

東通原子力発電所 基準津波の策定のうち  
「海洋プレート内地震」,「津波地震」等に起因する  
津波の評価について

---

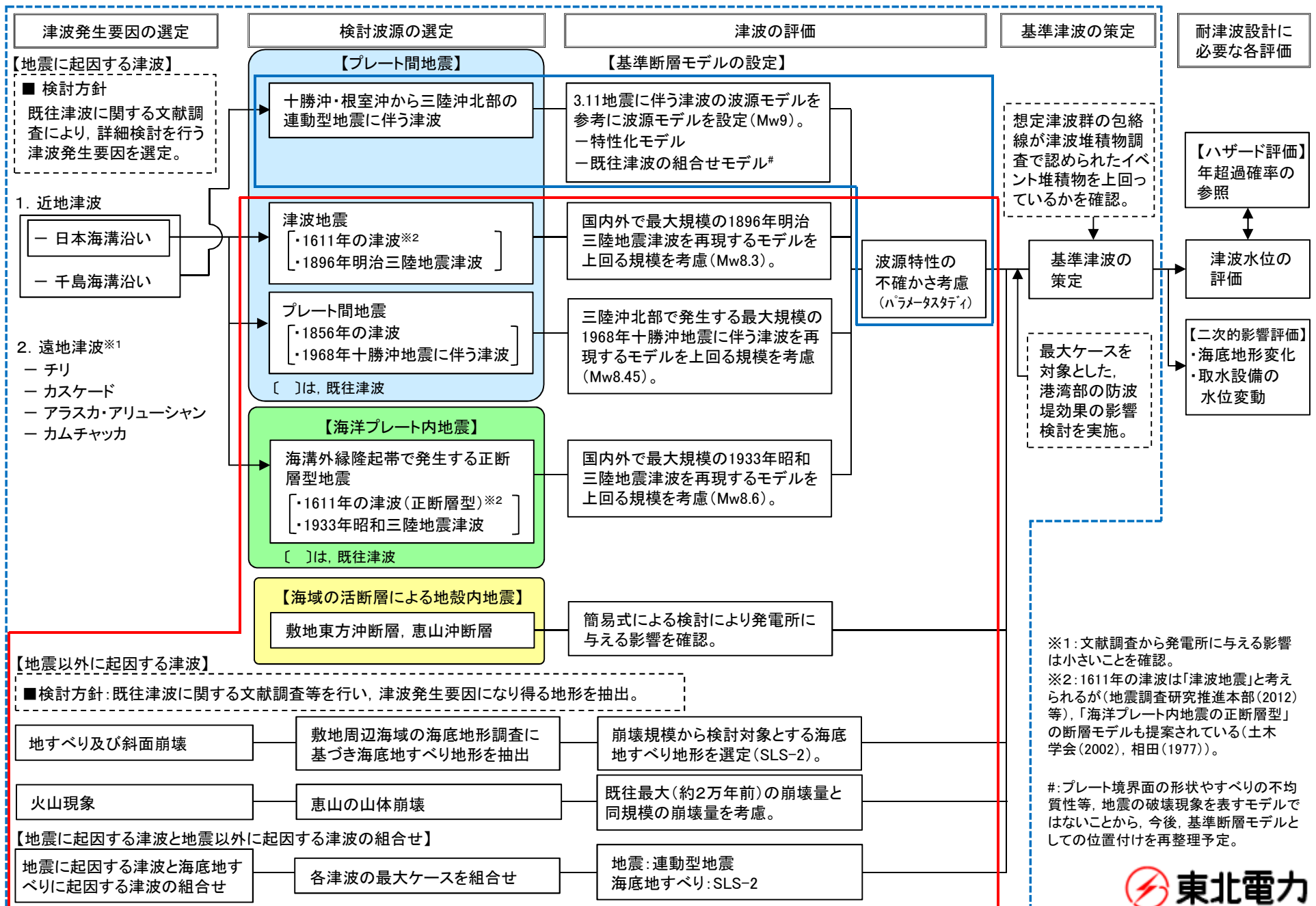
平成28年8月26日  
東北電力株式会社

# 評価の概要

□: 本日のご説明範囲

□: 第358回審査会合 (H28.4.28) でのご説明範囲 (全体概要)

□: 第358回審査会合 (H28.4.28) でのご説明範囲 (連動型地震に伴う津波の詳細)



# 目次

---

I. 地震に起因する津波の評価	
1. 津波地震	3
2. プレート間地震	25
3. 海洋プレート内地震	47
4. 海域の活断層による地殻内地震	66
5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ	69
II. 地震以外に起因する津波の評価	
1. 地すべり及び斜面崩壊	72
2. 火山現象	95
3. 地震以外に起因する津波の評価結果のまとめ	102
III. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価	105
IV. 津波評価結果のまとめ	115
V. 津波堆積物調査	
1. 説明概要	120
2. 調査概要	121
3. 調査結果のまとめ	122
4. 各地点の調査結果	123

# I . 地震に起因する津波の評価

## 1. 津波地震

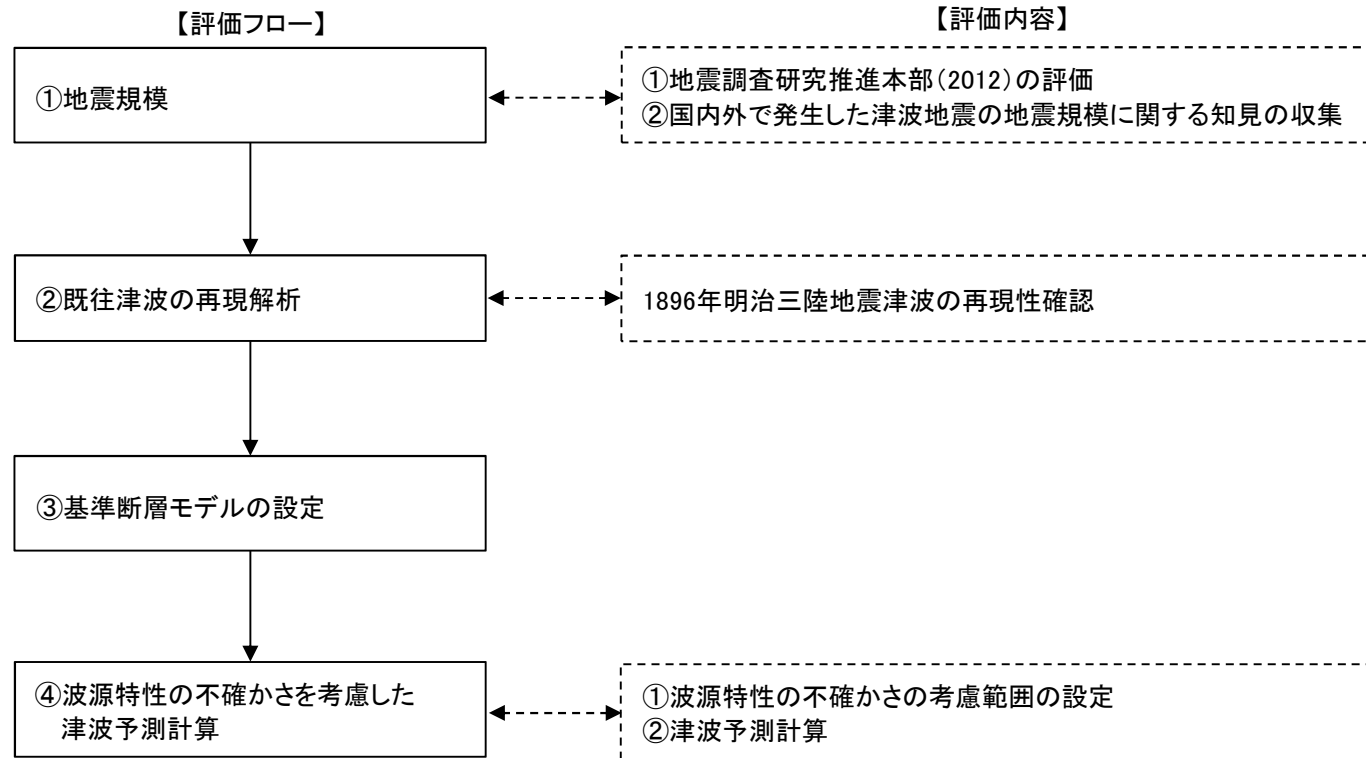
---

1. 1	評価フロー	4
1. 2	地震規模	5
1. 3	既往津波の再現解析	10
1. 4	基準断層モデルの設定	13
1. 5	波源特性の不確かさの考慮	15
1. 6	津波予測計算	18

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.1 評価フロー

- ・以下のフローに基づき評価を実施した。



I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

1.2 地震規模:地震調査研究推進本部(2012)の評価

- 地震調査研究推進本部(2012)では、阿部(2003)の知見を引用し、次の地震の規模を「Mt8.6~Mt9.0」、その信頼度を「A」と評価している。

次の三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間地震(津波地震)の発生確率等  
(地震調査研究推進本部(2012))

項目	将来の地震発生確率等注2	備考	評価の信頼度注4
今後10年以内の発生確率 #	9%程度 (2%程度)	約412年間に顕著な津波を伴った地震が三陸沖北部から房総沖の海溝寄りに4回発生していると判断し、平均発生間隔を103年(=412年/4回)とし、ポアソン過程により三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこかで発生する確率を算出した。また、1896年の地震の断層長が三陸沖北部から房総沖の海溝寄り全体の0.25倍程度を占めることから、特定の海域では同様の地震が412年に1回発生するものとして、ポアソン過程から発生確率を算出した。  # 三陸沖北部から房総沖の海溝寄り全体での発生確率を示す。()は特定の海域の値。	C
今後20年以内の発生確率 #	20%程度 (5%程度)		
今後30年以内の発生確率 #	30%程度 (7%程度)		
今後40年以内の発生確率 #	30%程度 (9%程度)		
今後50年以内の発生確率 #	40%程度 (10%程度)		
今後100年以内の発生確率 #	60%程度 (20%程度)		
今後300年以内の発生確率 #	90%程度以上 (50%程度)		
次の地震の規模	Mt8.6-Mt9.0注3		

注2 評価時点がどの時点でもポアソン過程を用いているため確率は変化しない。

注3 Mの推定値のばらつきについて、「程度」及び「前後」を使用。「程度」は「前後」よりばらつきが大きい場合に使用した。

注4 評価の信頼度

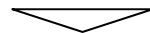
■規模の評価の信頼度:A

想定地震と同様な過去の地震の規模から想定規模を推定した。過去の地震データが比較的多くあり、規模の信頼性は高い。

■発生確率の評価の信頼度:C

想定地震と同様な過去の地震データが少なく、必要に応じ地震学的知見を用いて発生確率を求めたため、発生確率の値の信頼性はやや低い。

今後の新しい知見により値が大きく変わり得る。



地震調査研究推進本部(2012)は、阿部(2003)の知見を引用して次の地震規模を評価しているとともに、その規模をMt(津波マグニチュード)で評価していることを踏まえ、次頁以降に阿部(2003)の知見、並びに津波地震のMtとMwの関係を整理する。

# I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.2 地震規模:阿部(2003)の知見の整理

・ 阿部(2003)は、1896年明治三陸地震津波の $M_t$ に係る既往知見を次のとおり再整理した。

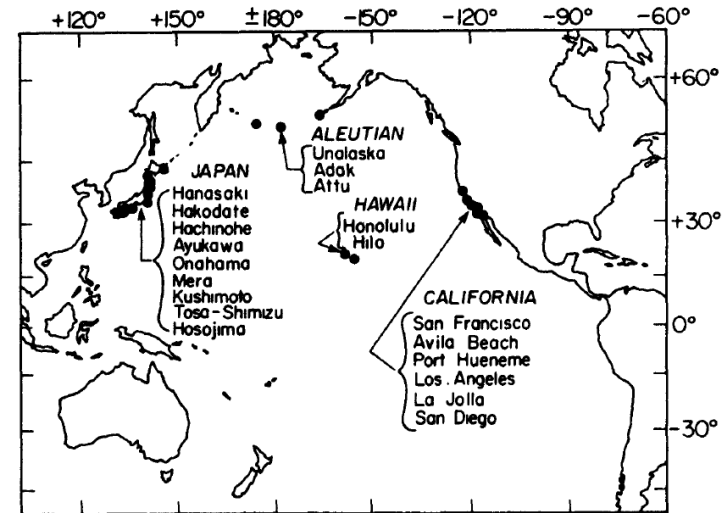
- 1896年明治三陸地震津波の $M_t$ は従来8.2と求められていたが(阿部(1988)), 用いたデータの少なさ<sup>※1</sup>や遡上高からみると過小評価されているようにみえる。
- 遡上高の平均値に阿部(1999)の $M_t$ 決定法を適用すると9.0が求められるが、この値は過大評価気味である。
- そこで今後は、環太平洋の計器観測(検潮儀記録)を重視して、Abe(1979)により海外のデータから求められた8.6を採用する。

※1:計算に使用されたデータは、花咲・鮎川・銚子の検潮記録であるが、検潮儀の特性からみると、非常に大きな津波が波源近くで線形に記録されていないことも十分に考えられる。

日本周辺の特に顕著な津波地震(1498年~2002年)<sup>※2</sup>  
(阿部(2003)に一部加筆)

年.月.日	緯度	経度	地域	$M_t$	$M_s$
1596.9.4	33.3	131.6	別府湾	8.0	(7.0)
1605.2.3	33.5	138.5	慶長東海南海	8.2	(7.9)
1611.12.2	39.0	144.0	三陸沖	8.4	(8.1)
1677.11.4	35.0	141.5	房総沖	8.0	(8.0)
1741.8.29	41.6	139.4	渡島半島沖	8.4	-
1771.4.24	24.0	124.3	八重山諸島	8.5	(7.4)
1792.5.21	32.8	130.3	島原湾	7.5	(6.4)
1896.6.15	39.5	144.0	岩手県沖	8.6	7.2
1975.6.10	42.8	148.2	色丹島沖	7.9	6.8
1984.6.13	31.4	139.8	鳥島近海	7.3	5.4
1996.9.5	31.4	140.0	鳥島近海	7.5	5.7

※2:出典は、Abe(1985)、阿部(1999)及び本稿(阿部(2003))。かつこ内は宇津(1999)による値。



環太平洋の計器観測位置  
(Abe(1979))

I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

1. 2 地震規模: 津波地震のMtとMwの関係

- 津波マグニチュード(Mt)は、地震の規模を表すマグニチュード(M)の決定式にならって、検潮儀で観測された津波の最大振幅(または痕跡高)と、観測点から震央までの距離(伝播距離)から算定される津波の大きさを表す指標であり、国内外で発生した数多くの津波に対して、モーメントマグニチュード(Mw)と合致する(Abe(1979, 1981, 1985), 阿部(1988, 1999))。
- ただし、津波地震は地震規模の割に異常に大きな津波を引き起こす地震であり(Kanamori(1972)), MtからMwを推定することはできない(阿部(1999))。

1. 検潮儀記録を用いた定義式

(1) 近地津波の観測記録を対象とした定義式(Abe(1981))

$$M_t = \log H + \log \Delta + 5.80$$

$$M_t = \log H_2 + \log \Delta + 5.55$$

H : 検潮儀記録に基づく津波の最大片振幅(m)

H<sub>2</sub> : 検潮儀記録に基づく津波の最大全振幅(m)

Δ : 震央から観測点までの海洋上最短距離(km)

(2) 太平洋地域の津波の観測記録を対象とした定義式(Abe(1979))

$$M_t = \log H + 9.1 + \Delta C$$

H : 検潮儀記録に基づく津波の最大片振幅(m)

ΔC : 津波の発生場所と観測点との組合せで決定する補正值

ΔCの値(Abe(1979))

Source Region	ΔC				
	Honolulu	Hilo	California	Japan	Aleutian
A: Peru, Chile	+0.2	-0.6	+0.2	0.0	+0.2
B: Alaska, Aleutian	+0.1	0.0	+0.2	+0.3	...
C: Kamchatka, Kurile, Japan	0.0	-0.4	+0.1	-0.2*	-0.2
Whole Region	+0.1	-0.3	+0.2	0.0	0.0

M<sub>t</sub> = log H + C + ΔC (H is in meters, C = 9.1).

\*Except for Japan region.

2. 痕跡高を用いた定義式(阿部(1999))

$$M_t = 2 \log H_m + 6.6$$

$$M_t = 2 \log H_{max} + 6.0$$

H<sub>m</sub> : 区間平均高の最大値(最大区画平均高)(m)

H<sub>max</sub> : 全域の最大津波高(m)

3. MtとMwの関係※

※: 津波地震は除く。

$$M_t = M_w$$

(太平洋側, Abe(1985))

$$M_t = M_w + 0.2$$

(日本海側, 検潮儀記録を用いてMtを求めた場合, Abe(1985))

$$M_t = M_w + 0.4$$

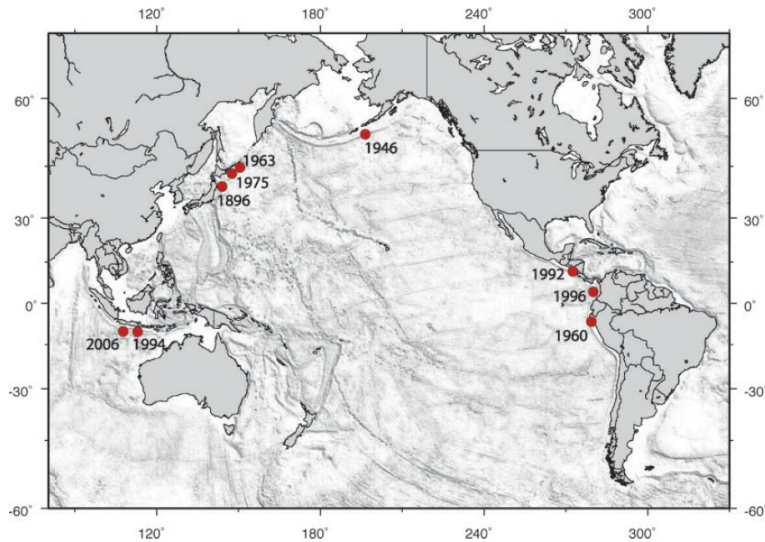
(日本海側, 痕跡高を用いてMtを求めた場合, 阿部(1999))



I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

1.2 地震規模:国内外で発生した津波地震の地震規模に関する知見

- 1896年明治三陸地震津波(Mw8.3, 土木学会(2002))は,国内外で発生した最大規模の地震である。



Date	Geographical Region	$M_w$	$m_b$	$M_S$	$M_t$	Deaths
1896/06/15	Japan			7.2	8.0	26360
1946/04/01	Aleutian Islands	8.2		7.3	9.3	165
1960/11/20	Peru	7.6	7.0	7.0		66
1963/10/20	Kurile Islands	7.8	7.1	7.2		
1975/06/10	Kurile Islands	7.5	5.6	7.0		
1992/09/02	Nicaragua	7.7	5.4	7.2		179
1994/06/02	Java	7.8	5.7	7.1		250
1996/02/21	Peru	7.5	5.8	6.6		12
2006/07/17	Java	7.7	6.2	7.2		668

POLET and KANAMORI(2009)

Tsunami Earthquakes, Figure 1  
 Map of tsunami earthquakes (listed in Table 1). Location for 1896 earthquake from [2] and for 2006 earthquake from the Global CMT catalog. All other earthquake locations from the Centennial Earthquake Catalog [18]

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

### 1. 2 地震規模:まとめ

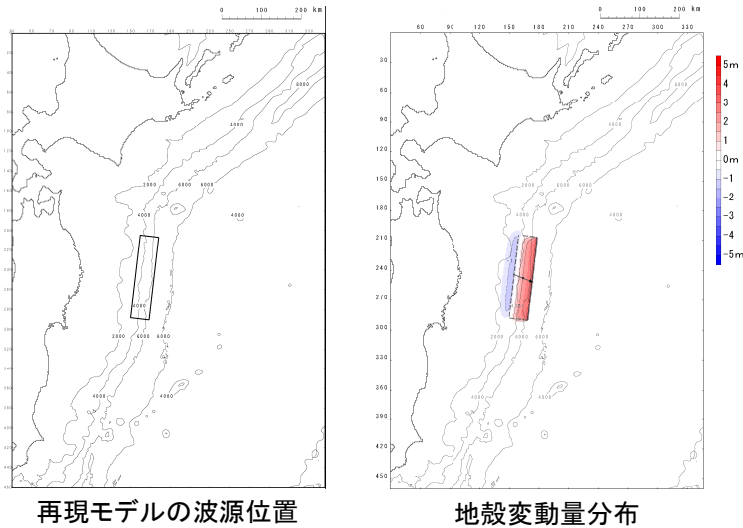
---

- ・ 地震調査研究推進本部(2012)において次の地震の規模を1896年明治三陸地震津波と評価していること, 並びに同地震は国内外で最大規模の地震であることを踏まえ, 基準断層モデルは, 1896年明治三陸地震津波を再現するモデルを基本とする。

1.3 既往津波の再現解析

■再現モデルの設定

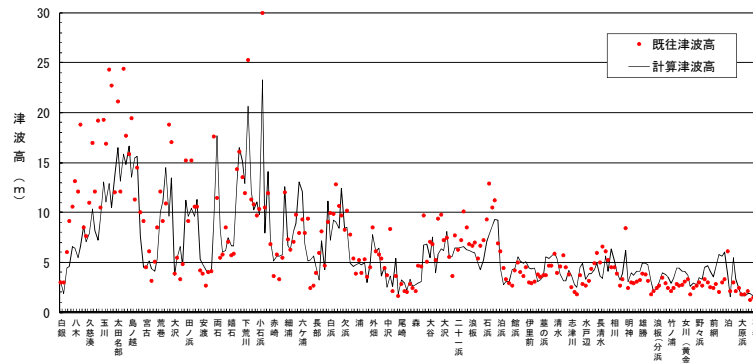
- 土木学会(2002)を参考として、1896年明治三陸地震津波の再現モデルを設定した。



断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード*	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.28
長さ	L(km)	土木学会(2002)	210
幅	W(km)	土木学会(2002)	50
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	土木学会(2002)(詳細はp11に記載。)	$3.5 \times 10^{10}$
すべり量	D <sub>max</sub> (m)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり量に補正。	9.0
地震モーメント	M <sub>0</sub> (N・m)	$\mu$ LWD	$3.31 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できる走向に補正。	190
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)	1
傾斜角	$\delta$ (°)	土木学会(2002)	20
すべり角	$\lambda$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり角に補正。	75
ライズタイム	$\tau$ (s)	相田(1986)(詳細はp12に記載。)	60

■再現性の確認結果※

- 土木学会(2002)の目安を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。



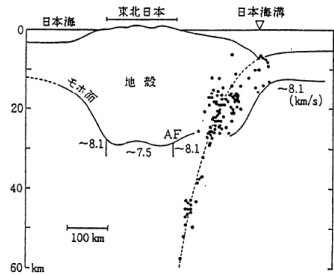
既往津波	K	K	n	既往津波高
1896年明治三陸地震津波	1.00	1.44	246	伊木(1897), 松尾(1933)

※: 再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、(原子力発電所)資料2-2「1. 津波解析条件」に記載。

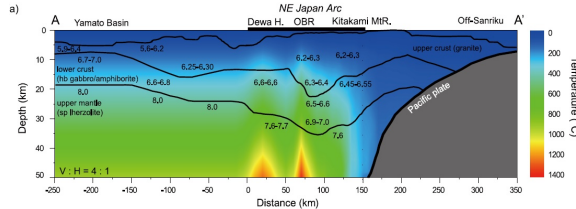
# I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.3 既往津波の再現解析: 剛性率の設定

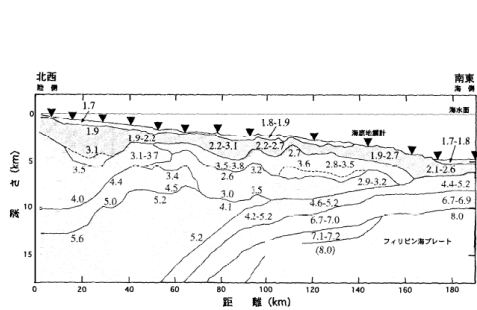
- 土木学会(2002)等を参考として,  $3.5 \times 10^{10} (N/m^2)$  とした。



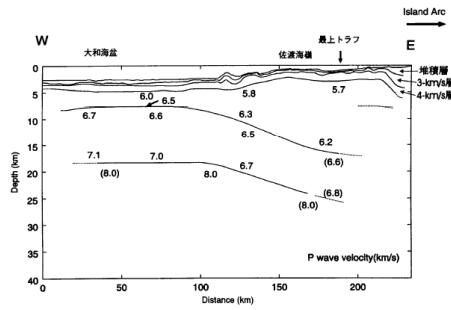
(a)東北日本周辺(吉井(1978))



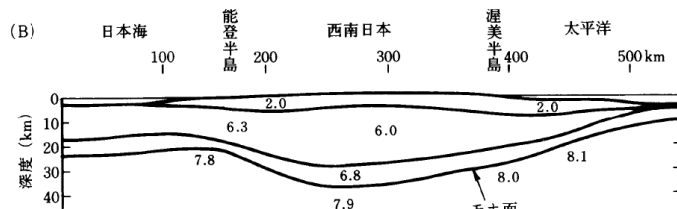
(b)東北日本周辺(武藤・大園(2012)※)



(c)日向灘沖(宮町・後藤(1999))



(d)秋田沖日本海東縁部(西坂ら(1999))



(e)西南日本周辺(周藤・牛来(1997))

P波速度構造に関する既往研究例  
(土木学会(2002)を一部修正)

※:陸域の速度構造はIwasaki et al.(2001), 背弧側は西坂ほか(2001), 三陸沖はTakahashi et al.(2004)によって公表された速度構造を統合したものの。

### Vp/Vs比に関する既往研究例(伊藤・大東(1996))

地域	上部地殻	下部地殻	上部マントル	文献・備考
近畿	1.67		1.78	Yoshiyama(1957)
西南日本	1.68		1.75~1.79	角田(1968)
紀伊半島	1.716±0.021			渡辺・黒磯(1967)
東北			1.77	宇津(1969)
中国	1.70~1.71			Hashizume(1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ら(1977) マントルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺(1977)
函館群発	(1.66)			高波ら(1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao(1981) 真のVp, Vsから求めた値
四国	(1.58-1.65)	1.75	1.73	岡野・木村(1983) ()内は表層の値
飛騨周辺	1.67±0.01			
長野県	1.69±0.01			
北関東	1.71±0.01			橋田・鶴川(1995)
甲府周辺	1.69±0.01			
富士箱根	1.69~1.78			
甲府周辺	1.66~1.71			
日光付近	1.682±0.016	1.686*	1.90	大東・伊藤(1995)
長野県西部	1.700±0.053	1.686*		*は真のVp, Vsから求めた値
兵庫県南部	1.680±0.023	1.76*	1.76*	

### 震源付近の媒質の剛性率の標準値(土木学会(2002))

海城	根拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> <li>西南日本陸側プレート内</li> <li>日本海東縁部</li> <li>プレート境界浅部(断層面全体が深さ 20km 以浅に存在する場合)</li> </ul>	$Vp=6.0 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ とすれば, $\mu=3.36 \times 10^{10}$ $\sim 3.94 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(3.5 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋プレート内</li> <li>プレート境界深部(断層面全体が深さ 20km 以深に存在する場合)</li> </ul>	$Vp=8.0\sim 8.1 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ とすれば, $\mu=6.31 \times 10^{10}$ $\sim 7.50 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$7.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(7.0 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界中央部(断層面が深さ 20km 以浅と以深にまたがって存在する場合)</li> </ul>	浅部と深部の中間的値とする。	$5.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(5.0 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

### 1.3 既往津波の再現解析:ライズタイムの設定

- 実際の地震の震源過程(=初期破壊から震源域全体に破壊が及ぶ過程)が終了するのに要する時間が数秒から1分程度であることに対して、相田(1986)は津波解析上の変動時間(以下、「津波初期変位分布のライズタイム」という。)の設定方法を以下のとおり示している。

$$\text{津波初期変位分布のライズタイム(s)} = (L(\text{km}) / V_r(\text{km/s})) + \tau(\text{s})$$

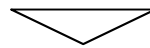
ここで、

L : 断層長さ(km)

$V_r$  : 破壊伝播速度(km/s)

$\tau$  : ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間)(s)

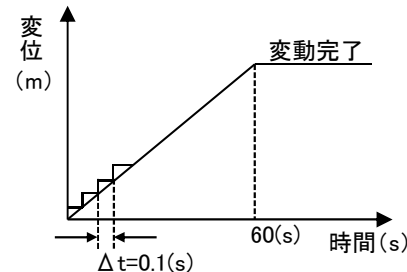
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL:150(km)~200(km)程度(土木学会(2002)),破壊伝播速度 $V_r$ :2.4(km/s)~3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2009)),ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間) $\tau$ :5(s)程度(相田(1986))とすると、津波初期変位分布のライズタイムは、55(s)~88(s)程度となる。



以上を踏まえ、津波初期変位分布のライズタイムを60(s)に設定した\*。

※:津波初期変位分布の解析上の考慮方法

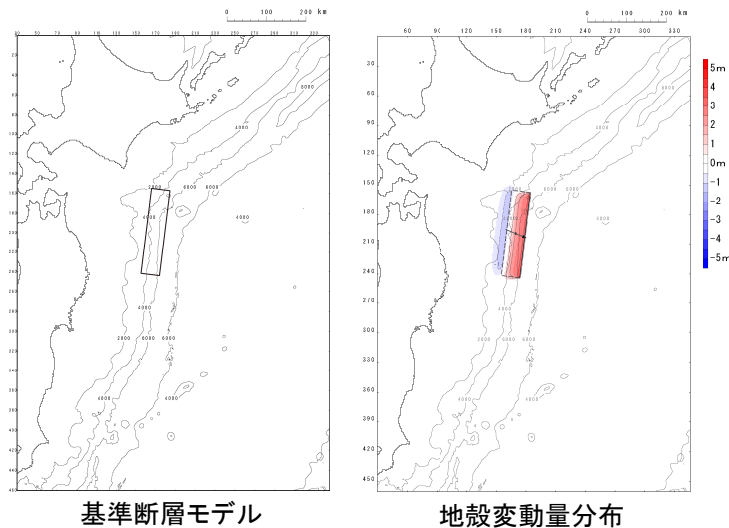
→ Mansinha and Smylie(1971)の方法により計算される津波初期変位分布(=断層面全体の鉛直変位分布)を破壊終了時変位、その変動終了時間:60(s)(=ライズタイム)として、津波解析と同様の時間格子間隔 $\Delta t$ :0.1(s)を用いて一様に変位を与える。



## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

### 1.4 基準断層モデルの設定

- 基準断層モデルの地震規模(Mw)は、地震調査研究推進本部(2012)の評価及び国内外で最大規模の1896年明治三陸地震津波を再現するモデル(Mw8.28)を基本として、これを上回るよう土木学会(2002)を参考にMw8.3にスケーリングして設定した。
- 波源位置は、日本海溝北端に設定した。



諸元

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	土木学会(2002)	8.3
長さ	L(km)	既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(幅に限界あり)を適用して設定。	218
幅	W(km)		50
すべり量	D(m)		9.32
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$3.5 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo(N・m)	$\mu$ LWD	$3.56 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	日本海溝の形状に合わせて設定。	190
断層上縁深さ	d(km)	既往津波再現モデルに基づき設定。	1
傾斜角	$\delta$ (°)		20
すべり角	$\lambda$ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	75
ライズタイム	$\tau$ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.4 基準断層モデルの設定: 基準断層モデルによる計算結果

- 基準断層モデルによる計算結果を以下に示す。

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
プレート間地震	津波地震 (基準断層モデル)	6.46	4.74	4.43

## 【水位下降側】

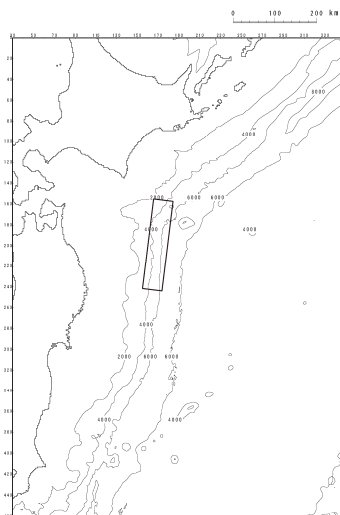
種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
プレート間地震	津波地震 (基準断層モデル)	-4.43

# I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

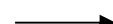
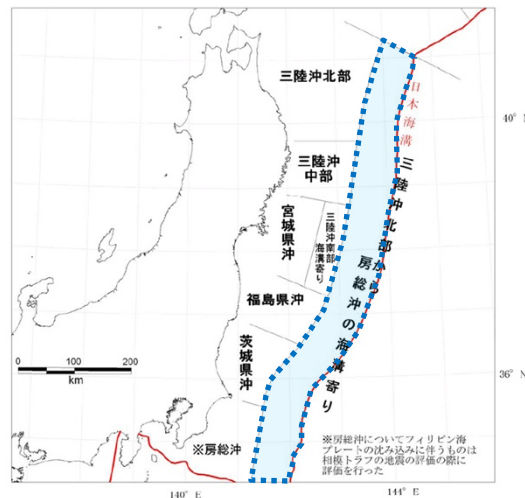
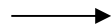
## 1.5 波源特性の不確かさの考慮: 基本方針

- 土木学会(2002)を参考として, 断層モデルの諸条件のうち津波地震の特性上不確実性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮する。

■波源位置の不確かさを考慮する領域  
(=地震発生領域)



基準断層モデル  
(波源位置: 日本海溝北端)



■各断層パラメータの不確かさ考慮

【概略パラメータスタディ】

項目	変動範囲
位置	基準, 南へ20km, 40km移動
走向	基準, 基準±5°, 基準+10°

【詳細パラメータスタディ】

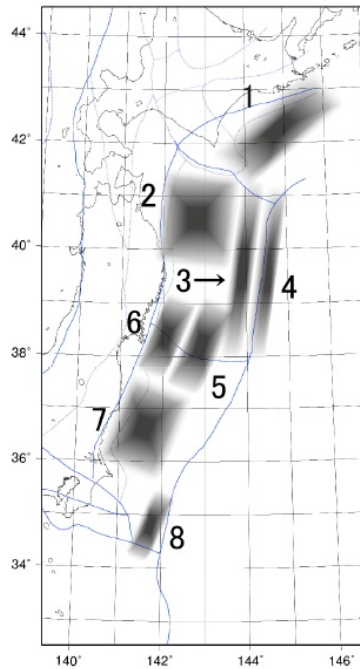
項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°



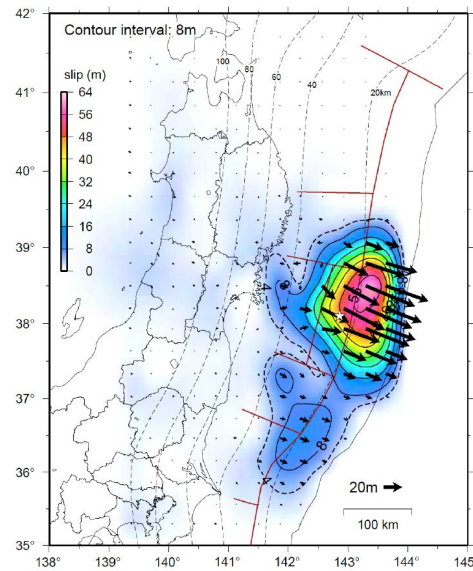
## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

### 1.5 波源特性の不確かさの考慮:位置の不確かさを考慮する領域

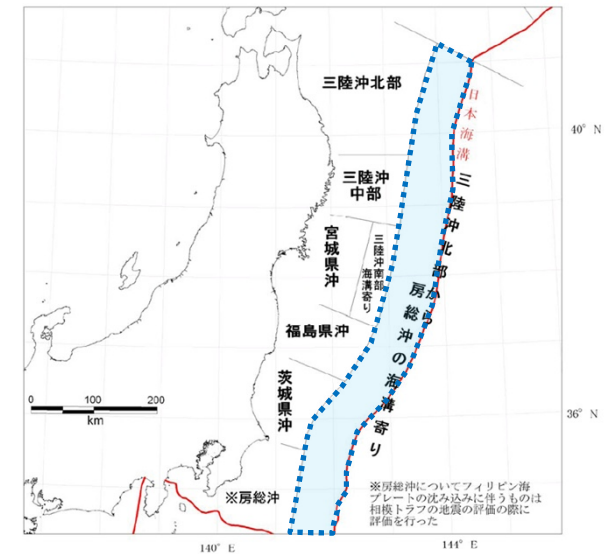
- 土木学会(2002)では、地震地体構造の知見、既往地震の発生履歴に基づき津波地震の発生領域を北緯約38°以北(領域3)及び房総沖(領域8)に設定しているが、2011年東北地方太平洋沖地震は連動型地震であったものの、福島県沖でもすべりが生じたことや地震調査研究推進本部(2012)による津波地震の発生領域に関する評価を踏まえ、波源位置の不確かさを考慮する領域は、地震調査研究推進本部(2012)で示される三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこでも発生するものとして設定した。



土木学会(2002)が設定した波源位置  
(日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿い)



東北地方太平洋沖型地震の震源域  
(地震調査研究推進本部(2012))



波源位置の不確かさを考慮する領域  
(=地震発生領域)  
(地震調査研究推進本部(2012))

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

### 1.5 波源特性の不確かさの考慮:位置, 走向, 傾斜角, すべり角

- 土木学会(2002)を参考として, 位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し, 各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて, 傾斜角及びすべり角を変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 各パラメータの変動範囲については, 土木学会(2002)を参考に設定<sup>\*</sup>した。

<sup>\*</sup>:土木学会(2002)では, プレート間逆断層地震のハーバードCMTIによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上, 深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

【概略パラメータスタディ】

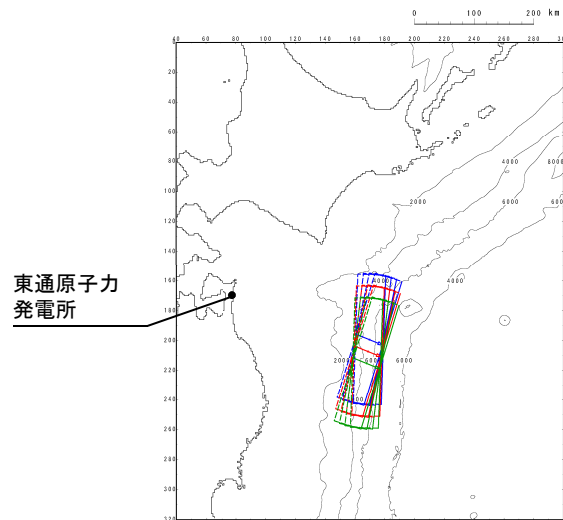
項目	変動範囲
位置	基準, 南へ20km, 40km移動
走向	基準, 基準 $\pm 5^\circ$ , 基準 $+10^\circ$

最大水位上昇量・  
下降量決定ケース



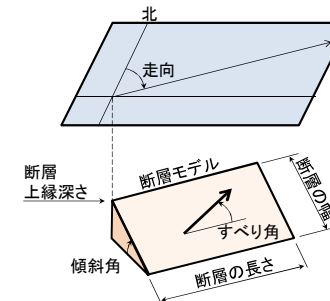
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準 $\pm 5^\circ$
すべり角	基準, 基準 $\pm 10^\circ$



概略パラメータスタディ

(参考)断層パラメータ



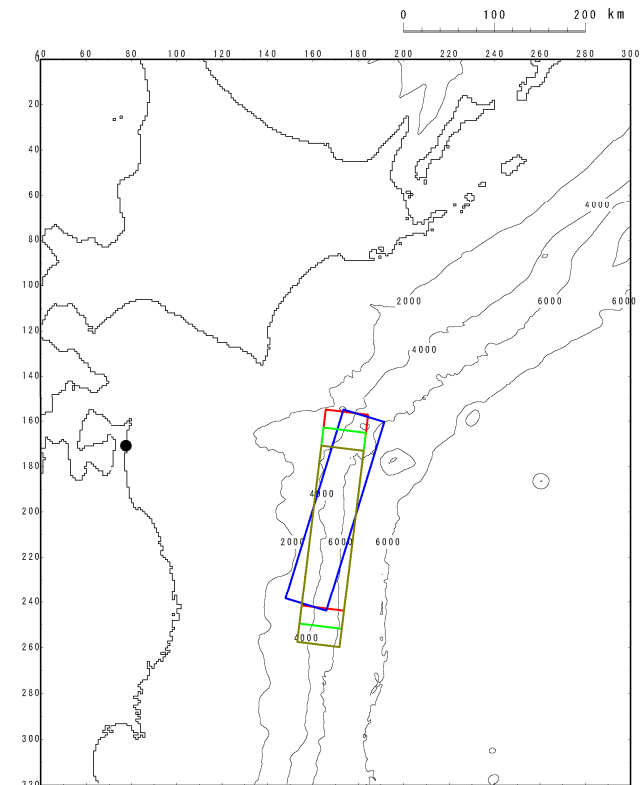
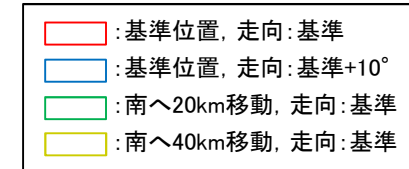
## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)①

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

## ■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位上昇量 (m)			備考
位置	走向	敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面	
基準	基準-5°	5.57	4.52	4.26	
	基準	6.46	4.74	4.43	
	基準+5°	7.10	4.87	4.54	
	基準+10°	7.43	5.20	5.13	詳細パラメータスタディケース
南へ20km移動	基準-5°	5.05	4.32	3.91	
	基準	5.54	4.51	4.34	
	基準+5°	6.46	4.64	4.47	
	基準+10°	7.02	4.75	4.60	
南へ40km移動	基準-5°	4.20	3.73	2.37	
	基準	5.04	3.96	3.30	
	基準+5°	5.76	4.18	3.69	
	基準+10°	6.17	4.37	4.21	



不確かさの考慮ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)②

## ■詳細パラメータスタディ

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)			備考
位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面	取水口 前面	放水路 護岸前面	
基準	基準+10°	基準-5°	基準-10°	6.98	4.54	3.57	
			基準	7.06	4.68	3.72	
			基準+10°	7.10	4.75	3.75	
		基準	基準-10°	7.19	4.89	4.67	
			基準	7.43	5.20	5.13	
			基準+10°	7.51	5.32	5.30	
		基準+5°	基準-10°	7.44	5.62	5.58	
			基準	7.73	5.93	5.77	
			基準+10°	7.82	6.09	5.96	決定ケース

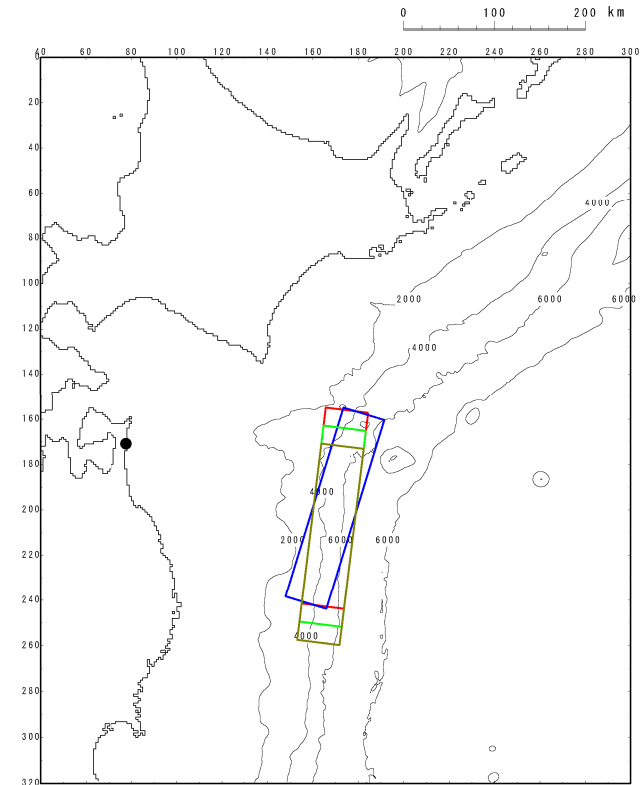
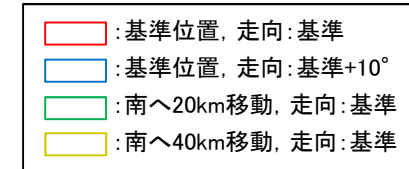
## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)②

- 各評価位置における最大水位下降量を以下に示す。

## ■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位下降量(m)	備考
位置	走向	取水口前面	
基準	基準-5°	-4.33	詳細パラメータ スタディケース
	基準	-4.43	
	基準+5°	-4.35	
	基準+10°	-4.27	
南へ 20km 移動	基準-5°	-4.14	
	基準	-4.27	
	基準+5°	-4.28	
	基準+10°	-4.27	
南へ 40km 移動	基準-5°	-3.72	
	基準	-3.75	
	基準+5°	-3.80	
	基準+10°	-4.06	



不確かさの考慮ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)②

## ■詳細パラメータスタディ

パラメータの変動範囲				最大水位下降量(m)	備考
位置	走向	傾斜角	すべり角	取水口前面	
基準	基準	基準-5°	基準-10°	-4.07	
			基準	-4.13	
			基準+10°	-4.18	
		基準	基準-10°	-4.33	
			基準	-4.43	
			基準+10°	-4.43	
		基準+5°	基準-10°	-4.50	
			基準	-4.54	
			基準+10°	-4.55	決定ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算:まとめ(計算結果一覧)

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
プレート間地震	津波地震	7.82	6.09	5.96

■敷地前面, 取水口前面, 放水路護岸前面決定ケース

・波源位置: 基準, 走向: 基準+10°, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準+10°

## 【水位下降側】

種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
プレート間地震	津波地震	-4.55

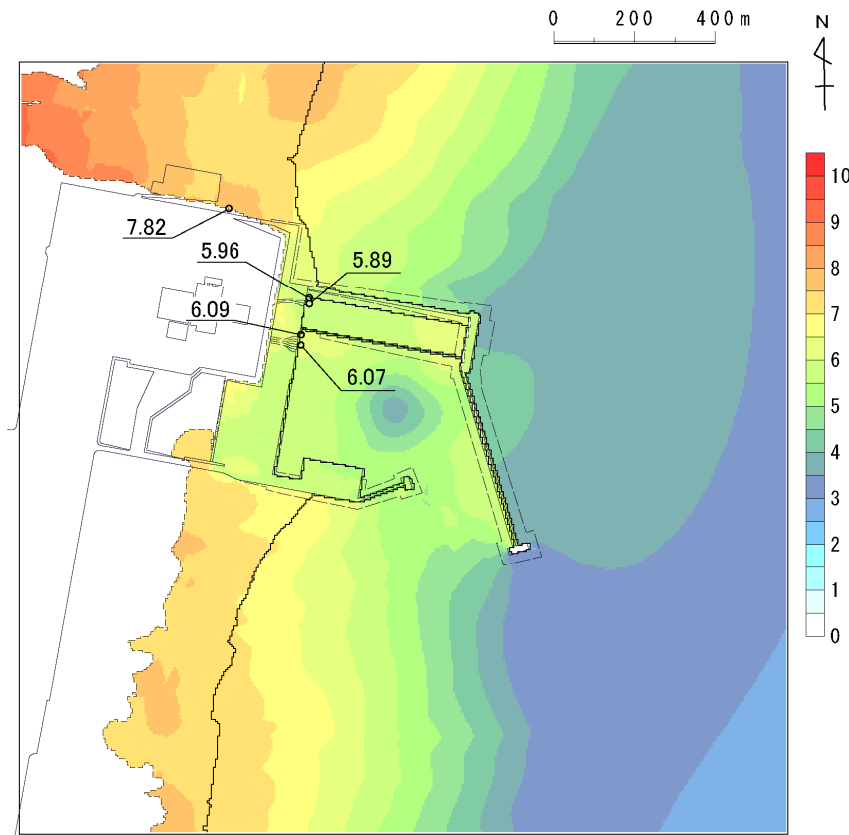
■決定ケース

・波源位置: 基準, 走向: 基準, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準+10°

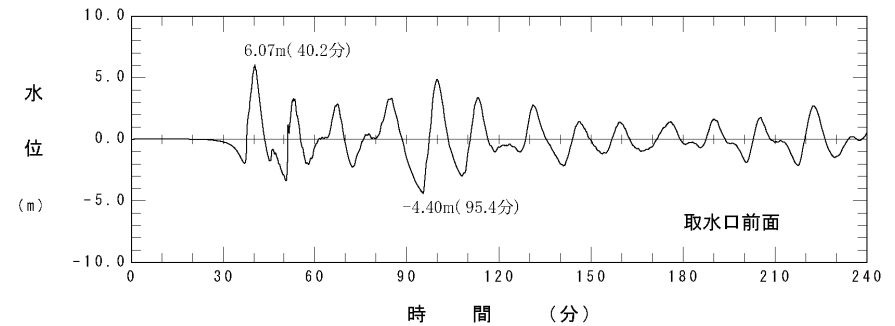
## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)

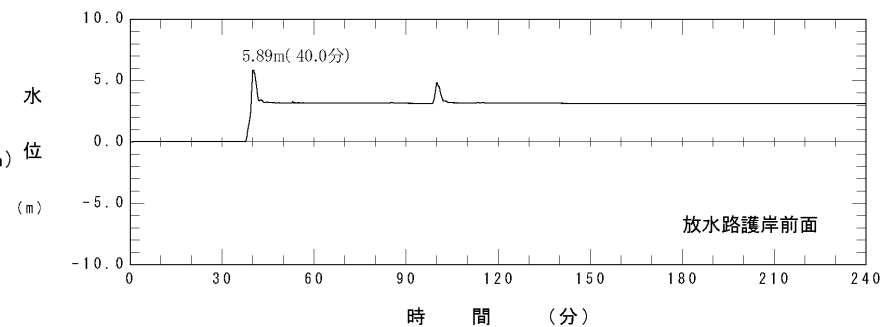
評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	敷地前面 取水口前面 放水路護岸前面	位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°



最大水位上昇量分布



取水口前面における水位時刻歴波形



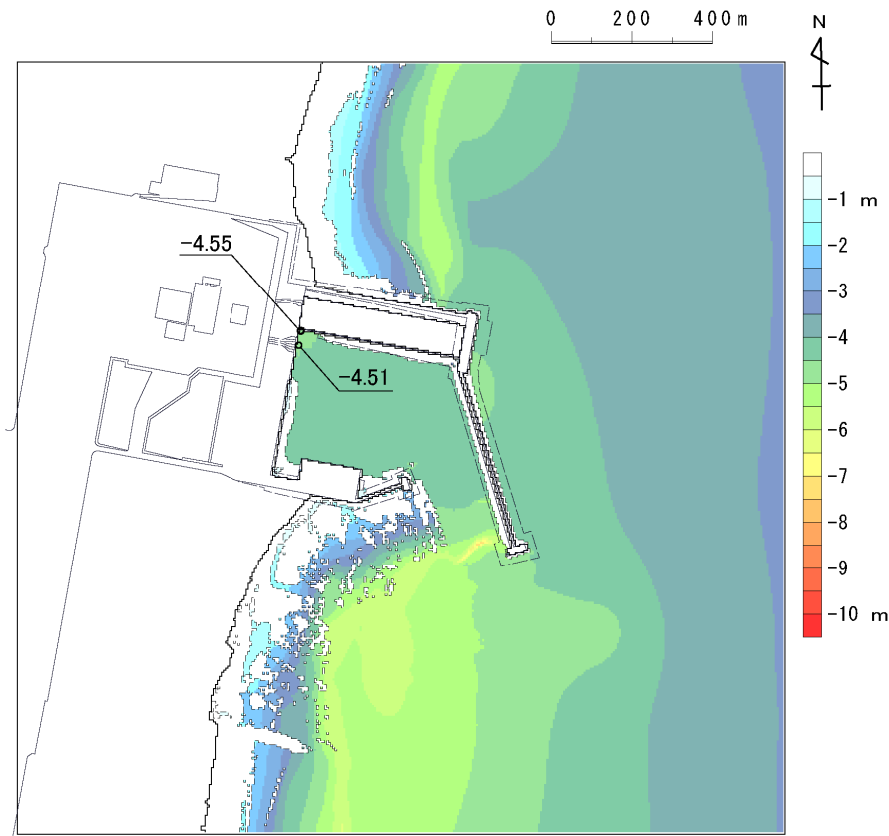
放水路護岸前面における水位時刻歴波形



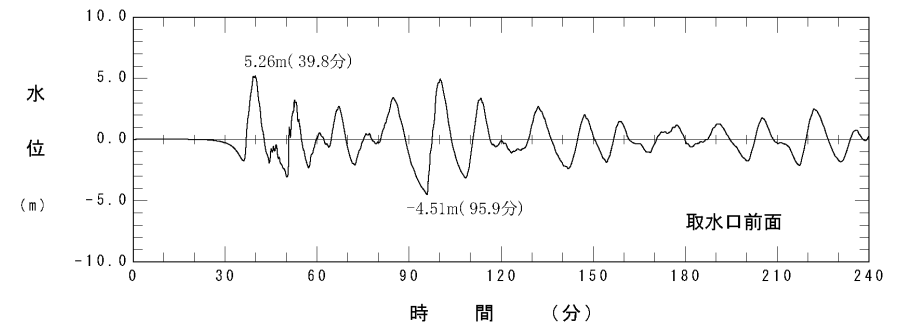
## I. 地震に起因する津波の評価 1. 津波地震

## 1.6 津波予測計算:まとめ(水位下降側)

評価項目	評価位置	決定ケース
水位下降側	取水口前面	位置:基準, 走向:基準, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°



最大水位下降量分布



取水口前面における水位時刻歴波形

# I . 地震に起因する津波の評価

## 2. プレート間地震

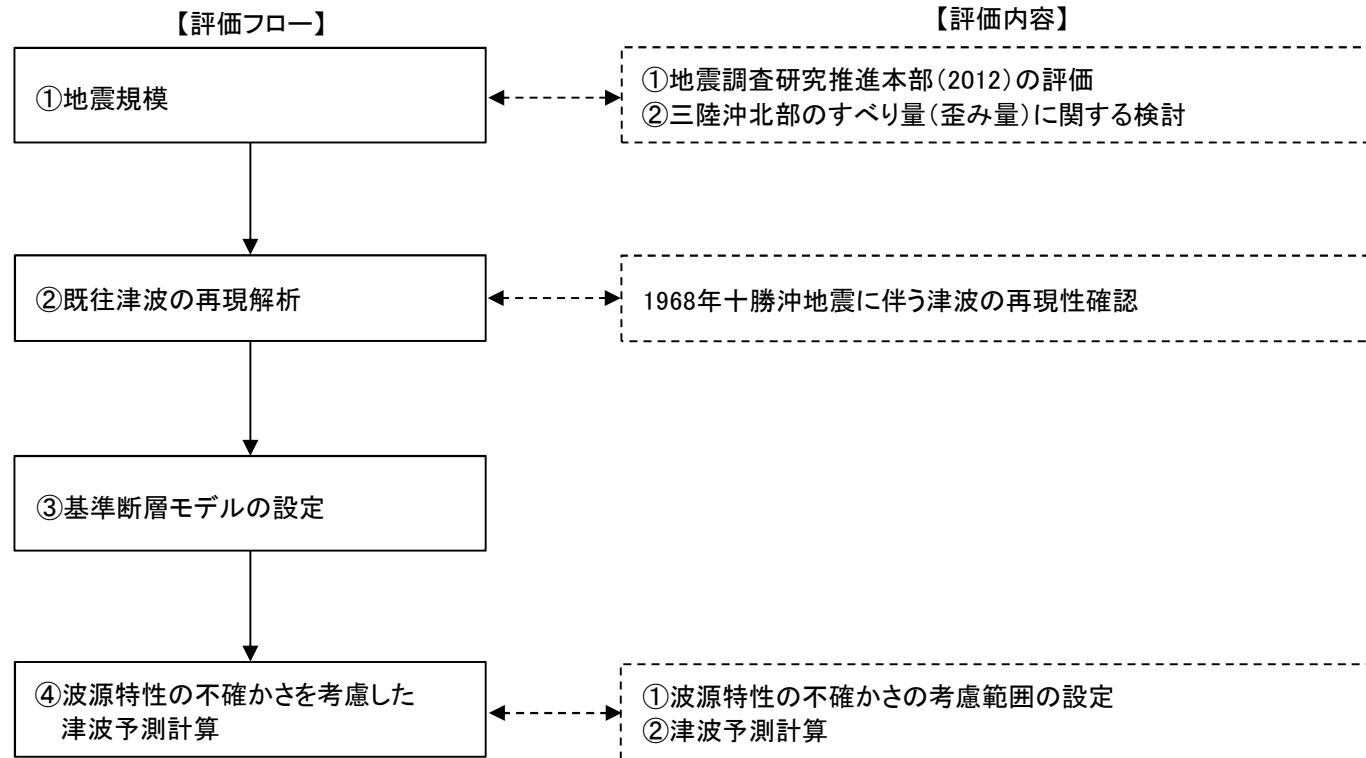
---

2. 1	評価フロー	26
2. 2	地震規模	27
2. 3	既往津波の再現解析	31
2. 4	基準断層モデルの設定	33
2. 5	波源特性の不確かさの考慮	35
2. 6	津波予測計算	37

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 1 評価フロー

・以下のフローに基づき評価を実施した。



## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 2 地震規模:地震調査研究推進本部(2012)の評価

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震の規模を過去に発生した地震の規模とし、その信頼度を「A」と評価している。

次の三陸沖北部の繰り返し発生するプレート間地震の発生確率等  
(地震調査研究推進本部(2012))

項目	将来の地震発生確率等 <sup>注1</sup>	備考	評価の信頼度 <sup>注4</sup>
今後10年以内の発生確率	ほぼ0%~0.8%	BPT分布モデルに平均発生間隔97.0年及び発生間隔のばらつき $\alpha=0.11$ (データから最尤法により求めた値)~0.24 (陸域の活断層に対する値(地震調査委員会, 2001a))を適用して算出した。	A
今後20年以内の発生確率	0.007%~5%		
今後30年以内の発生確率	0.7%~10%		
今後40年以内の発生確率	10%~30%		
今後50年以内の発生確率	40%~50%		
今後100年以内の発生確率	90%程度以上		
今後300年以内の発生確率	90%程度以上		
集積確率	0%~0.04%		
地震後経過率	0.45		
次の地震の規模	M8.0前後 <sup>注3</sup> Mt8.2前後	過去に発生した地震のM, Mt, Mwを参考にし、総合的に判断した。	A

注1 評価時点は全て2012年1月1日現在。

注3 Mの推定値のばらつきについて、「程度」及び「前後」を使用。「程度」は「前後」よりばらつきが大きい場合に使用した。

注4 評価の信頼度

■規模の評価の信頼度:A

想定地震と同様な過去の地震の規模から想定規模を推定した。過去の地震データが比較的多くあり、規模の信頼性は高い。

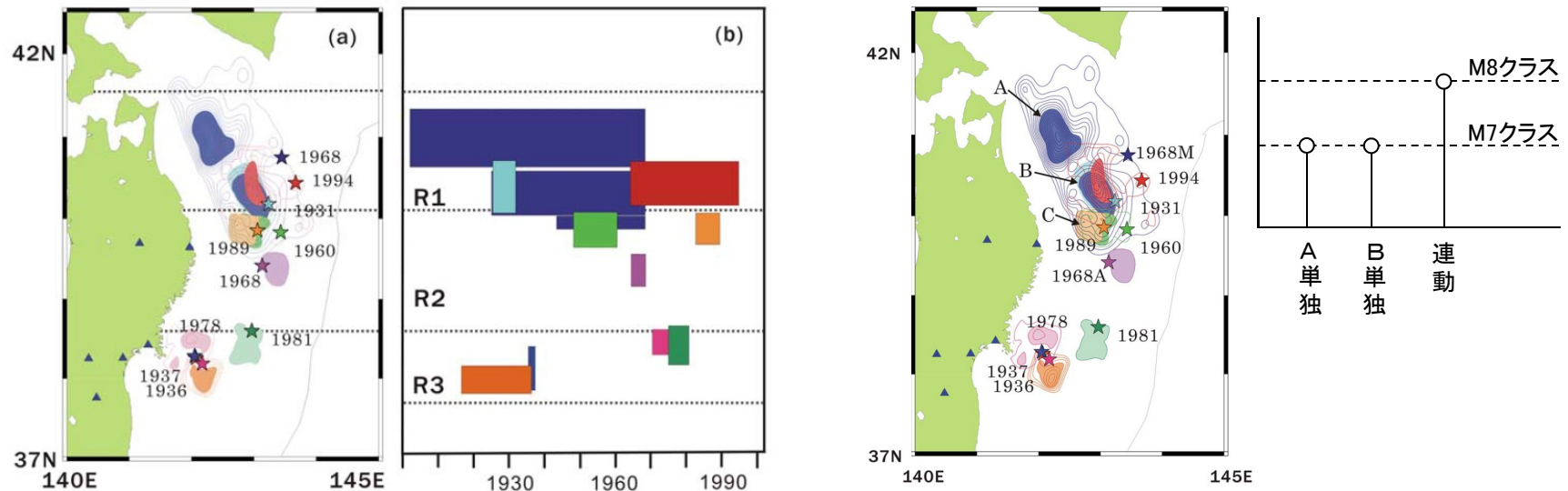
■発生確率の評価の信頼度:A

想定地震と同様な過去の地震データが比較的多く、発生確率を求めるのに十分な程度あり、発生確率の値の信頼性は高い。

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2. 2 地震規模:三陸沖北部におけるすべり量(歪み量)に関する検討①

- 1600年以降, M8クラスの地震が4回発生している(1677年, 1763年, 1856年, 1968年)。これら地震を, 地震調査研究推進本部(2012)は, 平均発生間隔約97.0年で繰り返し発生する地震として評価している。
- Yamanaka and Kikuchi(2004), 永井ほか(2001)は, アスペリティ分布の解析から, 三陸沖北部のアスペリティ(下右図:AとB)のうち, 1968年の地震と1994年の地震の共通アスペリティ(下右図:B)のカップリング率はほぼ100%であるとしている。また, 個々のアスペリティが単独で動けばM7クラスの地震(=1994年)を, 連動するとM8クラスの地震(=1968年)を引き起こすとしている。



**Figure 10.** (a) Asperity map. (b) Space-time distribution of the seismic moment release based on the slip-predictable model. The width of the rectangle indicates the moment accumulation given by time  $D_a/V_{plate}$ , where  $D_a$  is the average seismic slip in asperities and  $V_{plate} = 0.1 \text{ m yr}^{-1}$ .

(Yamanaka and Kikuchi(2004))

アスペリティの活動パターンと地震規模の関係  
(Yamanaka and Kikuchi(2004), 永井ほか(2001))

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2. 2 地震規模:三陸沖北部におけるすべり量(歪み量)に関する検討②

- 三陸沖北部で繰り返し発生するM8クラスの地震の平均発生間隔(A)・既往地震のすべり量(B)の関係と、プレートの沈み込み速度・カップリング係数から算定されるすべり(歪み)の蓄積量(C)を比較した結果、両者には調和的な関係がある。

#### 【平均発生間隔(A)】

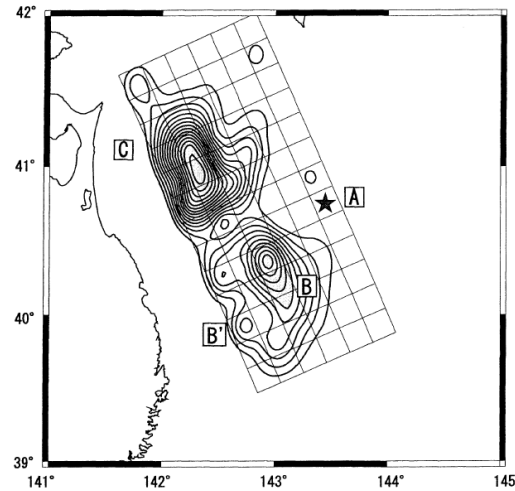
- 約97.0年

#### 三陸沖北部の繰り返し発生するプレート間地震の発生間隔等(地震調査研究推進本部(2012))

項目	特性	根拠	評価の信頼度 <sup>(1)</sup>
(1)地震の発生領域の目安	図2-2の塗りつぶした領域。	震源域は、1968年の「十勝沖地震」についてのアスペリティモデル(永井他,2001)、過去の他の震源モデル、余震分布等を参照して、総合的に判断した。	A
(2)震源域の形態	陸側のプレートと太平洋プレートの境界面。低角逆断層型。		
(3)震源域	図2-2(深さは、沿岸寄りでは約60km、日本海溝寄りでは約10km。)		
(4)地震時における陸のプレートの震源断層面における平均的なすべりの向き	約N115°E±10°(陸側のプレートの太平洋プレートに対するすべりの向き)	太平洋プレートの陸側のプレートに対する相対運動方向(瀬野,1993;Seno <i>et al.</i> ,1996)から推定した。	
(5)発生間隔等	平均発生間隔 約97.0年 最新発生時期(1968年5月16日)から2012年1月1日現在までの経過時間 43.6年	1677年・1763年・1856年・1968年に当該領域において発生した、津波被害を伴った地震について、平均発生間隔を算術平均で求めた。	

#### 【1968年十勝沖地震のすべり量分布(B)】

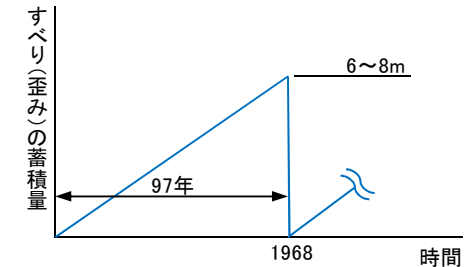
- アスペリティB:6.5m
- アスペリティC:9.3m



モーメント解放量分布(永井ほか(2001))

#### 【すべり(歪み)の蓄積量(C)】

- ①プレートの沈み込み速度:6.2-8.1cm/年(McCaffrey(2008))
- ②カップリング係数:1.0(地震学的)(Yamanaka and Kikuchi(2004))
- ③すべり(歪み)の蓄積量:①(6.2-8.1cm/年)×97年  
×②(=1)=6~8m



以上から、三陸沖北部の固着域で蓄積する歪みの量には限度があると考えられ、三陸沖北部で繰り返し発生するM8クラスの地震のうち1968年十勝沖地震に伴うすべり量は最大規模と評価される。

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2. 2 地震規模:まとめ

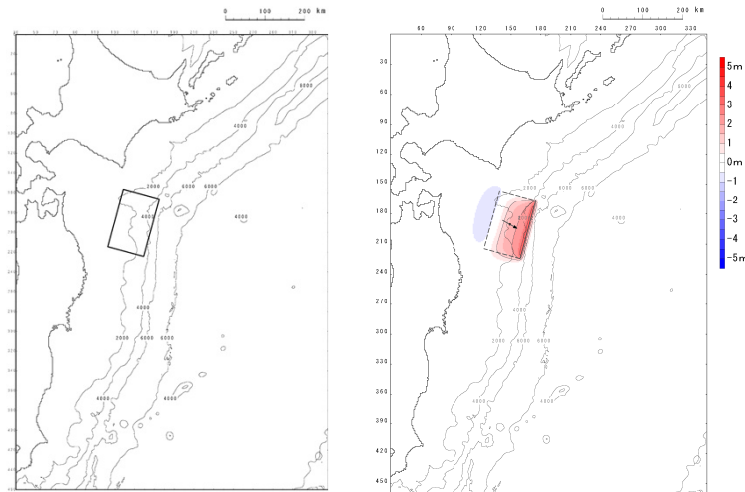
---

- 地震調査研究推進本部(2012)において次の地震の規模を過去に発生した地震の規模と評価していること, 並びに三陸沖北部におけるすべり量(歪み量)に関する検討から1968年十勝沖地震に伴うすべり量は最大規模と評価されることを踏まえ, 基準断層モデルは, 1968年十勝沖地震に伴う津波を再現するモデルを基本とする。

2.3 既往津波の再現解析

■再現モデルの設定

- 土木学会(2002)を参考として、1968年十勝沖地震に伴う津波の再現モデルを設定した。



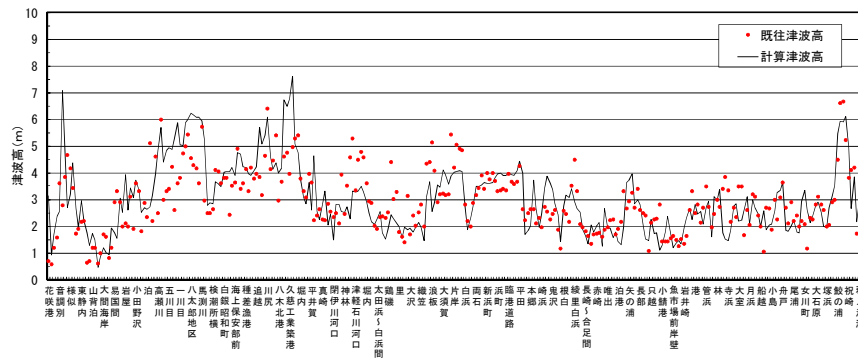
再現モデルの波源位置

地殻変動量分布

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.41
長さ	L(km)	土木学会(2002)	150
幅	W(km)	土木学会(2002)	100
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	土木学会(2002) (詳細はp32に記載。)	$5.0 \times 10^{10}$
すべり量	D <sub>max</sub> (m)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり量に補正。	6.90
地震モーメント	Mo(N・m)	$\mu$ LWD	$5.18 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できる走向に補正。	195
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)	6
傾斜角	$\delta$ (°)	土木学会(2002)	20
すべり角	$\lambda$ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり角に補正。	76
ライズタイム	$\tau$ (s)	相田(1986) (詳細はp12に記載。)	60

■再現性の確認結果※

- 土木学会(2002)の目安を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。



既往津波	K	K	n	既往津波高
1968年十勝沖地震に伴う津波	0.97	1.39	297	岸(1969)

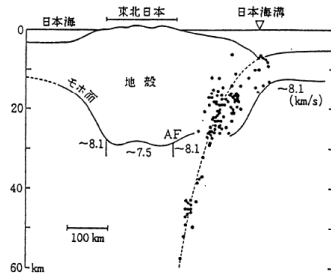
※:再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、(原子力発電所)資料2-2「1. 津波解析条件」に記載。



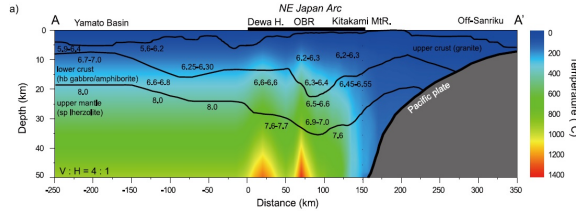
# I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2.3 既往津波の再現解析: 剛性率の設定

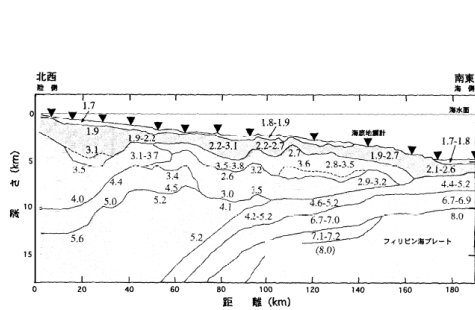
- 土木学会(2002)等を参考として,  $5.0 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$  とした。



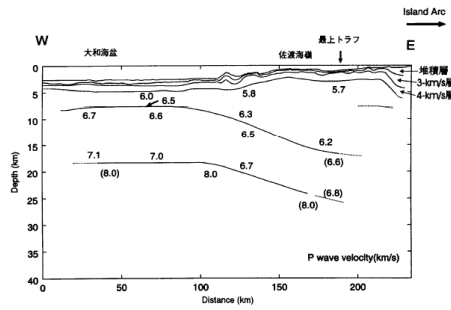
(a)東北日本周辺(吉井(1978))



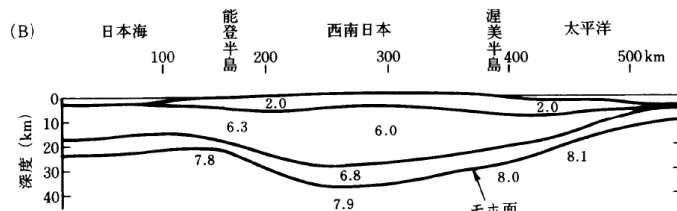
(b)東北日本周辺(武藤・大園(2012)※)



(c)日向灘沖(宮町・後藤(1999))



(d)秋田沖日本海東縁部(西坂ら(1999))



(e)西南日本周辺(周藤・牛来(1997))

P波速度構造に関する既往研究例  
(土木学会(2002)を一部修正)

※:陸域の速度構造はIwasaki et al.(2001), 背弧側は西坂ほか(2001), 三陸沖はTakahashi et al.(2004)によって公表された速度構造を統合したものの。

### Vp/Vs比に関する既往研究例(伊藤・大東(1996))

地域	上部地殻	下部地殻	上部マントル	文献・備考
近畿	1.67		1.78	Yoshiyama(1957)
西南日本	1.68		1.75~1.79	角田(1968)
紀伊半島	1.716±0.021			渡辺・黒磯(1967)
東北			1.77	宇津(1969)
中国	1.70~1.71			Hashizume(1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ら(1977) マントルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺(1977)
函館群発	(1.66)			高波ら(1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao(1981) 真のVp, Vsから求めた値
四国	(1.58-1.65)	1.75	1.73	岡野・木村(1983) ()内は表層の値
飛騨周辺	1.67±0.01			橋田・鶴川(1995)
長野県	1.69±0.01			
北関東	1.71±0.01			
甲府周辺	1.69±0.01			
富士箱根	1.69~1.78			
甲府周辺	1.66~1.71			
日光付近	1.682±0.016	1.686*	1.90	大東・伊藤(1995)
長野県西部	1.700±0.053	1.686*		*は真のVp, Vsから求めた値
兵庫県南部	1.680±0.023	1.76*	1.76*	

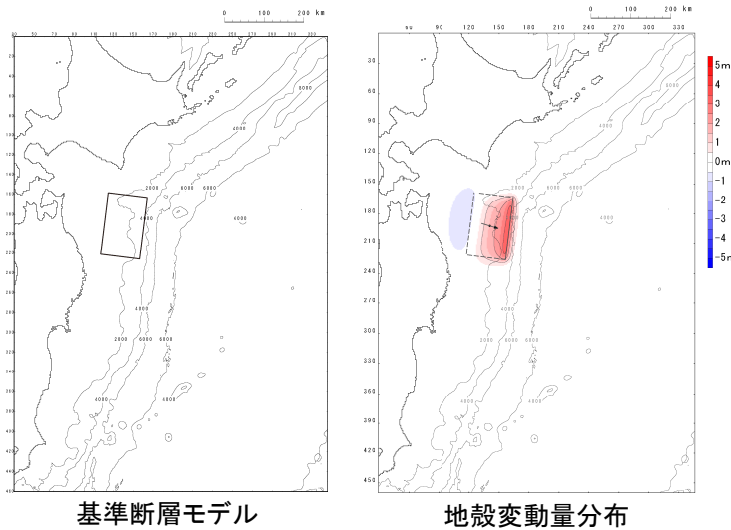
### 震源付近の媒質の剛性率の標準値(土木学会(2002))

海域	根拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> <li>西南日本陸側プレート内</li> <li>日本海東縁部</li> <li>プレート境界浅部(断層面全体が深さ20km以浅に存在する場合)</li> </ul>	$Vp=6.0 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ とすれば, $\mu=3.36 \times 10^{10}$ $\sim 3.94 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(3.5 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋プレート内</li> <li>プレート境界深部(断層面全体が深さ20km以深に存在する場合)</li> </ul>	$Vp=8.0\sim 8.1 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ とすれば, $\mu=6.31 \times 10^{10}$ $\sim 7.50 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$7.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(7.0 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界中央部(断層面が深さ20km以浅と以深にまたがって存在する場合)</li> </ul>	浅部と深部の中間的値とする。	$5.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $(5.0 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2)$

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2. 4 基準断層モデルの設定

- 基準断層モデルの地震規模(Mw)は、地震調査研究推進本部(2012)の評価、並びに三陸沖北部におけるすべり量(歪み量)に関する検討結果を踏まえ、1968年十勝沖地震に伴う津波を再現するモデル(Mw8.41)を基本として、これを上回るよう土木学会(2002)を参考にMw8.45にスケールリングして設定した。
- 波源位置は、活動域(三陸沖北部)の中央位置に設定した。



諸元

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	土木学会(2002)	8.45
長さ	L(km)	既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケールリング則(長さ・幅の限界なし)を適用して設定。	157
幅	W(km)		105
すべり量	D(m)		7.23
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$5.0 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo(N・m)	$\mu$ LWD	$5.96 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	日本海溝の形状に合わせて設定。	195
断層上縁深さ	d(km)	プレート境界面の深さに合わせて設定。	12
傾斜角	$\delta$ (°)	既往津波再現モデルに基づき設定。	20
すべり角	$\lambda$ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	80
ライズタイム	$\tau$ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2.4 基準断層モデルの設定: 基準断層モデルによる計算結果

- 基準断層モデルによる計算結果を以下に示す。

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
プレート間地震	プレート間地震 (基準断層モデル)	3.55	3.20	1.46

## 【水位下降側】

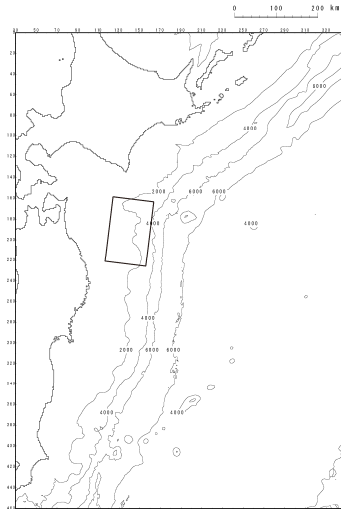
種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
プレート間地震	プレート間地震 (基準断層モデル)	-4.31

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

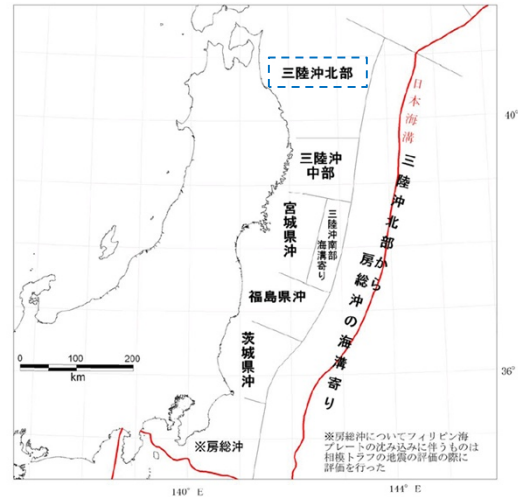
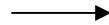
### 2.5 波源特性の不確かさの考慮: 基本方針

- 土木学会(2002)を参考として、断層モデルの諸条件のうちプレート間地震の特性上不確実性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮する。
- 波源位置は、三陸沖北部の領域内のどこでも発生するものとして設定する。

#### ■波源位置の不確かさを考慮する領域 (=地震発生領域)



基準断層モデル



#### ■各断層パラメータの不確かさ考慮

##### 【概略パラメータスタディ】

項目	変動範囲
位置	南北方向: 基準, 北へ21.5km, 南へ21.5km移動 東西方向: 基準, 東へ33km, 西へ33km移動
走向	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

##### 【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準 $\pm 5^\circ$
すべり角	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2.5 波源特性の不確かさの考慮:位置, 走向, 傾斜角, すべり角

- 土木学会(2002)を参考として, 位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し, 各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて, 傾斜角及びすべり角を変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 各パラメータの変動範囲については, 土木学会(2002)を参考に設定<sup>\*</sup>した。

<sup>\*</sup>:土木学会(2002)では, プレート間逆断層地震のハーバードCMTIによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上, 深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

【概略パラメータスタディ】

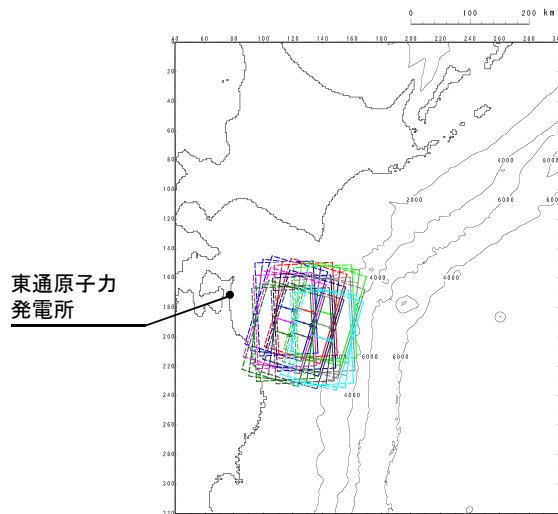
項目	変動範囲
位置	南北方向:基準, 北へ21.5km, 南へ21.5km移動 東西方向:基準, 東へ33km, 西へ33km移動
走向	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

最大水位上昇量・  
下降量決定ケース



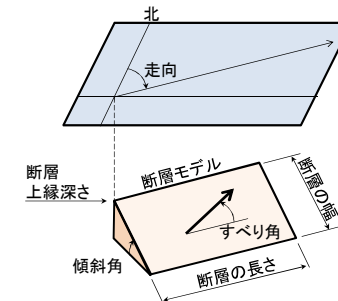
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準 $\pm 5^\circ$
すべり角	基準, 基準 $\pm 10^\circ$



概略パラメータスタディ

(参考)断層パラメータ



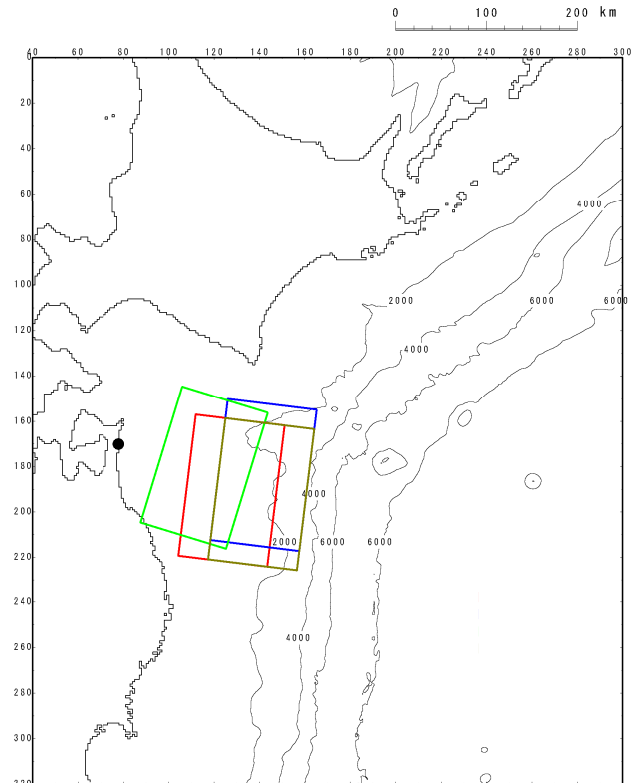
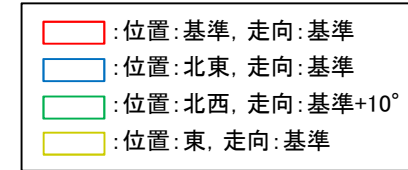
I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

2.6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)①

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位上昇量(m)			備考
位置	走向	敷地 前面	取水口 前面	放水路 護岸前面	
南北: 北へ21.5km 東西: 西へ33km	基準-10°	4.14	3.78	3.85	詳細パラメータスタディ③
	基準	4.24	3.95	3.95	
	基準+10°	3.80	4.05	4.08	
南北: 北へ21.5km 東西: 基準	基準-10°	4.04	3.51	3.23	
	基準	4.10	3.71	3.78	
	基準+10°	3.95	3.76	3.80	
南北: 北へ21.5km 東西: 東へ33km	基準-10°	4.53	4.07	3.38	詳細パラメータスタディ①
	基準	4.61	4.12	3.85	
	基準+10°	4.58	4.04	3.93	
南北: 基準 東西: 西へ33km	基準-10°	3.50	3.21	2.92	
	基準	3.60	3.27	3.11	
	基準+10°	3.59	3.29	3.37	
南北: 基準 東西: 基準	基準-10°	3.57	3.25	1.67	
	基準	3.55	3.20	1.46	
	基準+10°	3.57	3.15	2.24	
南北: 基準 東西: 東へ33km	基準-10°	4.40	4.349	3.48	詳細パラメータスタディ②
	基準	4.40	4.350	3.61	
	基準+10°	4.33	4.28	3.88	
南北: 南へ21.5km 東西: 西へ33km	基準-10°	2.96	2.89	0.59	
	基準	2.98	2.87	0.33	
	基準+10°	2.91	2.76	0.00	
南北: 南へ21.5km 東西: 基準	基準-10°	3.08	2.92	0.00	
	基準	3.02	2.83	0.00	
	基準+10°	3.05	3.06	0.03	
南北: 南へ21.5km 東西: 東へ33km	基準-10°	4.16	4.13	3.09	
	基準	4.14	4.12	3.24	
	基準+10°	4.21	4.12	3.40	



不確かさの考慮ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)②

## ■詳細パラメータスタディ①: 敷地前面

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)			備考		
位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面	取水口前面	放水路 護岸前面			
南北: 北へ21.5km 東西: 東へ33km	基準	基準-5°	基準-10°	4.68	3.63	2.89	敷地前面 決定ケース		
			基準	4.72	3.68	3.38			
			基準+10°	4.63	3.71	3.29			
		基準	基準-10°	4.55	4.05	3.56			
			基準	4.61	4.12	3.85			
			基準+10°	4.54	4.07	3.76			
		基準+5°	基準-10°	4.57	4.42	4.24			
			基準	4.50	4.47	4.40			
			基準+10°	4.45	4.43	4.34			

## ■詳細パラメータスタディ②: 取水口前面

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)			備考		
位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面	取水口前面	放水路 護岸前面			
南北: 基準 東西: 東へ33km	基準	基準-5°	基準-10°	4.05	3.80	1.82			
			基準	4.00	3.87	2.09			
			基準+10°	3.97	3.85	2.16			
		基準	基準-10°	4.33	4.29	3.67			
			基準	4.40	4.35	3.61			
			基準+10°	4.38	4.33	3.52			
		基準+5°	基準-10°	4.72	4.65	4.35			
			基準	4.78	4.70	4.37			
			基準+10°	4.76	4.68	4.22			

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)③

■詳細パラメータスタディ③: 放水路護岸前面

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)			備考
位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面	取水口 前面	放水路 護岸前面	
南北: 北へ21.5km 東西: 西へ33km	基準+10°	基準-5°	基準-10°	3.73	3.98	4.00	
			基準	3.86	4.04	4.06	
			基準+10°	3.74	3.98	3.99	
		基準	基準-10°	4.23	3.94	3.96	
			基準	3.80	4.05	4.08	放水路護岸前面 決定ケース
			基準+10°	3.78	4.02	4.06	
		基準+5°	基準-10°	4.00	3.87	3.94	
			基準	4.15	4.02	4.02	
			基準+10°	4.08	4.01	4.00	



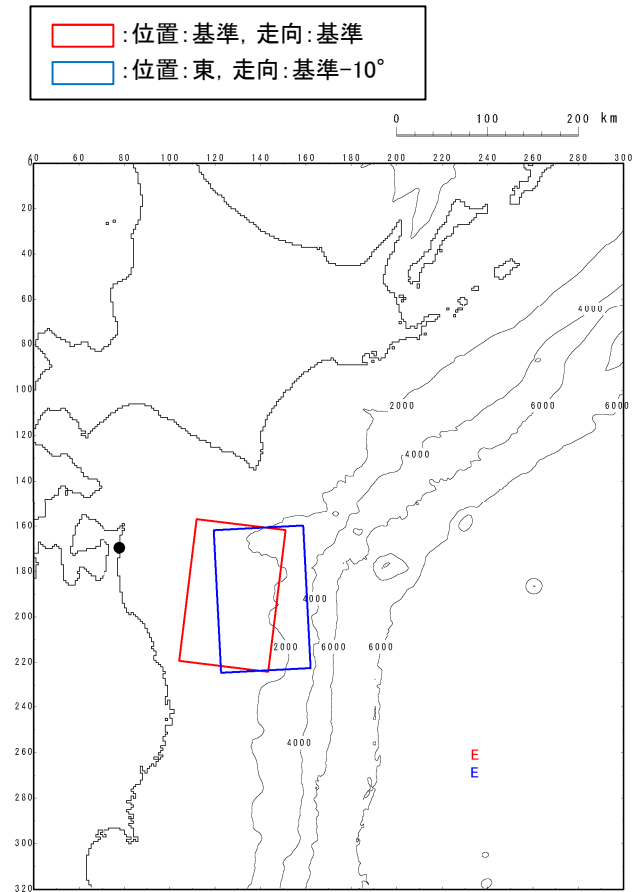
## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2.6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)①

- 各評価位置における最大水位下降量を以下に示す。

## ■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位下降量(m)		備考
位置	走向	取水口前面		
南北:北へ21.5km 東西:西へ33km	基準-10°	-3.19		
	基準	-3.48		
	基準+10°	-3.82		
南北:北へ21.5km 東西:基準	基準-10°	-3.97		
	基準	-4.06		
	基準+10°	-4.11		
南北:北へ21.5km 東西:東へ33km	基準-10°	-4.39		
	基準	-4.38		
	基準+10°	-4.31		
南北:基準 東西:西へ33km	基準-10°	-3.33		
	基準	-3.61		
	基準+10°	-3.79		
南北:基準 東西:基準	基準-10°	-4.16		
	基準	-4.31		
	基準+10°	-4.27		
南北:基準 東西:東へ33km	基準-10°	-4.63		詳細パラメータスタディ④
	基準	-4.58		
	基準+10°	-4.54		
南北:南へ21.5km 東西:西へ33km	基準-10°	-3.54		
	基準	-3.82		
	基準+10°	-3.92		
南北:南へ21.5km 東西:基準	基準-10°	-4.04		
	基準	-4.22		
	基準+10°	-4.24		
南北:南へ21.5km 東西:東へ33km	基準-10°	-4.43		
	基準	-4.48		
	基準+10°	-4.55		



不確かさの考慮ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)②

■詳細パラメータスタディ④: 取水口前面

パラメータの変動範囲				最大水位下降量(m)	備考
位置	走向	傾斜角	すべり角	取水口前面	
南北: 基準 東西: 東へ33km	基準-10°	基準-5°	基準-10°	-4.18	
			基準	-4.30	
			基準+10°	-4.34	
		基準	基準-10°	-4.51	
			基準	-4.63	
			基準+10°	-4.67	
		基準+5°	基準-10°	-4.72	
			基準	-4.82	
			基準+10°	-4.87	決定ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算:まとめ(計算結果一覧)

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
プレート間地震	プレート間地震	4.72	4.70	4.08

## ■敷地前面前面決定ケース

・波源位置:北へ21.5km, 東へ33km, 走向:基準, 傾斜角:基準-5°, すべり角:基準

## ■取水口前面決定ケース

・波源位置:東へ33km, 走向:基準, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準

## ■放水路護岸前面決定ケース

・波源位置:北へ21.5km, 西へ33km, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準, すべり角:基準

## 【水位下降側】

種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
プレート間地震	プレート間地震	-4.87

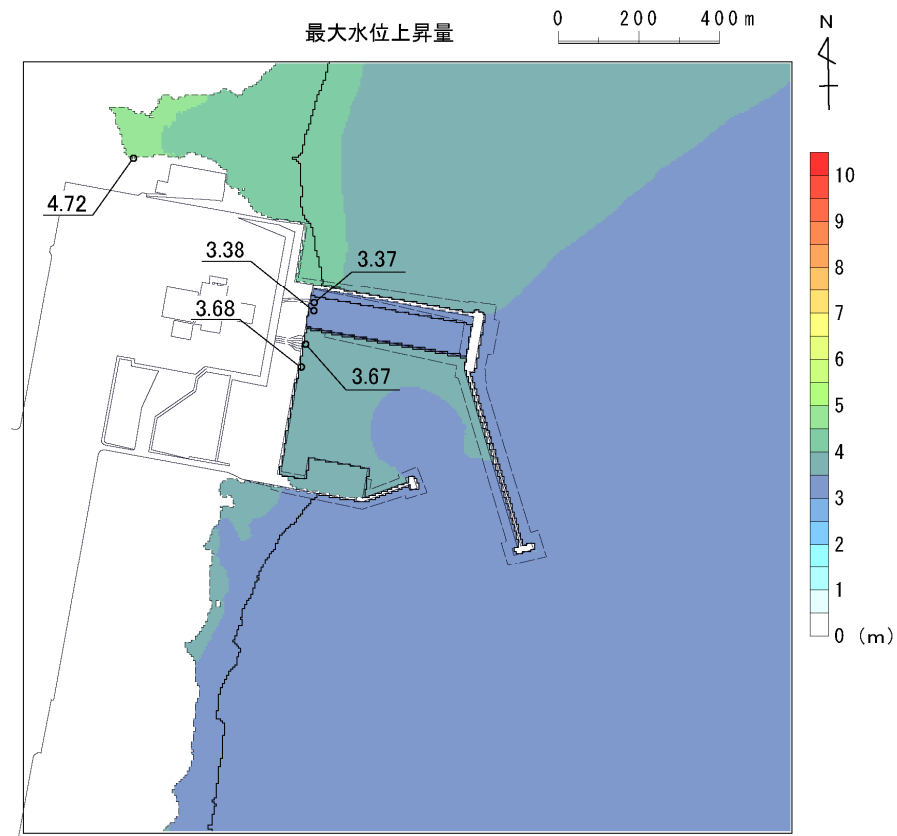
## ■決定ケース

・波源位置:東へ33km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°

## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)①

評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	敷地前面	波源位置:北へ21.5km, 東へ33km, 走向:基準, 傾斜角:基準-5°, すべり角:基準

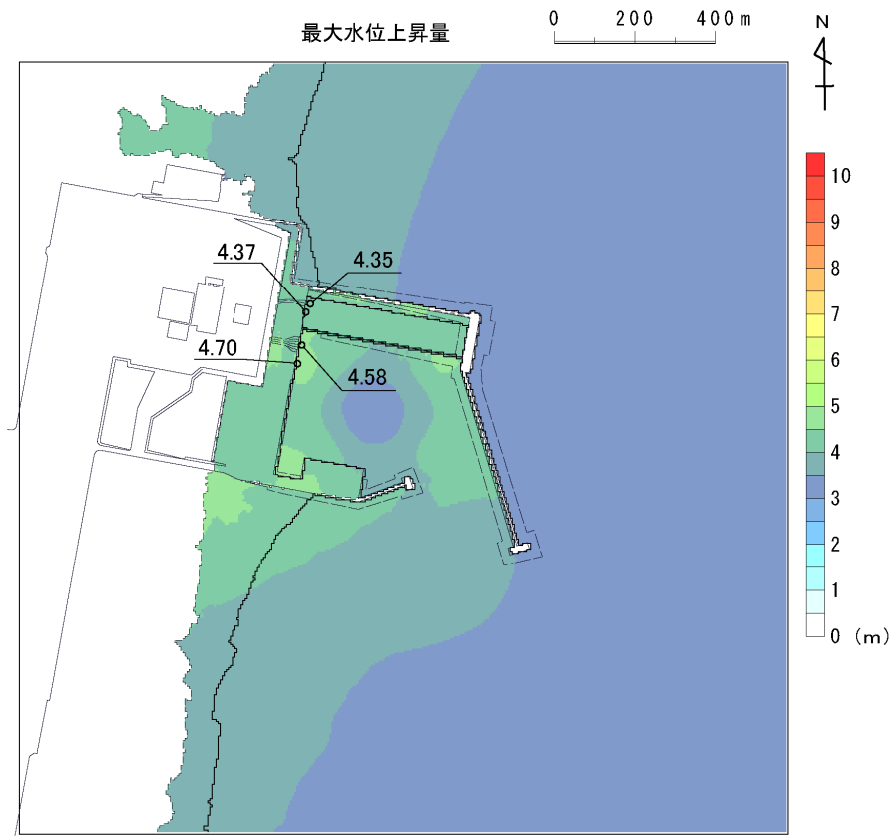


最大水位上昇量分布

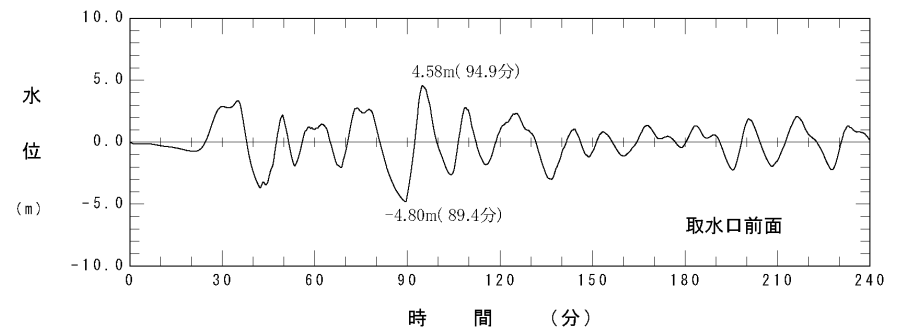
## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)②

評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	取水口前面	波源位置:東へ33km, 走向:基準, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準



最大水位上昇量分布

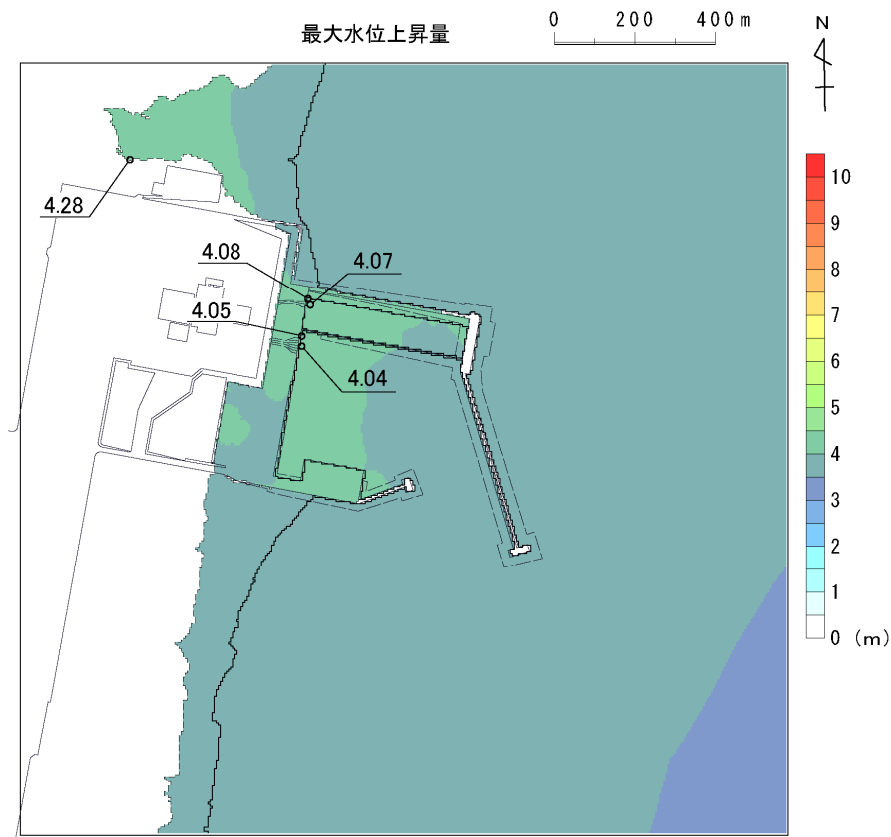


取水口前面における水位時刻歴波形

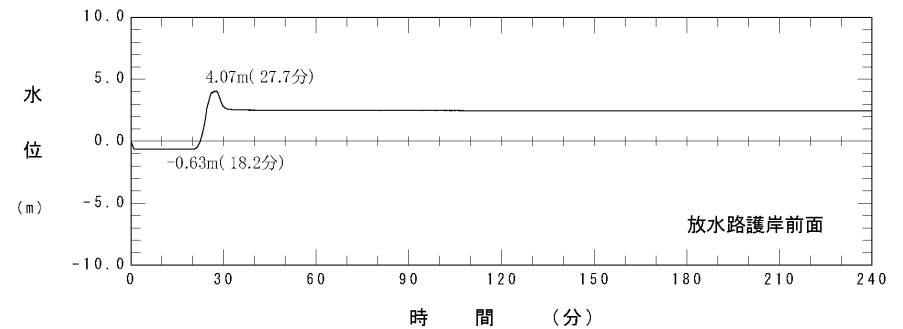
## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

## 2. 6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)③

評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	放水路護岸前面	波源位置:北へ21.5km, 西へ33km, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準, すべり角:基準



最大水位上昇量分布

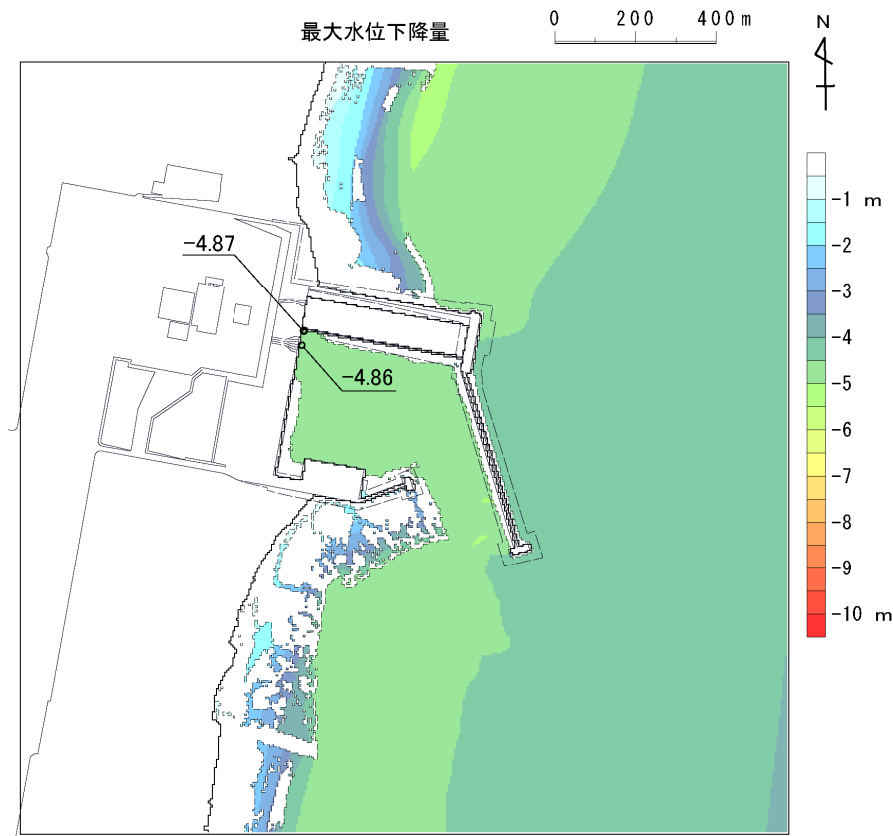


放水路護岸前面における水位時刻歴波形

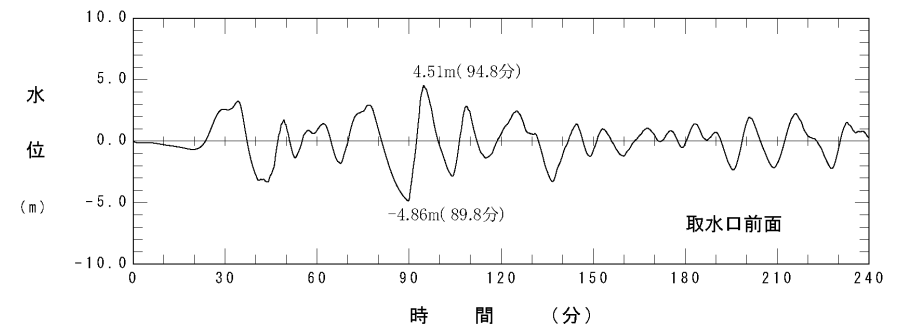
## I. 地震に起因する津波の評価 2. プレート間地震

### 2.6 津波予測計算:まとめ(水位下降側)

評価項目	評価位置	決定ケース
水位下降側	取水口前面	波源位置: 東へ33km, 走向: 基準 $-10^{\circ}$ , 傾斜角: 基準 $+5^{\circ}$ , すべり角: 基準 $+10^{\circ}$



最大水位下降量分布



取水口前面における水位時刻歴波形

## I . 地震に起因する津波の評価

### 3. 海洋プレート内地震

---

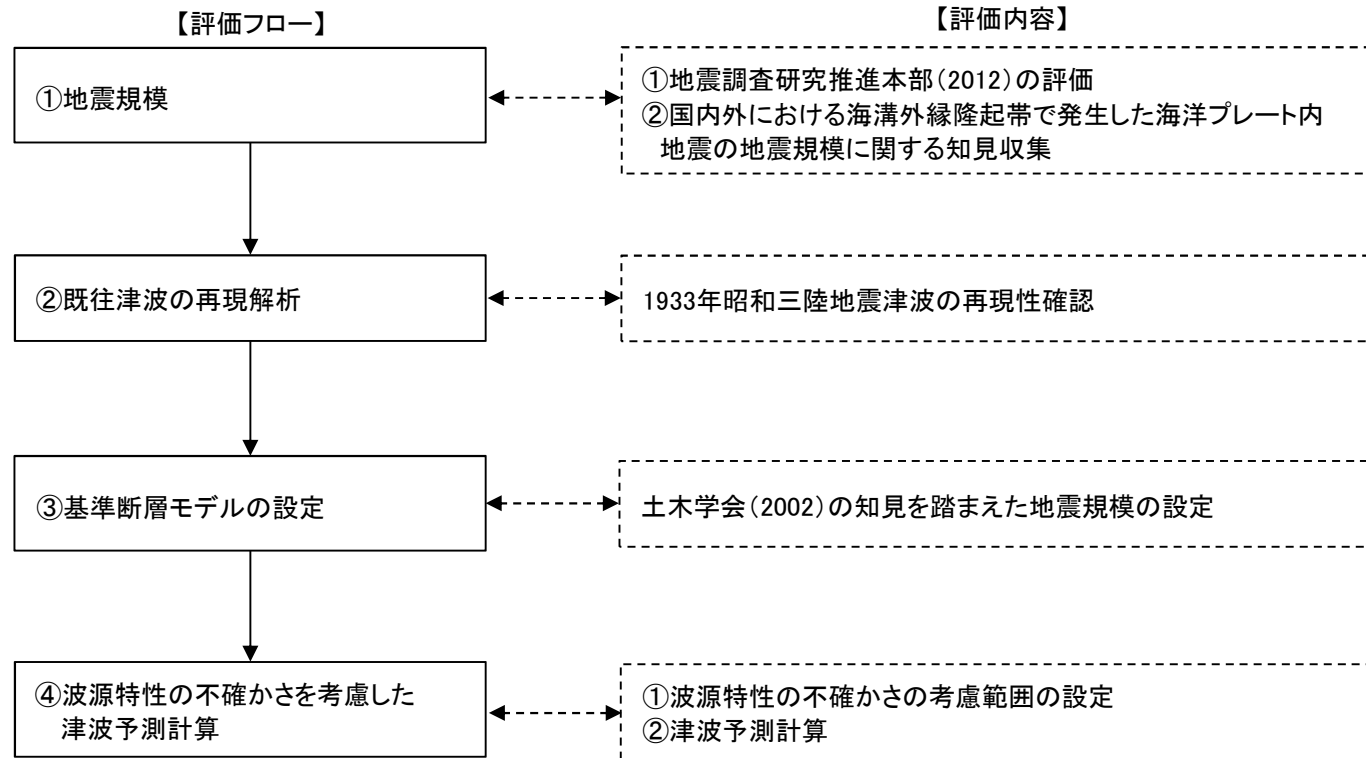
3. 1	評価フロー	48
3. 2	地震規模	49
3. 3	既往津波の再現解析	52
3. 4	基準断層モデルの設定	54
3. 5	波源特性の不確かさの考慮	56
3. 6	津波予測計算	58



## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3.1 評価フロー

- ・以下のフローに基づき評価を実施した。



## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3.2 地震規模:地震調査研究推進本部(2012)の評価

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波の規模\*とし、その信頼度を「B」と評価している。

※:地震調査研究推進本部(2012)では、1933年昭和三陸地震津波の地震規模について以下のとおり評価している。

→プレート内の正断層型の地震については、過去400年間に1933年の昭和三陸地震の1例しかないことを踏まえ、次の地震の規模は、過去に発生した地震を参考にして、M8.2前後、Mt8.3前後と推定した。

次の三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内地震(正断層型)の発生確率等  
(地震調査研究推進本部(2012))

項目	将来の地震発生確率等 <sup>注2</sup>	備考	評価の信頼度 <sup>注4</sup>
今後10年以内の発生確率 #	1%~2% (0.3%~0.6%)	M8程度のプレート内正断層型地震については、三陸沖北部~房総沖の海溝寄り全体では過去400年間に1933年の三陸地震の1例しかないことと、三陸沖海溝外縁の断層地形及び正断層地震の総モーメントの推定から、同様の地震が400~750年に1回発生するものとして、ポアソン過程により三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこかで発生する確率を算出した。また、1933年の地震の断層長が三陸沖北部から房総沖の海溝寄り全体の0.25倍程度を占めることから、特定の海域では同様の地震が1600~3000年に1回発生するものとして、ポアソン過程から発生確率を算出した。	C
今後20年以内の発生確率 #	3%~5% (0.7%~1%)		
今後30年以内の発生確率 #	4%~7% (1%~2%)		
今後40年以内の発生確率 #	5%~10% (1%~2%)		
今後50年以内の発生確率 #	6%~10% (2%~3%)		
今後100年以内の発生確率 #	10%~20% (3%~6%)		
今後300年以内の発生確率 #	30%~50% (10%~20%)		
次の地震の規模	M8.2前後 <sup>注3</sup> Mt8.3前後	過去に発生した地震のM及びMtを参考にして判断した。	B

注2 評価時点がどの時点でもポアソン過程を用いているため確率は変化しない。

注3 Mの推定値のばらつきについて、「程度」及び「前後」を使用。「程度」は「前後」よりばらつきが大きい場合に使用した。

注4 評価の信頼度

■規模の評価の信頼度:B

想定地震と同様な過去の地震の規模から想定規模を推定した。過去の地震データが多くはなく、規模の信頼性は中程度である。

■発生確率の評価の信頼度:C

想定地震と同様な過去の地震データが少なく、必要に応じ地震学的知見を用いて発生確率を求めたため、発生確率の値の信頼性はやや低い。

今後の新しい知見により値が大きく変わり得る。

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3. 2 地震規模: 国内で発生した海溝外縁隆起帯で発生した地震の地震規模

- 1933年昭和三陸地震津波は, 国内外における海溝外縁隆起帯(outer rise)で発生した地震として最大規模の地震である。

海溝外縁隆起帯で発生した主な海洋プレート内地震の断層パラメータ (Alvarez-Gomez et al.(2012))

Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	$M_w$	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity $\text{Nm}^{-2}$	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	–	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	$7.0 \times 10^{10}$	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	$7.0 \times 10^{10}$	Abe (1972)
d	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	40	30	50	6	$5.0 \times 10^{10}$	Beck and Christensen (1991)
e	19/08/1977	Sunda	8.2	200	70	40	45	3	$6.4 \times 10^{10}$	Gusman et al. (2009)
f	19/08/1977	Sunda	8.2	200	25	29	45	9	$4.0 \times 10^{10}$	Spence (1986), Lynnes and Lay (1988)
g	04/05/1990	Mariana	7.3	40	25	29	48	3.4	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
h	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	40	48	1.5	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
i	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	–	48	–	–	Yoshida et al. (1992)
j	04/09/2001	Juan Fernandez Ridge	6.7	70	26	30	51	1	$4.0 \times 10^{10}$	Fromm et al. (2006)
k	13/01/2007	Kuril	7.9	120	40	35	45	1.9	$5.0 \times 10^{10}$	Fujii and Satake (2008)
l	13/01/2007	Kuril	8.0	130	30	–	37	6.4	$4.0 \times 10^{10}$	Tanioka et al. (2008)

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3. 2 地震規模:まとめ

---

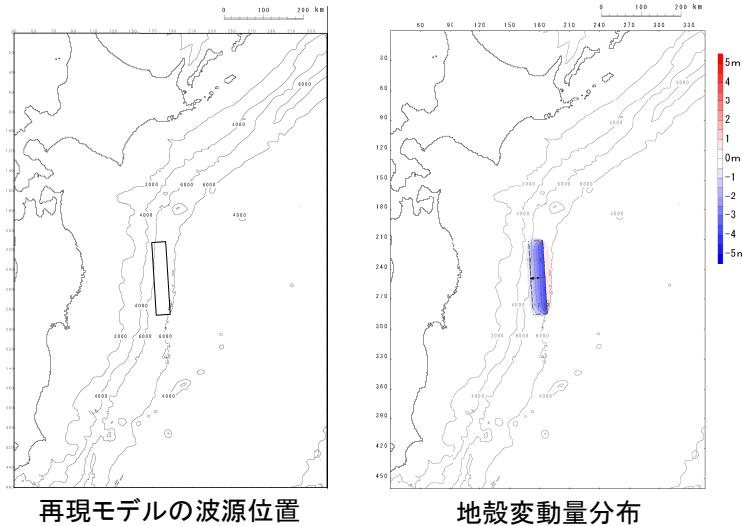
- ・ 地震調査研究推進本部(2012)において次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波と評価していること, 並びに同地震は国内外で最大規模の地震であることを踏まえ, 基準断層モデルは, 1933年昭和三陸地震津波を基本とする。

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3.3 既往津波の再現解析

#### ■再現モデルの設定

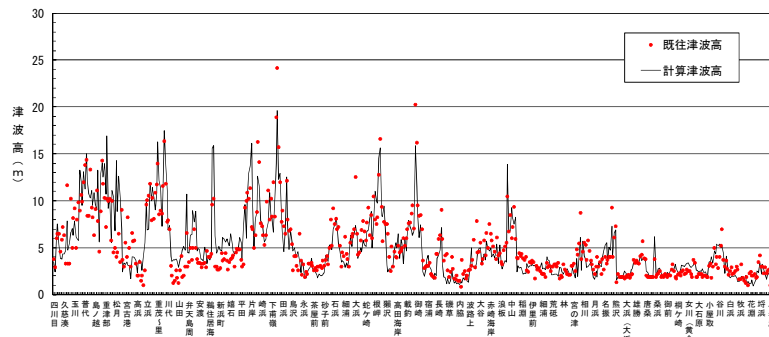
- 土木学会(2002)を参考として、1933年昭和三陸地震津波の再現モデルを設定した。



断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード*	Mw	$(\log M_0 - 9.1)/1.5$	8.35
長さ	L(km)	土木学会(2002)	185
幅	W(km)	土木学会(2002)	50
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	土木学会(2002)(詳細はp53に記載。)	$7.0 \times 10^{10}$
すべり量	D <sub>max</sub> (m)	土木学会(2002)	6.6
地震モーメント	M <sub>0</sub> (N・m)	$\mu$ LWD	$4.27 \times 10^{21}$
走向	$\theta$ (°)	土木学会(2002)	180
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)	1
傾斜角	$\delta$ (°)	土木学会(2002)	45
すべり角	$\lambda$ (°)	土木学会(2002)	270
ライズタイム	$\tau$ (s)	相田(1986)(詳細はp12に記載。)	60

#### ■再現性の確認結果※

- 土木学会(2002)の目安を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。



既往津波	K	K	n	既往津波高
1933年昭和三陸地震津波	1.00	1.43	553	松尾(1933), 地震研究所(1934)

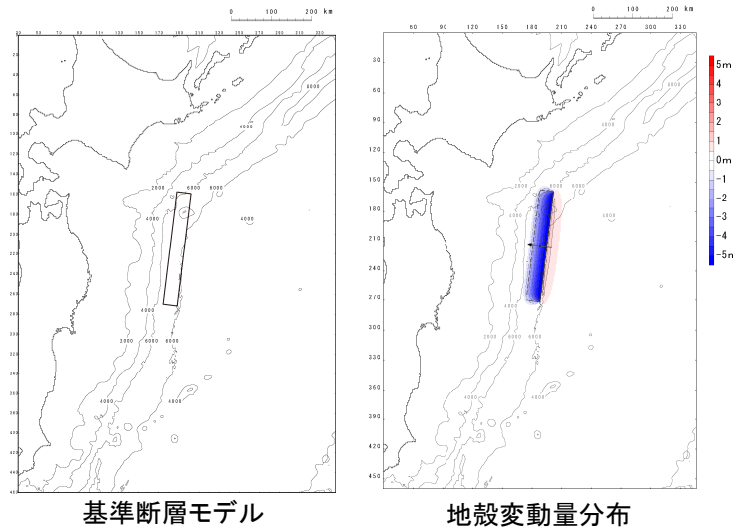
※:再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、(原子力発電所)資料2-2「1. 津波解析条件」に記載。



## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3. 4 基準断層モデルの設定

- 基準断層モデルの地震規模(Mw)は、地震調査研究推進本部(2012)の評価では1611年の津波を津波地震と評価しているものの、土木学会(2002)では1611年の津波が海洋プレート内地震であった場合、その地震規模をMw8.6と評価していることを踏まえ、Mw8.6にスケーリングして設定した。
- 波源位置は、日本海溝北端に設定した。



諸元

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	土木学会(2002)	8.6
長さ	L(km)	既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(長さ・幅の限界なし)を適用して設定。	283
幅	W(km)		50
すべり量	D(m)		10.1
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$7.0 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo(N・m)	$\mu$ LWD	$1.00 \times 10^{22}$
走向	$\theta$ (°)	日本海溝の形状に合わせて設定。	190
断層上縁深さ	d(km)	既往津波再現モデルに基づき設定。	1
傾斜角	$\delta$ (°)		45
すべり角	$\lambda$ (°)		270
ライズタイム	$\tau$ (s)		60

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3.4 基準断層モデルの設定：基準断層モデルによる計算結果

- ・ 基準断層モデルによる計算結果を以下に示す。

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
海洋プレート内地震	正断層型の地震 (基準断層モデル)	6.13	4.40	4.45

## 【水位下降側】

種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
海洋プレート内地震	正断層型の地震 (基準断層モデル)	-3.69



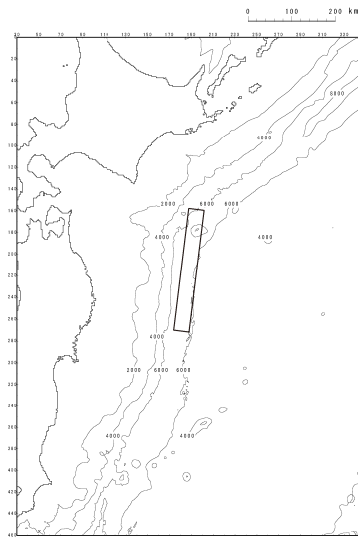
## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3.5 波源特性の不確かさの考慮: 基本方針

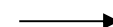
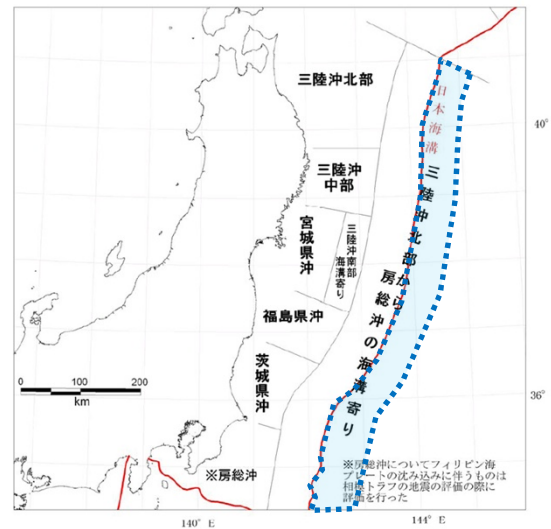
- 土木学会(2002)を参考として、断層モデルの諸条件のうち正断層型の海洋プレート内地震の特性上不確実性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮する。

■波源位置の不確かさを考慮する領域  
(=地震発生領域)

■各断層パラメータの不確かさ考慮



基準断層モデル  
(波源位置: 日本海溝北端)



【概略パラメータスタディ】

項目	変動範囲
位置	基準, 南へ20km, 40km移動
走向	基準, 基準 $\pm 10^\circ$

【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準 $\pm 5^\circ$
断層上縁深さ	0, 1, 2km

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

### 3.5 波源特性の不確かさの考慮:位置, 走向, 傾斜角, 断層上縁深さ

- 土木学会(2002)を参考として, 位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し, 各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて, 傾斜角及び断層上縁深さを変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 各パラメータの変動範囲については, 土木学会(2002)等を参考に設定<sup>※1, 2</sup>した。

※1:土木学会(2002)では, プレート間逆断層地震のハーバードCMTによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上, 深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

※2:日本海溝沿いでは, 2005年11月15日(Mw7.1), 2011年3月11日(Mw7.7)に海洋プレート内地震が発生しており, 傾斜角はそれぞれ約45°(岩淵(2013)), 42°(Lay et al.(2011))である。

【概略パラメータスタディ】

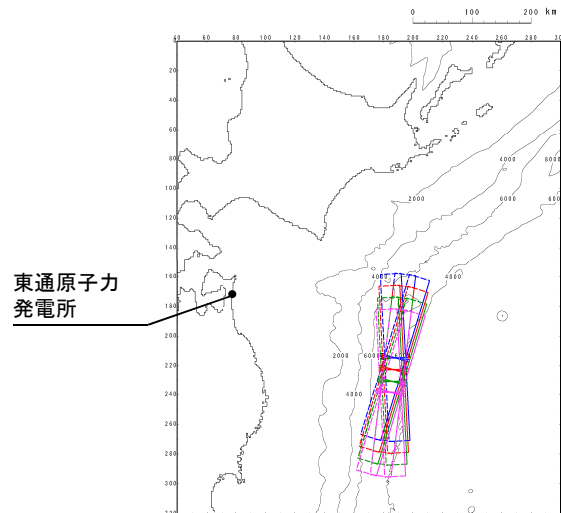
項目	変動範囲
位置	基準, 南へ20km, 40km移動
走向	基準, 基準±10°

最大水位上昇量・  
下降量決定ケース



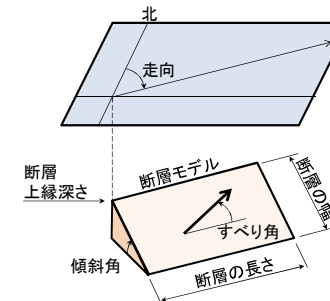
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
断層上縁深さ	0, 1, 2km



概略パラメータスタディ

(参考)断層パラメータ



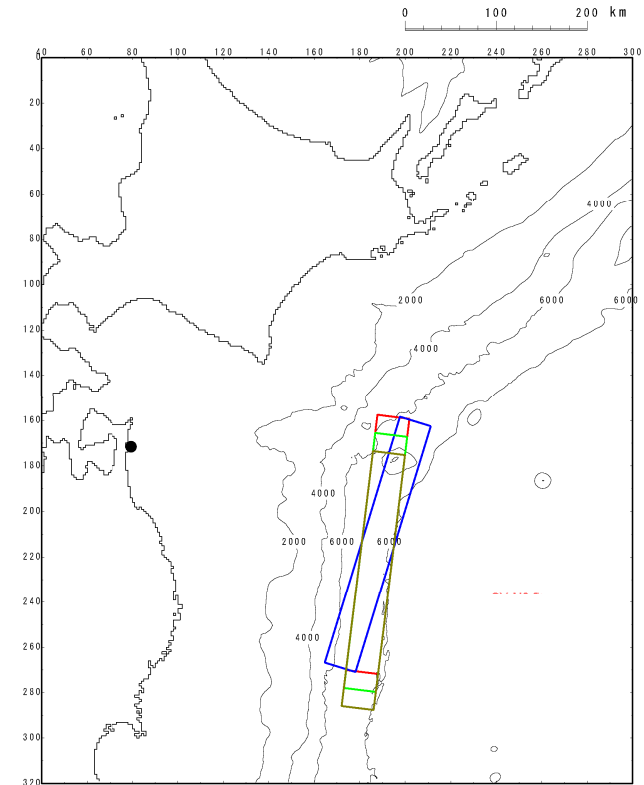
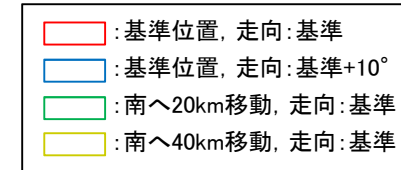
## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3.6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)①

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

## ■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位上昇量 (m)			備考
位置	走向	敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面	
基準	基準-10°	6.34	4.48	4.30	詳細パラメータスタディ
	基準	6.13	4.40	4.45	
	基準+10°	7.05	4.71	4.68	
南へ20km移動	基準-10°	4.39	4.25	3.85	
	基準	5.21	3.94	3.92	
	基準+10°	6.77	4.29	4.04	
南へ40km移動	基準-10°	5.24	4.13	3.74	
	基準	5.40	4.02	3.63	
	基準+10°	5.99	3.91	3.08	



不確かさの考慮ケース

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震  
 3.6 津波予測計算: 計算結果(水位上昇側)②

■詳細パラメータスタディ

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)			備考
位置	走向	傾斜角	断層上縁 深さ	敷地前面	取水口 前面	放水路 護岸前面	
基準	基準+10°	基準-5°	0km	6.70	4.59	4.58	
			1km	6.74	4.72	4.69	
			2km	6.74	4.88	4.84	取水口前面・ 放水路護岸前面 決定ケース
		基準	0km	6.99	4.57	4.58	
			1km	7.05	4.71	4.68	
			2km	7.08	4.86	4.79	
		基準+5°	0km	7.38	4.46	4.50	
			1km	7.45	4.58	4.59	
			2km	7.48	4.73	4.71	敷地前面 決定ケース

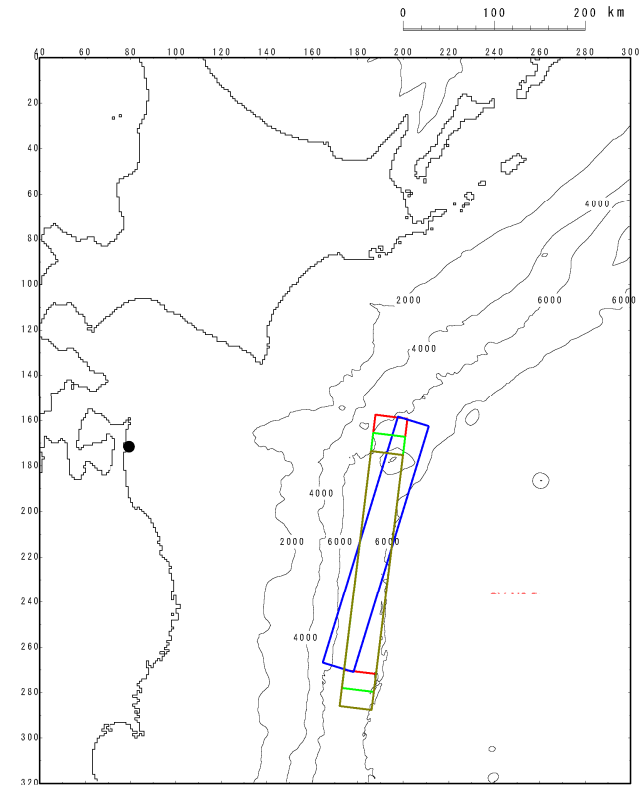
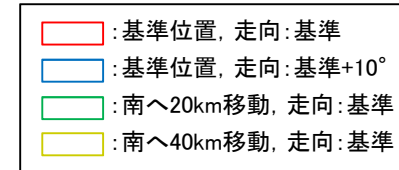
## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3.6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)①

- 各評価位置における最大水位下降量を以下に示す。

## ■概略パラメータスタディ

パラメータの変動範囲		最大水位下降量(m)	備考
位置	走向	取水口前面	
基準	基準-10°	-3.74	詳細パラメータスタディ
	基準	-3.69	
	基準+10°	-3.83	
南へ20km移動	基準-10°	-3.77	
	基準	-3.70	
	基準+10°	-3.72	
南へ40km移動	基準-10°	-3.67	
	基準	-3.69	
	基準+10°	-3.69	



不確かさの考慮ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3.6 津波予測計算: 計算結果(水位下降側)②

## ■詳細パラメータスタディ

パラメータの変動範囲				最大水位下降量(m)	備考
位置	走向	傾斜角	断層上縁 深さ	取水口前面	
基準	基準+10°	基準-5°	0km	-3.57	
			1km	-3.61	
			2km	-3.65	
		基準	0km	-3.80	
			1km	-3.83	
			2km	-3.86	
		基準+5°	0km	-3.94	
			1km	-3.98	
			2km	-4.02	決定ケース

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3. 6 津波予測計算:まとめ(計算結果一覧)

## 【水位上昇側】

種別	波源モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
海洋プレート内地震	正断層型の地震	7.48	4.88	4.84

## ■敷地前面決定ケース

・波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

## ■取水口前面, 放水路護岸前面決定ケース

・波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準-5°, 断層上縁深さ:2km

## 【水位下降側】

種別	波源モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
海洋プレート内地震	正断層型の地震	-4.02

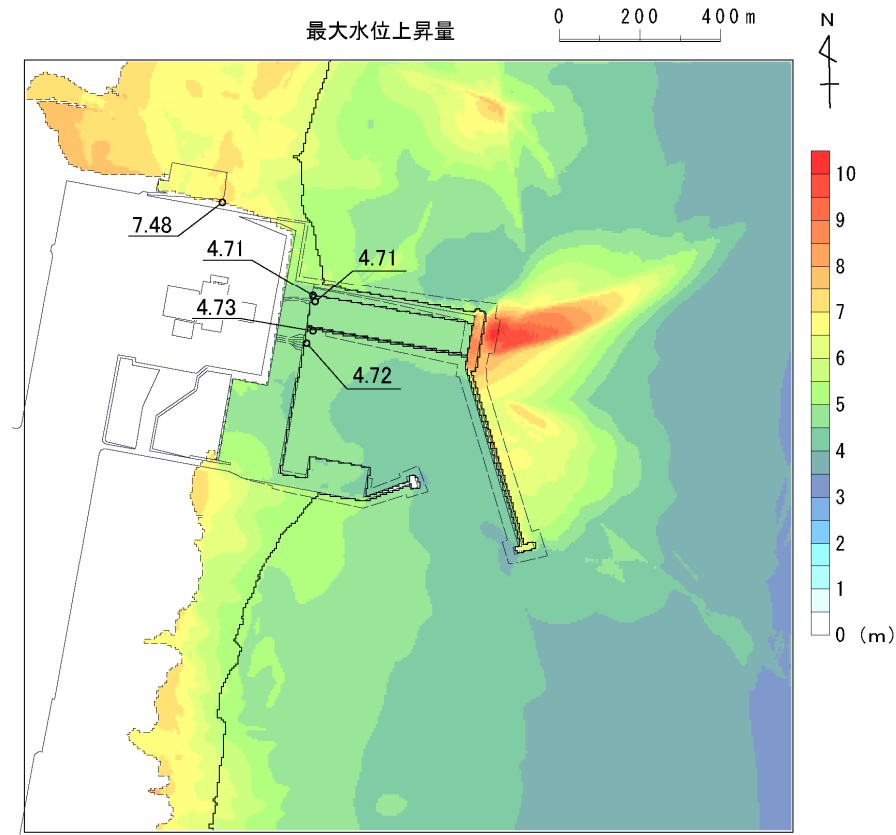
## ■決定ケース

・波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

## I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

## 3. 6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)①

評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	敷地前面	波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

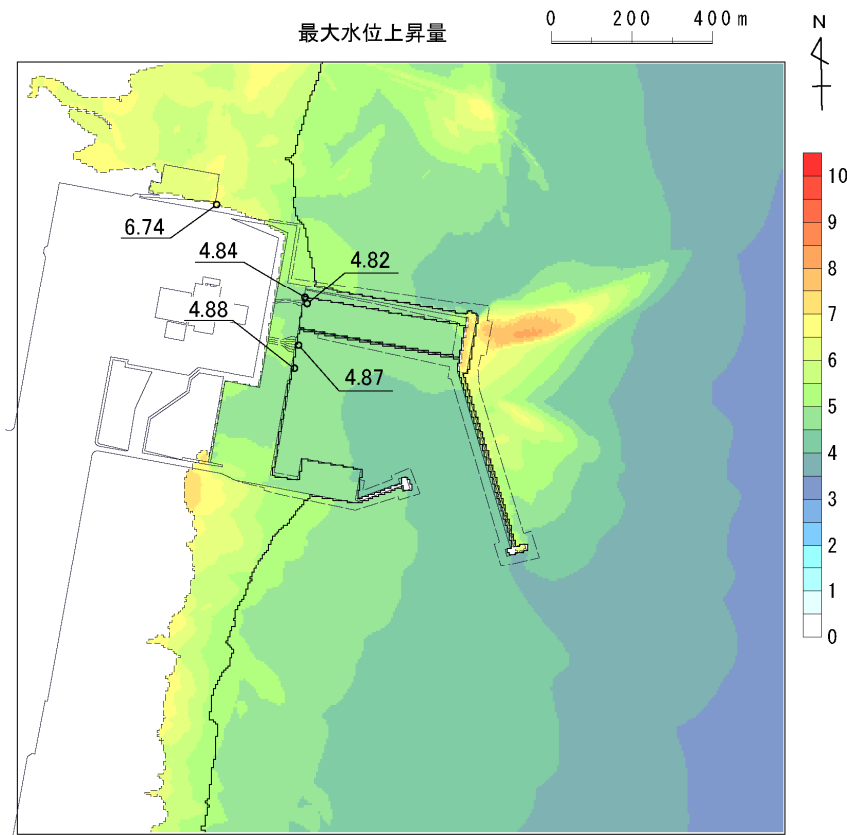


最大水位上昇量分布

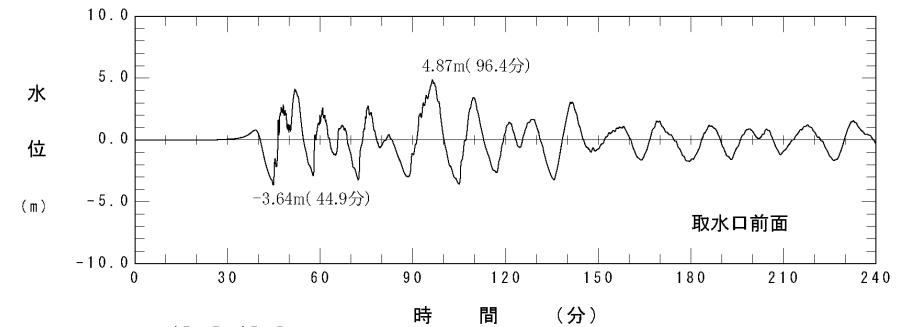


I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震  
 3.6 津波予測計算:まとめ(水位上昇側)②

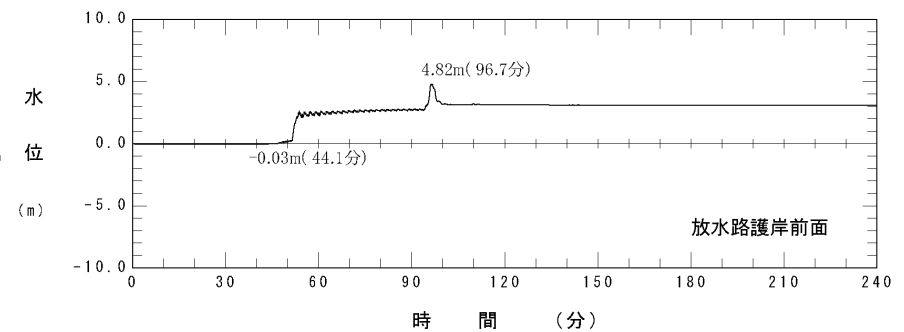
評価項目	評価位置	決定ケース
水位上昇側	取水口前面 放水路護岸前面	波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準-5°, 断層上縁深さ:2km



最大水位上昇量分布



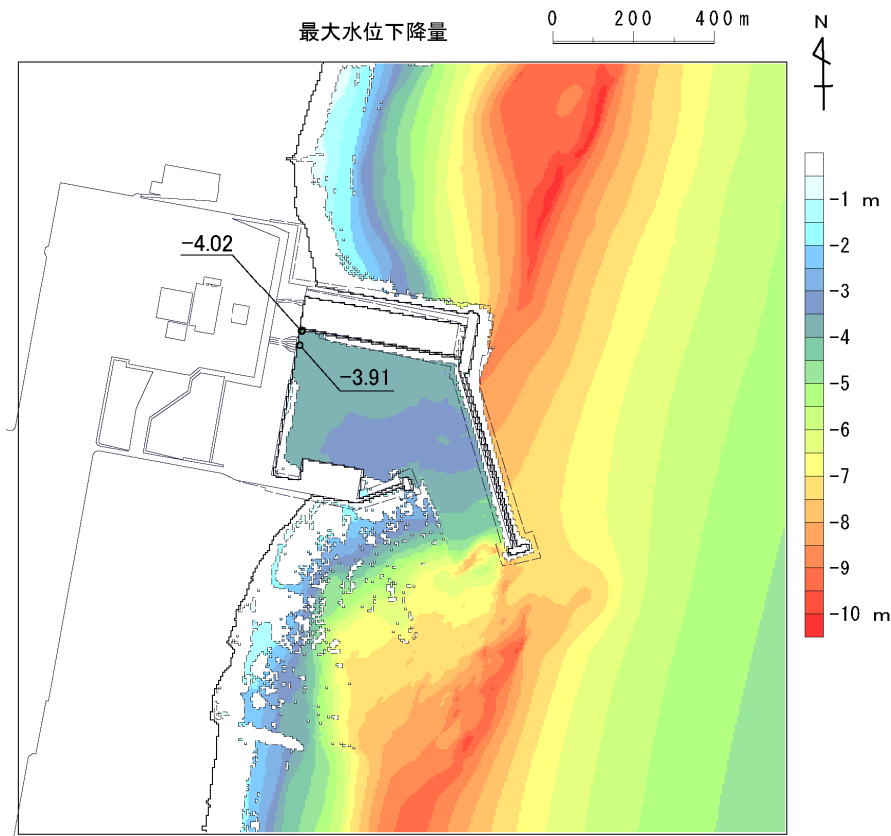
取水口前面における水位時刻歴波形



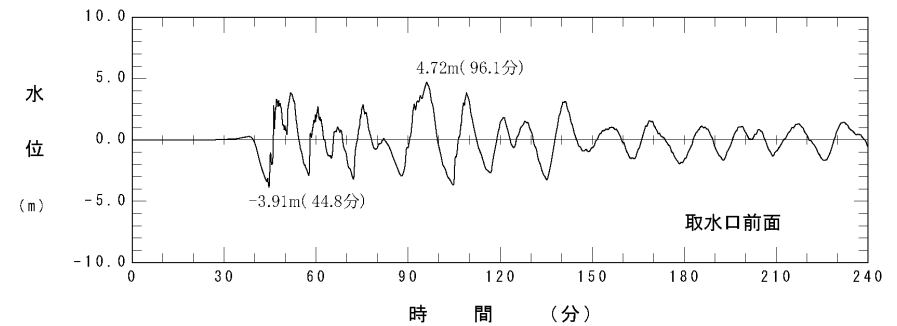
放水路護岸前面における水位時刻歴波形

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震  
 3. 6 津波予測計算:まとめ(水位下降側)

評価項目	評価位置	決定ケース
水位下降側	取水口前面	波源位置:基準, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km



最大水位下降量分布



取水口前面における水位時刻歴波形

## I . 地震に起因する津波の評価

### 4. 海域の活断層による地殻内地震

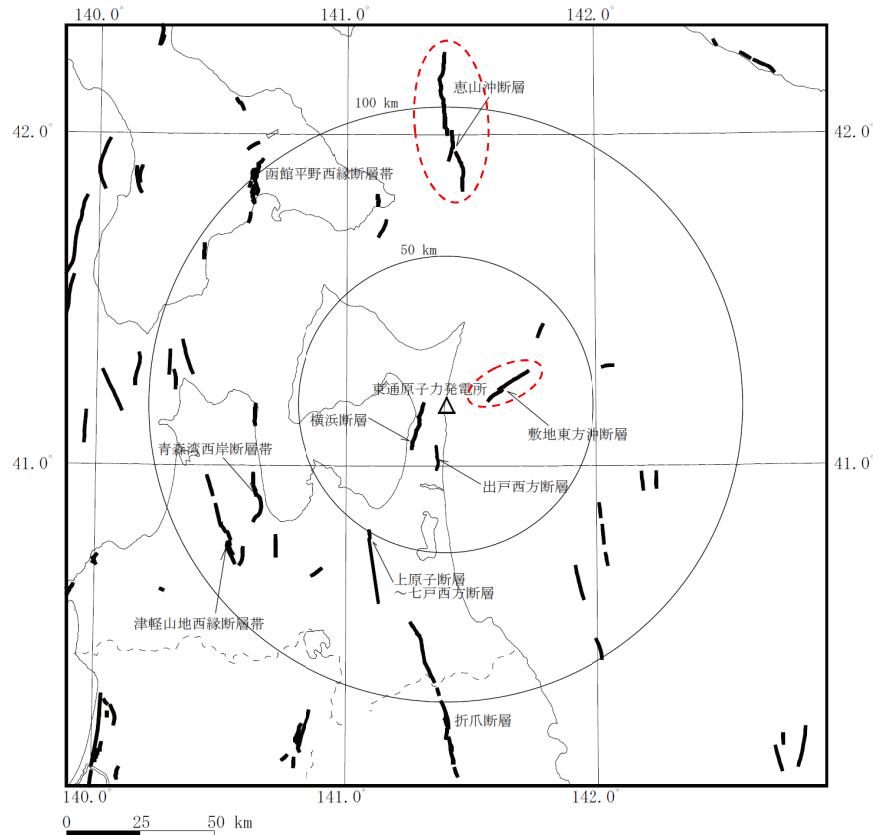
---

4. 1 検討方針	.....	67
4. 2 検討結果	.....	68

## I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

### 4.1 検討方針

- 敷地周辺の地質・地質構造において、後期更新世以降の活動を考慮している断層のうち断層長さ及び敷地からの距離を考慮し、発電所に与える影響が大きいと考えられる敷地東方沖断層、恵山沖断層を検討の対象とする。
- 津波高さの検討は、阿部(1989)の簡易予測式により推定津波高を検討する。



敷地周辺海域の主な活断層分布

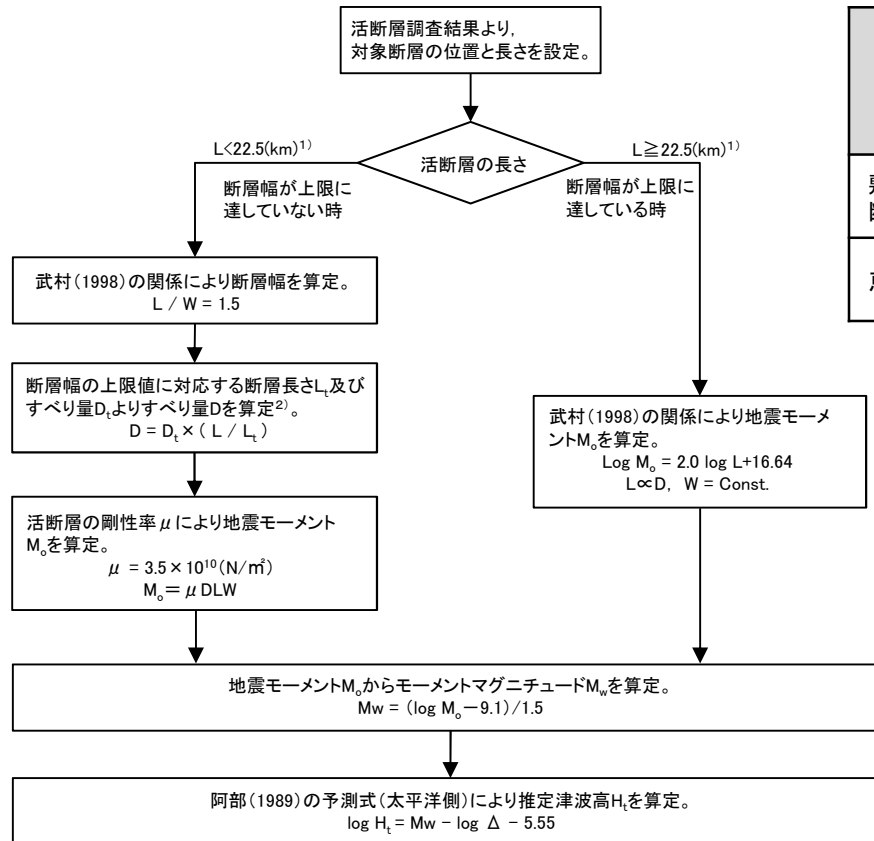
断層名	断層長さ L(km)	敷地からの 距離 Δ(km)
敷地東方沖断層	14.5	20
恵山沖断層	47	97

## I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

### 4.2 検討結果

- 推定津波高は最大0.6mであり, プレート間地震及び海洋プレート内地震に起因する津波に伴う津波高と比較して十分小さいことを確認した。

#### 【検討フロー】



1) 断層幅の上限 $W_t$ は, 地震発生層の厚さ $H_s$ を15kmとし, 傾斜角 $\delta$ を $90^\circ$  ( $45 \sim 90^\circ$  のうち $M_w$ が最大となる値)とした際には,  $W_t = H_s / \sin \delta = 15\text{km}$ となる。また, 断層幅の上限に対応する断層長さ $L_t$ は $L_t = 1.5 \times W_t = 22.5\text{km}$ 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 $M_{wt} = (\text{log } L_t + 3.77) / 0.75 = 6.83$ , 地震モーメントを $M_{0t} = 10^{(1.5M_{wt} + 9.1)} = 2.21 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}$ , 剛性率を $\mu = 3.50 \times 10^{10} \text{N}/\text{m}^2$ とした際には,  $D_t = M_{0t} / (\mu L_t W_t) = 1.87\text{m}$ となる。

#### 【検討結果】

断層名	Mw	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	すべり量 D(m)	地震モーメント $M_0(\text{N} \cdot \text{m})$	津波の伝播距離 $\Delta$ (km)	推定津波高 $H_t(\text{m})$
敷地東方沖断層	6.5	14.5	9.7	1.21	$5.91 \times 10^{18}$	20	0.4
恵山沖断層	7.3	47	15.0	3.91	$9.64 \times 10^{19}$	97	0.6

## I . 地震に起因する津波の評価

### 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

---

5. 1 水位上昇側	.....	70
5. 2 水位下降側	.....	71

## I. 地震に起因する津波の評価 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

## 5.1 水位上昇側

- 各評価位置における最大水位上昇量決定ケースは、「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震(特性化モデル)」に起因する津波と評価した。
- 地震以外に起因する津波との組合せの評価は、上記決定ケースを対象に行う。

区分	波源モデル		最大水位上昇量(m)		
			敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
地震に 起因する津波	十勝沖・根室 沖から三陸沖 北部の連動 型地震	特性化モデル	10.95 (海溝側強調モデル)	8.83 (すべり量割増モデル)	8.73 (すべり量割増モデル)
		既往津波の組合せモデル	9.18	7.19	6.79
	津波地震		7.82	6.09	5.96
	プレート間地震		4.72	4.70	4.08
	正断層型の地震		7.48	4.88	4.84
海域活断層(恵山沖断層)		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)			

→ 平成28年4月  
28日の審査  
会合で説明  
済み。

→ 本資料での  
検討結果。

## I. 地震に起因する津波の評価 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

## 5.2 水位下降側

- 取水口前面位置における最大水位下降量決定ケースは、「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震(特性化モデル)」に起因する津波と評価した。
- 地震以外に起因する津波との組合せの評価は、上記決定ケースを対象に行う。

区分	波源モデル		最大水位下降量(m)
			取水口前面
地震に 起因する津波	十勝沖・根室 沖から三陸沖 北部の連動 型地震	特性化モデル	-5.27 (すべり量割増モデル)
		既往津波の組合せモデル	-5.07
	津波地震		-4.55
	プレート間地震		-4.87
	正断層型の地震		-4.02
海域活断層(恵山沖断層)		-0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)	

→ 平成28年4月  
28日の審査  
会合で説明  
済み。

→ 本資料での  
検討結果。



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価

### 1. 地すべり及び斜面崩壊

---

1. 1 既往津波に関する文献調査 .....	73
1. 2 陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価 .....	74
1. 3 海底地すべりに起因する津波の評価 .....	75

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊

### 1.1 既往津波に関する文献調査

---

- ・ 文献調査の結果、敷地周辺において陸上及び海底の地すべり、並びに斜面崩壊による既往津波の記録はない。

#### 【調査した文献】

- ① 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- ② 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会
- ③ 気象庁(1951~2010):地震月報ほか
- ④ 国立天文台編(2013):理科年表, 平成25年, 丸善

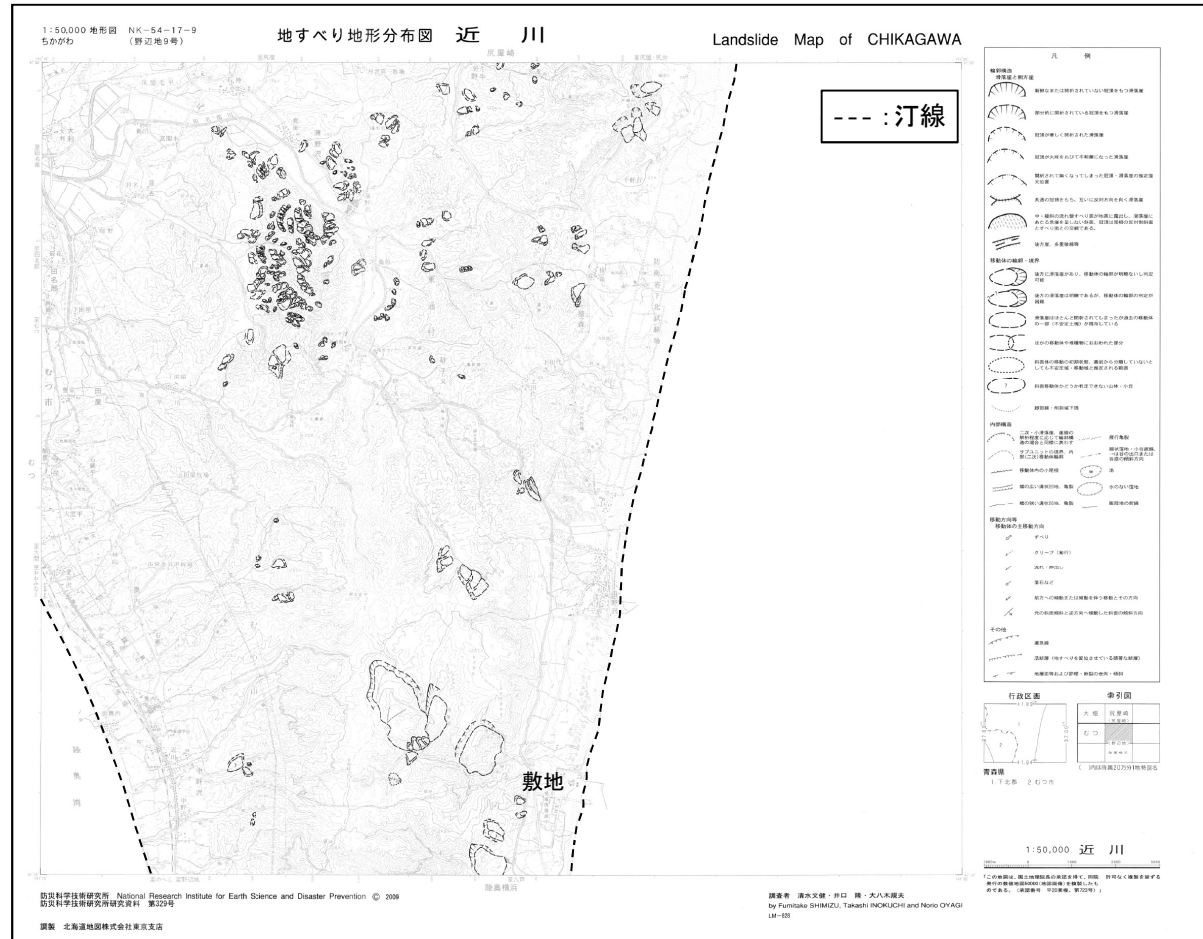
II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊

1.2 陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

- 防災科学技術研究所(2009)の地すべり地形分布図データベースによれば、敷地周辺陸域の地形について、海岸付近における大規模な地すべり地形は抽出されない。

【函館】	大間 OMA LM-826	【尻屋崎】		
	佐井 SAI LM-827	大畑 OHATA LM-825	尻屋崎 SHIRIYAZAKI LM-824	
【野辺地】		むつ MUTSU LM-832	近川 CHIKAGAWA LM-828	
			陸奥横浜 MUTSUYOKOHAMA LM-829	
	野辺地 NOHEJI LM-833	平沼 HIRANUMA LM-830		
【八戸】	七戸 SHICHINOHE LM-834	三沢 MISAWA LM-831		
	十和田 TOWADA LM-844	八戸 HACHINOHE LM-840	八戸東部 HACHINOHETOBU (地すべり地形なし)	
	田子 TAKKO LM-845	三戸 SANNOHE LM-841	階上岳 HASHIKAMIDAKE LM-837	
	浄法寺 JOBOJI LM-846	一戸 ICHINOHE LM-842	陸中大野 RIKUCHUONO LM-838	久慈 KUJI LM-835
	荒屋 ARAYA LM-847	葛巻 KUZUMAKI LM-843	陸中間 RIKUHUSEKI LM-839	陸中野田 RIKUCHUNODA LM-836

防災科学技術研究所(2009)  
(一部加筆)



発電所敷地周辺※(防災科学技術研究所(2009)に一部加筆)

※: 近川以外のデータについては、(原子力発電所)資料2-2「2. 発電所敷地周辺陸域における地すべり地形」に記載。

以上から、陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の影響は極めて小さいと考えられる。



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価

### 1. 3 海底地すべりに起因する津波の評価

---

1. 3. 1	検討フロー	76
1. 3. 2	広域的概査	77
1. 3. 3	局所的精査	78
1. 3. 4	海底地すべり地形判読調査	84
1. 3. 5	津波波源モデルの設定	85
1. 3. 6	津波予測計算の検討フロー	86
1. 3. 7	二層流モデルによる津波予測計算	87
1. 3. 8	Kinematic landslideモデルによる津波予測計算	89
1. 3. 9	まとめ	94

## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.1 検討フロー

- 以下の検討フローに従い、過去に敷地周辺に津波を来襲させた可能性のある海底地すべり地形の波源モデル設定に関する調査を実施した。

#### 【検討フロー】

##### ■ 広域的概査

①: 敷地前面海域における海底地すべり地形の有無

##### ■ 局所的精査

②-1: 局所的精査範囲の設定

海底地すべりの特徴, 発生場所に関する文献調査を実施するとともに, 津波伝播特性を踏まえて局所的精査範囲を設定する。

②-2: 海底地すべり地形判読調査

日本水路協会M7000シリーズ, 東京電力(株), リサイクル燃料貯蔵(株), 日本原燃(株)及び当社で実施した海底地形調査結果を用いて海底地形判読調査を実施し, 海底地すべりを示唆する明瞭な海底地すべり地形を抽出する。

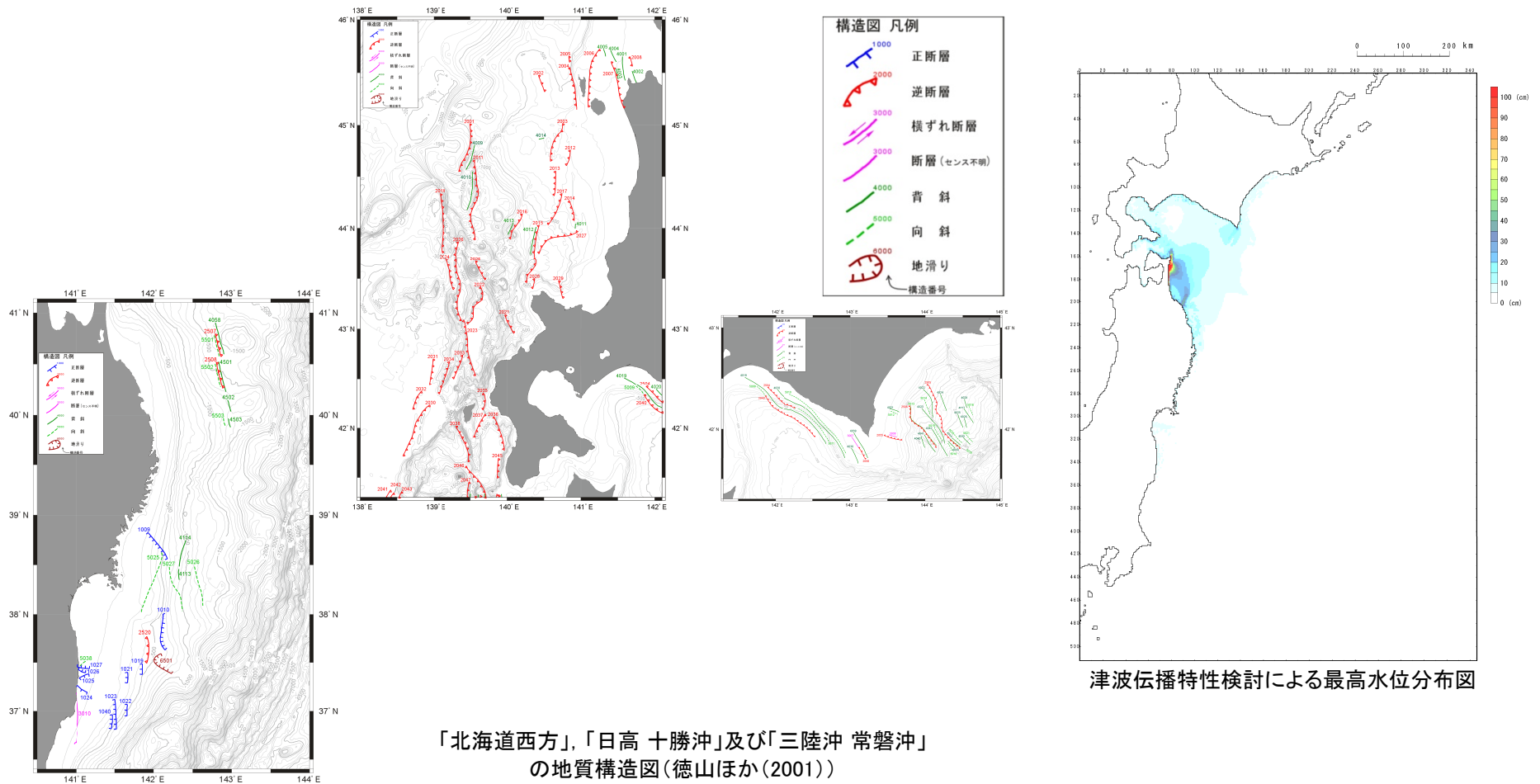
##### ■ 津波波源モデルの設定

③: 津波波源モデルの設定

- 抽出した地すべり地形のうち, 地すべり地形の崩壊規模が最も大きい海底地すべりを対象に数値シミュレーションを実施する。
- 津波波源モデルは, 地すべり地形とその周辺における海底地形(水深コンター)の関係から海底地すべり前の地形を復元して設定する。

### 1.3.2 広域的概査

- 徳山ほか(2001)による地質構造, 並びに津波伝播特性に関する検討結果を用いて, 広域的概査を実施した。  
「北海道西方」, 「日高十勝沖」及び「三陸沖 常磐沖」の地質構造, 並びに津波伝播特性検討による最高水位分布図を以下に示す。
  - 検討の結果, 敷地に影響を及ぼすと考えられる周辺海域に, 海底地すべり地形は認められない※。
- ※: 第358回審査会合(H28.4.28)における日高舟状海盆付近の海底地すべりに関するコメントについては, 今後説明予定。



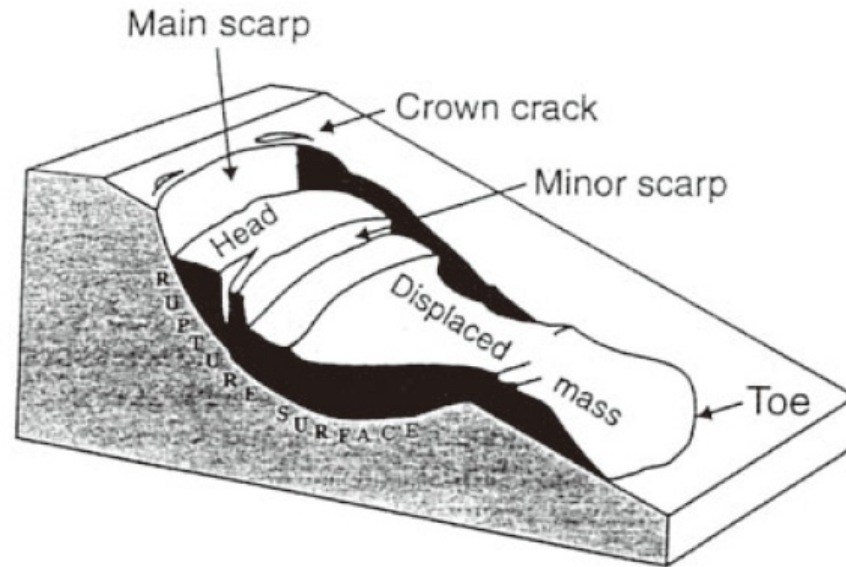
次に, 文献調査による海底地すべり地形の特徴把握及び津波伝播特性の検討結果を踏まえ局所的精査範囲を設定する。

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.3 局所的精査:文献調査①

#### ■海底地すべりの特徴

- ・ 海底の地すべりの特徴は、陸上の地すべりと比較して、その規模が大きく、移動距離も大きい。
- ・ 発生場所は、火山島や火山斜面、デルタ地形、大陸棚・大陸棚斜面上部、海溝付近の斜面で見られる。また、海底地すべりが発生する斜面は必ずしも急傾斜面であるとは限らない。



海底地すべり地形(痕跡)の模式図(池原(2005))

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.3 局所的精査:文献調査②

#### ■海底地すべりの既往事例①:緩斜面で発生した海底地すべり(Canals et al.(2004) )

- ・ フェロー諸島で認められた海底地すべりである。
- ・ 傾斜約 $1^{\circ}$  ~ $2^{\circ}$  の緩斜面, 水深800m付近で発生。規模は, 長さ10km, 幅3km。海底地すべり地形の上部は馬蹄形を呈する。
- ・ 発生要因は, 地震と考えられている。



Fig. 1. Location of the studied instabilities. Gebra Slide is located off the northern tip of the Antarctic Peninsula.

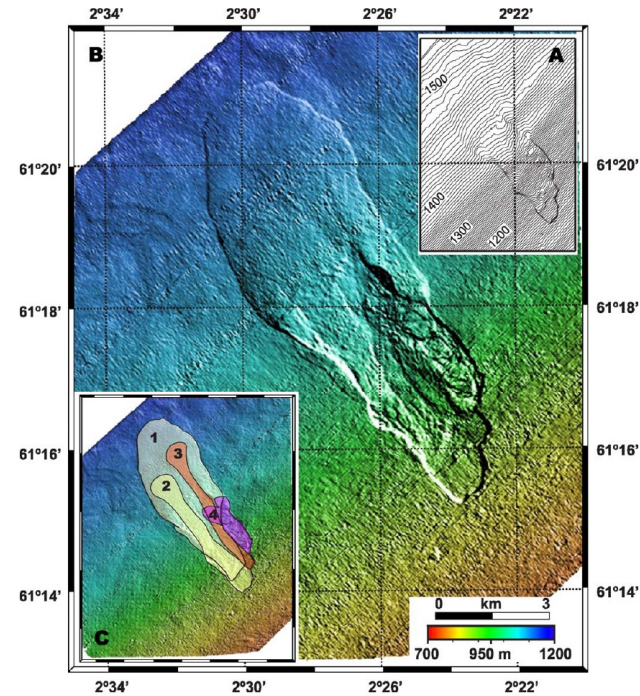


Fig. 6. (A) Detailed bathymetry of the Afen Slide extracted from commercial 3D seismic data assuming a sound speed of  $1500 \text{ m s}^{-1}$  in water. Note that the morphological expression of the main depositional lobe on the seafloor is very low (cf. Table 4). (B) Acoustic image of Afen Slide extracted from commercial 3D seismic data using the Bulk Line Shift method (for details, see Bulat, 2003 and references therein). Note the small blocky area at the foot of the last failure phase depositional unit (cf. C). (C) Interpretation of Afen Slide failure phases (1 is oldest, 4 is youngest). Image extracted from seabed picks of commercial 3D seismic data (modified from Wilson et al., 2003b).

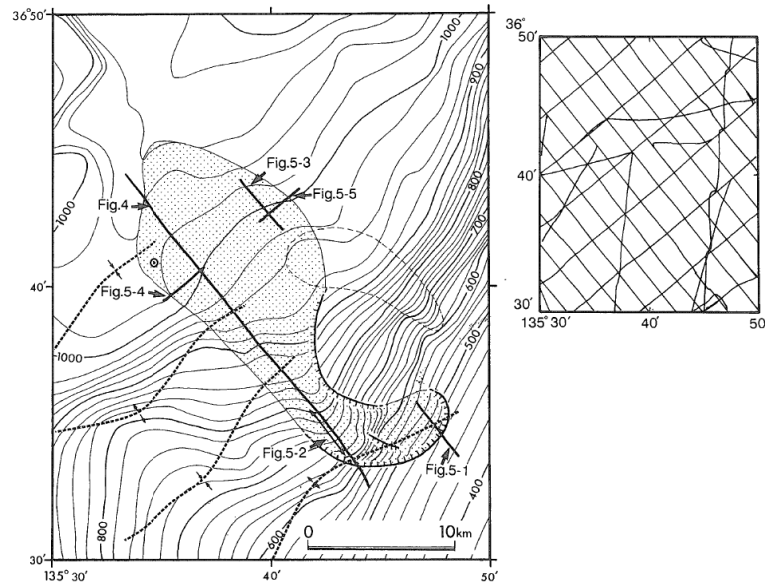


## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.3 局所的精査:文献調査③

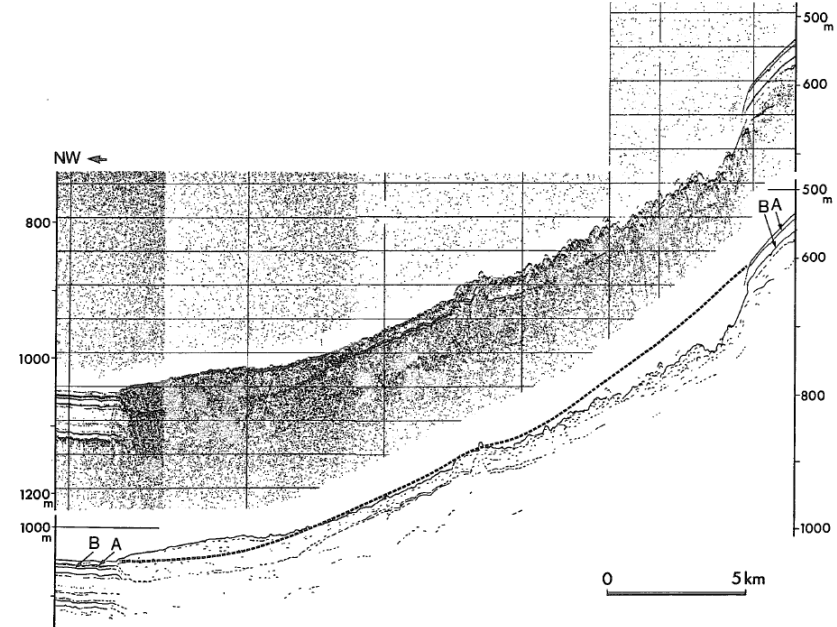
#### ■海底地すべりの既往事例②:大陸斜面で発生した海底地すべり(山本(1991))

- ・ 福井県沖ゲンタツ瀬北方で認められた海底地すべりである。
- ・ 大陸斜面上部水深460m付近で発生。幅約8kmにわたって崩壊し、水深1060mまで達する舌状のマウンドを形成した。
- ・ 発生要因は、斜面上部のより早い堆積速度と背斜による斜面傾斜角の増大もしくは海水準変動に伴う堆積場の移動が考えられている。



第2図 研究海域の海底地形、地質構造、および音波探査測線。太線は3.5kHzSBP記録の位置、◎はコア試料採取位置(St.6219 P.540:片山・池原, 1988), またハッチをかけた地域はゲンタツ瀬北方海底地すべりを示す。

Fig. 2 Map showing the bathymetric contours, geological structures and survey lines of the study area. Solid lines indicate the location of seismic profiles of Fig. 4-5. "◎" mark indicate the sampling site of the core (St.6219 P.540: Katayama and Ikehara, 1988). The pointed area indicate the submarine sediment slide area of the northern Gentatsu-se.



第4図 ゲンタツ瀬北方海底地すべりを北西-南東方向に切る3.5kHzSBP記録。破線は海底地すべりが起こらなかった場合に推定される海底面。

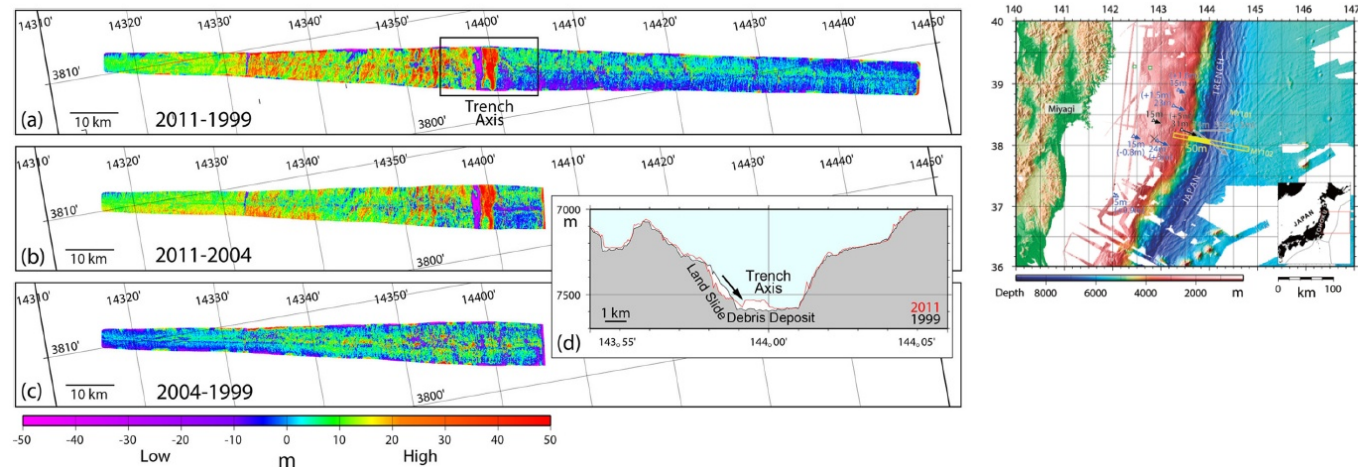
## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.3 局所的精査:文献調査④

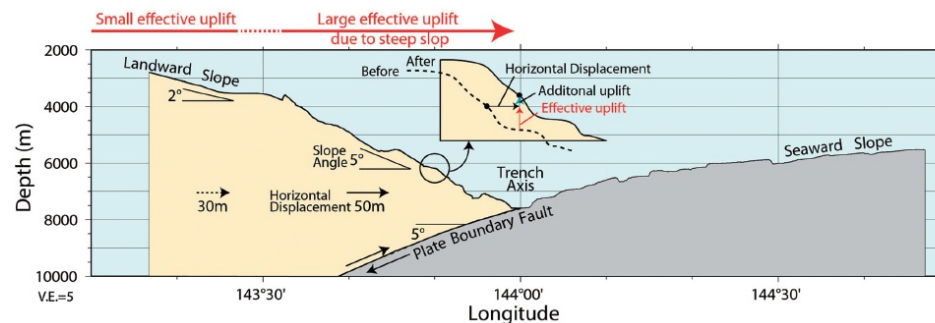
#### ■海底地すべりの既往事例③:

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い日本海溝軸付近で発生した海底地すべり(小平ほか(2012), Kawamura et al.(2012))

- 小平ほか(2012)は, 2011年東北地方太平洋沖地震前後の海底地形データの比較から, 陸側海溝斜面で海底地すべりが発生していたとしている。
- 海底地すべりは長さ1kmにわたって崩落し, 海溝底に東西幅1.5km, 高さ50mのデブリとして堆積したとしている。
- なお, 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波発生に大きく寄与したのは, 海溝軸付近で50mを超えた変位が生じたためとしている。



地形データの偏差(小平ほか(2012))

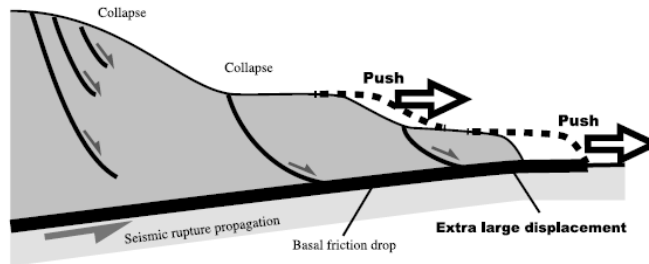


3.11地震に伴う海底変動の模式図(小平ほか(2012))

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

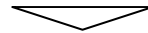
### 1.3.3 局所的精査:文献調査④

- Kawamura et al.(2012)は、2011年東北地方太平洋沖地震による大きなプレートの運動(水平移動)によって、不安定な状態が潜在していた海底地すべりが活動したことに伴い、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波発生に寄与した可能性があるとしている。

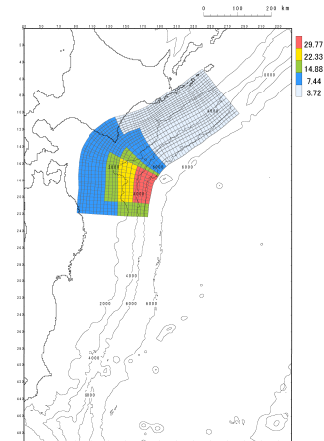


**Figure 3.** Schematic diagram of tsunamigenic slip at the toe of the trench slope. The submarine landslide was potentially under the instable conditions before the earthquake, and it was moved with rupture propagation along the thrust. The slip at the toe is accelerated by submarine landsliding. The many normal faults at the head of the submarine landslide originated as fault bifurcations.

海溝斜面先端部におけるすべりの模式図(Kawamura et al.(2012))



- ✓ 以上より、日本海溝軸付近で発生する海底地すべりは、地震に伴うプレート運動に起因して発生すると考えられる。
- ✓ 日本海溝軸付近の海底地すべりに起因する津波は、短周期の波を発生させる要因の1つと考えられることから、「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震」のうち特性化モデル(海溝側強調モデル)にて、未知なる分岐断層や海底地すべり等の存在を適切に評価へ反映している。

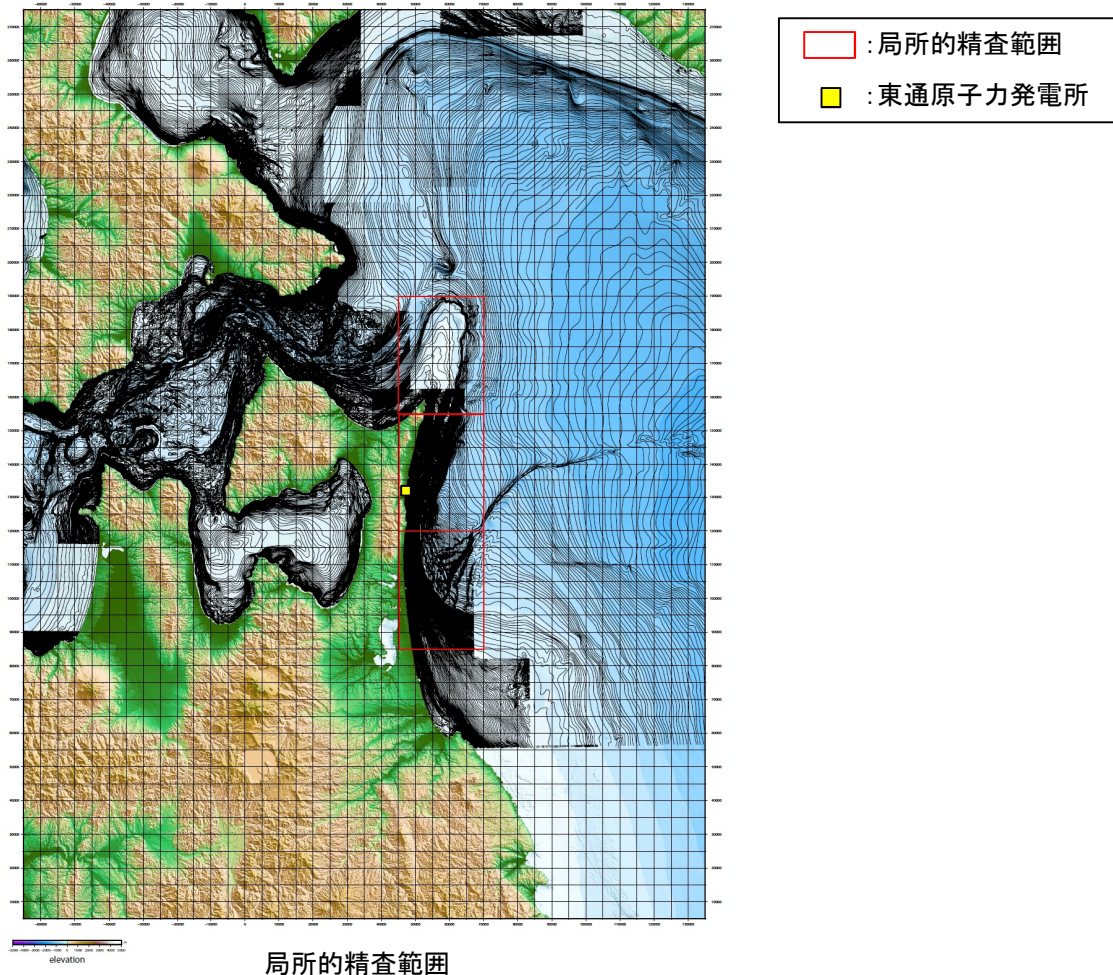


「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震」のうち特性化モデル(海溝側強調モデル)

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

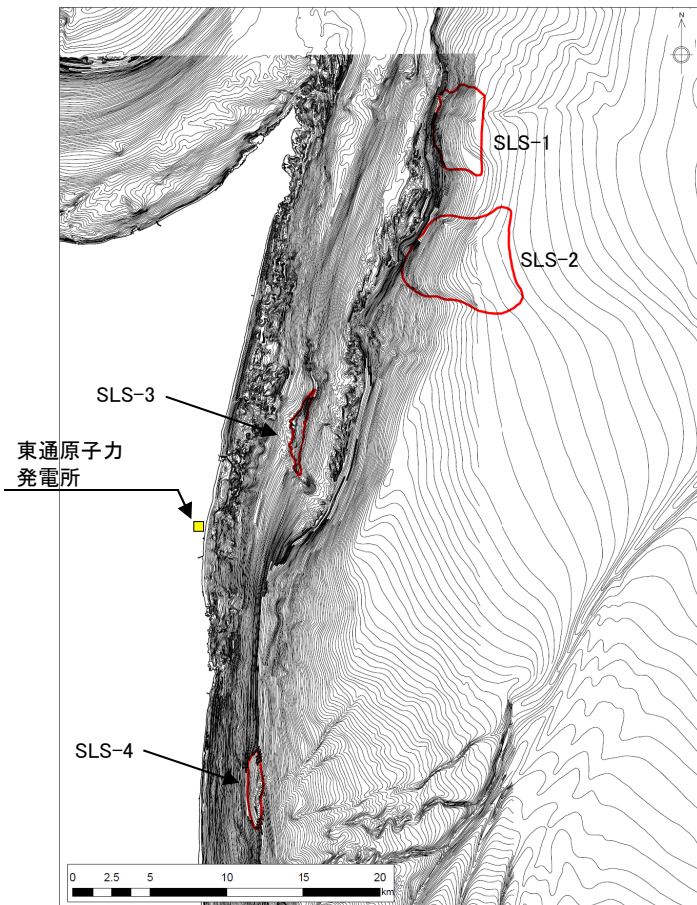
### 1.3.3 局所的精査:局所的精査範囲の設定

- 以上の検討から, 局所的精査範囲は, 下北半島太平洋側大陸棚が含まれる範囲とした。



### 1.3.4 海底地すべり地形判読調査

- 下北半島太平洋側大陸棚が含まれる範囲を対象に、日本水路協会の海底地形データM7000シリーズ、東京電力(株)、リサイクル燃料貯蔵(株)、日本原燃(株)及び当社で実施した海底地形調査結果を用いて検討を実施した結果、複数の地すべり地形が抽出された。
- 抽出された地すべり地形のうち、地すべり地形の崩壊規模が最も大きい海底地すべり(SLS-2)を対象に数値シミュレーションを実施する。

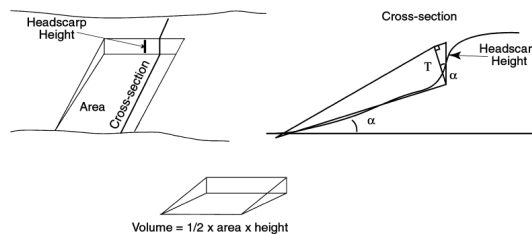


海底地すべり地形分布図

抽出された海底地すべり地形

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

※: McAdoo et al.(2000)による体積の算定方法

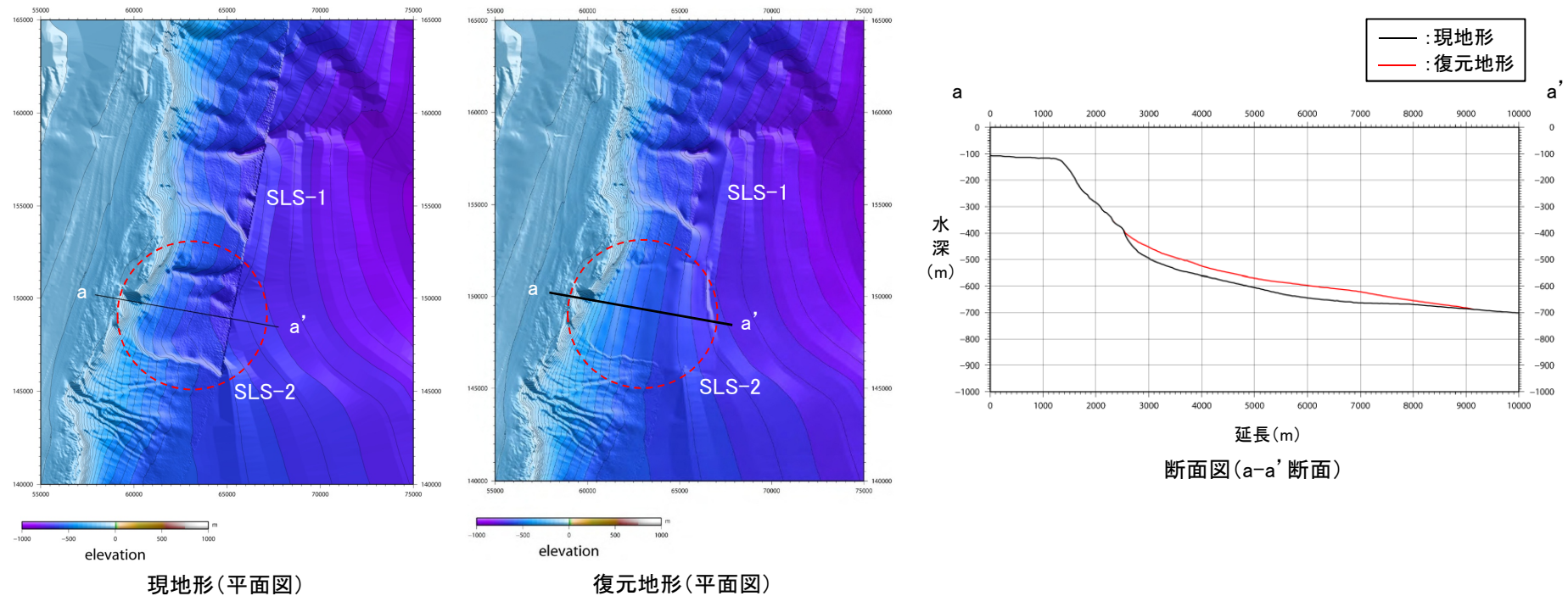


## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.5 津波波源モデルの設定

- 海底地すべり地形(SLS-2)と、同地すべり地形周辺における海底地形(水深コンター)の関係から、海底地すべり前の地形を復元し、津波波源モデルを設定した。

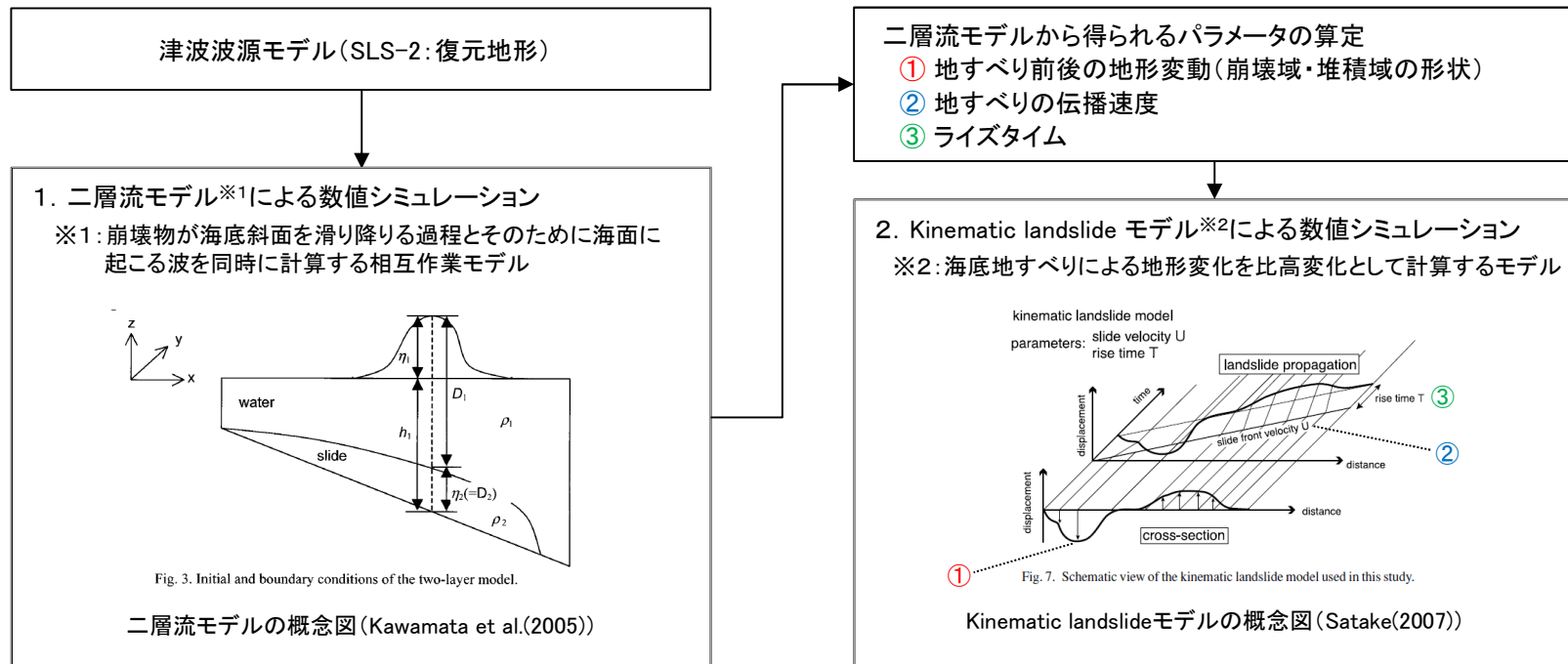
#### ■ 海底地すべり地形(SLS-2)



## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.6 津波予測計算の検討フロー

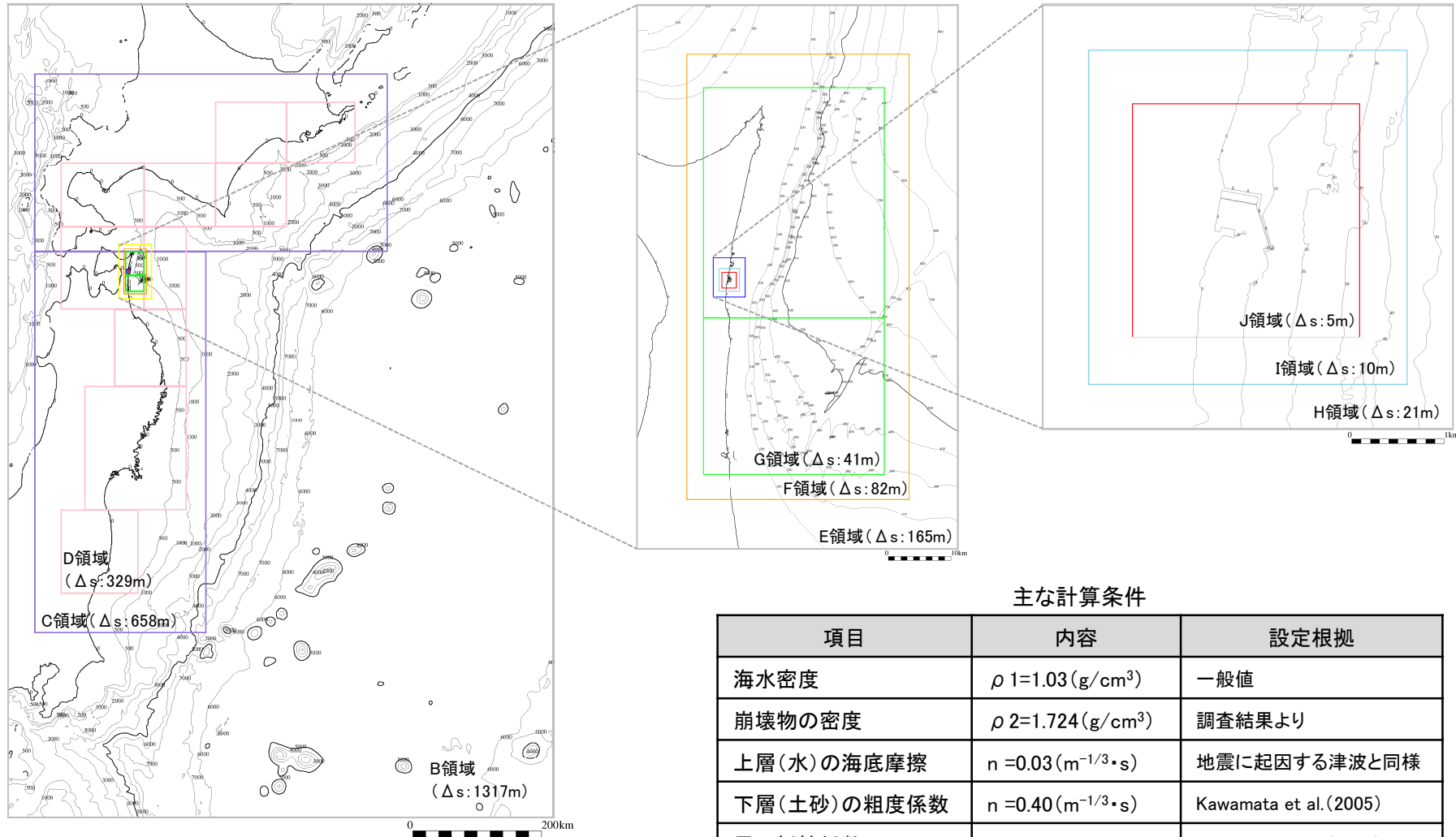
- 以下の検討フローに基づき、二層流モデル、Kinematic landslideモデルを用いて数値シミュレーションを実施した。



## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.7 二層流モデルによる津波予測計算:計算領域, 計算条件

- 海底地すべり挙動を詳細に把握するため, 以下のとおり, 地震に起因した津波の検討で用いている計算領域(空間格子間隔)を細分化した。



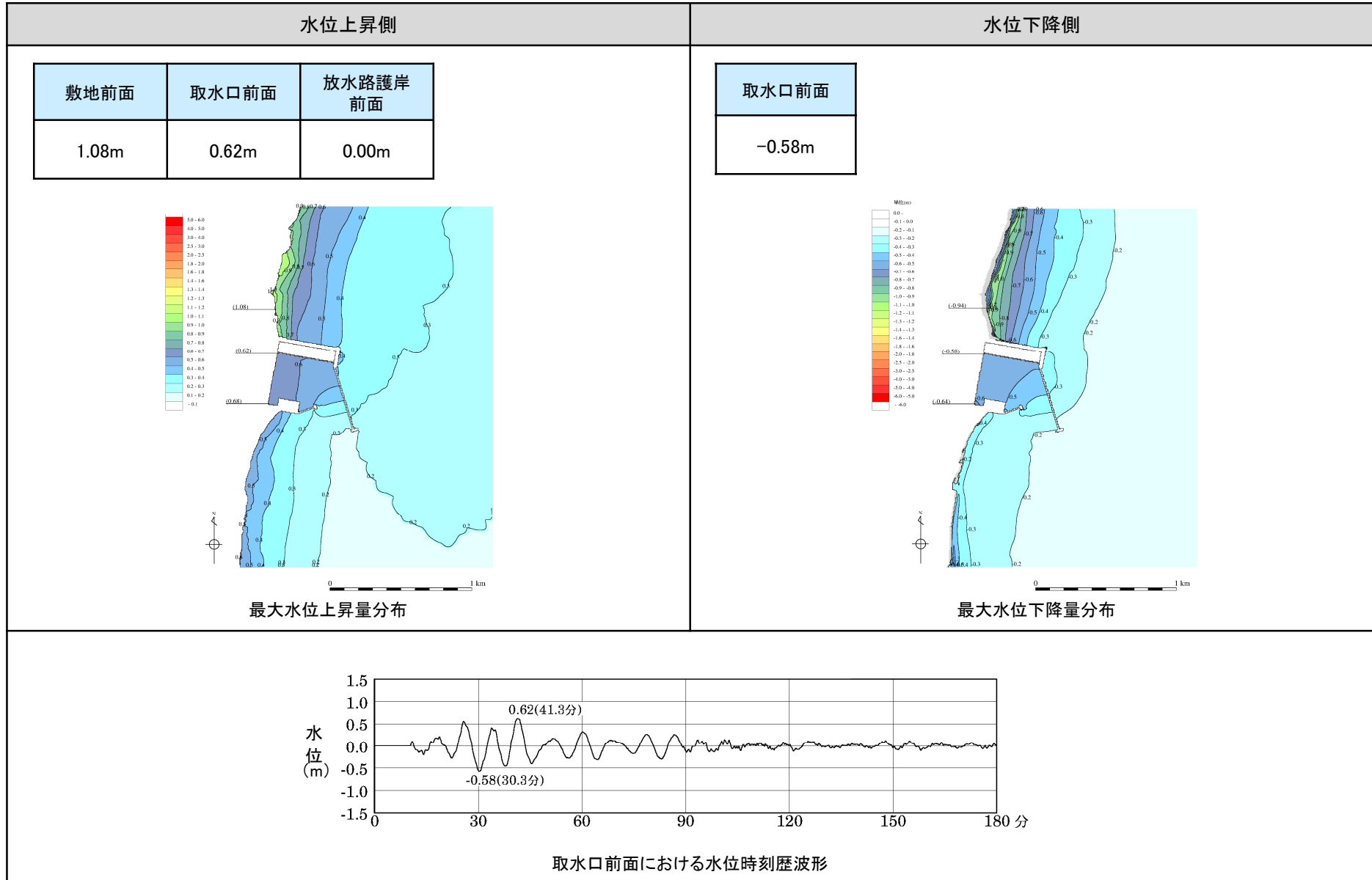
主な計算条件

項目	内容	設定根拠
海水密度	$\rho 1=1.03 (\text{g}/\text{cm}^3)$	一般値
崩壊物の密度	$\rho 2=1.724 (\text{g}/\text{cm}^3)$	調査結果より
上層(水)の海底摩擦	$n = 0.03 (\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s})$	地震に起因する津波と同様
下層(土砂)の粗度係数	$n = 0.40 (\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s})$	Kawamata et al. (2005)
界面抵抗係数	$f_{\text{int}}=0.0$	Kawamata et al. (2005)
水平渦動粘性係数	考慮しない	地震に起因する津波と同様



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.7 二層流モデルによる津波予測計算:計算結果



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.8 Kinematic landslideモデルによる津波予測計算:基本方針, 計算領域

#### ■基本方針

- ・ 二層流モデルから得られる地形変化(=地すべりの挙動)に基づき, 解析に必要なパラメータを設定する。
- ・ なお, 設定値は, 保守的となるように設定する。

#### ■計算領域

- ・ Kinematic landslideモデルは, 海底地すべりによる地形変化(比高変化)を初期海面変動として計算するモデルであることから, 計算領域(空間格子間隔)<sup>※1</sup>は, 地震に起因する津波と同様とした。

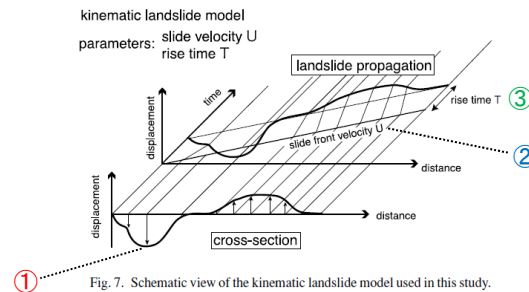
※1:再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は, (原子力発電所)資料2-2「1. 津波解析条件」に記載。

#### 検討フロー

- 二層流モデルから得られるパラメータの算定
- ① 地すべり前後の地形変動(崩壊域・堆積域の形状)
  - ② 地すべりの伝播速度
  - ③ ライズタイム

#### 2. Kinematic landslide モデル<sup>※2</sup>による数値シミュレーション

※2:海底地すべりによる地形変化を比高変化として計算するモデル

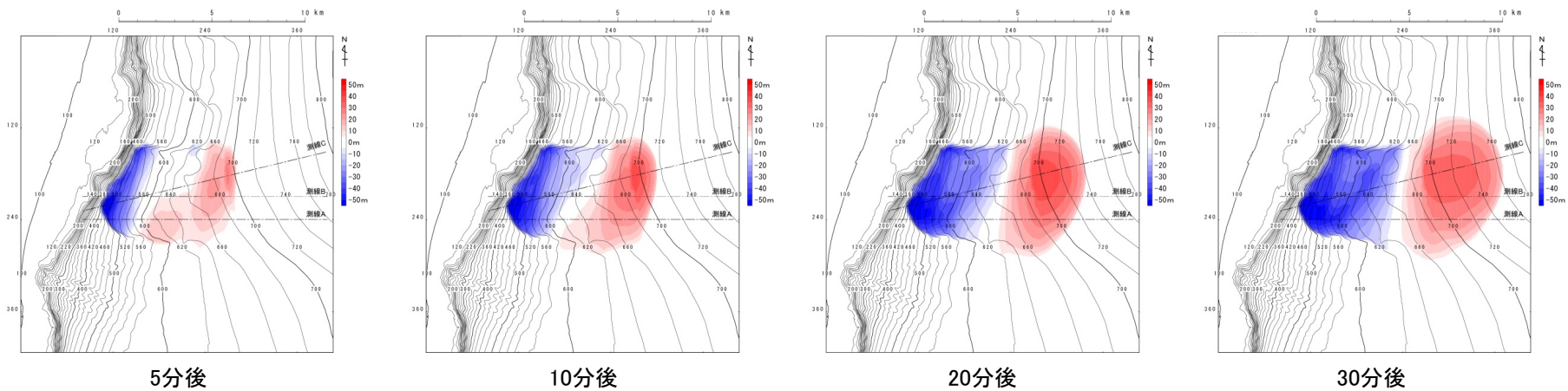


Kinematic landslideモデルの概念図(Satake(2007))

1.3.8 Kinematic landslideモデルによる津波予測計算:

地すべり前後の地形変動(崩壊域・堆積域の形状)の設定

- 二層流モデルの地形変化量分布から、地すべり発生後20分～30分で崩壊域が形成される。
- 地すべりの伝播速度を設定する上で保守的になるように(詳細は次頁に記載)、地すべり発生20分後の地形変化量分布を「地すべり前後の地形変動(崩壊域・堆積域の形状)」とした。

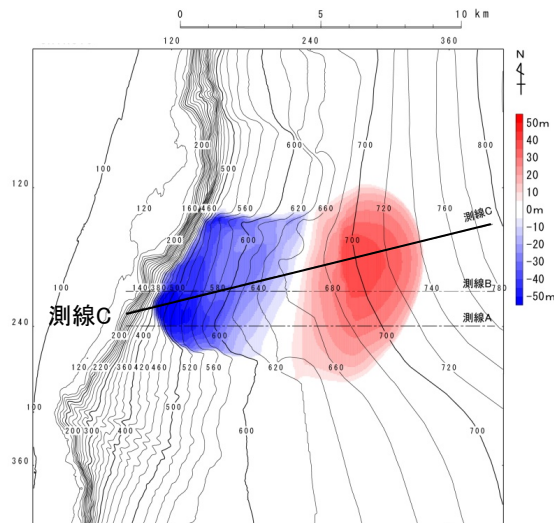


二層流モデルによる地形変化量分布  
(青:崩壊域, 赤:堆積域)

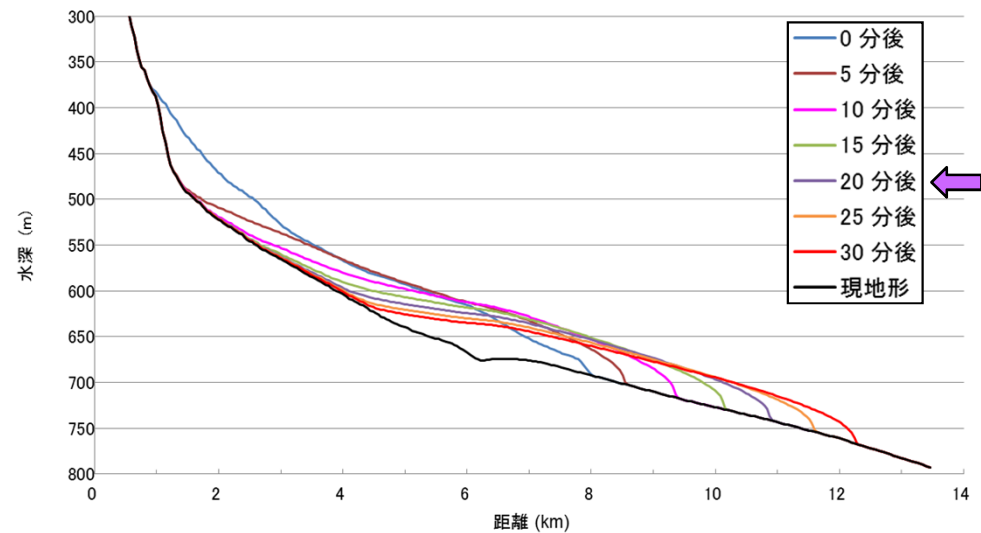
## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.8 Kinematic landslideモデルによる津波予測計算:地すべりの伝播速度の設定

- 地すべり発生20分後の地形変動フロント位置と伝播時間から算定される伝播速度に保守性を考慮して、解析上の地すべりの伝播速度を10(m/s)に設定した。



地すべり発生20分後の地形変化量分布



地形断面の変化図(測線C, 0~30分後)

地すべりの伝播速度の設定

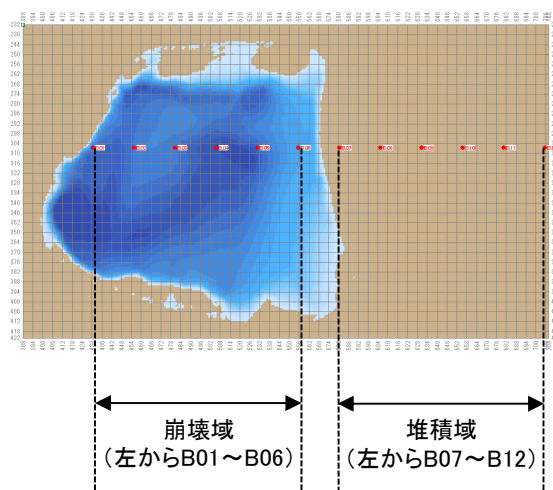
	20分後	(参考)30分後
変動伝播距離(km)	9.73	11.09
伝播時間(s)	1200	1800
地すべりの伝播速度(m/s)	8.1	6.2
解析上の地すべりの伝播速度(m/s)(設定値)	10	

## II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

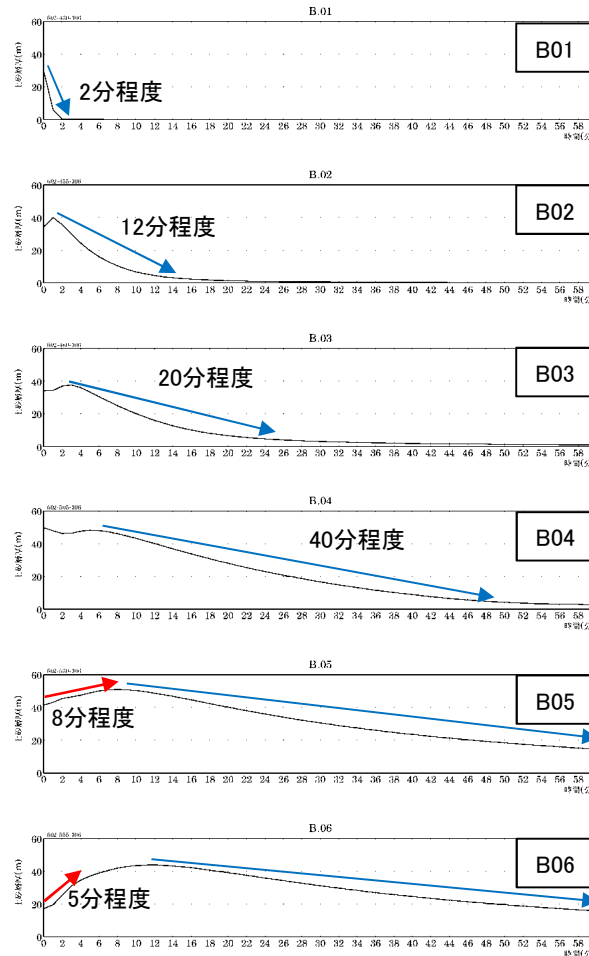
### 1.3.8 Kinematic landslideモデルによる津波予測計算:ライズタイムの設定

- 地形の時系列変化から、ライズタイムを設定した。
- 崩壊域では、上流端部(B01地点)では2分程度で変動終了するが、それ以降では10分以上変動が継続する。一方、堆積域では、おおむね2分で立ち上がり5～10分程度でピークに達する。
- 以上から、ライズタイムは保守的に2分(一定)とした。

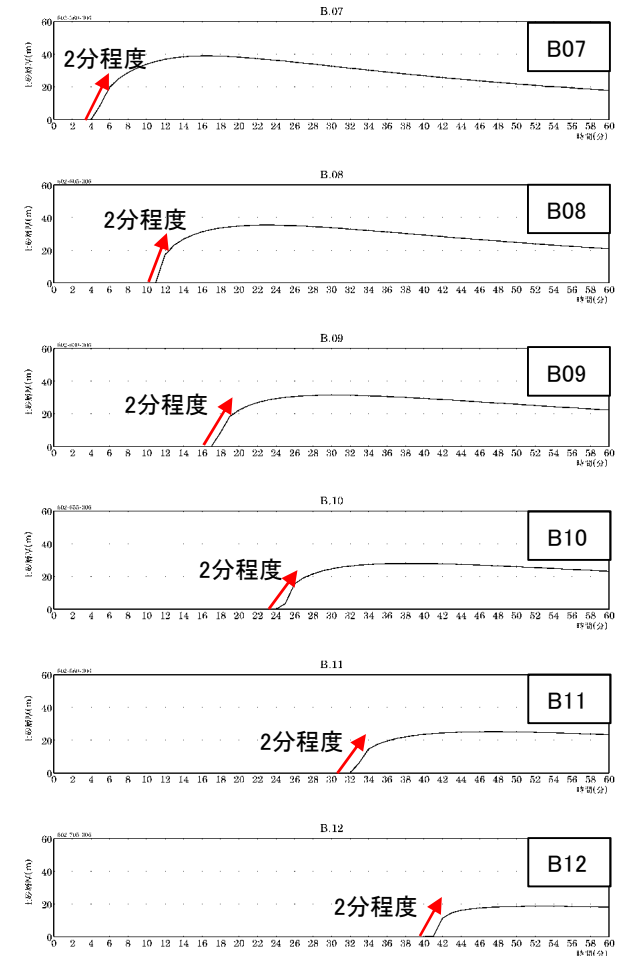
【地形の時系列変化の抽出点】



【崩壊域: B01～B06】

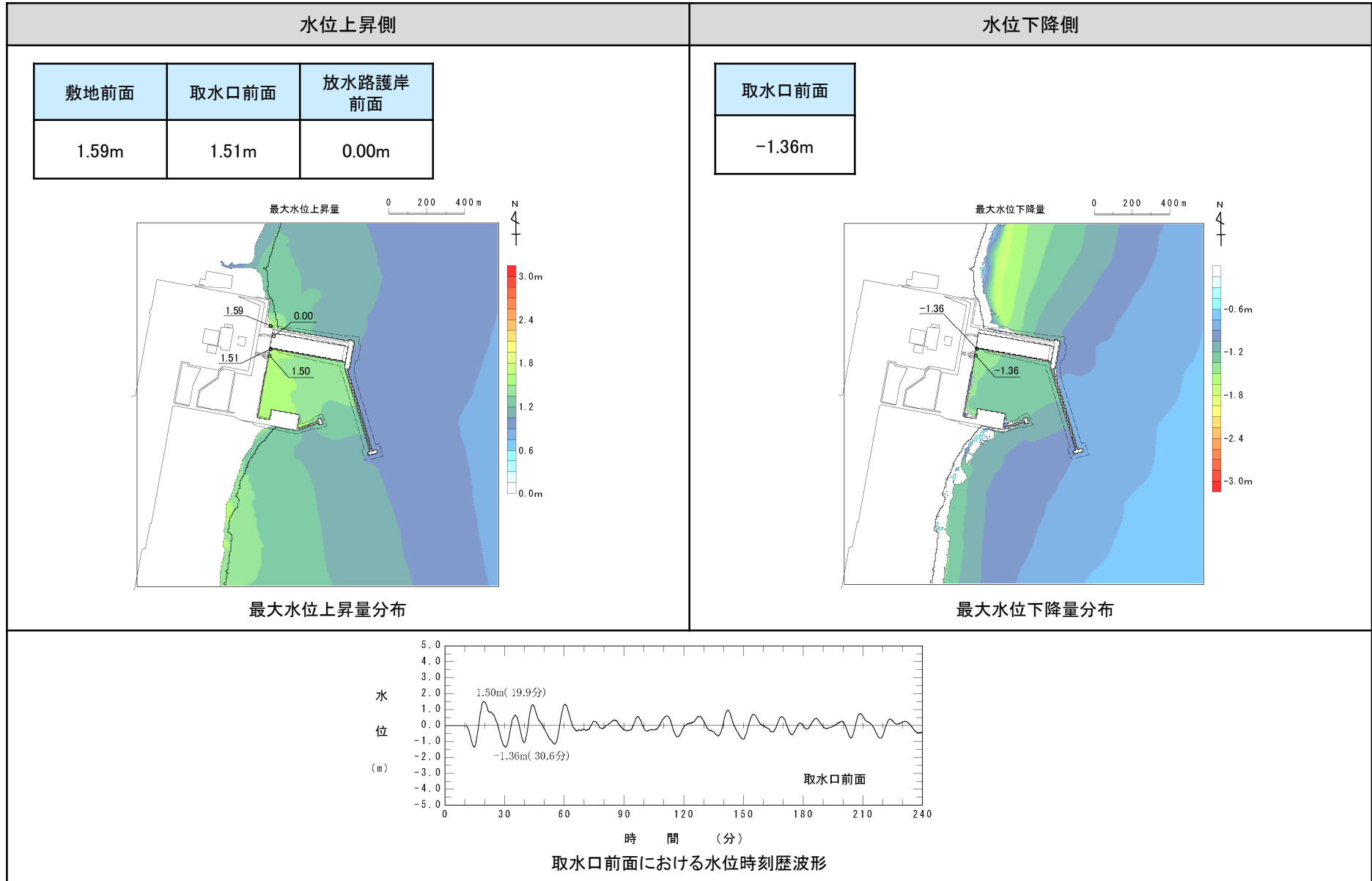


【堆積域: B07～B12】



地形の時系列変化

Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価  
 1.3.8 Kinematic landslideモデルによる津波予測計算: 計算結果



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 地すべり及び斜面崩壊 1.3 海底地すべりに起因する津波の評価

### 1.3.9 まとめ

- 各モデルによる最大水位上昇量, 最大水位下降量を以下に示す。

#### 【水位上昇側】

海底地すべり	モデル	最大水位上昇量(m)		
		敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
SLS-2	二層流モデル	1.08	0.62	0.00
	Kinematic landslideモデル	1.59	1.51	0.00

#### 【水位下降側】

海底地すべり	モデル	最大水位下降量(m)
		取水口前面
SLS-2	二層流モデル	-0.58
	Kinematic landslideモデル	-1.36

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価

### 2. 火山現象

---

2. 1	既往津波に関する文献調査	96
2. 2	海域の火山	97
2. 3	陸域の火山	98
2. 4	津波予測計算結果	100



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

### 2.1 既往津波に関する文献調査

---

- ・ 文献調査の結果、敷地周辺において火山現象による既往津波の記録はない。

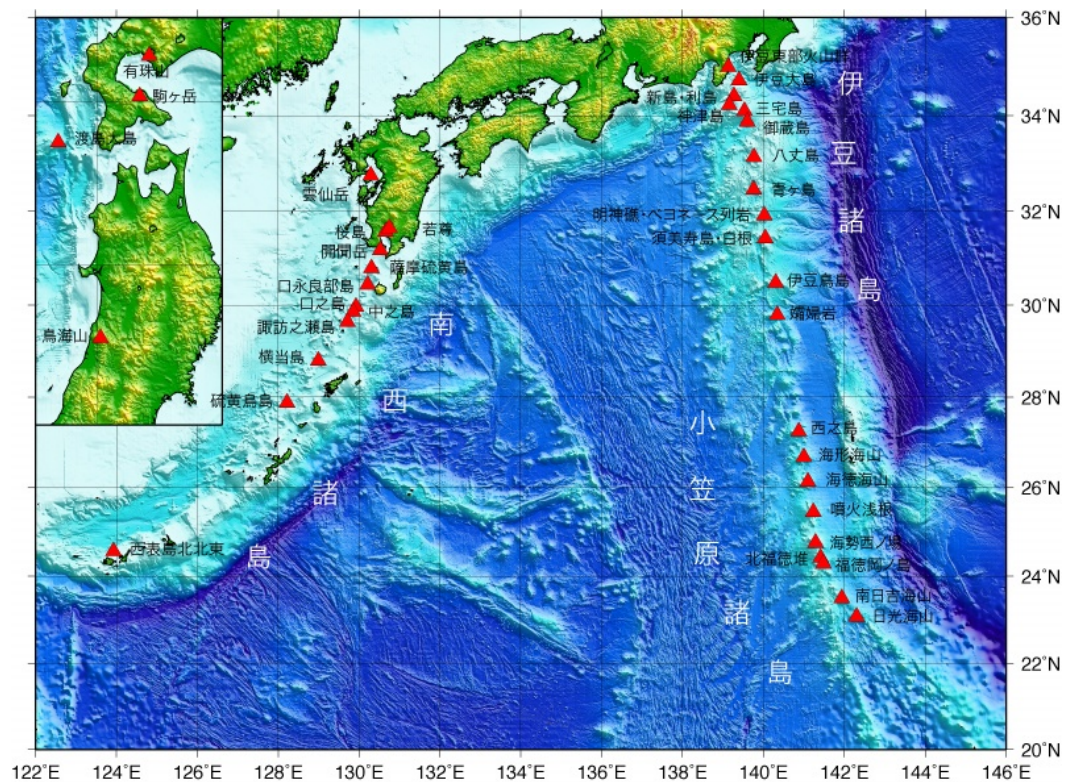
#### 【調査した文献】

- ① 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- ② 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会
- ③ 気象庁(1951~2010):地震月報ほか
- ④ 国立天文台編(2013):理科年表, 平成25年, 丸善

## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

### 2.2 海域の火山

- 海上保安庁の海域火山データベースから、敷地前面海域に津波を発生させる海底火山の存在は認められない。

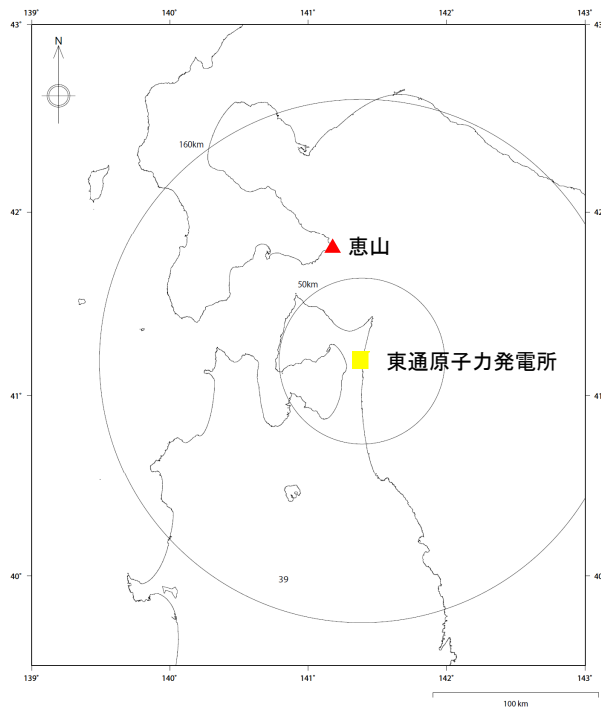


海域の火山  
(海上保安庁(2013))

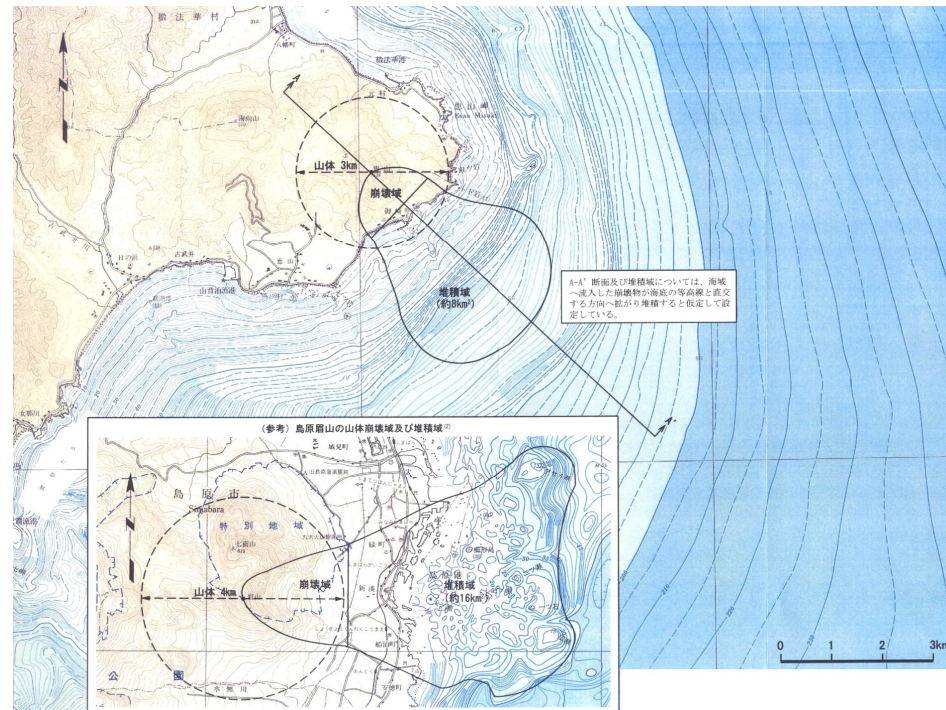
## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

### 2.3 陸域の火山: 対象火山の選定

- 将来の活動可能性がある火山のうち、敷地に影響を及ぼした可能性がある恵山を対象として、同火山の山体崩壊に伴う津波を数値シミュレーションにより評価した。
- 山体崩壊量及び海域への流入量の設定は、電源開発株式会社(2008)において用いられた下記の推定山体崩壊域及び堆積域に基づき設定した。



恵山の位置



恵山の推定山体崩壊域及び堆積域(平面図)

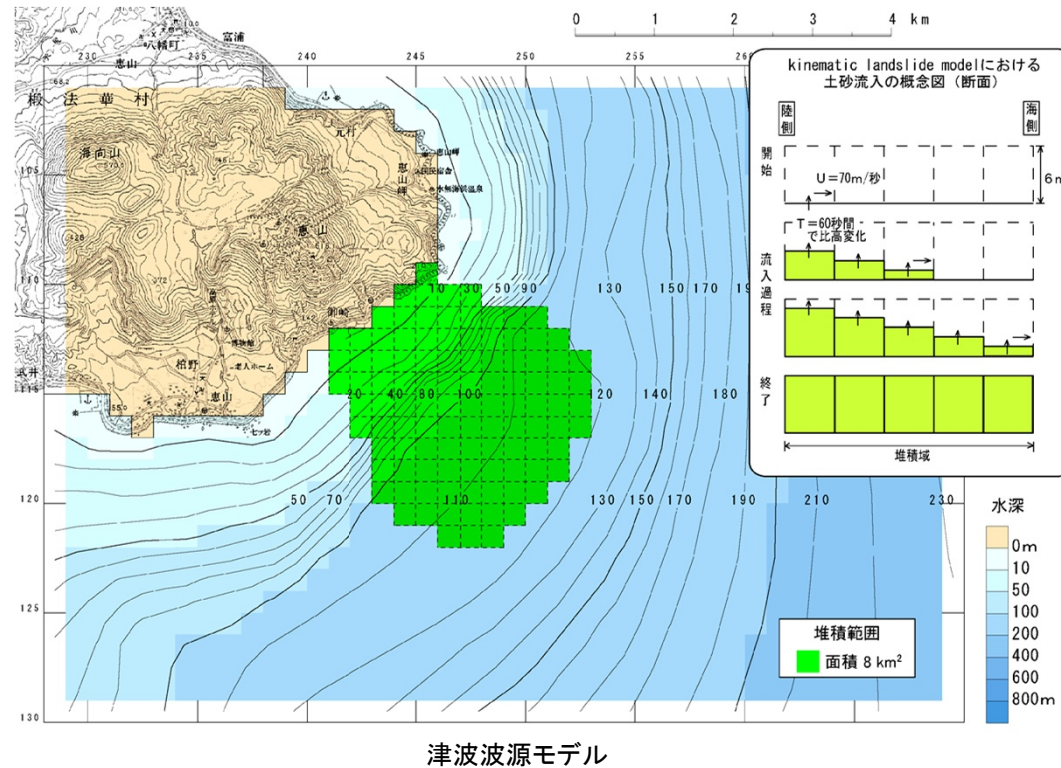
#### 主な諸元

項目	内容	設定根拠
崩壊量 (海域への流入量)	0.05(km <sup>3</sup> )	安全側を考慮し、既往最大の約2万年前の崩壊量と同規模の崩壊物が、海域に流入するものと想定。
堆積物の分布範囲	8(km <sup>2</sup> )	島原眉山(長崎県)が1792年に地震により崩壊し津波を発生させた事例を参考に、恵山の山体の規模を考慮した上で設定。

## II. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

### 2.3 陸域の火山: 数値シミュレーションの手法及び計算条件

- ・ 数値シミュレーションは、電源開発株式会社(2008)と同様に、Kinematic landslideモデルを用いて実施した。
- ・ 津波波源モデル, 各パラメータについても、電源開発株式会社(2008)において用いられた下記の設定値を用いた。



#### 各パラメータ設定

項目	内容	設定根拠
堆積域の平均堆積厚さ	6(m)	崩壊物の堆積域に相当する海底面に、崩壊物の平均堆積厚さに相当する比高変化を設定。
崩壊土砂速度	70(m/s)	佐竹・加藤(2002)による1741年渡島大島の山体崩壊による津波検討結果(崩壊土砂速度(67(m/s)))を参考に設定。
比高変化継続時間 (ライズタイム)	60(s)	佐竹・加藤(2002)による1741年渡島大島の山体崩壊による津波検討結果を参考に、恵山の海域への崩壊物流入量(0.05(km³))が <sup>8)</sup> 、1741年渡島大島の海域への崩壊物流入量(2.5±0.3(km³))より小さいことを考慮した上で設定。

Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

2.4 津波予測計算結果①

- 最大水位上昇量, 最大水位下降量ともに約1mであり, 地震に起因する津波に伴う津波高と比較して十分小さいことを確認した。

【水位上昇側】

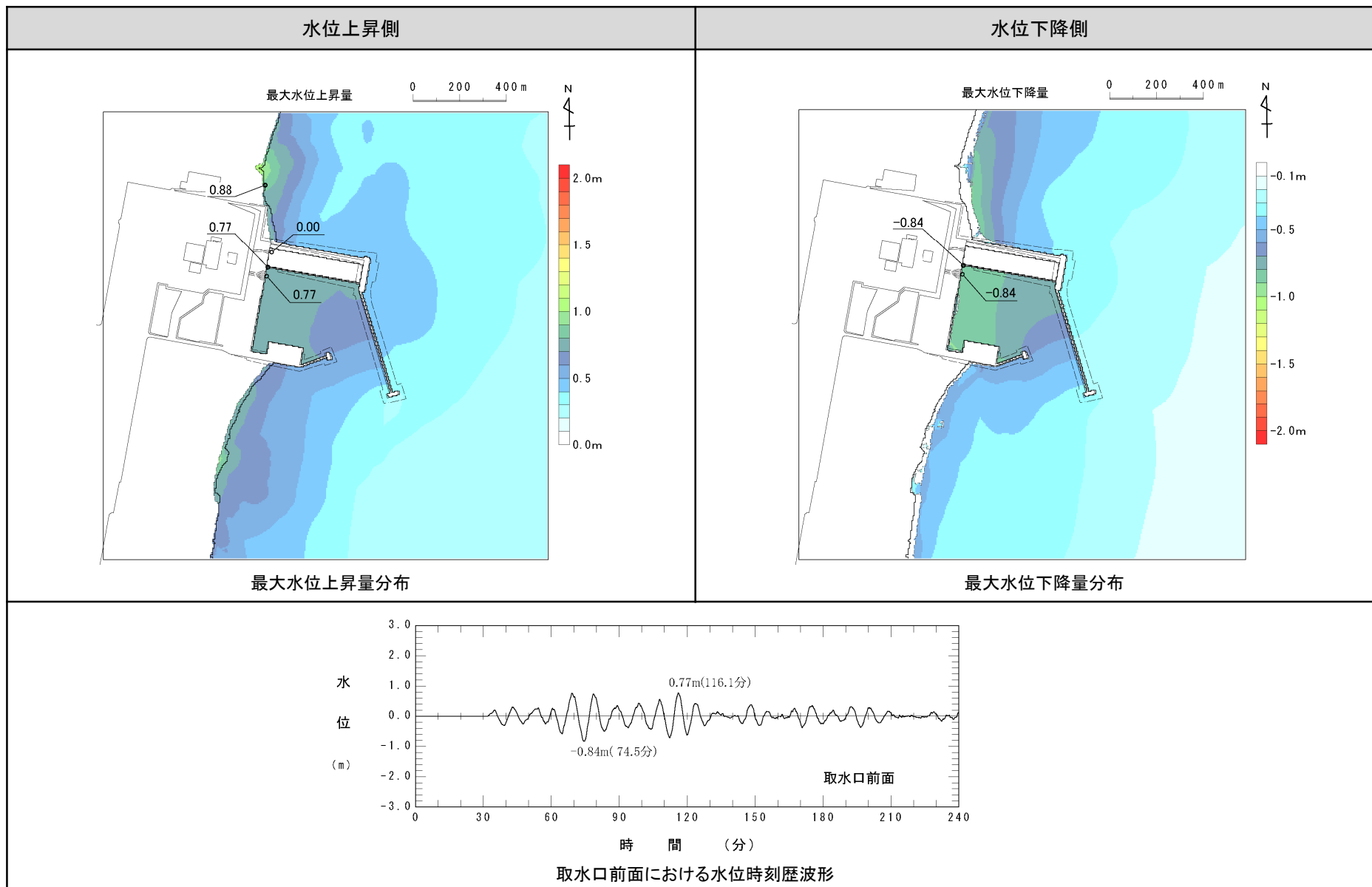
対象火山	最大水位上昇量(m)		
	敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
恵山	0.88	0.77	0.00

【水位下降側】

対象火山	最大水位下降量(m)
	取水口前面
恵山	-0.84

II. 地震以外に起因する津波の評価 2. 火山現象

2.4 津波予測計算結果②



## Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価

### 3. 地震以外に起因する津波の評価結果のまとめ

---

3. 1 水位上昇側	.....	103
3. 2 水位下降側	.....	104

## II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 地震以外に起因する津波の評価

### 3.1 水位上昇側

- 各評価位置における最大水位上昇量決定ケースは、「海底地すべり(Kinematic landslideモデル)」に起因する津波と評価した。
- 地震に起因する津波との組合せの評価は、津波発生要因の関連性を踏まえ、上記決定ケースを対象に行う。

区分	波源モデル		最大水位上昇量(m)		
			敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
地すべり等に 起因する津波	陸上の地すべり及び斜面崩壊		陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の影響は極めて小さい		
	海底地すべり	二層流モデル	1.08	0.62	0.00
		Kinematic landslideモデル	1.59	1.51	0.00
火山現象に 起因する津波	恵山 (Kinematic landslideモデル)		0.88	0.77	0.00



## II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 地震以外に起因する津波の評価

### 3.2 水位下降側

- ・ 取水口前面位置における最大水位下降量決定ケースは、「海底地すべり(Kinematic landslideモデル)」に起因する津波と評価した。
- ・ 地震に起因する津波との組合せの評価は、津波発生要因の関連性を踏まえ、上記決定ケースを対象に行う。

区分	波源モデル		最大水位下降量(m)
			取水口前面
地すべり等に 起因する津波	陸上の地すべり及び斜面崩壊		陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の影響は極めて小さい
	海底地すべり	二層流モデル	-0.58
		Kinematic landslideモデル	-1.36
火山現象に 起因する津波	恵山 (Kinematic landslideモデル)		-0.84

### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

---

1. 基本方針	106
2. 組合せ時間の設定	107
3. 津波予測計算結果	111

### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

#### 1. 基本方針

- 津波発生要因の関連性を踏まえ、地震に起因する津波と海底地すべりに起因する津波を組み合わせる。検討対象とする各津波は、各評価位置の最大水位上昇量・最大水位下降量決定ケースとする。
- 海底地すべりは組み合わせる各地震(地震動)により発生するものとし、海底地すべりが発生する時間範囲を考慮のうえ、発電所の津波水位が最も高く(もしくは最も低く)なる海底地すべりが発生する時間(以下、「組合せ時間( $T_{max}$ )」という。)を設定して評価を行う(詳細は次頁以降に記載)。

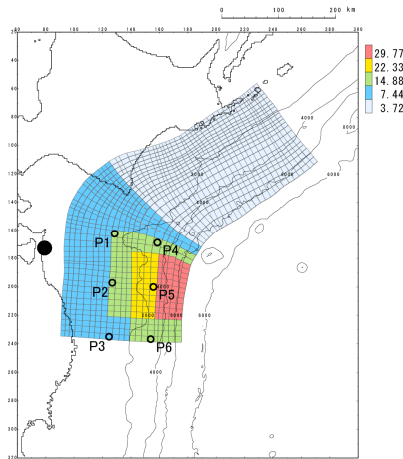
#### ■地震に起因する津波

##### 最大水位上昇量決定ケース

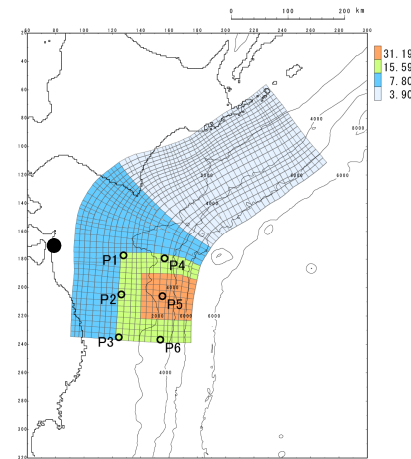
評価位置	地震	決定ケース
敷地前面	連動型地震	海溝側強調モデル, 位置:南へ約50km 破壊開始点:P6
取水口前面 放水路護岸前面	連動型地震	すべり量割増モデル, 位置:南へ約100km 破壊開始点:P6

##### 最大水位下降量決定ケース

評価位置	地震	決定ケース
取水口前面	連動型地震	すべり量割増モデル, 位置:南へ約100km 破壊開始点:P4



連動型地震:海溝側強調モデル  
(位置:南へ約50km)

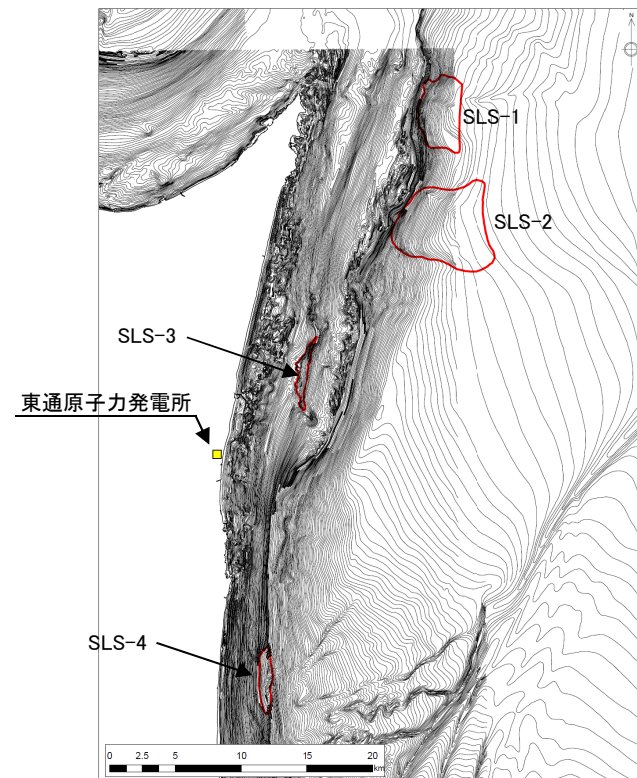


連動型地震:すべり量割増モデル  
(位置:南へ約100km移動)

#### ■海底地すべりに起因する津波

##### 最大水位上昇量・下降量決定ケース

海底地すべり	モデル
SLS-2	Kinematic landslideモデル



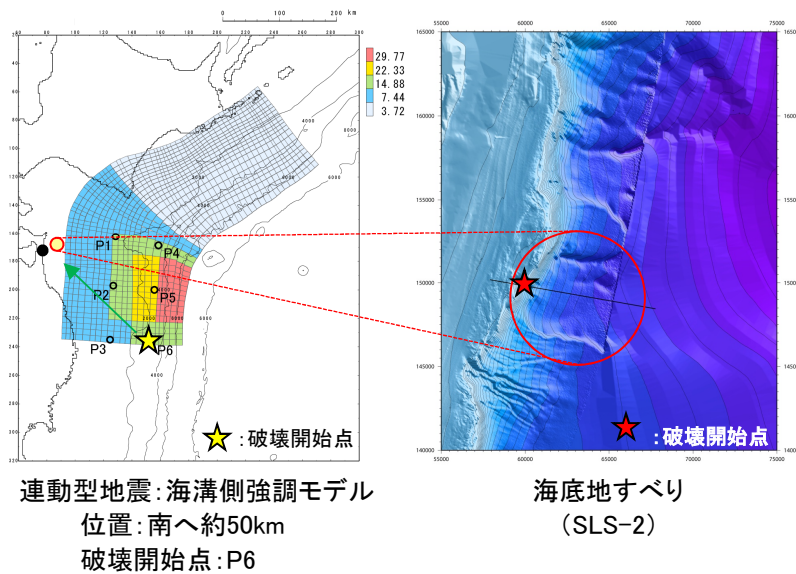
海底地すべり地形分布図

### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

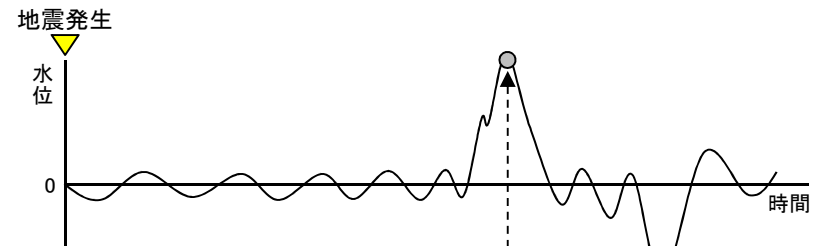
## 2. 組合せ時間の設定: 設定方針

- 組合せ時間は、海底地すべり位置に地震動が到達する時間( $T_s$ )、海底地すべり位置における地震動継続時間( $T_d$ )から海底地すべりが発生する時間範囲( $T_s \sim T_s + T_d$ )を算定し、その中で、発電所の津波水位が最も高く(もしくは最も低く)なる時間( $T_{max}$ )とする。
- なお、組合せ時間( $T_{max}$ )は、各津波の取水口前面位置における水位時刻歴波形を線形に足し合わせて算定する。

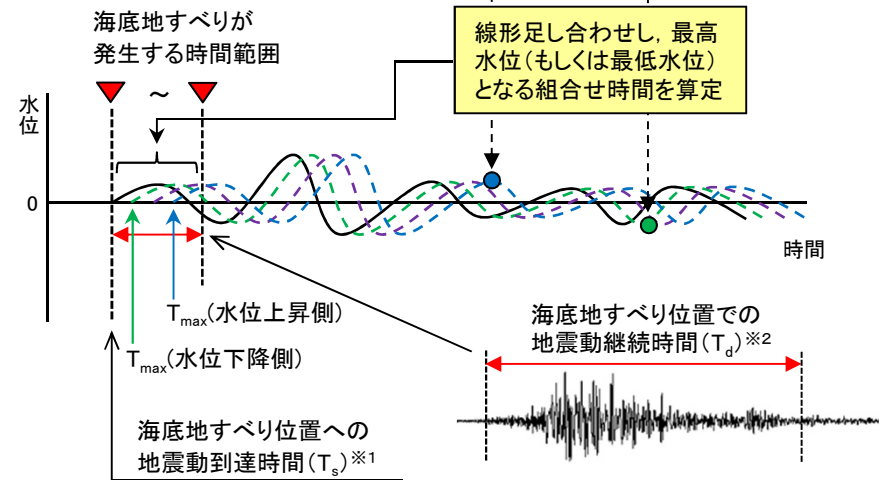
#### ■ 組合せ時間( $T_{max}$ ) の設定方法(概念)



【地震に起因する津波の水位時刻歴波形】



【海底地すべりに起因する津波の水位時刻歴波形】



※1: 地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離 (= 震源距離) とS波速度から算定。  
 ※2: Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性から算定。

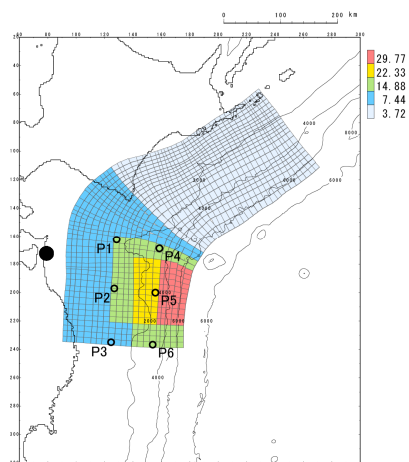
### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

## 2. 組合せ時間の設定: 地震動到達時間の算定

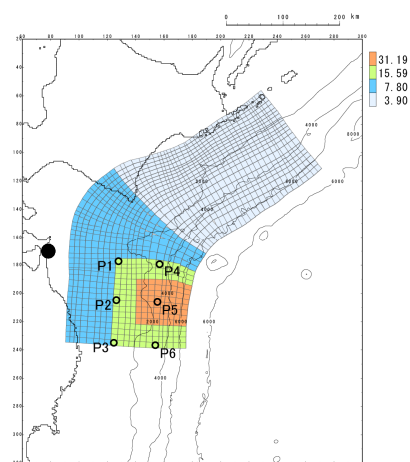
- 各地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離(=震源距離)とS波速度(3.4km/s(地震調査研究推進本部(2009)))から、海底地すべり位置に地震動が到達する時間( $T_s$ )を以下のとおり算定した。

海底地すべり位置に地震動が到達する時間( $T_s$ )の算定

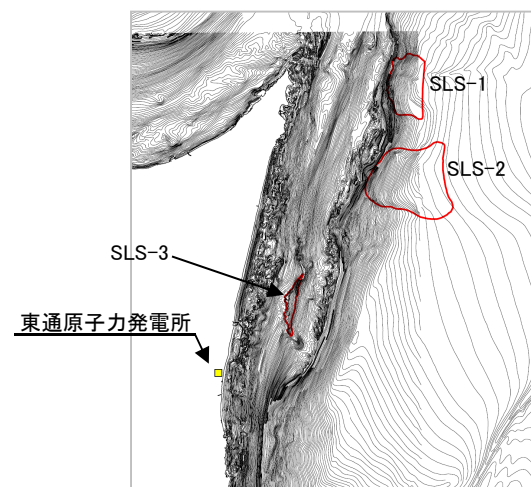
区分	評価位置	地震	海底地すべり	地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離(X)	S波速度	地震動到達時間( $T_s$ )
水位 上昇側	敷地前面	連動型地震:海溝側強調モデル 位置:南へ約50km, 破壊開始点:P6	SLS-2	257.2(km)	3.4(km/s)	75.6(s)
	取水口前面 放水路護岸前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km, 破壊開始点:P6	SLS-2	257.2(km)	3.4(km/s)	75.6(s)
水位 下降側	取水口前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km, 破壊開始点:P4	SLS-2	191.5(km)	3.4(km/s)	56.3(s)



連動型地震:海溝側強調モデル  
(位置:南へ約50km)



連動型地震:すべり量割増モデル  
(位置:南へ約100km移動)



海底地すべり地形分布図

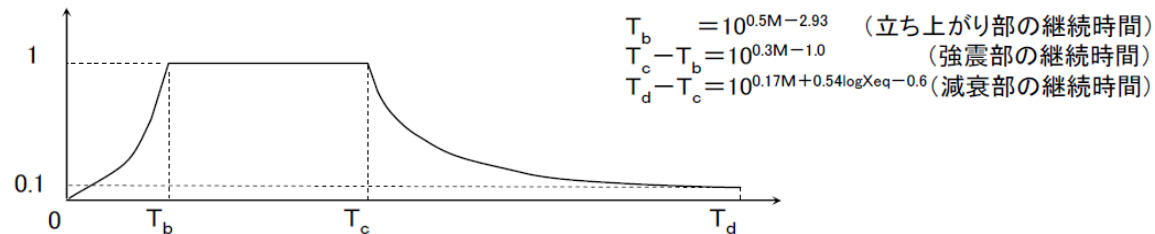
### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

## 2. 組合せ時間の設定: 地震動継続時間及び海底地すべりが発生する時間間隔の算定

#### ■地震動継続時間( $T_d$ )の算定

- Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性を参考として、海底地すべり位置での地震動継続時間( $T_d$ )を以下のとおり算定した。

区分	評価位置	地震	地震規模	各地震の破壊開始点から海底地すべり頂部までの距離(=震源距離)	振幅包絡線の経時特性		
					$T_b$	$T_c$	$T_d$
水位 上昇側	敷地前面	連動型地震:海溝側強調モデル 位置:南へ約50km,破壊開始点:P6	9.05	257.2(km)	39.4(s)	91.3(s)	265.1(s)
	取水口前面 放水路護岸前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km,破壊開始点:P6	9.04	257.2(km)	38.9(s)	90.4(s)	263.5(s)
水位 下降側	取水口前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km,破壊開始点:P4	9.04	191.5(km)	38.9(s)	90.4(s)	238.0(s)



Noda et al.(2002)による振幅包絡線の経時特性

#### ■海底地すべりが発生する時間範囲の算定

区分	評価位置	地震	地震動到達時間( $T_s$ )	地震動継続時間( $T_d$ )	海底地すべりが発生する時間範囲( $T_s \sim T_s + T_d$ )
水位 上昇側	敷地前面	連動型地震:海溝側強調モデル 位置:南へ約50km,破壊開始点:P6	75.6(s)	265.1(s)	75.6(s)~340.7(s)
	取水口前面 放水路護岸前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km,破壊開始点:P6	75.6(s)	263.5(s)	75.6(s)~339.1(s)
水位 下降側	取水口前面	連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km,破壊開始点:P4	56.3(s)	238.0(s)	56.3(s)~294.3(s)

### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

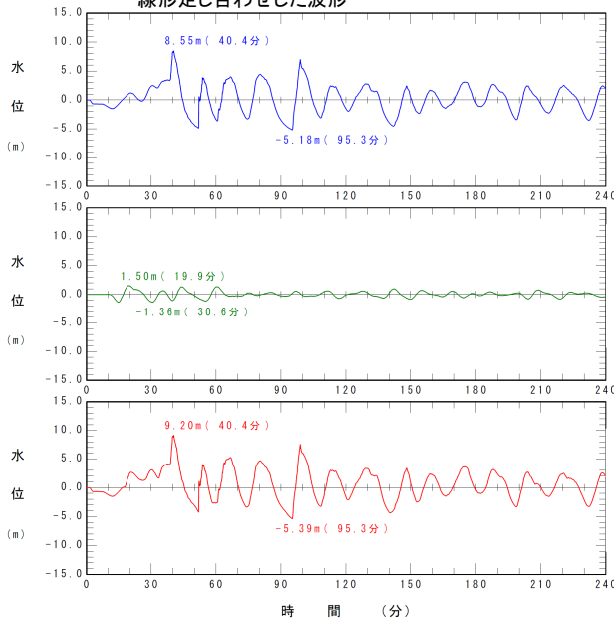
## 2. 組合せ時間の設定: 組合せ時間の設定

- 各津波の取水口前面位置における水位時刻歴波形を線形足し合わせし、組合せ時間( $T_{max}$ )を以下のとおり算定した。

区分	評価位置	地震	地震動到達時間 ( $T_s$ )	地震動継続時間 ( $T_d$ )	海底地すべりが発生する時間範囲 ( $T_s \sim T_s + T_d$ )	組合せ時間 ( $T_{max}$ )
水位 上昇側	敷地前面	連動型地震: 海溝側強調モデル 位置: 南へ約50km, 破壊開始点: P6	75.6 (s)	265.1 (s)	75.6 (s) ~ 340.7 (s)	296.3 (s)
	取水口前面 放水路護岸前面	連動型地震: すべり量割増モデル 位置: 南へ約100km, 破壊開始点: P6	75.6 (s)	263.5 (s)	75.6 (s) ~ 339.1 (s)	287.7 (s)
水位 下降側	取水口前面	連動型地震: すべり量割増モデル 位置: 南へ約100km, 破壊開始点: P4	56.3 (s)	238.0 (s)	56.3 (s) ~ 294.3 (s)	169.4 (s)

—: 地震に起因する津波  
—: 海底地すべりに起因する津波  
—: 線形足し合わせ<sup>※1</sup>

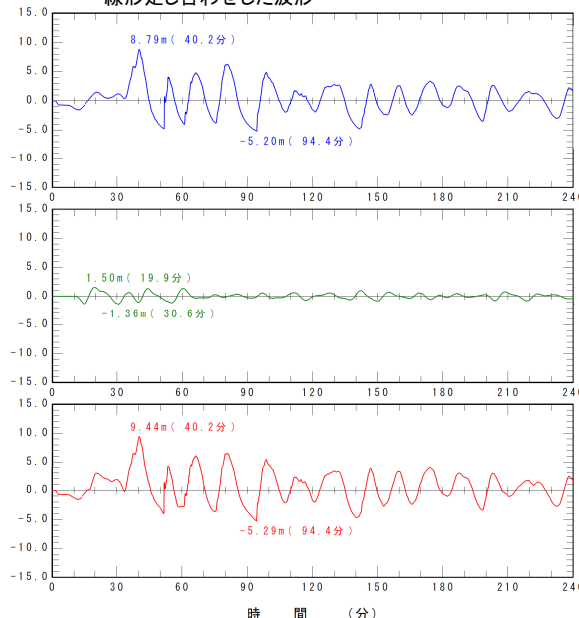
※1: 海底地すべりの波形を296.3(s)移動させて(遅らせて)線形足し合わせた波形



水位上昇側  
(評価位置: 敷地前面)

—: 地震に起因する津波  
—: 海底地すべりに起因する津波  
—: 線形足し合わせ<sup>※2</sup>

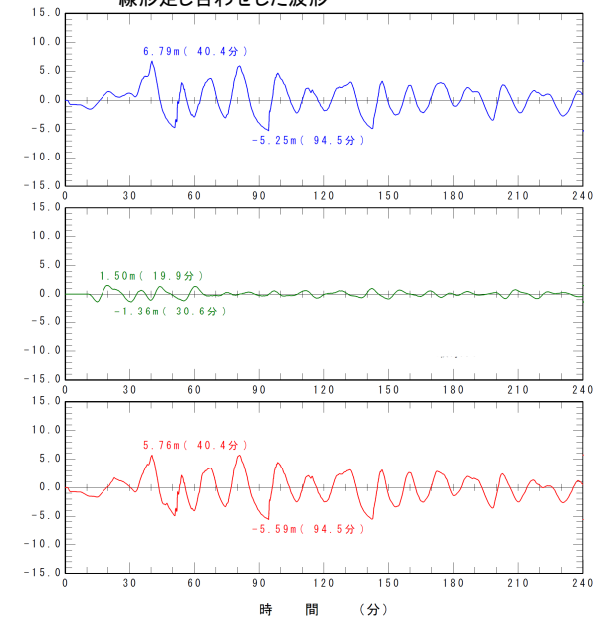
※2: 海底地すべりの波形を287.7(s)移動させて(遅らせて)線形足し合わせた波形



水位上昇側  
(評価位置: 取水口前面, 放水路護岸前面)

—: 地震に起因する津波  
—: 海底地すべりに起因する津波  
—: 線形足し合わせ<sup>※3</sup>

※3: 海底地すべりの波形を169.4(s)移動させて(遅らせて)線形足し合わせた波形



水位下降側  
(評価位置: 取水口前面)

### Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

#### 3. 津波予測計算結果①

- 前項(Ⅲ. 2)で設定した組合せ時間を基に、同波動場で解析した結果を以下に示す。

##### 【水位上昇側】

波源モデル		最大水位上昇量(m)		
地震	海底地すべり	敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
連動型地震:海溝側強調モデル 位置:南へ約50km, 破壊開始点:P6	SLS-2 (Kinematic landslideモデル)	10.54	8.48	8.26
連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km, 破壊開始点:P6	SLS-2 (Kinematic landslideモデル)	10.15	8.61	8.49

##### 【水位下降側】

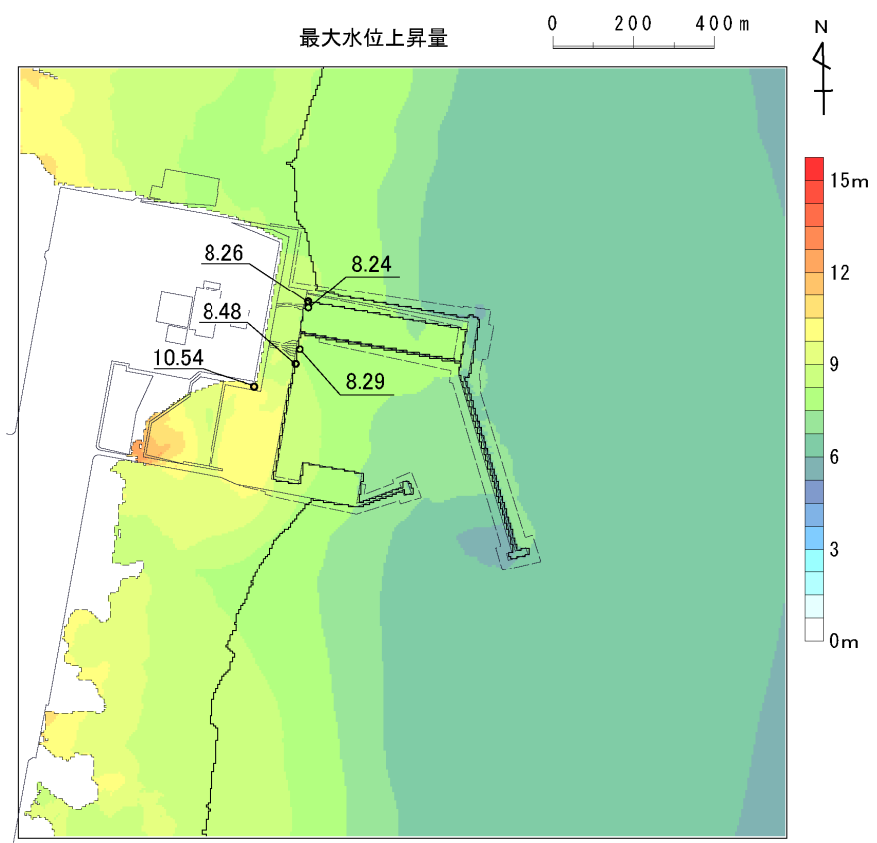
波源モデル		最大水位下降量(m)
地震	海底地すべり	取水口前面
連動型地震:すべり量割増モデル 位置:南へ約100km, 破壊開始点:P4	SLS-2 (Kinematic landslideモデル)	-5.30



Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

3. 津波予測計算結果②

評価項目	評価位置	波源モデル
水位上昇側	敷地前面	地震:連動型地震(海溝側強調モデル) 海底地すべり:SLS-2(Kinematic landslideモデル)

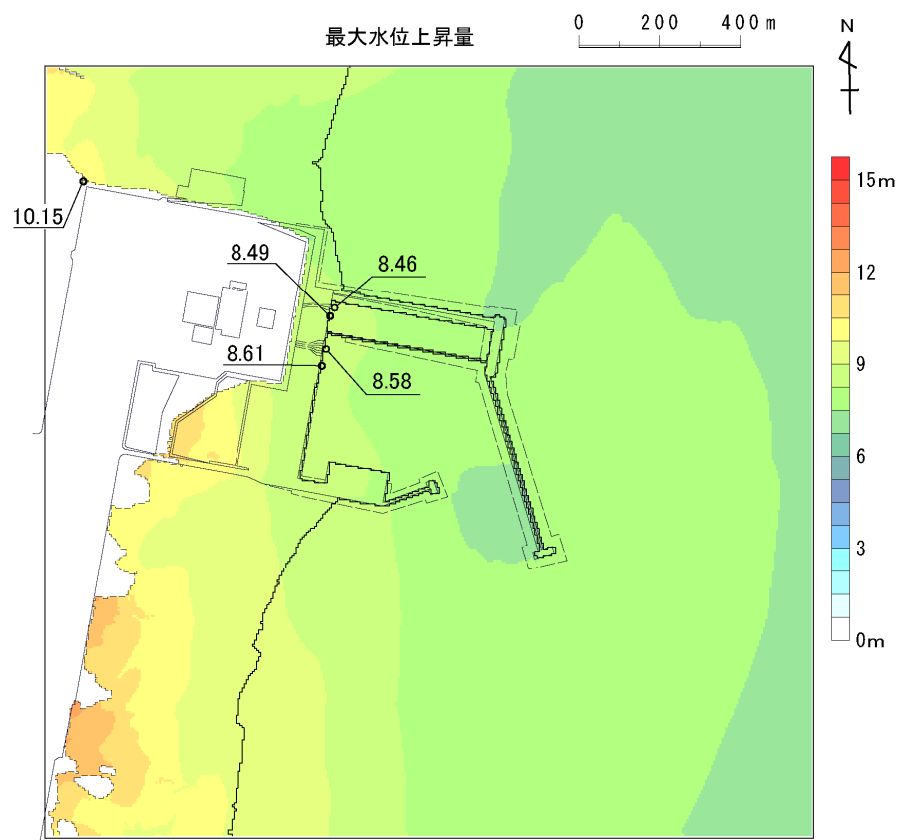


最大水位上昇量分布

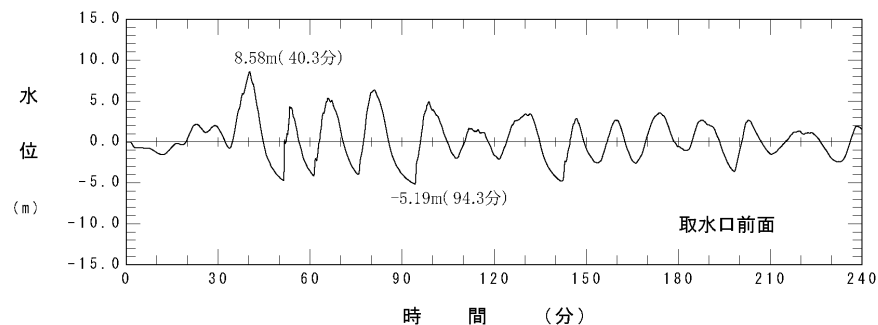
Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

3. 津波予測計算結果③

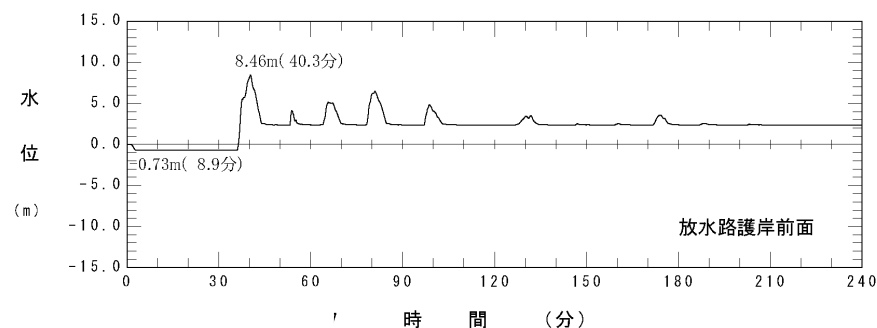
評価項目	評価位置	波源モデル
水位上昇側	取水口前面 放水路護岸前面	地震:連動型地震(すべり量割増モデル) 海底地すべり:SLS-2(Kinematic landslideモデル)



最大水位上昇量分布



取水口前面における水位時刻歴波形

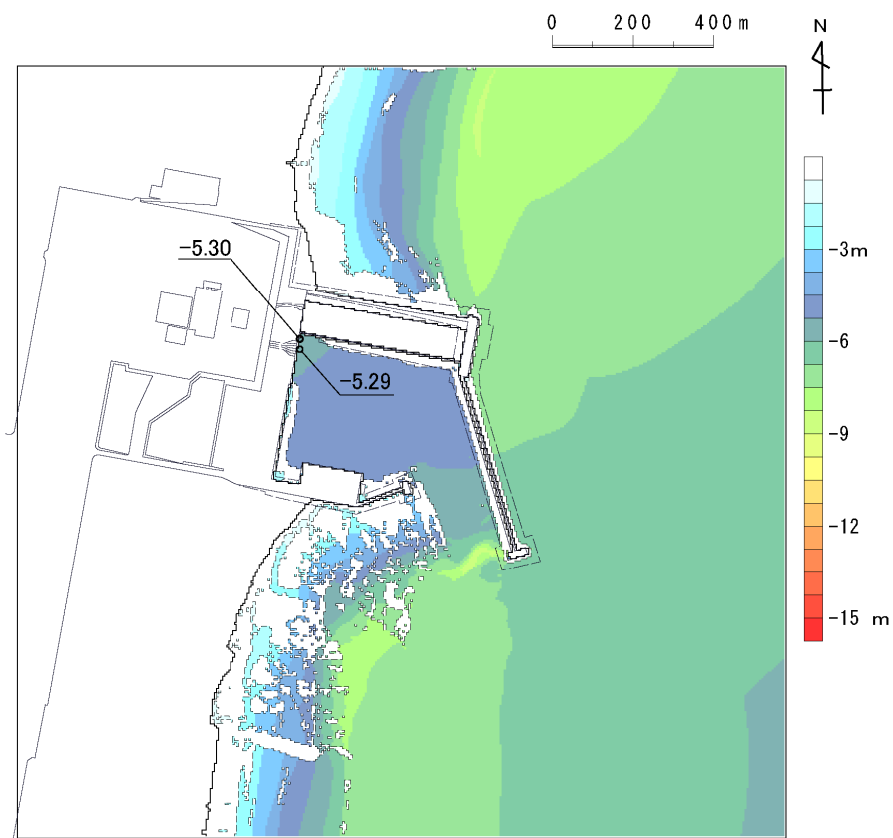


放水路護岸前面における水位時刻歴波形

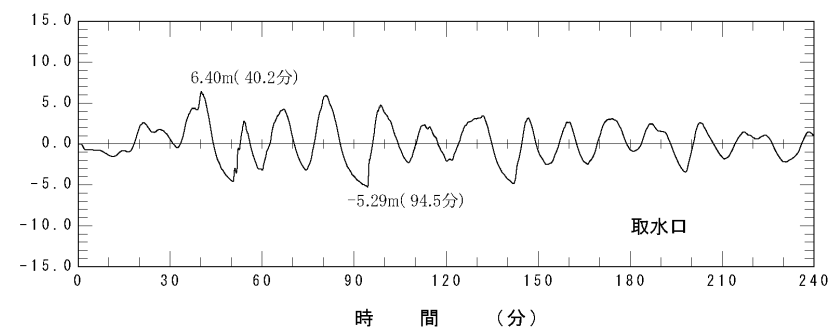
Ⅲ. 地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組合せの評価

3. 津波予測計算結果④

評価項目	評価位置	波源モデル
水位下降側	取水口前面	地震:連動型地震(すべり量割増モデル) 海底地すべり:SLS-2(Kinematic landslideモデル)



最大水位下降量分布



取水口前面における水位時刻歴波形

## IV. 津波評価結果のまとめ

---

1. 水位上昇側	.....	117
2. 水位下降側	.....	118

余白

## IV. 津波評価結果のまとめ

## 1. 水位上昇側

- 各評価位置における最大水位上昇量決定ケースは、「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震(特性化モデル)」に起因する津波と評価した。

区分	波源モデル		最大水位上昇量(m)		
			敷地前面	取水口前面	放水路護岸前面
地震に 起因する津波	十勝沖・根室 沖から三陸沖 北部の連動 型地震	特性化モデル	10.95 (海溝側強調モデル)	8.83 (すべり量割増モデル)	8.73 (すべり量割増モデル)
		既往津波の組合せモデル	9.18	7.19	6.79
	津波地震		7.82	6.09	5.96
	プレート間地震		4.72	4.70	4.08
	正断層型の地震		7.48	4.88	4.84
海域活断層(恵山沖断層)		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)			
地すべり等に 起因する津波	陸上の地すべり及び斜面崩壊		陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の影響は 極めて小さい		
	海底地すべり (Kinematic landslideモデル)		1.59	1.51	0.00
火山現象に 起因する津波	恵山 (Kinematic landslideモデル)		0.88	0.77	0.00
地震に起因する 津波と地震以外に 起因する津波の 組合せ	連動型地震(特性化モデル)と海底地すべり (Kinematic landslideモデル)の組合せ		10.54 (海溝側強調モデル)	8.61 (すべり量割増モデル)	8.49 (すべり量割増モデル)

→ 平成28年4月  
28日の審査  
会合で説明  
済み。

→ 本資料での  
検討結果。

## IV. 津波評価結果のまとめ

## 2. 水位下降側

- 取水口前面位置における最大水位下降量決定ケースは、「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震(特性化モデル)」に起因する津波と海底地すべり(Kinematic landslideモデル)に起因する津波の組合せによる津波と評価した。

区分	波源モデル		最大水位下降量(m)
			取水口前面
地震に 起因する津波	十勝沖・根室 沖から三陸沖 北部の連動 型地震	特性化モデル	-5.27 (すべり量割増モデル)
		既往津波の組合せモデル	-5.07
	津波地震		-4.55
	プレート間地震		-4.87
	正断層型の地震		-4.02
地すべり等に 起因する津波	海域活断層(恵山沖断層)		-0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)
	陸上の地すべり及び斜面崩壊		陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する 津波の影響は極めて小さい
地すべり等に 起因する津波	海底地すべり (Kinematic landslideモデル)		-1.36
	恵山 (Kinematic landslideモデル)		-0.84
地震に起因する 津波と地震以外に 起因する津波の 組合せ	連動型地震(特性化モデル)と海底地すべり (Kinematic landslideモデル)の組合せ		-5.30 (すべり量割増モデル)

→ 平成28年4月  
28日の審査  
会合で説明  
済み。

→ 本資料での  
検討結果。

## V. 津波堆積物調査

---

1. 説明概要	.....	120
2. 調査概要	.....	121
3. 調査結果のまとめ	.....	122
4. 各地点の調査結果	.....	123

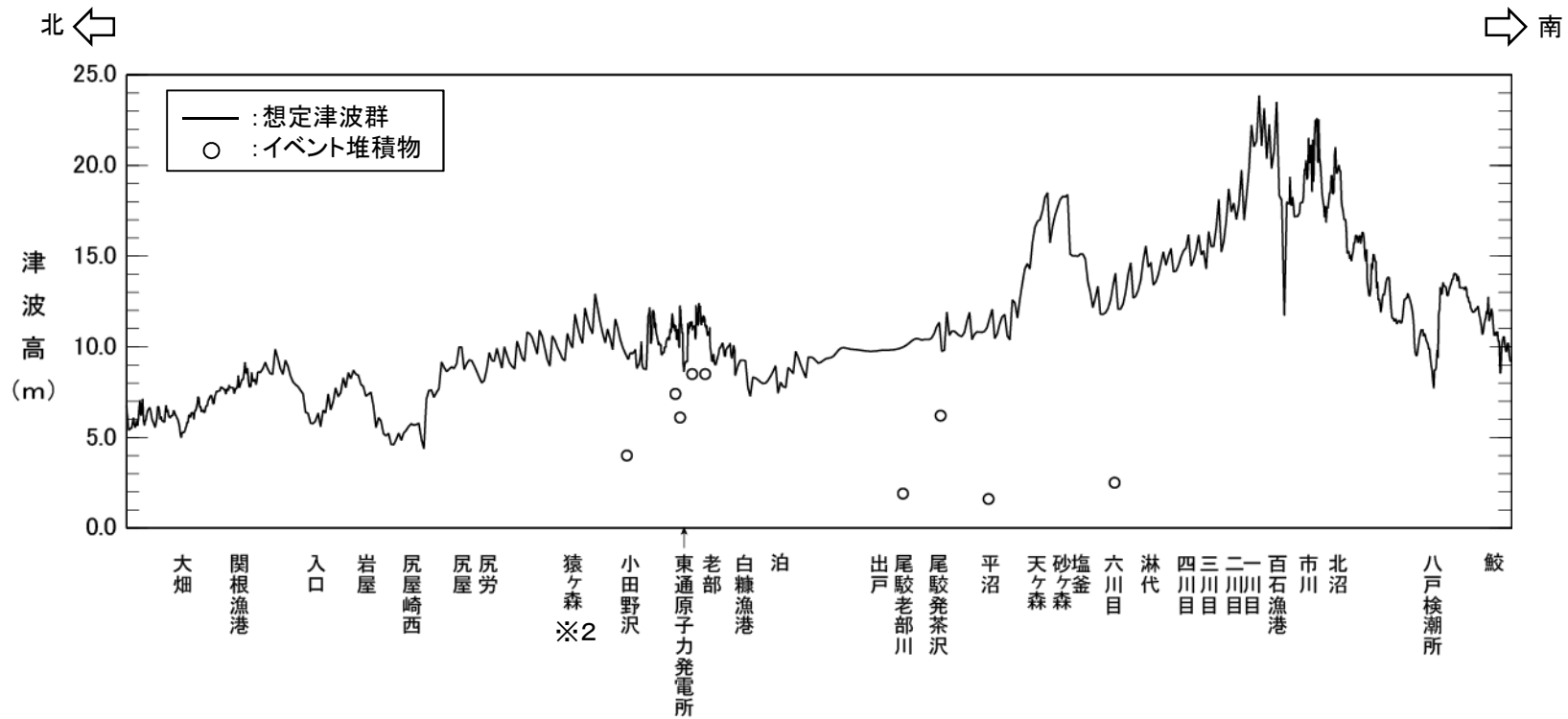


## V. 津波堆積物調査

### 1. 説明概要

- ・ 基準津波選定結果の検証の1つとして、基準津波を決定する「十勝沖・根室沖から三陸沖北部の連動型地震」に起因する津波(特性化モデル)の想定津波群※1による沿岸における津波高さが、敷地周辺において認められたイベント堆積物の分布標高を十分に上回っていることを確認している。
- ・ 各イベント堆積物に係る調査の詳細を次頁以降に示す。

※1:パラメータスタディを行った津波の集合体(土木学会(2002))

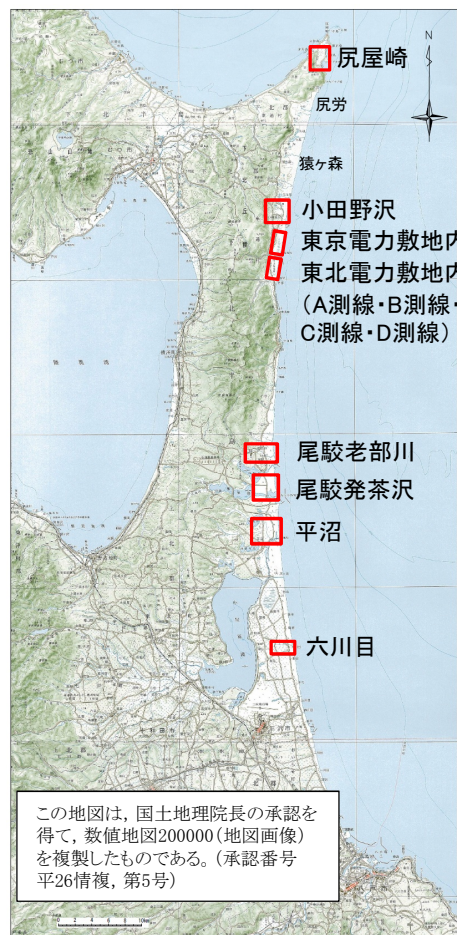


想定津波群とイベント堆積物の比較

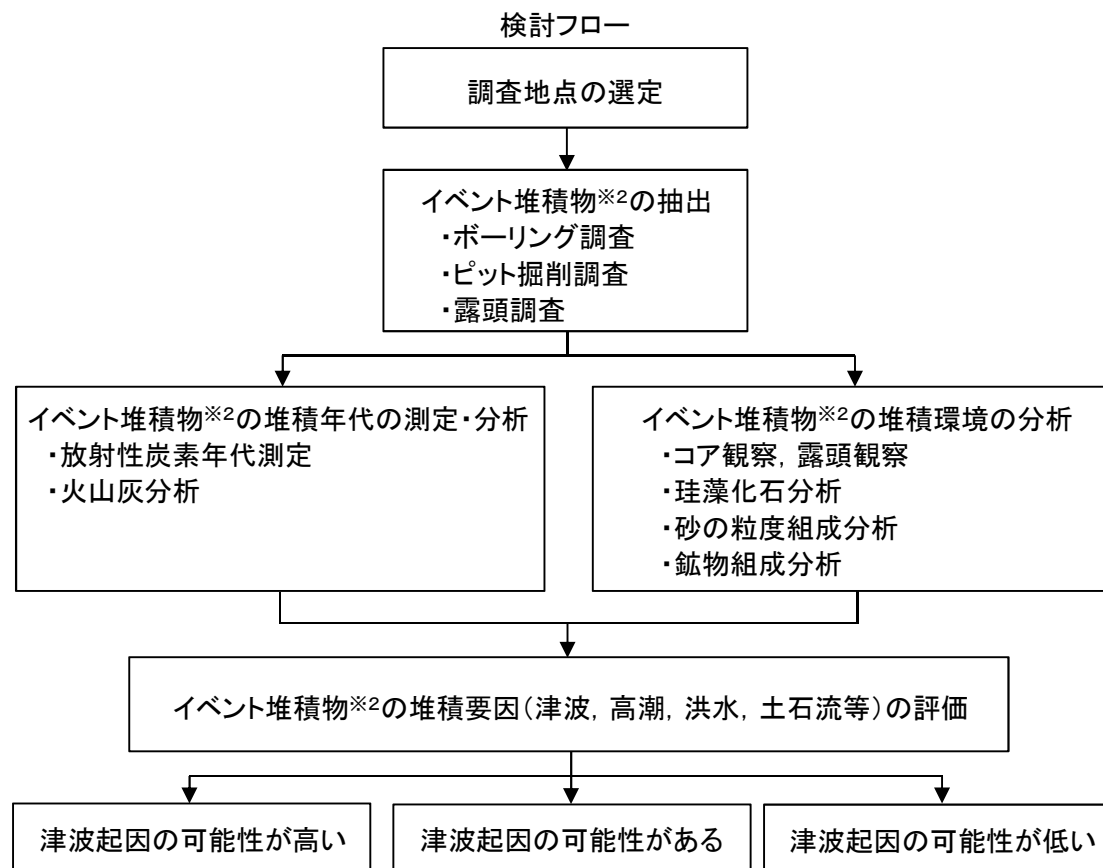
※2:猿ヶ森におけるイベント堆積物に関する知見については、(原子力発電所)資料2-2「3. 下北半島太平洋岸におけるイベント堆積物に関する知見」に記載。

2. 調査概要

- 青森県太平洋岸における津波堆積物及び完新世堆積物の文献調査(例えば, 千釜ほか(1998), 西村・宮地(1994), 澤井ほか(2007), 今泉ほか(2009))を実施し, 基礎資料とした上で空中写真判読結果, 現地状況等を考慮し, 津波堆積物が堆積・残存する可能性が考えられる地点を対象に, 東京電力(株)と共同(東北電力敷地内の一部を除く)で津波堆積物調査を実施した。
- 調査地点は, 発電所敷地内を含む青森県太平洋岸の11地点(下北郡東通村尻屋崎, 下北郡東通村小田野沢, 東京電力敷地内, 東北電力敷地内のA測線・B測線・C測線・D測線, 上北郡六ヶ所村尾駁老部川, 上北郡六ヶ所村尾駁発茶沢, 上北郡六ヶ所村平沼, 三沢市六川目)とした。



調査位置図※1



※1: 東通村尻屋崎で追加のボーリング調査(パーカッション式)を実施予定。また, 東通村尻屋崎～小田野沢で露頭調査を実施予定。

※2: ここでいうイベント堆積物は, 津波以外にも, 高潮, 河川の洪水, 土石流など環境の急変を示唆する地層であり, 静穏な環境で堆積した泥炭層や粘土層中に挟在する主として砂層もしくは泥層とした。

### 3. 調査結果のまとめ

- ・ 尻屋崎及び東北電力敷地内のB測線を除く9地点において、津波起因の可能性が高い、もしくは津波起因の可能性のあるイベント堆積物が認められた。
- ・ なお、イベント堆積物の標高、推定年代及び文献調査の結果を踏まえると、特定の歴史津波と対比することは困難である。
- ・ 次頁以降に各地点の調査結果の詳細を示す。

調査地点	イベント堆積物※1			イベント堆積物の分析結果			イベント堆積物の評価
	有無	分布標高※2 (T.P.)	推定年代 (年)	層相	海水生種または 海水～汽水生種 の珪藻化石	粒度または 鉱物組成	
尻屋崎	無	/	/	/	/	/	—
小田野沢	有	約4m	A.D.1700年頃	○ 下面境界がやや明瞭～明瞭	○	/	●
東京電力敷地内	有	約7.4m	A.D.1400年頃	△ 下面境界が不明瞭	△ 産出せず	/	▲
東北電力敷地内	A測線	有	約6.1m	○ 下位層の削り込み	/	△ 海浜砂に類似	●
	B測線	人工 改変	/	/	/	/	—
	C測線	有	約8.6m	○ 上方細粒化、内陸へ薄層化 下面境界が明瞭、平滑	△ 産出せず	△ 砂丘砂または段 丘砂に類似	▲
	D測線	有	約8.4m	○ 上方細粒化、内陸へ薄層化 下面境界が明瞭、平滑	○	/	▲
尾駈老部川	有	約1.9m	B.C.2000年頃	△ 下面境界で層相が漸移	○	/	●
尾駈発茶沢	有	約6.2m	B.C.2950年頃	○ 下面境界が明瞭	/	/	●
平沼	有	約1.6m	A.D.550年頃	○ 下面境界がやや明瞭	○	/	●
六川目	有	約2.5m	B.C.4700年頃以前	○ 下面境界がやや明瞭	/	/	●

(イベント堆積物の分析結果の凡例)

- :津波起因の可能性が高い △:津波起因の可能性がある
- ×:津波起因の可能性が低い /:分析未実施

(イベント堆積物の評価の凡例)

- :津波起因の可能性が高い ▲:津波起因の可能性がある
- ×:津波起因の可能性が低い —:評価に適する堆積物が分布しない等評価できない

※1: イベント堆積物堆積時における汀線位置に関する知見については、(原子力発電所)資料2-3「1. 汀線位置に関する知見」に記載。

※2: イベント堆積物の分布範囲は必ずしも浸水範囲とは一致しない。

## V. 津波堆積物調査

### 4. 各地点の調査結果

---

4. 1	尻屋崎	.....	125
4. 2	小田野沢	.....	127
4. 3	東京電力敷地内	.....	129
4. 4	東北電力敷地内	.....	131
4. 5	尾駁老部川	.....	149
4. 6	尾駁発茶沢	.....	151
4. 7	平沼	.....	153
4. 8	六川目	.....	155

余白