

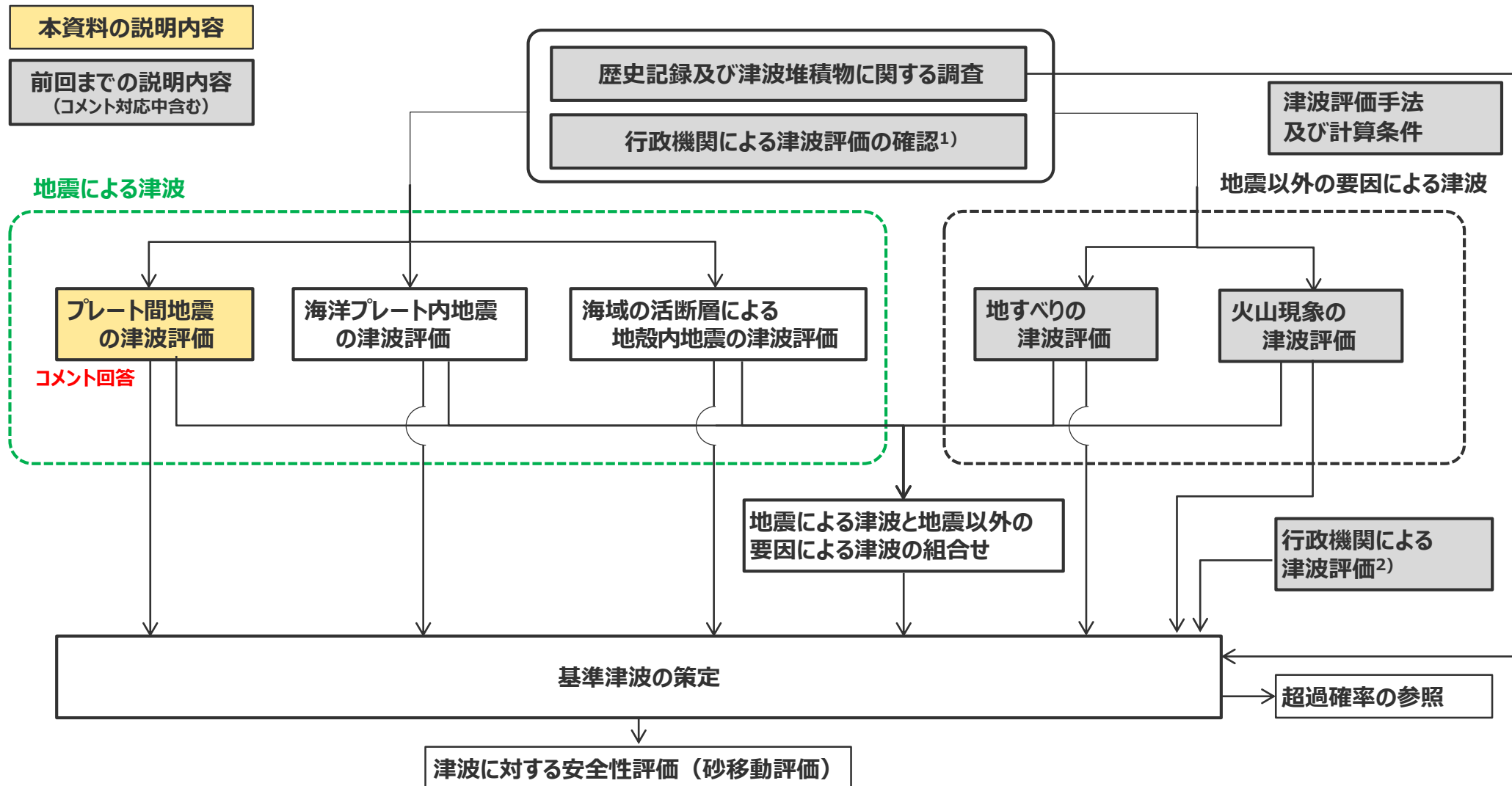


浜岡原子力発電所
基準津波の策定のうち
プレート間地震の津波評価について
(コメント回答)

2021年10月21日

本資料の説明内容

■ 本資料の説明内容は以下に示すとおり。



- 1) 各津波発生要因の津波評価は、「各種パラメータの網羅的検討による方法」によって行うものとし、ここで確認した行政機関による津波評価の波源モデルも含め、個々のパラメータについて科学的根拠を確認して検討した。
- 2) 行政機関による津波評価では、波源設定の考え方の相違点に着目して内容を精査し、「各種パラメータの網羅的検討による方法」とは別の考え方の方法によるものと考えられる行政機関の波源モデルそのものを基準津波の策定に反映した。

プレート間地震の津波評価について 第509回審査会合（2017年9月15日） コメント一覧表

No.	コメント	ページ番号
1	【内閣府の最大クラスの津波の波源モデル】 内閣府が設定した最大クラスの津波の波源モデルについてパラメータ設定の詳細を示し、分析を行うこと。	・第615回資料1-1 p.5~27
2	【検討波源モデルのパラメータ】 検討波源モデルのパラメータ設定について段階ごとに順を追って示すこと。	・第615回資料1-1 p.28~69
3	【浅部の破壊形態】 検討波源モデルで考慮している浅部の破壊形態について、保守的設定の考え方を整理して示すこと。	・第615回資料1-1 p.70~88
4	【ライズタイムの設定】 検討波源モデルのライズタイムの設定について、その妥当性を示すこと。	・第615回資料1-1 p.89~127
5	【朔望平均潮位】 朔望平均潮位の根拠を示すこと。	・第615回資料1-1 p.128~130
6	【南海トラフ～南西諸島海溝の調査】 南海トラフ～南西諸島海溝の調査について引用文献を明記するとともに、沈み込み帯の特徴と巨大地震の関連性についての記載の適正化を図ること。	・第615回資料1-1 p.131~160

プレート間地震の津波評価について

第615回審査会合（2018年8月24日） コメント一覧表

項目	No.	コメント	該当箇所
津波評価手法 および 計算条件	1	【敷地前面海域の経年変化】 ・敷地前面深浅測量の概要を示すこと。また測量結果について、最新および発電所運転時のデータを代表地点の数値等以示すこと。	・第662回資料1-1 No.1コメント回答
	2	【朔望平均潮位】 ・朔望平均潮位について、潮位記録の最新データを示すこと。	・第662回資料1-1 No.2コメント回答
プレート間地震 の津波評価	3	【行政機関の波源モデル】 ・国の波源モデルの他、地方自治体の波源モデルについても示すこと。 ・また、検討波源モデルと断層パラメータを比較すること。	・第662回資料1-1 3章他
	4	【大すべり域位置の設定根拠】 ・検討波源モデルの大すべり域の位置の設定根拠を分かりやすく記載すること。	・第662回資料1-1 4.1章
	5	【各小断層のすべり量設定】 ・各小断層のすべり分布とフィリピン海プレートのすべり込み速度分布との対応がわかるような資料構成とすること。	・第662回資料1-1 4.1章他
	6	【概略パラメータスタディモデルの設定】 ・概略パラメータスタディで設定している大すべり域の位置を移動させたモデルについて、波源モデルの図およびすべり分布等を含む断層パラメータを示すこと。	・第662回資料1-1 4.2章他
	7	【ライズタイムの設定】 ・ライズタイムのパラメータスタディにおいては、2011年東北沖地震、2004年スマトラ島沖地震だけでなく、1960年チリ地震等、その他の津波インバージョン事例も踏まえること。 ・また、その他の津波インバージョン事例および内閣府のパラメータの設定を踏まえて、ライズタイム60sを考慮すること。 ・ライズタイムを考慮した波源モデルのすべり量等の比較分析にあたっては、すべり量とライズタイムの関係を踏まえること。	・第662回資料1-1 No.7コメント回答他
	8	【土木学会(2016)の参照】 ・土木学会(2016)を参照していることを明記すること。	・第662回資料1-1 p.99
	9	【その他記載適正化】 ・文献の記載とそれを踏まえた判断とは分けて記載すること。	・第662回資料1-2 p.194

プレート間地震の津波評価について

第662回審査会合（2018年12月14日） コメント一覧表

項目	No.	コメント	該当箇所
プレート間地震 の津波評価	1	【敷地に影響の大きいケースの選定基準】 ・概略パラメータスタディ（大すべり域の位置の不確かさの考慮）の選定基準については、定量的な選定基準とすること。	・第717回資料1-1 No.1コメント回答
	2	【内閣府の最大クラスモデルの下降側の影響検討】 ・内閣府の最大クラスモデルについて、水位下降側の津波評価結果についても示すこと。	・第717回資料1-1 No.2コメント回答
	3	【超大すべり域の位置に関する検討】 ・敷地前面の津波波形が第1波のみ大きいという特徴的な波形であることを踏まえて、南海トラフの波源のうち発電所への影響の大きい領域を分析し、パラメータスタディとの関係を検証すること。 ・駿河湾奥の海溝軸付近に超大すべり域のすべり量を設定した場合の影響について検討すること。	・第717回資料1-1 No.3コメント回答
	4	【内閣府の最大クラスモデルの位置づけの再整理】 ・内閣府の最大クラスモデルを含むモデルを更なる不確かさ考慮モデル ¹⁾ とするならば、偶発的不確実さである破壊開始点のパラメータスタディを実施すること。 ・更なる不確かさの考慮は、概略パラメータスタディ（大すべり域の位置の不確かさ考慮）後のモデルに対して行うこと。 ・プレート間地震の津波評価の検討フローについて、更なる不確かさの考慮の位置を修正すること。	・第717回資料1-1 No.4コメント回答
津波評価手法 および 計算条件	5	【取放水設備の評価地点】 ・取水設備と連絡トンネルの構造、運用との関係を踏まえて津波評価に必要な地点を整理し、津波評価結果を示すこと。	・第717回資料1-1 No.5コメント回答
	6	【砂丘堤防の標高低下】 ・津波の越流等による砂丘の地形変化が津波評価へ与える影響について示すこと。	・第717回資料1-1 No.6コメント回答
その他	7	【記載の適正化】 ・基準津波の策定の全体フローについて、内閣府の最大クラスモデル以外の行政機関の津波評価がどのような位置づけであるかが全体フローの中で分かるような形で示すこと。 ・水位低下時間 ²⁾ については、地点を明記すること。	・第717回資料1-1 p.87、p.120他

・津波評価結果について、参考として汀線付近の水位の時刻歴波形が掲載されていることが分かるよう、記載を適正化。

1) 国内外の巨大地震の発生事例の範囲を超えて一部のパラメータを考慮したモデル（第662回資料1-1 p.99）

2) 取水塔地点の水位が取水塔呑口下端レベルを下回り取水塔から取水できない時間（第662回資料1-2 p.36）

プレート間地震の津波評価について

第717回審査会合（2019年5月24日） コメント一覧表

項目	No.	コメント	該当箇所
プレート間地震の津波評価	1	<p>【内閣府の最大クラスモデルに対する不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> 破壊開始点の不確かさは偶然的不確かさであることから、内閣府の最大クラスモデルに破壊開始点の不確かさが含まれていることの明確な根拠を示せないのであれば、内閣府の最大クラスモデルのすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せに対して破壊開始点のパラメータスタディを実施すること。 プレート間地震のパラメータスタディにおいて考慮しているすべり量(37m)とライズタイム(120s)の組合せは過去の事例の範囲内の設定であり、過去の事例が少なく自然現象に大きなばらつきがあることを踏まえると、内閣府の最大クラスモデルのすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを考慮しない考え方は認められない。内閣府の最大クラスモデルを参考にして波源モデルを設定し、その妥当性を内閣府の最大クラスモデルに依拠するのであれば、内閣府の最大クラスモデルのすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、プレート間地震のパラメータスタディの中で考慮すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 第920回資料1-1 No.1コメント回答
	2	<p>【記載の適正化】</p> <ul style="list-style-type: none"> Kajiura(1970)の数式の乗数、プレート間地震のコメント反映時期について記載を適正化すること。 「国や自治体の津波対策と浜岡原子力発電所の津波対策について」の記載の位置づけを再考し、記載を適正化すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 第920回資料1-2 p.214、261他 第920回資料1-2 p.246他
地震による津波と地震以外の要因による津波の組合せ	3	<p>【津波の組合せの方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> プレート間地震の津波と海底地すべりの津波との組合せについて、基準津波を策定する際の方針を記載すること。 	<p>今後のご説明事項</p>

プレート間地震の津波評価について 第920回審査会合（2020年11月13日）コメント一覧表

項目	No.	コメント	該当箇所
プレート間地震 の津波評価	1	【広域の沿岸域を対象とした波源モデル】 ・痕跡再現モデルについて、敷地が位置する遠州灘沿岸域だけでなく、より広域の津波痕跡を説明できるモデルも検討すること。	・第981回資料1-1 No.1コメント回答
	2	【検討波源モデルの妥当性に関する検討】 ・検討波源モデルに関して、痕跡再現モデルとの関係を踏まえてどのような考え方で設定したかが分かるように示すこと。 また、日本海溝において検討されたMw9クラスの津波評価の手法でも検討すること。	・第981回資料1-1 No.2コメント回答
	3	【遷移領域を設けたモデル設定の妥当性】 ・すべり量分布に遷移領域を設けた痕跡再現モデルおよび検討波源モデルのモデル設定の妥当性を示すこと。	・第981回資料1-1 No.3コメント回答
	4	【敷地の津波堆積物の堆積標高に関する確認】 ・敷地の津波堆積物の堆積標高と堆積当時の地形との関連について定量的な確認を行うこと。	・第981回資料1-1 No.4コメント回答

プレート間地震の津波評価について

第981回審査会合（2021年6月4日）コメント一覧表

● コメントNo.

項目	No.	コメント	該当箇所
プレート間地震 の津波評価	1	<p>【検討波源モデルの超大すべり域等の設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠州灘沿岸域に着目した検討波源モデルA・Bと、南海トラフ広域に着目した検討波源モデルCとで、異なるすべり量分布の設定方法を選択した理由を説明すること。 ・また、検討波源モデルCのすべり量分布を踏まえて、検討波源モデルA・Bに対して超大すべり域の深さを検討すること。 	・4.1章 C1
	2	<p>【日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本海溝の手法を用いた波源モデルでは、日本海溝の検討事例のパラメータを用いるのではなく、南海トラフの津波評価に適用するパラメータ設定を検討すること。 	・4.1章 C2
	3	<p>【遷移領域を設けたモデル設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遷移領域の有無が基準断層モデルの津波評価結果に与える影響について、水位上昇側とともに、水位下降側においても示すこと。 	・4.2章 C3
	4	<p>【海溝軸付近のすべりの不均質性の影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。 国内外の巨大地震の津波事例が限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。 	・No.4コメント回答 ・4.3章 C4

本日の説明内容

- 第981回審査会合（プレート間地震の津波評価）では、以下の項目についてコメントをいただいた。
 - ・No.1コメント：検討波源モデルの超大すべり域等の設定
 - ・No.2コメント：日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ設定
 - ・No.3コメント：遷移領域を設けたモデル設定の妥当性
 - ・No.4コメント：海溝軸付近のすべりの不均質性の影響

- 本日は、最初に、上記のうちNo.4コメントの回答について、個別に説明する。
 - ・No.4コメント回答：海溝軸付近のすべりの不均質性の影響 …… p. 14～

- 次に、No.4以外のコメント回答も含めて、「プレート間地震の津波評価」の全体を説明する。
 - ＜プレート間地震の津波評価＞ …… p. 48～
 - ・検討対象領域の選定 …… p. 55～
 - ・痕跡再現モデルの検討 …… p. 63～
 - ・行政機関による津波評価の確認 …… p. 92～
 - ・検討波源モデルの津波評価 …… p.113～
 - ・まとめ …… p.254～

プレート間地震の津波評価のコメント回答の概要

No.	コメント	コメント回答の概要
1	<p>【検討波源モデルの超大すべり域等の設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠州灘沿岸域に着目した検討波源モデルA・Bと、南海トラフ広域に着目した検討波源モデルCとで、異なるすべり量分布の設定方法を選択した理由を説明すること。 ・また、検討波源モデルCのすべり量分布を踏まえて、検討波源モデルA・Bに対して超大すべり域の深さを検討すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠州灘沿岸域に着目した検討波源モデルA・B、南海トラフ広域に着目した検討波源モデルCは、それぞれ着目した領域を踏まえてすべり量分布の特性化手法（特性化されたすべり量と面積割合の設定方法）を選択していることを整理した。 ・また、南海トラフ広域の津波に着目した検討波源モデルCの超大すべり域が、敷地周辺の津波に着目した検討波源モデルA・Bよりも、深い位置に設定されることを踏まえ、敷地に対して影響の大きい検討波源モデルAの超大すべり域の深さを検討波源モデルCと同じとしたモデルを検討波源モデルDとして追加し検討した。
2	<p>【日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本海溝の手法を用いた波源モデルでは、日本海溝の検討事例のパラメータを用いるのではなく、南海トラフの津波評価に適用するパラメータ設定を検討すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ（スケーリング則の対象とする断層面積、剛性率等）について、日本海溝の検証事例を参照するのではなく、南海トラフおよび国内外の巨大地震に関する最新知見に基づき設定することとした。 ・津波評価の結果、日本海溝の手法を用いた波源モデルの津波評価は、検討波源モデルの津波評価で代表できることを確認し、検討波源モデルによる津波評価の妥当性を確認した。
3	<p>【遷移領域を設けたモデル設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遷移領域の有無が基準断層モデルの津波評価結果に与える影響について、水位上昇側とともに、水位下降側においても示すこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水位上昇側および水位下降側の基準断層モデルに対して、遷移領域を設定しない津波断層モデルを用いて解析を実施し、遷移領域の有無が津波評価結果に与える影響は小さいことを確認した。
4	<p>【海溝軸付近のすべりの不均質性の影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。 国内外の巨大地震の津波事例が限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。 また、当社のプレート間地震の津波評価は、不確かさの考慮として、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に基づき「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による検討を行っており、内閣府(2020)および南海トラフにおける津波堆積物調査の拡充を踏まえると、2020年までに確認されている痕跡高を再現する津波が最大クラスの津波として想定されるところ、この痕跡高を2~3倍程度上回る保守的なものとなっている。 これらのことから、当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例が限られていることを踏まえ、更なる不確かさの考慮として、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。 具体的には、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討している当社のプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

プレート間地震の津波評価の全体像とコメント回答との関係

■ プレート間地震の津波評価の全体像とコメント回答との関係は以下に示すとおり。コメント回答に伴い、プレート間地震の津波評価を一部変更した。

プレート間地震の津波評価

検討対象領域の選定

痕跡再現モデルの検討

行政機関による津波評価の確認

検討波源モデルの津波評価

検討波源モデルの設定

検討波源モデル

[敷地周辺の津波に着目したモデル]

・検討波源モデルA

(断層破壊がプレート境界面浅部に伝播するモデル)

↳ 検討波源モデルB

(断層破壊がプレート境界面浅部・分岐断層に伝播するモデル)

↳ 検討波源モデルD

(超大すべり域の深さを広域モデルと同じとしたモデル) **追加**

[広域の津波に着目したモデル]

・検討波源モデルC

(3倍すべり域を広域に設定したモデル)

日本海溝の特性化手法モデル*

[敷地周辺の津波に着目したモデル]

・日本海溝の特性化手法モデル②

(日本海溝の特性化手法②)

・日本海溝の特性化手法モデル③

(日本海溝の特性化手法③) **変更**

[広域の津波に着目したモデル]

・日本海溝の特性化手法モデル①

(日本海溝の特性化手法①)

検討波源モデルのパラメータスタディ(国内外の巨大地震・津波の事例を踏まえた検討)

概略パラメータスタディ(大すべり域の位置の不確かさ考慮)

詳細パラメータスタディ(ライズタイム、破壊伝播速度、破壊開始点の不確かさ考慮)

更なる不確かさの考慮

(国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討) **追加**

No.1コメント回答：検討波源モデルの超大すべり域等の設定

○コメント回答に伴う変更点

■ 検討波源モデルAの超大すべり域の深さを、南海トラフ広域の津波に着目したモデルと同じとした検討波源モデルDを検討することとした。

No.2コメント回答：

日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ設定

○コメント回答に伴う変更点

■ 日本海溝の特性化手法を用いた波源モデルについて、特性化のためのパラメータ(スケーリング則の対象とする断層面積、剛性率等)は、日本海溝の検証事例を参照するのではなく、南海トラフおよび国内外の巨大地震に関する最新知見に基づき設定することとした。

No.3コメント回答：遷移領域を設けたモデル設定の妥当性

■ 遷移領域を設定しない津波断層モデルを用いて解析を実施し、遷移領域の有無が津波評価結果に与える影響は小さいことを確認した。

No.4コメント回答：海溝軸付近のすべりの不均質性の影響

○コメント回答に伴う変更点

■ 審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例が限られていることを踏まえ、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討することとし、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルにおいて他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討を行っているプレート間地震の津波評価において更なる不確かさとして考慮することとした。

* 第981回審査会合資料では、特性化手法(特性化されたすべり量と面積割合の設定方法)と特性化手法のためのパラメータ(スケーリング則の対象とする断層面積、剛性率等)とは、ともに日本海溝の検証事例を参照して組み合わせて検討するものと考え、検討波源モデル①～③を設定していたが、No.2コメント回答に伴い、特性化手法のみ日本海溝の検証事例を参照することとし、特性化手法のためのパラメータは南海トラフおよび国内外の巨大地震に関する最新知見に基づき設定し、検討波源モデルA～Dの津波評価の妥当性を確認するために検討したこれらモデルの名称を日本海溝の特性化手法モデル①～③とした。

プレート間地震の津波評価の全体概要

「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」

痕跡再現モデルの検討
歴史記録および津波堆積物に基づき、南海トラフの海底地形、構造、地震学的な特徴が反映されている南海トラフの津波痕跡高を再現するモデルを検討

検討波源モデルの設定
国内外の巨大地震に関する最新知見を踏まえて、南海トラフの特徴を考慮するとともに、東北沖地震において巨大津波が発生した要因を不確かさとして保守的に考慮した東北沖地震型の波源モデルを設定

概略パラメータスタディ
敷地への影響の観点から、大すべり域の位置を東西へ約10kmずつ移動させて検討し、基準断層モデルを選定

詳細パラメータスタディ
国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて、ライズタイム、破壊伝播速度、破壊開始点の組合せを網羅的に検討

更なる不確かさの考慮
国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討²⁾

Mw8.8 (すべり量D:9m)

遠州灘沿岸域の痕跡再現モデル

Mw8.8 (すべり量D:9m)

南海トラフ広域の痕跡再現モデル

- 津波断層域
- 4倍すべり域
- 3倍すべり域
- 大すべり域
- 背景領域
- 深い背景領域
- 最も深い背景領域
- 遷移領域もしくは基本すべり域
- 浅い背景領域 (すべり量が0(ゼロ)の領域)

Mw9.1 (D:37m) 検討波源モデルA
(断層破壊がプレート境界面浅部に伝播するモデル)

・大すべり域1つ
・大すべり域2つ
10kmずつ移動

Mw9.1 (D:37m) 検討波源モデルB
(断層破壊がプレート境界面浅部・分枝断層に伝播するモデル)

・大すべり域1つ
・大すべり域2つ
10kmずつ移動

Mw9.1 (D:37m) 検討波源モデルD
(超大すべり域の深さを広域モデルと同じとしたモデル)

・大すべり域1つ
・大すべり域2つ
10kmずつ移動

Mw9.2 (D:27m) 検討波源モデルC
(3倍すべり域を広域に設定したモデル)

・大すべり域2つ
10kmずつ移動

Mw9.2 (D:30m) 日本海溝の特性化手法モデル①
(日本海溝の特性化手法①)

・大すべり域2つ
10kmずつ移動

Mw9.2 (D:32m) 日本海溝の特性化手法モデル②
(日本海溝の特性化手法②)

・大すべり域1つ
10kmずつ移動

Mw9.2 (D:31m) 日本海溝の特性化手法モデル③
(日本海溝の特性化手法③)

・大すべり域1つ
10kmずつ移動

西に10km移動 Mw9.1
水位上昇側
基準断層モデル1 (検討波源モデルA)

東へ40km移動、大すべり域間100km Mw9.1
水位下降側
基準断層モデル2 (検討波源モデルA)

東へ60km移動 Mw9.1
水位上昇側
基準断層モデル3 (検討波源モデルD)

基準位置、大すべり域間120km Mw9.1
水位下降側
基準断層モデル4 (検討波源モデルD)

・ライズタイム 120~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

・ライズタイム 120~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

・ライズタイム 120~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

・ライズタイム 120~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

ライズタイム120s 破壊伝播速度2.5km/s 破壊開始点P4 Mw9.1 (T.P.m)

敷地	取水槽				
	1,2号	3号	4号	5号	
前面	20.3	4.6	7.2	8.0	9.9

ライズタイム150s 破壊伝播速度0.7km/s 破壊開始点P6 Mw9.1 (水位低下時間)

3号取水塔		4号取水塔	
13.2min		13.2min	

ライズタイム120s 破壊伝播速度1.0, 2.5km/s 破壊開始点P6 Mw9.1 (T.P.m)

敷地	取水槽				
	1,2号	3号	4号	5号	
前面	16.9	6.4 ^{*2}	8.9	9.4	11.6
	17.4	6.3 ^{*2}	8.8	9.5	11.5

(上段: Vr1.0km/s, 下段: Vr2.5km/s)

ライズタイム120s 破壊伝播速度0.7km/s 破壊開始点P1 Mw9.1 (水位低下時間)

3号取水塔		4号取水塔	
12.8min		12.7min	

今回追加
・ライズタイム 60~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

・ライズタイム 60~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

・ライズタイム 60~300s
・破壊伝播速度 0.7~2.5km/s
・破壊開始点 P1~P6

ライズタイム60s 破壊伝播速度2.5km/s 破壊開始点P4 Mw9.1 (T.P.m)

敷地	取水槽				
	1,2号	3号	4号	5号	
前面	22.5 ^{*1}	4.7 ^{*2}	7.3	8.1	10.1
	(3.1)	(3.1)			

ライズタイム150s 破壊伝播速度0.7km/s 破壊開始点P6 Mw9.1 (水位低下時間)

3号取水塔		4号取水塔	
13.2min		13.2min	

ライズタイム60s 破壊伝播速度1.0km/s 破壊開始点P6 Mw9.1 (T.P.m)

敷地	取水槽				
	1,2号	3号	4号	5号	
前面	19.8	6.4 ^{*2}	9.0	9.6	11.8
	(3.1)	(3.1)			

- *1 防波壁の高さを無限大として解析を実施。今後、基準津波の確定後、必要な対策を実施していく。
- *2 1・2号取水槽周りに高さ無限大の壁を設定して解析を実施。なお、括弧内の数値は、取水路の設備対策(1号取水路出口流路の縮小(流路面積1.0m²)・2号取水路出口流路の閉塞)を実施した場合における解析結果。

検討波源モデルの津波評価により代表できることを確認

「(B)代表パラメータの検討による方法」 内閣府の最大クラスモデル (T.P.m)
津波評価に影響の大きいパラメータを非常に大きく設定(すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを設定)することにより、その他のパラメータの不確かさを代表する方法で検討され、少ないケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定。

敷地	取水槽				
	1,2号	3号	4号	5号	
前面	21.1	4.6	7.1	7.9	9.9

「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルにおいて、他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているパラメータ(すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ)を**更なる不確かさとして考慮**

- 1) 「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討されている内閣府の最大クラスモデルのパラメータについて、科学的根拠を確認して検討した。
- 2) 「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討されている内閣府の最大クラスモデルのパラメータについて、プレート間地震の津波評価において考慮することとした。

(A)各種パラメータの網羅的検討による方法: 各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づく網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法

(B)代表パラメータの検討による方法: 影響の大きい代表パラメータを科学的知見の範囲を超えて非常に大きく設定することにより、その他の現象の津波評価への影響を代表させて安全側の評価を行う考え方の方法

目次

[コメント回答]

No.4コメント回答(海溝軸付近のすべりの不均質性の影響)	14
-------------------------------	----

[プレート間地震の津波評価]

1 検討対象領域の選定	55
2 痕跡再現モデルの検討	63
3 行政機関による津波評価の確認	92
4 検討波源モデルの津波評価	113
4.1 検討波源モデルの設定	113
4.2 検討波源モデルのパラメータスタディ	178
4.3 更なる不確かさの考慮	242
5 まとめ	254

目次

[コメント回答]

No.4コメント回答(海溝軸付近のすべりの不均質性の影響)

[プレート間地震の津波評価]

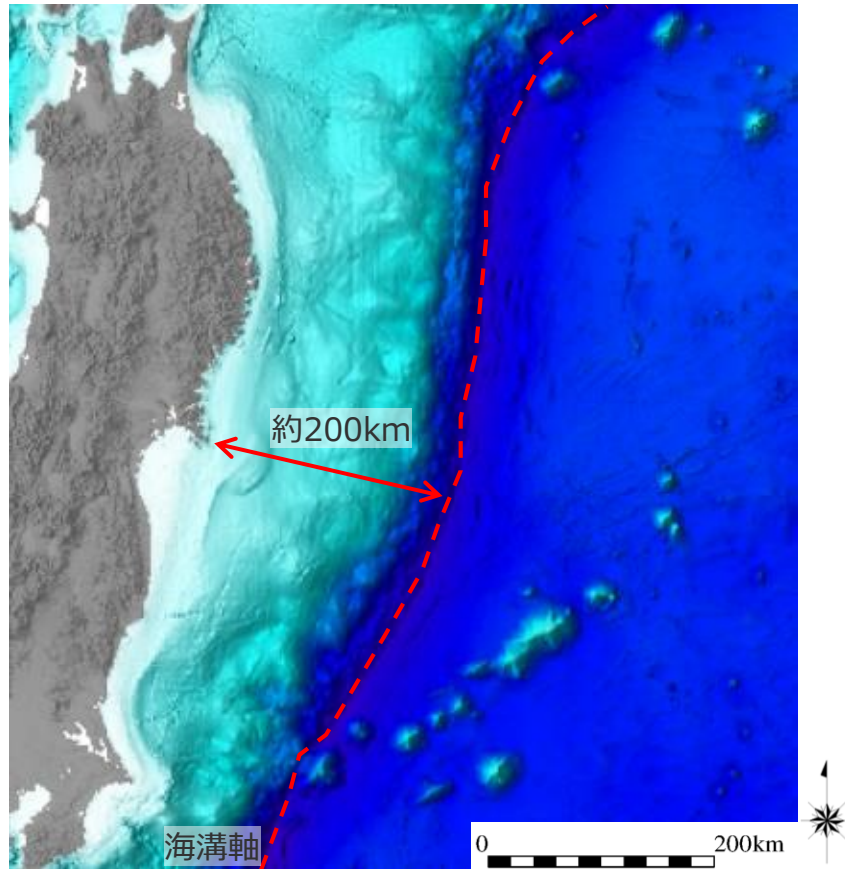
- 1 検討対象領域の選定
- 2 痕跡再現モデルの検討
- 3 行政機関による津波評価の確認
- 4 検討波源モデルの津波評価
 - 4.1 検討波源モデルの設定
 - 4.2 検討波源モデルのパラメータスタディ
 - 4.3 更なる不確かさの考慮
- 5 まとめ

No.4コメント回答(海溝軸付近のすべりの不均質性の影響)

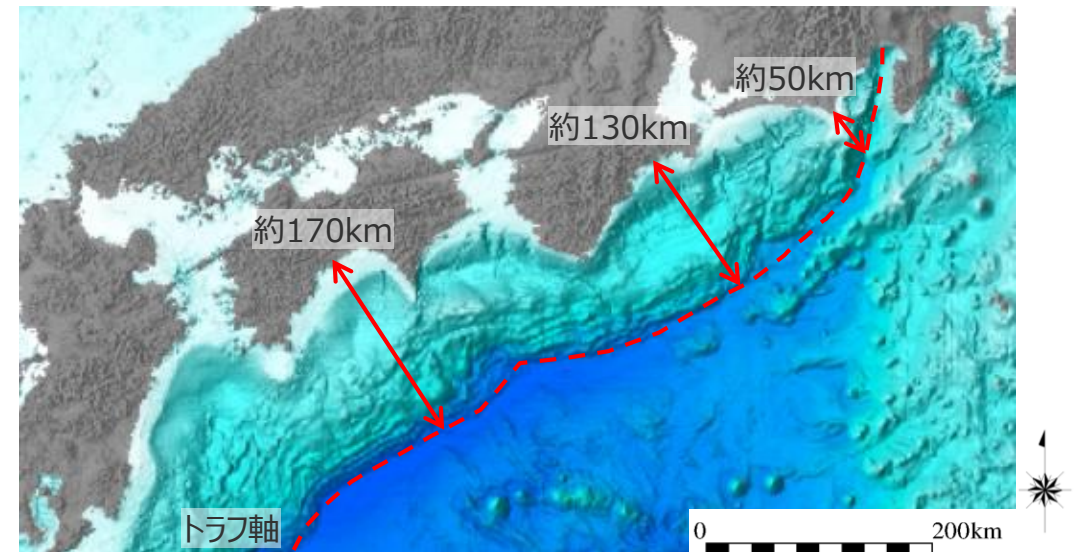
No.	コメント	コメント回答の概要
1	<p>【検討波源モデルの超大すべり域等の設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠州灘沿岸域に着目した検討波源モデルA・Bと、南海トラフ広域に着目した検討波源モデルCとで、異なるすべり量分布の設定方法を選択した理由を説明すること。 ・また、検討波源モデルCのすべり量分布を踏まえて、検討波源モデルA・Bに対して超大すべり域の深さを検討すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠州灘沿岸域に着目した検討波源モデルA・B、南海トラフ広域に着目した検討波源モデルCは、それぞれ着目した領域を踏まえてすべり量分布の特性化手法（特性化されたすべり量と面積割合の設定方法）を選択していることを整理した。 ・また、南海トラフ広域の津波に着目した検討波源モデルCの超大すべり域が、敷地周辺の津波に着目した検討波源モデルA・Bよりも、深い位置に設定されることを踏まえ、敷地に対して影響の大きい検討波源モデルAの超大すべり域の深さを検討波源モデルCと同じとしたモデルを検討波源モデルDとして追加し検討した。
2	<p>【日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本海溝の手法を用いた波源モデルでは、日本海溝の検討事例のパラメータを用いるのではなく、南海トラフの津波評価に適用するパラメータ設定を検討すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本海溝の手法を用いた波源モデルのパラメータ（スケーリング則の対象とする断層面積、剛性率等）について、日本海溝の検証事例を参照するのではなく、南海トラフおよび国内外の巨大地震に関する最新知見に基づき設定することとした。 ・津波評価の結果、日本海溝の手法を用いた波源モデルの津波評価は、検討波源モデルの津波評価で代表できることを確認し、検討波源モデルによる津波評価の妥当性を確認した。
3	<p>【遷移領域を設けたモデル設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遷移領域の有無が基準断層モデルの津波評価結果に与える影響について、水位上昇側とともに、水位下降側においても示すこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水位上昇側および水位下降側の基準断層モデルに対して、遷移領域を設定しない津波断層モデルを用いて解析を実施し、遷移領域の有無が津波評価結果に与える影響は小さいことを確認した。
4	<p>【海溝軸付近のすべりの不均質性の影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。 国内外の巨大地震の津波事例が限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。 また、当社のプレート間地震の津波評価は、不確かさの考慮として、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に基づき「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による検討を行っており、内閣府(2020)および南海トラフにおける津波堆積物調査の拡充を踏まえると、2020年までに確認されている痕跡高を再現する津波が最大クラスの津波として想定されるところ、この痕跡高を2~3倍程度上回る保守的なものとなっている。 これらのことから、当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例が限られていることを踏まえ、更なる不確かさの考慮として、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。 具体的には、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討している当社のプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

海溝軸から陸域までの距離

- 日本海溝と南海トラフの海溝軸から陸域までの距離は、おおよそ以下のとおり。
- 海溝軸から陸域までの距離は、日本海溝では約200kmであるのに対して、南海トラフでは約170km～50kmとなっており、敷地前面では約50km。



日本海溝



南海トラフ

(海上保安庁「海洋台帳」を基に作成)

日本海溝と南海トラフの海溝軸から陸域までの距離

検討概要

○第981回審査会合(2021年6月4日)コメント

- 東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。

海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。

国内外の巨大地震の津波事例が限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。

【検討方針】

- 東北沖地震型の特性化モデルでは、海溝軸付近において大きくすべった領域が、超大すべり域として大きく一様なすべりを持つ領域に特性化されてパラメータスタディが検討され、観測記録との比較により、その妥当性が確認されている。(土木学会(2016)等)
- 一方で、海溝軸付近において大きくすべった領域の内部のすべりは実際には不均質であることから、海溝軸付近のすべりの不均質性の影響について、海溝軸からの距離の観点を含めて検討することとした。

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

- 実際に海溝軸付近のすべりの不均質性が確認された東北沖地震の津波波源モデルを対象として、海溝軸付近において大きくすべった領域のすべりが一様なケースと不均質なケースとを設定して津波解析を実施し、海溝軸付近の不均質性の影響を、海溝軸からの距離の観点から比較・整理した。
- その結果、海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、水深がほぼ一様な海溝軸から沖合側では、海溝軸から離れるに従い徐々に小さくなるが、水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって津波が陸方向に直進する傾向が強く、海溝軸から離れた地点でも影響がなくなることを確認した。
- このことから、海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。

②プレート間地震の津波評価への反映

- 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響に関する検討の結果、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。
- また、当社のプレート間地震の津波評価は、不確かさの考慮として、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に基づき「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による検討を行っており、内閣府(2020)および南海トラフにおける津波堆積物調査の拡充を踏まえると、2020年までに確認されている痕跡高を再現する津波が最大クラスの津波として想定されるところ、この痕跡高を2~3倍程度上回る保守的なものとなっている。
- これらのことから、当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例が限られていることを踏まえ、更なる不確かさの考慮として、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。
- 具体的には、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討している当社のプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

・各種パラメータの不確かさに対し、安全側の評価を行うため波源モデル設定の方法は、以下(A)の方法のほか、(B)の方法があると考えられる。

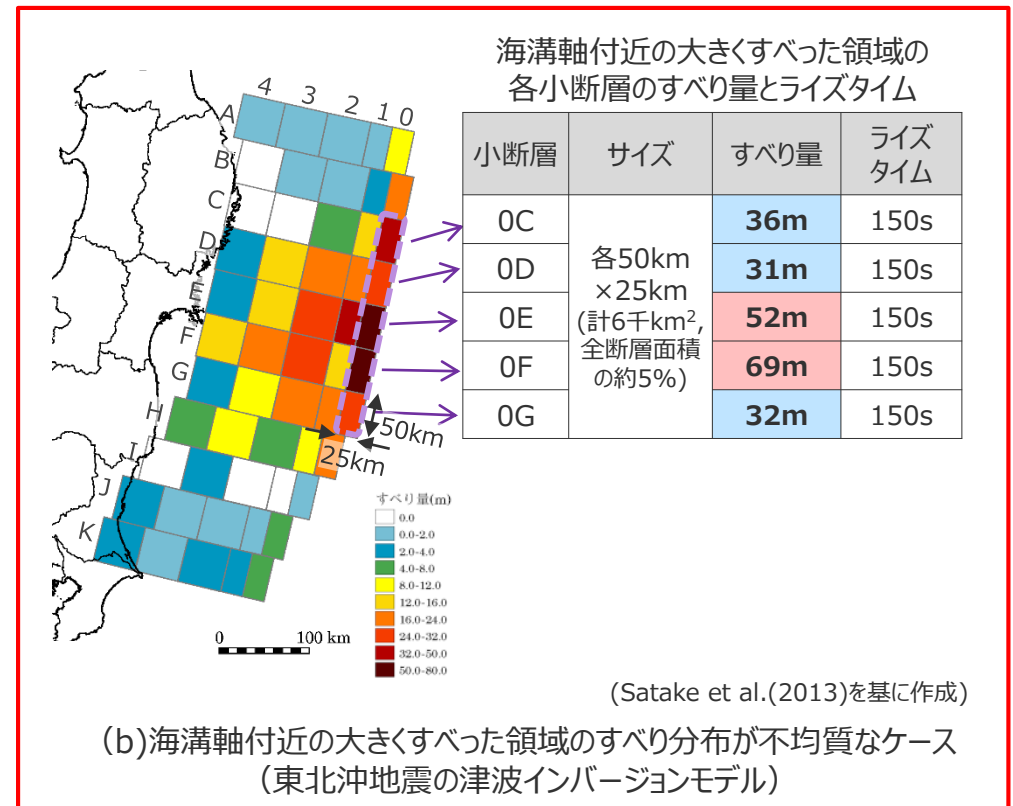
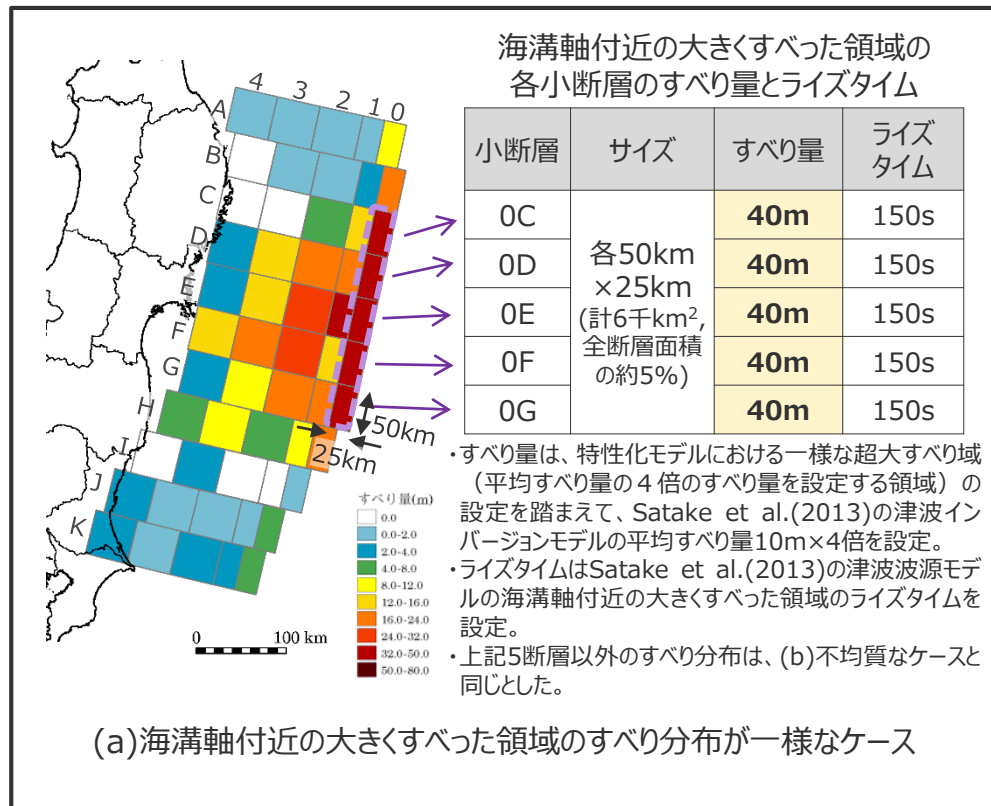
(A) 各種パラメータの網羅的検討による方法：各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づく網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法

(B) 代表パラメータの検討による方法：影響の大きい代表パラメータを科学的知見の範囲を超えて非常に大きく設定することにより、その他の現象の津波評価への影響を代表させて安全側の評価を行う考え方の方法

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(検討方針)

- 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響について、実際に海溝軸付近のすべりの不均質性が確認された東北沖地震の津波波源モデルを対象として、海溝軸付近において大きくすべった領域の断層すべりが、(a)一様なケースと(b)不均質なケースとを設定し、両ケースによる津波評価結果の差異について、海溝軸からの距離の観点から比較した。
- ここで、(b)不均質なケースは、海溝軸付近において不均質なすべり分布が推定されている東北沖地震の津波インバージョンモデルそのものとした。
 (a)一様なケースは、東北沖地震の特性化モデルにおいて、一様な超大すべり域（平均すべり量の4倍のすべり量を設定する領域）が全断層面積の5%の領域に設定される事例（土木学会(2016)、内閣府(2012)等）を踏まえ、東北沖地震の津波インバージョンモデルに対して、海溝軸付近において大きくすべった全断層面積の約5%の領域の小断層のすべり量とライズタイムを、一様に40m・150sとした。

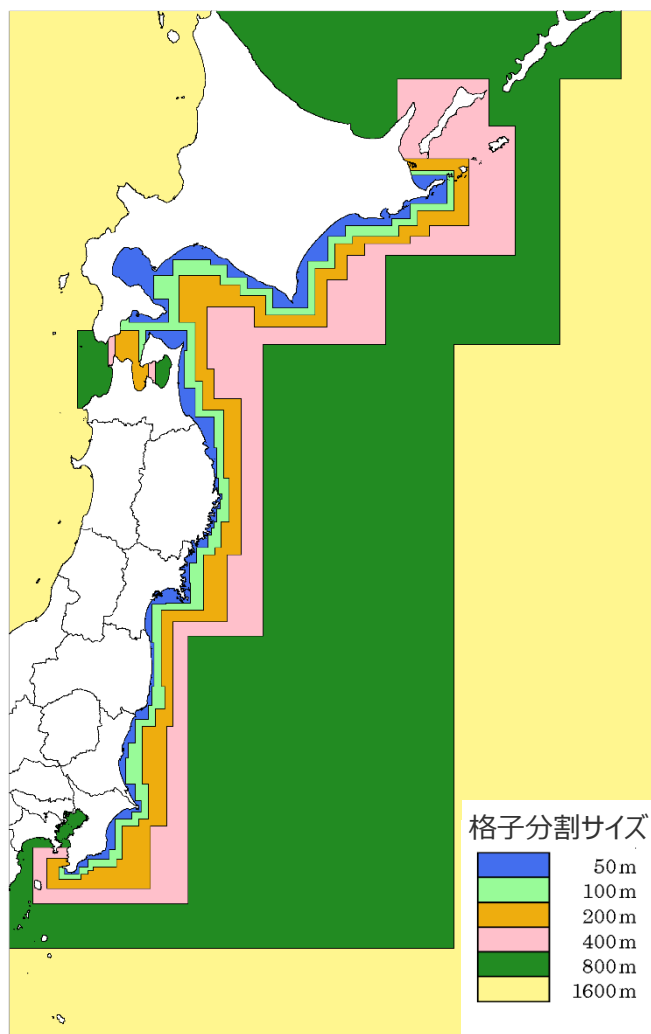


海溝軸からの距離の観点から解析結果を比較

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(計算条件)

■ 東北沖地震の津波波源モデルに関する計算条件を示す。



計算領域・格子分割

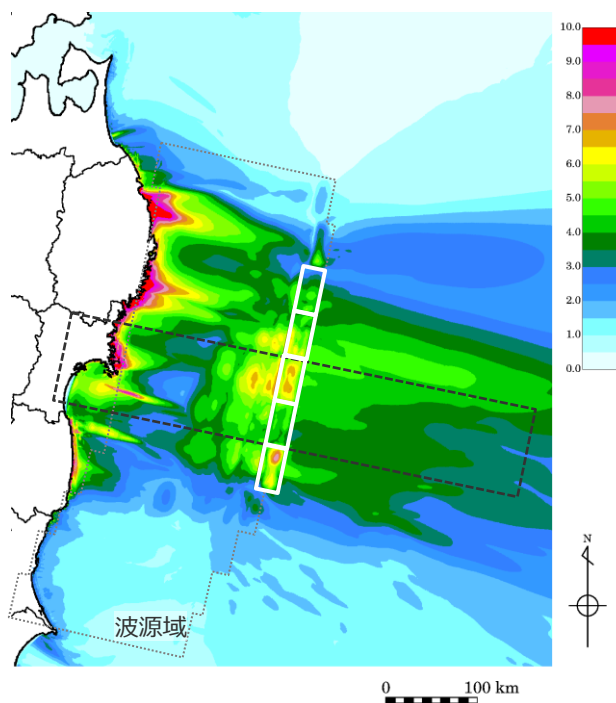
項目	計算条件 (津波の数値シミュレーション)	
基礎方程式	・非線形長波理論 (浅水理論) の連続式及び運動方程式	
計算領域	・北海道根室～房総半島の領域	
格子分割サイズ	・沖合1,600m→800m→400m→200m→100m→50m	
境界条件	・沖側	・吸収境界 (Cerjan et al.(1985))
	・陸側	・完全反射
潮位条件	・T.P.± 0.0m	
海底の地盤変動量 (初期水位の算定方法)	・Mansinha and Smylie(1971)の方法 (水平変位による鉛直寄与分を考慮) ・海底地盤変動量は、タイムウィンドウごとに推定されたすべり量に基づき、計算時間間隔(0.2s)ごとに徐々に与える。	
海底摩擦損失係数	・マンニングの粗度係数 $0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$	
水平渦動粘性係数	・ $10\text{m}^2/\text{s}$	
計算時間間隔	・0.2s	
計算時間	・1時間	

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

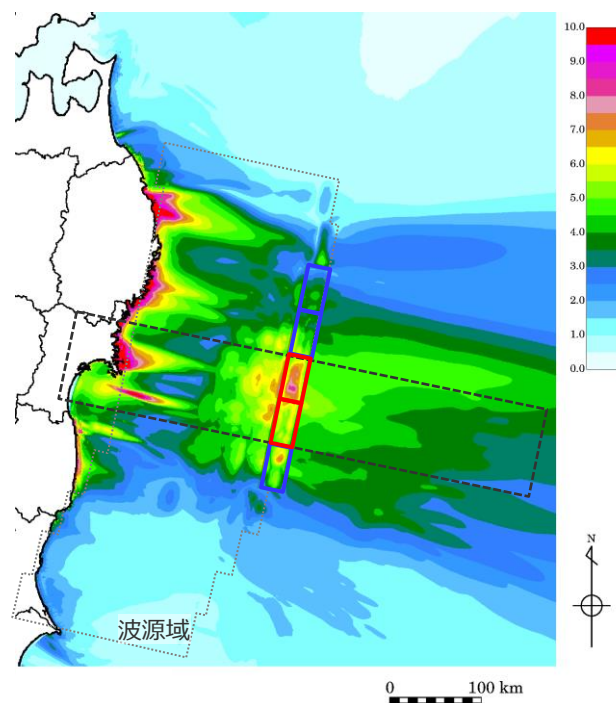
(最大上昇水位の平面分布)

- 海溝軸付近において大きくすべった領域内部の断層すべりが、(a)一様なケースと (b)不均質なケースの最大上昇水位分布を示す。
- 両ケースの最大上昇水位分布は、全体としては大きな違いはないが、(b)不均質なケースでは、(a)一様なケースよりも大きなすべり量を設定した小断層の正対した陸域側および沖合側において、津波水位が大きくなっていることが確認できる。

□ 一様なすべり (40m・150s) を設定した小断層
 □ 一様なケースよりも大きいすべりを設定した小断層
 □ 一様なケースよりも小さいすべりを設定した小断層

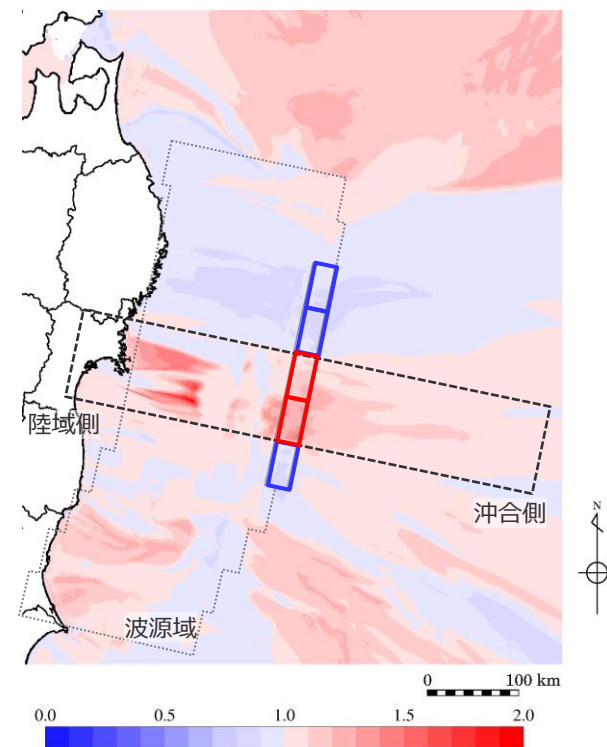


(a)海溝軸付近の大きくすべった領域のすべり分布が一様なケース



(b)海溝軸付近の大きくすべった領域のすべり分布が不均質なケース

最大上昇水位分布

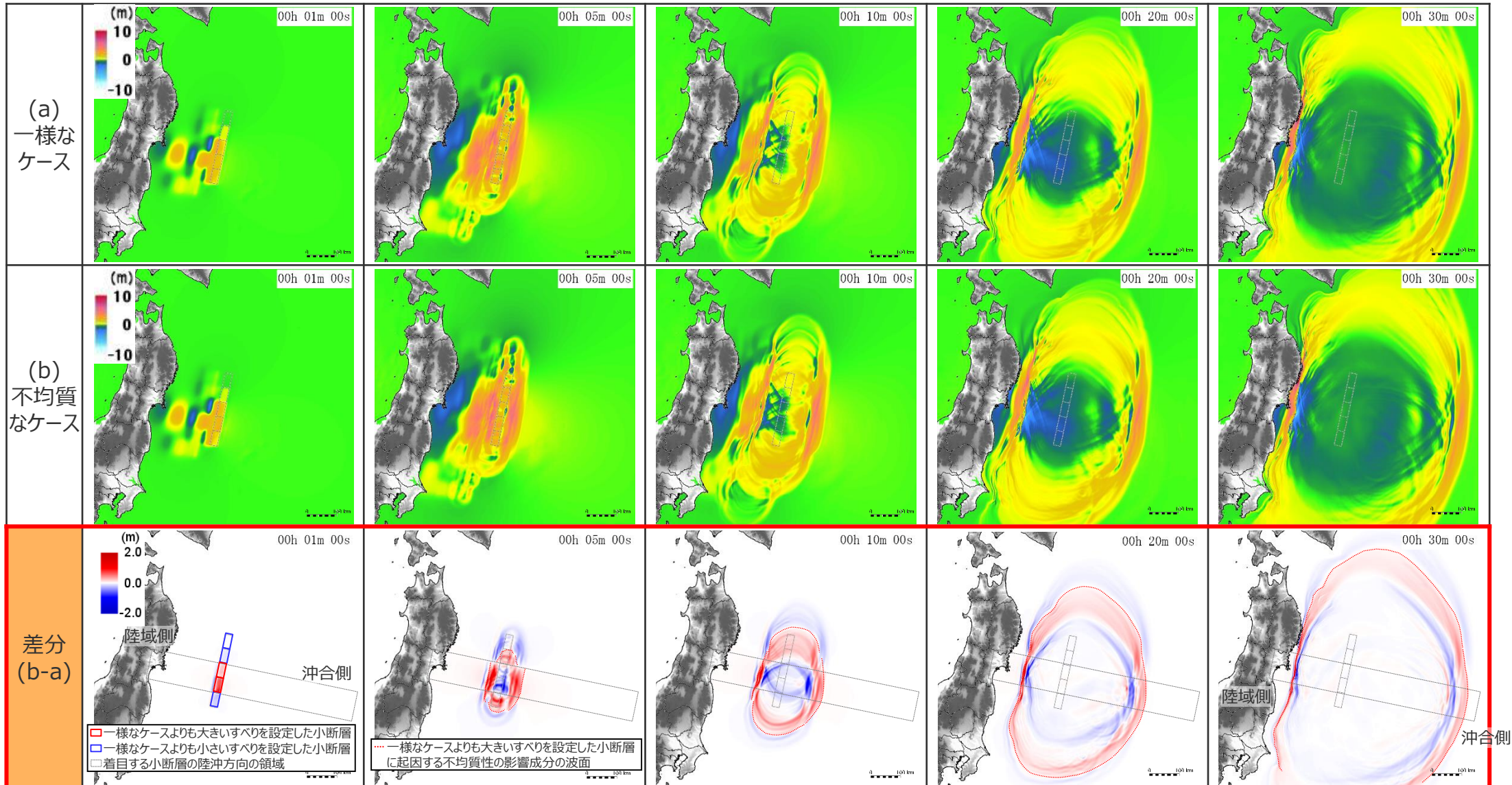


最大上昇水位比 (b/a)

① 海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(各時刻の水位の平面分布)

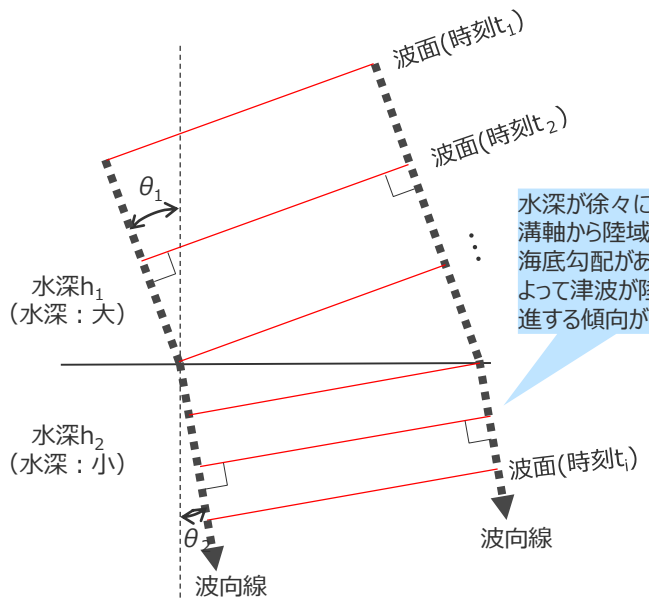
- 海溝軸付近の大きくすべった領域のすべり分布が、(a)一様なケースと(b)不均質なケースの、各時刻の津波水位の平面分布およびその差分を示す。
- (a)一様なケースと(b)不均質なケースの水位の平面分布に大きな違いはなく、また、両ケースの水位の差分の平面分布からは、海溝軸付近のすべりの不均質性の影響(津波水位の差分)の波面が、平面的に広がりながら伝播していく様子が確認できる。



①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(各時刻の水位の平面分布：波向線の検討)

- 一般的に、沖合で発生する津波は、水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって波向線（津波の進行方向）が陸方向に直進する傾向が強くなるとされる。（首藤ほか(2007)、石原・本間(1965)、羽鳥(1976)等）
- すべりの不均質性の影響成分（津波水位の差分）について、各時刻の波面からそれと直交する波向線を検討した結果、着目する小断層起因のすべりの不均質性の影響は、水深がほぼ一樣な海溝軸から沖合側では平面的に広がりながら伝播し、水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって陸方向に直進していることを確認した。



水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって津波が陸方向に直進する傾向が強くなる

- ・各時刻の波面と波向線（波の進行方向）とは直交する。
- ・波向線と水深には以下の関係がある。

$$\sin\theta_1/\sin\theta_2 = \sqrt{h_1/h_2}$$

(石原・本間(1965)を基に作成)

海底勾配による波向線の屈折

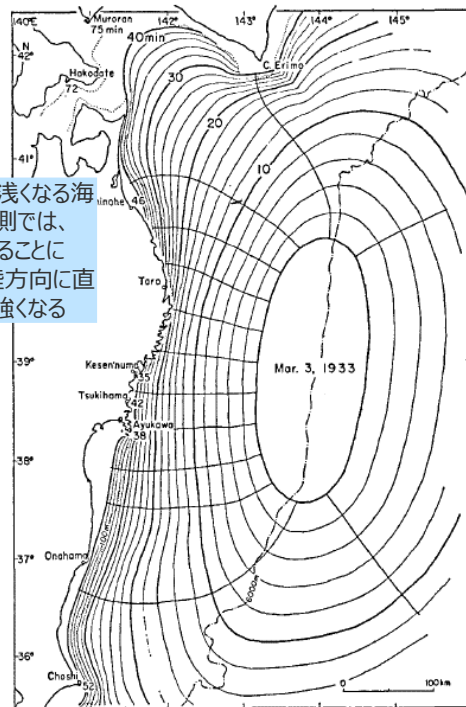
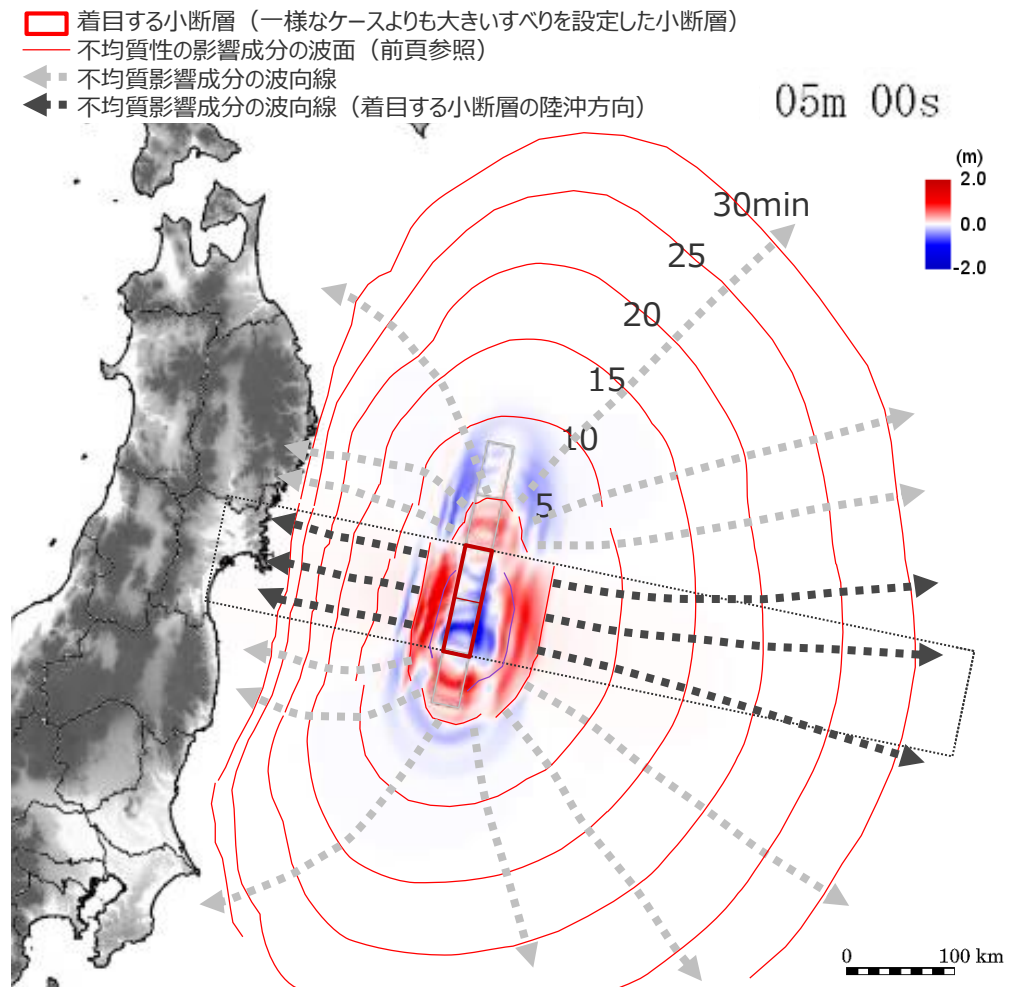


Fig. 2. Refraction diagram of the 1933 Sanriku tsunami (time interval: 2 min) and travel times (min) observed by tide gauges. Tsunami rays are emitted from each unit segment (35 km length) of the source margin.

(羽鳥(1976))

津波波源からの波向線の検討事例

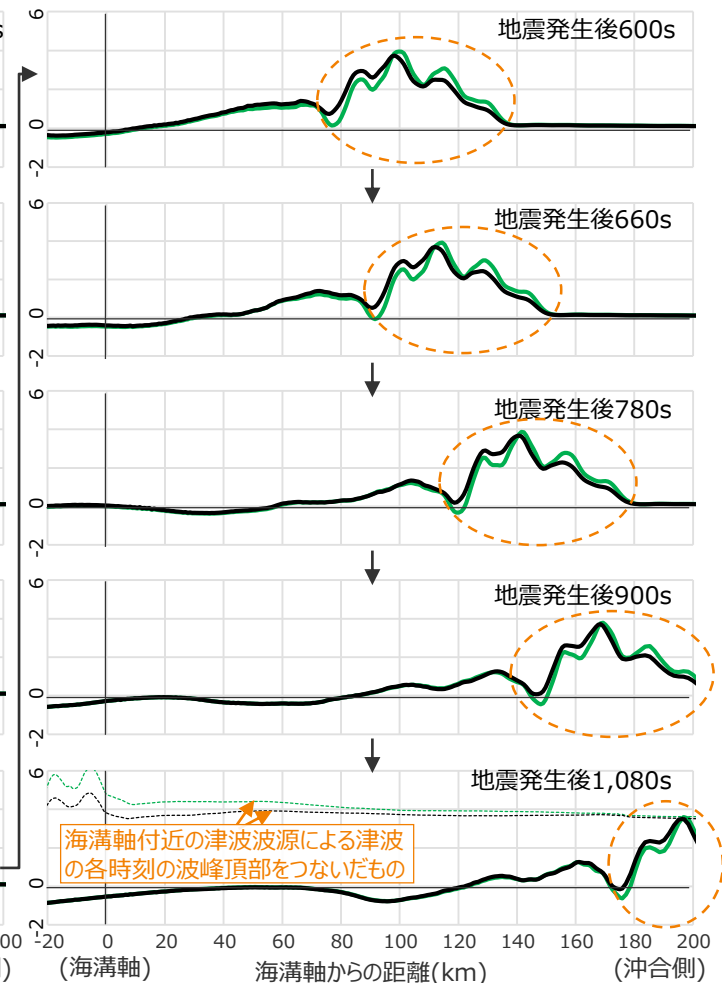
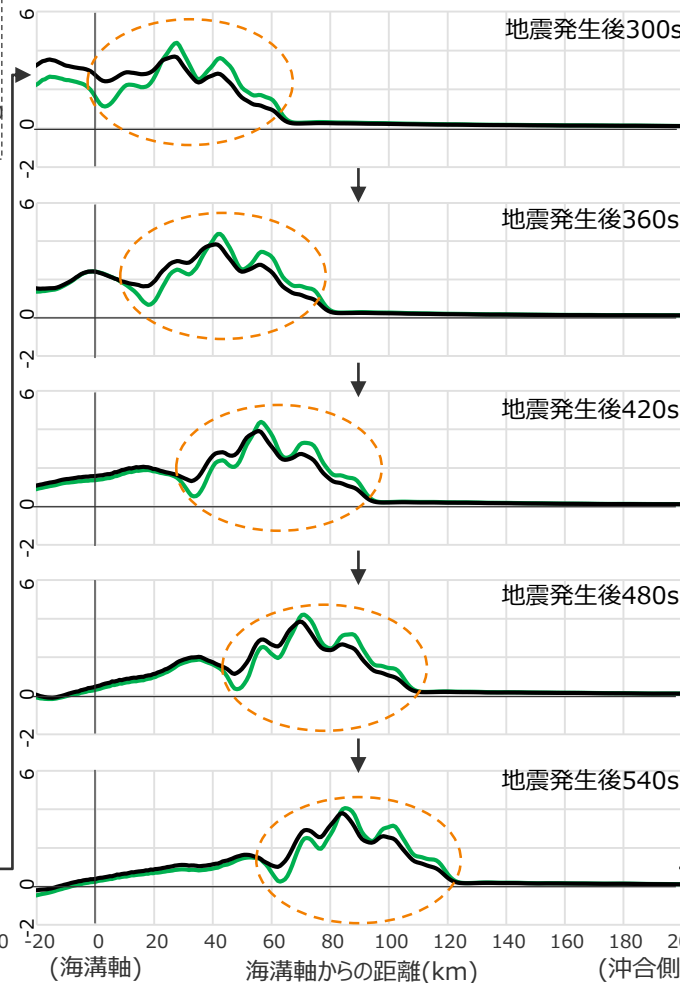
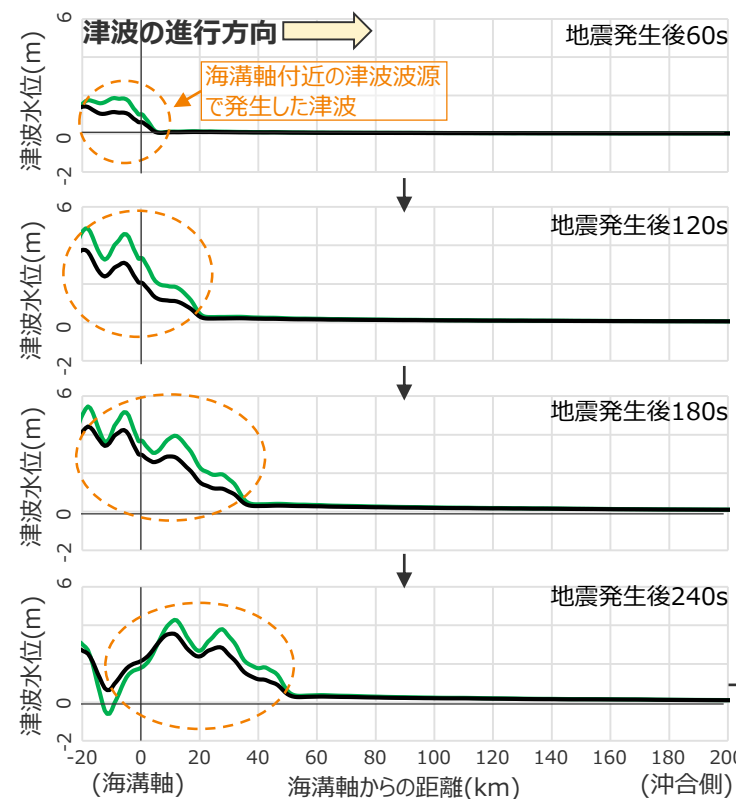
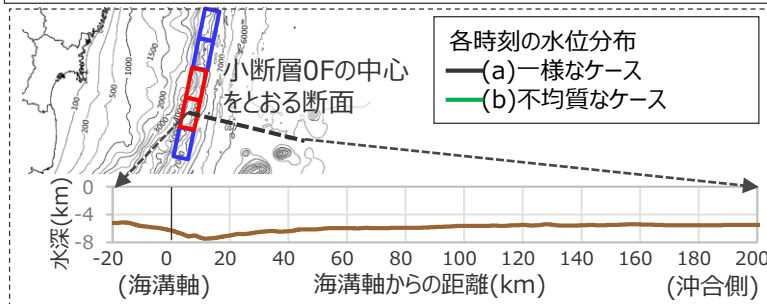


海溝軸付近の不均質性による影響の広がり波向線の検討

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(各時刻の水位の断面分布：海溝軸から沖合側)

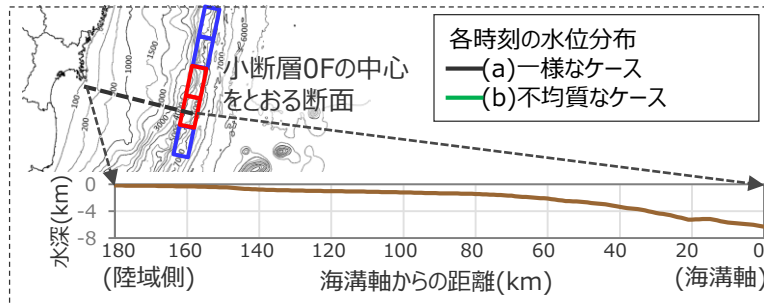
- 一様なケースよりも大きなすべり量を設定した小断層0Fの海溝軸から沖合方向断面について、(a)一様なケースと(b)不均質なケースの各時刻の水位の断面分布を示す。
- 海溝軸付近の津波波源で発生した津波は、海溝軸から沖合側へは波長が長い津波として伝播し、海溝軸から離れるほど、両ケースの水位分布の違いは小さくなっていく。



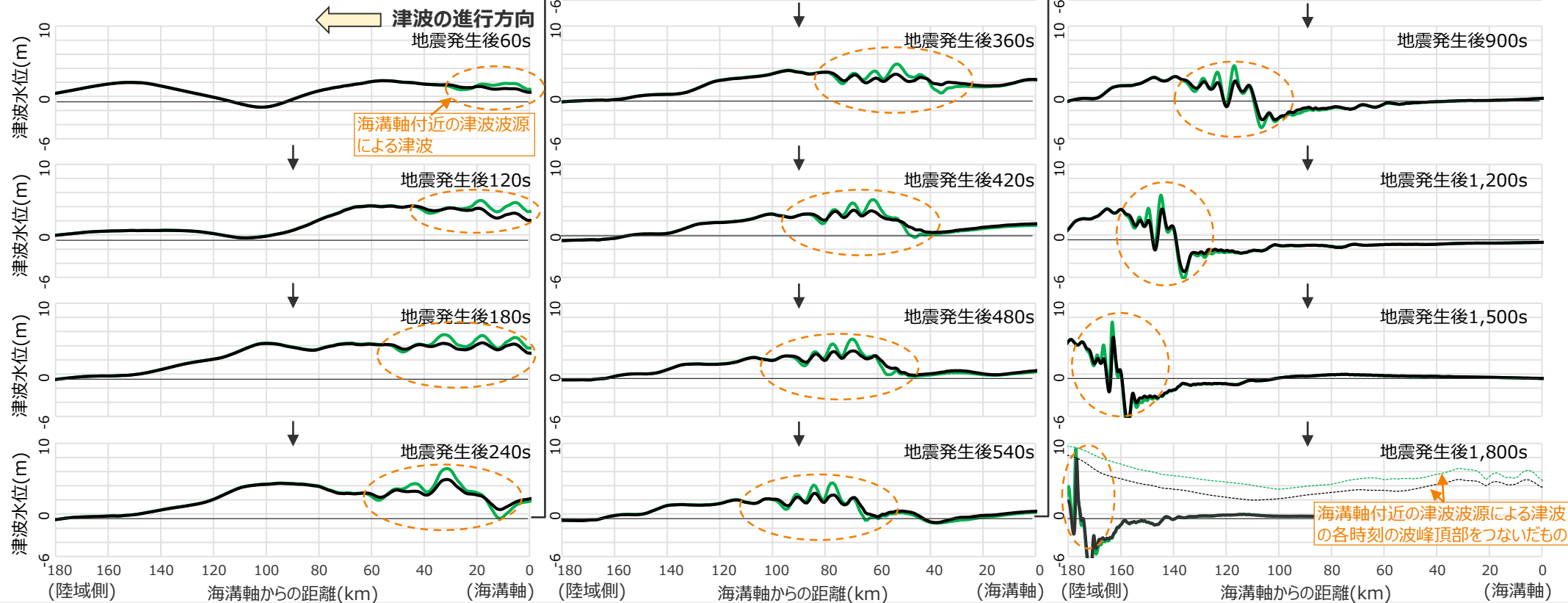
①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(各時刻の水位の断面分布：海溝軸から陸域側)

- 一様なケースよりも大きなすべり量を設定した小断層OFの海溝軸から陸域方向断面について、(a)一様なケースと(b)不均質なケースの各時刻の水位の断面分布を示す。
- 海溝軸付近の津波波源で発生した津波は、海溝軸から陸域側へは比較的波長の短い津波として伝播し、どの距離においても、両ケースの水位分布には違いが認められる。



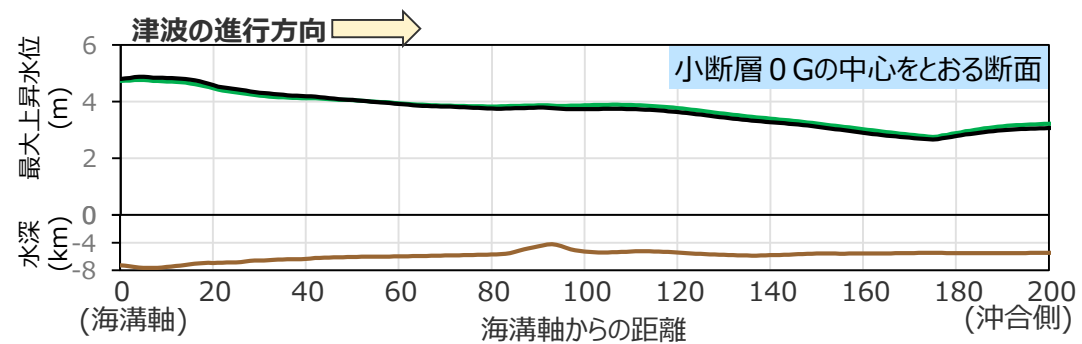
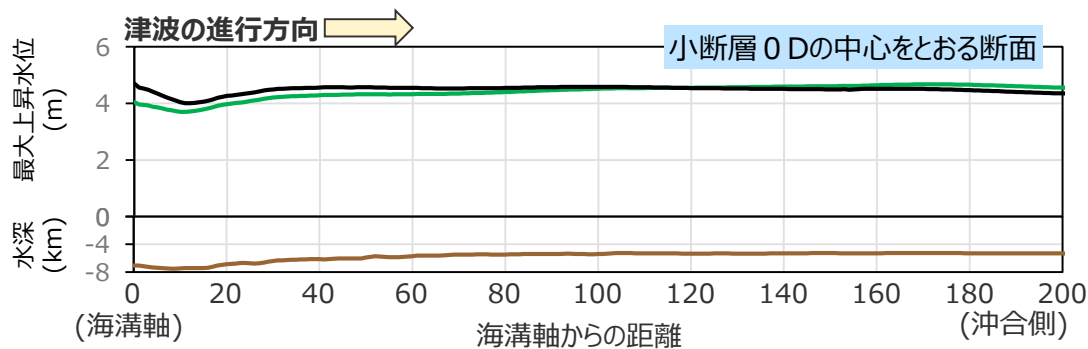
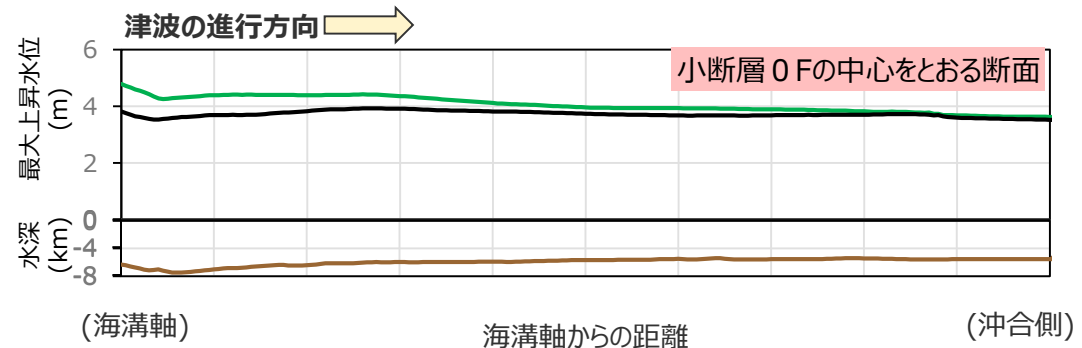
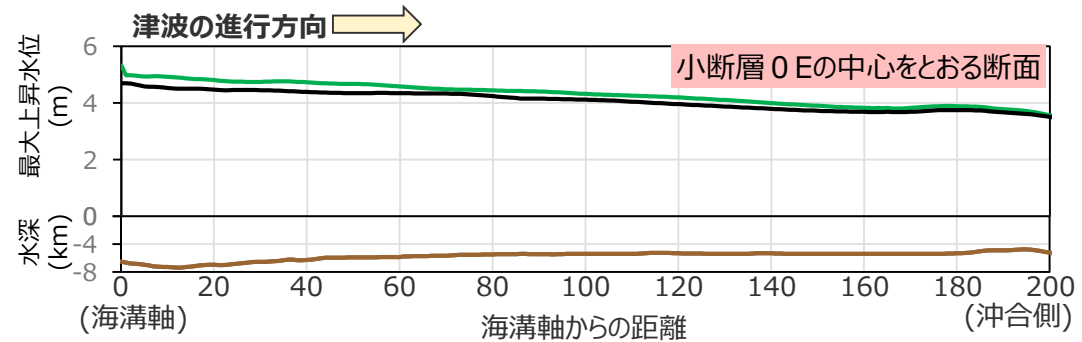
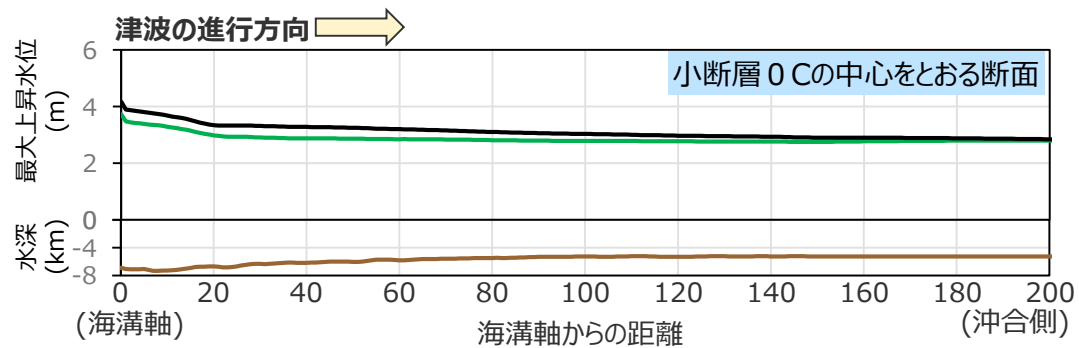
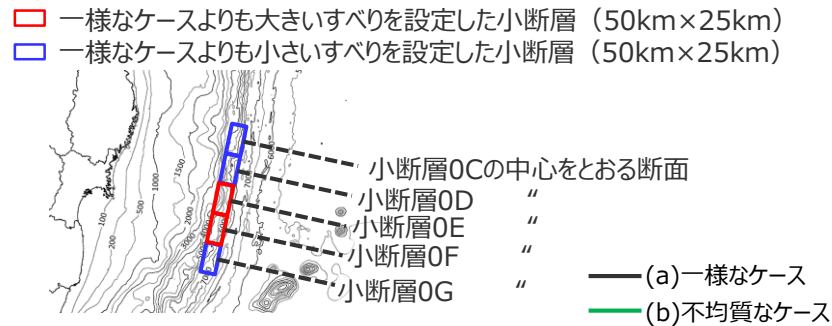
・陸域からの反射の影響を取り除いて分析するため、海溝軸から0~180kmの領域(水深0.1km以上の領域)で検討した。



①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(最大上昇水位の断面分布：海溝軸から沖合側)

- 各小断層の海溝軸から沖合方向断面について、(a)一様なケースと (b)不均質なケースの海溝軸付近の津波波源による津波の最大上昇水位の分布を示す。
- 水深がほぼ一様な海溝軸から沖合側では、最大上昇水位の違いは、海溝軸付近で相対的に大きく、海溝軸から沖合側に向かうにつれて小さくなり、検討している小断層のサイズ (50km×25km) よりも離れた約100～200kmの地点ではほぼなくなっていることが確認できる。



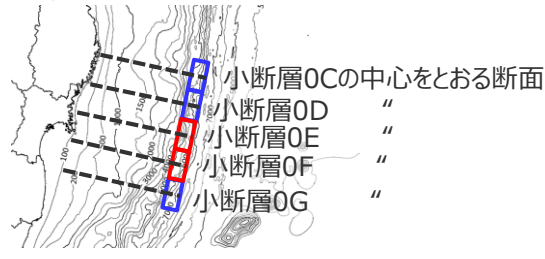
海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、水深がほぼ一様な海溝軸から沖合側では、津波が平面的に広がりながら伝播することに伴う幾何減衰によって、海溝軸から離れるに従い徐々になくなっていくことを確認した。

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

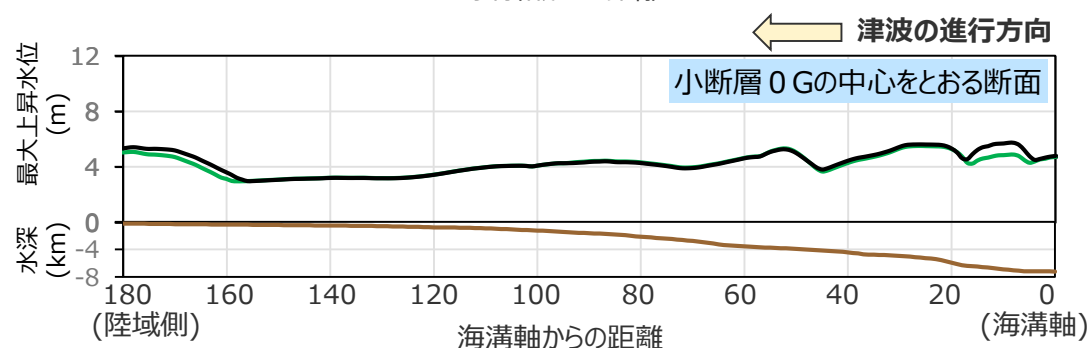
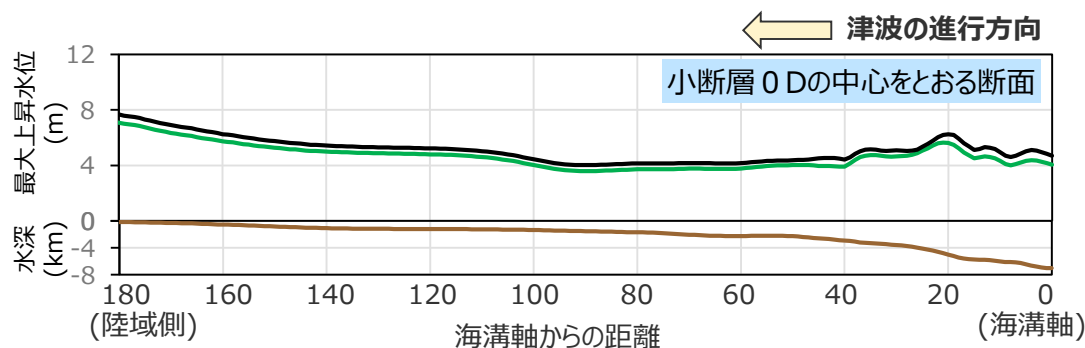
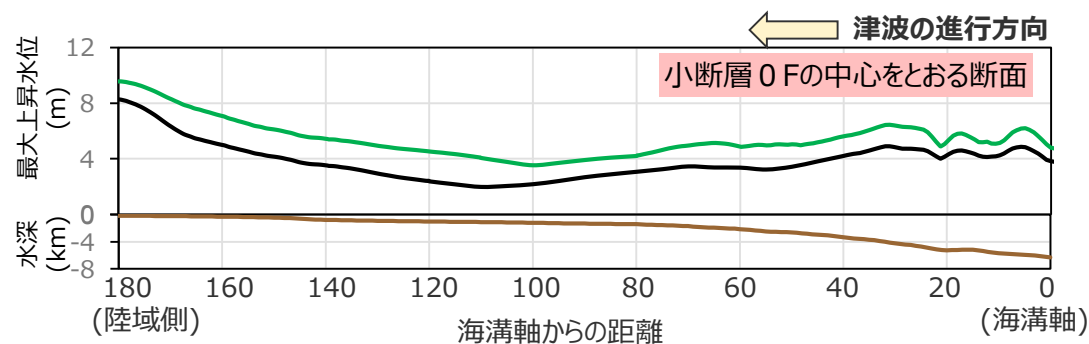
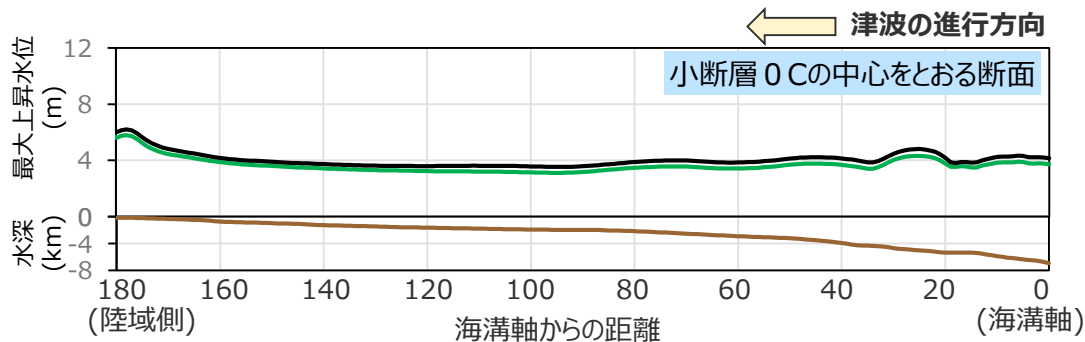
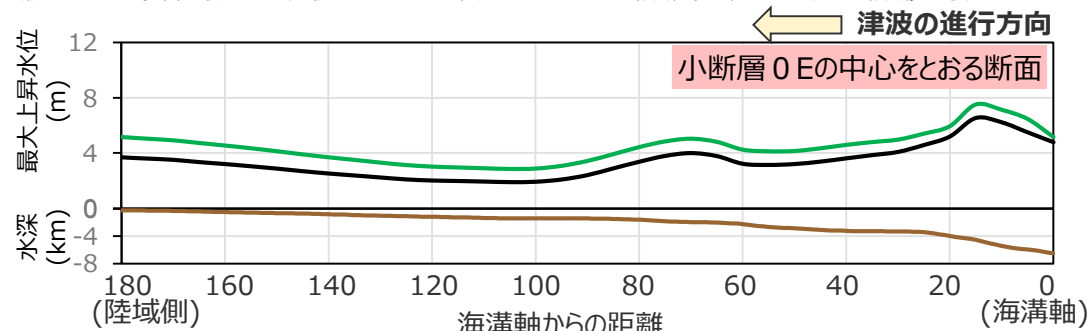
(最大上昇水位の断面分布：海溝軸から陸域側)

- 各小断層の海溝軸から陸側方向断面について、(a)一様なケースと (b)不均質なケースの海溝軸付近の津波波源による津波の最大上昇水位の分布を示す。
- 水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、最大上昇水位の差異は、海溝軸から沖合側とは異なり、海溝軸から約100km以上離れた地点でも認められる。

- 一様なケースよりも大きいすべりを設定した小断層 (50km×25km)
- 一様なケースよりも小さいすべりを設定した小断層 (50km×25km)



・陸域からの反射の影響を取り除いて分析するため、海溝軸から0～180kmの領域（水深0.1km以上の領域）で検討した。

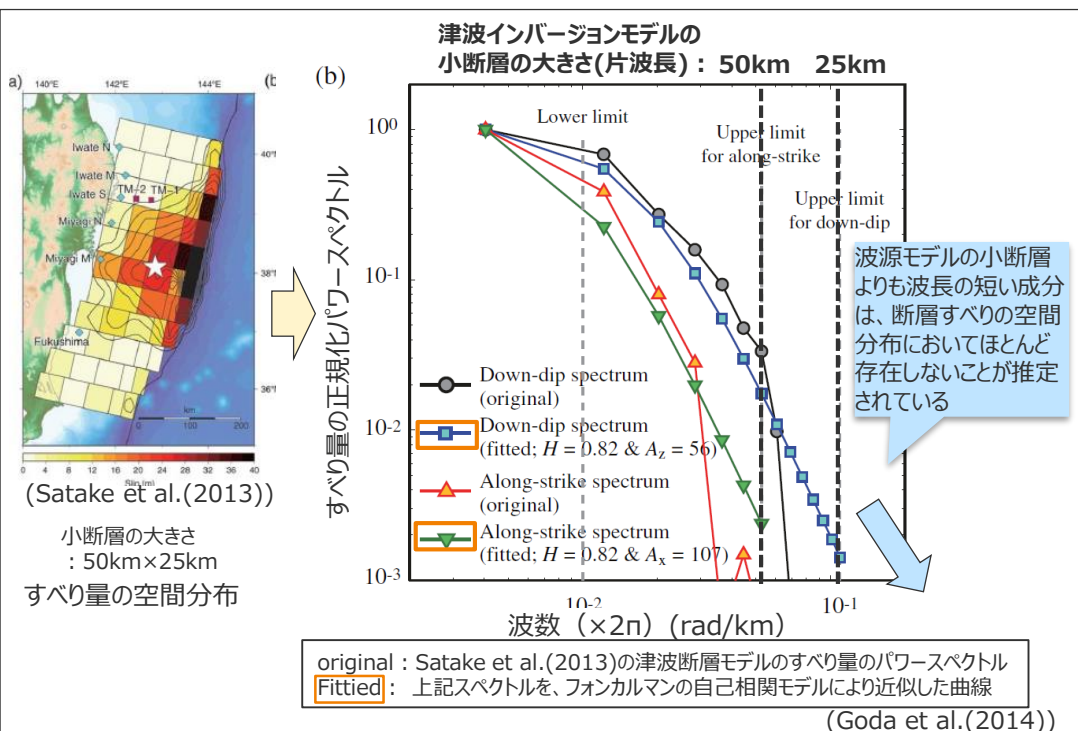


海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって津波が陸方向に直進する傾向が強く、海溝軸から離れた地点でも影響がなくなることを確認した。

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

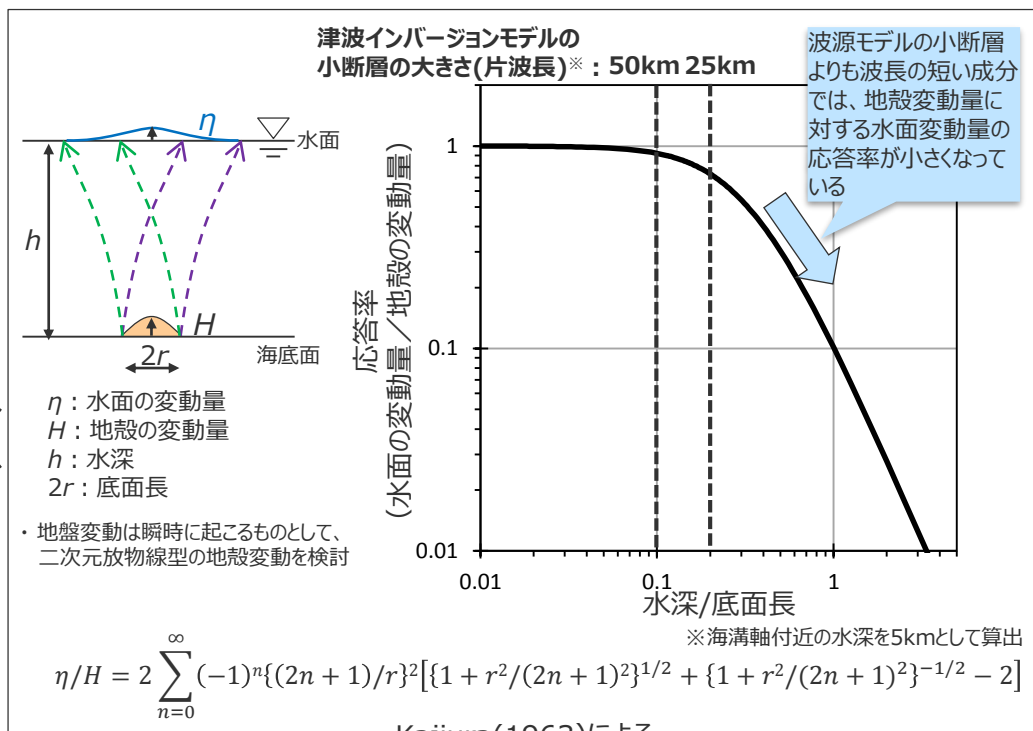
(補足：津波波源モデルの小断層よりも小さいすべりの不均質性の影響)

- Goda et al.(2014)は、東北沖地震の津波インバージョンモデルから、すべり量のパワースペクトルを算出して近似曲線を検討し、Mw8クラス以下の地震と同様に、すべり量の高波数領域（波長の短い領域）では急速な減衰傾向があり、波源モデルの小断層よりも波長の短い成分は、断層すべりの空間分布においてほとんど存在しないことが推定されている。
- また、Kajiura(1963)は、水深があることを考慮した地殻変動量に対する水面変動量の応答率を理論的に検討し、波長の短い成分では、応答率が小さくなっていることを示している。



東北沖地震の津波インバージョンモデルのすべり量のパワースペクトルおよびその近似曲線の検討

Mai and Beroza(2002)によると、Mw8クラス以下の既往地震のインバージョンモデルの分析から、断層面上の波数に対するすべり量のパワースペクトルは、地震規模に依存して求まるコーナー波数よりも高波数領域において一様に減衰傾向を示し、フォンカルマン型の自己相関モデルにより最もよく近似できるとされている。



津波インバージョンモデルの小断層(50km×25km)よりも小さい不均質は、断層すべりの空間分布においてほとんど存在しないと推定されるとともに、地殻変動量に対する水面変動量の応答率も小さく、津波の初期水位にほとんど現れないと考えられる。

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

(まとめ)

①海溝軸付近の不均質性の影響に関する検討

- 実際に海溝軸付近のすべりの不均質性が確認された東北沖地震の津波波源モデルを対象として、海溝軸付近において大きくすべった領域のすべりが一様なケースと不均質なケースとを設定して津波解析を実施し、海溝軸付近の不均質性の影響を、海溝軸からの距離の観点から比較・整理した。
- その結果、海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、水深がほぼ一様な海溝軸から沖合側では、海溝軸から離れるに従い徐々になくなるが、水深が徐々に浅くなる海溝軸から陸域側では、海底勾配があることによって津波が陸方向に直進する傾向が強く、海溝軸から離れた地点でも影響がなくなることを確認した。
- このことから、海溝軸付近のすべりの不均質性による影響は、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。

②プレート間地震の津波評価への反映

(説明概要)

○第981回審査会合における説明 (p.30~39)

- **「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」**により検討を行っている当社のプレート間地震の津波評価では、津波審査ガイドに従い、文献調査及び津波堆積物調査の結果に基づき設定した痕跡再現モデルをベースとして、保守的にMw9クラスの東北沖地震型の波源モデルを設定し、国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえてすべり量(37m)とライズタイム(120s)の組合せを含め網羅的なパラメータスタディを実施した。
- **「(B)代表パラメータの検討による方法」**で検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価では、非常に大きく設定されたパラメータ (すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ) により、その他のパラメータの不確かさの影響を代表する方法で不確かさが考慮され、少ない検討ケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定された。
- 上記の両評価は、波源設定の考え方が異なるものの、いずれも、2020年時点までの津波堆積物に関する最新知見を含め、確認されている痕跡高を2~3倍程度上回る想定となっており、内閣府(2020)では2020年時点までに実施された津波堆積物の調査資料から最大クラスの津波を推定できることを示唆するとされていることを踏まえると、いずれも、十分な不確かさが考慮されていることを確認した。

○第981回審査会合におけるコメント

- 東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。
国内外の巨大地震の津波事例に限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。

○第981回審査会合におけるコメントを踏まえた、プレート間地震の津波評価への反映 (p.40~44)

- 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響に関する検討の結果、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。
また、当社のプレート間地震の津波評価は、不確かさの考慮として、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に基づき「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による検討を行っており、内閣府(2020)および南海トラフにおける津波堆積物調査の拡充を踏まえると、2020年までに確認されている痕跡高を再現する津波が最大クラスの津波として想定されるところ、この痕跡高を2~3倍程度上回る保守的なものとなっている。
これらのことから、当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に限られていることを踏まえ、更なる不確かさの考慮として、敷地の津波評価に影響の大きい**すべり量とライズタイムの組合せ**を国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。
- 具体的には、**「(B)代表パラメータの検討による方法」**により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されている**すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ**を、**「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」**により検討している当社のプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

○内閣府の最大クラスモデルによる津波評価との比較 (p.45~46)

- 更なる不確かさを考慮したプレート間地震の波源モデルは、すべり量とライズタイムの組合せが非常に大きく設定されている内閣府の最大クラスモデルのパラメータを考慮したうえで、さらに、浅部の破壊形態、超大すべり域・大すべり域の位置、破壊伝播速度、破壊開始点の不確かさを考慮したモデルとなっていることを確認した。
- 更なる不確かさを考慮したプレート間地震の津波評価結果 (T.P.+22.5m) は、内閣府の津波評価結果 (T.P.+21.1m) を上回っていることを確認した。

・各種パラメータの不確かさに対し、安全側の評価を行うため波源モデル設定の方法は、以下 (A) の方法のほか、(B) の方法があると考えられる。

(A) 各種パラメータの網羅的検討による方法：各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づく網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法

(B) 代表パラメータの検討による方法：影響の大きい代表パラメータを科学的知見の範囲を超えて非常に大きく設定することにより、その他の現象の津波評価への影響を代表させて安全側の評価を行う考え方の方法

(①内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の検討内容の確認)

- 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」(第二次報告：2012年)での検討内容について、2019年12月に公開された全53回の検討会議事録を含め、地震・津波の有識者の具体的な検討・議論の内容を確認し、南海トラフの最大クラスモデルの波源設定の考え方に関する記載を整理した。

項目	内閣府の検討内容の確認結果
内閣府の最大クラスモデルの位置付け	<ul style="list-style-type: none"> ● 南海トラフの最大クラスモデルは、地震・津波の権威ある有識者が集ったうえで、当時の科学的知見を基にこれ以上ないものとして検討された。(i) ● 南海トラフの最大クラスモデルは、歴史記録、津波堆積物等に基づく痕跡高やその再現モデルと比較して検討されており、自然現象にばらつきがあることも踏まえ、2012年時点において津波堆積物等に関する知見が限られていたことが議論され、結果として痕跡高を2～3倍程度で包絡する津波が想定された。(ii)
すべり量－ライズタイムの設定	<ul style="list-style-type: none"> ● すべり量について、当初は、日本海溝と南海トラフとの構造的な違いを踏まえると東北沖と同等のすべり量まで考慮しなくても良いとの議論もあったが、津波高の想定が大きくなるように、結果として南海トラフの再現モデルのすべり量約10mを大きく上回る、すべり量約40mが設定された。(iii) ● ライズタイムについて、すべり量とライズタイムとはトレードオフの関係にあるとの議論もあったが、東北沖地震のライズタイムが数分程度であるのに対して、それより短い60秒に設定された。(iv)
不確かさ考慮	<ul style="list-style-type: none"> ● 南海トラフの津波評価において、すべり量の影響が大きいことが確認された。一方、破壊開始点の影響についても議論・評価がなされ、南海トラフの津波評価に与える影響は小さいとされた。また、海底地すべりによる津波との組合せが検討項目として明示されていないことについて、東北では発達しているものが見えているのに対して、南海トラフでは大規模な地すべりは見られないことが議論された。(v) ● 南海トラフの最大クラスモデルは、南海トラフの津波評価に影響の大きいすべり量等のパラメータを非常に大きく設定することにより、津波評価に影響の小さい破壊開始点等のその他のパラメータの不確かさの影響を代表する方法で不確かさが考慮され、少ない検討ケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定された。(vi)

- ・内閣府(2012)による南海トラフの最大クラスの津波は、当時の科学的知見を基にこれ以上ない津波として、歴史記録および津波堆積物に基づく痕跡高やその再現モデルと比較して検討されており、**自然現象にばらつきがあることも踏まえ、2012年報告時点において津波堆積物等に関する知見が限られていたことが議論され、結果として当時確認されていた痕跡高を2～3倍程度で包絡する津波が想定された。**
- ・また、南海トラフの津波評価に影響の大きいすべり量等のパラメータを非常に大きく設定することにより、津波評価に影響の小さい破壊開始点等のその他のパラメータの不確かさの影響を代表する方法((B)代表パラメータの検討による方法※)で不確かさが考慮され、少ない検討ケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定された。
- ・なお、上記の内容は、当社のこれまでの説明内容、および、有識者の主な意見とも整合している。

※(B)代表パラメータの検討による方法：影響の大きい代表パラメータを非常に大きく設定することにより、その他の現象の津波評価への影響を代表させて安全側の評価を行う考え方の方法

(②内閣府の各海域の巨大地震モデル検討会の検討内容の確認)

■ 2020年4月に公開された「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」の概要報告を含め、内閣府による各海域の最大クラスの津波に関する検討内容を確認し、各海域の最大クラスモデルの波源設定に係る考え方を整理した。

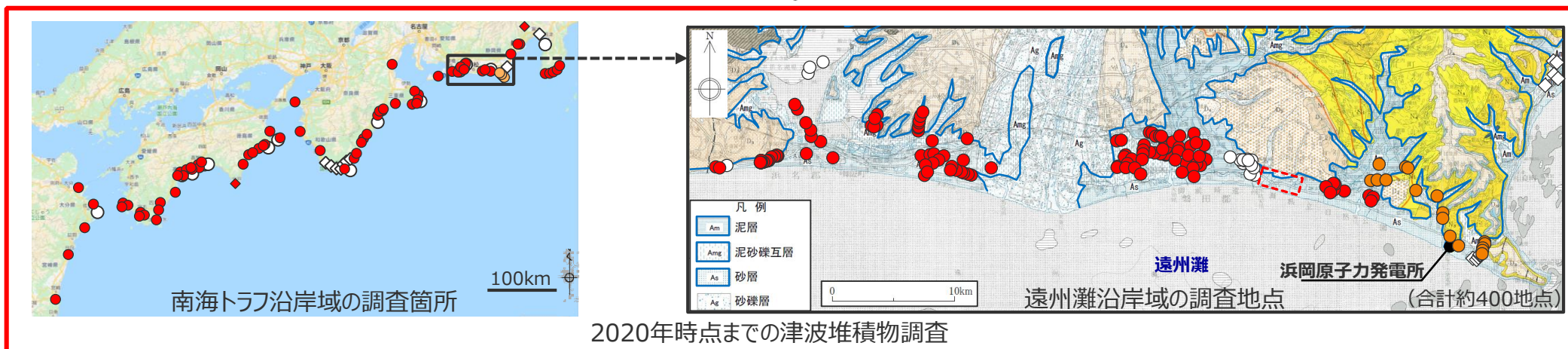
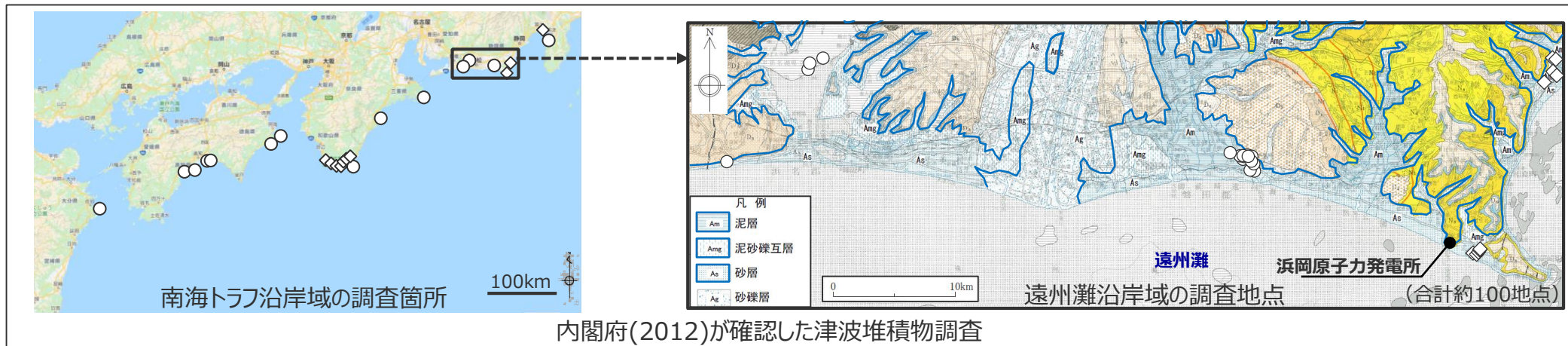


- 内閣府による各海域の最大クラスの津波は、南海トラフの最大クラスの津波と同様、その時点の最新の科学的知見に基づきあらゆる可能性を考慮した津波として、歴史記録・津波堆積物等に基づく痕跡高やその再現モデルと比較して想定されている。
- 内閣府(2012)では、2012年時点において津波堆積物等に関する知見が限られていて、今後、より多くの地点で調査が行われる必要があるとされており、結果として当時確認されていた痕跡高を2～3倍程度で包絡する津波が南海トラフの最大クラスの津波として想定された。その後の内閣府(2020)では、**2020年時点までに実施された津波堆積物の調査資料から最大クラスの津波を推定できることを示唆するとされており、確認されている全ての痕跡高を再現する津波が日本海溝・千島海溝の最大クラスの津波として想定されている。**

南海トラフ、相模トラフ、日本海溝・千島海溝の最大クラスモデルの比較 (内閣府(2012,2013,2020)を基に作成)

項目	南海トラフ	相模トラフ	日本海溝・千島海溝	
	内閣府(2012) 南海トラフの巨大地震モデル検討会第二次報告 (2012年8月)	内閣府(2013) 首都直下地震モデル検討会報告 (2013年12月)	内閣府(2020) 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)	
波源モデル	<p>(ケース①(駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域を設定))</p>	<p>(ケース1 (西側モデル))</p>	<p>(日本海溝モデル)</p>	<p>(千島海溝モデル)</p>
最大クラスの津波想定 の考え方	<ul style="list-style-type: none"> いずれも、中央防災会議(2011)による「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大地震・津波を検討していくべきである」との考え方を受けて検討がなされており、それぞれ、その時点の最新の科学的知見に基づき、歴史記録、津波堆積物等に基づく痕跡高やその再現モデルと比較して想定されている。 			
過去地震資料	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で津波堆積物等の調査が行われている地点数は必ずしも十分ではなく、今後、より多くの地点で調査が行われる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 津波堆積物等の地質調査資料についても、更なる調査が必要とされている南海トラフに比べてまだ少なく、今後の課題。 	<ul style="list-style-type: none"> 津波堆積物の調査資料から、その間に発生した最大クラスの津波を推定できることを示唆する。 	
想定津波高	<ul style="list-style-type: none"> 歴史記録の痕跡高および津波堆積物から推定される津波高を2～3倍程度で包絡 	<ul style="list-style-type: none"> 歴史記録の痕跡高を包絡 (地殻変動記録を包絡) 	<ul style="list-style-type: none"> 津波堆積物から推定される津波高を再現 	

■ 内閣府(2012)が確認した津波堆積物調査と、2020年までの南海トラフ沿岸域および敷地が位置する遠州灘沿岸域の津波堆積物調査とを比較した結果は、以下のとおり。南海トラフの沿岸域においても、津波堆積物調査が進展し、津波堆積物の調査資料が拡充されている。



内閣府(2012)が確認した津波堆積物調査等の箇所(地点)

- 津波堆積物調査箇所(地点)
- ◇ 地殻変動調査箇所(地点)

2020年時点までに実施されたその他の津波堆積物調査等の箇所(地点)

- 津波堆積物調査箇所(地点)
- (○) そのうち、当社による調査箇所(地点)
- ◆ 地殻変動調査箇所(地点)

・文献および産総研津波堆積物DBから調査地点数と位置を読み取れなかったものは、調査範囲を破線で記載した。

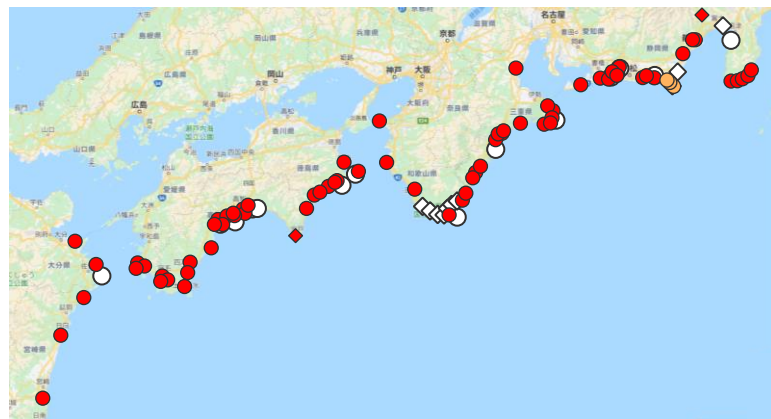
(③南海トラフの津波堆積物等に関する最新知見の整理)

③南海トラフの津波堆積物等に関する最新知見の整理

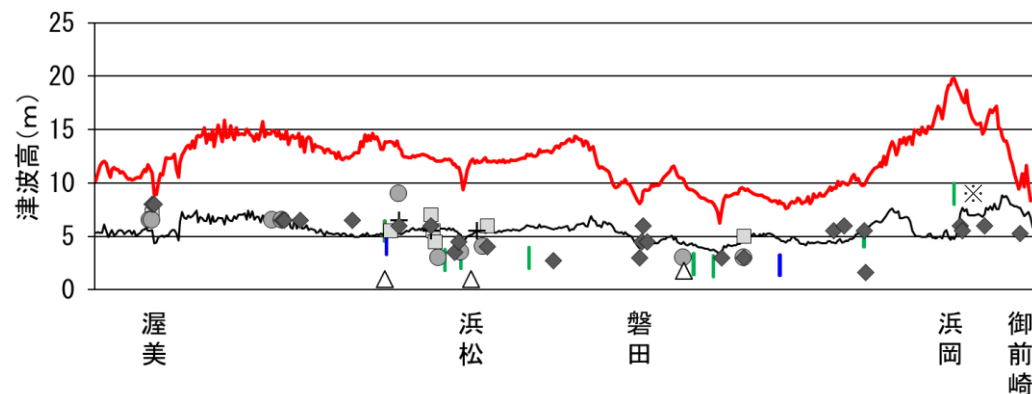
■①②の検討結果を踏まえ、南海トラフ全域および敷地が位置する遠州灘沿岸域の津波堆積物調査について、2020年時点までの最新知見を含めて整理し、津波堆積物の調査資料と内閣府の最大クラスの津波との関係を再検討した。



- ・南海トラフにおいても、2020年時点までに津波堆積物調査が進展し、津波堆積物の調査資料が大幅に拡充されていることを確認した。
- ・2020年時点までに実施された南海トラフのいずれの地域の調査資料からも内閣府の最大クラスの津波が発生した証拠は見つかっていないことから、南海トラフの全域においてその痕跡を見逃しているとは考えにくく、内閣府の最大クラスの津波は発生していないと考えられる。
- ・2012年に報告された内閣府の最大クラスの津波想定は、2020年時点までの津波堆積物に関する最新知見を含め、確認されている痕跡高を2～3倍程度で包絡する津波となっており、内閣府(2020)では2020年時点までに実施された津波堆積物の調査資料から最大クラスの津波を推定できることを示唆するとされていることを踏まえると、極めて保守的な津波想定になっていると言える。



2020年時点までの南海トラフ沿岸域の津波堆積物調査等の箇所



歴史記録に基づく
痕跡高

- 明応
- + 慶長
- 宝永
- ◆ 安政東海
- △ 昭和東南海

- 内閣府の最大クラスモデルによる津波高 (参考)
- 遠州灘沿岸域の痕跡再現モデルによる津波高
- 津波堆積物から推定される津波高 (内閣府(2012)が確認した箇所)
- " (2020年時点までに調査されたその他の箇所)

(東北沖地震等による津波の最大遡上高と津波堆積物の分布標高の差が約0～2mであることを踏まえ、津波堆積物の最大標高+0～2mの高さを幅で示した。詳細は「歴史記録及び津波堆積物に関する調査について」の資料に記載。)

※敷地の津波堆積物については、堆積当時の地形が、現在と異なり、海から近く津波が集まりやすい谷地形であったことが、堆積物の分布標高等に影響を与えていると考えられる。(詳細は「歴史記録及び津波堆積物に関する調査について」の資料に記載。)

第981回審査会合における説明

(④最新知見を踏まえたプレート間地震の津波評価の確認:波源モデルのパラメータ設定)

- 当社のプレート間地震の津波評価で検討した痕跡再現モデルとパラメータスタディモデルの設定は以下のとおり。
- 内閣府(2020)および南海トラフにおける2020年時点までの津波堆積物の調査資料の大幅な拡充を踏まえると、2020年時点までに確認されている痕跡高を再現する痕跡再現モデルの津波が最大クラスの津波として想定されるところ、津波審査ガイドに従い、保守的に国内外の地震の発生事例を踏まえて各種パラメータを設定して「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」¹⁾を用い、結果的に遠州灘沿岸域の痕跡再現モデルを大きく上回るすべり量を設定する等、痕跡再現モデルを大きく上回るパラメータを設定している。

1) (A) 各種パラメータの網羅的検討による方法：各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づく網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法

項目		痕跡再現モデル (遠州灘沿岸域の痕跡再現モデル)	パラメータスタディモデル	各パラメータの設定根拠	備考 (内閣府による 関連議論)
設定方針		歴史記録および津波堆積物に基づき、遠州灘沿岸域の痕跡高を再現するモデルとして設定。	津波審査ガイドに従い、(A)各種パラメータの網羅的検討による方法を用いて設定。	国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて設定。	-
認識論的 不確かさ	面積	約8万km ²	約14万km ²	・南海トラフの地震履歴、固着、構造等の知見に依らず、保守的に国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて、過去地震を大きく上回る津波断層域・地震規模を設定 (③南海トラフの津波堆積物等に関する最新知見の整理 補足6-3国内外の巨大地震に関する最新の科学的知見の収集・分析)	補足説明資料 p.273 (vi)
	地震規模	Mw8.8	Mw9.1		
	すべり量	約9m	約37m	・沈み込み帯の構造等の違いに関わらず、保守的に国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて、造構性侵食作用の卓越する東北沖の特徴も考慮し、すべり量とライズタイムを設定 ・ライズタイムに着目した東北沖地震の津波インバージョンの結果、ライズタイムを60sとした津波インバージョンでは観測記録を再現できず、ライズタイムを150~200s程度とするのが最も適切であることを確認 ・すべり量とライズタイムについては、トレードオフの関係にあることから、国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて、両者の組合せも検討 (補足説明資料 6-4 浅部の破壊形態、6-5 ライズタイムの設定)	補足説明資料 p.270 (iii) p.271 (iv)
	すべり速度 (ライズタイム)	0.15m/s (60s)	0.1m/s~0.3m/s (300s~120s) のうち最大ケース		
	浅部の 破壊形態	破壊せず	境界面浅部 /境界面浅部・分岐断層 のうち最大ケース		
	超大すべり域・ 大すべり域の位置	駿河湾~紀伊半島沖 (基準ケース)	駿河湾~紀伊半島沖を含む 東西約10kmごとに移動させたケース のうち最大ケース	・保守的に国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて設定 (4.2 検討波源モデルのパラメータスタディ)	-
	破壊伝播速度	2.0km/s	0.7km/s~2.5km/s のうち最大ケース		
偶然的 不確かさ	破壊開始点	大すべり域の下端中央	大すべり域の周囲の複数地点 のうち最大ケース		補足説明資料 p.272 (v)
		津波高 T.P.+6.2m	津波高 T.P.+20.3m	・すべり量：超大すべり域のすべり量。超大すべり域が無いモデルについては、大すべり域のすべり量。 すべり量の数値の詳細は、補足説明資料6に記載。 ・すべり速度：(すべり量)/(ライズタイム)	

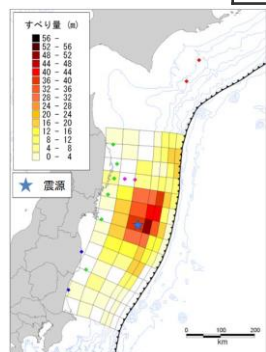
(④最新知見を踏まえたプレート間地震の津波評価の確認:ライズタイムの設定根拠)

- 近年の国内外の地震の発生事例に基づき、国内外の巨大地震（Mw9クラスの地震）の津波インバージョンから推定されているライズタイムを分析した。その結果、国内外のMw9クラスの巨大地震の津波インバージョンから推定されるライズタイムはすべり量が大きい小断層ほど長く、大きくすべった領域の小断層のライズタイムは150～300sであることを確認した。
- また、Mw8クラスも含めたその他の地震（計33文献の波源モデル）の分析結果を踏まえて、Mw9クラスの地震のライズタイムを120sとすることにより保守的な設定となることを確認した。

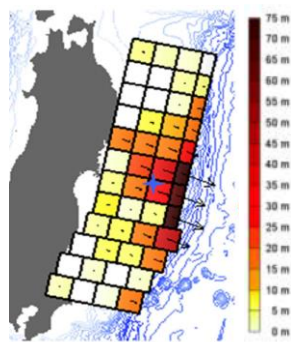
巨大地震（Mw9クラスの地震）の津波インバージョンにより推定されたライズタイム

・詳細は補足説明資料6-5を参照

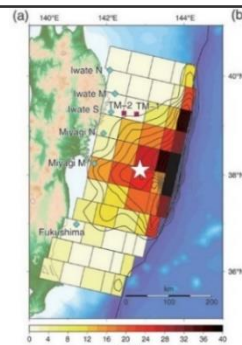
地震名	文献名	ライズタイム（すべり速度）
2011年東北沖地震（Mw9.0）	内閣府(2012)	300s（0.1m/s）
	杉野ほか(2013)	300s（0.2m/s）
	Satake et al.(2013)	150s（0.3m/s）
2004年スマトラ島沖地震（Mw9.1）	Hirata et al.(2006)	150s（0.2m/s）
	Fujii and Satake(2007)	180s（0.1m/s）
Mw8クラスも含めたその他の地震の分析結果	33文献	Mw9クラスの地震のライズタイムを 120s とすることにより保守的な設定となることを確認



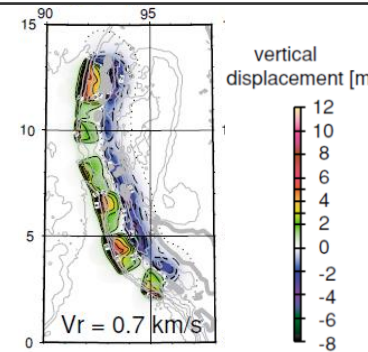
内閣府(2012)



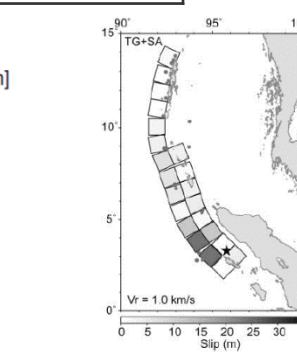
杉野ほか(2013)
2011年東北沖地震



Satake et al.(2013)



Hirata et al.(2006)



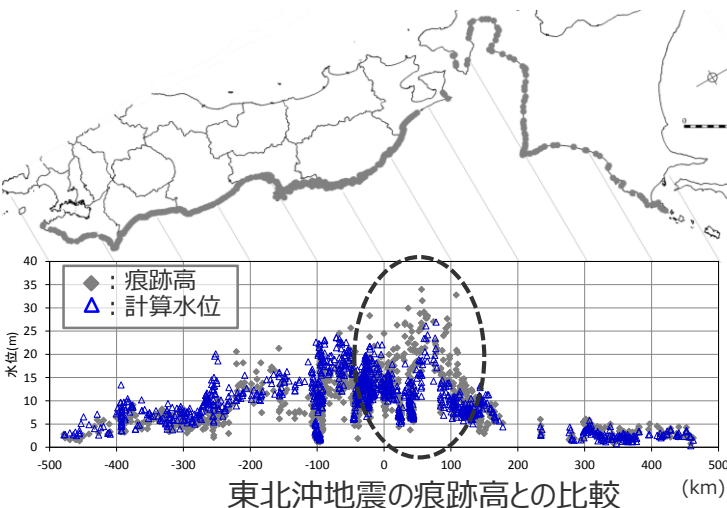
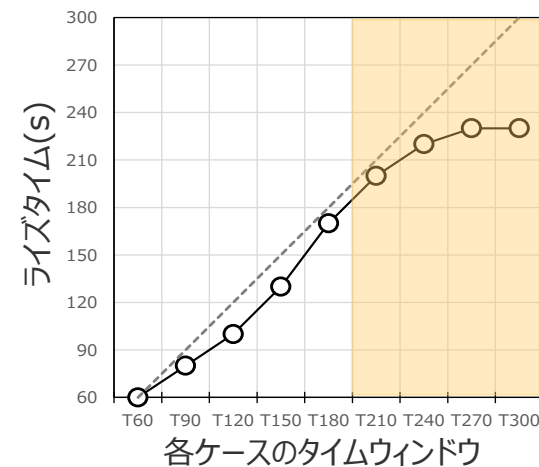
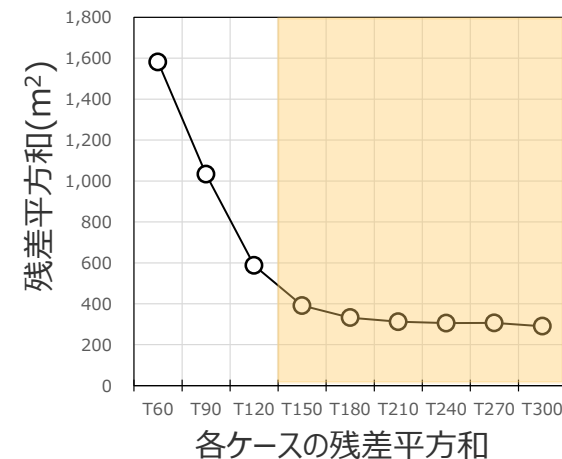
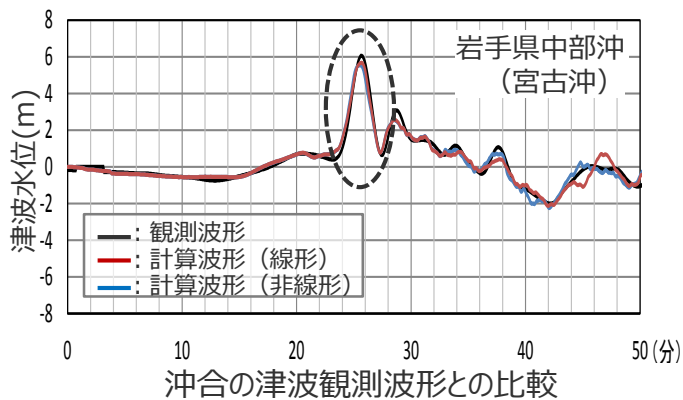
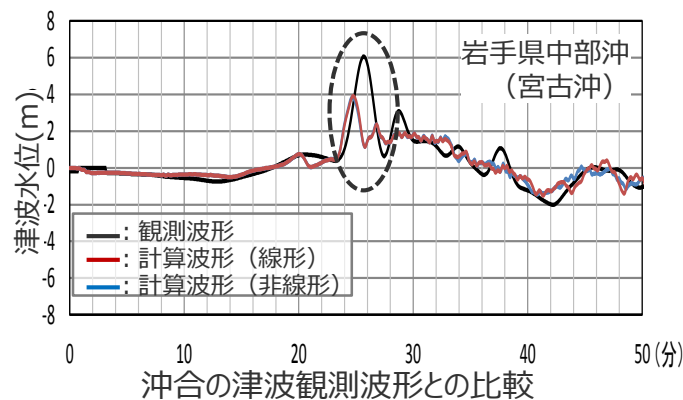
Fujii and Satake(2007)
2004年スマトラ島沖地震

- パラメータスタディとして設定した波源モデルでは、国内外のMw8～9クラスの巨大地震・津波の発生事例を踏まえ、ライズタイムを120～300sとして検討した。

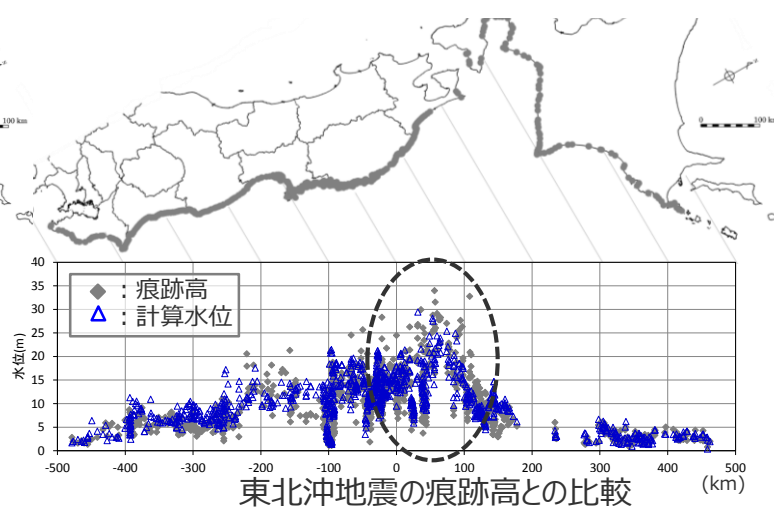
(④最新知見を踏まえたプレート間地震の津波評価の確認：ライズタイムに着目した津波インバージョン)

■ライズタイムに着目した東北沖地震の津波インバージョンの結果、ライズタイムを60sとした津波インバージョンでは観測記録を再現できず、ライズタイムを150～200s程度とするのが最も適切であることを確認した。

・詳細は補足説明資料6-5参照



タイムウィンドウ60sのケース (T60)



タイムウィンドウ180sのケース (T180)

ライズタイムに着目した東北沖地震の津波インバージョン結果

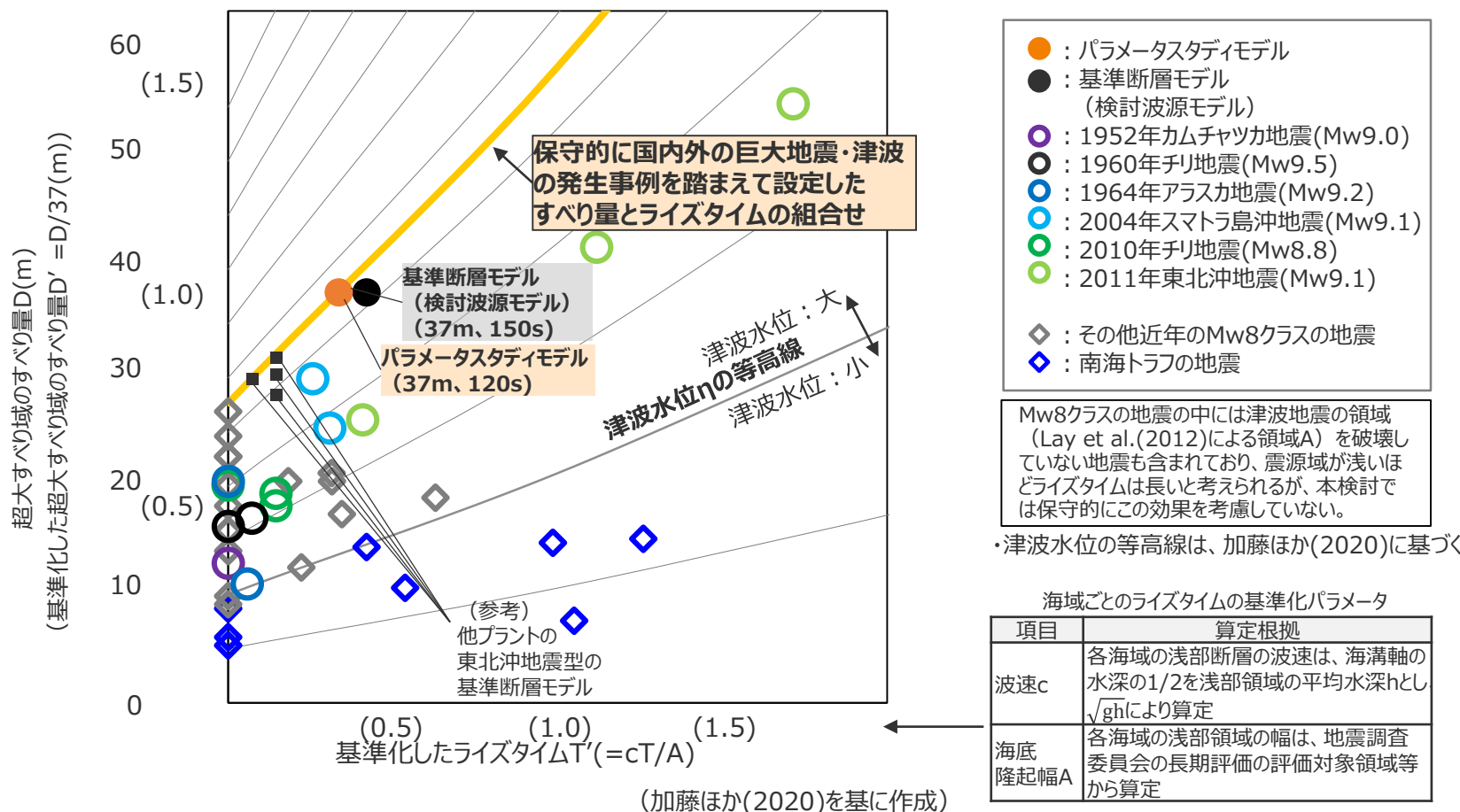
第981回審査会合における説明

(④最新知見を踏まえたプレート間地震の津波評価の確認：すべり量とライズタイムの組合せに関する分析)

■ 国内外のMw8～9の地震の津波インバージョン結果のすべり量とライズタイムの組合せについて、基準断層モデルの地震規模(Mw9.1)で比較するため、スケーリング則 ($D, T \propto Mo^{1/3}$)に基づき、Mw9.1相当のすべり量とライズタイムの組合せにスケーリングした上で、長波理論に基づく比較分析を行った。

■ 基準断層モデルのライズタイムは、その他の地震の津波インバージョン事例を踏まえても概ね保守的な設定となっているが、基準断層モデルのライズタイムを120sとすることにより、これらの地震の初期水位を上回る設定となることを確認した。

・詳細は補足説明資5-4参照



国内外の地震のすべり量とライズタイムの組合せの比較分析結果
(ライズタイムを海域ごとの波速と隆起幅により基準化)

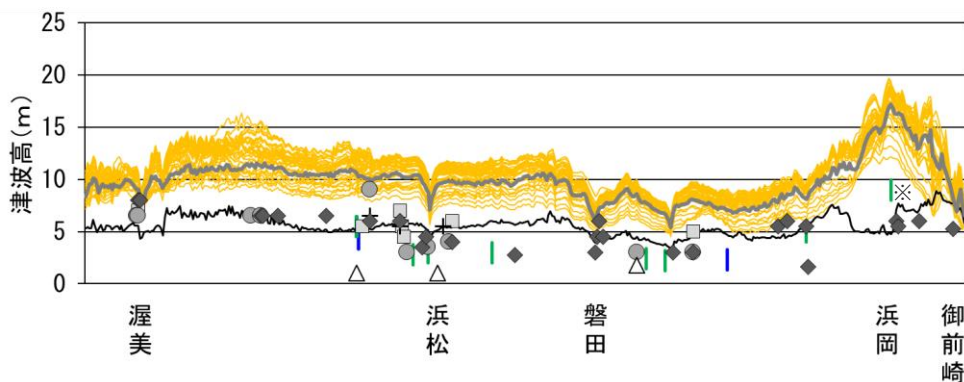
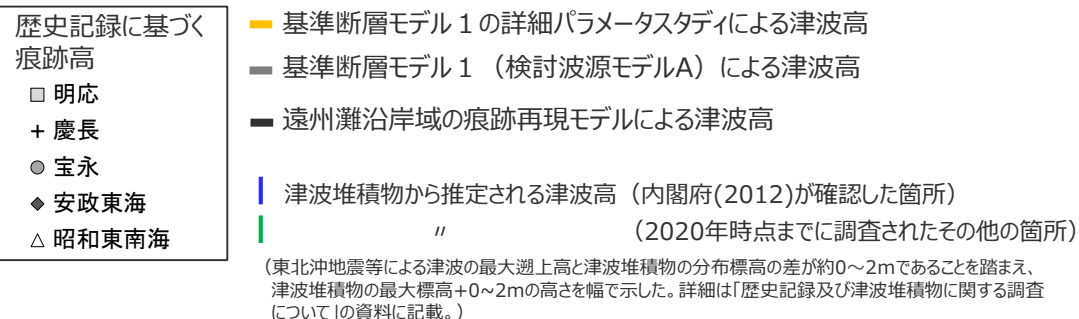
(④最新知見を踏まえたプレート間地震の津波評価の確認)

④最新知見を踏まえた波源パラメータの再確認

■「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討しているプレート間地震の津波評価について、内閣府(2020)では津波堆積物の調査資料から最大クラスの津波を推定できるとされているとともに、南海トラフ沿岸域でも、2020年時点までに網羅的に実施された津波堆積物調査によって、超長期にわたる津波堆積物の調査資料が拡充されていることを踏まえ、当社のプレート間地震の波源モデルの妥当性を再確認した。

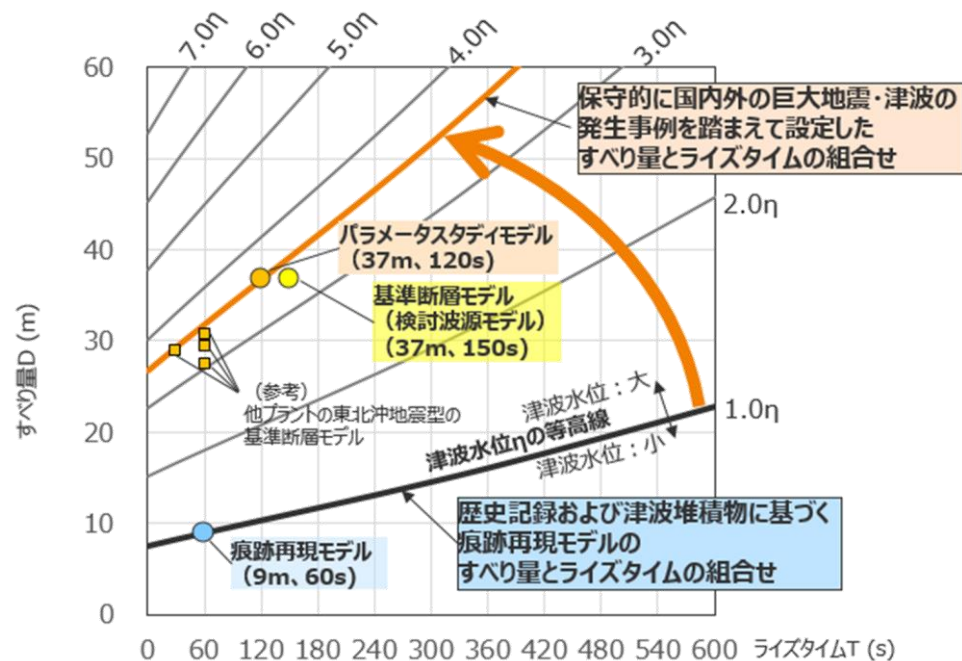
・内閣府(2020)および南海トラフにおける2020年時点までの津波堆積物の調査資料の大幅な拡充を踏まえると、2020年時点までに確認されている痕跡高を再現する遠州灘沿岸域の痕跡再現モデルの津波が最大クラスの津波として想定されるところ、保守的に国内外の地震の発生事例を踏まえて各種パラメータを大きく設定して「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」を用い、結果的にこの痕跡再現モデルの津波を2~3倍程度上回る不確かさを考慮したパラメータスタディを実施していることを考えると、自然現象にばらつきがあることを踏まえても、十分に安全側の評価となっていることを確認した。

・(A)各種パラメータの網羅的検討による方法：各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づく網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法



パラメータスタディによる海岸線の津波高と、
歴史記録及び津波堆積物から推定される津波高との比較

※ 敷地の津波堆積物については、堆積当時の地形が、現在と異なり、海から近く津波が集まりやすい谷地形であったことが、堆積物の分布標高等に影響を与えていると考えられる。(詳細は「歴史記録及び津波堆積物に関する調査について」の資料に記載。)



国内外の地震のすべり量とライズタイムの組合せの比較分析結果

(加藤ほか(2020)を基に作成)

第981回審査会合における説明

(プレート間地震の津波評価と内閣府の最大クラスモデルの津波評価との比較)

■ 「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」で検討している当社のプレート間地震の津波評価と、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府(2012)の最大クラスモデルの津波評価は、いずれも2020年時点までの痕跡高を2～3倍程度上回る津波想定となっており、両者のモデルは十分に不確かさの考慮がされている。

		当社による検討		内閣府(2012)による検討	
		プレート間地震の津波評価		行政機関による津波評価	
波源設定の考え方	歴史記録および津波堆積物を再現	(A)各種パラメータの網羅的検討による方法		(B)代表パラメータの検討による方法	
波源モデル	遠州灘沿岸域の痕跡再現モデル (2020年時点までの歴史記録および津波堆積物に基づき、遠州灘沿岸域の痕跡高を再現したモデル)	国内外の津波事例を踏まえたパラメータスタディモデル (保守的に国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえてパラメータを設定し、網羅的なパラメータスタディにより選定したモデル)		内閣府の最大クラスモデル (2020年時点までの津波堆積物等の最新知見を踏まえて検討し、十分に保守的な評価となっていることを確認したモデル)	
パラメータの設定根拠	遠州灘沿岸域の痕跡高	国内外の巨大地震・津波の事例		内閣府(2012)	
認識論的不確かさ	面積	約8万km ²	約14万km ²	約14万km ²	約14万km ²
	地震規模	Mw8.8	Mw9.1	Mw9.1	Mw9.1
	すべり量	約9m	約37m	約37m	約37m
	すべり速度(ライズタイム)	0.15m/s(60s)	0.1～0.3m/sのうち最大ケース(300～120sのうち最大ケース)	0.6m/s(60s)	0.6m/s(60s)
	浅部の破壊形態	破壊せず	境界面浅部/境界面浅部・分岐断層のうち最大ケース	境界面浅部	境界面浅部
	(駿河湾域)	(-)	(超大すべり域のすべり量を設定する)	(超大すべり域のすべり量を設定しない)	(超大すべり域のすべり量を設定しない)
	超大すべり域・大すべり域の位置	駿河湾～紀伊半島沖(1ケース)	東西約10kmごとに移動させたケースのうち最大ケース	駿河湾～紀伊半島沖(1ケース)	駿河湾～紀伊半島沖(1ケース)
	破壊伝播速度	2.0km/s	0.7～2.5km/sのうち最大ケース	2.5km/s	2.5km/s
偶然的に不確かさ	破壊開始点	大すべり域の下端中央	大すべり域の周囲の複数地点のうち最大ケース	大すべり域の下端中央	大すべり域の下端中央

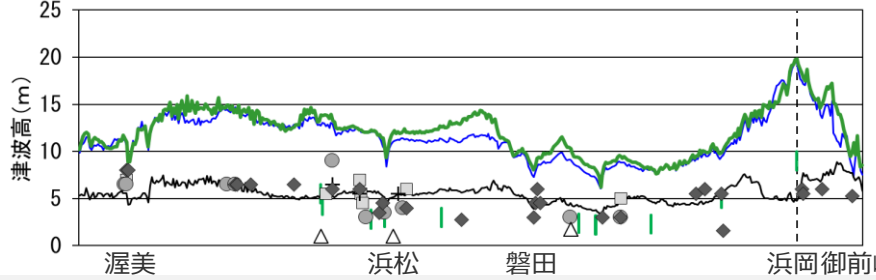
不確かさを合理的な範囲で考慮

更に安全側の評価を実施するとの観点から、南海トラフの最大クラスモデルそのものによる評価を考慮

津波堆積物から推定される津波高(津波堆積物の最大標高+0～2mの高さを幅で示した)

- 歴史記録に基づく痕跡高
- 明応
 - + 慶長
 - 宝永
 - ◆ 安政東海
 - △ 昭和東南海

(A)、(B) いずれの方法による津波評価とも、2020年時点までに確認されている痕跡高を2～3倍程度上回る津波想定となっており、両者のモデルは十分に不確かさの考慮がされていることを確認



- 「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による津波評価結果(国内外の津波事例を踏まえたパラメータスタディモデル)
- 「(B)代表パラメータの検討による方法」による津波評価結果(内閣府の最大クラスモデル)
- 遠州灘沿岸域の痕跡再現モデルによる津波

②プレート間地震の津波評価への反映 (反映方針)

○第981回審査会合におけるコメント

- 東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。国内外の巨大地震の津波事例に限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。

すべり量とライズタイムの組合せの比較分析(加藤ほか(2020))
において収集・検討したプレート間地震

	イベント名	Mw	破壊領域
Mw9クラスの巨大地震	1952年カムチャツカ地震	9.0	ABC
	1960年チリ地震	9.5	ABC
	1964年アラスカ地震	9.2	ABC
	2004年スマトラ島沖地震	9.1	ABC
	2011年東北沖地震	9.1	ABC
近年のMw8クラスの巨大地震	2001年ペルー地震	8.4	B
	2003年十勝沖地震	8.3	B
	2005年スマトラ島沖地震	8.6	BC
	2006年千島列島沖地震	8.3	(A)B
	2007年ソロモン諸島沖地震	8.1	(A)B
	2007年ペルー地震	8.0	BC
	2007年スマトラ島沖地震	8.4	B(C)
	2010年チリ地震	8.8	BC
	2013年ソロモン諸島沖地震	8.0	(A)B
	2014年チリ地震	8.2	B
	2015年チリ地震	8.3	AB
南海トラフの地震	1944年東南海地震	8.1	(A)B
	1946年南海地震	8.3	(A)B

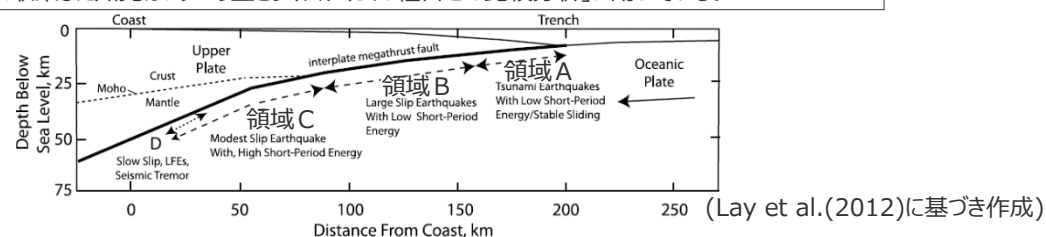
○津波インバージョン事例の収集対象としたプレート間地震

- ・Mw9クラスの巨大地震
- ・近年のMw8クラスの巨大地震(1990年以降)
- ・南海トラフの地震

※国内外の主な科学技術系論文データベース等を対象。

(JDREAM III、ScienceDirect、SpringerLink、AGU Publications、BSSA online)

※収集した知見は「すべり量とライズタイムの組合せの比較分析」に用いている。



プレート間地震の破壊領域の概念図

・Mwは、USGSウェブサイトに基づく。

・破壊領域は、Lay et al.(2012)に基づく。破壊の有無が不明確な場合は()で示されている。Lay et al.(2012)に記載のない地震については、津波インバージョンモデルからLay et al.(2012)の方法に基づき判断した。

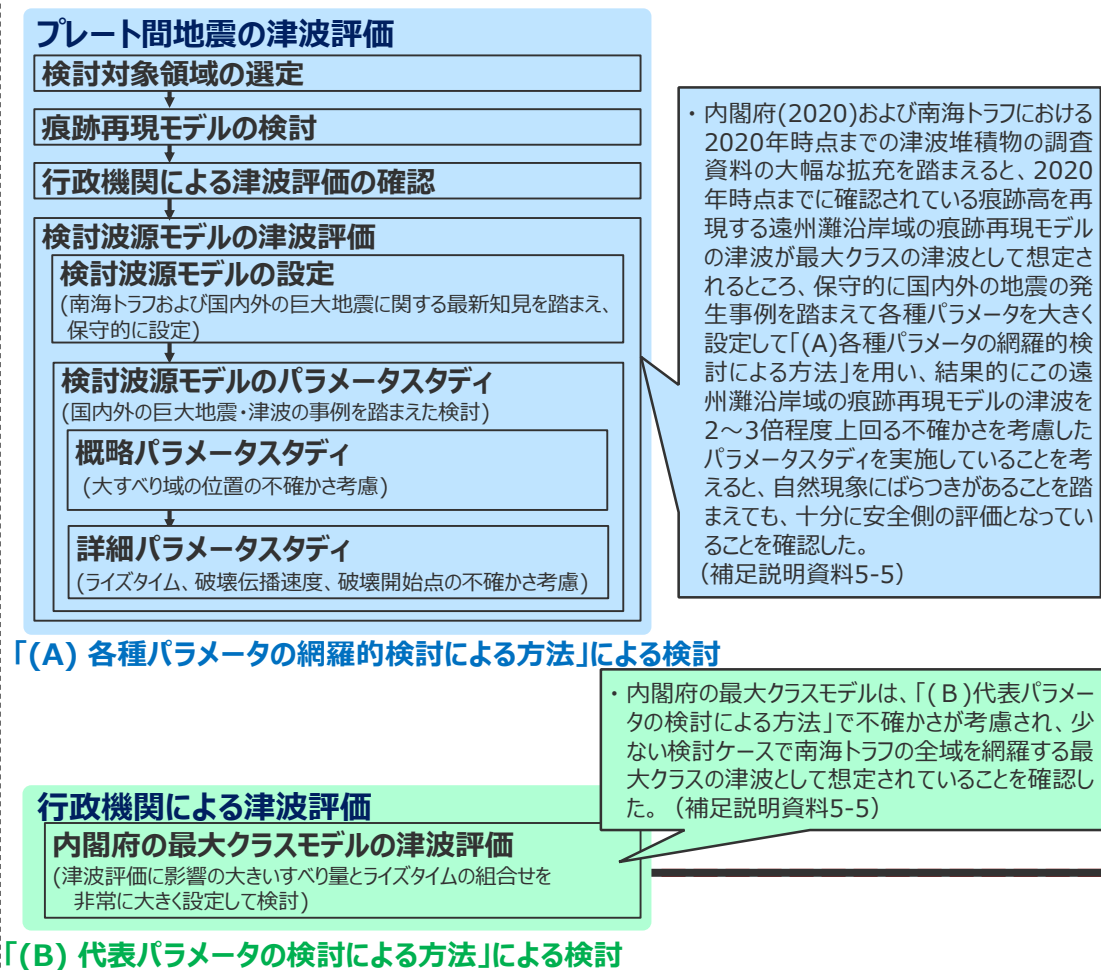
○第981回審査会合におけるコメントを踏まえた、プレート間地震の津波評価への反映

- 当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に限られていることを踏まえ、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。
- 具体的には、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているすべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討を行っているプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

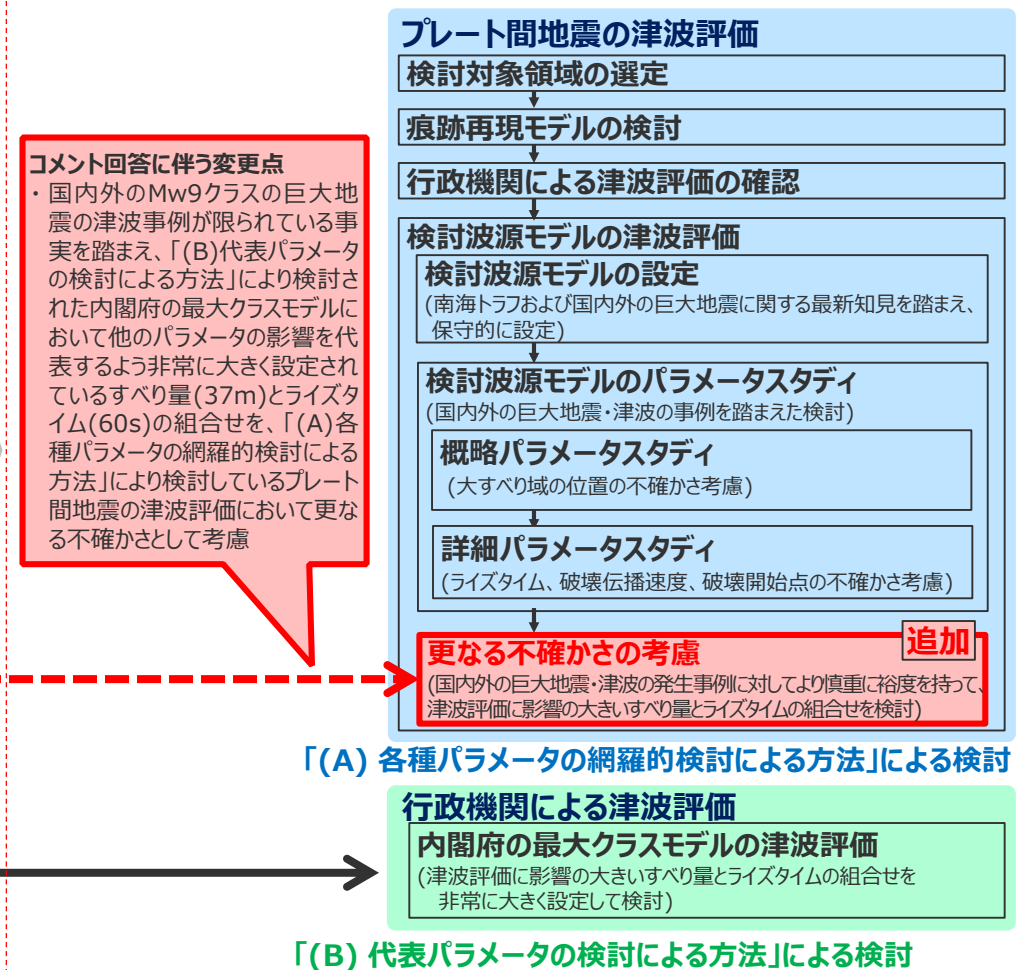
②プレート間地震の津波評価への反映 (反映方法)

- 第981回審査会合では、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討した当社のプレート間地震の津波評価と「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価とは、波源設定の考え方が異なるものの、両者のモデルとも十分な不確かさの考慮がされていることを報告した。
- 今回のコメント回答では、第981回審査会合でのコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震の津波事例に限られている事実を踏まえ、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討することとし、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルにおいて非常に大きく設定されているパラメータ（すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ）を、「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討しているプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

第981回審査会合の津波評価の概要



今回の津波評価の概要



②プレート間地震の津波評価への反映

(更なる不確かさを考慮した津波評価：検討方針)

- 更なる不確かさを考慮した津波評価では、国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえた検討波源モデルのパラメータスタディの結果選定したモデルに対して、更に、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討した。

【プレート間地震の津波評価】(「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討)

検討波源モデルの設定

- ・ 南海トラフおよび国内外の巨大地震に関する最新知見を踏まえて、南海トラフの特徴を考慮するとともに、東北沖地震において巨大津波が発生した要因 (a)地震規模、(b)浅部の破壊形態) を不確かさとして保守的に考慮した東北沖地震型の検討波源モデルを設定した。



検討波源モデルのパラメータスタディ(国内外の巨大地震・津波の事例を踏まえた検討)

- ・ 検討波源モデルに対して、国内外の巨大地震の事例を踏まえて、パラメータスタディを網羅的に実施し、敷地への影響を検討した。

概略パラメータスタディ(大すべり域の位置の不確かさ考慮)

- ・ 検討波源モデル・日本海溝の特性化手法モデルに対して、敷地への影響の観点から、大すべり域の位置を東西に移動させて検討し、敷地への影響が大きいケースを基準断層モデルとして選定した。

詳細パラメータスタディ(ライズタイム、破壊伝播速度、破壊開始点の不確かさ考慮)

- ・ 選定した基準断層モデルに対して、更に、動的パラメータであるライズタイム、破壊伝播速度、破壊開始点の不確かさを重畳して考慮し、各パラメータの組合せを網羅的に検討した。



更なる不確かさの考慮(国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持った検討)

- ・ 検討波源モデルのパラメータスタディの結果選定した波源モデルに対して、更に、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを検討した。

【内閣府の最大クラスモデルの津波評価】

(「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討)

内閣府の最大クラスモデルの分析

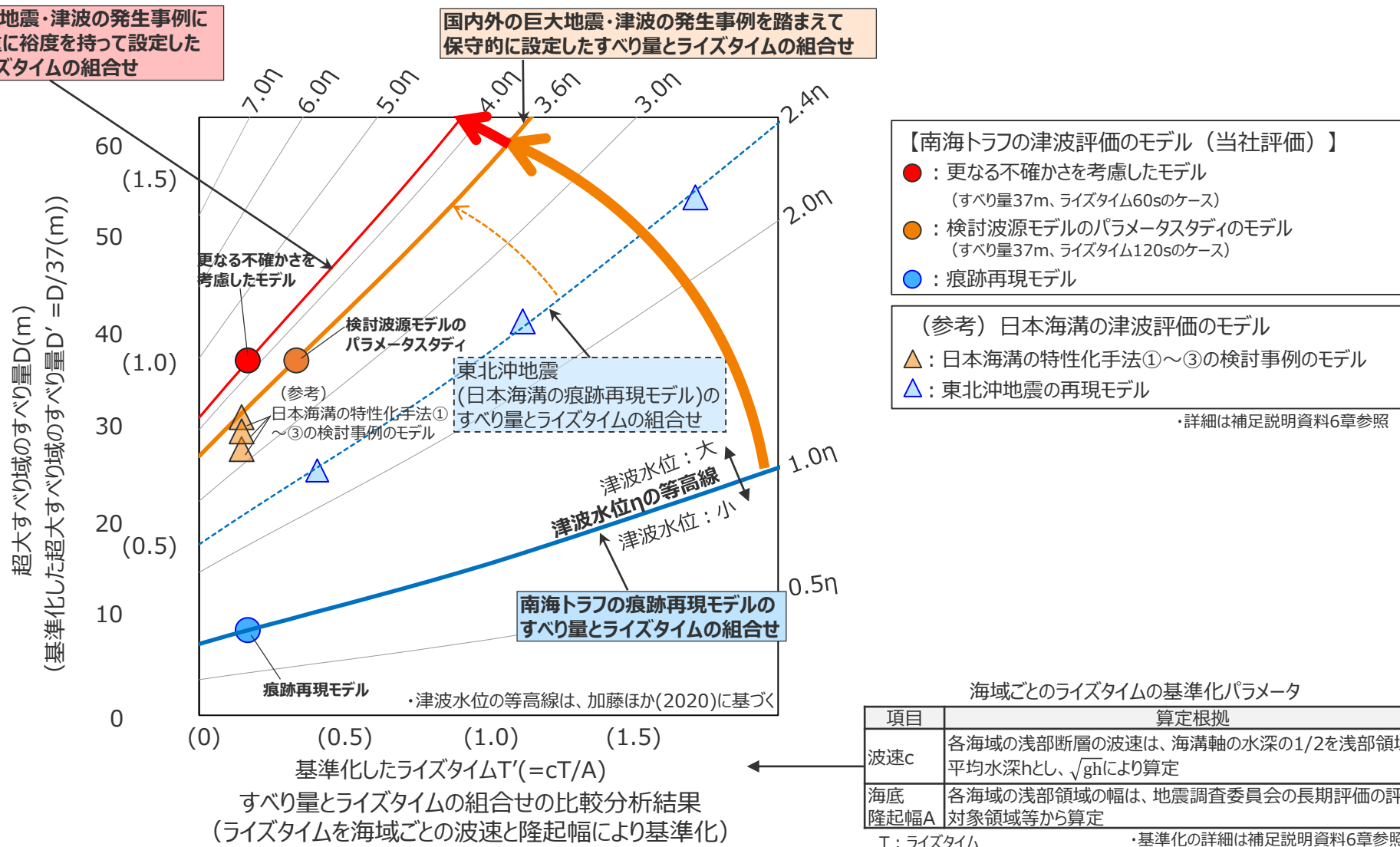
- ・ 津波評価に影響の大きいパラメータを非常に大きく設定(すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せを設定)することにより、その他のパラメータの不確かさを代表する方法で検討され、少ないケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定。

「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルにおいて、他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されているパラメータ(すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ)を、更なる不確かさとして考慮

②プレート間地震の津波評価への反映

(更なる不確かさを考慮した津波評価：すべり量とライズタイムの組合せの分析)

- 検討波源モデルのパラメータスタディでは、国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえて、保守的にすべり量(37m)とライズタイム(120s)の組み合わせを考慮した。
- 更なる不確かさを考慮した津波評価では、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って、すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組み合わせを考慮した。

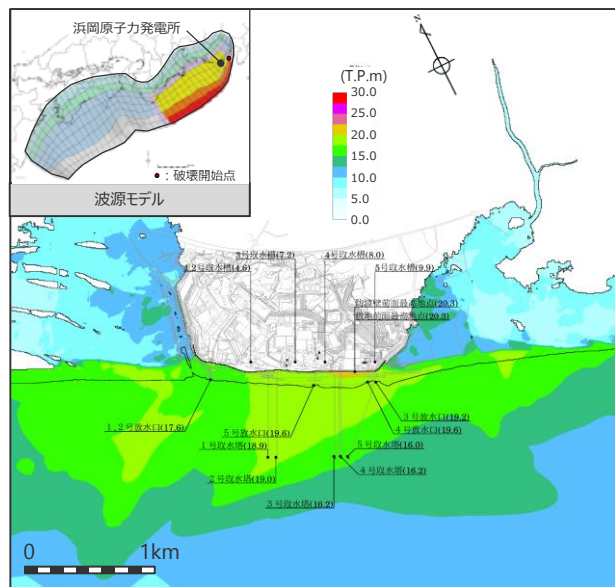


②プレート間地震の津波評価への反映

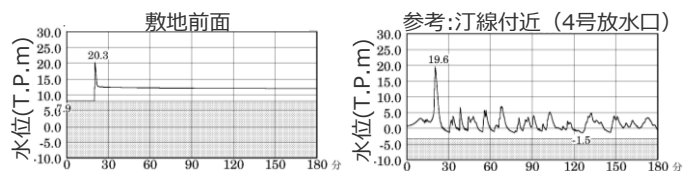
(更なる不確かさを考慮した津波評価結果：基準断層モデル1)

■パラメータスタディモデルに対して更なる不確かさを考慮したモデルの水位上昇側の津波評価結果を以下に示す。

基準断層モデル1
(パラメータスタディモデル)
検討波源モデル A 大すべり域の数：東海地域1箇所
大すべり域の位置：西へ10km移動
ライスタイム120s
破壊伝播速度 2.5km/s、破壊開始点 P4



最大上昇水位分布

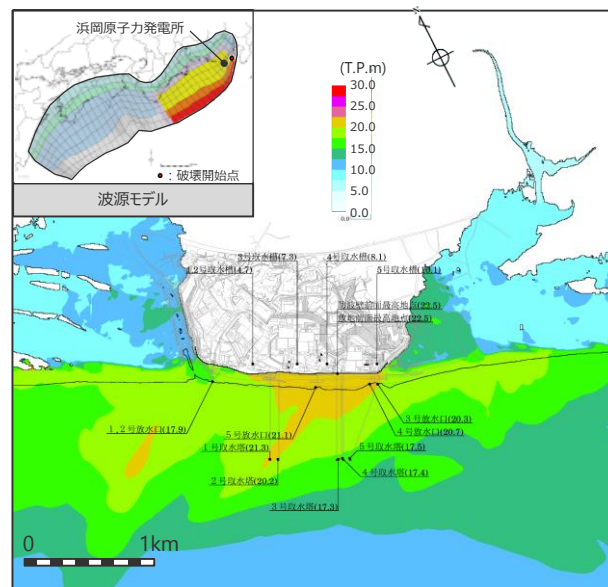


水位の時刻歴波形

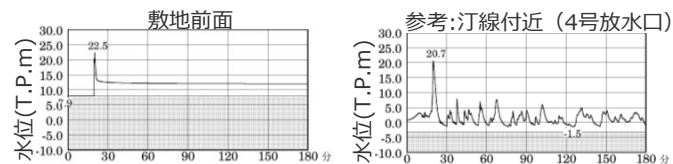
・網掛け部の上端は当該地点の標高
・朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

最大上昇水位(T.P.m)				
敷地前面	1・2号取水槽	3号取水槽	4号取水槽	5号取水槽
20.3	4.6	7.2	8.0	9.9

基準断層モデル1
(更なる不確かさを考慮したモデル)
検討波源モデル A 大すべり域の数：東海地域1箇所
大すべり域の位置：西へ10km移動
ライスタイム60s
破壊伝播速度 2.5km/s、破壊開始点 P4



最大上昇水位分布

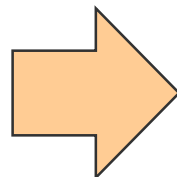


水位の時刻歴波形

・網掛け部の上端は当該地点の標高
・朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮
・防波壁の高さを無限大として解析を実施

最大上昇水位(T.P.m)				
敷地前面	1・2号取水槽	3号取水槽	4号取水槽	5号取水槽
22.5	4.7	7.3	8.1	10.1

更なる不確かさ
の考慮



②プレート間地震の津波評価への反映 (内閣府の最大クラスモデルとの比較)

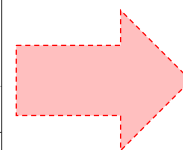
- 「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」により検討した当社のプレート間地震の津波評価における「更なる不確かさを考慮したモデル」は、「(B)代表パラメータの検討による方法」により検討された内閣府の最大クラスモデルに対し、更に、すべり量とライズタイムの組合せ、浅部の破壊形態、超大すべり域・大すべり域の位置、破壊伝播速度、破壊開始点の不確かさを考慮したモデルとなっていることを確認した。

(B)代表パラメータの検討による方法 内閣府(2012)

(A)各種パラメータの網羅的検討による方法 当社による検討

波源モデル		内閣府の最大クラスモデル (2012年時点の科学的知見に基づき、これ以上ない津波として少ない検討ケースで南海トラフの全域を網羅するよう設定されたモデル) (2020年時点までの津波堆積物等の最新知見を踏まえて検討し、十分に保守的な評価となっていることを確認したモデル)
認識論的不確かさ	面積	約14万km ²
	地震規模	Mw9.1
	すべり量	約37m
	ライズタイム(すべり速度)	60s (0.6m/s)
	浅部の破壊形態	境界面浅部
	(駿河湾域)	(超大すべり域のすべり量を設定しない)
	超大すべり域・大すべり域の位置	駿河湾～紀伊半島沖 (1ケース)
	破壊伝播速度	2.5km/s
偶然的 不確かさ	破壊開始点	大すべり域の下端中央

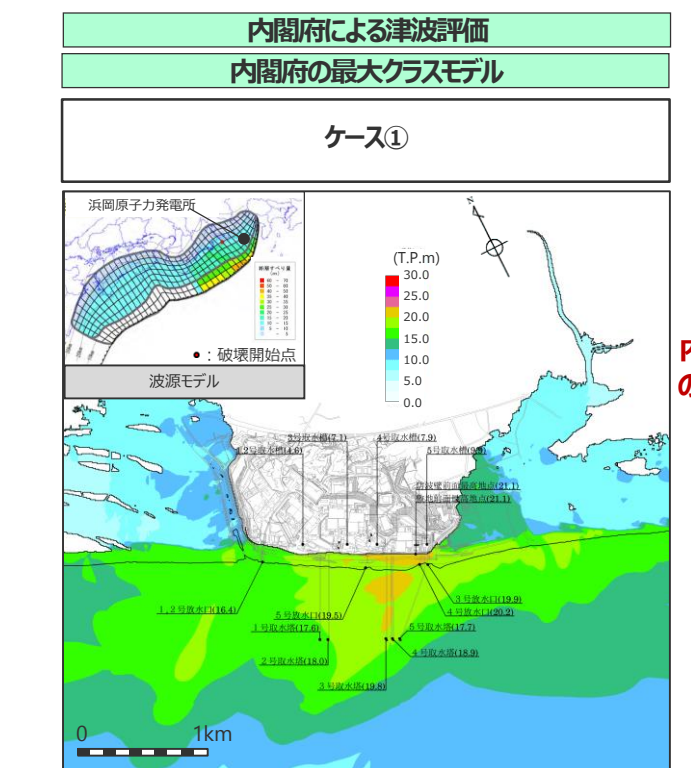
内閣府の最大クラスモデルに対して、更に不確かさを考慮している
(赤字)



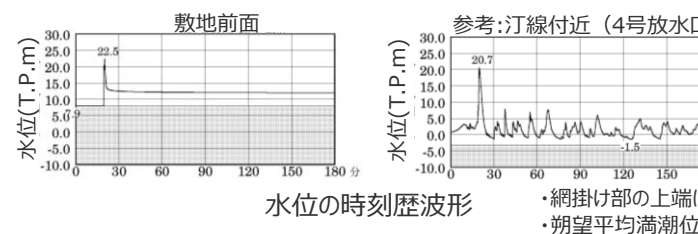
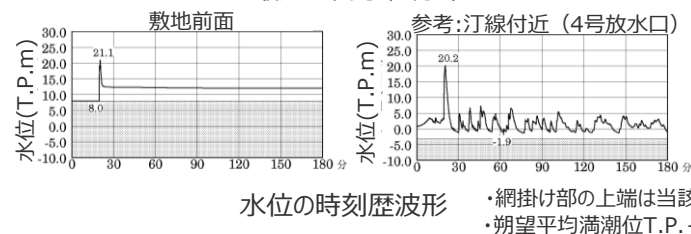
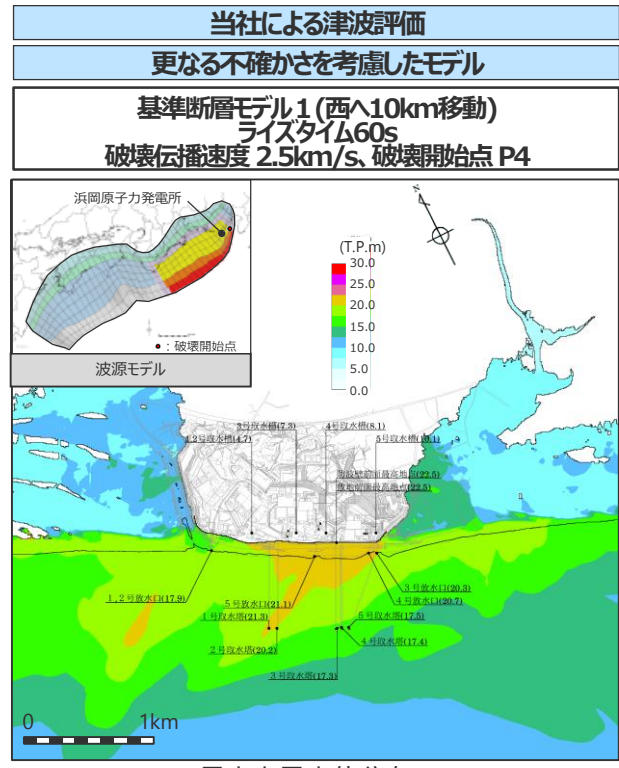
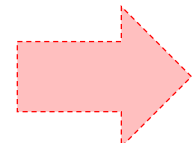
更なる不確かさを考慮したモデル (保守的に国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえてパラメータを設定し、網羅的なパラメータスタディにより選定したモデルに対して、更に、国内外の巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って津波評価に影響の大きいすべり量とライズタイムの組合せを考慮することとしたモデル)	
	約14万km ²
	Mw9.1
	約37m
	60～300sのうち最大ケース (0.6～0.1m/sのうち最大ケース)
	境界面浅部/境界面浅部・分岐断層のうち最大ケース (超大すべり域のすべり量を設定する)
	駿河湾～紀伊半島沖を含む 東西約10kmごとに移動させたケースのうち最大ケース
	0.7～2.5km/sのうち最大ケース
	大すべり域の下端中央を含む 大すべり域の周囲の複数地点のうち最大ケース

②プレート間地震の津波評価への反映 (内閣府の最大クラスモデルとの比較)

■ 更なる不確かさを考慮したプレート間地震の津波評価結果 (T.P.+22.5m) は、内閣府の津波評価結果 (T.P.+21.1m) を上回っていることを確認した。



内閣府の最大クラスモデル
の津波評価を上回っている



敷地前面
最大上昇水位(T.P. m)

21.1

敷地前面
最大上昇水位(T.P. m)

22.5

まとめ

○第981回審査会合における説明

- **「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」**により検討を行っている当社のプレート間地震の津波評価では、津波審査ガイドに従い、文献調査及び津波堆積物調査の結果に基づき設定した痕跡再現モデルをベースとして、保守的にMw9クラスの東北沖地震型の波源モデルを設定し、国内外の巨大地震・津波の発生事例を踏まえてすべり量(37m)とライズタイム(120s)の組合せを含め網羅的なパラメータスタディを実施した。
- **「(B)代表パラメータの検討による方法」**で検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価では、非常に大きく設定されたパラメータ(すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ)により、その他のパラメータの不確かさの影響を代表する方法で不確かさが考慮され、少ない検討ケースで南海トラフの全域を網羅する最大クラスの津波として想定された。
- 上記の両評価は、波源設定の考え方が異なるものの、いずれも、2020年時点までの津波堆積物に関する最新知見を含め、確認されている痕跡高を2~3倍程度上回る想定となっており、内閣府(2020)では2020年時点までに実施された津波堆積物の調査資料から最大クラスの津波を推定できることを示唆するとされていることを踏まえると、いずれも、十分な不確かさが考慮されていることを確認した。



○第981回審査会合におけるコメント

- 東北沖地震では、海溝軸付近で顕著なすべりの不均質が確認されている。海溝軸付近のすべりの不均質性の影響は、海溝軸から遠ければ津波伝播の過程で平均化されるが、海溝軸からの距離が近ければ平均化されずに到達するので、小さなすべりの不均質であっても影響が出やすい。
国内外の巨大地震の津波事例が限られているなか、トラフ軸から近い浜岡においては、敷地の津波評価に影響の大きいすべり量、ライズタイムについて、更なる不確かさを考慮して裕度を持って設定する必要がある。



○第981回審査会合におけるコメントを踏まえた、プレート間地震の津波評価への反映

- 海溝軸付近のすべりの不均質性の影響に関する検討の結果、海溝軸から陸域側では、海溝軸から沖合側で見られるような海溝軸からの距離の影響は見られず、海溝軸から陸域までの距離が近いことによって特別な考慮をする必要はないことを確認した。
また、当社のプレート間地震の津波評価は、不確かさの考慮として、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に基づき「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」による検討を行っており、内閣府(2020)および南海トラフにおける津波堆積物調査の拡充を踏まえると、2020年までに確認されている痕跡高を再現する津波が最大クラスの津波として想定されるところ、この痕跡高を2~3倍程度上回る保守的なものとなっている。
これらのことから、当社のプレート間地震の津波評価は、国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例や津波波源のすべりの不均質性の影響を踏まえても、不確かさの考慮として十分保守的なものと考えられるが、第981回審査会合におけるコメントおよび国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例が限られていることを踏まえ、更なる不確かさの考慮として、敷地の津波評価に影響の大きい**すべり量とライズタイムの組合せ**を国内外のMw9クラスの巨大地震・津波の発生事例に対してより慎重に裕度を持って設定することとした。
- 具体的には、**「(B)代表パラメータの検討による方法」**により検討された内閣府の最大クラスモデルの津波評価において他のパラメータの影響を代表するよう非常に大きく設定されている**すべり量(37m)とライズタイム(60s)の組合せ**を、**「(A)各種パラメータの網羅的検討による方法」**により検討している当社のプレート間地震の津波評価において更なる不確かさの考慮として検討することとした。

- ※ 各種パラメータの不確かさに対し、安全側の評価を行うため波源モデル設定の方法は、以下 (A) の方法のほか、(B) の方法があると考えられる。
- (A) 各種パラメータの網羅的検討による方法：各パラメータの不確かさの組合せの科学的知見に基づき網羅的な検討により安全側の評価を行う考え方の方法
 - (B) 代表パラメータの検討による方法：影響の大きい代表パラメータを科学的知見の範囲を超えて非常に大きく設定することにより、その他の現象の津波評価への影響を代表させて安全側の評価を行う考え方の方法