

I . 地震に起因する津波の評価

2. 津波地震

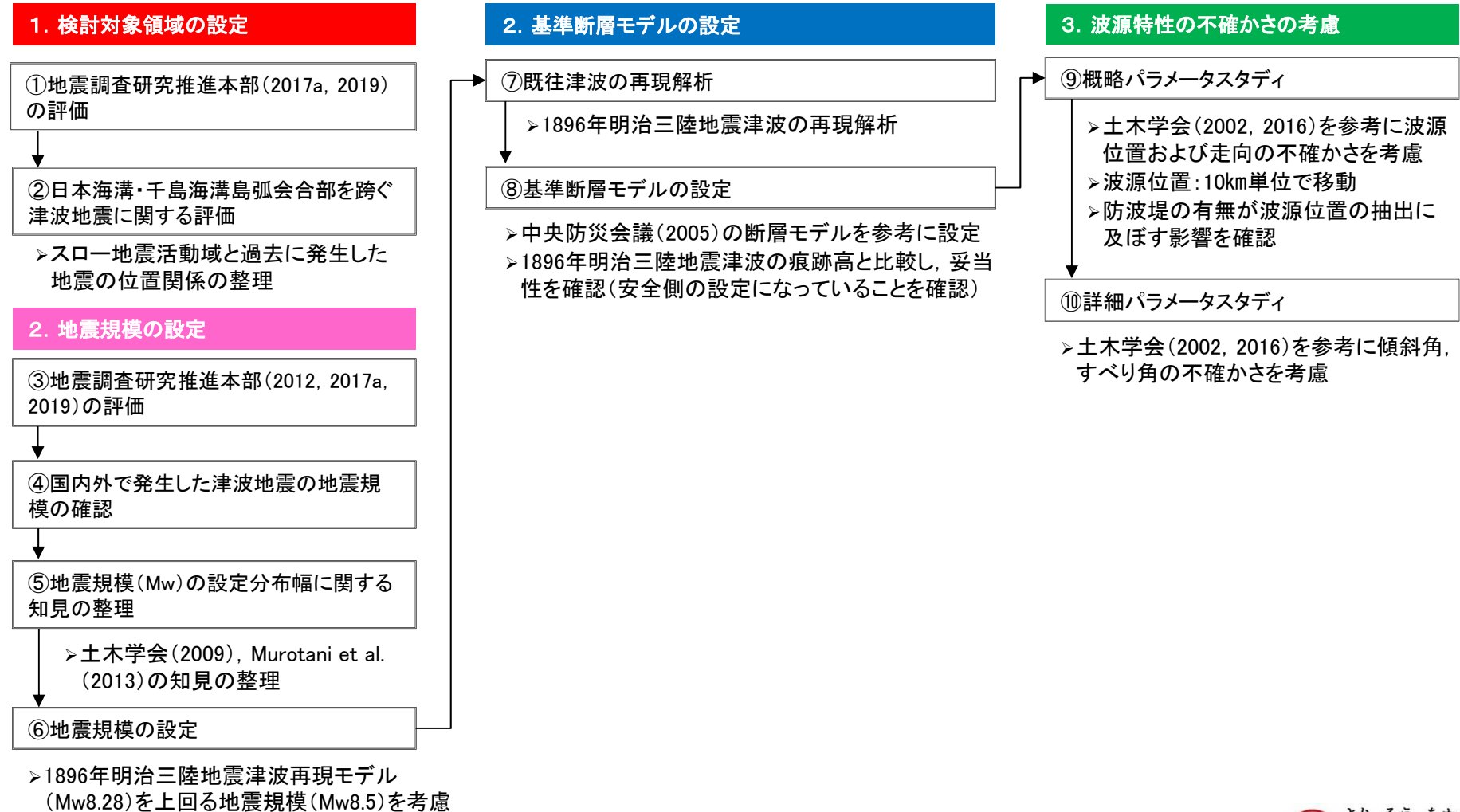
- 2. 1 評価フロー
- 2. 2 検討対象領域の設定
- 2. 3 地震規模の設定
- 2. 4 基準断層モデルの設定
- 2. 5 波源特性の不確かさの考慮
- 2. 6 「津波地震」に起因する津波の評価

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.1 評価フロー

以下のフローに基づき評価を実施した。

【評価フロー】

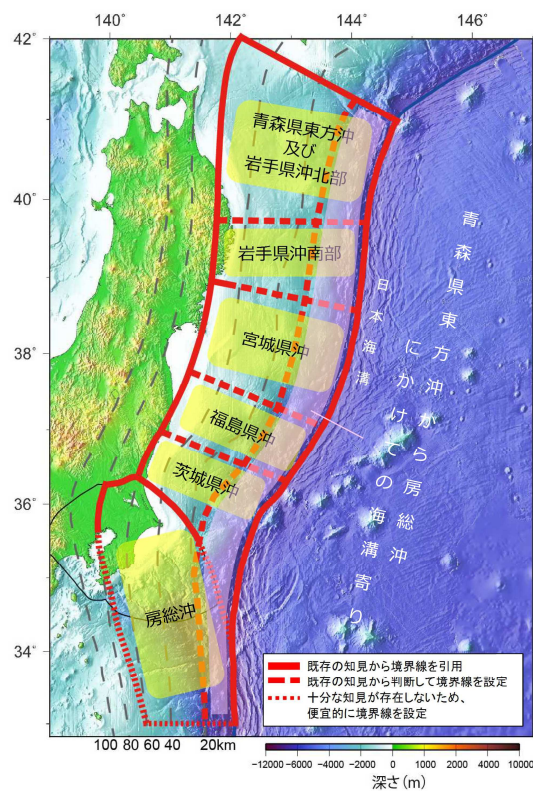


I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

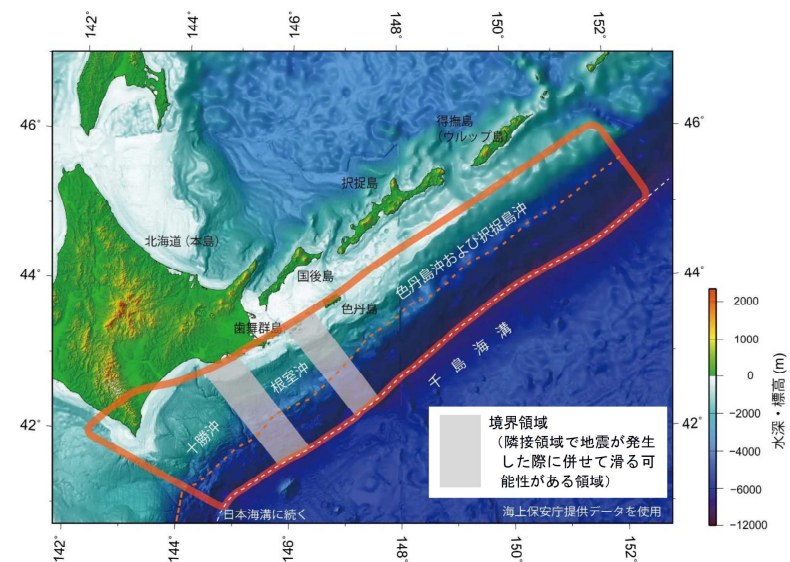
2.2 検討対象領域の設定

■地震調査研究推進本部の評価

- 日本海溝沿いにおける津波地震の発生領域について、地震調査研究推進本部(2019)は、1611年の慶長三陸地震及び1896年の明治三陸地震タイプの地震が特定の領域で繰り返し発生する地震であると判断できるほどの知見はないことを踏まえ、青森県東方沖から房総沖にかけての海溝よりのいずれかの場所で同様の地震が発生する可能性があるとして評価している。
- また、千島海溝沿いについて、地震調査研究推進本部(2017a)は、顕著な被害を伴った津波地震は知られていないが、同じ太平洋プレートと陸のプレートの境界である日本海溝では被害の大きい津波地震が発生していることを踏まえ、1963年の地震、1973年根室半島沖地震、1975年の地震及び2003年十勝沖地震の津波地震の発生領域を基に、発生領域として海溝寄りの領域を設定している。



地震調査研究推進本部(2019)における
日本海溝沿いの評価対象領域



地震調査研究推進本部(2017a)における
千島海溝沿いの評価対象領域

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.2 検討対象領域の設定

■ 日本海溝・千島海溝島弧会合部を跨ぐ津波地震に関する評価

- Nishikawa et al.(2019)は、日本海溝沿いのスロー地震活動域と過去に発生した地震との位置関係を整理し、1896年明治三陸地震はスロー地震活動域の浅部で発生したことを示している。
- Tanaka et al.(2019)は、防災科学技術研究所のS-netによる地震記録から、日本海溝・千島海溝島弧会合部付近におけるスロー地震活動域を整理し、島弧会合部浅部で超低周波地震が発生しているとともに、既往地震(1968年, 1994年, 2003年)はスロー地震活動域を避けるように発生していることを示している。

Fig. 4. Schematic views of the slow earthquake activity and structural heterogeneity in the Japan Trench and Nankai Trough. Red and yellow squares denote tectonic tremors and VLFs, respectively. Green stars and blue circles indicate repeaters and earthquake swarms, respectively. The orange regions are interpreted to host or potentially host SSEs accompanied by tremors, VLFs, repeaters, and/or earthquake swarms. The green regions denote geodetically detected SSEs. The purple region is the rupture area of the 1896 Meiji Sanriku tsunami earthquake (22) in the Japan Trench. The red regions indicate the coseismic rupture area of the 2011 M_w 9.0 Tohoku-Oki earthquake in the Japan Trench and locked zones in the Nankai Trough. The pink regions indicate the asperities (33). The brown regions are subducting seamounts. The dashed dark gray lines denote the afterslip areas of the Tohoku-Oki earthquake in the Japan Trench. The white dashed line indicates the forearc segment boundary (24) in the Japan Trench. Note that the slab geometries are simplified. The schematic view of the Nankai Trough is adapted from (11).

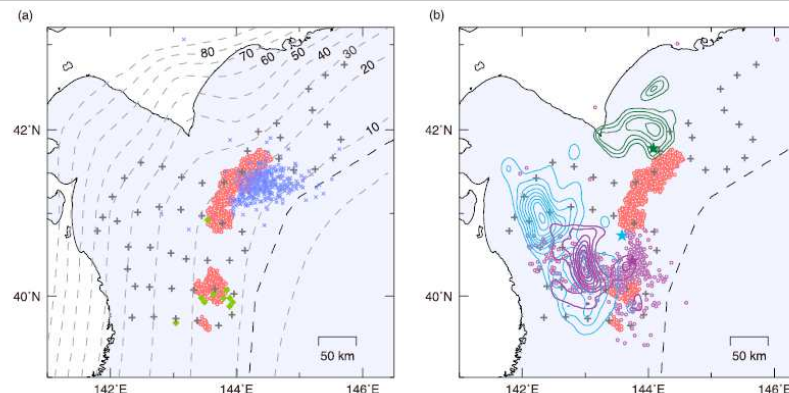
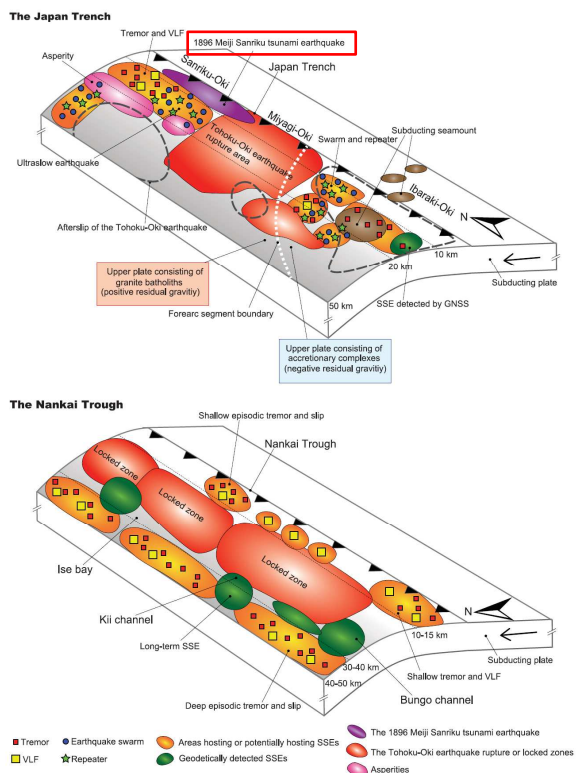


Figure 3. Locations of tremor sources determined in this study (red circles). (a) Comparison with locations of very low frequency earthquakes determined by an array signal processing method (blue crosses; Asano et al., 2008) and a cross-correlation analysis (light green diamonds; Matsuzawa et al., 2015) using land-based stations. Broken lines indicate contours of the depths to the plate interface at 10-km intervals defined by Kita et al. (2010) and Nakajima and Hasegawa (2006). (b) Comparison with the epicenters (stars) and slip distributions (contours) of the 1968 Tokachi-Oki (light blue; Yamana & Kikuchi, 2004), 1994 Sanriku-Oki (purple; Nagai et al., 2001), and 2003 Tokachi-Oki earthquakes (green; Yamana & Kikuchi, 2003). Purple circles denote 7-day aftershocks ($M \geq 3.0$) of the 1994 Sanriku-Oki earthquake listed in the Japan Meteorological Agency earthquake catalog. Plus signs indicate the stations used in the analysis.

日本海溝および南海トラフにおけるスロー地震活動と構造的不均質性の関係(概略図)(Nishikawa et al.(2019))に一部加筆

島弧会合部付近におけるスロー地震活動域と既往地震のアスペリティ分布の比較 (Tanaka et al.(2019))

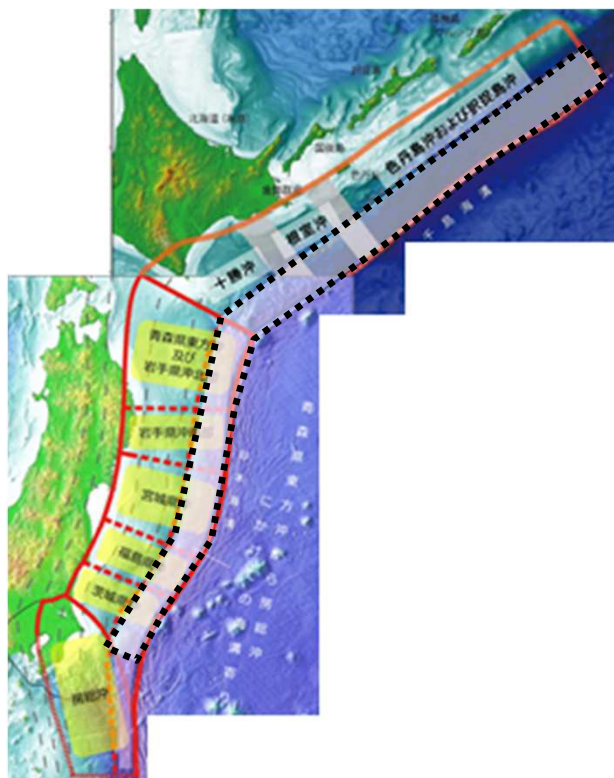
上記地震学的知見から、日本海溝・千島海溝島弧会合部を跨ぐ津波地震の発生可能性は低いと考えられる。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.2 検討対象領域の設定

■まとめ

- 地震調査研究推進本部(2017a, 2019)の評価を踏まえ、検討対象領域は日本海溝から千島海溝を対象とする。
- 日本海溝・千島海溝島弧会合部付近ではスロー地震活動域が分布していることから、島弧会合部を跨ぐ津波地震の発生可能性は低いと考えられるが、安全側に島弧会合部を跨ぐ津波地震も考慮する。



検討対象領域

(地震調査研究推進本部(2017a, 2019)に一部加筆)

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.3 地震規模の設定

■地震調査研究推進本部の評価: 日本海溝沿い

- 地震調査研究推進本部(2012, 2019)では、日本海溝沿いで発生する次の津波地震の規模を1896年明治三陸地震津波の規模(Mt8.6~Mt9.0)^{※1}とし、その信頼度を「A」と評価している。

※1: 地震調査研究推進本部(2012, 2019)では、1896年明治三陸地震津波の地震規模について以下のとおり評価している。

→ Mt8.6, 9.0はともに阿部(2003)^{※2}による値。阿部(2003)によると「遡上高の平均値に阿部(1999)のMt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」とのことであるが、本報告ではMt9.0も十分考えられると判断した。

※2: 阿部(2003)の知見、津波地震のMtとMwの関係の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 「津波地震」に起因する津波の評価 1. 阿部(2003)及びMtとMwの関係」に記載。

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

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

注2 評価時点がどの時点でもポアソン過程を用いているため確率は変化しない。

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

注4 評価の信頼度

■規模の評価の信頼度:A

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

■発生確率の評価の信頼度:C

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

今後の新しい知見により値が大きく変わり得る。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.3 地震規模の設定

■地震調査研究推進本部の評価:千島海溝沿い

- 地震調査研究推進本部(2017a)では、十勝沖から択捉島沖で発生する次の津波地震の規模をMt8.0程度と評価している。
- 千島海溝沿いで発生した津波地震で顕著な被害を及ぼしたものは記録に無いが、隣接する日本海溝沿いでは、より規模の大きな津波地震が発生し、多数の死傷者を伴っており(1896年明治三陸地震, M8.2, Mt8.6~9.0), 規模の大きな津波地震が発生する可能性は否定できないとしている。

次の十勝沖から択捉島沖の海溝寄りのプレート間地震(津波地震等)
(地震調査研究推進本部(2017a))

項目	将来の地震発生確率等 ^{注1}	備考
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	20%程度 ^{注2} 40%程度 50%程度 60%程度 70%程度	1900年以降の117年間に、Mt8.0程度の地震が3回発生しているため、発生頻度を39.0年に1回とし、ポアソン過程から発生確率を算出した
次の地震の規模	Mt8.0程度 ^{注3}	過去に発生した地震のMtを参考にして判断した。津波地震である場合はMはMtより小さい。

注1 評価時点がどの時点でもポアソン過程を用いているため確率は変化しない。

注2 海溝型地震の発生確率表記のルールでは、当該の地震の発生確率をその最新の発生時刻、平均発生間隔、ばらつきを用いて算定する。
有効桁数は1として計算結果を丸めて以下の表記の規程を適用する。

<計算結果(%)> → <評価としての表記例>
10以上94.5未満 → 「d0%程度」

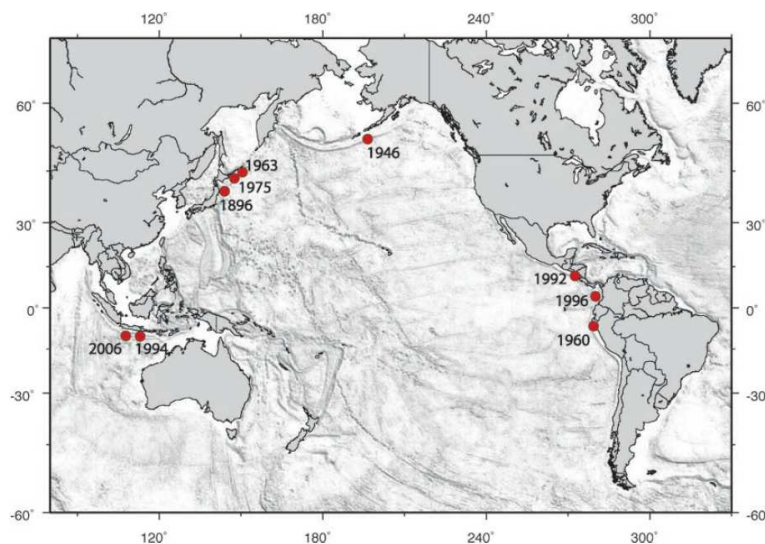
注3 この報告書では、Mの数値の推定のばらつきについて、「程度」及び「前後」を使用した。「程度」は「前後」よりばらつきが大きい場合に使用した。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.3 地震規模の設定

■国内外で発生した津波地震の地震規模に関する知見

- 1896年明治三陸地震津波 ($M_w 8.3$, 土木学会(2016))は, 国内外で発生した最大規模の地震である。



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

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

世界の津波地震発生位置 (POLET and KANAMORI(2008))に一部加筆)

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

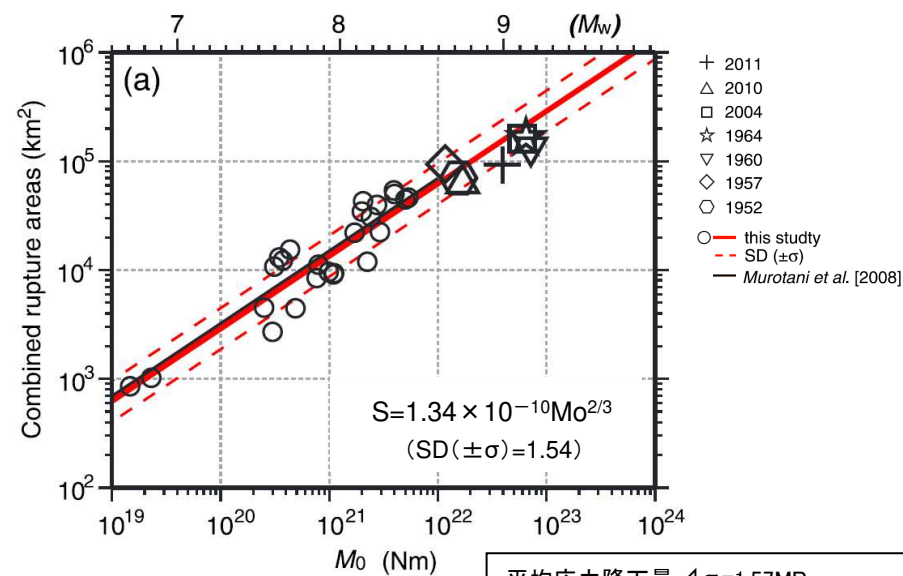
2.3 地震規模の設定

■地震規模(Mw)の分布幅に関する知見の整理

- 土木学会(2009)では、日本付近でほぼ同じ領域が破壊したと考えられる過去の固有地震の規模範囲を整理し、「マグニチュードの決定精度に問題はあると思われるが、マグニチュード幅は0.3~0.6程度の範囲に分布している。」としている。
- Murotani et al.(2013)によるM7~9クラスまでに適用可能なスケーリング則($M_0 = 16 / (7 \cdot \pi^{3/2}) \cdot \Delta\sigma \cdot S^{3/2}$)から、破壊領域(S)と M_0 の関係式の平均応力降下量を算定すると1.57MPaであり、標準偏差SD($\pm\sigma$)を考慮すると最小で0.82MPa、最大で3.0MPaとなる。
- 破壊領域(S)を固定した場合の各平均応力降下量のMwを算定すると、 $\Delta\sigma = 1.57\text{MPa}$ によるMwに対して $\Delta\sigma = 0.82\text{MPa}$ は-0.2、 $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ は+0.2となる。

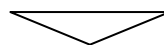
過去の固有地震の規模範囲
(土木学会(2009))

海域	M_j の範囲	M_t の範囲
宮城県沖: 5地震	7.3~7.5	—
三陸沖北部: 4地震	7.4~7.9	7.6~8.2
十勝沖: 2003, 1952, 1843	8.0~8.2	8.0~8.2
南海: 1946, 1854	8.0~8.4	8.1~8.3



平均応力降下量 $\Delta\sigma = 1.57\text{MPa}$
 $S + \sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 0.82\text{MPa}$
 $S - \sigma$ 時の平均応力降下量 $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$

破壊領域(S)と M_0 の関係 (Murotani et al.(2013))



以上から、地震規模(Mw)の分布幅は、基準±0.2と整理される。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.3 地震規模の設定

■まとめ

- 地震調査研究推進本部(2012, 2019)では、日本海溝沿いで発生する次の地震の規模を1896年明治三陸地震津波と評価している。また、地震調査研究推進本部(2017a)では、千島海溝沿いで発生する次の地震規模をMt8.0程度と評価しているが、日本海溝沿いではより規模の大きな津波地震が発生していることを踏まえ、Mt8.0程度よりも規模が大きい津波地震が発生する可能性は否定できないとしている。
- 1896年明治三陸地震津波は国内外で発生した最大規模の地震であるが、地震規模の分布幅について、土木学会(2009)は、日本付近でほぼ同じ領域が破壊したと考えられる過去の固有地震の規模範囲を整理し、マグニチュード幅は0.3～0.6程度の範囲に分布するとしている。また、Murotani et al.(2013)は、M7～9クラスまでに適用可能なスケーリング則から、マグニチュード幅は±0.2の範囲に分布するとしている。
- 以上から、基準断層モデルの地震規模は、国内外で発生した最大規模の1896年明治三陸地震津波の痕跡高を再現するモデル(Mw8.28)を上回るMw8.5を考慮する。

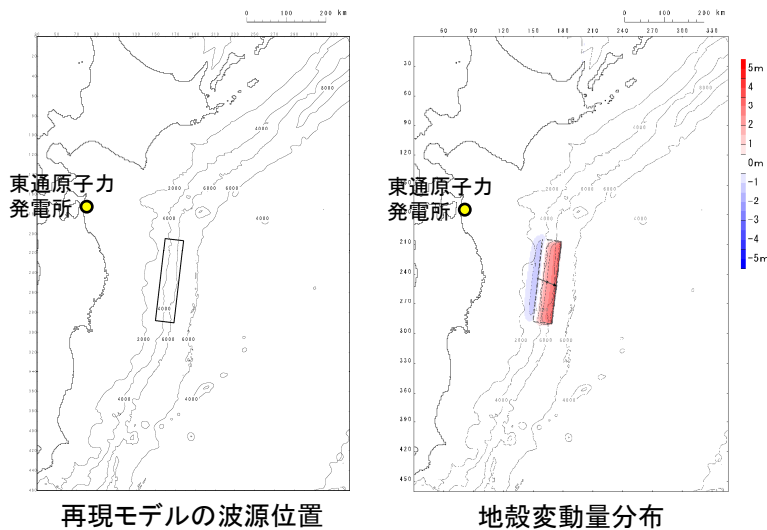
I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■ 既往津波の再現解析

【再現モデルの設定】

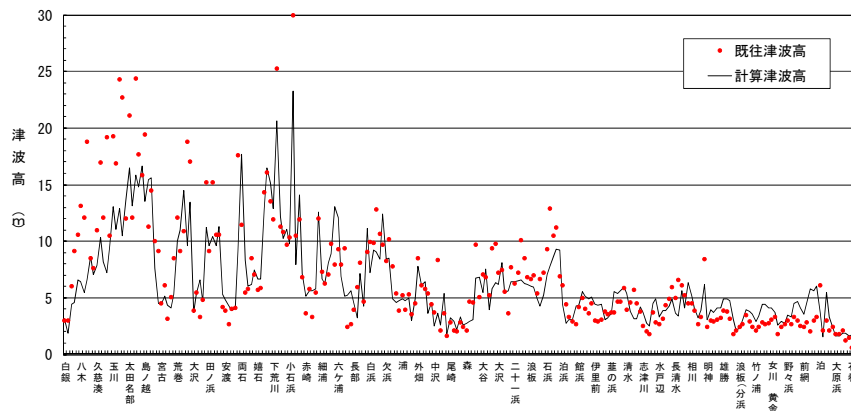
- 土木学会(2016)を参考として、1896年明治三陸地震津波の再現モデルを設定した。



断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード*	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.28
長さ	L(km)	土木学会(2016)	210
幅	W(km)	土木学会(2016)	50
剛性率	μ (N/m ²)	土木学会(2016)	3.5×10^{10}
すべり量	D _{max} (m)	土木学会(2016)を基本として、再現性が確認できるすべり量に補正。	9.0
地震モーメント	Mo(N・m)	μ LWD	3.31×10^{21}
走向	θ (°)	土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できる走向に補正。	190
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2016)	1
傾斜角	δ (°)	土木学会(2016)	20
すべり角	λ (°)	土木学会(2016)	75
ライズタイム	τ (s)	相田(1986)	60

【再現性の確認結果※】

- 土木学会(2016)の目安 ($0.95 < K < 1.05$, $\kappa < 1.45$) を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。



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

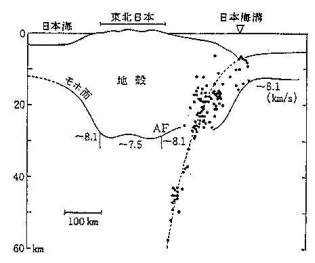
※: 再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、補足説明資料「Ⅶ. 計算条件等 3. 既往津波の再現解析」に記載。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

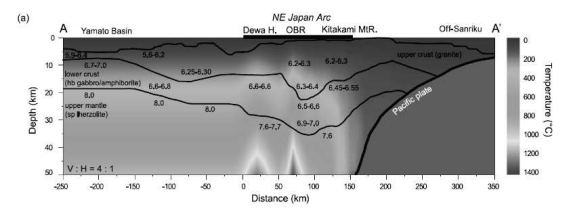
2.4 基準断層モデルの設定

■ 既往津波の再現解析: 剛性率の設定

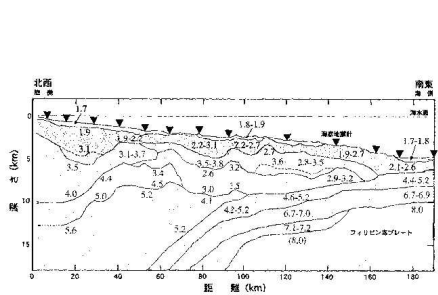
- 土木学会 (2016) 等を参考として, $3.5 \times 10^{10} (\text{N/m}^2)$ とした。



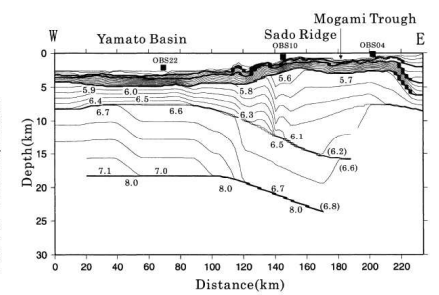
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



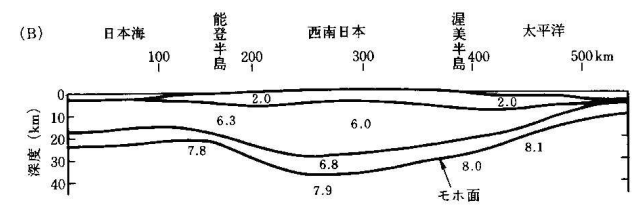
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) © 日本地質学会)



(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	堀内ら(1977) マンツルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺(1977)
函館群発	(1.66)			高波ら(1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao(1981) 真のVp, Vsから求めた値
四国	(1.58-1.65) 1.73	1.75	1.73	岡野・木村(1983) ()内は表層の値
飛騨周辺	1.67±0.01			
長野県	1.69±0.01			
北関東	1.71±0.01			橋田・鶴川(1995)
甲府周辺	1.69±0.01			
富士箱根	1.69~1.78			
甲府周辺	1.66~1.71			
日光付近	1.682±0.016	1.686*	1.90	大東・伊藤(1995)
長野県西部	1.700±0.053	1.686*		*は真のVp, Vsから求めた値
兵庫県南部	1.680±0.023	1.76*	1.76*	

震源付近の媒質の剛性率(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. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■ライズタイムの設定

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

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

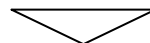
ここで、

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)

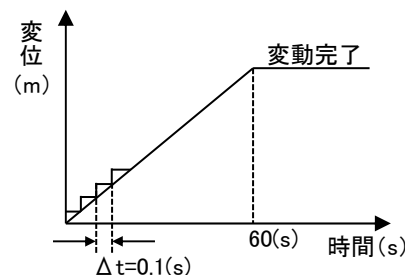
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL: 150(km)~200(km)程度(土木学会(2002)), 破壊伝播速度 V_r : 2.4(km/s)~3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2009)), ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間) τ : 5(s)程度(相田(1986))とすると、津波初期変位分布のライズタイムは、55(s)~88(s)程度となる。



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。

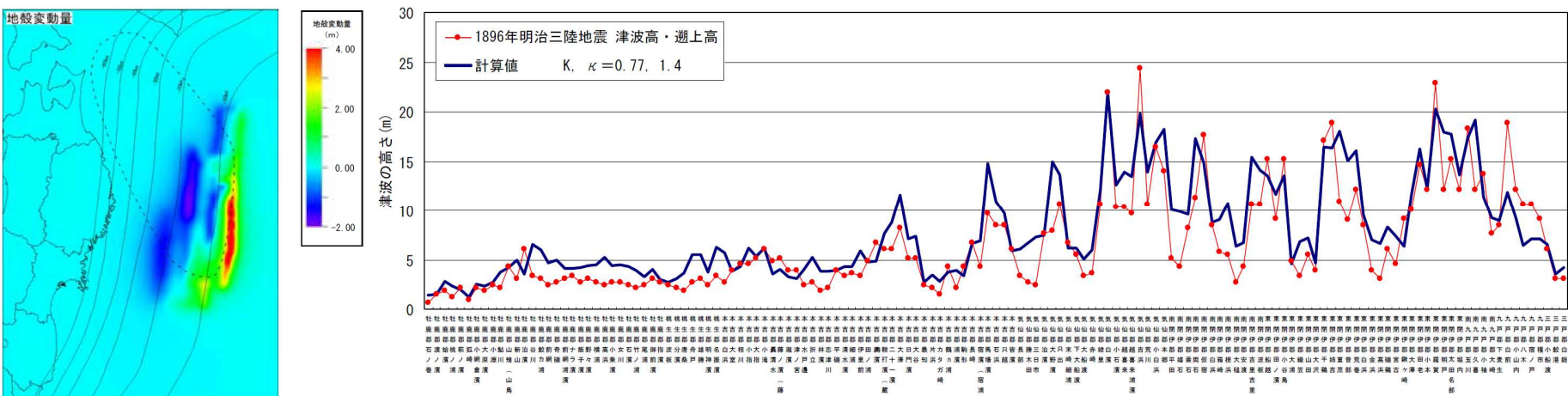
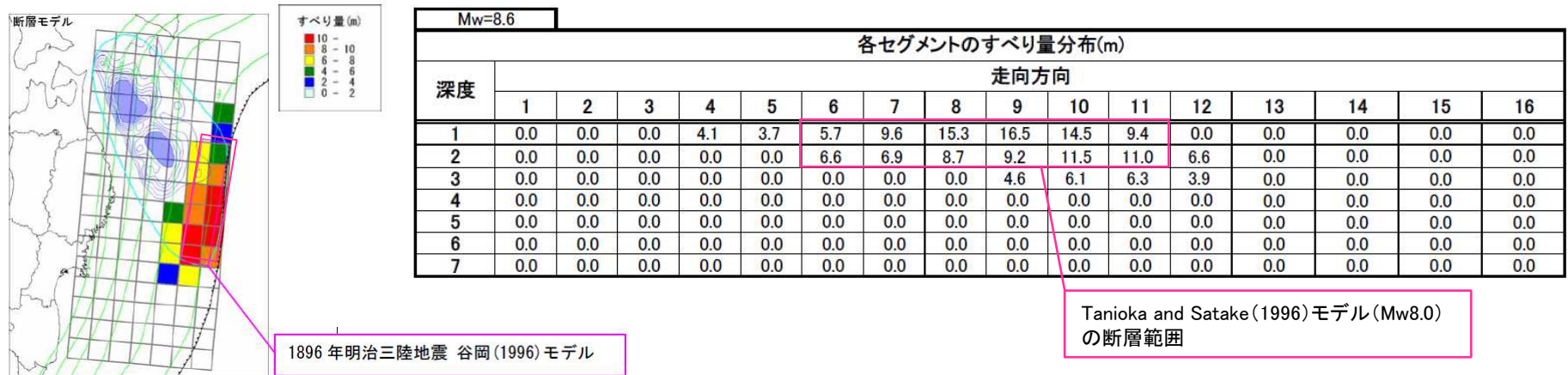


I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■設定方針

- 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23km², 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(Mw8.5^{*}), 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(2002)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。
- 以上から, 基準断層モデルは, 中央防災会議(2005)の断層モデルのすべり分布を参考に設定する。



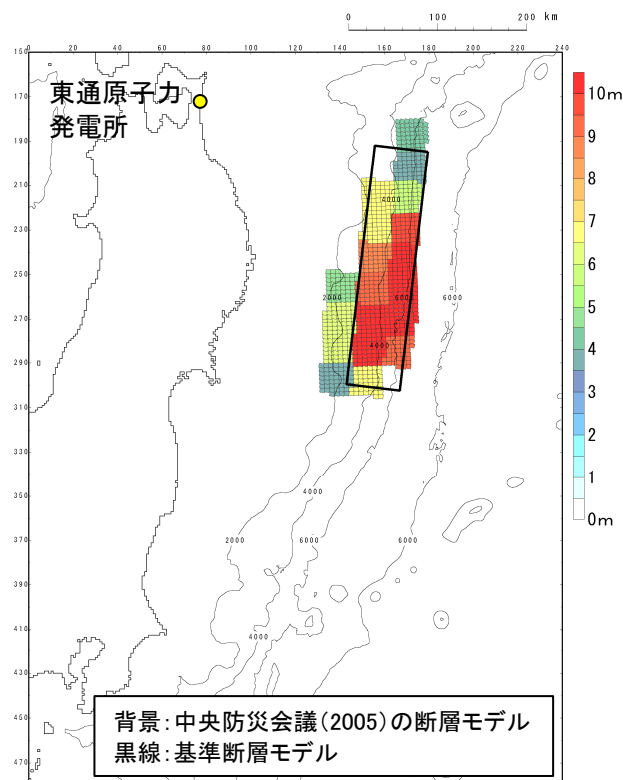
1896年明治三陸地震津波の痕跡高を用いたインバージョンモデル及び痕跡高と計算値の比較(中央防災会議(2005)に一部加筆)

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■ 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, ライズタイムの設定

- 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(2002)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	Mo(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
すべり角	λ (°)		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

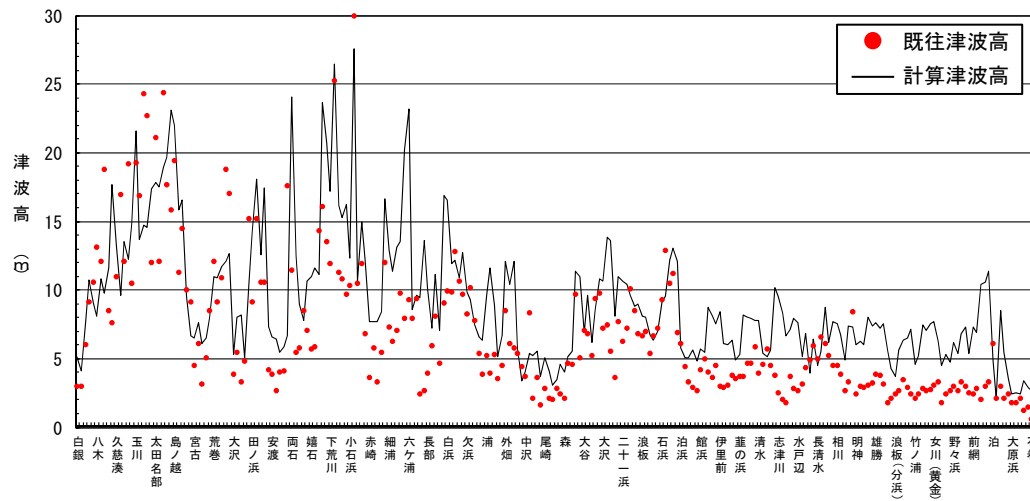
1896年明治三陸地震津波の痕跡高と比較し, 設定した断層モデルの妥当性を確認する。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■ 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*	

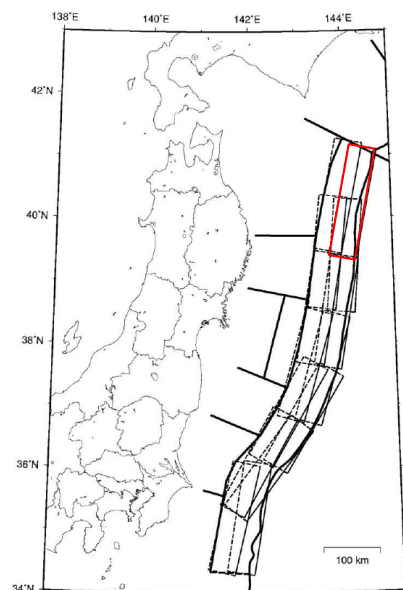
※: 痕跡高と計算値の比較図(p.293)から読み取り

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

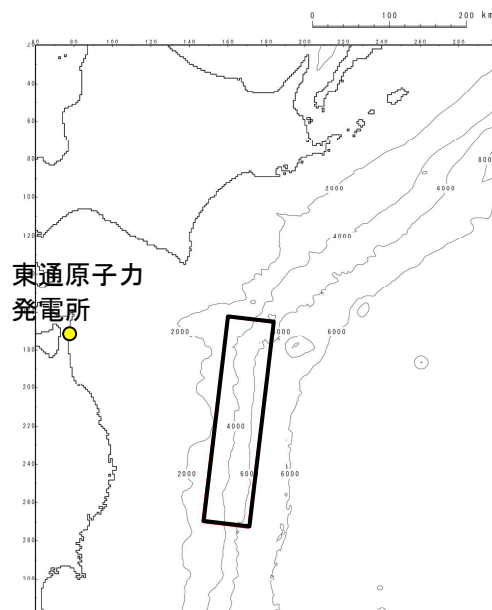
2.4 基準断層モデルの設定

■ 基準断層モデルの設定

- 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(日本海溝北端)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. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.4 基準断層モデルの設定

■基準断層モデルによる計算結果

- ・ 基準断層モデル(Mw8.5)による計算結果を示す。
- ・ 水位上昇側については、申請時の基準断層モデル(Mw8.3)の計算結果もあわせて示す。

【水位上昇側】

	最大水位上昇量(m)				備考
	敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面	
基準断層モデル (Mw8.5)	6.66	5.94	5.96	5.72	
申請時 基準断層モデル (Mw8.3)	6.46	4.74	—	4.43	補機冷却海水系取水口を反映する前の地形による計算結果

【水位下降側】

	最大水位下降量(m)	備考
	補機冷却海水系取水口前面	
基準断層モデル (Mw8.5)	-4.09	

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.5 波源特性の不確かさの考慮

■波源特性の不確かさの考慮方法

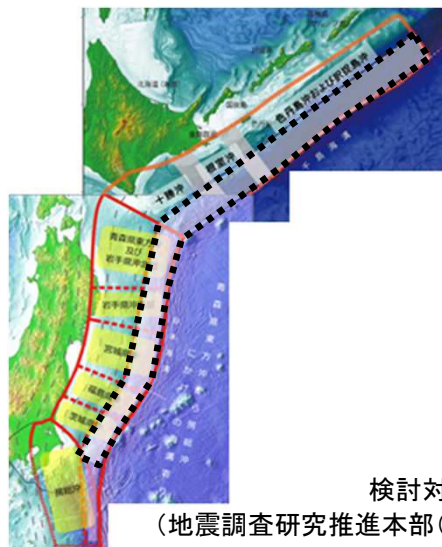
- 土木学会(2016)を参考として波源位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し、敷地前面における水位上昇量及び補機冷却海水系取水口前面における水位下降量が最大となるケースを対象に、傾斜角及びすべり角を変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 走向、傾斜角、すべり角の変動範囲については、土木学会(2002, 2016)を参考に設定^{※1}した。

※1:土木学会(2002)では、走向について、日本海溝の形状を考慮して変動範囲を設定。傾斜角、すべり角については、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)及び既往津波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】

検討対象領域	変動範囲	
	位置	走向 ^{※2}
日本海溝沿い	基準(日本海溝北端) 南へ10km, 20km, 30km移動	基準, 基準±5°, 基準+10°
日本海溝~ 千島海溝沿い	基準(日本海溝北端)から 北東へ10km~260km移動(10km単位)	
千島海溝沿い	千島海溝南西端から北東へ10km, 20km, 30km, 40km, 50km移動	

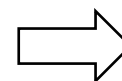
※2:海溝軸を跨がない範囲で変動範囲を設定



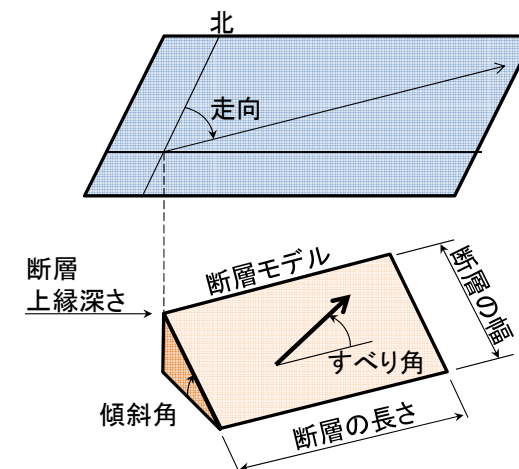
【詳細パラメータスタディ】

項目	変動範囲
傾斜角	基準, 基準±5°
すべり角	基準, 基準±10°

最大水位上昇量・
下降量最大ケース



(参考)断層パラメータ

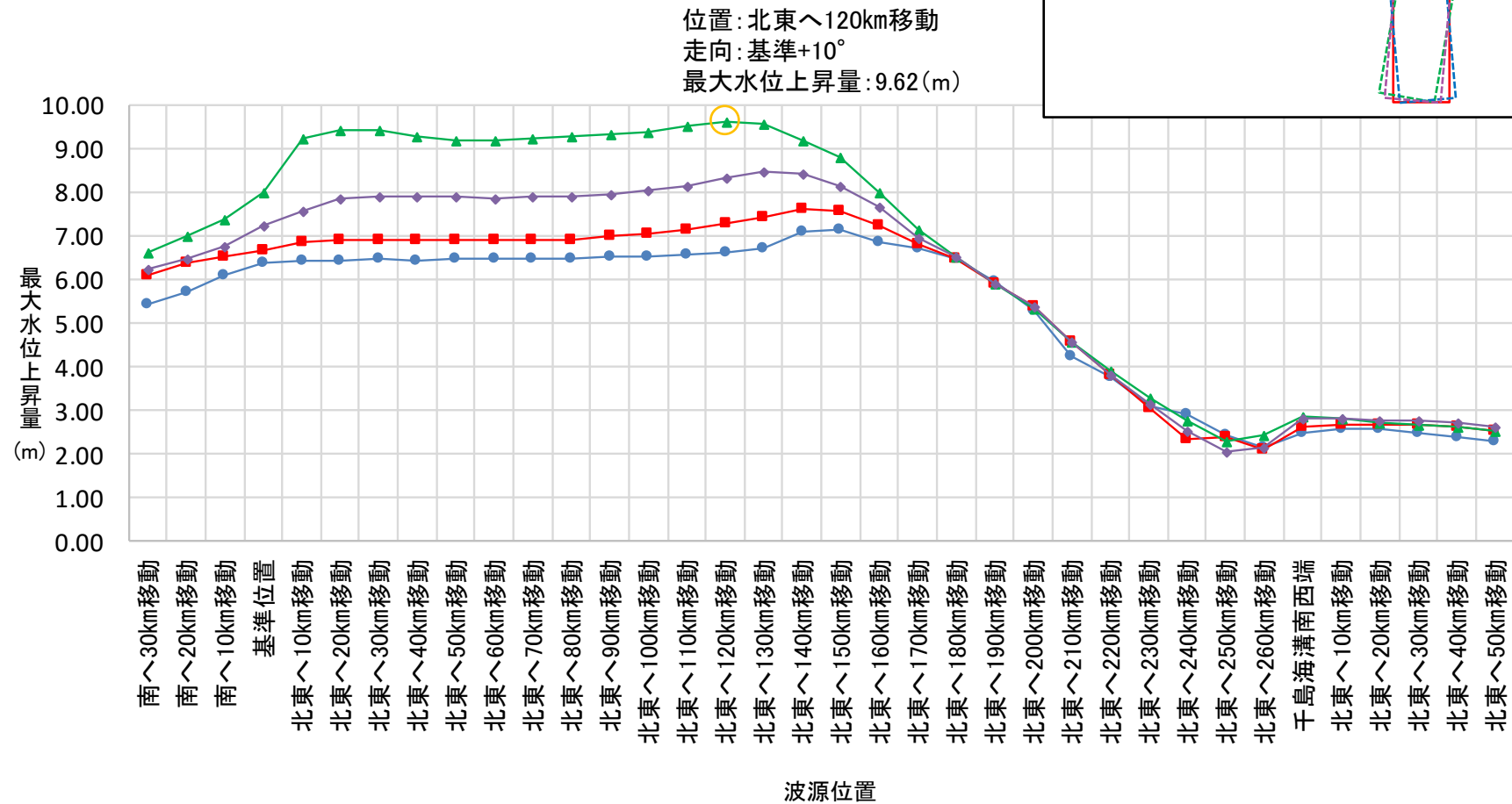


I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震 2.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ結果: 水位上昇側

- 敷地前面における最大水位上昇量を以下に示す※。

※: 計算結果の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 「津波地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。

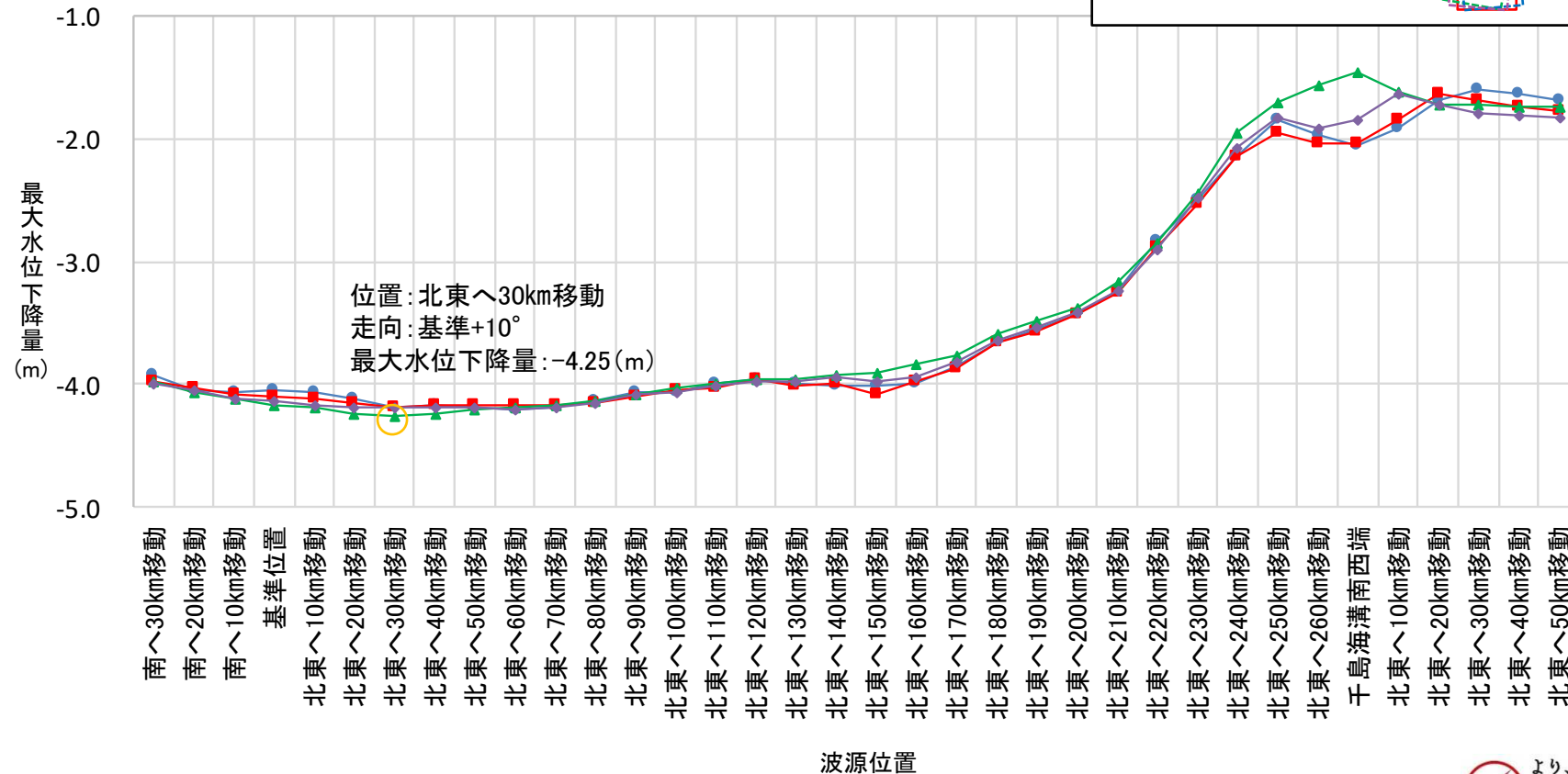
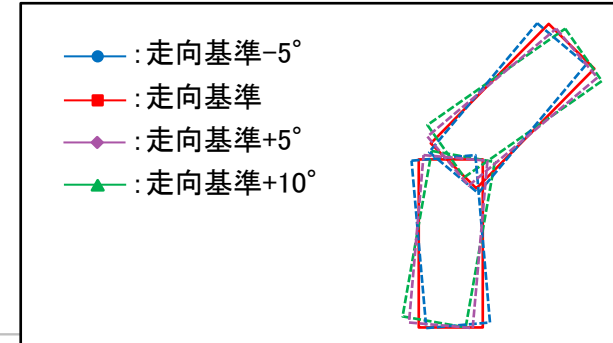


I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震 2.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ結果: 水位下降側

- 補機冷却海水系取水口前面における最大水位下降量を以下に示す※。

※: 計算結果の詳細は、補足説明資料「Ⅲ. 「津波地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。



I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ結果:まとめ

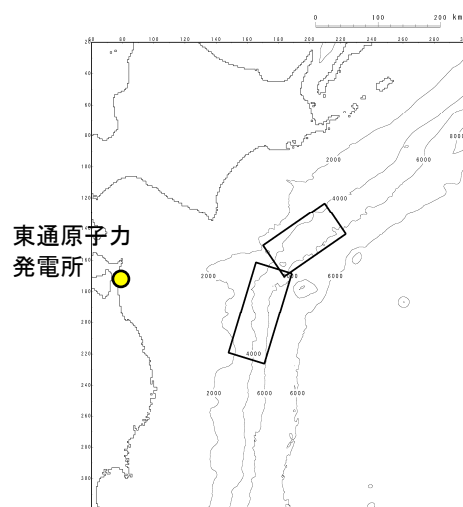
- 概略パラメータスタディ及び港湾部の防波堤の有無に関する影響検討結果(詳細は次頁以降に示す)を踏まえ、以下のケースを対象に詳細パラメータスタディを実施する。

【水位上昇側】

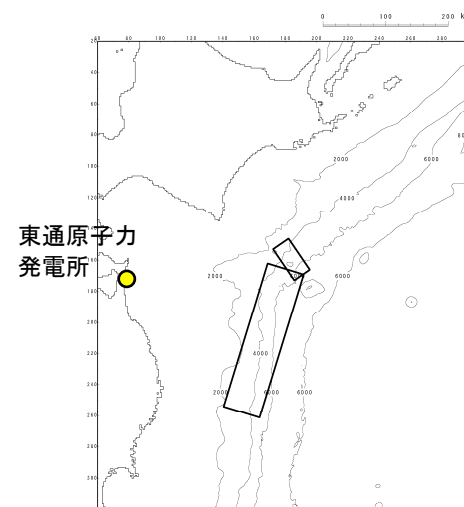
位置	走向	最大水位上昇量(m)			
		敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
日本海溝北端から北東へ 120km移動	基準+10°	9.62	8.62	8.76	8.35

【水位下降側】

位置	走向	最大水位下降量(m)
		補機冷却海水系取水口前面
日本海溝北端から北東へ 30km移動	基準+10°	-4.25



断層位置(水位上昇側)



断層位置(水位下降側)

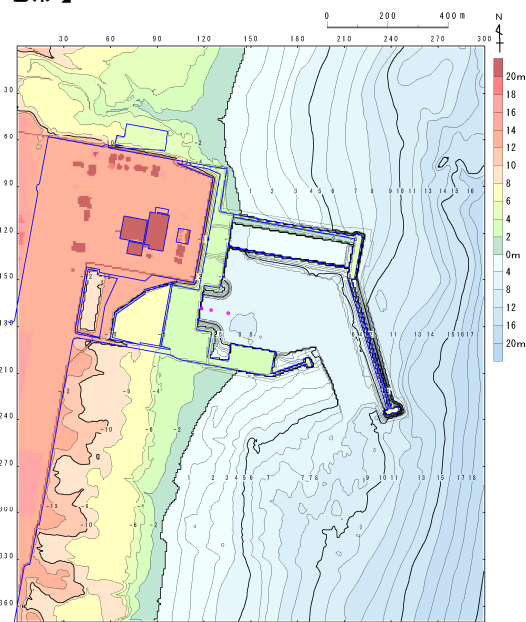
I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.5 波源特性の不確かさの考慮

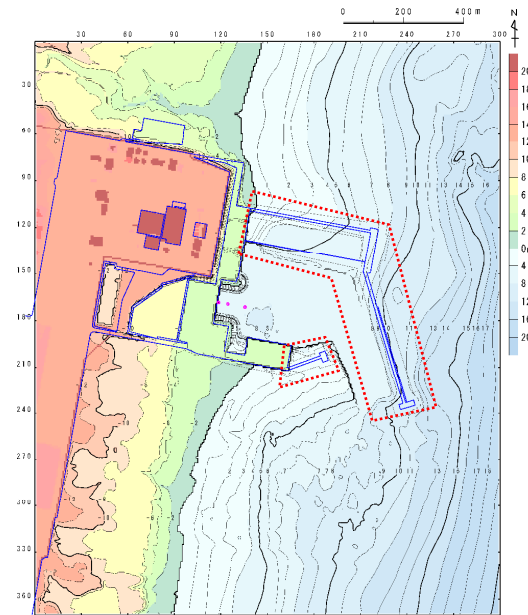
■防波堤の影響検討: 検討方針

- 概略パラメータスタディで抽出した波源位置が、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、水位上昇側・下降側決定ケースの波源位置の前後10kmの範囲を対象に防波堤無し地形を用いてパラメータスタディを実施した。
- 解析に用いた地形を以下に示す。

【解析地形】



防波堤有り



防波堤無し

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

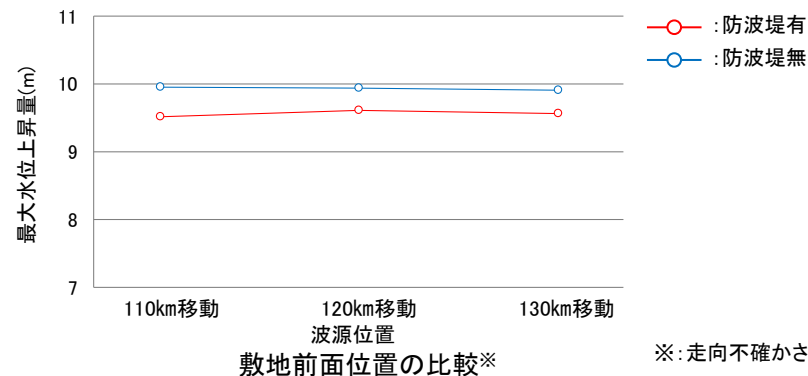
2.5 波源特性の不確かさの考慮

■防波堤の影響検討:水位上昇側

- 防波堤無しの場合の地形を用いたパラメータスタディの結果、防波堤の有無が波源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。

下線:最大ケース

		敷地前面		取水口前面		補機冷却海水系 取水口前面		放水路護岸前面	
		有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
日本海溝北端から北東へ 110km移動	基準-5°	6.57	6.89	5.73	5.36	5.60	5.32	5.63	5.67
	基準	7.13	7.73	6.62	6.35	6.75	6.42	6.35	6.19
	基準+5°	8.14	9.10	7.63	7.39	7.58	7.22	7.32	7.61
	基準+10°	9.52	<u>9.96</u>	8.57	<u>8.22</u>	8.72	8.22	8.26	8.52
日本海溝北端から北東へ 120km移動 (水位上昇側決定位置)	基準-5°	6.63	6.92	5.82	5.51	5.78	5.46	5.73	5.84
	基準	7.29	7.85	6.80	6.49	6.89	6.53	6.47	6.32
	基準+5°	8.33	9.22	7.74	7.50	7.74	7.35	7.41	7.73
	基準+10°	<u>9.62</u>	9.94	<u>8.62</u>	8.21	<u>8.76</u>	<u>8.25</u>	<u>8.35</u>	<u>8.52</u>
日本海溝北端から北東へ 130km移動	基準-5°	6.71	7.11	5.98	5.74	6.04	5.80	5.85	6.02
	基準	7.44	8.00	6.99	6.71	7.02	6.68	6.64	6.52
	基準+5°	8.44	9.28	7.82	7.55	7.85	7.41	7.47	7.80
	基準+10°	9.57	9.91	8.55	8.10	8.68	8.13	8.28	8.39



※: 走向不確かさケースの最大値をプロット

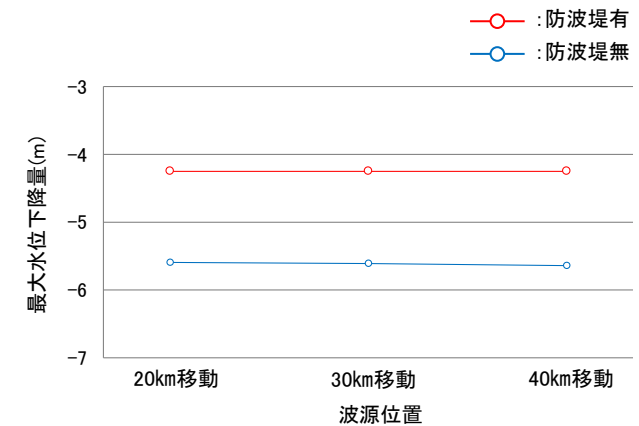
I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震 2.5 波源特性の不確かさの考慮

■防波堤の影響検討:水位下降側

- 防波堤無しの場合の地形を用いたパラメータスタディの結果、防波堤の有無が波源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。

下線:最大ケース

		補機冷却海水系取水口前面	
		有り	無し
日本海溝北端から北東へ 20km移動	基準-5°	-4.11	-5.50
	基準	-4.15	-5.59
	基準+5°	-4.19	-5.59
	基準+10°	-4.24	-5.59
日本海溝北端から北東へ 30km移動 (水位下降側決定位置)	基準-5°	-4.18	-5.52
	基準	-4.18	-5.61
	基準+5°	-4.18	-5.60
	基準+10°	<u>-4.25</u>	-5.60
日本海溝北端から北東へ 40km移動	基準-5°	-4.17	-5.54
	基準	-4.18	-5.61
	基準+5°	-4.19	<u>-5.64</u>
	基準+10°	-4.24	-5.61



補機冷却系取水口前面位置の比較*

※: 走向不確かさケースの最大値をプロット

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.5 波源特性の不確かさの考慮

■詳細パラメータスタディ結果: 水位上昇側

- ・ 敷地前面における最大水位上昇量を以下に示す。

パラメータの変動範囲				最大水位上昇量(m)
波源位置	走向	傾斜角	すべり角	敷地前面
日本海溝北端から 北東へ120km移動	基準+10°	基準-5°	基準-10°	8.58
			基準	8.52
			基準+10°	8.16
		基準	基準-10°	9.69
			基準	9.62
			基準+10°	9.13
		基準+5°	基準-10°	<u>10.34</u>
			基準	10.29
			基準+10°	10.15

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.5 波源特性の不確かさの考慮

■詳細パラメータスタディ結果: 水位下降側

- 補機冷却海水系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				最大水位下降量(m)
波源位置	走向	傾斜角	すべり角	補機冷却海水系取水口前面
日本海溝北端から 北東へ30km移動	基準+10°	基準-5°	基準-10°	-4.17
			基準	-4.18
			基準+10°	-4.16
		基準	基準-10°	-4.26
			基準	-4.25
			基準+10°	-4.23
		基準+5°	基準-10°	-4.26
			基準	-4.27
			基準+10°	-4.26

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.6 「津波地震」に起因する津波の評価

■津波水位

- 各評価位置における最大水位上昇量及び最大水位下降量を以下に示す。
- 水位上昇側については、申請時(Mw8.3)の計算結果もあわせて示す。

【水位上昇側】

波源モデル	位置	走向	傾斜角	すべり角	最大水位上昇量(m)				備考
					敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面	
津波地震	日本海溝北端から北東へ120km移動	基準+10°	基準+5°	基準-10°	10.34	9.09	9.24	9.12	
<参考>申請時(Mw8.3)	日本海溝北端	基準+10°	基準+5°	基準+10°	7.82	6.09	—	5.96	補機冷却海水系取水口を反映する前の地形による計算結果

【水位下降側】

波源モデル	位置	走向	傾斜角	すべり角	補機冷却海水系取水口前面		備考
					最大水位下降量(m)	取水口敷高※を下回る継続時間(分)	
津波地震	日本海溝北端から北東へ30km移動	基準+10°	基準+5°	基準	-4.27	1.3	
非常用海水ポンプの運転可能継続時間						約35	

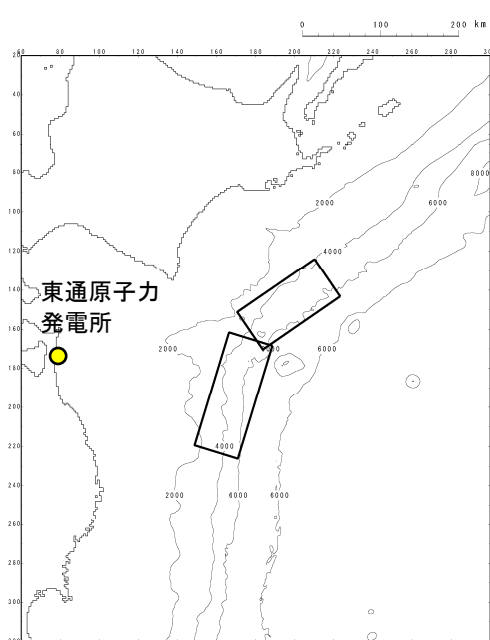
※:補機冷却海水系取水設備の詳細は、補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載。

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

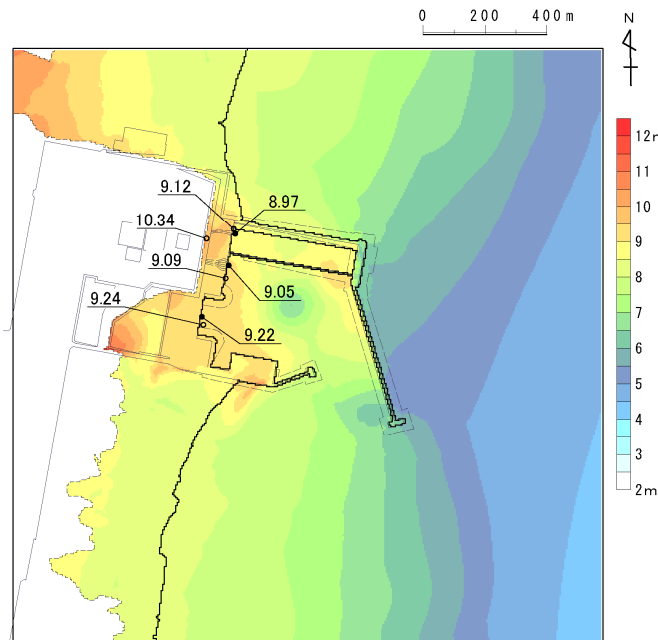
2.6 「津波地震」に起因する津波の評価

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位上昇側

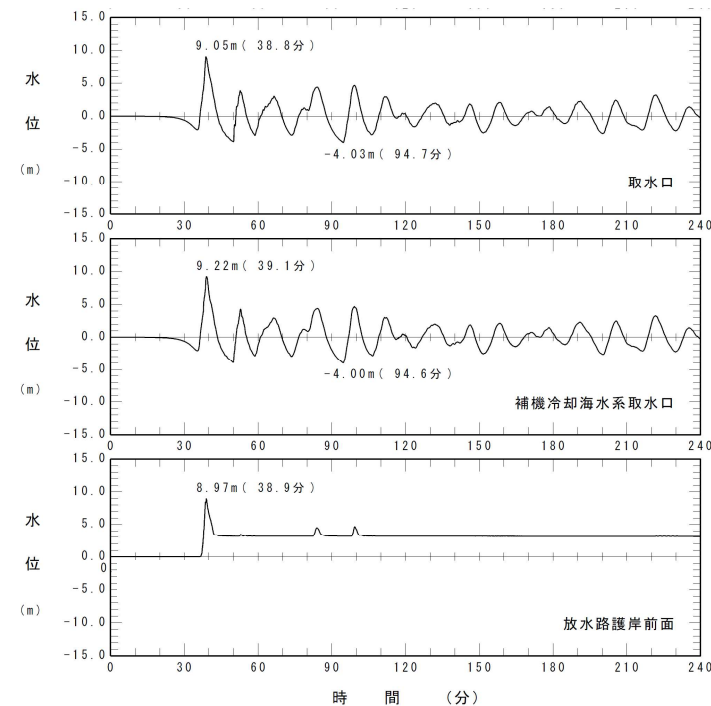
位置	走向	傾斜角	すべり角	最大水位上昇量 (m)			
				敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
日本海溝北端から北東へ 120km移動	基準+10°	基準+5°	基準-10°	10.34	9.09	9.24	9.12




波源位置



最大水位上昇量分布



取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面における水位時刻歴波形※

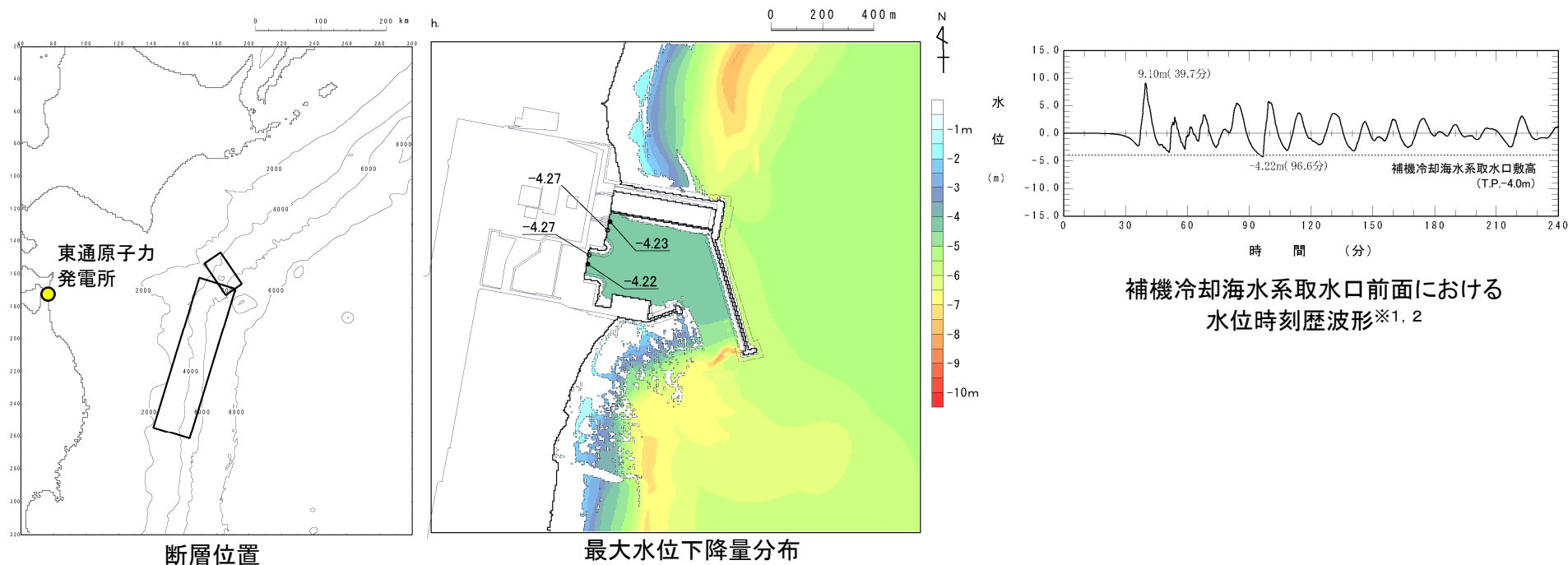
※: 水位時刻歴波形は, 各取放水設備前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は, 補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載)  より、そう、ちから。東北電力

I. 地震に起因する津波の評価 2. 津波地震

2.6 「津波地震」に起因する津波の評価

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位下降側

位置	走向	傾斜角	すべり角	補機冷却海水系取水口前面	
				最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)
日本海溝北端から北東へ 30km移動	基準+10°	基準+5°	基準	-4.27	1.3



※1: 水位時刻歴波形は、補機冷却海水系取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は、補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載)

※2: 補機冷却海水系取水設備の詳細は、補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載。

I . 地震に起因する津波の評価

3. 海洋プレート内地震

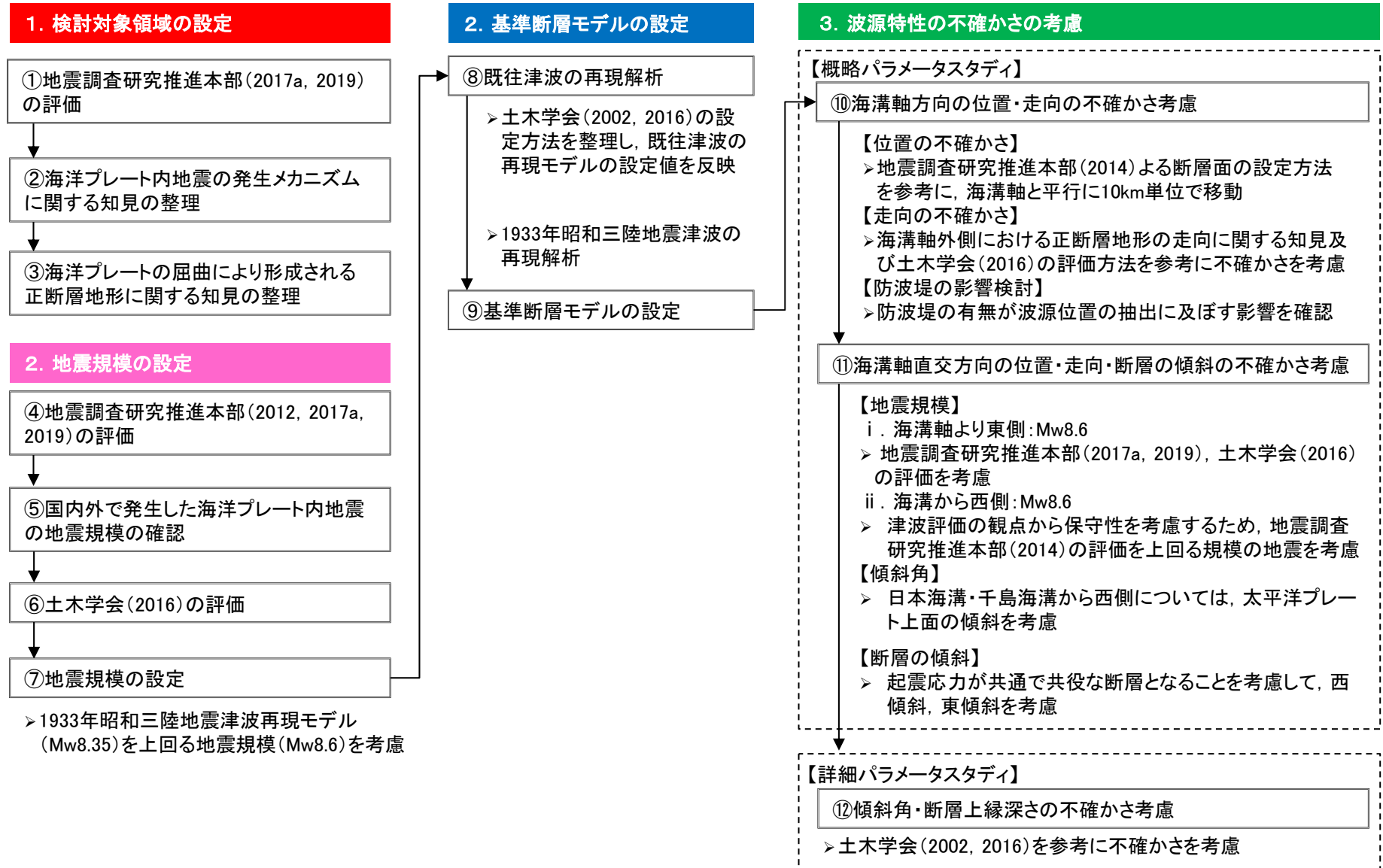
- 3. 1 評価フロー
- 3. 2 検討対象領域の設定
- 3. 3 地震規模の設定
- 3. 4 基準断層モデルの設定
- 3. 5 波源特性の不確かさの考慮
- 3. 6 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.1 評価フロー

以下のフローに基づき評価を実施した。

【評価フロー】

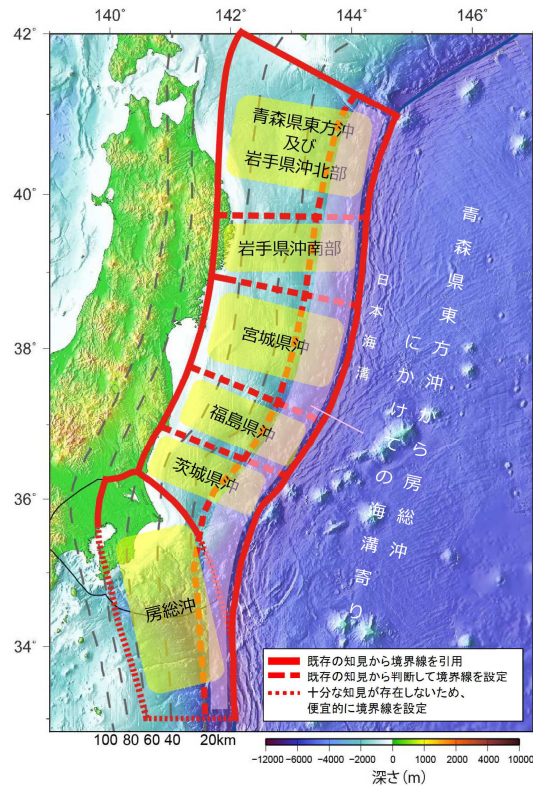


I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

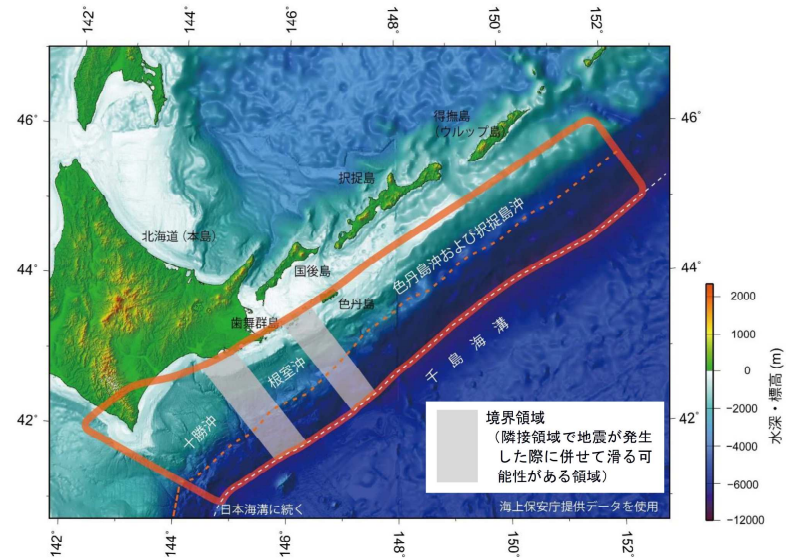
3.2 検討対象領域の設定

■地震調査研究推進本部の評価

- 日本海溝軸外側における海洋プレート内地震の発生領域について、地震調査研究推進本部(2019)は、津波等により大きな被害をもたらした地震としては、三陸沖付近で1933年に発生した正断層型の地震(昭和三陸地震, M8.1)があり、同様の地震は海溝軸外側の領域内のどこでも発生する可能性があるとして評価している。
- また、千島海溝沿いについて、地震調査研究推進本部(2017a)は、過去に十勝沖から択捉島沖において地震が発生した履歴は無いが、択捉島沖の北東側では2007年にM8.2(Mw8.1)が、隣接する日本海溝沿いの領域では1933年にM8.1(Mw8.4)の地震(昭和三陸地震)が発生しているため、同様の規模の地震は海溝軸外側のどこでも発生する可能性があるとして評価している。



地震調査研究推進本部(2019)における
日本海溝沿いの評価対象領域



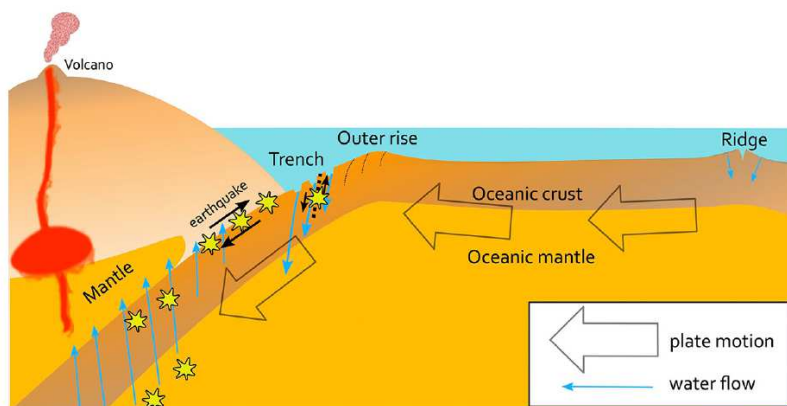
地震調査研究推進本部(2017a)における
千島海溝沿いの評価対象領域

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

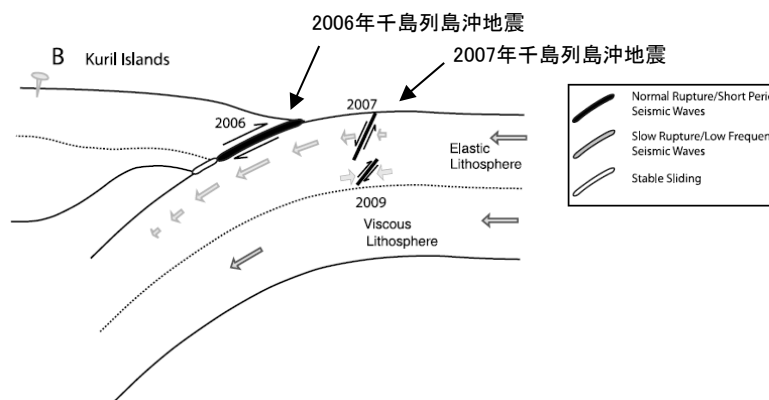
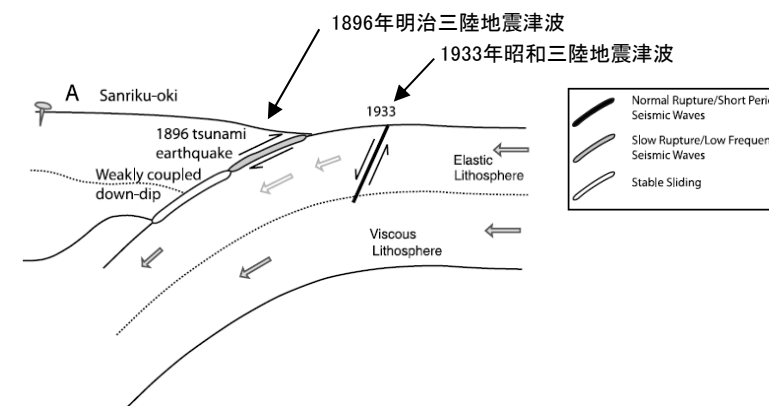
3.2 検討対象領域の設定

■海洋プレート内地震の発生メカニズムに関する知見

- 尾鼻・藤江(2017)は、海溝軸外側は、海洋プレートの沈み込みによる屈曲によりプレート浅部に伸張応力場が生じ、海洋性地殻を断ち切る正断層によって形成された地塁・地溝構造(正断層)が発達しており、この構造を通じてプレート内に取り込まれた水が地震活動に影響を及ぼすとしている。
- また、Lay et al.(2011)は、プレート屈曲に伴う伸張応力によって生じる海洋プレート内地震(アウターライズ地震)について、1896年明治三陸地震と1933年昭和三陸地震や2006年と2007年の千島列島沖地震のように、プレート間地震発生後(歪み解放後)に、連動して発生した事例があるとしている。



海洋プレートによる水輸送と地震活動の模式図
(尾鼻・藤江(2017))



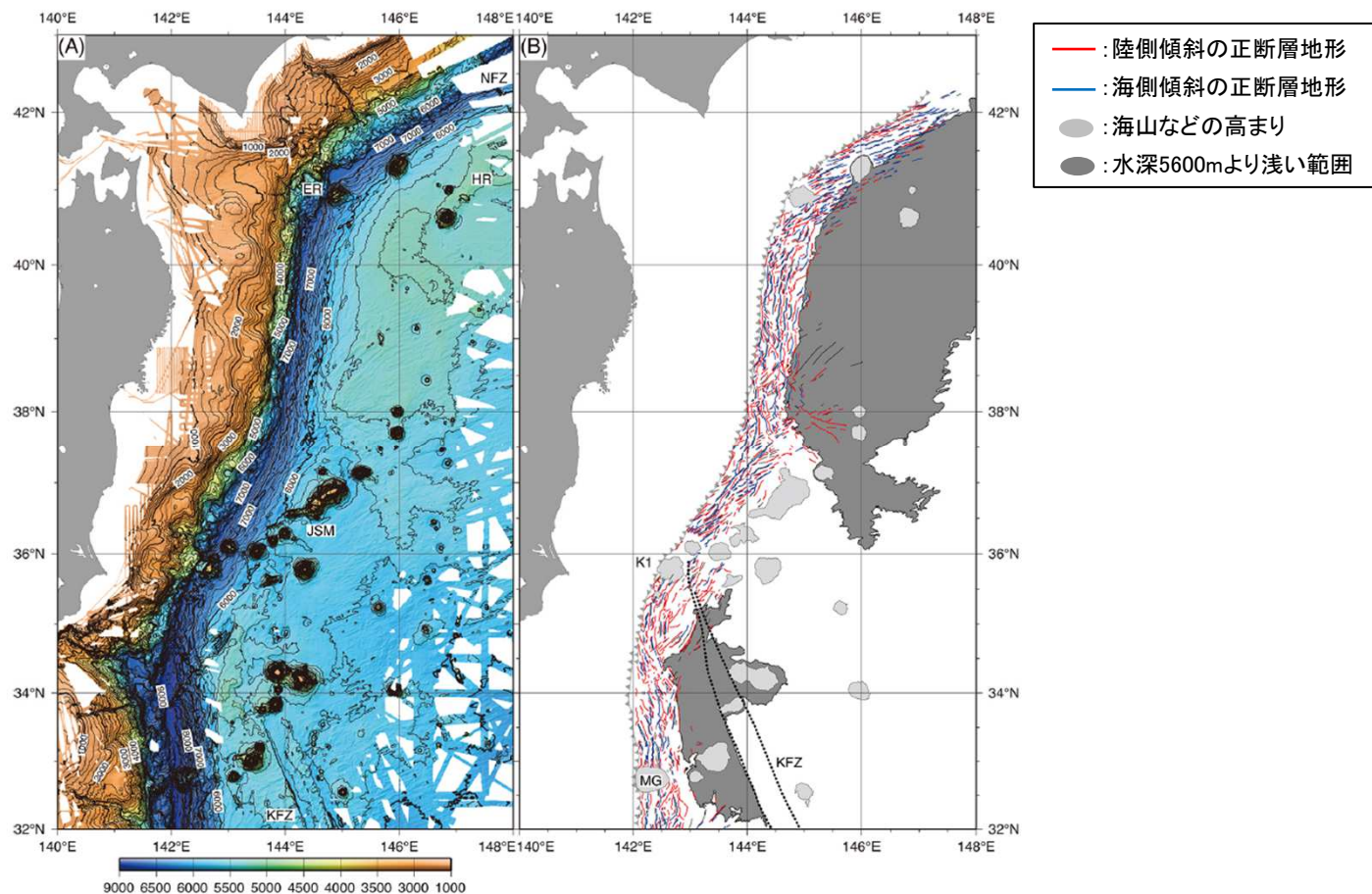
日本海溝沿い・千島海溝沿いで発生したアウターライズ地震
(Lay et al.(2011))

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.2 検討対象領域の設定

■海洋プレートの屈曲により形成される正断層地形に関する知見

- 中西(2017)は、マルチビーム音響測深機により取得された海底地形データから作成された海底地形図から、日本海溝・千島海溝の海溝軸外側に正断層地形が多く分布し、その範囲は海溝軸から80km程度に見られるとしている。



(左) 日本海溝～千島海溝南西部の海底地形図

(右) 正断層地形

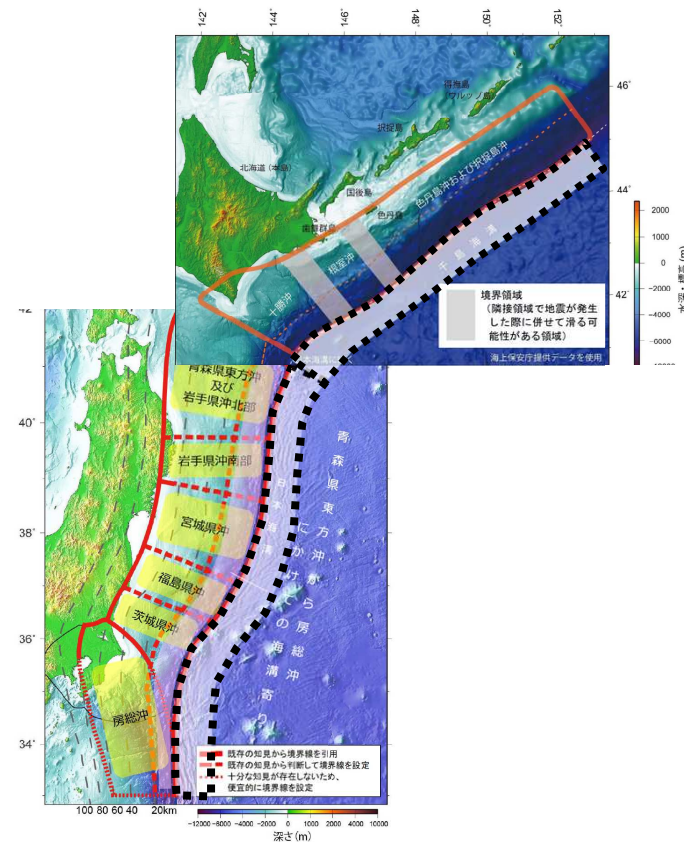
(中西(2017)に一部加筆)

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.2 検討対象領域の設定

■まとめ

- 地震調査研究推進本部(2017a, 2019)の評価, 海洋プレート内地震の発生メカニズム及び海洋プレートの屈曲により形成される正断層地形に関する知見を踏まえ, 検討対象領域は日本海溝から千島海溝沿いを対象とする。



検討対象領域

(地震調査研究推進本部(2017a, 2019)に一部加筆)

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.3 地震規模の設定

■地震調査研究推進本部の評価: 日本海溝沿い

- 地震調査研究推進本部(2012, 2019)では, 次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波のMから「M8.2前後」と評価している*。
- 地震調査研究推進本部(2012)では, 上記評価の信頼度を「B」と評価している。

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

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

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

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

注2 評価時点がどの時点でもボアソン過程を用いているため確率は変化しない。

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

注4 評価の信頼度

■規模の評価の信頼度: B

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

■発生確率の評価の信頼度: C

想定地震と同様な過去の地震データが少なく, 必要に応じ地震学的知見を用いて発生確率を求めたため, 発生確率の値の信頼性はやや低い。今後の新しい知見により値が大きく変わり得る。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.3 地震規模の設定

■地震調査研究推進本部の評価:千島海溝沿い

- 地震調査研究推進本部(2017a)は、十勝沖から択捉島沖では過去に海溝軸外側の領域で地震が発生した履歴はないものの、択捉島の北東側で2007年にM8.2、隣接する日本海溝沿いの領域では1933年にM8.1(昭和三陸地震)の正断層型の地震が発生していることから、1933年昭和三陸地震と同様の規模の地震が千島海溝でも発生する可能性があるとし、次の地震の規模を「M8.2前後」と評価している。

千島海溝沿いにおける次の海溝軸外側で発生する地震の発生確率等
(地震調査研究推進本部(2017a))

項目	将来の地震発生確率等 ^{注1}	備考
今後10年以内の発生確率	不明	対象領域で過去に発生した地震は無い。ただし、隣接する領域では過去にM8.2の地震が発生している。
今後20年以内の発生確率	不明	
今後30年以内の発生確率	不明	
今後40年以内の発生確率	不明	
今後50年以内の発生確率	不明	
次の地震の規模	M8.2前後 ^{注3}	領域外で過去に発生した地震のMを参考にして判断した。領域内で発生していないため、信頼性はほかの評価に比べて低い。

注3：この報告書では、Mの数値の推定のばらつきについて、「程度」及び「前後」を使用した。「程度」は「前後」よりばらつきが大きい場合に使用した。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.3 地震規模の設定

■国内外で発生した海洋プレート内地震の地震規模に関する知見

- 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で発生した最大規模の海洋プレート内地震である。

海溝軸外側(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)に一部加筆)

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)

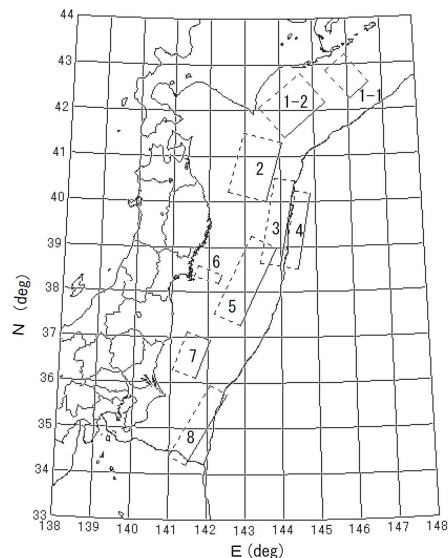
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.3 地震規模の設定

■土木学会(2016)の評価

- 1611年の津波について、地震調査研究推進本部(2012, 2019)は津波地震と評価しているが、土木学会(2016)では海洋プレート内地震であった場合、その地震規模をMw8.6と評価している。

【既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル(土木学会(2016))】



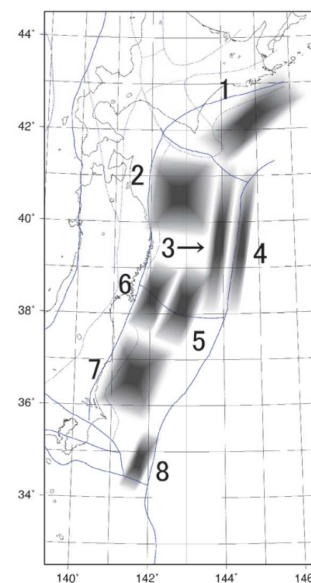
断層モデルの位置

断層パラメータ

番号	断層長 L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	傾斜角 δ (度)	すべり角 λ (度)	剛性率 μ $\times 10^{10}$	M_0 $\times 10^{20}$	Mw	対応する 既往津波
1-1	60	100	2.2	27	115	5.0	6.6	7.81	1973年
1-2	130	100	3.5	20	115	5.0	22.8	8.17	1952年
2	150	100	6.0	20	80	5.0	45.0	8.37	1968年
3	210	50	9.7	20	75	3.5	35.6	8.30	1896年
4	185	50	6.6	45	270	7.0	42.7	8.354	1933年
5	210	70	4.0	15	85	5.0	29.4	8.246	1793年
6	26	65	2.0	20	85	7.0	2.4	7.52	1978年
7	100	60	2.3	10	85	5.0	6.9	7.83	1938年
8	200	50	6.5	20	95	3.5	22.8	8.17	1677年

剛性率の単位はN/m²、地震モーメントM₀の単位はN・mである。

【海域の領域区分と既往最大Mw(土木学会(2016))】



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

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.3 地震規模の設定

■まとめ

- 地震調査研究推進本部(2012, 2019)では、次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波と評価し、また、同地震は国内外における海溝外縁隆起帯で発生した最大規模の海洋プレート内地震である。
- ただし、地震調査研究推進本部(2012)では次の地震の規模の信頼度を「B」と評価しているとともに、1611年の津波について、地震調査研究推進本部(2012, 2019)では津波地震と評価しているものの、土木学会(2002)では海洋プレート内地震であった場合、その地震規模をMw8.6と評価している。
- 以上から、基準断層モデルの地震規模は、1933年昭和三陸地震津波の痕跡高を再現するモデル(Mw8.35)を上回るMw8.6を考慮する。

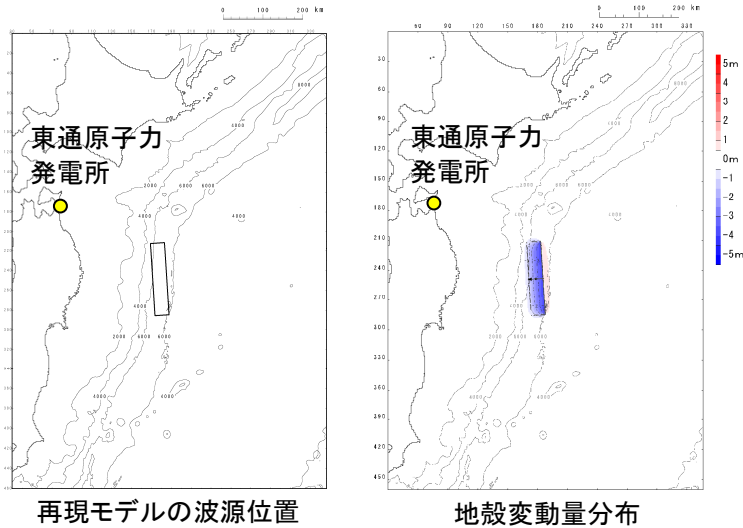
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.4 基準断層モデルの設定

■ 既往津波の再現解析

【再現モデルの設定】

- 土木学会(2016)を参考として、1933年昭和三陸地震津波の再現モデルを設定した。

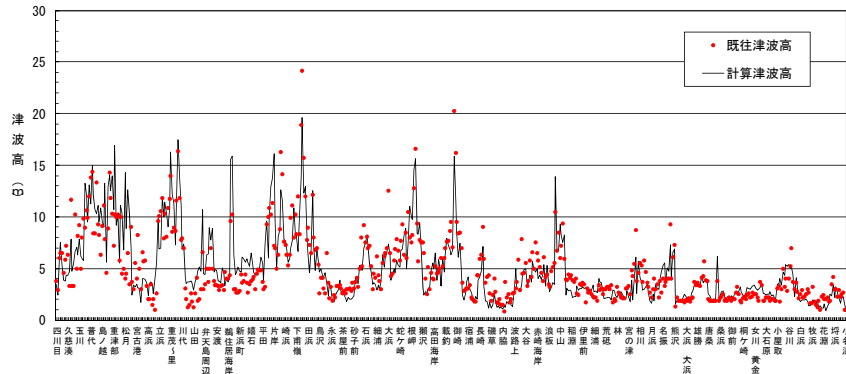


断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード*	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.35
長さ	L(km)	土木学会(2016)	185
幅	W(km)	土木学会(2016)	50
剛性率	μ (N/m ²)	土木学会(2016)	7.0×10^{10}
すべり量	D _{max} (m)	土木学会(2016)	6.6
地震モーメント	M ₀ (N・m)	μ LWD	4.27×10^{21}
走向	θ (°)	土木学会(2002)	180
断層上縁深さ	d(km)	土木学会(2002)※1	1
傾斜角	δ (°)	土木学会(2016)	45
すべり角	λ (°)	土木学会(2016)	270
ライズタイム	τ (s)	相田(1986)	60

※1: 土木学会(2002)による設定根拠の詳細は、補足説明資料「IV. 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価 1. 断層上縁深さの設定及び不確かさの考慮方法」に記載。

【再現性の確認結果※2】

- 土木学会(2016)の目安 ($0.95 < K < 1.05$, $\kappa < 1.45$) を満足しており、各断層パラメータの設定値が妥当であることを確認した。



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

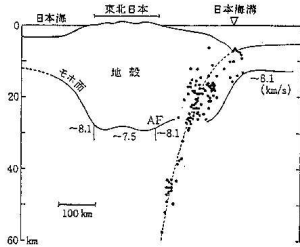
※2: 再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、補足説明資料「VII. 計算条件等 3. 既往津波の再現解析」に記載。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

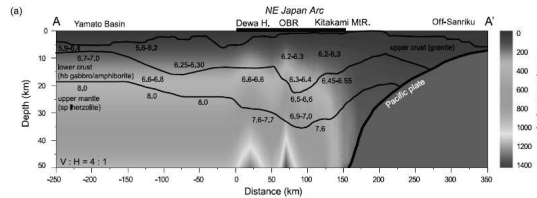
3.4 基準断層モデルの設定

■ 既往津波の再現解析: 剛性率の設定

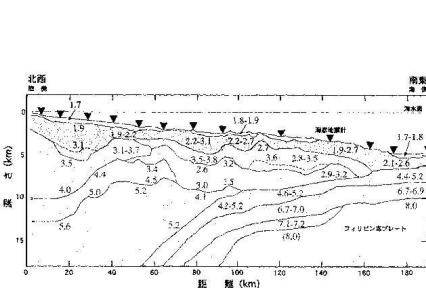
- 土木学会 (2016) 等を参考として, $7.0 \times 10^{10} (\text{N/m}^2)$ とした。



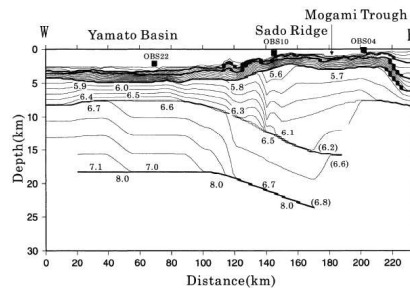
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



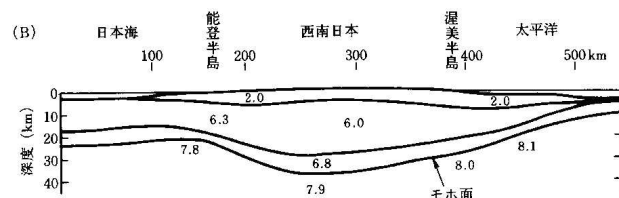
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) ©日本地質学会)



(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	堀内ら(1977) マンツルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺(1977)
函館群発	(1.66)			高波ら(1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao(1981) 真のVp, Vsから求めた値
四国	(1.58-1.65) 1.73	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			
日光付近	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. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.4 基準断層モデルの設定

■ライズタイムの設定

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

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

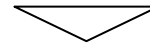
ここで、

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)

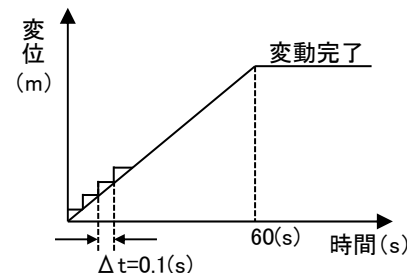
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL: 150(km) ~ 200(km)程度(土木学会(2002)), 破壊伝播速度 V_r : 2.4(km/s) ~ 3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2009)), ある1点で断層ずれを形成する時間 (= 立上り時間) τ : 5(s)程度(相田(1986))とすると、津波初期変位分布のライズタイムは、55(s) ~ 88(s)程度となる。



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。

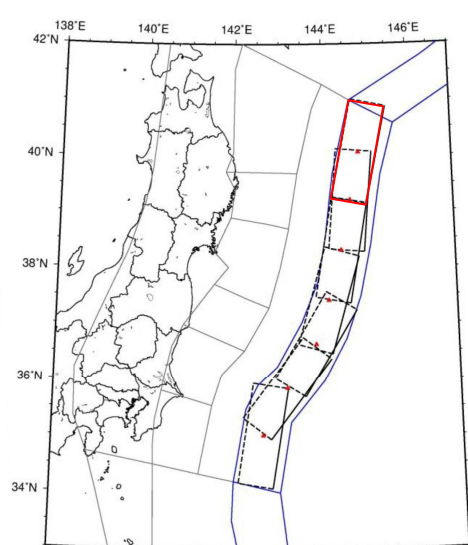


I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

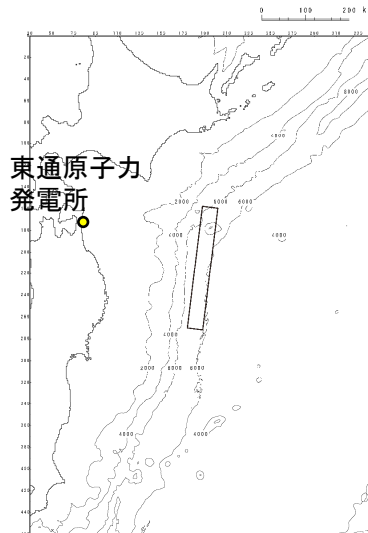
3.4 基準断層モデルの設定

■ 基準断層モデルの設定

- 基準断層モデルの地震規模(Mw)は、地震調査研究推進本部(2012, 2019)及び土木学会(2016)の評価を考慮して、国内外における海溝軸外側で発生した地震のうち最大規模の1933年昭和三陸地震津波を再現するモデル(Mw8.35)を基本として、これを上回るよう土木学会(2016)を参考にMw8.6にスケールリングして設定した。
- 波源位置(基準位置)は、地震調査研究推進本部(2014)による海洋プレート内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(日本海溝北端)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。



海溝軸外側の海洋プレート内地震の断層面
(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	土木学会(2016)	8.6
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ルリング則(幅に限界あり)を適用して設定。	283
幅	W(km)		50
すべり量	D(m)		10.1
剛性率	μ (N/m ²)	既往津波再現モデルに基づき設定。	7.0×10^{10}
地震モーメント	Mo(Nm)	μ LWD	1.00×10^{22}
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 (°)		45
すべり角	λ (°)	走向とすべり方向に基づき設定。	270
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. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.4 基準断層モデルの設定

■基準断層モデルによる計算結果

- ・ 基準断層モデルによる計算結果を示す。

【水位上昇側】

	最大水位上昇量(m)			
	敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系 取水口前面	放水路護岸 前面
基準断層モデル	5.12	4.05	4.00	3.17

【水位下降側】

	最大水位下降量(m)
	補機冷却海水系取水口前面
基準断層モデル	-3.67

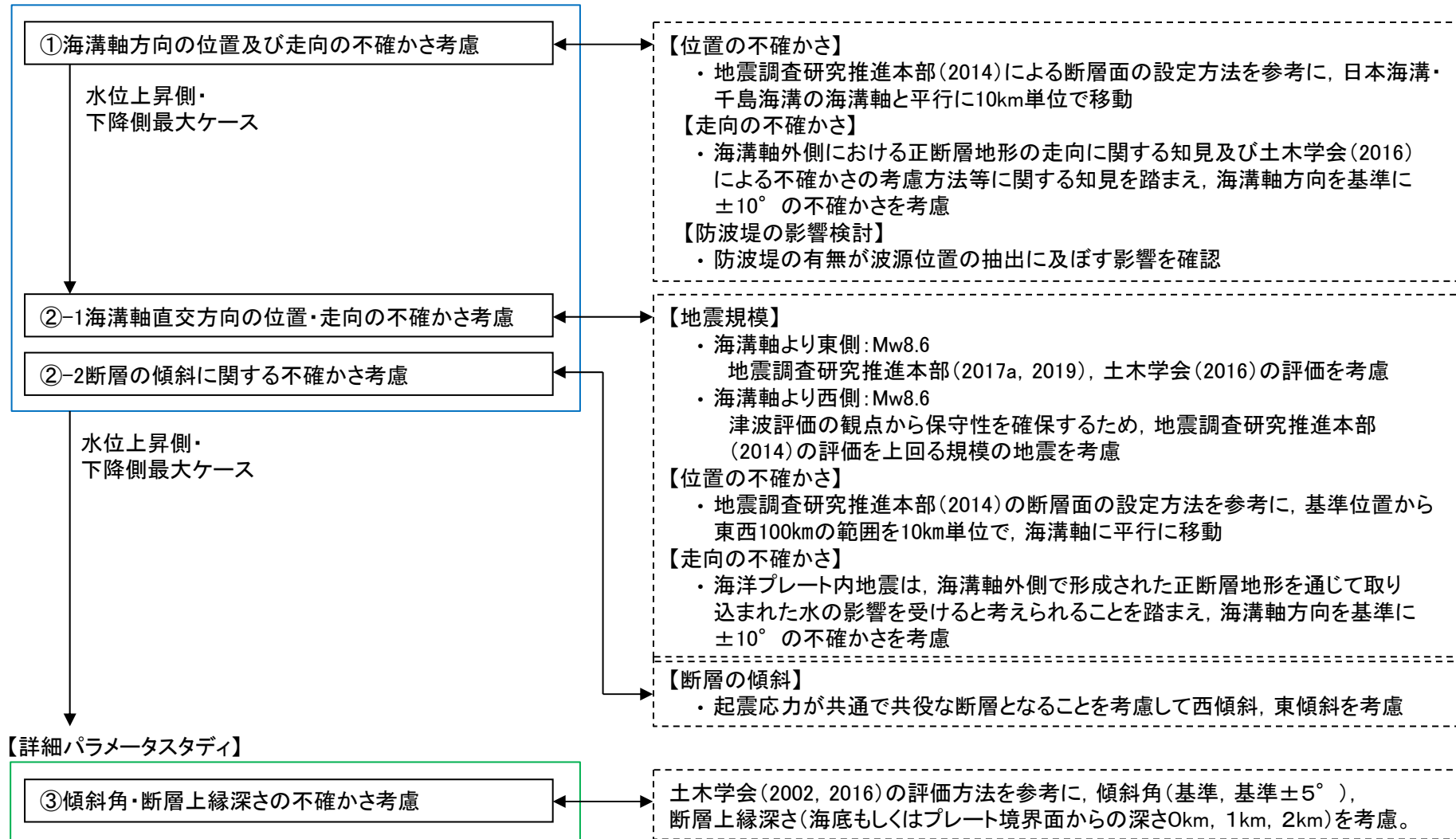
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■検討方針

- ・ 波源特性の不確かさの考慮方法を以下に示す。

【概略パラメータスタディ】



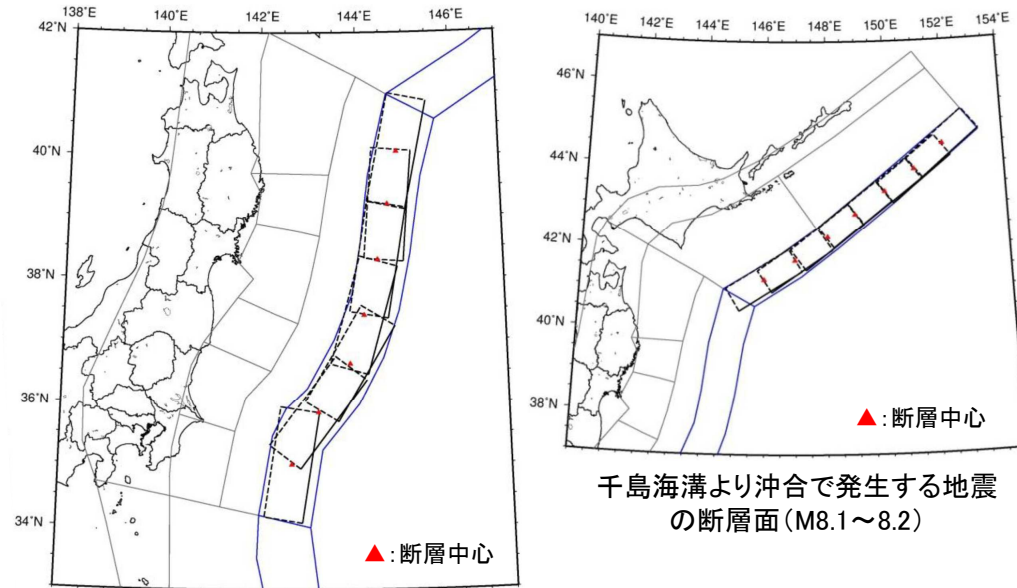
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ: 海溝軸方向における位置の変動範囲の設定

- 地震調査研究推進本部(2014)による海洋プレート内地震の断層面の設定方法を参考に, 日本海溝・千島海溝の海溝軸と平行に10km単位で移動させる。

【地震調査研究推進本部(2014)におけるプレート内地震断層面の設定方法】



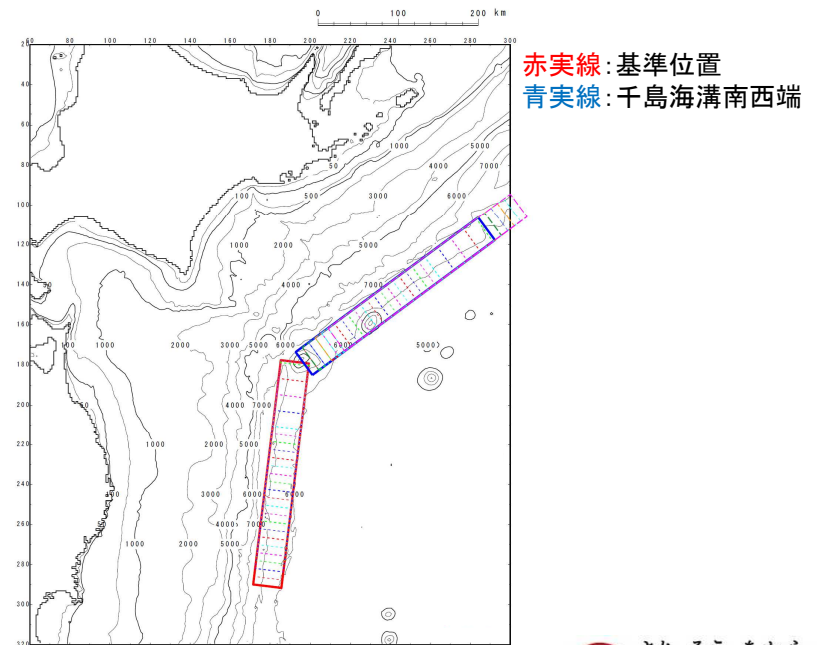
日本海溝より沖合で発生する地震の断層面 (M8.1~8.2)

千島海溝より沖合で発生する地震の断層面 (M8.1~8.2)

M \geq 8.1のプレート内地震断層面の設定方法
(地震調査研究推進本部(2014)に一部加筆)

【位置の変動範囲】

検討対象領域	変動範囲
日本海溝沿い	基準(日本海溝北端) 南へ10km, 20km, 30km移動
日本海溝～千島海溝沿い	基準(日本海溝北端)から 北東へ10km～280km移動(10km単位)
千島海溝沿い	千島海溝南西端から北東へ10km, 20km, 30km, 40km, 50km移動



赤実線: 基準位置
青実線: 千島海溝南西端

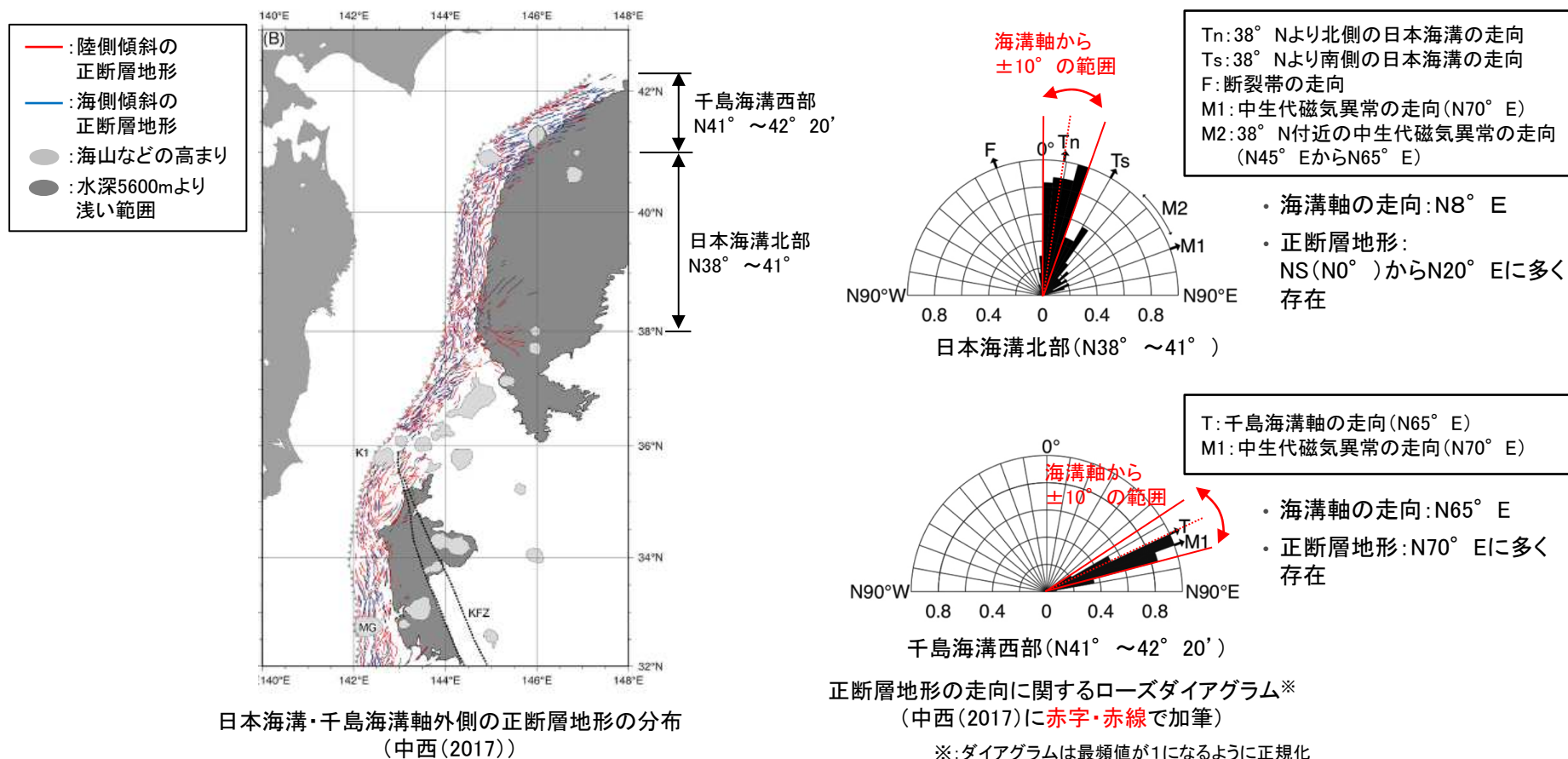
基準位置から北東へ移動の断層配置図

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸方向における走向の変動範囲の設定(1/2): 海溝軸外側における正断層地形の走向に関する知見(中西(2017))

- 中西(2017)は, マルチビーム音響測深機により取得された海底地形データから作成された海底地形図から日本海溝・千島海溝軸外側の正断層地形を判読し, 走向は海溝軸から $\pm 10^\circ$ の範囲にあるとしている。



I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸方向における走向の変動範囲の設定(2/2): 土木学会(2016)による不確かさの考慮方法及び検討事例

- 土木学会(2016)は、不確かさの考慮範囲について、不確定性の程度を考慮して合理的と考えられるパラメータの変動範囲を適切に設定するとしている。
- また、日本海溝沿いにおける海洋プレート内地震の検討事例を示しており、走向の不確かさについては基準±10°の範囲で考慮している。

【土木学会(2016)による海洋プレート内地震の検討事例】

表 6.4.2-1 基本断層モデルの諸元

パラメータ	津波地震	正断層地震
モーメントマグニチュード M_w	8.3	8.6
断層長さ L (km)	210	283
断層幅 W (km)	50	50
上縁深さ d (km)	1	1
平均すべり量 D (m)	9.7	10.1
傾斜角 δ (度)	20	45
走向 θ (度)	188	188
すべり角 ϵ (度)	75	270
領域に対応する既往最大地震津波	1896年	1933年, 1611年

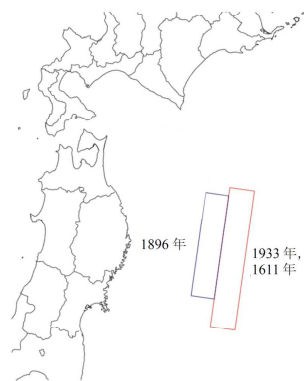
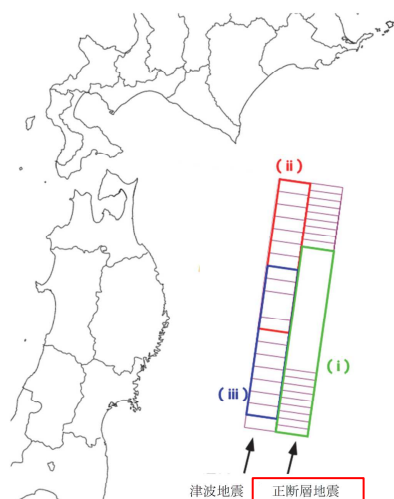


図 6.4.2-1 既往津波に対応する基本断層モデルの位置



※ 図中の(i)~(iii)は、詳細パラメータスタディの対象とした断層位置を表す。

図 6.4.3-1 概略パラメータスタディにおける基本断層モデルの位置

表 6.4.1-1 日本海溝沿いの海溝軸付近に想定する津波における検討方法

検討ステップ	検討項目およびその内容	備考	
①基本断層モデルの設定	既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルに基づいて設定	—	
②概略パラメータスタディ	波源位置による影響を評価	—	
③詳細パラメータスタディ	上縁深さ	0km, 1km, 2km	プレート内正断層地震のみ
	傾斜角	基本, 基本±5度	—
	走向	基本, 基本±10度	—
	すべり方向	基本, 基本±10度	津波地震のみ

海溝軸外側における正断層地形の走向に関する知見(中西(2017))及び土木学会(2016)による不確かさの考慮方法等に関する知見を踏まえ、走向の不確かさの考慮範囲は、海溝軸方向を基準に±10°とする。

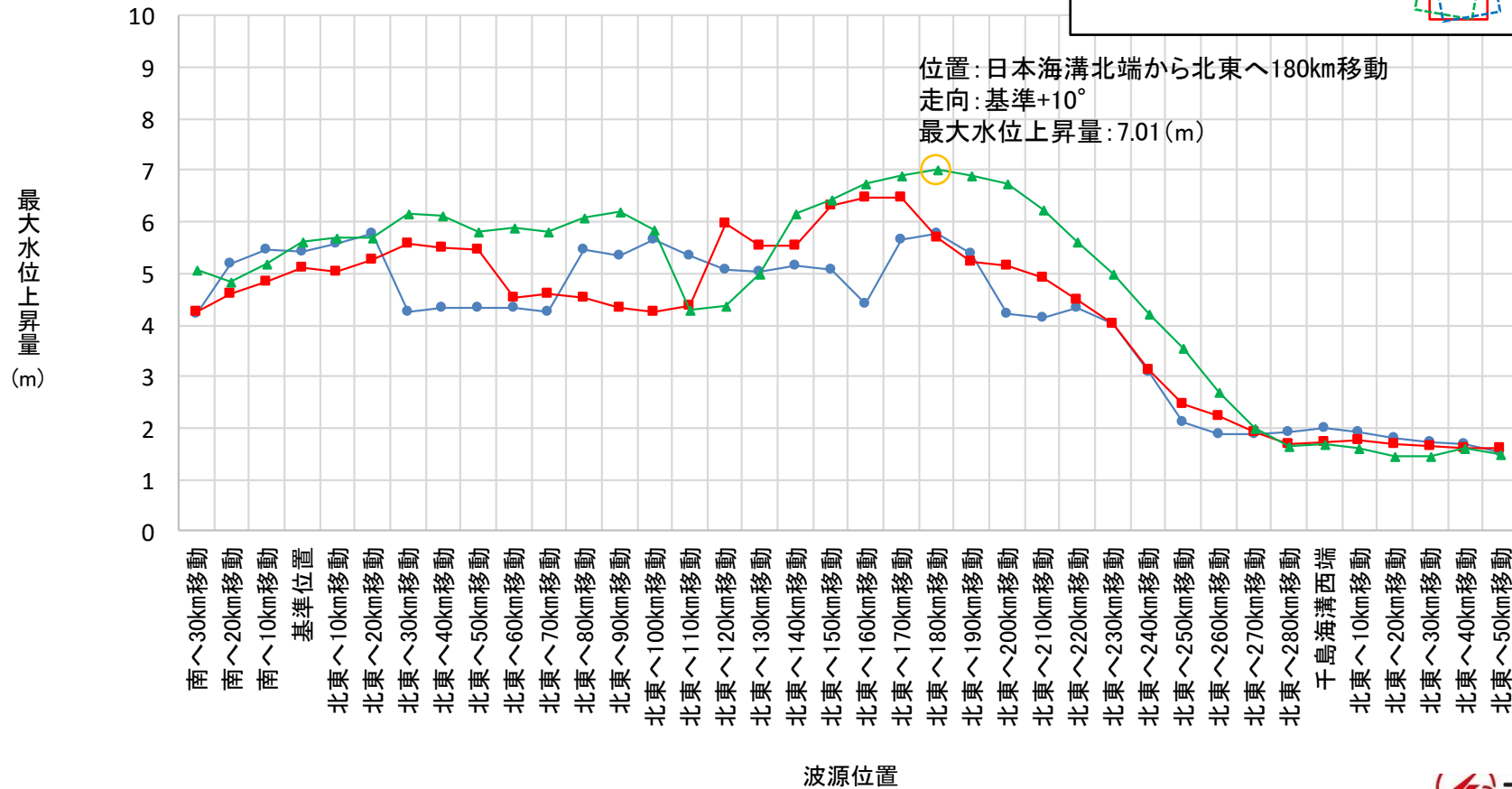
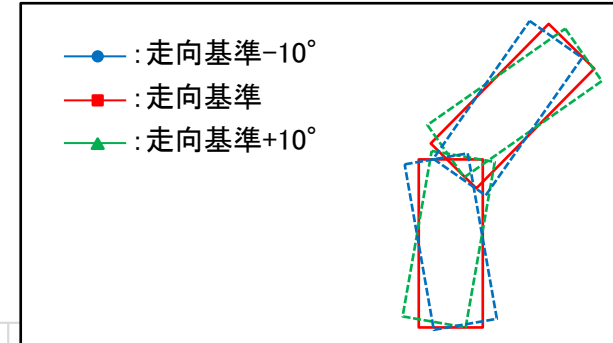
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸方向の概略パラメータスタディ結果: 水位上昇側

- 敷地前面における最大水位上昇量を以下に示す※。

※: 計算結果の詳細は、補足説明資料「IV. 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。



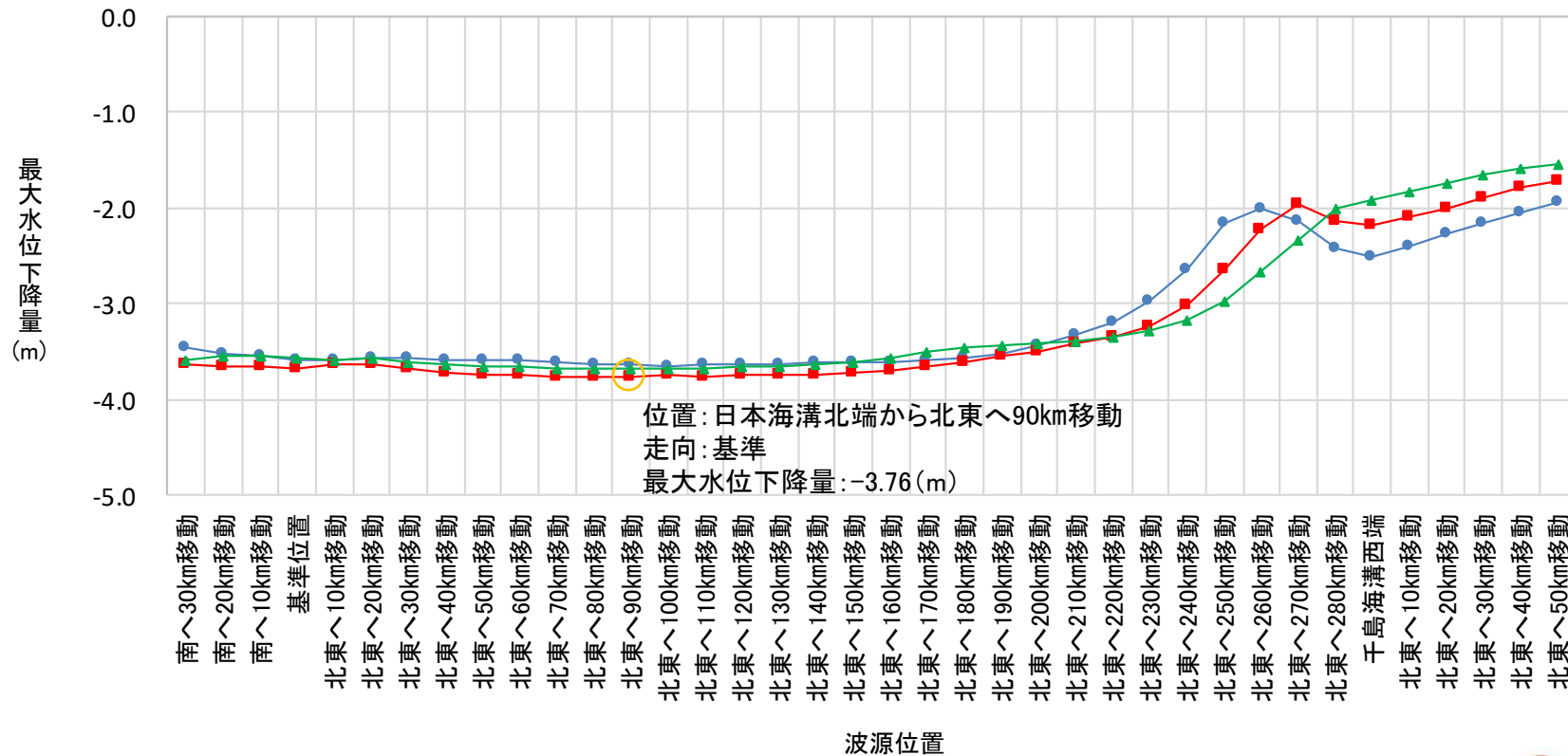
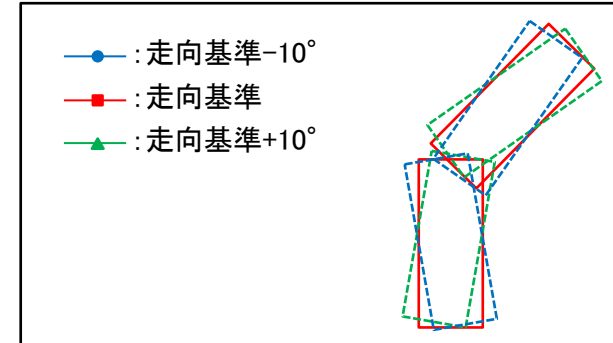
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸方向の概略パラメータスタディ結果：水位下降側

- 補機冷却海水系取水口前面における最大水位下降量を以下に示す※。

※：計算結果の詳細は、補足説明資料「IV. 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。



I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸方向の概略パラメータスタディ結果:まとめ

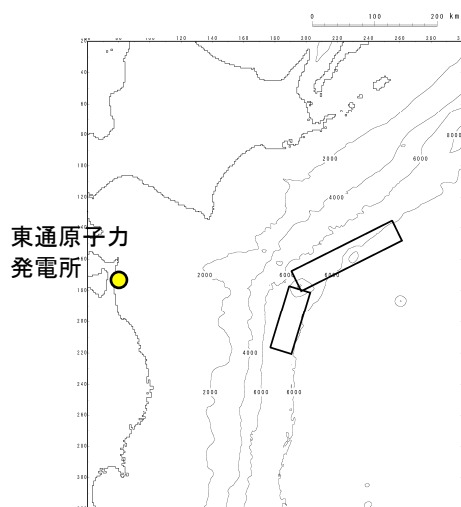
- 海溝軸方向の概略パラメータスタディ及び港湾部の防波堤の有無に関する影響検討結果(詳細は次頁以降に示す)を踏まえ、以下のケースを対象に海溝軸直交方向の概略パラメータスタディを実施する。

【水位上昇側】

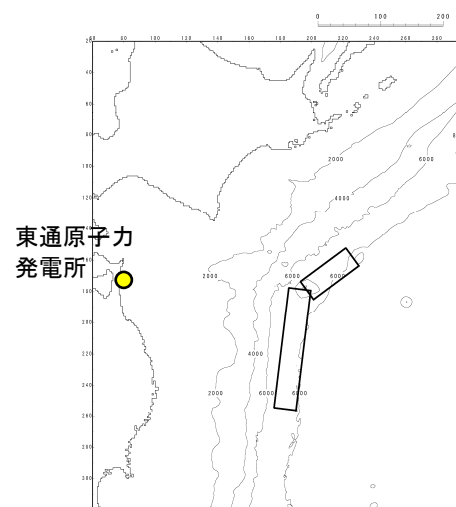
位置	走向	最大水位上昇量(m)			
		敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
日本海溝北端から北東へ 180km移動	基準+10°	7.01	3.13	3.16	1.42

【水位下降側】

位置	走向	最大水位下降量(m)
		補機冷却海水系取水口前面
日本海溝北端から北東へ 90km移動	基準	-3.76



断層位置(水位上昇側)



断層位置(水位下降側)

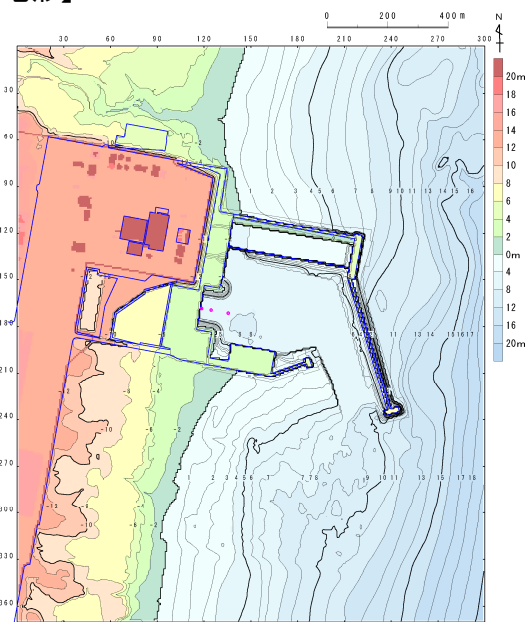
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

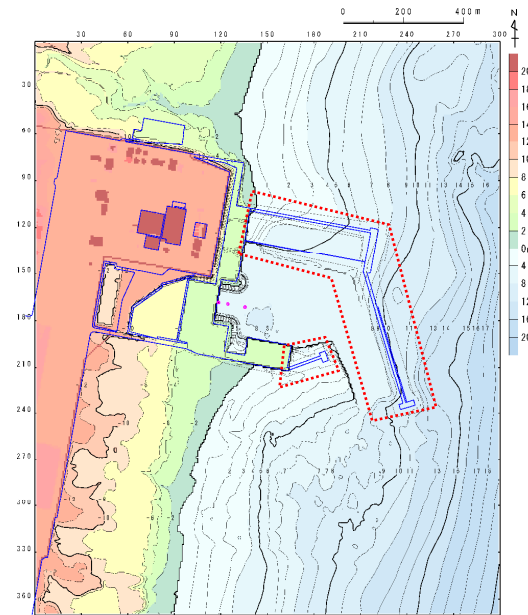
■防波堤の影響検討: 検討方針

- 海溝軸方向の概略パラメータスタディで抽出した波源位置が、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、水位上昇側・下降側決定ケースの波源位置の前後10kmの範囲を対象に防波堤無し地形を用いてパラメータスタディを実施した。
- 解析に用いた地形を以下に示す。

【解析地形】



防波堤有り



防波堤無し

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

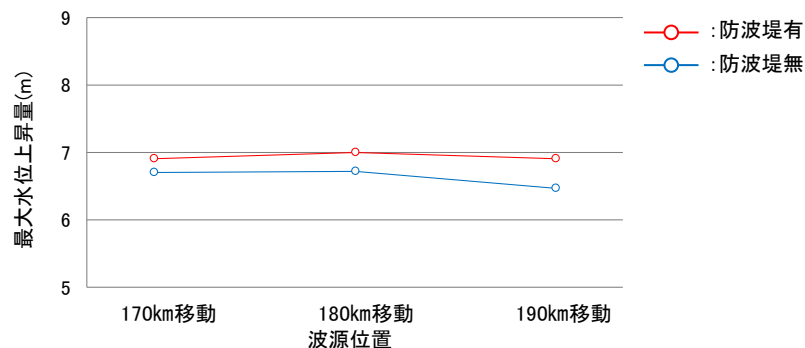
■防波堤の影響検討:水位上昇側

- 防波堤無しの地形を用いたパラメータスタディの結果, 防波堤の有無が波源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。

下線:最大ケース

		敷地前面		取水口前面		補機冷却海水系 取水口前面		放水路護岸前面	
		有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
日本海溝北端から北東へ 170km移動	基準-10°	5.67	4.86	3.09	4.50	3.05	5.11	1.45	5.66
	基準	6.46	4.70	3.09	4.88	<u>3.44</u>	4.97	<u>1.52</u>	5.09
	基準+10°	6.91	6.71	3.10	6.63	3.18	6.63	1.46	6.06
日本海溝北端から北東へ 180km移動 (水位上昇側決定位置)	基準-10°	5.78	5.24	<u>3.23</u>	4.54	2.89	4.97	1.45	5.68
	基準	5.71	5.38	3.08	4.68	3.29	4.63	0.83	4.59
	基準+10°	<u>7.01</u>	<u>6.72</u>	3.13	<u>6.76</u>	3.16	<u>6.83</u>	1.42	6.07
日本海溝北端から北東へ 190km移動	基準-10°	5.38	5.82	3.10	4.01	2.89	4.56	0.84	4.93
	基準	5.24	5.57	2.99	4.37	2.96	4.24	—*	3.76
	基準+10°	6.91	6.47	3.19	6.70	3.23	6.83	1.36	<u>6.28</u>

※:放水路護岸前面まで津波が到達しない。



敷地前面位置の比較※

※: 走向不確かさケースの最大値をプロット

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

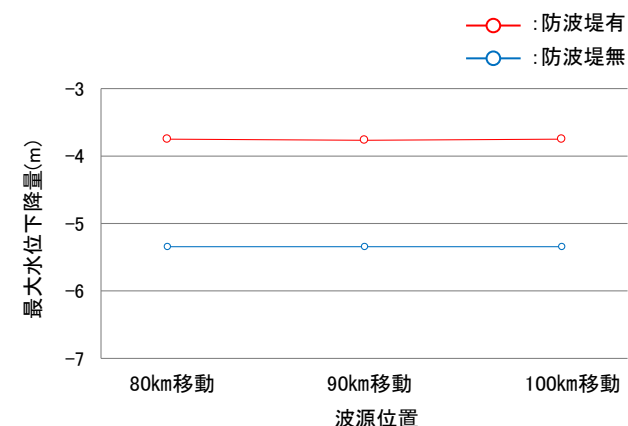
3.5 波源特性の不確かさの考慮

■防波堤の影響検討: 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, 防波堤の有無が波源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。

下線: 最大ケース

		補機冷却海水系取水口前面	
		有り	無し
日本海溝北端から北東へ 80km移動	基準-10°	-3.63	-4.99
	基準	-3.75	-5.32
	基準+10°	-3.68	<u>-5.34 (-5.342)</u>
日本海溝北端から北東へ 90km移動 (水位下降側決定位置)	基準-10°	-3.63	-4.99
	基準	<u>-3.76</u>	-5.32
	基準+10°	-3.67	-5.34 (-5.340)
日本海溝北端から北東へ 100km移動	基準-10°	-3.64	-4.99
	基準	-3.75	-5.32
	基準+10°	-3.67	-5.34 (-5.338)



補機冷却系取水口前面位置の比較※

※: 走向不確かさケースの最大値をプロット

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ: 海溝軸直交方向における地震規模及び位置の変動範囲の設定 (1/2)

- 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)

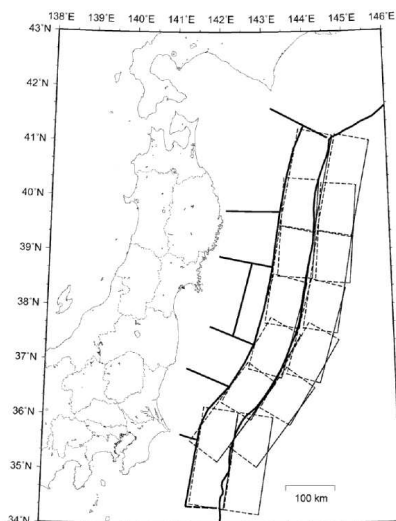


図 5.1.3.2-6 三陸沖北部から房総沖のプレート内地震 (正断層型) の断層面
(2013年における検討の従来モデル、検討モデルで使用)

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	Mw8.2
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. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ: 海溝軸直交方向における地震規模及び位置の変動範囲の設定 (2/2)

【地震規模の設定】

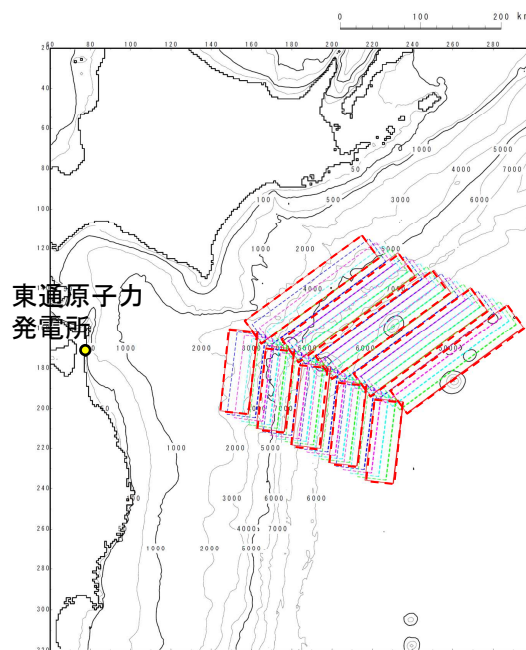
- 地震調査研究推進本部(2014)の評価から、西方向の位置の不確かさを考慮する際の地震規模は、基準断層モデルの地震規模(Mw8.6)よりも小さいと考えられる。
- ただし、海溝付近で発生する地震に伴う津波は発電所の津波高さに与える影響が大きいことを踏まえ、保守性を確保する観点から、基準断層モデルの地震規模(Mw8.6)を考慮する。

【位置の変動範囲の設定】

- 地震調査研究推進本部(2014)の評価を踏まえ、基準位置から東西100km範囲を10km単位で移動させる。

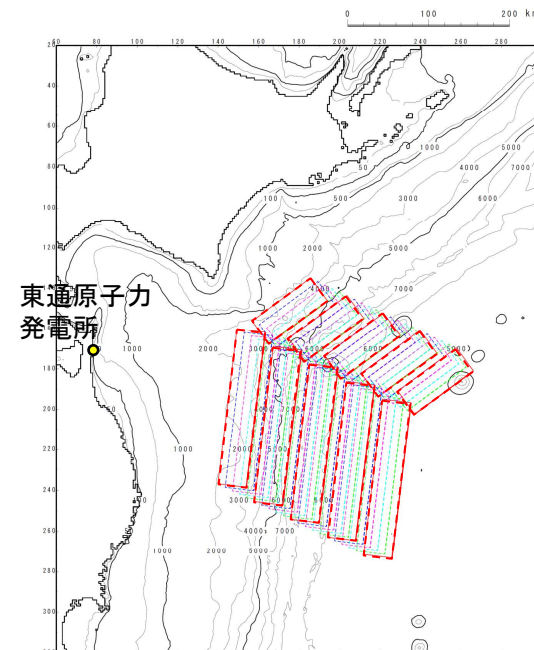
位置の変動範囲

項目	変動範囲
位置	<ul style="list-style-type: none"> 基準位置 西北西へ100kmまで10km単位で移動 東南東へ100kmまで10km単位で移動



上昇側決定ケース
(北東へ180km移動, 走向: 基準)

赤破線: 基準位置(中央), 50km単位移動



下降側決定ケース
(北東へ90km移動, 走向: 基準)

赤破線: 基準位置(中央), 50km単位移動

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■概略パラメータスタディ: 海溝軸直交方向における走向の変動範囲の設定及び断層の傾斜の不確かさの考慮方法

【走向の変動範囲の設定】

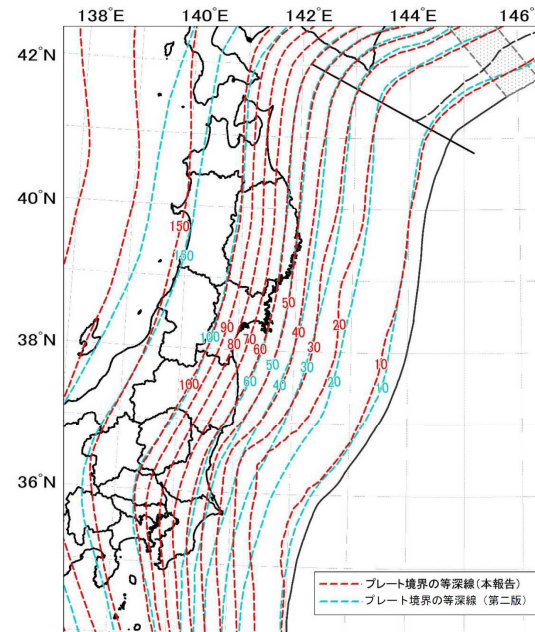
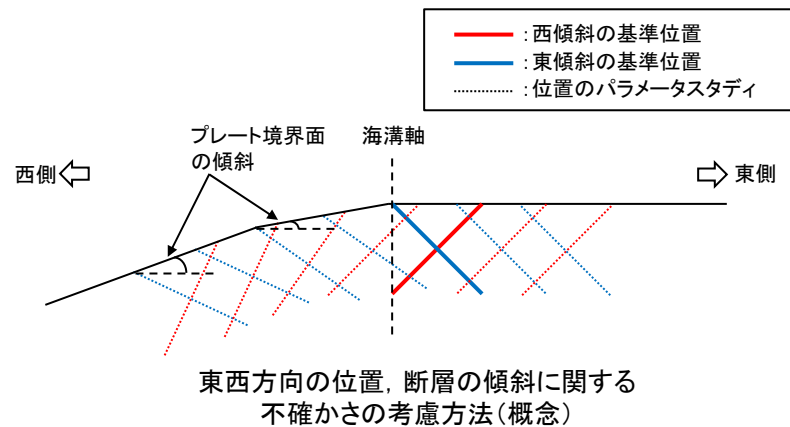
- 海洋プレート内地震は、海溝軸外側で形成された正断層地形を通じて取り込まれた水の影響を受けると考えられることから(尾鼻・藤江(2017)), 海溝軸方向と同様に、海溝軸方向を基準に $\pm 10^\circ$ とする。

【断層の傾斜の不確かさの考慮】

- 起震応力が共通で共役な断層となることを考慮して、西傾斜及び東傾斜を考慮する。
- 沈み込んだ海洋プレート内地震の傾斜角は、プレート境界面の傾斜を考慮して設定する。なお、日本海溝と千島海溝のプレート境界面の傾斜に有意な差はないことから、日本海溝のプレート境界面の傾斜を基本に設定する。

走向と断層の傾斜の変動範囲

項目	変動範囲
走向	基準, 基準 $\pm 10^\circ$
断層の傾斜	西傾斜(基準), 東傾斜



千島海溝西部から日本海溝におけるプレート境界と推定等深線図
(地震調査研究推進本部(2019))

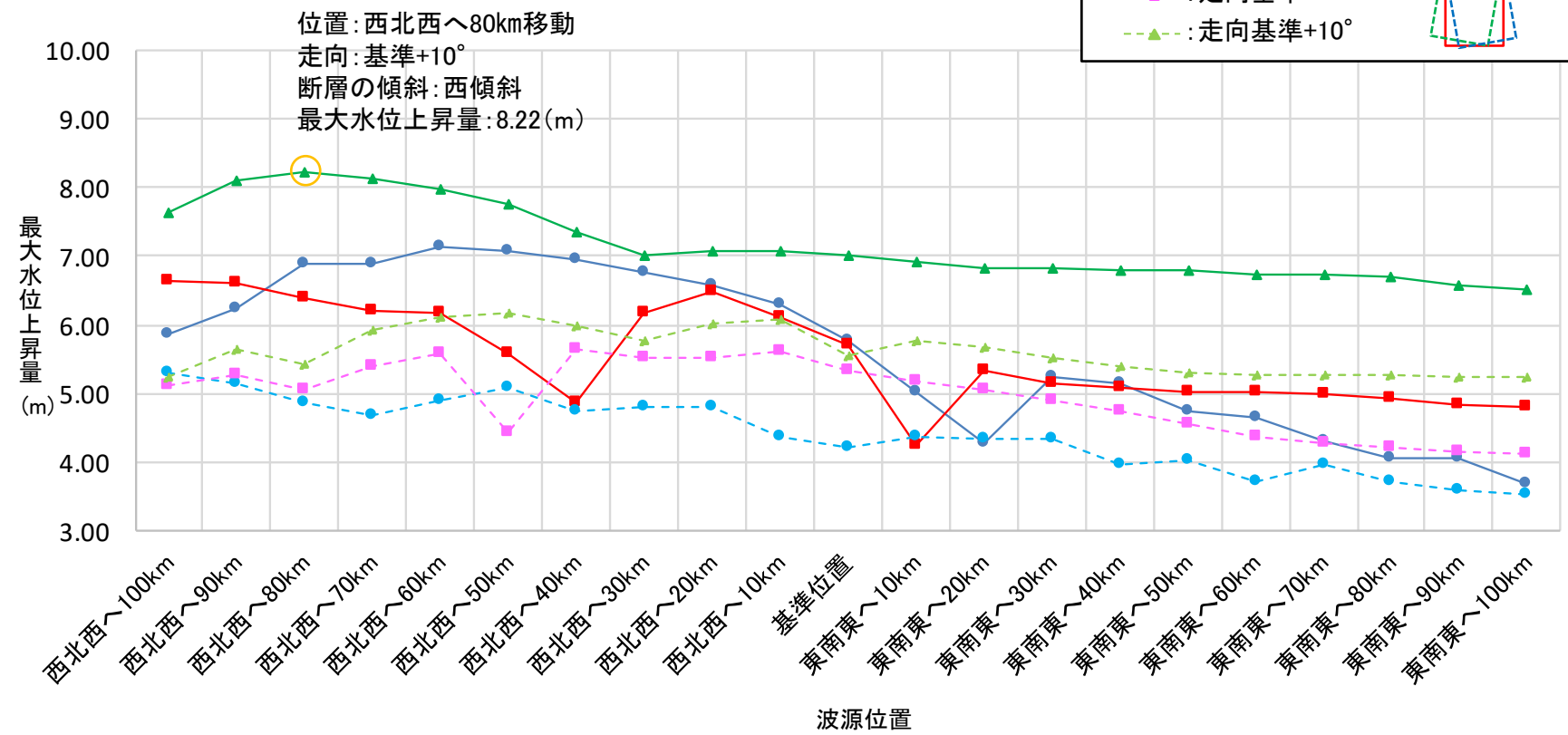
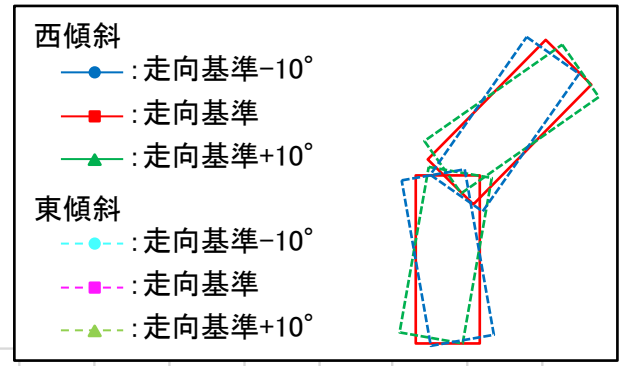
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸直交方向の概略パラメータスタディ結果:水位上昇側

- 敷地前面における最大水位上昇量を以下に示す※。

※: 計算結果の詳細は、補足説明資料「IV. 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。



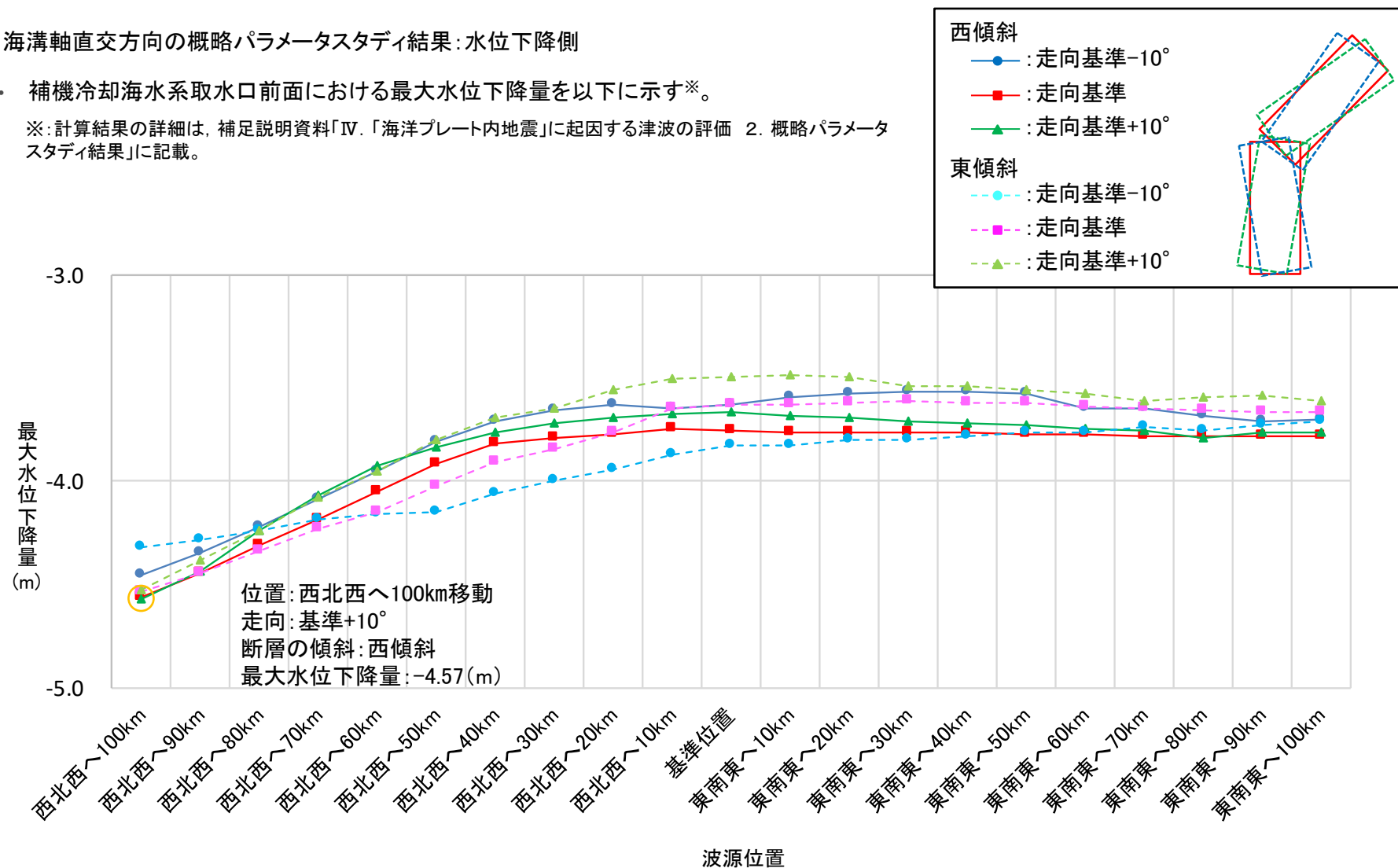
I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸直交方向の概略パラメータスタディ結果:水位下降側

- 補機冷却海水系取水口前面における最大水位下降量を以下に示す*。

*: 計算結果の詳細は、補足説明資料「IV. 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価 2. 概略パラメータスタディ結果」に記載。



I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■海溝軸直交方向の概略パラメータスタディ結果:まとめ

- 海溝軸直交方向の概略パラメータスタディ結果を以下に示す。

【水位上昇側】

位置		走向	断層の傾斜	最大水位上昇量(m)			
海溝軸方向	海溝軸直交方向			敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
日本海溝北端から北東へ180km移動	西北西へ80km移動	基準+10°	西傾斜	8.22	4.65	4.93	4.38

【水位下降側】

位置		走向	断層の傾斜	最大水位下降量(m)
海溝軸方向	海溝軸直交方向			補機冷却海水系取水口前面
日本海溝北端から北東へ90km移動	西北西へ100km移動	基準+10°	西傾斜	-4.57

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■ 詳細パラメータスタディ: 傾斜角及び断層上縁深さの変動範囲の設定

- 土木学会(2002, 2016)を参考として, 概略パラメータスタディの各評価位置における最大水位上昇ケース, 最大水位下降ケースを対象に, 傾斜角及び断層上縁深さを変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- 各パラメータの変動範囲については, 土木学会(2002, 2016)等を参考に設定^{※1, 2}した。

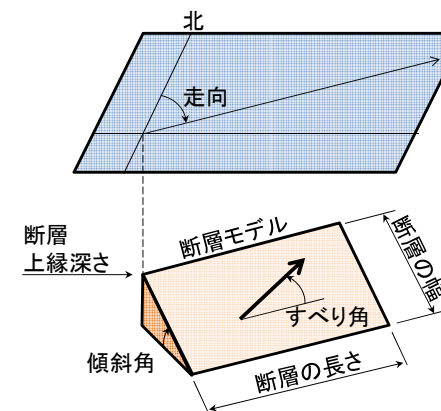
※1: 土木学会(2002)では, プレート間逆断層地震のハーバードCMTIによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上, 深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

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

【詳細パラメータスタディ】

項目		変動範囲
傾斜角		基準, 基準±5°
断層上縁深さ	アウターライズ領域 (海溝から東側)	0km, 1km(基準), 2km
	沈み込んだ領域 (海溝から西側)	各波源位置のプレート境界面からの深さ: 0km, 1km(基準), 2km

(参考)断層パラメータ



I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位上昇側

- ・ 敷地前面における最大水位上昇量を以下に示す。

波源特性の不確かさ						最大水位上昇量 (m)
海溝軸方向	海溝軸直交方向	走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ※	敷地前面
日本海溝北端から 北東へ180km移動	西北西へ80km移動	基準+10°	西傾斜	基準-5° (48°)	7km	8.10
					8km(基準)	7.97
					9km	7.83
				基準 (53°)	7km	8.87
					8km(基準)	8.22
					9km	8.09
				基準+5° (58°)	7km	9.77
					8km(基準)	9.50
					9km	8.94

※: 陸のプレートを含む深さ(プレート境界面からの深さは0km, 1km(基準), 2km)。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.5 波源特性の不確かさの考慮

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位下降側

- 補機冷却海水系取水口前面における最大水位下降量を以下に示す。

波源特性の不確かさ						最大水位下降量 (m)
海溝軸方向	海溝軸直交方向	走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ※	補機冷却海水系 取水口前面
日本海溝北端から 北東へ90km移動	西北西へ100km移動	基準+10°	西傾斜	基準-5° (49°)	11km	-4.54
					12km(基準)	-4.56
					13km	-4.58
				基準 (54°)	11km	-4.56
					12km(基準)	-4.57
					13km	-4.59
				基準+5° (59°)	11km	-4.56
					12km(基準)	-4.57
					13km	-4.58

※: 陸のプレートを含む深さ(プレート境界面からの深さは0km, 1km(基準), 2km)。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.6 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価

■津波水位

- 各評価位置における最大水位上昇量及び最大水位下降量を以下に示す。

【水位上昇側】

波源特性の不確かさ						最大水位上昇量 (m)			
位置		走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ	敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
海溝軸方向	海溝軸直交方向								
日本海溝北端から北東へ180km移動	西北西へ80km移動	基準+10°	西傾斜	基準+5° (58°)	7km	9.77	4.87	5.17	4.43

【水位下降側】

波源特性の不確かさ						補機冷却海水系取水口前面	
位置		走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ	最大水位下降量 (m)	取水口敷高※を下回る継続時間 (分)
海溝軸方向	海溝軸直交方向						
日本海溝北端から北東へ90km移動	西北西へ100km移動	基準+10°	西傾斜	基準+5° (54°)	13km	-4.59	1.9
非常用海水ポンプの運転可能継続時間							約35

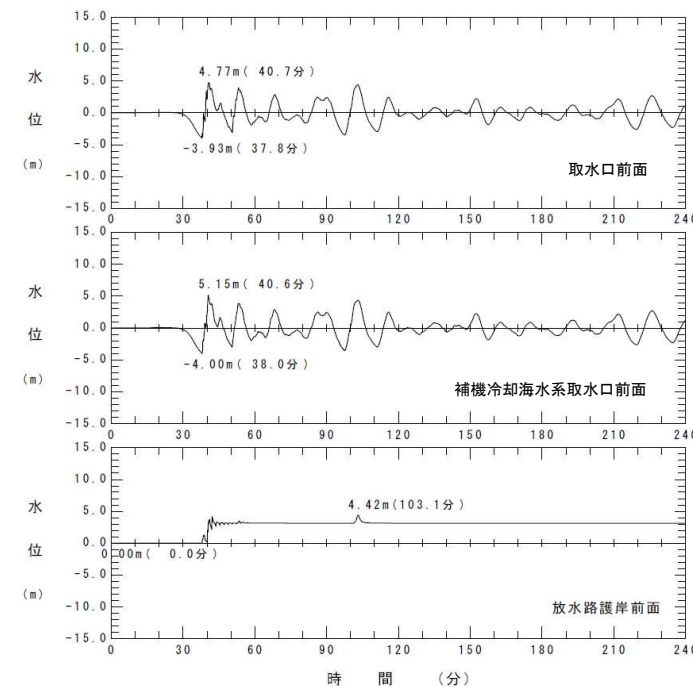
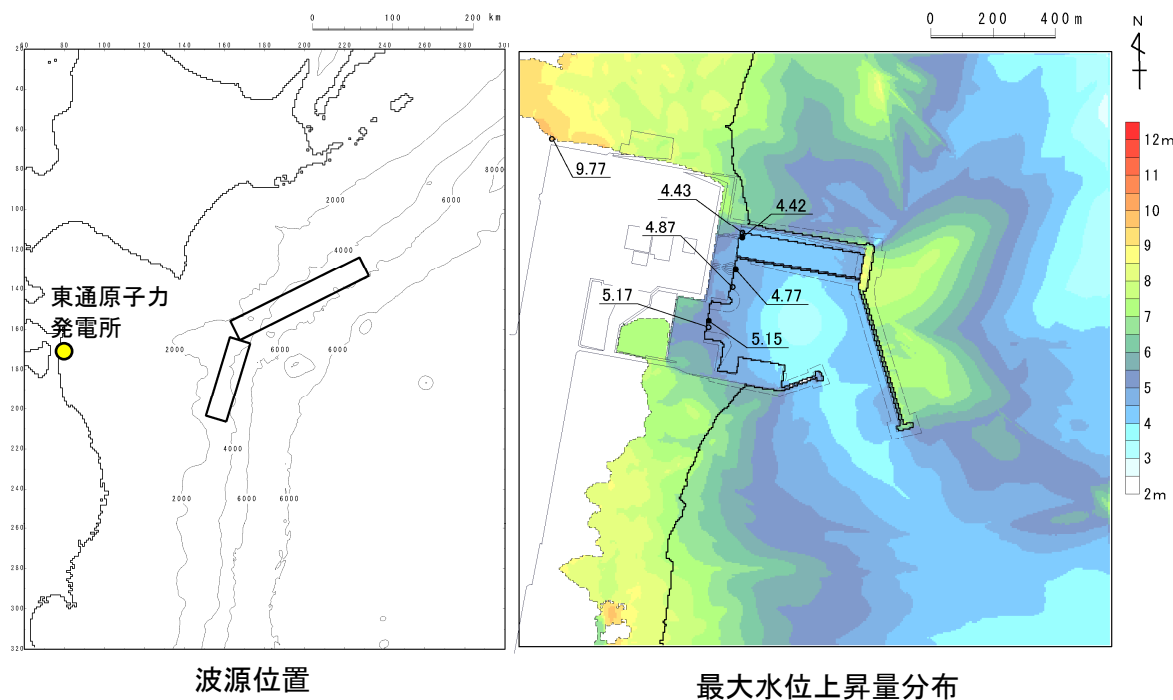
※: 補機冷却海水系取水設備の詳細は、補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載。

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

3.6 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位上昇側

位置		走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ	最大水位上昇量(m)			
海溝軸方向	海溝軸直交方向					敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
日本海溝北端から北東へ180km移動	西北西へ80km移動	基準+10°	西傾斜	基準+5° (58°)	7km	9.77	4.87	5.17	4.43



取水口前面, 補機冷却海水系取水口前面, 放水路護岸前面における水位時刻歴波形※

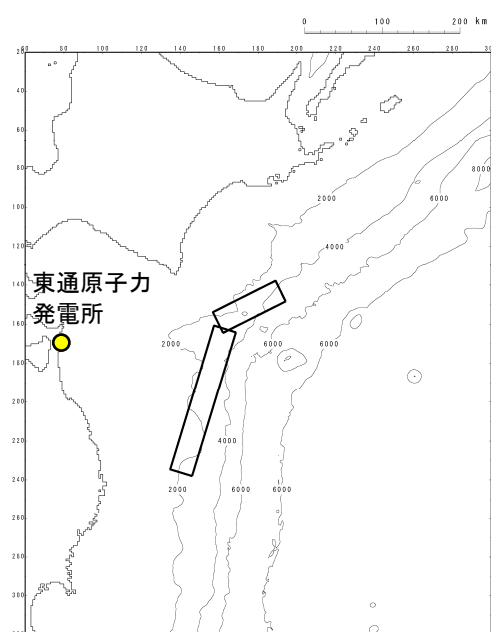
※: 水位時刻歴波形は, 各取放水設備前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は, 補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」記載)

I. 地震に起因する津波の評価 3. 海洋プレート内地震

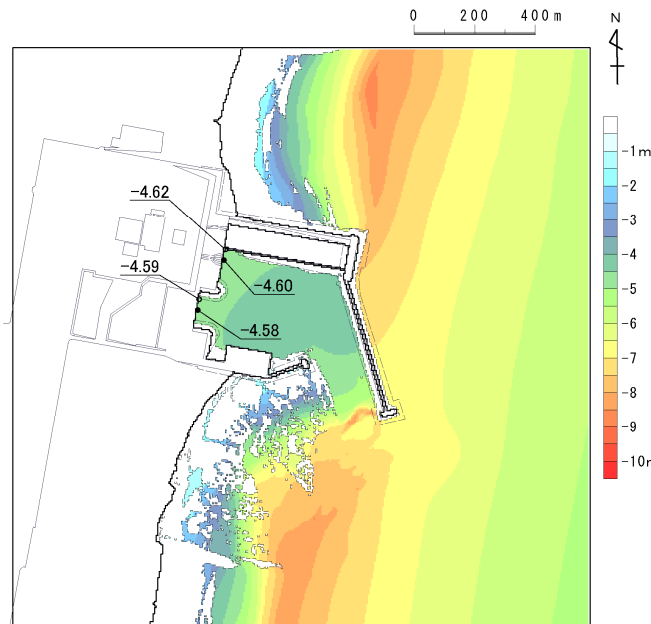
3.6 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価

■ 詳細パラメータスタディ結果: 水位下降側

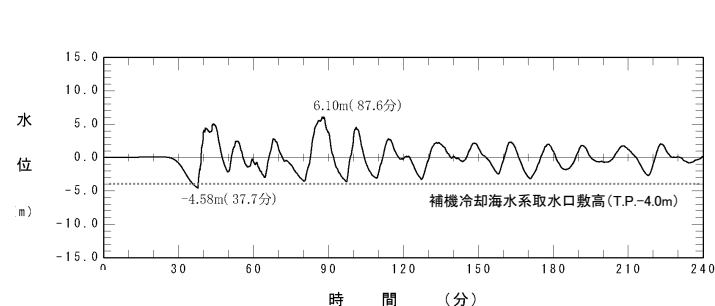
位置		走向	断層の傾斜	傾斜角	断層上縁深さ	補機冷却海水系取水口前面	
海溝軸方向	海溝軸直交方向					最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)
日本海溝北端から北東へ90km移動	西北西へ100km移動	基準+10°	西傾斜	基準+5° (54°)	13km	-4.59	1.9



波源位置



最大水位下降量分布



補機冷却海水系取水口前面における
水位時刻歴波形※1, 2

※1: 水位時刻歴波形は、補機冷却海水系取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は、補足説明資料「Ⅶ. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載)

※2: 補機冷却海水系取水設備の詳細は、補足説明資料「Ⅶ. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載。

I . 地震に起因する津波の評価

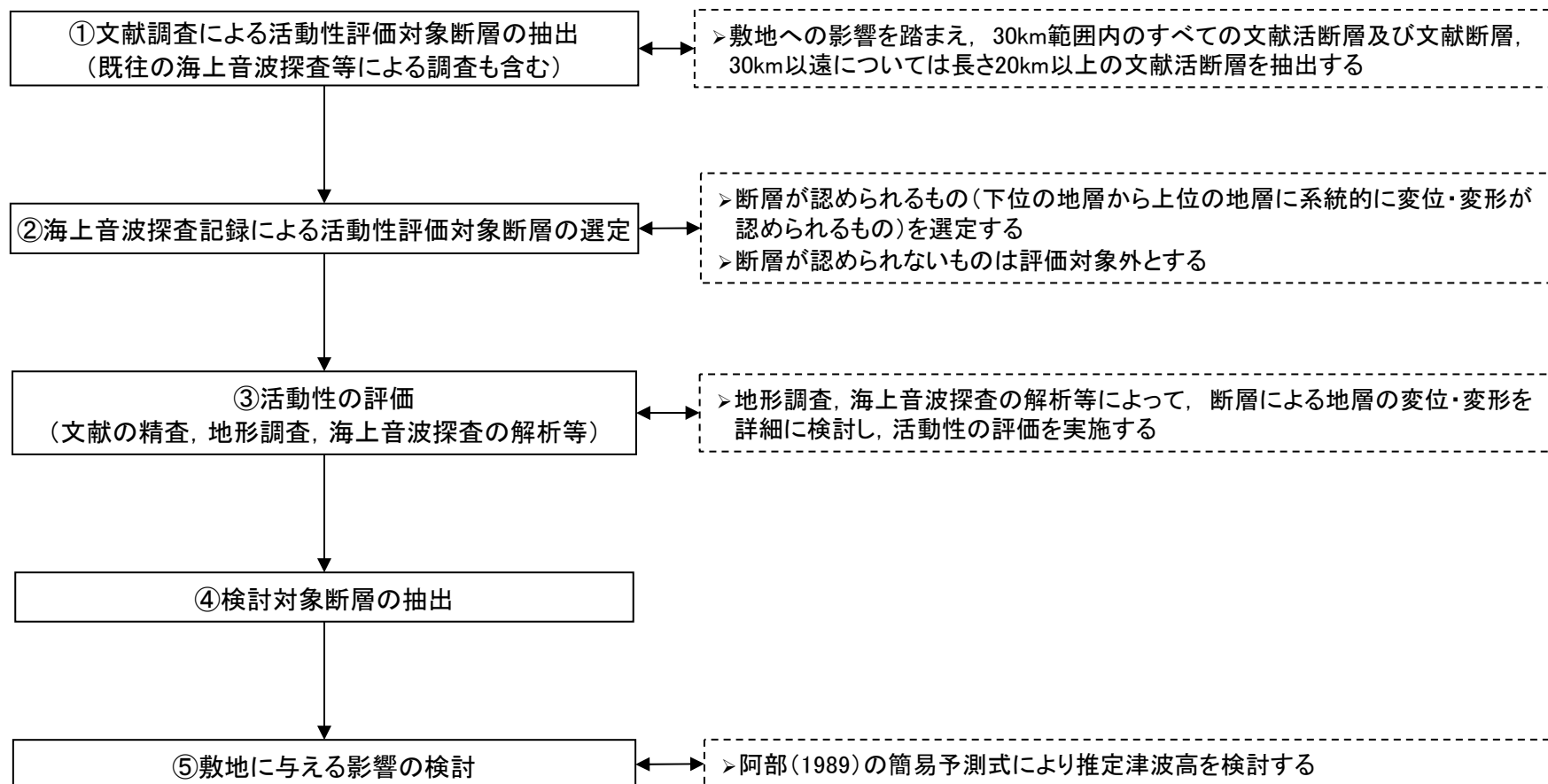
4. 海域の活断層による地殻内地震

- 4. 1 検討方針
- 4. 2 文献調査
- 4. 3 活動性の評価
- 4. 4 検討結果

I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.1 検討方針

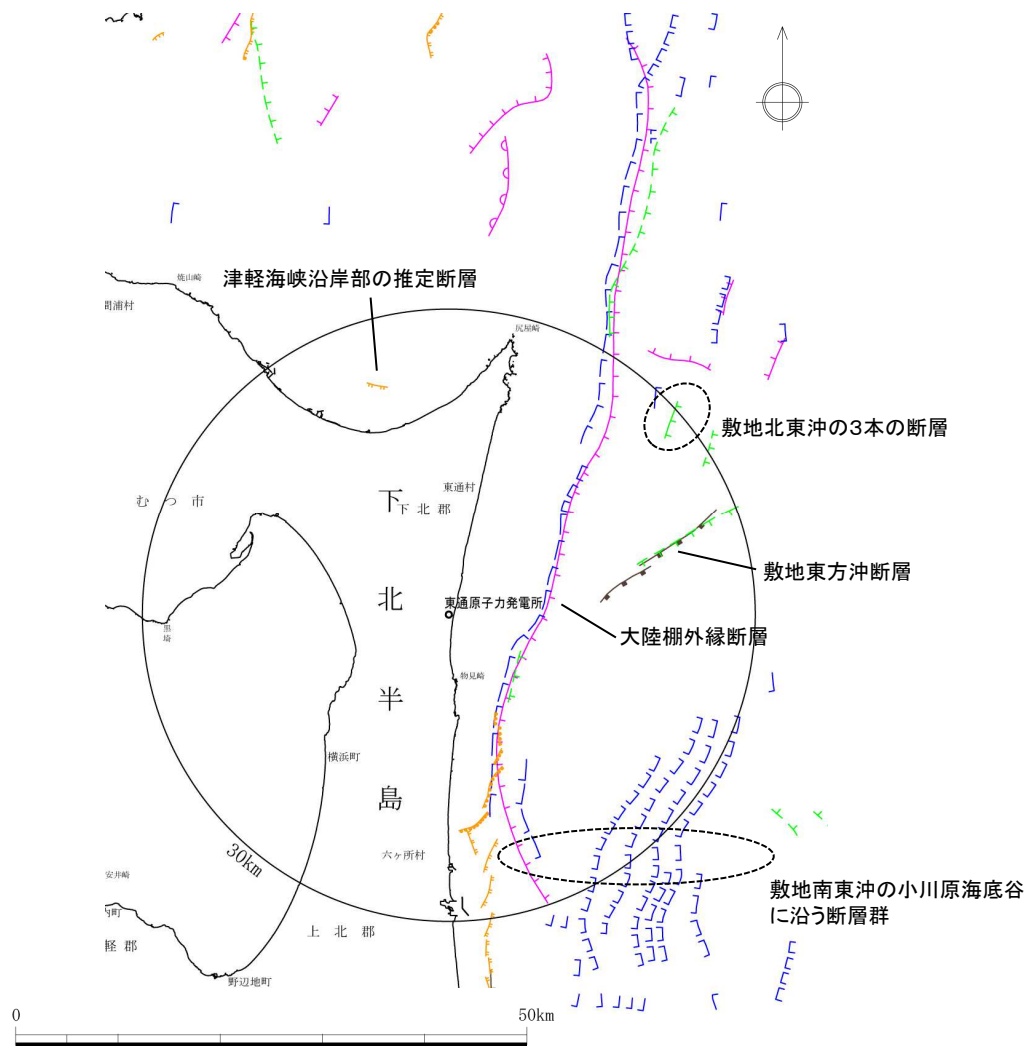
- 検討フローを以下に示す。



I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.2 文献調査: 敷地を中心とする半径30km範囲

- 文献調査結果を踏まえ、以下に示す5断層を活動性評価対象断層として抽出した。



文献による敷地周辺海域の断層分布図

【文献に記載されている活断層及び断層】

- 津軽海峡沿岸部の推定断層
- 敷地北東沖の3本の断層
- 敷地東方沖断層
- 大陸棚外縁断層
- 敷地南東沖の小川原海底谷に沿う断層群

凡例

「新編」日本の活断層 (活断層研究会, 1991)

- 活断層
- 活拗曲

20万分の1海洋地質図

- 「下北半島沖海底地質図」(地質調査所, 1993) *1
- 「八戸沖海底地質図」(地質調査所, 1978) *1

- 断層
- 伏在断層

20万分の1海底地質構造図

- 「室蘭沖」(海上保安庁, 1975) 「日高舟状海盆」(海上保安庁, 1975)
- 「下北半島沖」(海上保安庁, 1975) 「八戸沖」(海上保安庁, 1973)

- 断層
- 推定断層

5万分の1海底地質構造図

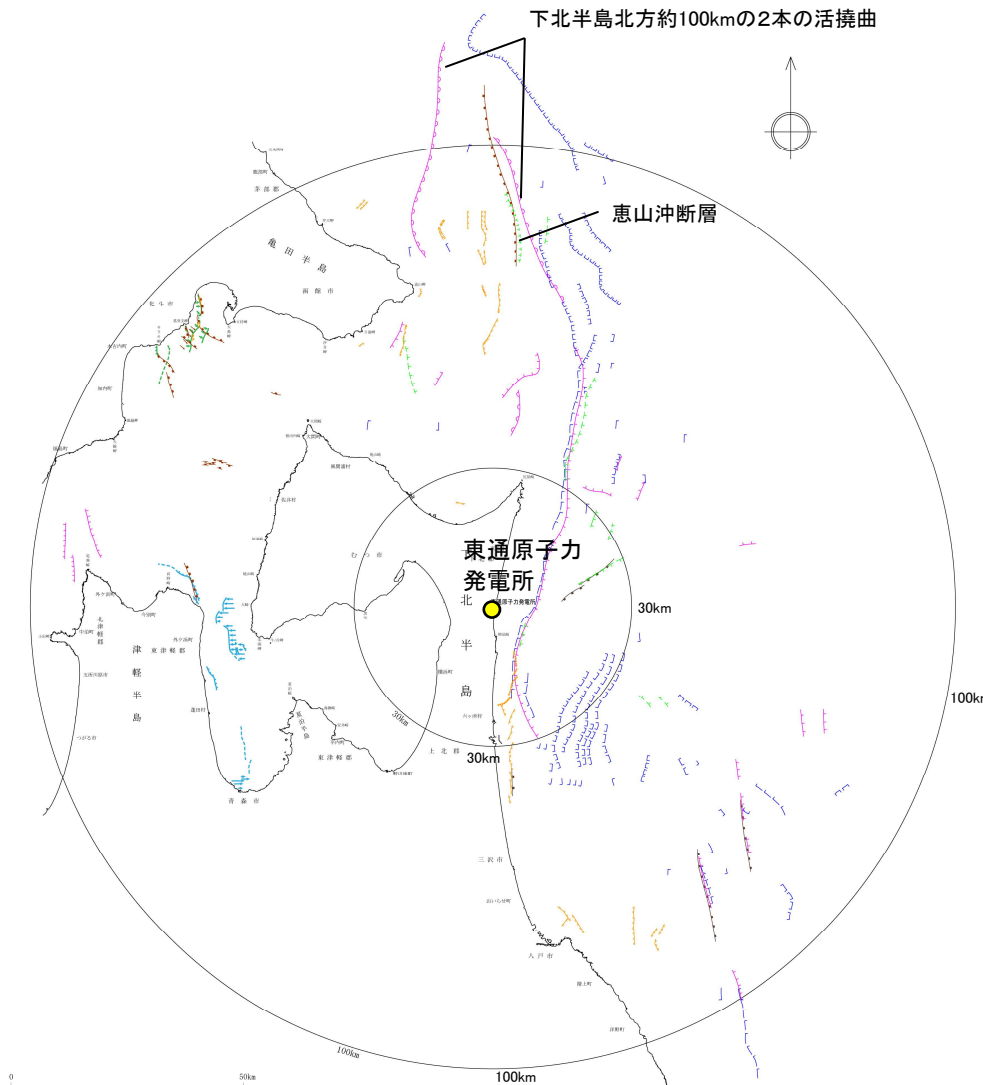
- 「鹿部」(海上保安庁, 2001) 「恵山岬」(海上保安庁, 1981)
- 「尻屋崎」(海上保安庁, 1998) 「むつ小川原」(海上保安庁, 1982)
- 「八戸」(海上保安庁, 1996) 「函館湾」(海上保安庁, 1999)

- 断層・拗曲
- 伏在断層
- 伏在推定断層・推定断層

I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.2 文献調査: 敷地を中心とする半径30km以遠

- 文献調査結果を踏まえ、以下に示す2断層を活動性評価対象断層として抽出した。



文献による敷地周辺海域の断層分布図

【文献に記載されている活断層】

長さ20km程度以上の文献活断層

- 下北半島北方約100kmの2本の活撓曲
- 恵山沖断層

凡例

文献活断層

「新編」日本の活断層 (活断層研究会, 1991)

- 活断層
- 活撓曲

産業技術総合研究所・北海道立総合研究機構地質研究所 (2012)

- 活断層
- 活撓曲

産業技術総合研究所・東海大学 (2012)

- 活断層
- 活撓曲

電源開発株式会社 (2008)

- 活断層・活撓曲
- 第四紀後期の活動性を否定できない箇所

日本原燃株式会社 (2009)

- 活断層

文献断層

20万分の1海洋地質図

- 「下北半島沖海底地質図」(地質調査所, 1993) *1
- 「八戸沖海底地質図」(地質調査所, 1978) *1

- 断層
- 伏在断層

20万分の1海底地質構造図

- 「室蘭沖」(海上保安庁, 1975) 「日高舟状海盆」(海上保安庁, 1975)
- 「下北半島沖」(海上保安庁, 1975) 「八戸沖」(海上保安庁, 1973)

- 断層
- 推定断層

5万分の1海底地質構造図

- 「鹿部」(海上保安庁, 2001) 「恵山岬」(海上保安庁, 1981)
- 「尻屋崎」(海上保安庁, 1998) 「むつ小川原」(海上保安庁, 1982)
- 「八戸」(海上保安庁, 1996) 「函館湾」(海上保安庁, 1999)

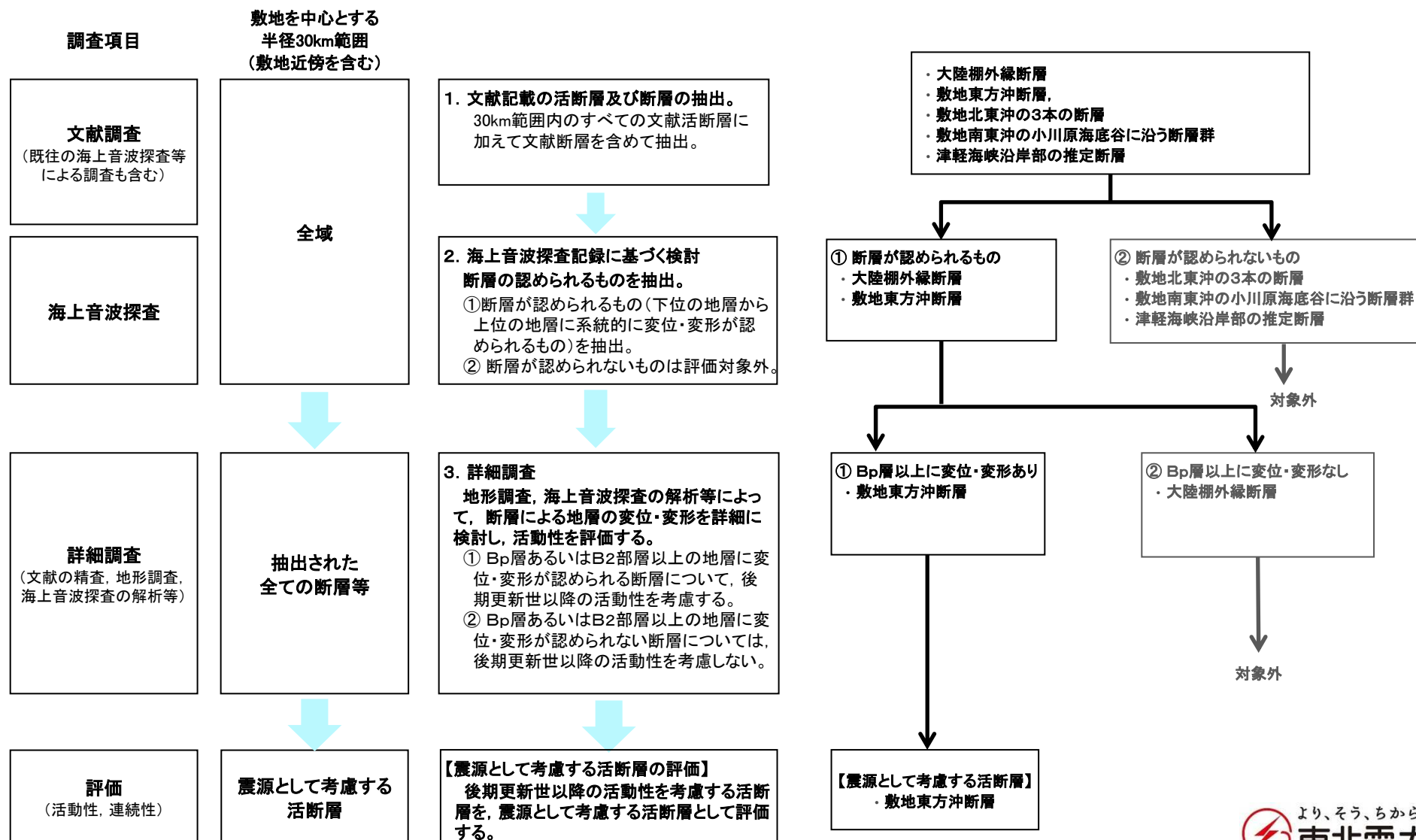
- 断層・撓曲
- 伏在断層
- 伏在推定断層・推定断層

*1(現 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)

I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.3 活動性の評価: 敷地を中心とする半径30km範囲

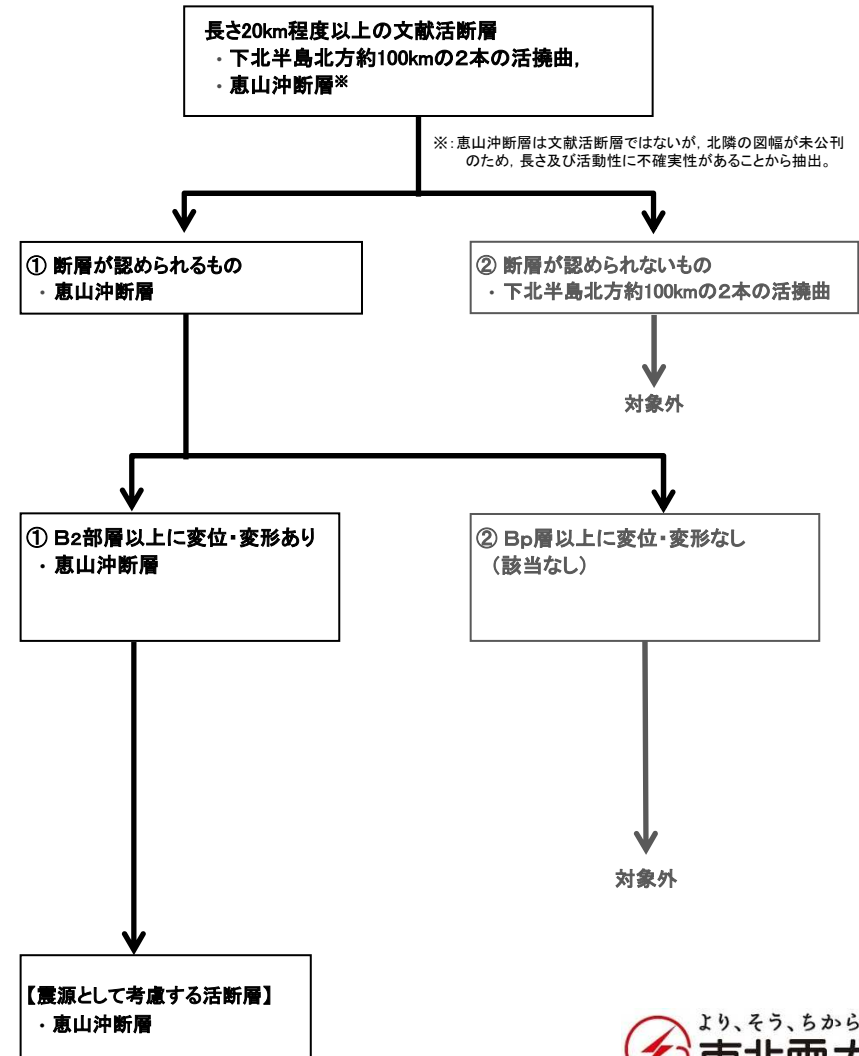
- 抽出した5つの断層の活動性評価の結果、「敷地東方沖断層」を検討対象として選定した。



I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.3 活動性の評価: 敷地を中心とする半径30km以遠

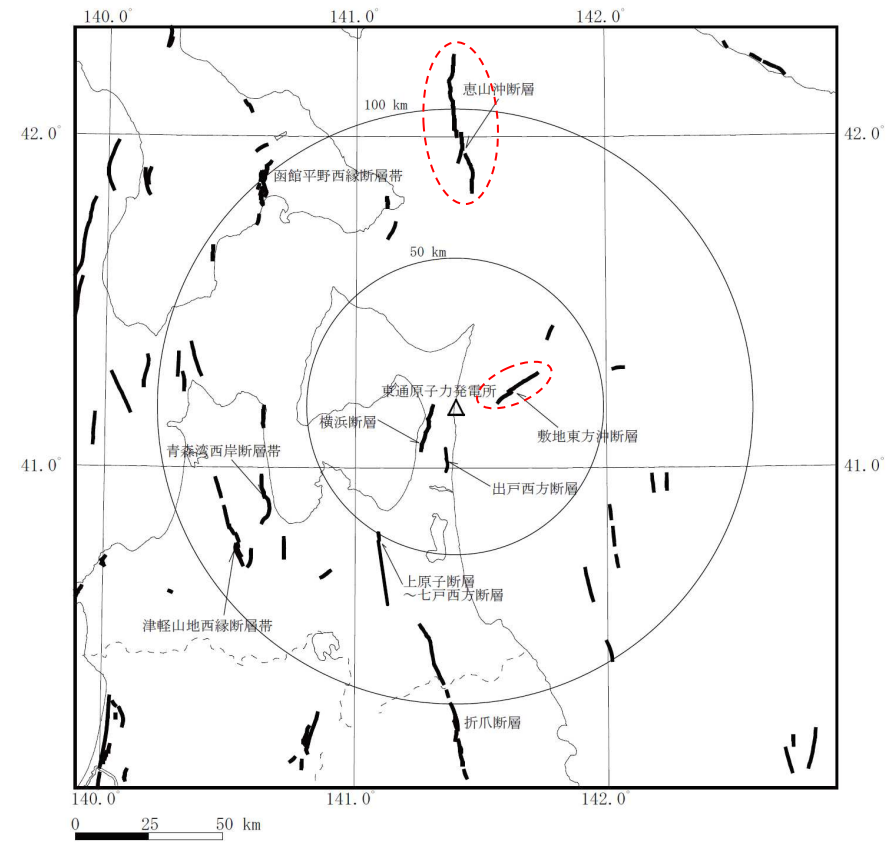
- 抽出した2つの断層の活動性評価の結果、「恵山沖断層」を検討対象として選定した。



I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.3 活動性の評価:まとめ

- 以上のとおり, 敷地東方沖断層及び恵山沖断層を検討対象断層として抽出した。
- 同断層を対象に阿部(1989)の簡易予測式により推定津波高を検討する。



検討対象とする活断層

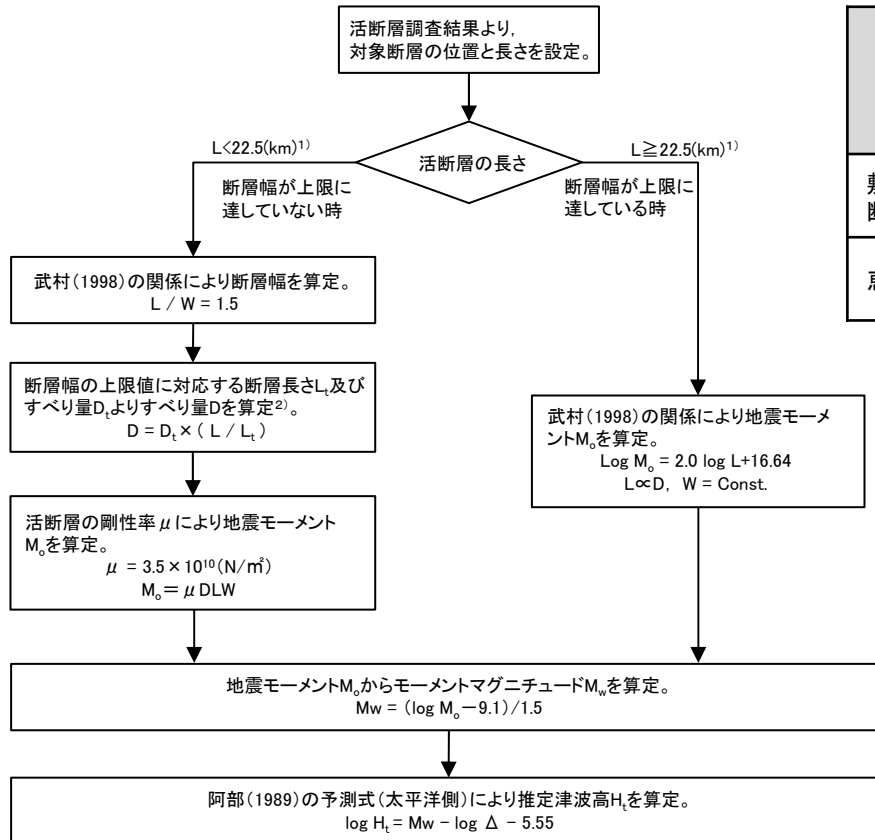
断層名	断層長さ L(km)	敷地からの 距離 △(km)
敷地東方沖断層	14.5	20
恵山沖断層	47	97

I. 地震に起因する津波の評価 4. 海域の活断層による地殻内地震

4.4 検討結果

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

【検討フロー】



【検討結果】

断層名	Mw	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	すべり量 D(m)	地震モーメント Mo(N・m)	津波の伝播距離 Δ (km)	推定津波高 Ht(m)
敷地東方沖断層	6.5	14.5	9.7	1.21	5.91 × 10 ¹⁸	20	0.4
恵山沖断層	7.3	47	15.0	3.91	9.64 × 10 ¹⁹	97	0.6

1) 断層幅の上限W_tは、地震発生層の厚さH_tを15kmとし、傾斜角δを90° (45~90°のうちM_wが最大となる値)とした際には、W_t=H_t/sin δ=15kmとなる。また、断層幅の上限に対応する断層長さL_tはL_t=1.5 × W_t=22.5kmとなる。

2) 断層幅の上限に対応するすべり量D_tは、モーメントマグニチュードをM_{w_t}=(log L_t+3.77)/0.75=6.83、地震モーメントをM_{0_t}=10²(1.5M_{w_t}+9.1)=2.21 × 10¹⁹N・m、剛性率をμ=3.50 × 10¹⁰N/m²とした際には、D_t=M_{0_t}/(μ L_tW_t)=1.87mとなる。

I . 地震に起因する津波の評価

5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

5. 1 水位上昇側

5. 2 水位下降側

I. 地震に起因する津波の評価 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

5.1 水位上昇側

■津波水位の比較

- ・ 水位上昇側の決定ケースは、「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」に起因する津波と評価した。

発生要因	種別	波源モデル		最大水位上昇量(m)			
				敷地前面	取水口前面	補機冷却海水系取水口前面	放水路護岸前面
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	基準断層モデル①	11.18	9.26	9.51	9.20
		津波地震		10.34	9.09	9.24	9.12
	海洋プレート内地震	正断層型の地震		9.77	4.87	5.17	4.43
	海域の活断層による地殻内地震	恵山沖断層		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)			

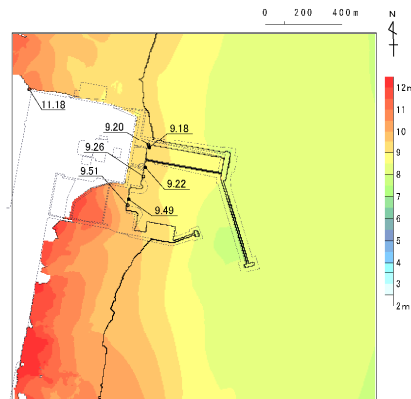
I. 地震に起因する津波の評価 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

5.1 水位上昇側

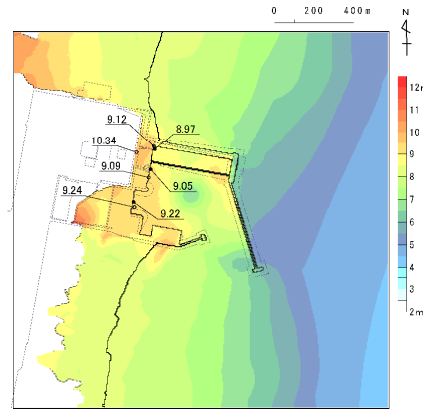
■最大水位上昇量分布及び敷地前面における最大水位上昇量の比較

- ・「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」に起因する津波が発電所全体に与える影響が大きいことを確認した。

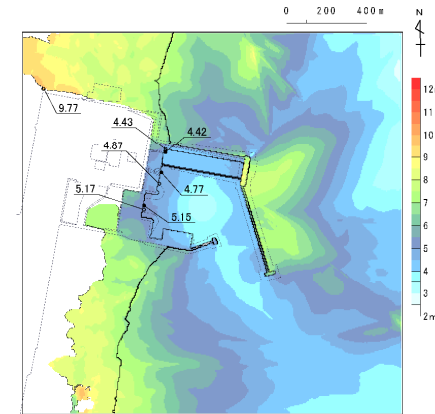
【最大水位上昇量分布】



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震

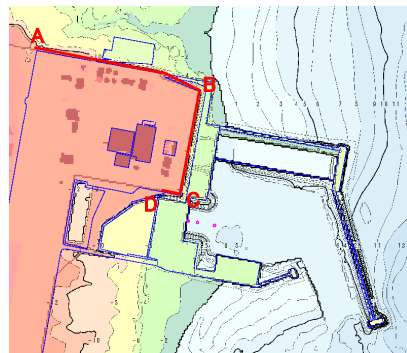


津波地震



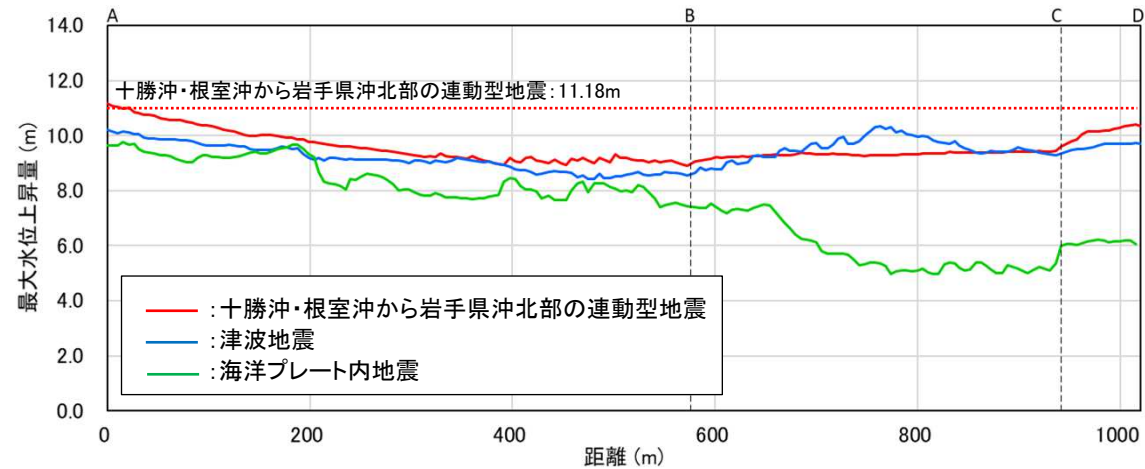
海洋プレート内地震

【敷地前面における最大水位上昇量の比較】



最大水位上昇量の比較範囲

敷地前面における最大水位上昇量の比較

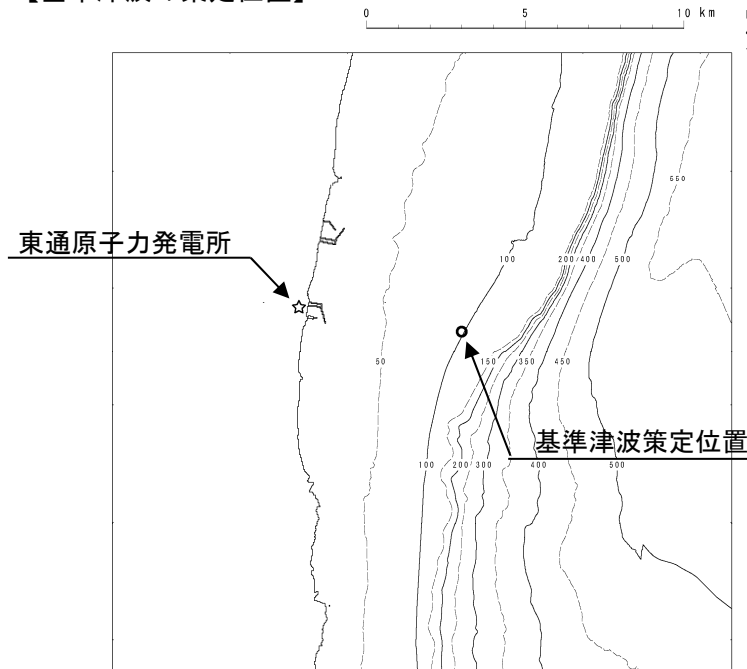


5.1 水位上昇側

■基準津波策定位置における最大水位上昇量及び水位時刻歴波形の比較

- 施設からの反射波の影響が微小となる基準津波策定位置においても、「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」に起因する津波の影響が大きいことを確認した。

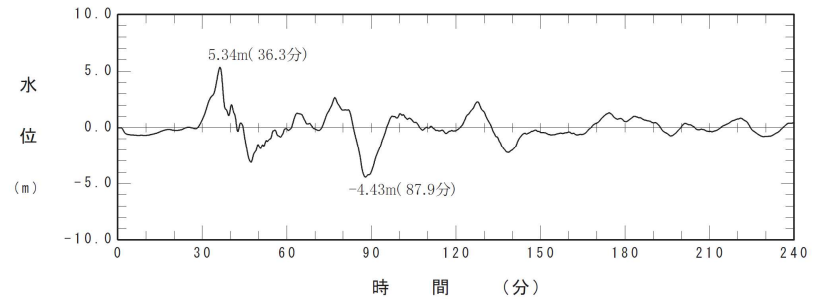
【基準津波の策定位置】



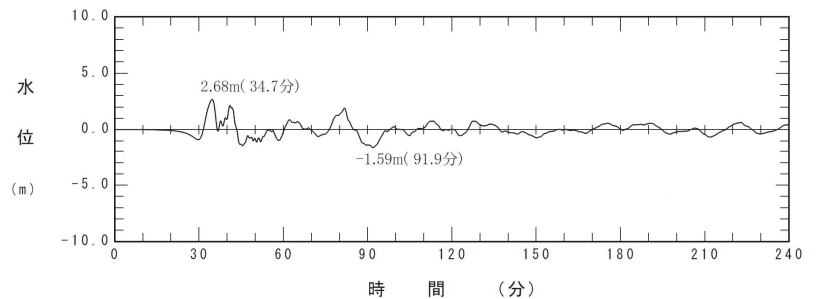
【最大水位上昇量の比較】

	最大水位上昇量(m)
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	5.34
津波地震	2.68
海洋プレート内地震	2.55

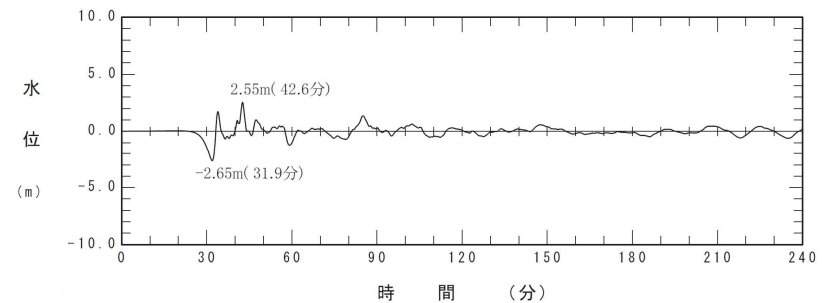
【水位時刻歴波形の比較】



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震



津波地震



海洋プレート内地震

余白

I. 地震に起因する津波の評価 5. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

5.2 水位下降側

- ・ 水位下降側の決定ケースは、「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」に起因する津波と評価した。

発生要因	種別	波源モデル		補機冷却海水系取水口前面	
				最大水位下降量(m)	取水口敷高※を下回る継続時間(分)
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	基準断層モデル②	-5.10	4.2
			基準断層モデル③	-5.24	4.4
		津波地震	-4.27	1.3	
	海洋プレート内地震	正断層型の地震	-4.59	1.9	
	海域の活断層による地殻内地震	恵山沖断層	0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)		
非常用海水ポンプの運転可能継続時間					約35

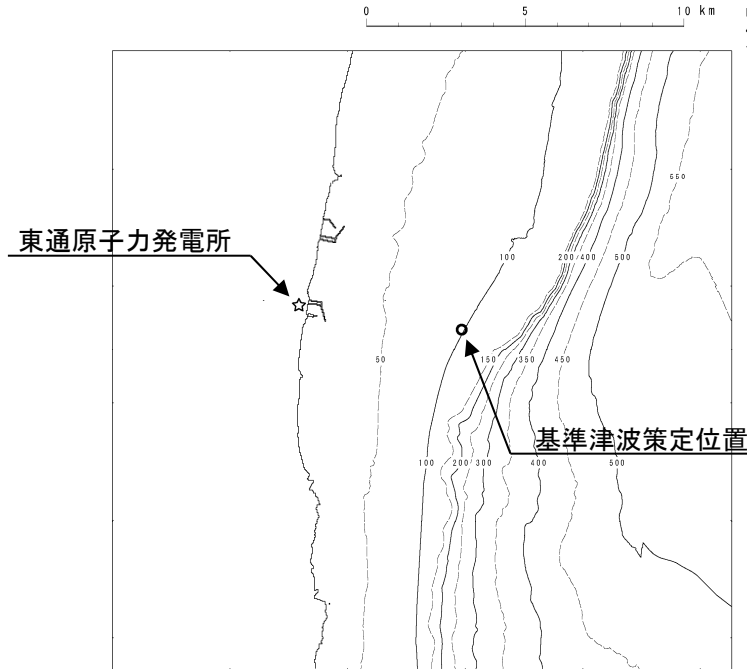
※:補機冷却海水系取水設備の詳細は、補足説明資料「VII. 計算条件等 4. 津波水位の評価位置」に記載。

5.2 水位下降側

■基準津波策定位置における最大水位下降量及び水位時刻歴波形の比較

- 施設からの反射波の影響が微小となる基準津波策定位置においても、「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震」に起因する津波の影響が大きいことを確認した。

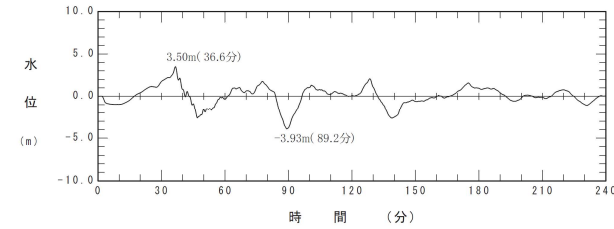
【基準津波の策定位置】



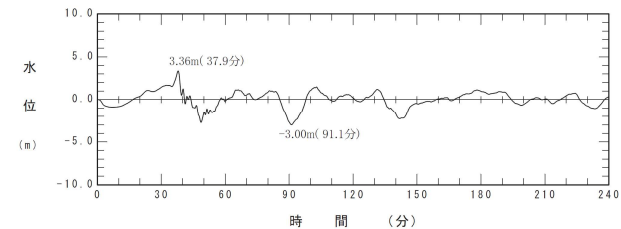
【最大水位下降量の比較】

		最大水位下降量(m)
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震	基準断層モデル②	-3.93
	基準断層モデル③	-3.00
津波地震		-2.58
海洋プレート内地震		-3.31

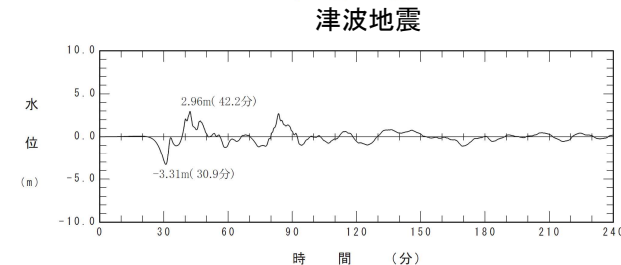
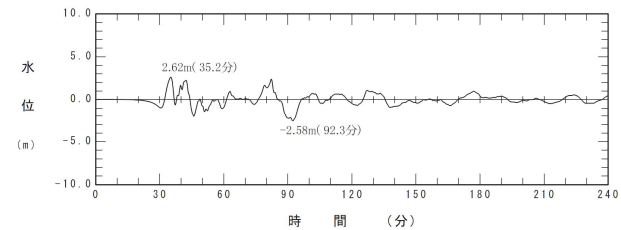
【水位時刻歴波形の比較】



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル②)



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震(基準断層モデル③)



余白