

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第5条（津波による損傷の防止）

2023年3月10日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所高速実験炉部

第5条：津波による損傷の防止

目次

1. 要求事項の整理
2. 設置許可申請書における記載
3. 設置許可申請書の添付書類における記載
 - 3.1 安全設計方針
 - 3.2 気象等
 - 3.3 設備等
4. 要求事項への適合性
 - 4.1 立地上の余裕に対する検討
 - 4.2 耐津波設計
 - 4.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第5条）への適合性説明

(別紙)

- 別紙1：施設への津波の到達可能性に係る検討
- 別紙2：敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の高さの評価結果の概要
- 別紙3：放水路からの流入リスクに係る検討

(添付)

- 添付1：設置許可申請書における記載
- 添付2：設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）
- 添付3：設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）
- 添付4：設置許可申請書の添付書類における記載（気象等）

< 概 要 >

試験研究用等原子炉施設の設置許可基準規則の要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する高速実験炉原子炉施設の適合性を示す。

1. 要求事項の整理

試験炉設置許可基準規則第 5 条における要求事項等を第 1.1 表に示す。本要求事項は、新規制基準における追加要求事項に該当する。

第 1.1 表 試験炉設置許可基準規則第 5 条における要求事項
及び本申請における変更の有無

要求事項	変更の有無
<p>1 試験研究用等原子炉施設は、その供用中に当該試験研究用等原子炉施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <p>1 Sクラスに属する施設を有する試験研究用等原子炉施設にあつては、第 5 条の「大きな影響を及ぼすおそれがある津波」は、実用炉設置許可基準解釈第 5 条 1 及び 2 により策定すること。</p> <p>2 Sクラスに属する施設を有しない試験研究用等原子炉施設にあつては、敷地及びその周辺における過去の記録、現地調査の結果、行政機関により評価された津波及び最新の科学的・技術的知見を踏まえた影響が最も大きい津波とする。</p> <p>3 Sクラスに属する施設を有する試験研究用等原子炉施設（水冷却型研究炉及び臨界実験装置に係る試験研究用等原子炉施設以外のものに限る。）にあつては、第 5 条の「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、実用炉設置許可基準解釈第 5 条 3 によること。</p> <p>4 Sクラスに属する施設を有する試験研究用等原子炉施設（水冷却型研究炉及び臨界実験装置に係る試験研究用等原子炉施設に限る。）若しくは B クラス又は C クラスに属する施設を有する試験研究用等原子炉施設にあつては、第 5 条の「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、1 又は 2 の津波に対する設計に当たっては、以下の方針によること。</p> <p>一 試験研究用等原子炉施設の安全性を確保する上で必要な施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）は津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置すること。</p> <p>二 津波による遡上波が到達する高さにある場合には、遡上波によって臨界防止等の安全機能を損なうおそれがないこと。「安全機能を損なうおそれがないもの」とは、遡上波による安全機能への影響を評価し、施設の一部の機能が損なわれることがあっても、試験研究用等原子炉施設全体としては、臨界防止等の機能が確保されることを確認することをいう。なお、「安全機能を損なうおそれがないもの」には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置して、遡上波の到達又は流入を防止することも含む。</p> <p>5 上記 4 において、遡上波の到達を検討するに当たっては、実用炉設置許可基準解釈第 5 条 3 の一の②の方針を参考とすること。</p> <p>6 上記 4 の二の津波防護施設及び浸水防止設備を設置する場合は実用炉設置許可基準解釈第 5 条 3 の二及び五から七までの方針によること。</p>	有

2. 設置許可申請書における記載

添付 1 参照

3. 設置許可申請書の添付書類における記載

3.1 安全設計方針

(1) 設計方針

添付 2 参照

(2) 適合性

添付 3 参照

3.2 気象等

添付 4 参照

3.3 設備等

該当なし

※ 添付の朱書き：審査進捗を踏まえて記載を見直す箇所

4. 要求事項への適合性

4.1 立地上の余裕に対する検討

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の評価結果（敷地前面海岸の範囲内最大で T.P. +16.9m）に対し、潮位のばらつき、高潮及び断層の破壊伝播現象が水位上昇側に与える影響の評価（水位に+0.9m 加算）を考慮しても津波高さは T.P. +17.8m であり、津波が T.P. +30m 地点まで到達する可能性はなく、T.P. +約 35m～+約 40m に設置される原子炉施設には津波による影響はない【施設への津波の到達可能性に係る検討：別紙 1】。

4.2 耐津波設計

原子炉施設は、丘陵地帯の台地に位置するため、津波により重大な影響を受けるおそれがないことから、津波による損傷の防止は設計上考慮しない。

4.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第5条）への適合性説明

（津波による損傷の防止）

第五条 試験研究用等原子炉施設は、その供用中に当該試験研究用等原子炉施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合のための設計方針

津波による影響については、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適切な波源を想定し、津波の遡上による敷地への影響を確認する。また、津波発生要因として、地震のほか、地すべり、斜面崩壊等地震以外の要因も検討し、不確かさを考慮した数値解析により評価を実施する。

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波は、プレート間地震による「茨城県沖から房総沖に想定する津波」であり、津波高さは、敷地前面海岸の範囲内最大で T.P. +16.9m である。また、潮位のばらつき、高潮及び断層の破壊伝播現象が水位上昇側に与える影響として +0.9m を評価した結果を考慮しても津波高さは T.P. +17.8m である【敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の高さの評価結果の概要：別紙 2】。

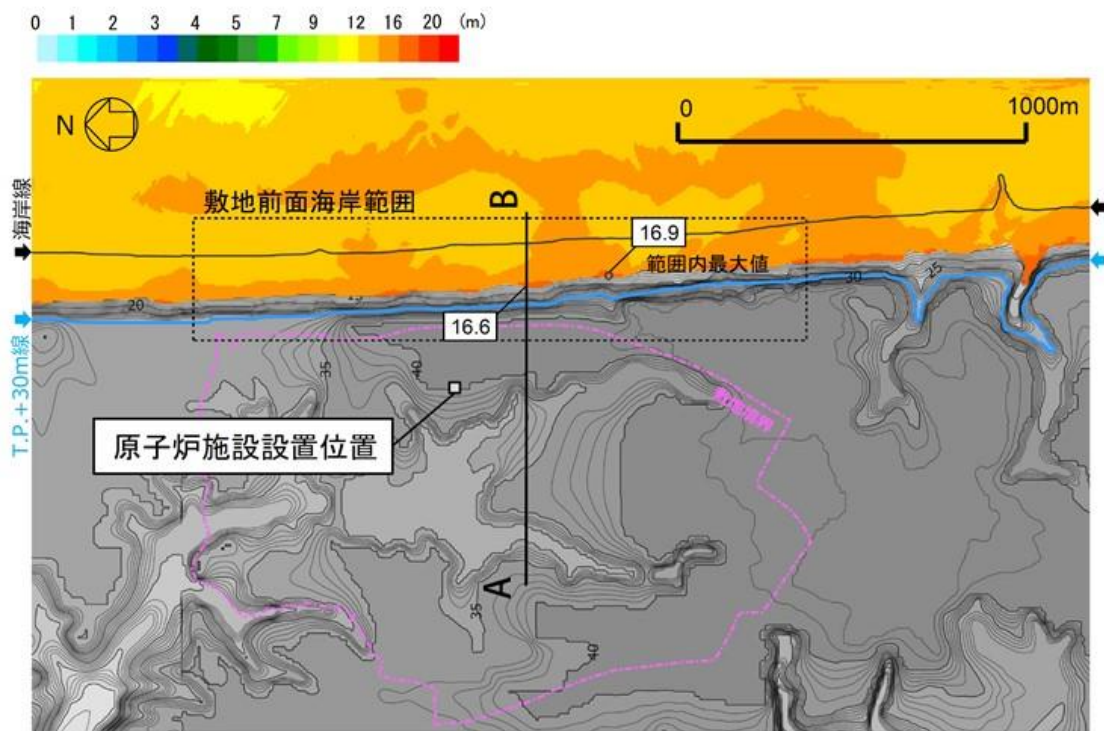
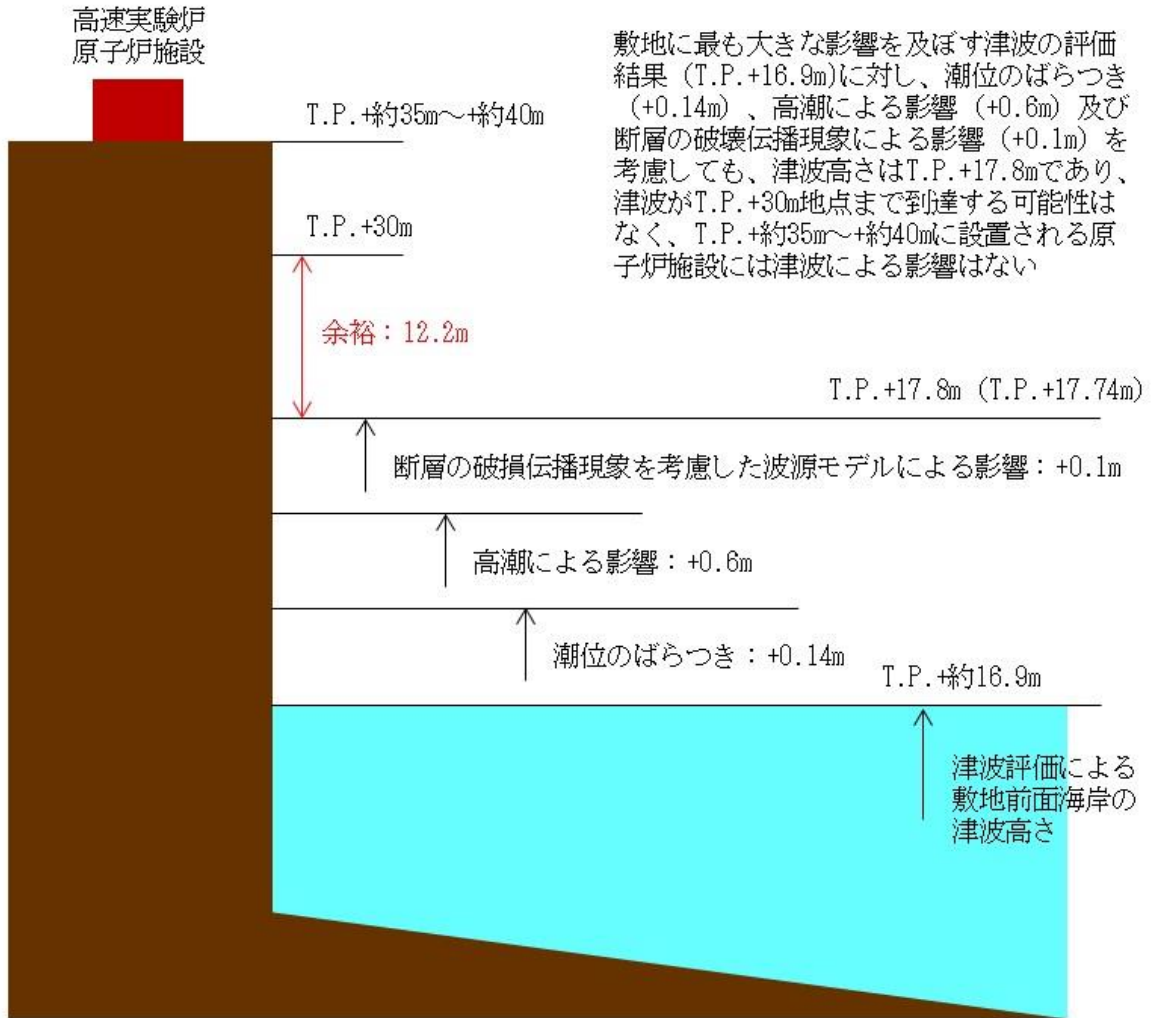
原子炉施設は、丘陵地帯の台地に位置し、T.P. +約 35m～+約 40m に設置するため、津波により重大な影響を受けるおそれがないことから、津波による損傷の防止は設計上考慮しない【放水路からの流入リスクに係る検討：別紙 3】。

施設への津波の到達可能性に係る検討

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波は、プレート間地震による「茨城県沖から房総沖に想定する津波」である。この波源による津波高さは敷地前面海岸の範囲内最大で T. P. +16.9m である。

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の評価結果(敷地前面海岸の範囲内最大で T. P. +16.9m)に対し、潮位のばらつき、高潮及び断層の破壊伝播現象が水位上昇側に与える影響の評価(水位に+0.9m 加算)を考慮しても津波高さは T. P. +17.8m であり、津波が T. P. +30m 地点まで到達する可能性はなく、T. P. +約 35m~+約 40m に設置される原子炉施設には津波による影響はない(原子炉設置変更許可申請書添付書類六参照)。

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の高さの評価結果の概要

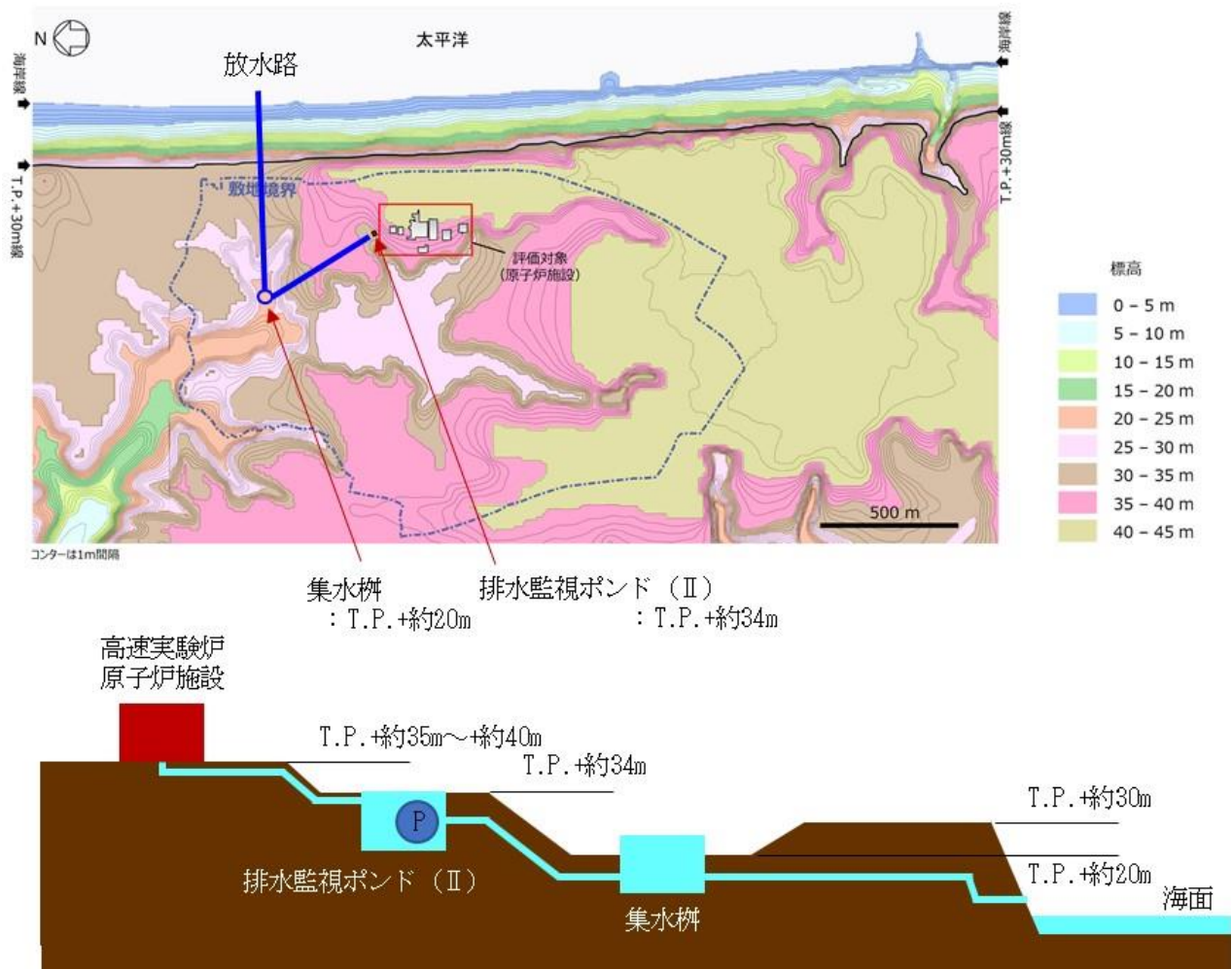


津波高さ分布図

放水路からの流入リスクに係る検討

「常陽」は、海からの取水設備を有しない。放水経路として、大洗研究所には、集水桝及び放水路がある。「常陽」では、排水監視ポンド（Ⅱ）に集約した水を、集水桝・放水路を介して、敷地外に放出する。なお、集水桝及び放水路は、「一般」の施設に区分される。

下図に示すように、排水監視ポンド（Ⅱ）及び集水桝は、原子炉施設よりも低地に位置し、開放された構造を有する。津波が、放水路から逆流し、原子炉施設に到達することはない。



添付 1 設置許可申請書における記載

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ロ. 試験研究用等原子炉施設の一般構造

(2) 耐津波構造

原子炉施設は、丘陵地帯の台地に位置するため、津波により重大な影響を受けるおそれがないことから、津波による損傷の防止は設計上考慮しない。

添付 2 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.4 耐津波設計

原子炉施設は、丘陵地帯の台地に位置するため、津波により重大な影響を受けるおそれがないことから、津波による損傷の防止は設計上考慮しない。

添付3 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.8 「設置許可基準規則」への適合

原子炉施設は、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。各条文に対する適合のための設計方針は次のとおりである。

(津波による損傷の防止)

第五条 試験研究用等原子炉施設は、その供用中に当該試験研究用等原子炉施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合のための設計方針

津波による影響については、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適切な波源を想定し、津波の遡上による敷地への影響を確認する。また、津波発生 の 要 因 として、地震のほか、地すべり、斜面崩壊等地震以外の要因も検討し、不確かさを考慮した数値解析により評価を実施する。

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波は、プレート間地震による「茨城県沖から房総沖に想定する津波」であり、津波高さは、敷地前面海岸の範囲内最大で T.P. +16.9m である。また、潮位のばらつき、高潮及び断層の破壊伝播現象が水位上昇側に与える影響として +0.9m を評価した結果を考慮しても津波高さは T.P. +17.8m である。

原子炉施設は、丘陵地帯の台地に位置し、T.P. +約 35m～+約 40m に設置するため、津波により重大な影響を受けるおそれがないことから、津波による損傷の防止は設計上考慮しない。

添付書類六の以下の項目参照
7. 津波

添付書類八の以下の項目参照
1. 安全設計の考え方

添付4 設置許可申請書の添付書類における記載（気象等）

添付書類六

7. 津波

7.1 概要

7.1.1 施設の立地的特徴

原子炉施設が設置される大洗研究所の敷地は、T.P.+30 m～40 m の台地を有し、敷地の東側前面には太平洋に面して T.P.+30 m 以上の段丘崖が分布している。

原子炉施設は T.P.+約 35 m～+約 40 m の台地（海岸から約 400 m 付近）に設置されており、S クラス施設は原子炉建物・原子炉附属建物及び主冷却機建物に位置する。

敷地の概況を第 7.1.1 図に示す。

7.1.2 津波評価方針

津波による施設への影響を確認するため、施設の立地的特徴を踏まえて、津波の遡上評価を行う。

評価対象施設は原子炉施設とする。また原子炉施設は海からの取水がなく、取水性に関する水位下降側の評価が不要であるため、水位上昇側の評価のみを行う。

評価にあたっては、大洗研究所の敷地前面には T.P.+30 m 以上の段丘崖が分布することから、保守的に T.P.+30 m への津波の遡上について検討する。また遡上評価により確認される立地上の余裕に対し、さらなる影響検討を行い、施設への津波の到達可能性を検討する。

7.2 文献調査

7.2.1 敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波

敷地周辺の既往津波について文献調査を実施した。既往津波に関する主な文献としては、渡辺(1985)⁽¹⁾、渡辺(1998)⁽²⁾、宇佐美ほか(2013)⁽³⁾、宇津ほか編(2001)⁽⁴⁾、羽鳥(1975)⁽⁵⁾、羽鳥(1987)⁽⁶⁾、竹内ほか(2007)⁽⁷⁾、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)⁽⁸⁾、国立天文台編(2013)⁽⁹⁾、Ioki and Tanioka (2016)⁽¹⁰⁾、気象庁の発表等がある。

文献調査によると、敷地周辺に影響を与えたと考えられる津波には、1677 年延宝房総沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震がある。

竹内ほか(2007)⁽⁷⁾によると、1677 年延宝房総沖地震は福島県、茨城県沿岸では記録の残っている最大の津波であり、水戸紀年、大洗地方史、玄蕃先代集乾等の史料による建物被害等の記載から津波浸水高を推定しており、茨城県磯浜村（現大洗町）で 5.0 m～6.0 m 以上としている。2011 年東北地方太平洋沖地震については、敷地近傍で約 7 m の津波痕跡高が確認されている。既往津波に関する文献調査結果を第 7.2.1 表及び第 7.2.1 図に示す。

津波堆積物及び地震以外を要因とする津波に関する文献調査^{(11)～(18)}によると、茨城県日立市十王町及び千葉県銚子市で津波堆積物が確認されている。

澤井(2012)⁽¹¹⁾及び Sawai et al. (2012)⁽¹²⁾によると、茨城県日立市十王町で確認された津波堆積物から3回のイベントが推定され、いずれも河川近傍の T.P. +5 m 以下の低地で検出されている。3回のイベントのうち、文献記録と対比できるのは、1677年延宝房総沖地震津波のみである。

Yanagisawa et al. (2016)⁽¹³⁾は、古文書及び津波堆積物調査に基づき、1677年延宝房総沖地震津波が千葉県銚子市の小畑池(T.P. +11.3 m)に浸水したと解釈している。

7.2.2 行政機関による津波評価

行政機関による津波評価については、岩手県(2022)⁽¹⁹⁾、宮城県(2022)⁽²⁰⁾、福島県(2019)⁽²¹⁾、茨城県(2012)⁽²²⁾、千葉県(2018)⁽²³⁾、内閣府(2020, 2022)^{(24) (25)}等がある。このうち、茨城県(2012)⁽²²⁾では、東北地方太平洋沖地震津波及びH23想定津波(茨城県が平成19年に想定した「延宝房総沖地震津波」の波源域等を参考とした津波)を波源とするL2津波を評価しており、茨城県沿岸における浸水深分布図が示されている。内閣府(2020, 2022)^{(24) (25)}では、避難を軸とした総合的な津波対策の検討のため、最大クラスの津波波源(日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル)が評価されており、茨城県沿岸における浸水深分布図が示されている。

7.2.3 潮位

敷地近傍では潮位の観測が実施されていないため、茨城県(2012)⁽²²⁾において茨城沿岸の朔望平均満潮位として設定されている T.P. +0.7 m を「7. 津波」における想定津波の水位評価の潮位条件として適用した。

7.3 地震に起因する津波の評価

敷地に影響を与える可能性がある地震に伴う津波として、プレート間地震及び海洋プレート内地震に伴う津波並びに敷地周辺の海域活断層による地殻内地震に伴う津波を考慮した。

水位変動の評価は、土木学会(2016)⁽²⁶⁾を参考に実施した。

7.3.1 プレート間地震に起因する津波

7.3.1.1 検討対象領域の選定

プレート間地震に起因する津波のうち、千島海溝沿い及び伊豆・小笠原海溝沿いの領域については、既往津波の記録、波源の位置と伝播の指向性を考慮すると敷地への影響が小さいことから、近地津波については過去に敷地へ比較的大きな影響を及ぼした日本海溝沿いの領域を対象に、津波波源を検討した。

遠地津波については、過去に敷地へ最も大きな影響を及ぼしたと考えられる1960年チリ地震津波の津波波源を代表として再現解析を行い、敷地への影響が小さいことを確認した。津波モデルの設定を第7.3.1図、数値シミュレーションの計算条件及び計算領域を第7.3.1表及び第7.3.2図、評価結果を第7.3.3図に示す。

7.3.1.2 津波波源の設定に反映する知見の分析

プレート間地震について、最新の知見である 2011 年東北地方太平洋沖地震に関連する知見を対象に文献調査^{(27)~(52)}を実施し、2011 年東北地方太平洋沖地震の特徴について、破壊領域、すべり、地震の発生メカニズム及び発生確率に関する情報に着目して分析を行った。

(1) 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する知見

固着の程度とすべりについては、大きなすべりが生じた領域は、固着の程度が大きい領域に対応しており、海溝軸付近では大きなすべりを生じた（オーバーシュートが生じた）領域が見られ、遠洋性粘土層が連続的に分布している領域に対応しているという見解が示されている。茨城県沖北端付近では、海溝軸から海山が沈み込み、遠洋性粘土層を分断しているという見解が示されている。

固着の程度と破壊伝播については、固着の程度が小さい領域が破壊伝播のバリアとなっているという見解が示されている。また北米プレートとフィリピン海プレートの境界が余震を含む破壊伝播のバリアとして作用しているという見解が示されている。

地震の発生メカニズムについては、地震前後で応力状態が圧縮状態から引張状態へ変化したことから、三陸沖中部～福島県沖に蓄積されていた巨大地震を引き起こす歪みはほぼ完全に解消されたという見解が示されている。また、津波堆積物調査結果等から、過去に同規模の巨大地震が数百年間隔で発生しているという見解が示されている。

(2) 2011 年東北地方太平洋沖型地震の特徴

「(1) 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する知見」を踏まえ、2011 年東北地方太平洋沖地震の特徴について整理した。

破壊領域については、複数の領域が連動して破壊した傾向が見られ、余震を含む破壊領域の南限は、北米プレートとフィリピン海プレートの境界に位置している傾向が見られる。

すべりについては、不均一性が認められ、大きなすべりが生じた領域は三陸沖中部の一部、宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖の一部の 4 領域及びその沖合の海溝軸付近である傾向が見られる。

地震のメカニズムについては、地震の前後でプレート境界上盤側で発生する地震のメカニズムが大きく変化した傾向が見られる。

7.3.1.3 津波波源の設定

「7.3.1.2 津波波源の設定に反映する知見の分析」を踏まえて、2つの津波波源を設定した。

(1) 東北地方太平洋沖型の津波波源

日本海溝沿いで生じた地震津波のうち、2011 年東北地方太平洋沖地震による津波が敷地に比較的大きな影響を及ぼしたことを踏まえ、東北地方太平洋沖型の津波波源

を設定した。東北地方太平洋沖型の津波波源で大きなすべりが生じる領域は、三陸沖中部から福島県沖及びその沖合の海溝軸付近の領域とした。

津波波源の設定結果を第 7.3.4 図に示す。

(2) 茨城県沖に想定する津波波源

日本海溝沿いで生じた地震津波のうち、1677 年延宝房総沖地震による津波が敷地に比較的大きな影響を及ぼしたことを踏まえ、茨城県沖に想定する津波波源を設定した。茨城県沖に想定する津波波源については、2011 年東北地方太平洋沖地震で大きなすべりが生じていない領域とした。領域の南限については、北米プレートとフィリピン海プレートの境界とした。

津波波源の設定結果を第 7.3.4 図に示す。

7.3.1.4 津波評価

(1) 既往津波の再現性の確認

水位評価にあたり、解析モデル及び計算手法の妥当性について、既往津波の再現計算により確認した。再現計算では、敷地に比較的大きな影響を及ぼしたと考えられ、津波痕跡高の記録も多い 2011 年東北地方太平洋沖地震津波を対象とし、特性化波源モデルを設定した。

特性化波源モデルの断層面積は、杉野ほか(2014)⁽⁵³⁾を参考に設定した。平均すべり量については、地震の規模に関するスケーリング則と地震モーメントの定義式から算定した。その際の平均応力降下量については、内閣府(2012a)⁽⁵⁴⁾及び Murotani et al.(2013)⁽⁵⁵⁾の知見を踏まえて 3.0 MPa を設定した。また、剛性率については、2011 年東北地方太平洋沖地震のインバージョン解析結果から算出した $4.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ を設定した。

すべり量の不均一性については、杉野ほか(2014)⁽⁵³⁾を参考に、超大すべり域、大すべり域及び背景領域のすべり量をそれぞれ平均すべり量の 3 倍、1.4 倍、0.33 倍に、面積をそれぞれ全体の面積の 15%、25%、60%となるように設定した。超大すべり域及び大すべり域の位置については、海溝軸付近に配置した。特性化波源モデルの諸元を第 7.3.5 図に示す。

再現性は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)⁽⁸⁾及び敷地内で実施した痕跡高調査結果を用いて評価を実施した。再現性の指標としては、相田(1977)⁽⁵⁶⁾による痕跡高と津波シミュレーションにより計算された津波高さとの比から求める幾何学平均値 K 及びバラツキを表す指標 κ を用いることとし、土木学会(2016)⁽²⁶⁾において再現性の目安とされている「 $0.95 < K < 1.05$ 、 $\kappa < 1.45$ 」を参考とした。

数値シミュレーションの計算条件及び計算格子を第 7.3.2 表及び第 7.3.6 図に示す。

東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)⁽⁸⁾及び敷地内で確認された痕跡高と津波シミュレーションによる津波高さとの比較を第 7.3.7 図に示す。

設定した特性化波源モデルは、青森県北部から千葉県南部の痕跡高に対して計算値の方が大きくなっているが幾何平均($K = 0.93$)、幾何標準偏差($\kappa = 1.42$)は土木学会(2016)⁽²⁶⁾の目安値を満足している。

(2) 敷地への影響が大きい津波波源の選定

東北地方太平洋沖型の津波波源及び茨城県沖に想定する津波波源による津波が敷地周辺に与える影響について、敷地北方の沿岸部で影響を比較した。

東北地方太平洋沖型の津波波源については、2011年東北地方太平洋沖地震の再現性が確認されている特性化波源モデルを基に設定し、超大すべり域及び大すべり域の位置について、2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえて、三陸沖中部から福島県沖の範囲で南北に移動させ、津波波源の不確かさを考慮して評価した。

茨城県沖に想定する津波波源については、保守性を考慮して茨城県沖から房総沖を波源領域とし、超大すべり域及び大すべり域の位置について、茨城県沖から房総沖の範囲で南北に移動させ、津波波源の不確かさを考慮して評価した。

検討結果を第7.3.8図に示す。敷地北方の沿岸部において、東北地方太平洋沖型の津波波源による津波高さはT.P.+8.1m、茨城県沖に想定する津波波源による津波高さはT.P.+12.6mであることから、茨城県沖に想定する津波波源を敷地への影響が大きいプレート間地震に起因する津波の波源として選定し、敷地前面海岸における津波の遡上を詳細に評価することとした。

(3) 茨城県沖に想定する津波波源に関する評価

a. 津波モデルの設定

茨城県沖に想定する津波波源については、固着の程度が小さい領域に大きなすべりを生じる津波波源を想定した。ただし、波源領域の北限については、断層面積が大きくなるように福島県沖の一部まで拡張して考慮した。ここで波源領域の南限を、Uchida et al. (2009)⁽⁵⁷⁾及び地震調査研究推進本部(2019)⁽⁵⁸⁾に基づく北米プレートとフィリピン海プレートの構造境界とすると、茨城県沖から房総沖の一部の領域において、モーメントマグニチュードMw8.5となる「茨城県沖に想定する津波波源」が想定できるが、さらに保守性を考慮し、波源の南限を拡張したモーメントマグニチュードMw8.7の「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を評価した。また、すべり量の不均一性について超大すべり域を設定し、杉野ほか(2014)⁽⁵³⁾による考え方よりも保守的になるように、超大すべり域、大すべり域及び背景領域のすべり量をそれぞれ平均すべり量の4倍、2倍、0.62倍に、面積をそれぞれ全体の面積の5%、15%、80%となるように設定した。超大すべり域及び大すべり域の位置については、海溝軸付近に配置した。

なお、応力降下量及び剛性率については、「(1) 既往津波の再現性の確認」と同様とした。

以上の設定を踏まえ、保守性を考慮したモーメントマグニチュードMw8.7の津波波源、「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を評価した。

特性化波源モデルの諸元を第 7.3.9 図に示す。

b. 数値シミュレーション

数値シミュレーションの計算条件を第 7.3.3 表に示す。また計算格子について第 7.3.10 図に示す。なお、施設への津波の遡上評価は、敷地前面海岸に T.P. +30 m 以上の段丘崖が分布することから、T.P. +30 m への津波の遡上に着目して評価を実施した。

津波高さは、敷地前面海岸に評価範囲を設定し、範囲内の最大値を評価した。敷地前面海岸の評価範囲について、第 7.3.11 図に示す。

c. パラメータスタディ

大すべり域の形状を変えた 2 パターンのモデルを選定し、超大すべり域及び大すべり域の位置について茨城県沖から房総沖の範囲で南北に移動させ、波源位置の不確かさを考慮した。

評価結果を第 7.3.4 表に示す。敷地への影響が最も大きくなるケースでの津波高さは、敷地前面海岸の範囲内最大で T.P. +16.9 m となった。

7.3.2 海洋プレート内地震に起因する津波

7.3.2.1 津波波源の設定

波源の設定に当たり、文献調査^{(59)~(62)}を実施した。Álvarez-Gómez et al. (2012)⁽⁵⁹⁾に基づけば、1933 年昭和三陸地震は国内外で最大規模の海洋プレート内地震である。また、地震調査研究推進本部(2012)⁽³⁹⁾は、次の地震の規模を 1933 年昭和三陸地震と同等と評価している。これらを踏まえ、津波波源の設定については 1933 年昭和三陸地震津波を基本とした。

発生領域については、地震調査研究推進本部(2012)⁽³⁹⁾によると 1933 年昭和三陸地震と同様な地震が三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの領域内のどこでも発生していることを踏まえ、三陸沖北部から房総沖までとした。

7.3.2.2 津波評価

(1) 波源モデルの設定

1933 年昭和三陸地震津波の波源モデルについては、土木学会(2011)⁽⁶⁰⁾、2016⁽²⁶⁾を参考に設定した。なお、波源モデルについては、土木学会(2016)⁽²⁶⁾において 1611 年の津波が海洋プレート内地震であった場合の地震規模を Mw8.6 として評価していることを踏まえ、保守的に Mw8.6 にスケーリングした一様断層モデルとした。波源モデルの諸元を第 7.3.12 図に示す。

(2) 数値シミュレーション

数値シミュレーションの計算条件及び計算格子については、「7.3.1.4 津波評価 (3) 茨城県沖に想定する津波波源に関する評価 b. 数値シミュレーション」と同様とした。ただし、立ち上がり時間については0秒とした。

(3) パラメータスタディ

三陸沖北部から房総沖までの範囲で、断層の位置及び走向の変動を設定し、不確かさを考慮した。パラメータスタディの設定について、第7.3.13図に示す。

評価結果を第7.3.5表に示す。敷地への影響が最も大きくなるケースでの津波高さは、敷地前面海岸の範囲内最大でT.P.+5.9mとなった。

7.3.3 海域活断層による地殻内地震に起因する津波

7.3.3.1 津波波源の設定

「3. 地盤」における調査結果における評価に基づき、津波波源を設定した。

7.3.3.2 津波評価

阿部(1989)⁽⁶³⁾の簡易予測式による推定津波高の比較により、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる津波波源を抽出した。

阿部(1989)⁽⁶³⁾の簡易予測式で用いた津波波源の諸元及び津波高の比較結果を第7.3.6表及び第7.3.14図に示す。

評価の結果、海域活断層で波高が最も高くなるのはF3断層～F4断層の同時活動による津波と推定され、その推定津波高は2.9mとなった。

7.3.4 地震に起因する津波の評価のまとめ

各津波波源による津波の影響を比較した結果、地震に起因する津波のうち、敷地に最も影響を与える地震津波はプレート間地震による津波である。なお、海洋プレート内地震及び海域の活断層については、プレート間地震の水位評価結果と比較して、津波高さが小さいことから、詳細検討を省略した。

プレート間地震による津波高さは、敷地前面海岸の範囲内最大でT.P.+16.9mであり、遡上検討位置での津波高さではT.P.+16.6mである。

7.4 地震以外に起因する津波の評価

敷地に影響を与える可能性がある地震以外に起因する津波として、陸上及び海底での地すべり並びに斜面崩壊に起因する津波、火山現象に起因する津波を考慮した。

7.4.1 陸上及び海底での地すべり並びに斜面崩壊に起因する津波

文献調査の結果、敷地周辺における陸域及び海底で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。

塩屋埼から犬吠埼の範囲における陸域の地すべりに関する文献では、防災科学技術研究所(2004)⁽⁶⁴⁾によって敷地の南方に地すべり地形が示されている。空中写真判読及び国土

地理院 5mDEM による地形判読を実施した結果、敷地に影響を及ぼす津波を引き起こす可能性のある陸上の地すべり及び斜面崩壊の地形は認められなかった。地形判読結果を第 7.4.1 図に示す。

海底地すべりに関する文献では、徳山ほか(2001)⁽⁶⁵⁾に、いわきの沖合に海底地すべり地形が示されている。徳山ほか(2001)⁽⁶⁵⁾が示す地すべりを含む範囲について、一般財団法人日本水路協会発行の海底地形デジタルデータ M7000 シリーズを用いた 150mDEM データにより海底地すべり地形判読調査を実施した結果、海底地すべり地形は判読されなかった(第 7.4.2 図)。また、産業技術総合研究所(2015)⁽⁶⁶⁾による東日本沖太平洋海域(GH762)の音波探査記録(サブボトムプロファイラー)を用いて、池原ほか(1990)⁽⁶⁷⁾に示される考え方にに基づき海底地すべりの検討を実施した結果、徳山ほか(2001)⁽⁶⁵⁾に図示された海底地すべりは層相 2(砂質堆積物)に区分され、海底地すべりを示唆する特徴的な構造は確認されなかった(第 7.4.3 図)。したがって、徳山ほか(2001)⁽⁶⁵⁾に図示された位置に海底地すべりはないものと判断した。また「3. 地盤」に示される敷地前面海域の海底地形の判読を実施した結果、海底地すべりの可能性のある地形は認められなかった。

以上のことから、陸域及び海底での地すべり並びに斜面崩壊に起因する津波について、敷地への影響はない。

なお、文献調査の結果、Moore et al. (1989)⁽⁶⁸⁾によれば、ハワイ諸島では過去に複数の海底地すべりが発生したことが示されている。過去に発生した海底地すべりの中から、後期更新世以降に発生して巨大津波を伴った可能性があり、面積の大きいハワイ島西部の海底地すべりを評価対象として選定した。

選定した地すべりについて、ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部(SOEST)による地形デジタルデータ(50m グリッド)を用いて地すべり規模(体積)を算出し、Papadopoulos and Kortekaas(2003)⁽⁶⁹⁾に示されている地すべりの体積と津波水位の関係を参考に日本沿岸における水位を推定した結果、敷地への影響は小さいことを確認した。

7.4.2 火山現象に起因する津波

敷地周辺において、火山現象による歴史津波の記録はなく、海底活火山の存在も認められない(「8. 火山」参照)ことから、火山現象に起因する津波について、敷地への影響はない。

なお、阿部・平野(2007)⁽⁷⁰⁾によると、三陸沖で沈み込む太平洋プレート(海洋プレート)上でこれまで分かっている火山活動とは異なる、新しいタイプの火山(プチスポット)の存在が示されている。過去に海中噴火が発生していることから、海中噴火に伴う津波について、平野(2007)⁽⁷¹⁾等々に示されているプチスポットの特徴(第 7.4.1 表)を踏まえ、Levin and Nosov(2009)⁽⁷²⁾の海底火山からの噴出物により発生する水位の推定方法を用いて津波水位を評価した。その結果、敷地への影響は小さいことを確認した。

7.4.3 地震以外に起因する津波の評価のまとめ

前節までの検討から、地震以外に起因する津波については、地震に起因する津波と比較して敷地への影響は十分に小さい。

7.5 津波発生要因の組み合わせの検討

「7.3 地震に起因する津波の評価」及び「7.4 地震以外に起因する津波の評価」を踏まえ、津波発生要因の組み合わせについて検討した結果、地震以外に起因する津波の敷地への影響は地震に起因する津波と比較して十分に小さいことから、地震に起因する津波と地震以外に起因する津波の組み合わせの必要はないと評価した。

7.6 施設への津波の遡上評価

以上の検討結果から、敷地に最も大きな影響を及ぼす津波は、プレート間地震による「茨城県沖から房総沖に想定する津波」である。この波源による津波高さは敷地前面海岸の範囲内最大で T.P.+16.9 m であり、T.P.+30 m まで津波が到達しないことから、立地上の余裕を確認した。評価結果について第 7.6.1 図に示す。

なお、選定された波源による津波高さは、過去に敷地に襲来した津波(2011 年東北地方太平洋沖地震津波)を上回っており、また選定された波源と同規模の津波波源による遡上域が、津波堆積物調査結果等(竹内他(2007)⁽⁷⁾、澤井(2012)⁽¹¹⁾、Sawai et al.(2012)⁽¹²⁾及び Yanagisawa et al.(2016)⁽¹³⁾)を上回っていることから、敷地周辺における津波堆積物等の地質学的証拠及び歴史記録等から推定される津波の規模を超えていることを確認した。また、行政機関による既往評価との比較として茨城県(2012)⁽²²⁾評価、内閣府(2020, 2022)^{(24) (25)}評価を上回ることを確認した。地質学的証拠及び歴史記録等による確認結果を第 7.6.2 図に、行政機関による既往評価との比較を第 7.6.3 図に示す。

7.7 立地上の余裕に対する検討

これまでの評価で確認された立地上の余裕を踏まえ、敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の評価結果に対し、潮位のばらつき、高潮及び断層の破壊伝播現象が水位上昇側に与える影響を評価し、施設への津波の到達可能性について検討した。

検討にあたっては、潮位のばらつきについては、敷地近傍では潮位の観測が実施されていないため、茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)の潮位観測データ(平成 18 年～平成 22 年)に基づき朔望平均満潮位とその標準偏差を求め、影響を評価した。

高潮による影響については、最高潮位の年超過発生確率から再現期間 100 年の期待値を算出した。年超過確率は茨城港常陸那珂港区(茨城港日立港区)の潮位観測データ(40 年分)を用いて、極値統計解析により評価した。

断層の破壊伝播現象の影響については、茨城県沖から房総沖に想定する津波波源の特性化モデルについて、破壊伝播速度、破壊開始点及び立ち上がり時間を合理的と考えられる範囲で設定し、変化させたパラメータスタディを実施して評価した。

具体的には、破壊伝播速度については、津波インバージョン解析による知見(Fujii and Satake(2007)⁽⁷³⁾、杉野ほか(2014)⁽⁵³⁾、Satake et al.(2013)⁽⁷⁴⁾、内閣府(2012b)⁽⁷⁵⁾、地震調査研究推進本部(2005)⁽⁷⁶⁾)を参考に、1.0 km/s～3.0 km/s の範囲で設定した。破壊開始点については、地震調査研究推進本部(2009)⁽⁷⁷⁾を参考に複数設定した。立ち上がり時間

については、Satake et al. (2013)⁽⁷⁴⁾及び内閣府(2012b)⁽⁷⁵⁾を参考に30秒及び60秒を設定した。パラメータスタディの設定を第7.7.1図に、評価結果を第7.7.1、7.7.2表に示す。

以上の検討から、水位に与える影響として+0.9 mを評価した。評価結果を第7.7.3表に示す。

敷地に最も大きな影響を及ぼす津波の評価結果(敷地前面海岸の範囲内最大でT.P.+16.9 m)に対し、上記の評価(水位に+0.9 m加算)を考慮しても津波高さはT.P.+17.8 mであり、津波がT.P.+30 m地点まで到達する可能性はない。

以上のことから、T.P.+約35 m～+約40 mに設置される原子炉施設には津波による影響はないことを確認した。

7.8 参考文献

- (1) 渡辺偉夫. 日本被害津波総覧. 東京大学出版会, 1985, 214p.
- (2) 渡辺偉夫. 日本被害津波総覧. 第2版, 東京大学出版会, 1998, 238p.
- (3) 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子. 日本被害地震総覧 599-2012. 東京大学出版会, 2013, 724p.
- (4) 宇津徳治, 嶋悦三, 吉井敏尅, 山科健一郎編. 地震の事典. 第2版, 朝倉書店, 2001, pp. 569-642.
- (5) 羽鳥徳太郎. 房総沖における津波の波源: 延宝(1677年)・元禄(1703年)・1953年房総沖津波の規模と波源域の推定. 東京大学地震研究所彙報. vol.50, no.1, 1975, pp. 83-91.
- (6) 羽鳥徳太郎. 寛政5年(1793年)宮城沖地震における震度・津波分布. 東京大学地震研究所彙報. vol.62, no.3, 1987, pp. 297-309.
- (7) 竹内仁, 藤良太郎, 三村信男, 今村文彦, 佐竹健治, 都司嘉宣, 宝地兼次, 松浦健郎. 延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査. 歴史地震. vol.22, 2007, pp. 53-59.
- (8) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ. Tohoku Earthquake Tsunami Survey - FrontPage. 2012, 2012-12-29, <<http://www.coastal.jp/ttjt/>>.
- (9) 国立天文台編. 平成26年第87冊理科年表. 丸善出版, 2013, 1081p.
- (10) Kei Ioki, Yuichiro Tanioka. Re-estimated fault model of the 17th century great earthquake off Hokkaido using tsunami deposit data. Earth and Planetary Science Letters. vol.433, 2016, pp.133-138.
- (11) 澤井祐紀. 堆積物の記録から明らかになった日本海溝の巨大津波-茨城県における痕跡-. AFERC NEWS No.39. 活断層・地震研究センター, 2012, pp.1-4. 2016-09-05, <https://unit.aist.go.jp/ievg/katsudo/ievg_news/aferc_news/no.39.pdf>.
- (12) Yuki Sawai, Yuichi Namegaya, Yukinobu Okamura, Kenji Satake, Masanobu Shishikura. Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. Geophysical Research Letters. Vol.39, 2012, Vol.39, L21309.
- (13) H. Yanagisawa, K Goto, D. Sugawara, K. Kanamaru, N. Iwamoto, Y. Takamori. Tsunami earthquake can occur elsewhere along the Japan Trench—Historical and geological evidence for the 1677 earthquake and tsunami. Journal of Geophysical Research.

- Vol. 121, 2016, pp. 3504–3516.
- (14) Pilarczyk, J., Y. Sawai, B. Horton, Y. Namegaya, T. Shinozaki, K. Tanigawa, D. Matsumoto, T. Dura, O. Fujiwara, M. Shishikura. Paleoseismic evidence of earthquakes and tsunamis along the southern part of the Japan Trench. EGU General Assembly 2016. Vol. 18, EGU2016-749.
 - (15) 羽鳥徳太郎. 1975年ハワイ島(Kalapana)津波と日本沿岸での挙動. 地震 第2輯. 第29巻, 1976, pp. 355–363.
 - (16) 産業技術総合研究所. 津波堆積物データベース. 2016, 2016-08-15, <https://gbank.gsj.jp/tsunami_deposit_db/>.
 - (17) Jessica E. Pilarczyk, Yuki Sawai, Yuichi Namegaya, Toru Tamura, Koichiro Tanigawa, Dan Matsumoto, Tetsuya Shinozaki, Osamu Fujiwara, Masanobu Shishikura, Yumi Shimada, Tina Dura, Benjamin P. Horton, Andrew C. Parnell, Christopher H. Vane. A further source of Tokyo earthquakes and Pacific Ocean tsunamis. Nat. Geosci. 14, 2021, pp. 796–800. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00812-2>
 - (18) 産業技術総合研究所. 産総研：千葉県のパ洋洋岸で歴史記録にない津波の痕跡を発見. 産業技術総合研究所, 2021, 2021-09-03, <https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2021/pr20210903/pr20210903.html>
 - (19) 岩手県. 最大クラスの津波浸水想定について 令和4年3月29日. 岩手県, 2022, 2022-07-01, <<https://www.pref.iwate.jp/kendozukuri/kasensabou/kaigan/1038410/1053312/index.html>>.
 - (20) 宮城県. 津波浸水想定の設定公表について. 宮城県津波浸水想定の設定に関する検討会, 2022, 2022-07-25, <<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kasen/miyagi-tsunami-shinsuisoutei-published1.html>>.
 - (21) 福島県. 津波防災地域づくりに関する法律に基づく津波浸水想定の設定について. 福島県, 2019, 2020-09-02, <<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/41045a/tsunami-shinsuisoutei.html>>.
 - (22) 茨城県. “茨城県津波浸水想定／茨城県” 平成24年8月. 茨城沿岸津波対策検討委員会, 2012, 2016-03-18, <<http://www.pref.ibaraki.jp/doboku/kasen/coast/035100.html>>.
 - (23) 千葉県. 「津波防災地域づくりに関する法律」に基づく津波浸水想定の設定について. 千葉県, 2018, 2021-03-30, <<https://www.pref.chiba.lg.jp/kendosei/tsunami-shinsuisoutei.html>>.
 - (24) 内閣府. 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会概要報告2020年4月. 内閣府, 2020, 2022-03-22, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/model/>.
 - (25) 内閣府. 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会最終報告2022年3月. 内閣府, 2022, 2022-03-22, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/model/>.
 - (26) 土木学会. 原子力発電所の津波評価技術2016 平成28年9月. 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会, 2016, 2017-09-06, <<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/84>>.
 - (27) Yoko Suwa, Satoshi Miura, Akira Hasegawa, Toshiya Sato, Kenji Tachibana. Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three-dimensional displacement field.

- Journal of Geophysical Research. Vol.111, B04402, 2006.
- (28) John P. Loveless, Brendan J Meade. Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan. Journal of Geophysical Research. Vol.115, B02410, 2010.
- (29) John P. Loveless, Brendan J Meade. Spatial correlation of interseismic coupling and coseismic rupture extent of the 2011 MW = 9.0 Tohoku-oki earthquake. Geophysical Research Letters. Vol.38, L17306, 2011.
- (30) 西村卓也. 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング. 地震予知連絡会会報. 第89巻, 12-15, 2013.
- (31) Satoshi Ide, Annemarie Baltay, Gregory C. Beroza. Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake. Science, Vol. 332, Issue 6036, 2011, pp.1426-1429.
- (32) Takeshi TSUJI, Yoshihiro ITO, Kiichiro KAWAMURA, Toshiya KANAMATSU, Takafumi KASAYA, Masataka KINOSHITA, Toshifumi MATSUOKA, YK11-04E and YK11-06E Shipboard Scientists. Seismogenic faults of the 2011 Great East Japan earthquake: insight from seismic data and seafloor observations. Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake. 2012, pp. 281-288.
- (33) Takeshi Tsuji, Kiichiro Kawamura, Toshiya Kanamatsu, Takafumi Kasaya, Katsunori Fujikura, Yoshihiro Ito, Tetsuro Tsuru, Masataka Kinoshita. Extension of continental crust by anelastic deformation during the 2011 Tohoku-oki earthquake: The role of extensional faulting in the generation of a great tsunami. Earth and Planetary Science Letters. vol.364, 2013, pp.44-58.
- (34) Wataru Tanikawa, Takehiro Hirose, Hideki Mukoyoshi, Osamu Tadai, Weiren Lin. Fluid transport properties in sediments and their role in large slip near the surface of the plate boundary fault in the Japan Trench. Earth and Planetary Science Letters. vol.382, 2013, pp.150-160.
- (35) Kohtaro Ujiie, Hanae Tanaka, Tsubasa Saito, Akito Tsutsumi, James J. Mori, Jun Kameda, Emily E. Brodsky, Frederick M. Chester, Nobuhisa Eguchi, Sean Toczko, Expedition 343 and 343T Scientists. Low Coseismic Shear Stress on the Tohoku-Oki Megathrust Determined from Laboratory Experiments. Science. Vol.342, Issue 6163, 2013, pp.1211-1214.
- (36) J. Casey Moore, Terry A. Plank, Frederick M. Chester, Pratigya J. Polissar, Heather M. Savage. Sediment provenance and controls on slip propagation: Lessons learned from the 2011 Tohoku and other great earthquakes of the subducting northwest Pacific plate. Geosphere, Vol.11, No. 3, 2015, pp.533-541.
- (37) Frederick M. Chester, Christie Rowe, Kohtaro Ujiie, James Kirkpatrick, Christine Regalla, Francesca Remitti, J. Casey Moore, Virginia Toy, Monica Wolfson-Schwehr, Santanu Bose, Jun Kameda, James J. Mori, Emily E. Brodsky, Nobuhisa Eguchi, Sean

- Toczko, Expedition 343 and 343T Scientists. Structure and Composition of the Plate-Boundary Slip Zone for the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Science*, Vol.342, Issue 6163, 2013, pp.1208-1211.
- (38) John P. Loveless, Brendan J. Meade. Kinematic Barrier Constraints on the Magnitudes of Additional Great Earthquakes Off the East Coast of Japan. *Seismological Research Letters*. vol.86, no.1, 2015, pp.202-209.
- (39) 地震調査研究推進本部. “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 (平成 23 年 11 月 25 日)”. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2012, 2012-02-09, <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11nov_sanriku/>.
- (40) Lingling Ye, Thorne Lay, Hiroo Kanamori. The Sanriku-Oki low-seismicity region on the northern margin of the great 2011 Tohoku-Oki earthquake rupture. *Journal of Geophysical Research*. Vol.117, B02305, 2012.
- (41) Bhaskar Kundu, V. K. Gahalaut, J. K. Catherine. Seamount subduction and rupture characteristics of the March 11, 2011, Tohoku earthquake. *Journal of the Geological Society of India*. Vol.79, Issue 3, 2012, pp.245-251.
- (42) Kimihiro Mochizuki, Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara, Yoshiko Yamanaka, Toshihiko Kanazawa. Weak Interplate Coupling by Seamounts and Repeating $M \sim 7$ Earthquakes. *Science*. Vol.321, Issue 5893, 2008, pp.1194-1197.
- (43) 望月公廣. 茨城沖におけるアスペリティと地下構造. 地震予知連絡会会報. 第 85 巻, 12-17, 2011.
- (44) Yukihiro Nakatani, Kimihiro Mochizuki, Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Ryota Hino, Yoshihiro Ito, Yoshio Murai, Toshinori Sato. Changes in seismicity before and after the 2011 Tohoku earthquake around its southern limit revealed by dense ocean bottom seismic array data. *Geophysical Research Letters*. Vol.42, 2015, pp.1384-1389.
- (45) 海洋研究開発機構. “東北地方太平洋沖地震, 震源域南限の地下構造”. 地震津波海域観測研究開発センター, 2011, 2014-04-11, <http://www.jamstec.go.jp/donet/j/topics/201103tohoku_2/index.html>.
- (46) Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Kazuo Nakahigashi, Shin'ichi Sakai, Kimihiro Mochizuki, Kenji Uehira, Yoshihiro Ito, Ryusuke Azuma, Yuka Kaiho, Tetsuo No, Hajime Shiobara, Ryota Hino, Yoshio Murai, Hiroshi Yakiwara, Toshinori Sato, Yuya Machida, Takashi Shinbo, Takehi Isse, Hiroki Miyamachi, Koichiro Obana, Narumi Takahashi, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda, Kenji Hirata, Sumio Yoshikawa, Kazushige Obara, Takaya Iwasaki, Naoshi Hirata. Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network. *Earth Planets Space*. Vol.63, 2011, pp.835-840.
- (47) Akira Hasegawa, Keisuke Yoshida, Youichi Asano, Tomomi Okada, Takeshi Iinuma, Yoshihiro Ito. Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*. vol.355-356, 2012, pp.231-243.
- (48) 佐竹健治. 第 197 回地震予知連絡会重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要. 地震予知

- 連絡会会報. 第 89 巻, 12-6, 2013, pp.414-416.
- (49) 谷岡勇市郎. アラスカ・アリューシャン・カムチャッカ沈む込み帯の巨大地震について. 地震予知連絡会会報. 第 89 巻, 12-9, 2013, pp.425-428.
- (50) 宍倉正展. 1960 年チリ地震(Mw9.5)の履歴と余効変動. 地震予知連絡会会報. 第 89 巻, 12-7, 2013, pp.417-420.
- (51) Ian Shennan. Recurrent Holocene Paleoseismicity and Associated Land/sea-level Changes in South Central Alaska. Department of Geography, University of Durham, 2007, 39p.
- (52) Kusala Rajendran. On the recurrence of great subduction zone earthquakes. *Current Science*. Vol.104, No.7, 2013, pp.880-892.
- (53) 杉野英治, 岩渕洋子, 橋本紀彦, 松末和之, 蛭澤勝三, 亀田弘行, 今村文彦. 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, 2014.
- (54) 内閣府. 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)平成 24 年 3 月 31 日巻末資料. 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2012, 2017-03-30, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/kanmatsu_shiryou.pdf>.
- (55) Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii. Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip, and asperity size for $M \sim 9$ subduction-zone earthquakes. *Geophysical Research Letters*. Vol.40, 2013, pp.5070-5074.
- (56) 相田勇. 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, 1977, pp.71-101.
- (57) Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa. What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*. vol.283, 2009, pp.111-121.
- (58) 地震調査研究推進本部. 日本海溝沿いの地震活動の長期評価. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2019, 2019-02-26, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/japan_trench.pdf>.
- (59) José A. Álvarez-Gómez, Omar Q. Gutiérrez Gutiérrez, Íñigo Aniel-Quiroga, M. González. Tsunamigenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America. *Tectonophysics*. Vol.574-575, 2012, pp.133-143.
- (60) 土木学会. 確率論的津波ハザード解析の方法 平成 23 年 9 月. 原子力土木委員会津波評価部会, 2011, 2011-09-19, <<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/39>>.
- (61) K. Obana, G. Fujie, Y. Yamamoto, Y. Kaiho, Y. Nakamura, S. Miura, S. Kodaira. Seismicity around the trench axis and outer-rise region of the southern Japan Trench, south of the main rupture area of the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Geophys. J. Int.*, Vol.226, Issue 1, 2021, pp.131-145, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab093>.
- (62) T. Baba, N. Chikasada, Y. Nakamura, G. Fujie, K. Obana, S. Miura, S. Kodaira. Deep investigations of outer-rise tsunami characteristics using well-mapped normal faults along the Japan Trench. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, Vol.125, Issue 10,

- 2020, e2020JB020060. <https://doi.org/10.1029/2020JB020060>.
- (63) 阿部勝征. 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, 1989, pp. 51–69.
- (64) 防災科学技術研究所. 5 万分の 1 地すべり地形分布図 第 18 集 「白河・水戸」 図集. 防災科学技術研究所研究資料. 第 247 号, 2004.
- (65) 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. 日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史. 海洋調査技術. 第 13 巻, 第 1 号, 2001, pp. 27–53.
- (66) 産業技術総合研究所. 東日本沖太平洋海域 (GH762) . 高分解能音波探査断面データベース (3.5kHz SBP). 2015-05-01, <https://gbank.gsj.jp/sbp_db/GH762HTML/pages/762.html>.
- (67) 池原研, 佐藤幹夫, 山本博文. 高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用. 地質学雑誌. Vol. 96, No. 1, 1990, pp. 37–49.
- (68) J. G. Moore, D. A. Clague, R. T. Holcomb, P. W. Lipman, W. R. Normark, M. E. Torresan. Prodigious submarine landslides on the Hawaiian Ridge. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 94, 1989, pp. 17465–17484.
- (69) G. A. Papadopoulos, S. Kortekaas. Characteristics of Landslide Generated Tsunamis from Observational Data. *Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol. 19, 2003, pp. 367–374.
- (70) 阿部なつ江, 平野直人. 新しい種類の火山活動プチスポットを発見. 海と地球の情報誌. 第 19 巻, 第 2 号, 2007, p. 1.
- (71) 平野直人. 北西太平洋の複数回の火山イベントー白亜紀から現在までー. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, セッション ID:G2-04, 2007.
- (72) Boris W. Levin, Mikhail A. Nosov. The Physics of Tsunami Formation by Sources of Nonseismic Origin. In: *Physics of Tsunamis*. Springer, 2009, pp. 153–195.
- (73) Yushiro Fujii, Kenji Satake. Tsunami Source of the 2004 Sumatra–Andaman Earthquake Inferred from Tide Gauge and Satellite Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 97, No. 1A, 2007, pp. S192–S207.
- (74) Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, Yuichi Namegaya. Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 103, No. 2B, 2013, pp. 1473–1492.
- (75) 内閣府. 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) 津波断層モデル編ー津波断層モデルと津波高・浸水域等についてー平成 24 年 8 月 29 日. 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2012, 2017-03-30, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_report01.pdf>.
- (76) 地震調査研究推進本部. 宮城県沖地震を想定した強震動評価 (一部修正版) について. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005, 2005-12-14, <http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/05dec_miyagi/index.htm>.
- (77) 地震調査研究推進本部. 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」) (平成 21

年 12 月 21 日改訂) . 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009, 2010-12-28,
<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf>.

- (78) L. Mansinha, D. E. Smylie. The displacement fields of inclined faults. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.61, No5, 1971, pp.1433-1440.
- (79) 長谷川賢一, 鈴木考夫, 稲垣和男, 首藤伸夫. 津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究. 土木学会集. 第 381 号/II-7, 1987, pp.111-120.
- (80) 後藤智明, 小川由信. Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法. 東北大学土木工学科資料. 1982, 52p.
- (81) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫. GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法. 海岸工学論文集. Vol. 45, 1998, pp.356-360.
- (82) 本間仁. 低溢流堰堤の流量係数. 土木学会誌. 第 26 卷, 第 6 号, pp.635-645, 第 9 号, 1940, pp. 849-862.
- (83) チリ津波合同調査班. 1960 年 5 月 24 日チリ地震津波に関する論文及び報告. 東京大学地震研究所, 1961, 397p.

第7.2.1表 既往津波の文献調査
(敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波)

太平洋沿岸に影響を及ぼした主な津波の一覧表(地震規模8.0以上(遠地津波については地震規模9.0以上)を抜粋)

発生年月日 元号	波源域	地震規模 ¹⁾		津波規模 ²⁾ m	地震・津波の概要 ³⁾	敷地への影響
		Mj	Mw			
869.7.13 貞観11	三陸沖	8.3 ±1/4	—	4, — [4]	三陸沿岸：城郭・倉庫・門櫓・垣壁など崩れ落ち倒壊するもの無数。津波が多賀城下を襲い、溺死約1千。流光度のごとく隠映するという。三陸沖の巨大地震とみられる。	東北地方太平洋沖型の地震に伴う津波と同等もしくは下回る規模
1611.12.2 慶長16	三陸沖	≒8.1	—	4, — [3-4]	三陸沿岸および北海道東岸：三陸地方で強震。震害は軽く、津波の被害が大きかった。伊達領内で死1783、南部・津軽で人馬の死3千余という。三陸沿岸で家屋の流出が多く、北海道東部でも溺死が多かった。1933年三陸地震津波に似ている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1677.11.4 延宝5	房総沖	≒8.0	—	2, — [—]	磐城・常陸・安房・上総・下総：上旬より地震が多かった。磐城から房総にかけて津波があり、小名浜・中之作・薄磯・四倉・江名・豊間などで死・不明130余、水戸領内で溺死36、房総で溺死246余、奥州岩沼で死123	茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で4.5～5.5m、磯浜村で5.0～6.0m以上
1700.1.26 元禄12	北米 北西部沖	—	9.0	—, —	北米北西部沖(カスケード地帯)：三陸～紀伊半島にかけて津波が来た。各地の津波の高さは岩手県宮古3m、同大槌で2m、茨城県那珂湊で約2mと推定される記録がある。宮古で津波の被害があったという。	茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で約2m
1793.2.17 寛政5	三陸沖	8.0～8.4	—	2, 2.5 [2]	陸前・陸中・磐城：仙台領内で家屋損壊1千余、死12。沿岸に津波が来て、全体で家潰流失1730余、船流破33、死44以上。余震が多かった。相馬・いわきにおいて引きで津波がはじまっているのは1896年明治三陸地震と似ている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1896.6.15 明治29	三陸沖	8・1/4	—	4, 3.5 [3-4]	三陸沖：『明治三陸地震津波』：震害はない。津波が北海道より牡鹿半島にいたる海岸に襲来し、死者総数は21959(青森343、岩手18158、宮城3452、北海道6)。家屋流失全半潰8～9千、船の被害約7千。波高は、吉浜24.4m、綾里38.2m、田老14.6mなど。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1933.3.3 昭和8	三陸沖	8.1	8.4	3, 3	三陸沖：『三陸地震津波』：震害は少なかった。津波が太平洋岸を襲い、三陸沿岸で被害は甚大。死・不明3064、家屋流失4034、倒壊1817、浸水4018。波高は綾里湾で28.7mにも達した。日本海溝付近で発生した巨大な正断層型地震と考えられている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1952.11.4 昭和27	カムチャツカ半 島南東沖	—	9.0	1, —	カムチャツカ半島南東沖：『カムチャツカ津波』：太平洋沿岸に津波、波高は1～3m程度。広範囲で家屋の浸水があり、三陸沿岸では漁業関係の被害があった。	福島県沿岸で約0.5～1.5m
1960.5.22 昭和35	チリ南部沖	—	9.5	2～3, —	チリ南部沖：『チリ地震津波』：津波が日本各地に襲来、波高は三陸沿岸で5～6m、その他で3～4m。北海道南岸・三陸沿岸・志摩半島付近で被害が大きく、沖縄でも被害があった。日本全体で死・不明142(うち沖縄で3)、家屋全壊1500余、半壊2千余	茨城県久慈港で約2.3m
1964.3.27 昭和39	アラスカ湾	—	9.2	0, —	アラスカ湾：『アラスカ地震津波』：津波は太平洋沿岸各地に波及した。日本沿岸の検潮記録によると、津波の高さは三陸沿岸南部でやや高かった。このため、この沿岸で浅海漁業施設に若干の被害があった。	小名浜で0.35m、銚子で0.36m
1968.5.16 昭和43	青森県東方沖	7.9	8.2	2, 2.5	青森県東方沖：『1968年十勝沖地震』：青森を中心に北海道南部・東北地方に被害。死52、傷330、建物全壊873、半壊3004。青森県下で道路損壊も多かった。津波があり、三陸沿岸3～5m、浸水529、船舶流失沈没127。コンクリート造建築の被害が目立った。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
2011.3.11 平成23	三陸沖	8.4	9.0	—, 4	東北沖：『平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震、東日本大震災』：日本海溝沿いの沈み込み帯の大部分、三陸沖中部から茨城県沖までのプレート境界を震源域とする逆断層型超巨大地震。3月9日にM7.3(Mw7.4)の前震、震源域内や付近の余震・誘発地震はM7.0以上が6回、M6.0以上が97回、死18493、不明2683、傷6217、住家全壊128801、半壊269675。死者の90%以上が水死で、被害の多くは巨大津波(現地調査によれば最大約40m)によるもの。	大洗研究所近傍で約7m

1) 地震規模は、宇佐美ほか(2013)⁽³⁾を参照した。

2) 津波規模mは、宇佐美ほか(2013)⁽³⁾による。下線付き数字は羽鳥による値とされている。[]内の値は羽鳥(1975)⁽⁶⁾による値を参照した。

3) 地震・津波の概要は、宇佐美ほか(2013)⁽³⁾、渡辺(1998)⁽²⁾及び国立天文台編(2013)⁽⁹⁾を参照した。

第7.3.1表 1960年チリ地震の津波波源
(再現解析:計算条件及び計算領域)

項目	条件	備考
計算領域	太平洋全域 (北緯63度から南緯60度、東経120度から西経70度)	
メッシュ構成	5分間隔格子	
基礎方程式	コリオリ力を考慮した線形Boussinesq理論	
初期変位量	Mansinha and Smylie(1971) ⁽⁷⁸⁾ の方法	立ち上がり時間30秒
境界条件	沖側:自由透過陸側:完全反射	
海底摩擦係数	考慮していない	
水平渦動粘性係数	考慮していない	
計算時間間隔	$\Delta t = 10$ 秒	C. F. L. 条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後32時間	十分な計算時間となるように設定

第7.3.2表 東北地方太平洋沖型の津波波源
(再現解析:計算条件)

項目	条件	備考
計算領域	北海道から千葉県総付近までの太平洋 (南北約1300km、東西約1200km)	
メッシュ構成	沖合1350m→450m→150m→沿岸50m	長谷川ほか(1987) ⁽⁷⁹⁾
基礎方程式	非線形長波理論	後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の方法
計算スキーム	スタッガード格子、リーブ・フロッグ法	後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie(1971) ⁽⁷⁸⁾ の方法	立ち上がり時間30秒
境界条件	沖側:後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の自由透過の条件 陸側:計算格子間隔50m領域は小谷ほか (1998) ⁽⁸¹⁾ の陸上遡上境界条件、それ以外は完全反射条件	
越流条件	防波堤:本間公式(1940) ⁽⁸²⁾ 護岸:相田公式(1977) ⁽⁸⁶⁾	
海底摩擦係数	マンニングの粗度係数($n = 0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$)	
水平渦動粘性係数	考慮していない($K_h = 0$)	
計算時間間隔	$\Delta t = 0.5$ 秒	C. F. L. 条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後240分間	十分な計算時間となるように設定
潮位条件	T. P. -0.4 m	地震発生時の潮位

第7.3.3表 茨城県沖から房総沖に想定する津波波源
(津波予測解析：計算条件)

項目	条件	備考
計算領域	北海道から千葉房総付近までの太平洋 (南北約1300km、東西約800km)	
メッシュ構成	沖合4320m→2160m→720m→沿岸域240m→敷地周 辺80m→40m→20m→10m→5m	長谷川ほか(1987) ⁽⁷⁹⁾
基礎方程式	非線形長波理論	後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の方法
計算スキーム	スタッガード格子、リーブ・フロッグ法	後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie(1971) ⁽⁷⁸⁾ の方法	立ち上がり時間30秒
境界条件	沖側：後藤・小川(1982) ⁽⁸⁰⁾ の自由透過の条件 陸側：敷地周辺(計算格子間隔80m～5m)の領域は 小谷ほか(1998) ⁽⁸¹⁾ の陸上遡上境界条件それ以外 は完全反射条件	
越流条件	防波堤：本間公式(1940) ⁽⁸²⁾ 護岸：相田公式(1977) ⁽⁵⁶⁾	
防潮堤	鉛直無限壁	
海底摩擦係数	マニングの粗度係数($n = 0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$)	
水平渦動粘性係数	考慮していない($K_h = 0$)	
計算時間間隔	$\Delta t = 0.05$ 秒	C.F.L.条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後240分間	十分な計算時間となるように設定
潮位条件	朔望平均満潮位：T.P.+0.7 m (茨城県(2012) ⁽²²⁾ により設定) 敷地の地盤変動量：0.18 m	

津波高さ＝潮位＋水位変動量＋2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量＋津波予測解析による地殻変動量

第7.3.4表 茨城沖から房総沖に想定する津波波源
(波源位置のパラメータスタディ結果:Aモデル)

位置		敷地前面海岸	遡上検討
		津波高さ(T.P. m)	津波高さ(T.P. m)
基準	A-1	15.5	-
南へ10km移動	A-2	16.3	-
南へ20km移動	A-3	16.6	-
南へ30km移動	A-4	16.3	-
南へ40km移動	A-5	15.7	-
南へ50km移動	A-6	14.5	-
南へ60km移動	A-7	13.0	-
南へ70km移動	A-8	11.8	-
南へ80km移動	A-9	10.7	-
南へ90km移動	A-10	9.4	-

(波源位置のパラメータスタディ結果:Bモデル)

位置		敷地前面海岸	遡上検討
		津波高さ(T.P. m)	津波高さ(T.P. m)
北へ10km移動*	B-1	16.6	-
基準	B-2	16.7	-
南へ10km移動	B-3	<u>16.9</u>	16.6
南へ20km移動	B-4	16.6	-
南へ30km移動	B-5	16.1	-
南へ40km移動	B-6	15.0	-
南へ50km移動	B-7	13.6	-
南へ60km移動	B-8	12.0	-
南へ70km移動	B-9	10.7	-

※大すべり域は基準の位置、超大すべり域のみ移動

第7.3.5表 海洋プレート内の正断層地震
(パラメータスタディ結果)

ケース		敷地前面海岸	遡上検討
位置	走向	津波高さ(T.P. m)	津波高さ(T.P. m)
北へ192km移動	-10°	4.5	-
	±0°	4.1	-
	+10°	4.0	-
北へ144km移動	-10°	4.7	-
	±0°	4.5	-
	+10°	3.9	-
北へ96km移動	-10°	5.2	-
	±0°	4.7	-
	+10°	3.9	-
北へ48km移動	-10°	4.8	-
	±0°	5.6	-
	+10°	<u>5.9</u>	5.6
基準	-10°	4.4	-
	±0°	4.6	-
	+10°	4.7	-

第7.3.6表 海域の活断層による地殻内地震
(簡易予測式による推定津波高の評価結果)

	地震モデル	推定津波高：H (m)
①	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動	1.2
②	F3断層～F4断層の同時活動	<u>2.9</u>
③	F8断層	0.6
④	F11断層	0.1
⑤	F16断層	0.7

第7.4.1表 海底火山(プチスポット)の文献調査
(特徴及び津波発生の可能性の検討)

項目	特徴
地学的位置	アウターライズ地形の東側(三陸沖の太平洋プレート上)
水深	5,000~6,000m
長径	1~2km
比高	数100m
体積	1km ³ 程度以下
形状	円錐状
火山形式	単成火山(1回の噴火で形成された火山)
火山活動範囲	日本海溝から600km
活動時期	5万年~850万年前
起源	浅部マントル起源(マグマはアセノスフェアから亀裂に沿って海底に染み出す)
岩質	アルカリ玄武岩
噴出物の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・枕状溶岩 ・縄状構造 ・山頂の周り数100mの範囲に火山弾 ・著しく発泡した溶岩

第7.7.1表 茨城沖から房総沖に想定する津波波源
(破壊開始点、破壊伝播速度のパラメータスタディ結果)

B-3位置	敷地前面海岸 津波高さ (T.P. m)				
	破壊伝播速度				
破壊開始点	1.0km/s	1.5km/s	2.0km/s	2.5km/s	3.0km/s
①	13.8	14.8	15.5	15.9	16.2
②	13.3	14.9	15.5	15.9	16.1
③	14.6	15.6	15.9	16.2	16.4
④	15.9	16.5	16.8	16.9 (16.83)	<u>16.9(16.90)</u>
⑤	14.7	15.6	16.1	16.3	16.5
⑥	14.8	16.4	16.0	16.7	16.7

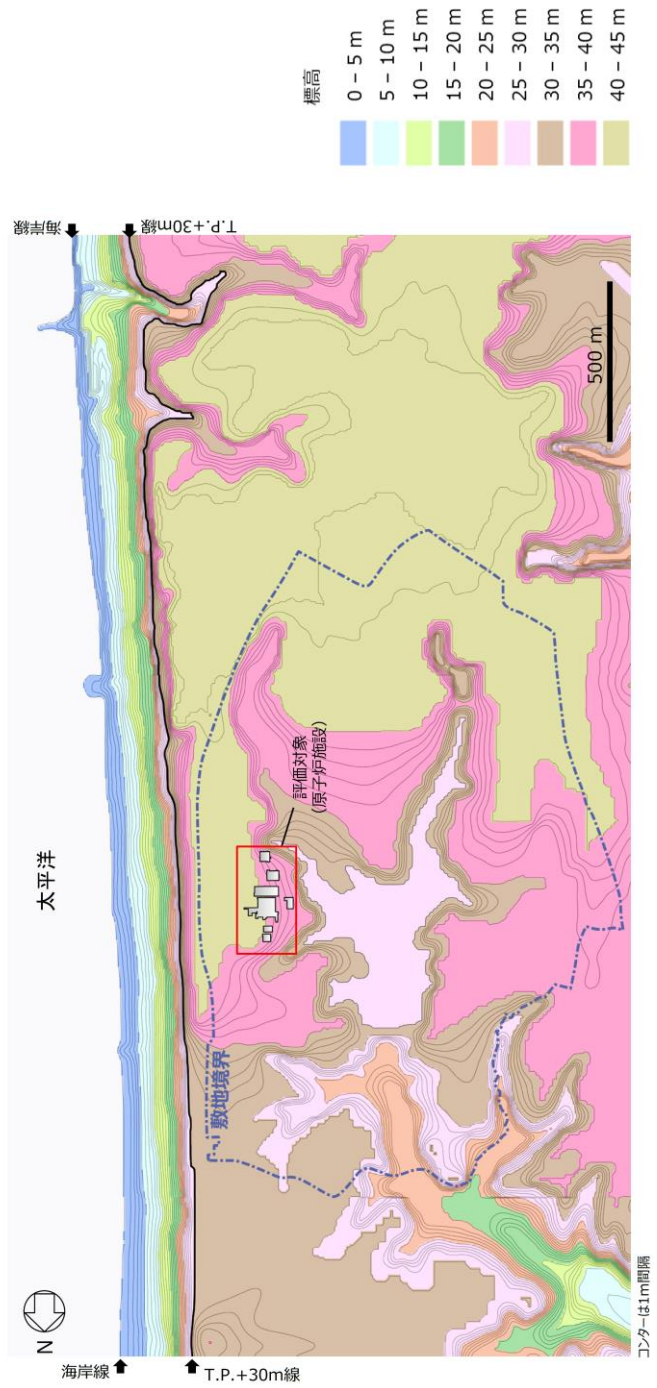
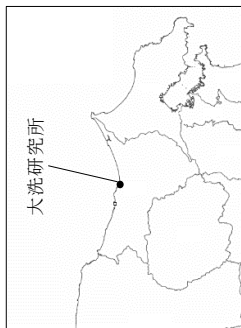
立ち上がり時間：30秒

第7.7.2表 茨城沖から房総沖に想定する津波波源
(立ち上がり時間のパラメータスタディ結果)

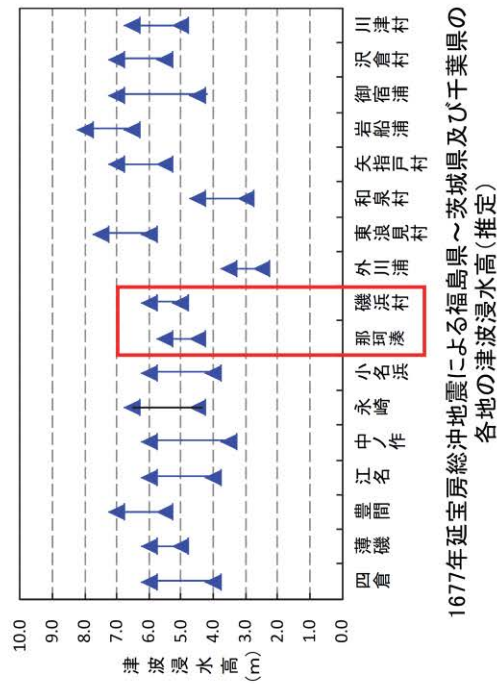
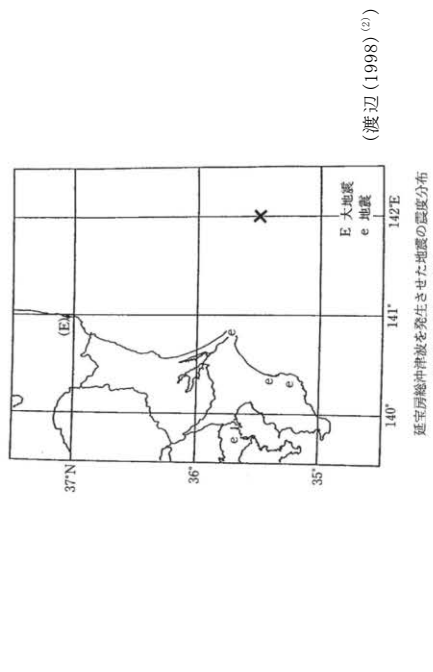
B-3位置	破壊開始点④、破壊伝播速度：3.0km/s	
立ち上がり時間(秒)	敷地前面海岸 津波高さ (T.P. m)	遡上検討 津波高さ (T.P. m)
30	<u>16.9</u>	16.7
60	16.6	-

第7.7.3表 水位上昇側の評価に考慮する影響の検討結果

考慮する影響	加算する水位 (m)
潮位のばらつき	+0.2
高潮の影響	+0.6
断層の破壊伝播現象による影響	+0.1
Total.	+0.9



第 7.1.1 図 敷地の概況図

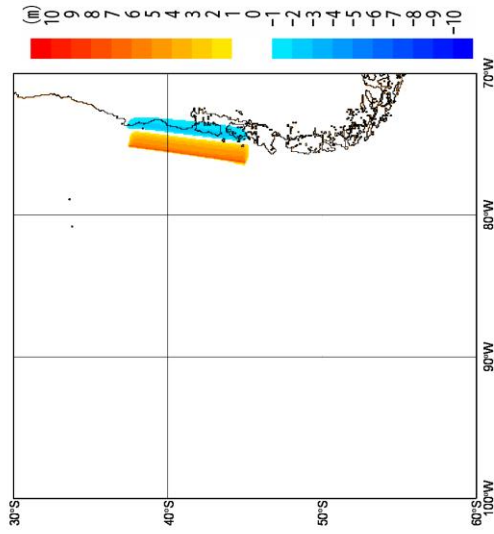


延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査
(竹内ほか, (2007) (7) に加筆)

第 7.2.1 図 既往津波の文献調査
(1677 年延宝房総沖地震津波の痕跡高)

1960年チリ地震津波の諸元

パラメータ	設定値
Mw	9.2
長さ:L (km)	850
幅:W (km)	130
上縁深さ:d (km)	4
すべり量:D (m)	17
傾斜角: δ (°)	20
すべり角: λ (°)	105
走向: θ (°)	N7° E



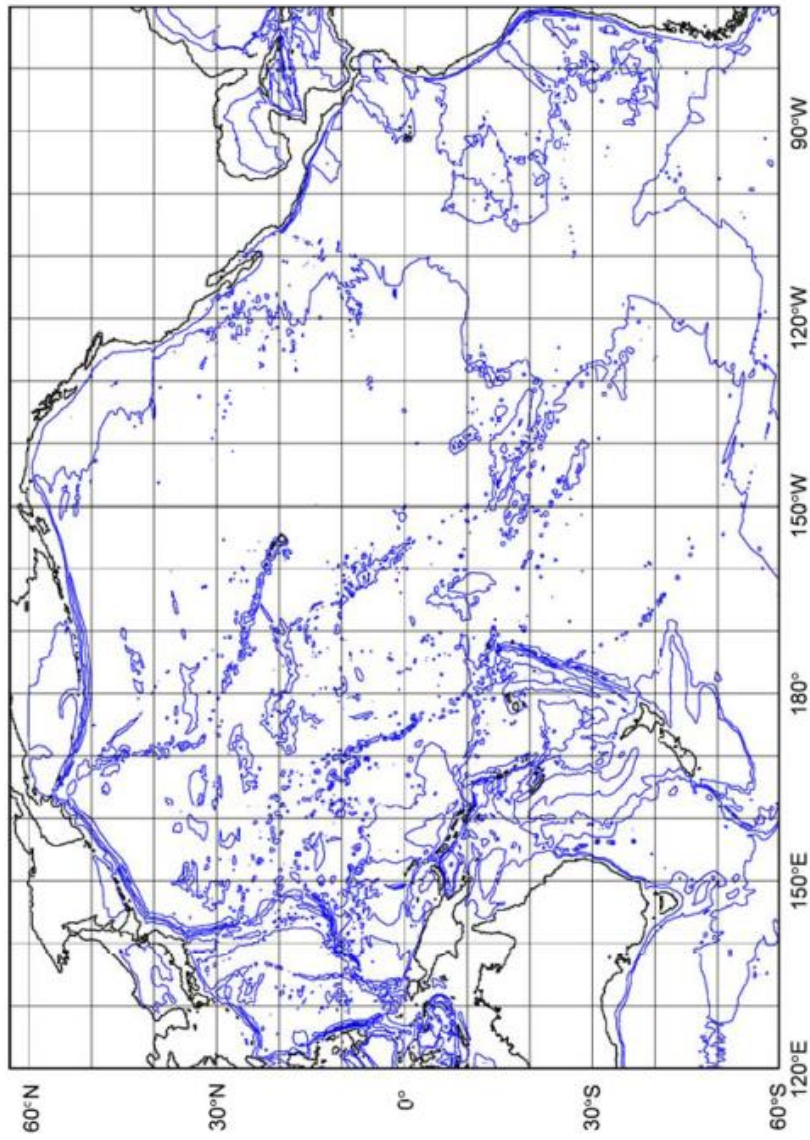
地殻変動量



波源モデル位置

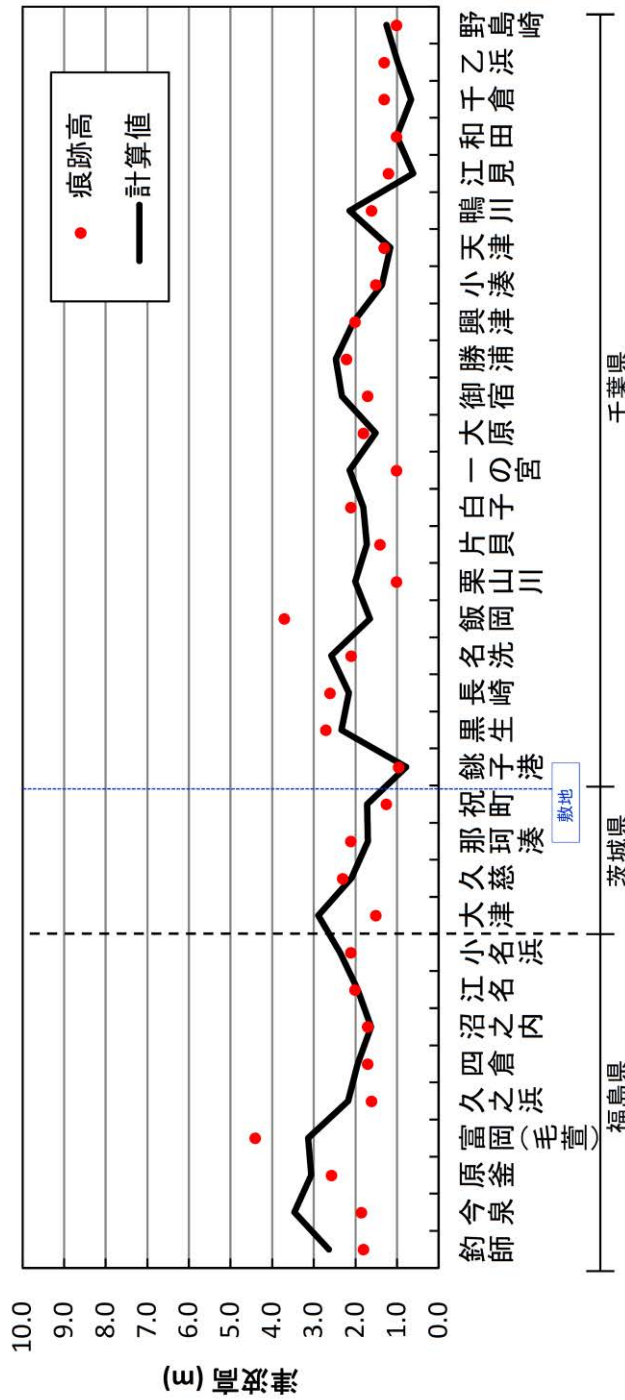
破壊開始点 : 無し
 破壊伝播速度 : ∞
 立ち上がり時間 : 30秒

第 7. 3. 1 図 1960 年チリ地震の津波波源
 (波源モデルの設定)



コンター線は2000m間隔

第7.3.2図 1960年チリ地震の津波波源
(計算領域)



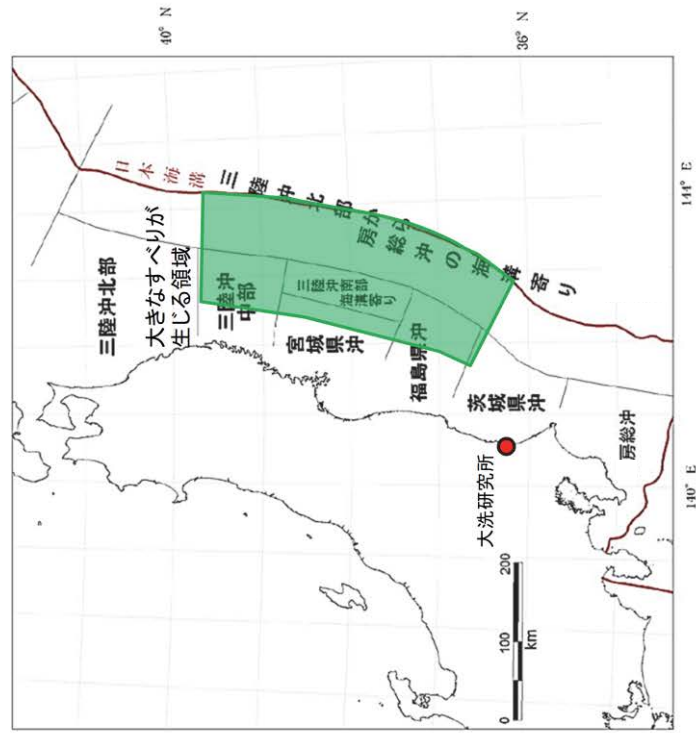
福島県～千葉県南部における1960年チリ地震に伴う津波の痕跡高
(チリ津波合同調査班(1961)⁽⁶³⁾のデータを使用)

地点数 n	幾何平均 K	幾何標準偏差 κ
34	0.96	1.44

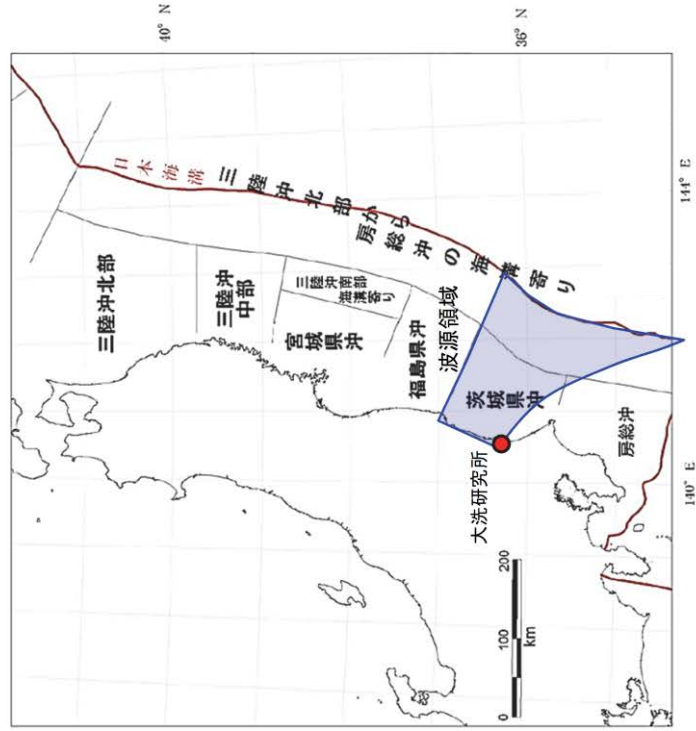
【幾何平均K及び幾何標準偏差 κ の再現性の目安】
 $0.95 < K < 1.05$
 $\kappa < 1.45$ (土木学会(2016)⁽⁶⁶⁾)

第 7.3.3 図 1960 年チリ地震の津波波源
(再現性の確認・評価結果)

【東北地方太平洋沖型の津波波源】



【茨城県沖に想定する津波波源】

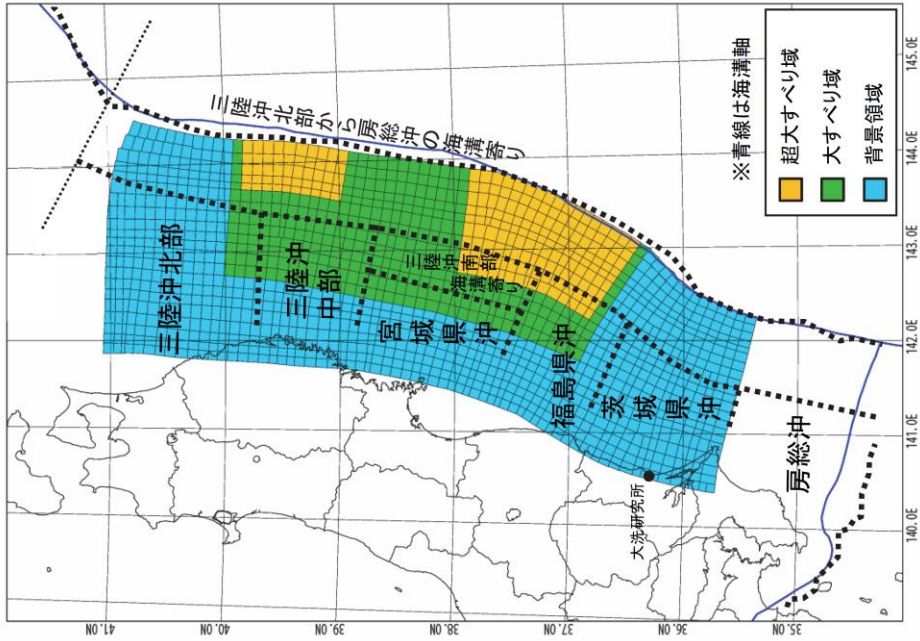


(地震調査研究推進本部(2012)⁽³⁹⁾に加筆)

第7.3.4図 プレート間地震に起因する津波
(想定波源領域の設定)

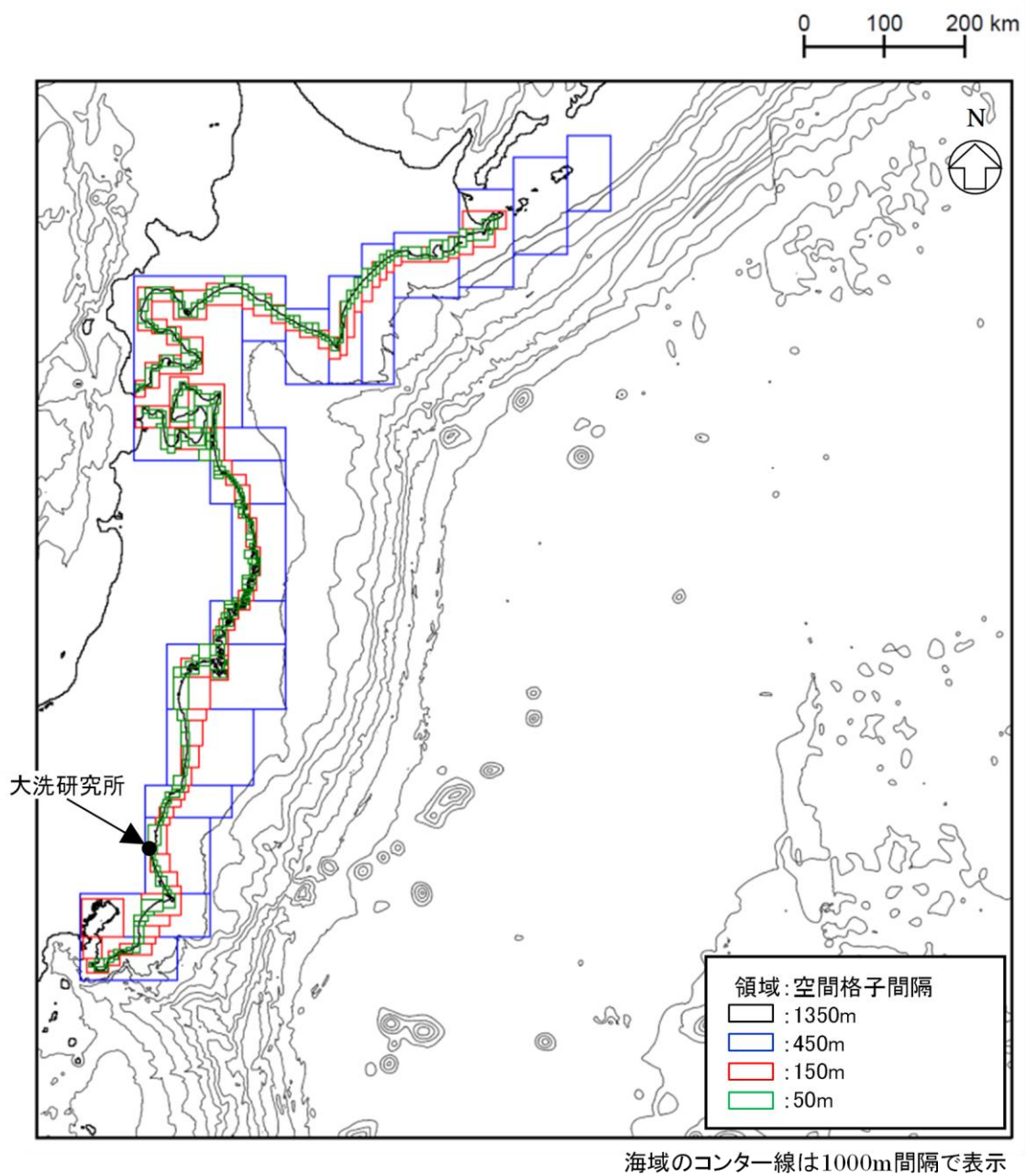
パラメータ	設定値
断層面積: S	134,733 km ²
平均応力降下量: $\Delta\sigma$	3.0 MPa
剛性率: μ	4.7×10^{10} N/m ²
モーメントマグニチュード: Mw	9.1
平均すべり量: D	9.6 m
地震モーメント: M ₀	6.1×10^{22} Nm

パラメータ	設定値	
超大すべり域	すべり量	28.9 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の15% (20,010 km ²)
大すべり域	すべり量	13.5 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の25% (33,825 km ²)
背景領域	すべり量	3.2 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の60% (80,898 km ²)

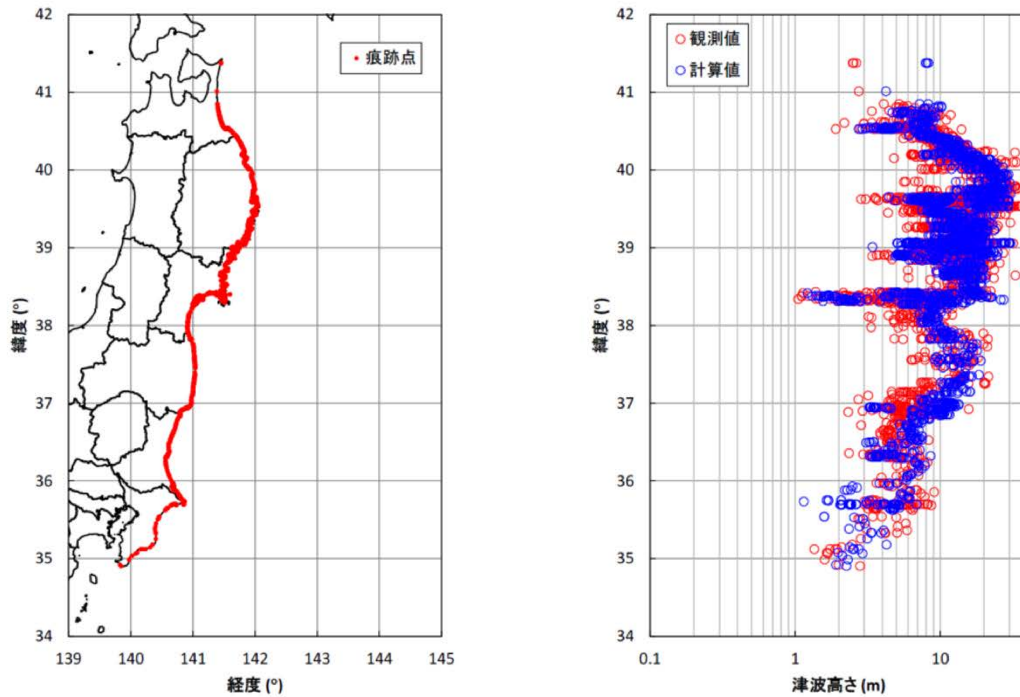


特性化波源モデル

第 7.3.5 図 東北地方太平洋沖型の津波波源
(再現解析：特性化波源モデルの諸元)



第 7.3.6 図 東北地方太平洋沖型の津波波源
 (再現解析: 計算領域及び格子間隔)



青森県北部～千葉県南部における2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の
痕跡地点(左図)及び痕跡高(右図)

(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)⁽⁸⁾のデータを使用)

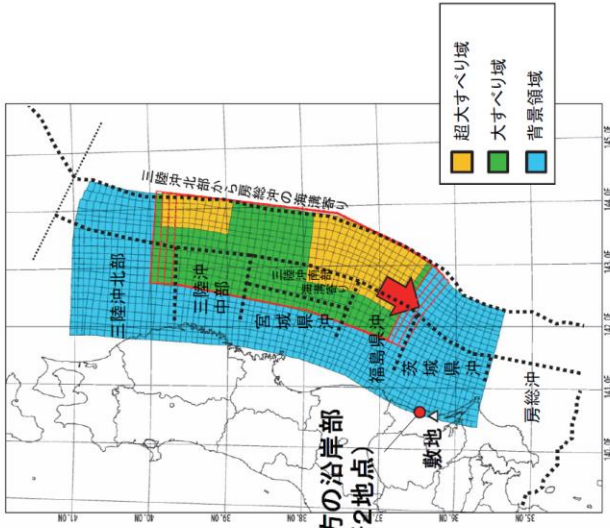
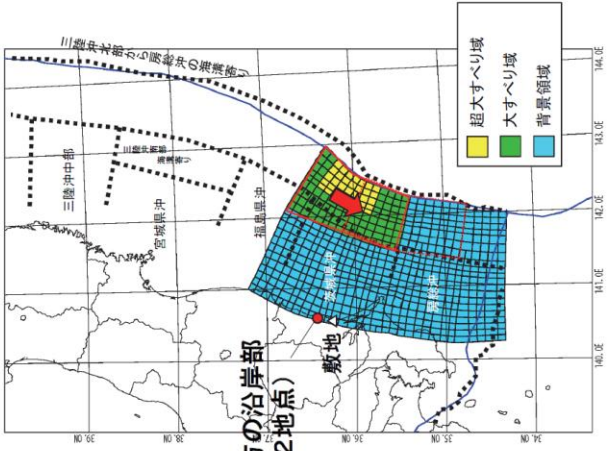
地点数 n	幾何平均 K	幾何標準偏差 κ
2,772	0.93	1.42

【幾何平均K及び幾何標準偏差 κ の再現性の目安】

$$0.95 < K < 1.05$$

$$\kappa < 1.45 \quad (\text{土木学会(2016)}^{(26)})$$

第 7.3.7 図 東北地方太平洋沖型の津波波源
(再現解析：確認結果)

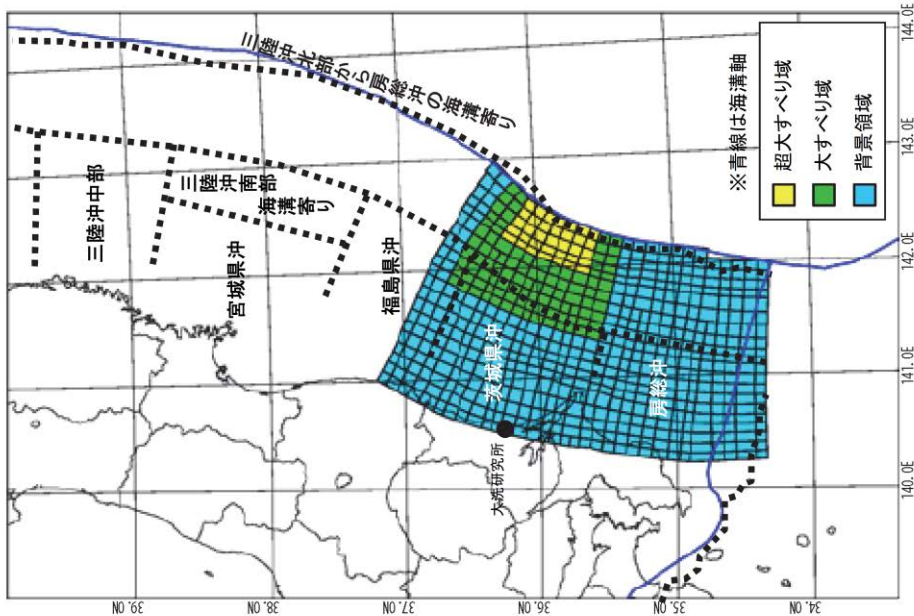
<p>検討波源</p> <p>特性化波源モデル</p>	<p>東北地方太平洋沖型の津波波源</p>  <p>敷地北方の沿岸部 (原科研2地点)</p> <p>敷地</p> <p>三陸沖北部 三陸沖中部 三陸沖南部 宮城県沖 福島県沖 茨城県沖 房総沖</p> <p>三陸沖北部から房総沖へ連続的に 三陸沖中部から房総沖へ連続的に</p> <p>超大すべり域 大すべり域 背景領域</p> <p>三陸沖北部～茨城県沖 (Mw9.1)</p>
<p>茨城県沖に想定する津波波源</p>	 <p>敷地北方の沿岸部 (原科研2地点)</p> <p>敷地</p> <p>三陸沖中部 宮城県沖 福島県沖 茨城県沖</p> <p>三陸沖北部から房総沖へ連続的に 三陸沖中部から房総沖へ連続的に</p> <p>超大すべり域 大すべり域 背景領域</p> <p>茨城県沖～房総沖 (Mw8.7)</p>
<p>パラメータスタディ</p> <p>津波高さ (敷地北方の沿岸部)</p>	<p>大すべり域, 超大すべり域の位置を約10km単位で移動(赤枠内)</p> <p>T.P.+8.1m</p> <p>T.P.+12.6m</p>

第7.3.8 図 津波波源の選定

パラメータ	設定値
断層面積: S	53,684 km ²
平均応力降下量: $\Delta\sigma$	3.0 MPa
剛性率: μ	4.7×10^{10} N/m ²
モーメントマグニチュード: Mw	8.7
平均すべり量: D	6.1 m
地震モーメント: M ₀	1.5×10^{22} Nm

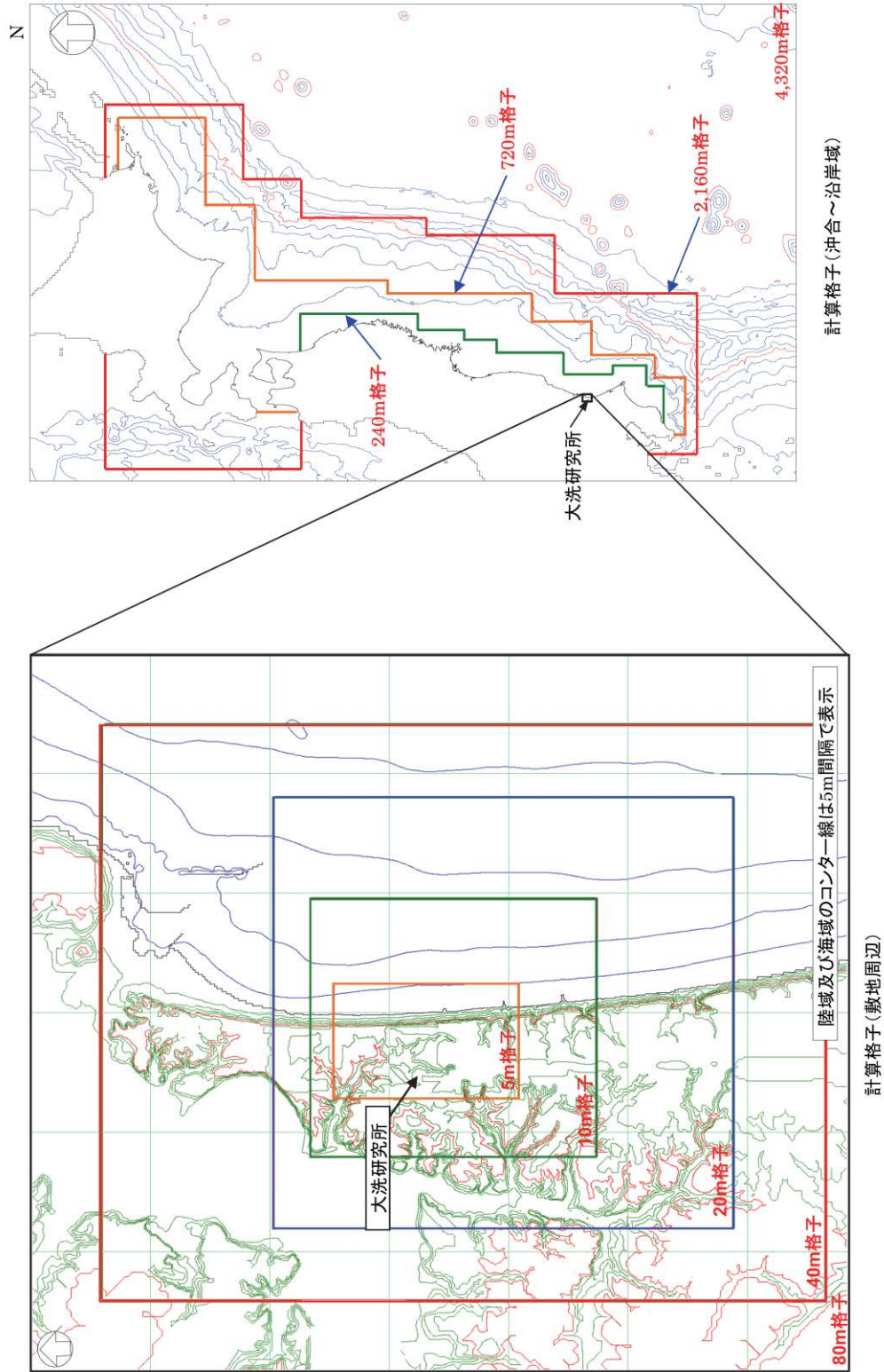
パラメータ	設定値
すべり量	24.3 m
超大すべり域 面積比率 (断層面積)	全断面積の5% (2,659 km ²)※
すべり量	12.1 m
大すべり域 面積比率 (断層面積)	全断面積の15% (8,231 km ²)※
すべり量	3.8 m
背景領域 面積比率 (断層面積)	全断面積の80% (42,794 km ²)※

※ 断層面積は右図の特性化波源モデル値
ただし、超大すべり域、大すべり域の位置により若干変動する

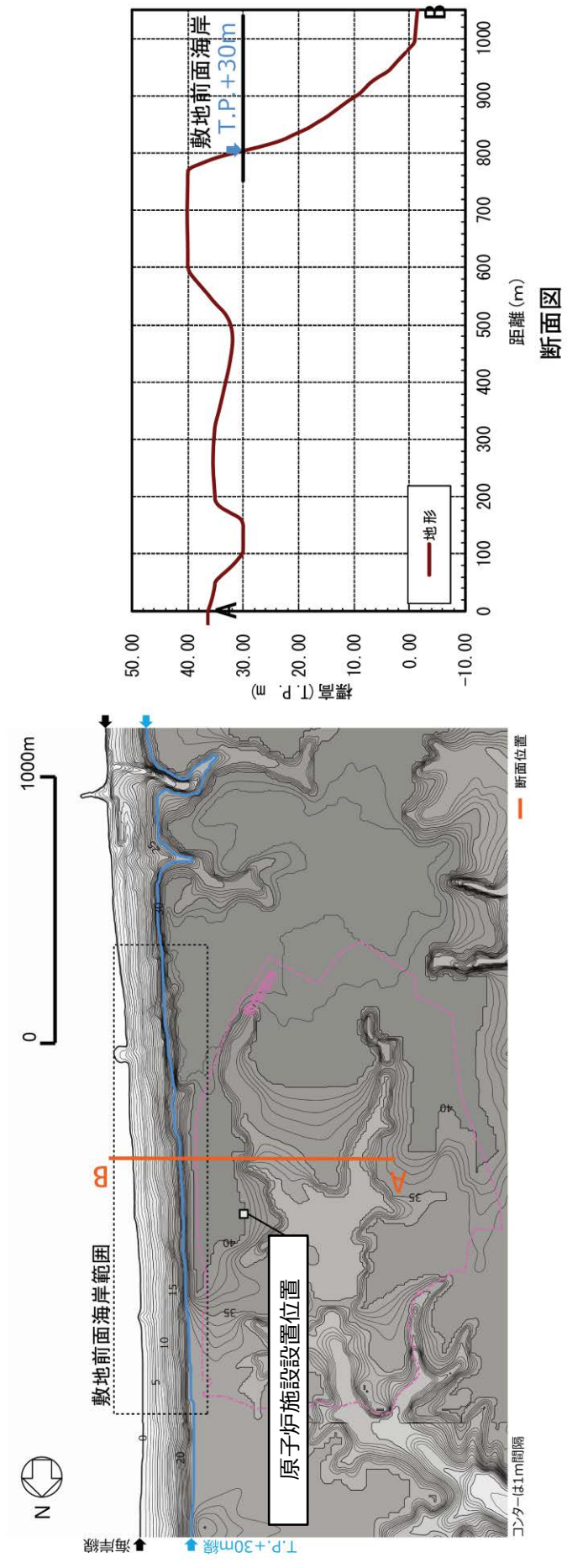


特性化波源モデル

第 7.3.9 図 茨城県沖から房総沖に想定する津波波源
(特性化波源モデルの諸元)

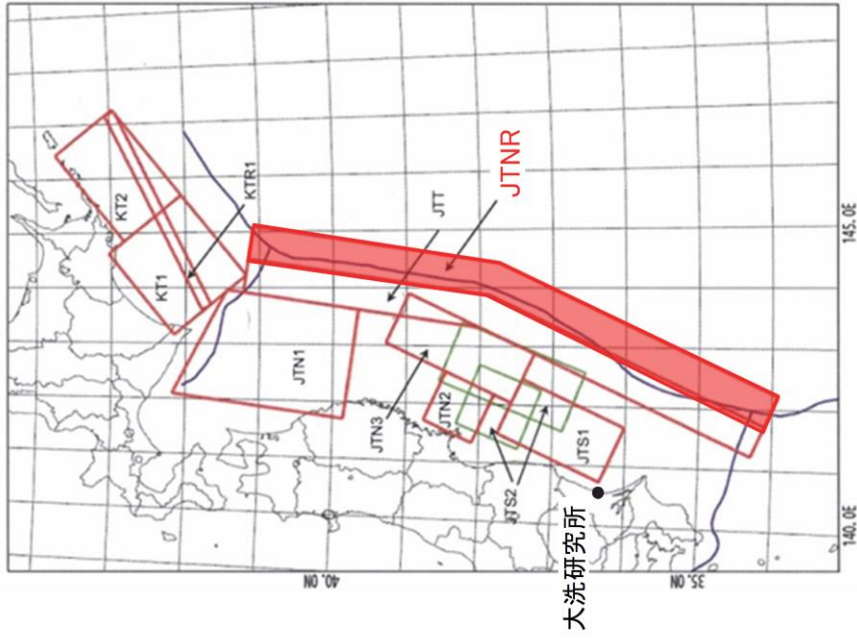


第 7.3.10 図 茨城県沖から房総沖に想定する津波波源
(計算領域及び格子間隔)



第 7.3.11 図 敷地前面海岸での津波高さ評価範囲、地形断面図

パラメータ	設定値
M _w	8.6
長さ:L (km)	283.0
幅:W (km)	50.0
すべり量:D (m)	10.1
剛性率: μ (N/m ²)	7.0×10^{10}
地震モーメント: M ₀ (Nm)	1.00×10^{22}
上縁深さ:d (m)	1.0
傾斜角: δ (°)	45
すべり角: λ (°)	270
走向: θ (°)	180, 205

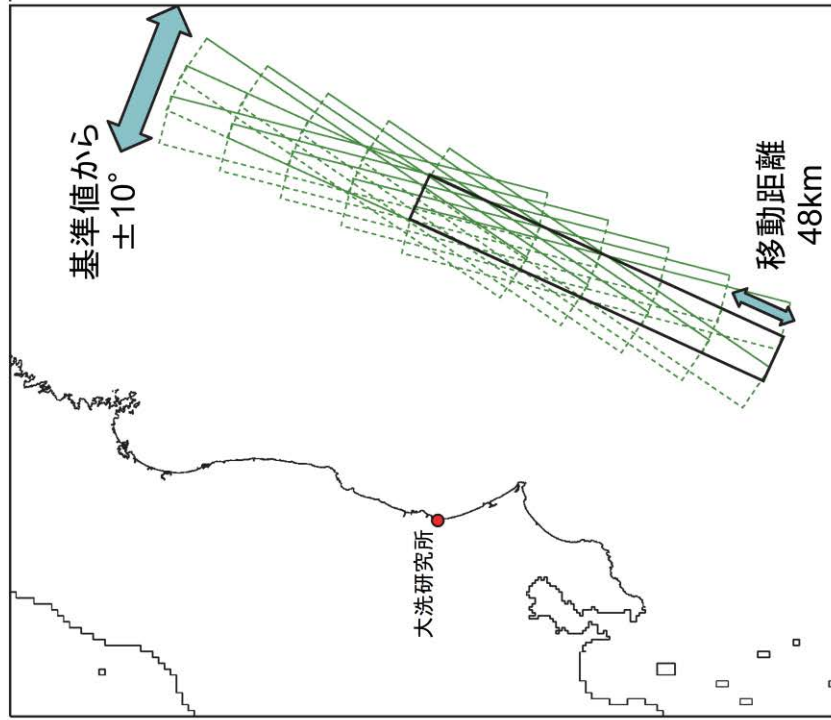


海洋プレート内地震の検討領域

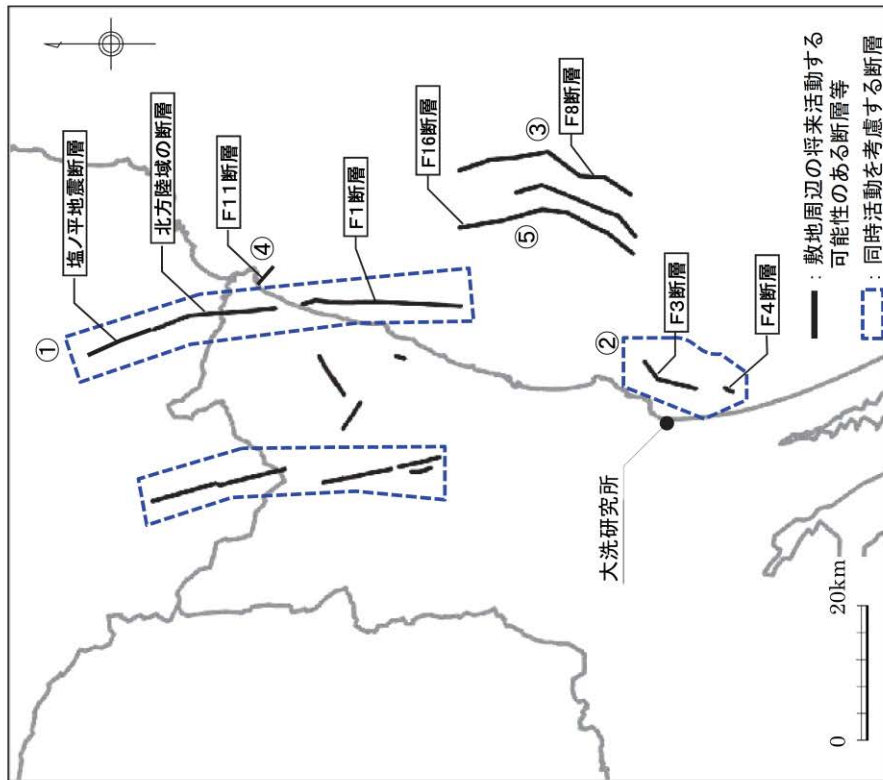
第7.3.12図 海洋プレート内の正断層地震
(波源モデルの諸元)

パラメータスタディ一覧

地震モデル	パラメータ項目	パラメータ変動範囲	ケース数	
正断層型	震源位置	検討領域内に南から北へ走向方向へ48kmごと移動	5	15
	走向	基準±10°	3	



第7.3.13図 海洋プレート内の正断層地震
(パラメータスタディの設定)

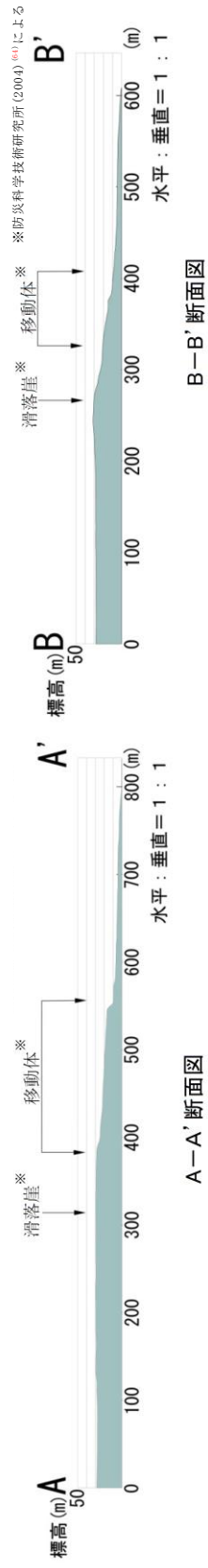
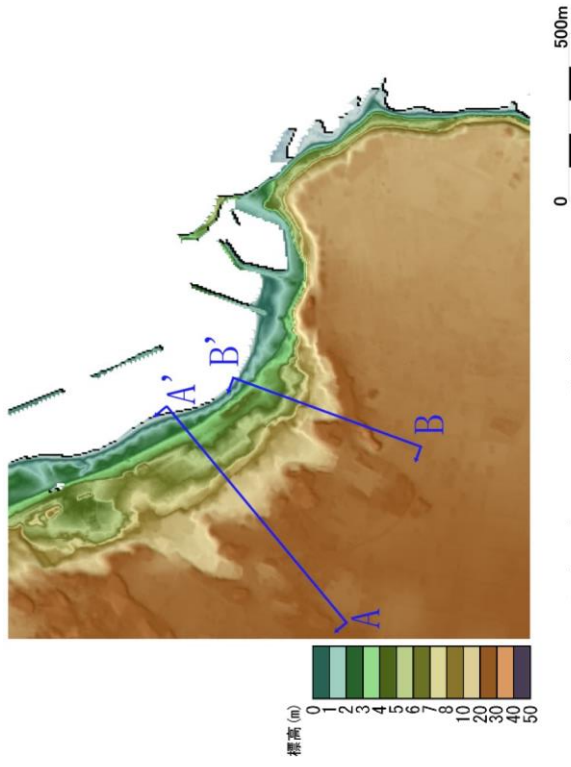


敷地周辺の海域活断層

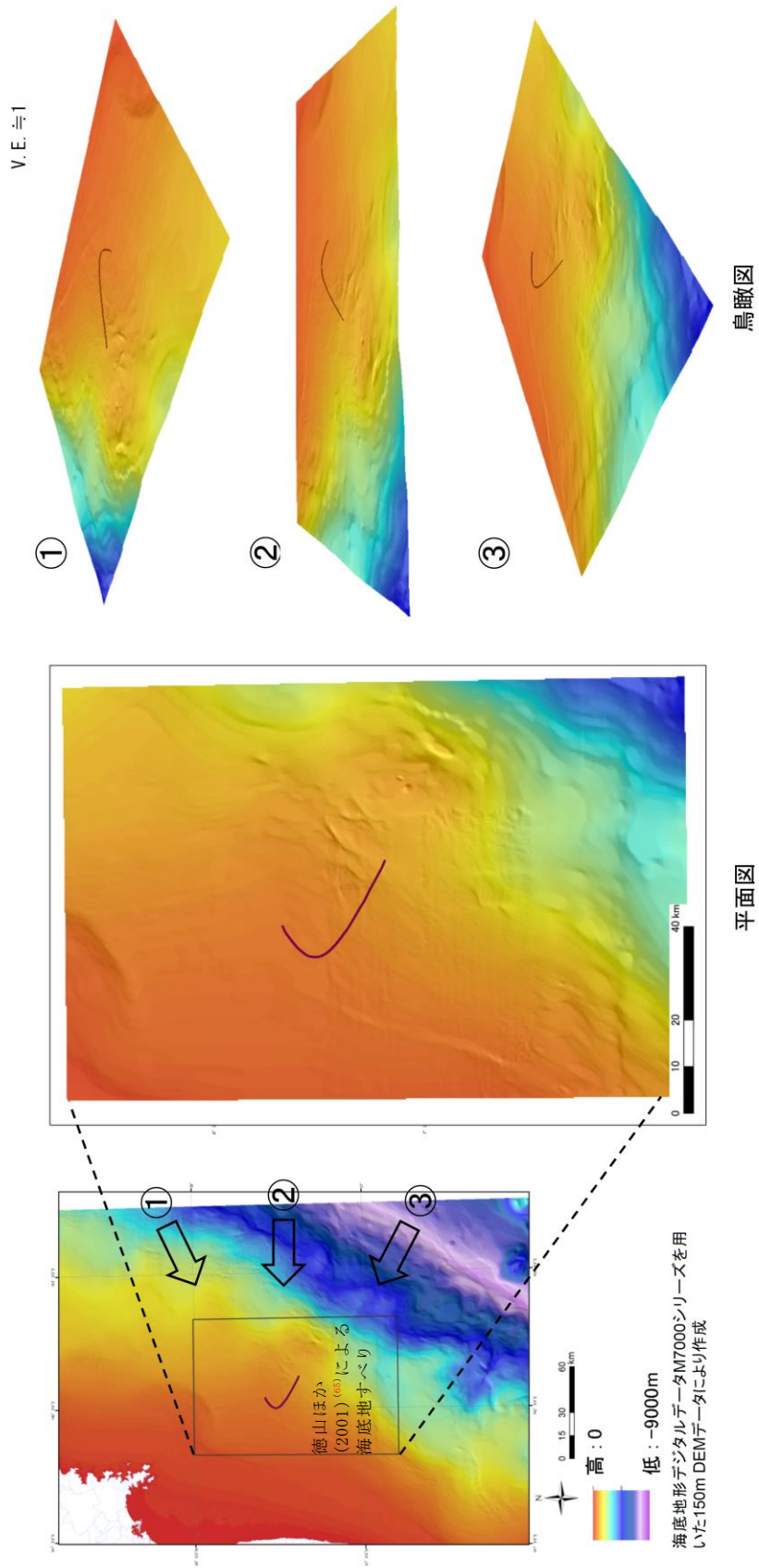
	地震モデル	M _w	長さ: L (km)	幅: W (km)	すべり 量:D (m)	地震モーメント:Mo (N・m)	敷地からの 距離**:Δ (km)
①	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の同時活動	7.4	59	—	—	1.52×10^{20}	63
②	F3断層～F4断層の同時活動	6.6	18	12.0	1.50	1.13×10^{19}	4
③	F8断層	6.9	26	—	—	2.95×10^{19}	38
④	F11断層	5.5	5	3.3	0.42	2.43×10^{17}	63
⑤	F16断層	6.9	26	—	—	2.95×10^{19}	32

** 断層中心から敷地までの平面距離。

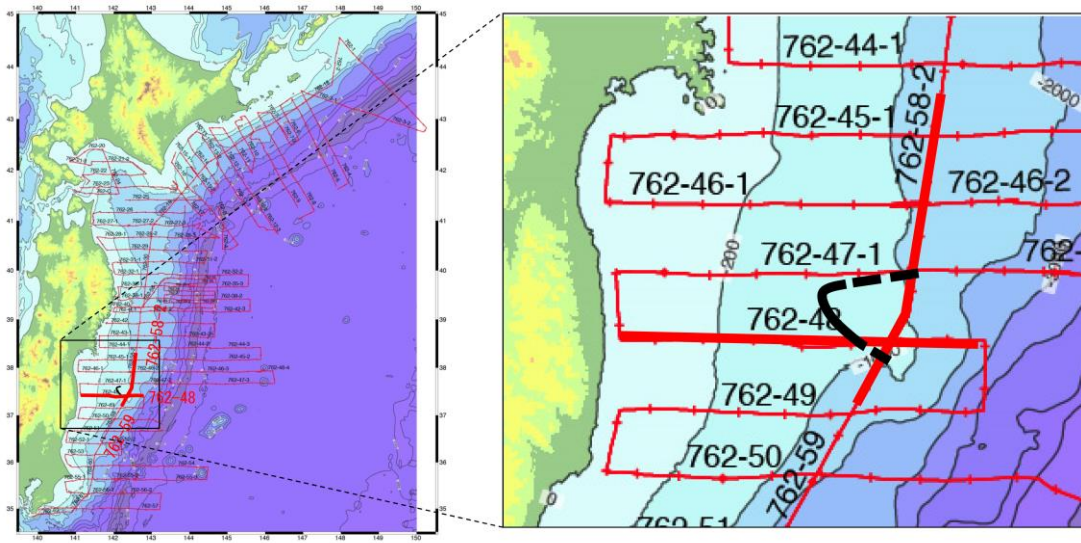
第 7.3.14 図 海域の活断層による地殻内地震（波源モデルの諸元）



第7.4.1図 陸上地すべり及び斜面崩壊
(文献に示される地すべり地形分布に対する地形判読結果)

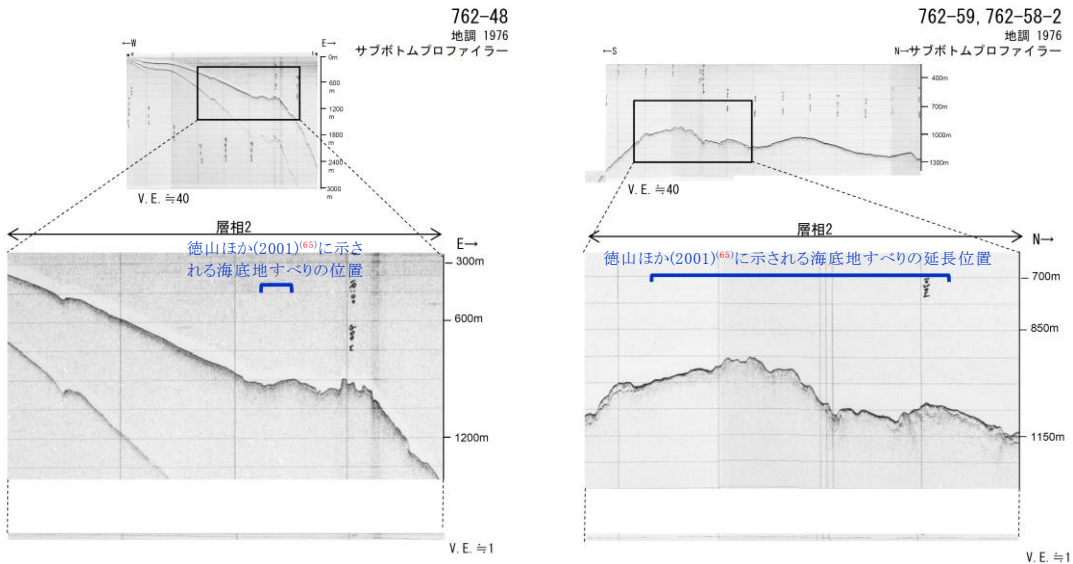


第 7. 4. 2 図 海底地すべり
(文献に示される海底地すべりに対する海底地形判読結果)



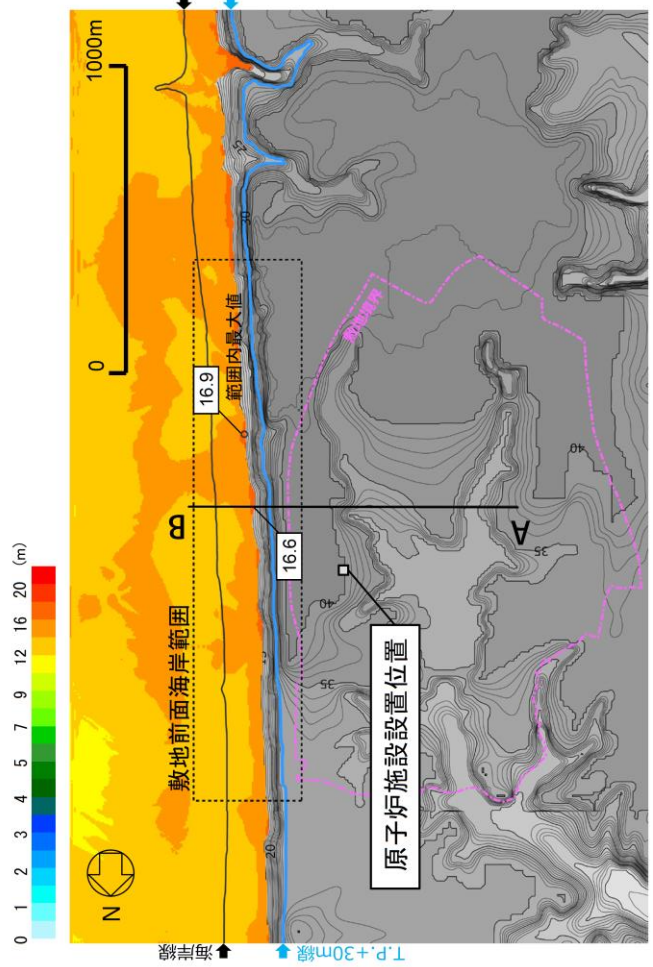
測線図

徳山ほか(2001)⁽⁶⁵⁾に示される海底地すべりの位置
(産業技術総合研究所(2015)⁽⁶⁶⁾に加筆)

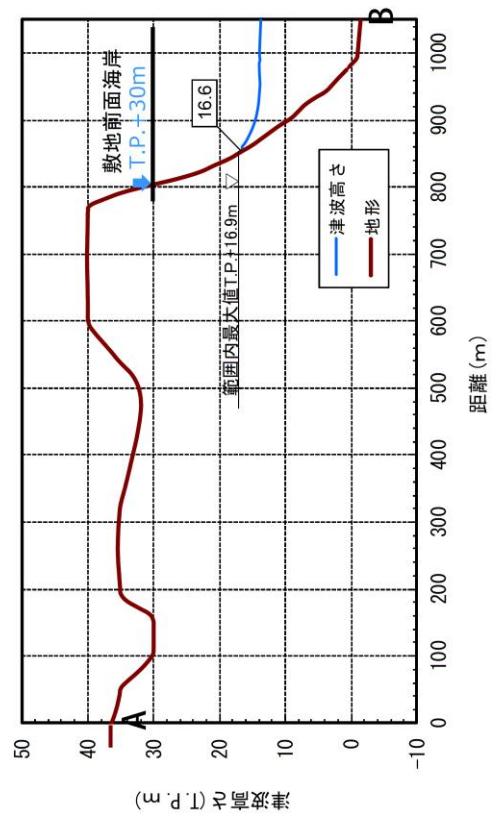


音波探査記録
(産業技術総合研究所(2015)⁽⁶⁶⁾に加筆)

第 7.4.3 図 海底地すべり
(文献に示される海底地すべりに対する音波探査記録による判読結果)

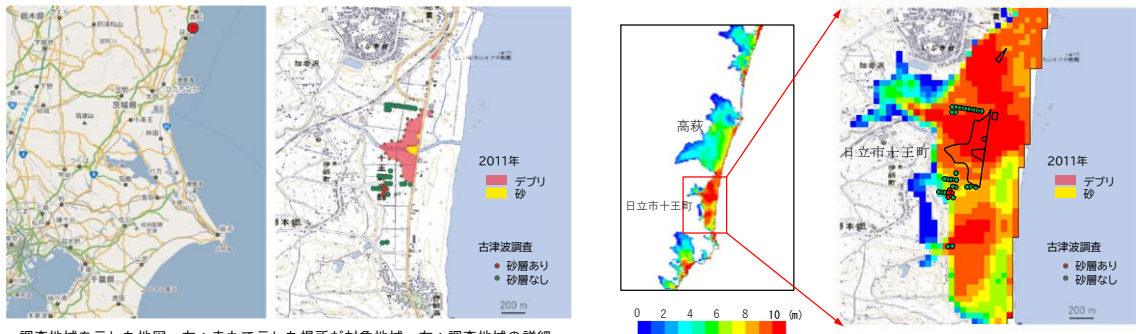


津波高さ分布図



断面図

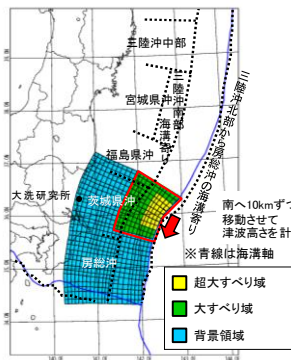
第7.6.1図 施設への津波の遡上評価
(立地上の余裕の確認)



調査地域を示した地図。左：赤丸で示した場所が対象地域。右：調査地域の詳細。デブリの分布によって推定された2011年の浸水範囲は赤で示されており、津波によって運搬された砂質堆積物は黄色で示している。2010年までに行っていた過去の津波堆積物に関する調査は、緑色および赤色の丸で示されている。赤い丸で示した場所で、過去の津波堆積物と考えられる砂層が見つかった。

日立市十王町の最大浸水深分布(A-3)

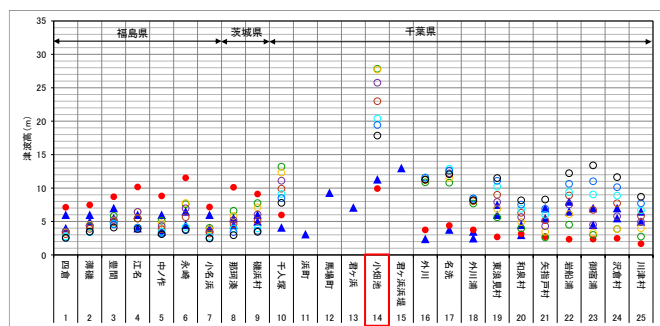
澤井(2012)⁽¹¹⁾を加工



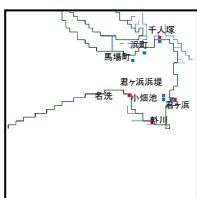
茨城県沖から房総沖に想定する津波波源



延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査(竹内他(2007)⁽⁷⁾に加筆)



津波堆積物調査に基づき確認された痕跡高。それ以外の地点については古文書による被害記録等により推定された津波浸水高(竹内他(2007)⁽⁷⁾、Yanagisawa et al.(2016)⁽¹³⁾に基づく)



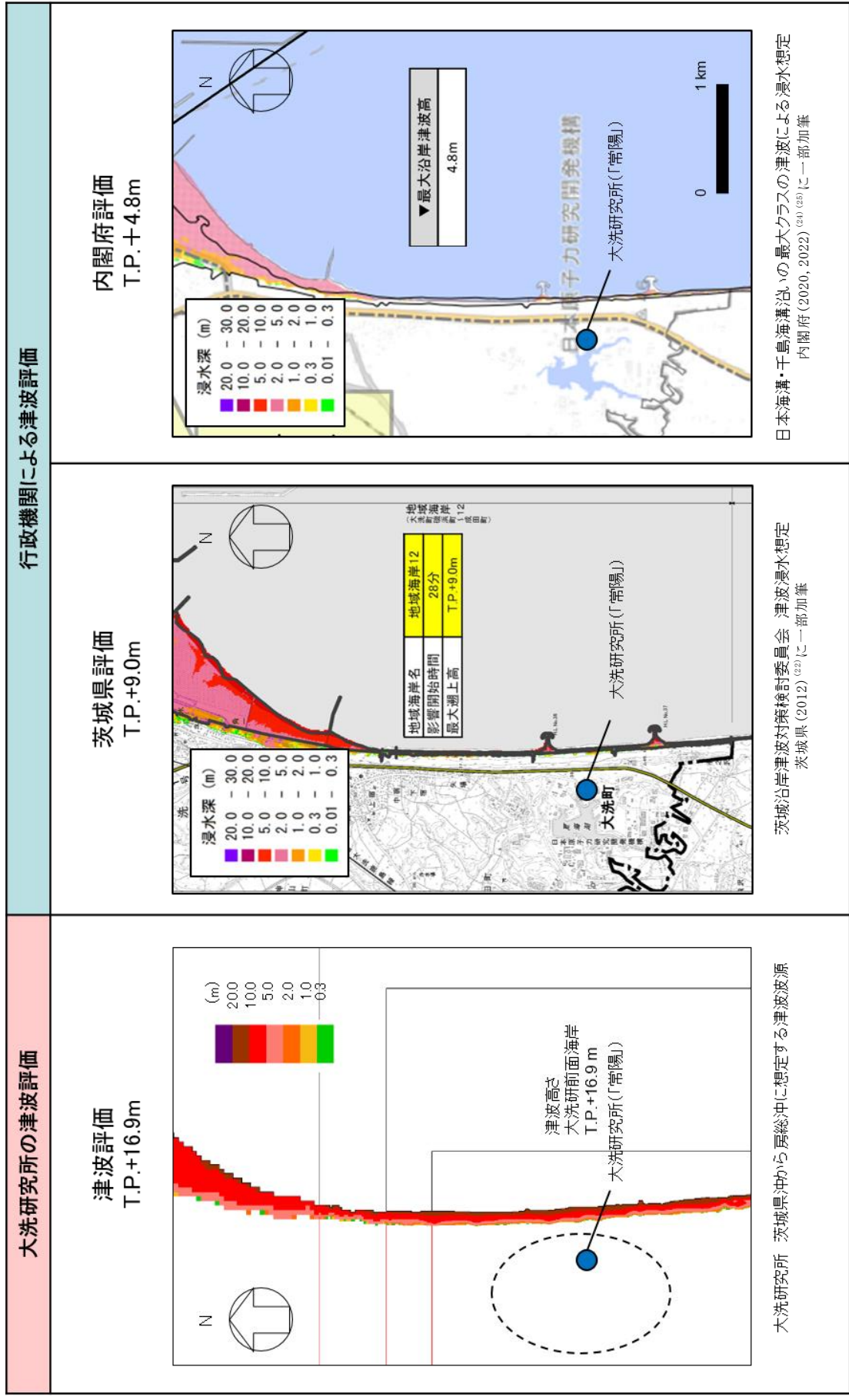
Yanagisawa et al.(2016)⁽¹³⁾の痕跡データ(鏡子市)

大すべり域及び超大すべり域の位置*			
▲ 痕跡	A-1	基準	A-8
● A-3	A-2	南へ10km移動	A-9
○ A-7	A-3	南へ20km移動	A-10
○ A-8	A-4	南へ30km移動	A-11
○ A-9	A-5	南へ40km移動	A-12
○ A-10	A-6	南へ50km移動	A-13
○ A-11	A-7	南へ60km移動	-
○ A-12	-	-	-
○ A-13	-	-	-

灰色字ケースの評価は示していない

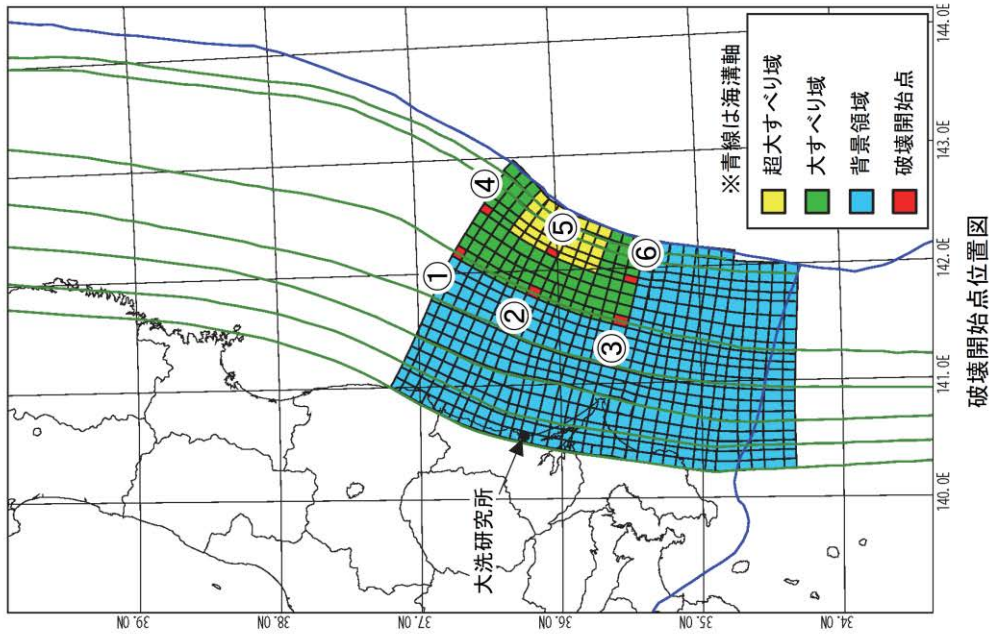
1677年延宝房総沖地震津波の痕跡高と津波高さの比較

第7.6.2図 地質学的証拠及び歴史記録等による確認(津波堆積物との比較)



第7.6.3 図 行政機関による既往評価との比較

項目	設定値
破壊開始点	①～⑥(右図参照)
破壊伝播速度	1.0km/s, 1.5km/s, 2.0km/s, 2.5km/s, 3.0km/s
立ち上がり時間	30秒, 60秒



第7.7.1図 茨城県沖から房総沖に想定する津波波源
(断層の破壊伝播現象を考慮したパラメータスタディの設定)