

I. 地震に起因する津波の評価

1. 文献調査
2. 千島海溝沿いで発生する津波の影響
3. 遠地津波の数値シミュレーション
4. 東北地方太平洋沖型の地震
5. 津波地震
 - 5.1 地震規模に関する知見の整理
 - 5.2 基準断層モデルの設定
 - 5.3 津波予測計算
6. 海洋プレート内地震

I. 第5章 5.1 地震規模に関する知見の整理
5.1.1 阿部(2003)の知見

- 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。

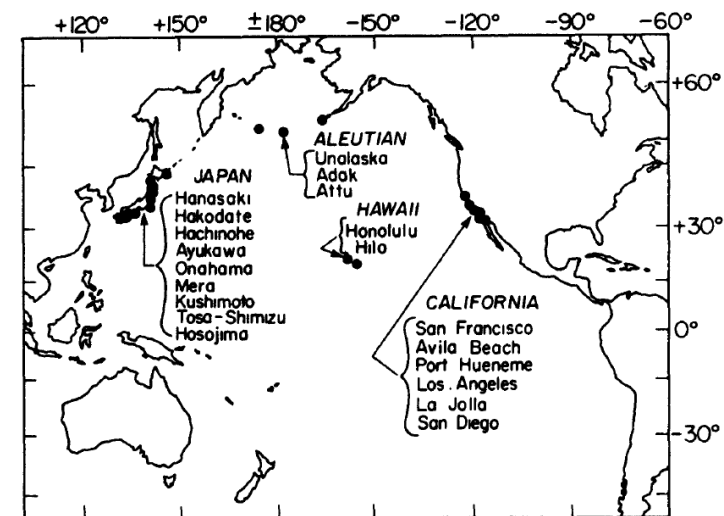
- 1896年明治三陸地震津波の M_t は従来8.2と求められていたが(阿部(1988)), 用いたデータの少なさ^{※1}や遡上高からみると過小評価されているように見える。
- 遡上高の平均値に阿部(1999)の M_t 決定法を適用すると9.0が求められるが、この値は過大評価気味である。
- そこで今後は、環太平洋の計器観測(検潮儀記録)を重視して、Abe(1979)により海外のデータから求められた8.6を採用する。

※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。

日本周辺の特に関連する津波地震(1498年~2002年)^{※2}
(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))。カッコ内は宇津(1999)による値。



環太平洋の計器観測位置
(Abe(1979))

I. 第5章 5.1 地震規模に関する知見の整理
5.1.2 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)

H₂ : 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_t = 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_m : 区間平均高の最大値(最大区画平均高)(m)

H_{max} : 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))

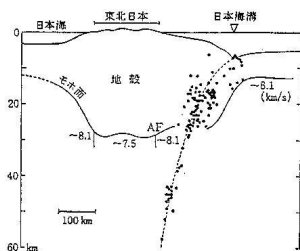
$$M_t = M_w + 0.4$$

(日本海側, 痕跡高を用いてMtを求めた場合, 阿部(1999))

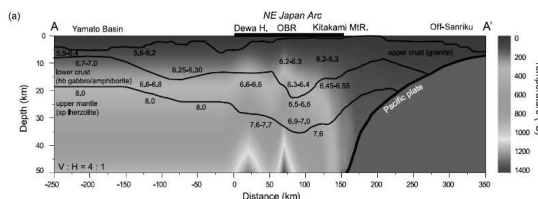
I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.1 剛性率, ライズタイムの設定: 剛性率

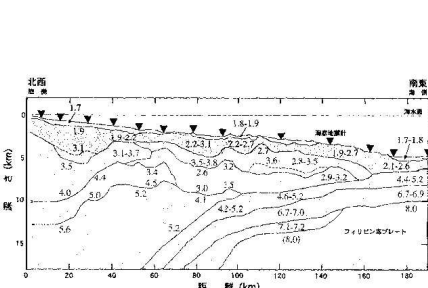
- 土木学会(2016)等を参考として, $3.5 \times 10^{10} (\text{N/m}^2)$ とした。



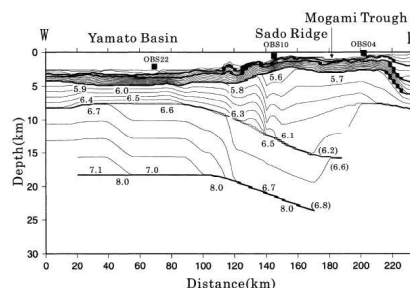
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



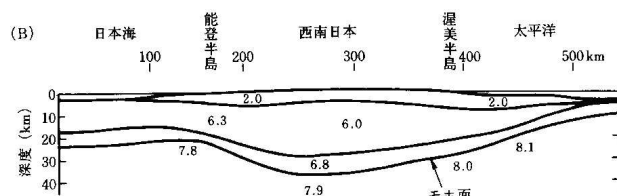
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) ©日本地質学会)



(c) 日向灘沖 (宮町・後藤, 1999)



(d) 秋田沖日本海東縁部 (西坂ほか, 2001)



(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(2016))

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	1.73		Hashizume(1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ほか(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)			高波ほか(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) 1.731	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			
日航付近	1.682±0.016	1.686※	1.90	大東・伊藤(1995) ※は真の Vp, Vs から求めた値
長野県西部	1.700±0.053	1.686※		
兵庫県南部	1.680±0.023	1.76※	1.76※	

震源付近の媒質の剛性率(土木学会(2016))

海域	根拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> 西南日本陸側プレート内 日本海東縁部 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) 	$Vp=6.0\text{km/s}$ $Vp/Vs=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8\text{g/cm}^3$ 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"> 海洋プレート内 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) 	$Vp=8.0\sim 8.1\text{km/s}$ $Vp/Vs=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5\text{g/cm}^3$ 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"> 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) 	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. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.1 剛性率, ライズタイムの設定:ライズタイム

- 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對して, 相田(1986)は津波解析上の變動時間(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。

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

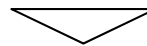
ここで,

L : 断層長さ(km)

V_r : 破壊伝播速度(km/s)

τ : ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間)(s)

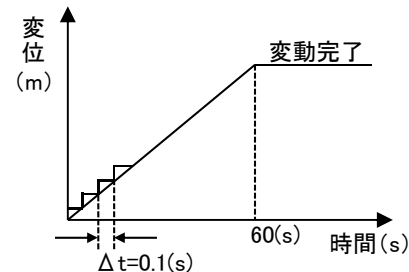
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL:150(km)~200(km)程度(土木学会(2016)), 破壊伝播速度 V_r :2.4(km/s)~3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2017b)), ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間) τ :5(s)程度(相田(1986))とすると, 津波初期変位分布のライズタイムは, 55(s)~88(s)程度となる。



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

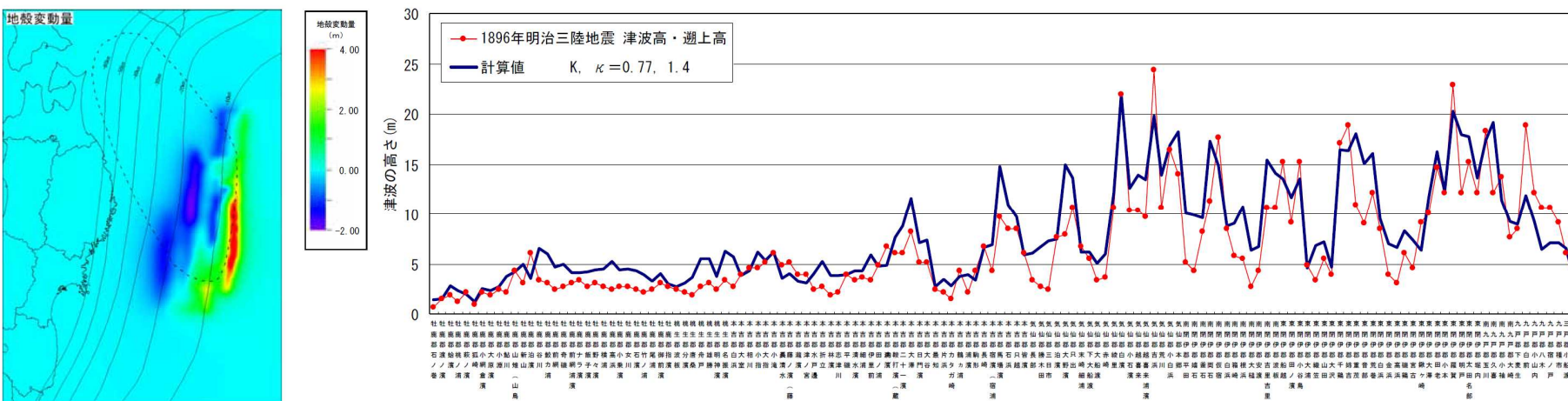
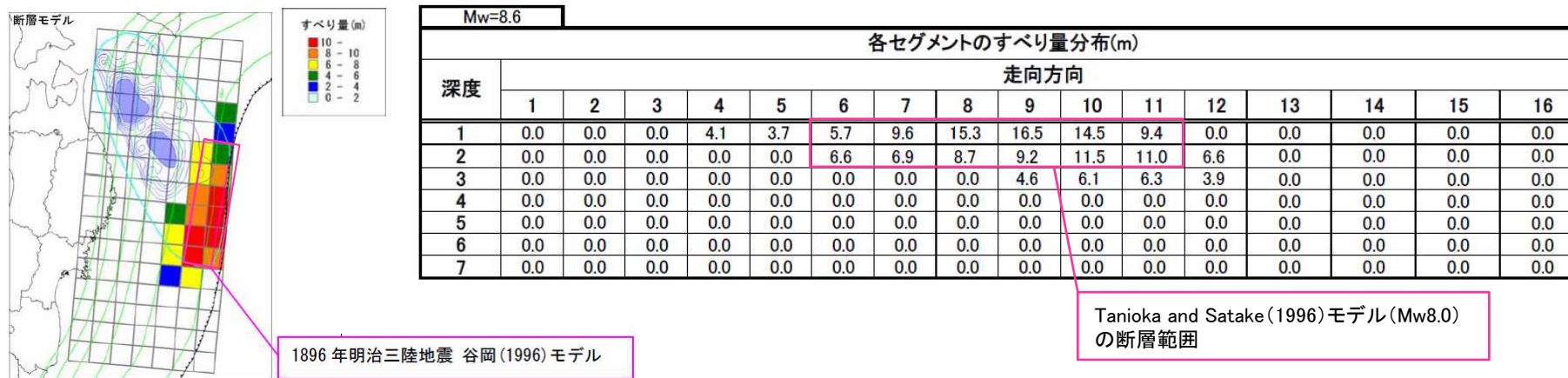
→ Mansinha and Smylie(1971)の方法により計算される津波初期変位分布(=断層面全体の鉛直変位分布)を破壊終了時変位, その變動終了時間:60(s)(=ライズタイム)として, 津波解析と同様の時間格子間隔 Δt :0.1(s)を用いて一様に変位を与える。



I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.2 中央防災会議(2005)の断層モデル

- 中央防災会議(2005)では、1896年明治三陸地震津波の痕跡高を用いたインバージョン手法により、すべりの不均質性を考慮した断層モデル(断層面積: 約23千km², 代表長さ: 約330km, 平均幅: 約70km)を推定している。
- 同モデルは、申請時の基準断層モデル(Mw8.3)やTanioka and Satake(1996)の断層モデル(Mw8.0)よりも地震規模が大きいとともに(Mw8.6※), 痕跡高よりも計算値が大きい(K=0.77, $\kappa=1.4$)。
 - ※: すべり量, 面積から剛性率を逆算すると $\mu=5.24 \times 10^{10}$ (N/m²)であるが, 土木学会(2016)を参考に設定した再現モデルの $\mu=3.5 \times 10^{10}$ (N/m²)を用いるとMw8.48である。

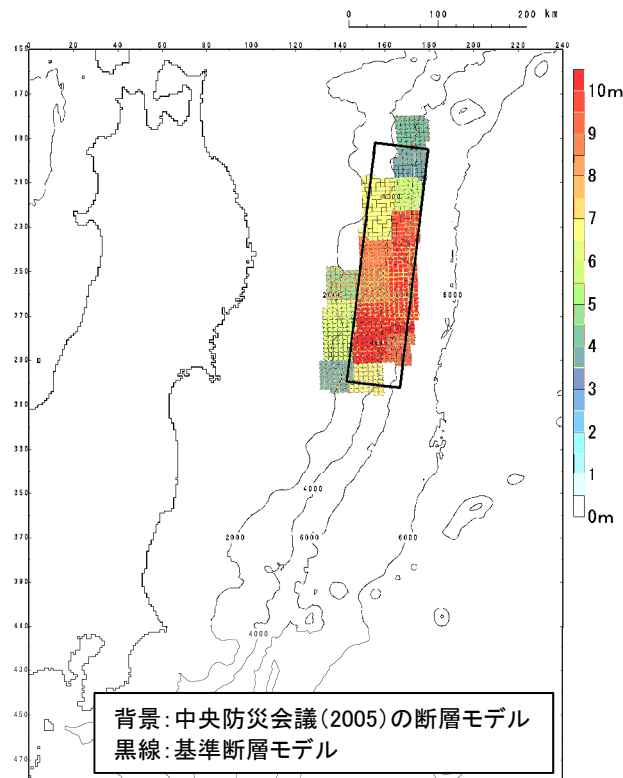


1896年明治三陸地震津波の痕跡高を用いたインバージョンモデル及び痕跡高と計算値の比較(中央防災会議(2005)に一部加筆)

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.3 基準断層モデルの設定:長さ,幅,すべり量,剛性率,断層上縁深さ,傾斜角,ライズタイム

- 既往津波(1896年明治三陸地震津波)の再現モデル,中央防災会議(2005)の断層モデルのすべり分布を参考に,土木学会(2016)に示されるMwに関連する断層パラメータのスケーリング則を適用して,長さ,幅,すべり量,剛性率,地震モーメント,傾斜角,ライズタイムを以下のとおり設定した。



基準断層モデル
(波源位置:1896年明治三陸地震津波発生位置)

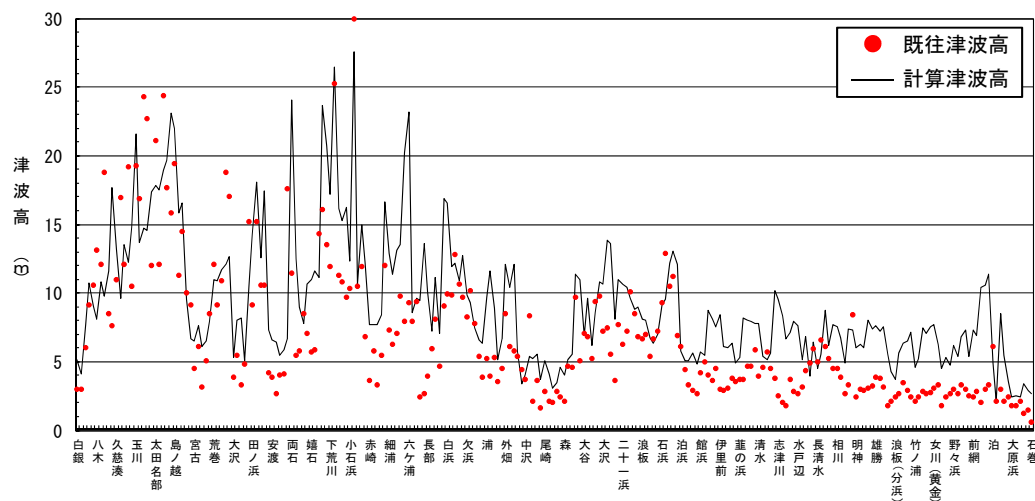
諸元

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	地震規模(Mw)の分布幅に関する知見,国内外で発生した最大規模の1896年明治三陸地震津波の地震規模を踏まえて設定	8.5
長さ	L(km)	中央防災会議(2005)のすべり分布を参考に,既往津波再現モデルに,Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(限界を設定しない)を適用して設定。	271
幅	W(km)		64
すべり量	D(m)		11.60
剛性率	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	3.5×10^{10}
地震モーメント	M ₀ (Nm)	μ LWD	7.08×10^{21}
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	δ (°)		20
ライズタイム	τ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.3 基準断層モデルの設定: 1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較

- 設定した断層モデルは1896年明治三陸地震津波の痕跡高よりも十分に大きく(K=0.66), 安全側の設定になっていることを確認した。



1896年明治三陸地震津波の痕跡高と計算津波高の比較

1896年明治三陸地震津波の痕跡高との比較(K, κ)

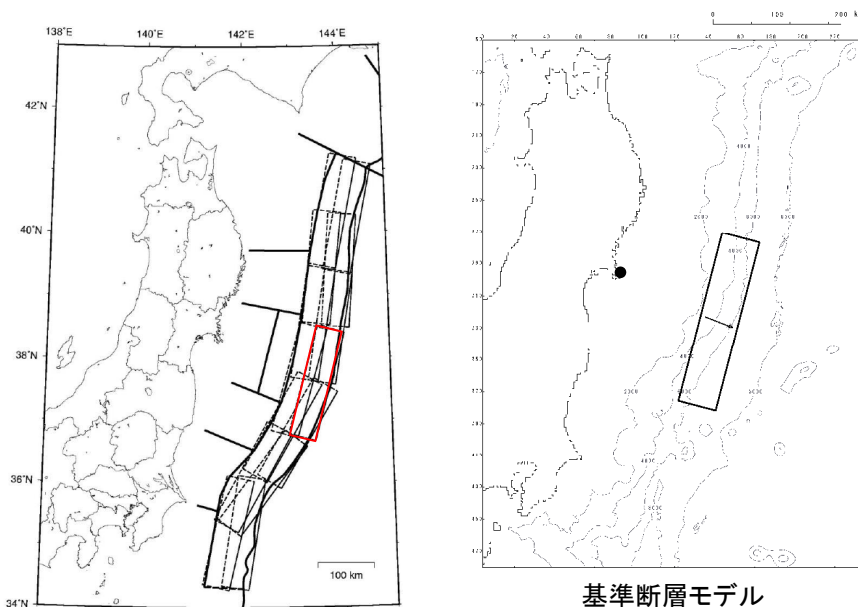
断層モデル	K	κ	n	既往津波高
基準断層モデル	0.66	1.54	246	伊木(1897), 松尾(1933)
(参考) 中央防災会議(2005)	0.77	1.4	143*	伊木

※: 痕跡高と計算値の比較図(p220)からの読み取り

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.3 基準断層モデルの設定: 基準位置及び断層諸元

- 地震調査研究推進本部(2014)による津波地震の断層面の設定方法を参考として, 発電所に影響が大きい位置を基準位置とした。
- 上記波源位置における走向, すべり角を含めた諸元を以下に示す。



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)の断層面(地震調査研究推進本部(2014)に一部加筆)

基準断層モデル(波源位置:基準)

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	地震規模(Mw)の分布幅に関する知見, 国内外で発生した最大規模の1896年明治三陸地震津波の地震規模を踏まえて設定	8.5
長さ	L(km)	既往津波再現モデル, 中央防災会議(2005)のすべり分布を参考に, Mwに関連する断層パラメータのスケールリング則(限界を設定しない)を適用して設定。	271
幅	W(km)		64
すべり量	D(m)		11.60
剛性率	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	3.5×10^{10}
地震モーメント	Mo (Nm)	μ LWD	7.08×10^{21}
走向	θ (°)	地震調査研究推進本部(2014)の津波地震の断層面を参考に設定。	197
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	δ (°)		20
すべり角	λ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	83.6
ライズタイム	τ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定

5.2.3 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】

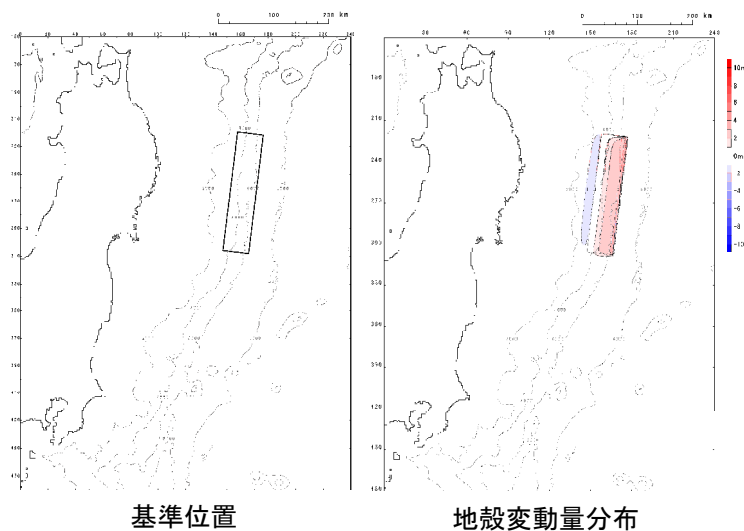
	最大水位上昇量 (m)					
	敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面
基準断層モデル	19.63	14.87	14.90	15.49	12.82	13.46

【水位下降側】

	最大水位下降量 (m)
	2号取水口前面
基準断層モデル	-8.54

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(1)申請時の基準断層モデルの設定

- 申請時の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、申請時の基準断層モデルの南端が北緯約38° 付近となるように設定した。



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)	既往津波再現モデルに、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	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	3.5×10^{10}
地震モーメント	Mo(Nm)	μ LWD	3.56×10^{21}
走向	θ (°)	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	δ (°)		20
すべり角	λ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	75
ライズタイム	τ (s)	既往津波再現モデルに基づき設定。	60

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(2) 申請時の基準断層モデルの設定: 申請時の基準断層モデルによる計算結果

- 申請時の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】

	最大水位上昇量(m)					
	敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面
申請時の 基準断層モデル	10.20	8.27	7.84	7.65	7.06	6.63

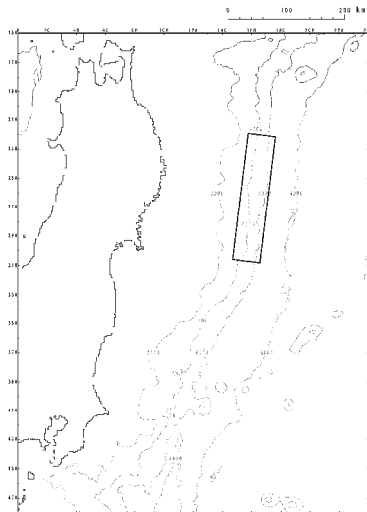
【水位下降側】

	最大水位下降量(m)
	2号取水口前面
申請時の 基準断層モデル	-4.93

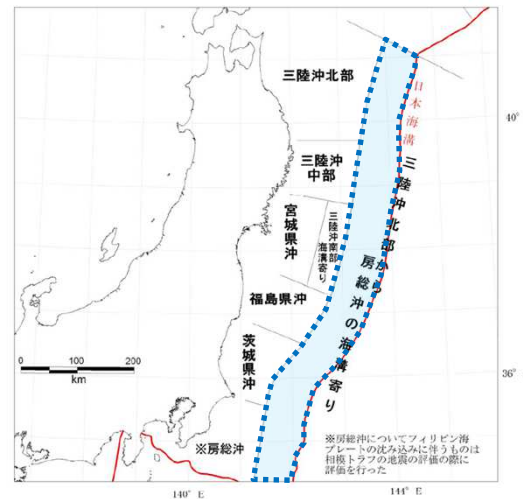
I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(3)波源特性の不確かさの考慮:基本方針

- 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定性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮した。

■波源位置の不確かさを考慮する領域
(=地震発生領域)



申請時の基準断層モデル



■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	基準, 北へ20km, 40km, 南へ20km, 40km, 60km, 80km, 90km, 100km, 110km, 120km, 130km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km移動
走向	基準, 基準±5°

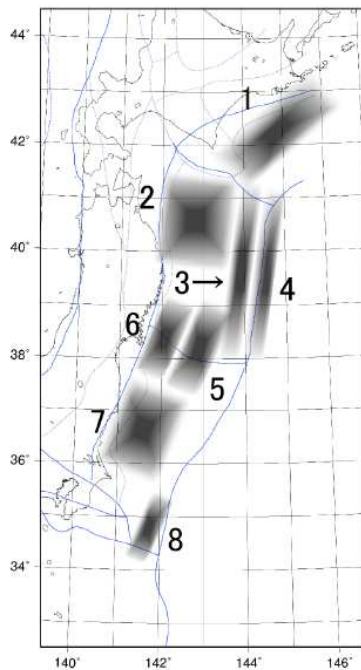
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°

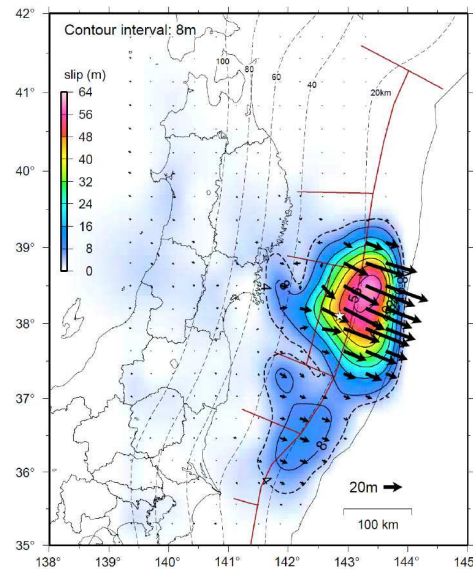
I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(3)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

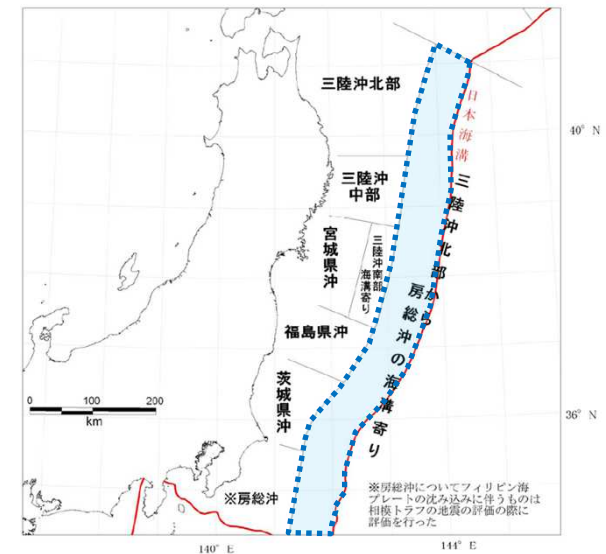
- 土木学会(2002)では、地震地体構造の知見、既往地震の発生履歴に基づき津波地震の発生領域を北緯約38°以北(領域3)及び房総沖(領域8)に設定しているが、2011年東北地方太平洋沖地震は連動型地震であったものの、福島県沖でもすべりが生じたことや地震調査研究推進本部(2012)による津波地震の発生領域に関する評価を踏まえ、波源位置の不確かさを考慮する領域は、地震調査研究推進本部(2012)で示される三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこでも発生するものとして設定した。



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. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(3)波源特性の不確かさの考慮:位置・走向・傾斜角・すべり角の不確かさ

- 土木学会(2002)を参考として、波源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。
- 位置の変動範囲については、発電所に最も影響が大きい波源位置を評価するため、発電所の津波高さに与える影響が大きい範囲を対象に、10km単位で移動させた。
- 走向、傾斜角、すべり角の変動範囲については、土木学会(2002)を参考に設定[※]した。

※: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。

【概略パラメータスタディ】

項目	変動範囲
位置	基準, 北へ20km, 40km, 南へ20km, 40km, 60km, 80km, 90km, 100km, 110km, 120km, 130km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km移動
走向	基準, 基準±5°

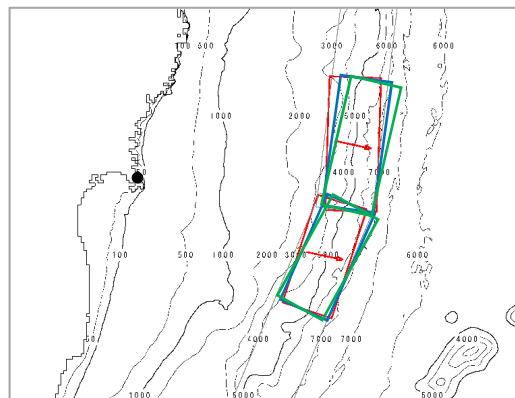
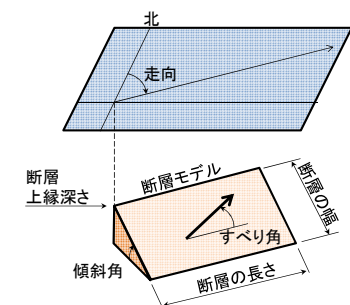
最大水位上昇量・
下降量最大ケース



【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°
すべり角	基準, 基準±10°

(参考)断層パラメータ



走向の不確かさの考慮方法(概念)

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位上昇側)(1/3)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

(単位:(m))

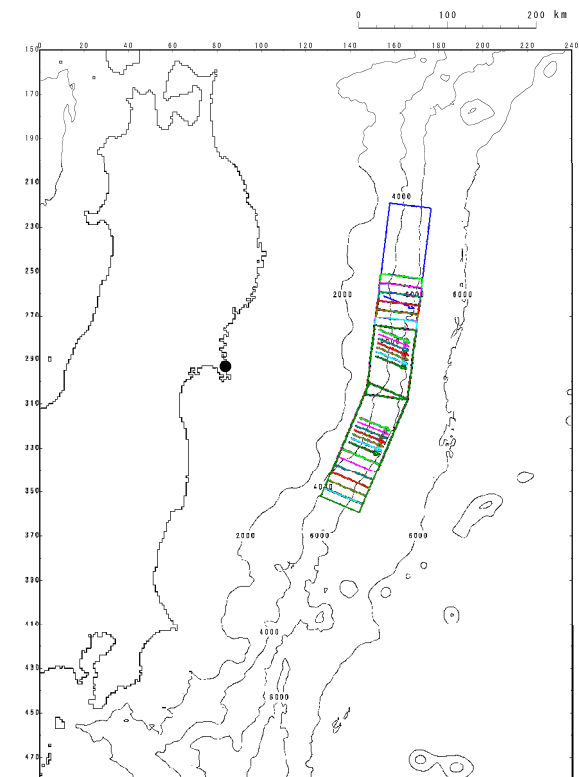
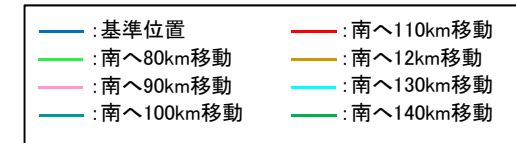
パラメータの変動範囲		敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	備考
位置	走向							
北へ40km移動	基準-5°	6.75	5.70	5.56	5.38	4.65	4.33	
	基準	5.89	5.17	5.06	4.88	4.04	3.74	
	基準+5°	5.34	4.58	4.46	4.30	3.52	3.28	
北へ20km移動	基準-5°	8.80	7.28	6.91	6.60	6.04	5.64	
	基準	7.55	6.36	6.13	5.97	5.21	4.90	
	基準+5°	6.48	5.62	5.55	5.45	4.50	4.24	
基準	基準-5°	11.10	8.97	8.73	8.53	7.95	7.62	
	基準	10.20	8.27	7.84	7.65	7.06	6.63	
	基準+5°	8.99	7.48	7.12	6.93	6.14	5.88	
南へ20km移動	基準-5°	12.53	10.26	10.01	9.97	9.01	8.95	
	基準	11.95	9.82	9.65	9.71	8.70	8.56	
	基準+5°	11.49	9.49	9.20	9.11	8.28	8.05	
南へ40km移動	基準-5°	14.23	12.10	11.61	11.75	10.64	10.66	
	基準	14.26	11.75	11.42	11.46	10.37	10.41	
	基準+5°	13.54	11.47	11.01	10.97	9.88	9.97	
南へ60km移動	基準-5°	16.54	13.39	13.45	13.64	12.48	12.48	
	基準	16.07	13.32	13.27	13.41	11.99	12.18	
	基準+5°	15.36	13.17	12.79	12.89	11.51	11.74	

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位上昇側)(2/3)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
基準	基準-5°	11.10	8.97	8.73	8.53	7.95	7.62	
	基準	10.20	8.27	7.84	7.65	7.06	6.63	
	基準+5°	8.99	7.48	7.12	6.93	6.14	5.88	
南へ80km 移動	基準-5°	18.22	14.37	15.10	15.18	13.67	14.07	
	基準	18.09	14.15	14.65	14.91	13.39	13.78	
	基準+5°	17.59	13.92	14.43	14.53	13.14	13.36	
南へ90km 移動	基準-5°	19.15	14.66	15.68	15.66	13.98	14.54	
	基準	18.80	14.57	15.42	15.49	13.80	14.40	
	基準+5°	18.27	14.31	15.02	15.19	13.56	14.08	
南へ100km 移動	基準-5°	19.45	14.80	15.79	15.84	13.99	14.67	
	基準	19.50	14.79	15.88	15.94	14.01	14.76	
	基準+5°	18.90	14.63	15.66	15.68	13.89	14.61	
南へ110km 移動	基準-5°	19.23	14.67	15.56	15.76	13.92	14.53	
	基準	19.63	14.91	15.93	16.03	14.12	14.80	詳細パラメータスタディ①
	基準+5°	19.37	14.87	16.04	16.00	14.06	14.87	
南へ120km 移動	基準-5°	18.91	14.45	15.08	15.37	13.72	14.14	
	基準	19.31	14.77	15.69	15.80	14.02	14.62	
	基準+5°	19.26	14.96	16.17	16.06	14.10	14.89	詳細パラメータスタディ②
南へ130km 移動	基準-5°	18.21	14.25	14.63	14.86	13.37	13.63	
	基準	18.76	14.45	15.15	15.42	13.73	14.24	
	基準+5°	18.99	14.64	15.72	15.72	13.95	14.66	
南へ140km 移動	基準-5°	17.67	13.83	14.10	14.32	12.84	13.06	
	基準	18.08	14.23	14.60	14.86	13.36	13.62	
	基準+5°	18.22	14.41	15.09	15.25	13.66	14.15	



不確かさの考慮ケース
(走向:基準)

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位上昇側)(3/3)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	備考
位置	走向							
南へ160km 移動	基準-5°	15.33	13.14	12.91	12.99	11.57	11.77	
	基準	16.40	13.40	13.49	13.47	12.14	12.33	
	基準+5°	16.72	13.59	13.75	13.85	12.68	12.75	
南へ180 km 移動	基準-5°	13.96	11.91	11.47	11.36	10.23	10.30	
	基準	14.47	12.36	11.95	11.99	10.78	10.84	
	基準+5°	14.67	12.79	12.40	12.34	11.14	11.30	
南へ200km 移動	基準-5°	12.04	10.33	9.90	9.75	8.79	8.54	
	基準	12.64	11.06	10.59	10.45	9.40	9.38	
	基準+5°	13.06	11.76	11.08	10.80	10.08	10.01	
南へ220km 移動	基準-5°	10.15	8.46	7.94	7.72	6.83	6.40	
	基準	11.41	9.63	9.17	8.88	8.18	7.67	
	基準+5°	12.35	10.72	10.15	9.72	9.08	9.02	

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(4)津波予測計算結果:詳細パラメータスタディ(水位上昇側)

【詳細パラメータスタディ①(波源位置:南へ110km, 走向:基準)】 (単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	17.92	12.88	13.94	14.00	12.83	12.87	
	基準	18.56	13.23	14.32	14.34	13.20	13.27	
	基準+10°	18.63	13.26	14.32	14.33	13.25	13.31	
基準	基準-10°	18.97	14.63	15.28	15.51	13.78	14.31	
	基準	19.63	14.91	15.93	16.03	14.12	14.80	
	基準+10°	19.73	14.95	16.04	16.12	14.17	14.85	敷地前面最大ケース
基準+5°	基準-10°	18.69	15.84	16.09	16.30	14.06	14.93	
	基準	19.19	16.11	16.77	16.80	14.39	15.41	
	基準+10°	19.02	16.20	16.87	16.82	14.43	15.47	各取水口, 2・3号放水口前面最大ケース

【詳細パラメータスタディ②(波源位置:南へ120km, 走向:基準+5°)】 (単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	17.73	12.93	13.93	14.02	13.02	13.12	
	基準	18.20	13.26	14.30	14.27	13.36	13.42	
	基準+10°	18.22	13.24	14.35	14.27	13.35	13.41	
基準	基準-10°	18.86	14.72	15.50	15.62	13.78	14.46	
	基準	19.26	14.96	16.17	16.06	14.10	14.89	
	基準+10°	19.44	14.88	16.05	16.07	14.11	14.91	
基準+5°	基準-10°	18.57	15.82	16.21	16.39	14.16	15.08	
	基準	18.83	16.11	16.74	16.77	14.43	15.44	
	基準+10°	18.80	16.14	16.81	16.73	14.44	15.43	1号放水口前面最大ケース

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位下降側)(1/3)

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

(単位:(m))

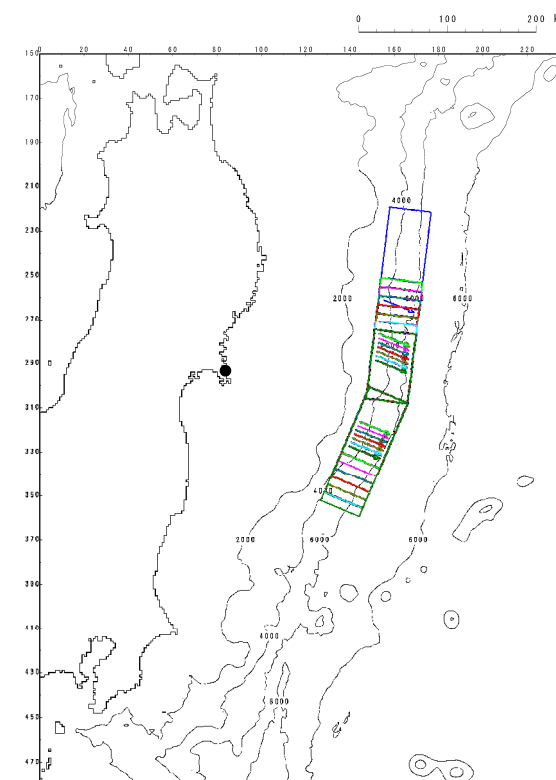
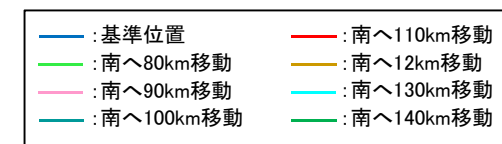
パラメータの変動範囲		2号取水口前面	備考	(参考) 1号取水口前面	(参考) 3号取水口前面
位置	走向				
北へ40km移動	基準-5°	-3.42		-3.51	-3.42
	基準	-3.50		-3.52	-3.49
	基準+5°	-3.56		-3.56	-3.55
北へ20km移動	基準-5°	-4.14		-4.16	-4.15
	基準	-3.84		-3.79	-3.90
	基準+5°	-3.90		-3.87	-3.94
基準	基準-5°	-5.28		-5.53	-5.35
	基準	-4.93		-5.02	-4.97
	基準+5°	-4.62		-4.82	-4.62
南へ20km移動	基準-5°	-5.55		-6.22	-5.42
	基準	-5.62		-6.34	-5.59
	基準+5°	-5.54		-6.25	-5.51
南へ40km移動	基準-5°	-6.17		-6.62	-6.02
	基準	-6.28		-6.66	-6.14
	基準+5°	-6.24		-6.68	-6.08
南へ60km移動	基準-5°	-6.55		-7.21	-6.51
	基準	-6.57		-7.24	-6.47
	基準+5°	-6.45		-7.13	-6.52

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位下降側)(2/3)

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
南へ80km 移動	基準-5°	-7.76		-7.77	-7.74
	基準	-7.48		-7.55	-7.41
	基準+5°	-7.12		-7.14	-7.06
南へ90km 移動	基準-5°	-7.97		-7.86	-7.99
	基準	-7.80		-7.73	-7.75
	基準+5°	-7.60		-7.63	-7.58
南へ100km 移動	基準-5°	-8.269		-8.01	-8.28
	基準	-8.15		-7.92	-8.17
	基準+5°	-8.00		-7.84	-8.04
南へ110km 移動	基準-5°	-8.08		-7.90	-8.11
	基準	-8.18		-7.96	-8.22
	基準+5°	-8.271	詳細パラメータスタディ	-8.02	-8.29
南へ120km 移動	基準-5°	-7.60		-7.67	-7.66
	基準	-7.86		-7.83	-7.89
	基準+5°	-8.17		-7.96	-8.16
南へ130km 移動	基準-5°	-7.27		-7.49	-7.19
	基準	-7.51		-7.66	-7.48
	基準+5°	-7.76		-7.80	-7.79
南へ140km 移動	基準-5°	-7.05		-7.39	-6.89
	基準	-7.27		-7.72	-7.11
	基準+5°	-7.48		-7.67	-7.40



不確かさの考慮ケース
(走向: 基準)

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(4)津波予測計算結果:概略パラメータスタディ(水位下降側)(3/3)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口前面	備考	(参考) 1号取水口前面	(参考) 3号取水口前面
位置	走向				
南へ160km 移動	基準-5°	-6.84		-7.16	-6.69
	基準	-6.98		-7.48	-6.72
	基準+5°	-7.11		-7.32	-6.79
南へ180 km 移動	基準-5°	-6.62		-6.80	-6.41
	基準	-6.90		-7.07	-6.67
	基準+5°	-6.95		-7.07	-6.65
南へ200km 移動	基準-5°	-6.10		-6.51	-6.04
	基準	-6.44		-6.74	-6.28
	基準+5°	-6.55		-6.78	-6.51
南へ220km 移動	基準-5°	-5.45		-5.54	-5.37
	基準	-6.07		-6.36	-5.98
	基準+5°	-6.39		-6.57	-6.42

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(4)津波予測計算結果:詳細パラメータスタディ(水位下降側)

【詳細パラメータスタディ(波源位置:南へ110km, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口前面	備考	(参考) 1号取水口前面	(参考) 3号取水口前面
傾斜角	すべり角				
基準-5°	基準-10°	-7.71		-7.79	-7.68
	基準	-7.66		-7.74	-7.66
	基準+10°	-7.63		-7.76	-7.62
基準	基準-10°	-8.26		-8.05	-8.28
	基準	-8.27		-8.02	-8.29
	基準+10°	-8.24		-8.00	-8.26
基準+5°	基準-10°	-8.31		-8.17	-8.34
	基準	-8.36		-8.33	-8.37
	基準+10°	-8.36		-8.31	-8.33

【詳細パラメータスタディ(波源位置:南へ100km, 走向:基準-5°)(申請時の検討)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口前面	備考	(参考) 1号取水口前面	(参考) 3号取水口前面
傾斜角	すべり角				
基準-5°	基準-10°	-7.76		-7.78	-7.70
	基準	-7.65		-7.75	-7.66
	基準+10°	-7.61		-7.70	-7.62
基準	基準-10°	-8.20		-8.03	-8.26
	基準	-8.27		-8.01	-8.28
	基準+10°	-8.27		-8.03	-8.27
基準+5°	基準-10°	-8.30		-8.12	-8.33
	基準	-8.38		-8.35	-8.40
	基準+10°	-8.48	最大ケース	-8.42	-8.49

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(4)津波予測計算結果:まとめ

- 各評価位置における水位上昇側, 水位下降側の最大ケースを以下に示す。
- なお, 水位下降側については, 取水口敷高を下回る継続時間の整理結果も合わせて示す。

【水位上昇側】

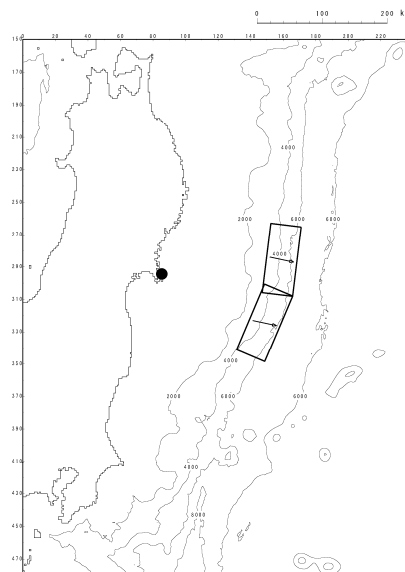
モデル	波源特性の不確かさ				最大水位上昇量(m)					
	位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面
申請時の 基準断層モデル	南へ110km	基準	基準	基準+10°	<u>19.73</u>	14.95	16.04	16.12	14.17	14.85
	南へ110km	基準	基準+5°	基準+10°	19.02	<u>16.20</u>	<u>16.87</u>	<u>16.82</u>	14.43	<u>15.47</u>
	南へ120km	基準+5°	基準+5°	基準+10°	18.80	16.14	16.81	16.73	<u>14.44</u>	15.43

【水位下降側】

モデル	波源特性の不確かさ				2号取水口前面	
	位置	走向	傾斜角	すべり角	最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る 継続時間(分)
申請時の 基準断層モデル	南へ100km	基準-5°	基準+5°	基準+10°	<u>-8.48</u>	1.3

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価 5.2.4(5)発電所周辺におけるMtの算定:検討方針(1/3)

- 以上の検討が女川地点を評価する上で十分厳しくなっているかを確認するため、敷地前面最大ケースを対象に発電所周辺における津波マグニチュード(Mt)を算定し、地震調査研究推進本部(2012)の評価(Mt8.6~9.0)を上回るかを確認した。



敷地前面最大ケース
(水位上昇側)

- 波源特性の不確かさ
- ・位置: 南へ110km移動
 - ・走向: 基準
 - ・傾斜角: 基準
 - ・すべり角: 基準+10°

Mtは、地震調査研究推進本部(2012)の評価と同様に、①検潮儀記録を用いた定義式(Abe(1981))、②痕跡高を用いた定義式(阿部(1999))を用いて、次のとおり算定した。

①検潮儀記録を用いた定義式(Abe(1981))を用いたMtの算定方法

- 発電所地点(2号取水口前面)、並びに鮎川検潮所位置の水位時刻歴波形の最大全振幅を用いてMtを算定した。

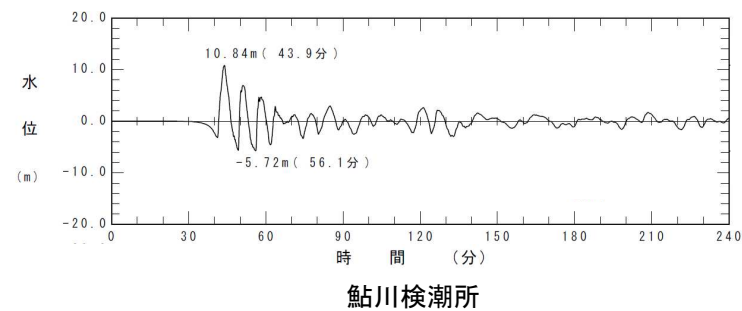
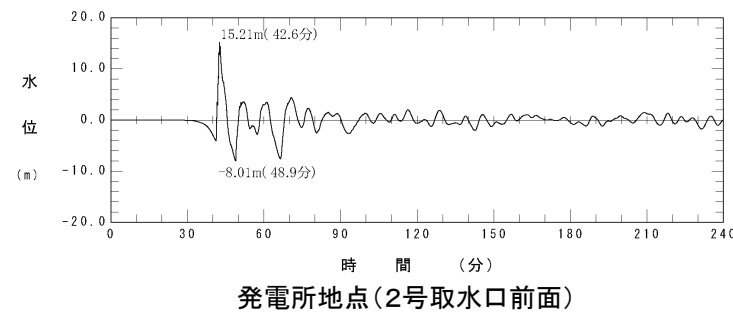
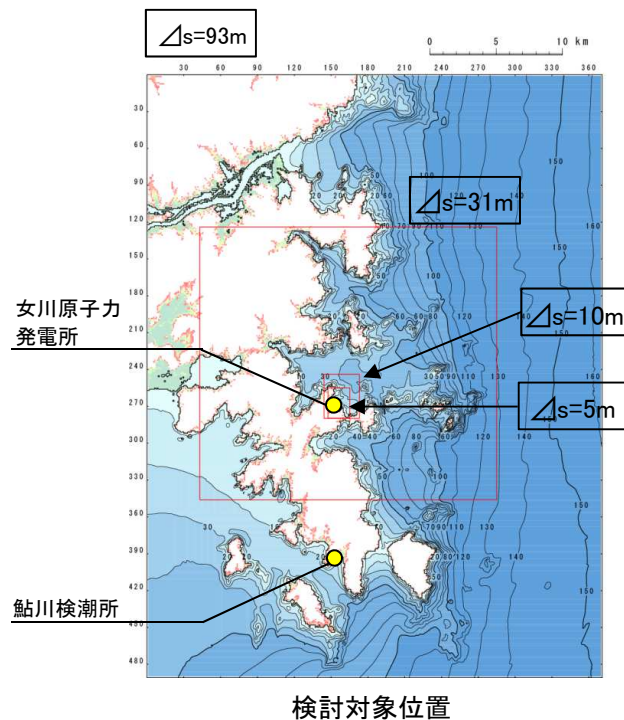
■ 定義式

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

H_2 : 2号取水口前面における津波の最大全振幅(m)

Δ : 断層モデルの中心から発電所までの海洋上の最短距離(km)

■ 検討対象位置と各地点の水位時刻歴波形



5.2.4(5)発電所周辺におけるMtの算定:検討方針(3/3)

②痕跡高を用いた定義式(阿部(1999))を用いたMtの算定方法

- 痕跡高に相当する計算値を用いてMtを算定する。
- Mtの算定にあたり用いる最大区画平均高(H_m)について、阿部(1999)は、「海岸全域を20km~40km毎に細かく区切り、各区画平均高の最大値を最大区画平均高(H_m)とする。」としているが、本検討では、発電所周辺(約20km範囲)の区画平均高を最大区画平均高(H_m)とした。

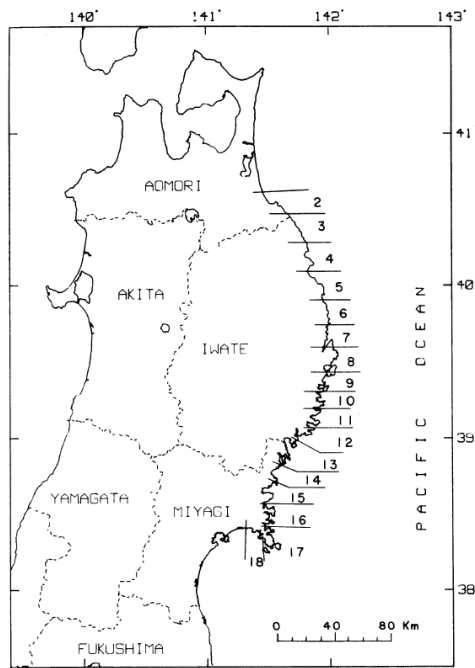
■定義式

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

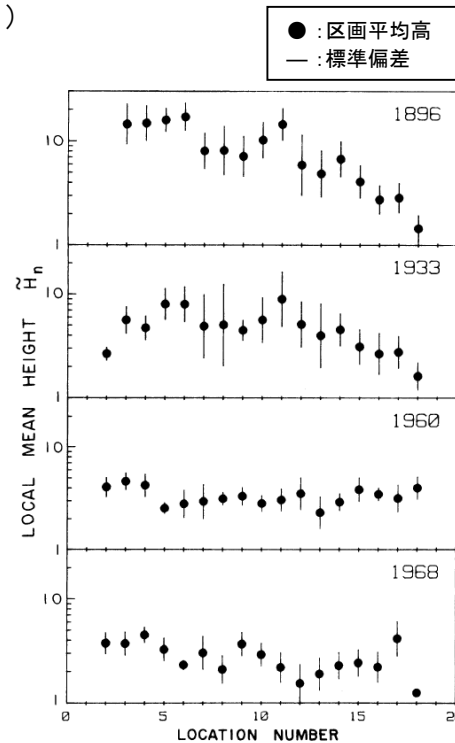
H_m : 最大区画平均高(m) (= 発電所周辺の区画平均高(m))

■最大区画平均高(H_m)の算定

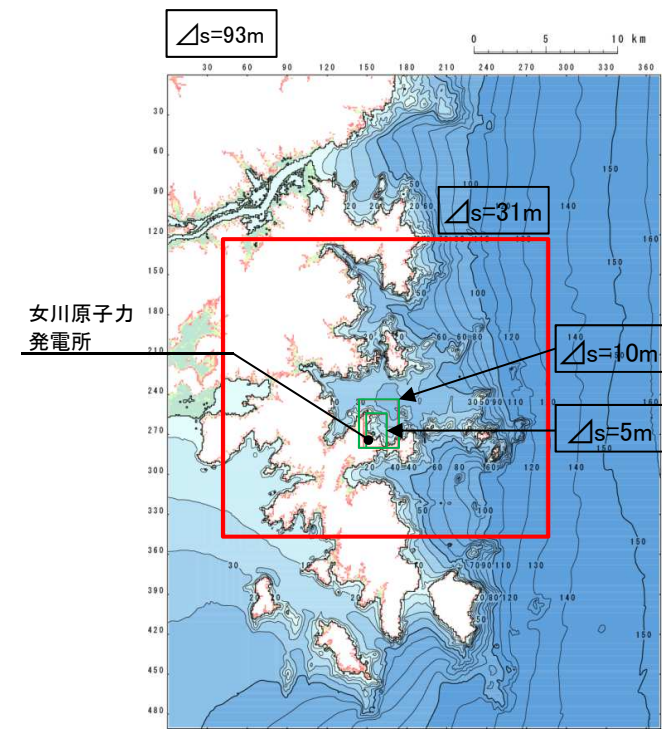
➢ 最大区画平均高の算定例(Kajiura(1983))



海岸の区間割り(区間距離:約20km)
(Kajiura(1983))



既往津波の区画平均高及び区画標準偏差
(Kajiura(1983))



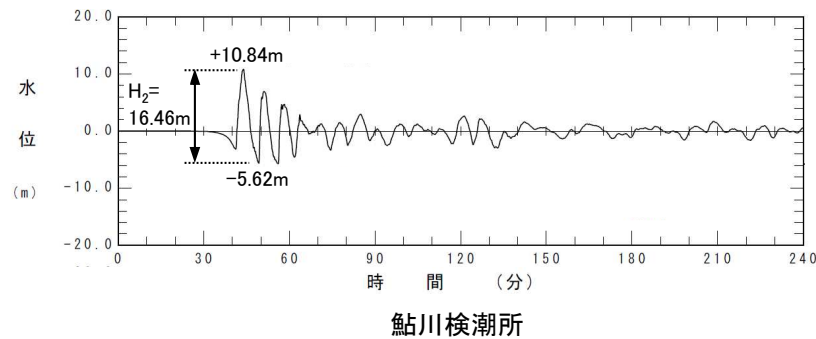
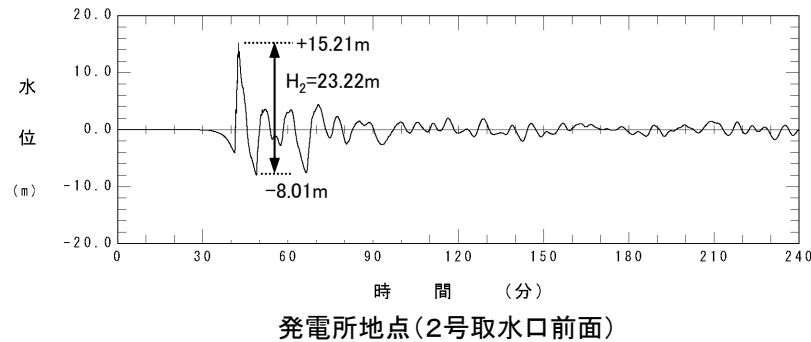
最大区画平均高(=発電所周辺の区画平均高)
の算定範囲(朱線部)

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

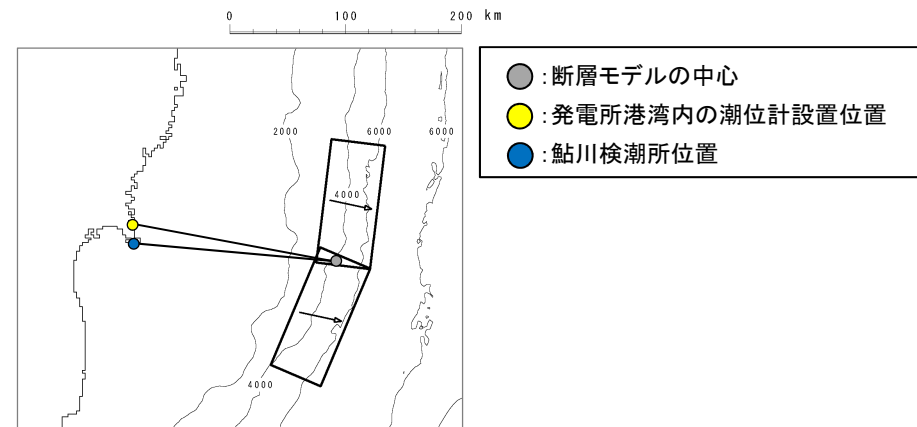
5.2.4(5) 発電所周辺におけるMtの算定: 検潮儀記録を用いた定義式によるMtの算定

- 発電所地点(2号取水口前面), 鮎川検潮所位置の水位時刻歴波形(最大全振幅(H_2)), 並びに各検討位置までの海洋上の最短距離(Δ)から算定されるMtは9.1である。

(1) 最大全振幅(H_2)



(2) 断層モデルの中心から各検討位置までの海洋上の最短距離(Δ)



(3) Mtの算定

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

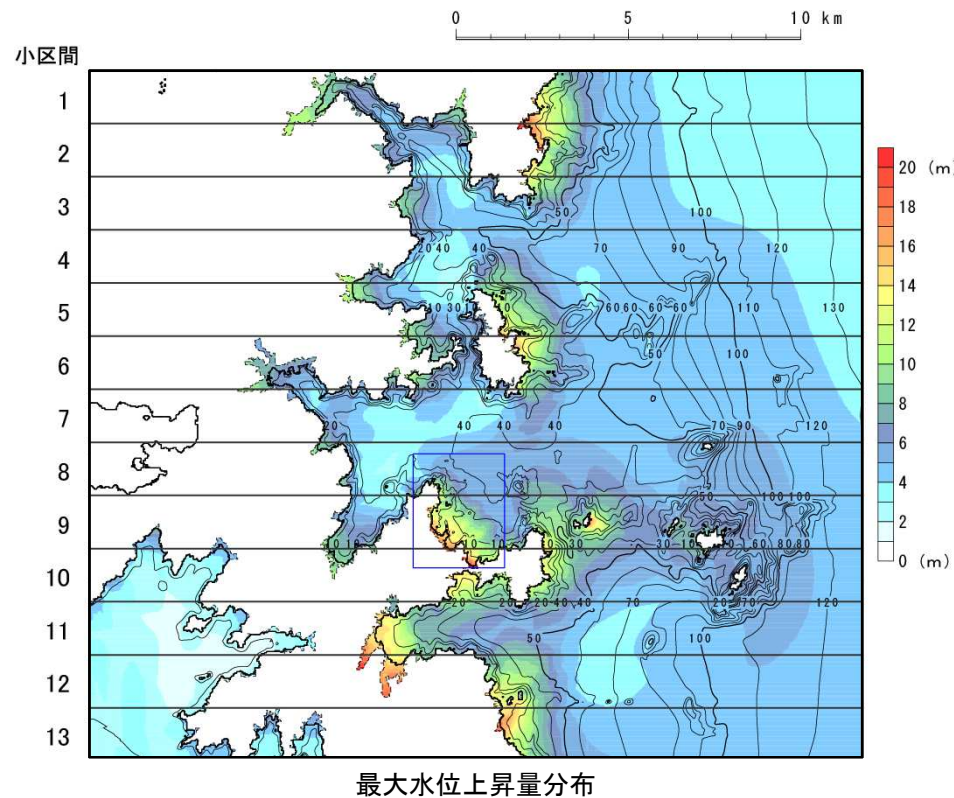
位置	最大全振幅 H_2 (m)	震央距離 Δ (km)	Mt	備考 (空間格子間隔)
発電所	23.22	180.6	9.2	5m
鮎川検潮所	16.46	178.6	9.0	91m
平均			9.1	

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価

5.2.4(5) 発電所周辺におけるMtの算定: 痕跡高を用いた定義式によるMtの算定

- 発電所周辺の痕跡高に相当する計算値から算定されるMtは8.8である。

(1) 最大区画平均高(H_m) (= 発電所周辺の区画平均高)



最大区画平均高(H_m) (= 発電所周辺の区画平均高)の算定

小区間	対数平均 (m)	区間平均 (m)	備考
1	1.14	13.7	
2	1.21	16.1	
3	0.97	9.3	
4	0.84	7.0	
5	1.10	12.7	
6	1.12	13.2	
7	0.81	6.5	
8	0.92	8.4	
9	1.22	16.4	発電所範囲
10	1.19	15.4	
11	1.17	14.8	
12	1.25	17.7	
13	1.17	14.6	
	1.08	12.2	最大区画平均高(H _m)

(2) Mtの算定

$$\begin{aligned}
 M_t &= 2 \log H_m + 6.6 \\
 &= 2 \log (12.2) + 6.6 \\
 &= 8.8
 \end{aligned}$$

I. 第5章 5.2 基準断層モデルの設定 5.2.4 申請時の基準断層モデルによる評価
5.2.4(5)発電所周辺におけるMtの算定:まとめ

- 敷地前面最大ケースを対象に発電所周辺におけるMtを算定した結果、Mt8.8～9.1であり、地震調査研究推進本部(2012)が評価した『次の地震の規模: Mt8.6～Mt9.0』を上回ることを確認した。
- 以上から、本検討は女川地点を評価する上で、十分厳しくなっていることを確認した。

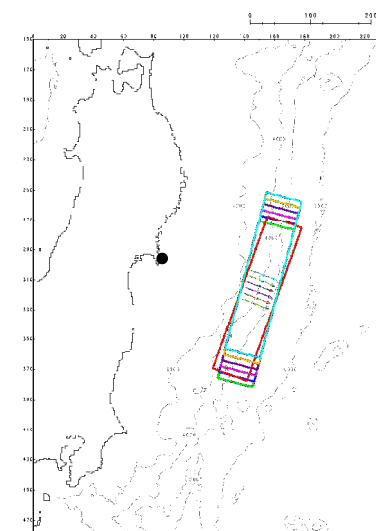
5.3.1(1)水位上昇側(1/2)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
北へ50km 移動	基準-5°	18.54	14.20	14.52	15.12	12.24	13.09	
	基準	19.84	14.86	15.01	15.68	12.81	13.60	
	基準+5°	20.54	15.12	15.54	15.93	13.08	13.93	
北へ40km 移動	基準-5°	18.36	14.17	14.48	15.06	12.19	13.06	
	基準	19.91	14.94	15.09	15.70	12.86	13.64	
	基準+5°	20.82	15.21	15.74	16.10	13.23	14.11	
北へ30km 移動	基準-5°	18.20	14.14	14.41	14.99	12.14	12.96	
	基準	20.07	15.01	15.19	15.78	12.93	13.65	
	基準+5°	21.09	15.43	15.96	16.34	13.39	14.34	
北へ20km 移動	基準-5°	17.90	14.04	14.30	14.84	12.05	12.79	
	基準	20.22	15.17	15.25	15.87	13.01	13.66	
	基準+5°	21.45	15.65	16.17	16.55	13.58	14.60	
北へ10km 移動	基準-5°	17.31	13.72	14.00	14.47	11.86	12.39	
	基準	20.02	15.13	15.21	15.79	13.01	13.67	
	基準+5°	21.67	15.72	16.30	16.73	13.78	14.81	詳細パラメータスタディ①
基準	基準-5°	16.77	13.27	13.42	13.92	11.48	11.90	
	基準	19.63	14.87	14.90	15.49	12.82	13.46	
	基準+5°	21.63	15.57	16.24	16.68	13.89	14.90	詳細パラメータスタディ②

- 位置:基準, 走向:基準
- 位置:北へ10km移動, 走向:基準
- 位置:北へ10km移動, 走向:基準+5°
- 位置:北へ20km移動, 走向:基準
- 位置:北へ30km移動, 走向:基準
- 位置:北へ40km移動, 走向:基準
- 位置:北へ50km移動, 走向:基準



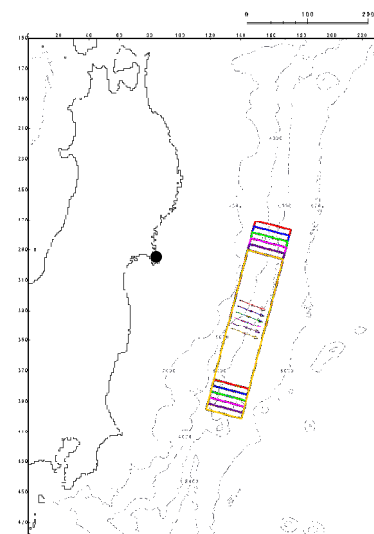
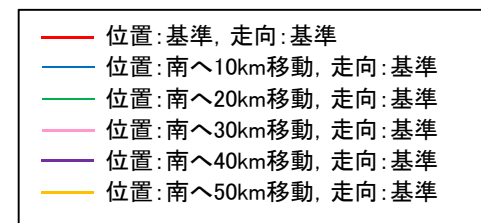
不確かさの考慮ケース

5.3.1(1)水位上昇側(2/2)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

(単位:m)

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
南へ10km 移動	基準-5°	15.68	12.62	12.75	13.20	10.80	11.20	
	基準	18.52	14.31	14.40	14.83	12.39	12.94	
	基準+5°	21.36	15.34	16.01	16.39	13.75	14.70	
南へ20km 移動	基準-5°	13.58	11.79	11.83	12.27	9.94	10.34	
	基準	17.03	13.54	13.60	14.00	11.67	12.12	
	基準+5°	20.65	14.79	15.43	15.84	13.35	14.15	
南へ30km 移動	基準-5°	12.55	11.00	10.84	11.04	9.09	9.55	
	基準	15.85	12.71	12.70	13.15	10.93	11.20	
	基準+5°	18.86	14.41	14.64	14.89	12.53	13.32	
南へ40km 移動	基準-5°	11.60	10.06	9.78	9.87	8.14	8.27	
	基準	13.65	11.81	11.78	12.20	9.96	10.09	
	基準+5°	17.18	13.61	13.66	13.90	11.82	12.29	
南へ50km 移動	基準-5°	10.69	9.26	8.84	8.95	7.14	7.16	
	基準	12.61	11.02	10.83	11.01	9.10	9.23	
	基準+5°	15.57	12.86	12.68	12.98	10.99	11.21	



不確かさの考慮ケース

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.1 概略パラメータスタディ
5.3.1(2)水位下降側

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考)	(参考)
位置	走向			1号取水口 前面	3号取水口 前面
北へ50km 移動	基準-5°	-8.07		-7.94	-8.08
	基準	-8.16		-8.05	-8.16
	基準+5°	-8.29		-8.16	-8.29
北へ40km 移動	基準-5°	-8.42		-8.32	-8.44
	基準	-8.54		-8.44	-8.55
	基準+5°	-8.57		-8.52	-8.59
北へ30km 移動	基準-5°	-8.63		-8.56	-8.63
	基準	-8.61		-8.51	-8.62
	基準+5°	-8.78	詳細パラメータスタディ	-8.70	-8.73
北へ20km 移動	基準-5°	-8.66		-8.58	-8.61
	基準	-8.74		-8.67	-8.71
	基準+5°	-8.77		-8.66	-8.73
北へ10km 移動	基準-5°	-8.66		-8.61	-8.65
	基準	-8.60		-8.51	-8.58
	基準+5°	-8.74		-8.67	-8.72
基準	基準-5°	-8.62		-8.63	-8.65
	基準	-8.54		-8.49	-8.55
	基準+5°	-8.50		-8.42	-8.50

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考)	(参考)
位置	走向			1号取水口 前面	3号取水口 前面
南へ10km 移動	基準-5°	-8.52		-8.48	-8.54
	基準	-8.52		-8.47	-8.54
	基準+5°	-8.43		-8.37	-8.44
南へ20km 移動	基準-5°	-8.21		-8.00	-8.19
	基準	-8.40		-8.34	-8.46
	基準+5°	-8.41		-8.34	-8.44
南へ30km 移動	基準-5°	-7.46		-7.35	-7.45
	基準	-8.12		-7.97	-8.12
	基準+5°	-8.34		-8.26	-8.33
南へ40km 移動	基準-5°	-6.70		-6.62	-6.63
	基準	-7.48		-7.44	-7.46
	基準+5°	-7.98		-7.88	-7.99
南へ50km 移動	基準-5°	-6.19		-6.29	-6.16
	基準	-7.00		-6.84	-6.85
	基準+5°	-7.57		-7.44	-7.58

5.3.1(3)まとめ

- 概略パラメータスタディ及び港湾部の防波堤の有無に関する影響検討結果(詳細は次頁以降に記載)を踏まえ、以下のケースを対象に詳細パラメータスタディを実施した。

【水位上昇側】

波源モデル	波源特性の不確かさ		最大水位上昇量(m)						備考
	位置	走向	敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	
津波地震	北へ10km	基準+5°	<u>21.67</u>	<u>15.72</u>	<u>16.30</u>	<u>16.73</u>	13.78	14.81	詳細パラメータスタディ①
	基準	基準+5°	21.63	15.57	16.24	16.68	<u>13.89</u>	<u>14.90</u>	詳細パラメータスタディ②

【水位下降側】

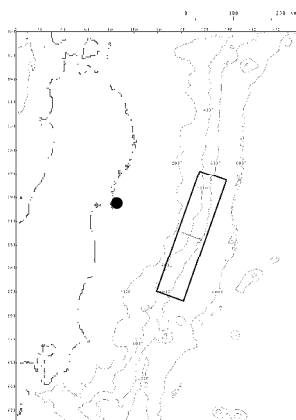
波源モデル	波源特性の不確かさ		最大水位下降量(m)	備考
	位置	走向	2号取水口 前面	
津波地震	北へ30km	基準+5°	-8.78	詳細パラメータスタディ①
	北へ10km	基準+5°	-8.74	詳細パラメータスタディ② (水位上昇側ケースと同様)
	基準	基準+5°	-8.50	詳細パラメータスタディ③ (水位上昇側ケースと同様)

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.2 防波堤の有無に関する影響検討
5.3.2(1)検討方針(1/2)

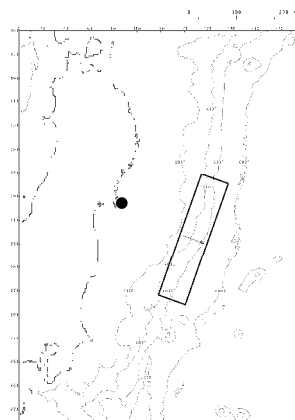
- 概略パラメータスタディで抽出した位置が、防波堤が無い場合でも選定位置として妥当であるかを確認するため、前後ケースを対象に、防波堤無し
の地形を用いてパラメータスタディを実施した。
- なお、防波堤の有無が抽出位置に影響する場合には、概略パラメータスタディで抽出した波源位置以外についても詳細パラメータスタディを実施
することとした。

■水位上昇側

評価位置	波源位置	備考
敷地前面 1号取水口前面 2号取水口前面 3号取水口前面	北へ20km移動	
	北へ10km移動	抽出位置
	基準位置	
1号放水口前面 2・3号放水口前面	北へ10km移動	
	基準位置	抽出位置
	南へ10km移動	



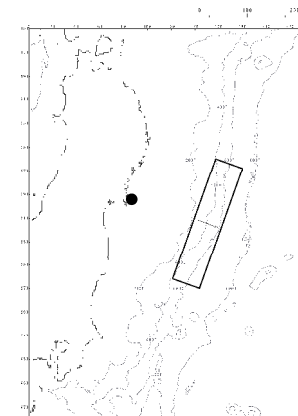
抽出位置:北へ10km移動
(走向:基準+5°)



抽出位置:基準位置
(走向:基準+5°)

■水位下降側

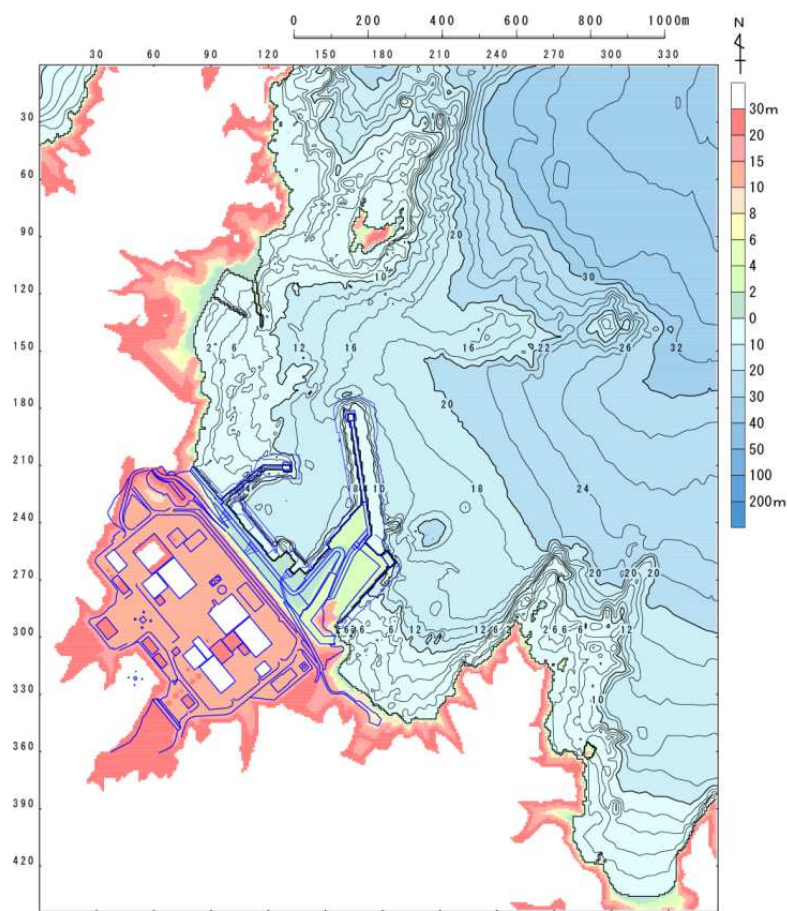
	位置	備考
2号取水口前面	北へ40km移動	
	北へ30km移動	抽出位置
	北へ20km移動	



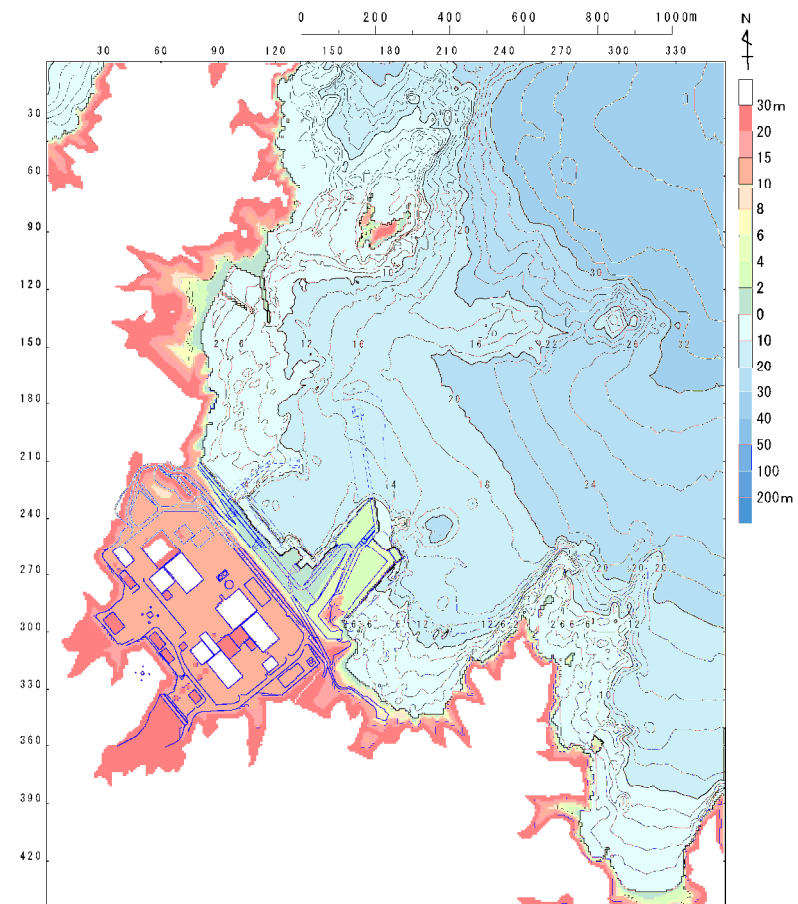
抽出位置:北へ30km移動
(走向:基準+5°)

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.2 防波堤の有無に関する影響検討 5.3.2(1)検討方針(2/2)

- 検討に用いた地形データを以下に示す。



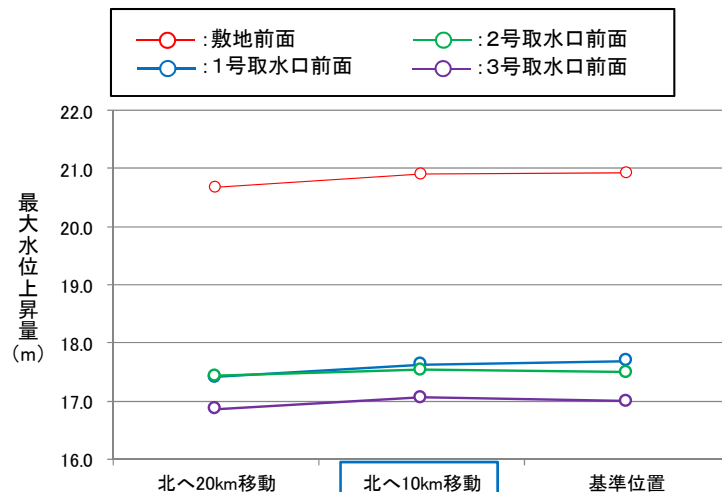
防波堤有り



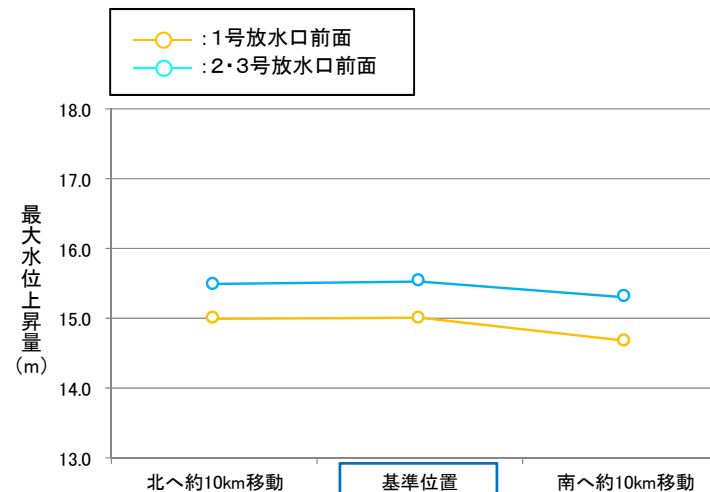
防波堤無し

5.3.2(2) 検討結果: 水位上昇側

- 防波堤無しの地形を用いたパラメータスタディの結果, 位置の選定に与える影響(傾向)に有意な差は認められないことを確認した。



評価位置: 敷地前面, 各取水口前面
(防波堤無し, 各波源位置の最大ケースをプロット) (単位: (m))



評価位置: 各放水口前面
(防波堤無し, 各波源位置の最大ケースをプロット) (単位: (m))

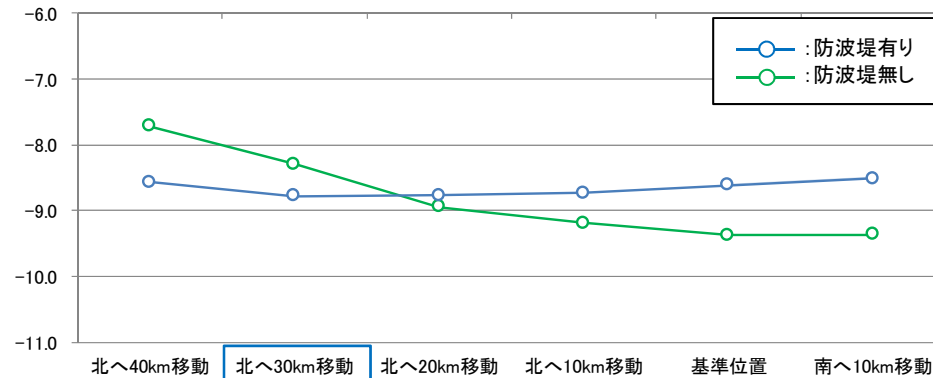
パラメータの変動範囲		敷地前面		1号取水口前面		2号取水口前面		3号取水口前面	
位置	走向	防波堤		防波堤		防波堤		防波堤	
		有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
北へ20km移動	基準-5°	17.90	18.58	14.04	15.88	14.30	16.56	14.84	15.95
	基準	20.22	19.42	15.17	16.84	15.25	17.10	15.87	16.72
	基準+5°	21.45	20.67	15.65	17.41	16.17	17.44	16.55	16.87
北へ10km移動	基準-5°	17.31	18.24	13.72	15.52	14.00	16.20	14.47	15.63
	基準	20.02	19.37	15.13	16.80	15.21	17.03	15.79	16.65
	基準+5°	<u>21.67</u>	20.91	<u>15.72</u>	17.63	<u>16.30</u>	<u>17.54</u>	<u>16.73</u>	<u>17.06</u>
基準位置	基準-5°	16.77	17.50	13.27	14.81	13.42	15.45	13.92	15.11
	基準	19.63	19.05	14.87	16.52	14.90	16.74	15.49	16.36
	基準+5°	21.63	<u>20.93</u>	15.57	<u>17.69</u>	16.24	17.50	16.68	17.00

パラメータの変動範囲		1号放水口前面		2・3号放水口前面	
位置	走向	防波堤		防波堤	
		有り	無し	有り	無し
北へ10km移動	基準-5°	11.86	13.02	12.39	12.91
	基準	13.01	14.21	13.67	14.47
	基準+5°	13.78	15.00	14.81	15.49
基準位置	基準-5°	11.48	12.36	11.90	12.39
	基準	12.82	13.85	13.46	14.23
	基準+5°	<u>13.89</u>	<u>15.01</u>	<u>14.90</u>	<u>15.53</u>
南へ10km移動	基準-5°	10.80	11.60	11.20	11.68
	基準	12.39	13.25	12.94	13.70
	基準+5°	13.75	14.68	14.70	15.31

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.2 防波堤の有無に関する影響検討

5.3.2(2) 検討結果: 水位下降側

- 防波堤無しの地形を用いたパラメータスタディの結果、防波堤の有無が位置の選定に与える影響(傾向)に差が認められた。
- 以上から、概略パラメータスタディで抽出した北へ30km移動した位置に追加して、水位上昇側の検討で実施した基準位置及び北へ10km移動した位置についても、防波堤有りの地形で詳細パラメータスタディを実施し、水位下降側の最大ケースを評価することとした。



評価位置: 2号取水口前面
(各波源位置の最大ケースをプロット)

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		2号放水口前面	
位置	走向	防波堤	
		有り	無し
北へ40km移動	基準-5°	-8.42	-7.70
	基準	-8.54	-7.55
	基準+5°	-8.57	-7.72
北へ30km移動	基準-5°	-8.63	-8.30
	基準	-8.61	-8.18
	基準+5°	-8.78	-8.10
北へ20km移動	基準-5°	-8.66	-8.95
	基準	-8.74	-8.83
	基準+5°	-8.77	-8.37

パラメータの変動範囲		2号放水口前面	
位置	走向	防波堤	
		有り	無し
北へ10km移動	基準-5°	-8.66	-9.18
	基準	-8.60	-9.19
	基準+5°	-8.74	-8.92
基準位置	基準-5°	-8.62	-9.17
	基準	-8.54	-9.38
	基準+5°	-8.50	-9.25
南へ10km移動	基準-5°	-8.52	-8.98
	基準	-8.52	-9.26
	基準+5°	-8.43	-9.37

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.3 詳細パラメータスタディ
5.3.3(1)水位上昇側

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

【詳細パラメータスタディ①(波源位置:北へ10km, 走向:基準+5°)】

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	18.99	13.64	14.64	14.77	12.50	13.22	
	基準	19.95	14.09	15.20	15.14	12.96	13.71	
	基準+10°	20.10	14.21	15.21	15.24	13.00	13.79	
基準	基準-10°	20.97	15.35	15.92	16.26	13.37	14.30	
	基準	21.67	15.72	16.30	16.73	13.78	14.81	
	基準+10°	21.68	15.86	16.47	16.79	13.81	14.84	
基準+5°	基準-10°	20.17	16.73	16.91	16.64	13.94	14.21	
	基準	20.84	17.08	17.47	17.09	14.35	14.75	
	基準+10°	20.84	17.21	17.61	17.20	14.392	14.72	各取水口前面最大ケース

【詳細パラメータスタディ②(波源位置:基準, 走向:基準+5°)】

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	すべり角							
基準-5°	基準-10°	19.11	13.67	14.74	14.71	12.70	13.33	
	基準	20.22	14.09	15.25	15.23	13.24	13.91	
	基準+10°	20.53	14.21	15.39	15.37	13.37	14.06	
基準	基準-10°	20.95	15.21	15.85	16.15	13.35	14.32	
	基準	21.63	15.57	16.24	16.68	13.89	14.90	
	基準+10°	21.82	15.80	16.39	16.80	13.98	15.01	敷地前面最大ケース 2・3号放水口前面最大ケース
基準+5°	基準-10°	19.96	16.53	16.66	16.54	13.86	14.19	
	基準	20.76	17.05	17.31	17.04	14.32	14.75	
	基準+10°	20.73	17.13	17.45	17.18	14.393	14.80	1号放水口前面最大ケース

I. 第5章 5.3 津波予測計算 5.3.3 詳細パラメータスタディ

5.3.3(2)水位下降側

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

【詳細パラメータスタディ①(波源位置:北へ30km, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考
傾斜角	すべり角		
基準-5°	基準-10°	-7.91	
	基準	-8.04	
	基準+10°	-8.06	
基準	基準-10°	-8.66	
	基準	-8.78	
	基準+10°	-8.78	
基準+5°	基準-10°	-9.00	
	基準	-9.00	
	基準+10°	-8.95	

【詳細パラメータスタディ③(波源位置:基準, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考
傾斜角	すべり角		
基準-5°	基準-10°	-7.58	
	基準	-7.78	
	基準+10°	-7.86	
基準	基準-10°	-8.37	
	基準	-8.50	
	基準+10°	-8.53	
基準+5°	基準-10°	-8.92	
	基準	-9.01	
	基準+10°	-9.03	

【詳細パラメータスタディ②(波源位置:北へ10km, 走向:基準+5°)】

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考
傾斜角	すべり角		
基準-5°	基準-10°	-7.84	
	基準	-8.02	
	基準+10°	-8.06	
基準	基準-10°	-8.57	
	基準	-8.74	
	基準+10°	-8.80	
基準+5°	基準-10°	-9.01	
	基準	-9.15	
	基準+10°	-9.17	2号取水口前面最大ケース

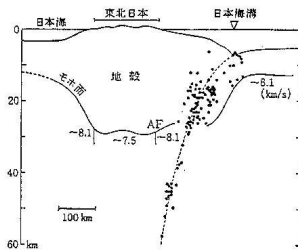
I. 地震に起因する津波の評価

1. 文献調査
2. 千島海溝沿いで発生する津波の影響
3. 遠地津波の数値シミュレーション
4. 東北地方太平洋沖型の地震
5. 津波地震
6. 海洋プレート内地震
 6. 1 剛性率, ライズタイムの設定
 6. 2 断層上縁深さの設定
 6. 3 地震本部(2014)による海洋プレート内地震(正断層型)の評価
 6. 4 津波予測計算

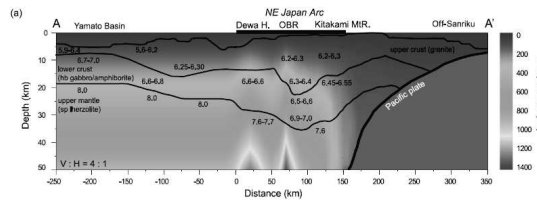
I. 地震に起因する津波の評価 6. 海洋プレート内地震

6.1 剛性率, ライズタイムの設定: 剛性率

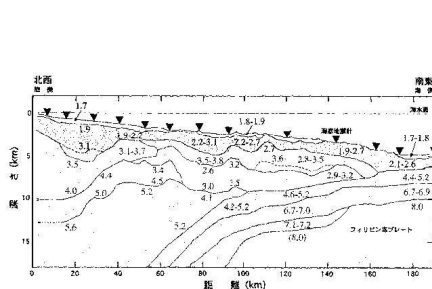
- 土木学会(2016)等を参考として, $7.0 \times 10^{10} (\text{N/m}^2)$ とした。



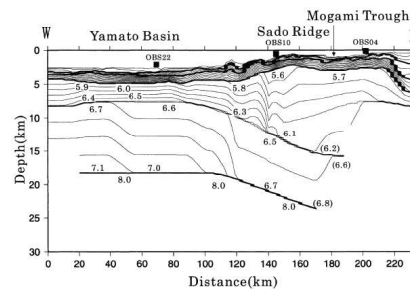
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



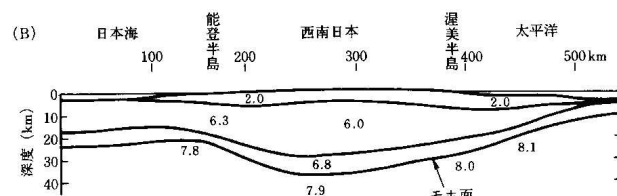
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) ©日本地質学会)



(c) 日向灘沖 (宮町・後藤, 1999)



(d) 秋田沖日本海東縁部 (西坂ほか, 2001)



(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(2016))

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	1.73		Hashizume(1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ほか(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)			高波ほか(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) 1.731	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			
日航付近	1.682±0.016	1.686※	1.90	大東・伊藤(1995) ※は真の Vp, Vs から求めた値
長野県西部	1.700±0.053	1.686※		
兵庫県南部	1.680±0.023	1.76※	1.76※	

震源付近の媒質の剛性率(土木学会(2016))

海域	根拠	剛性率
・西南日本陸側プレート内 ・日本海東縁部 ・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)	$Vp=6.0\text{km/s}$ $Vp/Vs=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8\text{g/cm}^3$ 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。	$3.5\times 10^{10}\text{N/m}^2$ ($3.5\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2$)
・海洋プレート内 ・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)	$Vp=8.0\sim 8.1\text{km/s}$ $Vp/Vs=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5\text{g/cm}^3$ 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。	$7.0\times 10^{10}\text{N/m}^2$ ($7.0\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2$)
・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)	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 6. 海洋プレート内地震

6.1 剛性率, ライズタイムの設定:ライズタイム

- 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。

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

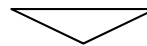
ここで、

L : 断層長さ(km)

V_r : 破壊伝播速度(km/s)

τ : ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間)(s)

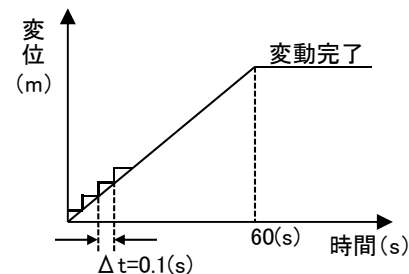
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL:150(km)~200(km)程度(土木学会(2016)), 破壊伝播速度 V_r :2.4(km/s)~3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2017b)), ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間) τ :5(s)程度(相田(1986))とすると、津波初期変位分布のライズタイムは、55(s)~88(s)程度となる。



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 Δt :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 6. 海洋プレート内地震

6.2 断層上縁深さの設定:土木学会(2002)の設定方法(1/4)

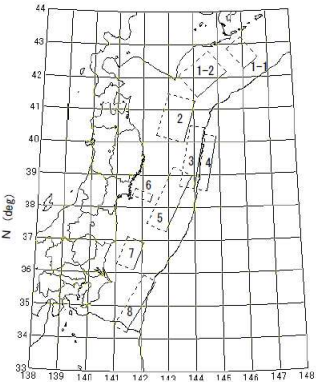
■基準断層モデルの定義

- 各海域における地震特性等を踏まえて適切に設定された, 想定津波の数値計算を行うための計算モデルで, パラメータスタディを実施する際の基準となる断層モデルを基準断層モデルと定義している。
- 日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿い海域におけるプレート境界付近で想定する津波の基準断層モデルは, 過去に繰り返し津波が発生しており, また, プレート境界形状等に関する知見が比較的豊富であるため, 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルにスケーリング則を適用して設定している。

■日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿いにおける基準断層モデルの設定方法

- 波源設定方法の基本的考え方は, 「既往津波の痕跡高を最もよく説明する断層モデルをもとに, 位置と M_w に応じた基準断層モデルを設定する。」としている。

地震・断層モデルの特徴, 波源設定法の基本的考え方, 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル (土木学会(2002)に一部加筆)

対象海域	大区分	プレート境界付近	地震・断層モデルの特徴	<ul style="list-style-type: none"> 津波地震, プレート内正断層地震, プレート間逆断層地震, プレート内逆断層地震が特定の場所に発生しており, それぞれが断層パラメータに特徴をもつ。 走向は太平洋プレート上面(海溝)の等深線にほぼ一致する。 すべり方向はプレート間相対運動の向きにほぼ一致する。 																																																																																																				
	中区分	太平洋プレートの沈み込みに関係した海域																																																																																																						
	小区分	日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿い																																																																																																						
			波源設定法の基本的考え方	<ul style="list-style-type: none"> 既往津波の痕跡高を最もよく説明する断層モデルをもとに, 位置とM_wに応じた基準断層モデルを設定する。 																																																																																																				
既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル				<table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>L (km)</th> <th>W (km)</th> <th>D (m)</th> <th>δ (°)</th> <th>λ (°)</th> <th>μ ($\times 10^{10}$)</th> <th>M_0 ($\times 10^{20}$)</th> <th>M_w モデル</th> <th>対応する既往津波</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-1</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>2.2</td> <td>27</td> <td>115</td> <td>5.0</td> <td>6.6</td> <td>7.8</td> <td>1973年</td> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td>130</td> <td>100</td> <td>3.5</td> <td>20</td> <td>115</td> <td>5.0</td> <td>22.8</td> <td>8.2</td> <td>1952年</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>6.0</td> <td>20</td> <td>80</td> <td>5.0</td> <td>45.0</td> <td>8.4</td> <td>1968年</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>210</td> <td>50</td> <td>9.7</td> <td>20</td> <td>75</td> <td>3.5</td> <td>35.6</td> <td>8.3</td> <td>1896年</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>185</td> <td>50</td> <td>6.6</td> <td>45</td> <td>270</td> <td>7.0</td> <td>42.7</td> <td>8.4</td> <td>1933年</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>210</td> <td>70</td> <td>4.0</td> <td>15</td> <td>85</td> <td>5.0</td> <td>29.4</td> <td>8.2</td> <td>1793年</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>26</td> <td>65</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>85</td> <td>7.0</td> <td>2.4</td> <td>7.5</td> <td>1978年</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>100</td> <td>60</td> <td>2.3</td> <td>10</td> <td>85</td> <td>5.0</td> <td>6.9</td> <td>7.8</td> <td>1938年</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>200</td> <td>50</td> <td>6.5</td> <td>20</td> <td>95</td> <td>3.5</td> <td>22.8</td> <td>8.2</td> <td>1677年</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>はN/m^2, 地震モーメントM_0の単位は$N \cdot m$である。</small></p>	番号	L (km)	W (km)	D (m)	δ (°)	λ (°)	μ ($\times 10^{10}$)	M_0 ($\times 10^{20}$)	M_w モデル	対応する既往津波	1-1	60	100	2.2	27	115	5.0	6.6	7.8	1973年	1-2	130	100	3.5	20	115	5.0	22.8	8.2	1952年	2	150	100	6.0	20	80	5.0	45.0	8.4	1968年	3	210	50	9.7	20	75	3.5	35.6	8.3	1896年	4	185	50	6.6	45	270	7.0	42.7	8.4	1933年	5	210	70	4.0	15	85	5.0	29.4	8.2	1793年	6	26	65	2.0	20	85	7.0	2.4	7.5	1978年	7	100	60	2.3	10	85	5.0	6.9	7.8	1938年	8	200	50	6.5	20	95	3.5	22.8	8.2	1677年
番号	L (km)	W (km)	D (m)	δ (°)	λ (°)	μ ($\times 10^{10}$)	M_0 ($\times 10^{20}$)	M_w モデル	対応する既往津波																																																																																															
1-1	60	100	2.2	27	115	5.0	6.6	7.8	1973年																																																																																															
1-2	130	100	3.5	20	115	5.0	22.8	8.2	1952年																																																																																															
2	150	100	6.0	20	80	5.0	45.0	8.4	1968年																																																																																															
3	210	50	9.7	20	75	3.5	35.6	8.3	1896年																																																																																															
4	185	50	6.6	45	270	7.0	42.7	8.4	1933年																																																																																															
5	210	70	4.0	15	85	5.0	29.4	8.2	1793年																																																																																															
6	26	65	2.0	20	85	7.0	2.4	7.5	1978年																																																																																															
7	100	60	2.3	10	85	5.0	6.9	7.8	1938年																																																																																															
8	200	50	6.5	20	95	3.5	22.8	8.2	1677年																																																																																															

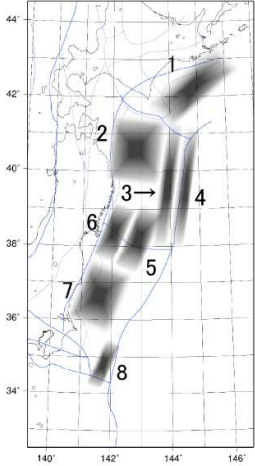
→続きを次頁に示す。

6.2 断層上縁深さの設定:土木学会(2002)の設定方法(2/4)

- 断層上縁深さの設定方法について、「プレート内地震はゼロとする。」としている。

津波の痕跡高を説明できる断層モデルの既往最大 M_w , 基準断層モデルのパラメータ設定方法及び設定フロー(土木学会(2002)に一部加筆)

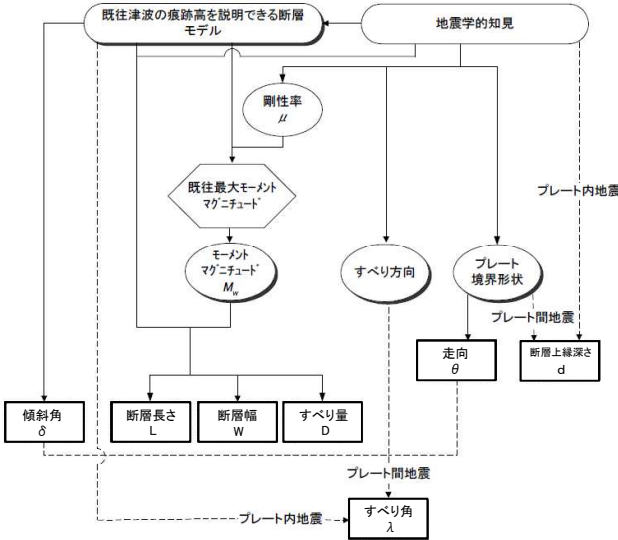
津波の痕跡高を説明できる断層モデルの既往最大 M_w



領域	既往最大 M_w	対応する既往津波
1	8.2	1952年
2	8.4	1968年
3	8.3	1896年
4	8.6	1611年
5	8.2	1793年
6	7.7	1978年
7	7.9	1938年
8	8.2	1677年

断層長さ	想定位置近傍に設定された、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルにスケーリング則を適用する。
幅	想定位置近傍に設定された、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルにスケーリング則を適用する。
すべり量	想定位置近傍に設定された、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルにスケーリング則を適用する。
上縁深さ	プレート間地震は、太平洋プレート上面の深さに基づき、水深を考慮して設定する。 プレート内地震はゼロとする。
走向	太平洋プレート上面(海溝)の等深線の走向に基づき設定する。
傾斜角	想定位置近傍に設定された、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルと同じとする。
すべり角	プレート間地震は、走向とすべり方向に基づき設定する。 プレート内地震は、想定位置近傍に設定された、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルと同じとする。
剛性率	深さ 20km 未満では $3.5 \times 10^{10}(\text{N}/\text{m}^2)$ とする。 深さ 20km 以上では $7.0 \times 10^{10}(\text{N}/\text{m}^2)$ とする。 上記 2 領域にまたがる場合、 $5.0 \times 10^{10}(\text{N}/\text{m}^2)$ とする。
スケーリング則	津波地震・プレート内地震は幅 50km を上限とする。 通常のプレート間地震は、深さ 50km に達する場合、幅に制限を設ける。他の場合、制限なし。

基準断層モデルのパラメータ設定フロー



プレート間地震とプレート内地震で異なる流れは破線で示してある。
長方形は津波計算に必要な断層パラメータを、影付きの項目はパラメータ設定に先立って必要な項目を表す。

I. 地震に起因する津波の評価 6. 海洋プレート内地震

6. 2 断層上縁深さの設定: 土木学会(2002)の設定方法(3/4)

■ 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル

- 1933年昭和三陸地震津波を再現する断層モデルの断層上縁深さを「1km」に設定して、痕跡高の再現性を確認している。

津波痕跡高との比較を実施している断層モデル(日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿い海域)
(土木学会(2002)に一部加筆)

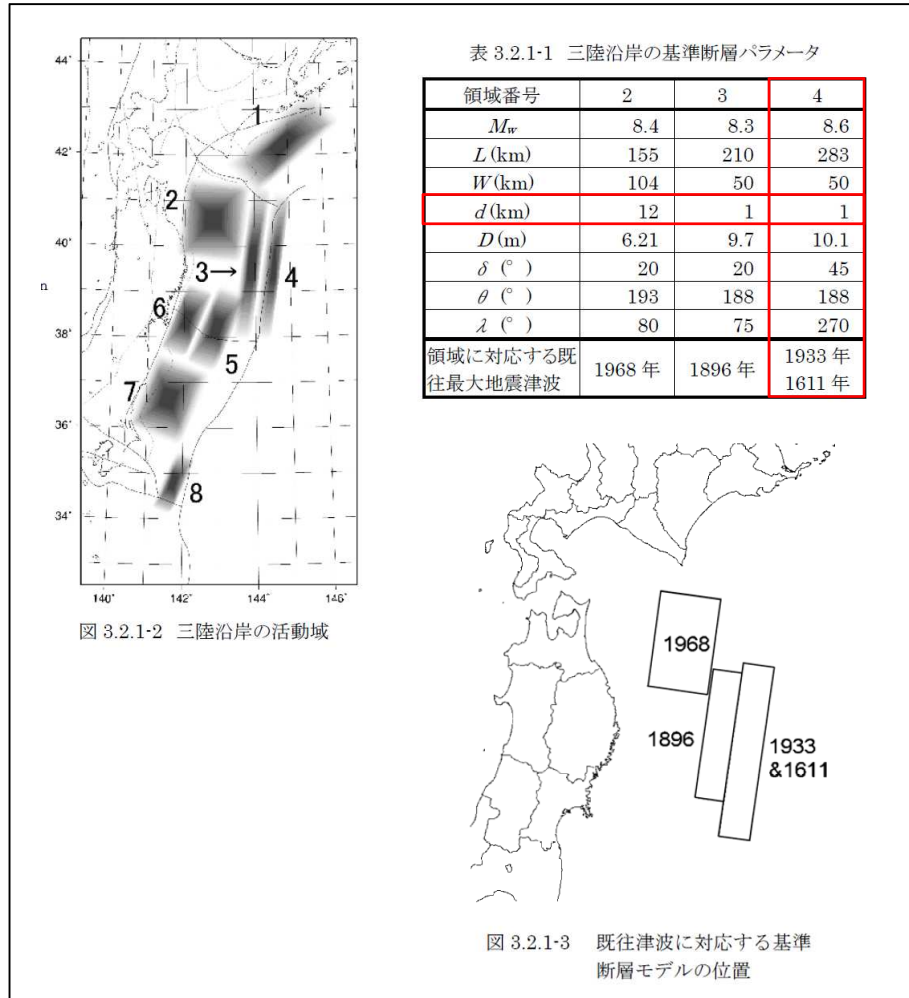
海域 小区分	対象津波	M_w モデル	S (km^2)	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ ($^\circ$)	δ ($^\circ$)	λ ($^\circ$)	μ ($\times 10^{10}$ N/m^2)	すべり方 向($^\circ$)	デー タ 数	K	κ	備考	タイプ
千島 海溝 沿い	1952年十勝沖	8.17	13000	130	100	3.5	1	220	20	76	5.0	144.86	25	1.236	1.462	(参考)七省庁, Aida(1978)モデル	プレート間逆断層地震
	1973年根室半島沖	7.81	6000	60	100	2.2	2.3	230	27	101	5.0	127.69	検潮	1.01	1.18	(参考)電力, 補正	プレート間逆断層地震
	1994年 北海道東方沖	8.41	12800	160	80	5.78	10	230	77	128	7.0	66.06	14	0.752	1.454	(参考)七省庁, 高橋智幸ら(1996)モ デル	プレート内逆断層地震
日本 海溝 沿い	1611年豊長三陸沖	8.58	12250	245	50	10.7	1	180	45	270	7.0	270.00	11	1.003	1.368	補正相田(1977)	プレート内正断層地震
	同上	8.32	10500	210	50	10.3	1	190	20	75	3.5	115.92	11	1.003	1.416	本体系化原案	プレート間津波地震
	1677年房総沖	8.17	10000	200	50	6.5	1	210	20	90	3.5	120.00	15	1.00	1.41	電力, 独自モデル	プレート間津波地震
	1793年宮城県沖	8.246	14700	210	70	4.0	10	205	15	90	5.0	115.00	33	0.997	1.479	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1856年十勝沖	8.28	8400	120	70	7.8	26	205	20	90	5.0	115.00	20	1.001	1.362	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1896年明治三陸沖	8.30	10500	210	50	9.7	1	195	20	90	3.5	105.00	100	1.00	1.544	補正Tanioka and Satake(1996)	プレート間津波地震
	1933年昭和三陸沖	8.354	9250	185	50	6.6	1	180	45	270	7.0	270.00	571	0.95	1.39	電力, 相田(1977)モ デル	プレート内正断層地震
	1968年十勝沖	8.36	5000	50	100	5.9	16	195	20	76	5.0	119.86	273	1.019	1.405	本体系化原案	プレート間逆断層地震
		5000	50	100	5.9	8	195	20	76	5.0	119.86						
		5000	50	100	5.9	3	195	20	76	5.0	119.86						
	1897年三陸沖	7.80	3600	120	30	3.5	1	205	20	90	5.0	115.00	13:間接	-	1.6	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1931年青森県東方沖	7.39	3000	100	30	0.74	50	192	20	90	7.0	102.00	検潮	-	-	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖II	7.72	6000	100	60	1.6	30	200	10	95	5.0	284.92	検潮	0.84	1.32	(参考)電力, 修正 Abe(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖IV	7.753	3825	85	45	2.0	20	190	80	270	7.0	280.00	検潮	0.62	1.95	(参考)電力, 補正 Abe(1977)	プレート内正断層地震
	1938年塩屋沖V	7.70	4275	95	45	1.5	20	190	80	270	7.0	280.00	1	0.419	-	(参考)七省庁, Abe(1977)モデル	プレート内正断層地震
	1968年岩手県沖	7.60	3500	70	50	1.8	1	151	30	31	5.0	123.51	検潮	0.99 0.82	1.48 1.66	(参考)Aida(1978)	プレート間逆断層地震
1978年宮城県沖	7.516	1690	26	65	2	25	190	20	85	7.0	105.32	検潮	-	-	(参考)相田(1978b)	プレート間逆断層地震	
1994年 三陸はるか沖	7.66	1800	60	30	0.75	35.4	200	10	90	5.0	110.00	検潮	-	-	(参考)Tanioka et al.(1996) (7セグメント; 負のす べり除外)	プレート間逆断層地震	
	1350	30	45	0.65	27.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	0.93	27.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	0.73	19.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	1.71	19.1	200	10	90	5.0	110.00							
1800	60	30	0.56	13.4	200	10	90	5.0	110.00								

6.2 断層上縁深さの設定:土木学会(2002)の設定方法(4/4)

■想定津波の評価例

- 基準断層モデルの断層上縁深さは、1933年昭和三陸地震津波を再現する断層モデルのパラメータを基本として、「1km」に設定している。
- 断層上縁深さの不確かさの考慮方法は、「0, 1km, 2km」と変化させた計算を実施している。

【基準断層モデル】(土木学会(2002)に一部加筆)



【断層上縁深さの不確かさの考慮方法】(土木学会(2002)に一部加筆)

3.2.3 詳細パラメータスタディの結果

3 領域で基準断層モデルを位置移動した概略パラメータスタディでの計算ケースのうち、以下の3波源を詳細パラメータスタディの基準断層モデルとした(図3.2.1-4参照)。

- (i) 領域4の断層を最も南に配置したケース(岩手県南部～宮城県北部で最大水位上昇量)
- (ii) 領域3の断層を最も北に配置したケース(北海道南部～岩手県北部で最大水位上昇量)
- (iii) 領域3の断層を南から2番目に配置したケース(宮城県北部で最大水位上昇量)

上記基準断層モデルについて、同位置で以下のように断層パラメータを変化させた計算を実施した。

(1) 領域4 (プレート内正断層)

- 断層上縁面深さ : 0, 1, 2km
- 傾斜角 δ : 基準, 基準 $\pm 5^\circ$
- 走向 θ : 基準, 基準 $\pm 10^\circ$

(2) 領域3 (逆断層)

- 傾斜角 δ : 基準, 基準 $\pm 5^\circ$
- 走向 θ : 基準, 基準 $\pm 10^\circ$
- すべり方向 : 基準, 基準 $\pm 10^\circ$

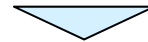
(すべり角はすべり方向を満足するよう変動する。)

I. 地震に起因する津波の評価 6. 海洋プレート内地震

6.2 断層上縁深さの設定:まとめ

■土木学会(2002)の設定方法

- 土木学会(2002)では、日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿いの海域における基準断層モデルについて、既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルにスケーリング則を適用して設定することを基本としている。
- 想定津波の評価例で設定している基準断層モデルの断層上縁深さは、1933年昭和三陸地震津波の痕跡高を再現するモデルの断層上縁深さ「1km」を採用している。
- なお、断層上縁深さの不確かさは、「0km, 1km, 2km」と変化させたパラメータスタディを実施している。



■既往津波の再現モデル、基準断層モデルの設定値への反映

- 土木学会(2002)の設定方法を踏まえ、既往津波(1933年昭和三陸地震津波)の再現モデルの断層上縁深さを「1km」に設定し、痕跡高の再現性を確認した。
- 基準断層モデルは、既往津波の再現モデルと同様の設定値を採用した。
- なお、断層上縁深さの不確かさの考慮方法は、土木学会(2002)と同様に、0km, 1km, 2kmと変化させたパラメータスタディを実施した。

I. 地震に起因する津波の評価 6. 海洋プレート内地震

6.3 地震本部(2014)による海洋プレート内地震(正断層型)の評価

■地震調査研究推進本部(2014)の評価

- 地震調査研究推進本部(2014)の確率論的評価では、地震調査研究推進本部(2012)の長期評価に基づき、1933年昭和三陸地震と同規模の地震(M8.2, 断層幅100km)を、海溝の東側と西側に想定している。

【地震調査研究推進本部(2014)の確率論的評価の概要】(地震調査研究推進本部(2014)に一部加筆)

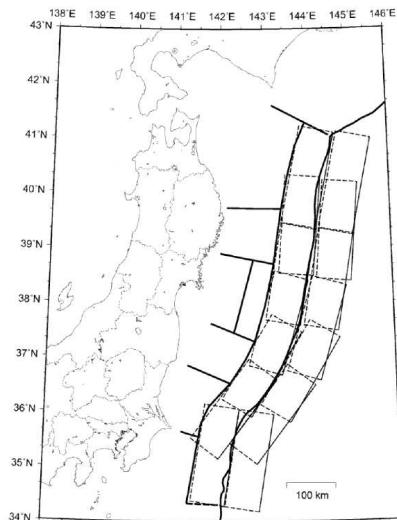


図 5.1.3.2-6 三陸沖北部から房総沖のプレート内地震(正断層型)の断層面
(2013年における検討の従来モデル、検討モデルで使用)

表 5.1.2.2-2 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)の諸元

	長期評価	設定モデル
30年発生確率	4%~7%	5.1%
50年発生確率	6%~10%	8.3%
マグニチュード	M8.2前後, M8.3前後	M _w 8.2
震源域	図 5.1.2.2-1 のオの領域内、具体的な地域は特定できない 長さ 200km 程度 幅 100km 程度	領域内に長さ 200km、幅 100km、傾斜角 45°、上端深さ 0km の矩形の断層面を南北 7 列 × 東西 1 列並べて、そのいずれかで等確率で地震が発生すると仮定(断層数 7)

(注) 設定モデルの確率計算では、平均発生間隔=575年(400~750年の中央値)のポアソン過程を仮定した。また M_w=M_j と仮定した。

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.1 概略パラメータスタディ(南北方向)
6.4.1(1)水位上昇側(1/3)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

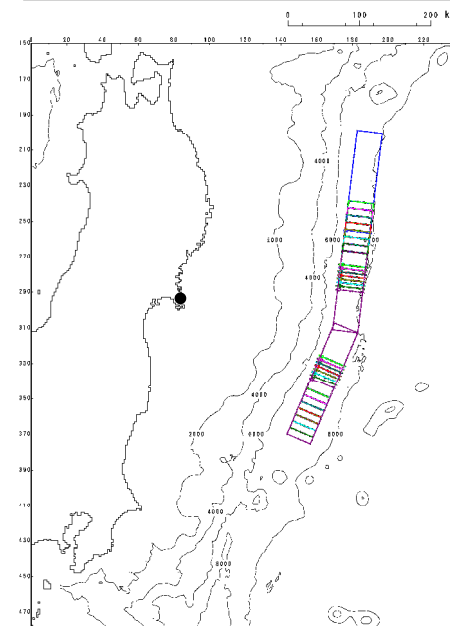
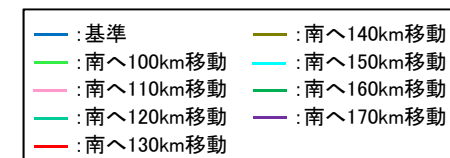
(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	備考
位置	走向							
北へ40km移動	基準-10°	9.77	6.31	5.90	5.43	6.57	5.94	
	基準	6.46	5.65	5.59	5.46	4.89	4.30	
	基準+10°	5.88	4.86	4.64	4.62	3.61	3.49	
北へ20km移動	基準-10°	11.18	6.51	6.41	6.00	6.94	6.75	
	基準	9.15	5.76	5.67	5.32	5.86	5.21	
	基準+10°	6.18	5.32	5.25	5.27	4.50	3.96	
基準	基準-10°	12.04	6.78	6.93	7.08	7.12	7.36	
	基準	10.75	6.17	6.08	5.55	6.09	6.49	
	基準+10°	8.72	5.48	5.52	5.42	5.80	5.11	
南へ20km移動	基準-10°	13.10	7.20	7.47	7.42	7.36	8.90	
	基準	11.72	6.27	6.56	6.53	6.30	7.21	
	基準+10°	11.74	6.23	6.52	5.90	7.31	5.41	
南へ40km移動	基準-10°	13.94	7.47	8.92	7.76	8.05	9.35	
	基準	12.60	6.54	6.69	7.02	6.52	7.51	
	基準+10°	12.97	6.73	6.45	6.51	8.02	6.97	
南へ60km移動	基準-10°	14.58	7.89	9.24	8.45	8.38	9.66	
	基準	13.31	6.82	7.11	6.77	7.43	7.45	
	基準+10°	14.20	7.14	7.68	7.09	8.46	7.93	
南へ80km移動	基準-10°	14.88	7.89	10.85	9.68	8.50	9.70	
	基準	13.92	6.92	6.47	5.99	8.25	7.66	
	基準+10°	15.04	7.37	8.80	7.88	8.74	8.77	

6.4.1(1)水位上昇側(2/3)

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
南へ100km 移動	基準-10°	16.52	9.34	12.12	10.23	10.30	9.72	
	基準	16.74	7.68	8.42	7.77	9.36	8.41	
	基準+10°	15.50	7.57	9.51	8.20	8.88	9.31	
南へ110km 移動	基準-10°	19.31	10.37	12.69	11.68	11.08	10.60	
	基準	18.21	8.57	10.65	9.86	10.75	8.67	
	基準+10°	15.88	7.85	10.13	8.56	9.18	9.53	
南へ120km 移動	基準-10°	20.76	11.18	13.89	13.24	12.45	11.22	
	基準	19.06	10.07	13.69	11.11	11.56	10.05	
	基準+10°	16.59	8.46	11.35	9.42	9.62	9.96	
南へ130km 移動	基準-10°	21.36	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83	
	基準	19.33	10.56	14.30	11.66	12.71	11.26	
	基準+10°	17.32	9.37	13.25	10.73	10.38	10.53	
南へ140km 移動	基準-10°	21.28	11.42	14.06	13.82	12.80	11.43	
	基準	19.65	10.93	14.65	12.35	13.36	11.77	
	基準+10°	18.73	10.39	14.22	11.66	11.40	11.10	
南へ150km 移動	基準-10°	19.88	10.82	13.23	12.33	11.56	10.78	
	基準	19.85	11.10	14.93	12.59	13.44	11.58	
	基準+10°	19.33	10.87	14.19	12.30	12.32	11.51	
南へ160km 移動	基準-10°	17.70	9.77	11.96	10.40	10.52	10.03	
	基準	19.51	11.15	14.74	12.31	12.74	11.19	
	基準+10°	19.66	11.01	14.37	12.63	12.52	11.61	
南へ170km 移動	基準-10°	15.91	9.04	12.75	10.39	9.80	9.43	
	基準	19.04	10.27	13.86	11.36	12.00	10.08	
	基準+10°	19.32	11.07	14.73	12.69	12.09	11.28	
南へ180km 移動	基準-10°	15.59	8.69	12.50	10.01	9.25	9.49	
	基準	18.28	8.87	11.60	10.39	11.38	8.85	
	基準+10°	18.64	10.55	14.89	11.94	11.32	10.73	



不確かさの考慮ケース
(走向: 基準)

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.1 概略パラメータスタディ(南北方向)

6.4.1(1)水位上昇側(3/3)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	備考
位置	走向							
南へ190km 移動	基準-10°	15.47	8.09	11.78	9.58	9.03	9.59	
	基準	18.11	8.44	9.26	9.09	10.45	8.56	
	基準+10°	17.81	9.71	13.84	11.22	10.65	10.10	
南へ200km 移動	基準-10°	15.45	7.95	10.66	8.93	9.03	9.52	
	基準	17.39	8.00	8.01	8.70	9.74	8.61	
	基準+10°	17.31	9.08	12.83	10.42	10.29	9.71	
南へ220km 移動	基準-10°	15.11	7.93	9.36	8.50	8.95	9.19	
	基準	16.93	7.79	7.39	7.88	9.07	8.41	
	基準+10°	16.85	8.71	12.06	9.81	10.10	9.50	
南へ240km 移動	基準-10°	14.31	7.79	9.22	8.04	8.84	8.84	
	基準	16.72	7.81	7.40	8.16	9.02	8.15	
	基準+10°	16.43	8.39	11.35	9.07	9.90	9.48	
南へ260km 移動	基準-10°	12.49	7.61	8.79	7.34	8.80	7.48	
	基準	15.65	7.79	7.98	8.00	9.30	7.90	
	基準+10°	15.36	8.02	9.95	8.09	9.20	9.19	
南へ280km 移動	基準-10°	10.66	7.14	7.23	6.61	7.45	5.89	
	基準	14.81	7.64	9.05	7.45	9.22	7.31	
	基準+10°	15.32	7.49	8.03	7.38	8.85	8.79	
南へ300km 移動	基準-10°	8.99	6.71	6.48	6.17	6.81	5.46	
	基準	13.33	7.45	8.64	7.11	8.86	7.03	
	基準+10°	14.96	7.35	7.69	6.98	8.73	8.33	

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.1 概略パラメータスタディ(南北方向)
6.4.1(2)水位下降側(1/3)

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

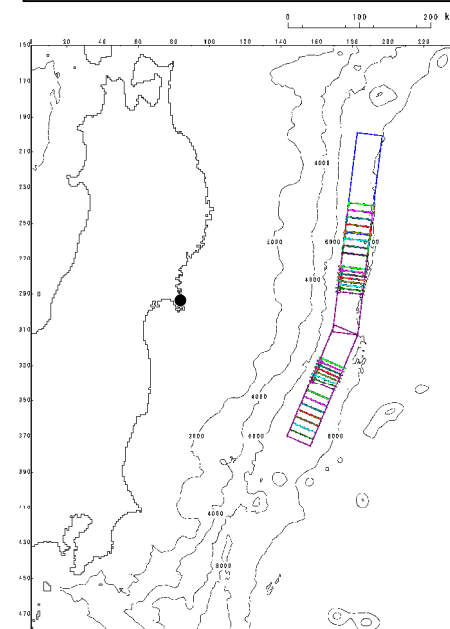
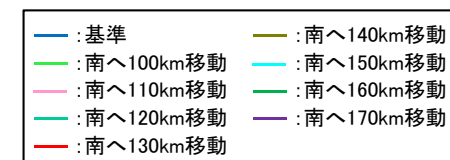
パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(単位:(m))	
位置	走向			(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
北へ40km移動	基準-10°	-7.61		-7.56	-7.56
	基準	-6.76		-6.75	-6.73
	基準+10°	-5.61		-5.61	-5.58
北へ20km移動	基準-10°	-8.09		-8.02	-8.03
	基準	-7.51		-7.47	-7.46
	基準+10°	-6.48		-6.53	-6.46
基準	基準-10°	-8.46		-8.42	-8.45
	基準	-8.00		-8.02	-7.96
	基準+10°	-7.25		-7.25	-7.23
南へ20km移動	基準-10°	-8.65		-8.60	-8.60
	基準	-8.40		-8.29	-8.35
	基準+10°	-7.98		-7.94	-7.95
南へ40km移動	基準-10°	-8.87		-8.74	-8.77
	基準	-8.59		-8.57	-8.59
	基準+10°	-8.51		-8.48	-8.51
南へ60km移動	基準-10°	-8.97		-8.86	-8.89
	基準	-8.77		-8.75	-8.74
	基準+10°	-8.73		-8.65	-8.69
南へ80km移動	基準-10°	-9.06		-9.00	-9.01
	基準	-8.99		-8.96	-8.89
	基準+10°	-8.90		-8.77	-8.82

6.4.1(2)水位下降側(2/3)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考
位置	走向		
南へ100km 移動	基準-10°	-9.12	
	基準	-9.08	
	基準+10°	-9.03	
南へ110km 移動	基準-10°	-9.15	
	基準	-9.15	
	基準+10°	-9.04	
南へ120km 移動	基準-10°	-9.16	
	基準	-9.13	
	基準+10°	-9.06	
南へ130km 移動	基準-10°	-9.15	
	基準	-9.08	
	基準+10°	-9.08	
南へ140km 移動	基準-10°	-9.15	
	基準	-9.06	
	基準+10°	-9.08	
南へ150km 移動	基準-10°	-9.15	
	基準	-9.07	
	基準+10°	-9.06	
南へ160km 移動	基準-10°	-9.10	
	基準	-9.09	
	基準+10°	-9.06	
南へ170km 移動	基準-10°	-9.05	
	基準	-9.14	
	基準+10°	-9.06	
南へ180km 移動	基準-10°	-9.03	
	基準	-9.11	
	基準+10°	-9.05	

(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
-9.09	-9.11
-9.10	-9.06
-8.92	-8.95
-9.12	-9.17
-9.17	-9.16
-8.97	-9.01
-9.13	-9.20
-9.15	-9.15
-9.00	-9.04
-9.12	-9.18
-9.01	-9.10
-9.03	-9.10
-9.13	-9.17
-8.97	-9.06
-9.02	-9.11
-9.11	-9.17
-8.99	-9.07
-9.00	-9.09
-9.06	-9.12
-9.05	-9.10
-8.99	-9.08
-9.00	-9.04
-9.16	-9.14
-9.00	-9.08
-8.93	-8.97
-9.15	-9.11
-9.00	-9.05



不確かさの考慮ケース
(走向:基準)

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.1 概略パラメータスタディ(南北方向)

6.4.1(2)水位下降側(3/3)

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	1号取水口 前面	3号取水口 前面
位置	走向				
南へ190km 移動	基準-10°	-8.95		-8.82	-8.90
	基準	-9.06		-9.07	-9.03
	基準+10°	-9.05		-8.97	-9.03
南へ200km 移動	基準-10°	-8.90		-8.75	-8.80
	基準	-8.99		-8.99	-8.94
	基準+10°	-9.01		-8.91	-8.97
南へ220km 移動	基準-10°	-8.69		-8.58	-8.67
	基準	-8.85		-8.79	-8.75
	基準+10°	-8.94		-8.79	-8.88
南へ240km 移動	基準-10°	-8.51		-8.43	-8.52
	基準	-8.68		-8.67	-8.62
	基準+10°	-8.73		-8.60	-8.71
南へ260km 移動	基準-10°	-8.22		-8.13	-8.17
	基準	-8.54		-8.46	-8.52
	基準+10°	-8.52		-8.37	-8.53
南へ280km 移動	基準-10°	-7.43		-7.38	-7.40
	基準	-8.27		-8.17	-8.19
	基準+10°	-8.40		-8.16	-8.37
南へ300km 移動	基準-10°	-6.70		-6.69	-6.68
	基準	-7.84		-7.84	-7.82
	基準+10°	-8.11		-8.00	-8.05

6.4.1(3)まとめ

- 概略パラメータスタディ(南北方向)及び防波堤の有無に関する影響検討結果(詳細は次頁以降に記載)を踏まえ、以下のケースを対象に、東西方向における波源特性の不確かさを考慮した。

【水位上昇側】

波源モデル	波源特性の不確かさ	最大水位上昇量(m)						備考
	位置	敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	
海洋プレート 内地震	南へ130km 移動	21.36	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83	水位は、走向:基準-10° ケースを記載

【水位下降側】

波源モデル	波源特性の不確かさ	最大水位下降量(m)	備考
	位置	2号取水口 前面	
海洋プレート 内地震	南へ130km 移動	-9.15	水位は、走向:基準-10° ケースを記載

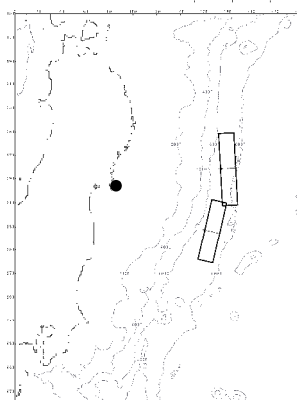
I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.2 防波堤の有無に関する影響検討

6.4.2(1)検討方針

- 南北方向の概略パラメータスタディで抽出した位置が、防波堤が無い場合でも選定位置として妥当であるかを確認するため、前後ケースを対象に、防波堤が無い地形を用いてパラメータスタディを実施した。
- なお、防波堤の有無が抽出位置に影響する場合には、概略パラメータスタディで抽出した波源位置以外についても詳細パラメータスタディを実施することとした。

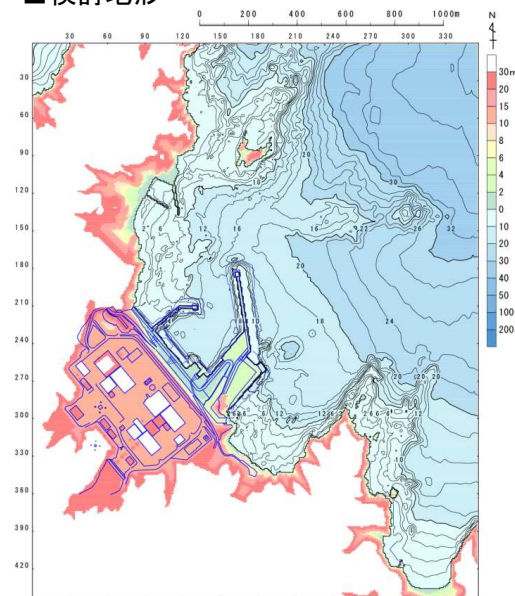
■ 検討ケース

	位置	備考
各評価位置 (水位上昇側, 水位下降側)	南へ120km移動	
	南へ130km移動	抽出位置
	南へ140km移動	

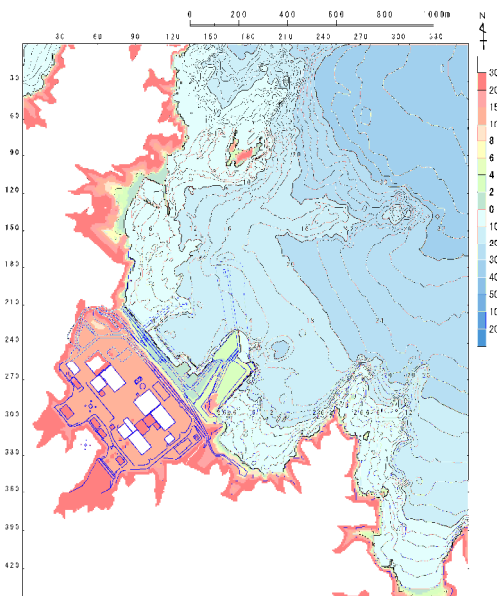


選定位置: 南へ130km移動
(走向: 基準-10°)

■ 検討地形



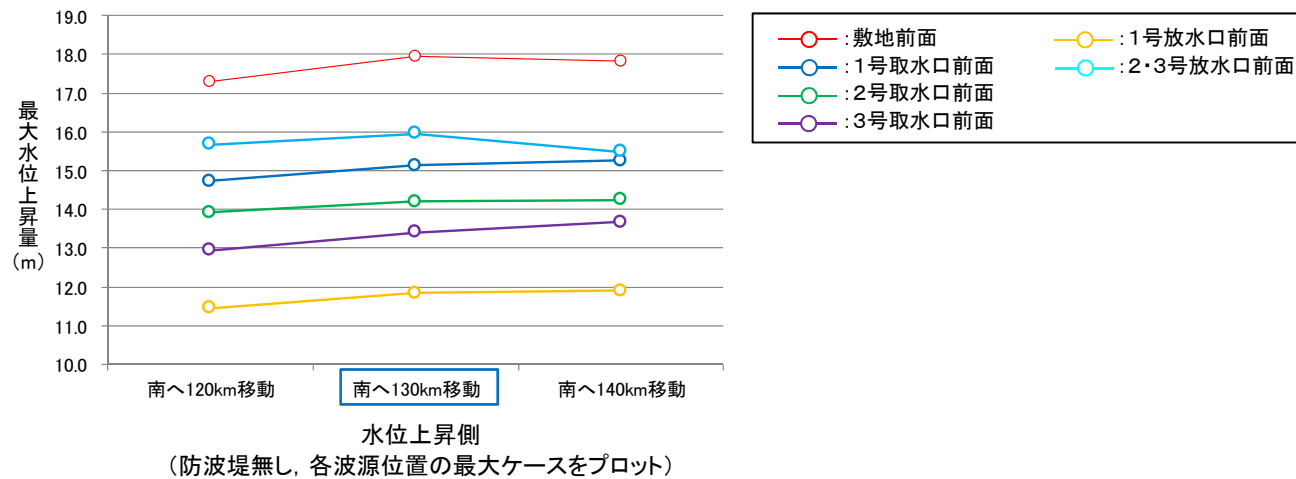
防波堤有り



防波堤無し

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.2 防波堤の有無に関する影響検討
6.4.2(2) 検討結果: 水位上昇側

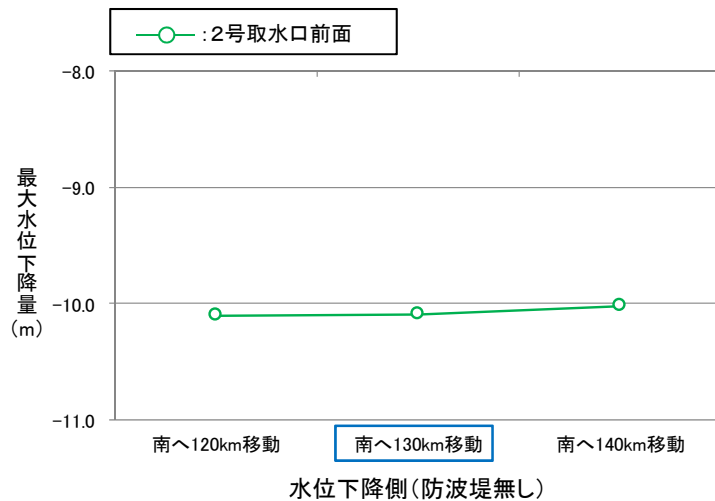
- 防波堤無し of 地形を用いたパラメータスタディの結果, 位置の選定に与える影響(傾向)に有意な差は認められないことを確認した。



パラメータの変動範囲		敷地前面		1号取水口前面		2号取水口前面		3号取水口前面		1号放水口前面		2・3号放水口前面	
位置	走向	防波堤		防波堤		防波堤		防波堤		防波堤		防波堤	
		有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
南へ120km移動	基準-10°	20.76	17.30	11.18	14.73	13.89	13.92	13.24	12.94	12.45	11.46	11.22	15.67
	基準	19.06	14.34	10.07	11.90	13.69	11.55	11.11	11.76	11.56	11.05	10.05	12.49
	基準+10°	16.59	13.03	8.46	11.32	11.35	10.89	9.42	9.81	9.62	10.15	9.96	13.12
南へ130km移動	基準-10°	<u>21.36</u>	<u>17.96</u>	<u>11.74</u>	15.13	14.33	14.21	<u>13.97</u>	13.41	<u>13.47</u>	11.85	<u>11.83</u>	<u>15.96</u>
	基準	19.33	15.75	10.56	12.76	14.30	12.08	11.66	12.87	12.71	11.62	11.26	14.05
	基準+10°	17.32	13.92	9.37	12.06	13.25	11.74	10.73	10.75	10.38	11.14	10.53	13.86
南へ140km移動	基準-10°	21.28	17.82	11.42	<u>15.26</u>	14.06	<u>14.25</u>	13.82	13.45	12.80	11.40	11.43	15.49
	基準	19.65	16.46	10.93	13.28	<u>14.65</u>	12.89	12.35	<u>13.67</u>	13.36	11.90	11.77	14.61
	基準+10°	18.73	15.50	10.39	12.84	14.22	12.26	11.66	11.53	11.40	<u>11.91</u>	11.10	14.46

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.2 防波堤の有無に関する影響検討
6.4.2(2)検討結果:水位下降側

- 防波堤無しの地形を用いたパラメータスタディの結果, 位置の選定に与える影響(傾向)に有意な差は認められないことを確認した。



パラメータの変動範囲		2号放水口前面	
位置	走向	防波堤	
		有り	無し
南へ120km移動	基準-10°	-9.16	-10.03
	基準	-9.13	-10.10
	基準+10°	-9.06	-9.87
南へ130km移動	基準-10°	-9.15	-10.03
	基準	-9.08	-10.09
	基準+10°	-9.08	-9.93
南へ140km移動	基準-10°	-9.15	-10.02
	基準	-9.06	-10.07
	基準+10°	-9.08	-9.94

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)

6.4.3(1)水位上昇側(1/4)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

■位置:東方向,断層の傾斜:西傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
基準	基準-10°	21.36	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83	詳細パラスタ①
	基準	19.33	10.56	14.30	11.66	12.71	11.26	
	基準+10°	17.32	9.37	13.25	10.73	10.38	10.53	
東へ 10km 移動	基準-10°	20.61	11.56	14.29	13.27	12.43	11.43	
	基準	19.61	10.35	14.22	11.63	12.61	10.96	
	基準+10°	17.10	9.06	12.66	10.43	10.09	10.37	
東へ 20km 移動	基準-10°	19.28	11.39	15.23	12.98	12.12	11.43	
	基準	19.97	10.38	13.42	11.82	12.12	10.41	
	基準+10°	17.01	8.81	12.03	10.08	9.93	10.16	
東へ 30km 移動	基準-10°	18.80	11.22	15.62	12.88	11.92	11.73	
	基準	19.48	9.93	12.55	11.63	11.80	10.26	
	基準+10°	17.01	8.57	11.56	9.83	9.80	9.96	
東へ 40km 移動	基準-10°	18.73	10.76	14.72	12.66	11.89	12.32	詳細パラスタ⑥
	基準	19.30	9.79	12.57	11.28	11.33	10.22	
	基準+10°	16.98	8.40	11.06	9.55	9.76	9.83	
東へ 50km 移動	基準-10°	18.83	10.53	13.87	12.02	12.04	11.89	
	基準	19.09	9.60	12.25	10.92	10.93	10.20	
	基準+10°	16.91	8.27	10.88	9.52	9.77	9.71	

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
東へ 60km 移動	基準-10°	18.84	10.56	13.41	11.29	12.17	11.29	
	基準	18.48	9.27	12.04	10.62	10.57	10.13	
	基準+10°	16.58	8.10	10.56	9.18	9.61	9.53	
東へ 70km 移動	基準-10°	18.95	10.62	13.54	11.36	12.41	11.30	
	基準	18.16	9.26	12.28	10.56	10.49	10.15	
	基準+10°	16.03	7.94	10.37	8.73	9.40	9.35	
東へ 80km 移動	基準-10°	19.07	10.55	13.91	11.73	12.76	11.41	
	基準	18.44	9.67	12.95	10.95	10.77	10.28	
	基準+10°	15.89	8.05	10.60	8.86	9.42	9.31	
東へ 90km 移動	基準-10°	19.20	10.60	14.25	12.06	13.03	11.55	
	基準	18.45	10.07	13.71	11.47	11.04	10.41	
	基準+10°	16.21	8.37	11.13	9.22	9.63	9.42	
東へ 100km 移動	基準-10°	19.23	10.52	14.20	12.21	13.17	11.56	
	基準	18.22	10.31	14.17	11.68	11.03	10.52	
	基準+10°	16.53	8.64	11.66	9.77	9.81	9.57	

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)

6.4.3(1)水位上昇側(2/4)

■位置: 東方向, 断層の傾斜: 東傾斜(南北方向の位置: 南へ130km移動)

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
基準	基準-10°	20.11	10.45	14.02	12.97	12.46	11.86	
	基準	19.38	10.88	14.61	12.38	11.87	11.21	
	基準+10°	19.33	9.86	13.85	11.70	11.08	10.44	
東へ 10km 移動	基準-10°	20.41	10.40	13.90	12.66	12.36	11.56	
	基準	19.28	10.76	14.65	12.21	11.58	11.20	
	基準+10°	19.15	9.81	13.21	11.37	10.86	10.39	
東へ 20km 移動	基準-10°	20.50	10.35	13.83	12.50	12.23	11.21	
	基準	19.25	10.60	14.46	11.99	11.48	11.21	
	基準+10°	18.96	9.74	12.88	11.27	10.81	10.27	
東へ 30km 移動	基準-10°	20.31	10.32	13.75	12.41	12.01	11.00	
	基準	19.17	10.51	14.37	11.88	11.37	11.15	
	基準+10°	18.59	9.64	12.68	11.09	10.55	10.16	
東へ 40km 移動	基準-10°	20.52	10.39	13.84	12.46	11.98	10.83	
	基準	19.17	10.45	14.23	11.83	11.34	11.08	
	基準+10°	18.37	9.40	12.57	10.77	10.36	9.97	
東へ 50km 移動	基準-10°	20.44	10.46	13.60	12.07	11.71	10.64	
	基準	19.10	10.30	14.01	11.64	11.27	10.95	
	基準+10°	17.70	9.09	12.45	10.52	10.08	9.81	

(単位: (m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
東へ 60km 移動	基準-10°	20.03	10.39	13.40	11.77	11.43	10.57	
	基準	19.07	9.97	13.59	11.62	11.07	10.73	
	基準+10°	17.22	8.75	12.01	10.22	9.86	9.60	
東へ 70km 移動	基準-10°	19.70	10.31	13.56	11.58	11.35	10.71	
	基準	19.06	9.79	13.34	11.70	10.86	10.57	
	基準+10°	16.68	8.40	11.48	9.76	9.64	9.34	
東へ 80km 移動	基準-10°	19.53	10.47	13.81	11.80	11.49	10.84	
	基準	19.17	9.91	13.46	11.91	11.03	10.61	
	基準+10°	16.51	8.32	11.11	9.73	9.64	9.31	
東へ 90km 移動	基準-10°	19.29	10.59	14.40	11.79	11.53	10.89	
	基準	19.31	9.99	13.42	11.85	11.08	10.67	
	基準+10°	17.01	8.53	11.46	10.01	9.82	9.41	
東へ 100km 移動	基準-10°	18.96	10.52	14.77	11.69	11.38	10.76	
	基準	19.22	9.86	13.20	11.63	10.96	10.57	
	基準+10°	17.31	8.62	11.51	10.27	10.00	9.48	

6.4.3(1)水位上昇側(3/4)

■位置:西方向,断層の傾斜:西傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
基準	基準-10°	21.36	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83	詳細ハラスタ①
	基準	19.33	10.56	14.30	11.66	12.71	11.26	
	基準+10°	17.32	9.37	13.25	10.73	10.38	10.53	
西へ 10km 移動	基準-10°	21.35	11.85	14.90	14.29	14.23	11.91	詳細ハラスタ⑤
	基準	19.17	11.01	14.81	12.12	12.77	11.43	
	基準+10°	18.11	9.95	14.01	11.25	10.86	10.70	
西へ 20km 移動	基準-10°	21.15	12.13	15.26	14.31	14.10	11.97	詳細ハラスタ④
	基準	19.08	11.74	15.36	13.08	12.61	11.76	
	基準+10°	18.61	10.48	14.62	11.82	11.23	10.75	
西へ 30km 移動	基準-10°	20.17	12.20	14.57	13.77	13.29	11.87	
	基準	18.61	11.83	16.02	12.91	12.35	11.54	
	基準+10°	18.73	10.85	14.65	12.37	11.50	11.05	
西へ 40km 移動	基準-10°	19.37	10.72	12.62	12.43	12.30	10.71	
	基準	17.19	11.38	16.00	12.45	11.67	11.18	
	基準+10°	17.81	10.86	14.36	12.19	11.30	10.91	
西へ 50km 移動	基準-10°	19.53	10.94	12.77	12.37	11.62	10.78	
	基準	17.92	11.05	14.88	11.71	11.67	11.00	
	基準+10°	17.06	11.00	14.26	12.02	11.36	10.47	

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
西へ 60km 移動	基準-10°	19.74	11.61	14.01	13.13	11.99	11.14	
	基準	18.66	11.62	15.42	12.53	11.97	11.36	
	基準+10°	17.94	11.57	14.07	11.89	11.99	10.43	
西へ 70km 移動	基準-10°	19.47	12.07	14.87	13.69	12.12	11.68	
	基準	18.63	11.85	15.47	12.95	11.80	11.47	
	基準+10°	16.67	11.52	13.97	11.62	11.93	9.76	
西へ 80km 移動	基準-10°	19.20	12.22	15.30	13.93	12.05	12.02	詳細ハラスタ②
	基準	18.61	11.74	15.03	13.29	11.82	11.37	
	基準+10°	14.17	10.71	13.14	11.52	11.47	10.59	
西へ 90km 移動	基準-10°	19.03	12.05	15.26	13.85	11.85	11.99	
	基準	17.99	11.27	14.83	12.64	11.18	10.91	
	基準+10°	13.07	9.87	10.18	10.52	9.56	8.42	
西へ 100km 移動	基準-10°	18.59	11.46	15.06	13.12	11.34	11.58	
	基準	17.16	10.54	13.93	11.57	10.63	10.21	
	基準+10°	9.69	7.98	7.62	7.44	6.72	6.50	

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)

6.4.3(1)水位上昇側(4/4)

■位置:西方向,断層の傾斜:東傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
基準	基準-10°	20.11	10.45	14.02	12.97	12.46	11.86	
	基準	19.38	10.88	14.61	12.38	11.87	11.21	
	基準+10°	19.33	9.86	13.85	11.70	11.08	10.44	
西へ 10km 移動	基準-10°	19.87	10.60	14.77	13.12	12.75	11.89	
	基準	19.84	10.93	14.75	12.67	12.24	11.35	
	基準+10°	19.53	10.30	14.13	12.07	11.49	10.70	
西へ 20km 移動	基準-10°	20.10	11.12	15.37	13.51	13.14	11.93	
	基準	20.26	11.20	15.42	13.07	12.66	11.22	
	基準+10°	19.21	10.60	14.54	12.39	11.55	10.70	
西へ 30km 移動	基準-10°	20.17	11.46	15.61	13.59	13.06	11.81	
	基準	20.23	11.38	15.38	12.89	12.42	11.04	
	基準+10°	18.75	10.84	14.87	12.70	11.45	10.40	
西へ 40km 移動	基準-10°	20.17	11.50	15.20	13.41	12.45	11.68	
	基準	20.08	11.21	14.37	12.80	11.78	10.72	
	基準+10°	18.22	10.79	15.71	12.63	11.23	10.31	
西へ 50km 移動	基準-10°	19.94	11.65	15.01	13.48	12.10	11.64	
	基準	19.57	11.19	14.36	12.91	11.41	10.60	
	基準+10°	17.56	11.33	16.37	12.62	11.16	10.36	詳細パラスタ③

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地 前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置	走向							
西へ 60km 移動	基準-10°	19.78	12.03	14.94	13.63	11.96	11.62	
	基準	18.89	11.13	14.27	12.63	11.09	10.50	
	基準+10°	16.06	11.18	15.44	11.80	10.57	10.09	
西へ 70km 移動	基準-10°	19.50	12.06	15.22	13.65	11.71	11.30	
	基準	18.05	10.86	14.16	12.39	10.75	10.07	
	基準+10°	14.97	11.04	13.42	10.93	9.88	9.42	
西へ 80km 移動	基準-10°	18.63	11.48	14.67	12.90	11.01	10.70	
	基準	15.60	9.82	12.58	10.69	9.81	9.24	
	基準+10°	13.70	10.33	10.67	9.60	8.87	8.51	
西へ 90km 移動	基準-10°	15.87	10.32	13.02	11.17	10.12	9.75	
	基準	14.12	9.20	10.32	8.12	8.48	8.11	
	基準+10°	10.28	8.12	7.58	7.58	6.89	6.61	
西へ 100km 移動	基準-10°	14.81	9.30	11.41	9.04	8.85	8.47	
	基準	11.19	7.92	7.40	7.15	7.09	6.88	
	基準+10°	7.87	6.67	6.31	6.28	5.70	5.59	

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)
6.4.3(2)水位下降側(1/4)

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

■位置:東方向,断層の傾斜:西傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
基準	基準-10°	-9.15		-9.12	-9.18
	基準	-9.08		-9.01	-9.10
	基準+10°	-9.08		-9.03	-9.10
東へ 10km 移動	基準-10°	-9.12		-9.06	-9.12
	基準	-9.07		-9.03	-9.07
	基準+10°	-9.07		-9.02	-9.06
東へ 20km 移動	基準-10°	-9.07		-9.00	-9.07
	基準	-9.11		-9.12	-9.10
	基準+10°	-9.06		-9.02	-9.04
東へ 30km 移動	基準-10°	-9.05		-8.93	-9.04
	基準	-9.11		-9.08	-9.10
	基準+10°	-9.06		-9.00	-9.05
東へ 40km 移動	基準-10°	-9.01		-8.86	-8.99
	基準	-9.09		-9.03	-9.07
	基準+10°	-9.05		-9.00	-9.03
東へ 50km 移動	基準-10°	-8.96		-8.83	-8.97
	基準	-9.06		-9.01	-9.05
	基準+10°	-9.05		-9.00	-9.03

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
東へ 60km 移動	基準-10°	-8.99		-8.81	-8.96
	基準	-9.06		-8.98	-9.03
	基準+10°	-9.05		-8.97	-8.98
東へ 70km 移動	基準-10°	-8.95		-8.79	-8.93
	基準	-9.05		-8.97	-9.02
	基準+10°	-9.02		-8.96	-8.99
東へ 80km 移動	基準-10°	-8.92		-8.74	-8.91
	基準	-9.03		-8.96	-9.01
	基準+10°	-8.99		-8.95	-8.96
東へ 90km 移動	基準-10°	-8.89		-8.70	-8.86
	基準	-9.00		-8.91	-8.96
	基準+10°	-8.97		-8.92	-8.93
東へ 100km 移動	基準-10°	-8.79		-8.65	-8.81
	基準	-8.97		-8.85	-8.91
	基準+10°	-8.93		-8.86	-8.88

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)
6.4.3(2)水位下降側(2/4)

■位置:東方向,断層の傾斜:東傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
基準	基準-10°	-9.15		-9.12	-9.16
	基準	-8.99		-8.91	-9.01
	基準+10°	-9.24		-9.25	-9.22
東へ 10km 移動	基準-10°	-9.11		-9.08	-9.12
	基準	-9.01		-8.82	-8.96
	基準+10°	-9.13		-9.15	-9.13
東へ 20km 移動	基準-10°	-9.08		-9.05	-9.09
	基準	-8.96		-8.78	-8.91
	基準+10°	-9.06		-9.04	-9.05
東へ 30km 移動	基準-10°	-9.06		-9.05	-9.05
	基準	-8.86		-8.72	-8.87
	基準+10°	-8.99		-9.04	-8.98
東へ 40km 移動	基準-10°	-9.06		-9.05	-9.02
	基準	-8.84		-8.70	-8.86
	基準+10°	-9.05		-9.02	-8.96
東へ 50km 移動	基準-10°	-9.05		-9.03	-9.04
	基準	-8.86		-8.73	-8.87
	基準+10°	-8.98		-9.02	-8.98

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
東へ 60km 移動	基準-10°	-9.04		-9.04	-9.02
	基準	-8.95		-8.83	-8.89
	基準+10°	-9.00		-9.02	-9.00
東へ 70km 移動	基準-10°	-9.07		-9.05	-9.04
	基準	-8.97		-8.91	-8.95
	基準+10°	-9.03		-9.06	-9.00
東へ 80km 移動	基準-10°	-9.07		-9.04	-9.05
	基準	-8.97		-8.95	-8.98
	基準+10°	-9.08		-9.15	-9.05
東へ 90km 移動	基準-10°	-9.06		-9.04	-9.06
	基準	-9.02		-8.96	-8.96
	基準+10°	-9.09		-9.18	-9.07
東へ 100km 移動	基準-10°	-9.01		-9.00	-9.03
	基準	-8.96		-8.93	-8.96
	基準+10°	-9.09		-9.16	-9.07

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)
6.4.3(2)水位下降側(3/4)

■位置:西方向,断層の傾斜:西傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
基準	基準-10°	-9.15		-9.12	-9.18
	基準	-9.08		-9.01	-9.10
	基準+10°	-9.08		-9.03	-9.10
西へ 10km 移動	基準-10°	-9.13		-9.11	-9.16
	基準	-9.09		-9.03	-9.14
	基準+10°	-9.07		-9.02	-9.10
西へ 20km 移動	基準-10°	-9.14		-9.14	-9.18
	基準	-9.11		-9.09	-9.14
	基準+10°	-9.05		-9.01	-9.07
西へ 30km 移動	基準-10°	-9.17		-9.16	-9.15
	基準	-9.13		-9.16	-9.14
	基準+10°	-8.97		-8.95	-8.99
西へ 40km 移動	基準-10°	-9.06		-9.06	-9.05
	基準	-9.08		-9.10	-9.07
	基準+10°	-8.87		-8.82	-8.87
西へ 50km 移動	基準-10°	-9.00		-8.98	-9.01
	基準	-9.04		-9.02	-9.01
	基準+10°	-8.79		-8.74	-8.81

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
西へ 60km 移動	基準-10°	-9.00		-8.93	-8.99
	基準	-8.98		-8.94	-8.98
	基準+10°	-8.81		-8.74	-8.81
西へ 70km 移動	基準-10°	-9.03		-9.00	-9.02
	基準	-9.00		-8.97	-8.98
	基準+10°	-8.86		-8.86	-8.86
西へ 80km 移動	基準-10°	-9.09		-9.09	-9.06
	基準	-9.03		-9.07	-9.02
	基準+10°	-8.79		-8.82	-8.79
西へ 90km 移動	基準-10°	-9.15		-9.16	-9.11
	基準	-9.10		-9.14	-9.06
	基準+10°	-8.59		-8.62	-8.59
西へ 100km 移動	基準-10°	-9.20		-9.22	-9.18
	基準	-9.10		-9.12	-9.08
	基準+10°	-8.34		-8.34	-8.33

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)
6.4.3(2)水位下降側(4/4)

■位置:西方向,断層の傾斜:東傾斜(南北方向の位置:南へ130km移動)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
基準	基準-10°	-9.15		-9.12	-9.16
	基準	-8.99		-8.91	-9.01
	基準+10°	-9.24		-9.25	-9.22
西へ 10km 移動	基準-10°	-9.26		-9.20	-9.27
	基準	-9.14		-9.09	-9.14
	基準+10°	-9.43		-9.44	-9.40
西へ 20km 移動	基準-10°	-9.46		-9.39	-9.50
	基準	-9.40		-9.34	-9.40
	基準+10°	-9.64		-9.66	-9.65
西へ 30km 移動	基準-10°	-9.65		-9.58	-9.62
	基準	-9.62		-9.56	-9.62
	基準+10°	-9.75		-9.74	-9.75
西へ 40km 移動	基準-10°	-9.77		-9.75	-9.78
	基準	-9.80		-9.82	-9.81
	基準+10°	-9.54		-9.54	-9.57
西へ 50km 移動	基準-10°	-9.85		-9.85	-9.87
	基準	-9.94		-9.94	-9.97
	基準+10°	-9.20		-9.17	-9.19

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口 前面	備考	(参考) 1号取水口 前面	(参考) 3号取水口 前面
位置	走向				
西へ 60km 移動	基準-10°	-9.92		-9.90	-9.92
	基準	-10.05	詳細パラスタ①	-10.04	-10.00
	基準+10°	-8.80		-8.76	-8.78
西へ 70km 移動	基準-10°	-9.95		-9.92	-9.94
	基準	-10.05	詳細パラスタ②	-10.02	-10.06
	基準+10°	-8.40		-8.40	-8.42
西へ 80km 移動	基準-10°	-9.87		-9.90	-9.89
	基準	-9.82		-9.83	-9.82
	基準+10°	-7.95		-7.88	-7.92
西へ 90km 移動	基準-10°	-9.75		-9.75	-9.74
	基準	-9.45		-9.42	-9.45
	基準+10°	-7.51		-7.47	-7.53
西へ 100km 移動	基準-10°	-9.51		-9.52	-9.49
	基準	-9.07		-9.04	-9.09
	基準+10°	-7.30		-7.27	-7.30

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.3 概略パラメータスタディ(東西方向)
6.4.3(3)まとめ

- 各評価位置における水位上昇側・水位下降側の最大ケースを以下に示す。
- 各ケースを対象に、詳細パラメータスタディを実施した。

【水位上昇側】

波源特性の不確かさ				最大水位上昇量(m)					
位置		断層の傾斜	走向	敷地前面	1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面	1号放水口前面	2・3号放水口前面
南北方向	東西方向								
南へ130km	基準	西傾斜	基準-10°	<u>21.36</u>	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83
南へ130km	西へ80km	西傾斜	基準-10°	19.20	<u>12.22</u>	15.30	13.93	12.05	12.02
南へ130km	西へ50km	東傾斜	基準+10°	17.56	11.33	<u>16.37</u>	12.62	11.16	10.36
南へ130km	西へ20km	西傾斜	基準-10°	21.15	12.13	15.26	<u>14.31</u>	14.10	11.97
南へ130km	西へ10km	西傾斜	基準-10°	21.35	11.85	14.90	14.29	<u>14.23</u>	11.91
南へ130km	東へ40km	西傾斜	基準-10°	18.73	10.76	14.72	12.66	11.89	<u>12.32</u>

【水位下降側】

波源特性の不確かさ				最大水位下降量(m)
位置		断層の傾斜	走向	2号取水口前面
南北方向	東西方向			
南へ130km	西へ60km	東傾斜	基準	<u>-10.05</u>

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.4 詳細パラメータスタディ
6.4.4(1)水位上昇側(1/3)

- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

【詳細パラメータスタディ①】

(波源位置:南へ130km, 東西方向:基準, 断層の傾斜:西傾斜, 走向:基準-10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (40°)	0km	20.91	11.40	14.35	13.07	13.43	11.37	
	1km(基準)	20.91	11.42	14.23	13.13	13.36	11.50	
	2km	20.82	11.56	14.44	13.06	13.31	11.54	
基準 (45°)	0km	21.38	11.65	14.27	13.89	13.53	11.77	
	1km(基準)	21.36	11.74	14.33	13.97	13.47	11.83	
	2km	21.31	11.77	14.58	13.94	13.48	11.91	
基準+5° (50°)	0km	21.81	11.83	14.63	14.53	13.45	12.01	
	1km(基準)	21.81	11.95	14.65	14.64	13.40	12.03	
	2km	21.79	12.04	14.73	14.62	13.47	12.12	

【詳細パラメータスタディ②】

(波源位置:南へ130km, 西へ80km, 断層の傾斜:西傾斜, 走向:基準-10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (48°)	7km	18.97	11.75	14.91	13.44	11.70	11.58	
	8km(基準)	18.96	11.81	15.02	13.46	11.73	11.67	
	9km	18.98	11.85	15.12	13.52	11.74	11.72	
基準 (53°)	7km	19.19	12.18	15.23	13.82	12.01	11.92	
	8km(基準)	19.20	12.22	15.30	13.93	12.05	12.02	
	9km	19.24	12.31	15.34	14.02	12.08	12.07	
基準+5° (58°)	7km	20.11	12.83	15.83	14.40	12.61	12.34	
	8km(基準)	20.19	12.85	15.86	14.61	12.71	12.46	
	9km	20.39	12.92	16.10	14.73	12.80	12.51	1号取水口前面最大ケース

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.4 詳細パラメータスタディ
6.4.4(1)水位上昇側(2/3)

【詳細パラメータスタディ③】

(波源位置:南へ130km,西へ50km,断層の傾斜:東傾斜,走向:基準+10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (35°)	9km	18.09	11.73	16.44	13.44	11.68	11.01	
	10km(基準)	18.12	11.79	16.45	13.48	11.69	11.00	2号取水口前面最大ケース
	11km	18.15	11.80	16.37	13.47	11.72	11.01	
基準 (40°)	9km	17.64	11.36	16.31	12.67	11.15	10.37	
	10km(基準)	17.56	11.33	16.37	12.62	11.16	10.36	
	11km	17.56	11.27	16.25	12.62	11.14	10.35	
基準+5° (45°)	9km	16.63	10.70	15.35	11.96	10.47	9.54	
	10km(基準)	16.51	10.67	15.29	11.84	10.45	9.51	
	11km	16.37	10.58	15.15	11.72	10.42	9.51	

【詳細パラメータスタディ④】

(波源位置:南へ130km,西へ20km,断層の傾斜:西傾斜,走向:基準-10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (42°)	0km	20.34	12.09	15.27	13.50	13.78	11.59	
	1km(基準)	20.45	12.07	15.31	13.54	13.80	11.62	
	2km	20.41	12.13	15.38	13.41	13.80	11.65	
基準 (47°)	0km	21.01	12.16	15.10	14.21	14.07	11.95	
	1km(基準)	21.15	12.13	15.26	14.31	14.10	11.97	
	2km	21.10	12.22	15.42	14.28	14.17	12.07	
基準+5° (52°)	0km	21.85	12.30	15.22	14.67	13.97	12.28	
	1km(基準)	21.97	12.31	15.17	14.92	14.04	12.25	
	2km	21.94	12.42	15.26	15.12	14.16	12.26	3号取水口前面最大ケース

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.4 詳細パラメータスタディ
6.4.4(1)水位上昇側(3/3)

【詳細パラメータスタディ⑤】

(波源位置:南へ130km,西へ10km,断層の傾斜:西傾斜,走向:基準-10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (41°)	0km	20.64	11.57	14.89	13.33	13.99	11.60	
	1km(基準)	20.69	11.67	14.99	13.38	13.97	11.64	
	2km	20.69	11.82	15.09	13.33	13.94	11.72	
基準 (46°)	0km	21.30	11.86	14.85	14.11	14.26	11.84	1号放水口前面最大ケース
	1km(基準)	21.35	11.85	14.90	14.29	14.23	11.91	
	2km	21.37	11.82	15.01	14.34	14.24	12.01	
基準+5° (51°)	0km	21.98	12.08	15.21	14.86	14.17	12.03	
	1km(基準)	22.05	12.14	15.19	15.01	14.12	12.05	敷地前面最大ケース
	2km	22.04	12.11	15.17	15.08	14.16	12.19	

【詳細パラメータスタディ⑥】

(波源位置:南へ130km,東へ40km,断層の傾斜:西傾斜,走向:基準-10°)

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
傾斜角	断層上縁深さ							
基準-5° (40°)	0km	18.41	10.20	14.73	12.10	11.32	11.50	
	1km(基準)	18.43	10.26	14.84	12.26	11.40	11.56	
	2km	18.45	10.38	14.99	12.29	11.42	11.56	
基準 (45°)	0km	18.62	10.71	14.52	12.54	11.82	12.24	
	1km(基準)	18.73	10.76	14.72	12.66	11.89	12.32	
	2km	18.77	10.81	14.98	12.80	11.92	12.30	
基準+5° (50°)	0km	19.09	11.17	14.48	12.84	12.47	12.66	
	1km(基準)	19.12	11.17	14.70	12.99	12.56	12.73	
	2km	19.17	11.26	14.92	13.12	12.60	12.74	2・3号放水口前面最大ケース

I. 第6章 6.4 津波予測計算 6.4.4 詳細パラメータスタディ

6.4.4(2)水位下降側

- 2号取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

■位置:南へ130km, 西へ60km, 断層の傾斜:東傾斜, 走向:基準

(単位:(m))

パラメータの変動範囲		2号取水口前面	備考	(参考) 1号取水口前面	(参考) 3号取水口前面
傾斜角	断層上縁深さ				
基準-5° (34°)	11km	-9.92		-9.95	-9.94
	12km(基準)	-9.92		-9.93	-9.92
	13km	-9.90		-9.90	-9.90
基準 (39°)	11km	-10.06		-10.06	-10.03
	12km(基準)	-10.05		-10.04	-10.00
	13km	-10.02		-10.02	-9.98
基準+5° (44°)	11km	-10.13	1号, 2号取水口前面最大ケース	-10.13	-10.10
	12km(基準)	-10.10	3号取水口前面最大ケース	-10.08	-10.11
	13km	-10.06		-10.04	-10.07

Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1. 海底地すべりに関する文献調査
2. 福島県沖の海底地すべり
3. 日本海溝付近の海底地すべり
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
5. ハワイ付近の海底地すべり

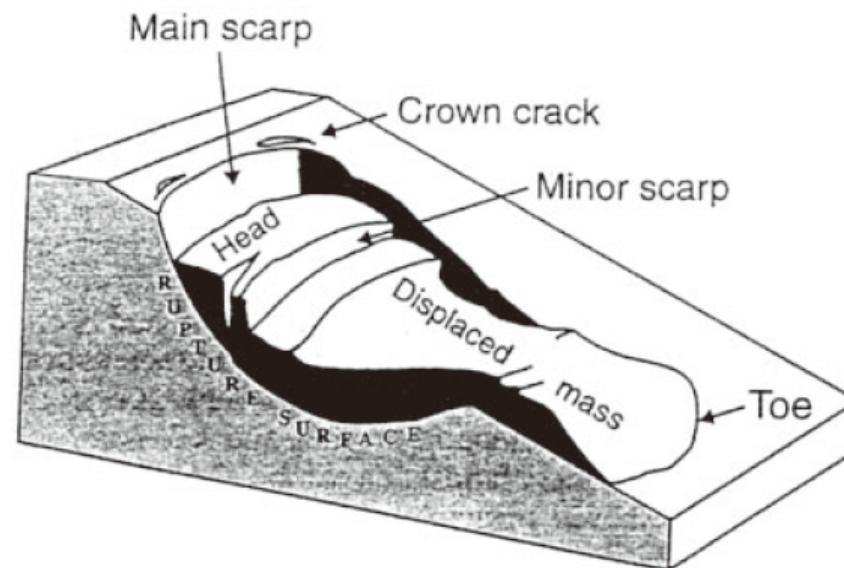
Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1. 海底地すべりに関する文献調査
 1. 1 海底地すべりの特徴
 1. 2 海底地すべりの既往事例
2. 福島県沖の海底地すべり
3. 日本海溝付近の海底地すべり
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
5. ハワイ付近の海底地すべり

Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 1. 海底地すべりに関する文献調査

1. 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。
- 発生要因は、堆積物中の間隙水圧の上昇が関係しているとされ、間隙水圧を上昇させる要因としては、地震、構造運動、暴風時の波浪、潮位変動、津波、海水準変動、堆積物の供給過大、ガスハイドレードの分解、火山活動、海底地盤内の浸透流が挙げられている。



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. 海底地すべりに関する文献調査

1. 2 海底地すべりの既往事例: 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° ~ 2° 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。

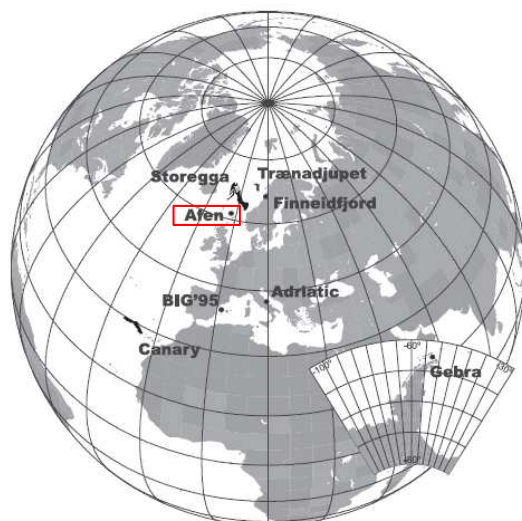


Fig. 1. Location of the studied instabilities, Gebra Slide is located off the northern tip of the Antarctic Peninsula.

Canals et al. (2004)

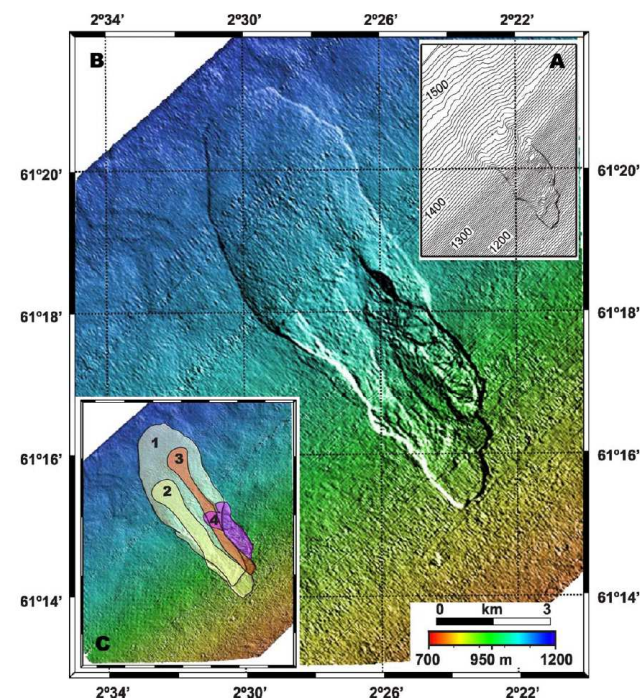


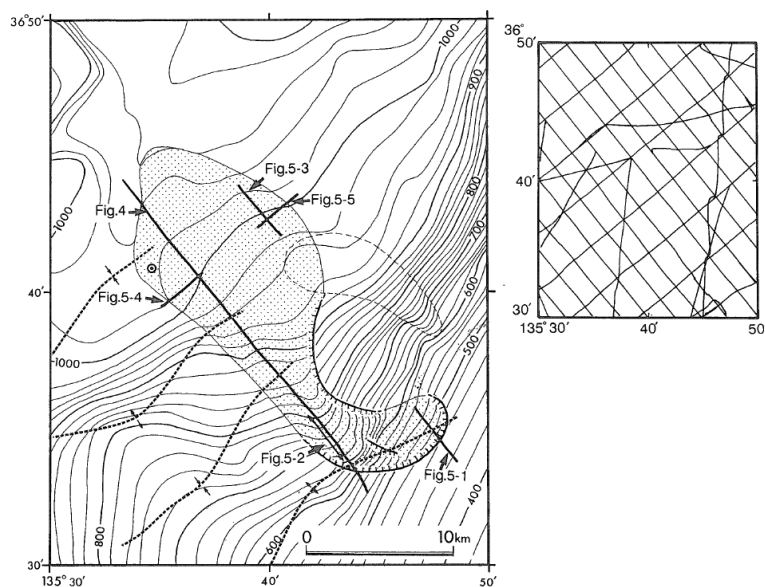
Fig. 6. (A) Detailed bathymetry of the Afen Slide extracted from commercial 3D seismic data assuming a sound speed of 1500 m s^{-1} in water. Note that the morphological expression of the main depositional lobe on the seafloor is very low (cf. Table 4). (B) Acoustic image of Afen Slide extracted from 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) (modified from Bulat, 2003). (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).

Canals et al. (2004)

II. 地震以外に起因する津波の評価 1. 海底地すべりに関する文献調査

1. 2 海底地すべりの既往事例: 大陸斜面で発生した海底地すべり(山本(1991))

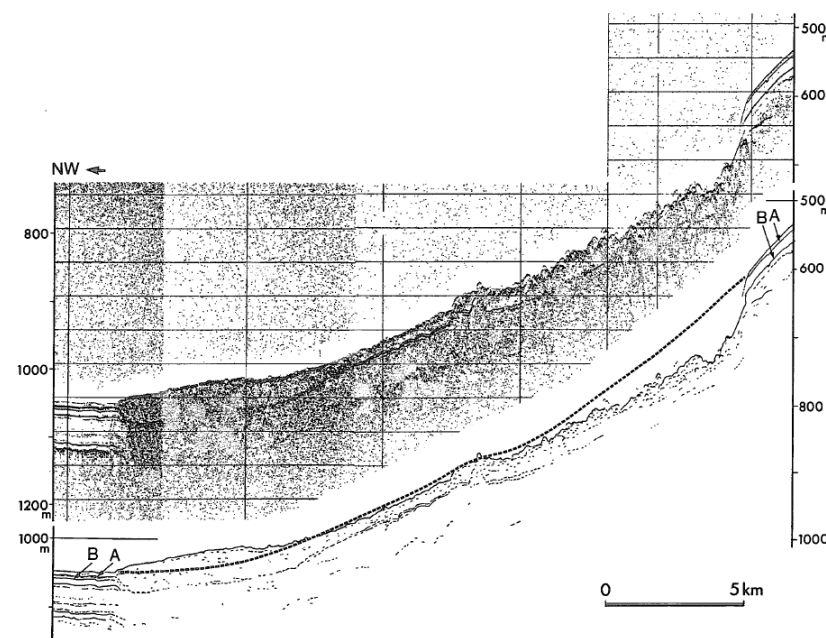
- 福井県沖ゲンタツ瀬北方で認められた海底地すべりである。
- 大陸斜面上部水深460m付近で発生。幅約8kmにわたって崩壊し、水深1060mまで達する舌状のマウンドを形成した。
- 発生要因は、斜面上部のより早い堆積速度と背斜による斜面傾斜角の増大もしくは海水準変動に伴う堆積場の移動が考えられている。



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.

山本(1991)



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。

山本(1991)

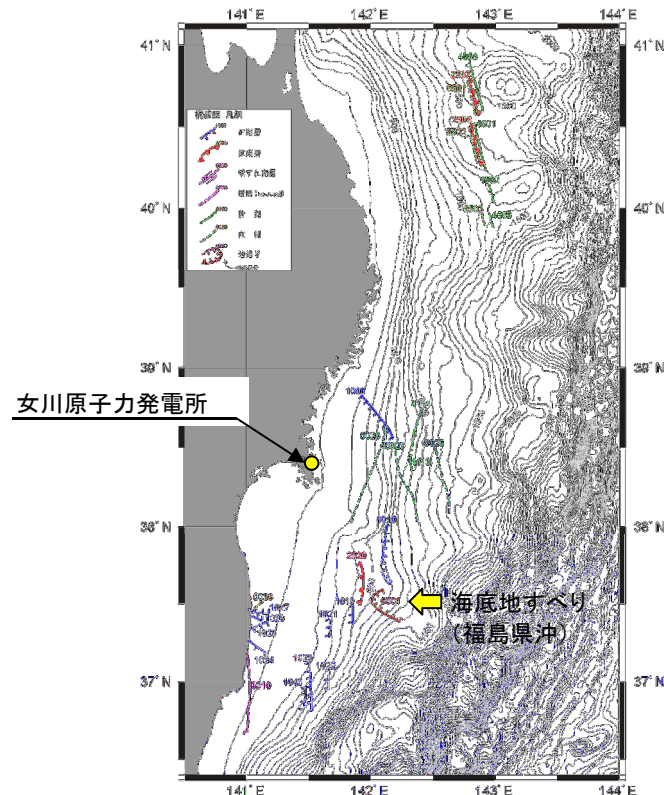
Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1. 海底地すべりに関する文献調査
2. 福島県沖の海底地すべり
 - 2.1 検討方針
 - 2.2 海底地すべり地形の精査
3. 日本海溝付近の海底地すべり
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
5. ハワイ付近の海底地すべり

II. 地震以外に起因する津波の評価 2. 福島県沖の海底地すべり

2.1 検討方針

- 徳山ほか(2001)で示される福島県沖の海底地すべりについて、津波伝播特性の検討から敷地に与える影響は小さいと考えられるが、発電所に与える影響を定量的に把握するため以下のとおり検討した。



三陸沖から常磐沖海域
(徳山ほか(2001)に一部加筆)

【検討フロー】

■ 海底地すべり地形の精査

① 海上音波探査記録を用いた地形精査

- ・徳山ほか(2001)に示される音波探査記録を用いた確認
- ・サブボトムプロファイラーを用いた音波探査記録の有無の確認

② 海底地すべり地形判読調査

- 日本水路協会M7000シリーズ, 150mグリッドDEMデータを用いた海底地形判読調査

■ 数値シミュレーション

① 海底地すべり地形の作成

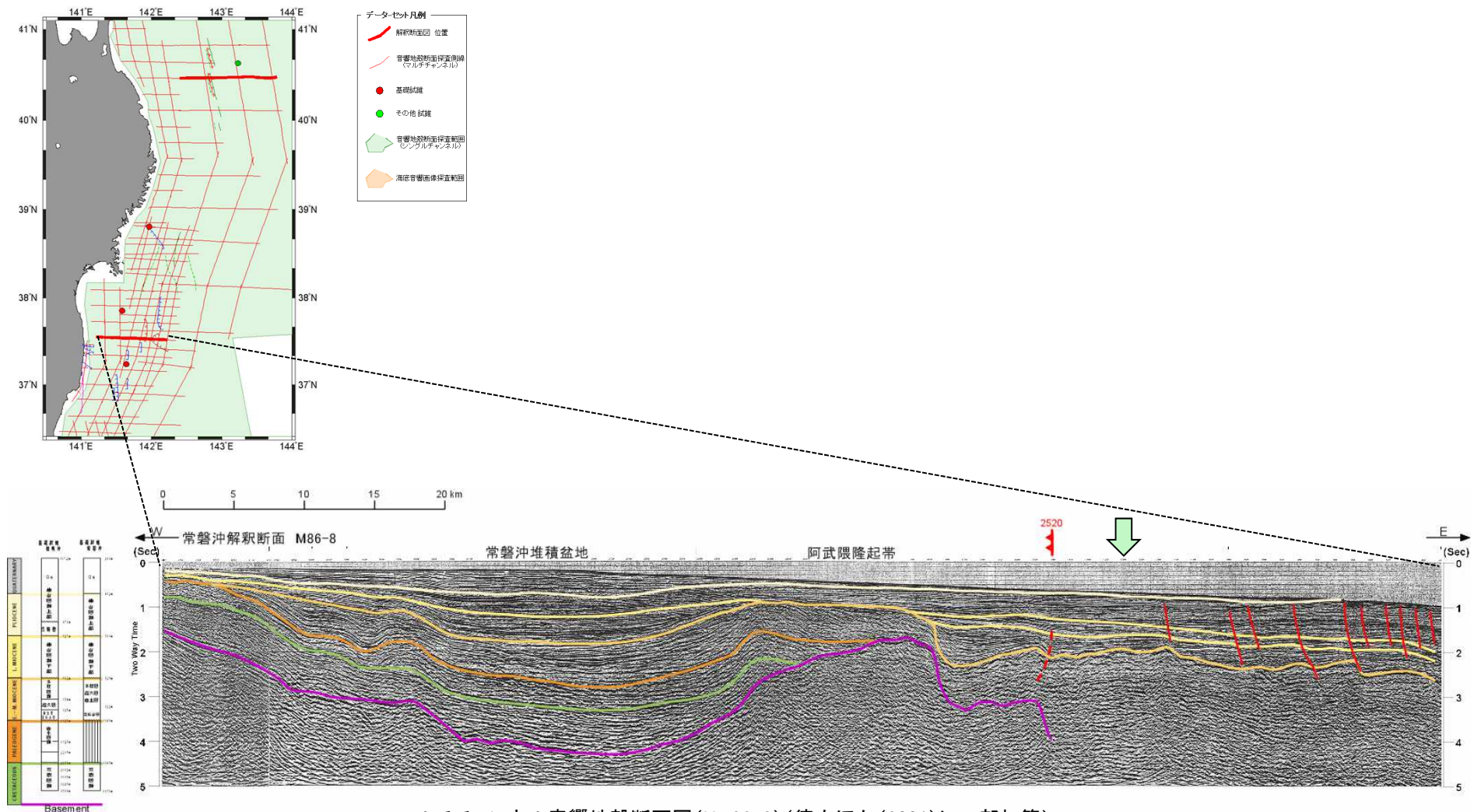
② 数値シミュレーション

Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 2. 福島県沖の海底地すべり

2. 2 海底地すべり地形の精査: 音波探査記録による確認(1/2)

- 徳山ほか(2001)で示されている音波探査記録※を用いて、海底地すべり地形の精査を試みたが、マルチチャンネルの特性上、海底地すべり地形(=海底面の形状)を精査することは出来なかった。

※: マルチチャンネル音響地殻断面図(石油公団海上基礎物理探査, 昭和61年度「南三陸～鹿島沖」)

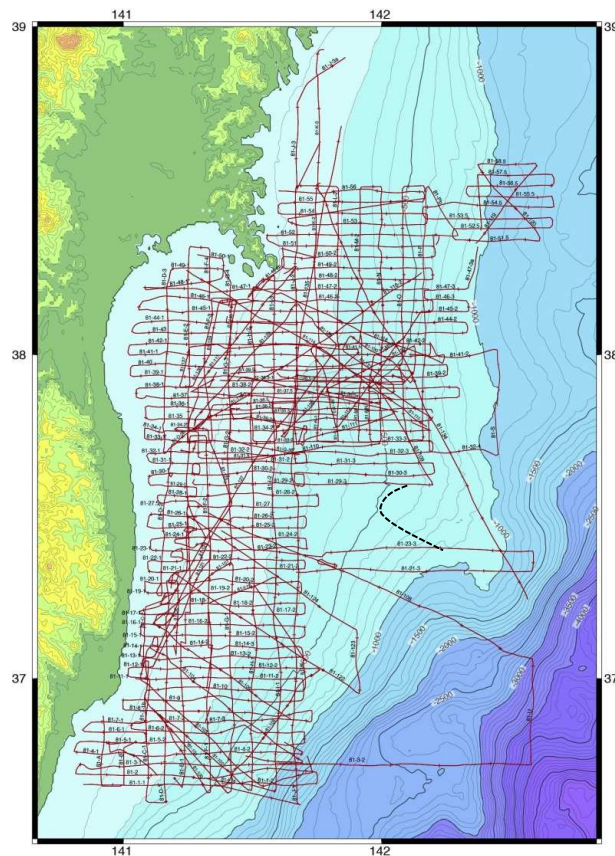


マルチチャンネル音響地殻断面図(No.86-8)(徳山ほか(2001)に一部加筆)

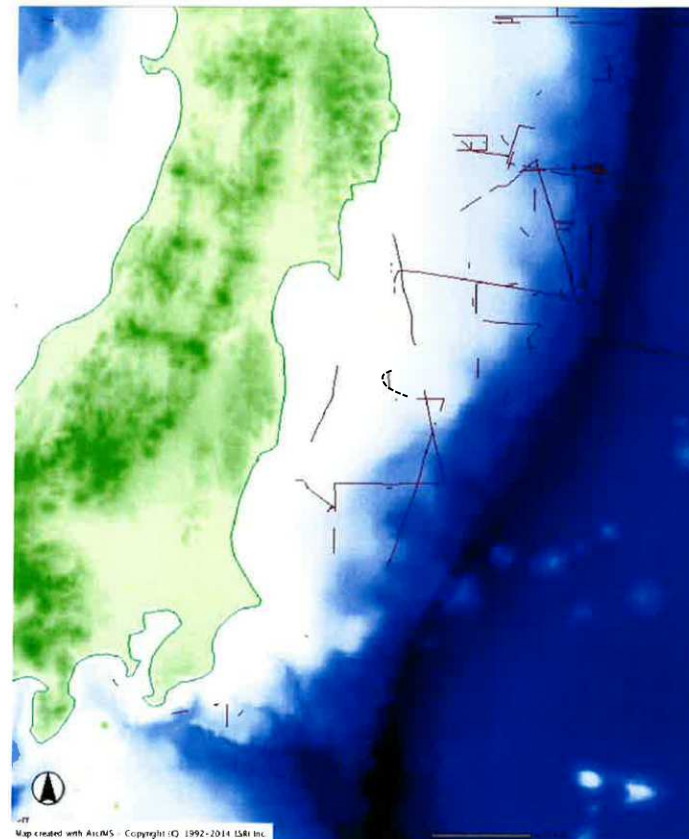
II. 地震以外に起因する津波の評価 2. 福島県沖の海底地すべり

2. 2 海底地すべり地形の精査: 音波探査記録による確認(2/2)

- 海底地すべりを調査する際に用いられるサブボトムプロファイラーによる音波探査記録の有無について確認した。
- 産業技術総合研究所及びJAMSTECで調査を実施しているものの、地すべり地形を精査できるほどの調査は実施されておらず、海底地すべり地形の有無を確認することは出来なかった。



産業技術総合研究所 SBP測線図
(産業技術総合研究所(2013)に一部加筆)

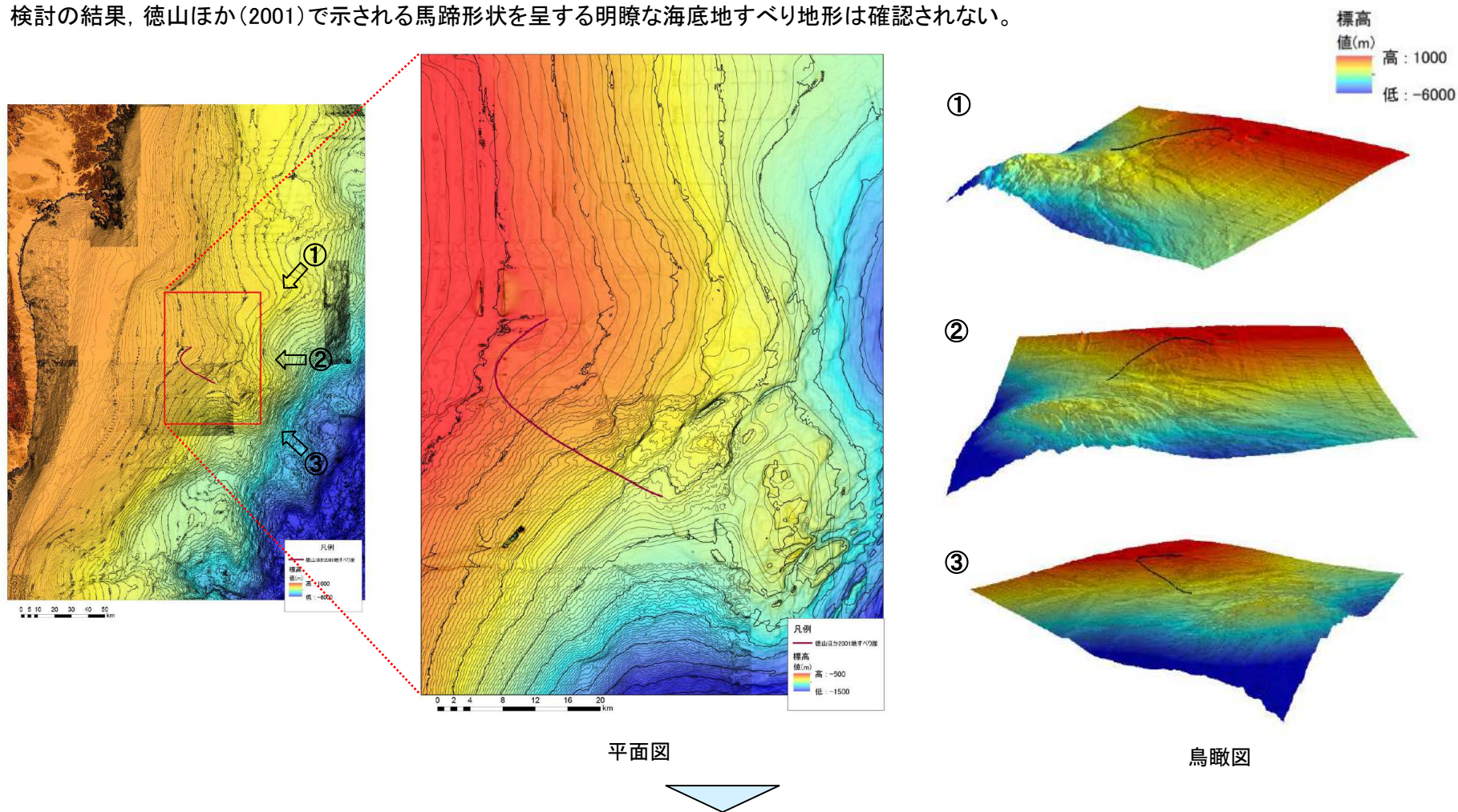


JAMSTEC SBP測線図
(JAMSTEC(2014)に一部加筆)

II. 地震以外に起因する津波の評価 2. 福島県沖の海底地すべり

2.2 海底地すべり地形の精査: 海底地すべり地形判読による確認

- 音波探査記録による地形精査が困難であったため、日本水路協会によるM7000データおよび150mグリッドDEMデータを用いて海底地すべり地形判読調査を実施した。
- 検討の結果、徳山ほか(2001)で示される馬蹄形状を呈する明瞭な海底地すべり地形は確認されない。



海底地すべり地形判読調査の結果から、徳山ほか(2001)で示される明瞭な海底地すべり地形は確認されない。

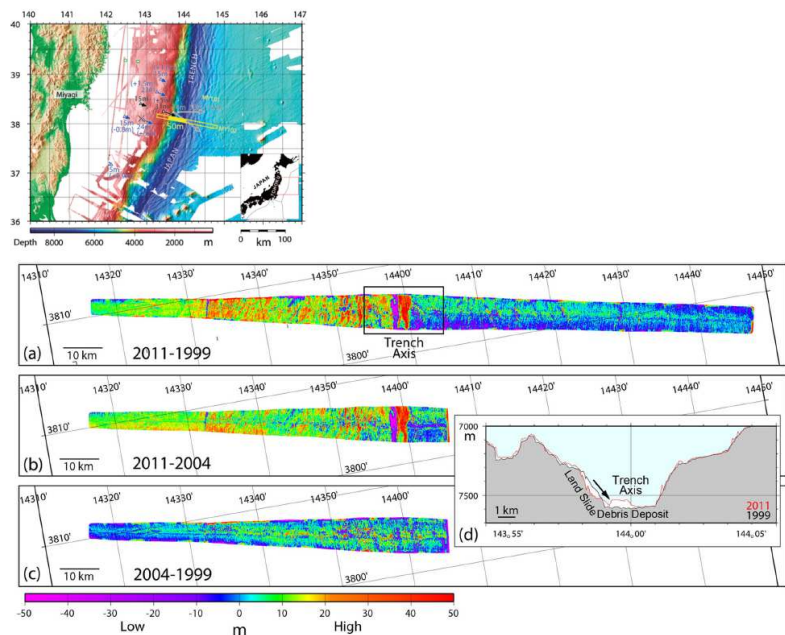
Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1. 海底地すべりに関する文献調査
2. 福島県沖の海底地すべり
3. 日本海溝付近の海底地すべり
 3. 1 3.11地震で発生した海底地すべり
 3. 2 海底地すべり地形の検討
 3. 3 津波解析
 3. 4 評価結果
 3. 5 まとめ
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
5. ハワイ付近の海底地すべり

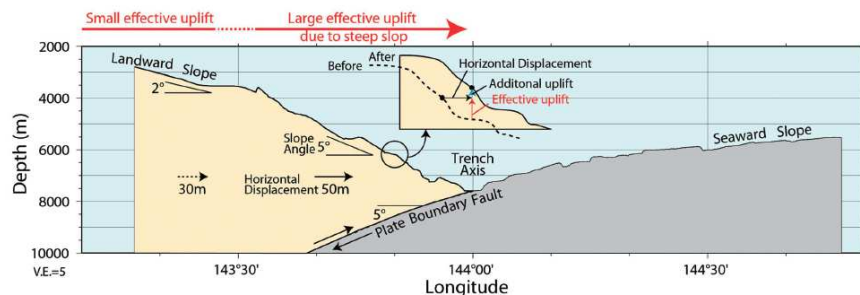
II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 日本海溝付近の海底地すべり

3.1 3.11地震で発生した海底地すべり

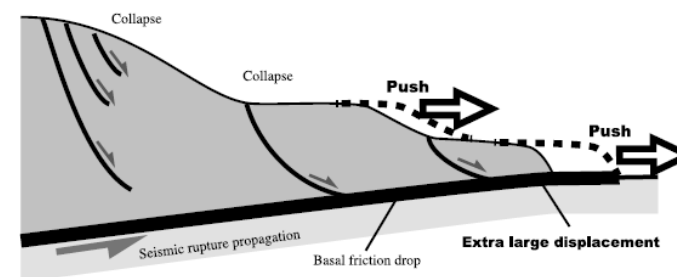
- 小平ほか(2012)は、3.11地震前後の海底地形データの比較から、陸側海溝斜面で海底地すべり※が発生していたとしている。
 - Kawamura et al.(2012)は、同地震による大きなプレートの運動(水平移動)によって、不安定な状態が潜在していた海底地すべりが活動したとしている。
- ※:長さ1kmにわたって崩落し、海溝底に東西幅1.5km、高さ50mのデブリとして堆積。



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))



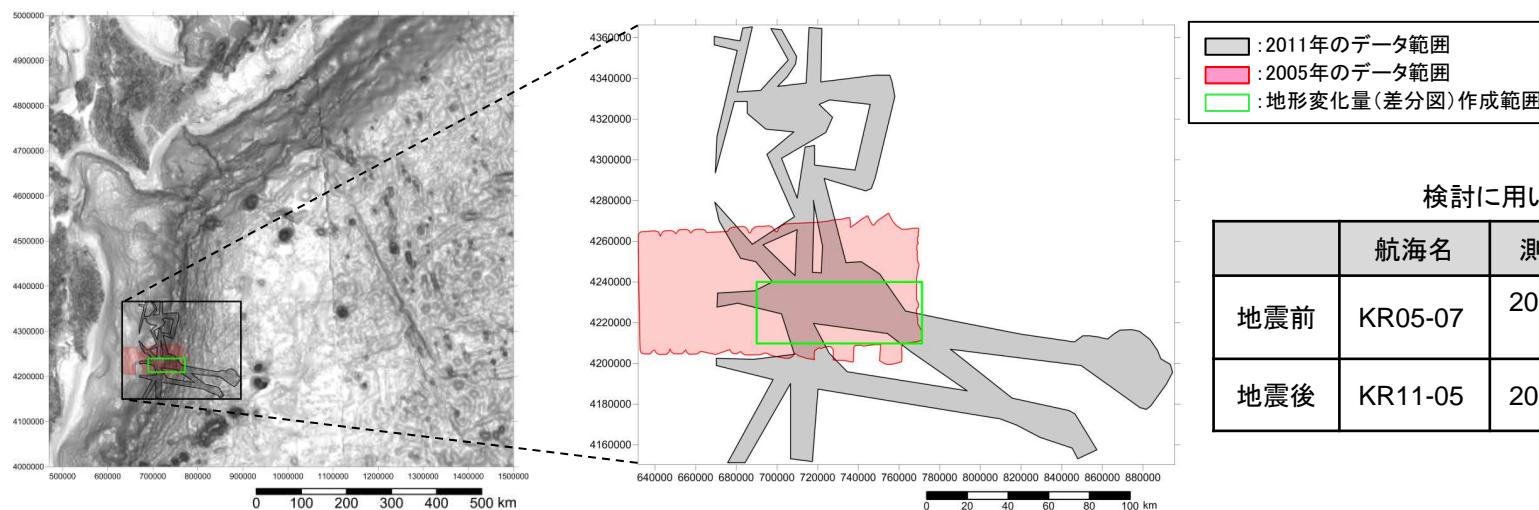
海溝斜面先端部におけるすべりの模式図
(Kawamura et al.(2012))

II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 日本海溝付近の海底地すべり

3.2 海底地すべり地形の検討(1/2)

- 小平ほか(2012)と同様に, JAMSTEC(藤本(2005), 海宝(2011))によって取得された3.11地震前後のデータ※を用いて地形変化量(差分図)を作成し, 海底地すべり地形を検討した。

※:3.11地震前のデータは, 当該地すべり地形周辺を広く取得している2005年のデータを使用。

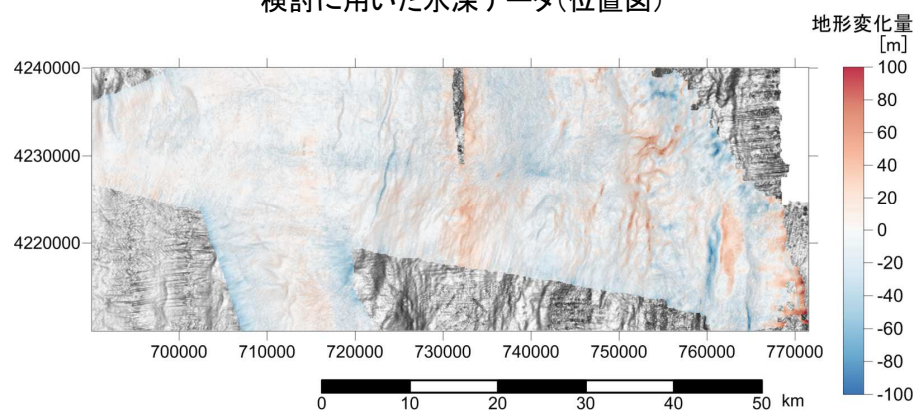


:2011年のデータ範囲
 :2005年のデータ範囲
 :地形変化量(差分図)作成範囲

検討に用いたデータ

	航海名	測量年月日	備考(出典)
地震前	KR05-07	2005年6月 ~7月	藤本(2005)
地震後	KR11-05	2011年3月	海宝(2011)

検討に用いた水深データ(位置図)

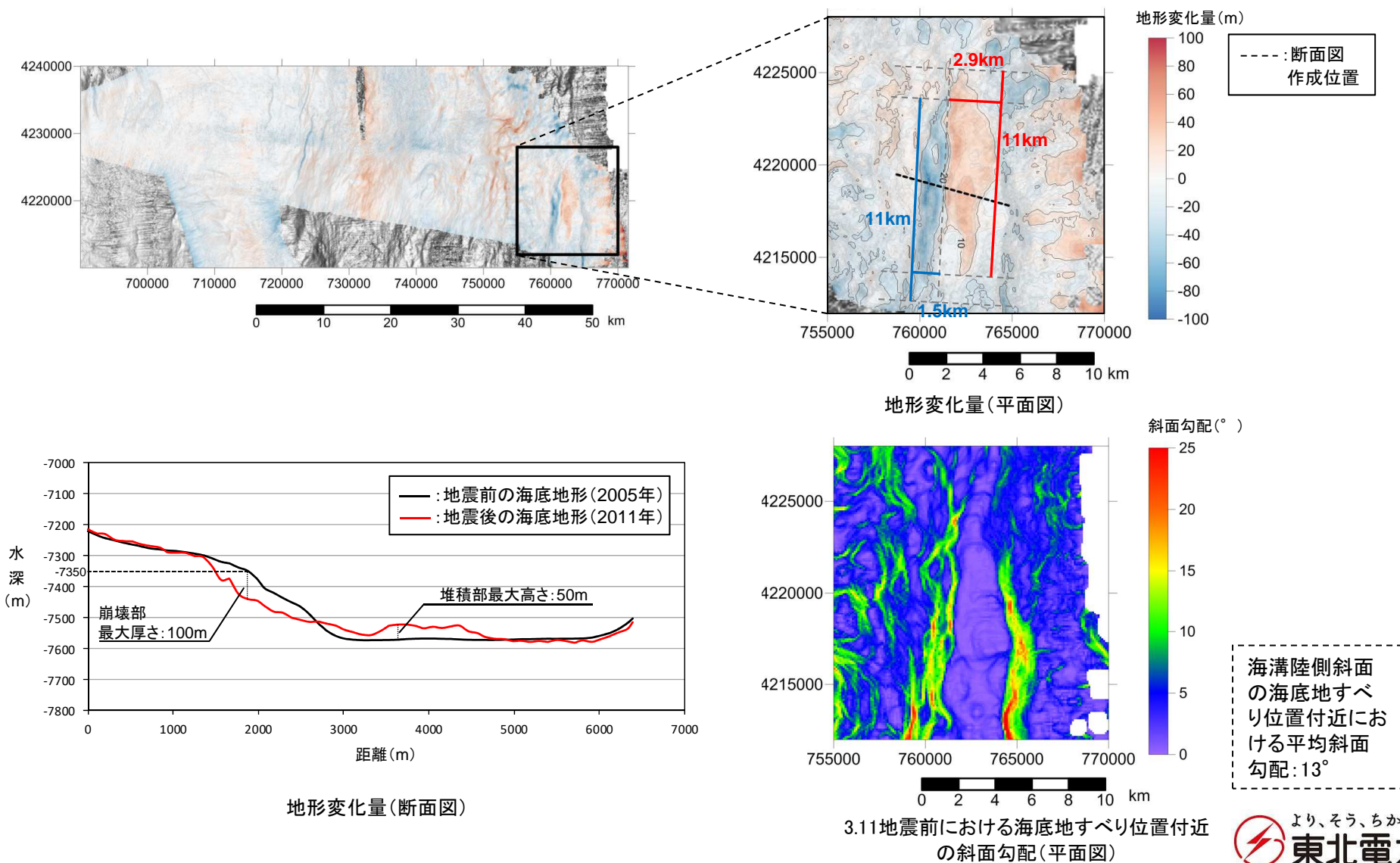


地形変化量(差分図:2011年 - 2005年)

3. 2 海底地すべり地形の検討(2/2)

- 地形変化量(差分図)から、小平ほか(2012)に示される海底地すべり※と整合的な地すべり地形を確認した。

※: 海溝軸陸側斜面が長さ1kmにわたって崩落し、海溝軸底に東西幅1.5km、高さ50mのデブリとして堆積(小平ほか(2012))。



II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 日本海溝付近の海底地すべり

3.3 津波解析: 解析手法

- 水理実験及び国外で発生した海底地すべりに伴う津波の再現性が確認され、海底地すべり位置の水深効果が考慮されているWatts et al.(2005)による予測式により算定される初期水位分布を用いて津波解析を実施した。

■初期水位分布の予測式 (Watts et al.(2005))

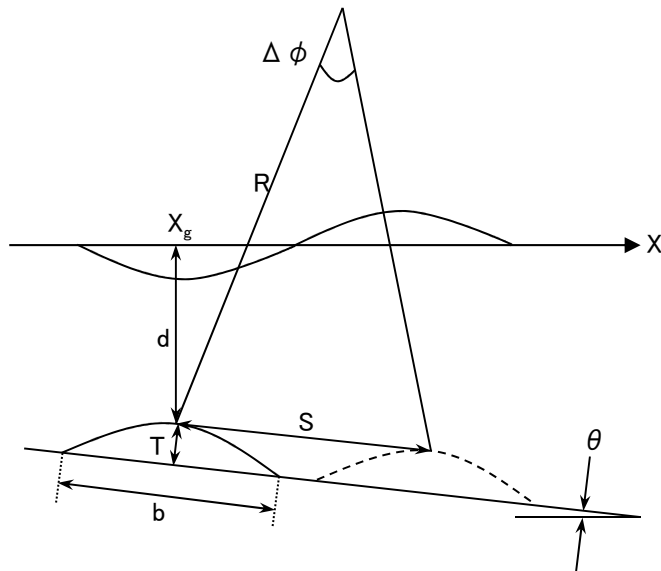
$$\mu(x, y) = -\frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{\min}} \operatorname{sech}^2 \left(\kappa \frac{y-y_0}{w+y_0} \right) \left(\exp \left\{ -\left(\frac{x-x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} - \kappa' \exp \left\{ -\left(\frac{x-\Delta x-x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} \right)$$

$$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w+\lambda_0} \right)$$

ここで、

$\eta_{0,3D}$: 現象が3次元的な場合の最大水位低下, w : 地すべり塊の幅, η_{\min} : 振幅を除く第1式右辺の最小値,
 κ, κ' : 形状パラメータ(ただし, $\kappa=3$ としてよい)

■津波振幅予測式 の概念図及び推定式 (Grilli et al.(2005), Watts et al.(2005))



b : 崩壊部長さ
 d : 初期の崩壊部水深
 T : 崩壊部厚さ
 w : 崩壊部幅
 θ : 斜面勾配
 γ : 崩壊部比重
 X_g : 初期水深が d となる位置の座標
 C_m : 付加質量係数(=1)
 C_d : 抗力係数(=0)
 S : 移動距離
 S_0 : 特性距離(= $S/2$)
 C_n : 底面摩擦係数(= $S_0/R \cos \theta$)

R : 曲率半径(= $b^2/8T$)
 $\Delta \phi$: 回転角(= $2S_0/R$)
 a_0 : 初期加速度(= S_0/t_0^2)
 u_{\max} : 最大速度(= S_0/t_0)
 t_0 : 特性時間

$$t_0 = \sqrt{\frac{R}{g}} \sqrt{\frac{\gamma + C_m}{\gamma - 1}}$$

λ_0 : 特性津波波長(= $t_0 \sqrt{gd}$)
 $\eta_{0,2D}$: $X=X_g$ における最大水位低下量

$$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin \theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin \theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \\ \times (\Delta \phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1)(\gamma - 1))$$

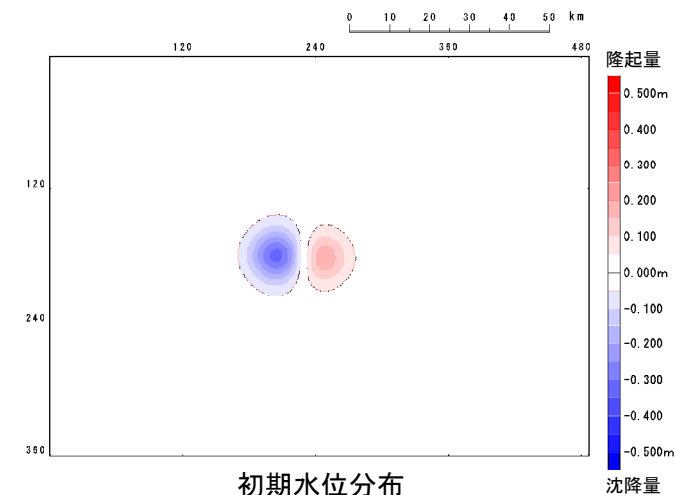
3. 3 津波解析: 初期水位分布

パラメータ

		設定値	設定根拠
γ	崩壊部比重	1.85	Watts et al.(2005)
$b(m)$	崩壊部長さ	1,500	地形変化量(平面図)(p300)
$T(m)$	崩壊部厚さ	100	地形変化量(断面図)(p300)
$w(m)$	崩壊部幅	11,000	地形変化量(平面図)(p300)
$d(m)$	初期の崩壊部水深	7,350	崩壊部最大堆積位置における3.11地震前の水深(=地形変化量(断面図)(p300))
$\theta(deg.)$	斜面勾配	13	地形変化量(平面図)(p300)
$g(m/s^2)$	重力加速度	9.8	
C_d	抗力係数	0	Grilli et al.(2005)
C_m	付加質量係数	1	Grilli et al.(2005)
$S(m)$	移動距離	2,200	崩壊部の中心(崩壊部長さの1/2)から堆積部中心(堆積部長さの1/2)の距離(=地形変化量(平面図)(p300))
$S_0(m)$	特性距離	1,100	= $S/2$
C_n	底面摩擦係数	0.40	= $S_0/(R\cos\theta)$
$R(m)$	曲率半径	2,813	= $b^2/8T$
$a_0(m^2/s)$	初期加速度	1.14	= S_0/t_0^2
$t_0(sec)$	特性時間	31.0	= $\sqrt{R/g} \sqrt{(\gamma+C_m) / (\gamma-1)}$
$\lambda_0(m)$	特性津波波長	8,325	= $t_0 \sqrt{gd}$
$\Delta\Phi(rad)$	回転角	0.78	= $2S_0/R$
$u_{max}(m/s)$	最大速度	35.5	= S_0/t_0
$\Delta X(m)$	ガウス分布間距離	4,163	= $\lambda_0/2$
κ'	形状パラメータ	0.83	崩壊部厚さ100m, 堆積部厚さ50mの比から, 上昇側振幅=下降側振幅×0.50として設定

波源振幅の推定値

$\eta_{0,2D}(m)$	0.56
$\eta_{0,3D}(m)$	0.32



II. 地震以外に起因する津波の評価 3. 日本海溝付近の海底地すべり

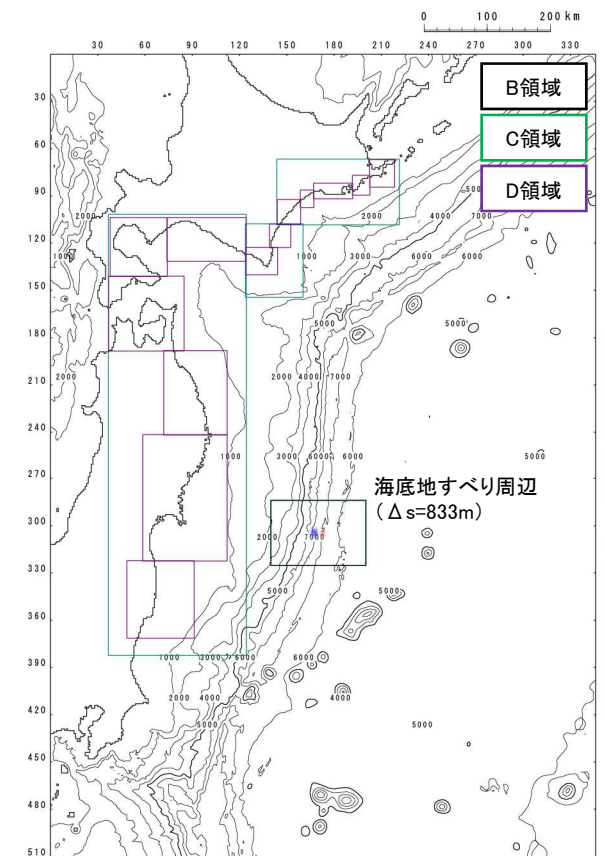
3.3 津波解析: 計算条件

- 津波解析の計算条件を以下に示す。
- 海底地すべり周辺の空間格子間隔は、土木学会(2016)を参考として、地すべり位置における津波波長の1/20以下となる833mに設定^{※1}した。

※1: 海底地すべりに伴う津波波長約24km(=初期水位分布の隆起域と沈降域のピーク間の距離(半波長さ)は約12km)の1/20は、約1.2km。

主な計算条件

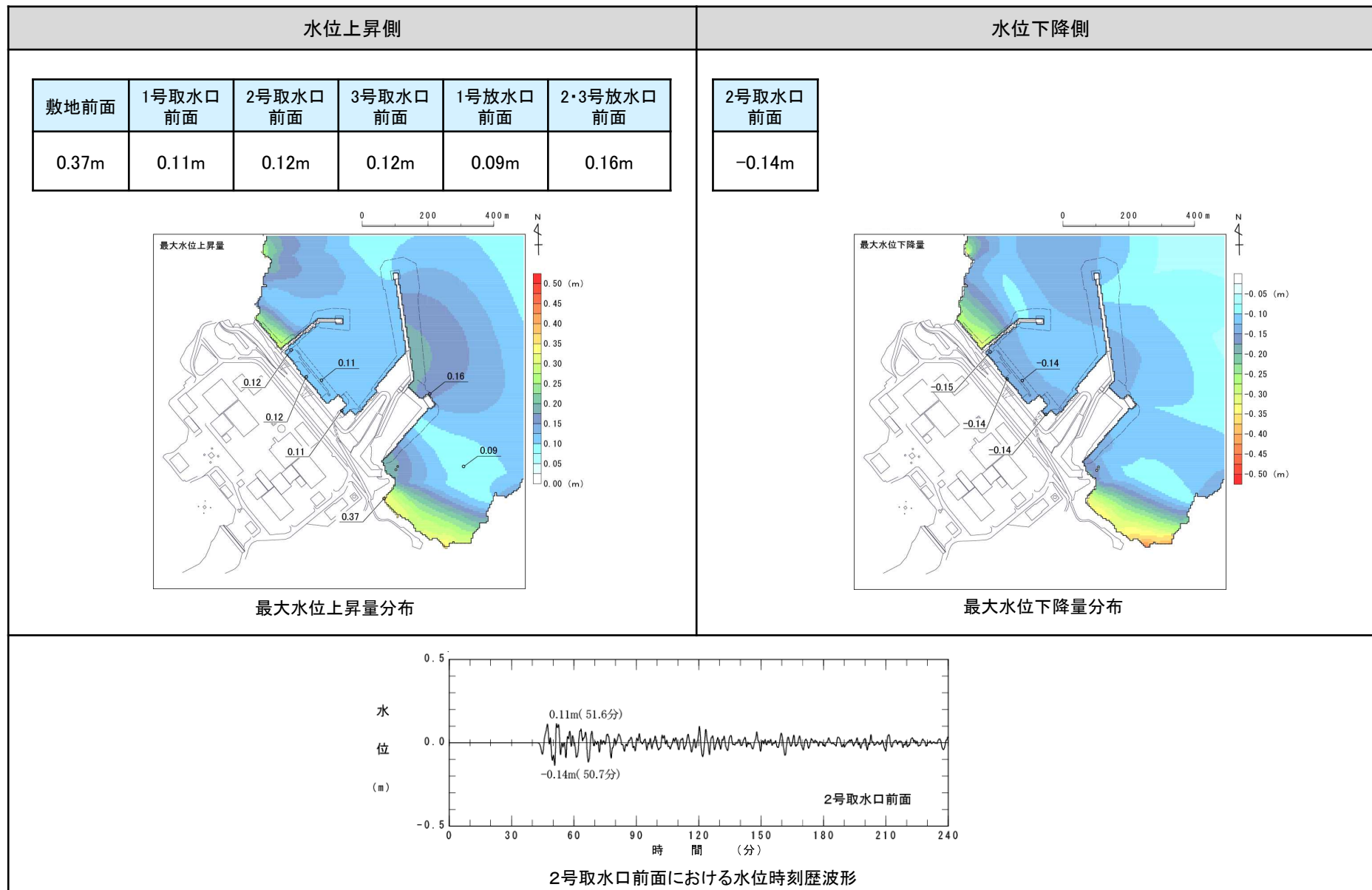
	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
時間格子間隔 Δt	0.1秒						
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論)					
沖側境界条件	自由透過	外側の大格子領域と水位・流量を接続					
陸側境界条件	完全反射	完全反射 (海底露出を考慮)	小谷ほか(1998)の遡上境界条件				
初期海面変動	Watts et al.(2005)による予測式により算定される初期水位分布を与える						
海底摩擦	考慮 しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03m^{-1/3}s$ (土木学会(2016)より)					
水平渦動粘性 係数	考慮しない						
潮位条件	T.P. $\pm 0.0m$						
計算再現時間	海底地すべり発生後4時間						



計算領域とその水深及び格子分割

3.4 評価結果

- 解析の結果、日本海溝付近の海底地すべりによる発電所の津波高さ(最大水位上昇量)は0.4m程度であり、発電所に与える影響は小さいことを確認した。



3.5 まとめ

- 日本海溝付近の斜面で発生する海底地すべりが単独で発生した場合に、発電所の津波高さ(沿岸の津波高さ)に与える影響を定量的に把握するため、3.11地震時に発生した海底地すべりを対象として津波解析を実施した。
- 解析の結果、同地すべりによる発電所の津波高さ(最大水位上昇量)は0.4m程度であり、発電所に与える影響は小さいことを確認した。
- これは、日本海溝付近の斜面で発生する海底地すべりに伴う津波は、海底地すべり位置の水深が7000m~8000mと深いために、海底地すべり位置の津波振幅が小さいためと考えられる。

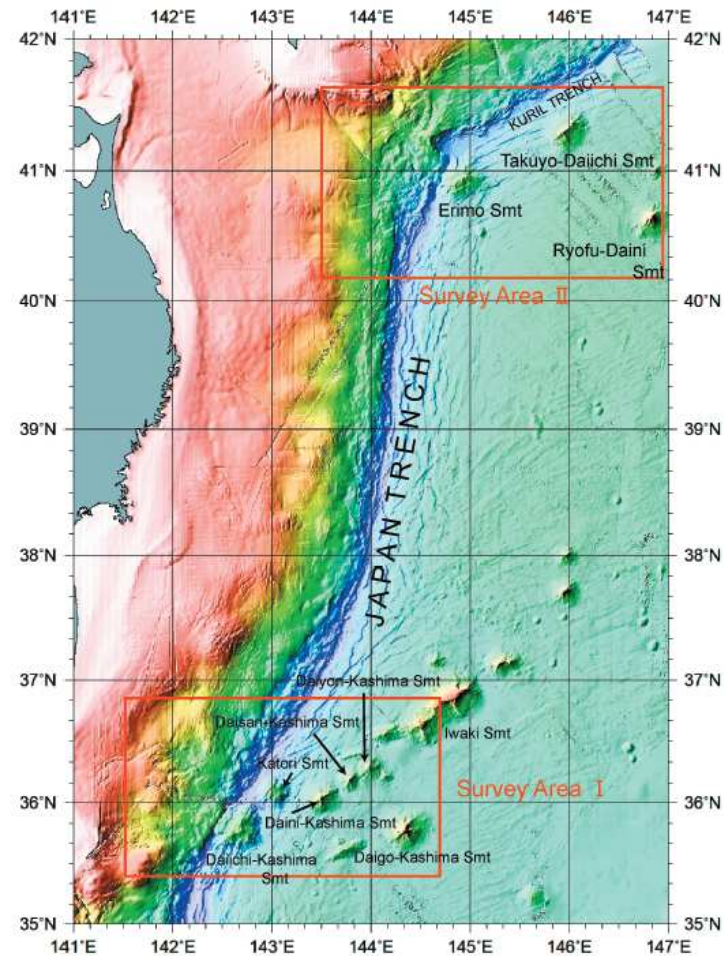
Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1. 海底地すべりに関する文献調査
2. 福島県沖の海底地すべり
3. 日本海溝付近の海底地すべり
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
 4. 1 日本海溝付近の海山
 4. 2 第1鹿島海山
 4. 3 襟裳海山
 4. 4 評価結果
5. ハワイ付近の海底地すべり

Ⅱ. 地震以外に起因する津波の評価 4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり

4.1 日本海溝付近の海山

- 日本海溝と伊豆・小笠原海溝の会合部付近には第1鹿島海山が存在し、その背後には、香取海山、第2～第5鹿島海山、磐城海山といった一連の海山列が北東側へ続いている。
- また、日本海溝と千島海溝の島弧会合部付近には襟裳海山が存在し、その東側に広がる深海平坦面には拓洋第1海山、凌風第2海山等が分布している(渡邊ほか(2007))。

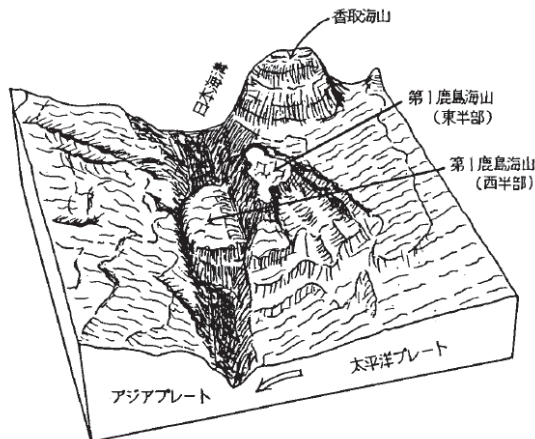


※: 赤枠は、海上保安庁が2006年9月から10月にかけて精密地殻構造探査を実施した範囲。

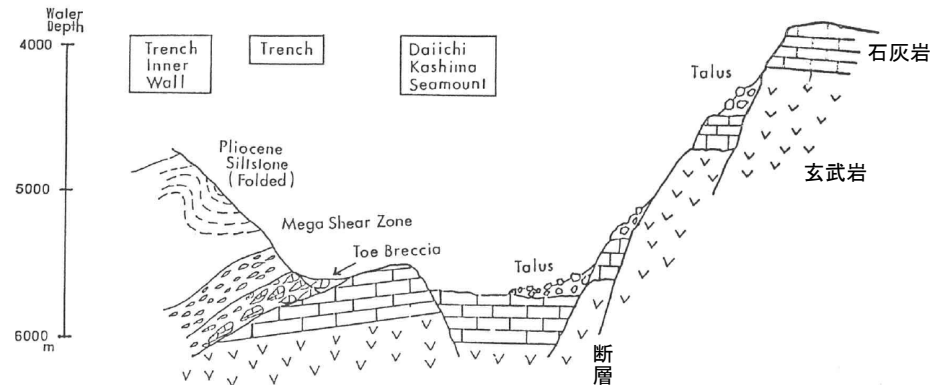
日本海溝付近の海山※(渡邊ほか(2007))

4.2 第1鹿島海山(1/2)

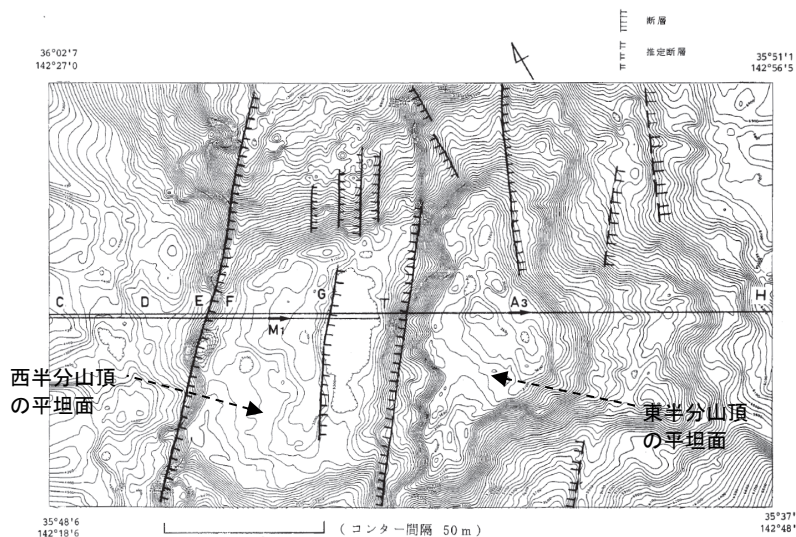
- 第1鹿島海山付近には海溝軸とほぼ平行な断層がいくつか認められる。第1鹿島海山は1つの正断層により東西に二分され、西半分が海溝に沈みこんでいる(海上保安庁(1984), 大島ほか(1985), 藤岡・平(1987))。
- 東半分山頂の平坦面の水深は約3600m, 西半分山頂の平坦面の水深は約5200mであり, その急斜面(比高:約1600m, 傾斜:30度から45度)の下部には, 断層による海山の崩壊に伴う石灰岩や玄武岩の堆積物が存在する(大島ほか(1985), 藤岡・平(1987))。



第1鹿島海山の鳥瞰図(海上保安庁(1984))



第1鹿島海山付近の模式地質断面
(藤岡・平(1987)に一部加筆)

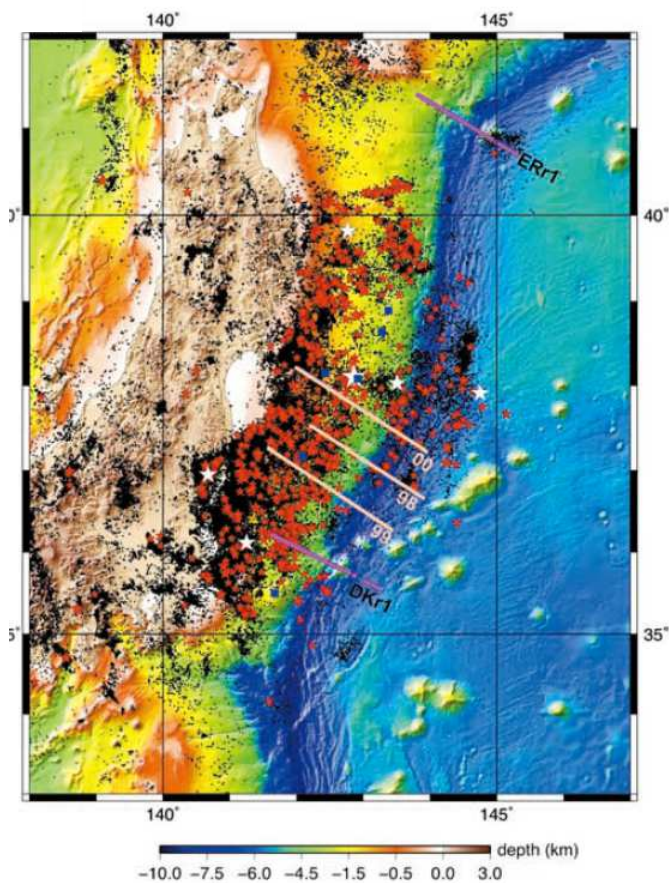


第1鹿島海山の地形図(ナローマルチビームデータを計算機処理した結果)
(海上保安庁(1984)に一部加筆)

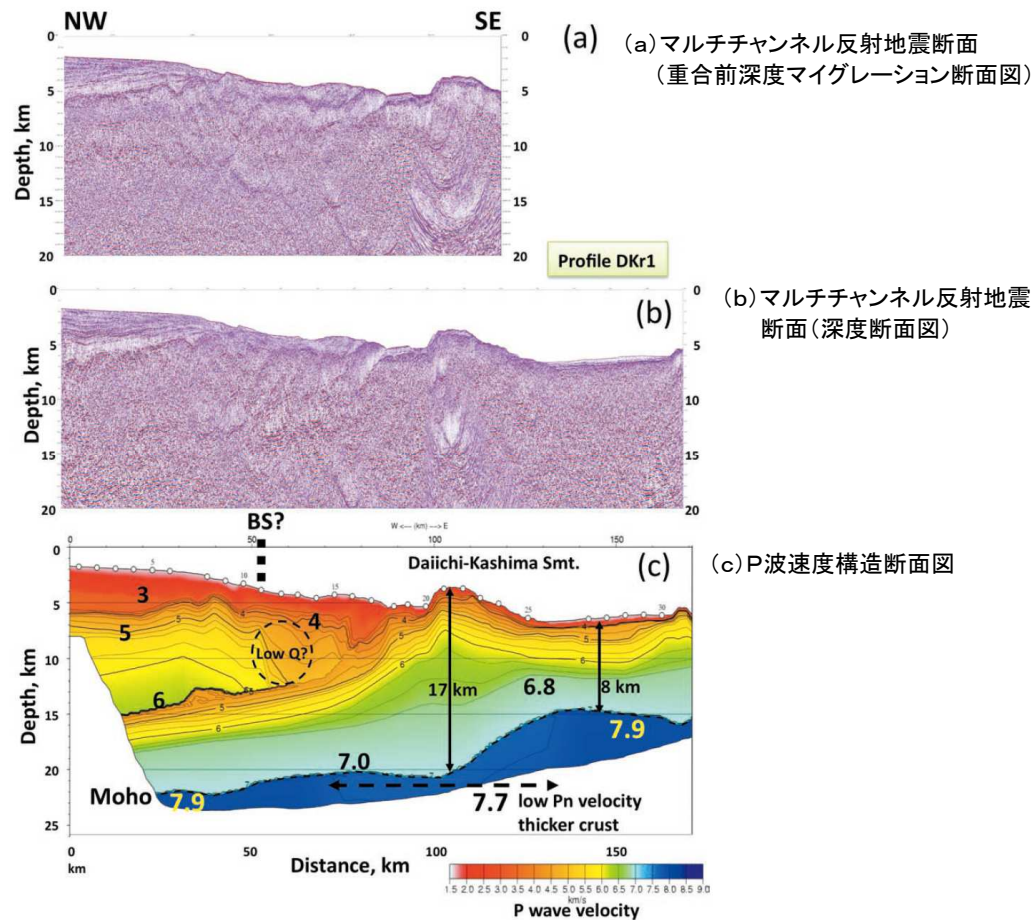
II. 地震以外に起因する津波の評価 4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり

4.2 第1鹿島海山(2/2)

- 海上保安庁では、第1鹿島海山付近の地殻構造把握を目的とした精密地殻構造探査を実施し(2006年9月から10月)、断層により分断された西半分が海溝へと沈み込んでいる様子を明瞭に得ている(渡邊ほか(2007), 西澤(2012))。



調査位置(DKr1)と3.11地震発生以後の震央分布※(西澤(2012))
※:2011年3月11日~2012年5月29日の地震。赤星はM5以上,
白星はM7以上の震央位置を示す。

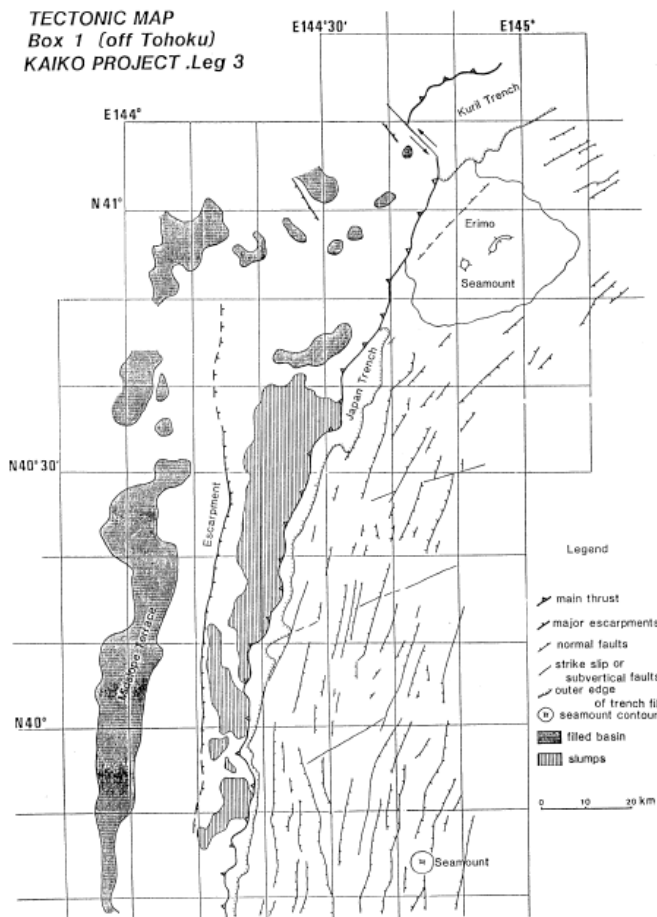


第1鹿島海山を横断する地震学的構造
(西澤(2012))

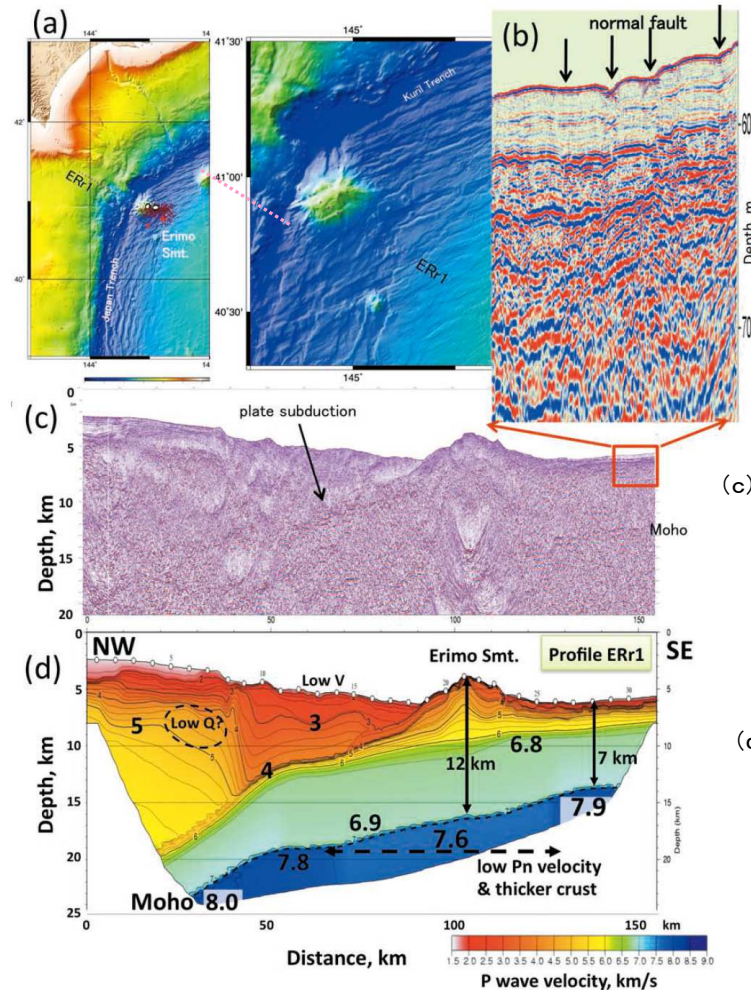
以上の知見から、第1鹿島海山には断層の活動に伴う小規模な崩壊が見られるが、大規模な海底地すべり地形は確認されていない。

4.3 襟裳海山

- 襟裳海山は、頂上水深が第1鹿島海山とほぼ同じ約3700m(比高約4200m)である。
- 第1鹿島海山と同様に北東方向の断層によって切られてはいるが、その規模は第1鹿島海山よりはるかに小さいものであり(飯山ほか(1984)), 海上保安庁による精密地殻構造探査結果から、海溝に沈み込みつつある様子が明瞭に得られている(渡邊ほか(2007), 西澤(2012))。
- なお、第1鹿島海山のような断層の活動に伴う小規模な崩壊地形は確認されていない。



襟裳海山付近の海底地質
(飯山ほか(1984))



(a) 測線位置(ピンク点線)及び
2012年3月14日(M6.9)の地震
の余震

(b) 海溝側海側斜面の
horst and graben構造部分の拡大

(c) マルチチャンネル反射地震断面
(深度断面図)

(d) P波速度構造断面図

襟裳海山を横断する地震学的構造
(西澤(2012))

4.4 評価結果

- 日本海溝海側には、日本海溝と伊豆・小笠原海溝の会合部付近に第1鹿島海山が存在し、その背後には、香取海山、第2～第5鹿島海山、磐城海山といった一連の海山列が北東側へ続いている。また、日本海溝と千島海溝の島弧会合部付近には襟裳海山が存在し、その東側に広がる深海平坦面には拓洋第1海山、凌風第2海山等が分布している(渡邊ほか(2007))。
- 上記海山のうち第一鹿島海山には、断層の活動に伴う小規模な崩壊地形が存在するが(大島ほか(1985), 藤岡・平(1987)), 大規模な海底地すべりは確認されていない。
- 以上から、日本海溝付近における海山付近の海底地すべりが発電所に与える影響は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. 海底地すべりに関する文献調査
2. 福島県沖の海底地すべり
3. 日本海溝付近の海底地すべり
4. 日本海溝付近における海山付近の海底地すべり
5. ハワイ付近の海底地すべり
 5. 1 評価概要
 5. 2 ハワイ諸島の概要
 5. 3 文献調査及び評価対象の選定
 5. 4 海底地形判読
 5. 5 評価結果

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.1 評価概要

- 以下の検討フローに従い、ハワイ付近の海底地すべりに関する調査及び津波評価を実施し、ハワイ諸島周辺の海底地すべりが発電所に与える影響を確認した。

【検討フロー】

■海底地すべりに関する調査

①文献調査

- ✓ ハワイ付近の海底地すべりに関する文献調査を実施し、海底地すべり地形の有無を確認

②評価対象とする海底地すべりの選定

- ✓ 発生年代、規模等から、評価対象とする海底地すべりを選定

③海底地形判読

- ✓ 選定した海底地すべり地形について、地形データを用いて地形判読を行い、海底地すべりの規模を確認

■津波評価

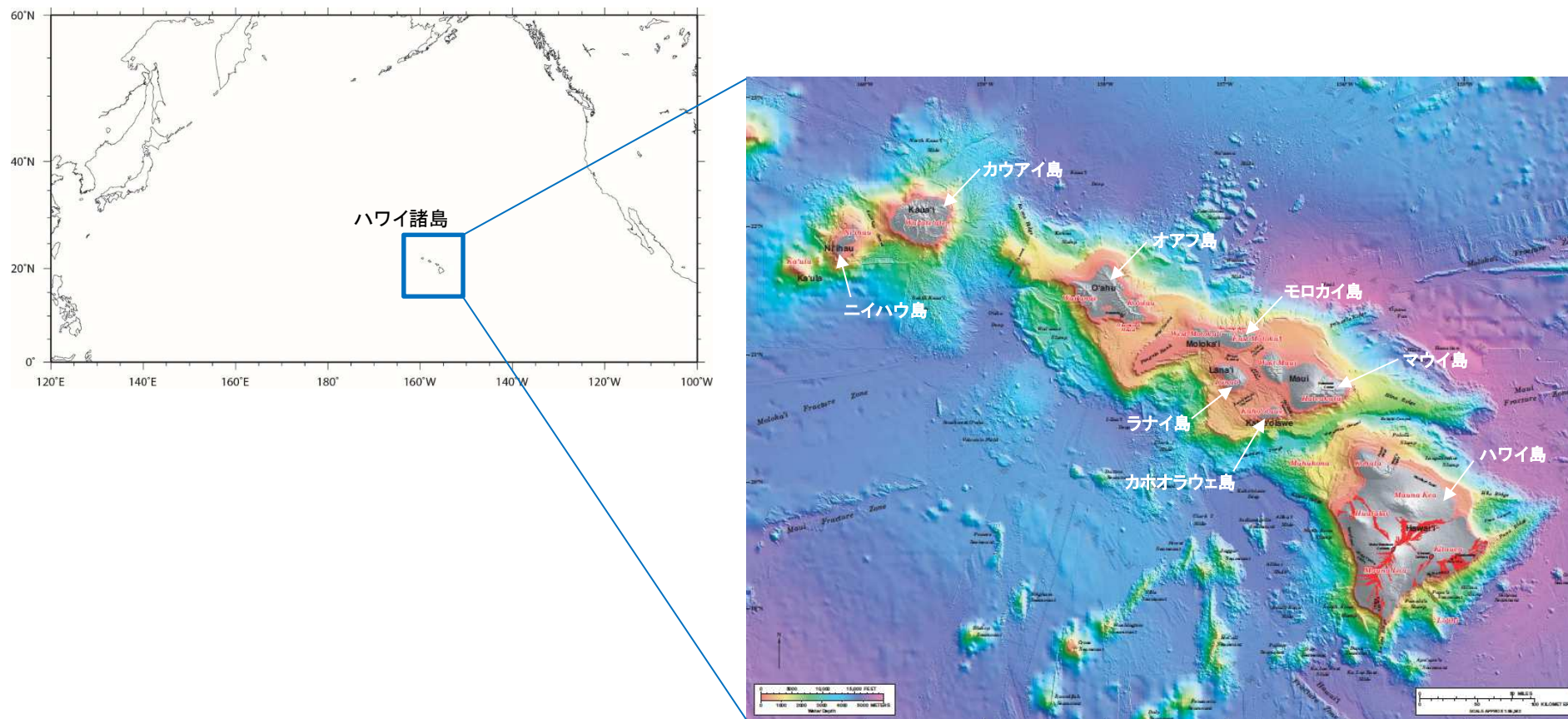
④津波評価

- ✓ 発電所の津波水位を推定

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.2 ハワイ諸島の概要

- ハワイ諸島は日本の南東約6,400kmの太平洋上に位置しており、ハワイ島、マウイ島、オアフ島、カウアイ島、モロカイ島、ラナイ島、ニイハウ島、カホオラウェ島の8つの島のほか多数の島と環礁からなる。
- ハワイを載せる太平洋プレートは北西方向へ年間10cm程度の速さで動いており、ハワイ諸島は北西へ行くほど古い(佐竹(1997))。



Eakins et. al.(2003)に一部加筆

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.3 文献調査及び評価対象の選定: 1975年Kalapana津波(1/2)

- 1975年にハワイ島南岸のKalapana 付近で強震が発生し、日本沿岸各地で津波が観測され(羽鳥(1976)), その地震規模はMw7.7である(Nettles and Ekström(2004))。
- 日本沿岸における検潮記録の全振幅の最大値は、鮎川検潮所における55cmであり(羽鳥(1976)), ハワイ沿岸では最大15m弱の津波が観測された (Day et al.(2005))。

No.	Tide station	Initial wave						Maximum wave	
		A			B			Double ampl.	Occurred time, GMT
		Arrival time, GMT	Rise	Period	Arrival time, GMT	Rise			
1	Hanasaki	Nov. 30 8:48	cm 6	min 8	Nov. 30 7:56	cm 10	cm 27	Nov. 30 13:32	
2	Kushiro	?					12	13:08	
3	Hiroo	7:42	15	12	7:42	3	23	10:06	
4	Urakawa	9:00	-6	15			12	12:11	
5	Hakodate	?					17	13:30	
6	Same	8:56	2	10	7:55	2	5	11:15	
7	Miyako	8:50	-8	8	7:35	6	14	9:48	
8	Enoshima	8:46	-4	10					
9	Ayukawa	9:00	-6	8	7:44	4	55	10:44	
10	Onahama	8:10	4				21	9:20	
11	Hitachi	7:27	5	16			24	10:14	
12	Mera	8:28	5	16	7:22	4	19	11:22	
13	Miyake Is.	8:22	4	7			24	10:15	
14	Chichijima	6:53	6	18			18	10:18	
15	Minami-Lzu	7:20	3				20	11:46	
16	Omaezaki	7:33	4	10			14	13:50	
17	Owase	9:14	8	22	7:40	2	22	10:00	
18	Kushimoto	10:00	7	12			22	17:00	
19	Muroto	8:50	3	8			11	11:50	
20	Tosa-Shimizu	8:00	8	22			23	16:23	
21	Aburatsu	?					18	15:32	
22	Naha	8:35	3	18			13	16:43	

A: Evident wave commences. B: Wave front is indefinite. Wave front is determined with the aid of the refraction diagram.

日本沿岸の検潮記録
(羽鳥(1976)に一部加筆)

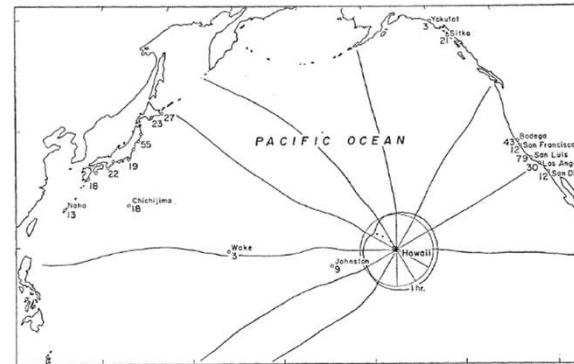


Fig. 7. Distribution of the maximum double amplitude (unit: cm) and wave rays which are emitted from the origin subdivided into equal angles of 30 degrees.

波向線(羽鳥(1976))

→米国沿岸における水位は日本沿岸と大差なく、指向性による影響はみられない



ハワイ沿岸の痕跡地点及び遡上高(Day et al.(2005))

Location	Observed (m)
Honokahau (W)	2.1
Kailua (W)	3.4
Kahaluu (W)	1.8
Keauhou (W)	2.4
Napoopoo (W)	2.4
Honanau (W)	1.8
Milolii (W)	<1.8
South Point (W)	6.7
Kaalualu (S)	4.0
Honuapo (S)	6.1
Punaluu (S)	6.1
Kalue (S)	9.4
Halape (S)	7.0
Apua Point (S)	14.6
Kamoamoia (S)	6.4
Kalapana (S)	2.6
Pohoiki (S)	2.4
Cape Kumukahi (S)	3.4
Hilo (E)	3.0

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.3 文献調査及び評価対象の選定: 1975年Kalapana津波(2/2)

- Ma et al.(1999)は, ①海底地すべり, ②低角逆断層のいずれでもハワイ周辺の検潮記録を説明できるとし, これらの組合せにより津波が発生したであろうとしている。

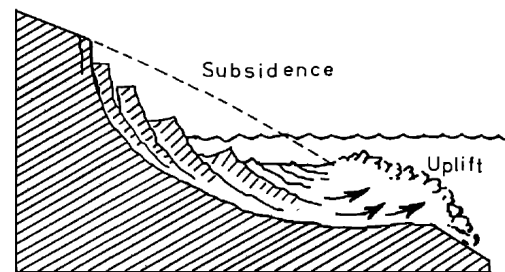
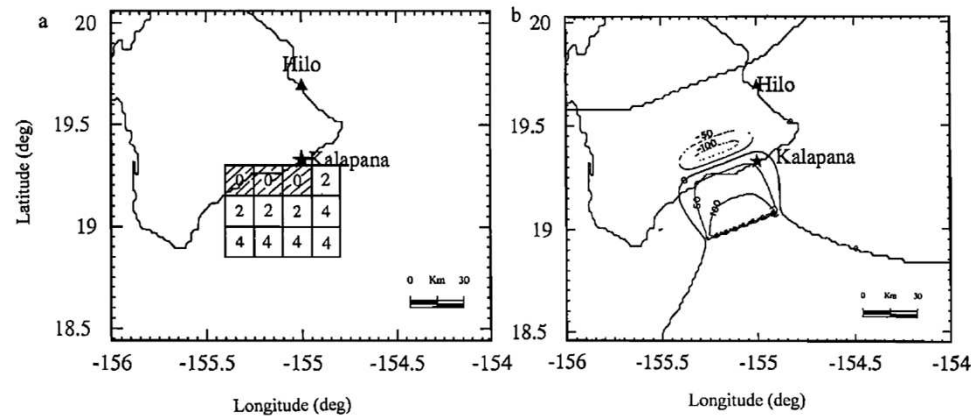


Figure 17. Schematic showing a rotational slumping that causes subsidence and uplift.



1975年Kalapana津波のメカニズムの解釈(上), 地すべりの分布(左下)及び低角逆断層による初期波形(右下)
(Ma et al.(1999))

→左下図のハッチ部は沈降域, 白抜き部は隆起域である。数字は時間遅れ(分)を表す。

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.3 文献調査及び評価対象の選定: 評価対象の選定

- 横瀬(2007, 2010)は、詳細なDEM データに基づきハワイ諸島の流山地域の微地形解析を実施し、ハワイ諸島で想定されている17の巨大海底地すべり堆積物の中で巨大津波を伴った可能性があるのは、オアフ島東部のNuuanu 地すべり、ハワイ島西部のAlika-2地すべり、ハワイ島南部の東KaLae地すべりの3つに限定されるとしている。
- ハワイ諸島で発生した海底地すべりの特徴、発生年代に関する見も踏まえ(McMurtry et al.(2004), Moore et al.(1989)), 後期更新世以降に生じた海底地すべりのうち、巨大津波を伴った可能性があり、面積が大きい「Alika-2」を評価対象として選定した。

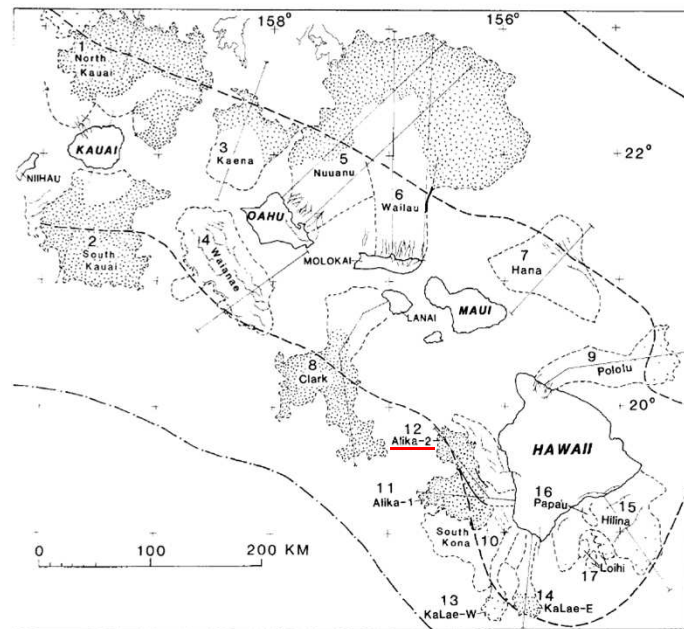


Fig. 2. Map of southeastern Hawaiian Ridge showing major slides bounded by dashed lines identified by number in text and Table 1; compare with Figure 1. Dotted area, hummocky ground (widely spaced where subdued); hachured lines, scarps; thin, downslope-directed lines, submarine canyons and their subaerial counterparts; heavy dashed line, axis of the Hawaiian Deep; dash-dotted line, crest of the Hawaiian Arch.

TABLE 1. Hawaiian Submarine Slides

No.	Name	Location	Area, km ²	Length, ^a km	Width, ^b km	Type ^c	年代(Ma) ^{*1}
1	North Kauai	North Kauai	14,000	140	100	D (0.6-0.9)	5.0
2	South Kauai	South Kauai	6,800	100	50	D (0.6-1.2)	5.0
3	Kaena	NE Oahu	3,900	80	45	D	3.6
4	Waianae	SW Oahu	6,100	50	80	S (1.0)	2.9-3.1
5	Nuuanu	NE Oahu	23,000	235	35	D (0.8-1)	2.1-2.2
6	Wailau	North Molokai	13,000?	<195	40	D (0.7)	1.0±0.1
7	Hana	NE Maui	4,900	85	110	S	0.86
8	Clark	SW Lanai	6,100	150	30	D (0.5-1)	1.3±0.06
9	Pololu	North Hawaii	3,500	130	20	D	0.254-0.306
10	South Kona	West Mauna Loa	4,600	80	80	S	0.200-0.240
11	Alika-1	West Mauna Loa	2,300	88	15	D (0.9-1)	>0.112-0.127
12	Alika-2	West Mauna Loa	1,700	95	15	D (2-5)	>0.112-0.127
13	Ka Lae, west	South Hawaii	850	85	10	D	>0.032-0.060?
14	Ka Lae, east	South Hawaii	950	75	10	D (2)	>0.032-0.060?
15	Hilina	South Hawaii	5,200	40	100	S	>0.010-0.100
16	Papa'u	South Hawaii	200	20	6	SF	0.001~0.005 ^{*2}
17	Loihi	South Hawaii	500	15	10-30	L	0.001~0.115 ^{*3}
Total			97,600				

Located by number in Figure 2.

^aLength of Waianae and South Kilauea landslides omits indistinct irregular topography beyond steep toe.

^bWidth at head of landslide.

^cD, Debris avalanche; (number) is average number of hummocks appearing in GLORIA images per square kilometer; S, Slump; SF, sand rubble flow; L, three unclassified landslides.

- : 後期更新世よりも前に生じた地すべり
- : 巨大津波を伴った可能性のある地すべり
- : 選定した地すべり

※1 McMurtry et al.(2004)

※2 Papa'u(No.16)の年代はMoore et al.(1989)の“several thousand years ago”との記述に基づく。

※3 Loihi(No.17)の年代はGuillou et al.(1997)がLoihi火山東斜面の試料から求めた5±4~102±13kaに基づく。

Moore et al.(1989)に加筆

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

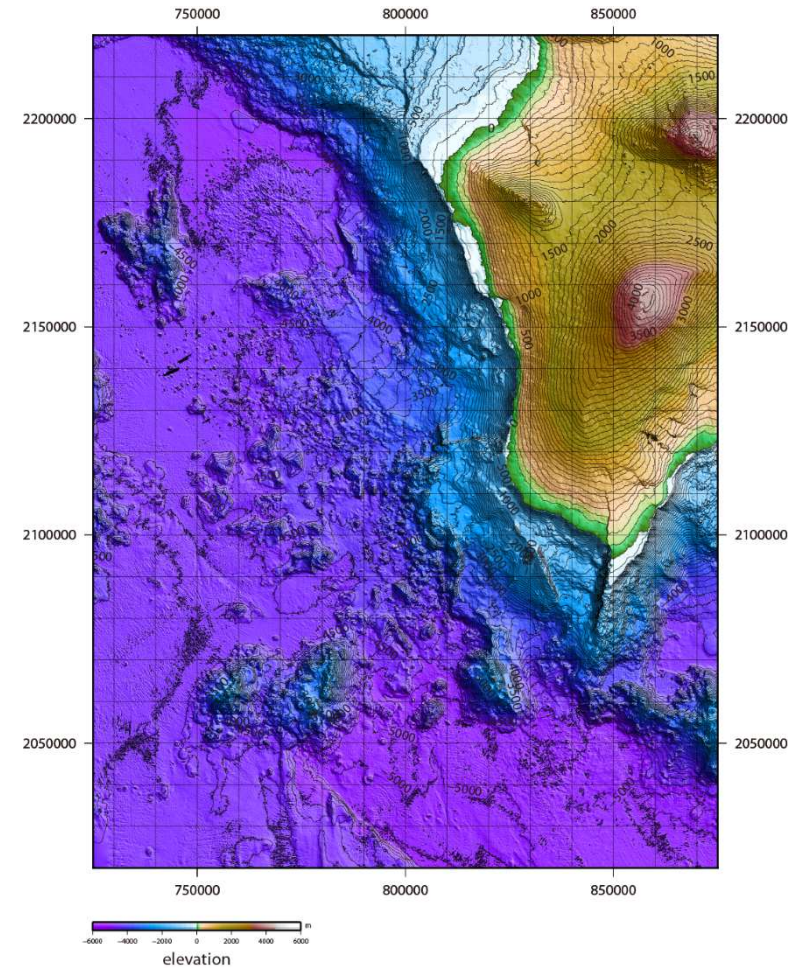
5.4 海底地形判読(1/2)

- Alike-2地すべり周辺(ハワイ島西部周辺)を対象に、ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部(SOEST)による海底地形デジタルデータ(50mグリッド)を用いて海底地形コンター図及び標高段彩陰影図を作成し、海底地形判読を行った。
- なお、海底地形判読にあたっては、以下の判読基準等に従って、海底地すべりの可能性のある地形を抽出した。

■海底地すべり地形の判断基準

- ✓ 地すべり地形としては滑落崖とその基部にある地すべり土塊(滑落土塊)が対をなす。陸上の地すべりに比べて大規模で、薄く広がる傾向がある。薄く広がるケースでは土塊は認定しにくいので滑落崖だけを認定する。

崩壊部 (滑落崖)	<ul style="list-style-type: none"> ・馬蹄形、半円形、コの字形の平面形で、斜面下方へ開く急斜面。 ・急斜面は平面的に出入りがなくスムーズな形状で、傾斜も一定傾向。また、地すべり土塊を囲んで側方にも連続することがある。 ・下方に地すべり土塊が対をなして存在することが重要。
堆積部 (地すべり土塊)	<ul style="list-style-type: none"> ・滑落崖の基部にある扇状地状あるいは舌状の高まり。 ・細長い舌状の場合や台地状を呈することもある。 ・典型的な場合には、土塊の表面に不規則な凸凹、低崖、凹地があり、凸形縦断の斜面形を示す。

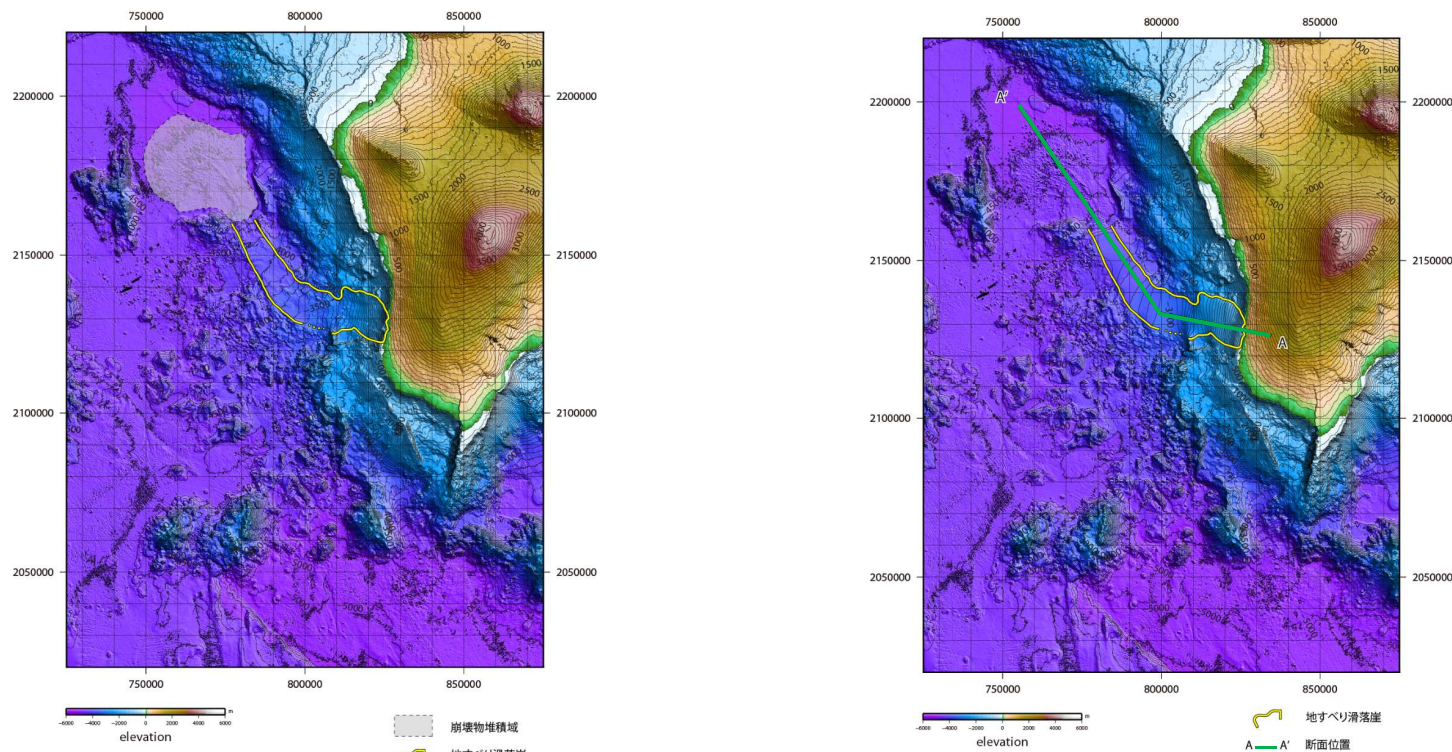


海底地形コンター図及び標高段彩陰影図

ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部(SOEST)による海底地形デジタルデータを使用

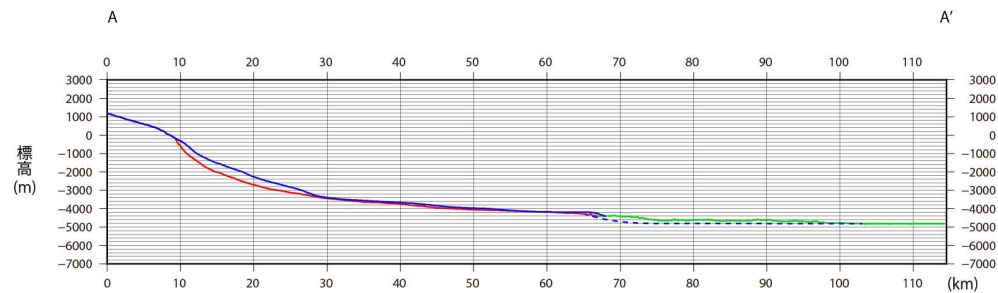
5.4 海底地形判読(2/2)

- 海底地形判読の結果, 「Alika-2」付近に海底地すべりと判断される地形(滑落崖, 崩壊物堆積域)が認められたことから(左図), 地すべり滑落崖周辺の現況地形から滑落崖を埋め戻し, 地すべり崩壊前地形を復元した(右図)。
- 復元地形と現況地形との差から地すべり体積(土量)を算定した海底地すべりの体積(土量)は約105km³である。



「Alika-2」の海底地すべり判読結果(現況地形)

復元地形



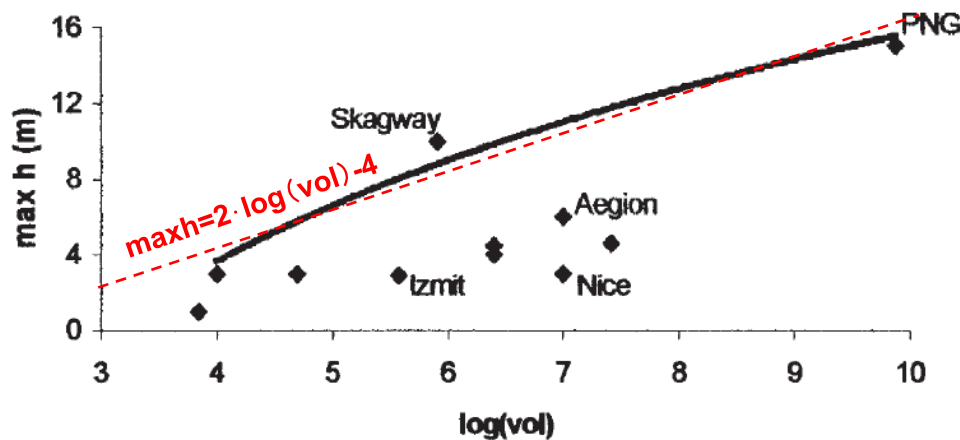
地形断面図(H:V=1:2.5)

- : すべり面地形(現況地形)
- : 崩壊物堆積域(現況地形)
- - - : 復元地形

II. 地震以外に起因する津波の評価 5. ハワイ付近の海底地すべり

5.5 評価結果

- 「Alika-2」の海底地すべりに伴う津波が発電所に与える影響を確認することを目的に、地すべり規模から津波水位を推定することを検討した。
- 津波水位の推定は、Papadopoulos and Kortekaas(2003)による20世紀以降に発生した世界の地すべり津波のデータ分析に基づく、地すべり体積と沿岸における津波の最高水位の関係が、日本沿岸でも成立すると仮定して推定した。
- Ma et al.(1999)より、1975年Kalapana津波の地すべり体積を2.5km³とし、その地すべりに伴う日本沿岸における津波水位を検潮記録最大全振幅の最大値である55cm(鮎川検潮所)(羽鳥(1976))と仮定する。
- Papadopoulos and Kortekaas(2003)による地すべり体積と津波水位の関係式から、「Alika-2」のような地すべり(地すべり体積約105km³)がハワイで発生した場合の日本沿岸における津波水位は3.8m程度と推定される。



地すべり体積(m³)と沿岸における津波の最高水位の関係※
(Papadopoulos and Kortekaas(2003)に加筆)

※: 赤線は包絡線を直線近似して加筆したもの。PNG(1998パプアニューギニア)及びIzmit(1999トルコ)は断層運動による津波への寄与が含まれる。

- ✓ 地すべり1の体積をV1、日本沿岸における津波水位をh1とする。地すべり2の体積をV2、日本沿岸における津波水位をh2とする。
- ✓ Papadopoulos and Kortekaas(2003)の関係により、

$$h2 = a \cdot \log(V2) + b$$

$$h1 = a \cdot \log(V1) + b$$
 両式の差をとれば、

$$h2 - h1 = a (\log(V2) - \log(V1))$$
 よって、

$$h2 = h1 + a \cdot \log(V2/V1)$$
 となる。
- ✓ 添え字1を1975年Kalapana津波、添え字2を想定津波に対応させると、津波水位h2は以下ようになる。

1975年の日本沿岸における津波水位 h1	0.55m
Papadopoulos and Kortekaas (2003)に基づく比例定数 a	2
1975年の地すべり体積 V1	2.5km ³
想定津波の地すべり体積 V2	105 km ³
想定津波の日本沿岸における津波水位 h2	3.8m

以上から、ハワイ付近の海底地すべりが発電所に与える影響は小さいと考えられる。

Ⅲ. 計算条件等

1. 潮位条件
2. 津波解析条件
3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性
4. 津波の伝播特性の検討

Ⅲ. 計算条件等

1. 潮位条件
 1. 1 朔望平均潮位の妥当性
2. 津波解析条件
3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性
4. 津波の伝播特性の検討

Ⅲ. 計算条件等 1. 潮位条件

1. 1 朔望平均潮位の妥当性

- 近年(2006年～2010年)の観測記録^{※1, 2}を用いて朔望平均潮位を算定した結果、朔望平均満潮位はO.P.+1.46m、朔望平均干潮位はO.P.-0.09mであり、基準津波評価で考慮している朔望平均潮位と有意な差がないことを確認した。

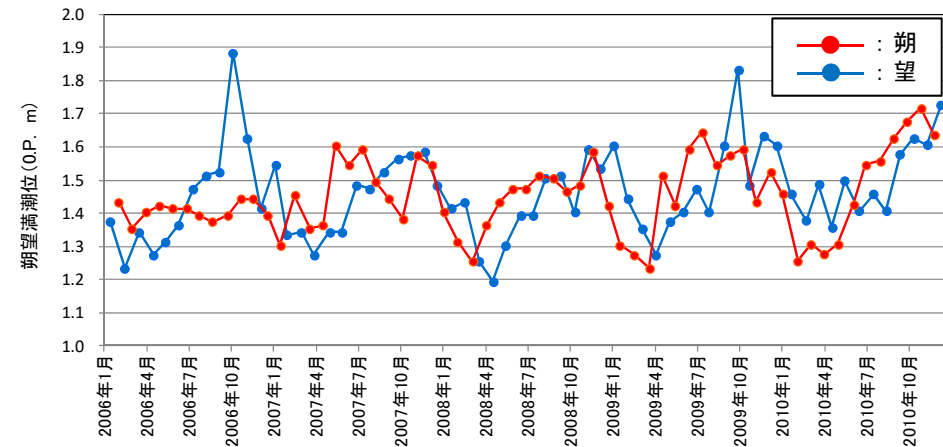
朔望平均潮位の比較

	①基準津波評価 (1986年～1990年)	②近年 (2006年～2010年)	差 (①-②)
朔望平均満潮位	O.P.+1.43m	O.P.+1.46m	-0.03m
朔望平均干潮位	O.P.-0.14m	O.P.-0.09m	-0.05m

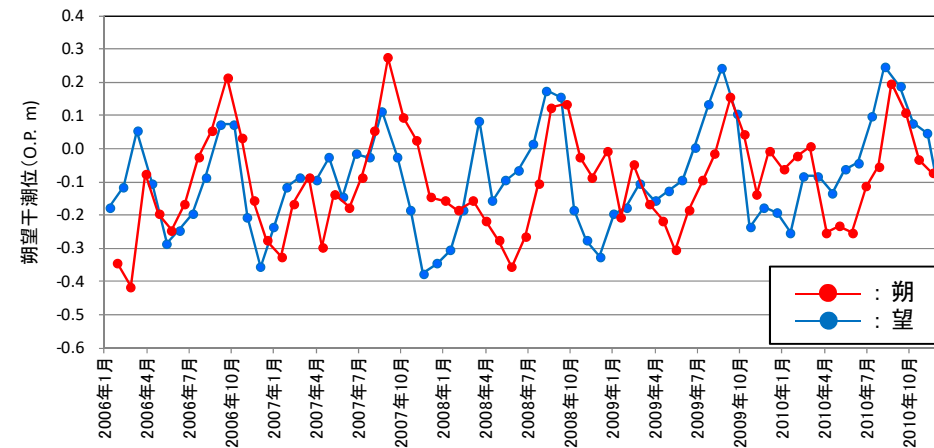
※1: 鮎川検潮所は、3.11地震により被災したことを踏まえ、地震発生前の5ヵ年(2006年～2010年)の潮位記録を用いた。

※2: 潮位記録は、「日本海洋データセンター」の資料を使用した。また、朔望平均潮位は、毎正時の朔望の前2日、後4日の期間における最高潮位または最低潮位を平均して算定した。

【朔望満潮位】



【朔望干潮位】



各月の朔望潮位の経時変化

Ⅲ. 計算条件等

1. 潮位条件
2. 津波解析条件
 - 2.1 空間格子間隔の設定
 - 2.2 時間格子間隔の設定
3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性
4. 津波の伝播特性の検討

Ⅲ. 計算条件等 2. 津波解析条件

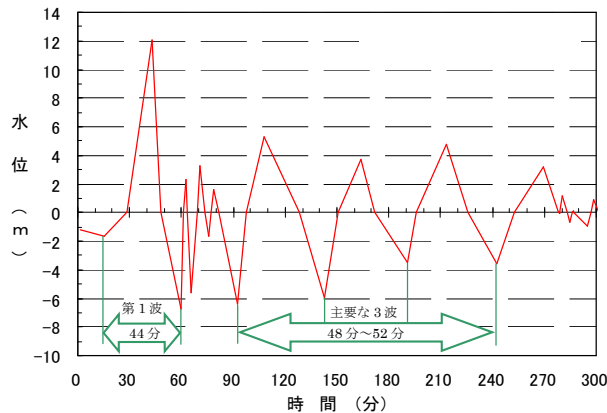
2. 1 空間格子間隔の設定:H領域の設定(1/3)

- 相田(1977)では, 日本海溝沿いで発生した既往津波の計算波形を用いた女川沖(200m等深線上)における周期を示しており, 最も周期が短い津波は, 1896年明治三陸地震津波でその周期を8.7分としている。
- 発電所に襲来した2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の周期は, 発電所港湾内での津波観測記録から最高水位を記録した第1波の周期は44分, それ以降の主要な3波の周期は48分~52分である(東北電力(2011))。
- 上記を踏まえ, 周期8分以上の津波に対して, 土木学会(2016)の目安※を満足するようB領域以下の各領域の接続境界を設定した。

※:津波の空間波形の1波長の1/20以下となるように空間格子間隔を設定する。

計算波形による最大波の周期
(相田(1977))

Tsunami	off Onagawa min
1611	10.0
1793	9.5
1856	21.5
1896	8.7
1897	8.5
1933	11.5
1968	14.9



2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の周期
(東北電力(2011))

空間格子間隔 Δs と土木学会(2016)の目安(1波長の1/20以下)を満足するための最小水深 h_{min} の比較

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
最小水深 h_{min}^*	1107m	123m	14m	1.5m	0.17m	0.02m	0.005m
小領域への接続水深 h_c	1500m (B→C)	1000m (C→D)	160m (D→E)	130m (E→F)	40m (F→G)	30m (G→H)	—

※:最小水深 h_{min} の算定方法

$$h_{min} = \frac{1}{g} \left(\frac{\alpha \Delta s}{T} \right)^2$$

ここで,

α :津波1波長に対する計算格子の個数(=20)

Δs :空間格子間隔

T:周期(s)(=480s)

g:重力加速度(m/s^2)(=9.8 m/s^2)

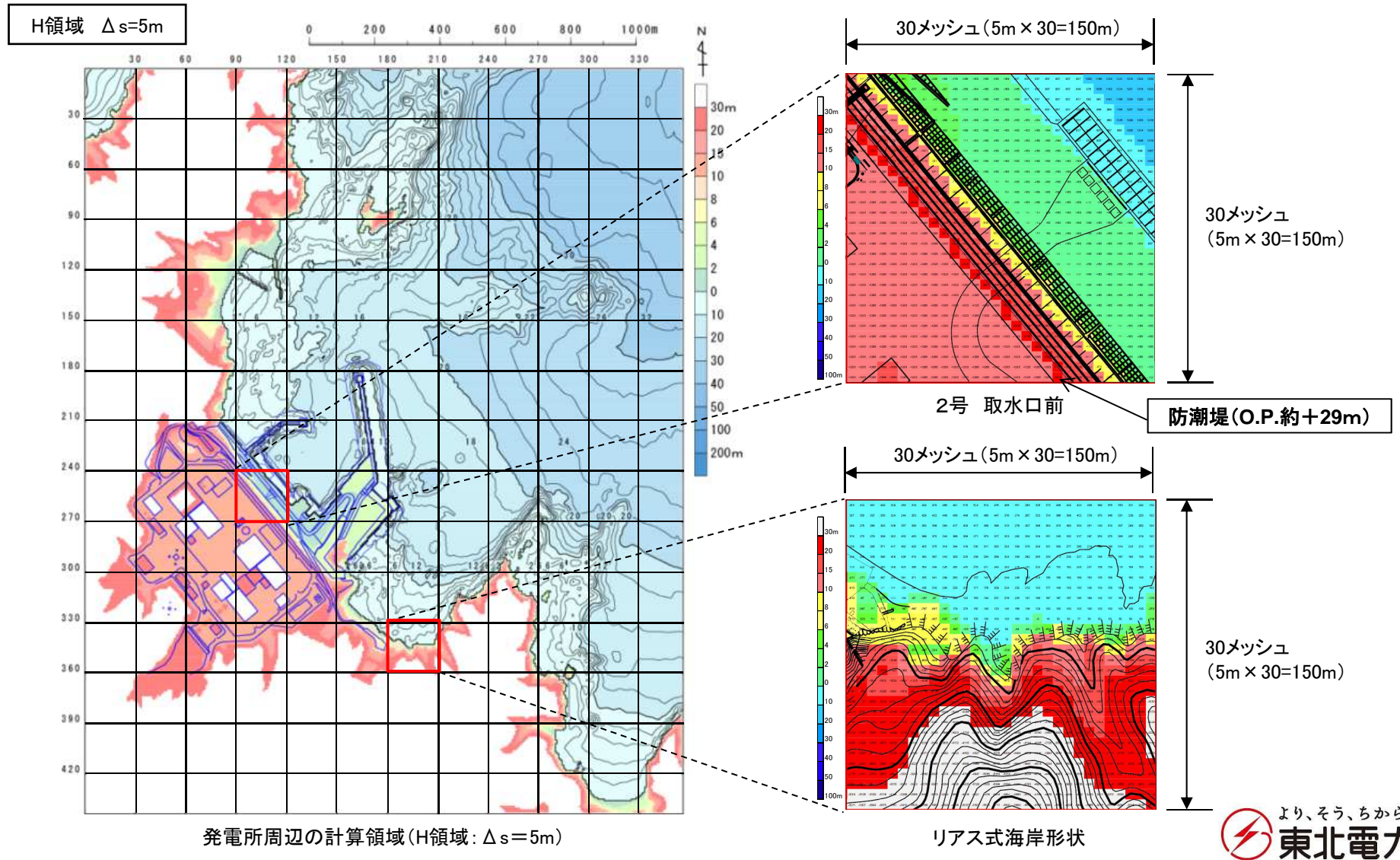


発電所に襲来する津波の伝播経路において, 各小領域への接続水深 h_c は最小水深 h_{min} を上回っており, 土木学会(2016)の目安を満足している。

Ⅲ. 計算条件等 2. 津波解析条件

2. 1 空間格子間隔の設定:H領域の設定(2/3)

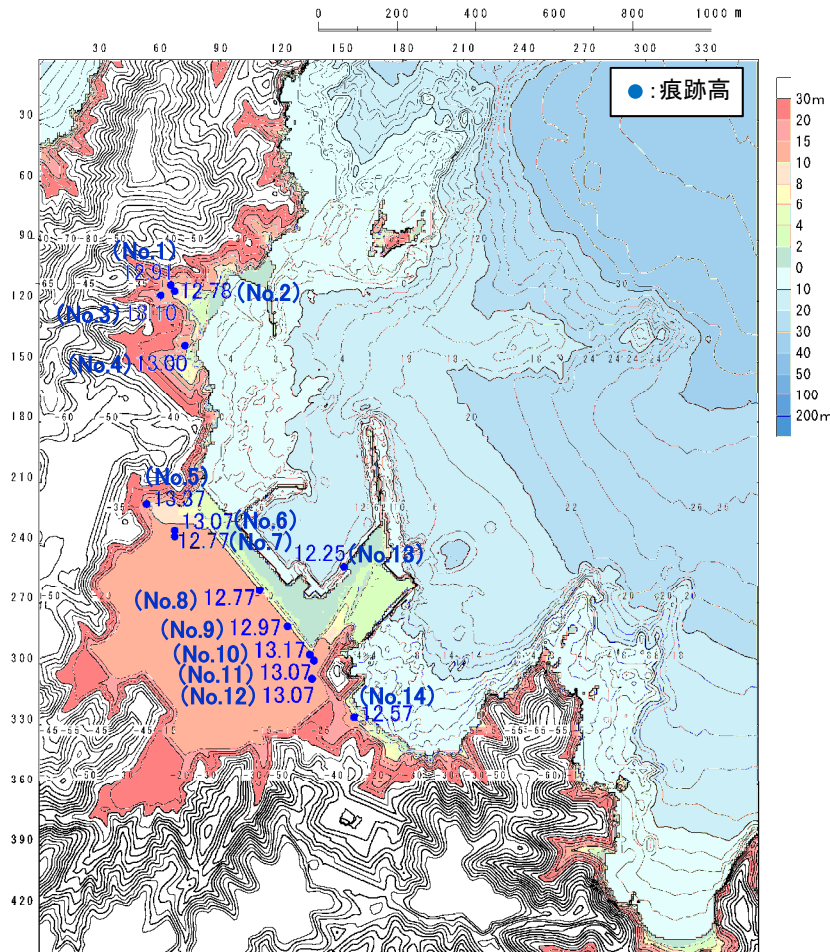
- 発電所は、リアス式海岸の南部に立地するとともに、発電所には防波堤等が存在することを踏まえ、津波水位を精度良く算定するため、最小空間格子間隔 Δs を5mに設定した。



Ⅲ. 計算条件等 2. 津波解析条件

2. 1 空間格子間隔の設定:H領域の設定(3/3)

- 発電所地点における3.11地震に伴う津波の痕跡高と、同津波を良好に再現するモデルによる計算値の比較から、最小空間格子間隔(Δs)5mで津波水位を精度よく算定できることを確認した。



発電所周辺の計算領域(H領域: $\Delta s=5m$)と
3.11地震に伴う津波の痕跡高

3.11地震に伴う津波		計算水位		
No	痕跡高 (m)	内閣府モデル	女川再現モデル	既往津波の組合せモデル
No.1	12.91	12.86	12.99	13.13
No.2	12.78	12.79	12.94	13.11
No.3	13.10	13.10	13.20	13.16
No.4	13.00	12.45	12.22	13.03
No.5	13.37	13.30	13.91	14.61
No.6	13.07	13.16	13.67	14.18
No.7	12.77	12.80	13.66	14.08
No.8	12.77	12.64	12.59	13.02
No.9	12.97	12.62	12.57	13.11
No.10	13.17	12.70	12.59	13.19
No.11	13.07	12.82	12.64	13.38
No.12	13.07	12.88	12.65	13.42
No.13	12.25	12.38	12.23	12.73
No.14	12.57	12.46	12.25	12.77

再現性の評価結果

K	0.97	1.00	0.97
K	1.06	1.04	1.03

Ⅲ. 計算条件等 2. 津波解析条件

2.2 時間格子間隔の設定

- 土木学会(2016)で示されるCFL条件を満足するように時間格子間隔 Δt を設定した。

■CFL条件

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{max}}}$$

ここで、

Δx : 空間格子間隔

Δt : 時間格子間隔

h_{max} : 各領域の最大水深

g : 重力加速度(m/s^2)(=9.8 m/s^2)

各領域の最大水深 h_{max} から算定される時間格子間隔 Δt_{max} と設定した時間格子間隔 Δt の比較

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
各領域の最大水深 h_{max}	8800m	3200m	1200m	120m	70m [※]	60m [※]	60m [※]
最大水深 h_{max} から算定される時間格子間隔 Δt_{max}	6.0s	3.3s	1.8s	1.9s	0.83s	0.30s	0.15s
時間格子間隔 Δt	0.1s	0.1s	0.1s	0.1s	0.1s	0.1s	0.1s

※:F領域以下は、各領域の最大水深 h_{max} に津波による水位上昇相当分として20mを加えている。



全ての領域において設定した時間格子間隔 Δt は、最大水深 h_{max} から算定される時間格子間隔 Δt_{max} よりも小さく、土木学会(2016)で示されるCFL条件を満足している。

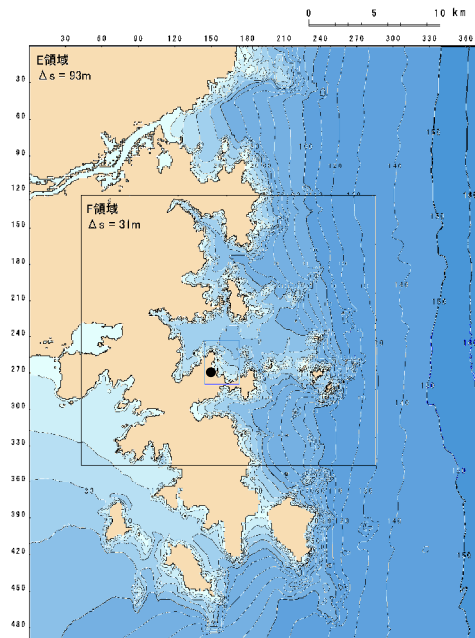
Ⅲ. 計算条件等

1. 潮位条件
2. 津波解析条件
3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性
 - 3.1 検討方針
 - 3.2 発電所周辺地形の周期特性
 - 3.3 津波の周期特性
 - 3.4 発電所周辺地形の周期特性と津波の周期特性の比較
 - 3.5 空間格子間隔の妥当性
 - 3.6 まとめ
4. 津波の伝播特性の検討

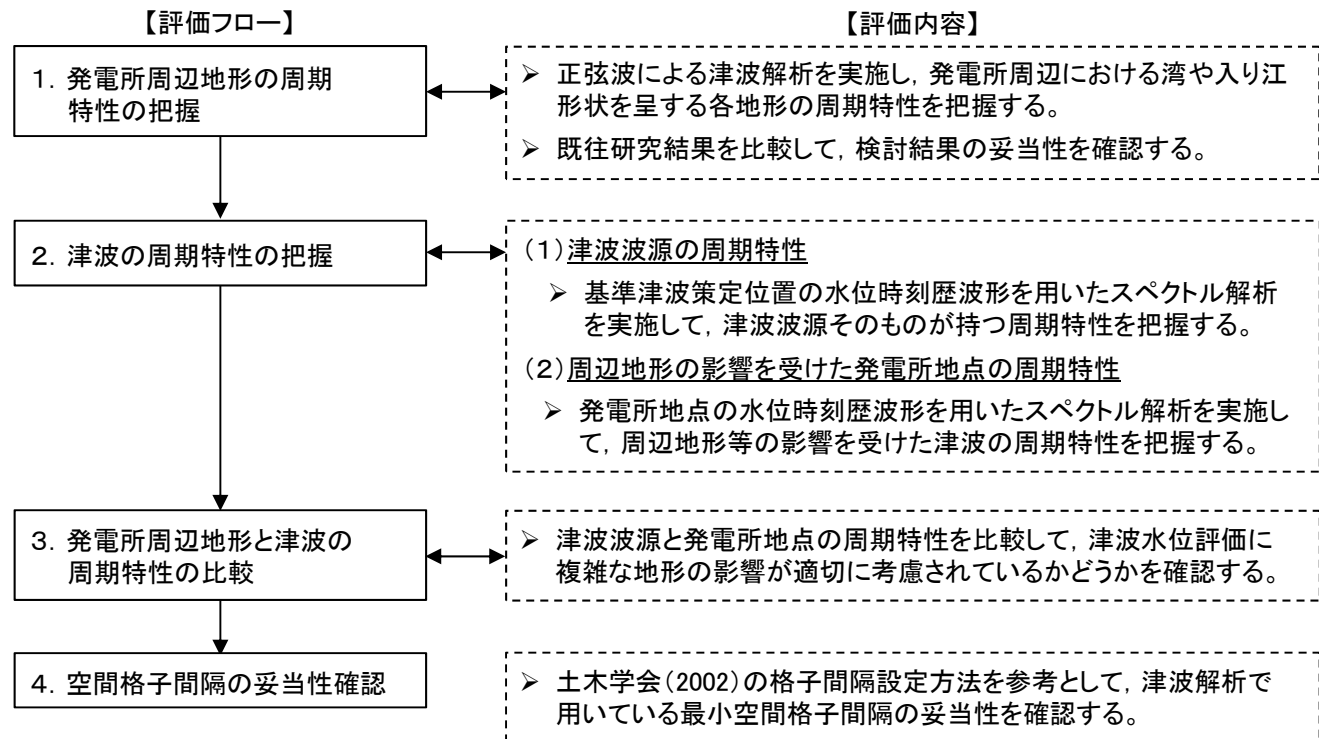
Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.1 検討方針

- 女川原子力発電所は、湾や入り江形状を呈する地形が多数存在するリアス式海岸の南部に位置しており、周辺地形と襲来する津波が共振することにより、津波水位が増幅する可能性があることを考慮して、発電所を含む周辺地形の空間格子間隔 (Δs) は31m、発電所付近の空間格子間隔 (Δs) については5mに設定している。
- 津波水位評価に、複雑な地形の影響が適切に考慮されているかどうかを確認するため、発電所の津波水位に与える影響が大きい「東北地方太平洋沖型の地震」、「津波地震」、「海洋プレート内地震」の敷地前面最大ケースを対象に以下の検討を実施した。



発電所周辺の空間格子間隔

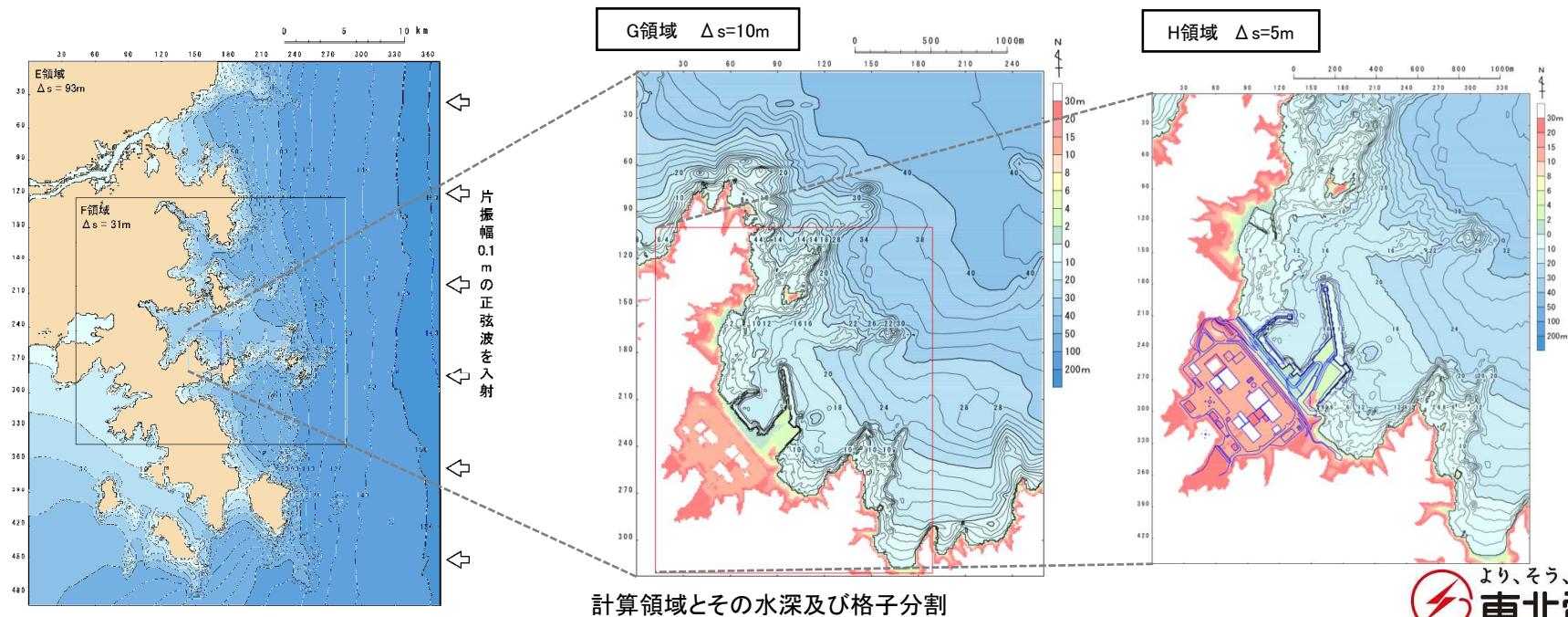


3. 2 発電所周辺地形の周期特性: 計算条件

- 周期を変化させた正弦波による津波解析を実施して、発電所周辺地形の周期特性を把握する。下記に主な計算条件を示す。

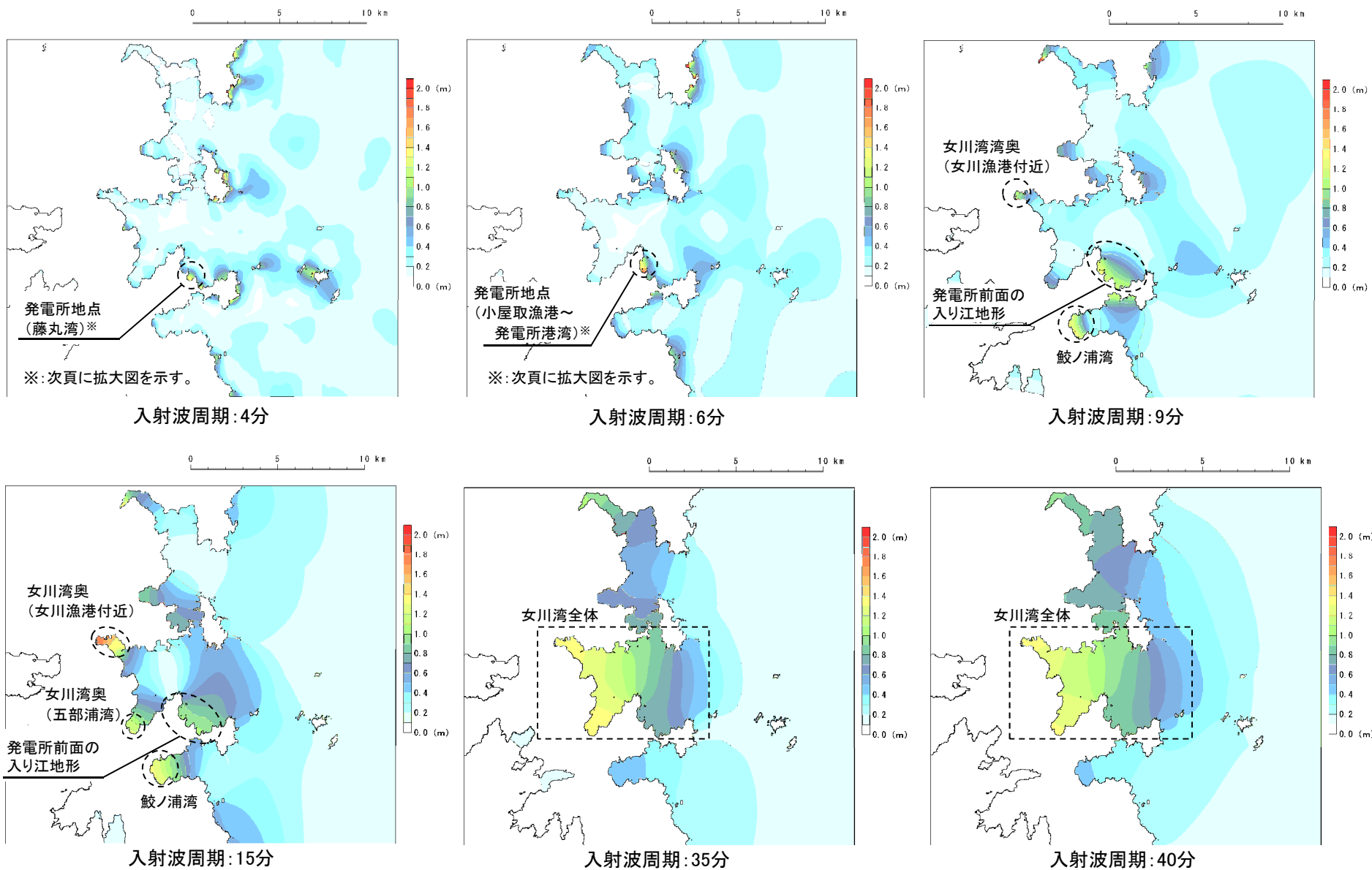
主な計算条件

	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	93 m(2500/27)	31 m(2500/81)	10m(2500/243)	5m(2500/486)
時間格子間隔 Δt	0.1秒			
基礎方程式	非線形長波式(浅水理論)			
入射波	正弦波: 10波以上, 振幅: 0.1m, 周期: 1分~20分(1分ピッチ), 20分~60分(5分ピッチ)			
沖側境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 沖側境界: 正弦波による水位変動を流量として入射し, 岸からの反射波については自由透過させる。 側面水域境界: 自由透過 			
陸側境界条件	小谷ほか(1998)の遡上境界条件			
海底摩擦	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (土木学会(2016)より)			
計算時間	3時間を基本とし, 入射波周期が18分より長いケースは10波相当の時間とする。			



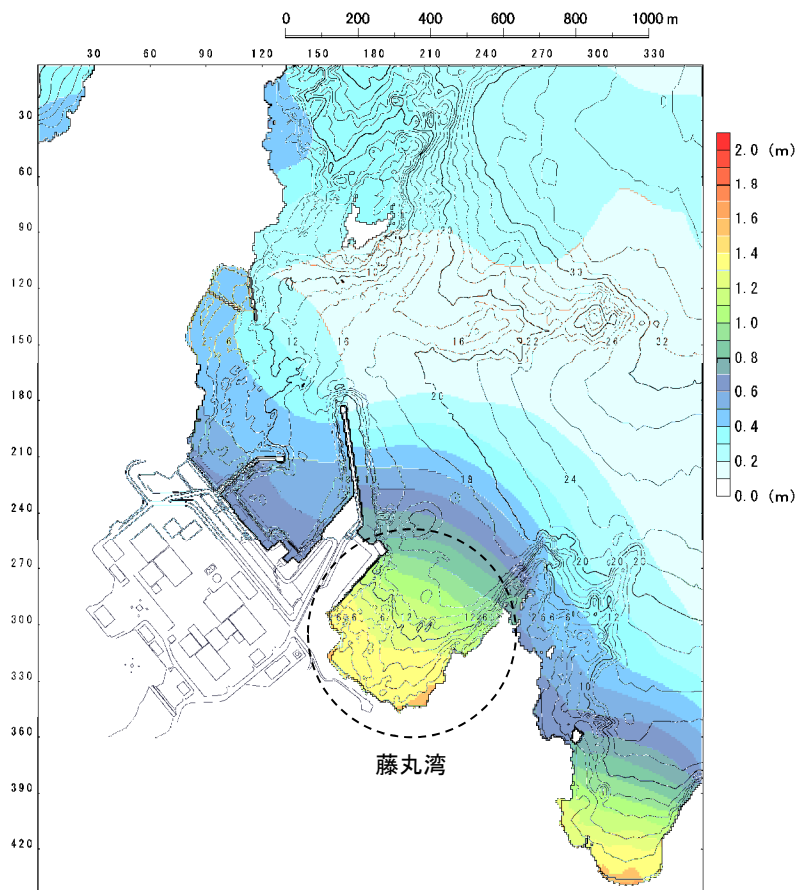
3.2 発電所周辺地形の周期特性: 計算結果(1/2)

- 発電所周辺の湾や入り江形状を呈する各地形の固有周期(最大水位上昇量分布)を以下に示す。

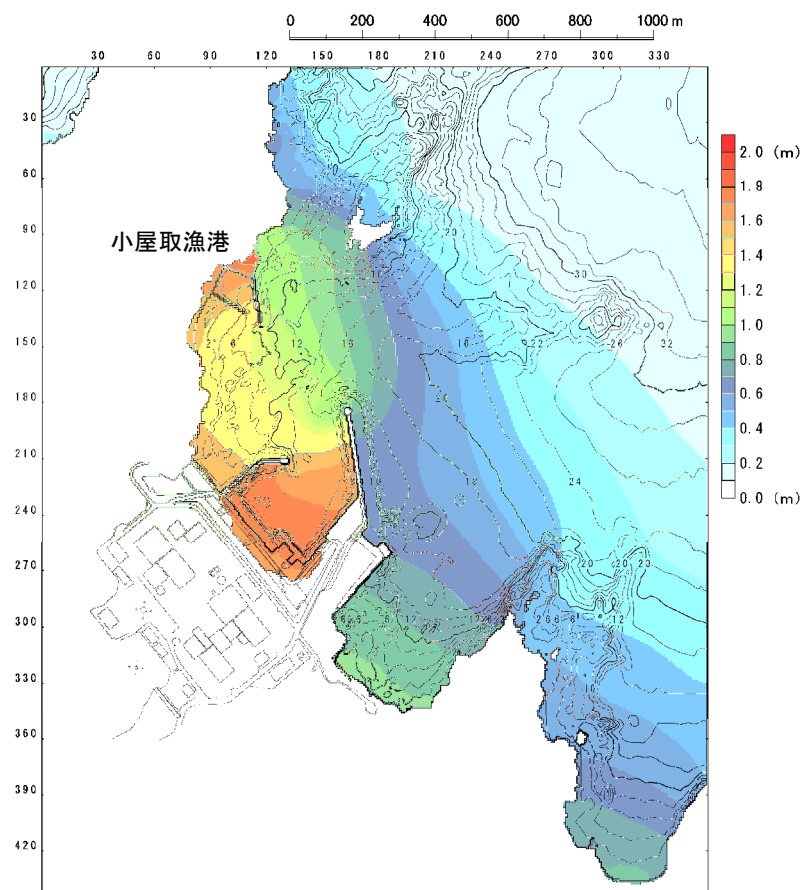


3. 2 発電所周辺地形の周期特性: 計算結果 (2/2)

- 発電所地点の固有周期(最大水位上昇量分布)を以下に示す。



発電所地点(藤丸湾)
入射波周期: 4分



発電所地点(小屋取漁港～発電所港湾)
入射波周期: 6分

3.2 発電所周辺地形の周期特性: 計算結果と既往研究結果との比較(1/2)

■ 既往研究結果: Aida (1974)

- Aida(1974)は、女川湾の湾内外の長周期波の挙動を把握するため、正弦波を用いた数値シミュレーションを実施している。

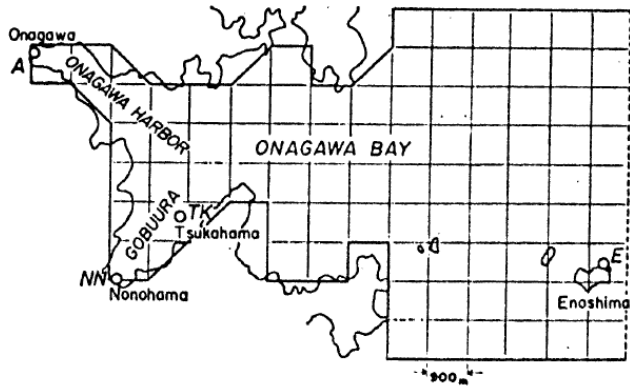


Fig. 1. Grid scheme in Onagawa Bay and the arrangement of stations.

計算領域
(空間格子間隔(Δs):900m)

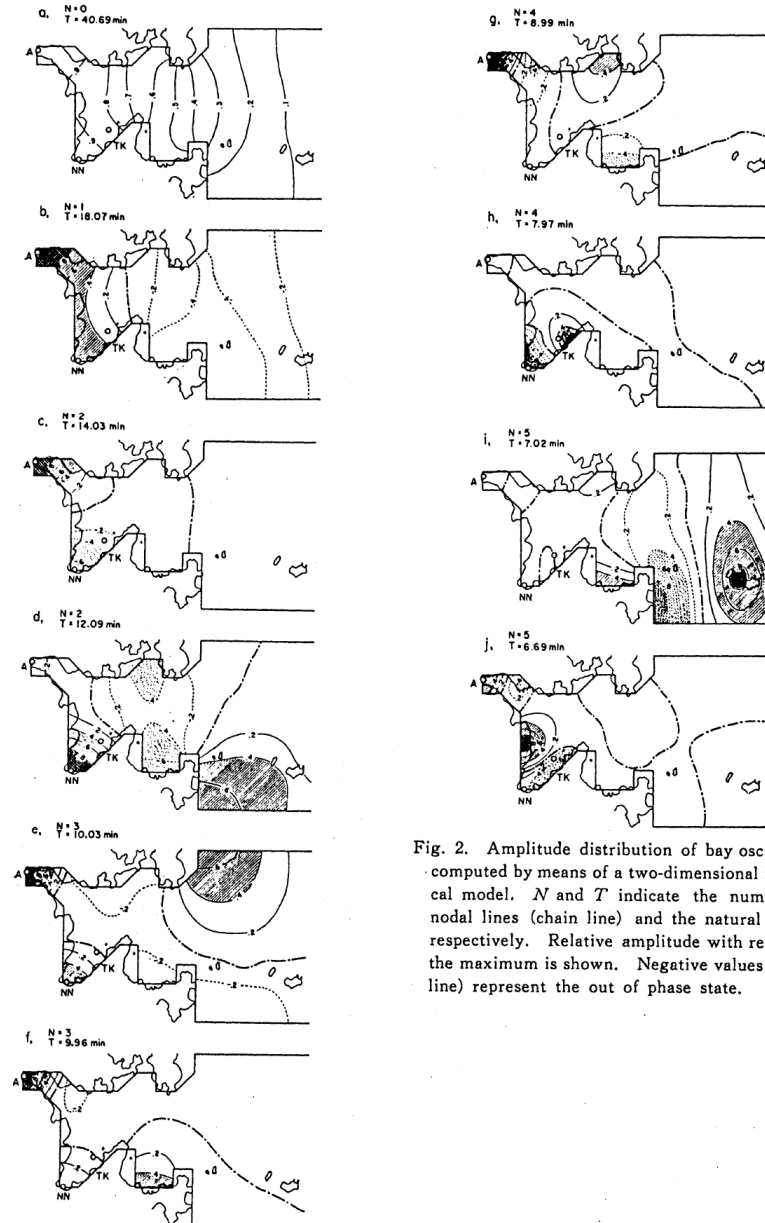


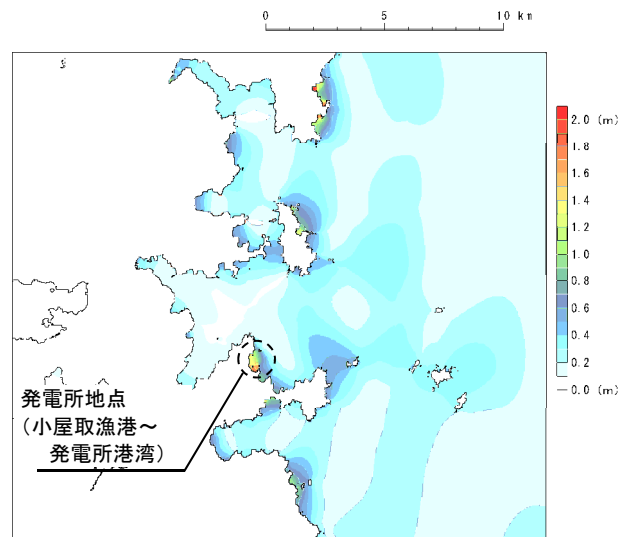
Fig. 2. Amplitude distribution of bay oscillations computed by means of a two-dimensional numerical model. N and T indicate the numbers of nodal lines (chain line) and the natural period, respectively. Relative amplitude with respect to the maximum is shown. Negative values (dotted line) represent the out of phase state.

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

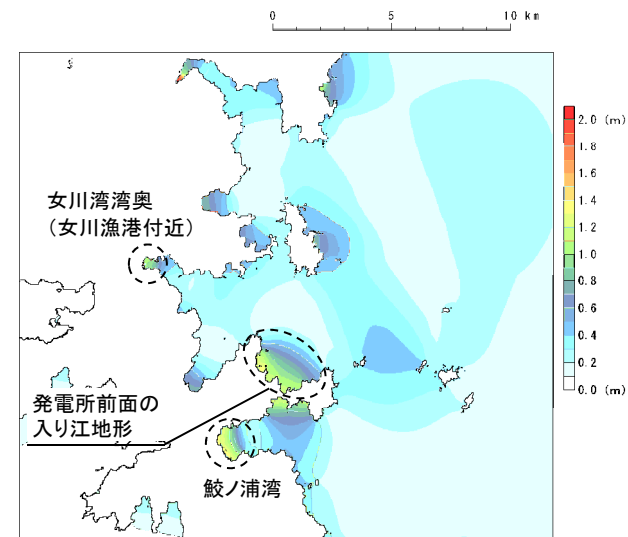
3.2 発電所周辺地形の周期特性: 計算結果と既往研究結果との比較(2/2)

- 女川湾湾奥, 発電所前面の入り江地形の周期特性を示す入射波周期6分, 9分の計算結果は, Aida(1974)による7分と10分の解析結果と整合的であることを確認した。

■本検討結果

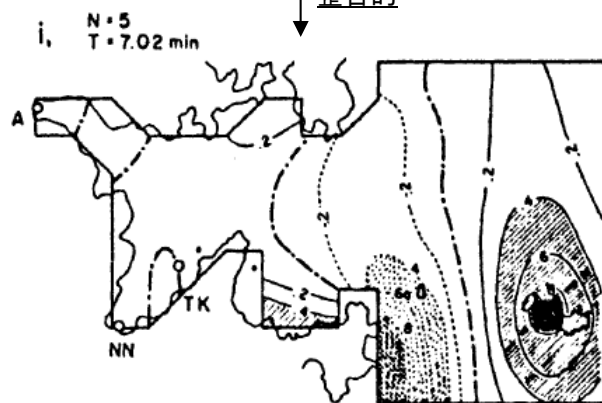


入射波周期: 6分

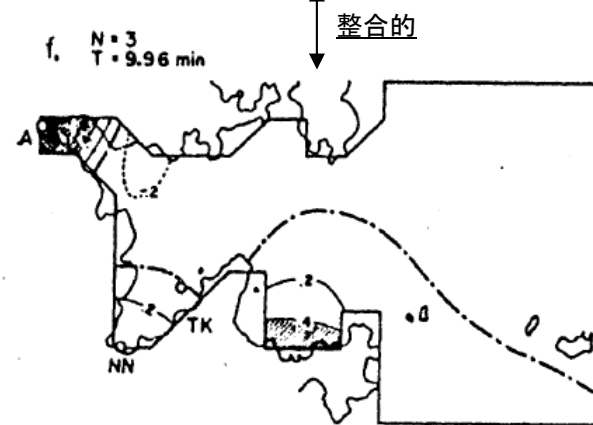


入射波周期: 9分

■Aida(1974)



入射波周期: 7分



入射波周期: 10分

↑ 整合的 ↓

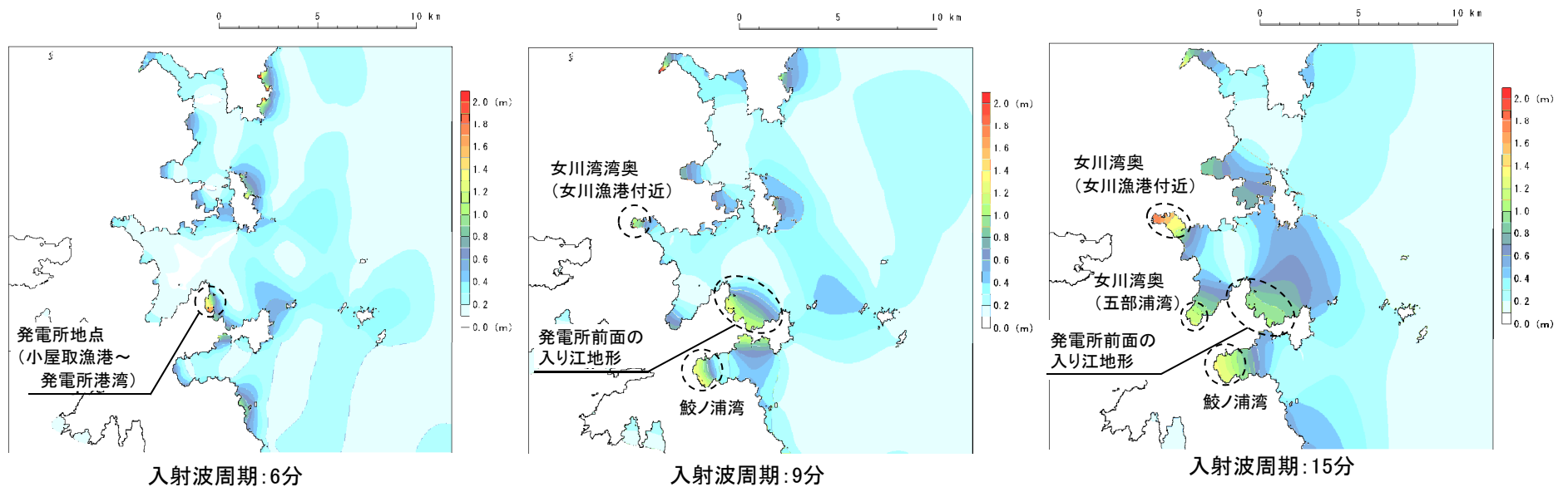
↑ 整合的 ↓

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.2 発電所周辺地形の周期特性:まとめ

- 以上の検討から得られた発電所周辺地形の各固有周期を以下に示す。

各地形		固有周期	備考
発電所地点	藤丸湾	4分	詳細は、p332に記載。
	小屋取漁港～発電所港湾	6分	解析結果を下図に示す(p332再掲)。
	発電所前面の入り江地形	9分, 15分	解析結果を下図に示す(p332再掲)。
発電所周辺	鮫ノ浦湾	9分, 15分	詳細は、p332に記載。
	女川湾湾奥(女川漁港付近)	9分, 15分	詳細は、p332に記載。
	女川湾湾奥(五部浦湾)	15分	詳細は、p332に記載。
	女川湾全体	35分～40分	詳細は、p332に記載。



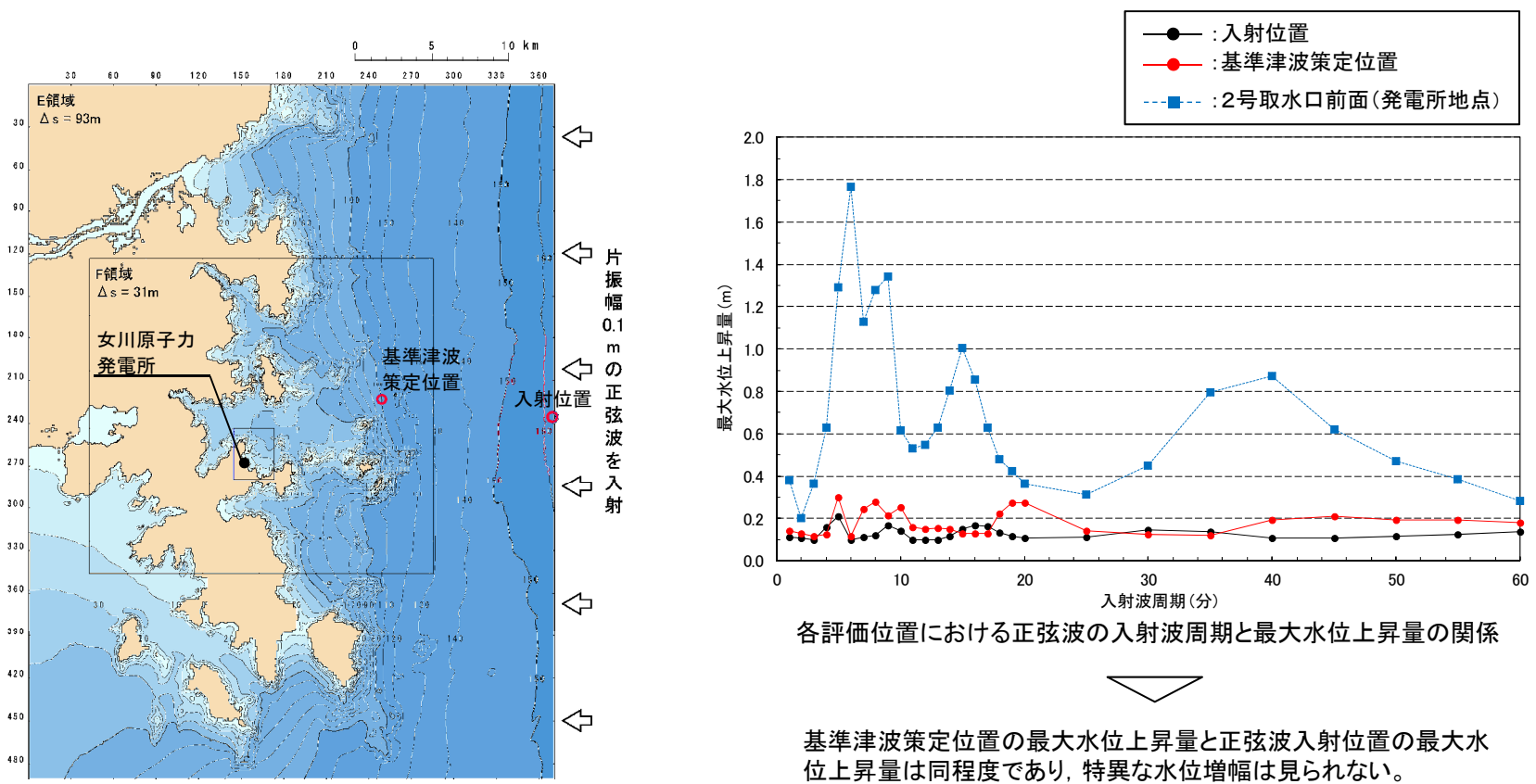
Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.3 津波の周期特性: 各津波波源の周期特性(1/3)

■検討対象地点の選定

- 津波波源そのものが持つ周期特性を把握するため、周辺地形や伝播特性(浅水変形, 回折等)の影響を受けにくい基準津波策定位置*の水位時刻歴波形を用いてスペクトル解析を実施した。

*: 周期を変化させた正弦波による津波解析の結果から、基準津波策定位置における最大水位上昇量と正弦波入射位置の最大水位上昇量は同程度であり、特異な水位増幅は見られない(右図)。



基準津波策定位置と正弦波の入射位置(境界)

各評価位置における正弦波の入射波周期と最大水位上昇量の関係

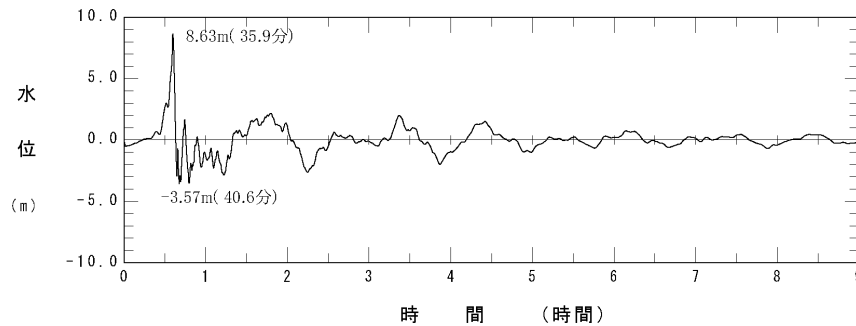
基準津波策定位置の最大水位上昇量と正弦波入射位置の最大水位上昇量は同程度であり、特異な水位増幅は見られない。

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

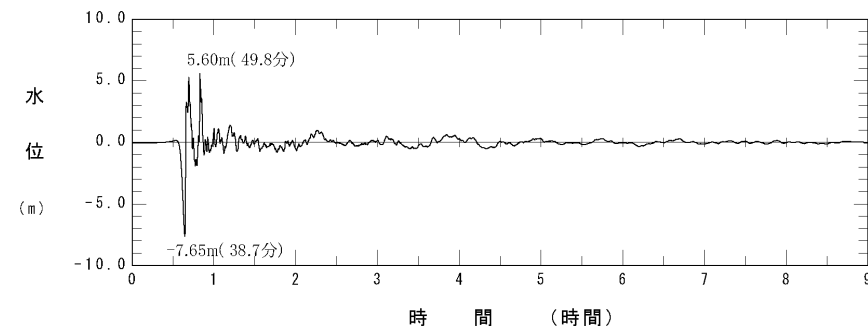
3.3 津波の周期特性: 各津波波源の周期特性(2/3)

■スペクトル解析に用いる水位時刻歴波形

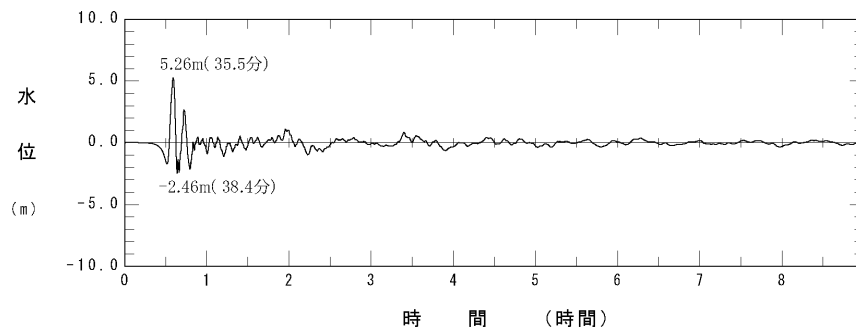
- 基準津波策定位置における水位時刻歴波形(9時間)を用いて、スペクトル解析を実施した。



東北地方太平洋沖型の地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース, 基準断層モデル③-1)



海洋プレート内地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース)



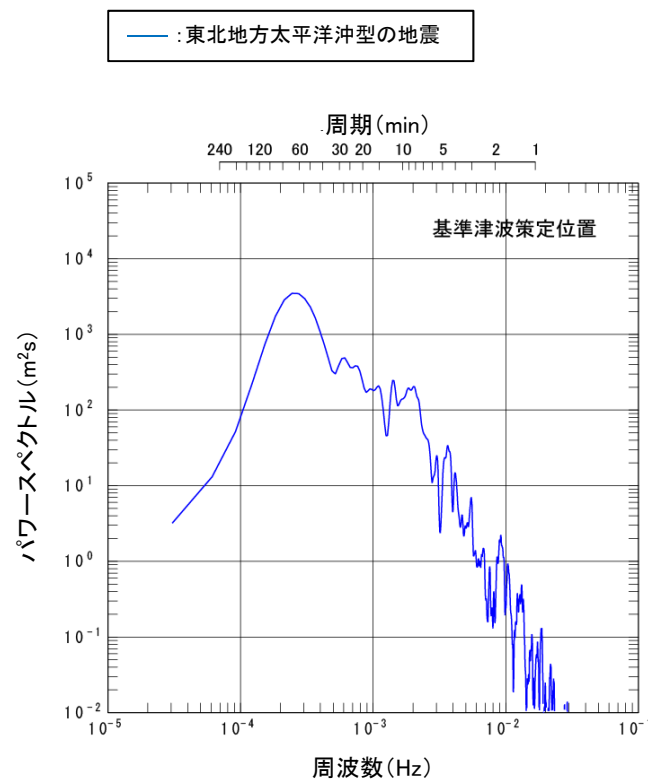
津波地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース)

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

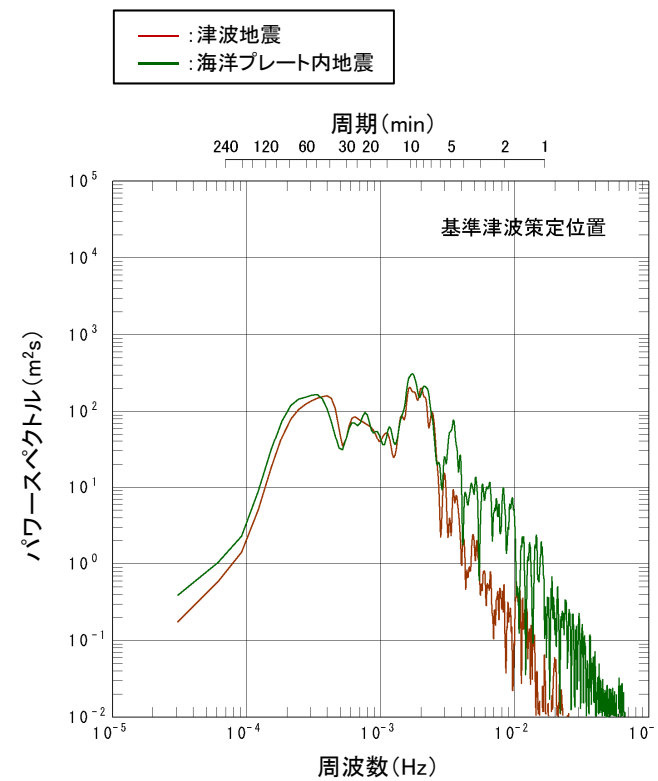
3. 3 津波の周期特性: 各津波波源の周期特性 (3 / 3)

■各津波波源の周期特性(スペクトル解析結果)

- 各津波波源のスペクトル解析結果を以下に示す。
- 「東北地方太平洋沖型の地震」は60分程度の長周期成分が卓越し、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」は5～10分程度の短周期成分が卓越する。



東北地方太平洋沖型の地震
(基準断面モデル③-1)



津波地震, 海洋プレート内地震

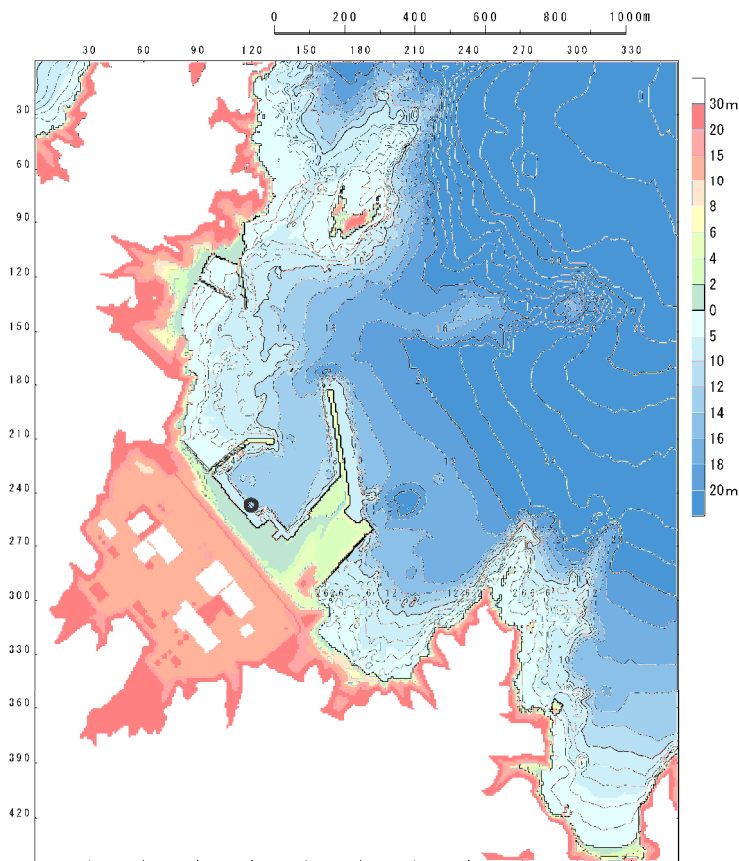
Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.3 津波の周期特性: 周辺地形の影響を受けた発電所地点の周期特性 (1/2)

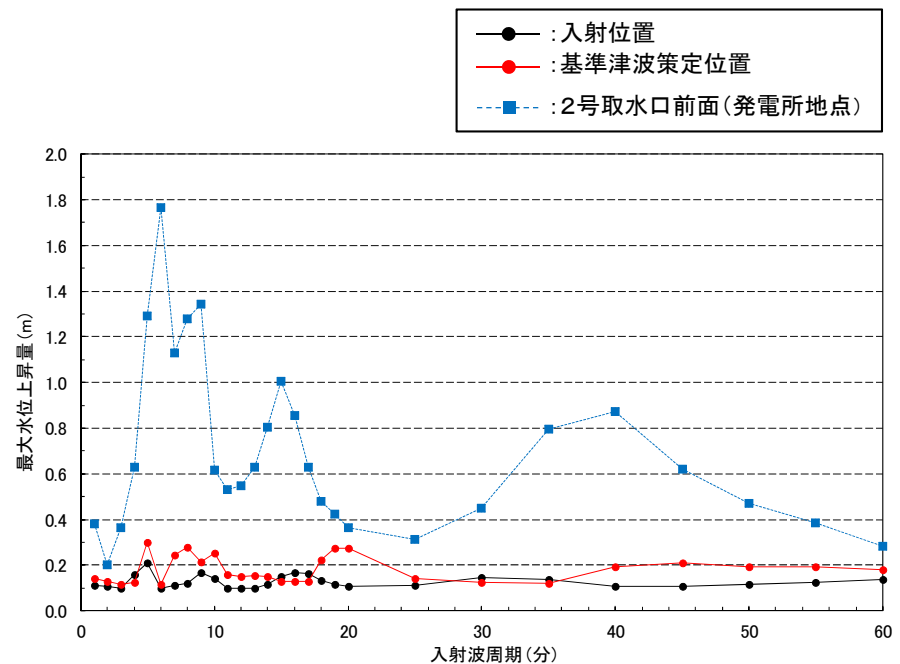
■ 検討対象地点の選定

- 周辺地形等の影響を受けた津波波源毎の周期特性を把握するため、2号取水口前面※の水位時刻歴波形を用いてスペクトル解析を実施した。

※: 周期を変化させた正弦波による津波解析の結果から、2号取水口前面位置は、ある周期帯で津波水位が大きく増幅する(右図)。



2号取水口前面における水位時刻歴波形抽出位置



各評価位置における正弦波の入射波周期と最大水位上昇量の関係

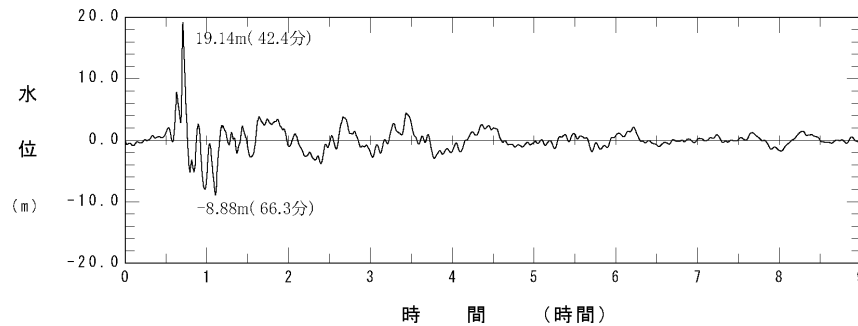
2号取水口前面位置は、ある周期帯で津波水位が大きく増幅することが確認される。

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

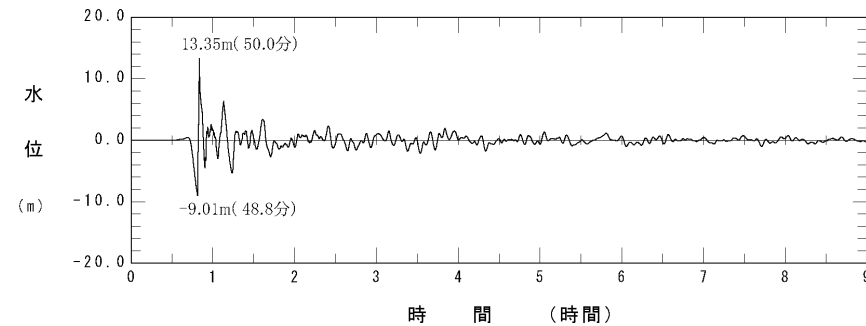
3.3 津波の周期特性: 周辺地形の影響を受けた発電所地点の周期特性(2/2)

■スペクトル解析に用いる水位時刻歴波形

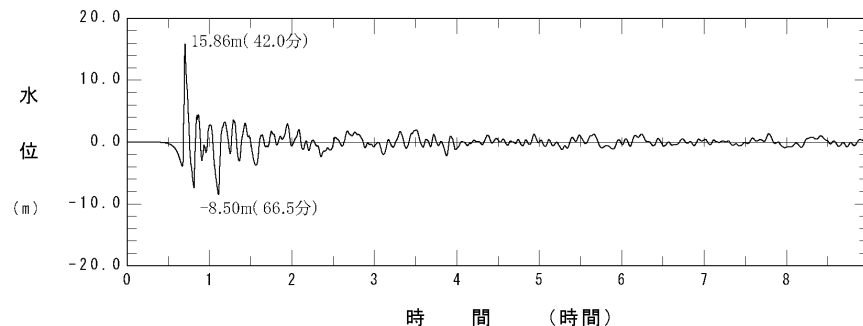
- 2号取水口前面位置における水位時刻歴波形(9時間)を用いて、スペクトル解析を実施した。



東北地方太平洋沖型の地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース, 基準断層モデル③-1)



海洋プレート内地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース)



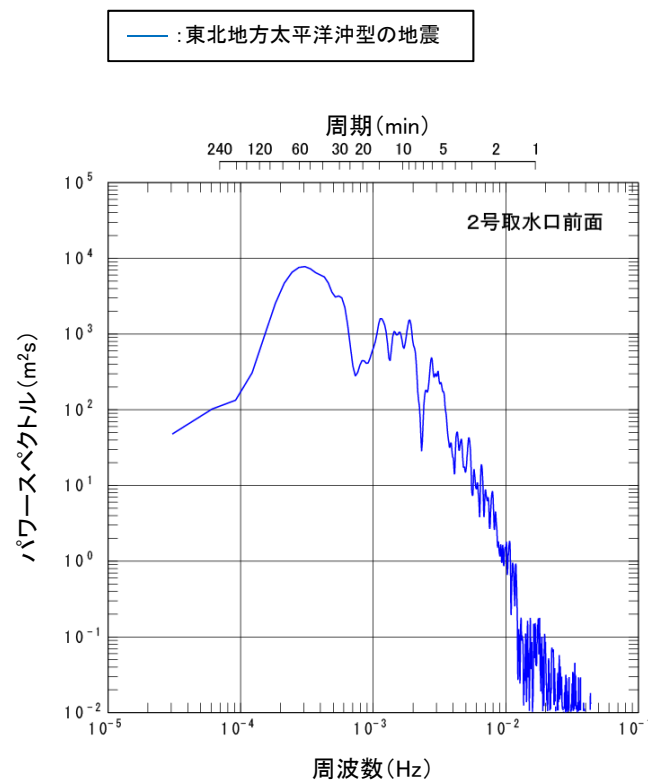
津波地震
(敷地前面最大水位上昇最大ケース)

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

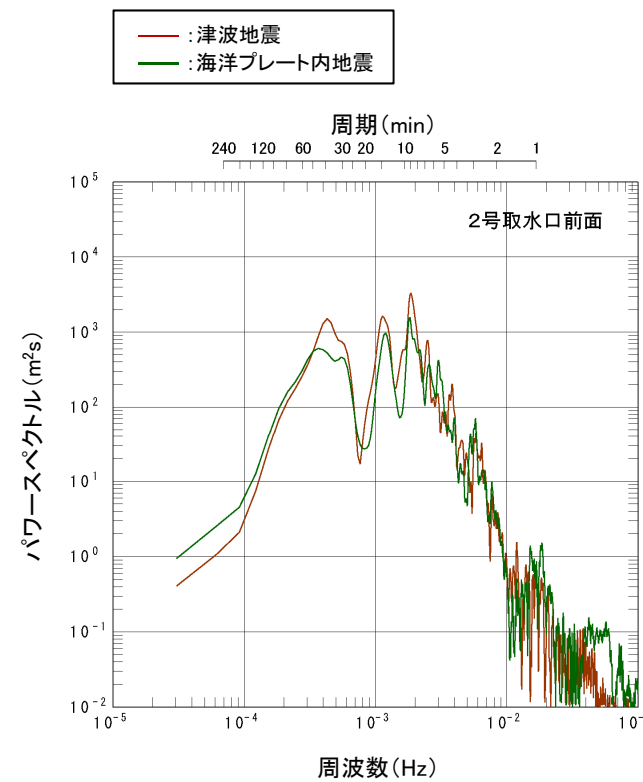
3.3 津波の周期特性: 周辺地形等の影響を受けた発電所地点における各津波の周期特性

■各津波の周期特性(スペクトル解析結果)

- 各津波波源のスペクトル解析結果を以下に示す。
- 「東北地方太平洋沖型の地震」は40分～60分の長周期成分が卓越し、「津波地震」及び「海洋プレート内地震」は9分, 15分程度の短周期成分が卓越する。



東北地方太平洋沖型の地震
(基準断層モデル③-1)

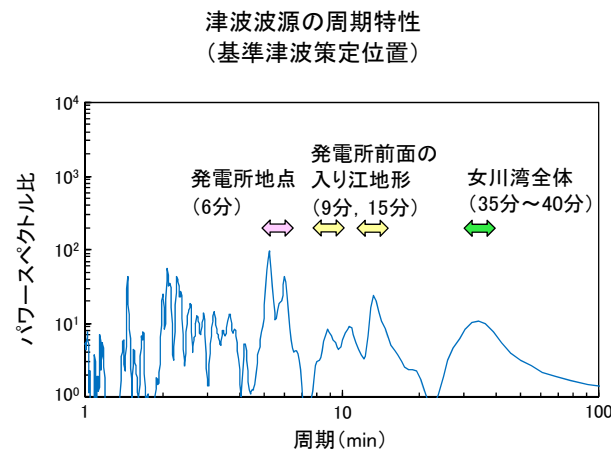
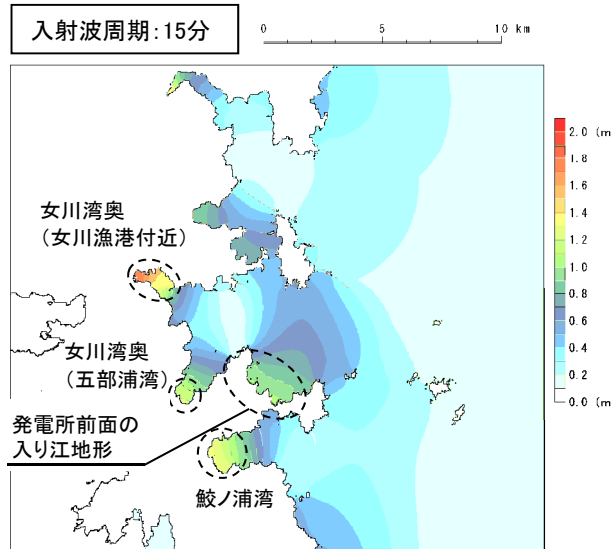
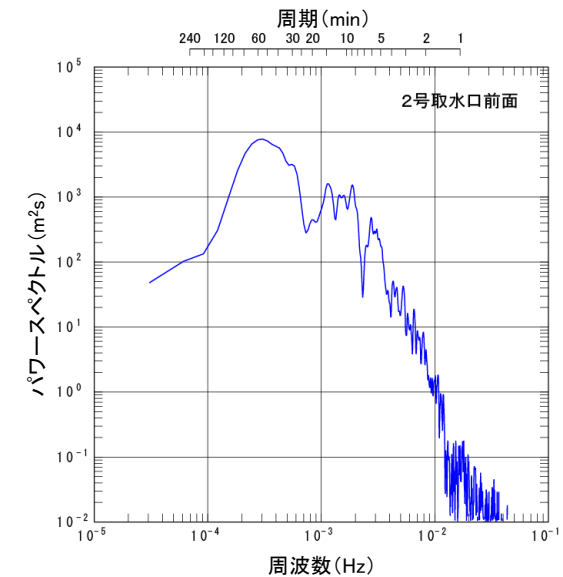
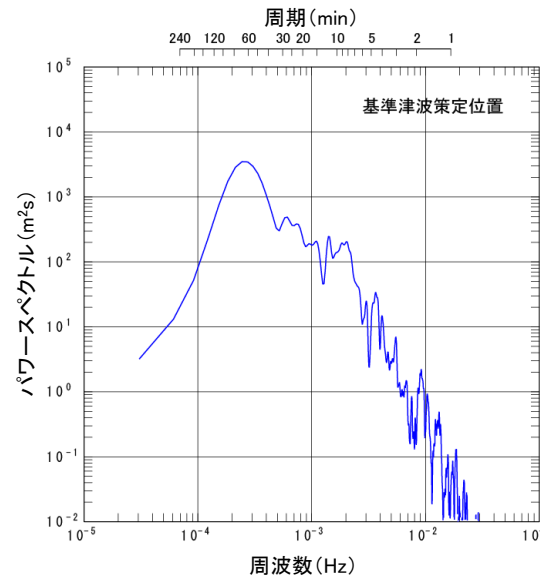
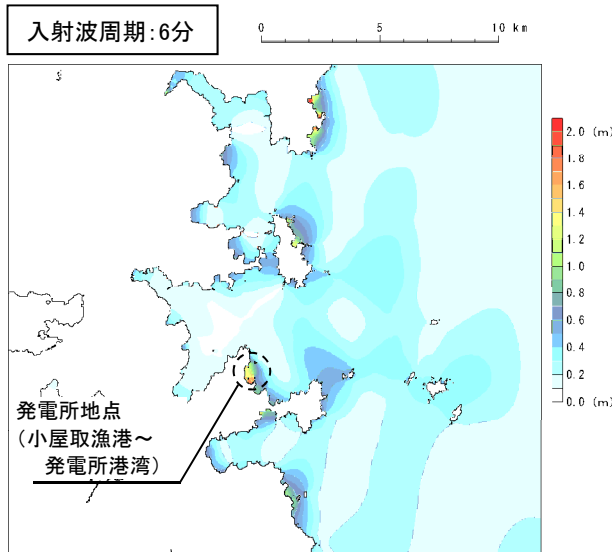


津波地震, 海洋プレート内地震

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.4 発電所周辺地形の周期特性と津波の周期特性の比較: 東北地方太平洋沖型の地震

- 「発電所周辺地形の周期特性」と、「津波波源の周期特性」並びに「周辺地形の影響を受けた発電所地点の周期特性」の比較から、発電所地点の解析波形は、発電所地点における小屋取漁港～発電所港湾の固有周期(6分)、発電所前面の入り江地形の固有周期(9分、15分)及び女川湾全体(35分～40分)に対応する卓越周期が見られることを確認した。

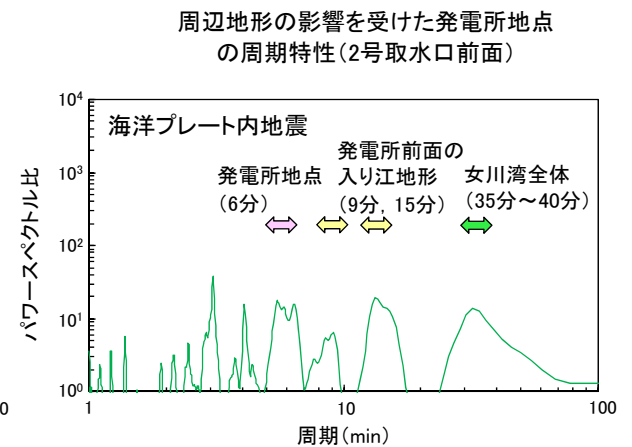
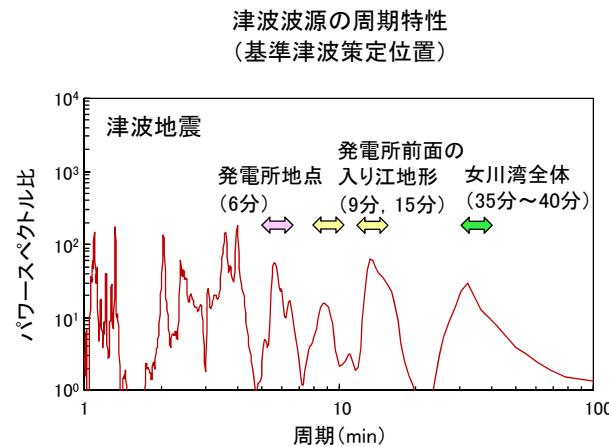
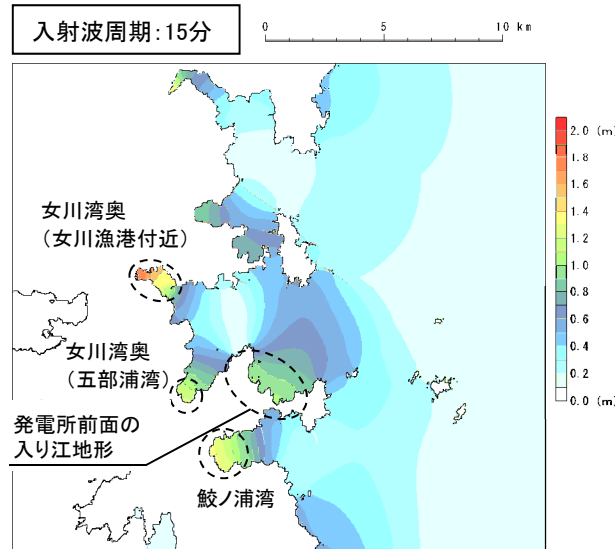
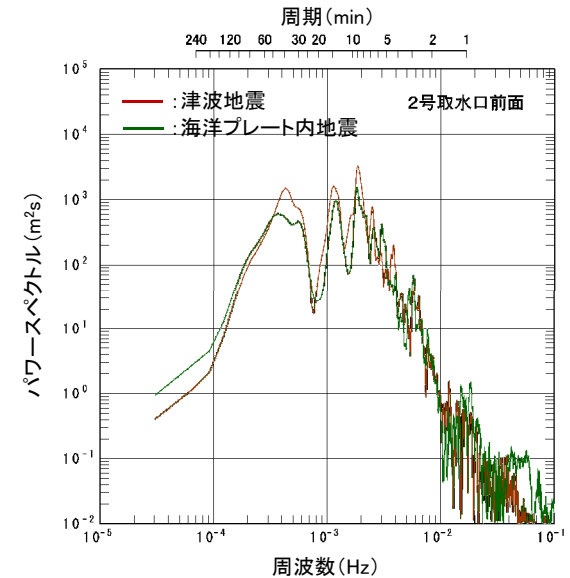
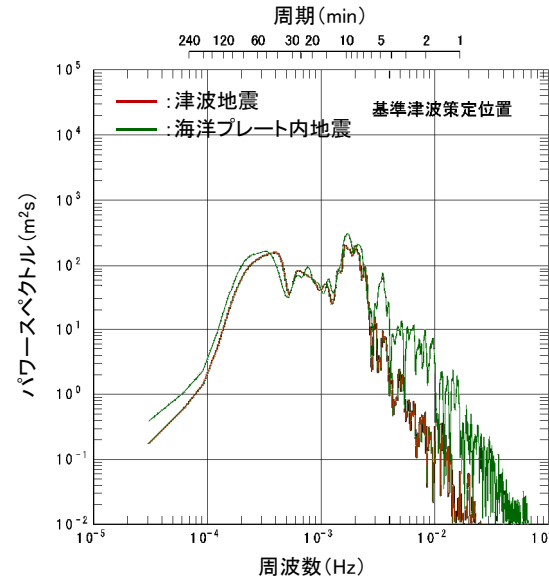
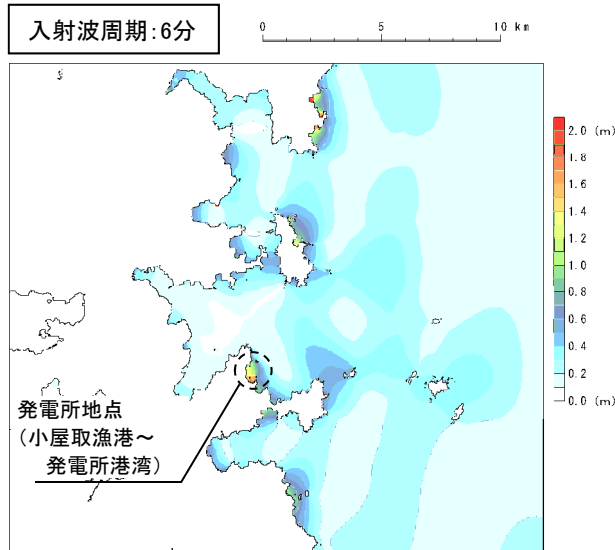


2号取水口前面と基準津波策定位置のパワースペクトル比

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.4 発電所周辺地形の周期特性と津波の周期特性の比較: 津波地震, 海洋プレート内地震

- 「発電所周辺地形の周期特性」と、「津波波源の周期特性」並びに「周辺地形の影響を受けた発電所地点の周期特性」の比較から、発電所地点の解析波形は、発電所地点における小屋取漁港～発電所港湾の固有周期(6分), 発電所前面の入り江地形の固有周期(9分, 15分)及び女川湾全体(35分～40分)に対応する卓越周期が見られることを確認した。



2号取水口前面と基準津波策定位置のパワースペクトル比

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.5 空間格子間隔の妥当性

- 土木学会(2016)で示されているV字状の湾における格子間隔設定方法に基づき、津波解析で用いている空間格子間隔の妥当性を確認した。
- 発電所を含む湾形状を呈する地形の奥行き(距離)を下図のとおり設定した。検討の結果、湾奥の格子間隔の目安は30m以下、湾口～湾中央部の格子間隔の目安は109m以下と算定される。
- 津波解析で用いている発電所周辺における空間格子間隔は5mであることから、土木学会(2016)の方法により算定される格子間隔に対して小さいことを確認した。

■土木学会(2016)による格子間隔の設定

・湾内平均波長: $L_v = T \cdot \left(\frac{g \cdot h}{2}\right)^{1/2}$

・湾中央部より奥の平均波長: $L_o = T \cdot \left(\frac{g \cdot h}{4}\right)^{1/2}$

ここで、

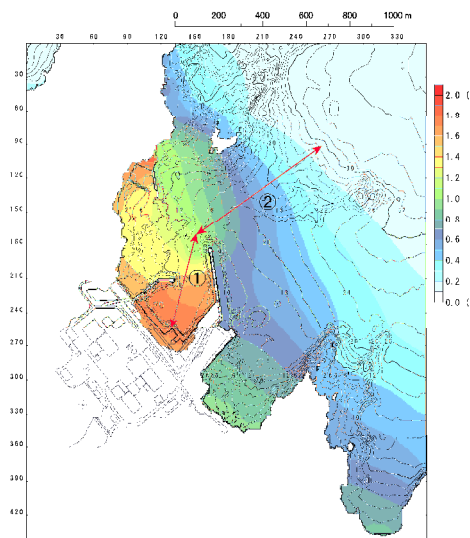
T : 固有周期(s)

l : 湾口～湾奥の距離(m)

h : 湾口水深(m), g : 重力加速度

区分	湾口～湾奥距離 l と湾内平均波長 L_v との関係	格子間隔 Δx の目安
湾口～湾中央部	—	L_v の1/40程度
湾奥	$L_v/l < 6$	L_o の1/100以下
	$6 \leq L_v/l < 10$	L_v の1/50程度
	$10 \leq L_v/l$	L_v の1/40程度

■湾奥、湾口～湾中央部の格子間隔(Δx)の目安の算定



検討位置と入射波周期6分の最大水位上昇量分布

項目	値	備考
T (s)	360	正弦波による入射波周期
h (m)	30	水深コンターより
l (m)	1140	①400(m), ②700(m)
L_v (m)	4365	土木学会(2016)
L_o (m)	3086	土木学会(2016)
湾奥の Δx (m)	30	土木学会(2016)
湾口～湾中央部の Δx (m)	109	土木学会(2016)

Ⅲ. 計算条件等 3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性

3.6 まとめ

- 津波水位評価に、複雑な地形の影響が適切に考慮されているかどうかを確認するため、「発電所周辺地形の周期特性」を把握した上で、「津波波源の周期特性」並びに「周辺地形の影響を受けた発電所地点の周期特性」を算定し、比較を行った。
- 検討の結果、発電所地点の解析波形は、発電所地点における小屋取漁港～発電所港湾の固有周期(6分)、発電所前面の入り江地形の固有周期(9分、15分)及び女川湾全体(35分～40分)に対応する卓越周期が見られ、津波水位評価に複雑な地形の影響が適切に考慮されていることを確認した。
- さらに、土木学会(2016)で示されている格子間隔設定方法を参考に、津波解析で用いている最小空間格子間隔の妥当性を確認した。

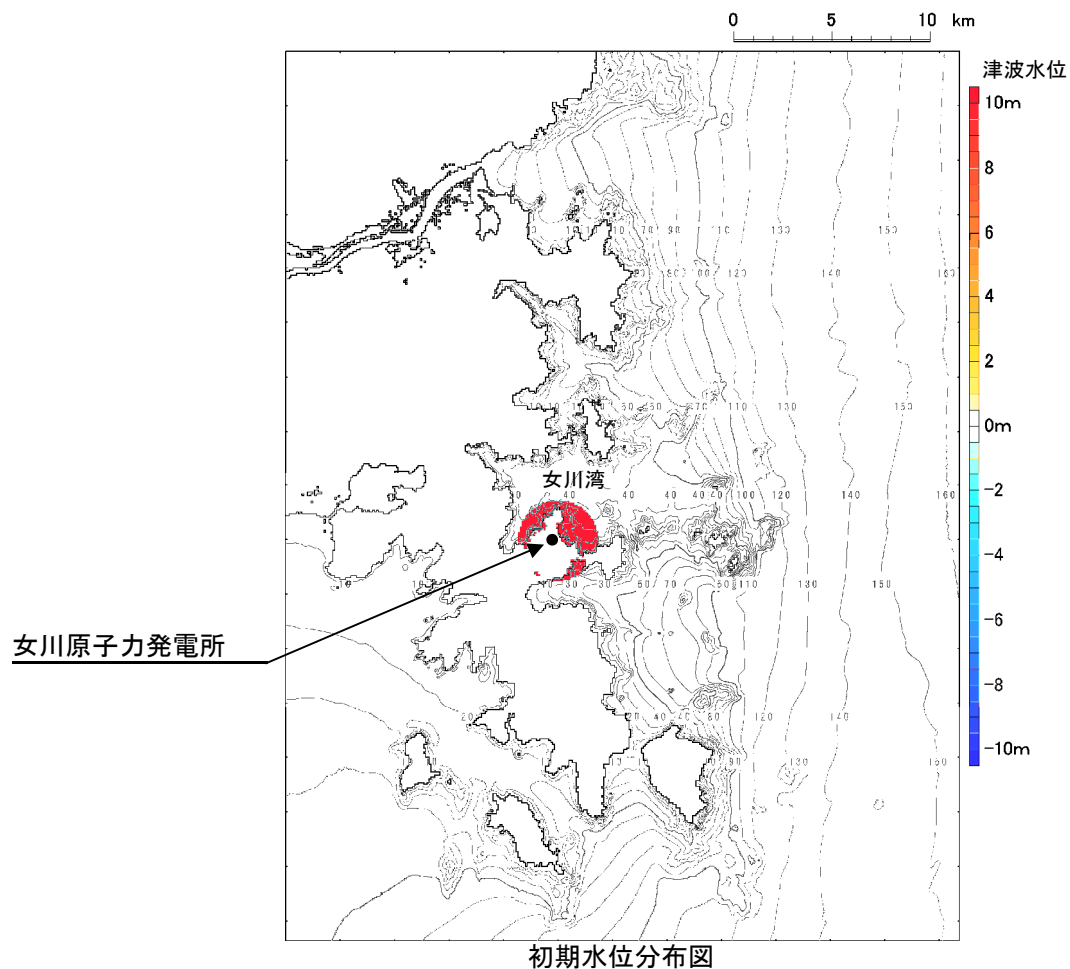
Ⅲ. 計算条件等

1. 潮位条件
2. 津波解析条件
3. 発電所周辺地形及び津波の周期特性
4. 津波の伝播特性の検討
 - 4.1 検討方針
 - 4.2 最大水位上昇量分布
 - 4.3 津波の伝播状況

Ⅲ. 計算条件等 4. 津波の伝播特性の検討

4.1 検討方針

- 発電所を津波波源と仮定した場合の数値シミュレーションにより、津波の伝播特性の大まかな傾向を把握した。
- 津波波源は、発電所を中心とする半径2kmの円を設定し、一律10mの初期水位を与えた。

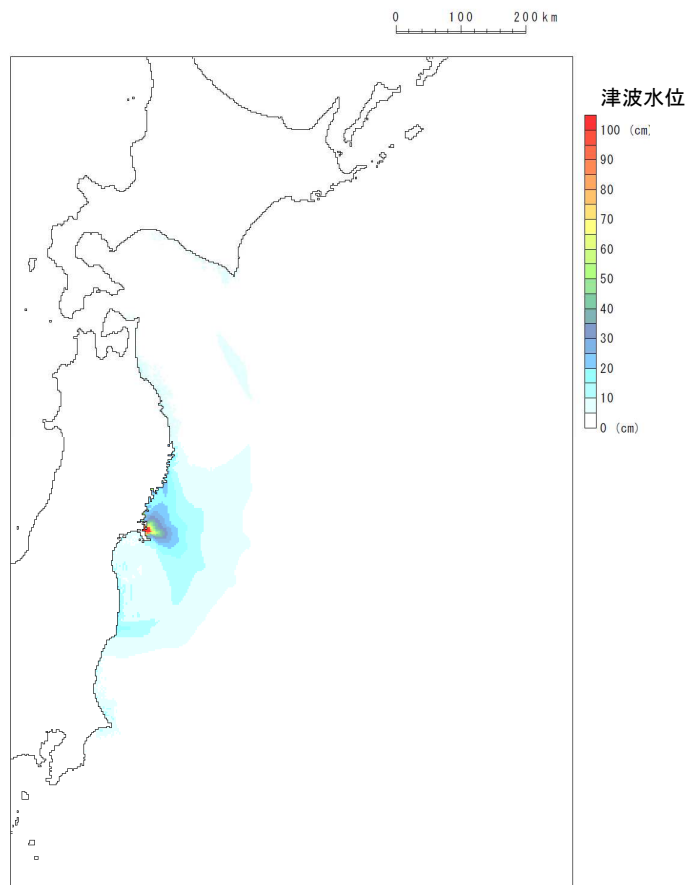


Ⅲ. 計算条件等 4. 津波の伝播特性の検討

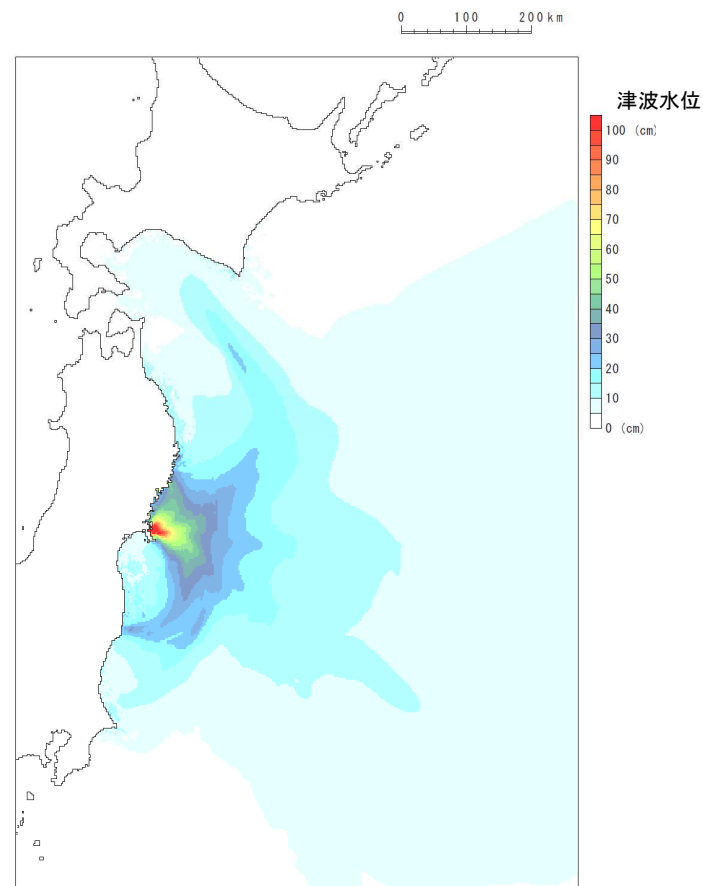
4.2 最大水位上昇量分布

- 水深による津波振幅への影響を軽減するため、「グリーンの法則」を用いて最大水位上昇量を補正※した。

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



水位補正前

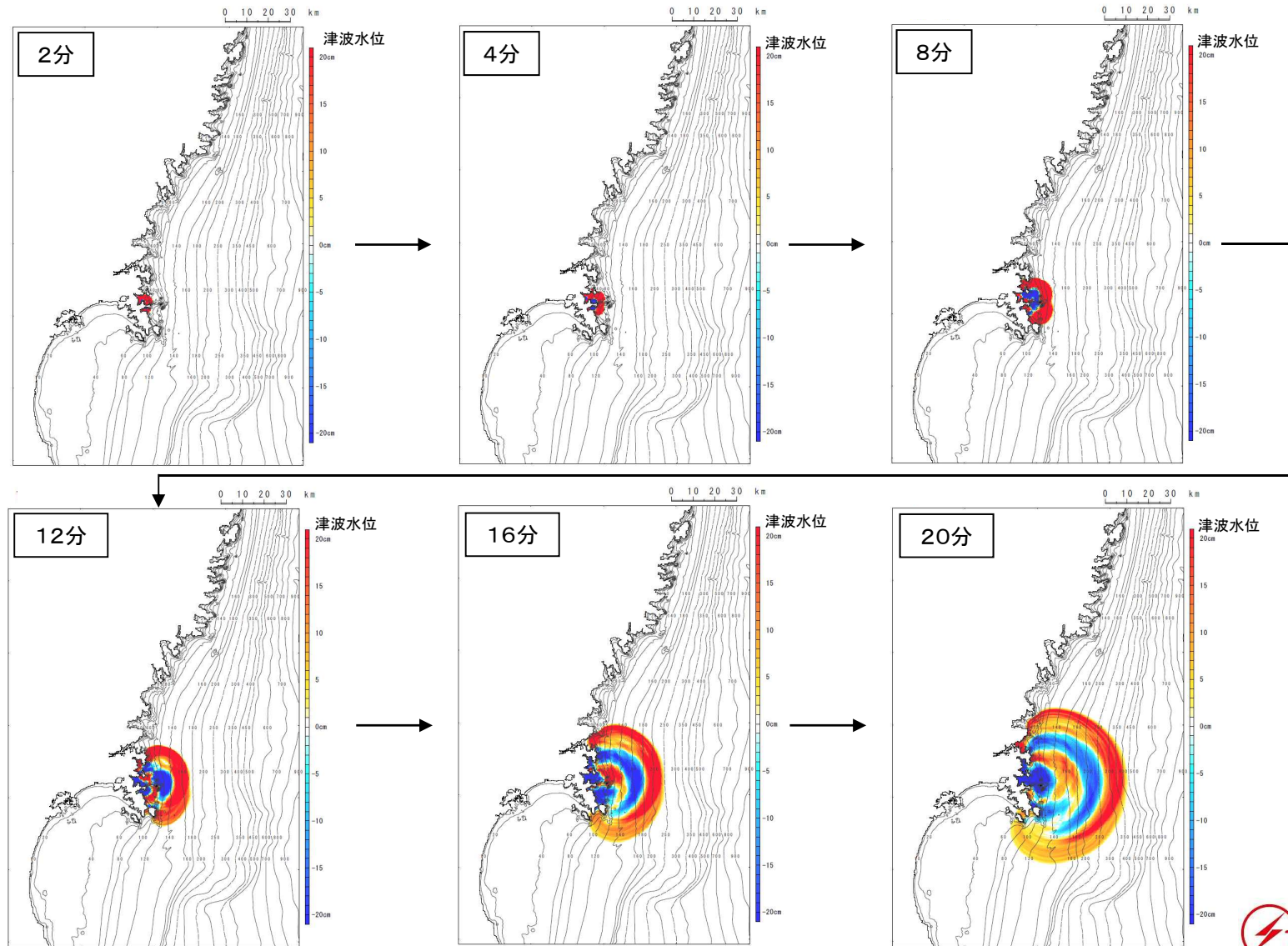


水位補正後

Ⅲ. 計算条件等 4. 津波の伝播特性の検討

4.3 津波の伝播状況: 敷地近傍(2~20分後)

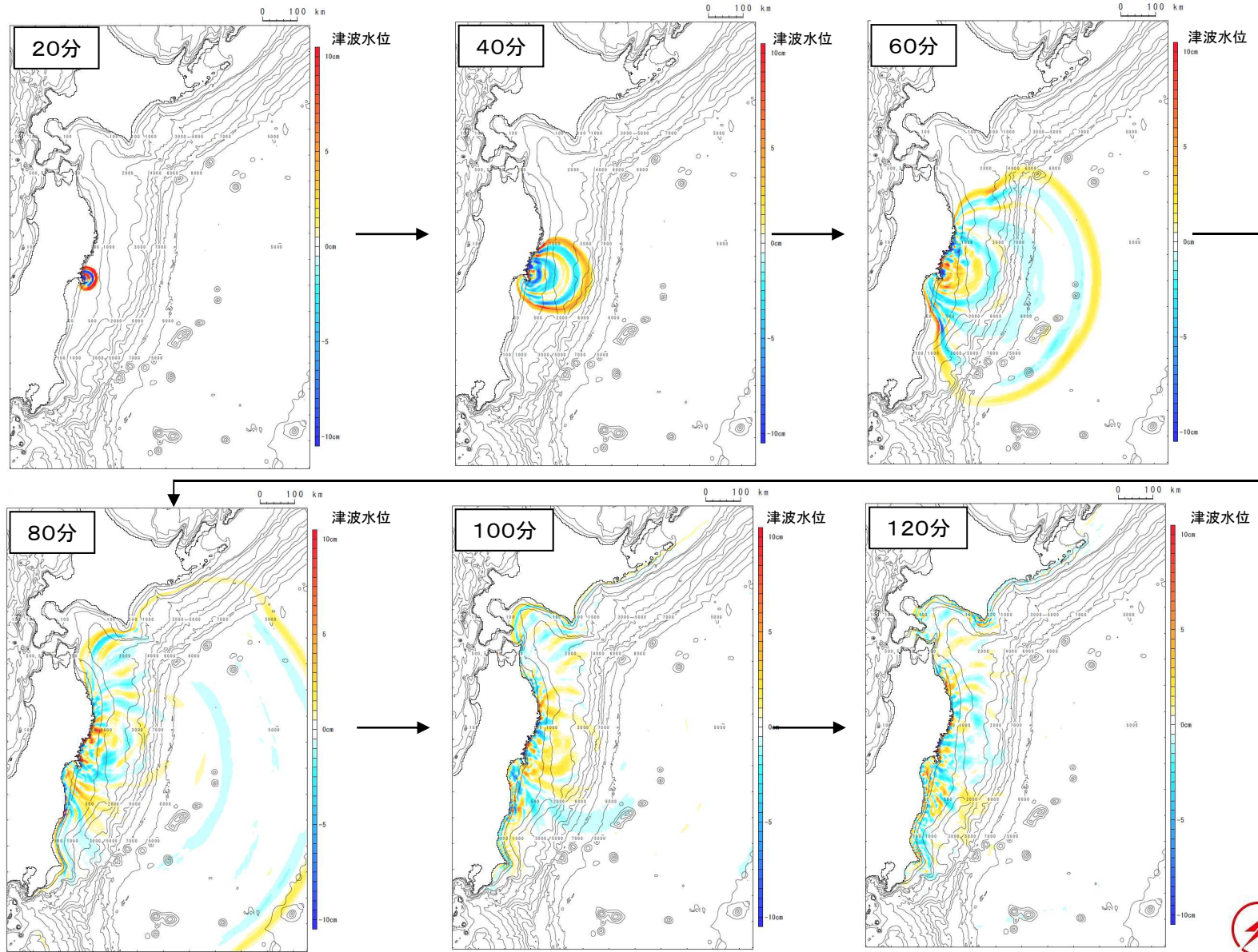
- 波源域から敷地前面海域に向かって、同心円状に津波が伝播する過程が確認される。



Ⅲ. 計算条件等 4. 津波の伝播特性の検討

4.3 津波の伝播状況: 広域(20~120分後)

- 沖合に向かって、同心円状に津波が伝播する過程が確認される。



IV. 年超過確率の参照

1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

IV. 年超過確率の参照

1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
 1. 1 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震
 1. 2 東北地方太平洋沖型の地震
 1. 3 択捉島沖から房総沖の連動地震
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1. 1 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震：津波地震及び遠地津波

- 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波、津波地震及び遠地津波が年超過確率に与える影響について、土木学会(2016)を参考に検討した結果を以下に示す。
- 本検討から、津波地震は年超過確率に与える影響は大きいと考えられる。

■土木学会(2016)

評価対象となる水位(X)の年超過確率に有意な影響を与える波源を評価対象とすればよく、評価対象水位(X)と活動域による評価地点の最大水位上昇(下降)量(H)が、以下の関係となる活動域は、最終的な年超過確率に与える影響は微小であるとしている。

$$|X| > |H| \cdot \kappa^{2.3}$$

ここで、X:評価対象となる水位(敷地高や取水可能レベル)、H:評価地点前面の最大水位上昇(下降)量、 κ :津波高さに含まれるばらつき

- Hを既往津波高、津波高さに含まれるばらつき κ を1.4とすると、 $H \times \kappa^{2.3} = H \times 1.4^{2.3} \approx 2H$ となり、評価対象水位(X)に対し、既往津波高(H)が約1/2以下であれば、年超過確率に与える影響は小さいと考えられる。
- 各津波の既往津波高(H)は下表のとおりであり、評価対象水位(X)を基準津波に伴う敷地前面における最大水位上昇量21.58mとすると、津波地震を除いて※1、評価対象水位(X)の約1/2以下(21.58m/2=10.8m以下)である。

※1:津波地震は日本海溝沿いのどこでも発生すると評価することから、1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県の既往最大津波高を採用。

種別	津波発生領域(コード)	既往津波(Mw)※2	既往津波高:H	備考(既往津波高の参考文献)
3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波	宮城県沖(JTN2)	1978年(Mw7.7)	1.1m(宮城県女川町)※3	渡辺(1998)(全振幅)
	三陸沖南部海溝寄り(JTN3)	1897年(Mw7.8)	3.0m(宮城県女川町)※3	今村(1899)
	宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り(連動)(JTN2+JTN3)	1793年(Mw8.2)	2m(宮城県女川町)※3	羽鳥(2000)
	福島県沖プレート間(JTS1)	1938年(Mw7.9)	0.55m(宮城県女川町)※3	渡辺(1998)(全振幅)
津波地震	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間地震(JTT)	1896年(Mw8.3)	3.5m(宮城県女川町)※3 26.2m(岩手県大船渡市)※4	中央气象台(1933), 伊木(1897), 松尾(1933)
遠地津波	チリ	1960年(Mw9.5)	3.3m(宮城県女川町鳴浜(敷地)) 6.1m(宮城県南三陸町)※5	チリ津波合同調査班(1961)
	カスケード	1700年(Mw9.1)	5m(岩手県大槌町)※5	Satake et al.(2003)

※2:土木学会(2011)を引用、※3:発電所周辺における既往最大津波高、※4:1896年明治三陸地震津波の波源域に正対する岩手県における既往最大津波高

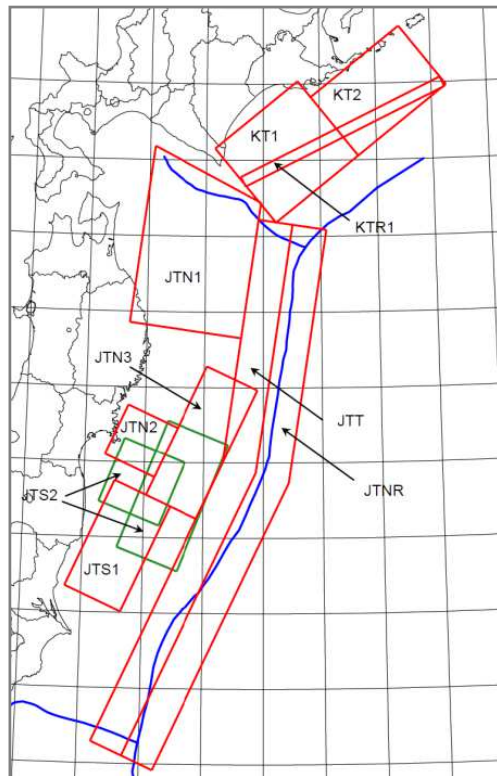
※5:東日本太平洋沿岸における既往最大津波高

IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1. 1 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震：津波地震(1/2)

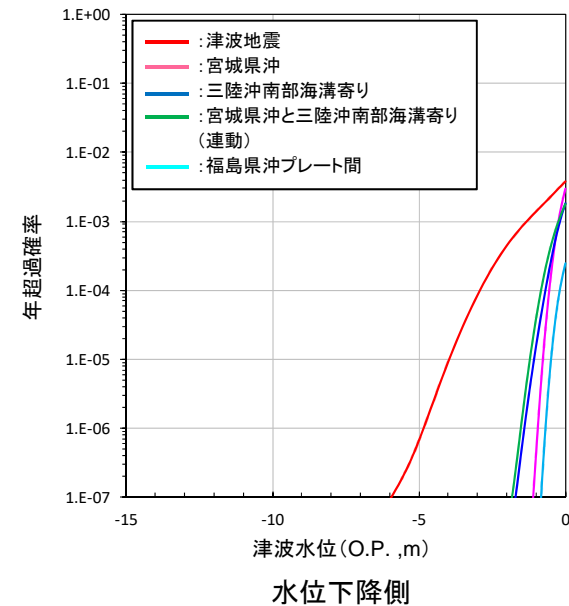
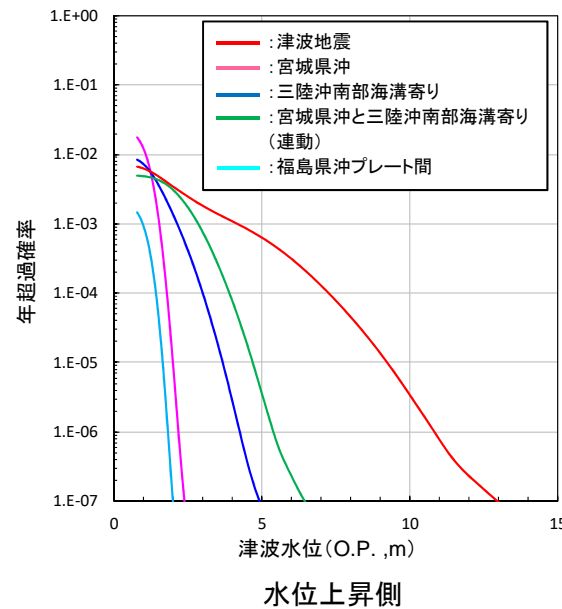
- 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波，津波地震を対象に，土木学会(2011)を参考に設定した概略ロジックツリー(詳細は次頁に示す)を用いて算定した津波ハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から，津波地震は，3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震に伴う津波と比較して年超過確率に与える影響は大きいことを確認した。

JTN2: 宮城県沖
 JTN3: 三陸沖南部海溝寄り
 JTN2+JTN3: 宮城県沖と三陸沖南部海溝寄り(連動)
 JTS1: 福島県沖プレート間
 JTT: 津波地震



日本海溝及び千島海溝(南部)沿い海域
の津波発生領域区分
(日本原子力学会(2012))

■ 基準津波策定位置における津波ハザード曲線の比較



IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1. 1 3.11地震の応力解放範囲におけるM8クラスの地震：津波地震(2/2)

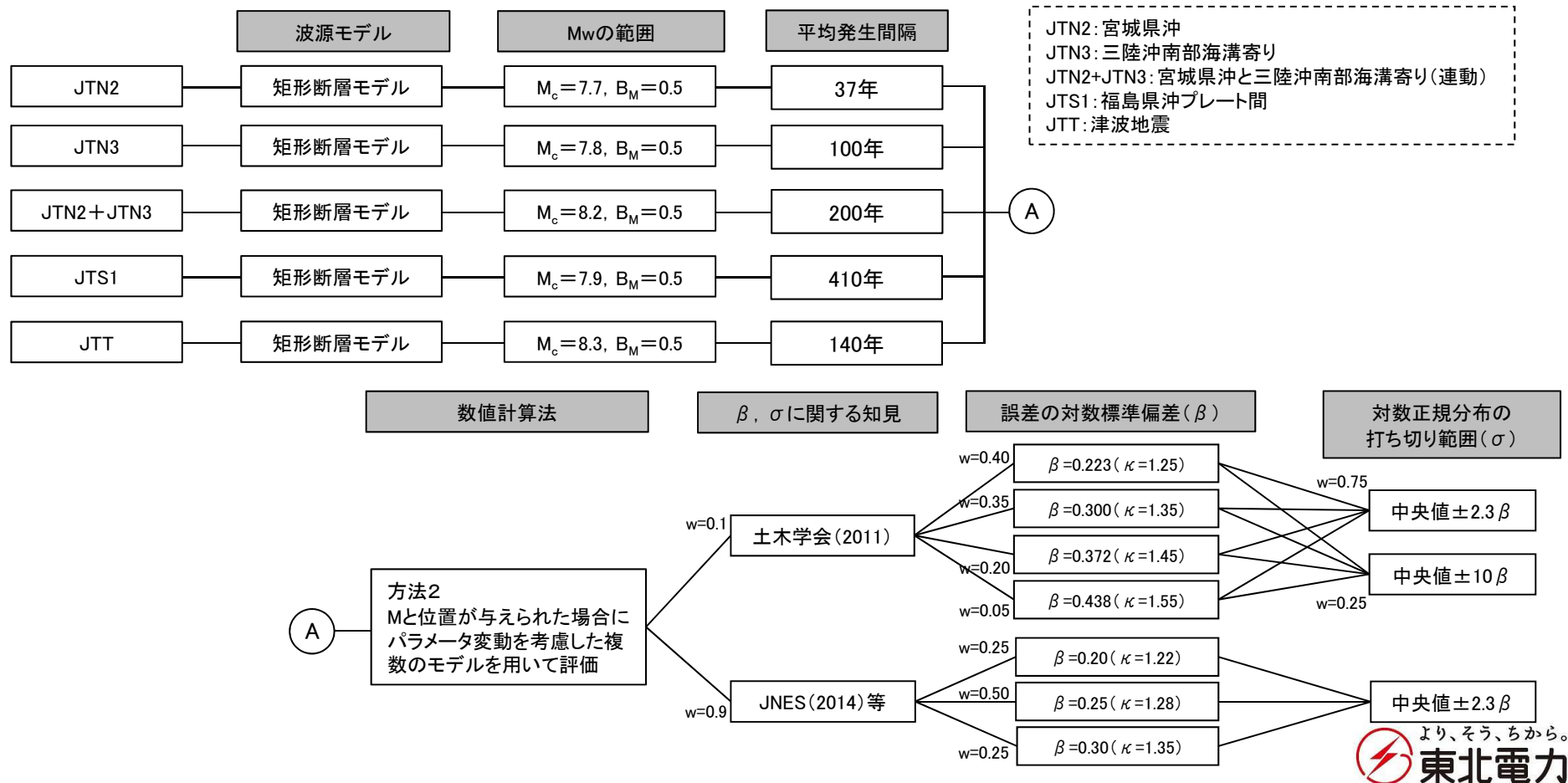
【概略ロジックツリー】

■ 津波発生モデルのロジックツリー

- ✓ 土木学会(2011)に示される各津波波源領域のロジックツリーを参考に作成した。平均発生間隔, M_w の範囲については, 各分岐のうち平均的な設定値を示す分岐を選定した。

■ 津波高さ推定に関するロジックツリー

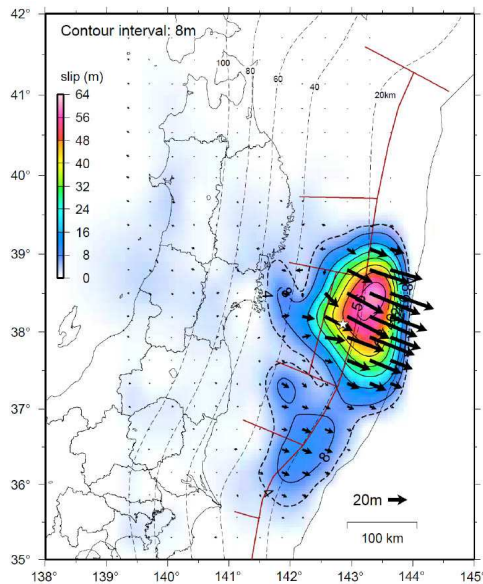
- ✓ 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた。



IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1.2 東北地方太平洋沖型の地震(1/3)

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の東北地方太平洋沖型の地震の発生確率について、今後100年以内の発生確率をほぼ0%と評価している。



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))

次の東北地方太平洋沖型地震の発生確率等
(地震調査研究推進本部(2012))

項目	将来の地震発生確率等 ^{注1}	備考	評価の信頼度 ^{注4}
今後10年以内の発生確率 今後20年以内の発生確率 今後30年以内の発生確率 今後40年以内の発生確率 今後50年以内の発生確率 今後100年以内の発生確率 今後300年以内の発生確率	ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% ほぼ0% 0.2%程度	津波堆積物調査で判明した過去3000年で4回の津波をもたらした地震及び2011年東北地方太平洋沖地震より、BPT分布モデルに平均発生間隔600年及び発生間隔のばらつき $\alpha = 0.24$ (データから最尤法により求めた値) を適用して算出した。	C
集積確率	ほぼ0%		
地震後経過率	0.00	経過時間0.8年を発生間隔600年で除した値。	
次の地震の規模	Mw8.4 ~9.0	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。	C

注1 評価時点は全て2012年1月1日現在。

注4 評価の信頼度

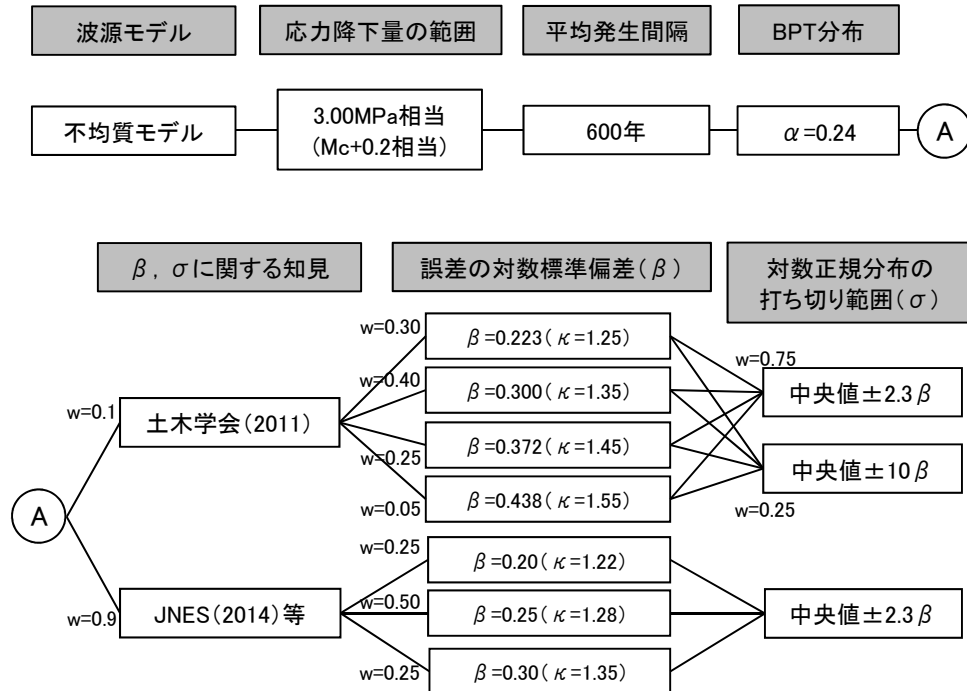
■発生確率の評価の信頼度:C

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。

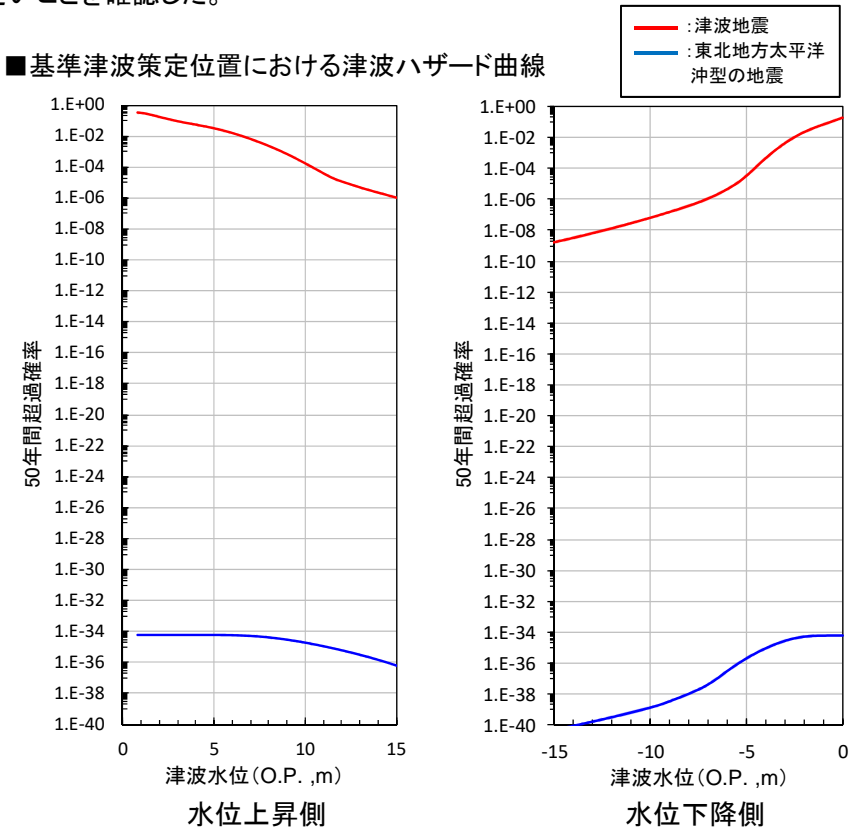
1.2 東北地方太平洋沖型の地震(2/3)

- 土木学会(2016), 地震調査研究推進本部(2012, 2019)を参考に設定した概略ロジックツリーを用いて(各項目の詳細は次頁に記載), 評価基準日を2017年3月11日として算定した今後50年間の津波ハザード曲線を以下に示す。
- 本検討から, 東北地方太平洋沖型の地震が年超過確率に与える影響は十分に小さいことを確認した。

■概略ロジックツリー



■基準津波策定位置における津波ハザード曲線



(参考)評価基準日(時間軸原点)の違いによる今後50年の地震発生確率

	評価基準日	今後50年の地震発生確率
東北地方太平洋沖型の地震	2011年3月11日	20~30%※1
	2017年3月11日	ほぼ0% (10^{-35} ※2)

※1: 地震調査研究推進本部(2012)による評価

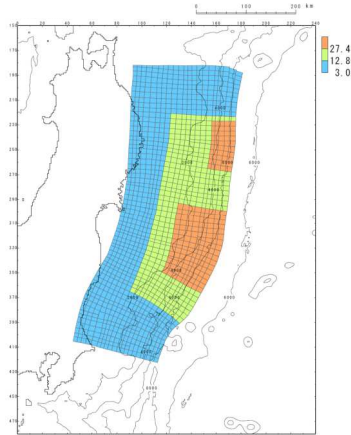
※2: 平均発生間隔600年, 最新活動時期2011年3月11日, $\alpha=0.24$ で算定

IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1.2 東北地方太平洋沖型の地震(3/3)

■波源モデル

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様に、杉野ほか(2014)の設定方法を用いた。



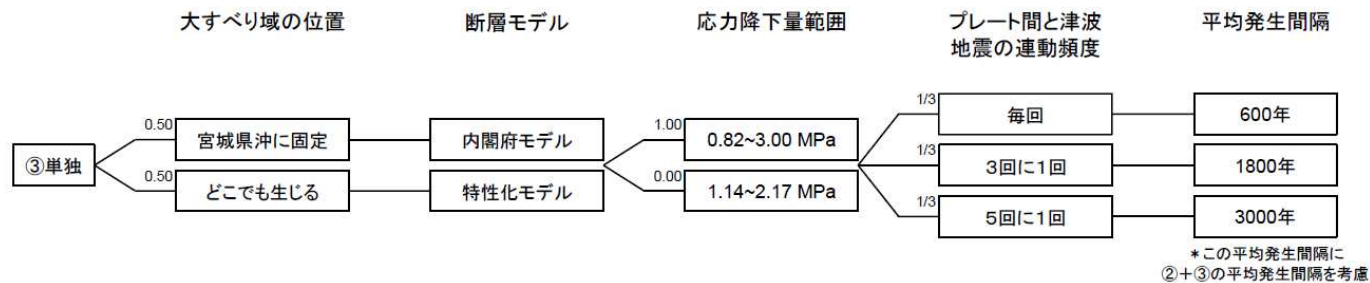
広域の津波特性を考慮した
特性化モデル

主な断層諸元

断層パラメータ	設定値	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.13	
断層面積(S)	129,034(km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)	3.26MPa	
地震モーメント(Mo)	6.21×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	9.82(m)
	大すべり域(1.4D)	12.80(m)
	超大すべり域(3D)	27.43(m)
	背景領域(0.33D)	3.02(m)

■応力降下量の範囲

- 土木学会(2016)に示される応力降下量の範囲のうち上限に相当する応力降下量を用いた。



東北地方太平洋沖型の地震(③単独)のロジックツリー(土木学会(2016))

■平均発生間隔, BPT分布

- 地震調査研究推進本部(2012, 2019)を参考に設定した。

■津波高さ推定に関するロジックツリー

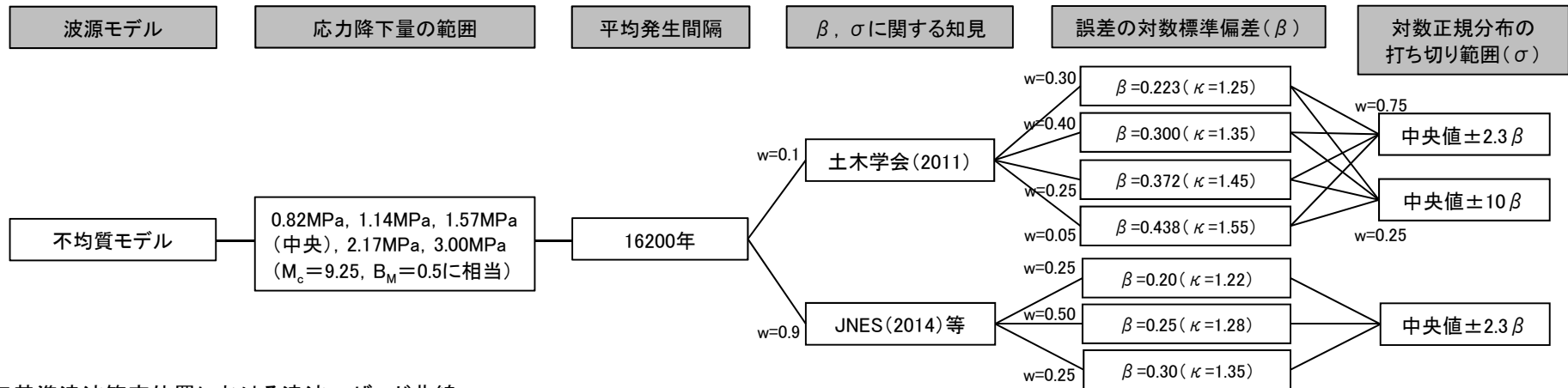
- 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた。

IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

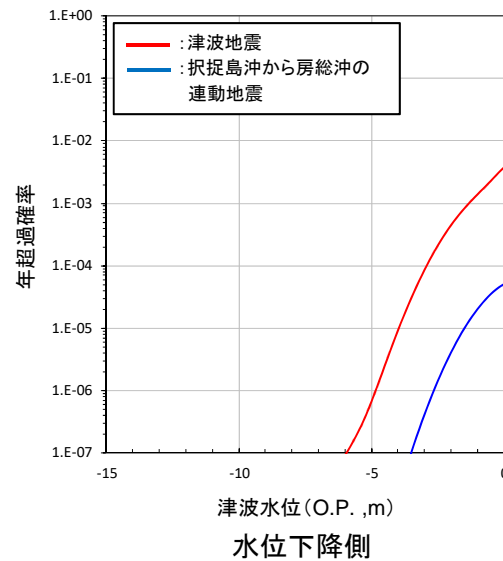
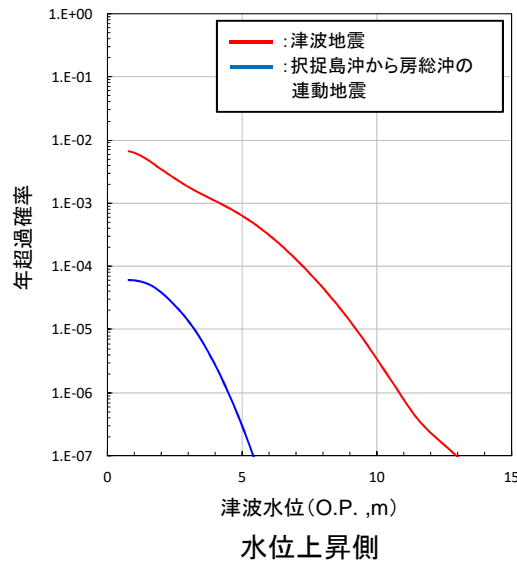
1.3 択捉島沖から房総沖の連動地震(1/2)

- 土木学会(2016)等を参考に設定した概略ロジックツリーを用いて算定した津波ハザード曲線を以下に示す(各項目の詳細は次頁に記載)。
- 本検討から、択捉島から房総沖の連動地震は、津波地震と比較して年超過確率に与える影響は小さいことを確認した。

■概略ロジックツリー



■基準津波策定位置における津波ハザード曲線

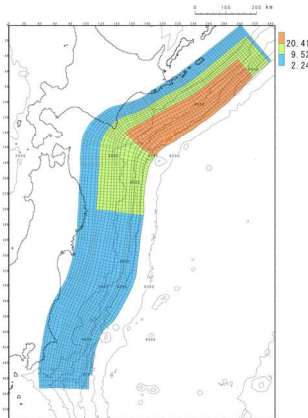


IV. 年超過確率の参照 1. 検討対象領域の設定に係る概略検討

1.3 択捉島沖から房総沖の連動地震(2/2)

■波源モデル

- 十勝沖・根室沖の連動地震と同様に、杉野ほか(2014)の方法を用いて設定した。



特性化モデル
($M_w(M_c)=9.25$)

主な断層諸元

断層パラメータ		設定値	備考
モーメントマグニチュード(M_w)		9.25	
断層面積(S)		278,498(km ²)	
平均応力降下量($\Delta\sigma$)		1.57MPa	Murotani et al.(2013)で示される平均値
地震モーメント(M_0)		9.47×10^{22} (Nm)	
すべり量	平均すべり量(D)	6.80(m)	
	大すべり域(1.4D)	9.52(m)	
	超大すべり域(3D)	20.41(m)	
	背景領域(0.33D)	2.24(m)	

■応力降下量の範囲

- 土木学会(2016)を参考に設定した。

■平均発生間隔

- 土木学会(2016)に示される十勝沖・根室沖から茨城県沖の連動地震の平均発生間隔の平均的な設定値を示す分岐を選定した。

■津波高さ推定に関するロジックツリー

- 詳細検討に用いるロジックツリーと同じロジックツリーを用いた。

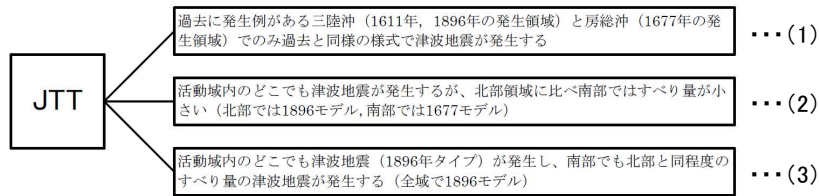
IV. 年超過確率の参照

1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
 - 2.1 津波地震
 - 2.2 海洋プレート内地震
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

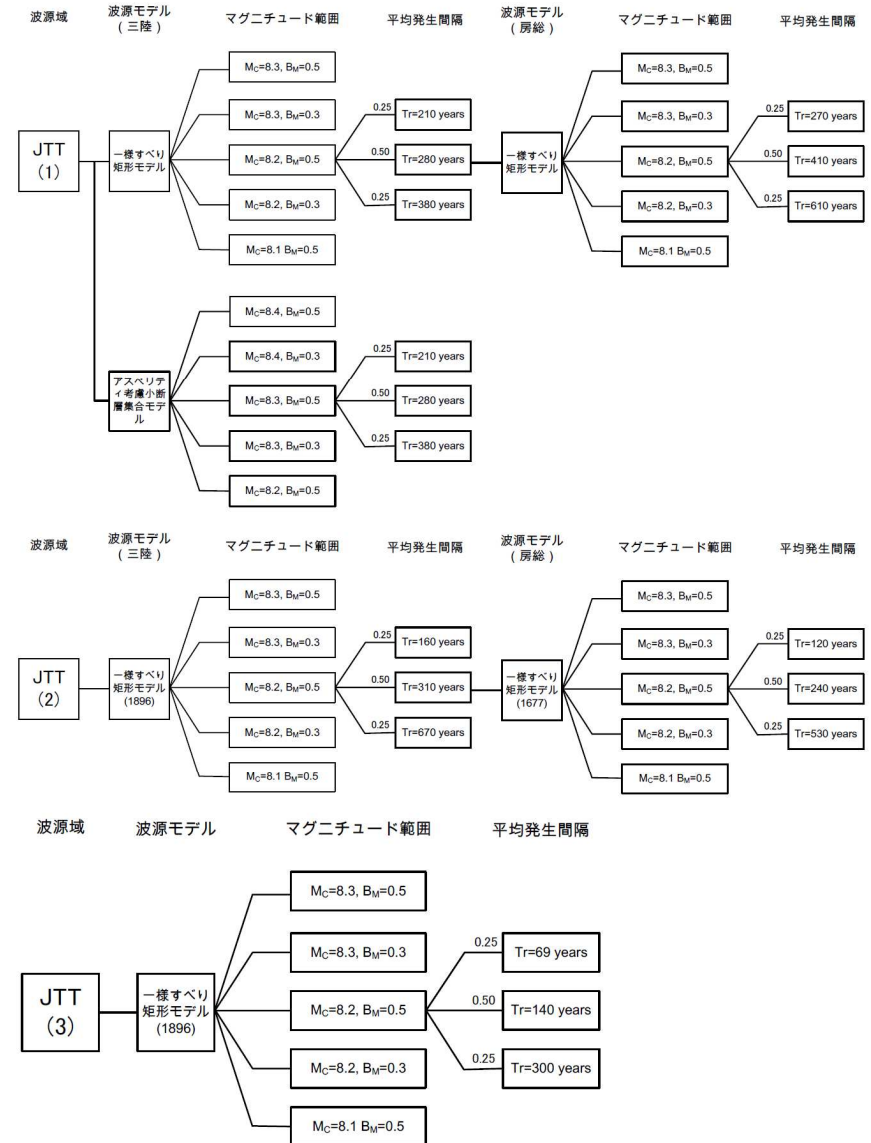
IV. 年超過確率の参照 2. 土木学会(2011)のロジックツリー

2.1 津波地震

■発生領域に関する分岐

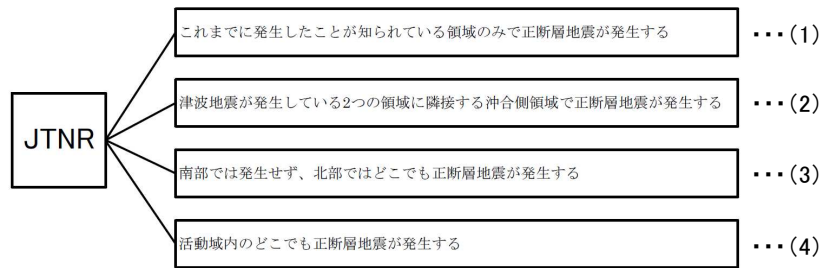


■津波発生モデルのロジックツリー

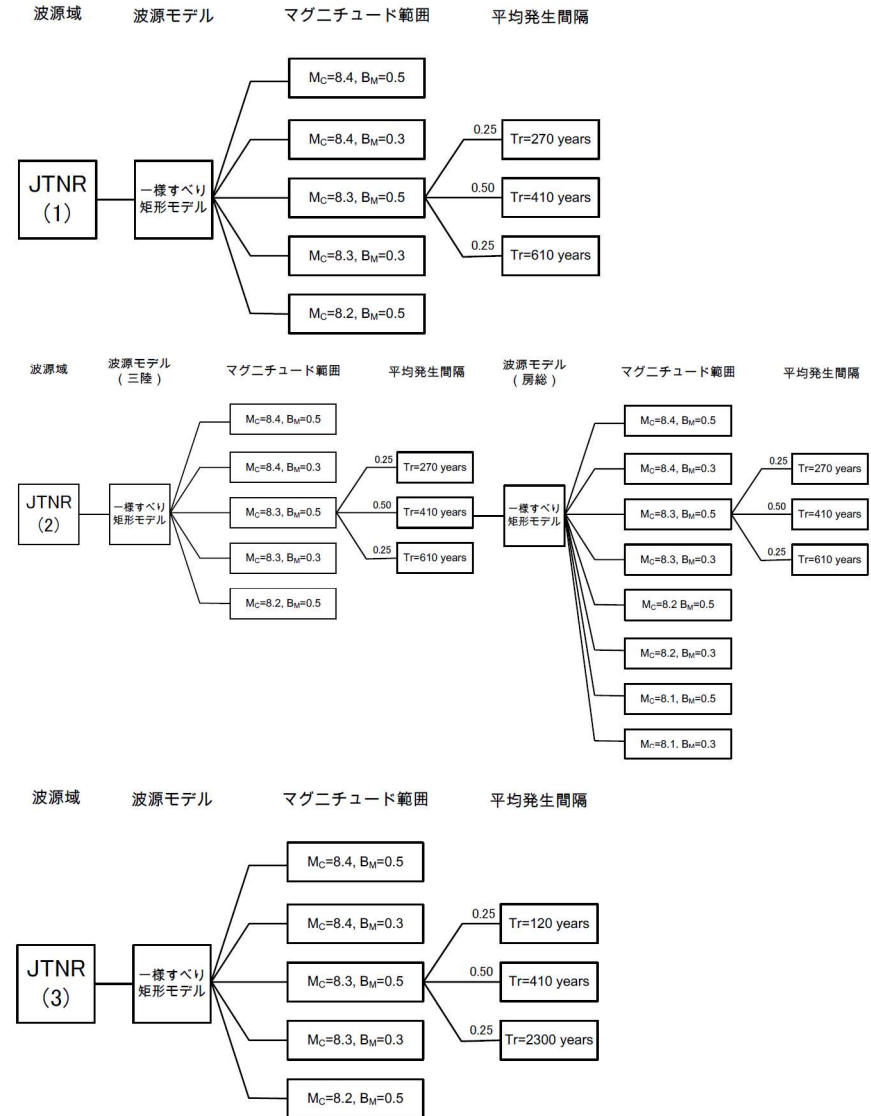


IV. 年超過確率の参照 2. 土木学会(2011)のロジックツリー
 2.2 海洋プレート内地震

■発生領域に関する分岐



■津波発生モデルのロジックツリー※



※:JTNR(4)のロジックツリーは、JTNR(3)のロジックツリーと同一であるため記載省略。

IV. 年超過確率の参照

1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
 - 3.1 地震規模に関する知見
 - 3.2 専門家意見聴取結果
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

3. 1 地震規模に関する知見:

国内外における海溝外縁隆起帯で発生した海洋プレート内地震の地震規模

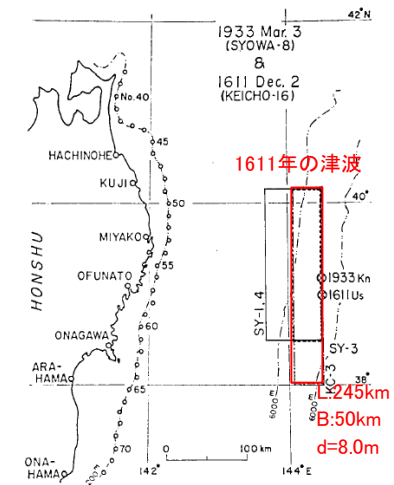
- 1933年昭和三陸地震津波は、国内外における海溝外縁隆起帯(outer rise)で発生した最大規模の海洋プレート内地震である。

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))

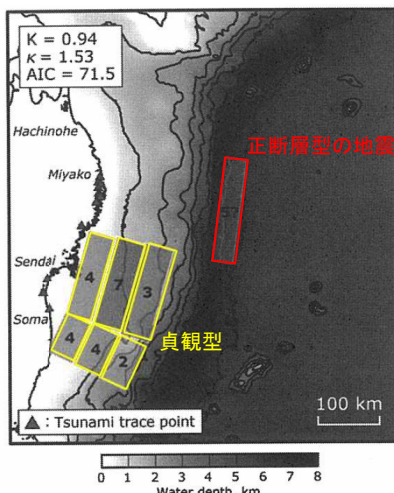
Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	M_w	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity Nm^{-2}	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	-	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	7.0×10^{10}	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	7.0×10^{10}	Abe (1972)
d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

IV. 年超過確率の参照 3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
 3.1 地震規模に関する知見: 今井ほか(2012)

- 今井ほか(2012)は、1611年の津波の津波痕跡、震源域及び地震動と津波の史料記述を再整理し、それらに対する相田(1977)モデルの矛盾点を以下のとおり指摘している。
- 今井ほか(2012)モデル(KT-02)は、痕跡高の逆解析から、宮城県沖のプレート境界面と海溝外縁隆起帯のすべりを推定している(Mw=8.5)。
- 同モデルの海溝外縁隆起帯におけるすべり分布(すべり量、断層長さ)は、相田(1977)モデルよりも小さく、1933年昭和三陸地震津波と同程度である。



相田(1977)モデル(KC-3)



今井ほか(2012)モデル(KT-02)

【今井ほか(2012)】

■津波痕跡

- ✓ 1611年の津波は三陸沿岸の一部で3.11地震に匹敵する津波痕跡が残されているといわれており、仙台湾沿岸部においても地質学的痕跡が確認されている。

■震源域

- ✓ 史料の再精査から1611年の震源域は三陸沖から仙台湾沖まで広がっていた可能性が示唆されている。

■史料に残された地震動と津波

- ✓ 各地の史料を総合的にみると、午前8～10時に仙台藩から江戸に至る広域で有感地震あり。
- ✓ 仙台平野における津波来襲時刻は不明であるが、三陸沿岸に津波が来襲した時刻は午後2時頃であったと解釈できる。

■相田(1977)モデルの矛盾点

三陸沿岸の津波痕跡高を説明できるが、仙台湾沿岸ではせいぜい2m程度の津波高となり説明できない。

江戸での最大震度はせいぜい4程度であり、仙台平野や江戸での地震有感時刻と三陸沿岸の津波来襲時刻の時間差を合理的に説明することは難しい。

<今井ほか(2012)モデル(KT-02)>

- 痕跡高の逆解析の結果、宮城県沖とその北側海溝軸付近における逆断層地震(KT-01)と、宮城県沖の逆断層地震とその北側アウターライズ領域の正断層地震(KT-02)の2つの地震モデルが得られた。
- 両モデルともに869年の地震の震源域のすべりが必要になり、各モデルの地震規模はMw=8.5程度と推定される。
- 津波痕跡、震源域、史料記述を踏まえると、KT-02の方がより矛盾無く解釈できる。ただし、KT-01を完全に否定することもできない。

IV. 年超過確率の参照 3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

3.1 地震規模に関する知見: ハザード評価事例

- 杉野ほか(2015), 藤原ほか(2015), 土木学会(2016)は, 地震調査研究推進本部(2012)の長期評価を参考に, 1933年昭和三陸地震の地震規模を基本にそのばらつきを考慮して, 確率論的津波ハザード評価を実施しており, 上限Mwを8.6としている(杉野ほか(2015), 土木学会(2016))。

■杉野ほか(2015)

表5 日本海溝沿いの地震活動の長期評価結果と津波波源モデルの一覧

番号	日本海溝沿いの地震活動の長期評価		長期評価を踏まえた津波波源モデル					備考
	地震発生領域	次の地震規模	Mw	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)		
1	三陸沖北部のプレート間大地震	M8.0前後	8.2, 8.3, 8.4	200*1	100*1	2.5, 3.5, 5.0	-	
2	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)	M8.2前後	8.1, 8.2, 8.3	200*2	50*2	4.0, 5.6, 7.9	-	
3	三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内大地震(正断層型)	M8.2前後	8.4, 8.5, 8.6	200*2	100*2	3.2, 4.5, 6.4	-	
4	三陸沖北部(M7クラス)	M7.1~M7.6	-	-	-	-	対象地点への影響が小さいと判断し除外	
5	三陸沖中部	評価なし	-	-	-	-	長期評価結果で除外	
6	三陸沖南部海溝寄り	M7.7前後	7.9, 8.0, 8.1	200*3	50*3	1.8, 2.5, 3.5	-	
7	宮城県沖	M7.5前後	7.7, 7.8, 7.9	49*4	130*4	0.9, 1.3, 1.8	-	
6+7	三陸沖南部海溝寄りと宮城県沖の連動	M8.0前後	8.2, 8.3, 8.4	283*5	71*5	2.5, 3.5, 5.0	-	
8	福島県沖	M7.4前後	7.6, 7.7, 7.8	92*6	55*6	1.1, 1.6, 2.2	-	
9	茨城県沖	M6.7~7.2	7.0, 7.3, 7.5	43*7	47*7	0.5, 1.5, 3.0	-	
10	房総沖	評価なし	-	-	-	-	長期評価結果で除外	

*1 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取
*2 長期評価報告書¹⁴⁾記載
*3 1897宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照
*4 1978宮城県沖地震の瀬野他(1979)モデル²¹⁾の長さ幅比を参照

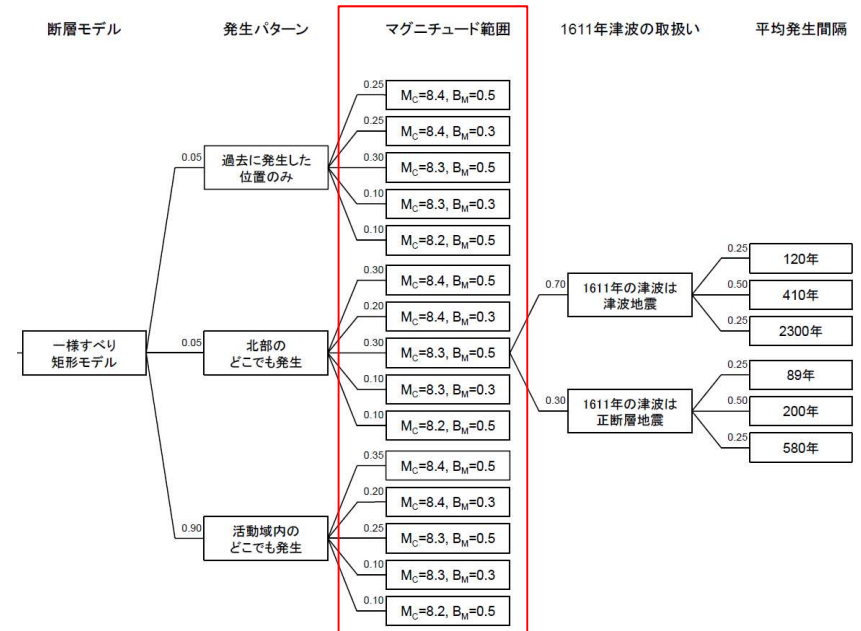
*5 1793宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照
*6 1938塩屋崎沖地震のAbe(1977)モデル²²⁾の長さ幅比を参照
*7 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取値の長さ幅比を参照

■藤原ほか(2015)

4.2.1.6 プレート内地震(正断層型)

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)(以下, プレート内地震と呼ぶ)は, 地震調査委員会(2011)によって M8.2 前後の地震が, 三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの領域内のいずれかの場所で, 400~750年の間隔で発生していると評価されている。本研究では, プレート内地震として設定した Mw8.2 の波源断層モデル 14 個に対して, 地震調査委員会(2011)で評価された発生間隔 400 年から 750 年の中央値 575 年を平均発生間隔と考え発生確率を算定した。

■土木学会(2016)



IV. 年超過確率の参照 3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

3.2 専門家意見聴取結果

- 前述(3.1)した地震規模に関する知見の収集結果を踏まえ、1611年の津波が海洋プレート内地震の場合のMwの範囲を見直すことについて、専門家へ意見聴取を行い、必要な関連情報等を収集した。

■ 関連情報: 海洋プレート内地震のロジックツリーの見直しについて

- ✓ 1611年の津波の地震発生様式の分岐のうち海洋プレート内地震の場合のMwの範囲について、地震規模ならびに各機関の評価事例に係る関連情報の収集結果から、中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更することの可否(上限Mwを8.8から8.6に変更することの可否)

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> • 1611年の津波は未だ研究途上にあるが、最新知見を反映した今井ほか(2012)モデルは、現時点で最も信頼できるモデル(妥当なモデル)と考えられる。 • 今井ほか(2012)モデルのアウトサイズ領域のすべりは1933年昭和三陸地震津波と同程度であることを踏まえると、“1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> • 現状のロジックツリーを維持し、各分岐の重みを変更する方法も考えられるが、上限Mwを8.8から8.6に変更する今回の方法は、土木学会(2016)等とも整合しており、異論はない。 • なお、ロジックツリーは、5年、10年経つと変わる可能性があるため、最新知見の収集に努めること。
<ul style="list-style-type: none"> • 1611年の津波は未だ議論があるところであり、津波痕跡など新しい情報は増えてきているものの、相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)の否定までには至っていないと考える。 • 以上から、“1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更するという「Mwの範囲」の分岐を見直す方法ではなく、「波源モデル」の分岐を新たに追加する方法(例えば、相田(1977)モデル、今井ほか(2012)モデルを分岐で処理するなど)が考えられる。
<ul style="list-style-type: none"> • 1611年の津波について、相田(1977)が基にした痕跡データから情報が増えており、今後、波源そのものを再検討する動きがあると聞いている。したがって、相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)に固執する必要は無いと考える。 • 1933年昭和三陸地震津波(Mw8.4)は、国内外で最大規模のアウトサイズ地震であるとともに、1611年の津波がアウトサイズ地震であった場合、三陸沖の同じ領域において、M8クラスのプレート間地震と同程度のすべりが約300年間の間に生じたことになり、地震学的に考えにくいのではないかと考える。 • 以上から、“1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。



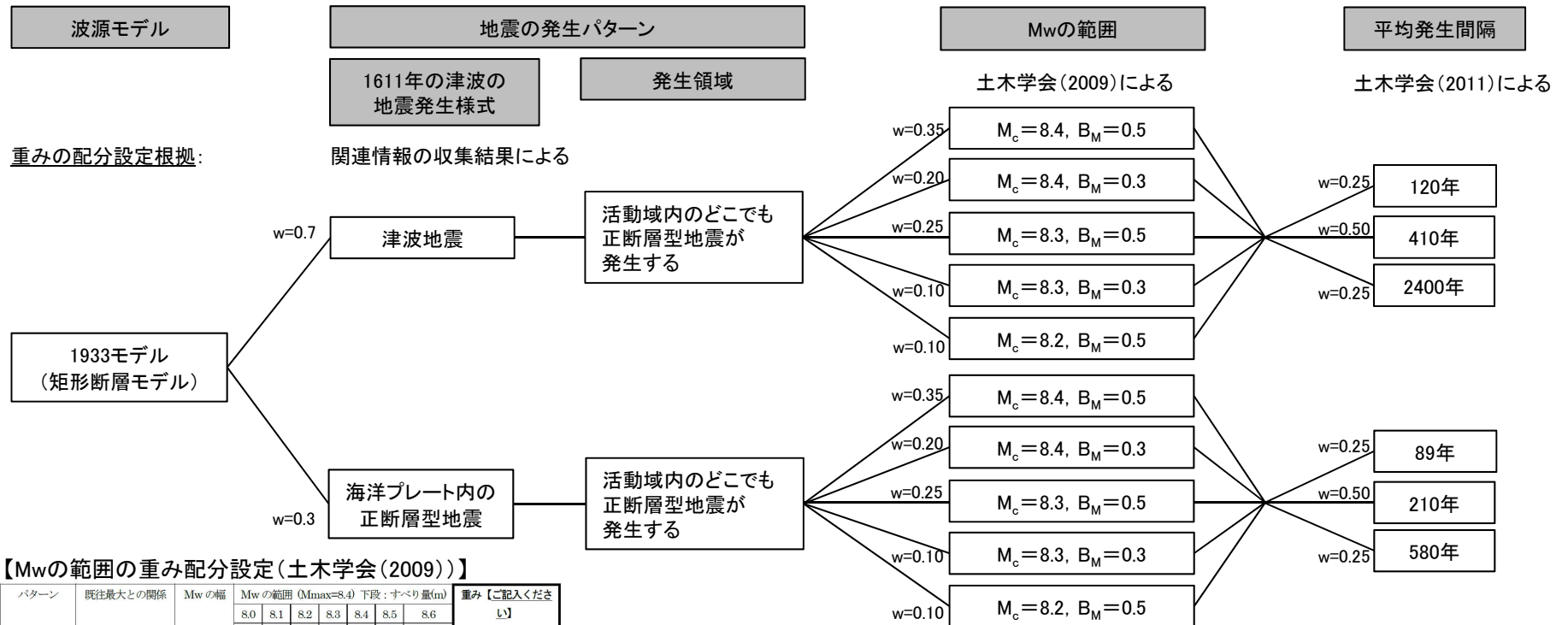
上記、意見聴取結果を踏まえ、中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更することについてレビューを行い(詳細は次頁に記載)、その妥当性について評価を得た。

IV. 年超過確率の参照 3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討

3.2 専門家意見聴取結果:レビュー内容

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

- 各専門家意見を総合的に踏まえ、中央マグニチュード(M_c)は、1611年の津波の地震発生様式によらず、国内外で最大規模の1933年昭和三陸地震津波規模($M_w 8.4$)とし、 M_w の範囲の重みは土木学会(2009)を流用する。
- なお、引き続き、最新知見の収集に努め、本評価の見直しが必要な知見が得られた場合には、適切に対応していく。



【 M_w の範囲の重み配分設定(土木学会(2009))】

パターン	既往最大との関係	M_w の幅	M_w の範囲 ($M_{max}=8.4$) 下段: すべり量(m)						重み【ご記入ください】
			8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
a.	既往最大を上回る	0.5							0.35
b.	地震が発生する	0.3							0.20
c.		0.5							0.25
d.	既往最大を上回る	0.3							0.10
e.	地震は発生しない	0.5							0.10
特記事項【できるだけご記入ください】								重みの合計	1.0

IV. 年超過確率の参照

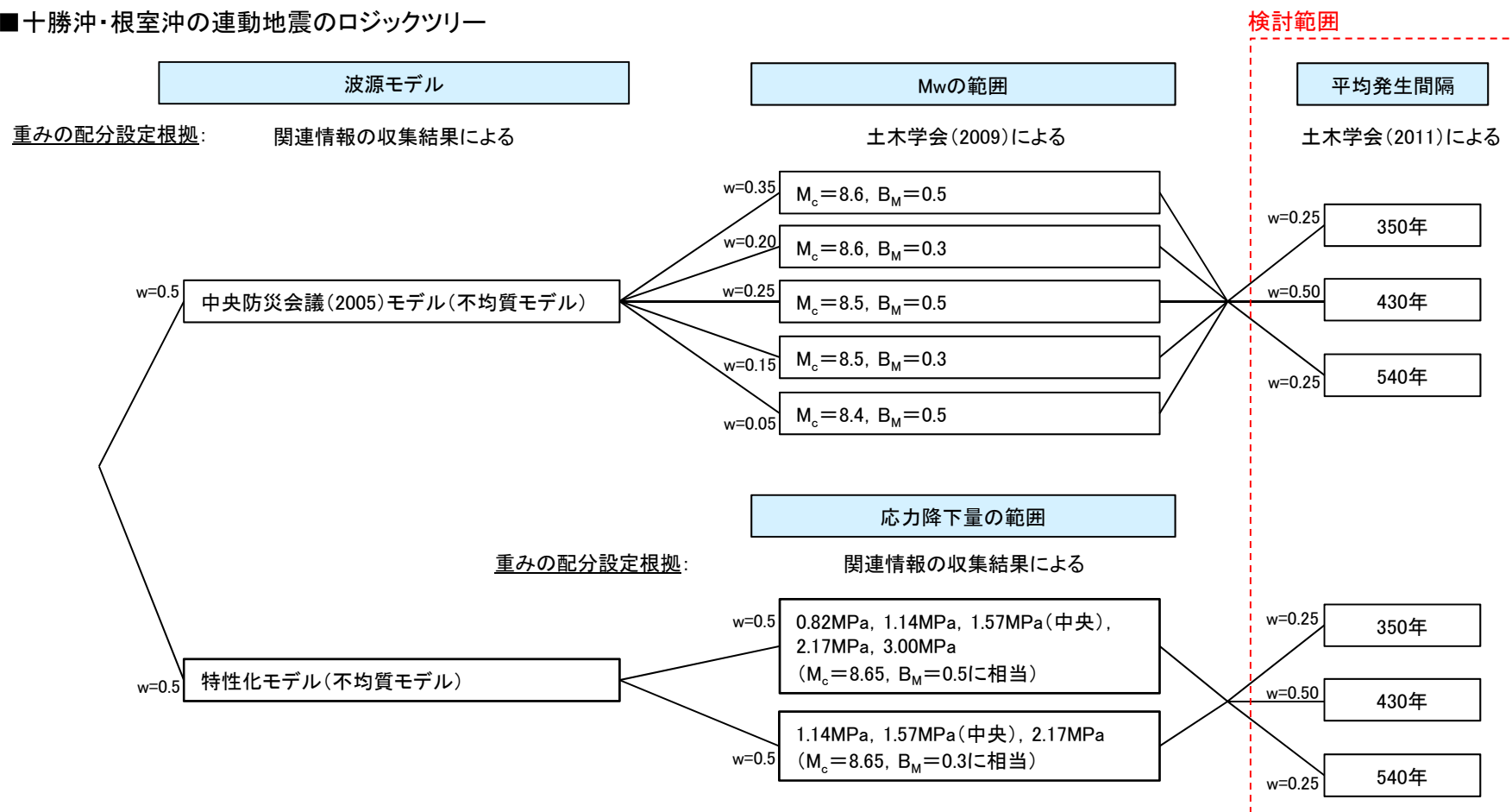
1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
 - 4.1 検討方針
 - 4.2 地震調査研究推進本部(2017a)による超巨大地震(17世紀型)の発生間隔
 - 4.3 地震調査研究推進本部(2017a)の知見を踏まえた平均発生間隔の設定
 - 4.4 評価結果
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

IV. 年超過確率の参照 4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響

4.1 検討方針

- 十勝沖・根室沖の連動地震の平均発生間隔の分岐は、十勝沖～択捉島沖で発生している地震の平均発生間隔(72.2年)(地震本部(2004)), 並びに十勝沖の地震と根室沖の地震の連動サイクル(6回に1回連動)(土木学会(2011))を基に、土木学会(2011)に示される固有地震の平均発生間隔の誤差を考慮して設定している。
- 地震調査研究推進本部(2017a)が長期評価した超巨大地震(17世紀型)の平均発生間隔(約340~380年)は、津波堆積物調査結果を用いたBPT分布モデルから推定しており算定方法が異なることを踏まえ、地震本部(2017a)の方法による平均発生間隔が津波ハザード曲線に与える影響を確認した。

■十勝沖・根室沖の連動地震のロジックツリー



IV. 年超過確率の参照 4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響

4.2 地震調査研究推進本部(2017a)による超巨大地震(17世紀型)の発生間隔

- 地震調査研究推進本部(2017a)は、津波堆積物から17世紀と推定された地震を含め過去6500年間に最多で18回発生したと推定されるが、砂層の数や内陸方向の分布が調査地点によって差があり、推定される地震(津波)の規模や発生時期は不確実性が大きく、必ずしも全ての地震が17世紀と同様の震源域と規模であるとは限らないとしている。
- また、発生間隔の設定について、津波堆積物調査結果により個々の地震の発生間隔は約100~800年とばらつきがあり、平均発生間隔も約330年~590年と様々な推定結果があるが、長期評価では、北海道厚岸郡(藻散布沼、霧多布湿原)の津波堆積物調査結果を用いて、BPT分布モデルから約340~380年と推定[※]している。

※:地震調査研究推進本部(2017a)では、地震に伴う確率値の更新が反映される利点を考慮し、「北海道東部で沿岸内陸まで津波堆積物をもたらす地震」が繰り返し発生していると仮定し、BPT分布モデルを適用したとしている。一方で、BPT分布モデルに基づく評価は、ほぼ同様の震源域で繰り返し地震が発生することが前提であるが、評価した津波堆積物をもたらした地震の規模・震源域は17世紀を除き不明であることから、震源不特定の地震とポアソン過程で評価すべきであるとする考え方もあり、今後、より広範囲・高精度でこれらの津波堆積物に関する知見を収集し、確率計算等を検討する必要があるとしている。

表3-4 超巨大地震(17世紀型)の発生領域、震源域の形態、発生間隔等

項目	特性	根拠
(1) 地震の発生領域の目安	図1。具体的な地域は特定できないが、根室沖を含む可能性が高い。	当該地域の津波堆積物の空間分布を参考にして判断した。
(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	長さ 300km 以上。深さは、60km 程度以浅。海溝寄りの領域も運動する。	
(4) 震源断層面での平均的なずれの向き	約 N114° E (陸側のプレートの太平洋プレートに対する動きの向き)	根室沖と同じ値を使用した。
(5) 発生間隔等	発生頻度 約 340~380 年に 1 回 (過去の地震の推定発生間隔 約 100~800 年)	北海道東部(厚岸郡)において調査された津波堆積物のうち、巨大津波を発生させたと推定される津波堆積物の数や年代推定結果から推定した。

地震調査研究推進本部(2017a)に一部加筆

表7. 17世紀巨大地震の発生確率評価に用いた藻散布沼と霧多布湿原の津波堆積物の堆積時期 (Sawai et al., 2009 に基づく)

藻散布沼

砂層の名前	推定堆積期間 (± 1σ) (cal y B.P.)	推定堆積期間 (± 2σ) (cal y B.P.)
MP2	670 - 280	700 - 280
MP3	1400 - 750	1450 - 700
MP4	1495 - 1430	1520 - 1400
MP5	1930 - 1600	1980 - 1530
MP6	2450 - 2270	2560 - 2220
MP7	2600 - 2360	2680 - 2290
MP8	2720 - 2500	2740 - 2390

平均337年
α=0.79

霧多布湿原

砂層の名前	推定堆積期間 (± 1σ) (cal y B.P.)	推定堆積期間 (± 2σ) (cal y B.P.)
K4	1340 - 1220	1390 - 1170
K5	1720 - 1420	1780 - 1370
K6	2370 - 2090	2550 - 2000
K7	2570 - 2260	2700 - 2100
K8	2820 - 2670	2870 - 2570

平均375年
α=0.49

※ cal y B.P. は 1950 年を基準とした放射性炭素年代 (例えば、100 cal B.P. は 1850 年)

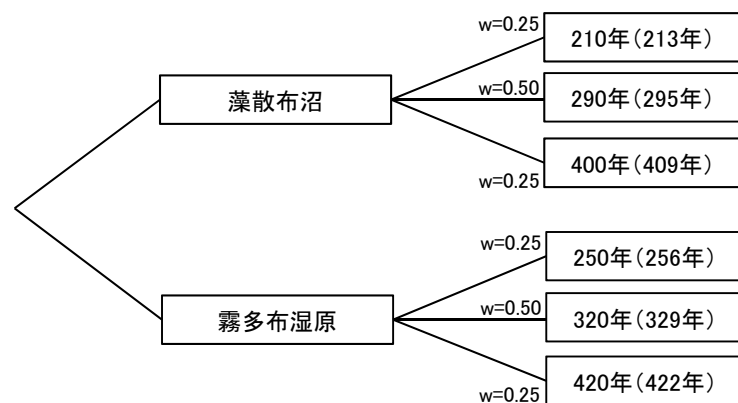
地震調査研究推進本部(2017a)

IV. 年超過確率の参照 4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響

4.3 地震調査研究推進本部(2017a)の知見を踏まえた平均発生間隔の設定

- 地震調査研究推進本部(2017a)による藻散布沼及び霧多布湿原の津波堆積物調査結果及びばらつき(α)を用いて、土木学会(2011)による固有地震の平均発生間隔の誤差を考慮した平均発生間隔の分岐を以下のとおり設定した。
- なお、重み配分については、土木学会(2011)の正規分布に対する分岐設定方法を用いて設定した。

■地震調査研究推進本部(2017a)の知見を踏まえた平均発生間隔に関する分岐※1



分岐設定

【藻散布沼】

- 対数正規分布の中央値(幾何平均): 295年(推定堆積期間($\pm 1\sigma$)を使用)
- ばらつき(α): 0.8
- 発生間隔のデータ数(n): 6

砂層の名前	推定堆積期間 ($\pm 1\sigma$) (cal y B.P.)	推定堆積 期間(平均)	間隔(年)
MP2	670 - 280	475	
MP3	1400 - 750	1075	600
MP4	1495 - 1430	1462.5	387.5
MP5	1930 - 1600	1765	302.5
MP6	2450 - 2270	2360	595
MP7	2600 - 2360	2480	120
MP8	2720 - 2500	2610	130

幾何平均(年): 295

※1: 固有地震の平均発生間隔の誤差を考慮した分岐設定(土木学会(2011))

- 固有地震の平均発生間隔がデータに基づいている場合には、誤差に基づき分岐を設定し、対数正規分布とする。
- 対数分布で発生間隔の中央値を T_m としたとき、標準偏差の範囲は以下のとおりとなり、これを分岐として設定する。

$$T_m \cdot e^{-\sigma_{ln}/\sqrt{n}} \sim T_m \sim T_m \cdot e^{+\sigma_{ln}/\sqrt{n}}$$

ここで、

- T_m : 対数正規分布の中央値 (幾何平均)
- σ_{ln} : 対数標準偏差 (ばらつき)
- n : 発生間隔のデータ数

【霧多布湿原】

- 対数正規分布の中央値(幾何平均): 329年(推定堆積期間($\pm 1\sigma$)を使用)
- ばらつき(α): 0.5
- 発生間隔のデータ数(n): 4

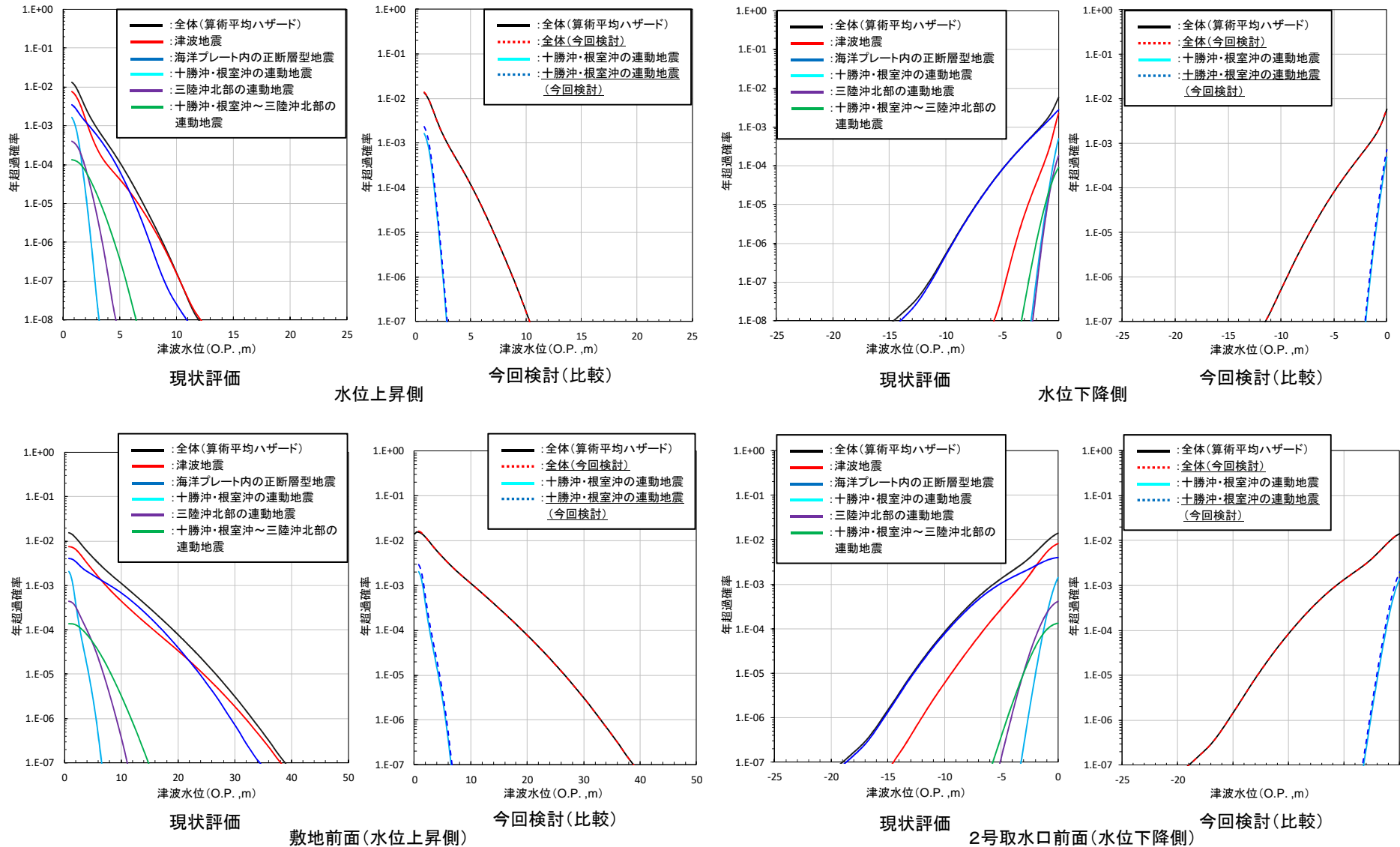
砂層の名前	推定堆積期間 ($\pm 1\sigma$) (cal y B.P.)	推定堆積 期間(平均)	間隔(年)
K4	1340 - 1220	1280	
K5	1720 - 1420	1570	290
K6	2370 - 2090	2230	660
K7	2570 - 2260	2415	185
K8	2820 - 2670	2745	330

幾何平均(年): 329

IV. 年超過確率の参照 4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
 4.4 評価結果

- 地震調査研究推進本部(2017a)の知見を反映した津波ハザード曲線(波源別寄与度)を以下に示す。
- 地震調査研究推進本部(2017a)の知見を反映した津波ハザード曲線が全体の算術平均ハザードに与える影響はないことを確認した。

■基準津波策定位置



IV. 年超過確率の参照

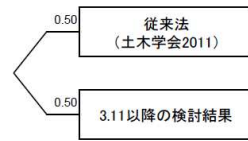
1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
 5. 1 土木学会(2016)のロジックツリー
 5. 2 誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見
 5. 3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定
 5. 4 専門家意見聴取結果
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

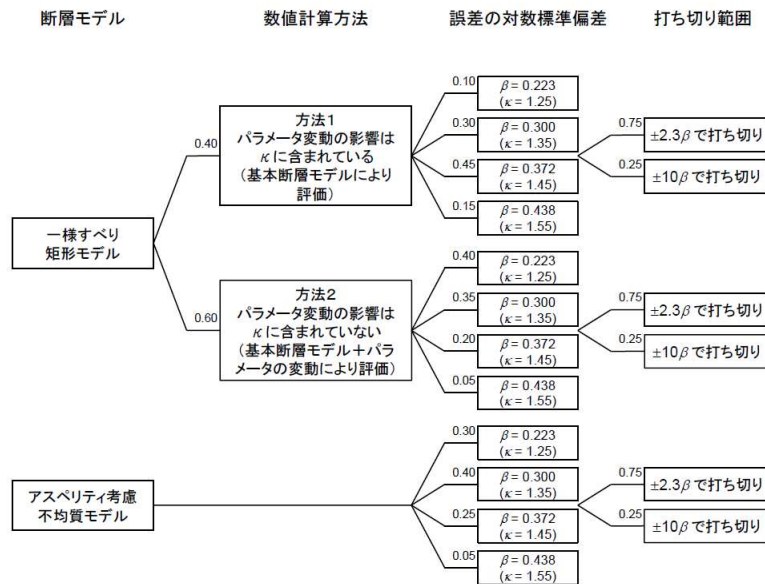
5.1 土木学会(2016)のロジックツリー

- 土木学会(2016)では、3.11地震に伴う津波の再現解析等から津波高さ推定値のばらつきに関する検討を実施し、それから得られた知見を以下のとおり、津波高さ推定に関するロジックツリーに反映している。

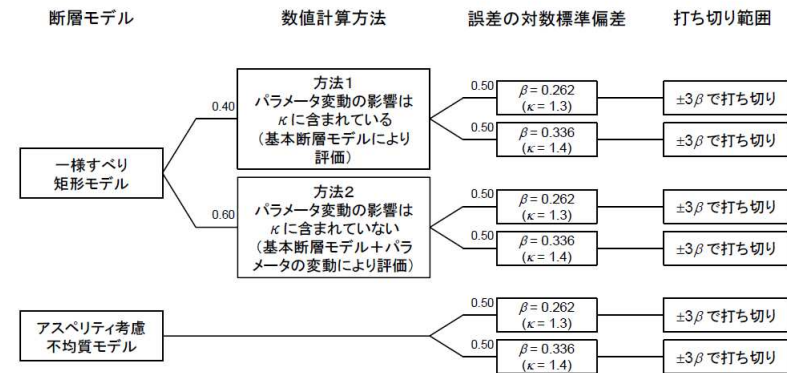
ばらつきと打ち切りの考え方



(a) ばらつきと打ち切りの考え方に関する分岐



(b) 従来法 (土木学会, 2011)



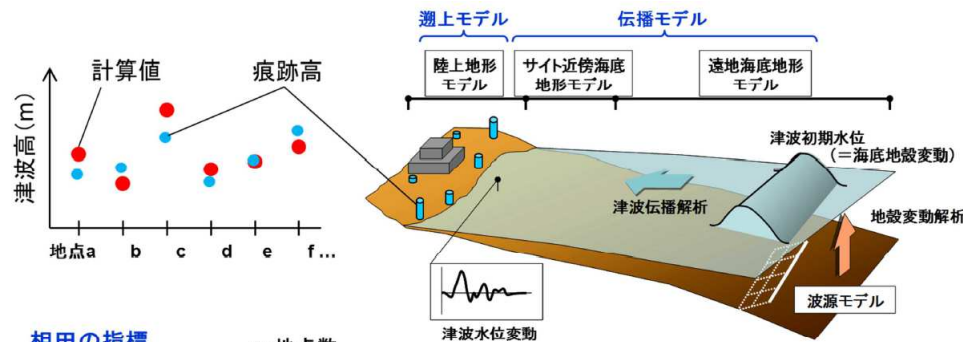
(c) 東北地方太平洋沖地震以降の検討結果

津波高さ推定に関するロジックツリー
(土木学会(2016))

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.2 誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見(1/4)

- 津波高さのばらつき(β)は、津波波源モデル($\beta_{波源}$)、海底地形を含めた海上伝播($\beta_{伝播}$)、陸上地形を含めた陸上遡上($\beta_{遡上}$)のモデル化上のばらつきが混在する。さらには、痕跡情報である津波高さや位置情報の不確かさも含まれる(杉野ほか(2014))。
- 杉野ほか(2014)は、3.11地震に伴う津波を再現する特性化波源モデル(杉野ほか(2013))による痕跡高と計算値の関係から、津波高さのばらつき($\beta_{特性化}$)を整理し、土木学会(2011)のばらつき β (およそ0.28~0.47)に対して、 $\beta_{特性化}$ は0.24~0.27と大きく低減したとしている。



相田の指標

n : 地点数

$$\ln K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln K_i, \quad K_i = \frac{\text{痕跡高 } R_i}{\text{計算値 } H_i}$$

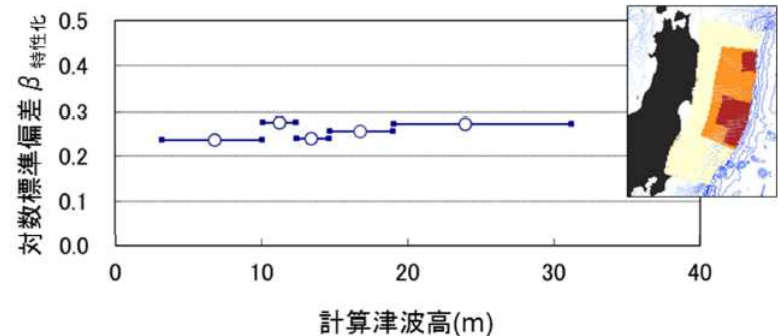
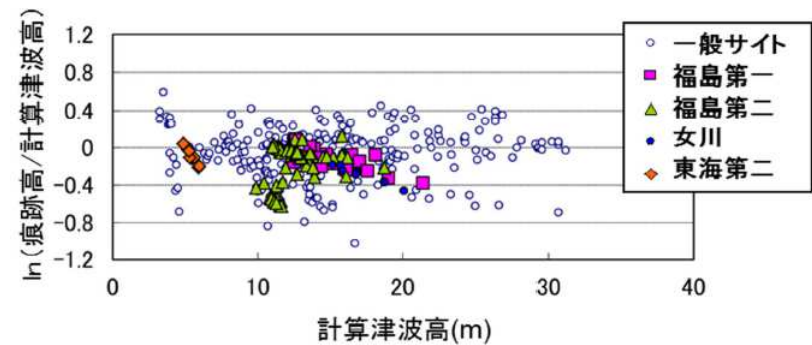
$$\ln \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\ln K_i)^2 - n(\ln K)^2 \right\} \right]^{1/2} = \beta$$

津波高のばらつき β の内訳

津波高(中央値) = f (遡上モデル × 伝播モデル × 波源モデル)

$$\text{対数標準偏差 } \beta = \sqrt{\beta_{遡上}^2 + \beta_{伝播}^2 + \beta_{波源}^2}$$

津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因
(杉野ほか(2014))



特性化波源モデルの $\beta_{特性化}$ と計算津波高の関係
(杉野ほか(2014))

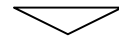
IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5. 2 誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見(2/4)

- 杉野ほか(2014)は、土木学会(2011)のばらつきよりも小さくなった理由について、以下のとおり種々の要因が重なった結果によるものとしている。

■要因

- ✓ 波源特性において特性化波源モデルとして不均一なすべり分布を取り入れたこと。
- ✓ 遡上特性では航空レーザー測量による標高データに基づいて陸上地形モデルの空間格子間隔を詳細化したこと。
- ✓ 痕跡情報では土木学会(2011)の痕跡情報は歴史記録に基づいているのに対し、今回対象とした3.11地震津波の痕跡情報はGPS測量に基づいた詳細な情報を有していること。



これらの各種モデル化や痕跡情報の精度向上が、ばらつきの低減に寄与した。

津波伝播によるばらつき β に関する土木学会(2011)との比較
(杉野ほか(2014))

	1) 波源特性	2) 伝播特性	3) 遡上特性	4) 痕跡情報	津波高のばらつき β (κ)
土木学会 2011.9	• 一様すべりモデル	• 海底地形	• 地形格子 100~200m • 遡上なしの全反射	• 痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.34~0.37 (1.40~1.45) 南海トラフ:0.30~0.47 (1.35~1.60)
	• 不均一モデル	• 海底地形	• 地形格子 50m • 遡上なしの全反射	• 痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝:0.31~0.37 (1.37~1.45) 南海トラフ:0.28~0.39 (1.32~1.48)
東北地震 津波	• 特性化波源モデル (不均一モデル)	• 海底地形	• 地形格子 5.6m • 遡上あり • 建屋あり	• 痕跡点の位置情報 の精度:高	日本海溝:0.24~0.27 (1.27~1.31)

各種モデル化精度の向上

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.2 誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見(3/4)

- JNES(2014)及び杉野ほか(2015)では、杉野ほか(2014)の知見を踏まえたハザード評価への適用方法、適用事例を以下のとおり示している。

■JNES(2014)

不確かさ要因の設定方法(JNES(2014)に一部加筆)

(1) ばらつき β について

- 津波伝播モデルのばらつきは、計算水位を中央値とする確率分布(対数正規分布)を仮定したときの対数標準偏差 β で定義する。
- 津波伝播モデルのばらつき β の値は、津波ハザード評価の結果に大きく影響することに留意し、用いる津波解析手法、解析モデルに対して、最新知見を反映して適切に設定する。

(2) 打ち切りについて

- 推定値の不確かさは、打ち切りのある対数正規分布で表現するため、パラメータとして対数標準偏差 β と打ち切り範囲を設定する。

(解説)

(1) ばらつき β について

- 津波伝播モデルによる津波高さに関する評価結果と痕跡高は完全に一致することは少なく、ばらつきが存在する。
- 「6.6.3.1 津波評価手法の選択」で選択された津波伝播モデルによって推定された津波高さに含まれるばらつきの大きさを対数標準偏差で定義し、ロジックツリーの分岐として考量する。
- 評価サイトの地形モデルの格子サイズが5m程度の場合、津波伝播モデルのばらつき β は0.20~0.30の範囲で設定する。

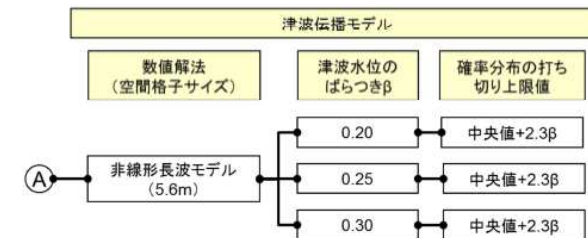
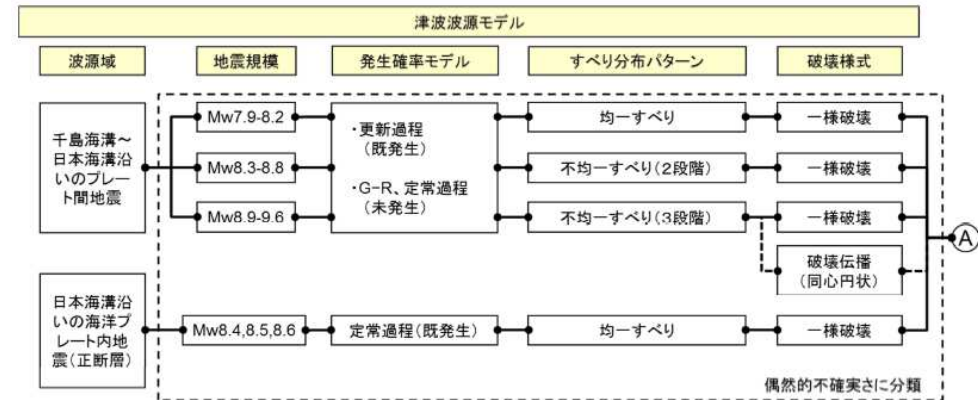
(2) 津波伝播モデルにおける対数正規分布の打ち切りの設定

「6.6.3.1 津波評価手法の選択」で選択された津波伝播モデルによって推定された津波高さに含まれるばらつきが対数正規分布に従うとした場合に、正規分布の打ち切りについて、ロジックツリーの分岐として考量する。

例えば、「分布の両側の各1%に入る現象は実際には起こらない」とする場合、表6.11のように分布の両側1%を打ち切る。

表 6.11 打ち切りの設定パターン (例)

ばらつきの考慮範囲	打ち切り	打ち切り範囲
正規分布の99%まで	1%	$\pm 2.3\sigma$



ロジックツリーの概要 (JNES(2014))

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.2 誤差の対数標準偏差に関する3.11地震から得られた知見(4/4)

■杉野ほか(2015): 千島海溝から日本海溝沿いにおけるロジックツリー

津波伝播モデルに係るロジックツリーの設定方法
(杉野ほか(2015)に一部加筆)

図9は津波伝播モデルに係るロジックツリーである。同図中の左端のA及びBは、図7及び図8から繋がる記号であり、Aは新津波想定モデルの場合を、Bは旧津波想定モデルの場合を表す。いずれも認識論的不確実さ要因として津波伝播モデルに係る津波高のばらつき β の値を分岐として設定する。Aの場合には杉野ほか⁴⁾の特性化波源モデルの検証結果を踏まえて、0.20、0.25、0.30の3つの値を分岐とする。Bの場合には東北地震津波の発生前までの知見として土木学会の報告書³⁾に示される、0.223、0.300、0.372、0.438の4つの値を分岐とする。また、確率分布の打ち切り上限値については、東北地震発生後も更新された知見は知られていないため、A,Bいずれの場合も土木学会の報告書³⁾を参考とする。

※杉野ほか⁴⁾: 杉野ほか(2014)
土木学会の報告書³⁾: 土木学会(2011)

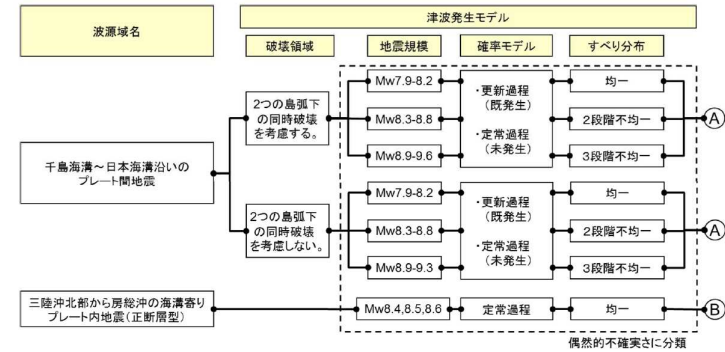


図7 新津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

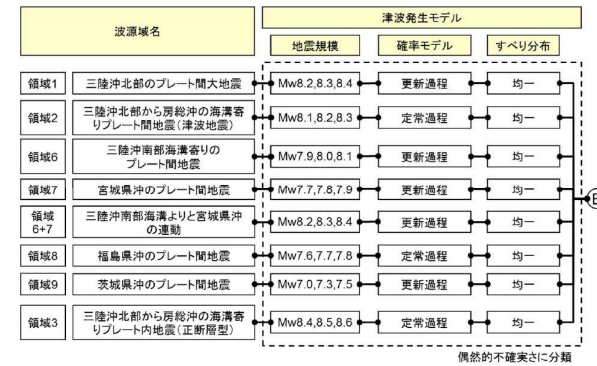


図8 旧津波想定モデルを適用する場合の津波発生モデルのロジックツリー

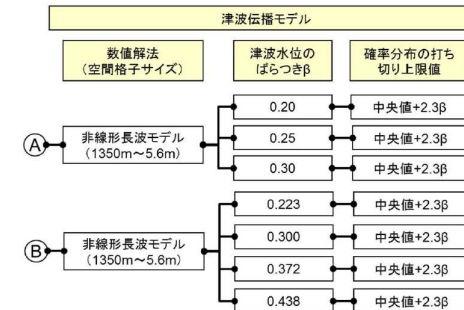


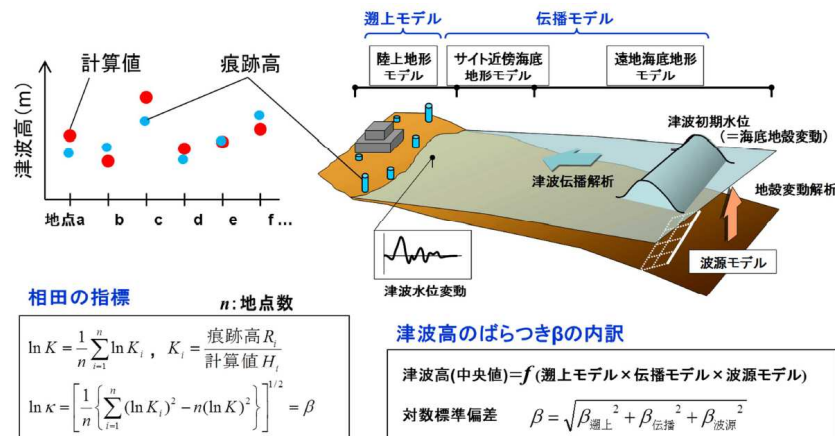
図9 津波伝播モデルのロジックツリー

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定: 検討概要

- ・ 杉野ほか(2014)は不均質モデルを対象とした検討であるとともに、杉野ほか(2015)に示される矩形断層モデルのロジックツリーは、土木学会(2011)の設定方法を引用し、3.11地震から得られた知見は反映されていない。
- ・ 以上を踏まえ、矩形断層モデルに、不均質モデルと同じロジックツリーを適用できるかを確認するため、既往津波の再現解析、並びに土木学会(2009)の評価から、モデルの違いが波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)に与える影響について考察した[※]。

※: 伝播特性、遡上特性のばらつき($\beta_{伝播}$, $\beta_{遡上}$)は、解析に用いる地形データ等が同一であることから、モデルの違いが各ばらつきに与える影響は無いと考えられる(下表)。



モデルの違いが伝播特性・遡上特性のばらつきに与える影響に関する考察

津波高さのばらつき要因	内容
伝播特性 ($\beta_{伝播}$)	解析に用いる海底地形等は同一であることから、モデルの違いによる影響は無い。
遡上特性 ($\beta_{遡上}$)	解析に用いる地形データ、空間格子間隔等は同一であることから、モデルの違いによる影響は無い。

津波伝播モデルの構成と津波高のばらつき要因(杉野ほか(2014))

津波伝播によるばらつき β に関する土木学会(2011)との比較(杉野ほか(2014))

	1) 波源特性	2) 伝播特性	3) 遡上特性	4) 痕跡情報	津波高のばらつき β (K)
土木学会 2011.9	・一様すべりモデル	・海底地形	・地形格子 100~200m ・遡上なしの全反射	・痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝: 0.34~0.37 (1.40~1.45) 南海トラフ: 0.30~0.47 (1.35~1.60)
	・不均一モデル	・海底地形	・地形格子 50m ・遡上なしの全反射	・痕跡点の位置情報 の精度:小	日本海溝: 0.31~0.37 (1.37~1.45) 南海トラフ: 0.28~0.39 (1.32~1.48)
東北地震 津波	・特性化波源モデル (不均一モデル)	・海底地形	・地形格子 5.6m ・遡上あり ・建屋あり	・痕跡点の位置情報 の精度:高	日本海溝: 0.24~0.27 (1.27~1.31)

各種モデル化精度の向上

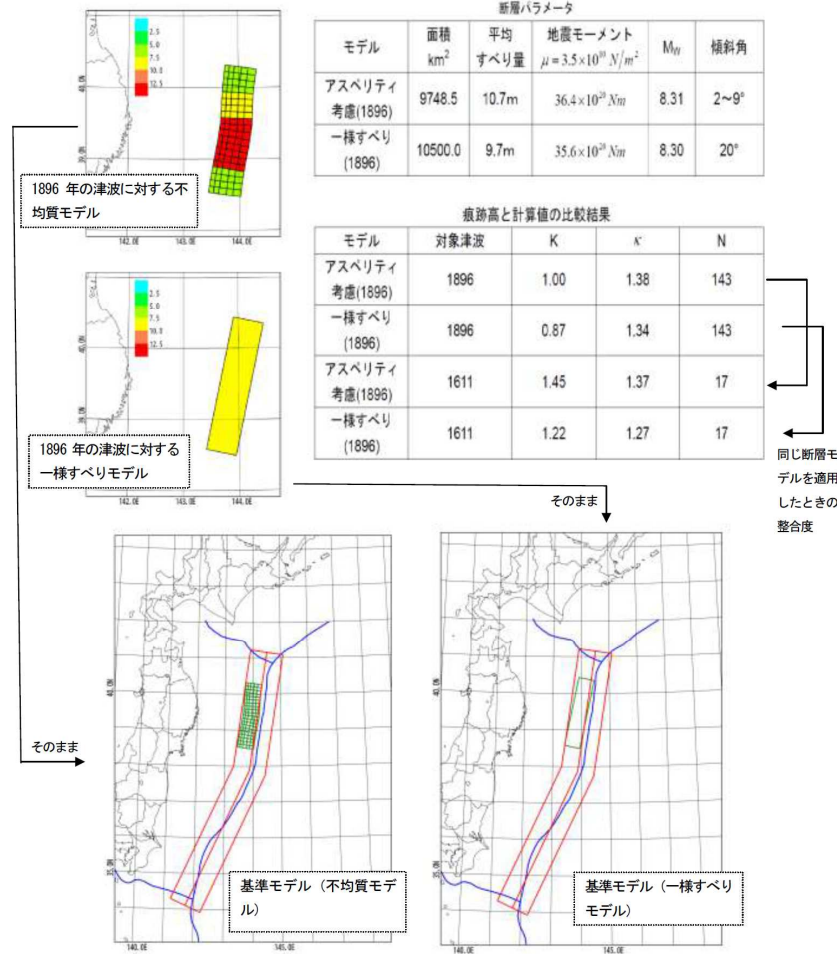
IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定: 既往津波の再現解析(1/2)

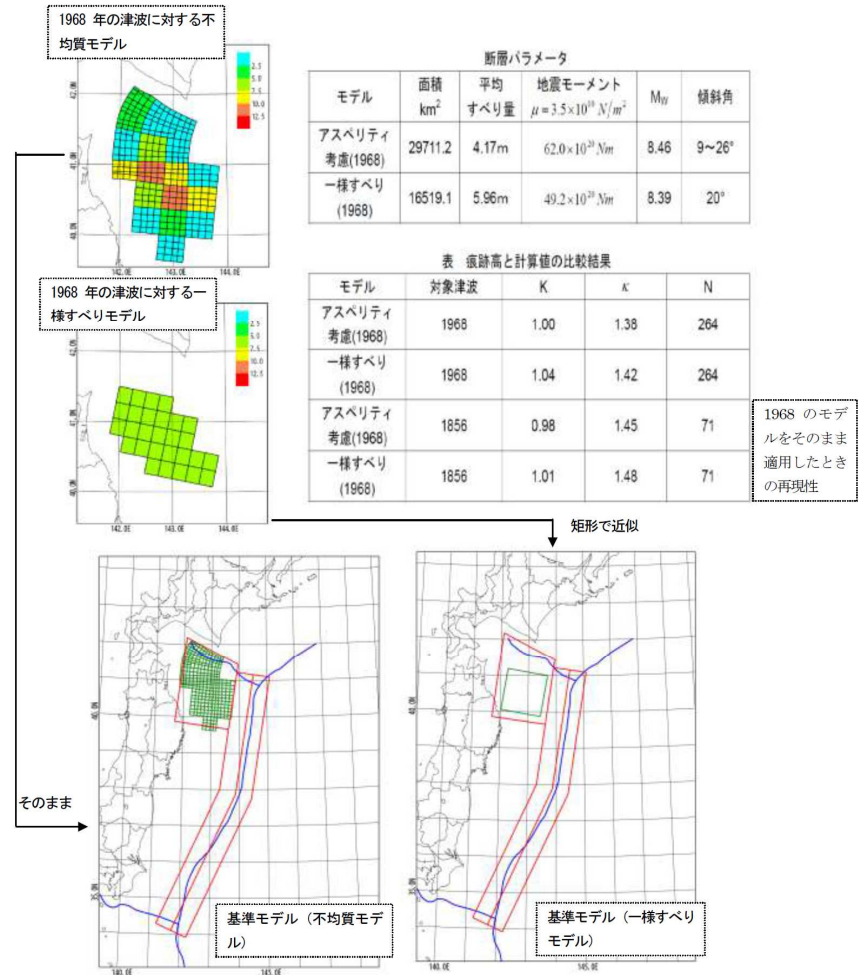
■ 1896年明治三陸地震津波, 1968年十勝沖地震に伴う津波

- 土木学会(2009)では, 1896年明治三陸地震津波, 1968年十勝沖地震に伴う津波の痕跡高を用いたインバージョンモデルと矩形断層モデルを用いて再現解析を実施し, 両モデルのばらつき(κ)は同程度であることを示している。
- 以上から, 波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)は, 矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。

【1896年明治三陸地震津波(土木学会(2009))】



【1968年十勝沖地震に伴う津波(土木学会(2009))】

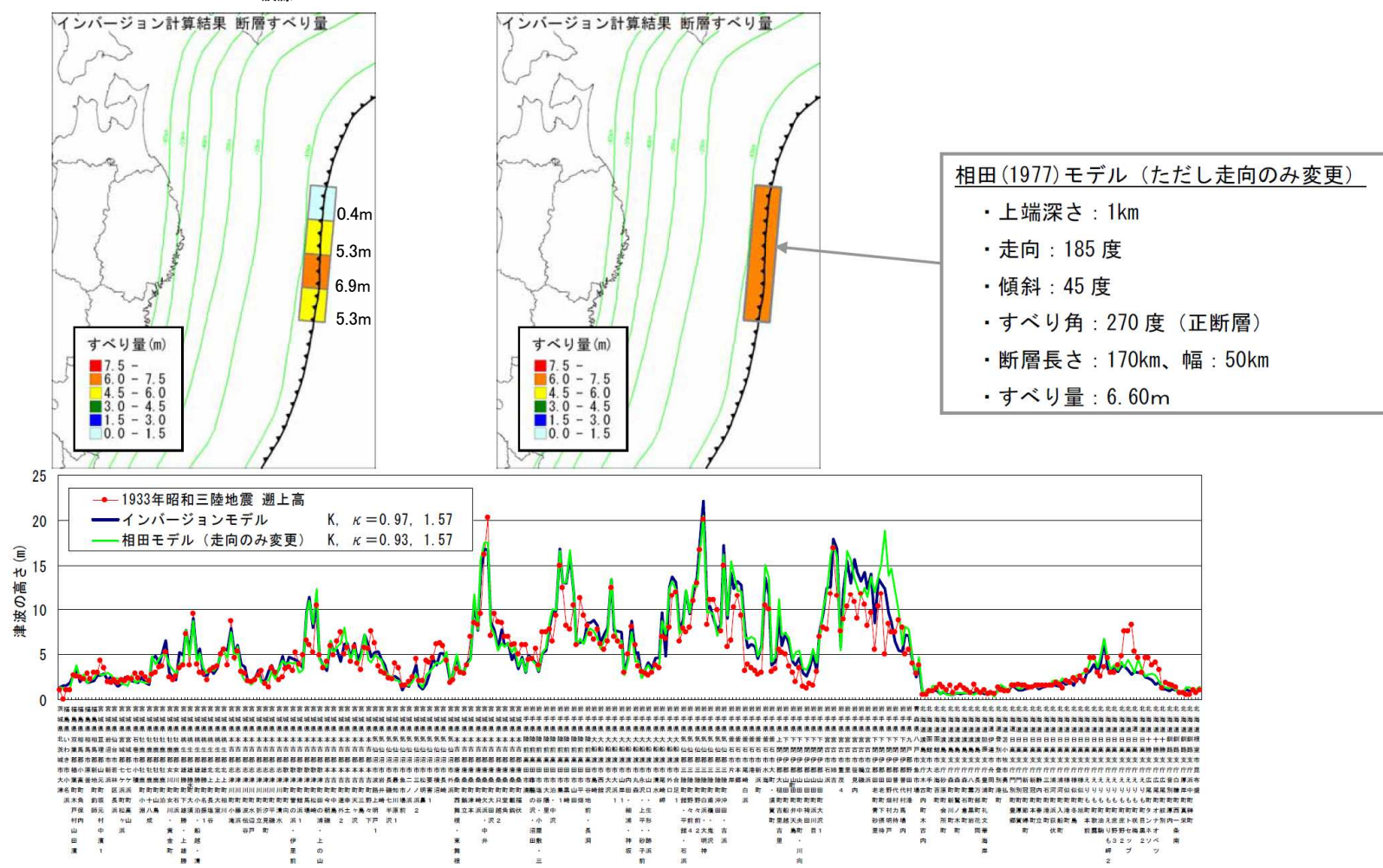


IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定: 既往津波の再現解析(2/2)

■ 1933年昭和三陸地震津波

- 中央防災会議(2005)では、1933年昭和三陸地震津波の痕跡高を用いたインバージョンモデルと矩形断層モデルを用いて再現解析を実施し、両モデルのばらつき(κ)は同程度であることを示している。
- 以上から、波源特性のばらつき($\beta_{波源}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。

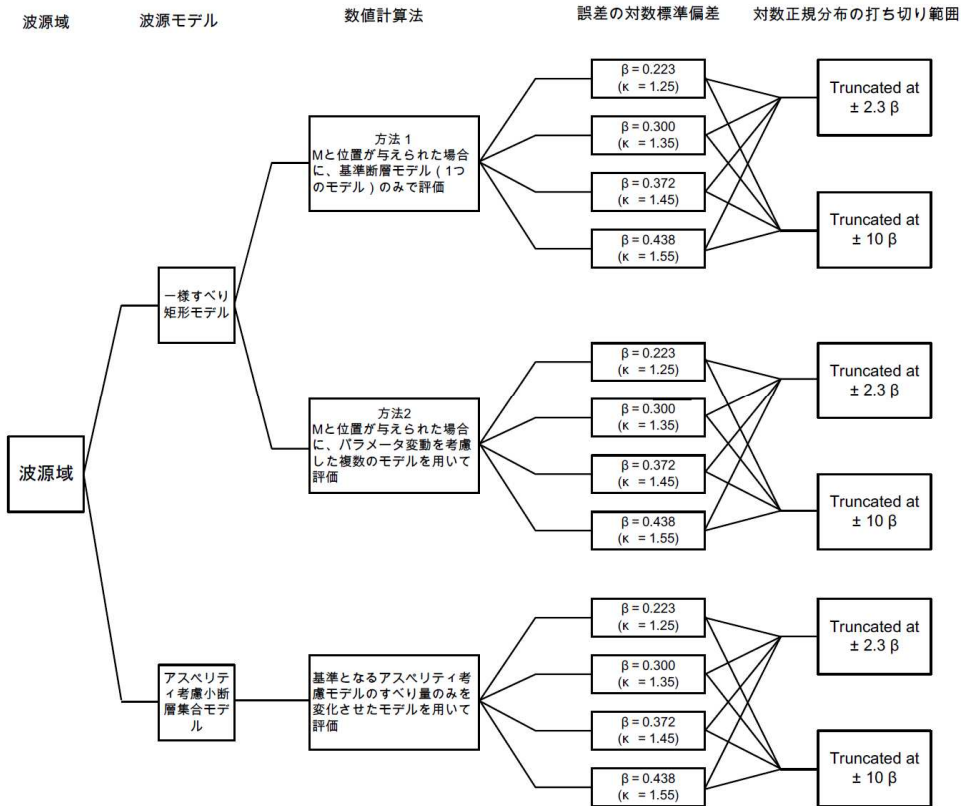


1933年昭和三陸地震津波のインバージョンモデルと相田(1977)モデル(矩形断層モデル)との比較 (中央防災会議(2005)に一部加筆)

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定:土木学会(2009)の評価

- 土木学会(2009)では、矩形断層モデル、並びに不均質モデルで得られた計算水位に含まれるばらつきに関するアンケート結果を踏まえロジックツリーを作成しており、矩形断層モデルの不確かさを考慮した分岐(方法2)と不均質モデルの分岐で、ほぼ同程度の重みを設定している。



津波高さ推定に関するロジックツリー
(土木学会(2009))

■アンケート結果(土木学会(2009))

【矩形断層モデル(一様すべり矩形モデル):方法1】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.10[0.10]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.30[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.45[0.40]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.15[0.15]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

【矩形断層モデル(一様すべり矩形モデル):方法2】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.40[0.40]
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.35[0.35]
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.20[0.20]
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.05[0.05]
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

[]内の値はH16年度に実施した同じ設問に対する回答の平均

【不均質モデル(アスペリティ考慮小断層集合モデル)】

分岐	考え方	重み【ご記入ください】
①	$\kappa=1.25$ に相当する誤差を含む	0.30
②	$\kappa=1.35$ に相当する誤差を含む	0.40
③	$\kappa=1.45$ に相当する誤差を含む	0.25
④	$\kappa=1.55$ に相当する誤差を含む	0.00
特記事項【できるだけご記入ください】		重みの合計 1.0

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.3 矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差等の分岐設定:まとめ

- 既往津波の再現解析から、波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)は、矩形断層モデルと不均質モデルで有意な差は無いと考えられる。
- また、土木学会(2009)では、アンケート結果を踏まえ、矩形断層モデルの不確かさを考慮した分岐(方法2)と不均質モデルの分岐で同程度の重みを設定している。
- 以上から、矩形断層モデルに、不均質モデルと同じロジックツリーを適用できることを確認した。

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討

5.4 専門家意見聴取結果

- JNES(2014)等の設定方法, 並びに矩形断層モデルに適用するロジックツリーを評価に反映するにあたり, 専門家へ意見聴取を行い, 必要な関連情報等を収集した。
- 各専門家の意見聴取結果を踏まえ, 津波高さ推定に関するロジックツリーを作成・レビューを行い, その妥当性について評価を得た。

【収集した関連情報等】

■ 関連情報1: 土木学会(2011)を参考に設定したロジックツリーを変更することについて

- ✓ 誤差の対数標準偏差(β), 対数正規分布の打ち切り範囲(σ)の定義とその特徴から, 同パラメータは, ハザード評価に与える影響が大きいと判断され, 各指針類の要求事項に照らして, JNES(2014)による最新知見をロジックツリーに反映することの可否。

■ 関連情報2: JNES(2014)の内容とハザード評価の解析条件等との対比に関する考察について

■ 関連情報3: ロジックツリーの見直し及び重み配分設定方法の妥当性について

- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から, 津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta = 0.20 \sim 0.30$ が妥当であり, 土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことの可否(土木学会(2011)の設定方法を削除することの可否)。

■ 関連情報4: 津波高さの推定に関するロジックツリーのうち矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定について

- ✓ 不均質モデルと一様すべりの矩形断層モデルのモデル特性の違いが, 津波高さのばらつき(β)要因である波源特性($\beta_{\text{波源}}$), 伝播特性($\beta_{\text{伝播}}$), 遡上特性($\beta_{\text{遡上}}$)に及ぼす影響について追加検討を実施。
- ✓ 上記結果を踏まえ, 両モデルに同じ分岐・重み配分を適用することの可否。

5.4 専門家意見聴取結果: 関連情報(1/4)

■ 関連情報1: 土木学会(2011)を参考に設定したロジックツリーを変更することについて

- ✓ 誤差の対数標準偏差(β), 対数正規分布の打ち切り範囲(σ)の定義とその特徴から, 同パラメータは, ハザード評価に与える影響が大きいと判断され, 各指針類の要求事項に照らして, JNES(2014)による最新知見をロジックツリーに反映することの可否。

専門家のご意見

- JNES(2014)にもあるように, 土木学会(2011)での検討では, 空間格子間隔が現時点より粗い(100m~200m)ので, ばらつきが大きくなるのは当然の結果である。また, 土木学会(2011)ではすべりの不均質性をほとんど考慮していないのに対し, 今回は不均質性を考慮しているのではばらつきは小さくなる。以上より, JNES(2014)の最新知見を評価に反映することは必要。
- 3.11津波再現モデルによる広域の痕跡高に対する計算値のばらつき κ は1.35程度であり, 11の歴史津波を対象とした土木学会(2011)での検討結果 $\kappa=1.45$ と比較して小さくなっていることから, JNES(2014)等の最新知見を評価に反映することは必要。
- 3.11地震から得られた知見を考慮したJNES(2014)の知見は, 評価に取り入れるべき。

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
5.4 専門家意見聴取結果: 関連情報(2/4)

■関連情報2: JNES(2014)の内容とハザード評価の解析条件等との対比に関する考察について

専門家のご意見

- ハザード評価の解析条件等は, JNES(2014)の設定方法を評価に反映する条件を満足している。

5.4 専門家意見聴取結果: 関連情報(3/4)

■ 関連情報3: ロジックツリーの見直し及び重み配分設定方法の妥当性について

- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から、津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta=0.20\sim 0.30$ が妥当であり、土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことの可否(土木学会(2011)の設定方法を削除することの可否)

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> 誤差の対数標準偏差(β)については、JNES(2014)のみで良いと考えるが、対数正規分布の打ち切り範囲(σ)について、打ち切りなし($\pm 10\sigma$)の分岐を削除する明確な知見は無いのが現状。具体的には、土木学会(2011)の感度解析を例に考えると、中央値水位15m、$\kappa=1.35$のとき、$\pm 2.3\sigma$の曲線から算定される最大水位が30m、$\pm 10\sigma$の曲線から算定される最大水位が300mとなる。300mの津波水位は非現実的だが、30mを超える可能性は無いかと考えた場合、ゼロとは言えないので、分岐として考慮することが必要と考える。 その場合の重みは、分岐として成立する可能性が残されると考えて、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)の検討は3.11地震津波だけを対象としたものであり、分岐を変更するからには、歴史津波のうち比較的痕跡高の信頼性が高い1960年以降の津波も対象に検証を行う必要があると考える。ただし、JNES(2014)の知見反映は必要と考えられることから、JNES(2014)の分岐設定と土木学会(2011)の分岐設定をロジックツリーとして表現することが考えられる。 その場合の重みについて、取り敢えずは「JNES(2014)の対案として土木学会(2011)」と考えることができるので、均等配分(0.5:0.5)。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)の分岐を採用する方向性に問題はないと考えるが、土木学会(2011)を完全に削除して良いかどうかは判断が難しい。したがって、土木学会(2011)を削除することについては、慎重な対応が必要。
<ul style="list-style-type: none"> JNES(2014)は、土木学会(2011)の課題であった10^{-5}以下の低頻度における評価値の改善に繋がっていると考えられる。ハザード評価の解析条件等の比較に矛盾はないことから、JNES(2014)の設定方法を採用することに問題はない。

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
5.4 専門家意見聴取結果: 関連情報(4/4)

■関連情報4: 津波高さの推定に関するロジックツリーのうち矩形断層モデルに適用する誤差の対数標準偏差(β)等の分岐設定について

- ✓ 不均質モデルと一様すべりの矩形断層モデルのモデル特性の違いが、津波高さのばらつき(β)要因である波源特性($\beta_{\text{波源}}$), 伝播特性($\beta_{\text{伝播}}$), 遡上特性($\beta_{\text{遡上}}$)に及ぼす影響について追加検討を実施。
- ✓ 上記結果を踏まえ、両モデルに同じ分岐・重み配分を適用することの可否。

専門家のご意見
<ul style="list-style-type: none"> • 津波地震, 正断層型地震は, 1枚の矩形断層モデルと不均質モデルを比較し, 波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)が同程度であることを確認していることから, 不均質モデルと同じ分岐, 重みを適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> • 従来のM8クラスの津波については, 土木学会(2009)での検討事例も踏まえると, 矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。また, 3.11地震のような不均質性が見られる連動型地震については, 矩形断層モデルを使用していない。 • 以上から, 今回の検討内容を根拠に, 矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> • 土木学会(2009)での検討事例も踏まえると, 矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。 • 上記要因について, 不均質モデルはプレート境界面の形状を固定することが大きな制約となる。一方, 矩形断層モデルは自由度を持って傾斜角を設定できること等から, モデルの違いによるκの差がそれほど見られないと考えている。 • 以上から, 矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
<ul style="list-style-type: none"> • 土木学会(2009)のアンケート結果にもあるように, 矩形断層モデルは不確かさを考慮すれば, 不均質モデルと同程度のκになると考える。 • 広域(広い範囲)のκと比較して, 確率論で評価する特定地点(狭い範囲)のκは小さいことも踏まえれば, 不確かさを考慮した矩形断層モデルであれば, 不均質モデルと同等の分岐・重みを用いることが出来ると考える。 • 以上から, 矩形断層モデルの数値計算法のうち不確かさを考慮しない「方法1」の分岐は削除する必要があるのではないかと考える。

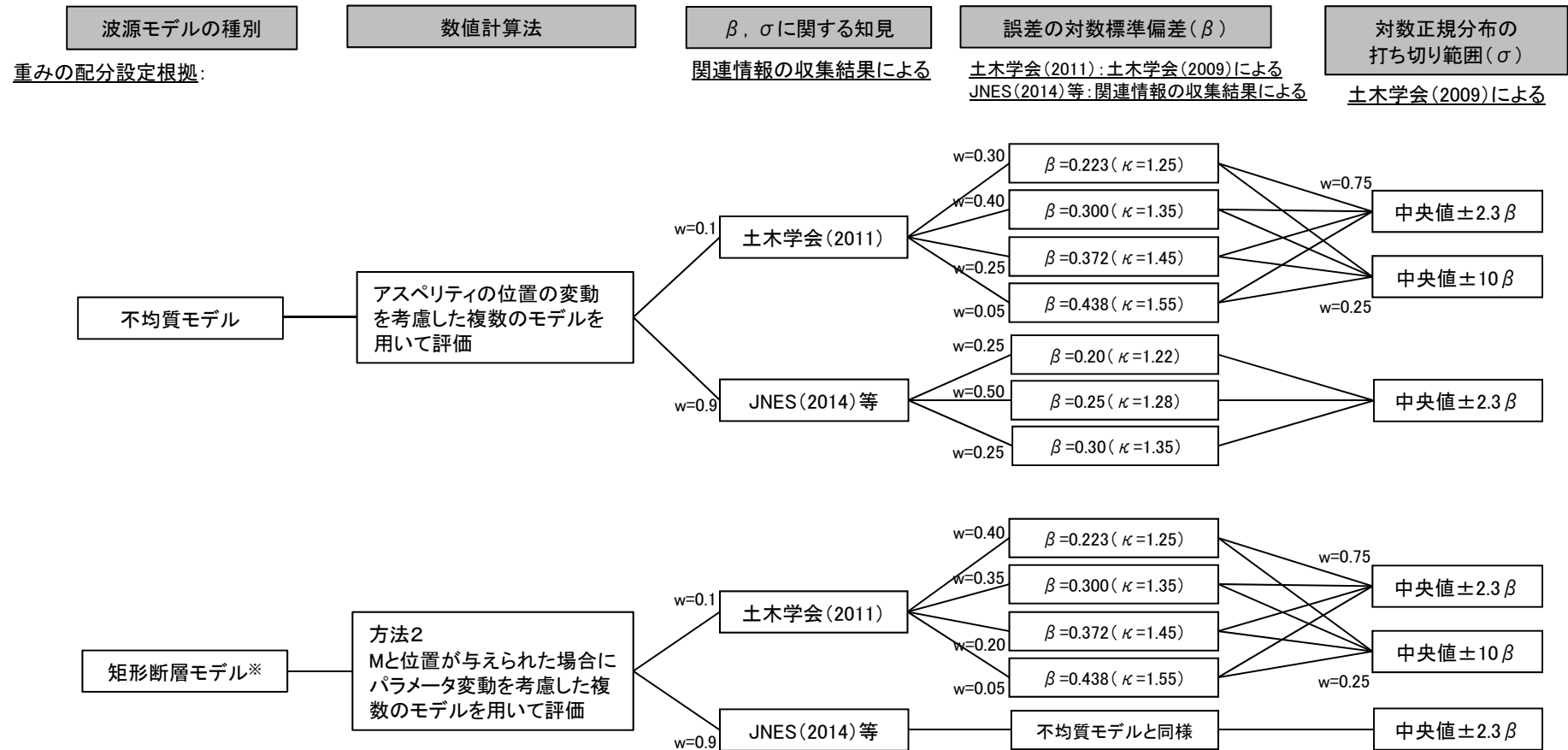


各関連情報に対する専門家の意見聴取結果を踏まえ、津波高さ推定に関するロジックツリーを作成・レビューを行い(詳細は次頁に記載)、その妥当性について評価を得た。

IV. 年超過確率の参照 5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
5.4 専門家意見聴取結果:レビュー内容

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

- 各専門家意見を総合的に踏まえ、 β 、 σ についてはJNES(2014)の分岐設定と土木学会(2011)の分岐設定をロジックツリーとして表現し、重み配分は、JNES(2014)を0.9、土木学会(2011)を0.1とする。矩形断層モデルについては、パラメータの変動を考慮した複数のモデルを用いて評価することを基本とし(=方法1を削除)、不均質モデルと同じ β 、 σ の分岐・重み配分を適用する。



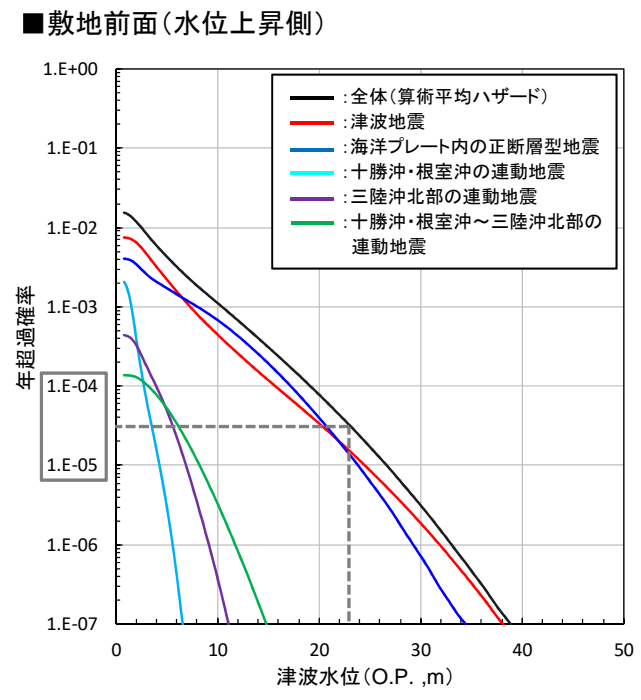
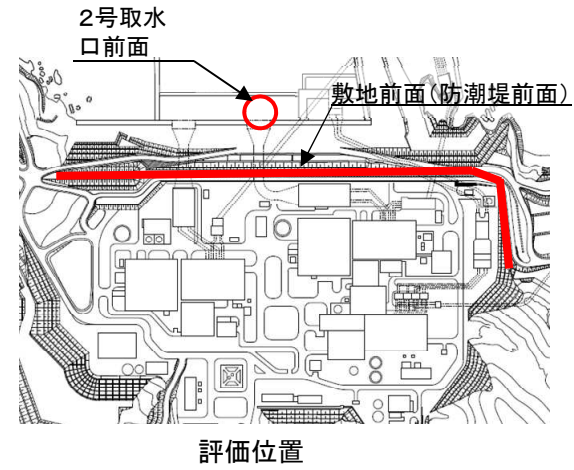
※: M9クラスの巨大地震については、不均質モデルを用いて評価している(矩形断層モデルは用いていない)。

IV. 年超過確率の参照

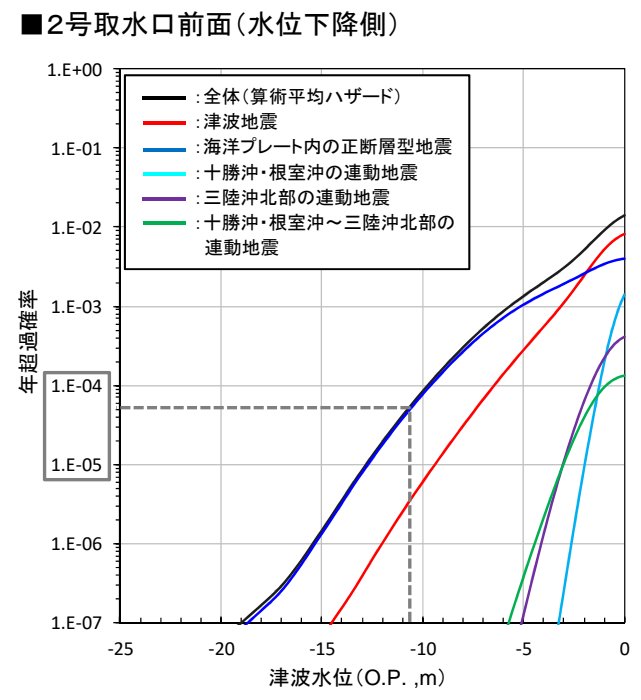
1. 検討対象領域の設定に係る概略検討
2. 土木学会(2011)のロジックツリー
3. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模に関する検討
4. 地震本部(2017a)の知見が津波ハザード曲線に与える影響
5. 津波高さ推定に関するロジックツリー設定に関する検討
6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果
 6. 1 年超過確率の参照
 6. 2 既評価と今回評価の比較

IV. 年超過確率の参照 6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果
6.1 年超過確率の参照

- 基準津波による各評価位置の津波水位に対する年超過確率は、敷地前面(水位上昇側)で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、2号取水口前面(水位下降側)で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。



	津波水位
基準津波 (水位上昇側)	O.P.+23.1m

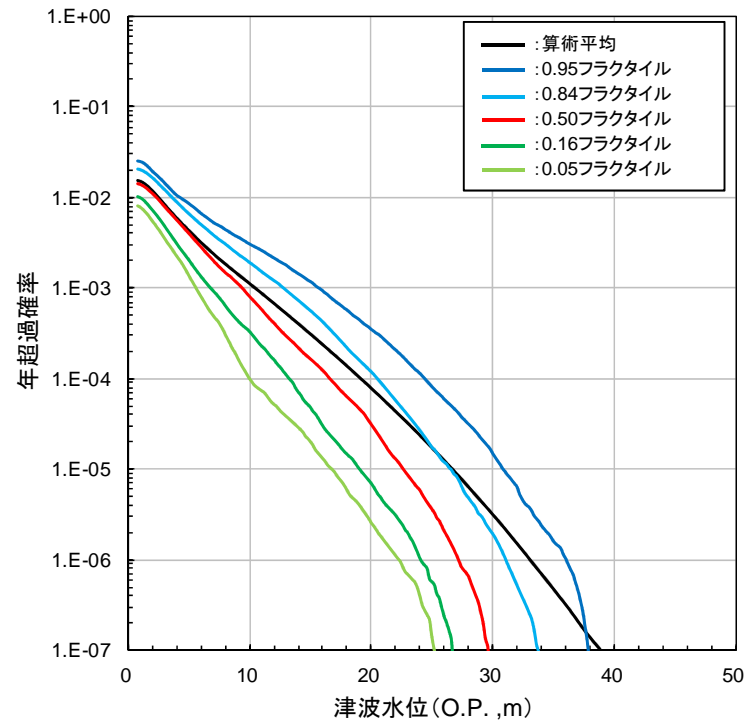


	津波水位
基準津波 (水位下降側)	O.P.-10.6m

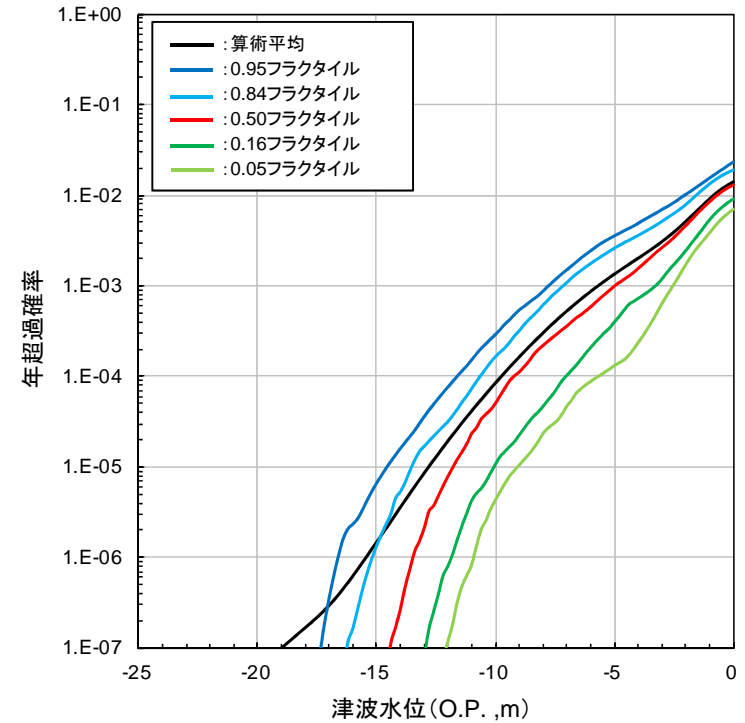
IV. 年超過確率の参照 6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果
 6. 1 年超過確率の参照: フラクタイルハザード曲線

- 敷地前面(水位上昇側), 2号取水口前面(水位下降側)のフラクタイルハザード曲線を以下に示す。

■敷地前面(水位上昇側)

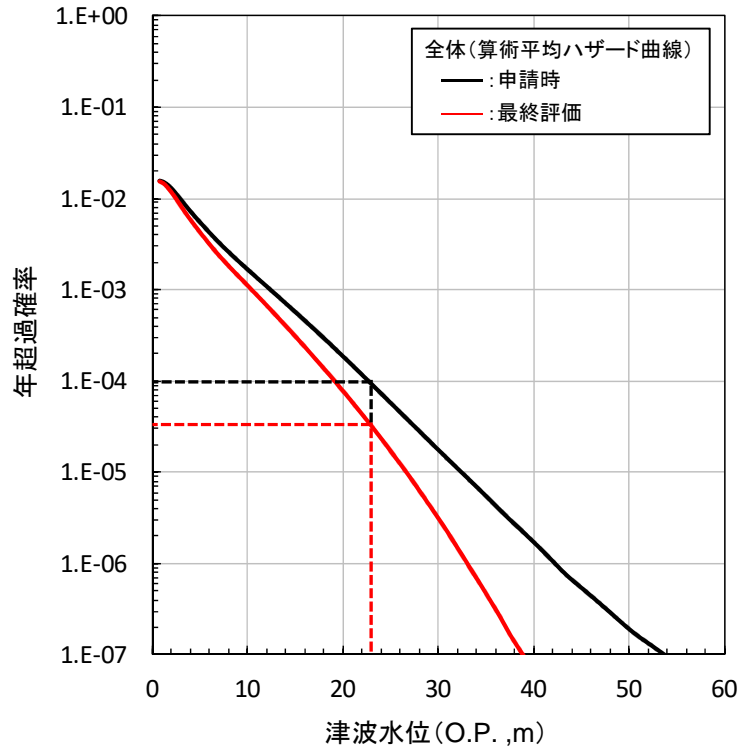


■2号取水口前面(水位下降側)



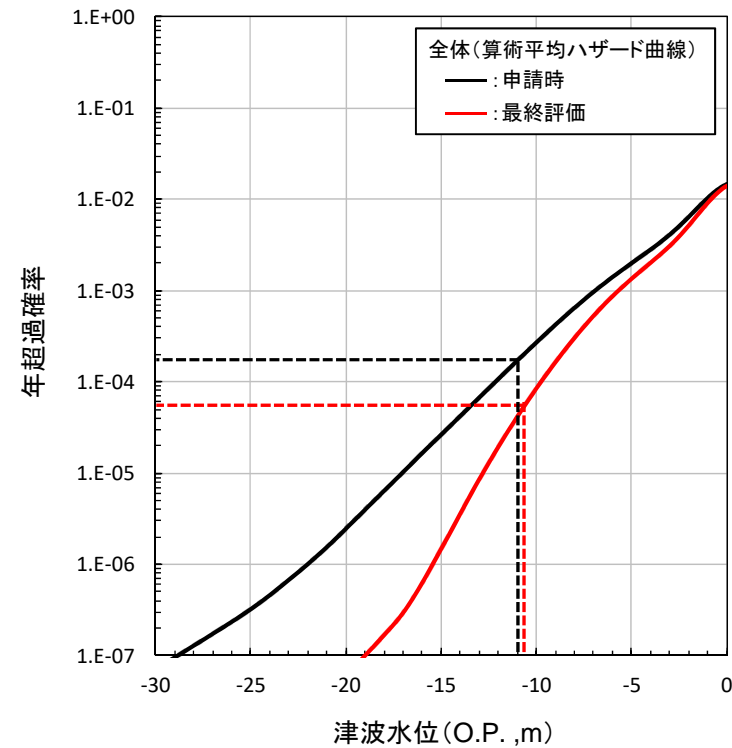
IV. 年超過確率の参照 6. 敷地前面, 2号取水口前面における津波ハザード評価結果
 6.2 既評価と今回評価の比較

■敷地前面(水位上昇側)



基準津波 (水位上昇側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.+23.1m	10 ⁻⁴ 程度
最終評価	O.P.+23.1m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度

■2号取水口前面(水位下降側)



基準津波 (水位下降側)	津波水位	年超過確率
申請時	O.P.-11.0m	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ 程度
最終評価	O.P.-10.6m	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ 程度

V. 砂移動評価

1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料
2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析
3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット
4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

V. 砂移動評価

1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料
 1. 1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について
 1. 2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較
2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析
3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット
4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

V. 砂移動評価 1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

1.1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について

- 高橋ほか(1999)では、掃流砂量及び巻き上げ量の測定実験が行われ、シールズ数(無次元掃流力)で整理されており、実験範囲はシールズ数が概ね0.2~1程度となっている。
- 高橋(2012)によれば、高橋ほか(1999)の手法において、津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性があるため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入しているとされている。

高橋ほか(1999)による掃流砂量とシールズ数の関係

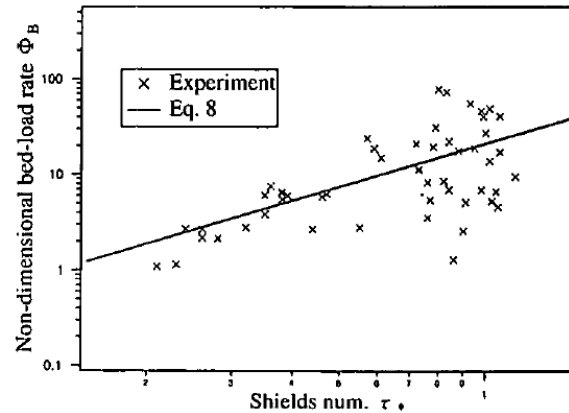


図-4 実験から求めた掃流砂量とシールズ数の関係

高橋ほか(1999)による巻き上げ砂量とシールズ数の関係

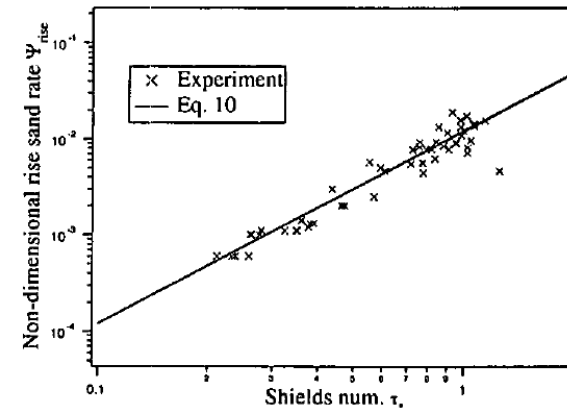


図-5 実験から求めた巻き上げ砂量とシールズ数の関係

4. 数値モデルの課題

高橋ら (1999) によるモデルの課題を以下に列記する。
 ・ 現行モデルでは単一粒径の砂を仮定している。しかし、実海岸は混合砂で形成されているため、混合砂を取り扱えるモデルが必要である。高橋ら (2011) は津波による砂移動を再現するための大型実験水路を開発して、粒径ごとの水理実験を実施した。その結果、以下の値を得ており、これらを用いたモデルの拡張が期待される。

$$\alpha = \begin{cases} 5.6 & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.0 & (d=0.267\text{mm}) \\ 2.6 & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{cases} 7.0 \times 10^{-5} & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.4 \times 10^{-5} & (d=0.267\text{mm}) \\ 1.6 \times 10^{-5} & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (9)$$

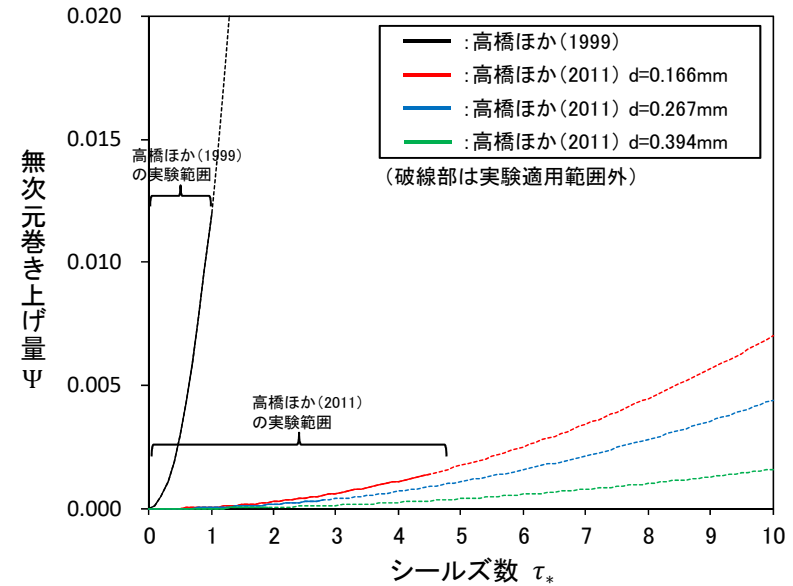
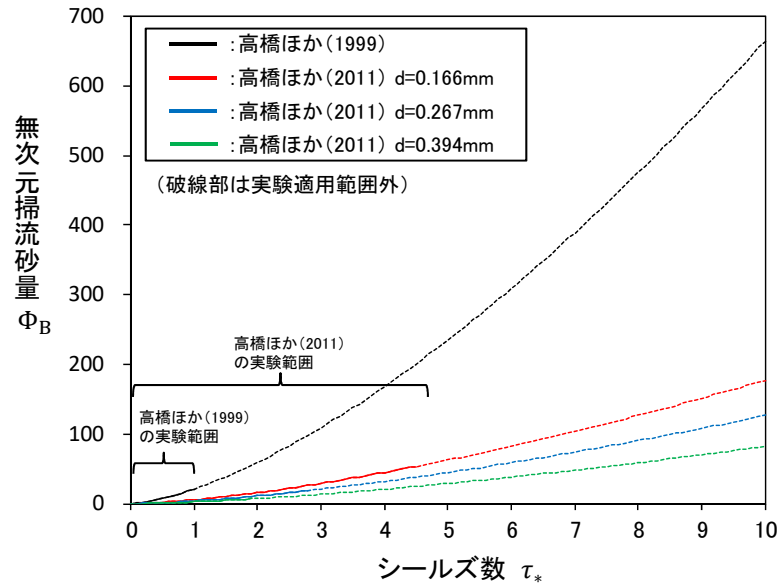
・ 現行モデルでは、せん断応力の計算に Manning 則 (式 (2) および式 (3) の左辺第 5 項) を用いているが、全水深が小さい場合に底面でのせん断応力を過大に評価する傾向がある。特に遡上時にはこの傾向が強くなるため、津波堆積物のシミュレーションにおいてはせん断応力の計算方法を見直して、流速の鉛直分布を考慮することが必要である。
 ・ 底面でのせん断応力の増加に伴い浮遊砂層に巻き上げ砂が供給され、浮遊砂濃度が増大する。浮遊砂濃度が極めて大きくなると、乱れ強度が抑制され、浮遊砂を保持する力が減少すると考えられる。従来の河川流や波浪を対象とした場合では浮遊砂が希薄であるため問題にならないが、津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性がある。そのため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入しているが、物理的なメカニズムを考慮した飽和浮遊砂濃度のモデル化が必要である。飽和浮遊砂濃度を水理実験で発生させることは難しいため、固液混相流に関する砂粒子レベルの数値実験が期待される。

・ 複雑な実地形や波形勾配が大きな津波を対象とした場合、流速が時空間的に急激に変化することがあり、せん断応力の不連続性が強くなることがある。そのような流況が発生すると、現行モデルでは計算が不安定になりやすいため、計算スキームの改良が必要である。
 ・ 固定床計算領域 (流水のみを計算する領域) と移動床計算領域 (流水と流砂の両方を計算する領域) の境界条件が確立されていない。特に浅海域では流砂量の不連続が生じて、計算の不安定性を招きやすいため、物理的な境界条件の検討と計算スキームの改良が必要である。

V. 砂移動評価 1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

1.2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較

- 掃流砂量及び巻き上げ量の算定式の係数について、高橋ほか(1999)はシールズ数が概ね1以下の実験結果であるのに対し、高橋ほか(2011)はシールズ数が概ね1~5程度の実験結果であり、シールズ数が大きくなるほど両者の乖離が顕著に大きくなる。
- 上記について、高橋ほか(2011)によれば、高橋ほか(1999)は、ヘッドタンクから細い円管で水路内に導く際の整流化が十分ではなかった等の問題の可能性があるとしている。



評価手法	無次元掃流砂量
高橋ほか(1999)	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 21\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.166mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 5.6\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.267mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 4.0\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.394mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 2.6\tau_*^{1.5}$

評価手法	無次元巻き上げ量
高橋ほか(1999)	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 0.012\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.166mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 7.0 \times 10^{-5}\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.267mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 4.4 \times 10^{-5}\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.394mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 1.6 \times 10^{-5}\tau_*^2$

ここに、 Φ_B : 無次元掃流砂量

q_B : 掃流砂量

Ψ : 無次元巻き上げ量

q_s : 巻き上げ量

τ_* : シールズ数

$s := \sigma / \rho - 1$

σ : 砂の密度(kg/m³)

ρ : 海水の密度(kg/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

d : 砂の粒径(m)

V. 砂移動評価

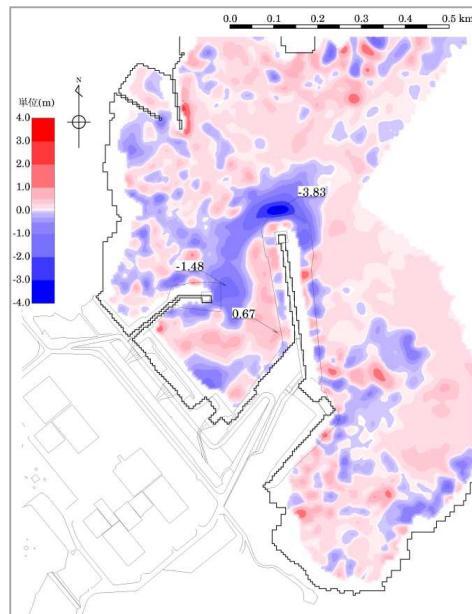
1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料
2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析
 - 2.1 高橋ほか(1999)の手法
 - 2.2 高橋ほか(2011)の手法
3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット
4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

V. 砂移動評価 2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析

2.1 高橋ほか(1999)の手法

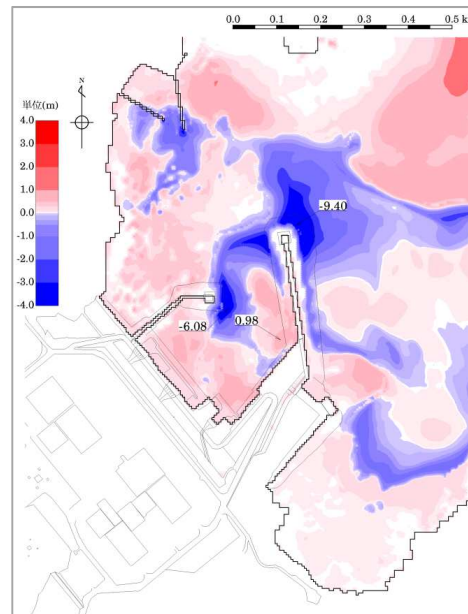
■高橋ほか(1999)

- 発電所周辺の3.11地震津波を良好に再現する女川再現モデルを用いて、浮遊砂濃度上限値1%とした場合の再現解析を実施した結果、全体的な海底地形変化の分布は過大な傾向を示すことを確認した。
- 解析から得られる最大流速を用いて、最大シールズ数の空間分布を整理した結果、浸食傾向が見られる防波堤港口部付近では、シールズ数が顕著に大きくなっており、高橋ほか(1999)で論じられている範囲(概ね1以下の実験結果)を大きく超えている。
- 浮遊砂体積濃度上限値の設定について、高橋(2012)によれば、「高橋ほか(1999)の手法は、河川流や波浪を対象とした場合では浮遊砂が希薄であるため問題にならないが、津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性があるため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入している。」としている。
- 以上から、浮遊砂濃度上限値1%は保守的な設定値と考えられる。

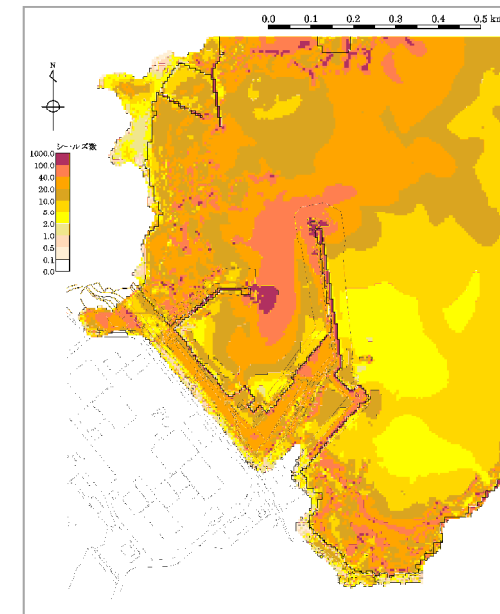


3.11地震に伴う津波による
海底地形の変化(実績)^{※2}
(赤:堆積域, 青:浸食域)

※2:当社深浅測量調査(2010.10, 2011.5)を基に
作成(東北電力(2011))



海底地形変化(再現解析)
(赤:堆積域, 青:浸食域)



最大シールズ数の空間分布[※]
(再現解析)

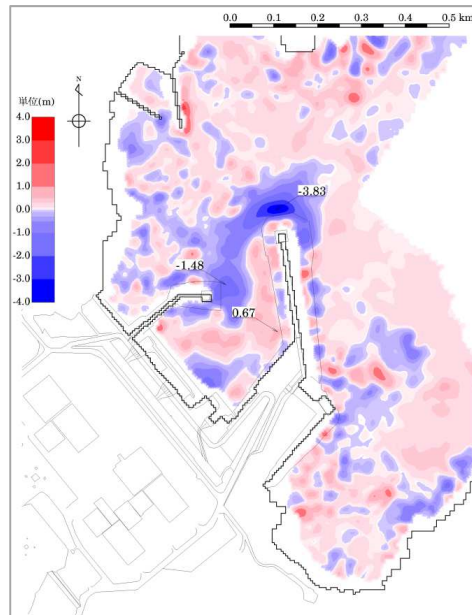
※:防波堤先端部等で見られる100を超えるシールズ数は解析的に生じるものであり、高橋ほか(1999)、高橋ほか(2011)の水理模型実験によるシールズ数のオーダーは1桁である。

V. 砂移動評価 2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析

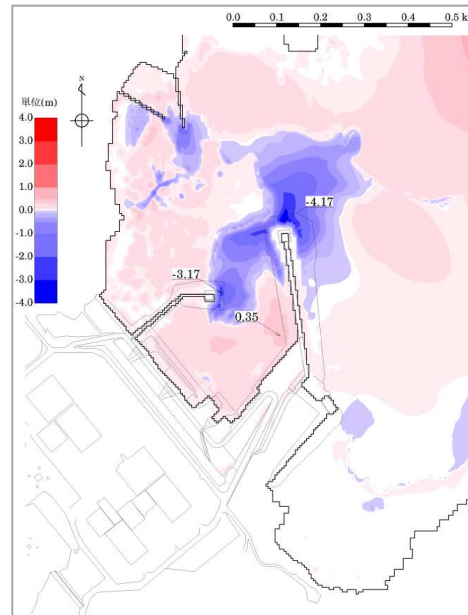
2.2 高橋ほか(2011)の手法

■高橋ほか(2011)(流砂量式・巻き上げ量算定式: 粒径 $d=0.166\text{mm}$ の実験式)

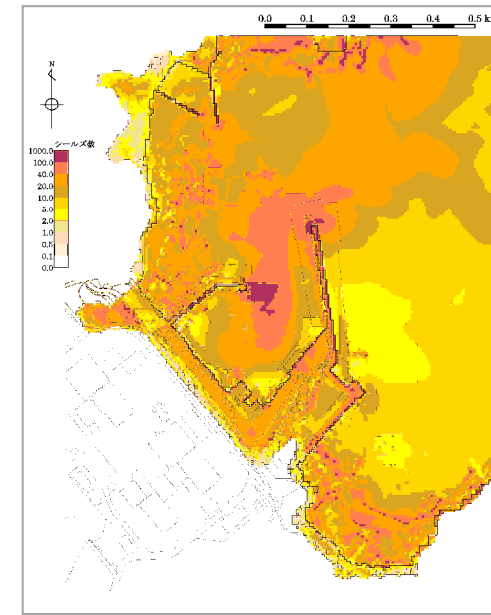
- 参考に、高橋ほか(2011)で示される流砂量式、巻き上げ量算定式(粒径 $d=0.166\text{mm}$ の実験式)を用いて、浮遊砂濃度上限値1%とした場合の再現解析を実施した結果、全体的な海底地形変化の分布を概ね再現することを確認した。
- 解析から得られる最大流速を用いて、最大シールズ数の空間分布を整理した結果、前述した高橋ほか(1999)による解析結果と同様に、浸食傾向が見られる防波堤港口部付近のシールズ数は顕著に大きく、高橋ほか(2011)で論じられている範囲(概ね1~5程度の実験結果)を大きく超えているが、高橋ほか(1999)と比較して再現性が向上している要因は、粒径依存性を考慮した新たな算定式であること等の影響によるものと考えられる。



3.11地震に伴う津波による
海底地形の変化(実績)
(赤: 堆積域, 青: 浸食域)



海底地形変化(再現解析)
(赤: 堆積域, 青: 浸食域)



最大シールズ数の空間分布
(再現解析)

以上から、高橋ほか(1999)の手法に用いる浮遊砂濃度上限を1%に設定した。

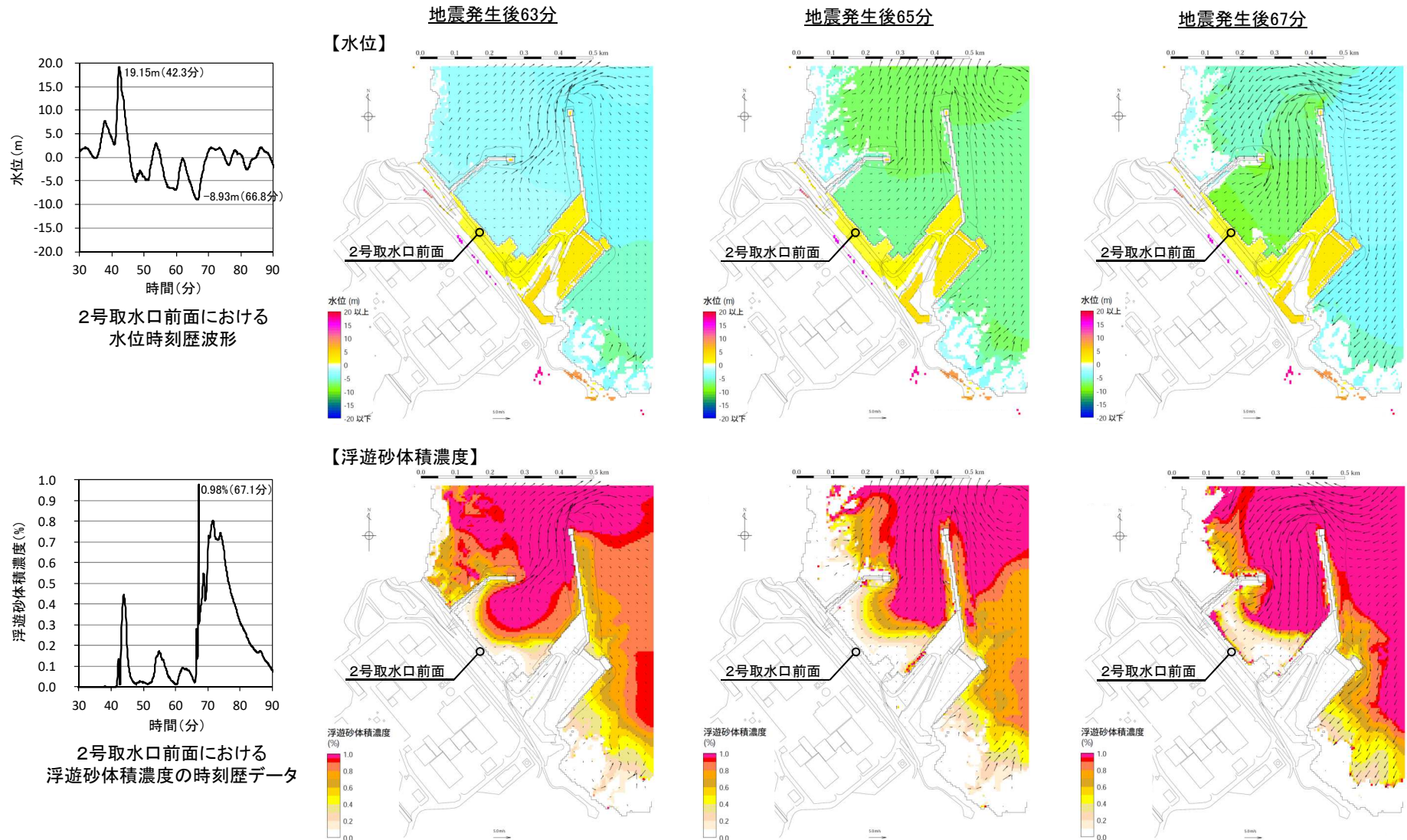
V. 砂移動評価

1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料
2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析
3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット
 - 3.1 基準津波(水位上昇側)
 - 3.2 基準津波(水位下降側)
4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

3.1 基準津波(水位上昇側)(1/2)

■地震発生後63分～67分

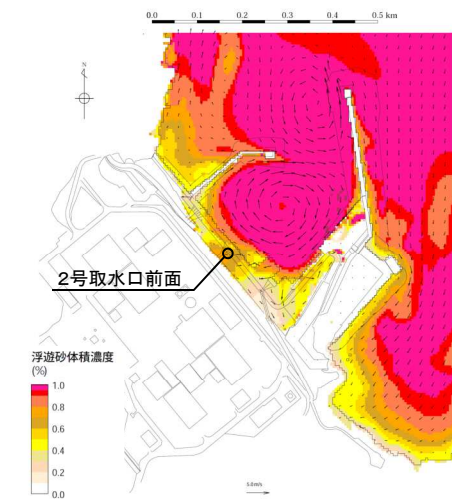
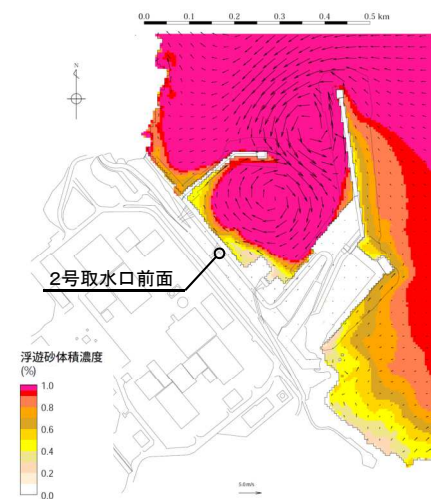
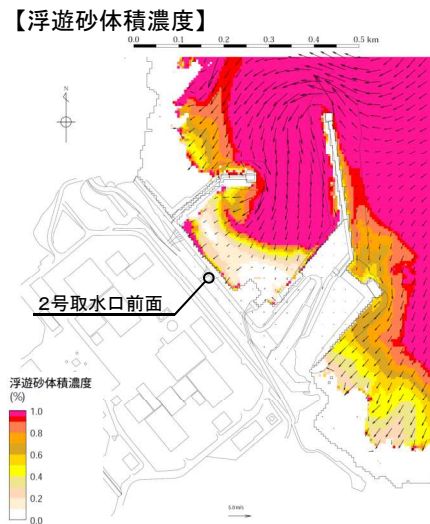
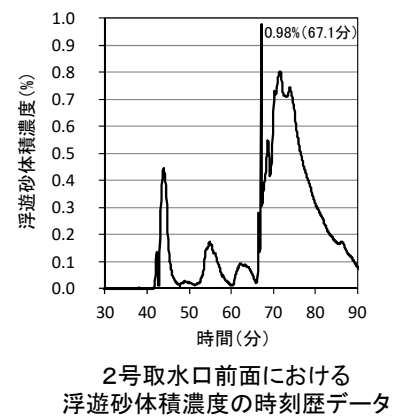
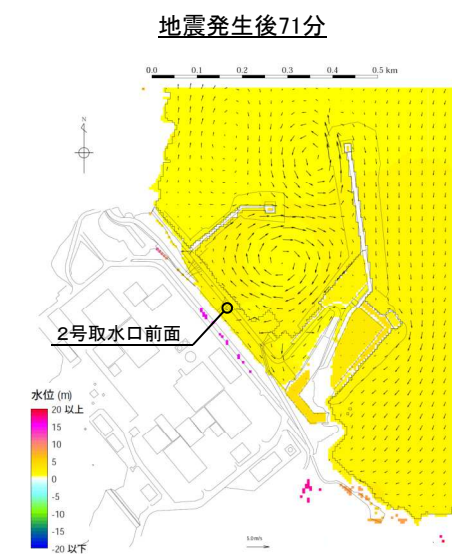
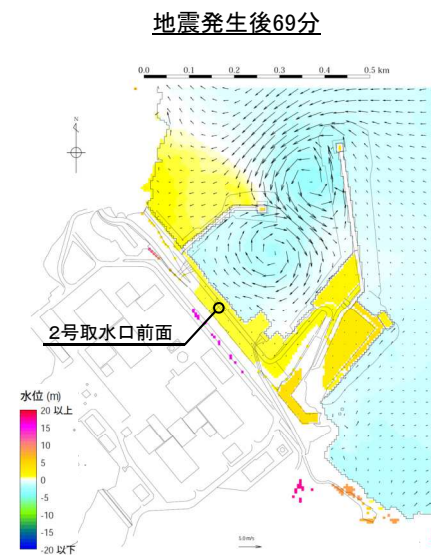
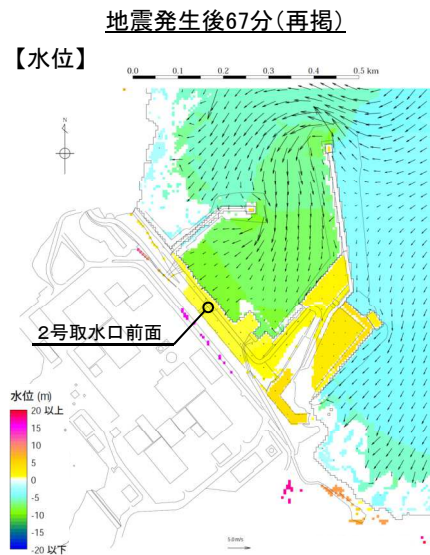
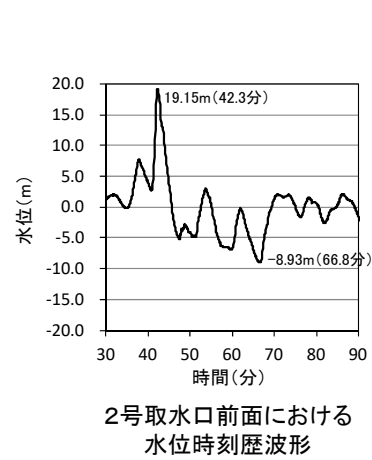
- ・ 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約67分前後の水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- ・ 水位低下時(63分～65分)に沖合へ移動した濃度が高い浮遊砂が, 水位上昇時に敷地方向へ移動し, 2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(67分), その後, 津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため, 2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(69分～71分(次頁記載))。



V. 砂移動評価 3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット

3.1 基準津波(水位上昇側)(2/2)

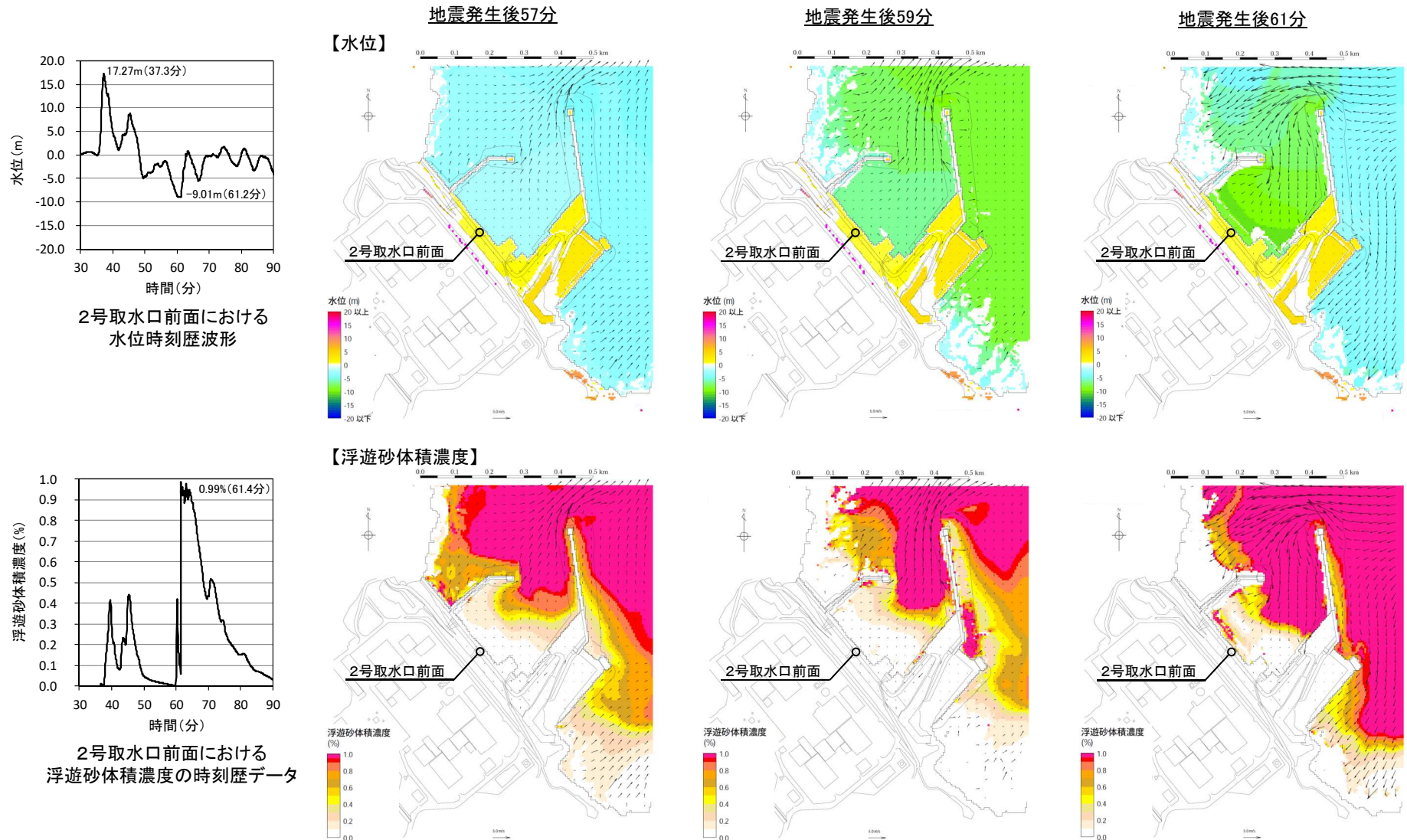
■地震発生後67分～71分



3.2 基準津波(水位下降側)(1/2)

■地震発生後57分～61分

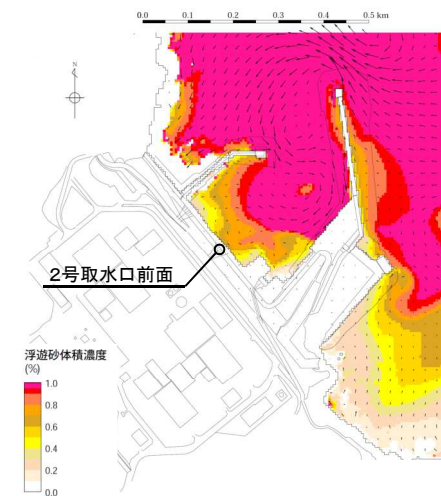
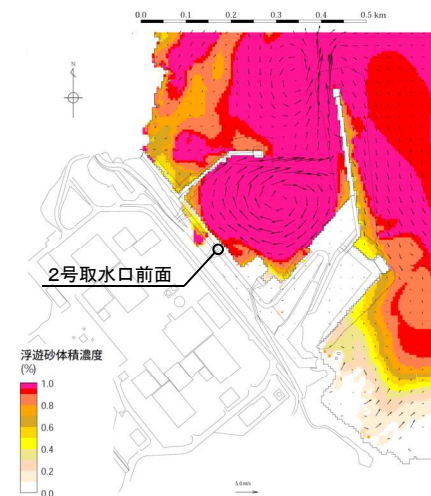
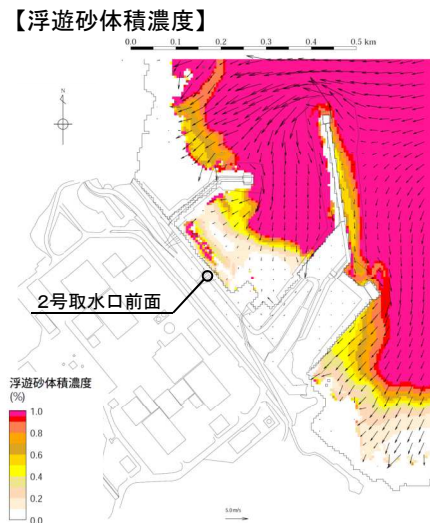
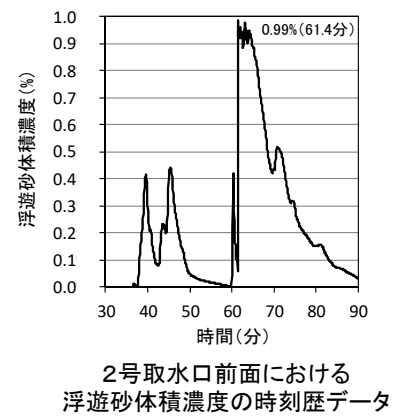
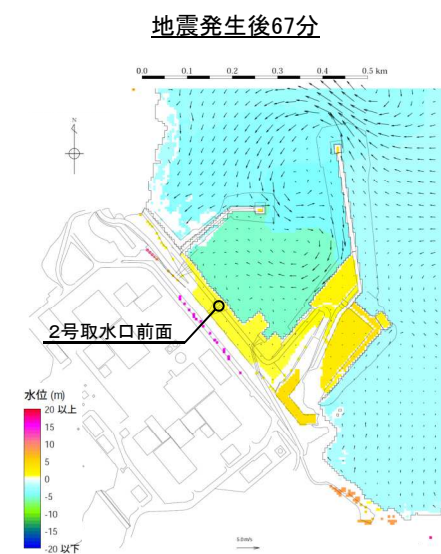
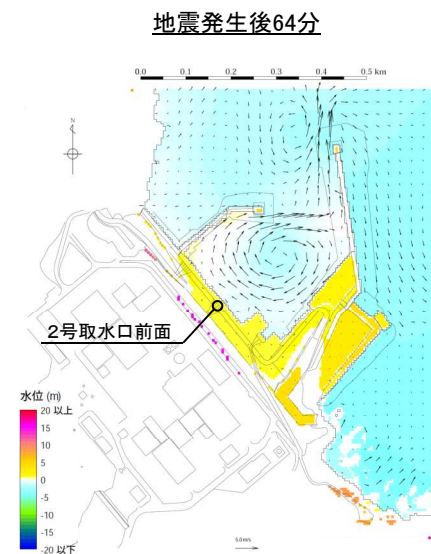
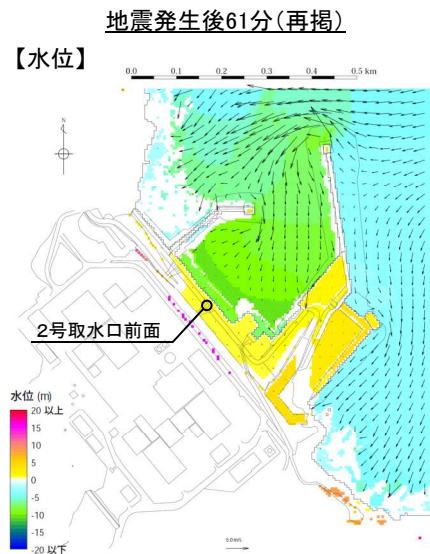
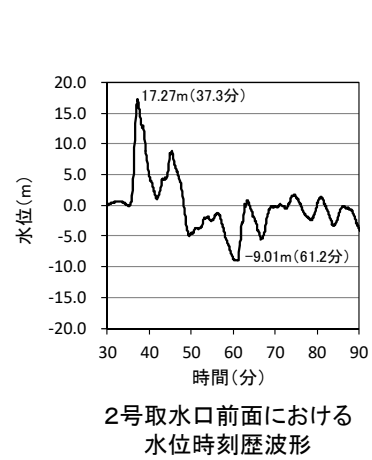
- 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約61分前後の水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- 水位低下時(57分～59分)に沖合へ移動した濃度が高い浮遊砂が, 水位上昇時に敷地方向へ移動し, 2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(61分), その後, 津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため, 2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(64分～67分(次頁記載))。



V. 砂移動評価 3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット

3.2 基準津波(水位下降側)(2/2)

■地震発生後61分～67分



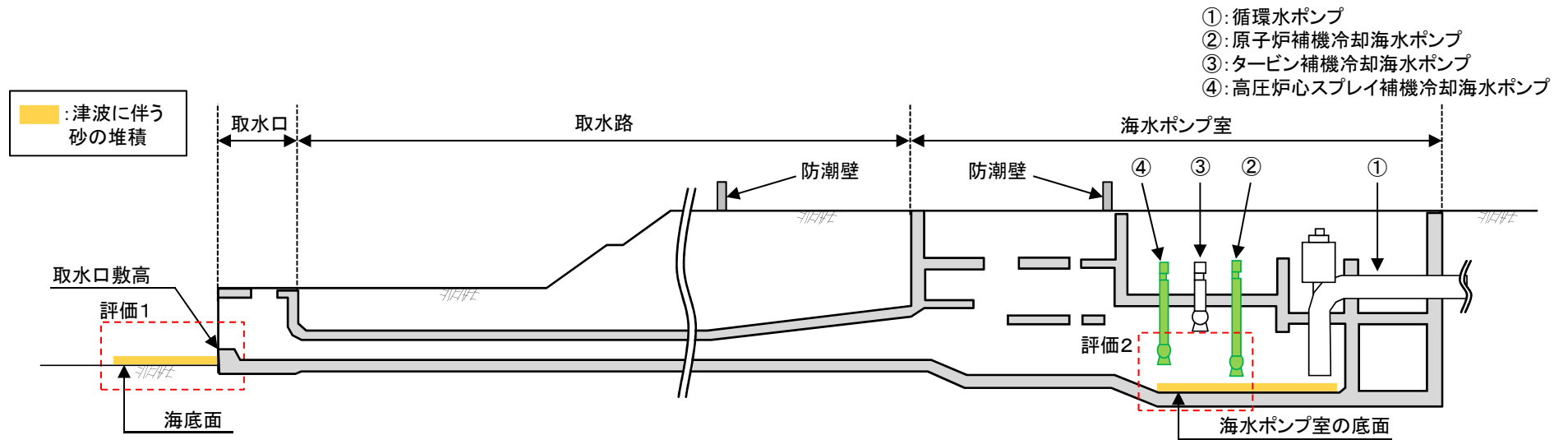
V. 砂移動評価

1. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料
2. 3.11地震津波に伴う砂移動の再現解析
3. 高橋ほか(1999)による水位及び浮遊砂体積濃度のスナップショット
4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価
 4. 1 評価方針
 4. 2 浮遊砂濃度上限値の設定
 4. 3 海底地形変化
 4. 4 海水ポンプ室内における砂の堆積
 4. 5 まとめ

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.1 評価方針

- 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)(下図:評価1)及び2号海水ポンプ室内における砂の堆積高さ(下図:評価2)を評価した。
- 浮遊砂濃度上限値3%の設定根拠を次頁に示す。



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

取水口高さ, 非常用海水ポンプの高さ

		設定値	備考			
取水口高さ		1.20m	取水口敷高: O.P.-6.3m, 海底面: O.P.-7.5m			
非常用海水ポンプの高さ	原子炉補機冷却海水ポンプ	1.15m	海水ポンプの下端	O.P.-11.25m	海水ポンプ室の底面	O.P.-12.4m
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	2.45m		O.P.-9.95m		

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.2 浮遊砂濃度上限値の設定

- 高橋ほか(1999)の砂移動評価に関する文献調査, 並びに発電所周辺における3.11地震津波による砂移動の再現解析結果を踏まえ, 浮遊砂濃度上限値1%を基本とし, 各検証箇所(各検証津波)(下表)を再現する浮遊砂濃度上限値を上回る3%を影響評価用の設定値とした。

■文献調査

- ✓ 上限値5%の検証結果から, 浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ✓ 上限値1%の検証結果から, 浮遊砂濃度上限値1%は妥当な設定値であると考えられる。

文献調査結果

検証箇所 (検証津波)	文献	計算使用 砂粒径	計算格子 間隔	浮遊砂濃度 上限値	浮遊砂濃度上限値に関する評価
気仙沼湾 (1960年チリ津波)	玉田ほか (2009)	0.001~ 1mm	25m, 5m	1%, 5%	・ 計算格子間隔5mの場合, 浮遊砂濃度上限値5%は実績値より浸食深を過大に評価
八戸港 (1960年チリ津波)	藤田ほか (2010)	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価 ・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好
宮古湾 (3.11地震津波)	近藤ほか (2012)	0.08mm	10m	1%	・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致 ・ 防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良く一致
気仙沼湾 (3.11地震津波)	森下・ 高橋(2014)	0.3mm	10m	1% 可変※	・ 砂移動評価に影響を及ぼす因子として, 無次元掃流力, 流砂量式係数, 飽和浮遊砂濃度の3つを抽出 ・ 上記3つの因子を同時に変えたモデルにより, 再現性が向上する可能性を示唆 ・ 飽和浮遊砂濃度については, 摩擦速度の関数とすることで再現性の向上に繋がることを示唆

※: 試行的に $C_{sat} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$ と規定(C_{sat} : 飽和浮遊砂濃度, U, V : 断面平均流速(m/s), $\alpha = 0.01$)

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

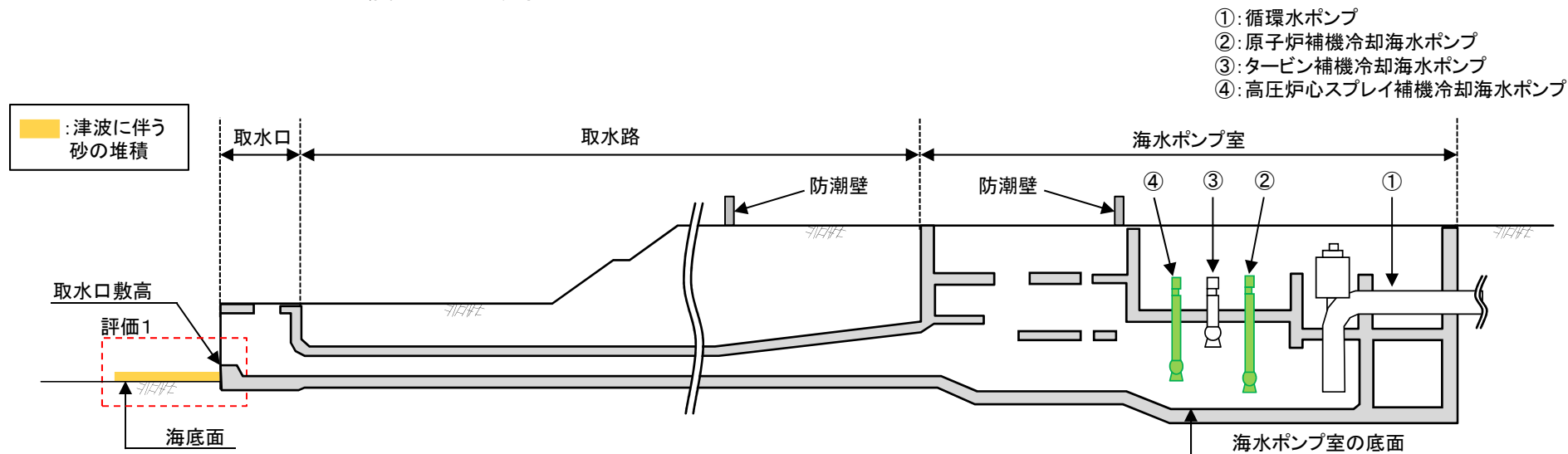
4.3 海底地形変化:評価結果

- 2号取水口前面における砂の堆積高さは最大で0.5m程度であり、取水口高さを上回らない。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。
- 各検討ケースの最大堆積厚分布、2号取水口前面における海底地形変化量の時刻歴データ及び水位、浮遊砂体積濃度のスナップショット等を次頁以降に示す。

評価結果

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	2号取水口前面における 砂の堆積高さ(m)	取水口高さ (m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	3%	0.45	1.20※
水位下降側	高橋ほか(1999)	3%	0.37	

※:取水口敷高:O.P.-6.3m, 海底面:O.P.-7.5m



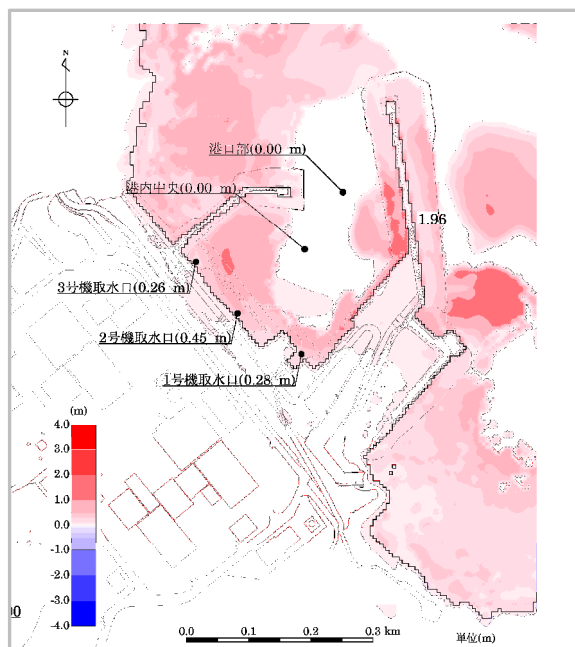
- ①:循環水ポンプ
- ②:原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③:タービン補機冷却海水ポンプ
- ④:高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

評価内容と2号取水設備(概要)の関係

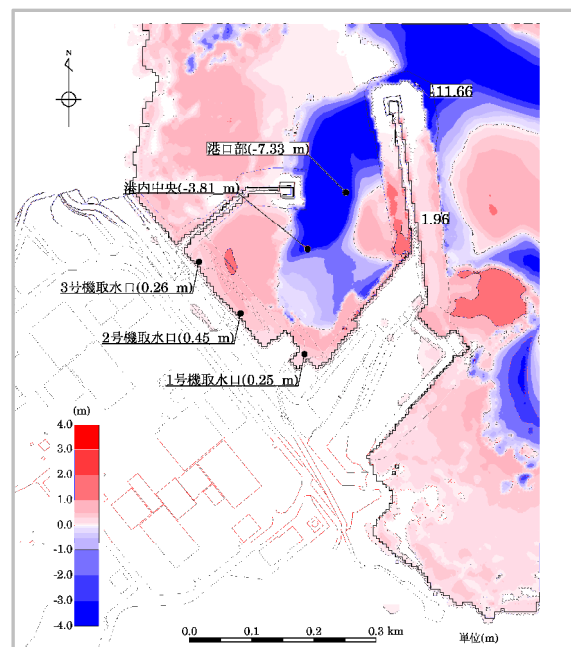
V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価
4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位上昇側)(1/4)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値
水位上昇側	高橋ほか(1999)	3%

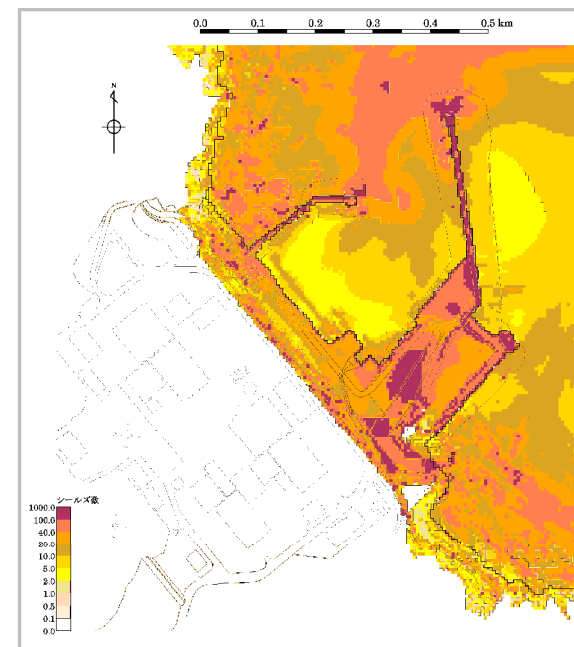
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布



最大シールズ数の空間分布※

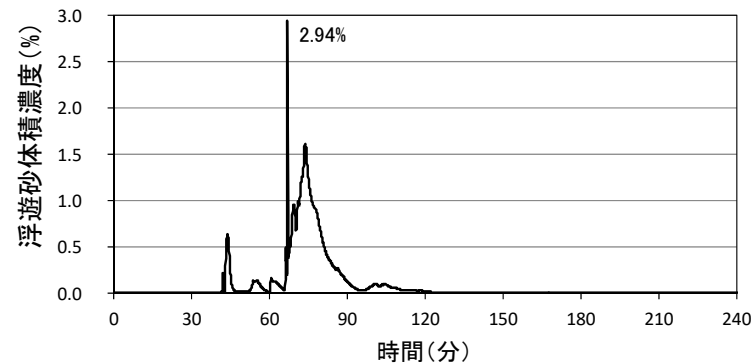
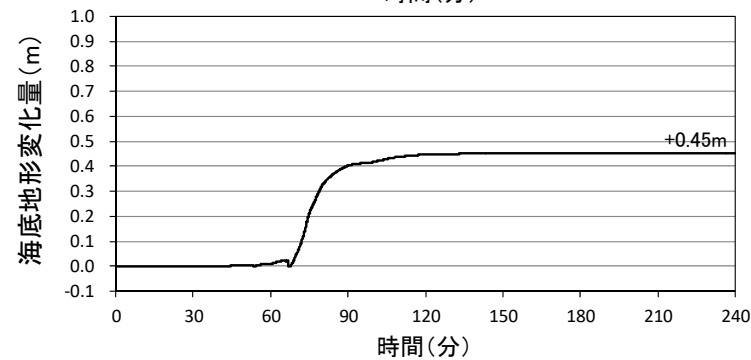
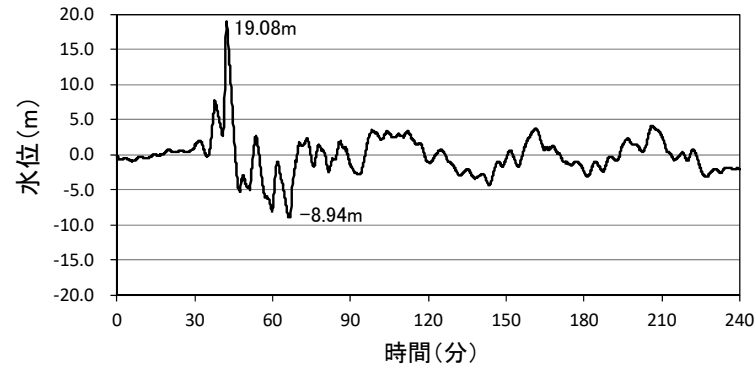
※:防波堤先端部等で見られる100を超えるシールズ数は解析的に生じるものであり, 高橋ほか(1999), 高橋ほか(2011)の水力模型実験によるシールズ数のオーダーは1桁である。

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位上昇側)(2/4)

■2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

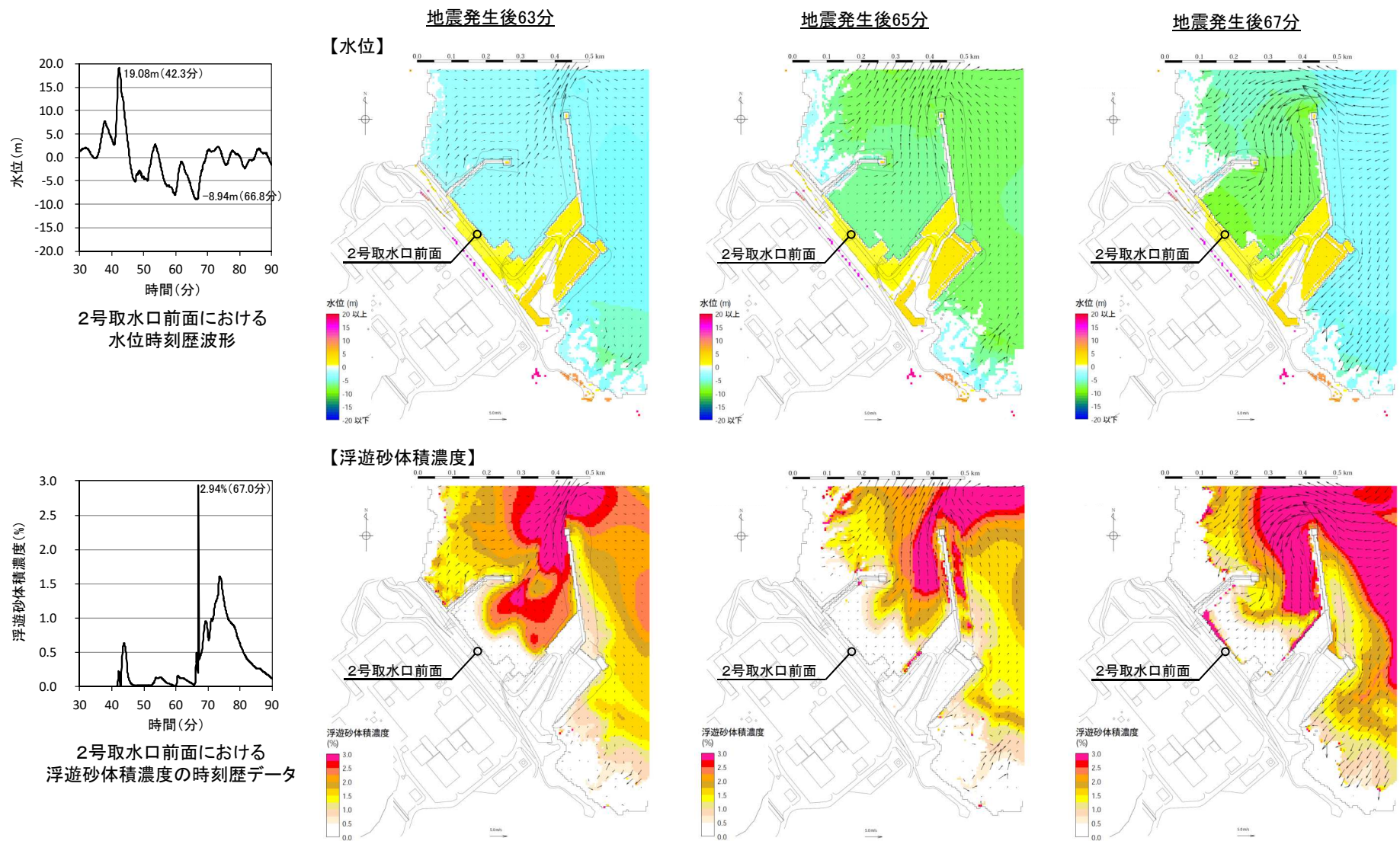
【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:3%】



4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位上昇側)(3/4)

■高橋ほか(1999):水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分~71分)①

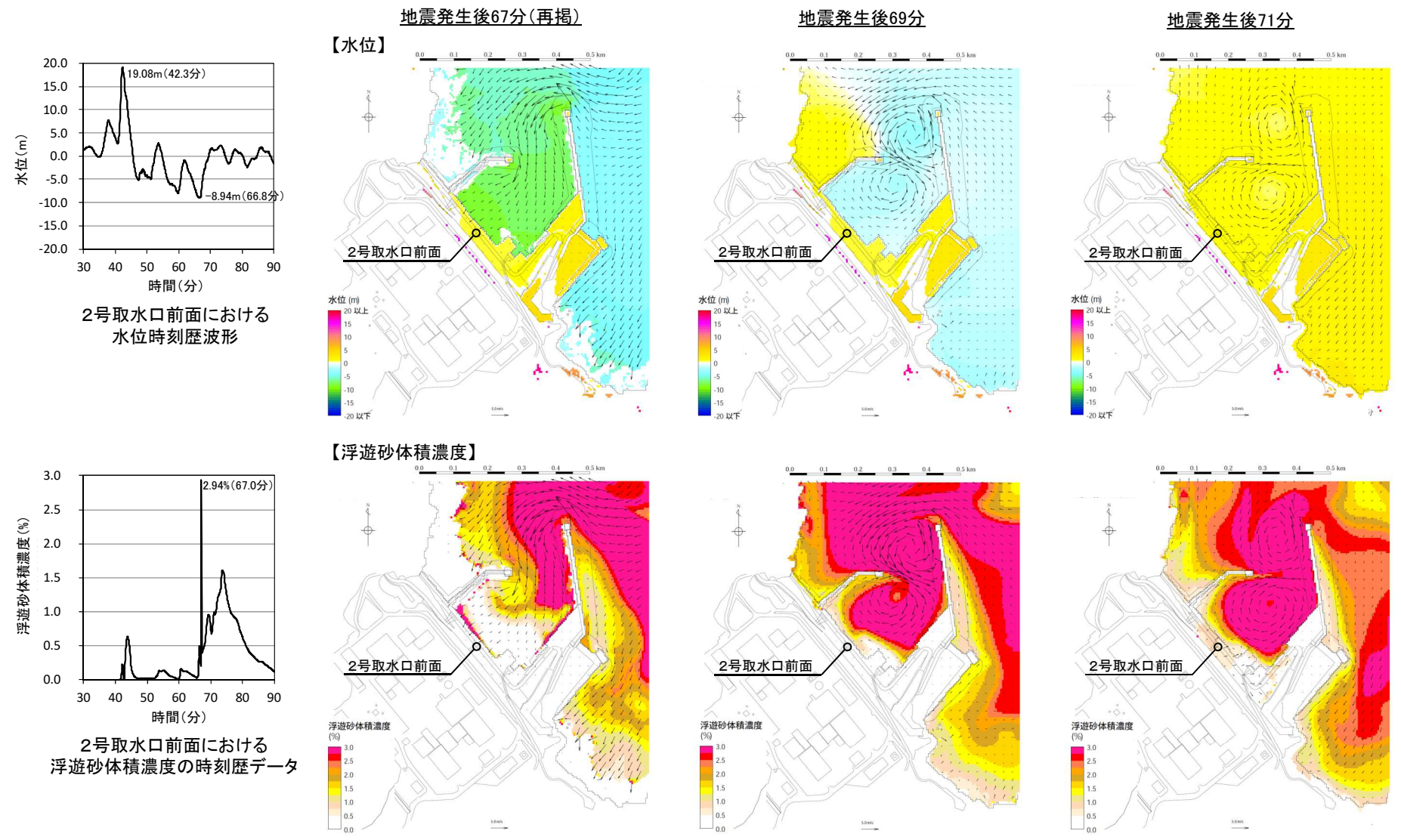
- 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約67分前後の水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- 水位低下時(63分~65分)に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が, 水位上昇時に敷地方向へ移動し, 2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(67分), その後, 津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため, 2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(69分~71分(次頁記載))。



V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化: 評価結果 基準津波(水位上昇側)(4/4)

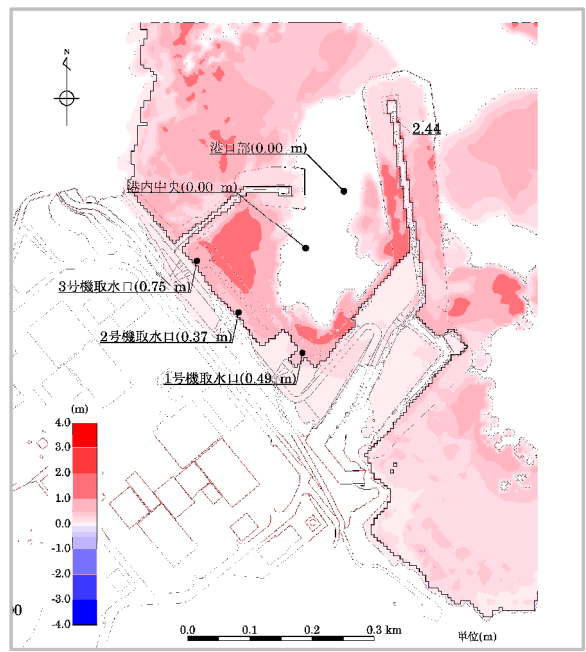
■高橋ほか(1999): 水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後63分~71分)②



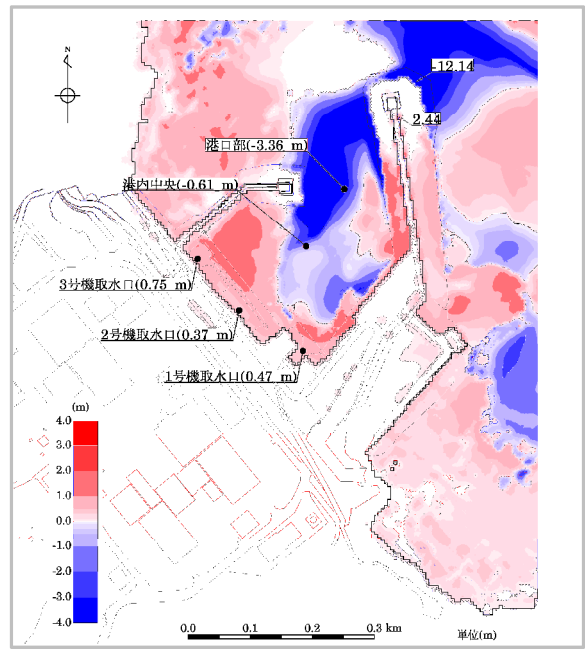
V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価
4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)(1/4)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値
水位下降側	高橋ほか(1999)	3%

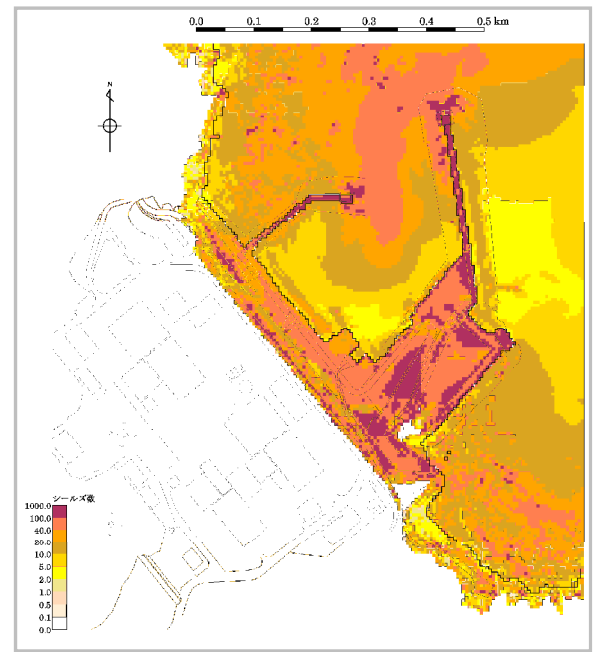
■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布



最大堆積厚分布



4時間後の海底地形変化量分布



最大シールズ数の空間分布※

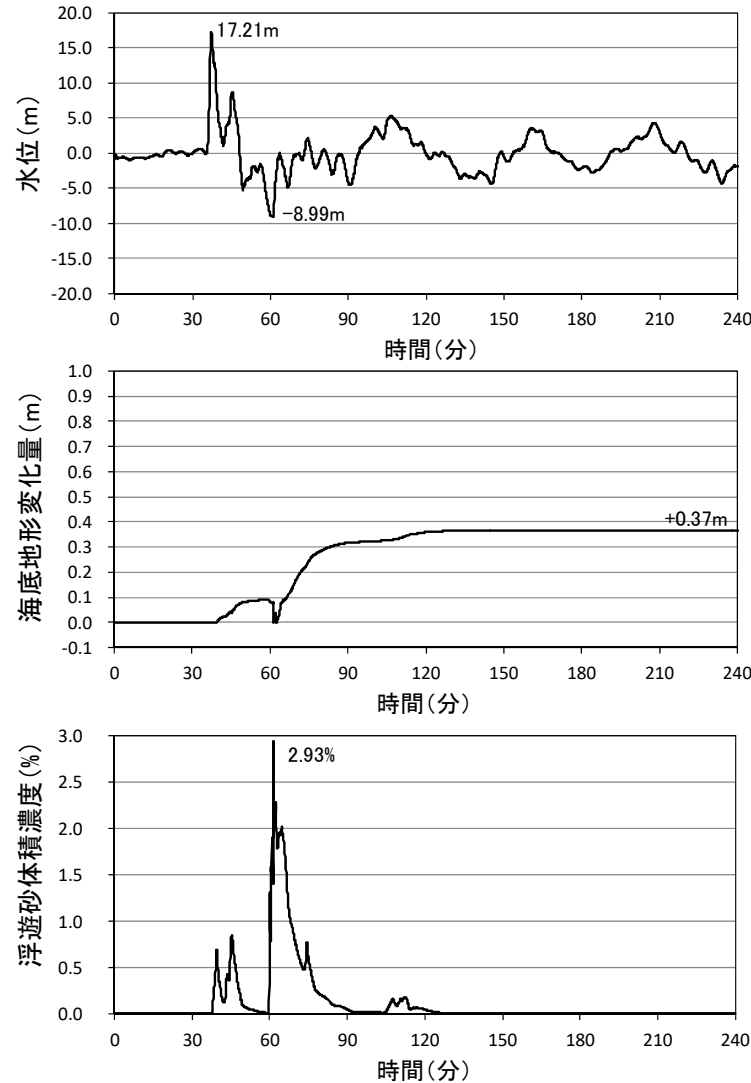
※:防波堤先端部等で見られる100を超えるシールズ数は解析的に生じるものであり, 高橋ほか(1999), 高橋ほか(2011)の水理模型実験によるシールズ数のオーダーは1桁である。

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)(2/4)

■2号取水口前面における水位, 海底地形変化量, 浮遊砂体積濃度の時刻歴データ

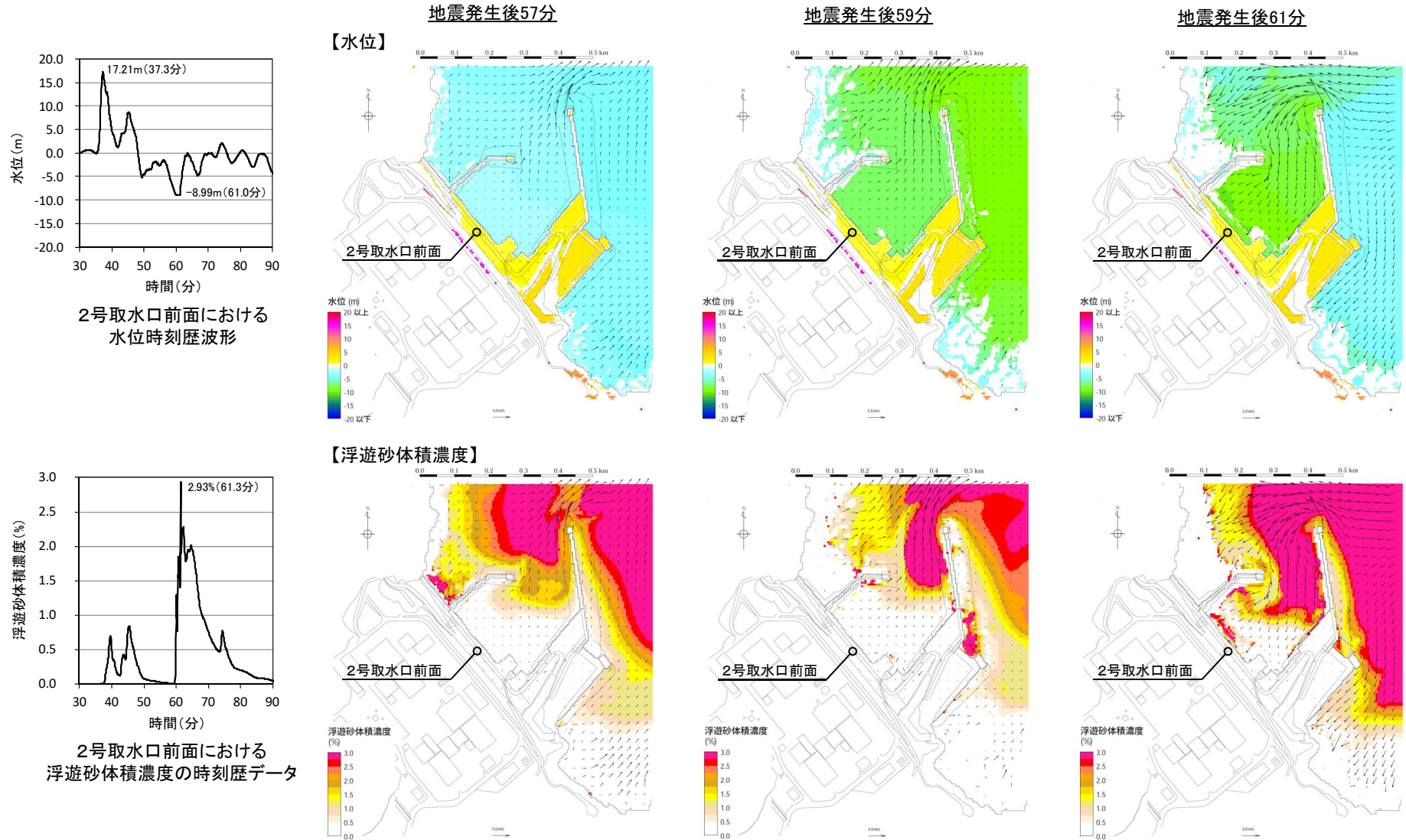
【高橋ほか(1999), 浮遊砂濃度上限値:3%】



4.3 海底地形変化:評価結果 基準津波(水位下降側)(3/4)

■高橋ほか(1999):水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後57分~65分)①

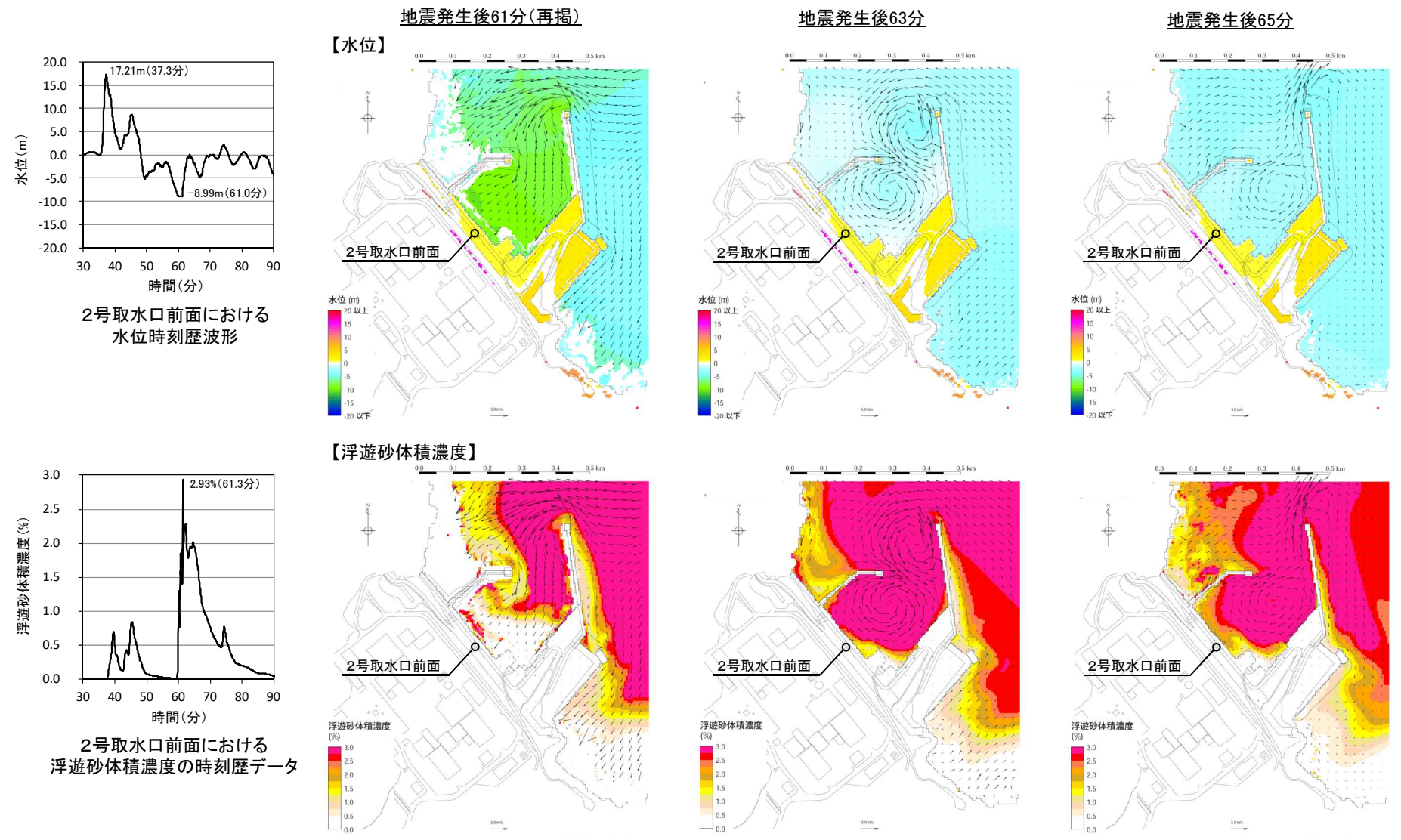
- 浮遊砂体積濃度が最大となる地震発生後約61分前後の水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショットを以下に示す。
- 水位低下時(57分~59分)に沖合いへ移動した濃度が高い浮遊砂が, 水位上昇時に敷地方向へ移動し, 2号取水口前面における浮遊砂体積濃度が高くなるが(61分), その後, 津波は港湾内で渦状になりながら水位上昇するため, 2号取水口前面の浮遊砂体積濃度は低くなっていく(63分~65分(次頁記載))。



V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.3 海底地形変化: 評価結果 基準津波(水位下降側)(4/4)

■高橋ほか(1999): 水位, 浮遊砂体積濃度のスナップショット(地震発生後57分~65分)②

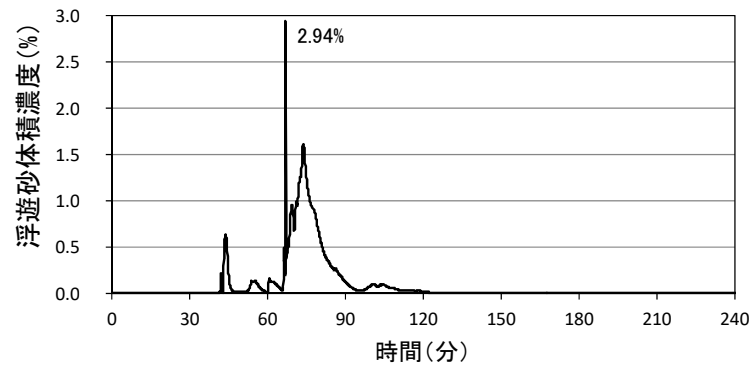


V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

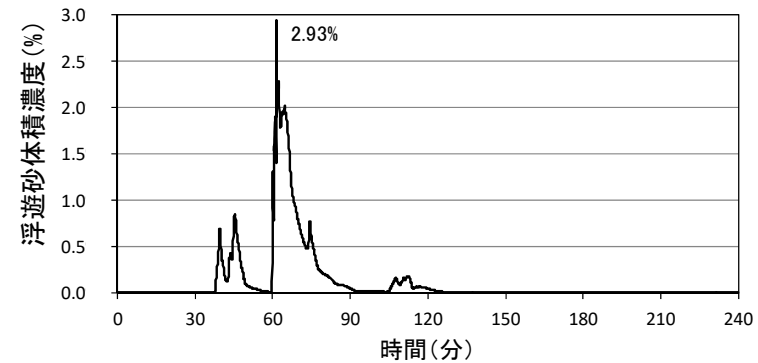
4.4 海水ポンプ室内における砂の堆積: 検討方法

- 2号取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さを算定した。
- なお、上記評価に用いる取水設備内の流量及び流速は、取水設備の水理特性を考慮した一次元水位変動解析により算定した。

■ 2号取水口前面における浮遊砂濃度



基準津波(水位上昇側)(p414再掲)



基準津波(水位下降側)(p418再掲)

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.4 海水ポンプ室内における砂の堆積: 評価結果

- 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ位置における砂の堆積高さは最大で0.2m程度, 原子炉補機冷却海水ポンプ位置における砂の堆積高さは最大で0.1m程度であり, 各海水ポンプの高さを上回らない。
- 以上から, 非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

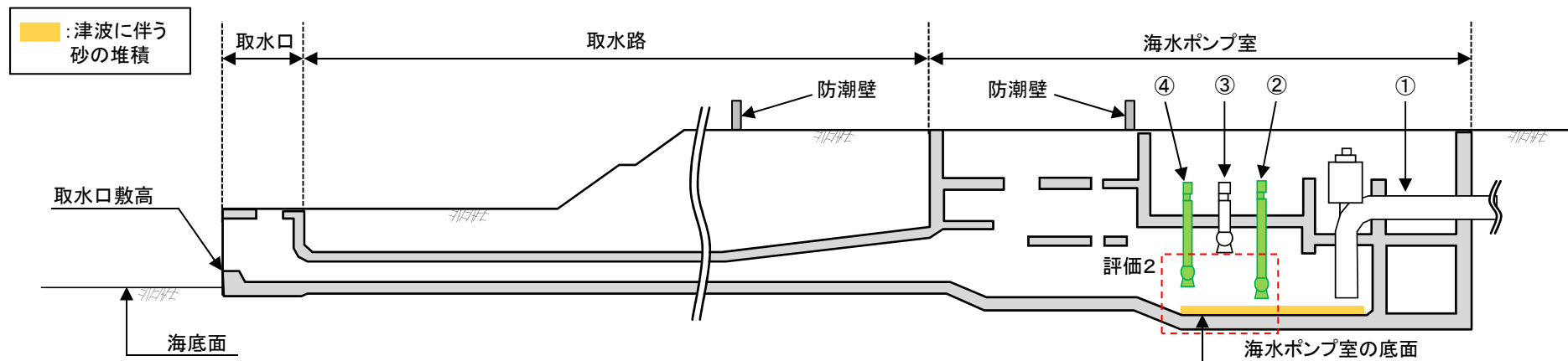
評価結果

基準津波	浮遊砂体積濃度		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ		原子炉補機冷却海水ポンプ	
	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	砂の堆積高さ (m)	海水ポンプの高さ (m)	砂の堆積高さ (m)	海水ポンプの高さ (m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	3%	0.08	2.45※1	0.01	1.15※2
水位下降側	高橋ほか(1999)	3%	0.18		0.03	

※1: 海水ポンプの下端: O.P.-9.95m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m

※2: 海水ポンプの下端: O.P.-11.25m, 海水ポンプ室底面: O.P.-12.4m

- ①: 循環水ポンプ
- ②: 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ③: タービン補機冷却海水ポンプ
- ④: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



評価内容と2号取水設備(概要)の関係

V. 砂移動評価 4. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

4.5 まとめ

- 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)及び2号海水ポンプ室内における砂の堆積高さを算定した。
- 検討の結果、①2号取水口前面における砂の堆積高さは取水口高さを上回らないこと、②各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高さは各海水ポンプの高さを上回らないことを確認した。
- 以上から、浮遊砂濃度上限値を3%にした場合でも、非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響は無いことを確認した。

参考文献(1/10)

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(1951~2017):地震月報ほか
4. 国立天文台(2019):理科年表2019, 平成31年, 第92冊, 丸善出版
5. 阿部壽・菅野喜貞・千釜章(1990):仙台平野における貞観11年(869年)三陸津波の痕跡高の推定, 地震第2輯, 第43巻, pp.513-525
6. 羽鳥徳太郎(2000):三陸沖歴史津波の規模の再検討, 津波工学研究報告17, pp.39-48
7. 中央气象台(1933):昭和八年三月三日三陸沖強震及津波報告, 験震時報, Vol.7, No.2別刷
8. 伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告, 震災予防調査会報告, 第11号, pp.5-34
9. 松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告, 内務省土木試験所報告, 第24号, pp.83-112
10. 地震研究所(1934):昭和8年3月3日三陸地方津浪に関する論文及報告, 東京帝国大学地震研究所彙報, 別冊第1号
11. 岸力(1969):1968年十勝沖地震調査報告, 津波—北海道東北沿岸—, 1968年十勝沖地震調査委員会編『1968年十勝沖地震調査報告』, pp.207-256
12. 今村明恒(1899):三陸津浪取調報告, 震災予防調査会報告, vol.29, pp.17-32
13. 東北大学工学部災害制御研究センター(1995):1995年北海道東方沖地震津波の痕跡高, 津波工学研究報告, 第12号, 第2編
14. 宍倉正展・澤井祐紀・行谷佑一・藤原治・谷川晃一朗・楮原京子・木村治夫・岡村行信・宮下由香里・小松原純子・藤井雄士郎・奥田泰雄(2011):産総研による日本海溝沿いの津波痕跡調査, 東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会, 2011年7月
15. 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによるデータ(<http://www.coastal.jp/ttjt/>), 2012/12/29
16. 東北電力株式会社(2011):女川原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告書, 2011年7月
17. 澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝(2007):ハンディジョイスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, No.7, pp.47-80
18. 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子(2008):ハンドコアラを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, No.8, pp.17-70
19. 宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than TinAung・石山達也・藤原治・藤野滋弘(2007):石巻平野における津波堆積物の分布と年代, 活断層・古地震研究報告, No.7, pp.31-46
20. 宍倉正展・藤原治・澤井祐紀・行谷佑一・谷川晃一朗(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界, 活断層・古地震研究報告, No.12, pp.45-61
21. 佐竹健治・行谷佑一・山木滋(2008):石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, No.8, pp.71-89
22. 行谷佑一・佐竹健治・山木滋(2010):宮城県石巻・仙台平野および福島県調査戸川河口低地における869年貞観地震津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, No.10, pp.1-21

参考文献(2/10)

23. 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治(2013): 貞観津波と東日本大震災の津波, 東日本大震災を分析する2 震災と人間・まち・記録, 明石書店, pp.179-188
24. 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治(2011): 地質学的データを用いた西暦869年貞観地震津波の復元について, 自然災害科学, 29-4, pp.501-516
25. 今村文彦・高橋重雄・藤間功司・富田孝史・有川太郎(2010): 2010年チリ地震津波の被害調査報告, 土木学会震災報告デジタルアーカイブ, (http://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol3/13/Chile.html)
26. 都司嘉宣・大年邦雄・中野晋・西村裕一・藤間功司・今村文彦・柿沼太郎・中村有吾・今井健太郎・後藤和久・行谷佑一・鈴木進吾・城下英行・松崎義孝(2010): 2010年チリ中部地震による日本での津波被害に関する広域現地調査, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.66, No.1, 2010, 1346-1350
27. 羽鳥徳太郎(1991): チリ・ペルー津波による日本の被災頻度, 津波工学研究報告, 第8号, pp.133-144
28. チリ津波合同調査班(1961): 1960年5月24日チリ地震津波に関する論文及び報告, 丸善
29. Kenji Satake, Kunihiko Shimazaki, Yoshinobu Tsuji, Kazue Ueda(1996): Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700, nature, Vol.379, No.6562, pp.246-249
30. 都司嘉宣・上田和枝・佐竹健治(1998): 日本で記録された1700年1月(元禄十二年十二月)北米巨大地震による津波, 地震第2輯, 第51巻, pp.1-17
31. Kenji Satake, Kelin Wang, Brian F. Atwater(2003): Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.108, NO.B11, 2535
32. 佐竹健治・都司嘉宣・原田智也・石辺岳男・西山昭仁・楠本聡(2014): 2011年東北地方太平洋沖地震と過去の津波高さの定量的比較, 日本地球惑星科学連合大会2014年大会, HDS27-03
33. YOSHINOBU TSUJI, KENJI SATAKE, TAKEO ISHIBE, TOMOYA HARADA, AKIHITO NISHIYAMA, and SATOSHI KUSUMOTO(2014): Tsunami Heights along the Pacific Coast of Northern Honshu Recorded from the 2011 Tohoku and Previous Great Earthquakes, Pure and Applied Geophysics
34. 柳澤英明・藤井直樹・金戸俊道(2012): 我が国における遠地津波の襲来特性に関する検討—1700年カスケード地震津波を対象として—, 土木学会論文集B2(海岸工学), No.2, 2012, I_151-I_155
35. Robert C. Witter, Yinglong Zhang, Kelin Wang, Chris Goldfinger, George R. Priest and Jonathan C. Allan (2012): Coseismic slip on the southern Cascadia megathrust implied by tsunami deposits in an Oregon lake and earthquake-triggered marine turbidites, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.117, B10303
36. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2017a): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
37. 文部科学省(2007): 択捉島沖等の地震に関する調査研究成果報告書(平成19年度)
38. 杉野英治・岩淵洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭澤勝三・亀田弘行・今村文彦(2014): プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号
39. Lay, T., H. Kanamori, C. J. Ammon, M. Nettles, S. N. Ward, R. C. Aster, S. L. Beck, S. L. Bilek, M. R. Brudzinski, R. Butler, H. R. DeShon, G. Ekstrom, K. Satake, and S. Sipkin(2005): The Great Sumatra-Andaman Earthquake of 26 December 2004, SCIENCE, Vol.308, pp.1127-1133

参考文献(3/10)

40. Barrientos, S. E., and Ward, S. N. (1990): The 1960 Chile earthquake — inversion for slip distribution from surface deformation, *Geophysical Journal International*, Vol.103(3), pp.589–598
41. Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.61, No.5, pp.1433–1440
42. 後藤智明・佐藤一央(1993): 三陸海岸を対象とした津波計算システムの開発, 港湾技術研究所報告, 第32巻, 第2号, pp.3–44
43. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016): 原子力発電所の津波評価技術2016
44. 佐竹健治(2013): カスケード沈み込み帯における巨大地震の発生履歴の研究史, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12–8
45. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2019): 日本海溝沿いの地震活動の長期評価
46. Shinzaburo Ozawa, Takuya Nishimura, Hisashi Suito, Tomokazu Kobayashi, Mikio Tobita & Tetsuro Imakiire(2011): Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake, *nature LETTER*
47. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
48. 国土地理院(2012): 千島海溝沿いの滑り欠損速度分布について, 地震予知連絡会 会報, 第88巻, 12–2
49. 西村卓也(2013): 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12–15
50. Akira Hasegawa, Keisuke Yoshida, Youichi Asano, Tomomi Okada, Takeshi Iinuma, Yoshihiro Ito(2012): Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, *Earth and Planetary Science Letters* 355–356, pp.231–243
51. JAMSTEC(2013): 東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波発生メカニズムの解明～地球深部探査船「ちきゅう」の科学的成果が「SCIENCE」誌に3編同時掲載～, プレリリース
52. Lin W., M.Conin, J.C. Moore, F.M. Chester, Y. Nakamura, J.J. Mori, L. Anderson, E.E. Brodsky, N.Eguchi, B. Cook, T.Jeppson, M. Wolfson-Schwehr, Y.Sanada, S.Saito, Y.Kido, T.Hirose, J.H.Behrmann, M.Ikari, K.Ujii, C.Rowe, J.Kirkpatrick, S.Bose, C.Regalla, F.Remitti, V. Toy, P. Fulton, T.Mishima, T. Yang, T. Sun, T. Ishikawa, J. Sample, K.Takai, J. Kameda, S.Toczko, L. Maeda, S.Kodaira, R.Hino, D.Saffer(2013): Stress state in the largest displacement area of the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Science* 339, 687–690
53. 文部科学省研究開発局・国立大学法人東北大学大学院理学研究科・国立大学法人東京大学地震研究所・独立法人産業技術総合研究所(2010): 宮城県沖地震における重点的調査観測総括成果報告書, 390pp
54. 佐竹健治(2011a): 日本海溝の巨大地震のスーパーサイクル, 地震予知連絡会 会報, 第86巻, 3–15
55. 佐竹健治(2011b): 東北地方太平洋沖地震の断層モデルと巨大地震発生のスーパーサイクル, *科学*, Vol.81, No.10
56. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について
57. 宍倉正展(2013): 1960年チリ地震(Mw 9.5)の履歴と余効変動, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12–7
58. YUSHIRO FUJII and KENJI SATAKE(2013): Slip Distribution and Seismic Moment of the 2010 and 1960 Chilean Earthquakes Inferred from Tsunami Waveforms and Coastal Geodetic Data, *Pure and Applied Geophysics*, DOI 10.1007/s00024-012-0524-2
59. R. McCaffrey(2008): Global Frequency of Magnitude 9 Earthquakes, *Geology*, DR2008063

参考文献(4/10)

60. Christopher H. Scholz and Jaime Campos (2012) : The seismic coupling of subduction zones revisited, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B05310, doi:10.1029/2011JB009003
61. Kusala Rajendran (2013) : On the recurrence of great subduction zone earthquakes, SPECIAL SECTION: EARTH SCIENCES
62. 谷岡勇市郎 (2013) : アラスカ・アリューシャン・カムチャッカ沈む込み帯の巨大地震について, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12-9
63. JEAN M. JOHNSON and KENJI SATAKE (1999) : Asperity Distribution of the 1952 Great Kamchatka Earthquake and its Relation to Future Earthquake Potential in Kamchatka, Pure and Applied Geophysics, 541-553
64. Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Alexander R. Hutko, Kevin Furlong, and Luis Rivera (2009) : The 2006-2007 Kuril Islands great earthquake sequence, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114, B11308, doi:10.1029/2008JB006280
65. Yuichiro Tanioka, Yudhicara, Tomohiro Kususose, S. Kathirolu, Yuichi Nishimura, Sin-Iti Iwasaki, and Kenji Satake (2006) : Rupture process of the 2004 great Sumatra-Andaman earthquake estimated from tsunami waveforms, Earth Planets Space, 58, 203-209
66. Kerry Sieh, Danny H. Natawidjaja, Aron J. Meltzner, Chuan-Chou Shen, Hai Cheng, Kuei-Shu Li, Bambang W. Suwargadi, John Galetzka, Belle Philibosian, R. Lawrence Edwards (2008) : Earthquake Supercycles Inferred from Sea-Level Changes Recorded in the Corals of West Sumatra, SCIENCE, VOL 322
67. Ian Shennan, Antony Long and Natasha Barlow (2007) : Recurrent Holocene Paleoseismicity and Associated Land/Sea Level Changes in South Central Alaska, I Shennan, AJ Long and N Barlow
68. Jean M. Johnson and Kenji Satake (1996) : The 1964 Prince William Sound earthquake: Joint inversion of tsunami and geodetic data, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 101, NO. B1, PAGES 523-532
69. 文部科学省測地学分科会 (2013a) : 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成24年度年次報告 (成果の概要)
70. 文部科学省測地学分科会 (2014) : 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成25年度年次報告 (成果の概要)
71. 文部科学省測地学分科会 (2013b) : 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成24年度年次報告 (機関別), 課題番号1206, ゆっくり滑りの発生機構とアスペリティとの相互作用の解明
72. Yamanaka, Y. and M. Kikuchi (2004) : Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, J. Geophys. Res., Vol.109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683
73. 永井理子・菊地正幸・山中佳子 (2001) : 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究 - 1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較 -, 地震2, 54, 267-280
74. Lingling Ye, Thorne Lay, and Hiroo Kanamori (2012) : The Sanriku-Oki low-seismicity region on the northern margin of the great 2011 Tohoku-Oki earthquake rupture, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B02305, doi:10.1029/2011JB008847
75. Naoki Uchida and Toru Matsuzawa (2011) : Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, Earth Planets Space, 63, 675-679
76. 気象庁 (2009) : 2008年7月19日福島県沖の地震(M6.9)について, 地震予知連絡会 会報, 第81巻, 3-21
77. 西村卓也 (2012) : 測地観測データに基づく東北日本の最近120年間の地殻変動, 地質学雑誌, 第118巻, 第5号, pp.278-293

参考文献(5/10)

78. Shinzaburo Ozawa, Takuya Nishimura, Hiroshi Munekane, Hisashi Suito, Tomokazu Kobayashi, Mikio Tobita and Tetsuro Imakiire (2012) : Preceding, coseismic, and postseismic slips of the 2011 Tohoku earthquake, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol.117, B07404, DOI: 10.1029/2011JB009120
79. Yusuke Yokota, Kazuki Koketsu (2015) : A very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earthquake, *NATURE COMMUNICATIONS*, DOI: 10.1038/ncomms6934
80. Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa (2009) : What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth and Planetary Science Letters* 283,111–121
81. Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Kazuo Nakahigashi, Shin'ichi Sakai, Kimihiro Mochizuki, Kenji Uehira, Yoshihiro Ito, Ryusuke Azuma, Yuka Kaiho, Tetsuo No, Hajime Shiobara, Ryota Hino, Yoshio Murai, Hiroshi Yakiwara, Toshinori Sato, Yuya Machida, Takashi Shinbo, Takehi Isse, Hiroki Miyamachi, Koichiro Obana, Narumi Takahashi, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda, Kenji Hirata, Sumio Yoshikawa, Kazushige Obara, Takaya Iwasaki, and Naoshi Hirata (2011) : Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, 63,835–840
82. Tetsuzo Seno (2014) : Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur , *Tectonophysics* 621,198–210
83. 遠田晋次 (2004) : 断層セグメントの多重破壊とスケーリング則, *月刊地球号外*, 46, 168–174
84. Daniel Melnick, Bodo Bookhagen, Manfred R. Strecker, and Helmut P. Echtler (2009) : Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 114, B01407, doi:10.1029/2008JB005788
85. Genyang Tang, Penny J. Barton, Lisa C. McNeill, Timothy J. Henstock, Frederik Tilmann, Simon M. Dean, Muhammad D. Jusuf, Yusuf S. Djajadihardja, Haryadi Permana, Frauke Klingelhoefer, and Heidrun Kopp (2013) : 3-D active source tomography around Simeulue Island offshore Sumatra: Thick crustal zone responsible for earthquake segment boundary, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 40, 48–53, doi:10.1029/2012GL054148
86. Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Meredith Nettles, Steven N. Ward, Richard C. Aster, Susan L. Beck, Susan L. Bilek, Michael R. Brudzinski, Rhett Butler, Heather R. DeShon, Goran Ekstrom, Kenji Satake, Stuart Sipkin (2005) : The Great Sumatra–Andaman Earthquake of 26 December 2004, *SCIENCE*, VOL 308,1127–1132
87. Cecep Subarya, Mohamed Chlieh, Linette Prawirodirdjo, Jean-Philippe Avouac, Yehuda Bock, Kerry Sieh, Aron J. Meltzner, Danny H. Natawidjaja & Robert McCaffrey (2006) : Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra–Andaman earthquake, *ARTICLES, NATURE*, Vol 440, doi:10.1038
88. 木村学 (2002) : プレート収束帯のテクトニクス学, 東京大学出版会
89. Robert McCaffrey (2009) : The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 37,345–366, DOI: 10.1146/annurev.earth.031208.100212
90. 小山順二・都筑基博・蓬田清 (2012) : 斜め衝突帯の巨大地震(1)相模トラフ, *北海道大学地球物理学研究報告*, No.75, pp.161–174
91. Susan L. Bilek (2010) : The role of subduction erosion on seismicity, *Geology*, Vol.38, pp.479–480
92. Seiichi Miura, Narumi Takahashi, Ayako Nakanishi, Tetsuro Tsuru, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda (2005) : Structural characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismogenic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study, *Tectonophysics* 407, pp.165–188
93. Junji Koyama, Kazunori Yoshizawa, Kiyoshi Yomogida, and Motohiro Tsuzuki (2012) : Variability of megathrust earthquakes in the world revealed by the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Earth Planets Space*, 64, pp.1189–1198

参考文献(6/10)

94. Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, and Yuichi Namegaya (2013) : Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473–1492, doi:10.1785/0120120122
95. 杉野英治・呉長江・是永真理子・根本信・岩渕洋子・蛭沢勝三(2013) : 原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号(特集号)
96. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014) : 全国地震動予測地図 2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~付録-1
97. 内閣府(2012a) : 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回), 参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて
98. 内閣府(2012b) : 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
99. Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii (2013) : Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip, and asperity size for M~9 subduction zone earthquakes, Geophysical Research Letters, Vol.40, pp.5070–5074
100. 伊藤潔・大東明子(1996) : 地殻および上部マントルにおけるVp/Vs比, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B83.
101. Changjiang Wu, Hideaki Tsutsumi, Hongjun Si, Yusuke Saijo (2012) : Rupture Process of the 2011Mw9.0 Tohoku Earthquake And Strong Motion Simulation from the Viewpoint of NPP Seismic Design, 15th World Conference on Earthquake Engineering
102. Toshiya Fujiwara, Shuichi Kodaira, Tetsuo No, Yuka Kaiho, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda (2011) : The 2011 Tohoku–Oki Earthquake: Displacement Reaching the Trench Axis, SCIENCE, VOL 334
103. 気象庁(2012) : 気象庁技術報告 第133号 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告
104. 地震調査研究推進本部(2017b) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
105. 相田勇(1986) : 津波波源の推定, 水工学シリーズ86-B-2, 土木学会水理委員会
106. Yushiro Fujii and Kenji Satake(2007) : Tsunami Source of the 2004 Sumatra–Andaman Earthquake Inferred from Tide Gauge and Satellite Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 1A, pp. S192–S207, doi: 10.1785/0120050613
107. S.Lorito, F.Romano, S.Atzori, X.Tong, A.Avallone, J.McCloskey, M.Cocco, E.Boschi and A.Piatanesi(2011) : Limited overlap between the seismic gap and coseismic slip of the great 2010 Chile earthquake, nature geoscience LETTERS, DOI:10.1038/NGEO1073
108. 内閣府中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会(2003) : 東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回), 参考資料2 強震動と津波の高さの検討に関する資料集, 8. 津波計算における震源破壊伝播速度の効果について
109. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002) : 原子力発電所の津波評価技術
110. 佐藤良輔・阿部勝征・岡田義光・島崎邦彦・鈴木保典(1989) : 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会
111. 菅野剛・大内一男・平田一穂(2012) : 女川原子力発電所における津波の評価および対策, 電力土木, No.362
112. 小平秀一・富士原敏也・中村武史(2012) : 2011年東北地方太平洋沖地震: 海底地形データから明らかにされた海底変動, 地質学雑誌, 第118巻, 第9号, pp.530–534

参考文献(7/10)

113. 芦寿一郎・岡村行信・倉本真一・徳山英一(1999): 南海トラフとその陸側斜面の地質構造－付加プリズム・前弧海盆の構造発達－, 地質調査所, 地質ニュース541号, pp.17-24
114. 岡村行信(2012): 地質から東北地方太平洋沖地震を考える, 地震予知総合研究振興会, 地震ジャーナル, 第54号, pp.1-12
115. 小出良幸(2013): 島弧における付加体の形成と擾乱機構について, 札幌学院大学人文学会紀要第93号, pp.37-58
116. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013): 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について
117. 小出良幸(2012): 島弧－海溝系における付加体の地質学的位置づけと構成について, 札幌学院大学人文学会紀要第92号, pp.1-23
118. Tetsuro Tsuru, Jin-Oh Park, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira, Yukari Kido, Tsutomu Hayashi(2002): Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.107, NO. B12, 2357, doi:10.1029/2001JB001664
119. JAMSTEC(2012): 海溝軸まで及んだ東北地方太平洋沖地震の地震断層を確認, プレスリリース
120. Koichiro Obana, Shuichi Kodaira, Masanao Shinohara, Ryota Hino, Kenji Uehira, Hajime Shiobara, Kazuo Nakahigashi, Tomoaki Yamada, Hiroko Sugioka, Aki Ito, Yasuyuki Nakamura, Seiichi Miura, Tetsuo No, Narumi Takahashi(2013): Aftershocks near the updip end of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Earth and Planetary Science Letters, 382, pp.111-116
121. 奥村与志弘・後藤浩之(2013): 海溝型地震の分岐断層破壊シナリオで発生する津波の特徴に関する一考察, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第32巻), I_750-I_757
122. Takashi NAKATA, Hideaki GOTO, Mitsuhisa WATANABE, Yasuhiro SUZUKI, Azusa NISHIZAWA, Noriaki IZUMI, Daishi HORIUCHI and Yukari KIDO(2012): Active Faults along Japan Trench and Source Faults of Large Earthquakes, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, pp.254-262
123. 藤本博巳(2005): 深海調査研究船「かいらい」KR05-07 調査航海三陸沖日本海溝周辺海域クルーズレポート, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan
124. 海宝由佳(2011): R/V Kairei Cruise Report KR11-05 Leg2, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan
125. Philip Watts, Stéphan T. Grilli, M. ASCE, David R. Tappin and Gerard J. Fryer(2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING, ASCE, pp.298-310
126. 渡邊奈保子・田賀傑・西下厚志・河原木一・及川光弘・倉持幸志・泉紀明(2007): 第1鹿島海山および襟裳海山周辺海域における精密地殻構造探査: DKr1 およびERr1 測線, 海上保安庁, 海洋情報部技報, Vol.25, pp.40-50
127. 藤岡換太郎・平朝彦(1987): 海山・島弧の衝突と付加テクトニクスー第一鹿島海山の衝突・付加ー, 月刊海洋科学, Vol.19, No.7, pp.390-394
128. 西澤あずさ(2012): 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の概要, 海上保安庁, 海洋情報部研究報告第49号, pp.1-14
129. 阿部勝征(2003): 津波地震とは何かー総論ー, 月刊地球, Vol.25, No.5, pp.337-342
130. 阿部勝征(1988): 津波マグニチュードによる日本付近の地震津波の定量化, 東京大学地震研究所彙報, Vol.63, pp.289-303
131. 阿部勝征(1999): 遡上高を用いた津波マグニチュードMtの決定ー歴史津波への応用ー, 地震第2輯, 第52巻, pp.369-377

参考文献(8/10)

132. Katsuyuki Abe (1979) : Size of Great Earthquakes of 1837–1974 Inferred From Tsunami Data, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, No.B4
133. Katsuyuki Abe (1985) : Quantification of major earthquake tsunamis of the Japan Sea, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 38,214–223
134. 宇津徳治 (1999) : 地震活動概説, 東大出版会, 876pp
135. Katsuyuki Abe (1981) : Physical size of tsunamigenic earthquakes of the northwestern Pacific, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 27,194–205
136. Hiroo Kanamori (1972) : Mechanism of tsunami Earthquakes, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 6, 346–359
137. 内閣府中央防災会議事務局 (2005) : 資料1 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会 (第10回) 強震動及び津波高さの推計について
138. Yuichiro Tanioka and Kenji Satake (1996) : Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, Vol.23, No.13, pp.1549–1552
139. Kinjiro Kjiura (1983) : Some Statistics Related to Observed Tsunami Heights along the Coast of Japan, *Science and Engineering*, edited by K. Iida and T. Iwasaki, Terra Scientific Publishing Company, 131–145
140. 池原研 (2005) : すべりに伴う物質の移動と変形 第5回 Displacement and deformation of the sliding materials No.5 –海底地すべり Submarine slides–, *J.of the Jpn.Landslide Soc.*, Vol.41, No.5 558–562, pp.112–116
141. M.Canals, G.Lastras, R.Urgeles, J.L.Casamor, J.Mienet, A.Cattaneo, M.De Batist, H.Hafliason, Y.Imbo, J.S.Laberg, J.Locat, D.Long, O.Longva, D.G.Masson, N.Sultan, F.Trincardi, P.Bryn (2004) : Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA project , *Marine Geology* 213, pp.9–72
142. 山本博文 (1991) : 福井沖大陸斜面の海底地すべり, *地質調査所月報*, 第42巻第5号, pp.221–232
143. 徳山ほか (2001) : 徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・徐垣・日野亮太・野原壯・阿部寛信・坂井眞一・向山建二郎 (2001) : 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史
144. 財団法人日本水路協会 (2006) : 海底地形デジタルデータM7000シリーズ
145. 産業技術総合研究所 (2013) : 高分解能音波探査断面データベース (3.5kHz SBP), 宮城・福島沖 (GH812,813), (https://gbank.gsj.jp/sbp_db/812-3html/PAGES/812-3.html)
146. JAMSTEC (2014) : JAMSTECデータ検索ポータル, (<http://www.godac.jamstec.go.jp/dataportal/>)
147. Kiichiro Kawamura, Tomoyuki Sasaki, Toshiya Kanamatsu, Arito Sakaguchi, and Yujiro Ogawa (2012) : Large submarine landslides in the Japan Trench: A new scenario for additional tsunami generation, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 39, L05308, doi:10.1029/2011GL050661
148. Stéphan T. Grilli, M.ASCE and Philip Watts (2005) : Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. I: Modeling, Experimental Validation, and Sensitivity Analyses, *JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING*, ASCE, pp.283–297
149. 小谷美佐・新村文彦・首藤伸夫 (1998) : GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.356–360
150. 海上保安庁 (1984) : ナローマルチビーム測深機等による第1鹿島海山の調査結果, *地震予知連絡会 会報*, 第32巻, 3–17

参考文献(9/10)

151. 大島章一・荻野卓司・桂忠彦・池田清・内田摩利夫・永野真男・林田政和・宗田賢二・春日茂・谷伸(1985): 第1鹿島海山の日本海溝陸側海溝斜面へのもぐり込み現象, 海上保安庁, 水路部研究報告, 第20号, pp.25-46
152. 飯山ほか(1984): 飯山敏道・中村一明・小林和男(1984): 日仏共同研究“海溝(KAIKO)計画”第1期調査の実施と結果, 地学雑誌, 93-7, pp.30-42
153. 佐竹健治(1997): ハワイの津波堆積物—アメリカ地質学会コルディレラ分科会および巡検に参加して—, 地質ニュース518号, 21-28
154. Eakins, B. W., Robinson J. E., Kanamatsu, T., Naka, J., Smith, J. R., Takahashi, E., Clague, D. A., (2003): Hawaii's Volcanoes Revealed, U.S. Geological Survey Geologic Investigations Series I-2809, <http://geopubs.wr.usgs.gov/i-map/i2809>
155. 羽鳥徳太郎(1976): 1975年ハワイ島(Kalapana)津波と日本沿岸での挙動, 地震第2輯, 第29巻, pp.355-363. Nettles_2004_BSSA
156. Nettles M. and GöranEkström(2004): Long-Period Source Characteristics of the 1975 Kalapana, Hawaii, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 2, pp.422-429
157. Day, S. J., P. Watts, S. T. Grilli and J. T. Kirby (2005): Mechanical models of the 1975 Kalapana, Hawaii earthquake and tsunami, Marine Geology, 215, pp.59-92
158. Ma, K-F., H. Kanamori and K. Satake (1999): Mechanism of the 1975 Kalapana, Hawaii, earthquake inferred from tsunami data, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, Issue B6, pp.13153-13167
159. 横瀬久芳(2007): ハワイ諸島における巨大海底地すべり, 日本地質学会, 第114年学術大会, S-10
160. 横瀬久芳(2010): ハワイ諸島の巨大海底地すべり群と津波一流山の高さ分布におけるフラクタル次元—, 月刊地球, 号外No.61, pp.71-79
161. McMurtry G. M. P. Watts, S. T. Grilli and J. T. Kirby(2004): Giant landslides, mega-tsunamis, and paleo-sea level in the Hawaiian Islands, Marine Geology, Vol. 203, Issues 3-4, pp.219-233
162. Moore, J. G., D. A. Clague, R. T. Holcomb, P. W. Lipman, W. R. Normark, and M. E. Torresan(1989): Prodigious submarine landslides on the Hawaiian Ridge, J. Geophys. Res., 94(B12), pp.17465-17484, doi:10.1029/JB094iB12p17465
163. Guillou, H., M-O. Garcia, L. Turpin(1997): Unspiked K-Ar dating of young volcanic rocks from Loihi and Pitcairn hot spot seamounts, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.78, pp.239-249
164. Papadopoulos, G. A. and S. Kortekaas (2003): Characteristics of Landslide Generated Tsunamis from Observational Data, Submarine Mass Movements and Their Consequences, Volume 19 of the series Advances in Natural and Technological Hazards Research, pp.367-374
165. 日本海洋データセンター: http://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/index_j.html
166. 相田勇(1977): 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, Vol.52, pp.71-101
167. Isamu Aida(1974): Long-period Waves in the Vicinity of Onagawa Bay(II)—Two-dimensional Pattern of Bay Oscillations—, Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol.30, pp.34-41
168. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011): 確率論的津波ハザード解析の方法
169. 一般社団法人日本原子力学会(2012): 日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準: 2011

参考文献(10/10)

170. 独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014): 確率論的手法に基づく基準津波策定手引き, 2014年2月
171. Jose A. Alvarez-Gomez, Omar Q. Gutierrez Gutierrez, Inigo Aniel-Quiroga, M. Gonzalez (2012): Tsunamiogenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America, *Tectonophysics* 574-575, 133-143
172. 今井健太郎・菅原大助・今村文彦(2012): 津波痕跡と史料から解釈した1611年慶長地震, 第31回日本自然災害学会学術講演会, Ⅲ-2-2
173. 杉野英治・岩渕洋子・阿部雄太・今村文彦(2015): 確率論的津波ハザード評価における津波想定の影響, 日本地震工学会論文集, 第15巻, 第4号
174. 藤原広行・平田賢治・中村洋光・長田正樹・森川信之・河合伸一・大角恒雄・青井真・松山尚典・遠山信彦・鬼頭直・村嶋陽一・村田泰洋・井上拓也・斎藤龍・秋山伸一・是永真理子・阿部雄太・橋本紀彦(2015): 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第400号
175. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009): 確率論的津波ハザード解析の方法(案)
176. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について
177. 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅野大輔(1999): 掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610
178. 高橋智幸(2012): 津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題, 堆積学研究, 第71巻, 第2号, pp.149-155
179. 高橋智幸・黒川貴博・藤田将孝・島田広昭(2011): 津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I_231-I_235
180. 玉田崇・田村保・高橋智幸・佐々木元(2009): 河川での津波防災検討における津波移動床モデルの適用性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.301-305
181. 藤田尚毅・稲垣和男・藤井直樹・高尾誠・金戸俊道(2010): 津波による海底地形変化評価モデルの現地適用性に関する研究, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.213-216
182. 近藤武司・森本徹・藤本典子・殿最浩司・志方建仁(2012): 港湾での津波による土砂移動計算の再現性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_396-I_400
183. 森下祐・高橋智幸(2014): 2011年東北地方太平洋沖地震津波襲来時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, I_491-I_495