

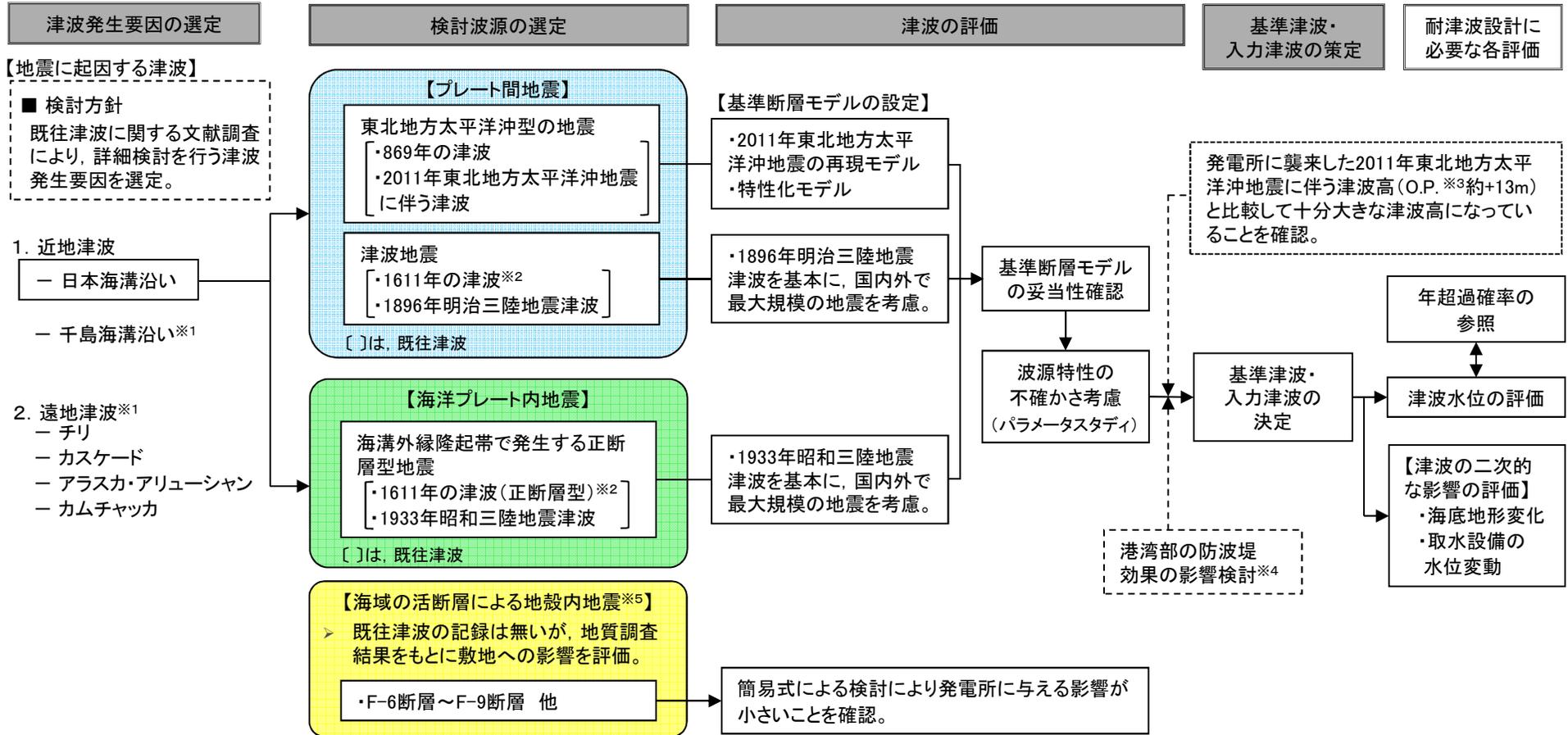
女川原子力発電所
基準津波の策定のうち
「海洋プレート内地震」, 「津波地震」等に起因する
津波の評価について

平成27年3月20日
東北電力株式会社

評価の概要

■ : 本日のご説明範囲(入力津波を除く。)

平成27年1月23日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。



※1: 発電所への津波の影響は小さいことを確認している。

※2: 1611年の津波は「津波地震」と考えられるが(地震調査研究推進本部(2012)等), 「海洋プレート内地震の正断層型」の断層モデルも提案されている(土木学会(2002), 相田(1977))。

※3: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。

※4: 最大水位上昇決定ケース, 最大水位下降決定ケースを対象に実施。

※5: 平成26年4月16日, 9月12日, 11月14日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。

【参考: 過去の津波評価値】

- ・女川1号設置許可: 3m程度
- ・女川2号・3号設置許可: O.P.+9.1m
- ・土木学会(2002)に準じた評価: O.P.+13.6m

【地震以外に起因する津波】

■検討方針

既往津波に関する文献調査及び地形判読調査等を行い, 津波発生要因となり得る地形を抽出。

地すべり及び斜面崩壊 → 本事象に起因する津波の影響は極めて小さいことを確認。

火山現象 → 本事象に起因する津波の影響は極めて小さいことを確認。

目次

I. 地震に起因する津波の評価

- 1. 津波地震 p3
- 2. 海洋プレート内地震 p34
- 3. 海域の活断層による地殻内地震 p59
- 4. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ p62

II. 地震以外に起因する津波の評価

- 1. 地すべり及び斜面崩壊 p66
- 2. 火山現象 p78

- 施設の安全設計に用いる基準津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定することが適切なものとして策定する。
 - 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、「2011年東北地方太平洋沖地震」という。)に伴う地殻変動※による影響を考慮する。
 - なお、地殻変動※による影響の考慮にあたっては、地震後、継続的な隆起傾向にあるが、安全側の評価を実施する観点から、敷地は一様に約1m沈下した状態として評価を行う。
- ※: 敷地が一様に約1m沈下

I. 地震に起因する津波の評価

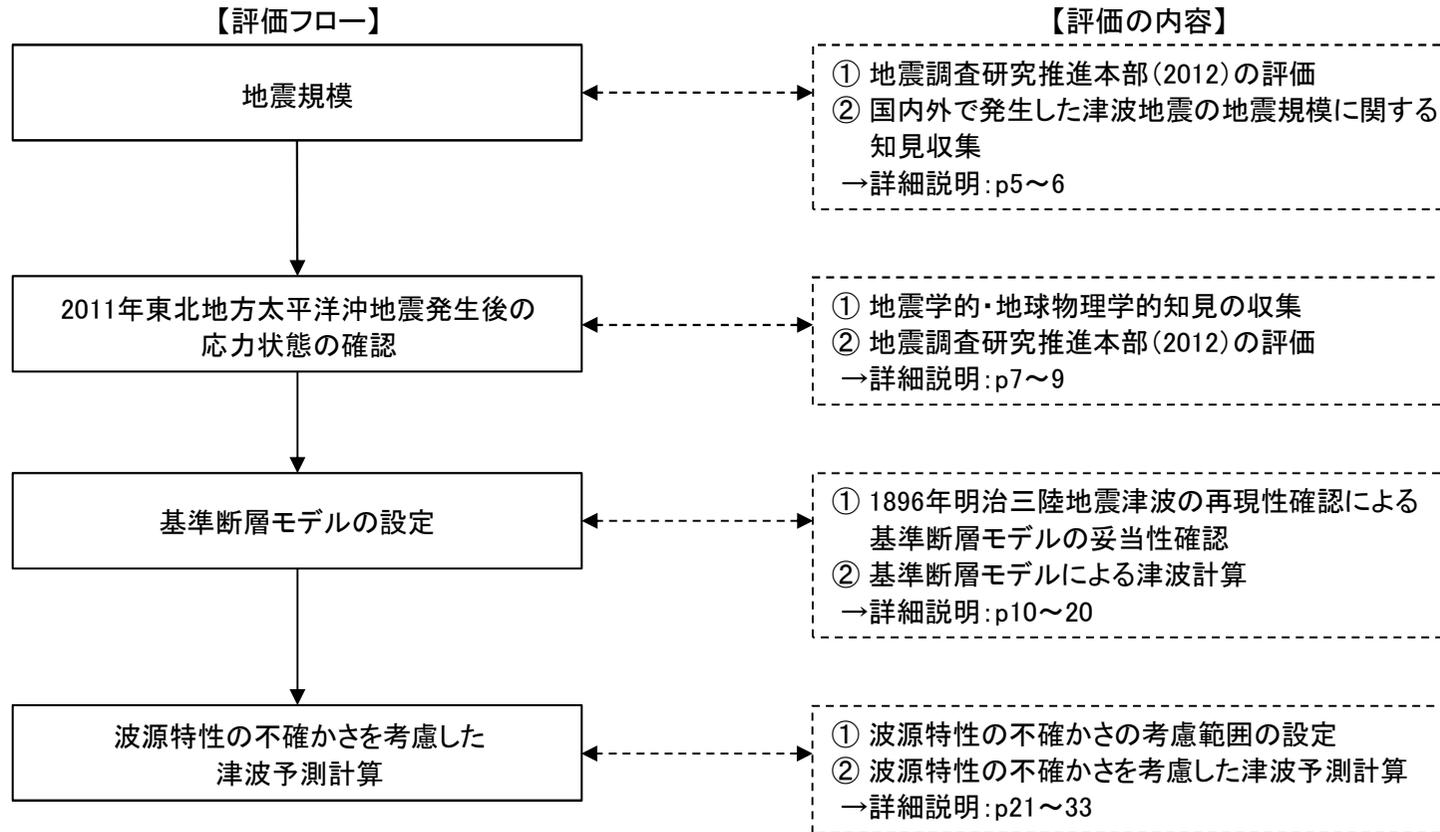
1. 津波地震

1. 1 「津波地震」に起因する津波の評価フロー
1. 2 「津波地震」の地震規模
1. 3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認
1. 4 基準断層モデルの設定
1. 5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算
1. 6 津波水位評価のまとめ

1. 津波地震

1.1 「津波地震」に起因する津波の評価フロー

- 以下のフローに基づき評価を実施した。



1. 津波地震

1.2 「津波地震」の地震規模①

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震の規模を1896年明治三陸地震津波の規模※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)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。

→ Mt※²8.6,9.0はともに阿部(2003)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: Mtは津波マグニチュード。Mtは、津波の高さの空間分布を使って算出する地震の大きさの指標であり、阿部(1988)ではMtがMs(表面波マグニチュード)よりも0.5以上大きなものを津波地震としている。Mtの算定式は、「資料2-2: 1. 津波マグニチュードMtの算定式(p3)」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。

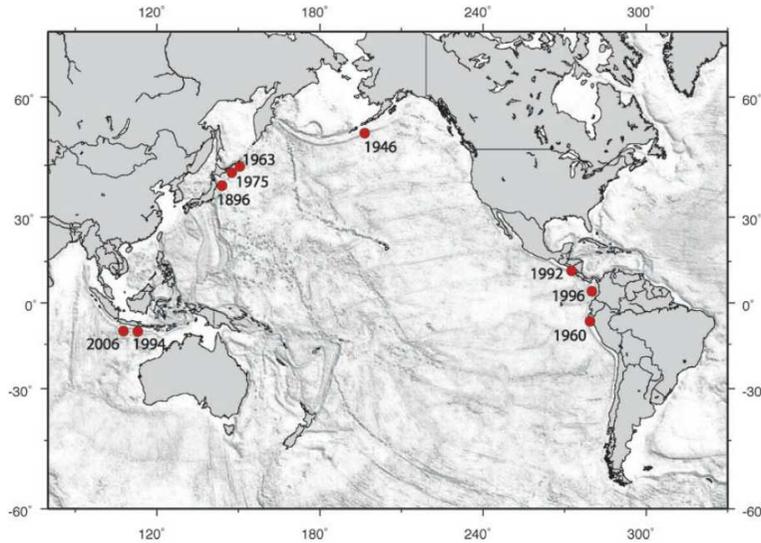
■発生確率の評価の信頼度:C

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。

1. 津波地震

1.2 「津波地震」の地震規模②

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



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

POLET and KANAMORI(2009)

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



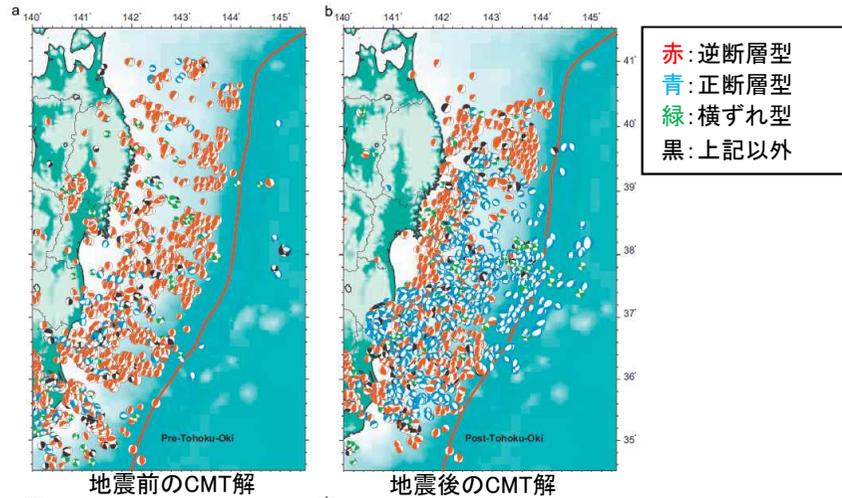
地震調査研究推進本部(2012)において次の地震の規模を1896年明治三陸地震津波と評価していること, 並びに同地震は国内外で最大規模の地震であることを踏まえ, 基準断層モデルは, 1896年明治三陸地震津波を基本とする。

1. 津波地震

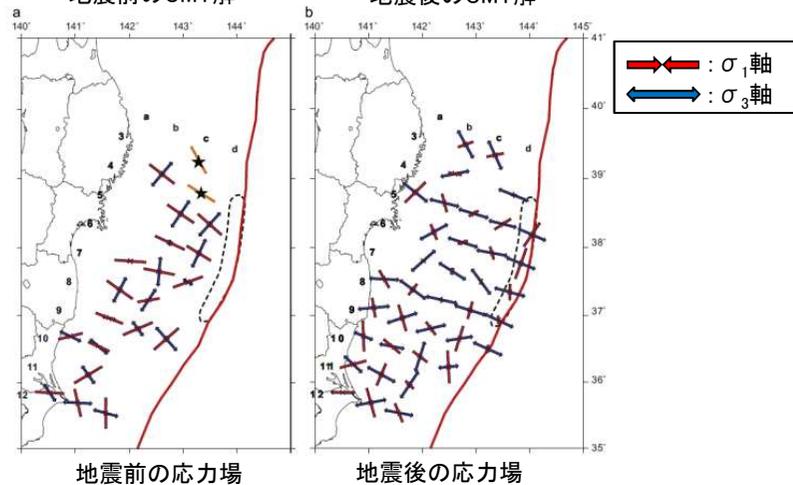
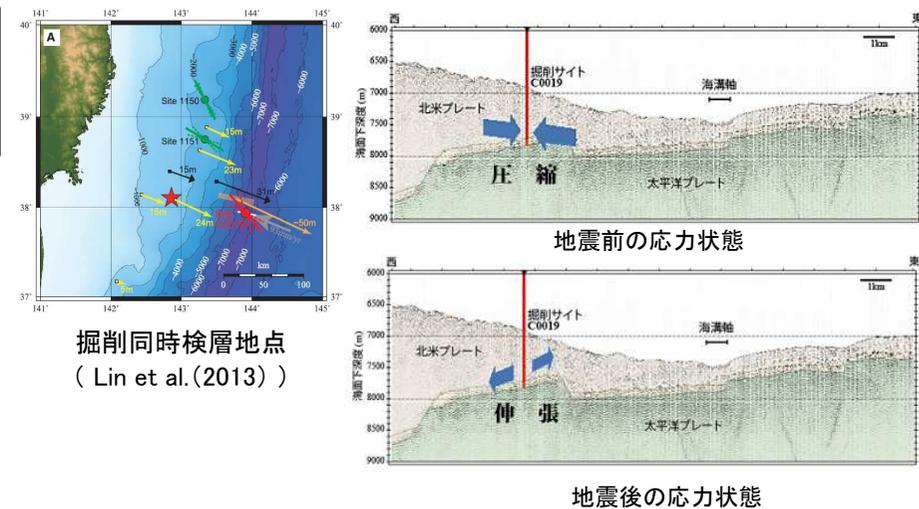
1.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認①

- 地震学的・地球物理学的見地から、2011年東北地方太平洋沖地震の発生により、それを引き起こした歪みはほぼ解放されたと考えられる (Hasegawa et al.(2012), JAMSTEC(2013)他)。

■地震学的見地



■地球物理学的見地



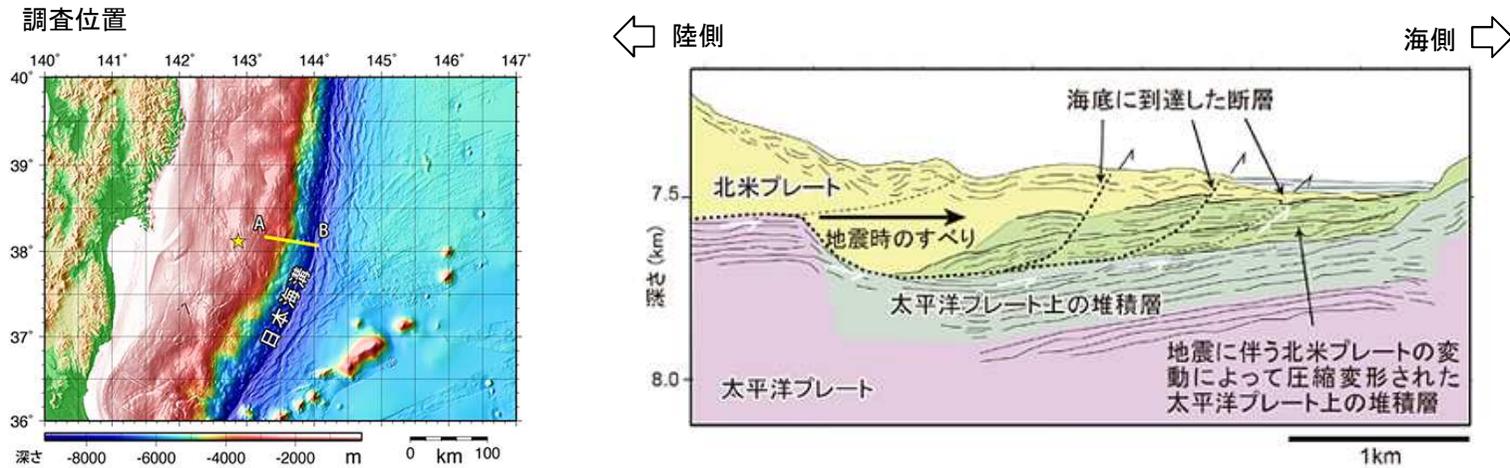
2011年東北地方太平洋沖地震震源域の
応力状態の変化
(JAMSTEC(2013))

応力テンソルインバージョンから得られた陸のプレートの応力場の変化
(Hasegawa et al.(2012))

1. 津波地震

1.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認②

- JAMSTEC(2012)によれば、2011年東北地方太平洋沖地震発生前後の地下構造データの比較から、2011年東北地方太平洋沖地震は、「プレート境界付近をすべり面とした断層が海溝軸まで到達した。」としている。



2011年東北地方太平洋沖地震後の地下構造の解釈図(JAMSTEC(2012))



以上の地震学的・地球物理学的見地から、2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴う応力解放範囲は、日本海溝軸付近(=津波地震発生領域)まで含まれると考えられる。

1. 津波地震

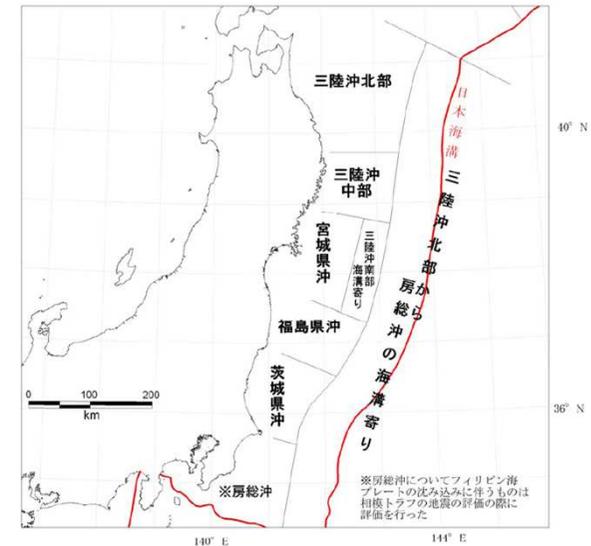
1.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認③

- 地震調査研究推進本部(2012)は、「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)」の発生確率を下表のとおり算定している。
- なお、発生確率の算定にあたっては、特定の海域では、断層長(200km程度)と領域全体の長さ(800km程度)の比を考慮して412年に1回の割合でこのような地震が発生すると推定されるとしているが、東北地方太平洋沖地震の震源域に含まれる三陸沖中部から三陸沖南部海溝寄りの海溝寄りに至る部分については、この地震によりこれまでの歪を解放した状態と考えられる。このため、この部分の将来の発生確率は上述の値より小さいと評価している。

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

p5再掲

| 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} | | |



日本海溝沿いにおけるプレート間地震の地震発生領域区分
(地震調査研究推進本部(2012))



2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、女川原子力発電所前面海域にこれまで蓄積された歪みはほぼ解放されたと考えられるものの、地震調査研究推進本部(2012)においてある程度の地震発生確率を算定していることを踏まえ、「津波地震」を検討波源とした基準断層モデルを設定する。

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定

- 基準断層モデルは、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。

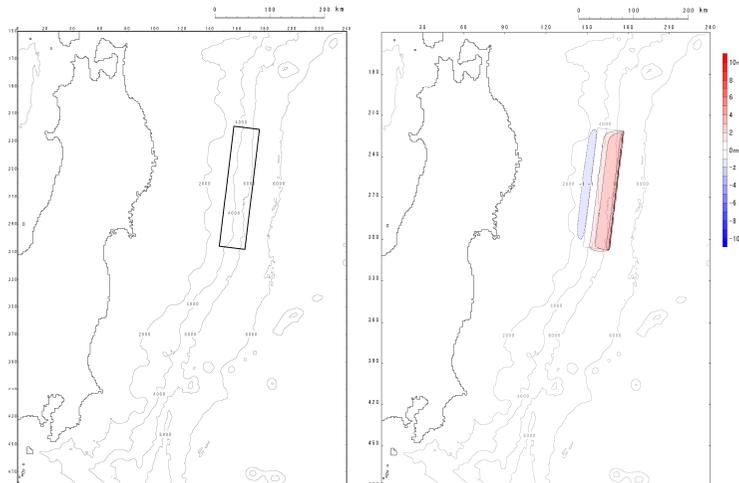
再現モデル

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震規模を1896年明治三陸地震津波と評価している。
- 同地震は、国内外で最大規模の津波地震である。
- 以上を踏まえ、津波地震の基準断層モデルの設定にあたっては1896年明治三陸地震津波を基本とする。

| 基本とする既往津波 | Mw |
|---------------|------|
| 1896年明治三陸地震津波 | 8.28 |

基準断層モデル

- 再現モデルを上回る規模の地震を設定。



基準位置

地殻変動量分布

諸元

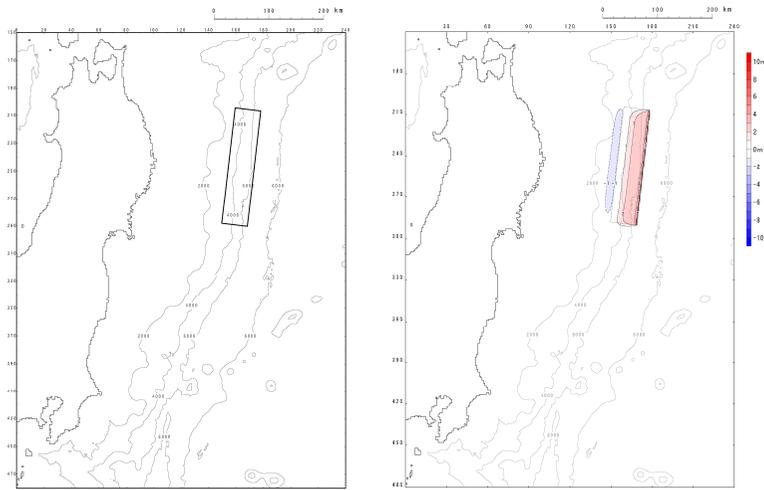
| 断層パラメータ | | 設定方法 | 設定値 |
|---------------|---------------------------|---|-----------------------|
| モーメントマグニチュード* | Mw | 土木学会(2002) | 8.3 |
| 長さ | L(km) | 既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(幅に限界あり)を適用して設定。 | 218 |
| 幅 | W(km) | | 50 |
| すべり量 | D(m) | | 9.32 |
| 剛性率 | μ (N/m ²) | 既往津波再現モデルに基づき設定。 | 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 |

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定:再現性の確認①

【1896年明治三陸地震津波再現モデル及び諸元】

- 1896年明治三陸地震津波の再現モデルは、土木学会(2002)を参考として、一様すべりの矩形断層モデルを設定した。



再現モデルの波源位置

地殻変動量分布

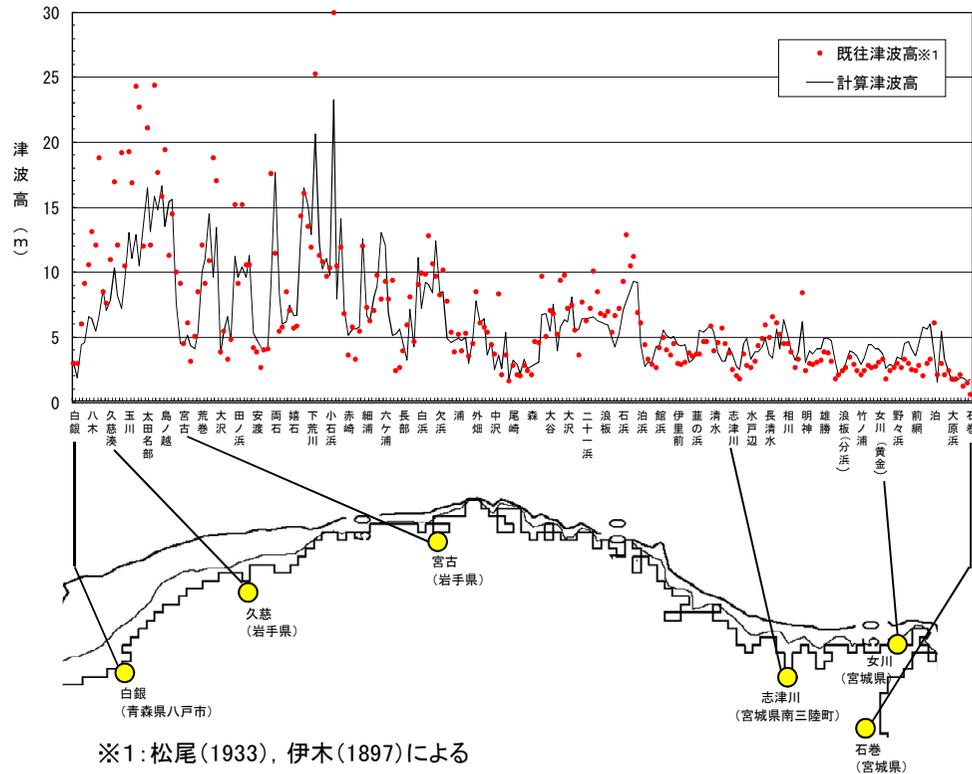
諸元

| 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 | $(\log M_0 - 9.1) / 1.5$ | 8.28 |
| 長さ | L (km) | 土木学会(2002) | 210 |
| 幅 | W (km) | 土木学会(2002) | 50 |
| 剛性率 | μ (N/m ²) | 土木学会(2002) → 詳細説明p18 | 3.5×10^{10} |
| すべり量 | D _{max} (m) | 土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり量に補正。 | 9.0 |
| 地震モーメント | M ₀ (Nm) | 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(2002) | 1 |
| 傾斜角 | δ (°) | 土木学会(2002) | 20 |
| すべり角 | λ (°) | 土木学会(2002)を基本として、再現性が確認できるすべり角に補正。 | 75 |
| ライズタイム | τ (s) | 相田(1986) → 詳細説明p19 | 60 |

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定:再現性の確認②

【再現性の確認結果】



既往津波高と数値シミュレーションによる津波高さの比較



土木学会(2002)の再現性の目安を満足していることを確認した*。

※:再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、「資料2-2:2. 既往津波の再現解析条件(p5~7)」に記載。

| 比較地域 | K | κ | 地点数n |
|-------|------|----------|------|
| 八戸～石巻 | 1.00 | 1.44 | 246 |

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定：一様すべりの矩形断層モデルの設定①

■ 津波地震の発生メカニズム①

- 津波地震は地震動から予想されるよりも異常に大きな津波を発生する地震であり、阿部(1988)は津波マグニチュードMtが表面波マグニチュードMsよりも0.5以上大きい地震を津波地震としている。
- 津波地震の発生メカニズムについては、国内外における津波地震の発生事例が少ないため、不明な点が多い状況であるが、今村(2003)は、国内外における各研究成果を基に、その発生メカニズムについて以下のとおり分類している。

(1)地震自体が特殊なケース

| 分類 | 内容 | 既往地震※ |
|------------------------|--|---|
| ①沈み込み帯での付加体プリズムで発生した地震 | 震源は浅く海溝付近にあり、付加プリズムの下方に位置する低角の逆断層運動。 | <ul style="list-style-type: none"> ・1896年明治三陸地震 ・1946年アリューシャン地震 ・1963年ウルップ島沖地震 ・1994年東ジャワ地震 |
| ②緩やかな断層破壊を伴う地震 | 付加体の存在とは直接関係なし。堆積層が沈み込み、プレート境界間に存在し滑らかな断層の開放を起こすものなど。 | <ul style="list-style-type: none"> ・1960年ペルー地震 ・1975年色丹島沖地震 (タイプ③の可能性もある) ・1992年ニカラグア地震 |
| ③付加体での分岐 | 付加体での媒質の剛性率は小さく変形し易い。また、分岐した断層は浅くなるにつれて傾斜角が大きくなり、海底地殻変動の鉛直成分は量を増す。 | <ul style="list-style-type: none"> ・1975年色丹島沖地震 (タイプ②の可能性もある) |

※: 約100年間における環太平洋での津波地震の事例

(2)地震動に伴う付加的な現象が津波を大きくするケース

| 分類 | 内容 | 既往地震※ |
|-------------------------|---------------------------------|--|
| ④海底地すべりなどを伴った地震 | 地震自体は通常のものであるが、副次的な現象を伴った。 | <ul style="list-style-type: none"> ・1929年Grand Banks地震 ・1998年パプアニューギニア地震津波 |
| ⑤地震活動を原因としない事象、マグマの貫入など | 地震を発生させる他の原因があり、これが津波も発生している事例。 | <ul style="list-style-type: none"> ・1984年鳥島近海沖地震 |

※: 約100年間における環太平洋での津波地震の事例

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定：一様すべりの矩形断層モデルの設定②

■ 津波地震の発生メカニズム②

- 今村(2003)は、津波地震のタイプ分類、環太平洋での10事例の津波地震の分布と付加体の存在が確認されている沈み込み帯の場所との関係から、津波地震の発生メカニズムは付加体の有無に関連して説明できるとしている。

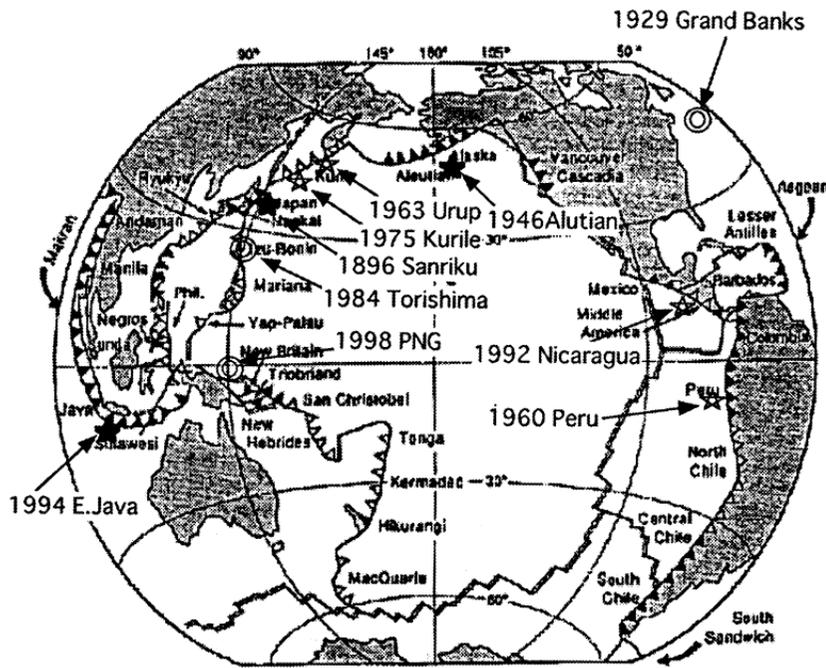


図1 環太平洋での10事例の津波地震の分布(von Huene & Scholl (1991)に加筆)。白抜三角印は顕著な付加体が発達していない,黒三角印は付加体の存在が確認されている沈み込み帯の場所。タイプ①は黒星印で,タイプ②は白星印で,その他は二重丸で示している。

今村(2003)

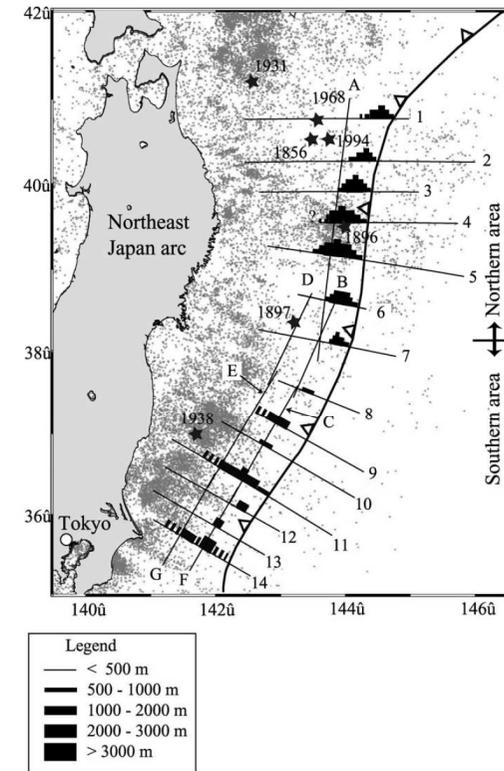


Figure 17. Map view of the low velocity sedimentary units observed on MCS sections in the Japan Trench margin. Small dots represent background seismicity taken from JMA (Japan Meteorological Agency) HypoCatalog.

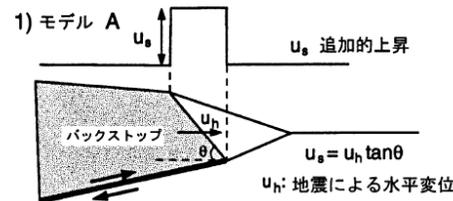
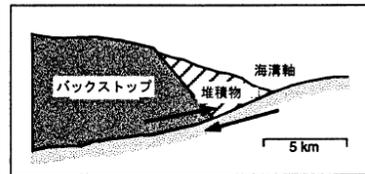
(参考)日本海溝沿いにおける低速度堆積のユニットの厚さの地域的变化(Tsuru et al.(2002))

1. 津波地震

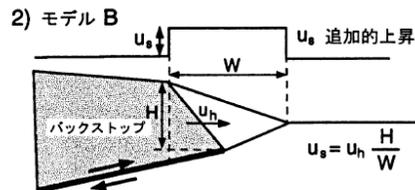
1.4 基準断層モデルの設定：一様すべりの矩形断層モデルの設定③

■ 津波地震の発生メカニズム③

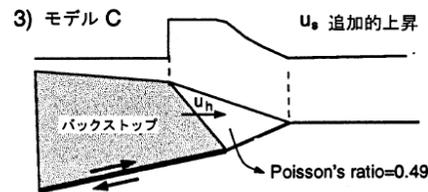
- Tanioka and Seno (2001)は、海溝軸近傍の未固結堆積物の影響は無視できないとして、その影響の考慮方法を複数示し、1896年明治三陸地震の検潮記録と計算波形の比較から、堆積物の存在は津波を5割から8割程度大きくする効果があることを示している。また、1946年アリューシャン地震についても解析を行い、堆積物の効果が大きいことを確認している。



→ バックストップの水平変動により、バックストップ斜面上の堆積物のみ上昇するモデル

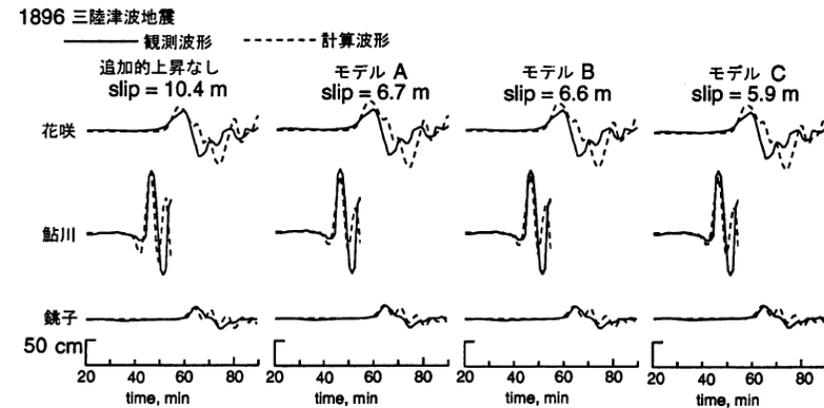


→ バックストップの水平変動が堆積物全体を一様に上昇させるモデル



→ 堆積物がゴムの様な振る舞いをすると考え、有効ポアソン比を0.49として数値計算で上昇量を計算したモデル

Tanioka and Seno (2001)による未固結堆積物の影響の考慮方法 (谷岡・佐竹(2003))



Tanioka and Seno (2001)による追加的な上昇のないモデルと各モデルの観測波形と計算波形の比較 (谷岡・佐竹(2003))

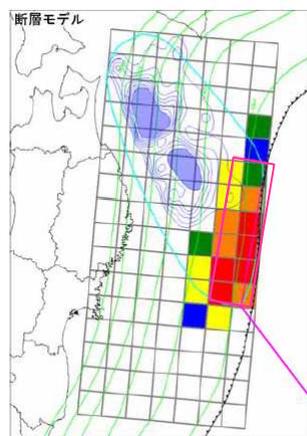


海溝軸近傍でのプレート境界が低速で破壊し、剛性率の低さが津波を効果的に励起することに加えて、海溝軸ごく近傍の未固結の堆積物がバックストップ斜面の水平変動により上昇して津波を励起することは津波地震の発生メカニズムの1つとして考えられ(谷岡・佐竹(2003))、アスペリティを起因とするプレート間地震の発生メカニズムとは異なると考えられる。

1.4 基準断層モデルの設定：一様すべりの矩形断層モデルの設定④

■ 中央防災会議(2005)の知見

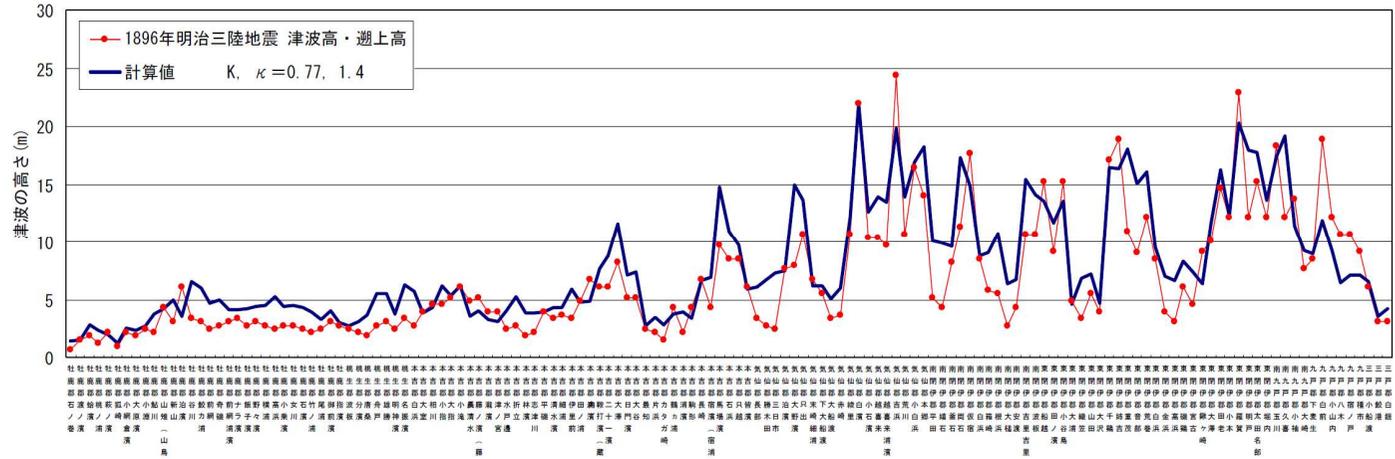
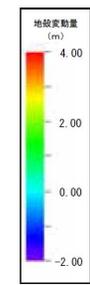
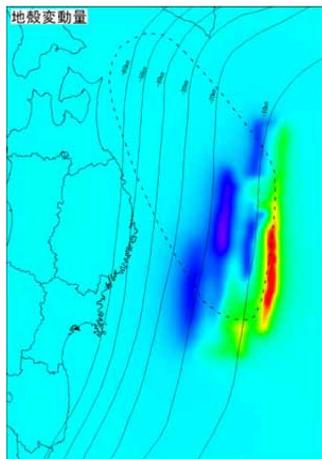
- 中央防災会議(2005)では、津波痕跡高を用いたインバージョン手法により、不均質性を考慮した断層モデルを推定している。
- 同断層モデルの津波波源は、中央防災会議(2005)が参照しているTanioka and Satake(1996)の断層モデル(断層面積:約11千km², Mw8.0)や土木学会(2002)の断層モデル(断層面積:約11千km², Mw8.3)よりも規模が大きいとともに(断層面積:約23千km², Mw8.6), 痕跡高の再現性についても計算値が大き目であるが(K=0.77, $\kappa=1.4$), 沿岸の津波水位に大きな影響が大きいTanioka and Satake(1996)による断層範囲のすべり分布に着目すると、同領域における平均すべり量(約10.3m)の2倍以上となるすべり領域は見られない。



1896年明治三陸地震 谷岡(1996)モデル

| Mw=8.6 | | 各セグメントのすべり量分布(m) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 深度 | | 走向方向 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.1 | 3.7 | 5.7 | 9.6 | 15.3 | 16.5 | 14.5 | 9.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.6 | 6.9 | 8.7 | 9.2 | 11.5 | 11.0 | 6.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.6 | 6.1 | 6.3 | 3.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

1896年明治三陸地震津波 Tanioka and Satake(1996)モデルの断層範囲



1896年明治三陸地震津波のインバージョンモデルおよび遡上高(平均潮位)(中央防災会議(2005)を一部加工・加筆)

1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定：一様すべりの矩形断層モデルの設定⑤

■ 杉野ほか(2014)の知見

- 津波波源モデルは、既往津波の再現モデルと将来予測用の波源モデル(以下、「特性化モデル」という。)に大別されるが、杉野ほか(2014)では、2011年東北地方太平洋沖地震を例として、特性化モデルの意義を以下のとおり示している。
 - 再現モデルは、すべり分布の時空間的不均一性を考慮することにより、沖での観測津波波形等の再現性向上に繋がるものの、パラメータが複雑であるがゆえに、将来予測の問題への適用になじまない。
 - 将来予測の問題に用いる特性化モデルでは、実現象の複雑さに対してパラメータの詳細値や時空間分布を確定的に扱うことができず、それに伴ってパラメータを省略(あるいは平均化)するなどの簡略化が必要となる。ただし、簡略化の程度によっては不確実性が增大するため、これを定量的に把握する必要がある。

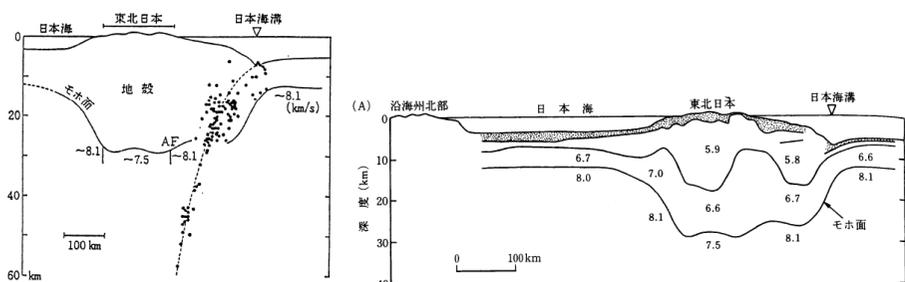


津波地震の発生メカニズム、中央防災会議(2005)、杉野ほか(2014)の知見を踏まえ、基準断層モデルは、一様すべりの矩形断層モデルを設定した。

1. 津波地震

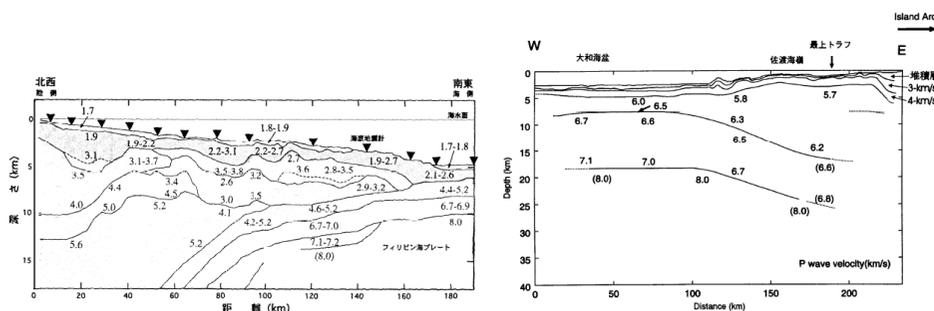
1.4 基準断層モデルの設定: 剛性率の設定

- 土木学会(2002)では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、以下のように標準値を設定している。



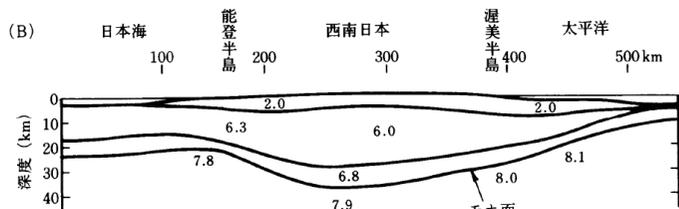
(a)東北日本周辺(吉井(1978))

(b)東北日本周辺(周藤・牛来(1997)※)



(c)日向灘沖(宮町・後藤(1999))

(d)秋田沖日本海東縁部(西坂ら(1999))



(e)西南日本周辺(周藤・牛来(1997)※)

P波速度構造に関する既往研究例(土木学会(2002))に一部加筆)

※:周藤・牛来(1997)が参照した文献の詳細は、「資料2-2 :3. P波速度構造に関する既往研究例(p9)」に記載。

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

震源付近の媒質の剛性率の標準値(土木学会(2002))

| 海域 | 根拠 | 剛性率 |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 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) | $Vp=6.0$ km/s $Vp/Vs=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8$ g/cm ³ とすれば, $\mu=3.36\times 10^{10}$ $\sim 3.94\times 10^{10}$ N/m ² となる。この中間的値とする。 | 3.5×10^{10} N/m ² $(3.5\times 10^{11}$ 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) | $Vp=8.0\sim 8.1$ km/s $Vp/Vs=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5$ g/cm ³ とすれば, $\mu=6.31\times 10^{10}$ $\sim 7.50\times 10^{10}$ N/m ² となる。この中間的値とする。 | 7.0×10^{10} N/m ² $(7.0\times 10^{11}$ 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。 | 5.0×10^{10} N/m ² $(5.0\times 10^{11}$ dyne/cm ²) |



津波地震の断層面は深さ20km以浅に存在することから、 3.5×10^{10} (N/m²)を採用した。



1. 津波地震

1.4 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。

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

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)

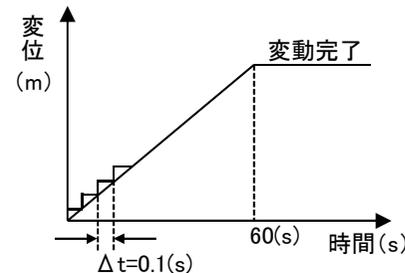
- 日本海溝沿いで発生しているM8クラスの地震の断層長さL: 150(km)~200(km)程度(土木学会(2002)), 破壊伝播速度 V_r : 2.4(km/s)~3.0(km/s)(地震調査研究推進本部(2009)), ある1点で断層ずれを形成する時間(=立上り時間) τ : 5(s)程度(相田(1986))とすると、津波初期変位分布のライズタイムは、55(s)~88(s)程度となる。



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。



1. 津波地震

1.4 基準断層モデルの設定：基準断層モデルによる計算結果

- 基準断層モデルによる計算結果※を以下に示す。

| 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 |
| 10.20 (北側) | 8.27 | 7.84 | 7.65 | 7.06 | 6.63 |

| 最大水位下降量(m) | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 |
| 5.02 | 4.93 | 4.97 |

※：津波解析条件、津波水位の評価位置の詳細は、「資料2-2：4. 津波解析条件(p11～19)」に記載。

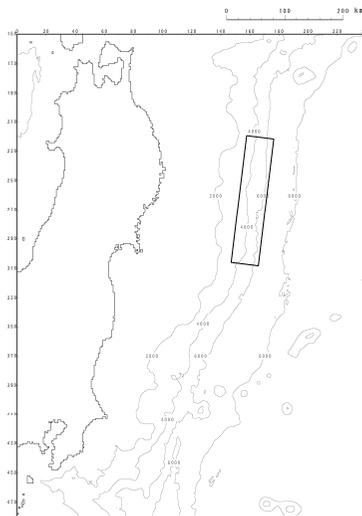
1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算

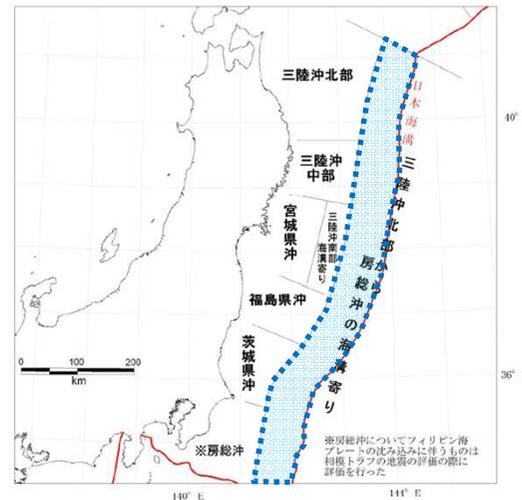
■波源特性の不確かさの考え方

- 土木学会(2002)を参考として、断層モデルの諸条件のうち津波地震の特性上不確実性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮する。
- なお、女川原子力発電所の津波高さに与える影響が大きい断層パラメータ等については、安全側の設定となるように不確かさを考慮する。

■波源位置の不確かさを考慮する領域 (=地震発生領域) →詳細説明:p22



基準断層モデル



■各断層パラメータの不確かさ考慮 →詳細説明:p23

【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, 100km, 120km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km移動 |
| 走向 | 基準, 基準±5° |

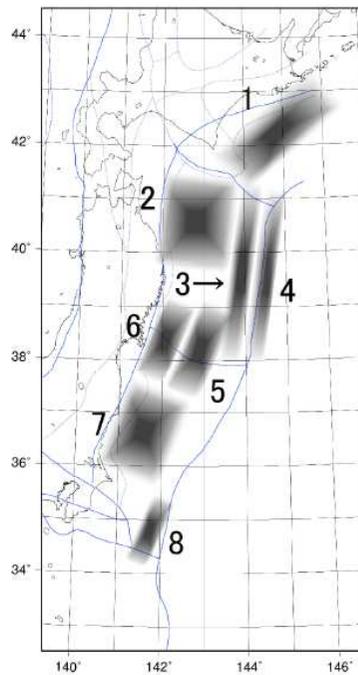
【詳細パラメータスタディ】

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

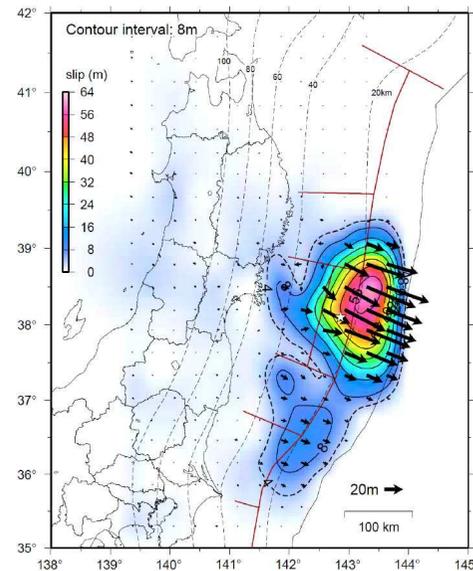
1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 波源位置の不確かさを考慮する領域

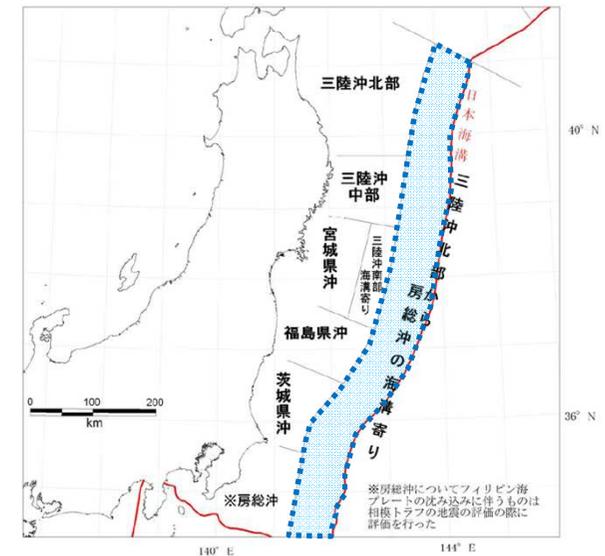
- 土木学会(2002)では、地震地体構造の知見、既往地震の発生履歴に基づき津波地震の発生領域を北緯約38° 以北(領域3)および房総沖(領域8)に設定しているが、2011年東北地方太平洋沖地震は連動型地震であったものの、福島県沖でもすべりが生じたことや地震調査研究推進本部(2012)による津波地震の発生領域に関する評価を踏まえ、波源位置の不確かさを考慮する領域は、地震調査研究推進本部(2012)で示される三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこでも発生するものとして設定した。



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))

1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 波源位置, 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。
- なお、走向の不確かさについては、日本海溝が北緯約38°を境に地下構造が変化する(Tsuru et al.(2002))ことを踏まえ、北緯約38°を跨ぐ津波波源については科学的想像力を発揮して、女川原子力発電所に与える影響が大きくなるように南北2枚の断層として考慮した。
- 各パラメータの変動範囲については、土木学会(2002)を参考に設定※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, 100km, 120km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km移動 |
| 走向 | 基準, 基準±5° |

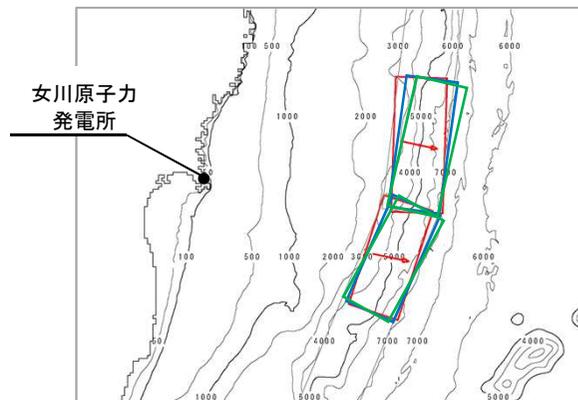
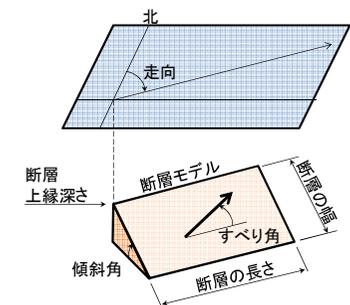
最大水位上昇量・
下降量決定ケース



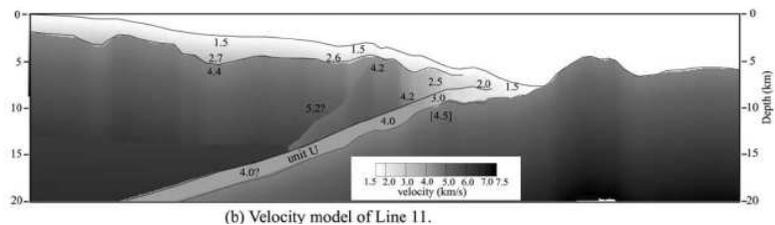
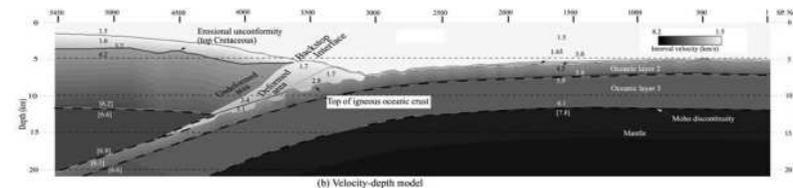
【詳細パラメータスタディ】

| 項目 | 変動範囲 |
|------|------------|
| 傾斜角 | 基準, 基準±5° |
| 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)



プレート間の堆積ユニットの模式図(上:北部, 下:南部)
(Tsuru et al.(2002))

1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位上昇側①)

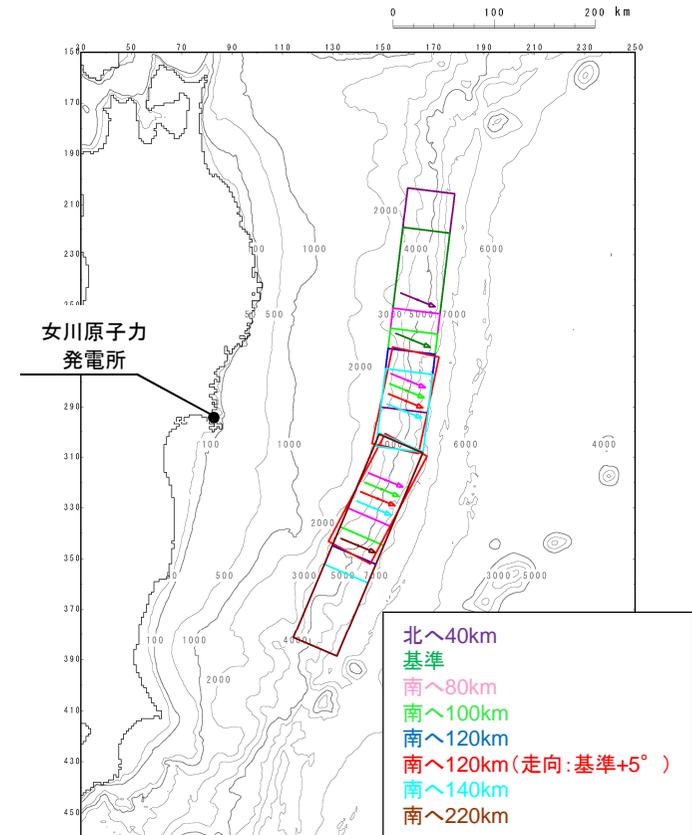
- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

【最大水位上昇量】

■概略パラメータスタディ結果※

(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 (北側) | 5.70 | 5.56 | 5.38 | 4.65 | 4.33 | |
| | 基準 | 5.89 (北側) | 5.17 | 5.06 | 4.88 | 4.04 | 3.74 | |
| | 基準+5° | 5.34 (北側) | 4.58 | 4.46 | 4.30 | 3.52 | 3.28 | |
| 基準 | 基準-5° | 11.10 (北側) | 8.97 | 8.73 | 8.53 | 7.95 | 7.62 | |
| | 基準 | 10.20 (北側) | 8.27 | 7.84 | 7.65 | 7.06 | 6.63 | |
| | 基準+5° | 8.99 (北側) | 7.48 | 7.12 | 6.93 | 6.14 | 5.88 | |
| 南へ80km 移動 | 基準-5° | 18.22 (北側) | 14.37 | 15.10 | 15.18 | 13.67 | 14.07 | |
| | 基準 | 18.09 (北側) | 14.15 | 14.65 | 14.91 | 13.39 | 13.78 | |
| | 基準+5° | 17.59 (北側) | 13.92 | 14.43 | 14.53 | 13.14 | 13.36 | |
| 南へ100km 移動 | 基準-5° | 19.45 (北側) | 14.80 | 15.79 | 15.84 | 13.99 | 14.67 | |
| | 基準 | 19.50 (北側) | 14.79 | 15.88 | 15.94 | 14.01 | 14.76 | 詳細パラメータスタディ① |
| | 基準+5° | 18.90 (北側) | 14.63 | 15.66 | 15.68 | 13.89 | 14.61 | |
| 南へ120km 移動 | 基準-5° | 18.91 (北側) | 14.45 | 15.08 | 15.37 | 13.72 | 14.14 | |
| | 基準 | 19.31 (北側) | 14.77 | 15.69 | 15.80 | 14.02 | 14.62 | |
| | 基準+5° | 19.26 (北側) | 14.96 | 16.17 | 16.06 | 14.10 | 14.89 | 詳細パラメータスタディ② |
| 南へ140km 移動 | 基準-5° | 17.67 (北側) | 13.83 | 14.10 | 14.32 | 12.84 | 13.06 | |
| | 基準 | 18.08 (北側) | 14.23 | 14.60 | 14.86 | 13.36 | 13.62 | |
| | 基準+5° | 18.22 (北側) | 14.41 | 15.09 | 15.25 | 13.66 | 14.15 | |
| 南へ220km 移動 | 基準-5° | 10.15 (北側) | 8.46 | 7.94 | 7.72 | 6.83 | 6.40 | |
| | 基準 | 11.41 (北側) | 9.63 | 9.17 | 8.88 | 8.18 | 7.67 | |
| | 基準+5° | 12.35 (北側) | 10.72 | 10.15 | 9.72 | 9.08 | 9.02 | |



不確かさの考慮ケース

※:概略パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p21~22)」に記載。

1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位上昇側②)

【最大水位上昇量】

■ 詳細パラメータスタディ結果※

■ 詳細パラメータスタディ①

(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° | 17.91(北側) | 13.03 | 14.01 | 14.06 | 12.90 | 13.00 | |
| | 基準 | 18.37(北側) | 13.15 | 14.29 | 14.23 | 13.19 | 13.27 | |
| | 基準+10° | 18.23(北側) | 13.02 | 14.14 | 14.13 | 13.11 | 13.18 | |
| 基準 | 基準-10° | 18.92(北側) | 14.63 | 15.32 | 15.57 | 13.79 | 14.39 | |
| | 基準 | 19.50(北側) | 14.79 | 15.88 | 15.94 | 14.01 | 14.76 | 敷地前面決定ケース |
| | 基準+10° | 19.37(北側) | 14.73 | 15.75 | 15.82 | 14.02 | 14.68 | |
| 基準+5° | 基準-10° | 18.69(北側) | 15.84 | 16.23 | 16.32 | 14.08 | 14.96 | |
| | 基準 | 18.93(北側) | 16.08 | 16.74 | 16.73 | 14.33 | 15.36 | |
| | 基準+10° | 19.03(北側) | 16.03 | 16.71 | 16.68 | 14.32 | 15.32 | |

【詳細パラメータスタディ】

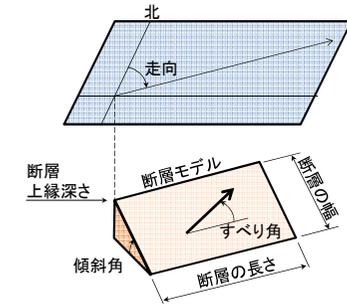
| 項目 | 変動範囲 |
|------|------------|
| 傾斜角 | 基準, 基準±5° |
| すべり角 | 基準, 基準±10° |

■ 詳細パラメータスタディ②

(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(北側) | 12.93 | 13.93 | 14.02 | 13.02 | 13.12 | |
| | 基準 | 18.20(南側) | 13.26 | 14.30 | 14.27 | 13.36 | 13.42 | |
| | 基準+10° | 18.22(南側) | 13.24 | 14.35 | 14.27 | 13.35 | 13.41 | |
| 基準 | 基準-10° | 18.86(北側) | 14.72 | 15.50 | 15.62 | 13.78 | 14.46 | |
| | 基準 | 19.26(北側) | 14.96 | 16.17 | 16.06 | 14.10 | 14.89 | |
| | 基準+10° | 19.44(北側) | 14.88 | 16.05 | 16.07 | 14.11 | 14.91 | |
| 基準+5° | 基準-10° | 18.57(北側) | 15.82 | 16.21 | 16.39 | 14.16 | 15.08 | |
| | 基準 | 18.83(北側) | 16.11 | 16.74 | 16.77 | 14.43 | 15.44 | 3号取水口前面, 2・3号放水口前面決定 ケース |
| | 基準+10° | 18.80(北側) | 16.14 | 16.81 | 16.73 | 14.44 | 15.43 | 1,2号取水口前面, 1号放水口前面決定 ケース |

(参考)断層パラメータ



※: 詳細パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p23)」に再掲。

1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位下降側①)

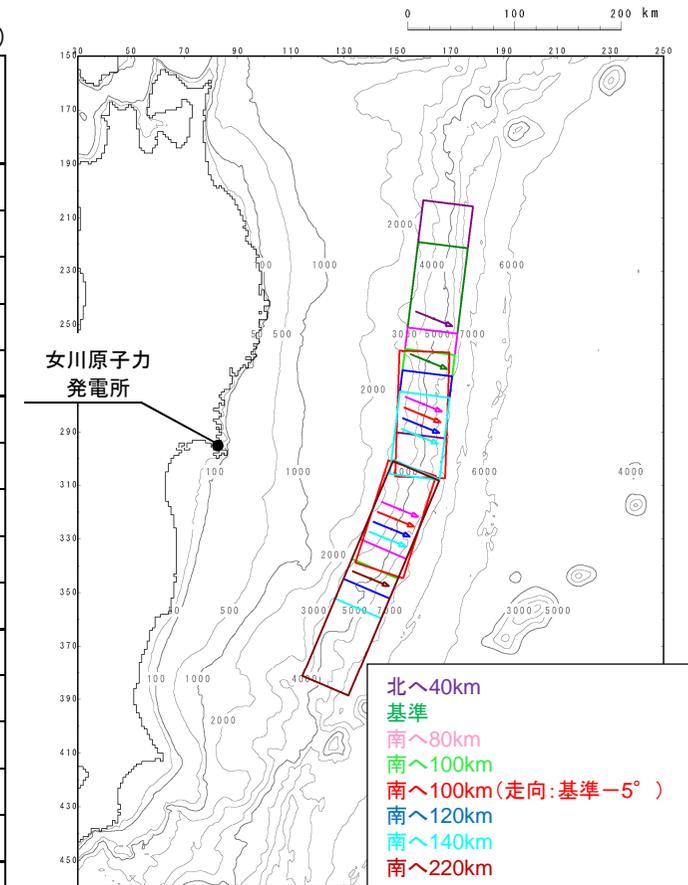
- 各評価位置における最大水位下降量を以下に示す。

【最大水位下降量】

■概略パラメータスタディ結果※

(単位:m)

| パラメータの変動範囲 | | 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 | 備考 |
|---------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 位置 | 走向 | | | | |
| 北へ40km 移動 | 基準-5° | -3.51 | -3.42 | -3.42 | |
| | 基準 | -3.52 | -3.50 | -3.49 | |
| | 基準+5° | -3.56 | -3.56 | -3.55 | |
| 基準 | 基準-5° | -5.53 | -5.28 | -5.35 | |
| | 基準 | -5.02 | -4.93 | -4.97 | |
| | 基準+5° | -4.82 | -4.62 | -4.62 | |
| 南へ80km 移動 | 基準-5° | -7.77 | -7.76 | -7.74 | |
| | 基準 | -7.55 | -7.48 | -7.41 | |
| | 基準+5° | -7.14 | -7.12 | -7.06 | |
| 南へ100km 移動 | 基準-5° | -8.01 | -8.27 | -8.28 | 詳細パラメータスタディ |
| | 基準 | -7.92 | -8.15 | -8.17 | |
| | 基準+5° | -7.84 | -8.00 | -8.04 | |
| 南へ120km 移動 | 基準-5° | -7.67 | -7.60 | -7.66 | |
| | 基準 | -7.83 | -7.86 | -7.89 | |
| | 基準+5° | -7.96 | -8.17 | -8.16 | |
| 南へ220km 移動 | 基準-5° | -5.54 | -5.45 | -5.37 | |
| | 基準 | -6.36 | -6.07 | -5.98 | |
| | 基準+5° | -6.57 | -6.39 | -6.42 | |



不確かさの考慮ケース

※: 概略パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p24~25)」に記載。

1. 津波地震

1.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位下降側②)

【最大水位下降量】

■ 詳細パラメータスタディ結果※

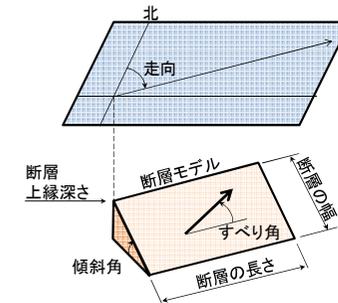
(単位:m)

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

【詳細パラメータスタディ】

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

(参考)断層パラメータ



※: 詳細パラメータスタディの全の計算ケース結果は、「資料2-2 : 5. 「津波地震」, 「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p26)」に再掲。

1. 津波地震

1.6 津波水位評価のまとめ(最大水位上昇量・最大水位下降量)

【水位上昇側※】

| 地震種別 | 波源モデル | 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 |
| プレート間地震 | 津波地震 | 19.50 (北側) | 16.14 | 16.81 | 16.77 | 14.44 | 15.44 |

■敷地前面決定ケース

・波源位置:南へ100km, 走向:基準, 傾斜角:基準, すべり角:基準

■2号取水口前面決定ケース

・波源位置:南へ120km, 走向:基準+5°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°

【水位下降側※】

| 地震種別 | 波源モデル | 最大水位下降量(m) | | |
|---------|-------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 |
| プレート間地震 | 津波地震 | 8.42 | 8.48 | 8.49 |

■2号取水口前面決定ケース

・波源位置:南へ100km, 走向:基準-5°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°

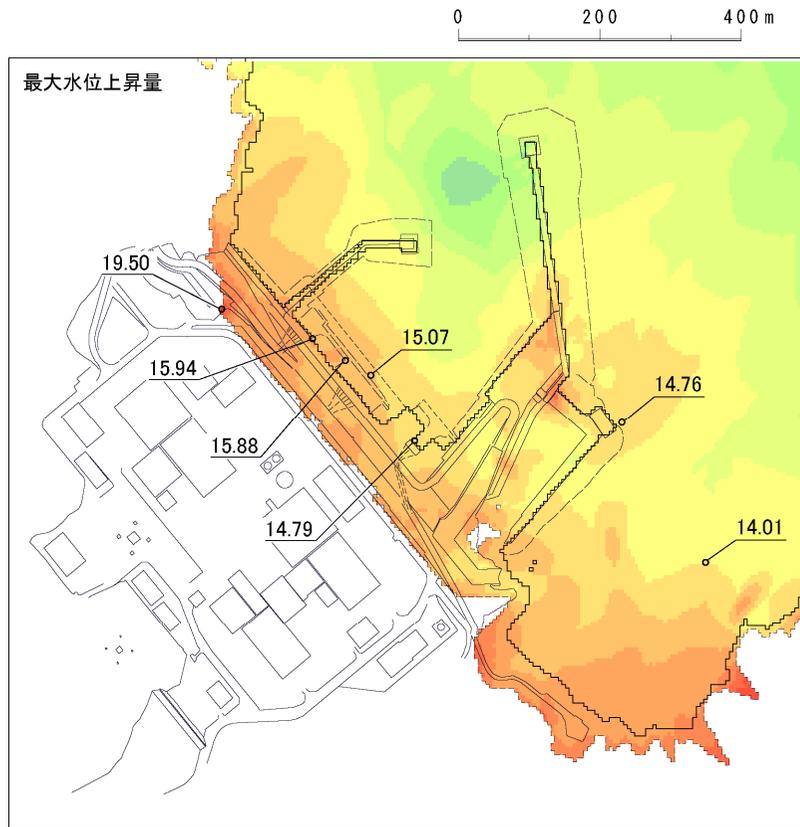
※:津波水位の評価位置の詳細は、「資料2-2:4. 津波解析条件(p17~19)」に記載。

1. 津波地震

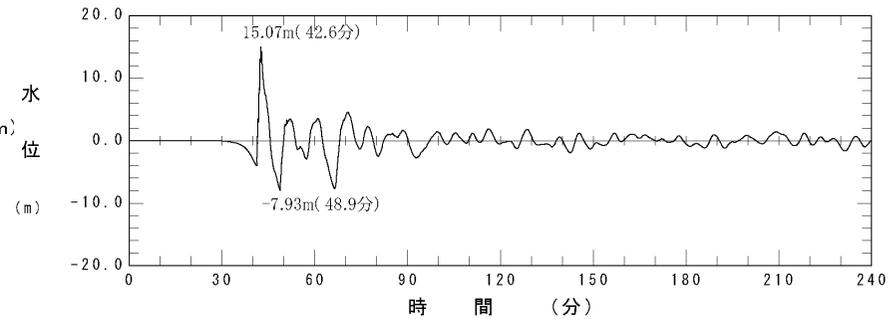
1.6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位上昇側:敷地前面)

■水位分布及び水位時刻歴波形※

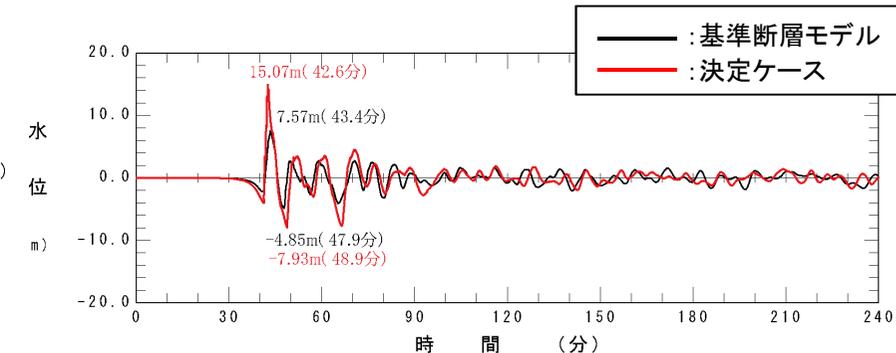
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|------|------------------------------------|
| 水位上昇側 | 敷地前面 | 位置:南へ100km, 走向:基準, 傾斜角:基準, すべり角:基準 |



最大水位上昇量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

(参考)2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

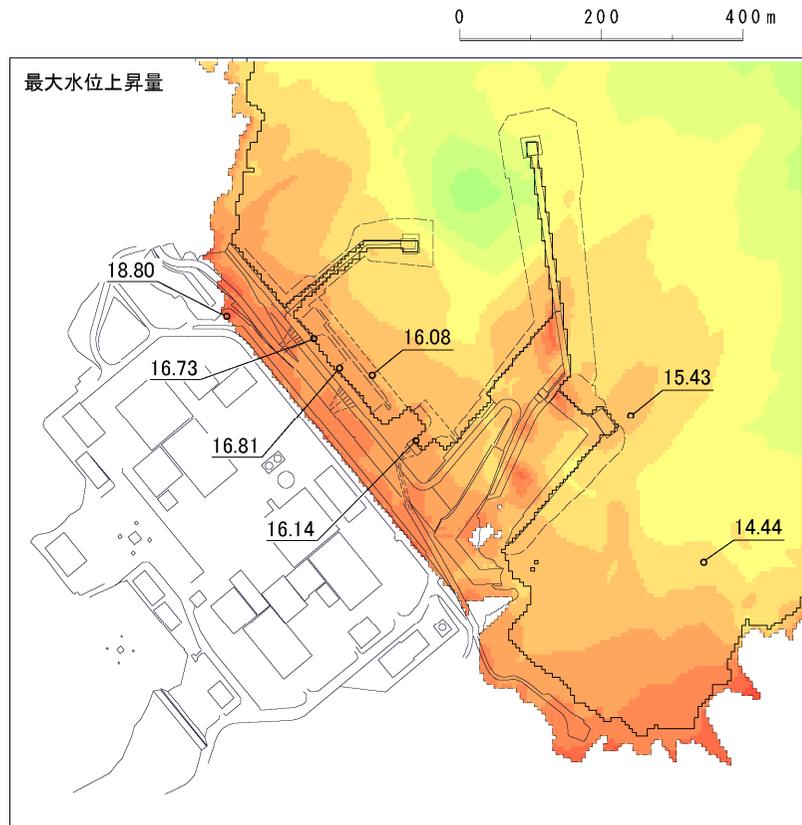
※:水位時刻歴波形は, 各取水口・放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は,「資料2-2 :6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

1. 津波地震

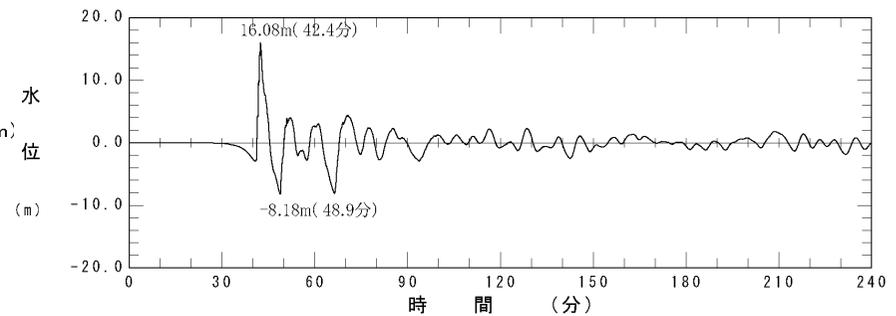
1.6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位上昇側:2号取水口前面)

■ 水位分布及び水位時刻歴波形※

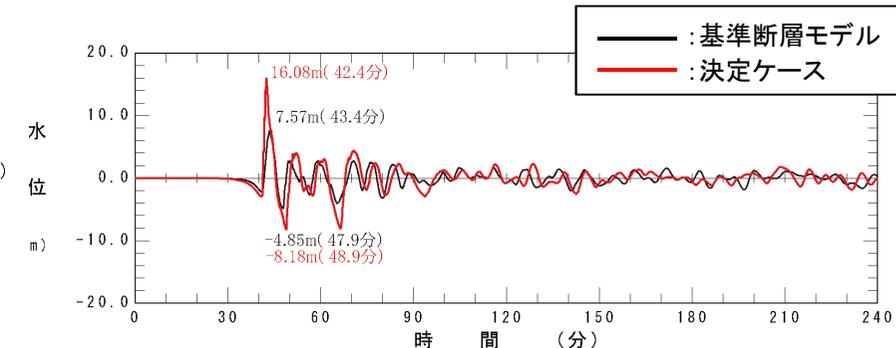
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|---------|--|
| 水位上昇側 | 2号取水口前面 | 位置:南へ120km, 走向:基準+5°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10° |



最大水位上昇量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

(参考)2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

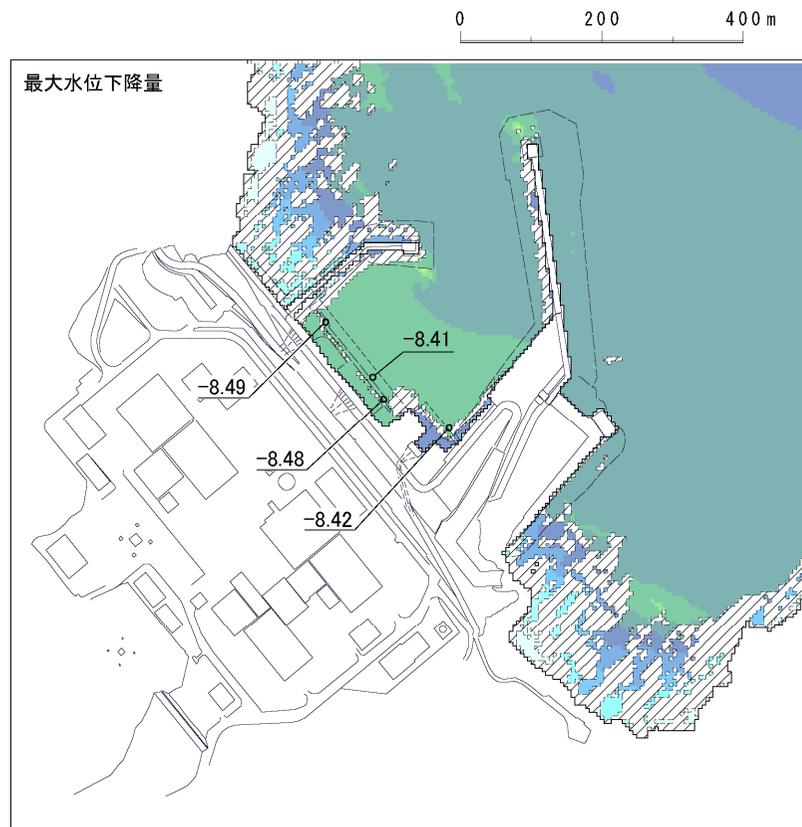
※:水位時刻歴波形は, 各取水口・放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は,「資料2-2 :6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

1. 津波地震

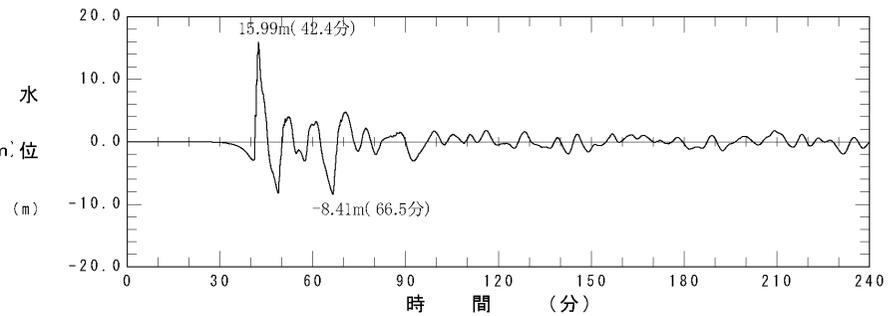
1.6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位下降側: 2号取水口前面)

■ 水位分布及び水位時刻歴波形※

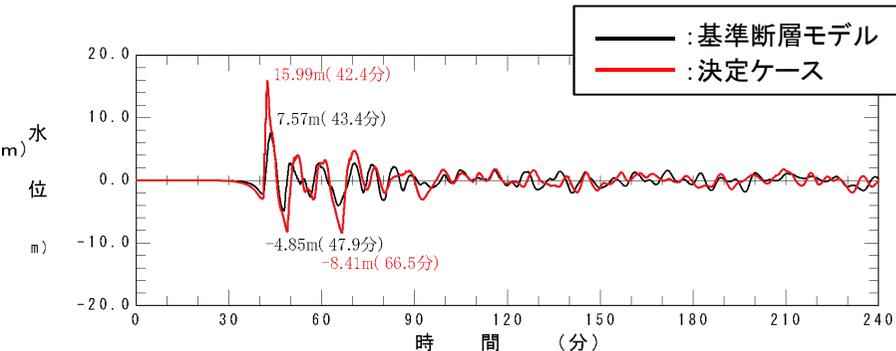
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|---------|--|
| 水位下降側 | 2号取水口前面 | 位置: 南へ100km, 走向: 基準 -5° , 傾斜角: 基準 $+5^{\circ}$, すべり角: 基準 $+10^{\circ}$ |



最大水位下降量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

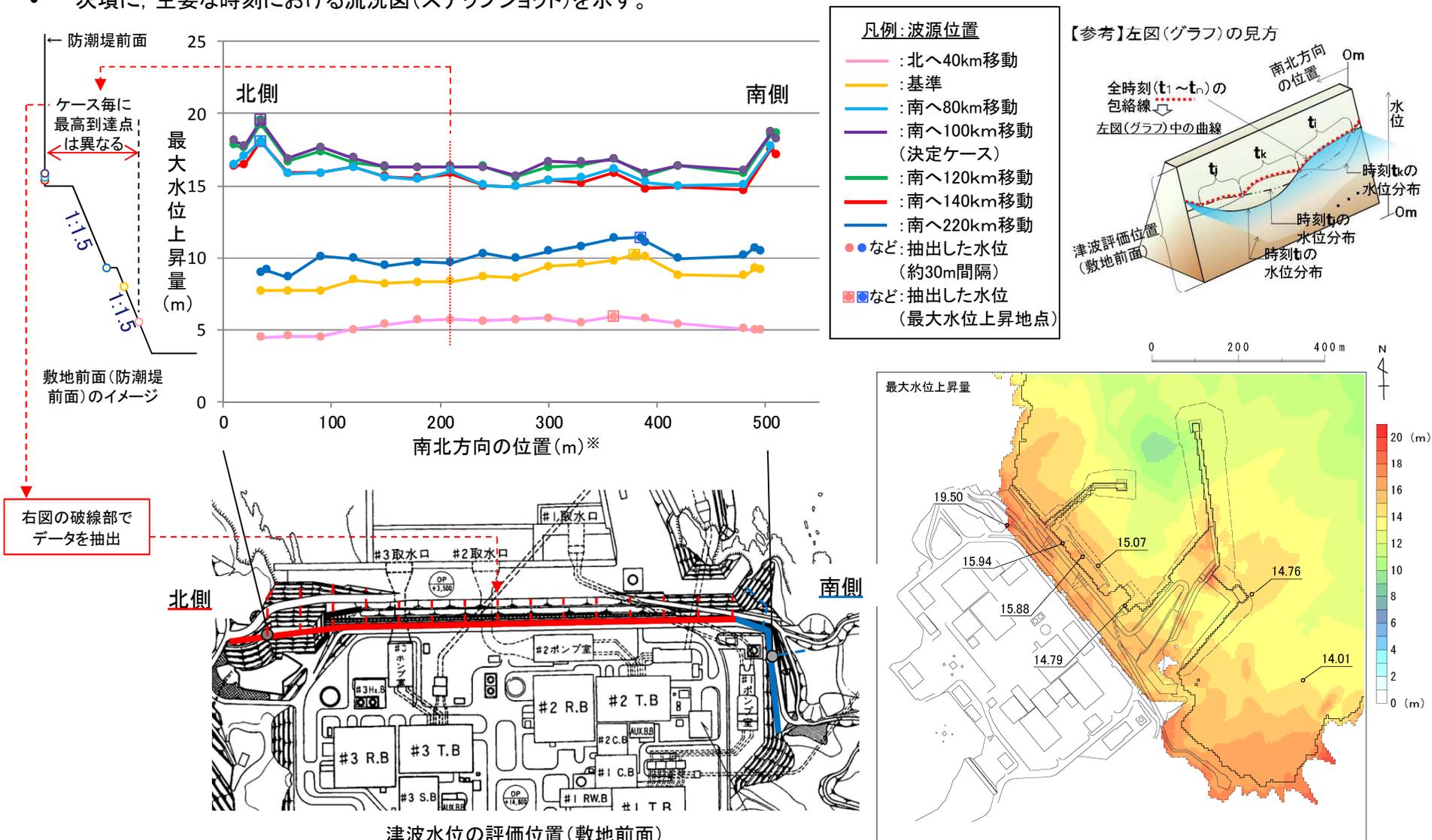
(参考) 2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

※: 水位時刻歴波形は, 各取水口・放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, 「資料2-2 : 6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

1. 津波地震

1.6 津波水位評価のまとめ(敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量)

- 概略・詳細パラメータスタディを実施した結果、最大水位上昇地点は、大半のケースが敷地前面の北側であった。以下に、波源位置を変化させた代表ケース、並びに決定ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量を示す。
- 次項に、主要な時刻における流況図(スナップショット)を示す。



※: 敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量を約30m間隔で抽出し、線形補間した。
なお、各ケースの最大水位上昇地点も抽出した。

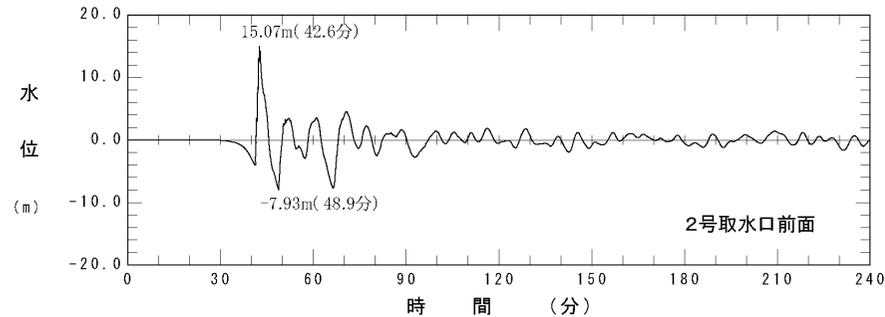
最大水位上昇量分布(決定ケース)(p.29再掲)

1. 津波地震

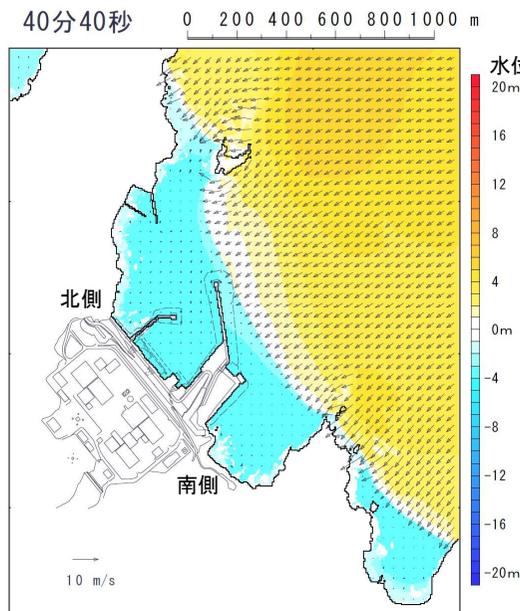
1.6 津波水位評価のまとめ(流況図(スナップショット))

- 敷地前面における最大水位上昇決定ケース(波源位置:南へ100km, 走向:基準, 傾斜角:基準, すべり角:基準)の2号取水口前面における水位時刻歴波形及び発電所周辺における流況図(地震発生後40分40秒~42分40秒(1分刻み)のスナップショット)*を以下に示す。
- 津波は, 防波堤の影響により北側と南側に分かれて遡上する。その後, 北側の津波が発電所港湾内で渦状となり, この流れによって北側の水位が局所的に大きくなる。

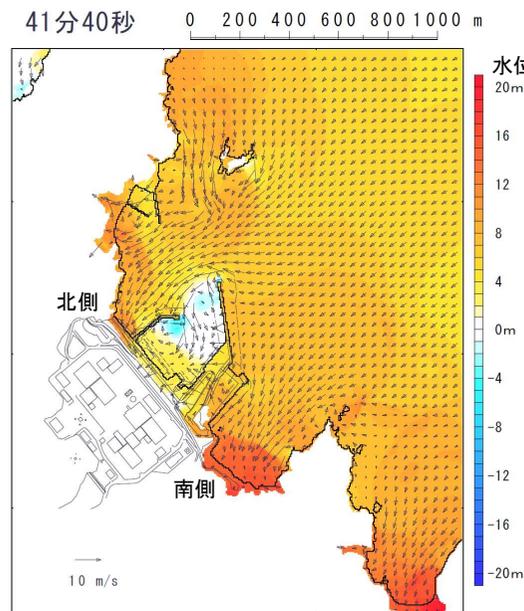
※:10秒刻みの流況図を,「資料2-2:7.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の流況図(p39~45)」に記載。。」



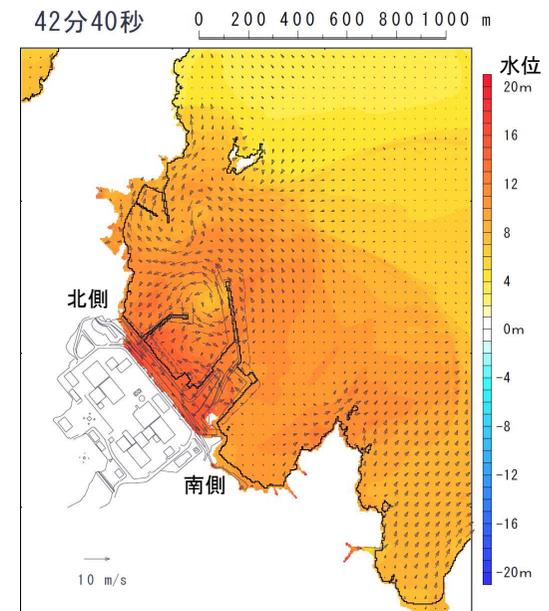
2号取水口前面における水位時刻歴波形(p.29再掲)



地震発生後:40分40秒



地震発生後:41分40秒



地震発生後:42分40秒

I. 地震に起因する津波の評価

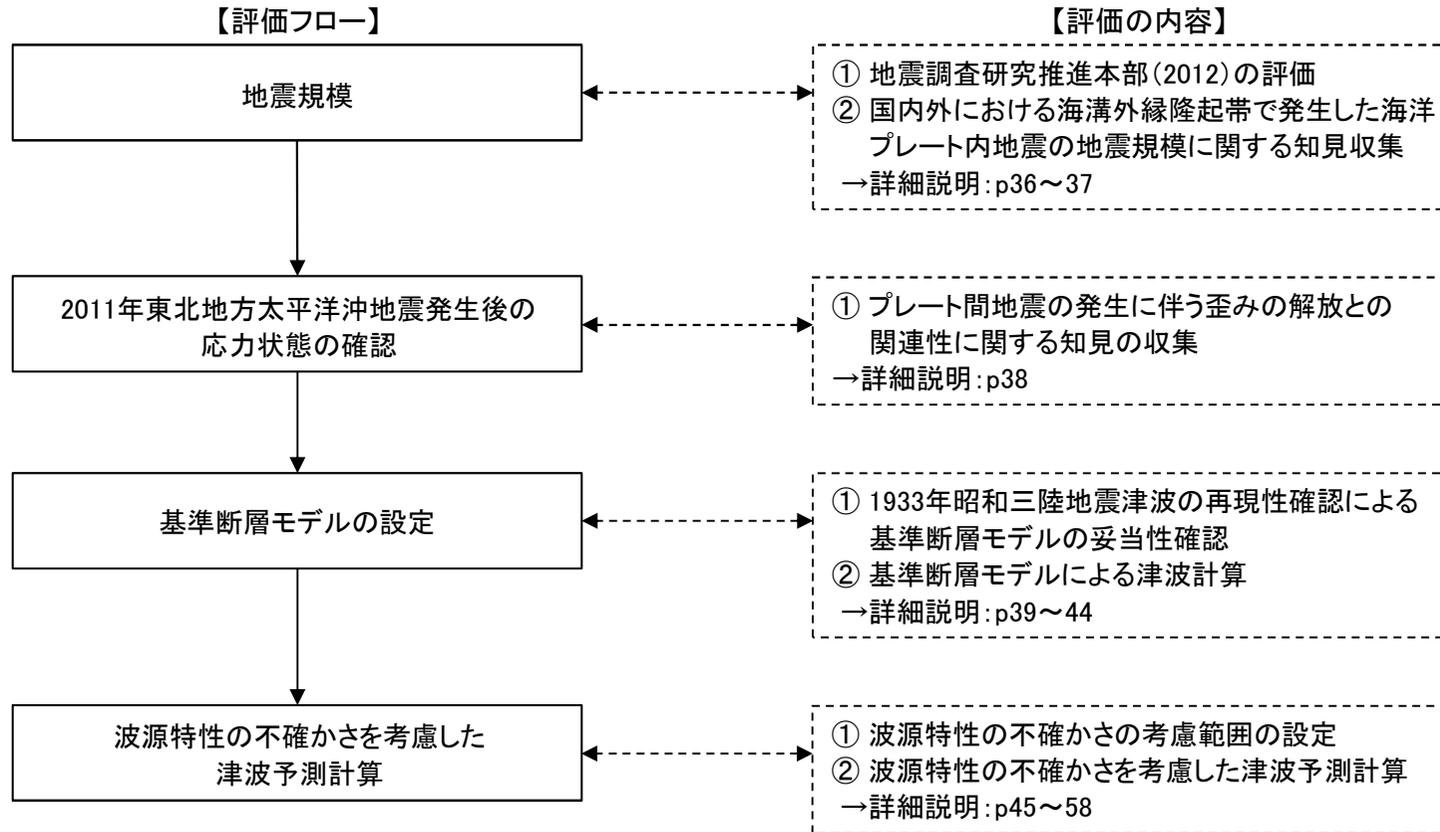
2. 海洋プレート内地震

- 2. 1 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価フロー
- 2. 2 「海洋プレート内地震」の地震規模
- 2. 3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認
- 2. 4 基準断層モデルの設定
- 2. 5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算
- 2. 6 津波水位評価のまとめ

2. 海洋プレート内地震

2.1 「海洋プレート内地震」に起因する津波の評価フロー

- 以下のフローに基づき評価を実施した。



2. 海洋プレート内地震

2.2 「海洋プレート内地震」の地震規模①

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波の規模※とし、その信頼度を「B」と評価している。
 ※: 地震調査研究推進本部(2012)では、1933年昭和三陸地震津波の地震規模について以下のとおり評価している。
 →プレート内の正断層型の地震については、過去400年間に1933年の昭和三陸地震の1例しかないことを踏まえ、次の地震の規模は、過去に発生した地震を参考にして、M8.2前後、Mt8.3前後と推定した。

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

| 項目 | 将来の地震発生確率等 ^{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、ポアソン過程により三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこかで発生する確率を算出した。また、1933年の地震の断層長が三陸沖北部から房総沖の海溝寄り全体の0.25倍程度を占めることから、特定の海域では同様の地震が1600～3000年に1回発生するものとして、ポアソン過程から発生確率を算出した。 #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。

2. 海洋プレート内地震

2.2 「海洋プレート内地震」の地震規模②

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

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

| Id. | Date dd/mm/yyyy | Place | M_w | Length km | Width km | Bottom km | Dip ° | Slip m | Rigidity 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) |

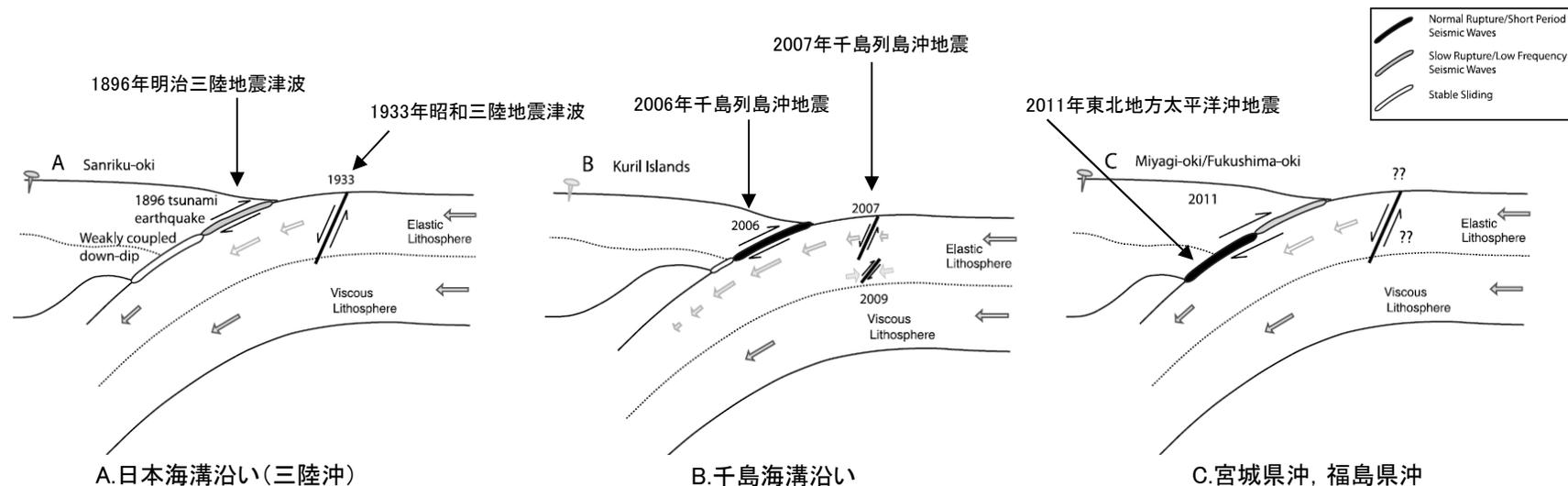


地震調査研究推進本部(2012)において次の地震の規模を1933年昭和三陸地震津波と評価していること、並びに同地震は国内外で最大規模の地震であることを踏まえ、基準断層モデルは、1933年昭和三陸地震津波を基本とする。

2. 海洋プレート内地震

2.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態の確認

- 日本海溝沿い及び千島海溝沿いでは、プレート間地震の発生後(歪み解放後)に、海溝外縁隆起帯(outer rise)で正断層型の海洋プレート内地震が発生している。
- これは、海溝外縁隆起帯(outer rise)で発生する正断層型の海洋プレート内地震は、隣接するプレート境界面の歪みの解放と密接に関係があることを示唆している。
- 2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い宮城県沖の固着域にこれまで蓄積された歪みがほぼ解放したことを踏まえると、今後、正断層型の海洋プレート内地震の発生可能性が懸念される(Lay et al.(2011))。



沈み込み帯の模式図(Lay et al.(2011))に一部加筆)



2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、これまで蓄積された大きな歪みが解放されたことを踏まえると、基準断層モデルの設定に当たっては、安全側の考慮が必要と考えられる。

2.4 基準断層モデルの設定

- 地震調査研究推進本部(2012)では、1611年の津波を津波地震と評価しているものの、土木学会(2002)では、1611年の津波が海洋プレート内地震であった場合、その地震規模をMw8.6と評価している。
- また、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」と評価していること、並びに2011年東北地方太平洋沖地震後の応力状態から今後、正断層型の海洋プレート内地震の発生可能性が懸念されることを踏まえ、基準断層モデルの規模はMw8.6にスケーリングして設定した。

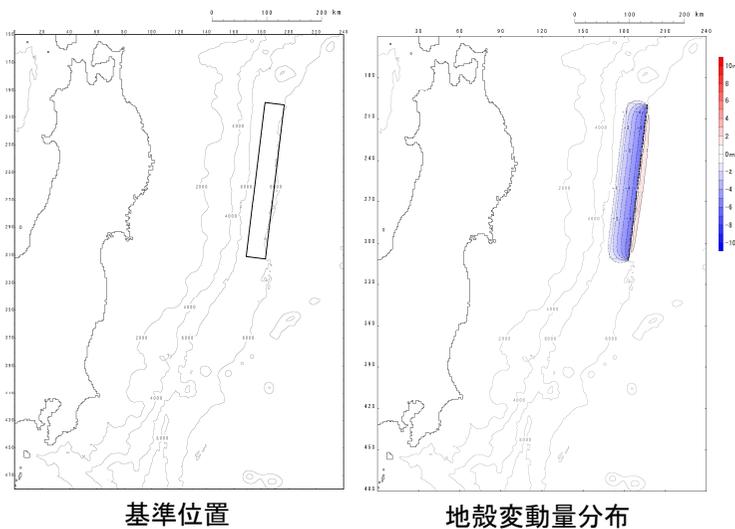
再現モデル

- 地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震規模を1933年昭和三陸地震津波と評価している。
- 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。
- 以上を踏まえ、海洋プレート内地震の基準断層モデルの設定にあたっては1933年昭和三陸地震津波を基本とする。

| | |
|---------------|------|
| 基本とする既往津波 | Mw |
| 1933年昭和三陸地震津波 | 8.35 |

基準断層モデル

- 再現モデルを上回る規模の地震を設定。



諸元

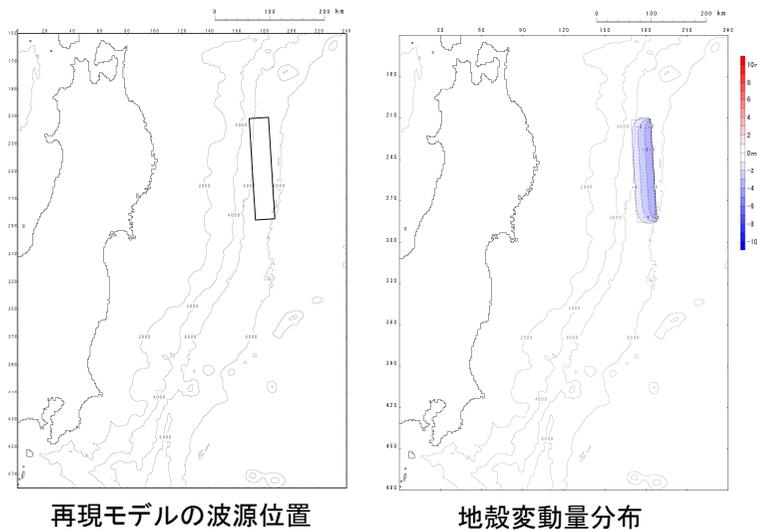
| 断層パラメータ | | 設定方法 | 設定値 |
|---------------|---------------------------|---|-----------------------|
| モーメントマグニチュード* | Mw | 土木学会(2002) | 8.6 |
| 長さ | L(km) | 既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケーリング則(幅に限界あり)を適用して設定。 | 283 |
| 幅 | W(km) | | 50 |
| すべり量 | D(m) | | 10.1 |
| 剛性率 | μ (N/m ²) | 既往津波再現モデルに基づき設定。 | 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 (°) | | 270 |
| ライズタイム | τ (s) | | 60 |

2. 海洋プレート内地震

2.4 基準断層モデルの設定:再現性の確認①

【1933年昭和三陸地震津波再現モデル及び諸元】

- 1933年昭和三陸地震津波の再現モデルは、土木学会(2002)を参考として、一様すべりの矩形断層モデルを設定した。



再現モデルの波源位置

地殻変動量分布

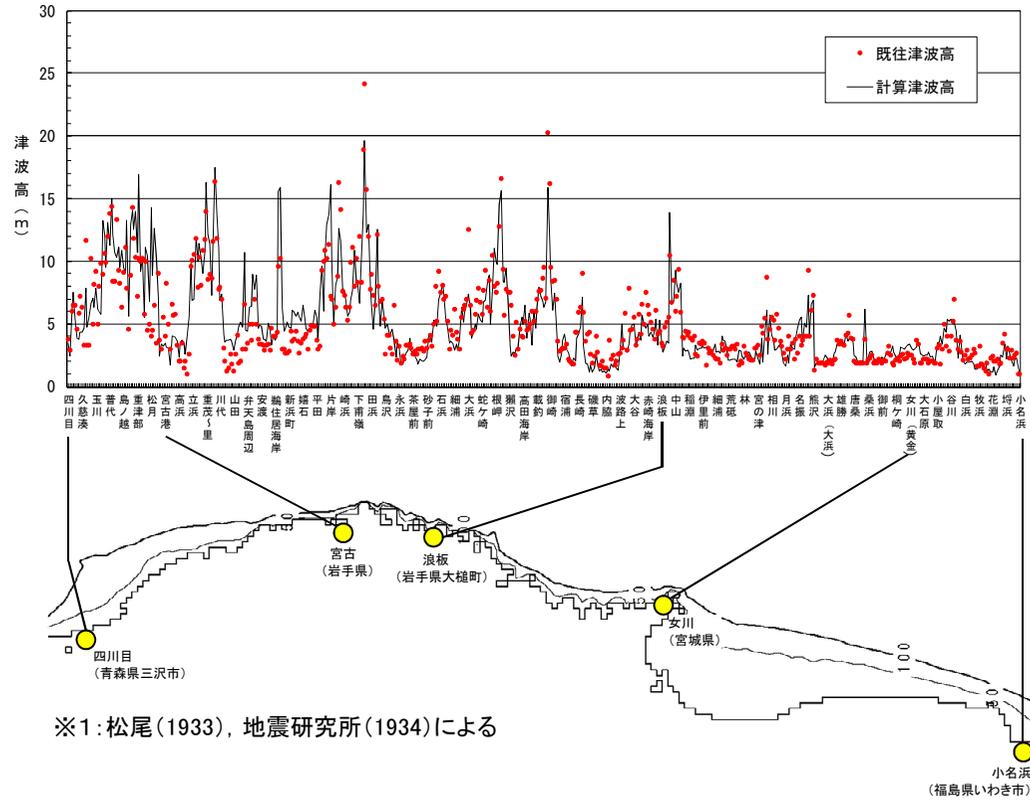
諸元

| 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 | $(\log M_0 - 9.1) / 1.5$ | 8.35 |
| 長さ | L(km) | 土木学会(2002) | 185 |
| 幅 | W(km) | 土木学会(2002) | 50 |
| 剛性率 | μ (N/m ²) | 土木学会(2002) → 詳細説明p43 | 7.0×10^{10} |
| すべり量 | D(m) | 土木学会(2002) | 6.6 |
| 地震モーメント | M ₀ (Nm) | 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 |
| 傾斜角 | δ (°) | 土木学会(2002) | 45 |
| すべり角 | λ (°) | 土木学会(2002) | 270 |
| ライズタイム | τ (s) | 相田(1986) → 詳細は津波地震と同様 (詳細は, p19に記載。) | 60 |

2. 海洋プレート内地震

2.4 基準断層モデルの設定:再現性の確認②

【再現性の確認結果】



| 比較地域 | K | K | 地点数n |
|--------|------|------|------|
| 三沢～いわき | 1.00 | 1.43 | 553 |

既往津波高と数値シミュレーションによる津波高さの比較



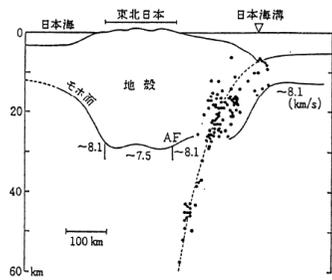
土木学会(2002)の再現性の目安を満足していることを確認した*。

※:再現性の確認に用いた計算条件等の詳細は、「資料2-2:2. 既往津波の再現解析条件(p5~7)」に記載。

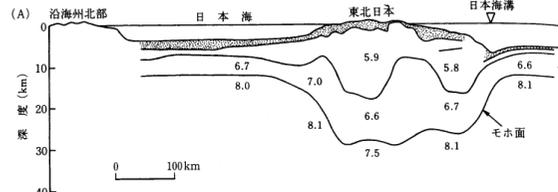
2. 海洋プレート内地震

2.4 基準断層モデルの設定: 剛性率の設定

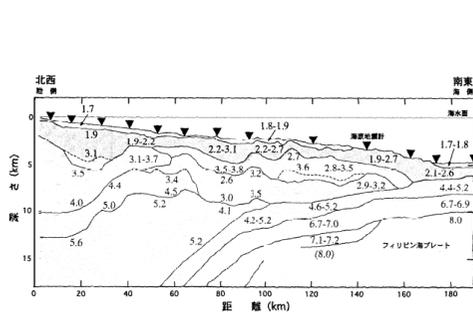
- 土木学会(2002)では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、以下のように標準値を設定している。



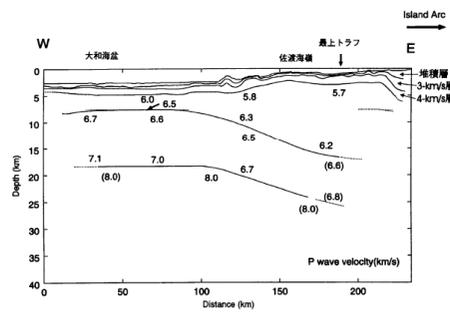
(a)東北日本周辺(吉井(1978))



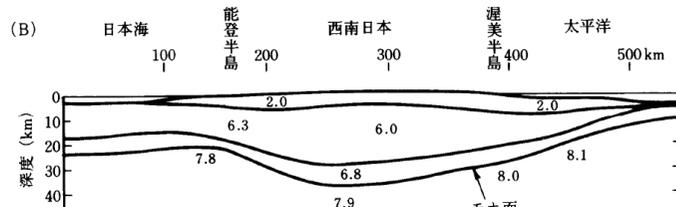
(b)東北日本周辺(周藤・牛来(1997)※)



(c)日向灘沖(宮町・後藤(1999))



(d)秋田沖日本海東縁部(西坂ら(1999))



(e)西南日本周辺(周藤・牛来(1997)※)

P波速度構造に関する既往研究例(土木学会(2002)に一部加筆)

※:周藤・牛来(1997)が参照した文献の詳細は、「資料2-2:3. P波速度構造に関する既往研究例(p9)」に記載。

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) マントルの値は火山フロントの東西 |
| 近畿北部 | 1.70 | | | 黒磯・渡辺(1977) |
| 函館群発 | (1.66) | | | 高波ら(1980) 表層の値 |
| 中部東海 | 1.68±0.02 | 1.75~1.81 | 1.77 | Ukawa and Fukao(1981) 真のVp, Vsから求めた値 |
| 四国 | (1.58-1.65) 1.73 | 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 | | | |
| 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) *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の標準値(土木学会(2002))

| 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 km/s Vp/Vs=1.6~1.7 ρ=2.7~2.8 g/cm ³ とすれば, μ=3.36×10 ¹⁰ ~3.94×10 ¹⁰ N/m ² となる。この中間的値とする。 | 3.5×10 ¹⁰ N/m ² (3.5×10 ¹¹ 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=8.0~8.1 km/s Vp/Vs=1.75~1.80 ρ=3.2~3.5 g/cm ³ とすれば, μ=6.31×10 ¹⁰ ~7.50×10 ¹⁰ N/m ² となる。この中間的値とする。 | 7.0×10 ¹⁰ N/m ² (7.0×10 ¹¹ 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。 | 5.0×10 ¹⁰ N/m ² (5.0×10 ¹¹ dyne/cm ²) |



上記知見を踏まえ、 $7.0 \times 10^{10} (N/m^2)$ を採用した。

2. 海洋プレート内地震

2.4 基準断層モデルの設定: 基準断層モデルによる計算結果

- 基準断層モデルによる計算結果※を以下に示す。

| 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 |
| 10.75 (南側) | 6.17 | 6.08 | 5.55 | 6.09 | 6.49 |

| 最大水位下降量(m) | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 |
| 8.02 | 8.00 | 7.96 |

※: 津波解析条件, 津波水位の評価位置の詳細は, 「資料2-2:4. 津波解析条件(p11~19)」に記載。

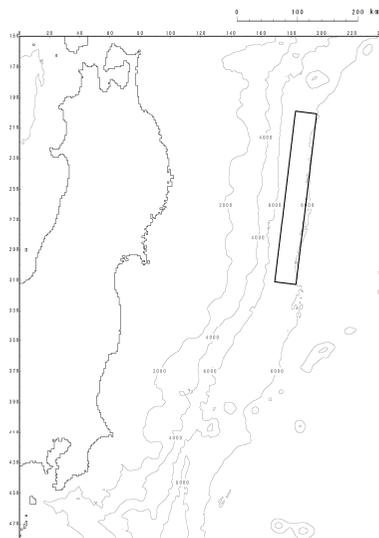
2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算

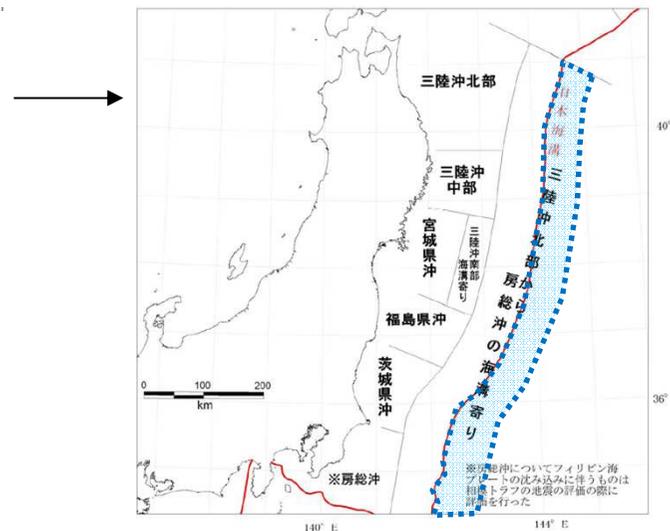
■波源特性の不確かさの考え方

- 土木学会(2002)を参考として、断層モデルの諸条件のうち正断層型の海洋プレート内地震の特性上不確実性が存在する断層パラメータの不確かさを考慮する。
- なお、女川原子力発電所の津波高さに与える影響が大きい断層パラメータ等については、安全側の設定となるように不確かさを考慮する。

■波源位置の不確かさを考慮する領域 (=地震発生領域) →詳細説明:p46



基準断層モデル



■各断層パラメータの不確かさ考慮 →詳細説明:p47

【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, 100km, 120km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km, 240km, 260km, 280km, 300km移動 |
| 走向 | 基準, 基準±10° |

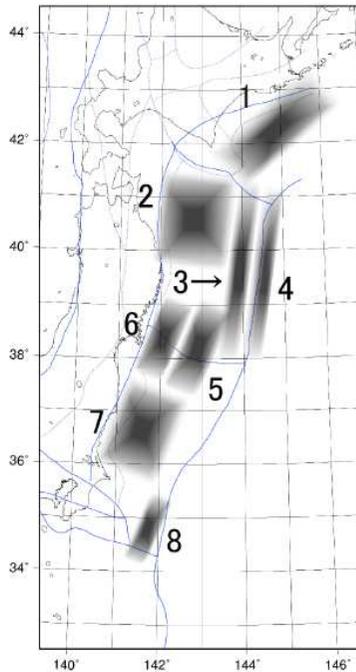
【詳細パラメータスタディ】

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

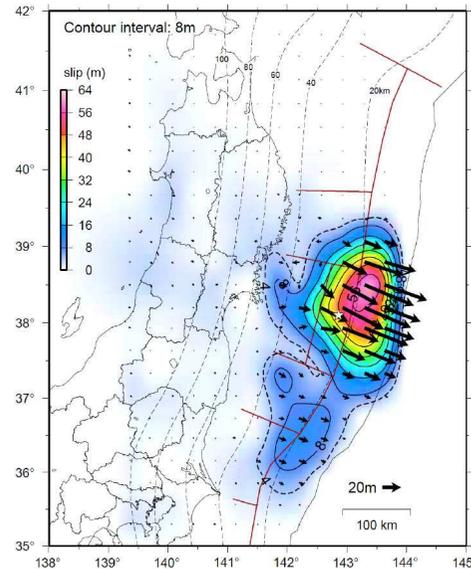
2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 波源位置の不確かさを考慮する領域

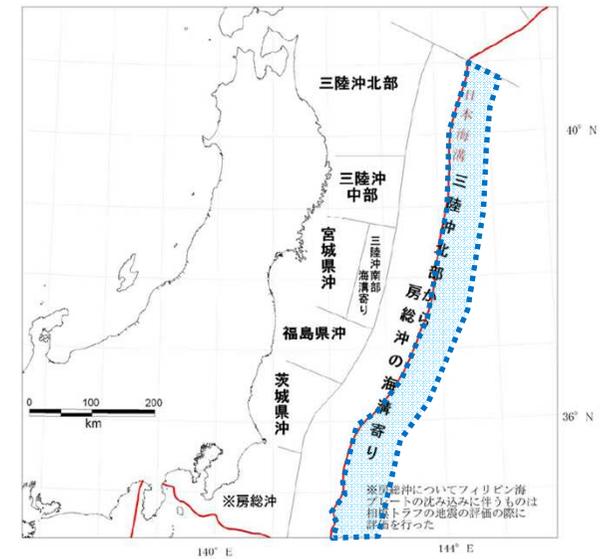
- 土木学会(2002)では、地震地体構造の知見、既往地震の発生履歴に基づき正断層型の海洋プレート内地震の発生領域を北緯約38°以北(領域4)に設定しているが、2011年東北地方太平洋沖地震では連動型地震であったものの、福島県沖でもすべりが生じたことや地震調査研究推進本部(2012)による正断層型の海洋プレート内地震の発生領域に関する評価を踏まえ、波源位置の不確かさを考慮する領域は、地震調査研究推進本部(2012)で示される三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどこでも発生するものとして設定した。



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))

2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 波源位置, 走向, 傾斜角, すべり角の不確かさ

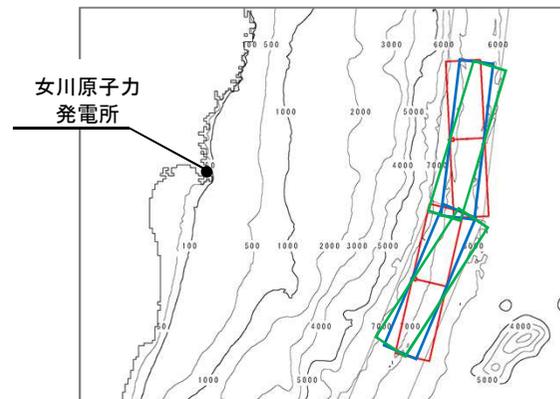
- 土木学会(2002)を参考として, 位置及び走向を変動させた概略パラメータスタディを実施し, 各評価位置で水位上昇量及び水位下降量が最大となるケースについて, 傾斜角及び断層上縁深さを変動させた詳細パラメータスタディを実施した。
- なお, 走向の不確かさについては, 日本海溝は北緯約 38° を境に地下構造が変化する(Tsuru et al.(2002))ことを踏まえ, 北緯約 38° を跨ぐ津波波源については科学的想像力を発揮して, 女川原子力発電所に与える影響が大きくなるように南北2枚の断層として考慮した。
- 各パラメータの変動範囲については, 土木学会(2002)等を参考に設定^{※1, 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CMTによる発震機構解(1976.1~2000.1に発生したMw6.0以上, 深さ60km以下の地震)及び既往の断層モデルのばらつきから変動範囲を設定。

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

【概略パラメータスタディ】

| 項目 | 変動範囲 |
|----|---|
| 位置 | 基準, 北へ20km, 40km, 南へ20km, 40km, 60km, 80km, 100km, 120km, 140km, 160km, 180km, 200km, 220km, 240km, 260km, 280km, 300km移動 |
| 走向 | 基準, 基準 $\pm 10^{\circ}$ |



走向の不確かさの考慮方法(概念)

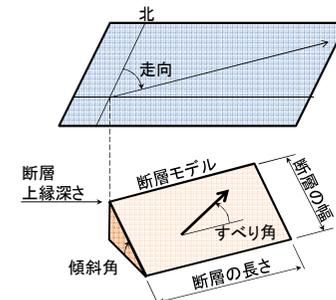
最大水位上昇量・
下降量決定ケース



【詳細パラメータスタディ】

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

(参考)断層パラメータ



2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位上昇側①)

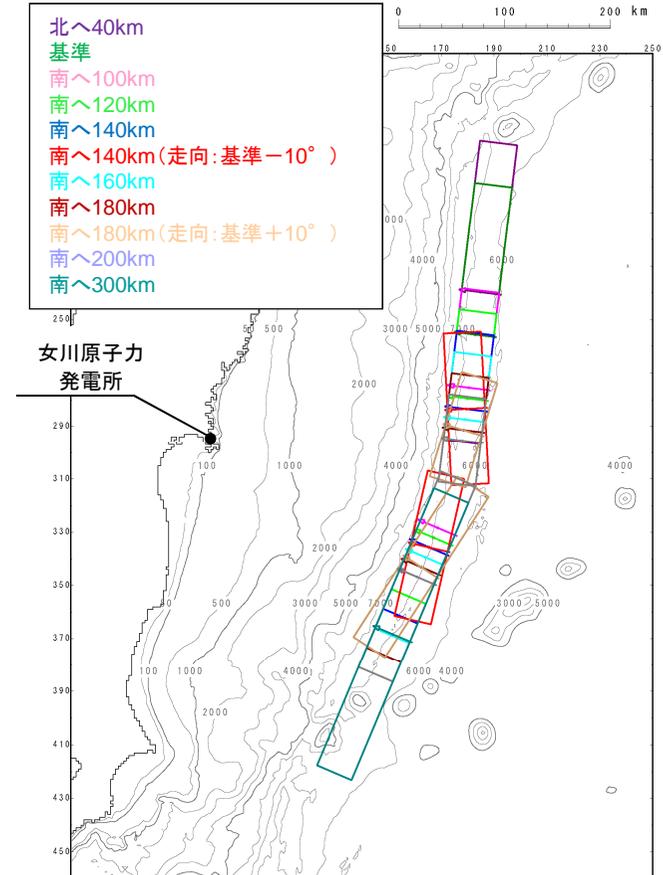
- 各評価位置における最大水位上昇量を以下に示す。

【最大水位上昇量】

■概略パラメータスタディ結果※

(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(南側) | 6.31 | 5.90 | 5.43 | 6.57 | 5.94 | |
| | 基準 | 6.46(南側) | 5.65 | 5.59 | 5.46 | 4.89 | 4.30 | |
| | 基準+10° | 5.88(北側) | 4.86 | 4.64 | 4.62 | 3.61 | 3.49 | |
| 基準 | 基準-10° | 12.04(南側) | 6.78 | 6.93 | 7.08 | 7.12 | 7.36 | |
| | 基準 | 10.75(南側) | 6.17 | 6.08 | 5.55 | 6.09 | 6.49 | |
| | 基準+10° | 8.72(南側) | 5.48 | 5.52 | 5.42 | 5.80 | 5.11 | |
| 南へ120km 移動 | 基準-10° | 20.76(南側) | 11.18 | 13.89 | 13.24 | 12.45 | 11.22 | |
| | 基準 | 19.06(南側) | 10.07 | 13.69 | 11.11 | 11.56 | 10.05 | |
| | 基準+10° | 16.59(南側) | 8.46 | 11.35 | 9.42 | 9.62 | 9.96 | |
| 南へ140km 移動 | 基準-10° | 21.28(南側) | 11.42 | 14.06 | 13.82 | 12.80 | 11.43 | 詳細パラメータスタディ① |
| | 基準 | 19.65(南側) | 10.93 | 14.65 | 12.35 | 13.36 | 11.77 | 詳細パラメータスタディ② |
| | 基準+10° | 18.73(南側) | 10.39 | 14.22 | 11.66 | 11.40 | 11.10 | |
| 南へ160km 移動 | 基準-10° | 17.70(南側) | 9.77 | 11.96 | 10.40 | 10.52 | 10.03 | |
| | 基準 | 19.51(南側) | 11.15 | 14.74 | 12.31 | 12.74 | 11.19 | |
| | 基準+10° | 19.66(南側) | 11.01 | 14.37 | 12.63 | 12.52 | 11.61 | |
| 南へ180km 移動 | 基準-10° | 15.59(南側) | 8.69 | 12.50 | 10.01 | 9.25 | 9.49 | |
| | 基準 | 18.28(南側) | 8.87 | 11.60 | 10.39 | 11.38 | 8.85 | |
| | 基準+10° | 18.64(南側) | 10.55 | 14.89 | 11.94 | 11.32 | 10.73 | 詳細パラメータスタディ③ |
| 南へ200km 移動 | 基準-10° | 15.45(南側) | 7.95 | 10.66 | 8.93 | 9.03 | 9.52 | |
| | 基準 | 17.39(南側) | 8.00 | 8.01 | 8.70 | 9.74 | 8.61 | |
| | 基準+10° | 17.31(南側) | 9.08 | 12.83 | 10.42 | 10.29 | 9.71 | |
| 南へ300km 移動 | 基準-10° | 8.99(南側) | 6.71 | 6.48 | 6.17 | 6.81 | 5.46 | |
| | 基準 | 13.33(南側) | 7.45 | 8.64 | 7.11 | 8.86 | 7.03 | |
| | 基準+10° | 14.96(南側) | 7.35 | 7.69 | 6.98 | 8.73 | 8.33 | |



不確かさの考慮ケース

※: 概略パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5. 「津波地震」, 「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p27~29)」に記載。

2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位上昇側②)

【最大水位上昇量】

■ 詳細パラメータスタディ結果※

■ 詳細パラメータスタディ①

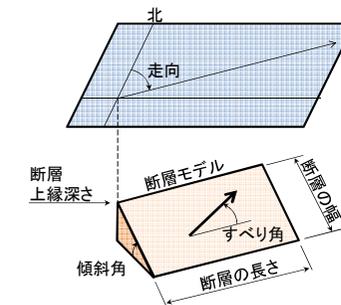
(単位:m)

| 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° | 0km | 20.87(南側) | 11.16 | 14.02 | 13.08 | 12.82 | 10.99 | |
| | 1km(基準) | 20.94(南側) | 11.16 | 14.03 | 13.02 | 12.79 | 11.05 | |
| | 2km | 20.92(南側) | 11.31 | 14.26 | 13.09 | 12.91 | 11.16 | |
| 基準 | 0km | 21.22(南側) | 11.32 | 13.94 | 13.76 | 12.77 | 11.32 | |
| | 1km(基準) | 21.28(南側) | 11.42 | 14.06 | 13.82 | 12.80 | 11.43 | |
| | 2km | 21.32(南側) | 11.71 | 14.37 | 13.86 | 12.94 | 11.57 | |
| 基準+5° | 0km | 21.23(南側) | 11.66 | 14.33 | 14.05 | 12.61 | 11.47 | |
| | 1km(基準) | 21.27(南側) | 11.67 | 14.45 | 14.12 | 12.73 | 11.59 | |
| | 2km | 21.38(南側) | 11.85 | 14.66 | 14.19 | 12.86 | 11.76 | 敷地前面, 1,3号取水口前面決定ケース |

【詳細パラメータスタディ】

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

(参考)断層パラメータ



■ 詳細パラメータスタディ②

(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° | 0km | 19.32(南側) | 10.70 | 14.53 | 11.81 | 12.83 | 11.38 | |
| | 1km(基準) | 19.29(南側) | 10.69 | 14.48 | 11.85 | 12.97 | 11.51 | |
| | 2km | 19.28(南側) | 10.71 | 14.51 | 11.92 | 12.95 | 11.59 | |
| 基準 | 0km | 19.64(南側) | 10.91 | 14.70 | 12.28 | 13.31 | 11.59 | |
| | 1km(基準) | 19.65(南側) | 10.93 | 14.65 | 12.35 | 13.36 | 11.77 | |
| | 2km | 19.65(南側) | 11.01 | 14.62 | 12.41 | 13.41 | 11.88 | |
| 基準+5° | 0km | 19.81(南側) | 11.09 | 14.98 | 12.87 | 13.73 | 11.81 | |
| | 1km(基準) | 19.91(南側) | 11.16 | 14.99 | 12.94 | 13.82 | 11.97 | |
| | 2km | 19.78(南側) | 11.21 | 15.09 | 12.99 | 13.86 | 12.07 | 1号放水口前面, 2・3号放水口前面決定 ケース |

※: 詳細パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5. 「津波地震」, 「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p30)」に再掲。

2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位上昇側③)

【最大水位上昇量】

■ 詳細パラメータスタディ結果※

■ 詳細パラメータスタディ③

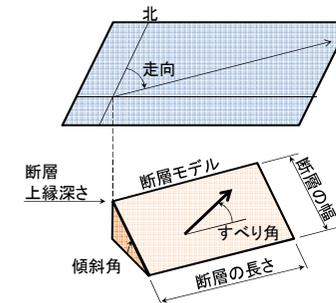
(単位:m)

| 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 |
|------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 傾斜角 | 断層上縁 深さ | | | | | | | |
| 基準-5° | 0km | 18.57(南側) | 9.93 | 14.25 | 11.45 | 11.00 | 10.25 | |
| | 1km(基準) | 18.62(南側) | 10.08 | 14.42 | 11.56 | 11.09 | 10.39 | |
| | 2km | 18.81(南側) | 10.19 | 14.64 | 11.64 | 11.20 | 10.51 | |
| 基準 | 0km | 18.56(南側) | 10.40 | 14.83 | 11.80 | 11.27 | 10.59 | |
| | 1km(基準) | 18.64(南側) | 10.55 | 14.89 | 11.94 | 11.32 | 10.73 | |
| | 2km | 18.82(南側) | 10.69 | 14.94 | 12.11 | 11.44 | 10.84 | |
| 基準+5° | 0km | 18.57(南側) | 10.89 | 14.89 | 12.34 | 11.54 | 10.95 | |
| | 1km(基準) | 18.64(南側) | 11.02 | 15.05 | 12.46 | 11.61 | 11.11 | |
| | 2km | 18.85(南側) | 11.11 | 15.15 | 12.57 | 11.71 | 11.23 | 2号取水口前面決定 ケース |

【詳細パラメータスタディ】

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

(参考)断層パラメータ



※: 詳細パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5. 「津波地震」, 「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p31)」に再掲。

2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位下降側①)

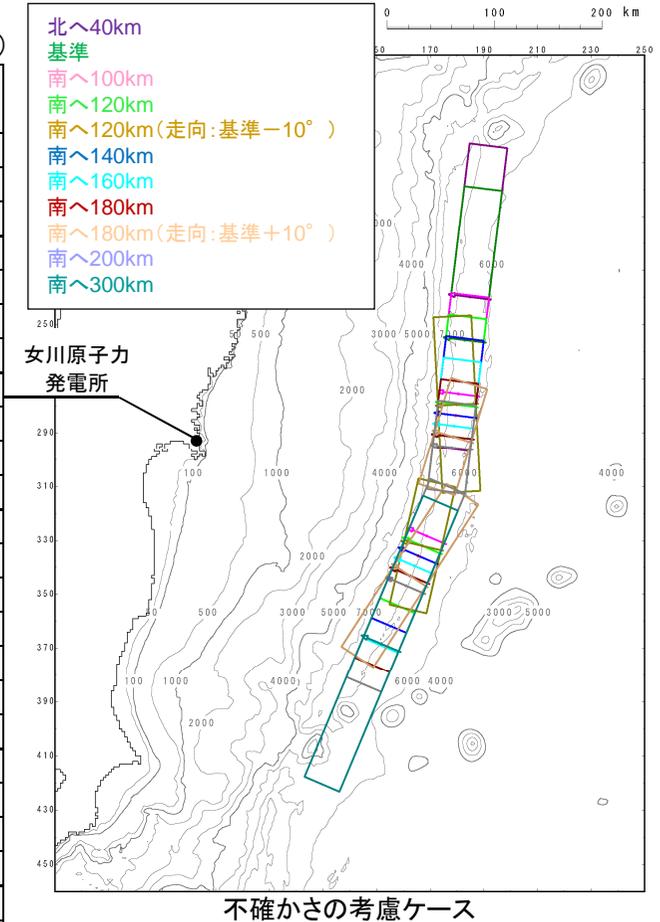
- 各評価位置における最大水位下降量を以下に示す。

【最大水位下降量】

■概略パラメータスタディ結果※

(単位:m)

| パラメータの変動範囲 | | 1号取水口 | 2号取水口 | 3号取水口 | 備考 |
|------------|--------|-------|-------|-------|--------------|
| 位置 | 走向 | 前面 | 前面 | 前面 | |
| 北へ40km移動 | 基準-10° | -7.56 | -7.61 | -7.56 | |
| | 基準 | -6.75 | -6.76 | -6.73 | |
| | 基準+10° | -5.61 | -5.61 | -5.58 | |
| 基準 | 基準-10° | -8.42 | -8.46 | -8.45 | |
| | 基準 | -8.02 | -8.00 | -7.96 | |
| | 基準+10° | -7.25 | -7.25 | -7.23 | |
| 南へ100km移動 | 基準-10° | -9.09 | -9.12 | -9.11 | |
| | 基準 | -9.10 | -9.08 | -9.06 | |
| | 基準+10° | -8.92 | -9.03 | -8.95 | |
| 南へ120km移動 | 基準-10° | -9.13 | -9.16 | -9.20 | 詳細パラメータスタディ① |
| | 基準 | -9.15 | -9.13 | -9.15 | |
| | 基準+10° | -9.00 | -9.06 | -9.04 | |
| 南へ140km移動 | 基準-10° | -9.13 | -9.15 | -9.17 | |
| | 基準 | -8.97 | -9.06 | -9.06 | |
| | 基準+10° | -9.02 | -9.08 | -9.11 | |
| 南へ160km移動 | 基準-10° | -9.06 | -9.10 | -9.12 | |
| | 基準 | -9.05 | -9.09 | -9.10 | |
| | 基準+10° | -8.99 | -9.06 | -9.08 | |
| 南へ180km移動 | 基準-10° | -8.93 | -9.03 | -8.97 | |
| | 基準 | -9.15 | -9.11 | -9.11 | 詳細パラメータスタディ② |
| | 基準+10° | -9.00 | -9.05 | -9.05 | |
| 南へ200km移動 | 基準-10° | -8.75 | -8.90 | -8.80 | |
| | 基準 | -8.99 | -8.99 | -8.94 | |
| | 基準+10° | -8.91 | -9.01 | -8.97 | |
| 南へ300km移動 | 基準-10° | -6.69 | -6.70 | -6.68 | |
| | 基準 | -7.84 | -7.84 | -7.82 | |
| | 基準+10° | -8.00 | -8.11 | -8.05 | |



※: 概略パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2:5. 「津波地震」, 「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p32~34)」に記載。

2. 海洋プレート内地震

2.5 波源特性の不確かさを考慮した津波予測計算: 計算結果(水位下降側②)

【最大水位下降量】

■ 詳細パラメータスタディ結果※

■ 詳細パラメータスタディ①

(単位:m)

| パラメータの変動範囲 | | 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 | 備考 |
|------------|---------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 傾斜角 | 断層上縁深さ | | | | |
| 基準-5° | 0km | -9.23 | -9.22 | -9.23 | |
| | 1km(基準) | -9.26 | -9.26 | -9.28 | |
| | 2km | -9.28 | -9.30 | -9.32 | 2,3号取水口前面決定ケース |
| 基準 | 0km | -9.11 | -9.13 | -9.14 | |
| | 1km(基準) | -9.13 | -9.16 | -9.20 | |
| | 2km | -9.17 | -9.19 | -9.22 | |
| 基準+5° | 0km | -8.95 | -9.04 | -9.03 | |
| | 1km(基準) | -8.98 | -9.05 | -9.04 | |
| | 2km | -9.00 | -9.07 | -9.08 | |

【詳細パラメータスタディ】

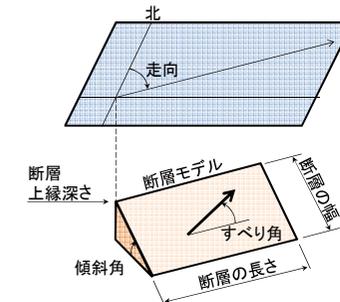
| 項目 | 変動範囲 |
|--------|-----------|
| 傾斜角 | 基準, 基準±5° |
| 断層上縁深さ | 0, 1, 2km |

■ 詳細パラメータスタディ②

(単位:m)

| パラメータの変動範囲 | | 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 | 備考 |
|------------|---------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 傾斜角 | 断層上縁深さ | | | | |
| 基準-5° | 0km | -9.23 | -9.17 | -9.17 | |
| | 1km(基準) | -9.27 | -9.22 | -9.20 | |
| | 2km | -9.31 | -9.27 | -9.25 | 1号取水口前面決定ケース |
| 基準 | 0km | -9.13 | -9.09 | -9.05 | |
| | 1km(基準) | -9.15 | -9.11 | -9.11 | |
| | 2km | -9.18 | -9.15 | -9.15 | |
| 基準+5° | 0km | -8.94 | -9.01 | -8.94 | |
| | 1km(基準) | -8.96 | -9.03 | -8.96 | |
| | 2km | -9.01 | -9.03 | -9.02 | |

(参考)断層パラメータ



※: 詳細パラメータスタディの全ケースの計算結果は、「資料2-2.5.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の予測計算結果一覧(p35)」に再掲。

2. 海洋プレート内地震

2.6 津波水位評価のまとめ(最大水位上昇量・最大水位下降量)

【水位上昇側※】

| 地震種別 | 波源モデル | 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 |
| 海洋プレート内地震 | 正断層型の地震 | 21.38 (南側) | 11.85 | 15.15 | 14.19 | 13.86 | 12.07 |

■敷地前面決定ケース

・波源位置:南へ140km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

■2号取水口前面決定ケース

・波源位置:南へ180km, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

【水位下降側※】

| 地震種別 | 波源モデル | 最大水位下降量(m) | | |
|-----------|---------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1号取水口 前面 | 2号取水口 前面 | 3号取水口 前面 |
| 海洋プレート内地震 | 正断層型の地震 | 9.31 | 9.30 | 9.32 |

■2号取水口前面決定ケース

・波源位置:南へ120km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準-5°, 断層上縁深さ:2km

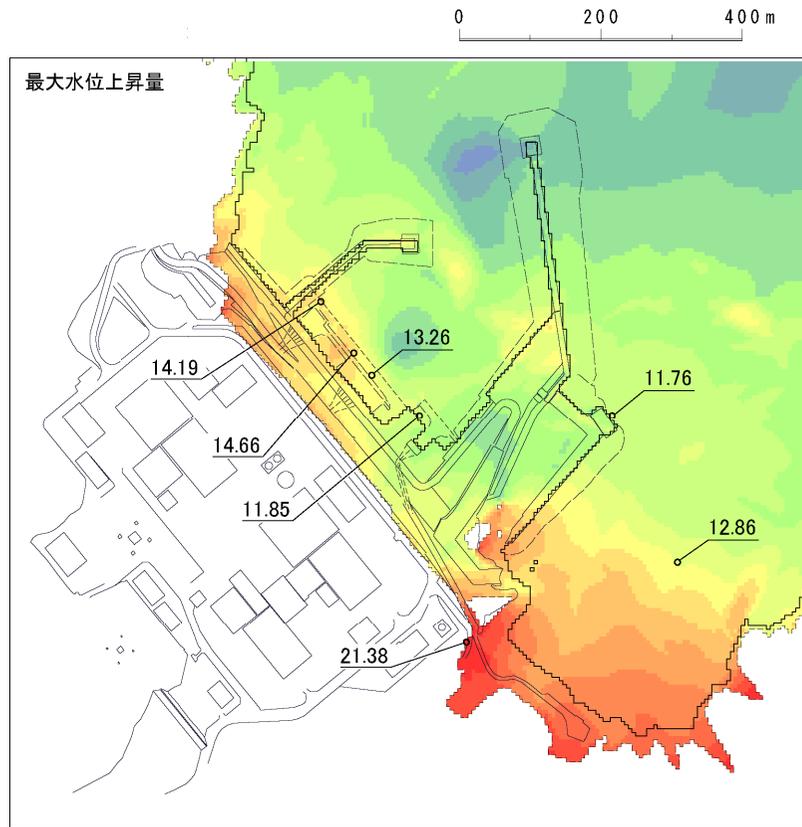
※:津波水位の評価位置の詳細は、「資料2-2:4. 津波解析条件(p17~19)」に記載。

2. 海洋プレート内地震

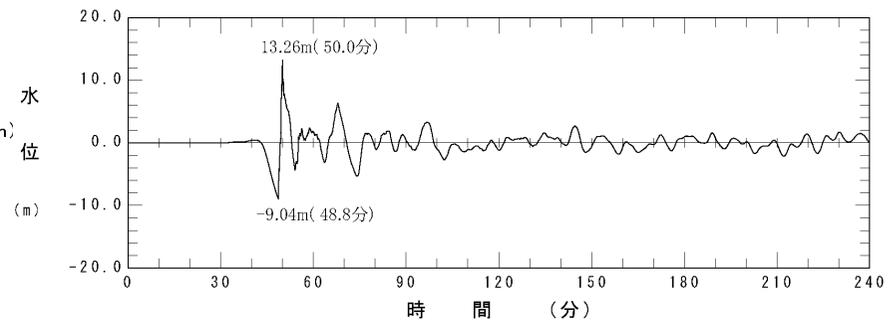
2.6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位上昇側:敷地前面)

■水位分布及び水位時刻歴波形※

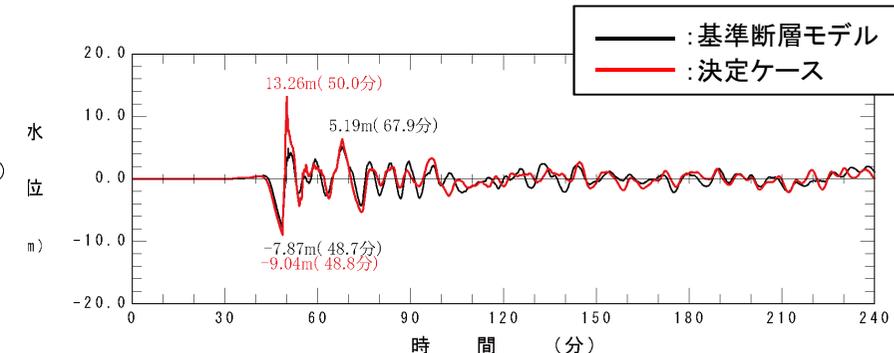
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|------|--|
| 水位上昇側 | 敷地前面 | 位置:南へ140km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km |



最大水位上昇量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

(参考)2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

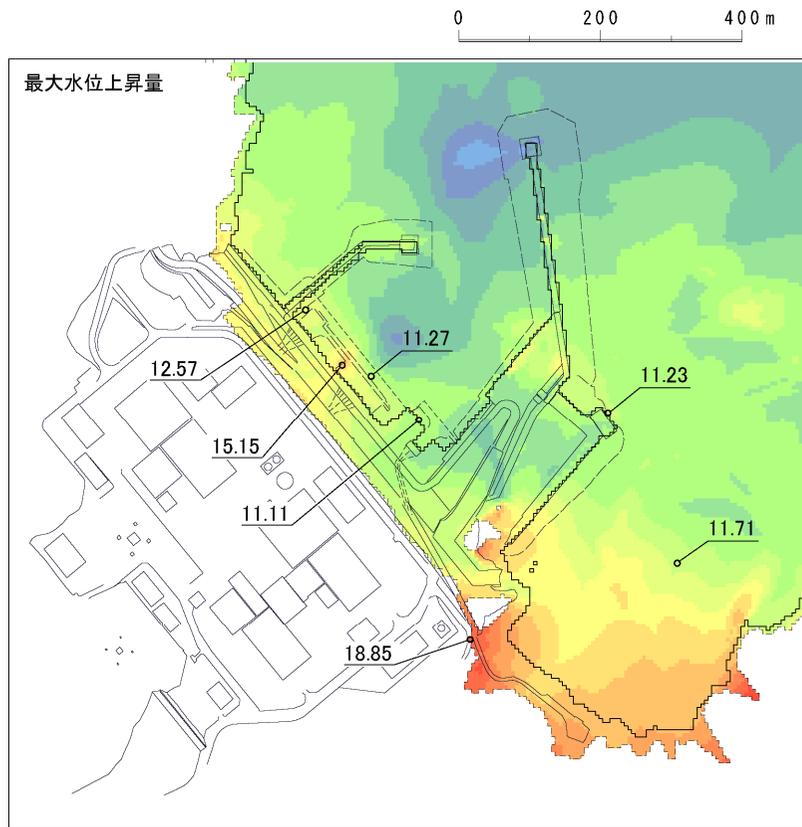
※:水位時刻歴波形は, 各取水口・放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は,「資料2-2 :6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

2. 海洋プレート内地震

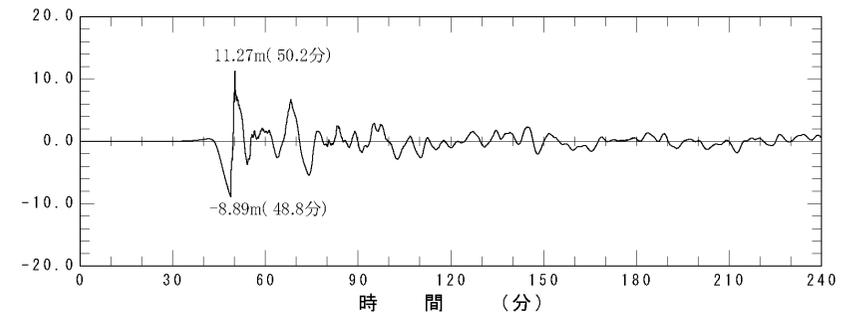
2.6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位上昇側:2号取水口前面)

■水位分布及び水位時刻歴波形※

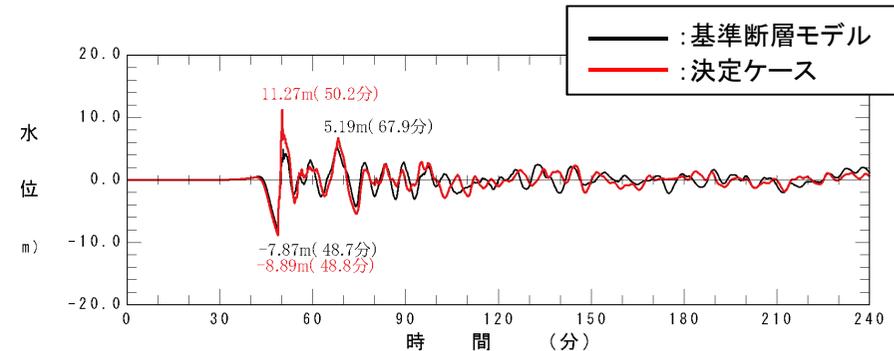
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|---------|--|
| 水位上昇側 | 2号取水口前面 | 位置:南へ180km, 走向:基準+10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km |



最大水位上昇量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

(参考)2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

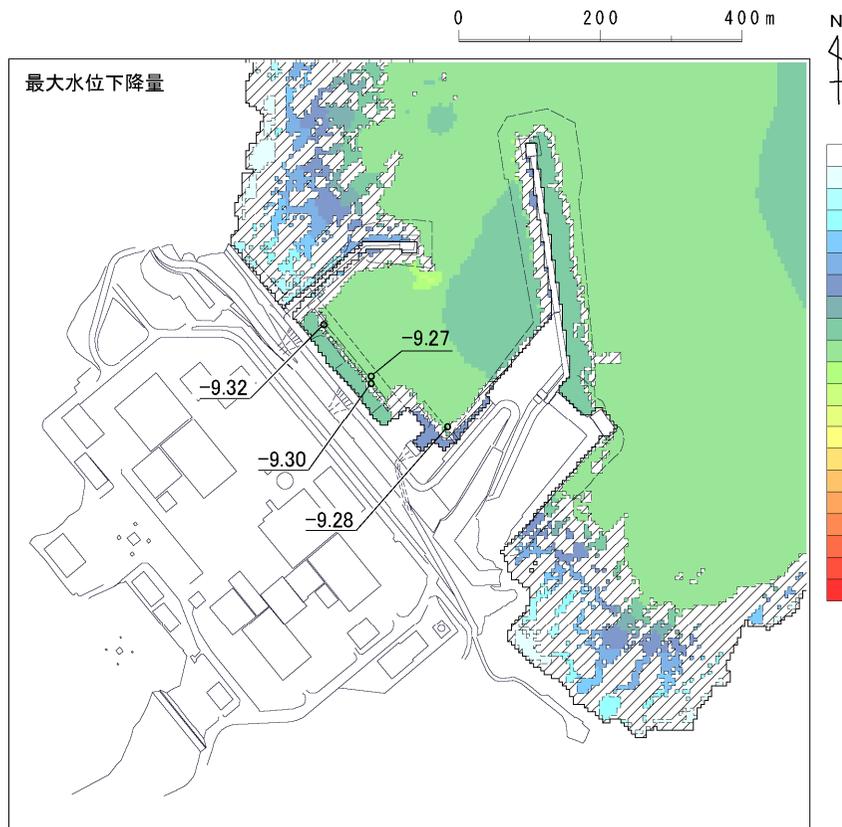
※:水位時刻歴波形は, 各取水口・放水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は,「資料2-2 :6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

2. 海洋プレート内地震

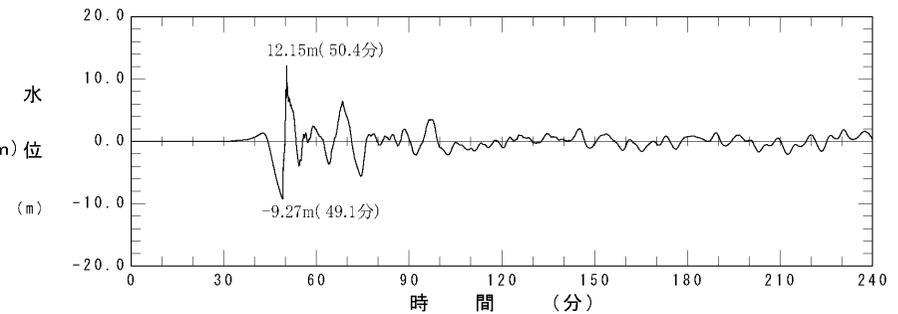
2. 6 津波水位評価のまとめ(水位分布及び水位時刻歴波形, 水位下降側: 2号取水口前面)

■ 水位分布及び水位時刻歴波形※

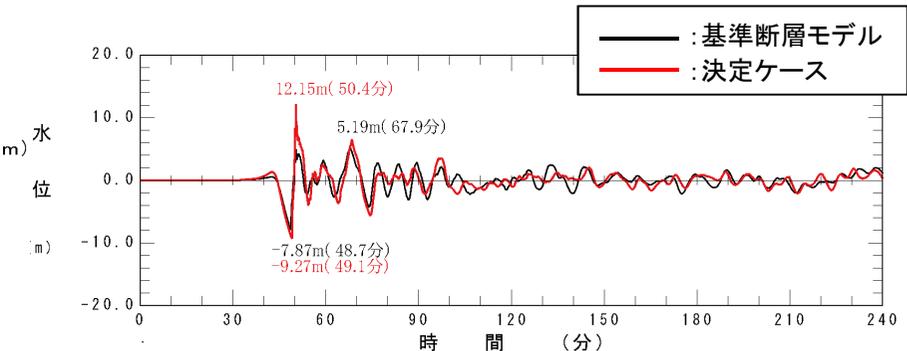
| 評価項目 | 評価位置 | 決定ケース |
|-------|---------|--|
| 水位下降側 | 2号取水口前面 | 位置:南へ120km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準-5°, 断層上縁深さ:2km |



最大水位下降量分布



2号取水口前面における水位時刻歴波形

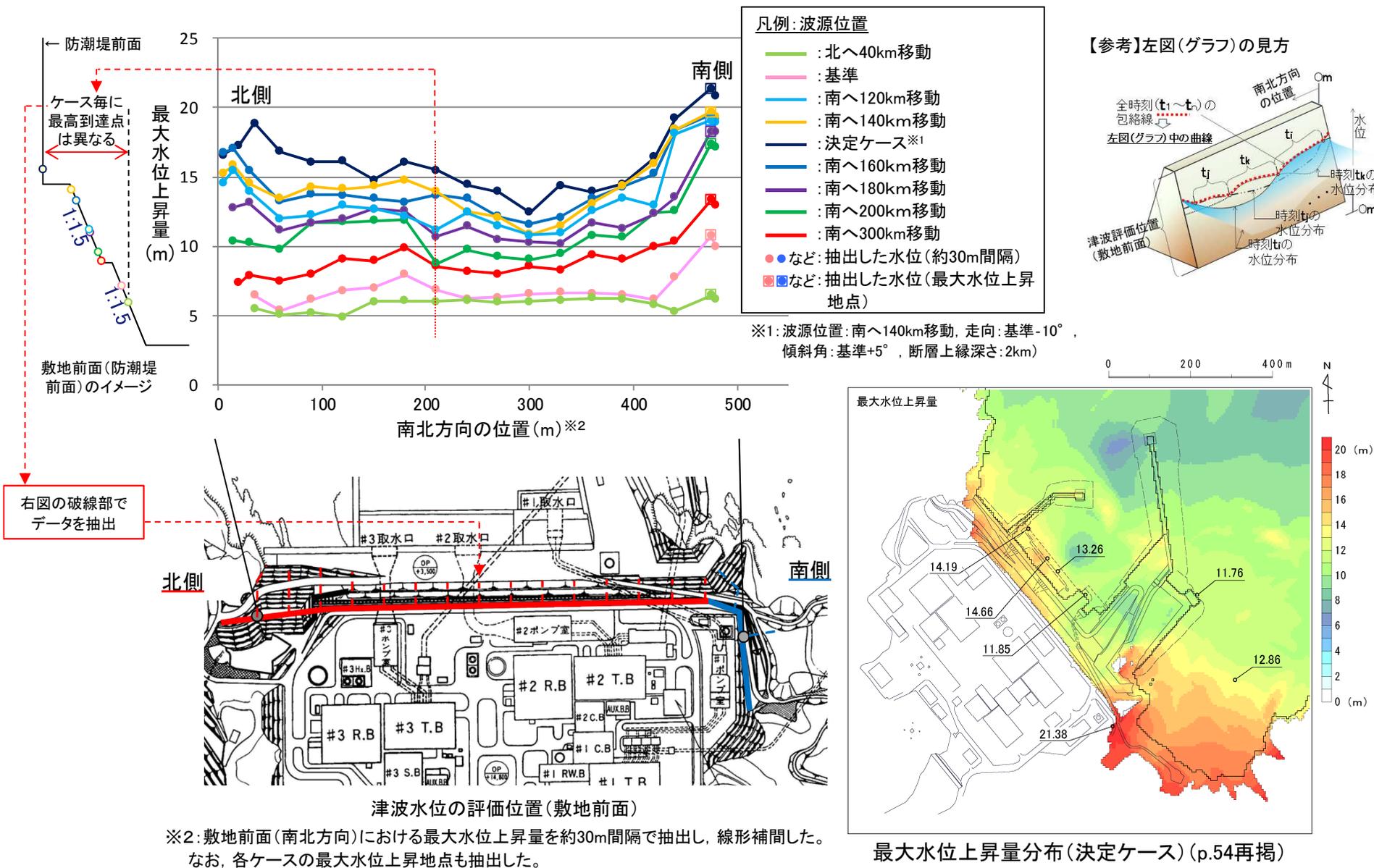
(参考)2号取水口前面における水位時刻歴波形の比較
(基準断層モデル, 決定ケース)

※:水位時刻歴波形は, 各取水口・放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,「資料2-2 :6. 津波水位の抽出位置(p37)」に記載。)

2. 海洋プレート内地震

2.6 津波水位評価のまとめ(敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量)

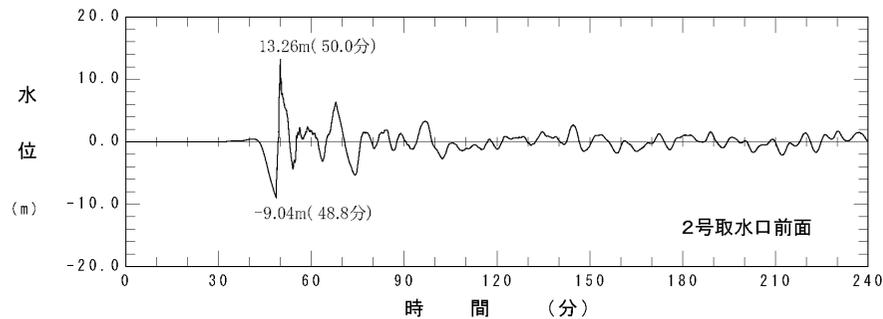
- 概略・詳細パラメータスタディを実施した結果、最大水位上昇地点は、大半のケースが敷地前面の南側であった。
- 以下に、波源位置を変化させた代表ケース、並びに決定ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量を示す。



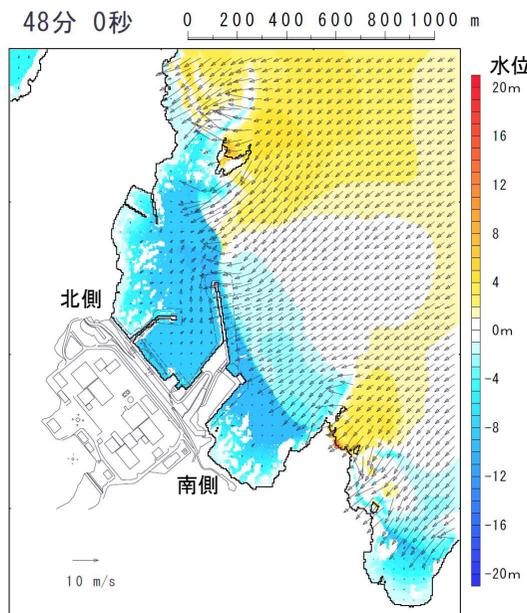
2.6 津波水位評価のまとめ(流況図(スナップショット))

- 敷地前面における最大水位上昇決定ケース(波源位置:南へ140km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km)の2号取水口前面における水位時刻歴波形及び発電所周辺における流況図(地震発生後48分0秒~50分0秒(1分刻み)のスナップショット)*を以下に示す。
- 津波は, 防波堤の影響により北側と南側に分かれて遡上するが, その大部分は南側を遡上する。この流れによって南側の水位が局所的に大きくなる。

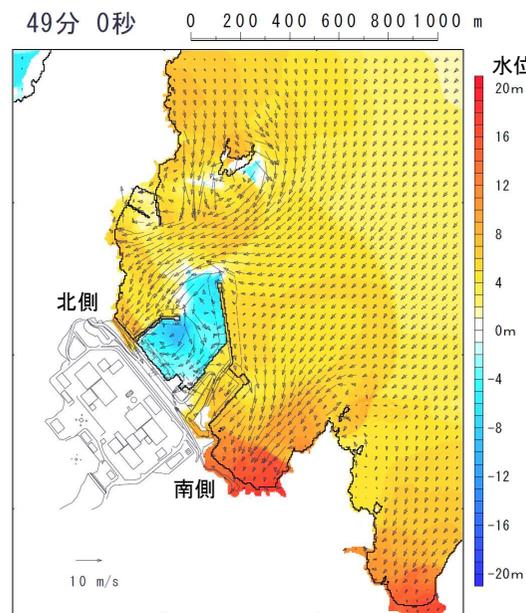
※:10秒刻みの流況図を,「資料2-2:7.「津波地震」,「海洋プレート内地震」に起因する津波の流況図(p46~52)」に記載。。」



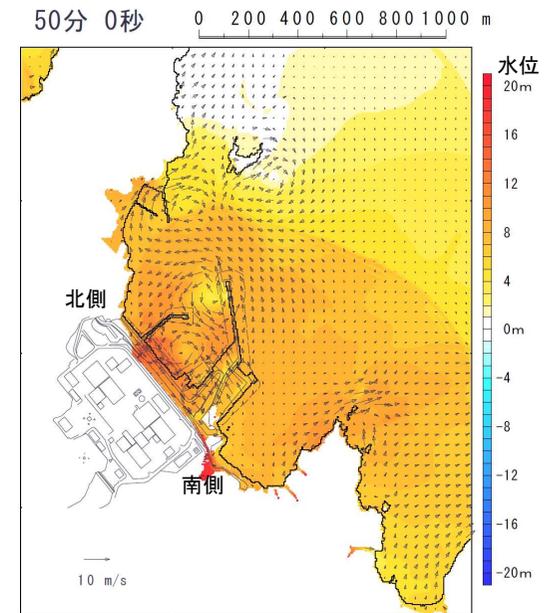
2号取水口前面における水位時刻歴波形(p.54再掲)



地震発生後:48分0秒



地震発生後:49分0秒



地震発生後:50分0秒

I. 地震に起因する津波の評価

3. 海域の活断層による地殻内地震※

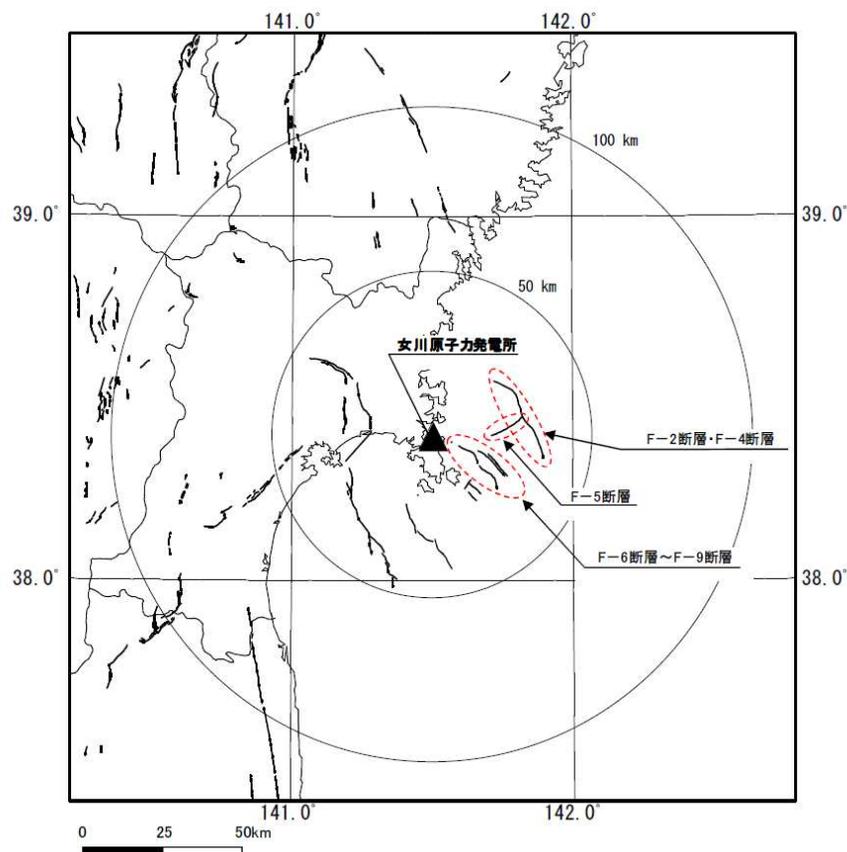
- 3. 1 検討方針
- 3. 2 検討結果

※:平成26年4月16日, 9月12日, 11月14日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。

3. 海域の活断層による地殻内地震

3.1 検討方針

- 敷地周辺海域の活断層評価において、後期更新世以降の活動を考慮している断層を選定する。
- 津波高さの検討は、阿部(1989)の簡易予測式により推定津波高を検討する。



敷地周辺海域の活断層分布

| 断層名 | 断層の長さ(km) | 敷地からの距離※ △(km) |
|--|-----------|-------------------|
| F-2断層・F-4断層 | 27.8 | 27.0 |
| F-5断層 | 11.2 | 23.2 |
| F-6断層～F-9断層 (F-6断層北西延長部付近の1測線でのみ認められる断層, F-6断層, F-7断層, F-9断層, F-8・f-12断層) | 22 | 15 |

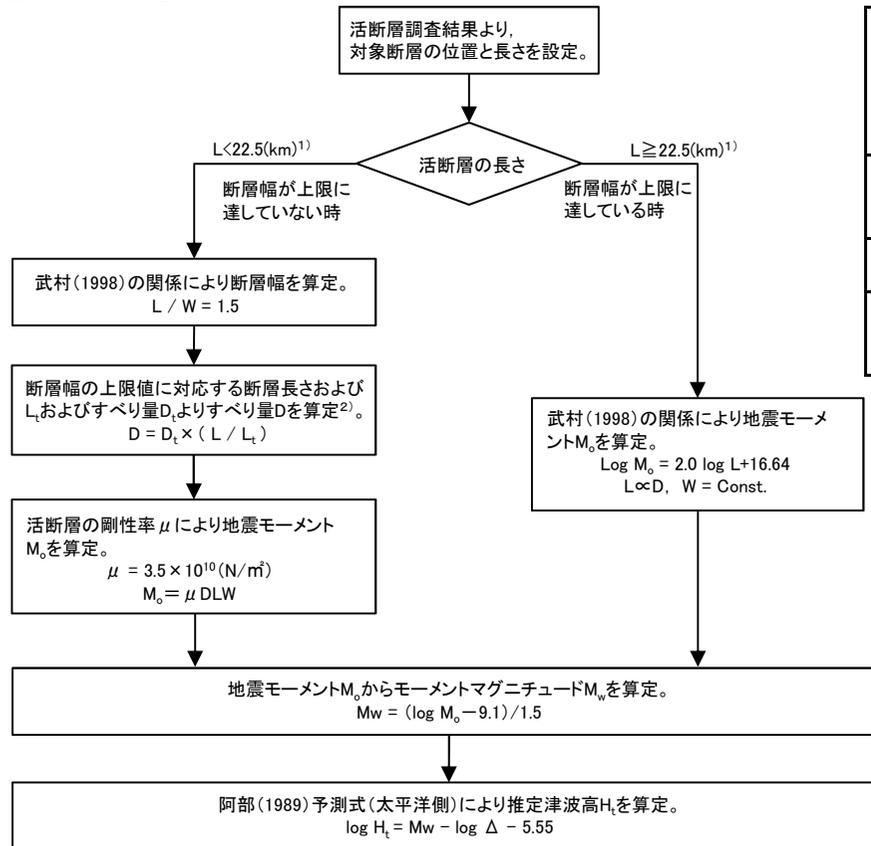
※:断層中心から敷地までの平面距離

3. 海域の活断層による地殻内地震

3.2 検討結果

- 推定津波高は最大1.2m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 $M_0(\text{N}\cdot\text{m})$ | 津波の伝播距離 Δ (km) | 推定津波高 $H_t(\text{m})$ |
|-------------|-----|------------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| F-2断層・F-4断層 | 7.0 | 27.8 | 15.0 | 2.31 | 3.37×10^{19} | 27.0 | 1.1 |
| F-5断層 | 6.2 | 11.2 | 7.5 | 0.93 | 2.73×10^{18} | 23.2 | 0.2 |
| F-6断層～F-9断層 | 6.8 | 22 | 14.7 | 1.83 | 2.07×10^{19} | 15 | 1.2 |

1) 断層幅の上限 W_t は、地震発生層の厚さ H_e 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、 $W_t = H_e / \sin \delta = 15\text{km}$ となる。また、断層幅の上限に対応する断層長さ $L_t = 1.5 \times W_t = 22.5\text{km}$ となる。

2) 断層幅の上限に対応するすべり量 D_t は、モーメントマグニチュードを $M_{wt} = (\text{log } L_t + 3.77) / 0.75 = 6.83$ 、地震モーメントを $M_{0t} = 10^{(1.5M_{wt} + 9.1)} = 2.21 \times 10^{19} \text{N}\cdot\text{m}$ 、剛性率を $\mu = 3.50 \times 10^{10} \text{N}/\text{m}^2$ とした際には、 $D_t = M_{0t} / (\mu L_t W_t) = 1.87\text{m}$ となる。

I. 地震に起因する津波の評価

4. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

- 4. 1 水位上昇側
- 4. 2 水位下降側
- 4. 3 敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量の比較

4. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

4.1 水位上昇側

- 敷地前面, 各取水口前面及び放水口前面における最大水位上昇量決定ケースは、「東北地方太平洋沖型の地震(特性化モデル)」であり、「津波地震」, 「海洋プレート内地震」および「海域の活断層による地殻内地震」に起因する津波は, いずれも「東北地方太平洋沖型の地震(特性化モデル)」を下回っている。

| 地震種別 | 波源モデル | | 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 |
| プレート間地震 | 東北地方太平洋沖型の地震 | 女川再現モデル | 15.89 (南側) | 15.00 | 15.22 | 15.24 | 15.22 | 14.78 |
| | | 内閣府(2012)モデル | 17.32 (北側) | 15.97 | 16.20 | 16.29 | 14.76 | 14.73 |
| | | 既往津波の組合せモデル | 17.32 (北側) | 15.56 | 15.37 | 15.26 | 14.16 | 14.77 |
| | | 特性化モデル | 21.58 (北側) | 18.85 | 19.50 | 19.60 | 16.46 | 17.16 |
| | 津波地震 | | 19.50 (北側) | 16.14 | 16.81 | 16.77 | 14.44 | 15.44 |
| 海洋プレート内地震 | 正断層型の地震 | | 21.38 (南側) | 11.85 | 15.15 | 14.19 | 13.86 | 12.07 |
| 海域の活断層による地殻内地震 | F-6断層～F-9断層 | 1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高) | | | | | | |

→ 平成27年1月23日の審査会合で説明済み。

→ 本資料での検討結果。

■敷地前面決定ケース

- ・女川再現モデル=波源位置:南へ50km
- ・内閣府(2012)モデル=波源位置:南へ50km
- ・既往津波の組合せモデル=走向:津波地震 基準+5°, プレート間地震 基準+10°, 傾斜角:基準+5°, すべり角:基準+10°
- ・特性化モデル=海溝側強調モデル, 大すべり域の位置:基準, 破壊開始点:無し(同時破壊)
- ・津波地震=波源位置:南へ100km, 走向:基準, 傾斜角:基準, すべり角:基準
- ・海洋プレート内地震=波源位置:南へ140km, 走向:基準-10°, 傾斜角:基準+5°, 断層上縁深さ:2km

※:津波水位の評価位置の詳細は,「資料2-2:4. 津波解析条件(p17~19)」に記載。

4. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

4.2 水位下降側

- 各取水口前面における最大水位下降量決定ケースは、「東北地方太平洋沖型の地震(既往津波の組合せモデル)」であり、「津波地震」,「海洋プレート内地震」および「海域の活断層による地殻内地震」に起因する津波は、いずれも「東北地方太平洋沖型の地震(既往津波の組合せモデル)」を下回っている。

| 地震種別 | 波源モデル | | 最大水位下降量(m)※ | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|--------------|
| | | | 1号取水口前面 | 2号取水口前面 | 3号取水口前面 |
| プレート間地震 | 東北地方太平洋沖型の地震 | 女川再現モデル | 8.02 | 8.02 | 8.02 |
| | | 内閣府(2012)モデル | 9.03 | 9.15 | 9.16 |
| | | 既往津波の組合せモデル | 10.88 | 10.82 | 10.81 |
| | | 特性化モデル | 9.40 | 9.42 | 9.46 |
| | 津波地震 | | 8.42 | 8.48 | 8.49 |
| 海洋プレート内地震 | 正断層型の地震 | | 9.31 | 9.30 | 9.32 |
| 海域の活断層による地殻内地震 | F-6断層～F-9断層 | | 1.2m(阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高) | | |

→ 平成27年1月23日の審査会合で説明済み。

→ 本資料での検討結果。

■ 2号取水口前面決定ケース

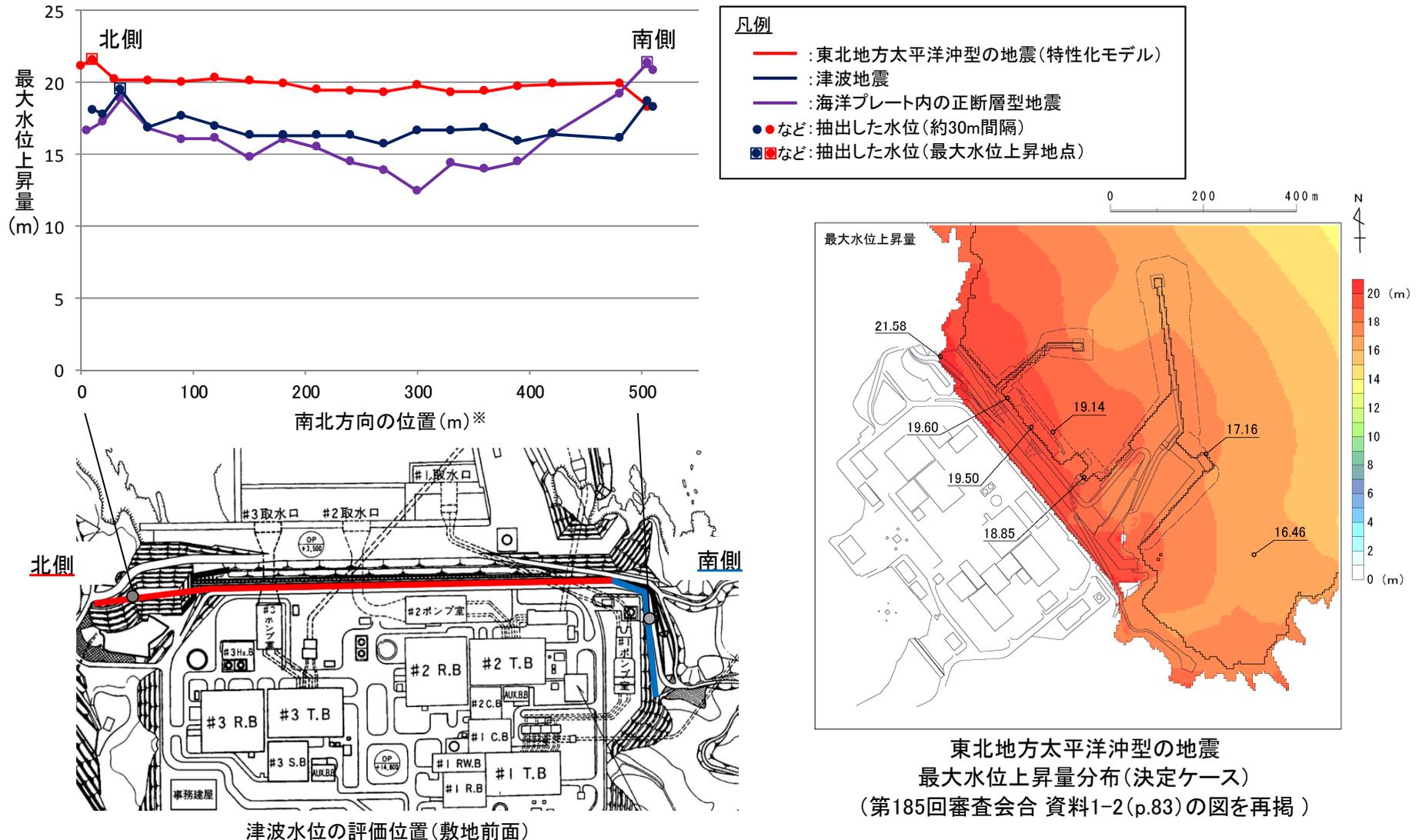
- ・女川再現モデル＝波源位置：基準
- ・内閣府(2012)モデル＝波源位置：基準
- ・既往津波の組合せモデル＝走向：津波地震 基準+5°，プレート間地震 基準+10°，傾斜角：基準+5°，すべり角：基準
- ・特性化モデル＝すべり量割増モデル，大すべり域の位置：基準，破壊開始点：P5
- ・津波地震＝波源位置：南へ100km，走向：基準-5°，傾斜角：基準+5°，すべり角：基準+10°
- ・海洋プレート内地震＝波源位置：南へ120km，走向：基準-10°，傾斜角：基準-5°，断層上縁深さ：2km

※：津波水位の評価位置の詳細は、「資料2-2:4. 津波解析条件(p17～19)」に記載。

4. 地震に起因する津波の評価結果のまとめ

4.3 敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量の比較

- 各地震の敷地前面決定ケースについて、敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量の比較を以下に示す。
- 津波地震及び海洋プレート地震は局所的に水位が高くなるのに対し、東北地方太平洋沖型の地震は敷地前面一様に水位が高くなる。



※:敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量を約30m間隔で抽出し、線形補間した。
なお、各ケースの最大水位上昇地点も抽出した。

Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

1．地すべり及び斜面崩壊

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

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.1 既往津波に関する文献調査

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

【調査した文献】

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

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

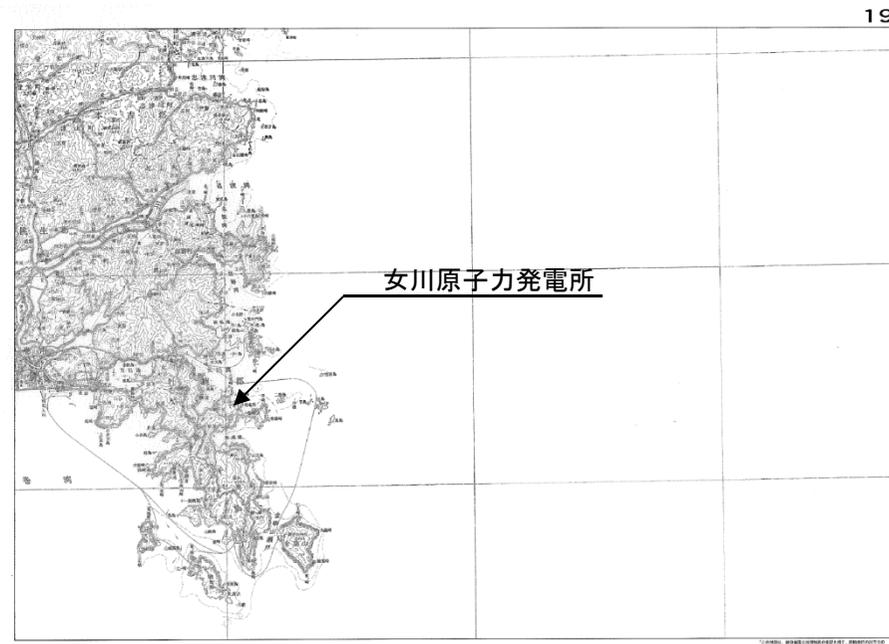
1.2 陸上の地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

- 防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベース, 日本地すべり学会東北支部による東北の地すべり・地すべり地形によれば, 敷地周辺陸域の地形について, 地すべり及び斜面崩壊地形は認められない。

| | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 北上 KITAKAMI LM-797 | 人首 HITOKABE LM-793 | 遠野 TONO LM-789 | 釜石 KAMAISHI LM-787 |
| 水沢 MIZUSAWA LM-798 | 陸中大原 RIKUCHUOHARA LM-794 | 盛 SAKARI LM-790 | 綾里 RYORI LM-788 |
| 一関 ICHINOSEKI LM-799 | 千厩 SENMAYA LM-795 | 気仙沼 KESENNUMA LM-791 | 【一関】 |
| 若柳 WAKAYANAGI LM-800 | 志津川 SHIZUGAWA LM-796 | 津谷 TSUYA LM-792 | |
| 涌谷 WAKUYA LM-804 | 登米 TOYOMA LM-802 | 大須 OSU LM-801 | 【石巻】 |
| 松島 MATSUSHIMA LM-805 | 石巻 ISHINOMAKI LM-803 | 寄磯 YORIISO (地すべり地形なし) | |
| 塩竈 SHIOGAMA (地すべり地形なし) | 金華山 KINKASAN (地すべり地形なし) | | |

□ : 敷地周辺

防災科学技術研究所 地すべり地形分布図データベース
(防災科学技術研究所(2009)に一部加筆)



東北の地すべり・地すべり地形
(日本地すべり学会東北支部(1992)に一部加筆)



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

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価: 検討フロー

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

【検討フロー】

■ 広域的概査

① 敷地前面海域における海底地すべり地形の有無

■ 局所的精査

② 海底地すべり地形判読調査

日本水路協会M7000シリーズを用いて海底地形判読調査を実施し、海底地すべりを示唆する明瞭な海底地すべり地形を抽出する。

【事前検討】

i. 海底地すべりの特徴把握(=文献調査)

海底地すべりの特徴, 発生場所, 発生要因に関する文献調査の実施

ii. 調査範囲の設定

上記文献調査及び津波伝播特性を踏まえて設定

③ 海底地すべり地形調査

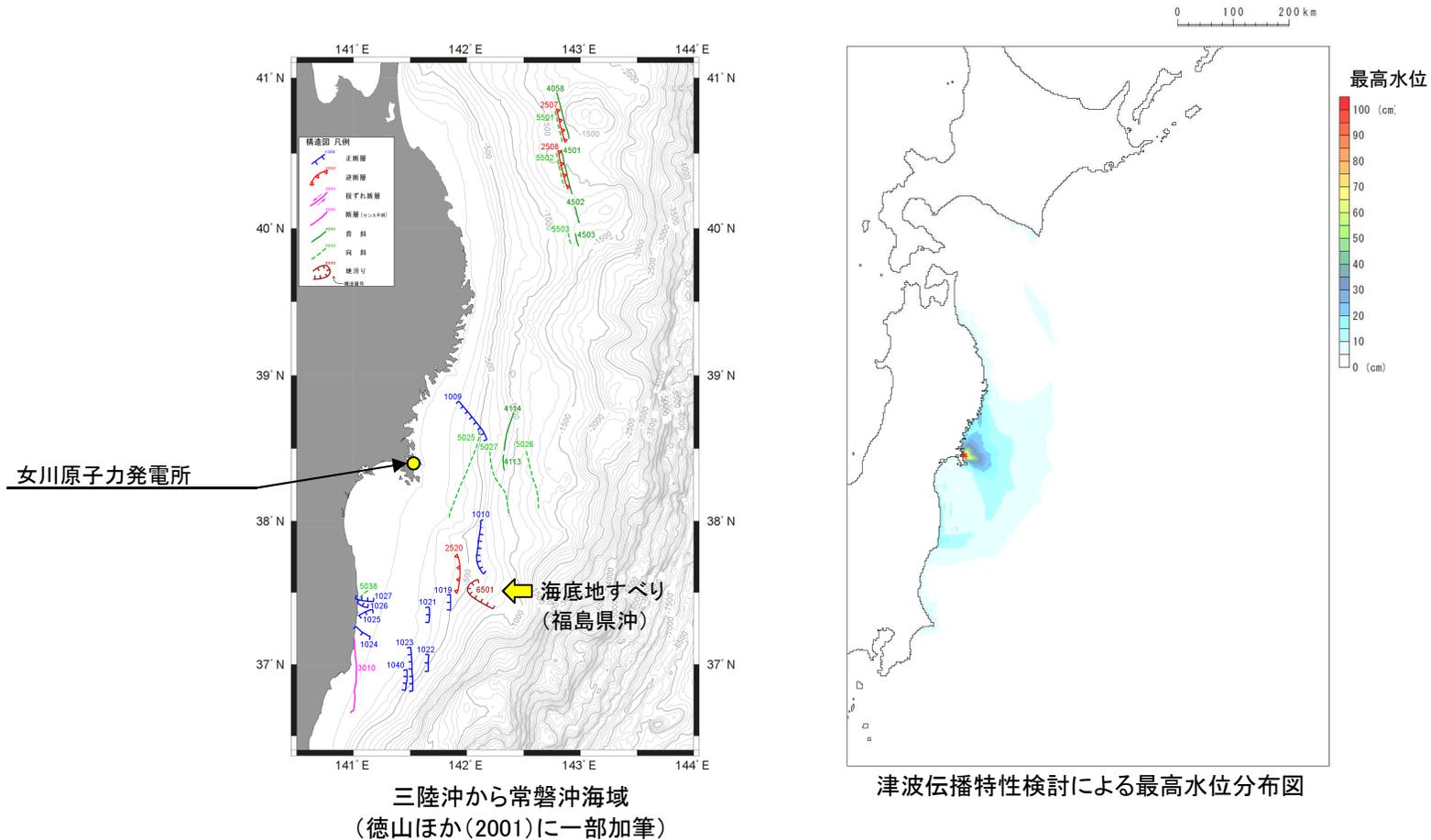
上記②で抽出された海底地すべりを示唆する地形について、海上音波探査記録等を用いて、地すべり地形であるか否か、並びに地すべり地形の形状等を精査する。

④ 波源モデルの設定

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価: 広域的概査

- 広域的概査は、徳山ほか(2001)による地質構造及び津波伝播特性検討結果を用いて実施した。三陸沖から常磐沖海域の地質構造および津波伝播特性検討による最高水位分布図を以下に示す。
- 敷地に与える影響が大きいと考えられる敷地前面から日本海溝までの範囲に、海底地すべり地形は認められない※。



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

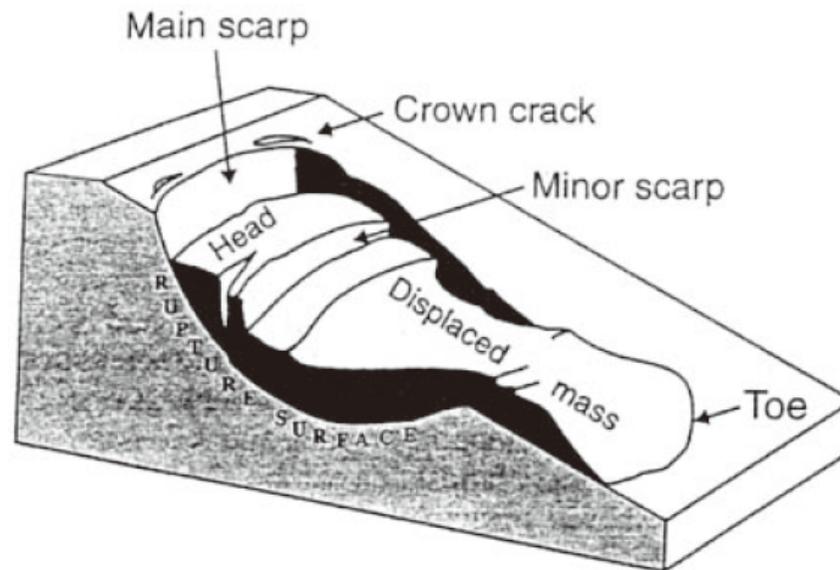
※: 徳山ほか(2001)に示される福島県沖の海底地すべりに関する調査結果は、「資料2-2:8. 福島県沖の海底地すべりに関する検討(p54~57)」に記載。

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3(2) 海底の地すべりに起因する津波の評価:局所的精査範囲の設定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))

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価:局所的精査範囲の設定②

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

- ・ フェロー諸島で認められた海底地すべりである。
- ・ 傾斜約 1° ~ 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。

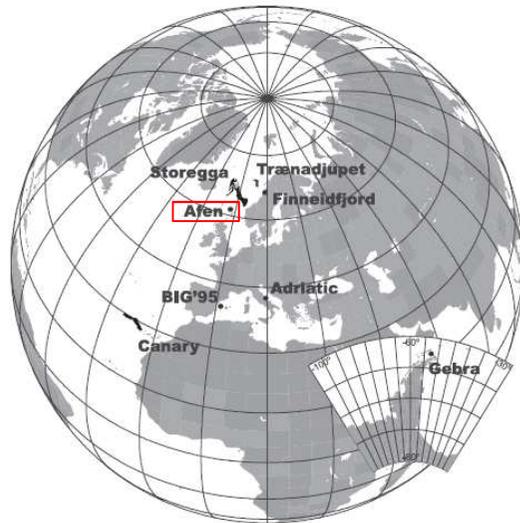


Fig. 1. Location of the studied instabilities, Gebra Slide is located off the northern tip of the Antarctic Peninsula.

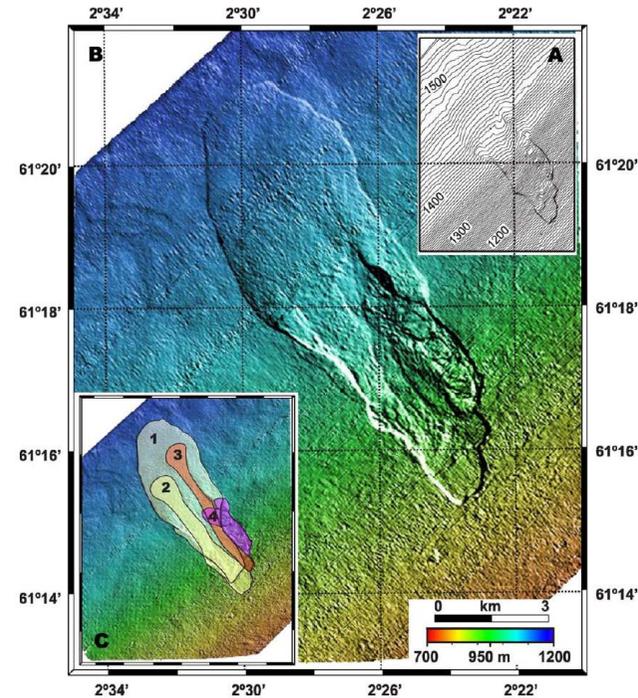


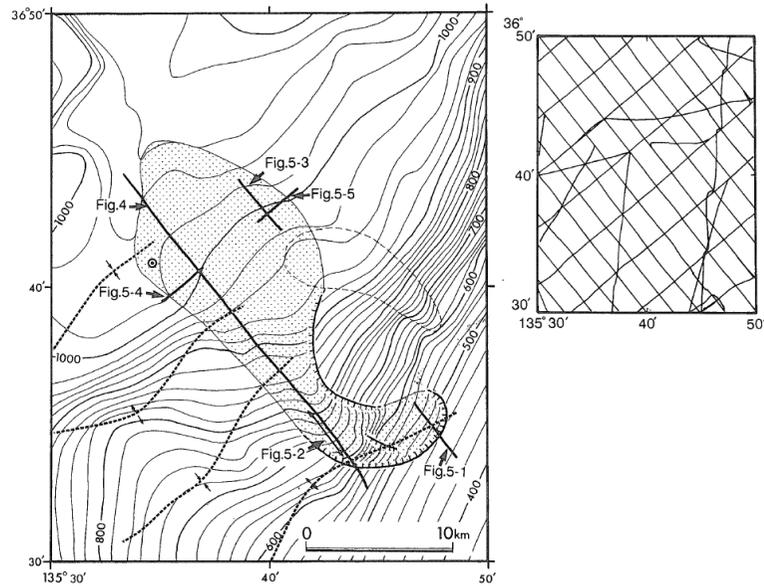
Fig. 6. (A) Detailed bathymetry of the Afen Slide extracted from commercial 3D seismic data assuming a sound speed of 1500 m s^{-1} in water. Note that the morphological expression of the main depositional lobe on the seafloor is very low (cf. Table 4). (B) Acoustic image of Afen Slide extracted from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

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価:局所的精査範囲の設定③

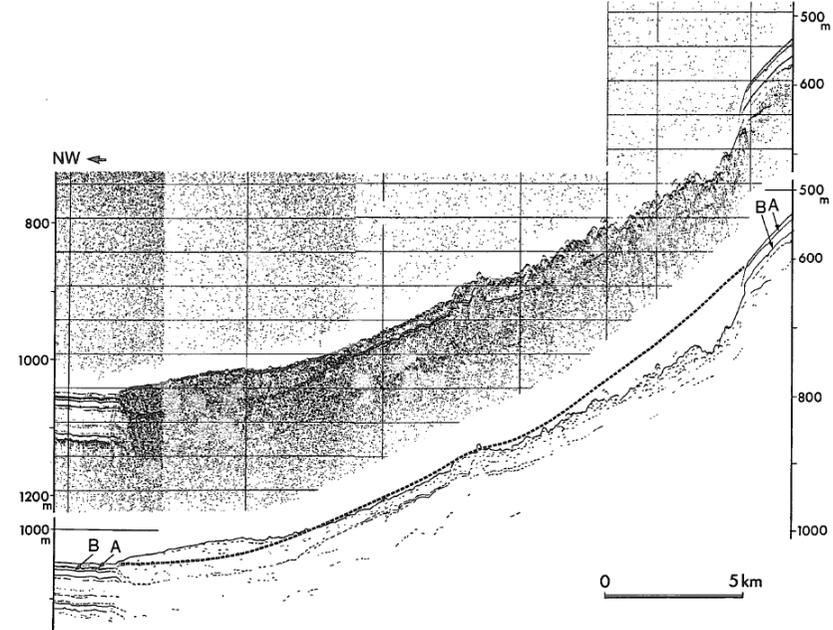
■海底地すべりの既往事例②:大陸斜面で発生した海底地すべり(山本(1991))

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



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

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



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

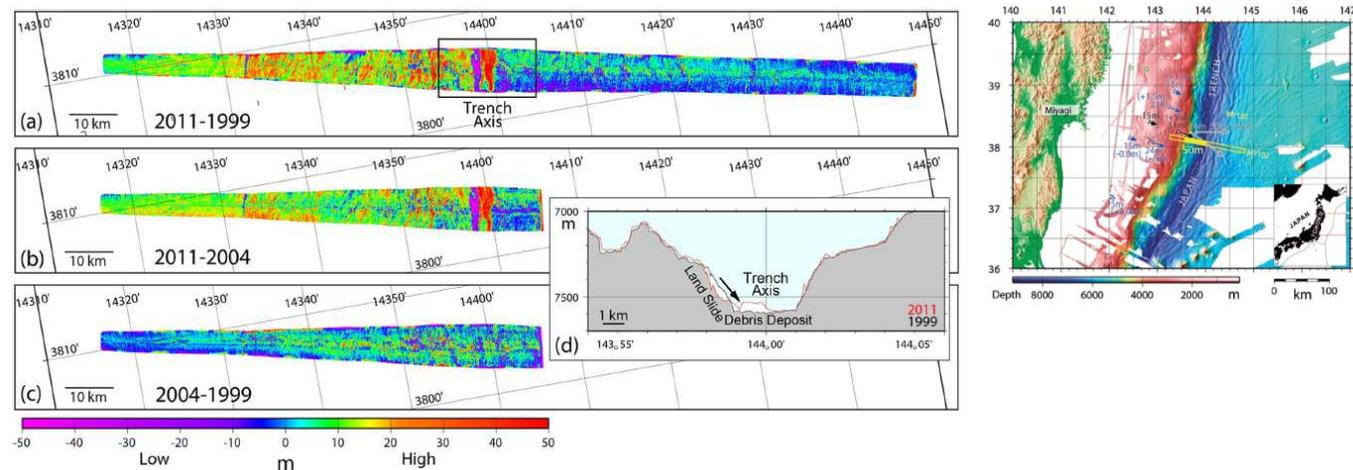
1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価: 局所的精査範囲の設定④

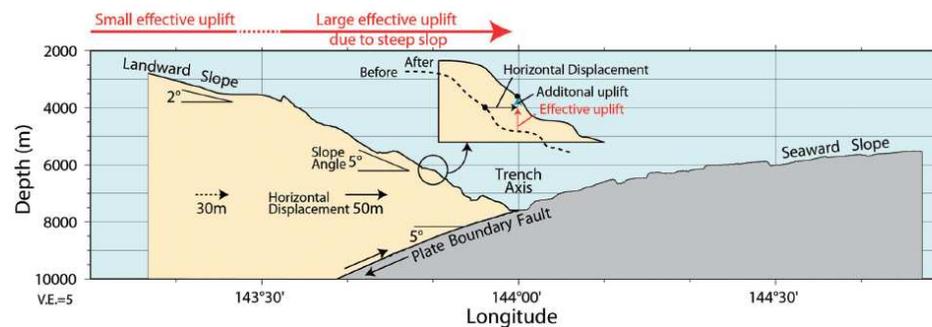
■海底地すべりの既往事例③:

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

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



地形データの偏差(小平ほか(2012))



3.11地震に伴う海底変動の模式図(小平ほか(2012))

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価:局所的精査範囲の設定④

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

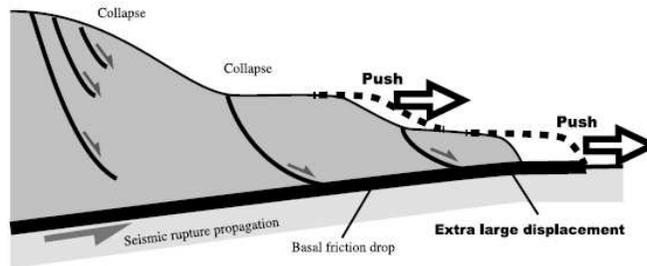


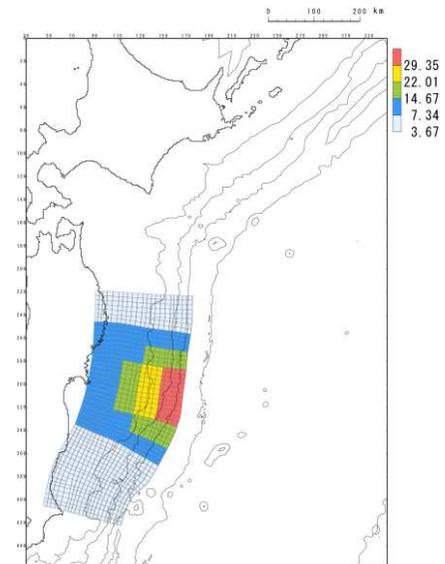
Figure 3. Schematic diagram of tsunamigenic slip at the toe of the trench slope. The submarine landslide was potentially under the instable conditions before the earthquake, and it was moved with rupture propagation along the thrust. The slip at the toe is accelerated by submarine landsliding. The many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

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



- ✓ 以上より, 日本海溝軸付近で発生する海底地すべりは, 地震に伴うプレート運動に起因して発生すると考えられる。
- ✓ 日本海溝軸付近の海底地すべりに起因する津波は, 沿岸の津波水位に影響を及ぼす可能性はあるものの, 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波を良好に再現する波源モデルに基づいた検討(地震に起因した津波評価)を行うとともに, 科学的想像力を発揮して, 「東北地方太平洋型の地震」のうち特性化モデル(海溝側強調モデル)にて, 未知なる海底地すべりの存在についても適切に評価※1を実施している。

※1: 評価の詳細は, 「資料2-2:9. 分岐断層に対する考え方(p59~62)」に記載。



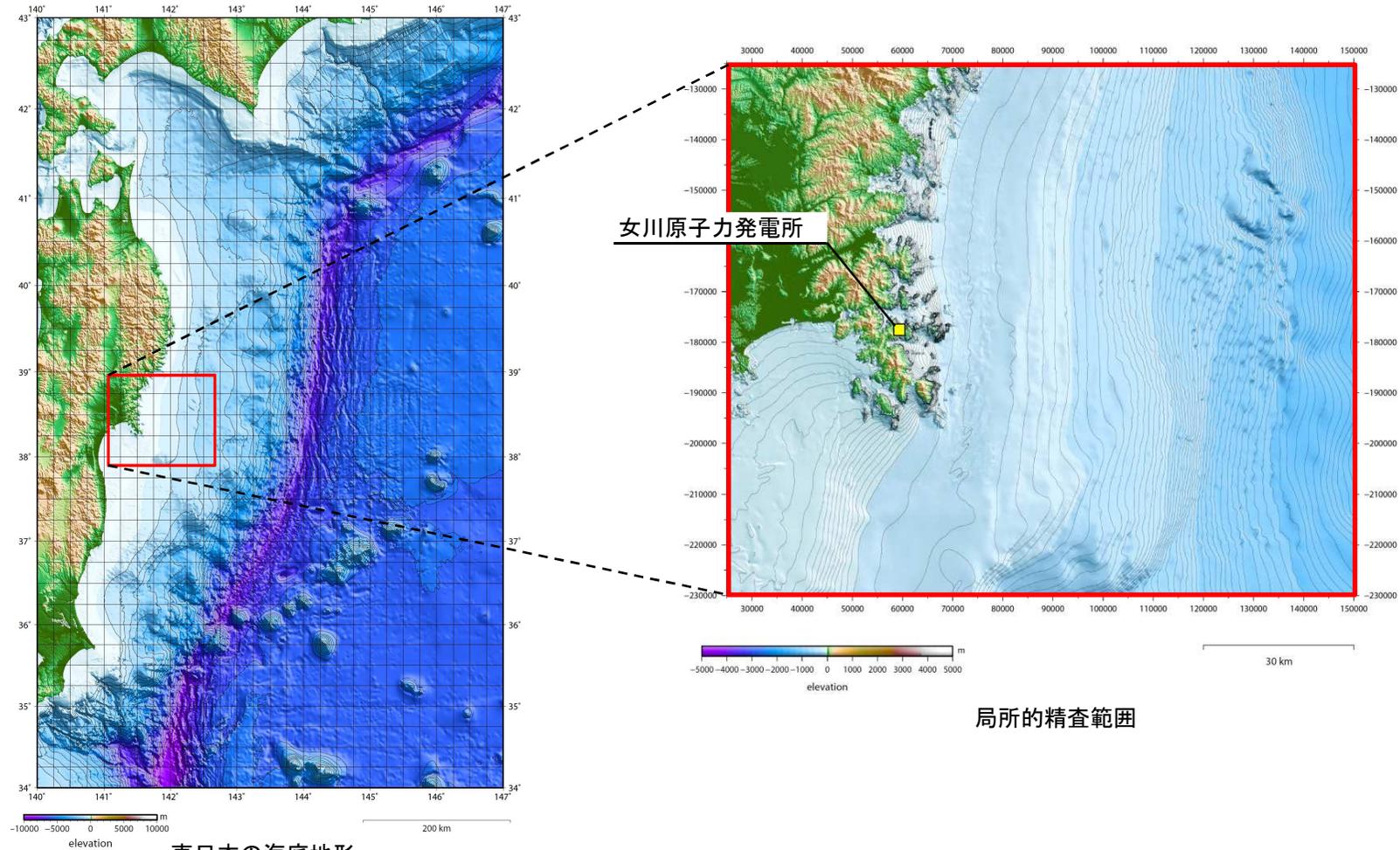
「東北地方太平洋沖型の地震」のうち特性化モデル(海溝側強調モデル)※2

※2: すべり分布を海溝側に集中させた特性化モデル。

1. 地すべり及び斜面崩壊に起因する津波の評価

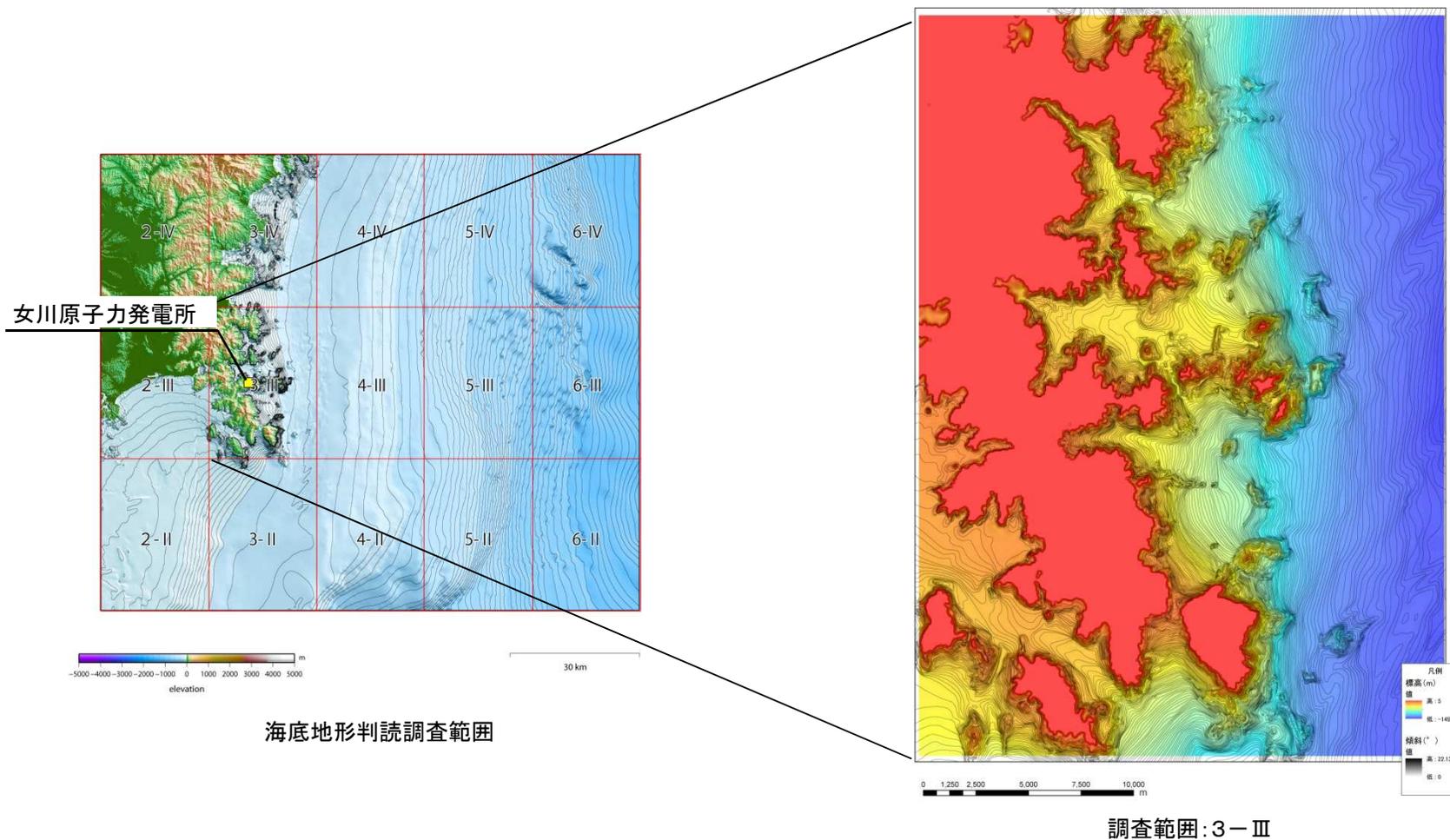
1.3 海底の地すべりに起因する津波の評価:局所的精査範囲の設定⑤

- 以上から得られた海底地すべり地形の特徴及び津波伝播特性の検討結果を踏まえ、局所的精査範囲は、緩斜面及び大陸棚が含まれる水深1000mまでとした。



1.3 敷地前面海域における海底の地すべりに関する評価結果

- 海底地すべり地形判読調査を実施した結果、海底地すべり地形の特徴である明瞭な馬蹄形を呈する地すべりを示唆する痕跡は認められない。



以上より、海底地すべりに起因する津波の影響は極めて小さいと考えられる。

Ⅱ．地震以外に起因する津波の評価

2．火山現象

- 2. 1 既往津波に関する文献調査
- 2. 2 火山現象に起因する津波の評価

2. 火山現象に起因する津波の評価

2.1 既往津波に関する文献調査

- 文献調査の結果、敷地周辺において火山現象による歴史津波の記録はない。

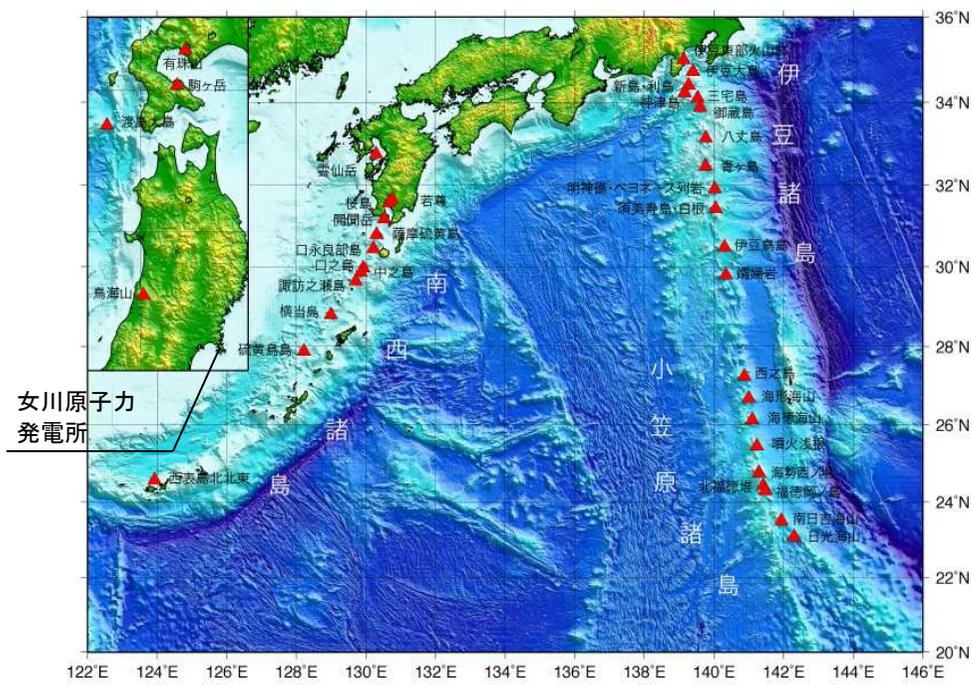
【調査した文献】

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

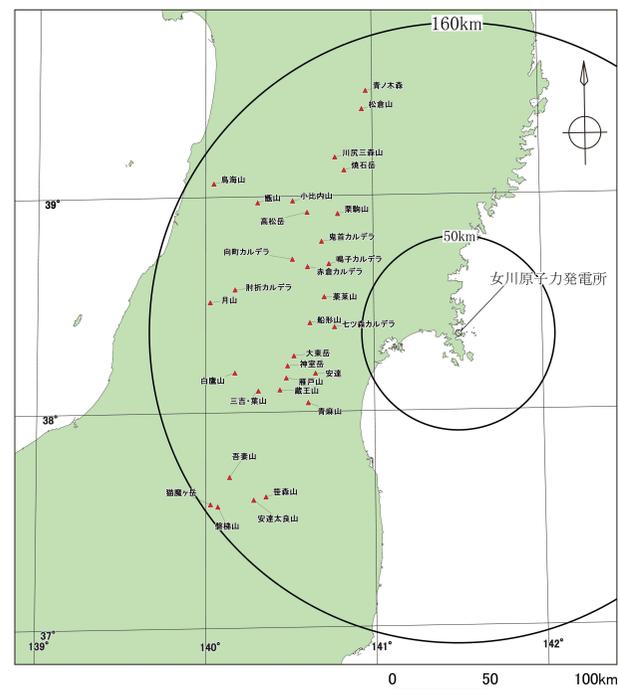
2. 火山現象に起因する津波の評価

2.2 火山現象に起因する津波の評価結果

- 海上保安庁の海域火山データベース及び産業技術総合研究所の「日本の火山(第3版)」によれば、敷地周辺および前面海域に津波を発生させる火山は認められない。



海域の火山
(海上保安庁(2013)に一部加筆)



敷地を中心とする半径160km範囲の陸域の第四紀火山
(産業技術総合研究所編(2013)に一部加筆)



以上より、火山現象に起因する津波の影響は極めて小さいと考えられる。

参考文献

参考文献①

- (1) 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
- (2) 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
- (3) 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
- (4) 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
- (5) 阿部勝征(1999): 遡上高を用いた津波マグニチュード M_t の決定ー歴史津波への応用ー, 地震第2輯, 第52巻, pp.369-377
- (6) 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
- (7) JASCHA POLET, H. KANAMORI(2009): Tsunami Earthquake, Encyclopedia of Complexity and Systems Science 2009, pp 9577-9592
- (8) 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, pp231-243
- (9) 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
- (10) 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.Ujiie, 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
- (11) 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
- (12) 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
- (13) 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
- (14) 今村文彦(2003): 津波地震で発生した津波ー環太平洋での事例ー, 月刊 地球, Vol.25, No.5
- (15) Tsuru Tetsuro, Jin-Oh Park, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira, Yukari Kido, and 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
- (16) Yuichiro Tanioka, Tetsuzo Seno(2001): Sediment effect on tsunami generation of the 1896 Sanriku tsunami earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 28, No.17, pp.3389-3392
- (17) 谷岡勇市郎・佐竹健治(2003): 津波地震の発生メカニズム, 月刊 地球, Vol.25, No.5
- (18) 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

参考文献②

- (19) Yuichiro Tanioka, Kenji Satake (1996) : Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol.23, No.13, pp1549-1552
- (20) 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
- (21) 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
- (22) Jose A. Alvarez-Gomez, Omar Q. Gutierrez Gutierrez, Inigo Aniel-Quiroga, M. Gonzalez (2012) : Tsunamigenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America, Tectonophysics 574-575, 133-143
- (23) Thorne Lay, Charles J. Ammon, Hiroo Kanamori, Marina J. Kim, and Lian Xue (2011) : Outer trench-slope faulting and the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 713-718
- (24) 岩淵洋(2013) : 日本海溝海側斜面における地殻伸張速度及びそこで発生する正断層地震について, 海洋情報部研究報告第50号
- (25) 地震調査研究推進本部(2009) : 付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- (26) Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971) : The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1433-1440
- (27) 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
- (28) 阿部勝征(1989) : 地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
- (29) 武村雅之(1998) : 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震第2輯, 第51巻, pp.211-228
- (30) 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
- (31) 渡辺偉夫(1998) : 日本被害津波総覧[第2版], 東京大学出版会
- (32) 気象庁(1951 ~ 2010) : 地震月報ほか
- (33) 国立天文台編(2013) : 理科年表, 平成25年, 丸善
- (34) 防災科学技術研究所(2009) : 地すべり地形分布図 第40集「一関・石巻」, 防災科学技術研究所研究資料, 第325
- (35) 日本地すべり学会東北支部(1992) : 東北の地すべり・地すべり地形
- (36) 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
- (37) 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
- (38) 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, pp112-116

参考文献③

- (39) M.Canals, G.Lastras, R.Urgeles, J.L.Casamor, J.Mienert, A.Cattaneo, M.De Batist, H.Haflidason, 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,pp9-72
- (40)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, p221-232
- (41)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
- (42) 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
- (43)岸本清行(2000):海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成:Japan250m.grd, 地質調査所研究資料集353, 地質調査所
- (44)海上保安庁(2013):海域火山データベース, 海洋情報部, (<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>)
- (45)産業技術総合研究所編(2013):日本の火山(第3版)