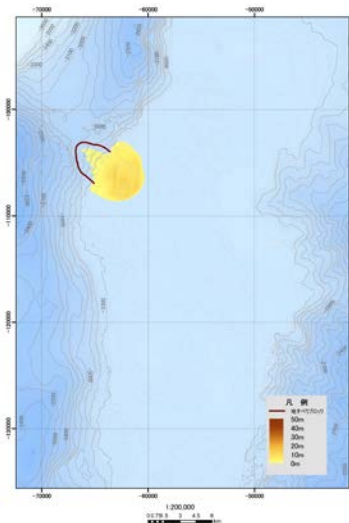
3分後



4分後



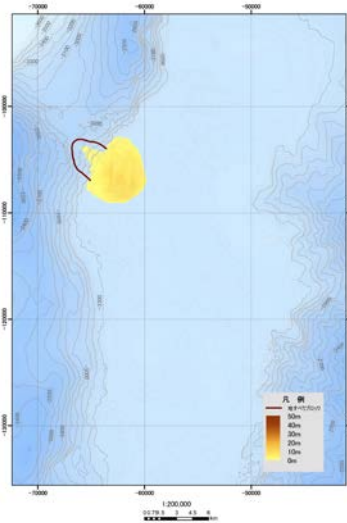
5分後



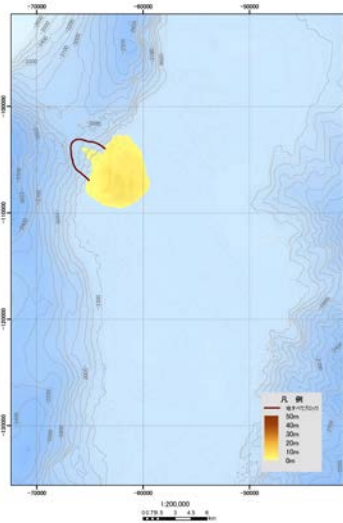
3-2 海底地すべりに伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (海底地すべりE) (2/2)

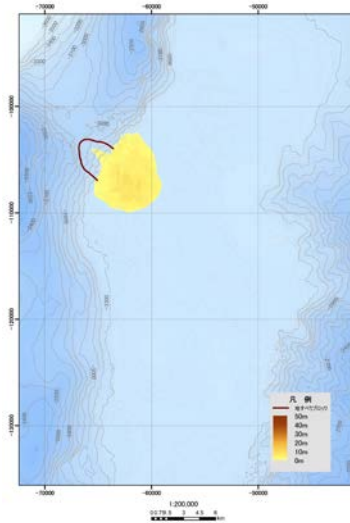
6分後



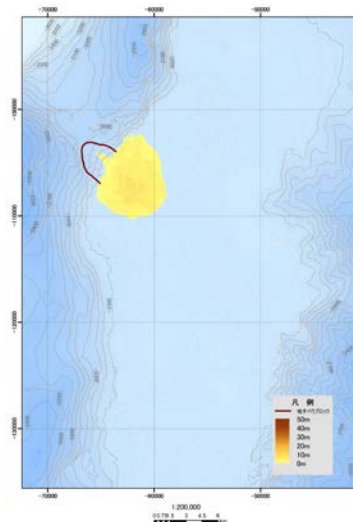
7分後



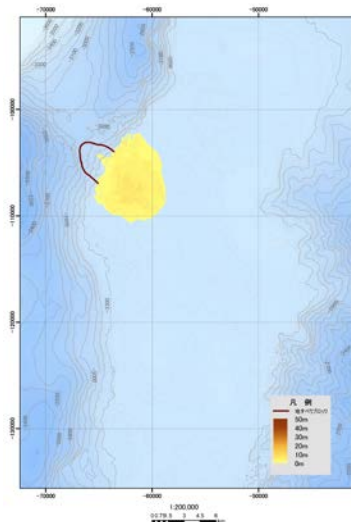
8分後



9分後

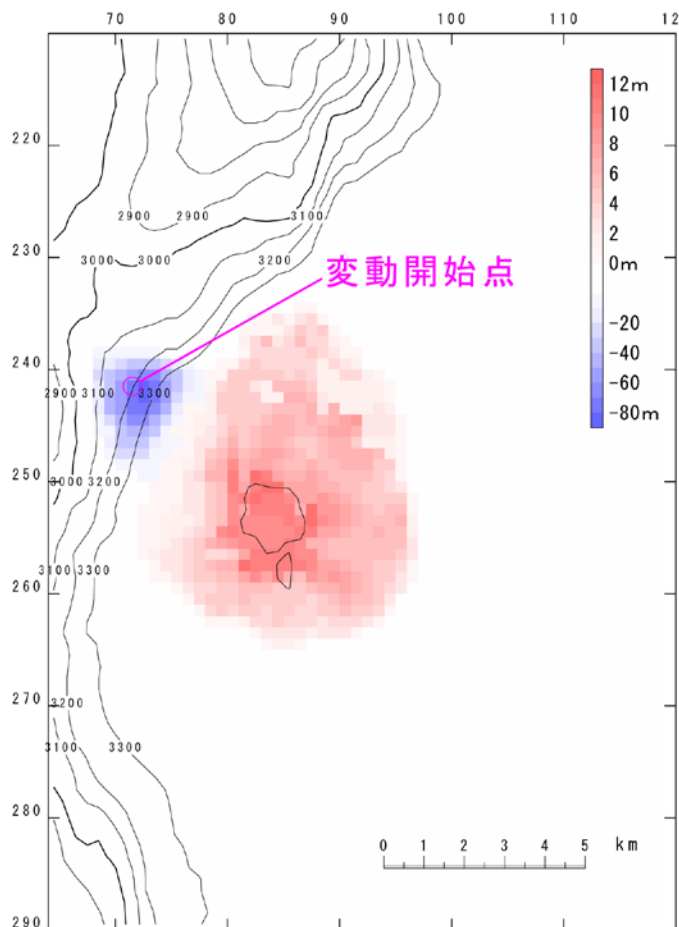


10分後



3-2 海底地すべりに伴う津波

採用したパラメータ (海底地すべりE) (Kinematic landslideモデル)

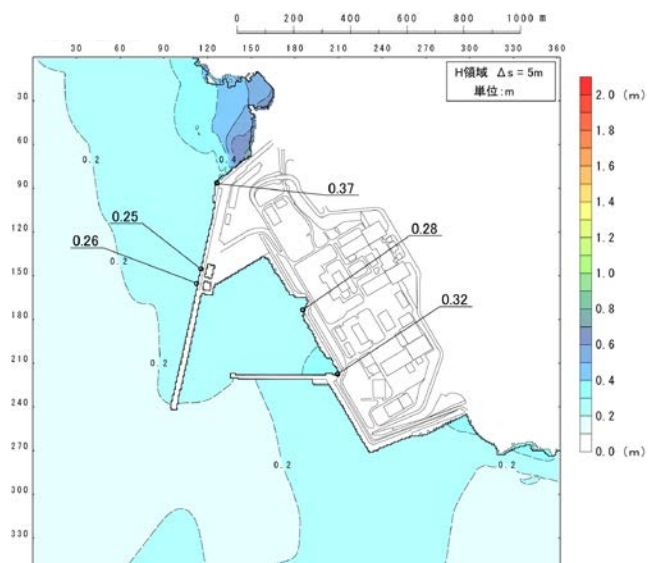


FLOW-3Dによる10分後の地形変化量分布

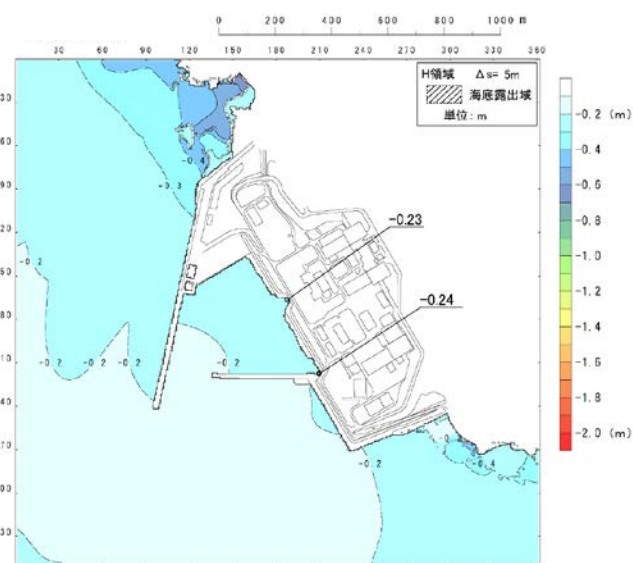
入力データ	入力値等	備考
計算時間間隔 Δt (s)	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間 (時間)	3	
比高変化 (m)	最大81	FLOW-3Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズタイム (s)	120	Satake (2007) に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake (2007) に基づき設定。

3-2 海底地すべりに伴う津波

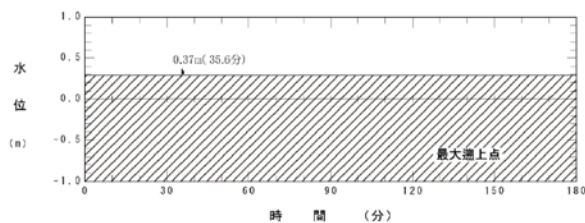
津波シミュレーション結果 (海底地すべりE)



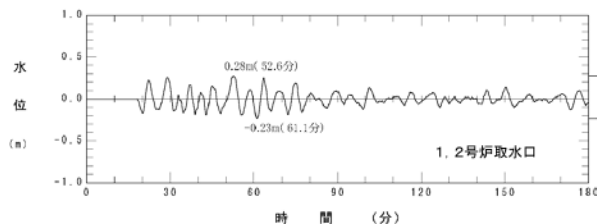
最大水位上昇量分布



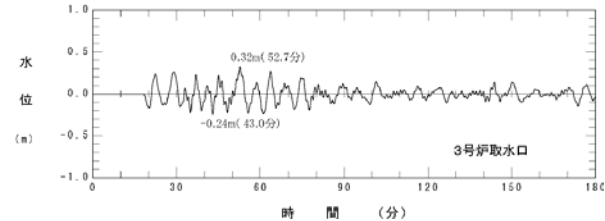
最大水位下降量分布



水位時刻歴波形
(敷地前面最大上昇位置)



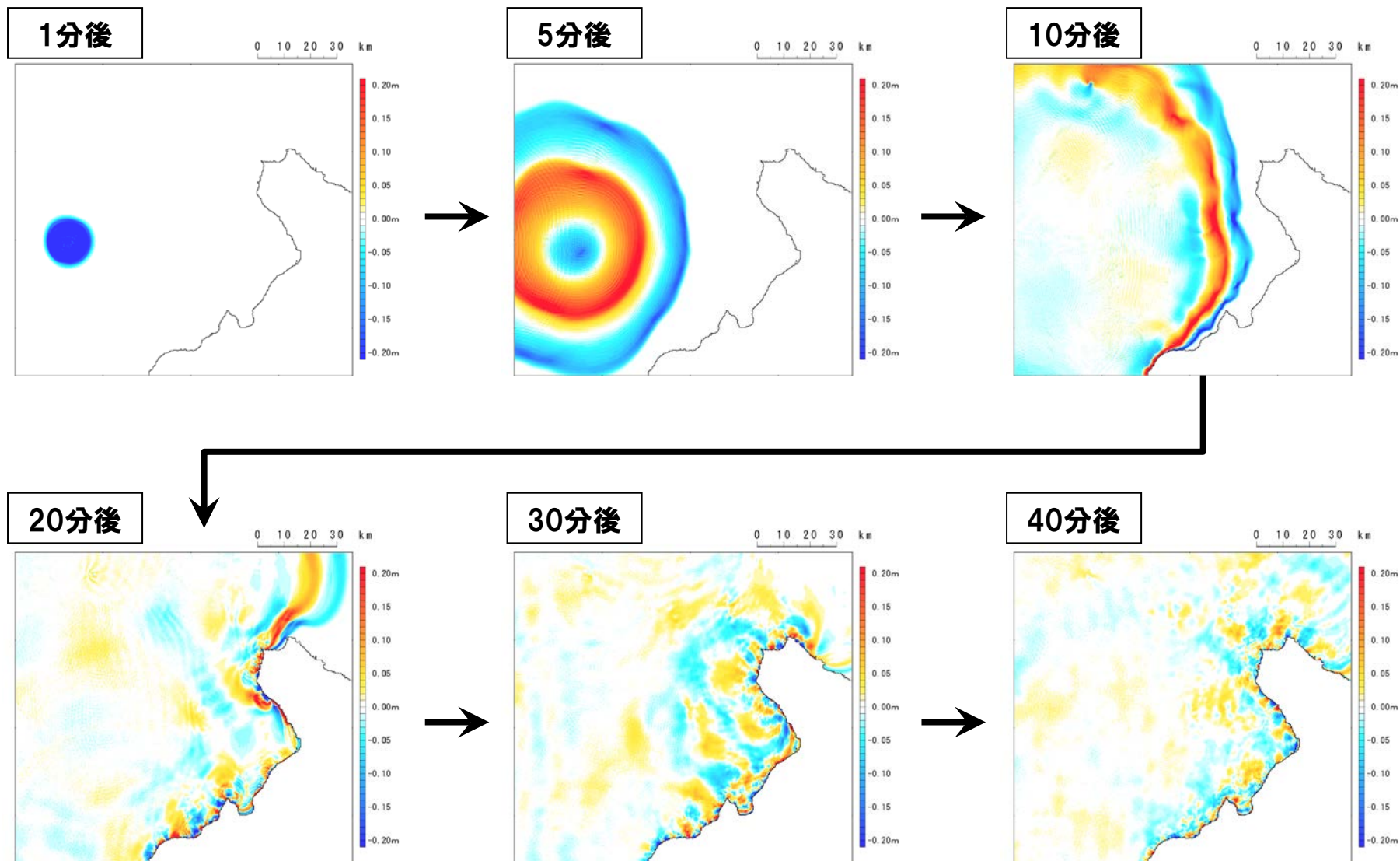
水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)



水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

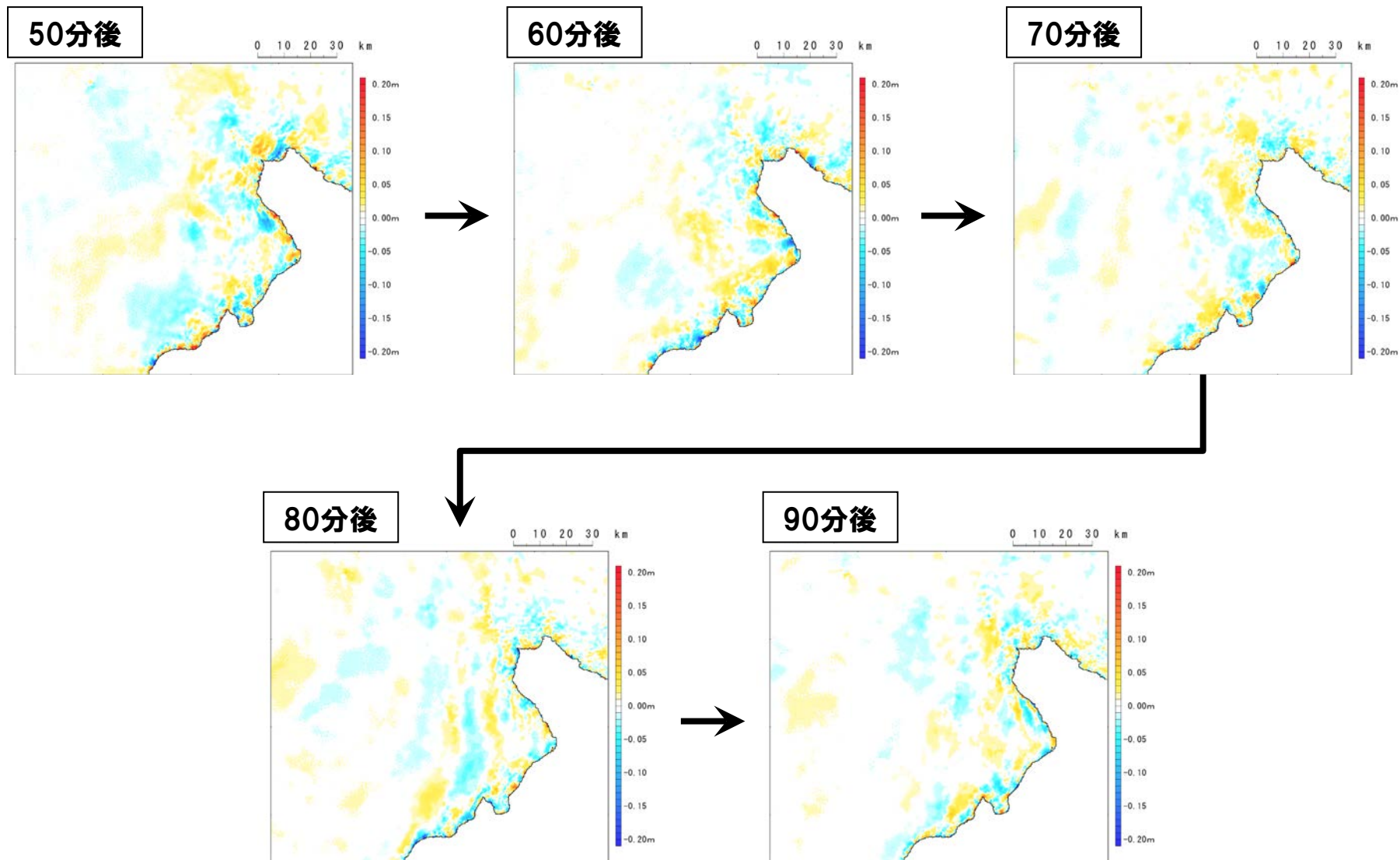
3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりE) (1/2)



3-2 海底地すべりに伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (海底地すべりE) (2/2)



3-2 海底地すべりに伴う津波

まとめ

- 敷地周辺の海域において津波の波源として評価している日本海東縁部に位置し、 F_B-2 断層が認められる急崖地形である後志舟状海盆西縁付近を対象として、海底地形データ等に基づき、地すべり地形を抽出した。
- 概略体積の大きい順にシミュレーションを実施した。
- 地すべりAのシミュレーション結果と、地すべりFのシミュレーション結果を境として、計算値が10cm未満となり、敷地への影響が小さくなることを確認した。
- 以上のことから、基準津波策定に当たって考慮する海底地すべりに伴う津波として、『地すべりA, B, E』の3箇所を選定した。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

1. 評価方針	3
2. 地震による津波	5
2-1 文献調査結果	8
2-2 津波堆積物調査結果	12
2-3 既往津波の再現性検討	18
2-4 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	25
2-5 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	37
3. 地震以外の津波	59
3-1 火山による山体崩壊に伴う津波	61
3-2 海底地すべりに伴う津波	69
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波	99
4. 基準津波の策定	138
5. 津波に対する安全性	150
5-1 砂移動評価について	152
5-2 取水路の水位変動について	170
6. 超過確率の参照	179
7. 検討会モデルによる評価	207
参考資料	228
参考文献	248

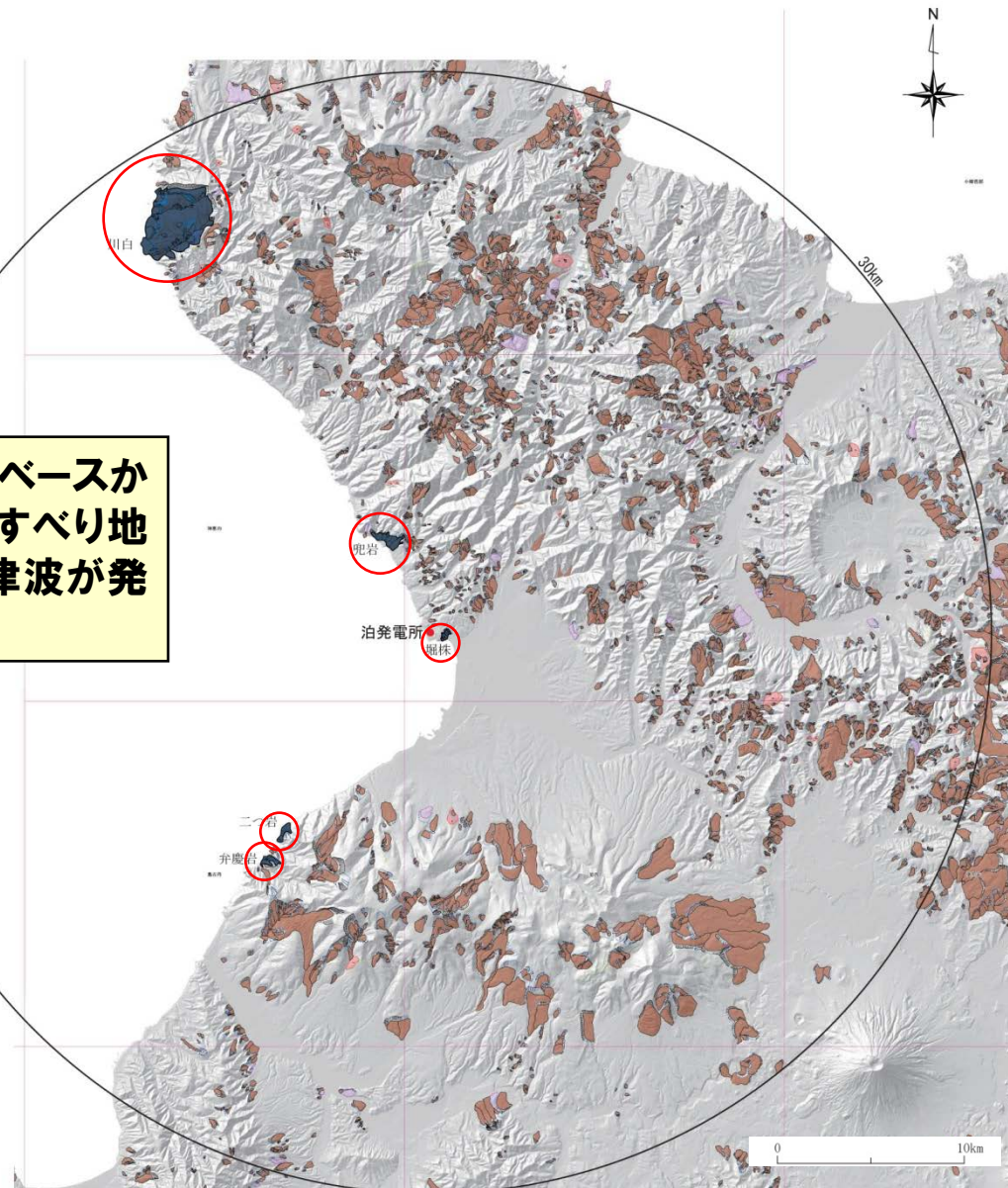
地すべり地形の抽出

凡例

- 抽出した地すべり地形
- 斜面移動体
- 不安定域・移動域と推定される範囲
- 移動体一般

防災科学技術研究所 地すべり地形分布図に加筆
<http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/>

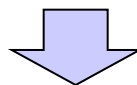
○防災科学技術研究所の地すべり地形データベースから、敷地から半径30km程度以内にある地すべり地形のうち、沿岸に分布し、斜面崩壊に伴う津波が発生する可能性のある地形（5箇所）を抽出。



3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべり地形の評価

地点名	発電所までの距離 (km)	判定
川白	24.0	<ul style="list-style-type: none"> ○地すべり地形は多数のブロックより形成されており、空中写真判読結果から、山側のブロックは開析しており、古く安定した地すべり地形と考えられる。 ○海岸線付近の小規模なブロックに対しては、地すべり対策が実施されており、滑落することはないと評価。 ○しかし、川白の地すべり対策の設計は、本申請において想定している日本海東縁部に想定される地震を対象としているものではないため、保守的に数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補となるブロックを検討する。
兜岩	5.0	<ul style="list-style-type: none"> ○文献の地すべり地形は6箇所の地形より形成されるが、地形判読結果、地表地質踏査及びボーリング調査結果から、地すべりではないと評価。
堀株	0.8	<ul style="list-style-type: none"> ○空中写真判読の結果から、地すべり地形は6箇所の緩斜面より形成され、海岸沿いの沖積低地に連続する。 ○沖積低地の幅は約100m程度で広がることから、これらの堆積物の滑動による津波を起こす恐れはないと評価。
二つ岩	10.6	<ul style="list-style-type: none"> ○文献では、地すべり地形は小規模な6箇所のブロックからなるが、空中写真判読結果から、沖積錐であり、地すべりではないと評価。
弁慶岩	14.8	<ul style="list-style-type: none"> ○空中写真判読の結果から、4箇所の開析された馬蹄形台地から形成され、古いものと推定される。 ○それぞれの地すべり地形が小規模であり、地すべり方向に系統性はなく、さらに、距離も約15kmであることから、発電所への影響は小さいと考えられるが、保守的に数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補となるブロックを検討する。



以上より、斜面崩壊に伴う津波が発生する地形として、川白及び弁慶岩について検討を実施。

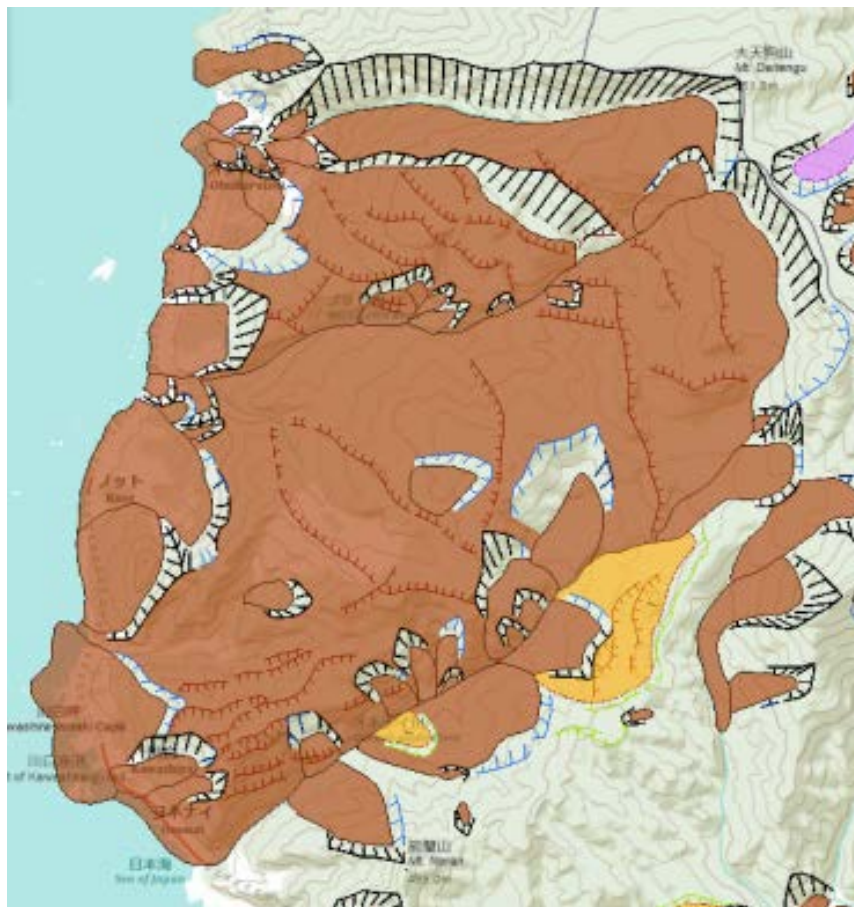
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

検討方針

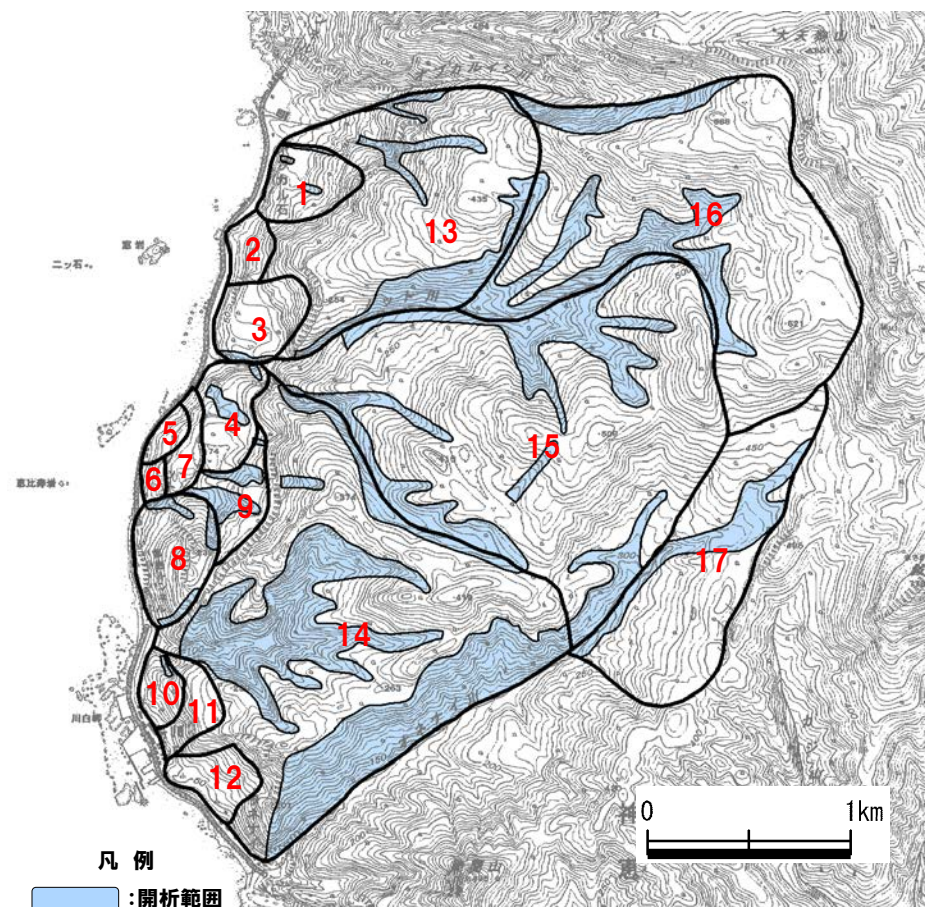
- 川白については、日本海東縁部に想定される地震クラスの発生による影響の可能性を考慮して、地表地質踏査結果及び地すべり地形の安定性に関する検討結果を踏まえて、地すべり想定ブロックと規模を精査のうえ、陸上の斜面崩壊が発生した場合の数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補を抽出する。
- 弁慶岩については、地すべり地形と判読していること、地すべり方向に系統性はないこと、周辺で施工されたトンネル工事記録及び地表地質踏査結果から、主要部分が直接外海に面する2箇所地すべりブロックを陸上の斜面崩壊が発生した場合の数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補として抽出する。
- 抽出した定量的評価対象候補について、規模の大きい順に数値シミュレーションを実施し、敷地への影響の有無を順次判定する。
- 津波発生モデルについては、Kinematic landslide モデルの手法を用いる。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

調査結果 (川白)



地すべり地形データベース

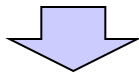


空中写真判読結果

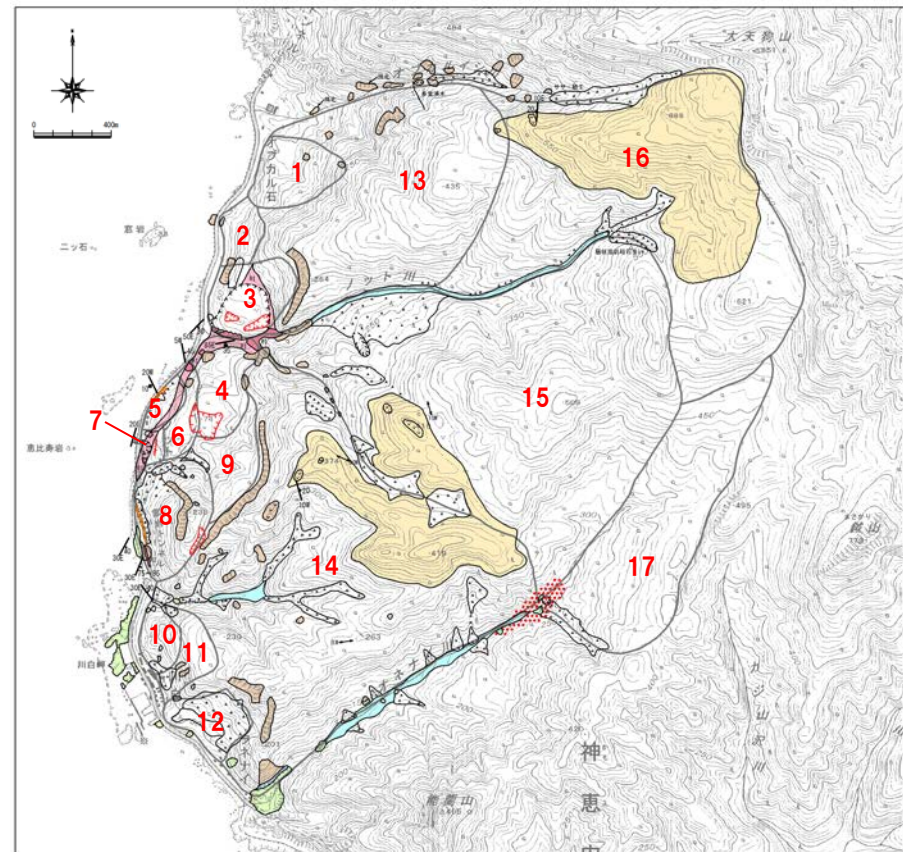
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地表地質踏査結果 (川白)

- 海岸部(ブロック1~ブロック12)には、小規模ながら、地すべり、陥没地形、滑落崖様の地形等のブロックの地すべりを示唆する状況が認められることから、不安定ブロック群と評価した。
- ブロック13~ブロック17には、それぞれのブロック境界等において、堅硬な岩盤が連続して分布し、ブロックの地すべりを示唆する状況が認められないことから、安定ブロック群と評価した。



- 以上の結果を踏まえたうえで、開析度合いと地すべり地形の安定性に関する知見による検討結果と併せて、数値シミュレーションによる定量的評価対象の抽出を行うものとする。



赤字: 地すべりブロック

ルートマップ

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべり地形の安定性と不安定ブロックの選定(川白)(1/2)

- 藤原(1970)によれば、切土などの人為的要因による滑動事例を研究し、限界安全率の考え方を示しており、自然地形を改変し、安全率が5~10%低下した時点ですべりが発生することが多いとして、この安全率の低下率を限界安全率とした。
- 稲垣ほか(2005)によれば、古期地すべり地形を復元したうえで、 c 、 ϕ を逆算することにより、古期地すべり地形の安全率と形成時期は、

$$F_s = 1 + 0.00014 \times T^{0.6} \dots\dots (1)$$
 の関係として示されるとし、10数万年前までの古期地すべりの安全率増分は限界安全率とよく一致するとしている。
- また、柳田・長谷川(2000)による古期地すべりの地形開析度 D (%)と地すべりの形成時期 T (年代(年前))との関係、

$$D = 0.02 \times T^{0.6}$$
 を統合したうえで、

$$F_s = 1 + 0.007D \dots\dots\dots (2)$$
 の関係の実用式を提案している。
- 国土交通省(2008)による「地すべり防止技術指針及び同解説」によれば、限界安全率に基づき、地すべり防止計画における計画安全率を1.10~1.20、応急対策等で当面の安全確保を図る場合の計画安全率を1.05以上に設定するものとしている。



- 各々のブロックに対して、(1)式、または(2)式に対する計画安全率 F_s を算出する。
- 「日本海東縁部における地震に伴う津波」との重畳に関する検討は短期的検討であることから、ブロックの安定性評価は $F_s = 1.05$ 以上を確保するものとして、 $F_s = 1.10$ 未満のものを定量的評価対象候補として選定した。

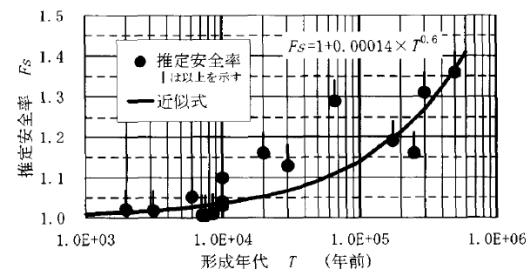


図-5 古期地すべりの形成年代と推定安全率
稲垣ほか(2005)

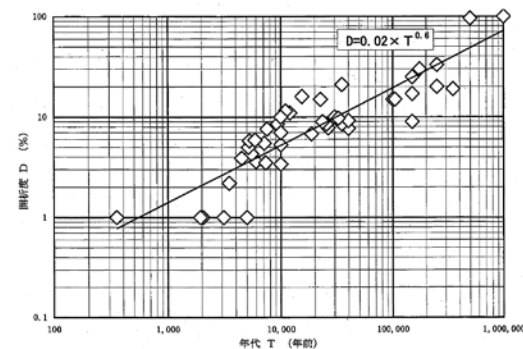


図4 地すべり地形の形成年代と開析度との関係 (柳田・長谷川, 1993)
柳田・長谷川(2000)

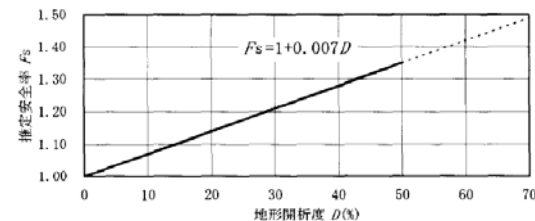


図-6 古期地すべりの地形開析度と推定安全率
稲垣ほか(2005)

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべり地形の安定性と不安定ブロックの選定(川白)(2/2)

- 検討の結果、ブロック1, 2, 3, (5, 6, 7), 8, (10,11), 12の7ブロックを不安定ブロックとして、数値シミュレーションによる定量的評価対象候補とした。
- なお、本検討結果は、地表地質踏査結果と整合的なものとなった。

ブロック No	地すべり体の面積 (m ²)	地すべり体を侵食した谷部の面積 (m ²)	地形開析度 D (%)	地すべりの形成時期 T (年前)	開析度から求まる安全率
1	103,973	9,695	9	26,000	1.063
2	48,005	0	0	—	—
3	132,159	10,048	8	22,000	1.056
4	119,318	19,001	16	69,000	1.112
5	41,612	0	0	—	—
6	23,935	0	0	—	—
7	48,159	0	0	—	—
8	178,084	25,255	14	55,000	1.098
9	107,809	45,151	42	344,000	1.294
10	57,466	2,535	4	7,000	1.028
11	47,803	0	0	—	—
12	92,462	0	0	—	—
13	976,382	223,886	23	126,000	1.161
14	1,997,958	999,934	50	461,000	1.350
15	2,254,563	543,626	24	136,000 (461,000)※	1.168
16	1,662,735	417,007	25	145,000 (461,000)※	1.175
17	722,147	138,921	19	92,000	1.133

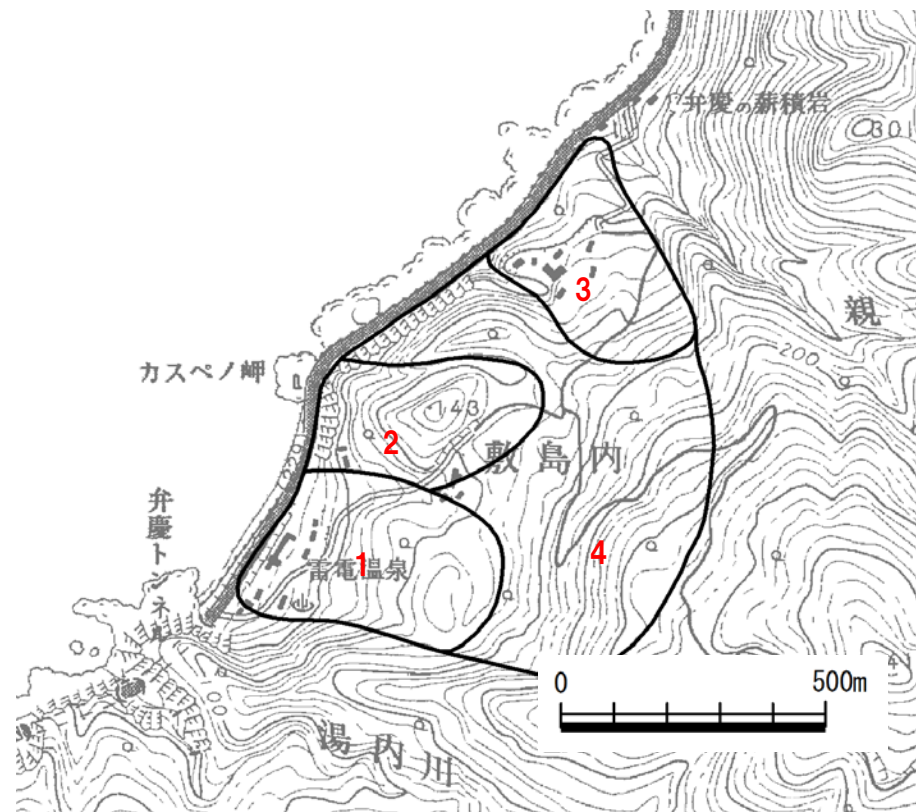
※地形層序ではブロックNo.14より古いと考えられるため、46.1万年前とした場合

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

調査結果 (弁慶岩)



地すべり地形データベース (一部加筆)

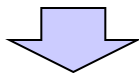


空中写真判読結果

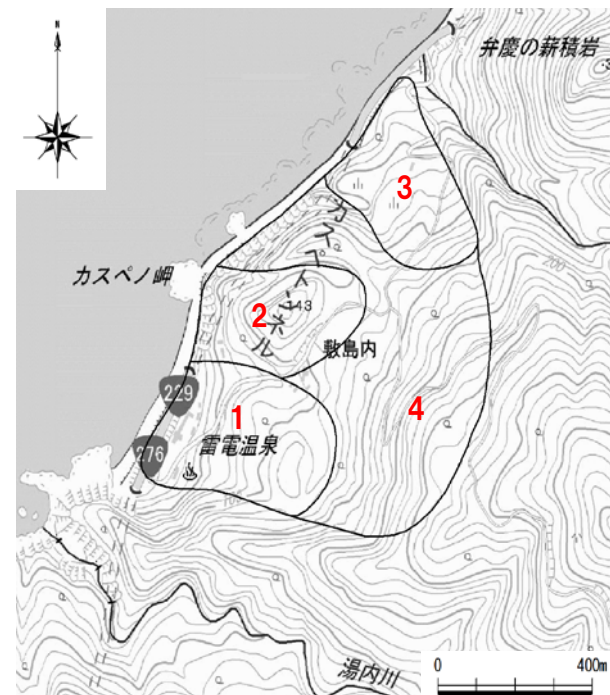
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地表地質踏査結果 (弁慶岩)

- 北海道の道路トンネル(2005)によると、ブロック1~ブロック3の区間は、新第三紀鮮新世の火山角礫岩~安山岩とされており、風化や破碎を示唆する記載はない。
- 地表地質踏査結果は以下のとおりである。
 - ・ブロック1については、過去においてブロック上部の平坦面に池の存在が示唆されること、平坦面が多段化していること等から、地すべりブロックの可能性は否定できない。
 - ・ブロック2については、堅硬な岩盤が前面の海岸部まで連続的に分布し、ブロックの地すべりを示唆する状況は認められない。
 - ・ブロック3については、北側の尾根部は、堅硬な安山岩溶岩で形成されているが、ブロック内に集水井等の地すべり対策工がなされていることから、地すべりブロックの可能性は否定できない。
 - ・ブロック4については、ブロック2と同様に山側では堅硬な安山岩溶岩、沿岸部では堅硬な火砕岩が連続して分布し、ブロックの地すべりを示唆する状況は認められない。



- 以上のことから、地すべりブロックの可能性が否定できない、ブロック1及びブロック3の2ブロックを数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補として抽出した。



ルートマップ

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

陸上地すべり地形の抽出結果

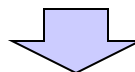
地すべり 地形	L 長さ (m)	W 幅 (m)	H 高低差 (m)	D 推定厚さ(m) 高速道路調査会(1985)	長さ×厚さ (m ²)	規模の 順位	概略体積 (m ³)	体積の 順位	発電所 までの 距離 (km)
川白1	450	360	230	36	16,000	4	1,940,000	4	27.1
川白2	230	340	130	34	8,000	9	890,000	9	27.0
川白3	520	390	180	39	20,000	2	2,640,000	2	26.6
川白 5,6,7	260	470	90	47	12,000	6	1,910,000	5	26.3
川白8	390	640	180	64	25,000	1	5,320,000	1	26.0
川白 10,11	400	430	190	43	17,000	3	2,470,000	3	25.5
川白12	300	310	150	31	9,000	8	960,000	7	25.1
弁慶岩1	500	250	140	25	13,000	5	1,040,000	6	15.1
弁慶岩3	450	250	140	25	11,000	7	940,000	8	14.4

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション結果

○陸上地すべり

区分	川白1	川白2	川白3	川白5,6,7	川白8	川白10,11	川白12	弁慶岩1	弁慶岩3
敷地前面 最大水位上昇量	0.10m	-	0.12m	0.06m	0.15m	0.14m	-	0.08m	0.06m
3号炉取水口 最大水位上昇量	0.10m	-	0.09m	0.06m	0.14m	0.12m	-	0.08m	0.06m
3号炉取水口 最大水位下降量	0.09m	-	0.09m	0.05m	0.14m	0.11m	-	0.08m	0.08m
1号及び2号炉取水口 最大水位上昇量	0.10m	-	0.09m	0.05m	0.13m	0.12m	-	0.08m	0.06m
1号及び2号炉取水口 最大水位下降量	0.09m	-	0.09m	0.05m	0.12m	0.11m	-	0.08m	0.08m
概略体積の順位	4 ($1.94 \times 10^6 \text{m}^3$)	9 ($0.89 \times 10^6 \text{m}^3$)	2 ($2.64 \times 10^6 \text{m}^3$)	5 ($1.91 \times 10^6 \text{m}^3$)	1 ($5.32 \times 10^6 \text{m}^3$)	3 ($2.47 \times 10^6 \text{m}^3$)	7 ($0.96 \times 10^6 \text{m}^3$)	6 ($1.04 \times 10^6 \text{m}^3$)	8 ($0.94 \times 10^6 \text{m}^3$)
影響の順位	3	-	4	5	1	2	-	-	-



- 概略体積の大きい順にシミュレーションを実施。
- 「川白1」の結果と「川白5,6,7」の結果を境として、計算値が10cm未満となり、敷地への影響が小さくなることを確認した。
- その他については、「川白5,6,7」の概略体積である約 $1.91 \times 10^6 \text{m}^3$ を下回ることから、敷地に対する影響は小さいものと評価した。
- 「弁慶岩1」と「弁慶岩3」について、距離の影響検討の観点からシミュレーションを実施したが、計算値が10cm未満となり、敷地への影響は小さいことを確認した。
- 以上のことから、基準津波策定に当たって考慮する陸上の斜面崩壊に伴う津波としては、「川白1」、「川白3」、「川白8」、「川白10,11」を選定する。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション(川白1)

- 津波の数値シミュレーションは、火山による山体崩壊に伴う津波の検討結果において、敷地に対して影響が大きい結果となった「Kinematic landslideモデル」の手法を用いる。
- 土砂崩壊シミュレーションは、崩壊土砂の動きを時刻歴で解析することが可能なTITAN2Dを使用する。

【地すべりシミュレーション】

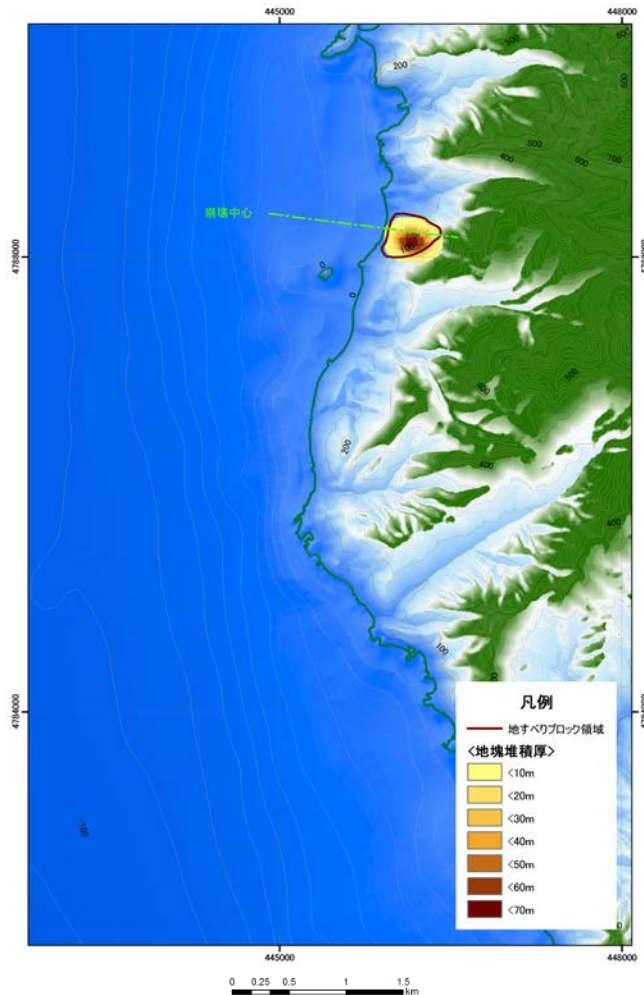
入力データ	入力値	備考
内部摩擦角 Φ_{int} (°)	30.0	想定される地質(33°程度) より設定
底面摩擦角 Φ_{bed} (°)	16.7	森脇(1987)より設定

【津波シミュレーション (Kinematic landslide model)】

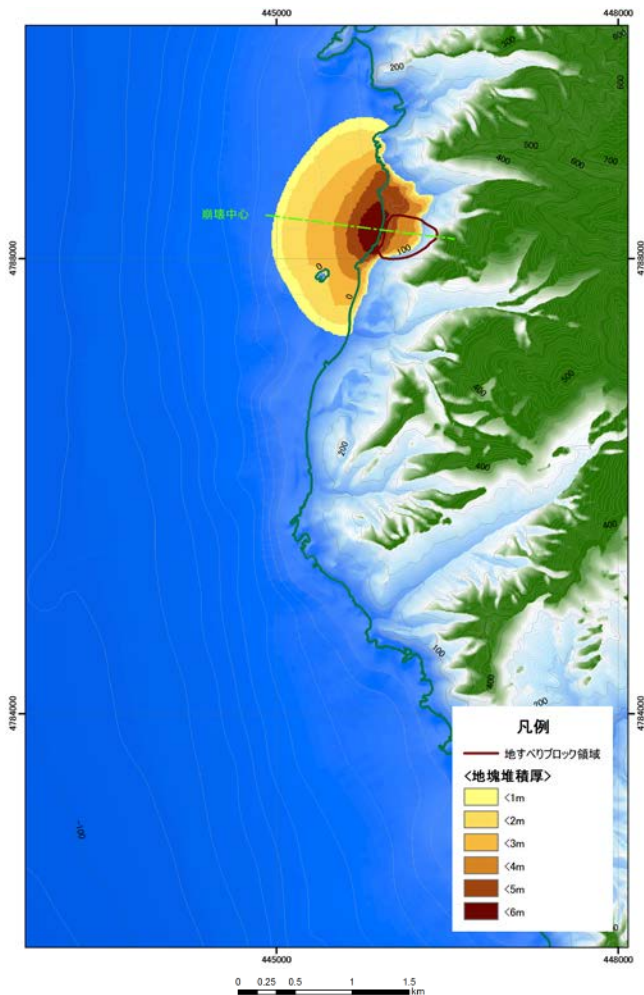
入力データ	入力値	備考
計算時間間隔 Δt (s)	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間(時間)	3	
比高変化(m)	最大30	TITAN2Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズ タイム(s)	120	Satake(2007)に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake(2007)に基づき設定。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (川白1)



崩壊前

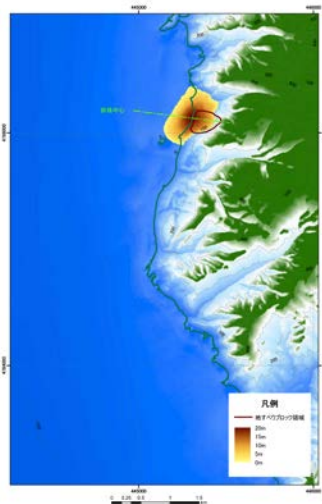


崩壊後 (10分後)

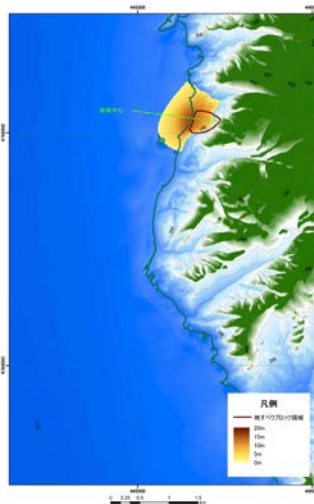
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白1) (1/2)

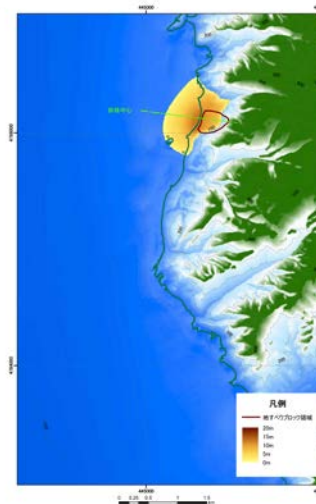
1分後



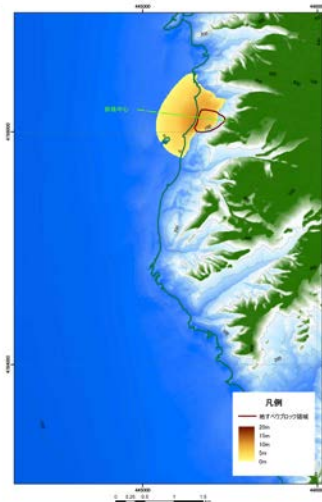
2分後



3分後



4分後



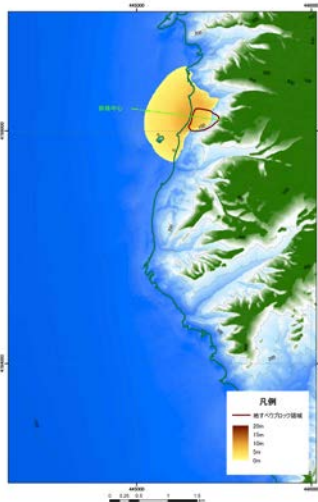
5分後



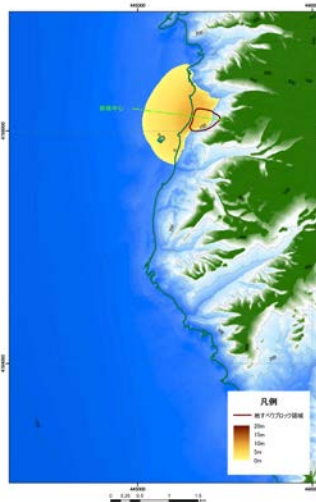
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白1) (2/2)

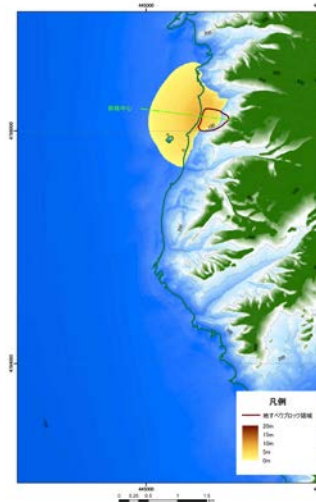
6分後



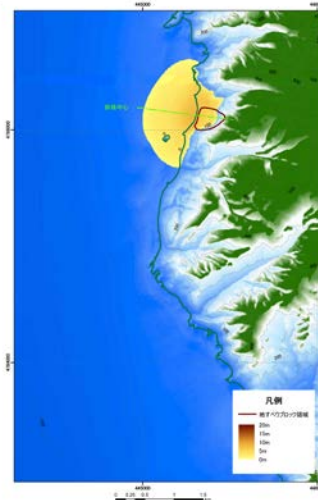
7分後



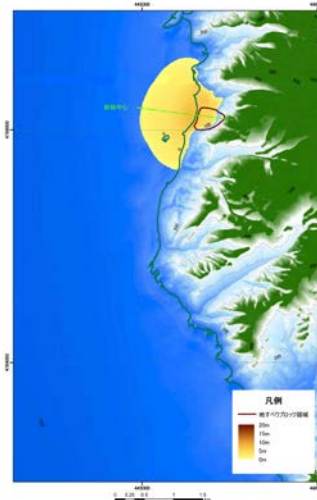
8分後



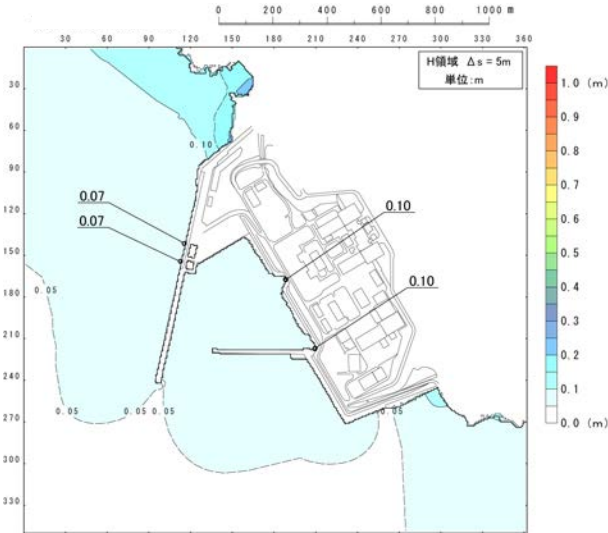
9分後



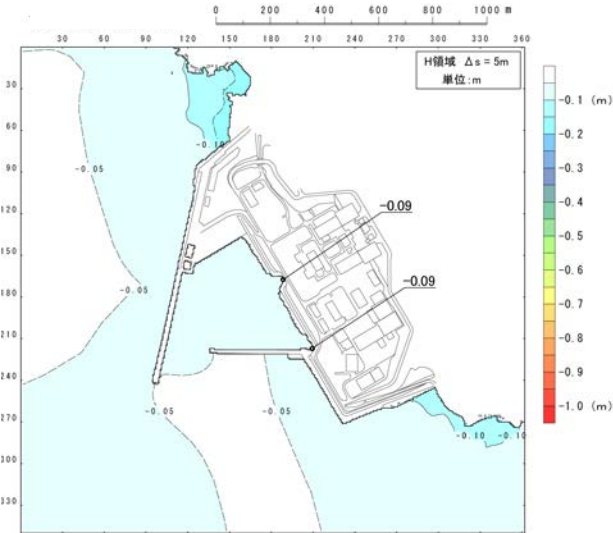
10分後



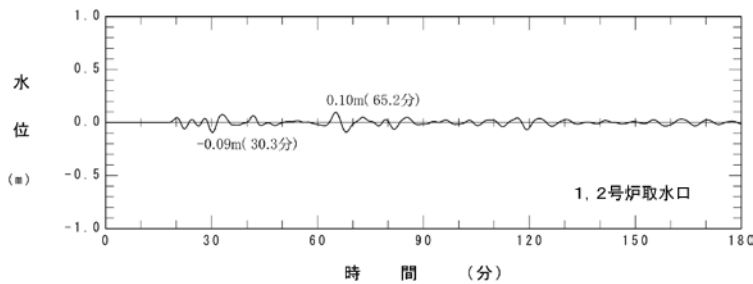
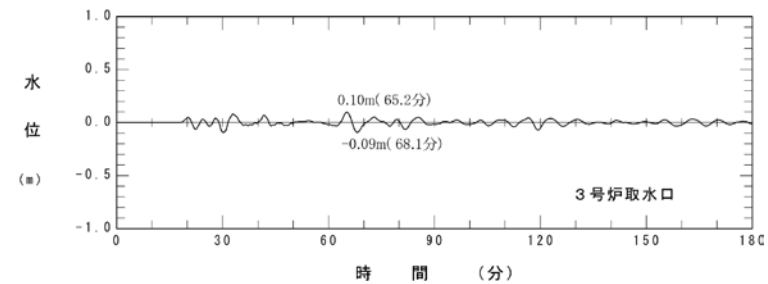
津波シミュレーション結果(川白1)



最大水位上昇量分布



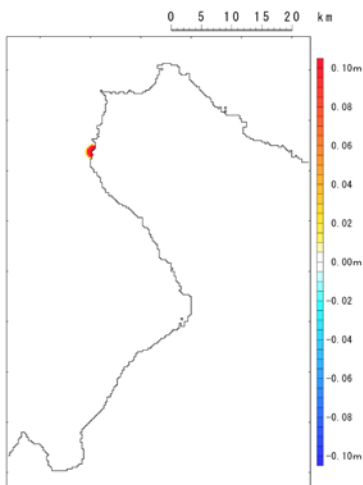
最大水位下降量分布

水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

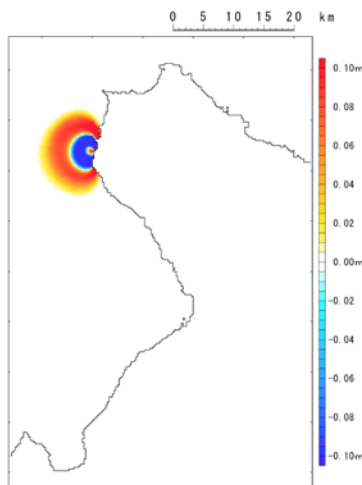
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白1) (1/2)

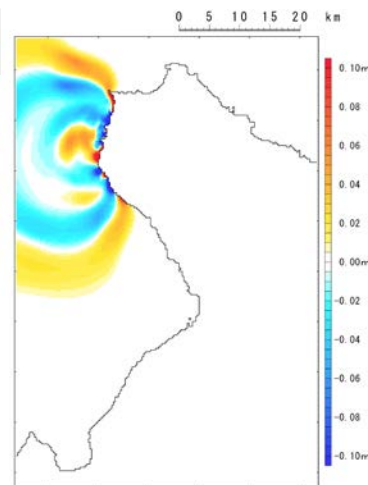
1分後



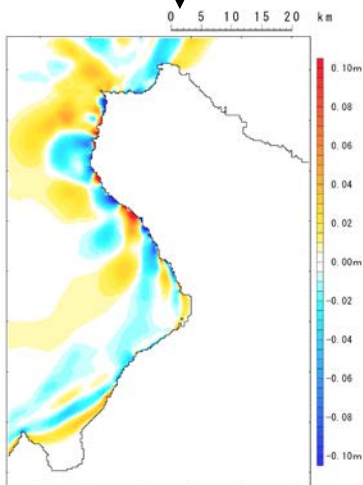
5分後



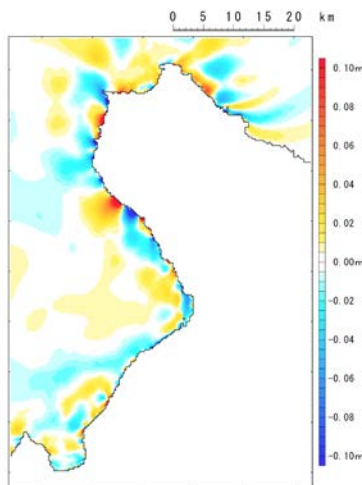
10分後



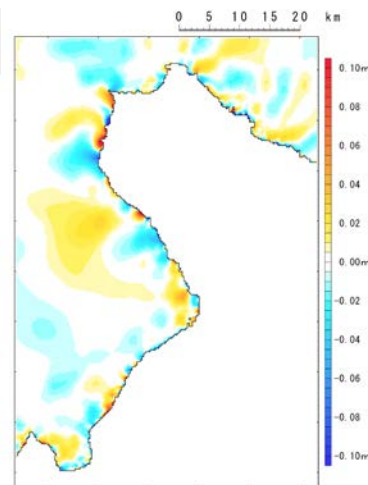
20分後



30分後



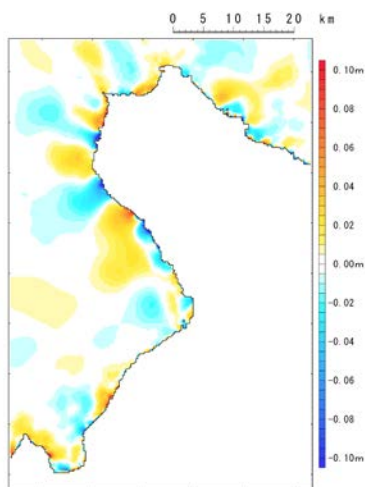
40分後



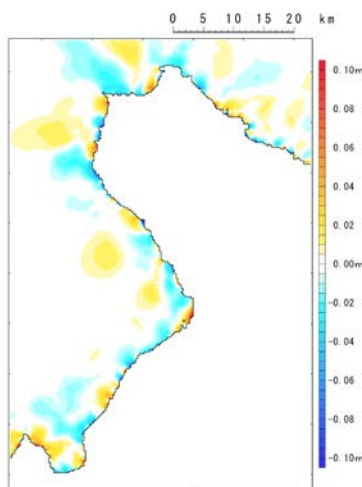
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白1) (2/2)

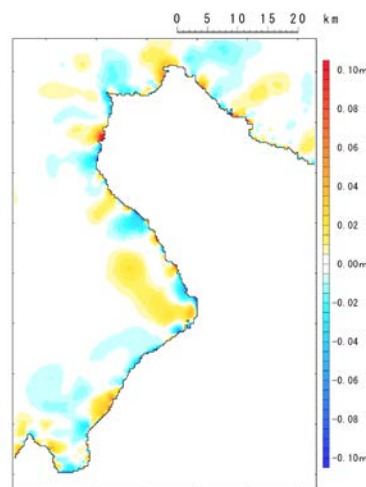
50分後



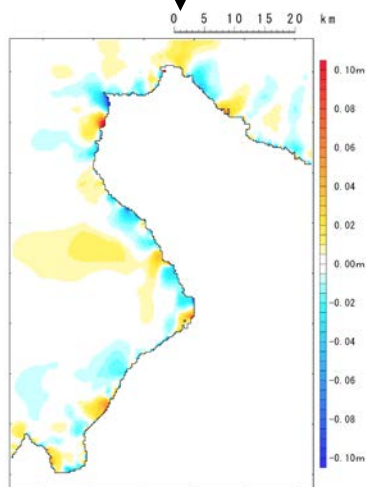
60分後



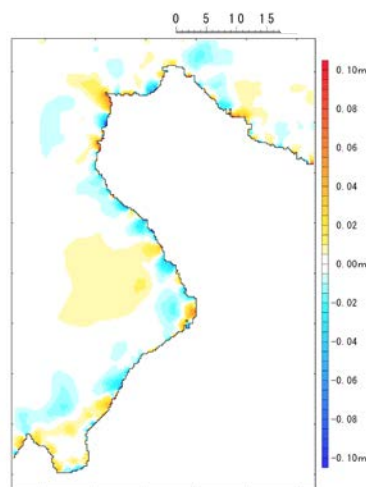
70分後



80分後



90分後



3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション(川白3)

- 津波の数値シミュレーションは、火山による山体崩壊に伴う津波の検討結果において、敷地に対して影響が大きい結果となった「Kinematic landslideモデル」の手法を用いる。
- 土砂崩壊シミュレーションは、崩壊土砂の動きを時刻歴で解析することが可能なTITAN2Dを使用する。

【地すべりシミュレーション】

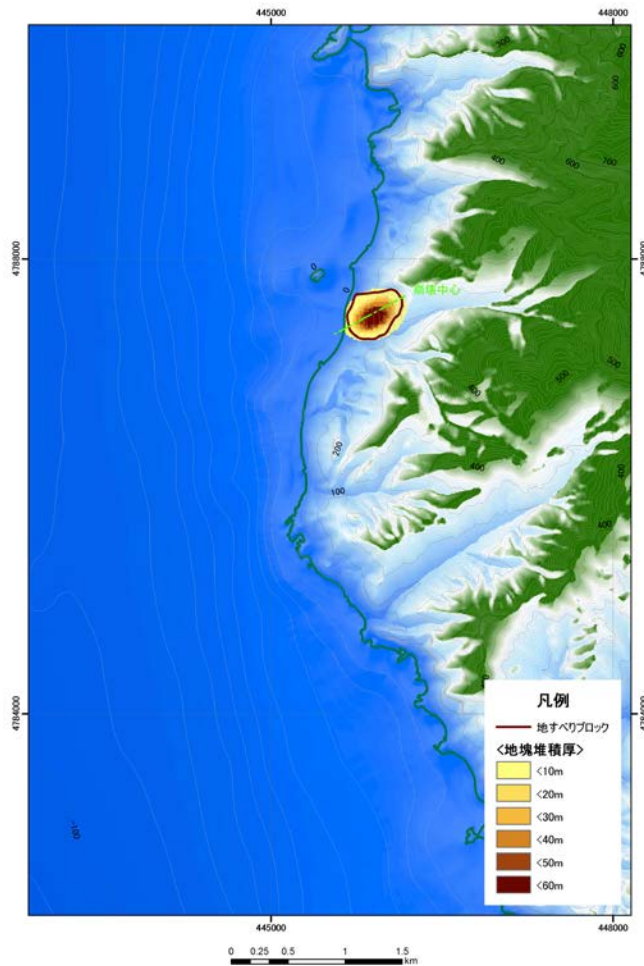
入力データ	入力値	備考
内部摩擦角 $\Phi_{int} (^{\circ})$	30.0	想定される地質(33°程度) より設定
底面摩擦角 $\Phi_{bed} (^{\circ})$	16.7	森脇(1987)より設定

【津波シミュレーション(Kinematic landslide model)】

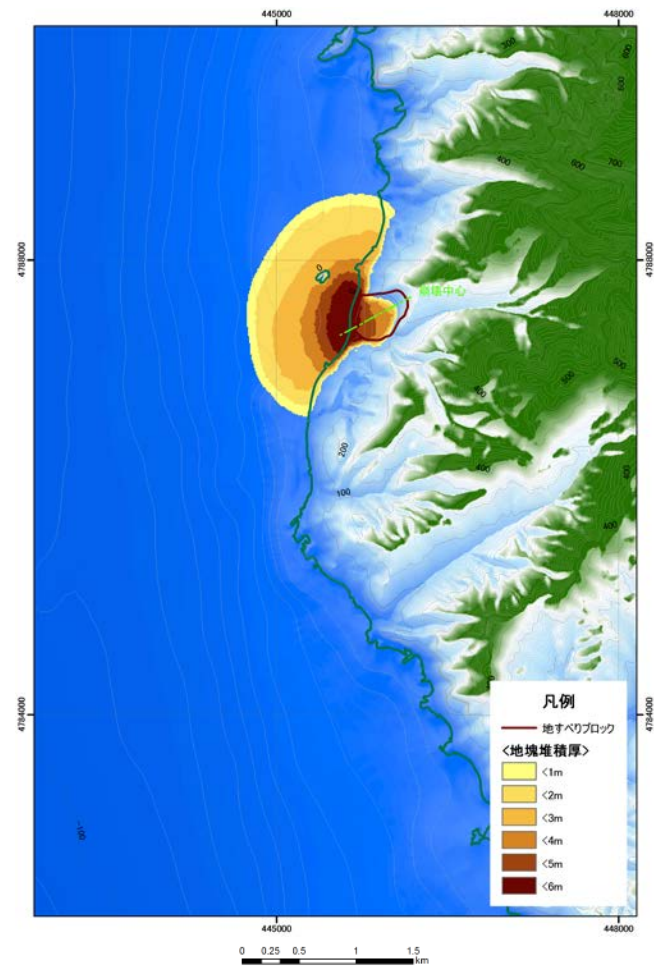
入力データ	入力値	備考
計算時間間隔 $\Delta t (s)$	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間(時間)	3	
比高変化(m)	最大57	TITAN2Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズ タイム(s)	120	Satake(2007)に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake(2007)に基づき設定。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (川白3)



崩壊前

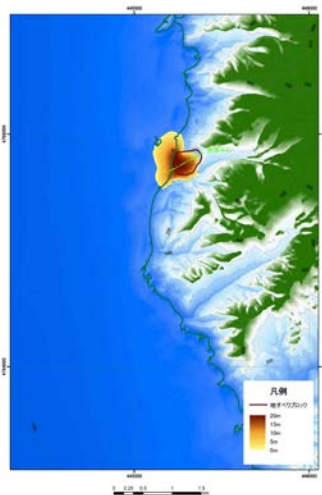


崩壊後 (10分後)

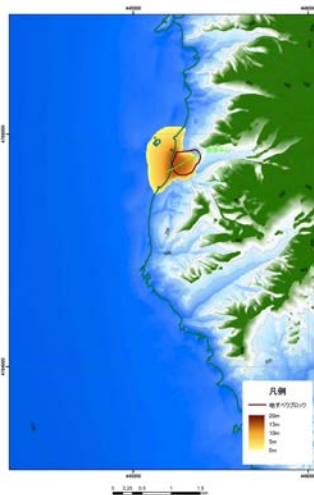
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白3) (1/2)

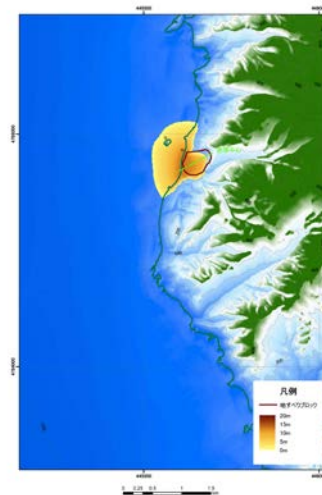
1分後



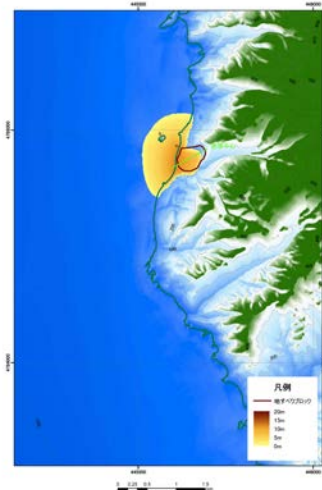
2分後



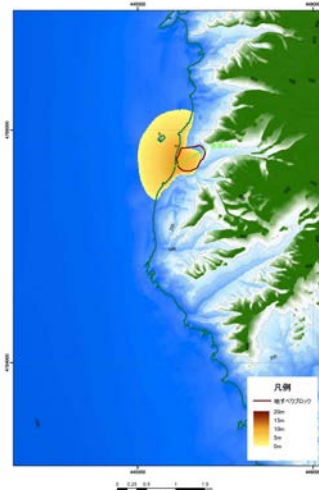
3分後



4分後



5分後



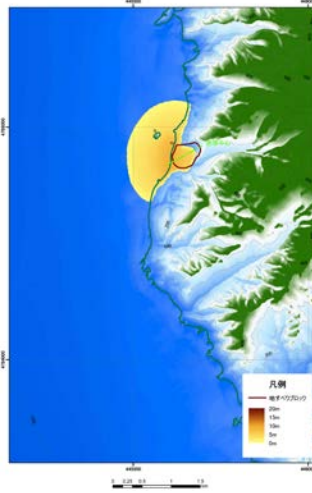
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白3) (2/2)

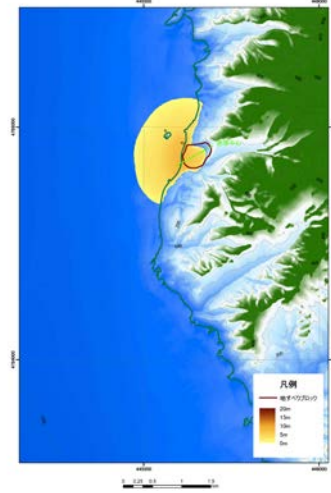
6分後



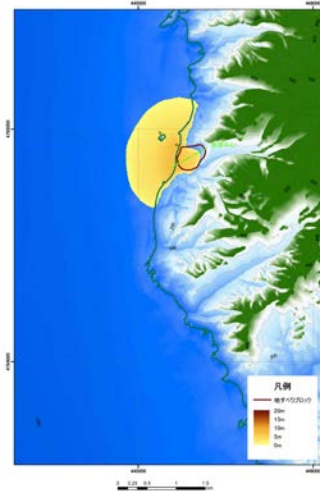
7分後



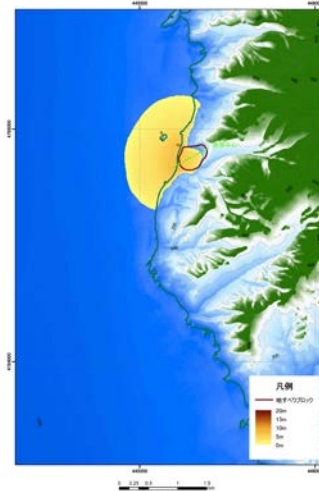
8分後



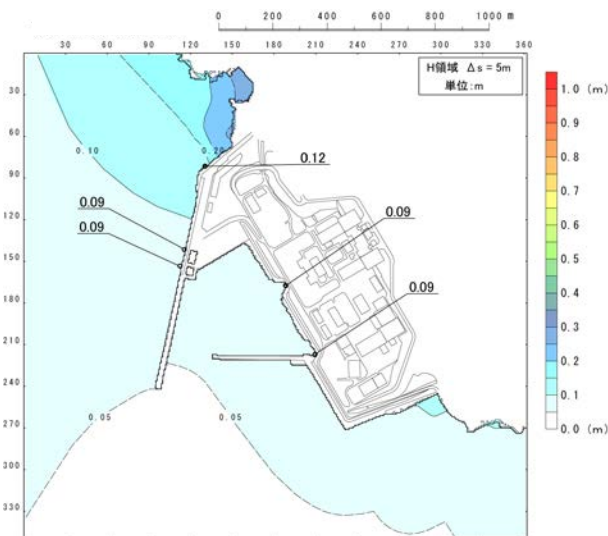
9分後



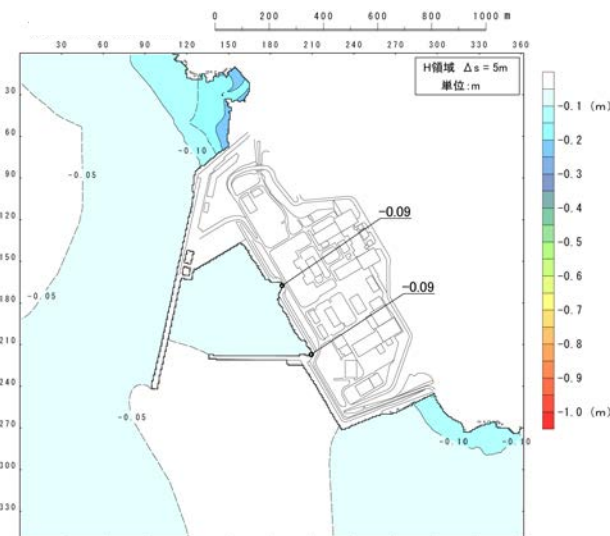
10分後



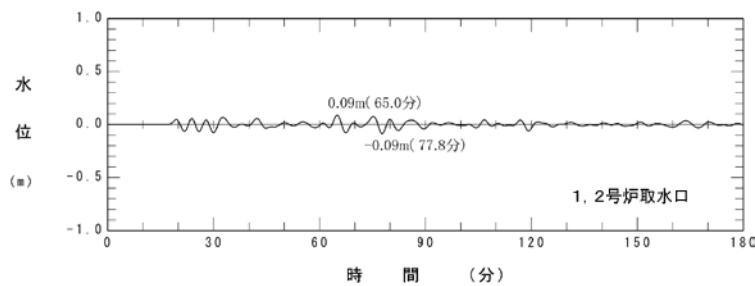
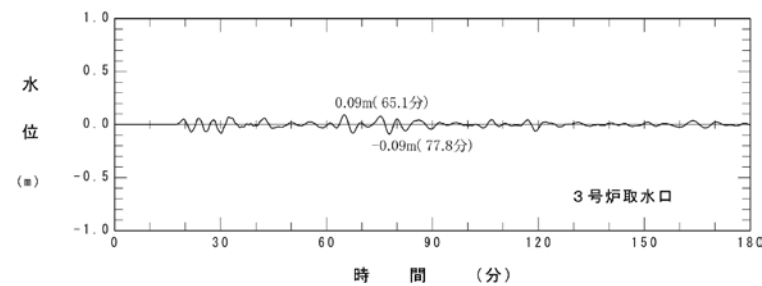
津波シミュレーション結果 (川白3)



最大水位上昇量分布



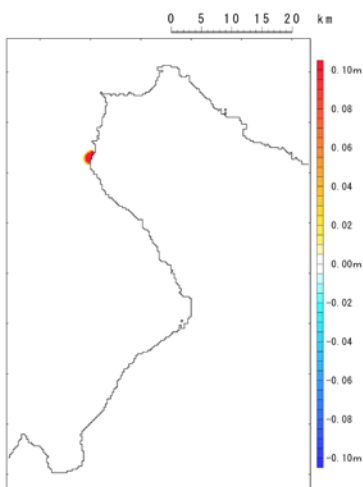
最大水位下降量分布

水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

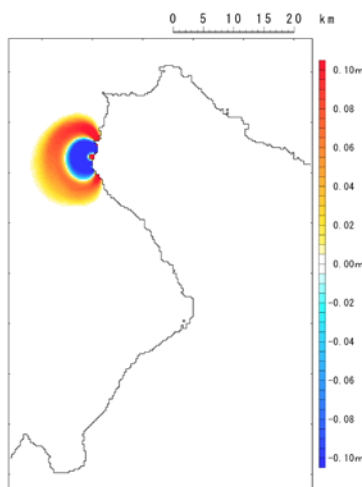
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白3) (1/2)

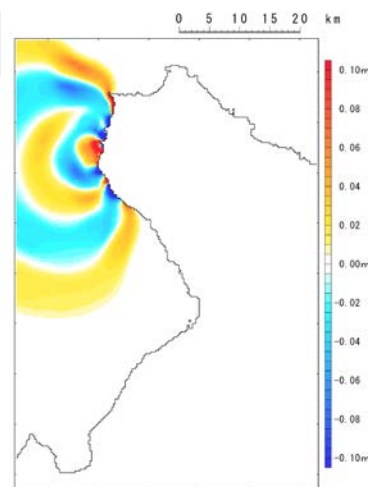
1分後



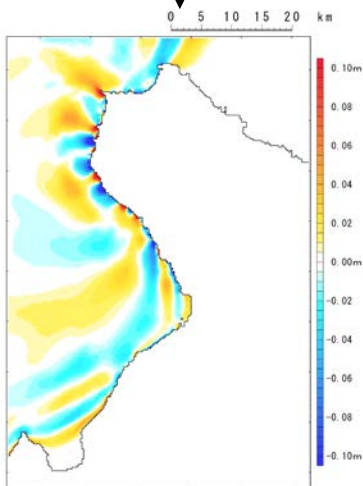
5分後



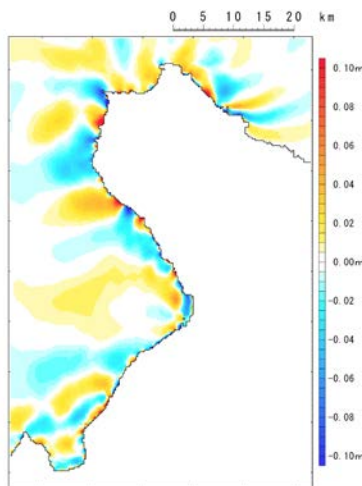
10分後



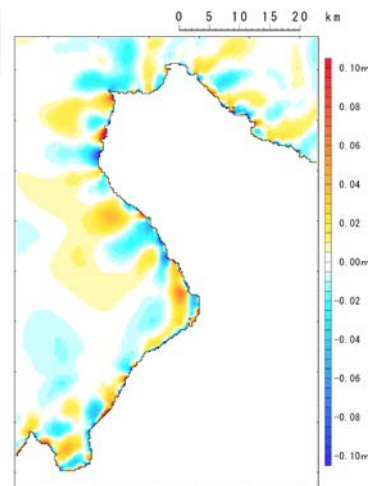
20分後



30分後



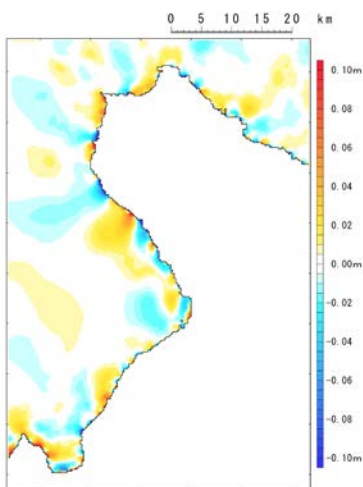
40分後



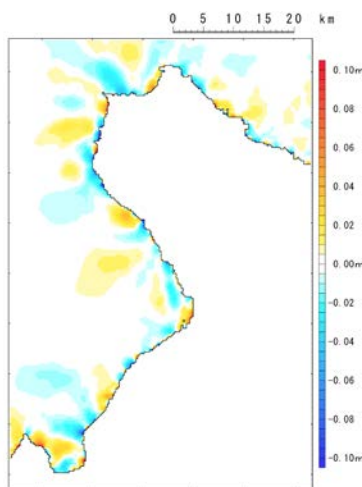
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白3) (2/2)

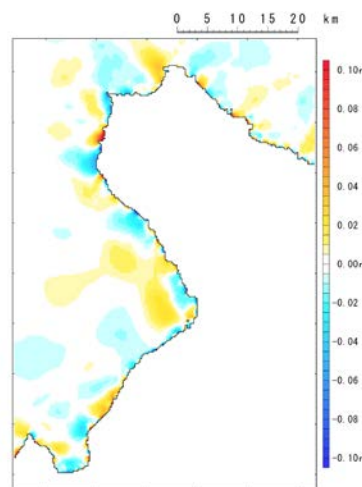
50分後



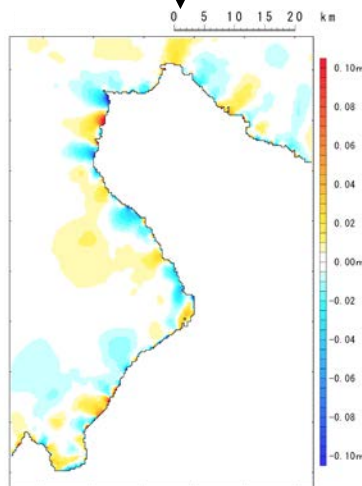
60分後



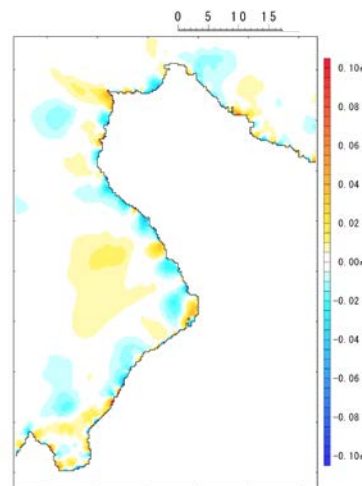
70分後



80分後



90分後



3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション(川白8)

- 津波の数値シミュレーションは、火山による山体崩壊に伴う津波の検討結果において、敷地に対して影響が大きい結果となった「Kinematic landslideモデル」の手法を用いる。
- 土砂崩壊シミュレーションは、崩壊土砂の動きを時刻歴で解析することが可能なTITAN2Dを使用する。

【地すべりシミュレーション】

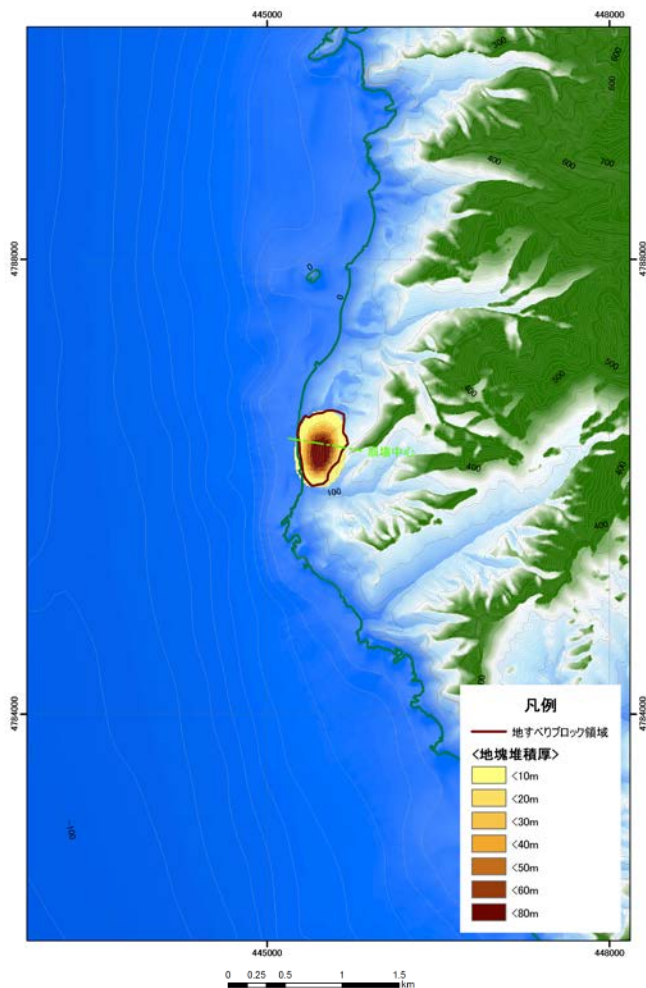
入力データ	入力値	備考
内部摩擦角 $\Phi_{int} (^{\circ})$	30.0	想定される地質(33°程度) より設定
底面摩擦角 $\Phi_{bed} (^{\circ})$	16.2	森脇(1987)より設定

【津波シミュレーション(Kinematic landslide model)】

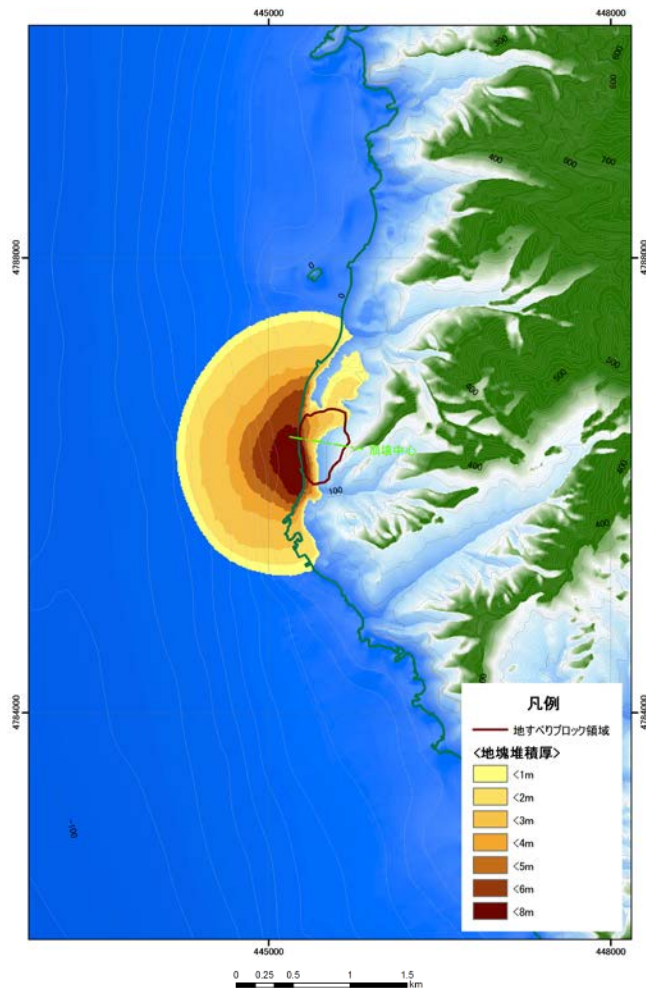
入力データ	入力値	備考
計算時間間隔 $\Delta t (s)$	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間(時間)	3	
比高変化(m)	最大37	TITAN2Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズ タイム(s)	120	Satake(2007)に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake(2007)に基づき設定。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (川白8)



崩壊前

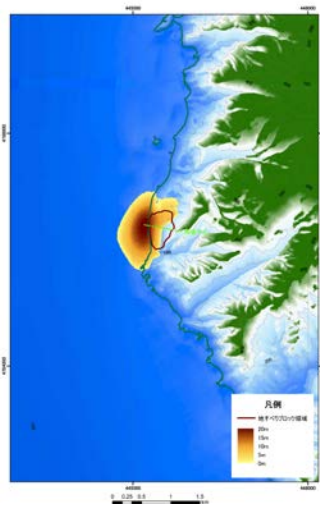


崩壊後 (10分後)

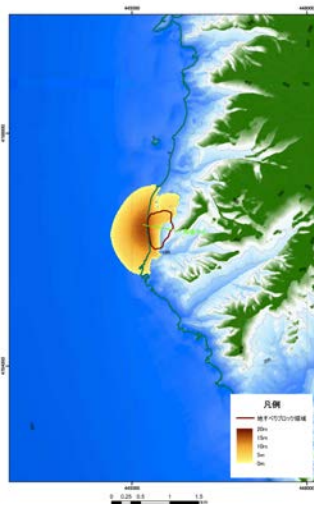
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白8) (1/2)

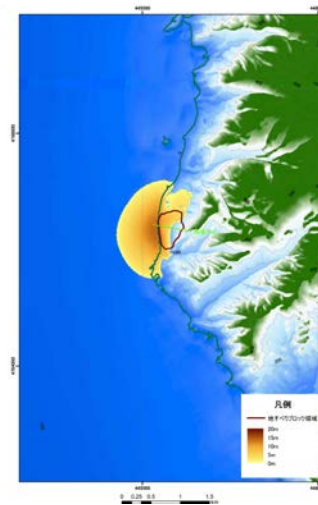
1分後



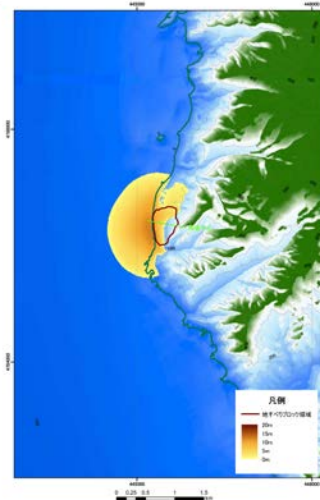
2分後



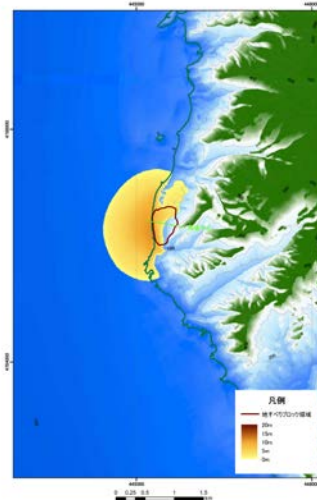
3分後



4分後



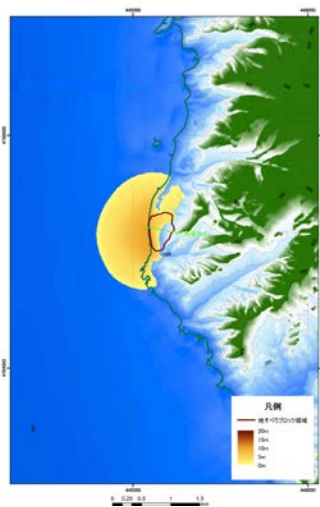
5分後



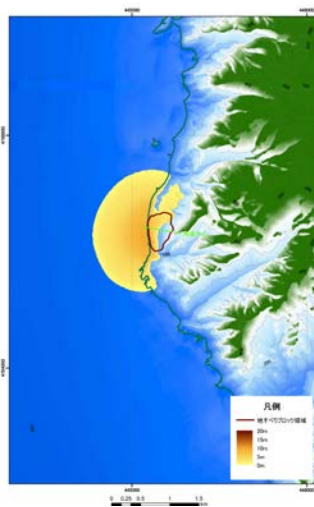
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白8) (2/2)

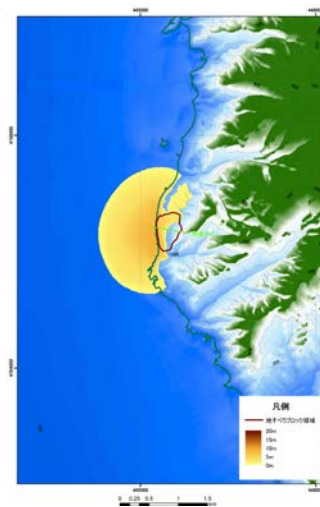
6分後



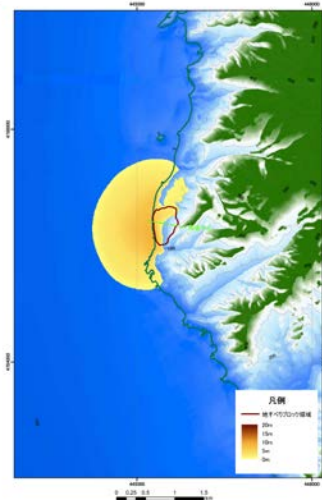
7分後



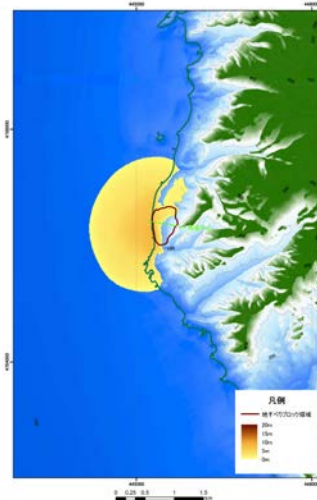
8分後



9分後

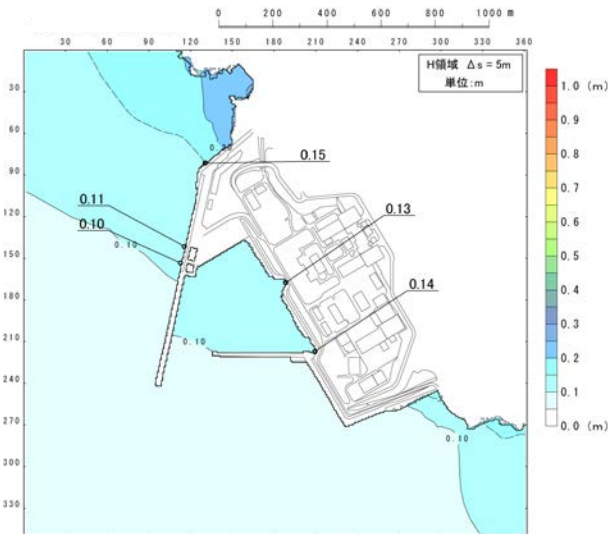


10分後

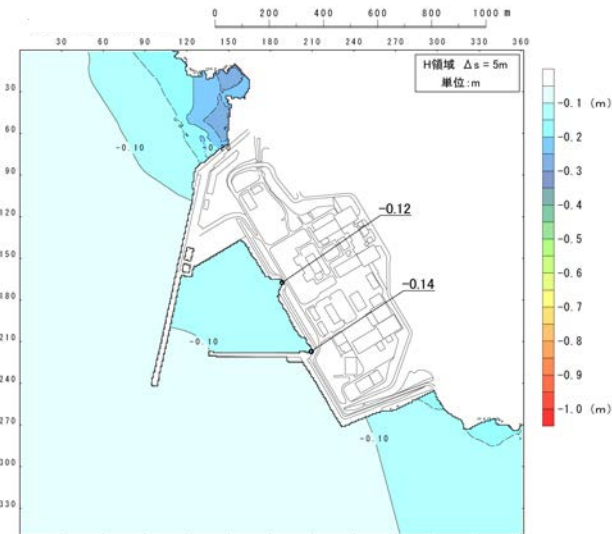


3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

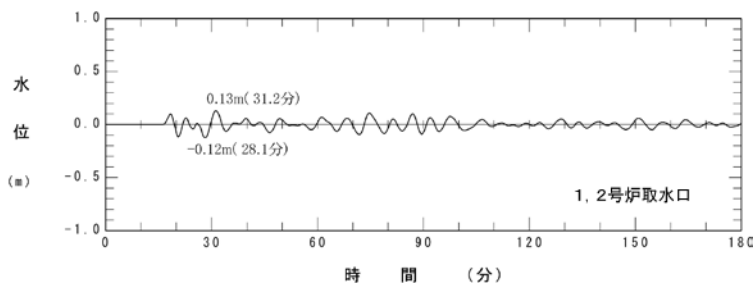
津波シミュレーション結果 (川白8)



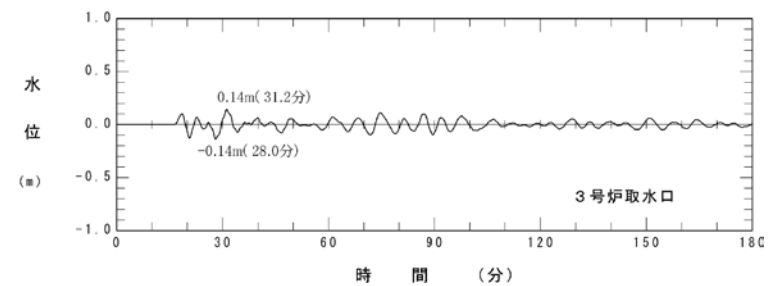
最大水位上昇量分布



最大水位下降量分布



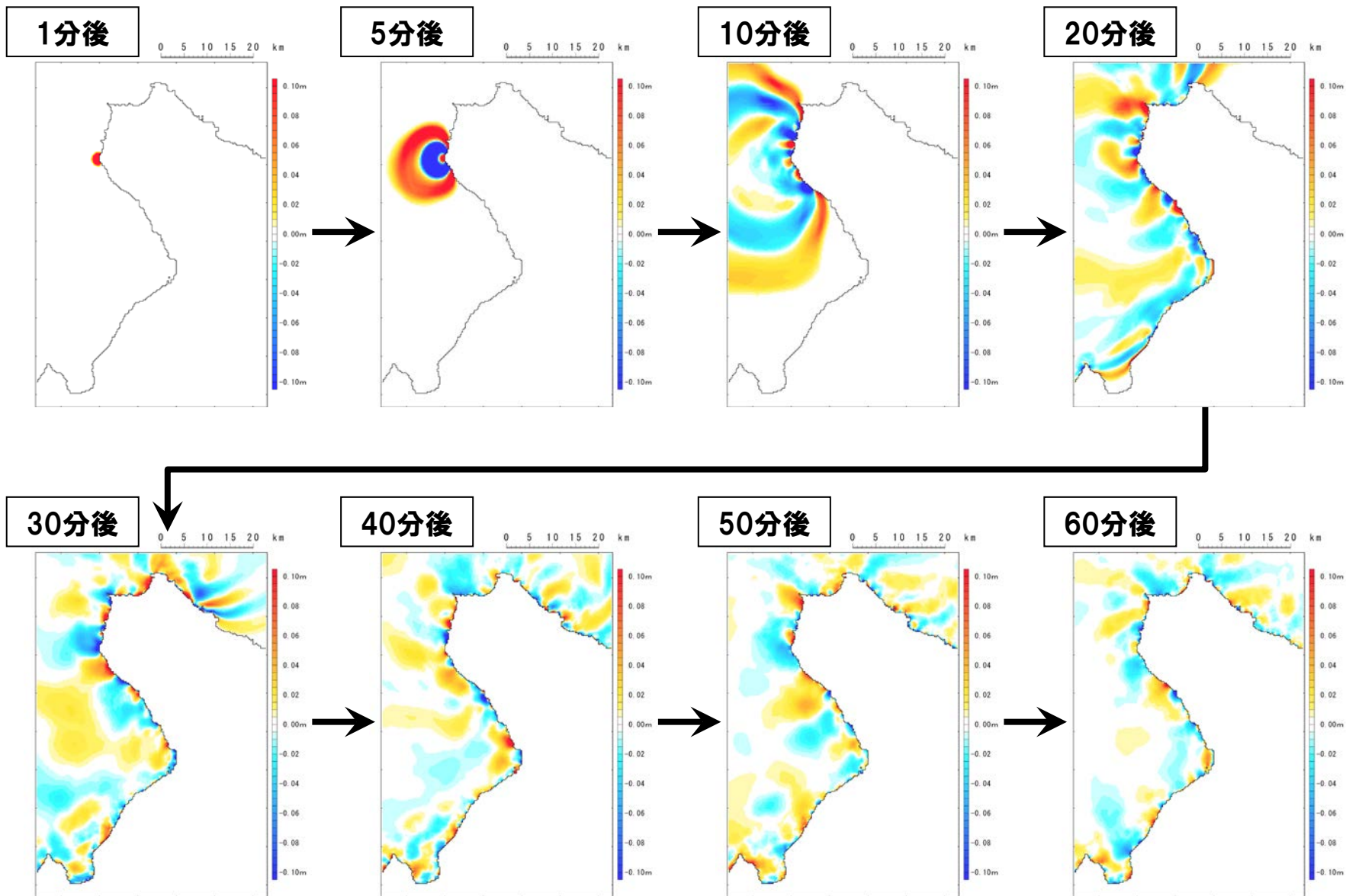
水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)



水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白8)



3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション(川白10,11)

- 津波の数値シミュレーションは、火山による山体崩壊に伴う津波の検討結果において、敷地に対して影響が大きい結果となった「Kinematic landslideモデル」の手法を用いる。
- 土砂崩壊シミュレーションは、崩壊土砂の動きを時刻歴で解析することが可能なTITAN2Dを使用する。

【地すべりシミュレーション】

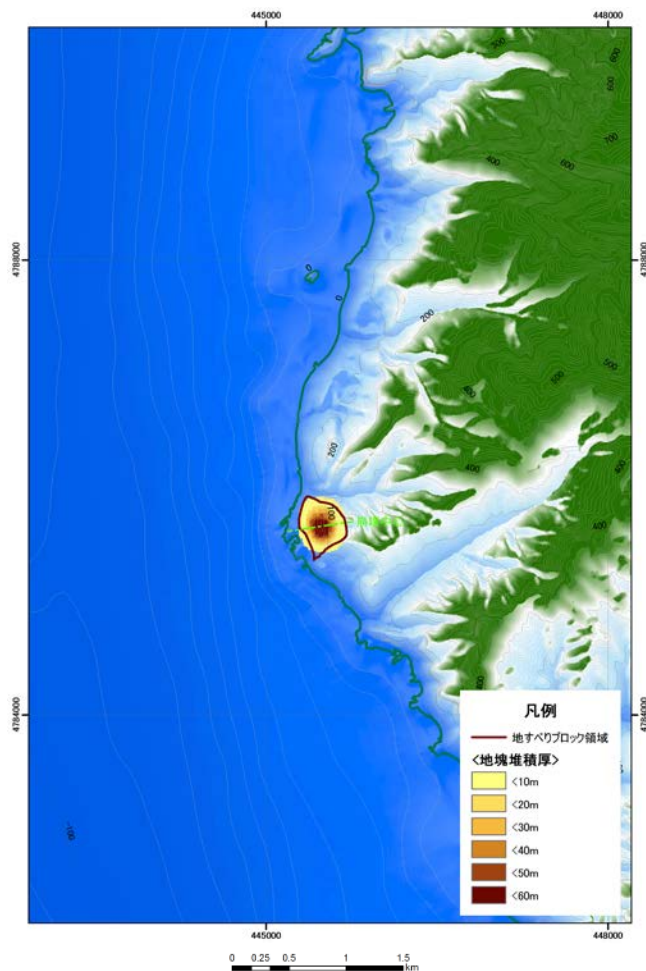
入力データ	入力値	備考
内部摩擦角 $\Phi_{int} (^{\circ})$	30.0	想定される地質(33°程度) より設定
底面摩擦角 $\Phi_{bed} (^{\circ})$	17.2	森脇(1987)より設定

【津波シミュレーション (Kinematic landslide model)】

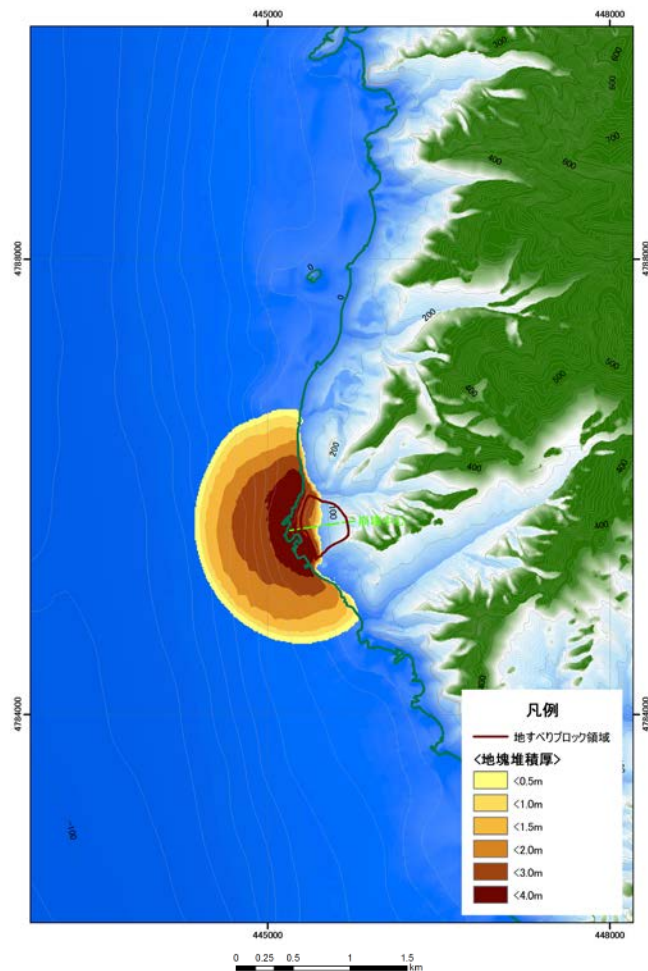
入力データ	入力値	備考
計算時間間隔 $\Delta t (s)$	0.1	計算安定条件を満たすように設定。
計算時間(時間)	3	
比高変化(m)	最大3	TITAN2Dによる10分後の地形変化量から設定。
鉛直変位ライズ タイム(s)	120	Satake(2007)に基づき設定。
変動伝播速度 (m/s)	40	Satake(2007)に基づき設定。

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション結果 (川白10,11)



崩壊前

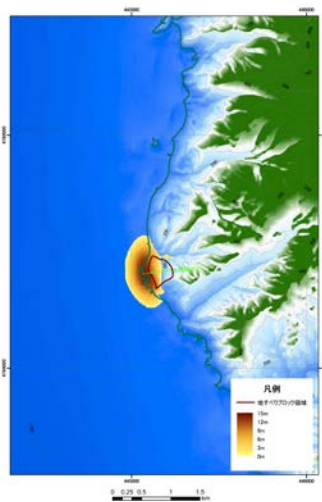


崩壊後(10分後)

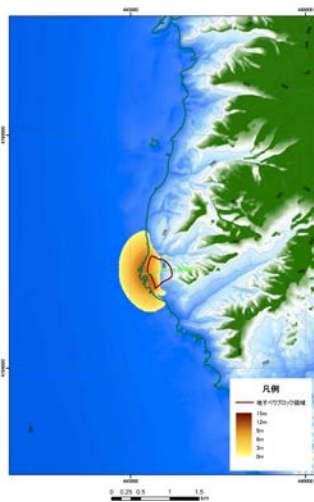
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白10,11) (1/2)

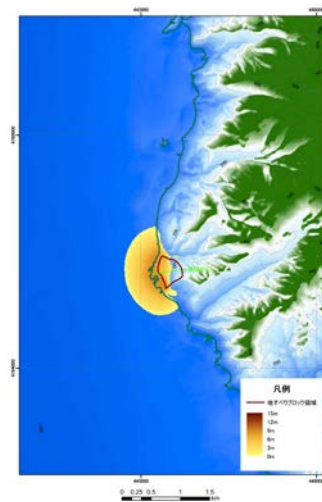
1分後



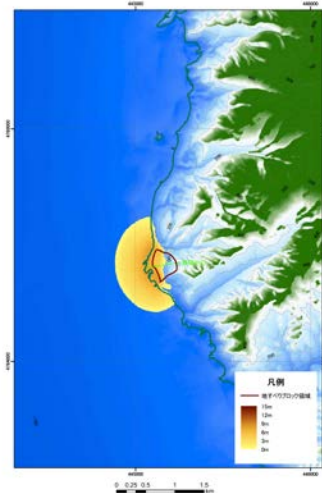
2分後



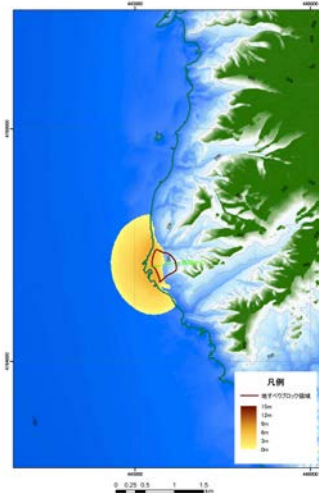
3分後



4分後



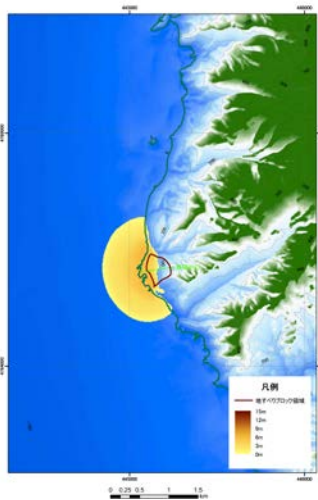
5分後



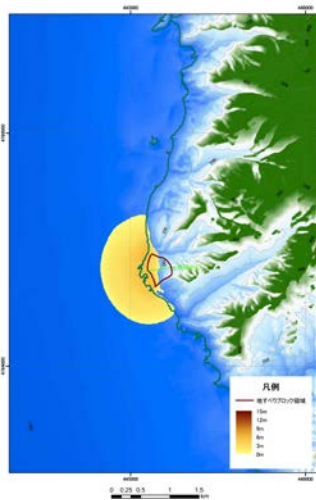
3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

地すべりシミュレーション スナップショット (川白10,11) (2/2)

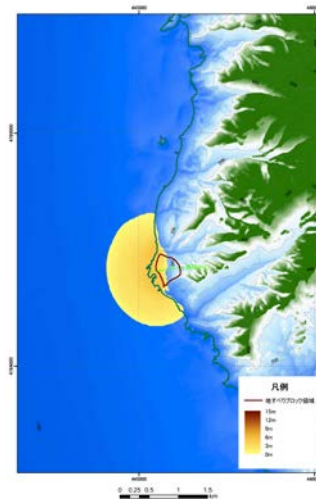
6分後



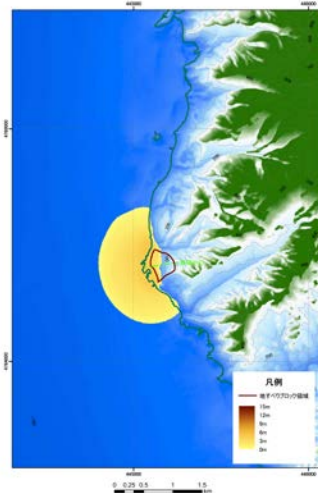
7分後



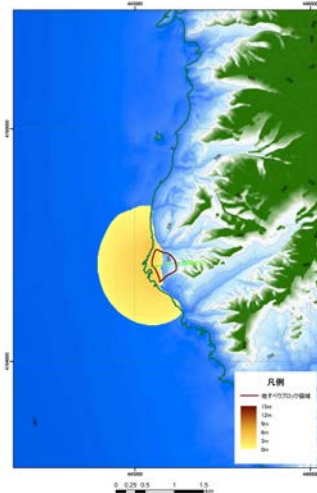
8分後



9分後

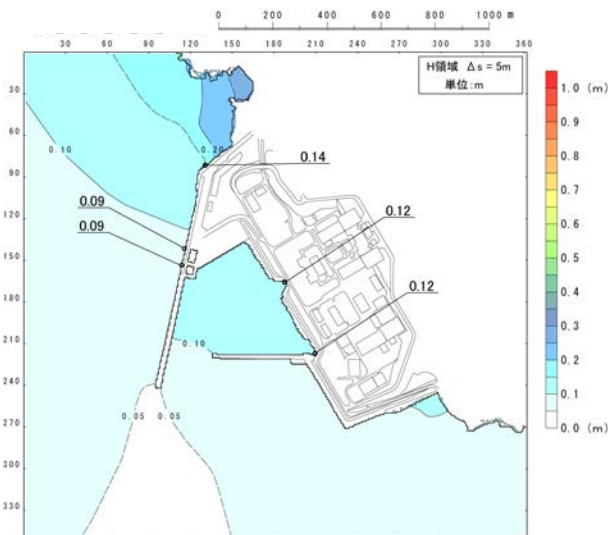


10分後

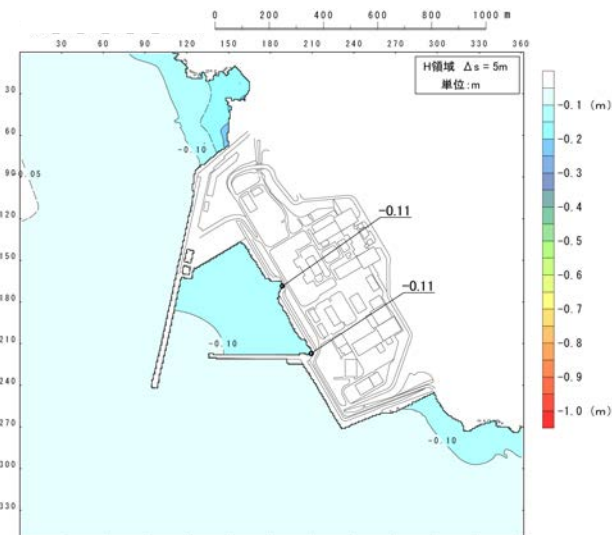


3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

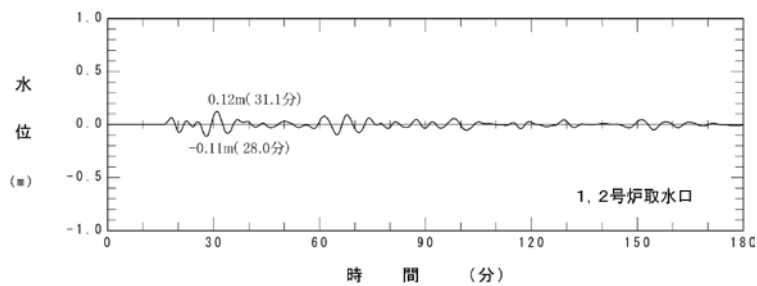
津波シミュレーション結果 (川白10,11)



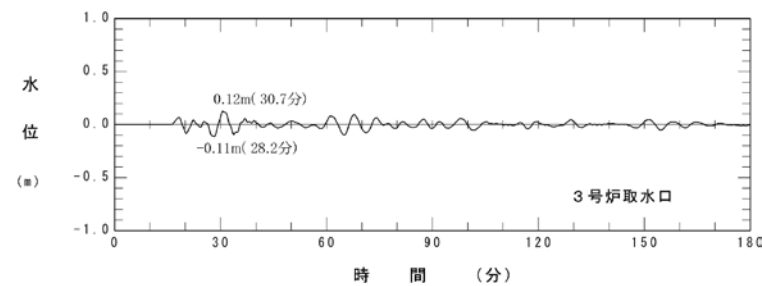
最大水位上昇量分布



最大水位下降量分布



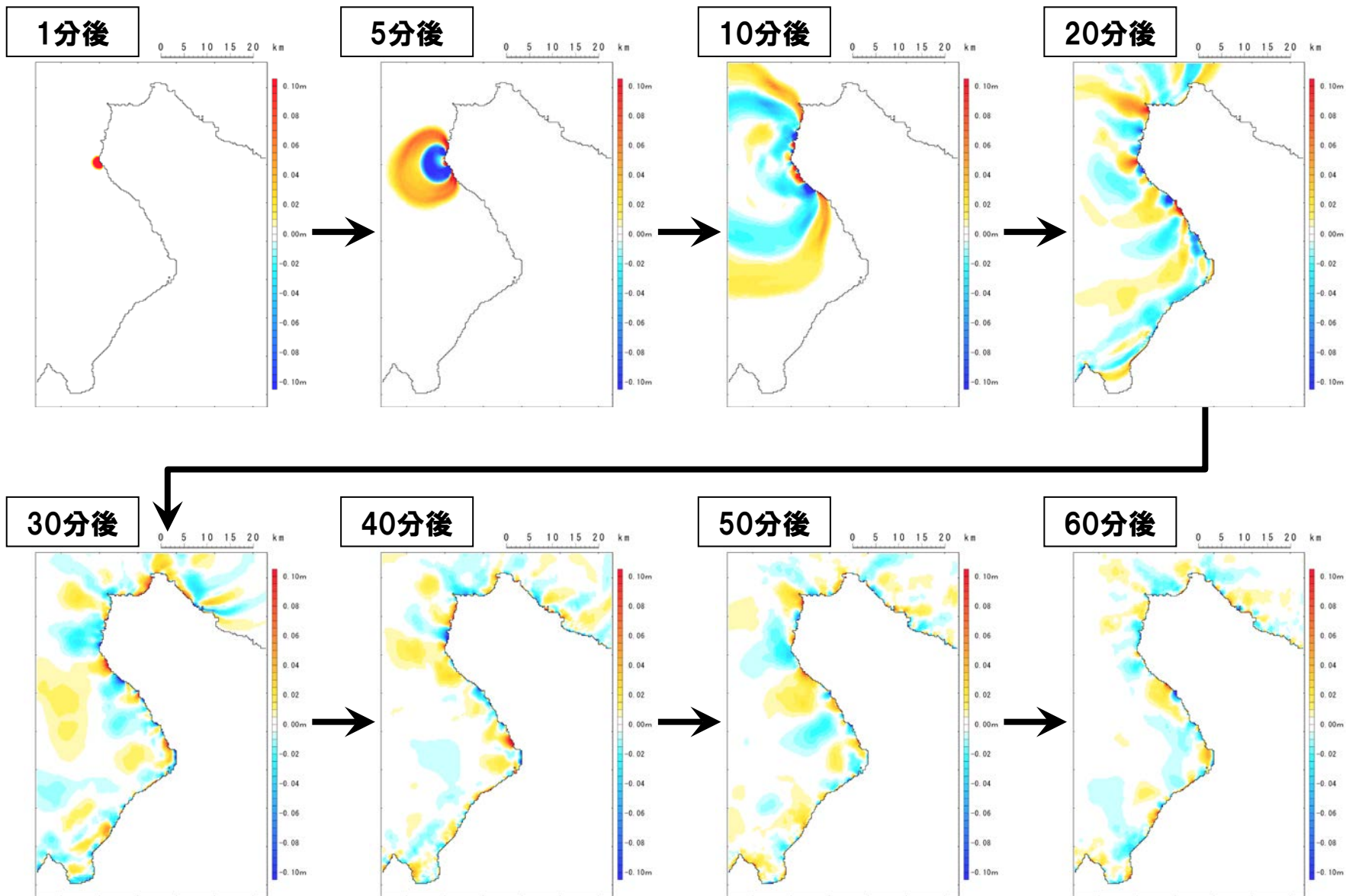
水位時刻歴波形
(1, 2号炉取水口位置)



水位時刻歴波形
(3号炉取水口位置)

3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

津波シミュレーション スナップショット (川白10,11)



3-3 陸上の斜面崩壊に伴う津波

まとめ

- 川白及び弁慶岩について、数値シミュレーションによる定量的評価対象の候補を抽出した。
- 川白については、地表地質踏査結果及び開析度合いと地すべり地形の安定性に関する知見による検討結果と併せて評価した結果、7ブロックを数値シミュレーションによる定量的評価対象とした。
- 弁慶岩については、空中写真判読結果、地表地質踏査結果、文献記載等から評価した結果、主要部分が直接外海に面する2ブロックを数値シミュレーションによる定量的評価対象とした。
- 「川白1」の結果と「川白5,6,7」の結果を境として、計算値が10cm未満となり、敷地への影響が小さくなることを確認した。
- その他については、「川白5,6,7」の概略体積である約 $1.91 \times 10^6 \text{m}^3$ を下回ることから、敷地に対する影響は小さいものと評価した。
- 「弁慶岩1」と「弁慶岩3」について、距離の影響検討の観点からシミュレーションを実施したが、計算値が10cm未満となり、敷地への影響は小さいことを確認した。
- 以上のことから、基準津波策定に当たって考慮する陸上の斜面崩壊に伴う津波としては、「川白1」、「川白3」、「川白8」、「川白10,11」を選定した。