

東通原子力発電所 津波の評価について (基準津波の年超過確率の参照) (補足説明資料)

2024年7月19日
東北電力株式会社

目次

1. 基準津波の策定	2
2. 計算条件等	16
3. 津波波源モデルの設定方法	23
4. 土木学会(2011)のロジックツリー	33
5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模	37
6. 津波高さ推定に関するロジックツリー	43
 (参考)敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率	51

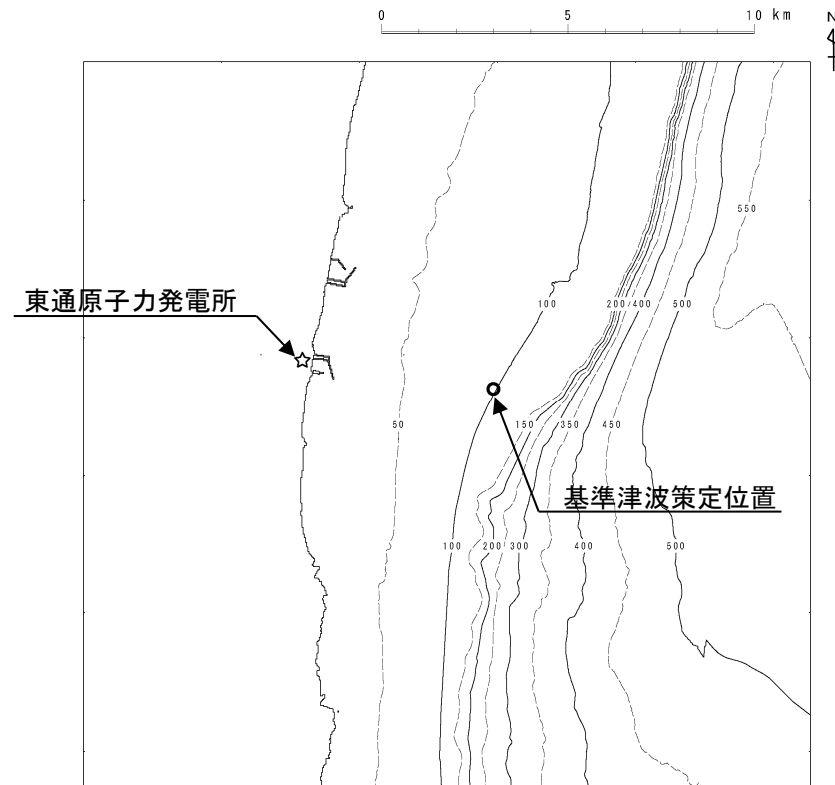
1. 基準津波の策定

- 1. 1 基準津波の策定位置
- 1. 2 水位上昇側
- 1. 3 水位下降側

1. 基準津波の策定

1.1 基準津波の策定位置

- 基準津波は、敷地前面海域の海底地形の特徴を踏まえ、時刻歴波形に対して施設からの反射波の影響が微小となるよう、敷地から沖合いへ約5km離れた位置(水深100m)で策定する。



基準津波の策定位置

1. 基準津波の策定

1.2 水位上昇側

■各津波の評価結果:防波堤有り

- 最大ケースは、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波である。

発生 要因	種別	津波波源		最大水位上昇量(m)				備考
				敷地前面	取水口 前面	補機冷却海水 系取水口前面	放水路 護岸前面	
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から 岩手県沖北部の 連動型地震	基準断層モデル①[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (内閣府(2012)考慮)]※1	11.18	9.26	9.51	9.20	
		津波地震※2		10.34	9.09	9.24	9.12	既往津波:1896年 明治三陸地震津波
	海洋プレート内 地震	正断層型の地震※3		9.77	4.87	5.17	4.43	既往津波:1933年 昭和三陸地震津波
	海域の活断層に よる地殻内地震	恵山沖断層		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)				
地震 以外	陸上の地すべり及び斜面崩壊			発電所へ与える影響は極めて小さい				
	海底地すべり	下北太平洋側 大陸棚外縁	SLS-2	0.84	0.78	0.77	—※4	
		日高舟状海盆	地すべり①と②の同時活動	4.25	1.99	2.13	—※4	
		日本海溝付近における海山		発電所へ与える影響は極めて小さい				
		ハワイ付近		日本沿岸における津波水位は最大で3.8m程度				
	火山現象	海域		敷地前面海域に津波を発生させる海底火山の存在は認められない				
		陸域	恵山	0.89	0.78	0.77	—※4	
地震と地震以外に起因 する津波の組合せ		連動型地震と 日高海底地すべり	地震:基準断層モデル①※1 海底地すべり:地すべり②単独	11.34	9.35	9.56	9.31	防波堤有り 最大ケース

※1:大すべり域等の位置:南へ約100km,破壊開始点:P6,破壊伝播速度:2.0(km/s),ライズタイム:60(s)

※2:位置:北東へ120km,走向:基準+10°,傾斜角:基準+5°,すべり角:基準-10°

※3:位置:北東へ180km(海溝軸),西北西へ80km(海溝軸直交),走向:基準+10°,傾斜:西傾斜,傾斜角:基準+5°,断層上縁深さ:7km

※4:放水路護岸前面まで津波が到達しない。

1. 基準津波の策定

1.2 水位上昇側

■各津波の評価結果:防波堤無し

- 最大ケースは、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波である。

発生 要因	種別	津波波源		最大水位上昇量(m)				備考	
				敷地前面	取水口 前面	補機冷却海水 系取水口前面	放水路 護岸前面		
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から 岩手県沖北部の 連動型地震	基準断層モデル①[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (内閣府(2012)考慮)]※1	11.17	9.42	9.73	9.32		
		津波地震※2		10.52	8.73	8.65	9.03	既往津波:1896年 明治三陸地震津波	
	海洋プレート内 地震	正断層型の地震※3		8.68	7.48	8.24	7.30	既往津波:1933年 昭和三陸地震津波	
	海域の活断層に よる地殻内地震	恵山沖断層		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)					
地震 以外	陸上の地すべり及び斜面崩壊			発電所へ与える影響は極めて小さい					
	海底地すべり	下北太平洋側 大陸棚外縁	SLS-2	__※4	__※4	__※4	__※4		
		日高舟状海盆	地すべり①と②の同時活動	3.90	2.90	3.22	2.95		
		日本海溝付近における海山			発電所へ与える影響は極めて小さい				
		ハワイ付近			日本沿岸における津波水位は最大で3.8m程度				
	火山現象	海域		敷地前面海域に津波を発生させる海底火山の存在は認められない					
		陸域	恵山	0.71	0.62	0.63	0.68		
地震と地震以外に起因 する津波の組合せ		連動型地震と 日高海底地すべり	地震:基準断層モデル①※1 海底地すべり:地すべり②単独	11.43	9.55	9.79	9.47	防波堤無し 最大ケース	

※1:大すべり域等の位置:南へ約100km,破壊開始点:P6,破壊伝播速度:2.0(km/s),ライズタイム:60(s)

※2:位置:北東へ120km,走向:基準+10°,傾斜角:基準+5°,すべり角:基準-10°

※3:位置:北東へ180km(海溝軸),西北西へ80km(海溝軸直交),走向:基準+10°,傾斜:西傾斜,傾斜角:基準+5°,断層上縁深さ:7km

※4:防波堤無しの検討は、日高舟状海盆の海底地すべりを代表として実施。

1. 基準津波の策定

1.2 水位上昇側

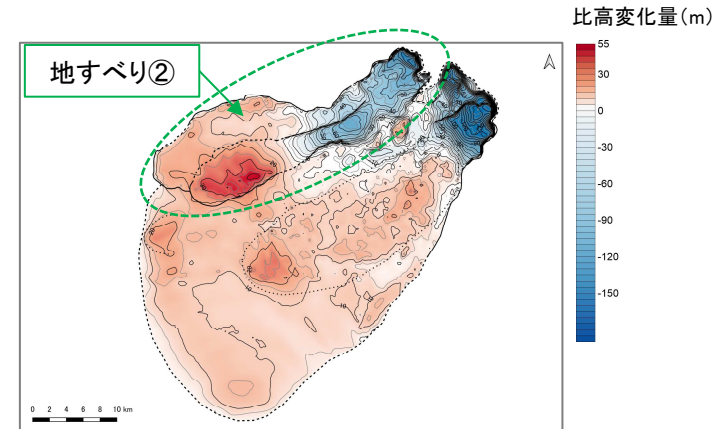
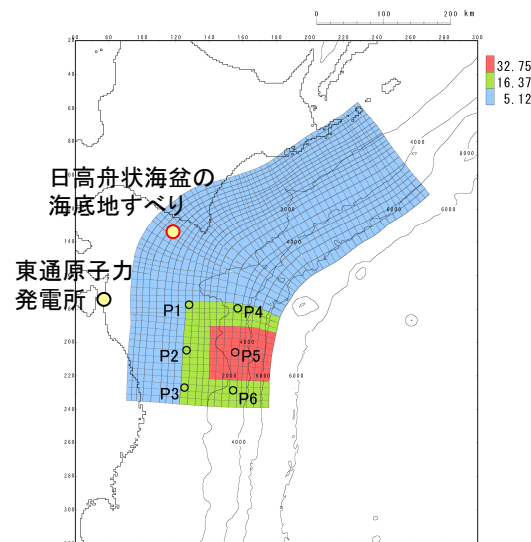
■基準津波[水位上昇側(防波堤無し最大)]

- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波[水位上昇側(防波堤無し最大)]に選定。

基準津波		最高水位(敷地前面)
基準津波 [水位上昇側 (防波堤無し最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波	T.P.+12.1m※1, 2

※1: 基準津波による敷地前面の最大水位上昇量(11.43m)に、朔望平均満潮位(T.P.+0.61m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

※2: 潮位の詳細は、補足説明資料「I. 計算条件等 2. 潮位条件」に記載



日高舟状海盆の海底地すべり
(地すべり②単独)
(比高変化分布)

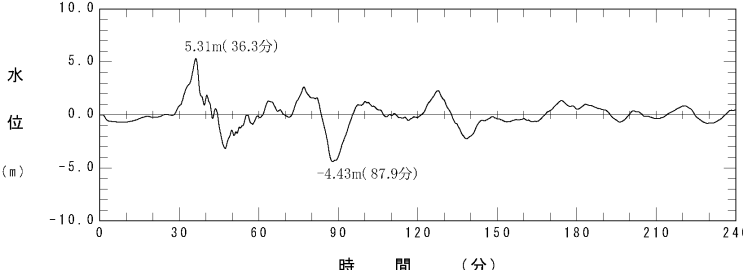
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震
基準断層モデル①[青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域
の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮)]※3

※3: 大すべり域等の位置: 南へ約100km, 破壊開始点: P6, 破壊伝播速度: 2.0(km/s), ライズタイム: 60(s)

1. 基準津波の策定

1. 2 水位上昇側

■ 基準津波の策定位置における水位時刻歴波形及び最高水位

基準津波	基準津波	水位時刻歴波形	最高水位※
基準津波[水位上昇側 (防波堤無し最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部 の連動型地震[基準断層モデル① (青森県東方沖及び岩手県沖北部 の大すべり域の破壊特性を考慮した モデル(内閣府(2012)考慮))と 日高舟状海盆の海底地すべり (地すべり②単独)との組合せ津波		T.P.+6.0m

※: 最大水位上昇量に、朔望平均満潮位 (T.P.+0.61m) を考慮した水位 (小数点第二位を切り上げ)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

第1225回審査会合(R6.2.9)

資料1-2-1 p17 再掲

8

■各津波の評価結果：防波堤有り

- 最大ケースは、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波である。

発生 要因	種別	津波波源		補機冷却海水系取水口前面		備考
				最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から 岩手県沖北部の 連動型地震	基準断層モデル②[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (すべり量の不確かさ考慮)]※1	-5.10	4.2	
			基準断層モデル③[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (すべり分布の不確かさ考慮)]※2	-5.24	4.4	
		津波地震※3		-4.27	1.3	既往津波:1896年 明治三陸地震津波
	海洋プレート内地震	正断層型の地震※4		-4.59	1.9	既往津波:1933年 昭和三陸地震津波
	海域の活断層に よる地殻内地震	恵山沖断層		0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)		
地震 以外	陸上の地すべり及び斜面崩壊			発電所へ与える影響は極めて小さい		
	海底地すべり	下北太平洋側大陸棚外縁	SLS-2	-0.63	___※5	
		日高舟状海盆	地すべり①と②の同時活動	-2.50	___※5	
		日本海溝付近における海山		発電所へ与える影響は極めて小さい		
		ハワイ付近		発電所へ与える影響は、日高海底地すべりよりも小さい		
	火山現象	海域		敷地前面海域に津波を発生させる海底火山の存在は認められない		
		陸域	恵山	-0.88	___※5	
地震と地震以外に起因 する津波の組合せ		連動型地震と 日高海底地すべり	地震:基準断層モデル②※1 海底地すべり:地すべり①単独	-5.11	4.3	
			地震:基準断層モデル②※1 海底地すべり:地すべり②単独	-5.11	4.3	
			地震:基準断層モデル③※2 海底地すべり:地すべり①単独	-5.31	4.6	防波堤有り 最大ケース (水位下降側1)

※1:大すべり域等の位置:南へ約100km,破壊開始点:P4,破壊伝播速度:1.0(km/s),ライズタイム:60(s)

※2:大すべり域等の位置:南へ約40km,破壊開始点:P1,破壊伝播速度:1.0(km/s),ライズタイム:60(s)

※3:位置:北東へ30km,走向:基準+10°,傾斜角:基準+5°,すべり角:基準

※4:位置:北東へ90km(海溝軸),西北西へ100km(海溝軸直交),走向:基準+10°,傾斜:西傾斜,傾斜角:基準+5°,断層上縁深さ:13km

※5:補機冷却海水系取水口敷高(T.P.-4.0m)を下回らない。

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

第1225回審査会合(R6.2.9)
資料1-2-1 p18 再掲

9

■各津波の評価結果：防波堤無し

- ・水位最大ケースは、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波である。
- ・時間最大ケースは、十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波である。

発生 要因	種別	津波波源		補機冷却海水系取水口前面		備考
				最大水位下降量(m)	取水口敷高を下回る継続時間(分)	
地震	プレート間地震	十勝沖・根室沖から 岩手県沖北部の 連動型地震	基準断層モデル②[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (すべり量の不確かさ考慮)]※1	-6.55	6.9	
			基準断層モデル③[青森県東方沖 及び岩手県沖北部の大すべり域の 破壊特性を考慮したモデル (すべり分布の不確かさ考慮)]※2	-6.15	5.3	
		津波地震※3		-5.83	5.2	既往津波:1896年 明治三陸地震津波
	海洋プレート内地震	正断層型の地震※4	-5.75	3.4	既往津波:1933年 昭和三陸地震津波	
	海域の活断層に よる地殻内地震	恵山沖断層	0.6m (阿部(1989)の簡易予測式による推定津波高)			
地震 以外	陸上の地すべり及び斜面崩壊			発電所へ与える影響は極めて小さい		
	海底地すべり	下北太平洋側大陸棚外縁	SLS-2	―※5	―※5	
		日高舟状海盆	地すべり①と②の同時活動	-3.41	―※6	
		日本海溝付近における海山		発電所へ与える影響は極めて小さい		
		ハワイ付近		発電所へ与える影響は、日高海底地すべりよりも小さい		
	火山現象	海域		敷地前面海域に津波を発生させる海底火山の存在は認められない		
		陸域	恵山	-0.47	―※6	
地震と地震以外に起因 する津波の組合せ		連動型地震と 日高海底地すべり	地震:基準断層モデル②※1 海底地すべり:地すべり①単独	-6.57	6.9	防波堤無し 水位最大ケース (水位下降側2)
			地震:基準断層モデル②※1 海底地すべり:地すべり②単独	-6.53	7.1	防波堤無し 時間最大ケース (水位下降側3)
			地震:基準断層モデル③※2 海底地すべり:地すべり①単独	-6.21	5.3	防波堤有り最大 ケースで選定

※1:大すべり域等の位置:南へ約100km,破壊開始点:P4,破壊伝播速度:1.0(km/s),ライズタイム:60(s)※4:位置:北東へ90km(海溝軸),西北西へ100km(海溝軸直交),走向:基準+10°,傾斜:西傾斜,傾斜角:基準+5°,断層上縁深さ:13km

※2:大すべり域等の位置:南へ約40km,破壊開始点:P1,破壊伝播速度:1.0(km/s),ライズタイム:60(s)※5:防波堤無しの検討は、日高舟状海盆の海底地すべりを代表として実施。

※3:位置:北東へ30km,走向:基準+10°,傾斜角:基準+5°,すべり角:基準

※6:補機冷却海水系取水口敷高(T.P.-4.0m)を下回らない。

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波[水位下降側1(防波堤有り最大)]

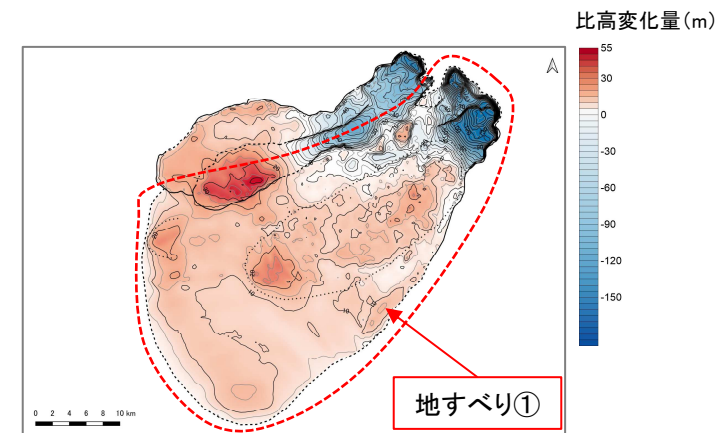
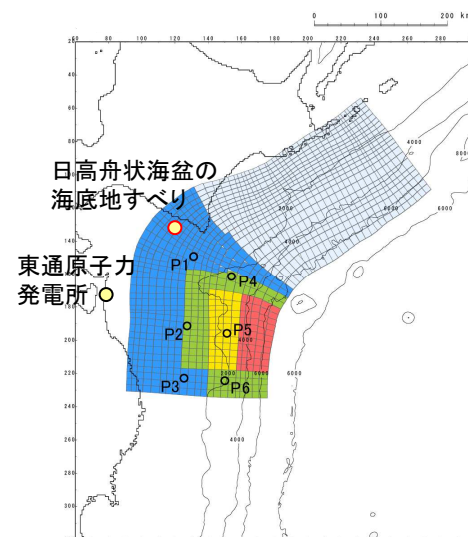
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波[水位下降側1(防波堤有り最大)]に選定。

基準津波		補機冷却海水系取水口前面	
		最低水位	取水口敷高を下回る継続時間
基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさを考慮))と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波	T.P.-6.2m※1, 3	6.1分※2

※1: 基準津波による補機冷却海水系取水口前面の最大水位下降量(-5.31m)に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

※2: 水位時刻歴波形に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した時間

※3: 潮位の詳細は、補足説明資料「I. 計算条件等 2. 潮位条件」に記載



日高舟状海盆の海底地すべり
(地すべり①単独)
(比高変化分布)

十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震
基準断層モデル③[青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の
破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさを考慮)]※4

※4: 大すべり域等の位置: 南へ約40km, 破壊開始点: P1, 破壊伝播速度: 1.0(km/s), ライズタイム: 60(s)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波の策定位置における水位時刻歴波形及び最低水位

基準津波	基準津波	水位時刻歴波形	最低水位※
基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部 の連動型地震[基準断層モデル③ (青森県東方沖及び岩手県沖北部の 大すべり域の破壊特性を考慮した モデル(すべり分布の不確かさ考慮))] と日高舟状海盆の海底地すべり (地すべり①単独)との組合せ津波		T.P.-3.9m

※:最大水位下降量に, 朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波[水位下降側2(防波堤無し水位最大)]

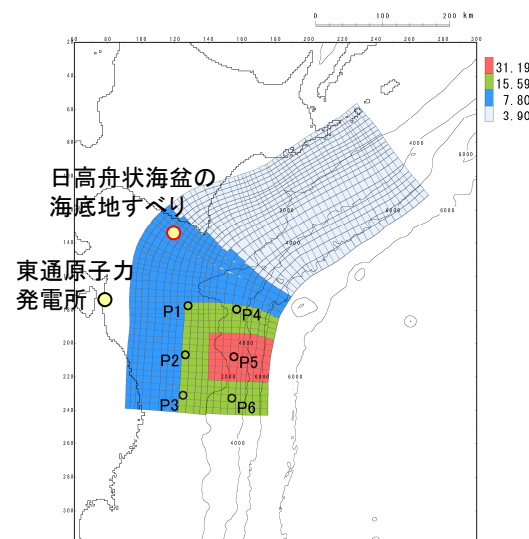
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波[水位下降側2(防波堤無し水位最大)]に選定。

基準津波		補機冷却海水系取水口前面	
		最低水位	取水口敷高を下回る継続時間
基準津波 [水位下降側2 (防波堤無し水位最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさを考慮))と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波]	T.P.-7.5m※1, 3	7.9分※2

※1: 基準津波による補機冷却海水系取水口前面の最大水位下降量(-6.57m)に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

※2: 水位時刻歴波形に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した時間

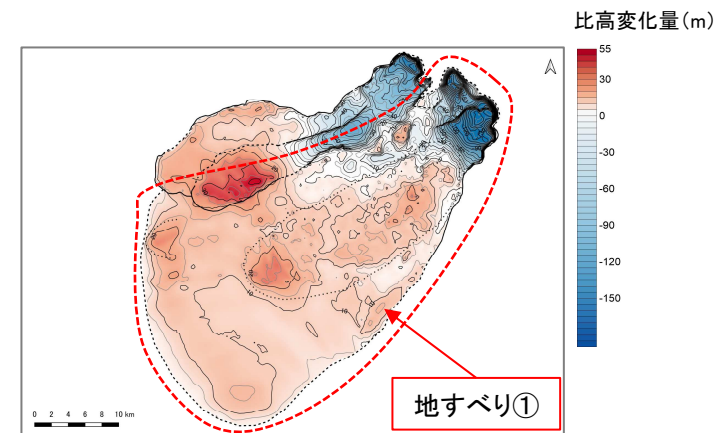
※3: 潮位の詳細は、補足説明資料「I. 計算条件等 2. 潮位条件」に記載



十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震

基準断層モデル②[青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさを考慮)]※4

※4: 大すべり域等の位置: 南へ約100km, 破壊開始点: P4, 破壊伝播速度: 1.0(km/s), ライズタイム: 60(s)



日高舟状海盆の海底地すべり
(地すべり①単独)
(比高変化分布)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波の策定位置における水位時刻歴波形及び最低水位

基準津波	基準津波	水位時刻歴波形	最低水位※
基準津波 [水位下降側2 (防波堤無し水位最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部 の連動型地震[基準断層モデル② (青森県東方沖及び岩手県沖北部の 大すべり域の破壊特性を考慮した モデル(すべり量の不確かさを考慮))] と日高舟状海盆の海底地すべり (地すべり①単独)との組合せ津波		T.P.-4.8m

※:最大水位下降量に, 朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波[水位下降側3(防波堤無し時間最大)]

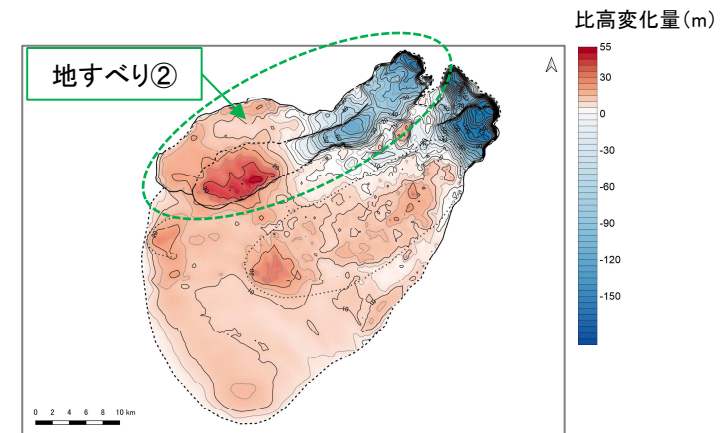
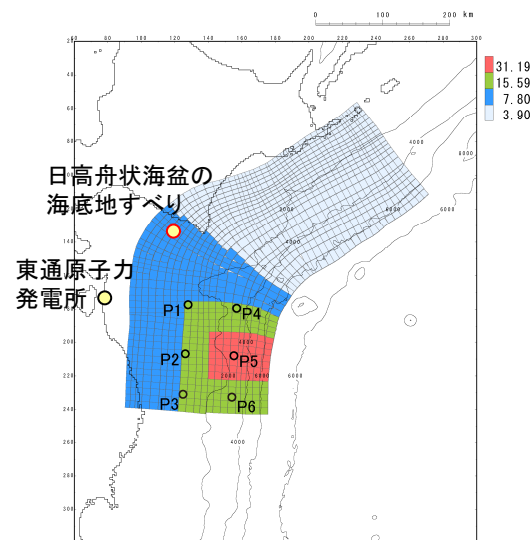
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波[水位下降側3(防波堤無し時間最大)]に選定。

基準津波		補機冷却海水系取水口前面	
		最低水位	取水口敷高を下回る継続時間
基準津波 [水位下降側3 (防波堤無し時間最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさを考慮))と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波]	T.P.-7.4m※1, 3	7.9分※2

※1: 基準津波による補機冷却海水系取水口前面の最大水位下降量(-6.53m)に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

※2: 水位時刻歴波形に、朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した時間

※3: 潮位の詳細は、補足説明資料「I. 計算条件等 2. 潮位条件」に記載



日高舟状海盆の海底地すべり
(地すべり②単独)
(比高変化分布)

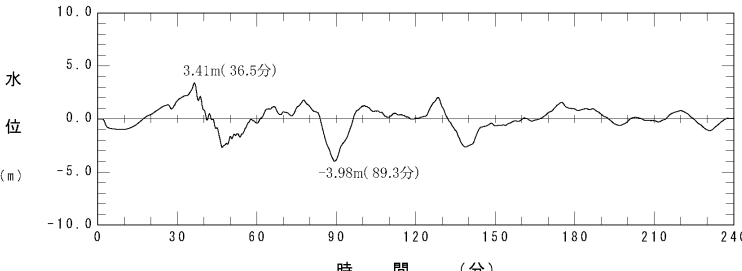
十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震
基準断層モデル②[青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の
破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさを考慮)]※4

※4: 大すべり域等の位置: 南へ約100km, 破壊開始点: P4, 破壊伝播速度: 1.0(km/s), ライズタイム: 60(s)

1. 基準津波の策定

1.3 水位下降側

■基準津波の策定位置における水位時刻歴波形及び最低水位

基準津波	基準津波	水位時刻歴波形	最低水位※
基準津波 [水位下降側3 (防波堤無し時間最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部 の連動型地震[基準断層モデル② (青森県東方沖及び岩手県沖北部の 大すべり域の破壊特性を考慮した モデル(すべり量の不確かさ考慮))と 日高舟状海盆の海底地すべり (地すべり②単独)との組合せ津波		T.P.-4.9m

※:最大水位下降量に, 朔望平均干潮位(T.P.-0.87m)を考慮した水位(小数点第二位を切り上げ)

2. 計算条件等

- 2. 1 計算条件
- 2. 2 計算領域
- 2. 3 防波堤有無の解析に用いる地形
- 2. 4 津波水位の評価位置

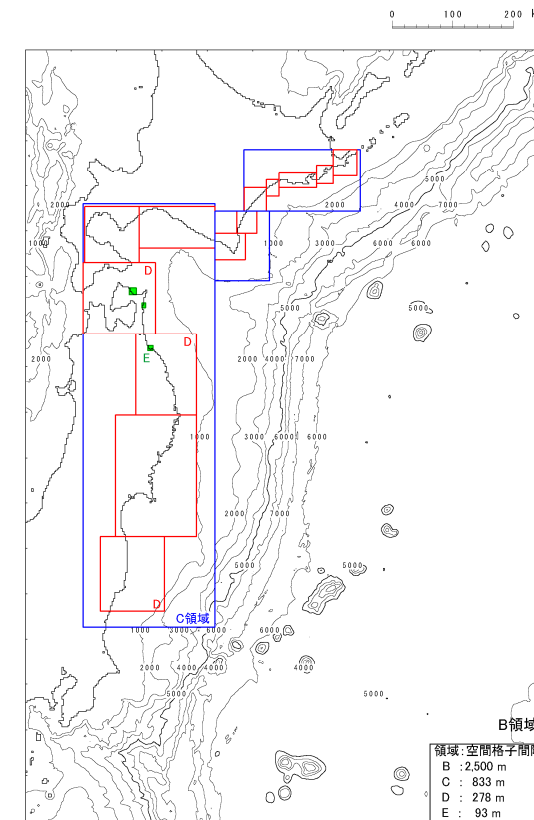
2. 計算条件等

2.1 計算条件

- ・ 津波予測計算は、次の計算条件等に基づき実施した。
- ・ なお、数値シミュレーションの手法の妥当性は、既往津波の再現性の評価を実施して確認した。

主な計算条件

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
時間格子間隔 Δt※1	0.1秒						
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論)※1					
沖側境界条件	自由透過	外側の大格子領域と水位・流量を接続					
陸側境界条件	完全反射	完全反射 (海底露出を考慮)	小谷ほか(1998)の遡上境界条件				
初期海面変動	波源モデルを用いてMansinha and Smylie(1971)の方法により計算される鉛直変位を海面上に与える						
海底摩擦	考慮 しない	マンニングの粗度係数n = 0.03m ^{-1/3} s(土木学会(2016)より)					
水平渦動粘性 係数	考慮しない						
潮位条件	T.P.±0.0m						
計算時間	地震発生後4時間						

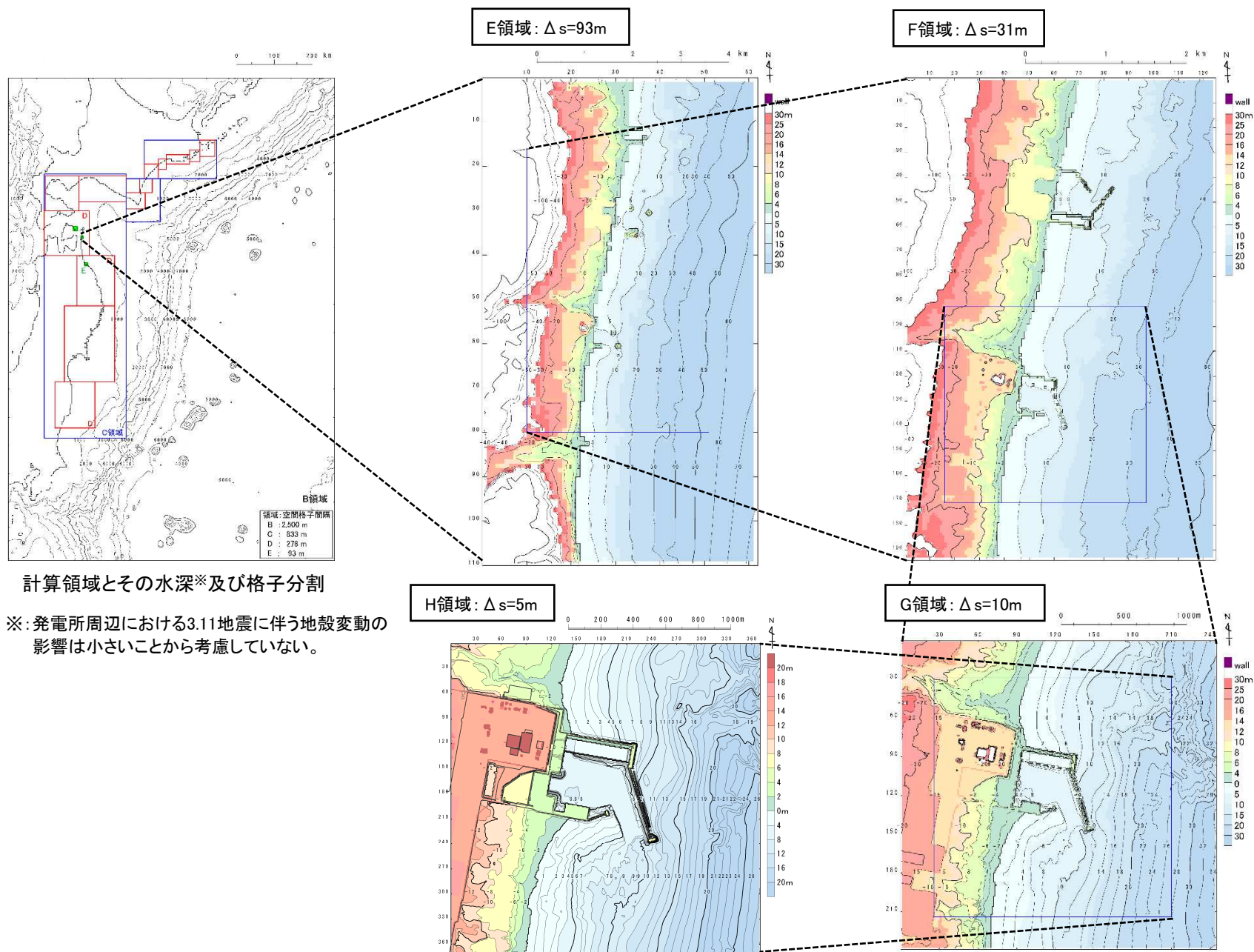


計算領域 $^{※2}$ とその水深及び格子分割

$^{※1}$:土木学会(2016)では、水深200m以浅の海域を目安に非線形長波式を適用するとしている。これを十分に満足するようC領域以下(水深1500m以浅)で、非線形長波式(浅水理論)を適用した。

$^{※2}$:計算領域範囲は、日本海溝沿い・千島海溝沿い(南部)の津波発生領域が含まれる範囲及び北海道・東日本沿岸からの反射波が発電所に与える影響を考慮して設定した。

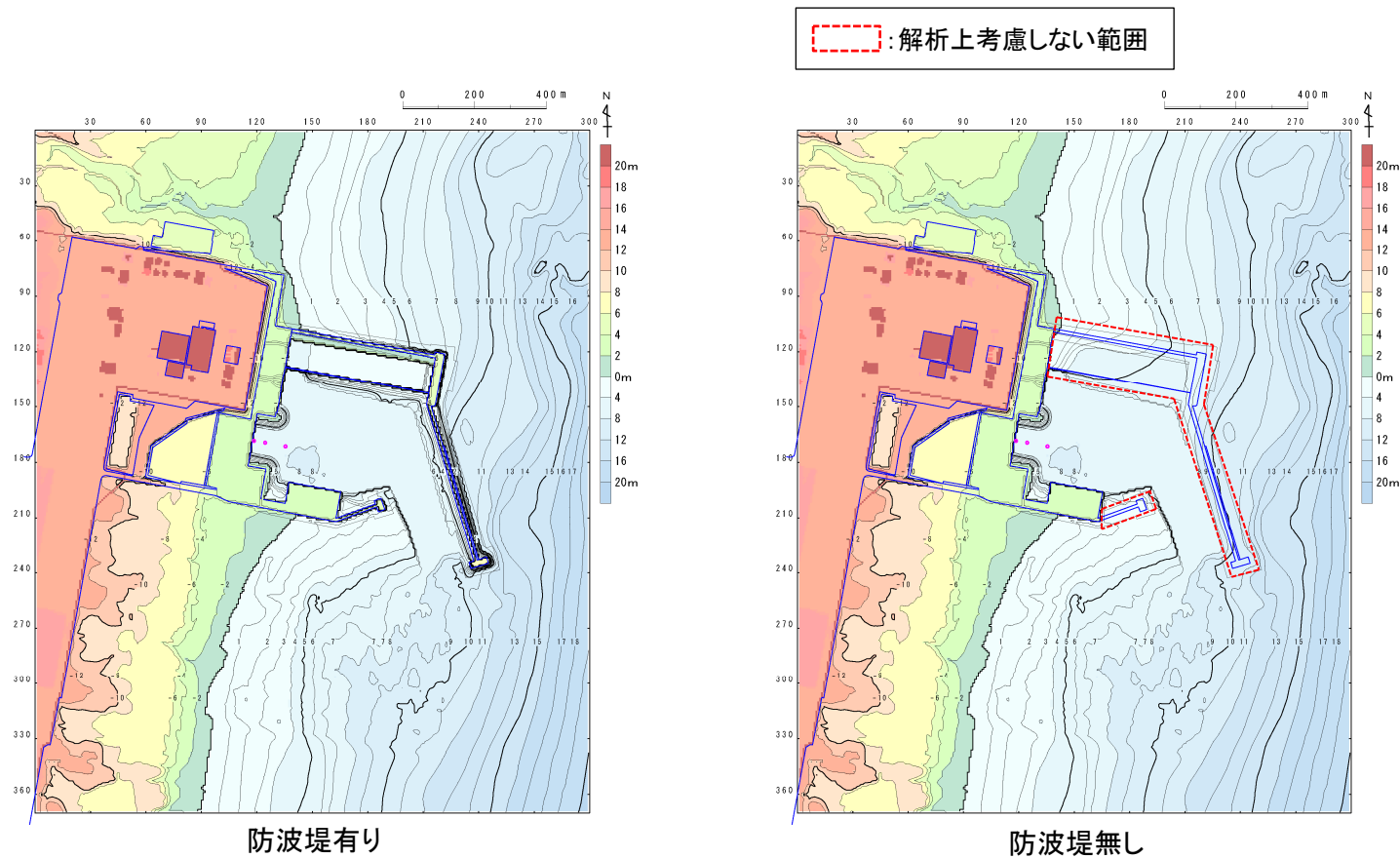
2. 2 計算領域



2. 計算条件等

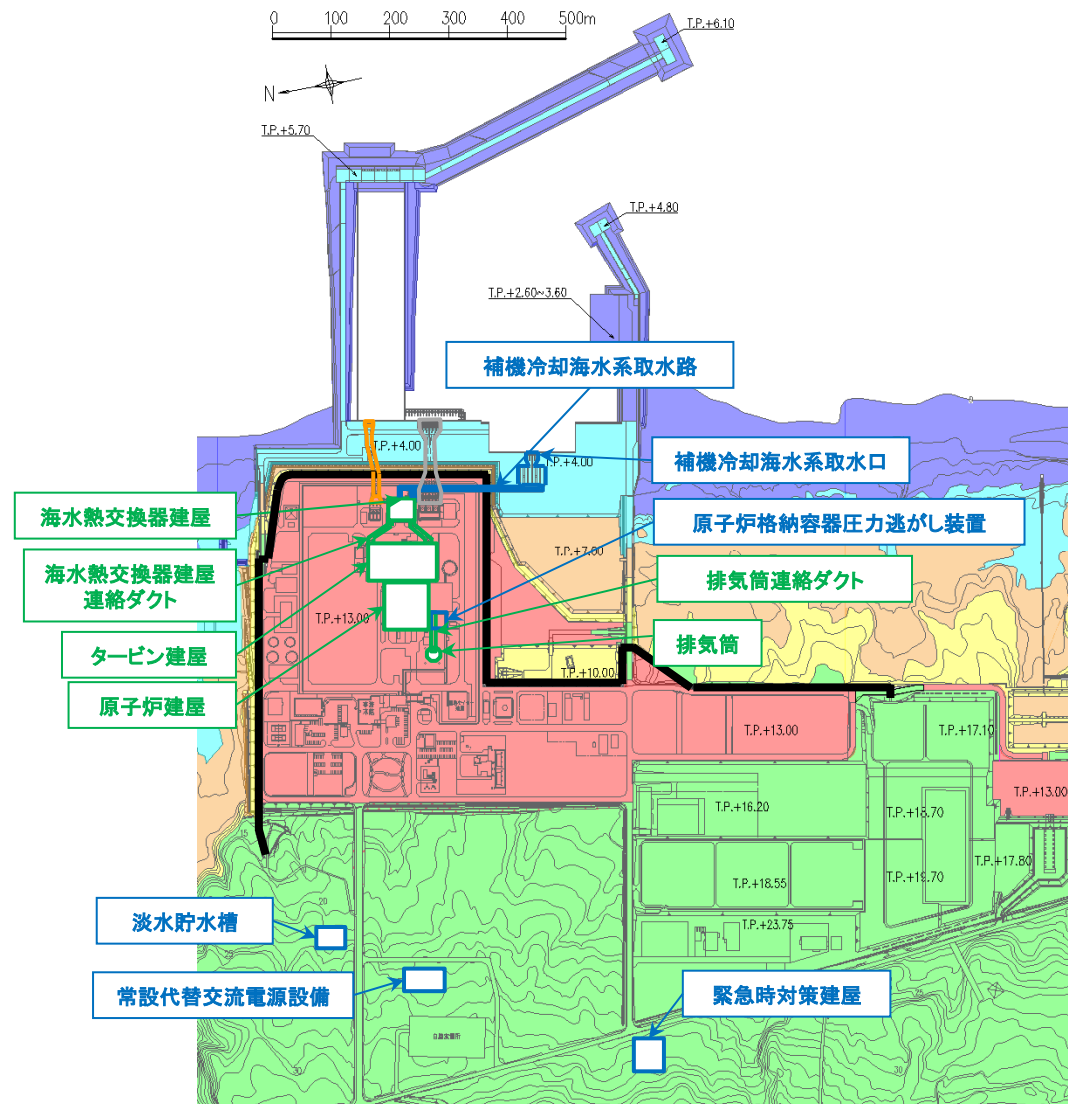
2.3 防波堤有無の解析に用いる地形

- 防波堤有無の解析に用いる地形を以下に示す。



2. 4 津波水位の評価位置:発電所敷地及び耐震重要施設等の配置

- 東通原子力発電所の主要設備が設置される敷地はT.P.+4.0m, T.P.+13.0mであり, その主要設備周辺はT.P.+4.0m~T.P.+23.75mに整地されている。
- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の一部はT.P.+13.0mに設置し, 緊急時対策建屋等の常設重大事故等対処施設の一部はT.P.+13.0mよりもさらに高い敷地に設置する。
- 耐震重要施設等が設置された敷地(T.P.+13.0m)への津波の流入経路は, 常用系の海水を取水する取水路, 非常用系の海水を取水する補機冷却海水系取水路, 並びに常用系・非常用系を放水する放水路がある。



【標高(T.P., m)】

0 ≤	< 4
4 ≤	< 7
7 ≤	< 10
10 ≤	< 13
13 =	
13 <	

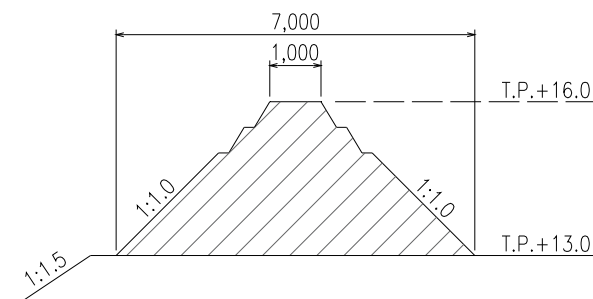
【施設位置】

—	: 防潮堤(自主対策設備)※1
■	: 耐震重要施設※2及び 常設重大事故等対処施設※3
■	: 常設重大事故等対処施設
■	: 放水設備
■	: 取水設備

※1 緊急安全対策の更なる安全性向上のための対策として設置。設置標高はT.P.+13.0mであり津波が到達しないことから, 解析結果には影響しない。

※2 設置許可基準規則第3条の対象となる耐震重要施設(間接支持構造物を含む)

※3 設置許可基準規則第38条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)



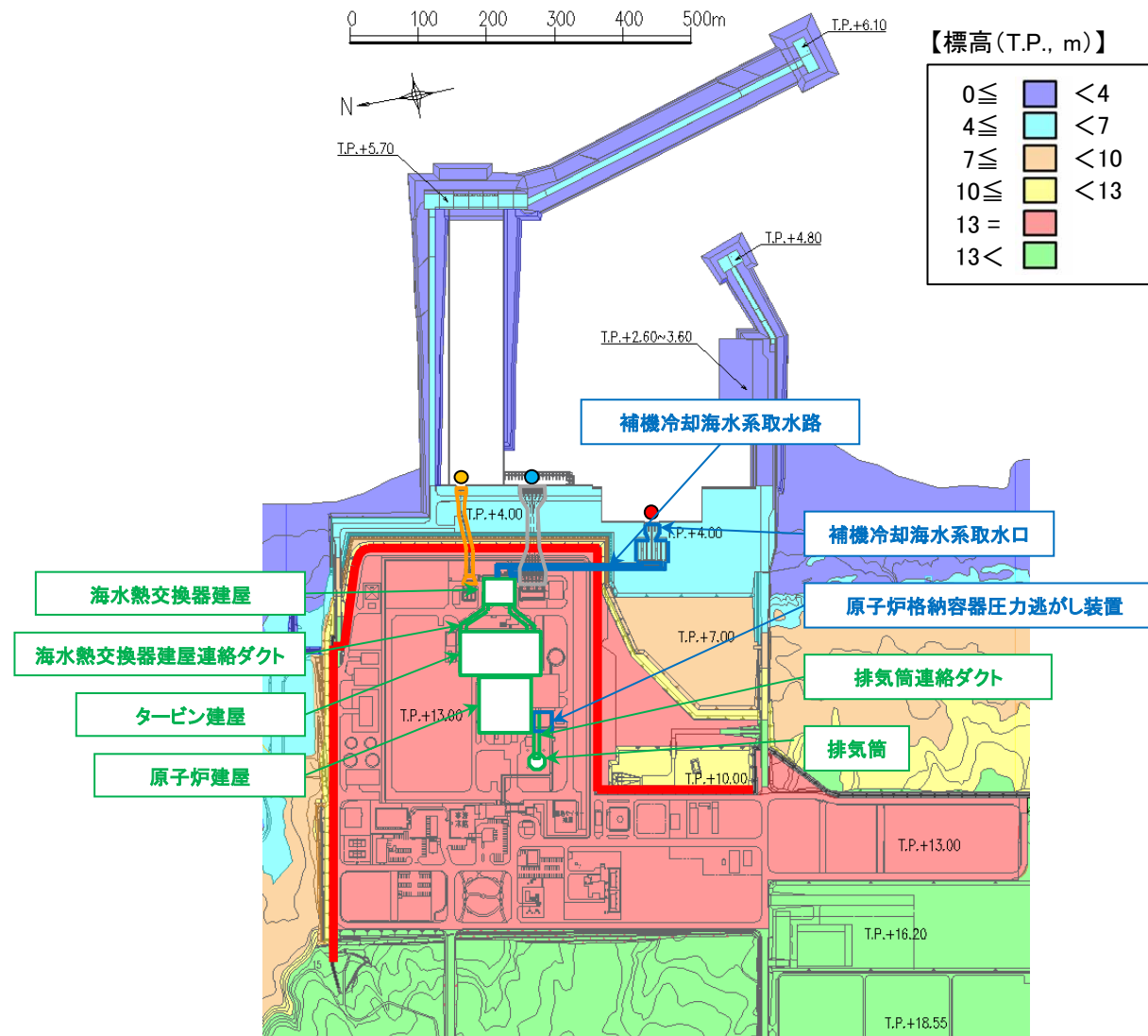
防潮堤(セメント改良土) 標準断面図

2. 計算条件等

2. 4 津波水位の評価位置:水位上昇側

■敷地前面

- 耐震重要施設等が設置された敷地 (T.P.+13.0m) へ津波が遡上するかを評価するため敷地前面 (下図: 赤線) を津波水位の評価位置とする。
- なお, 津波水位が低く, 敷地前面位置まで津波が遡上しない場合には, 敷地前面周辺での最大水位を抽出する。



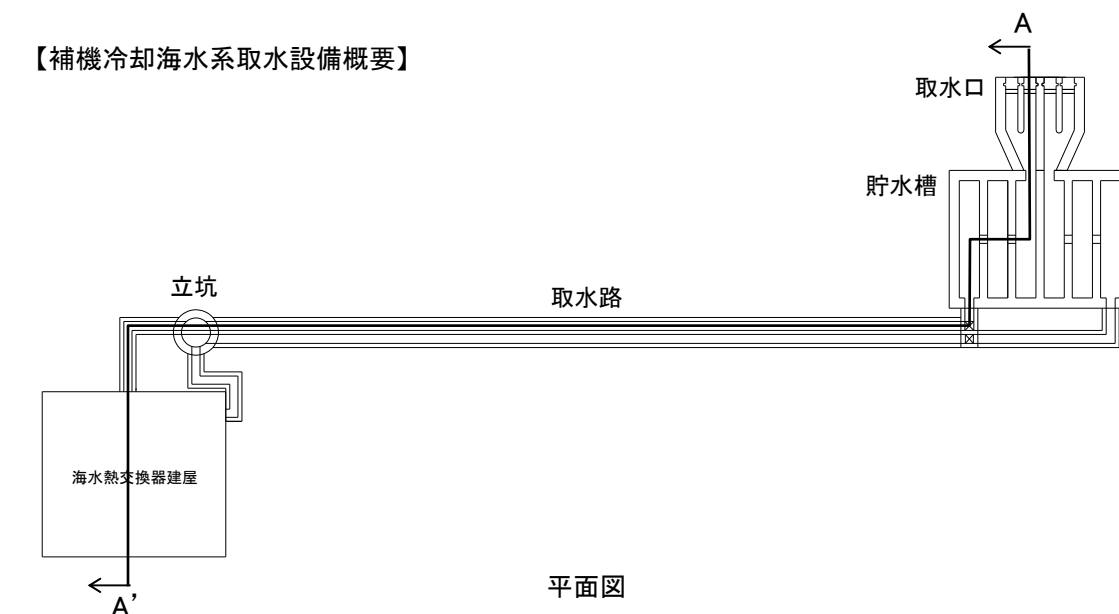
2. 計算条件等

2.4 津波水位の評価位置:水位下降側

■補機冷却海水系取水口前面

- 非常用海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)の取水性を評価するため, 補機冷却海水系取水口前面を津波水位の水位下降側の評価位置とする。
- 補機冷却海水系取水設備は, 津波が取水口敷高(T.P.-4.0m)を下回る場合の非常用海水ポンプの運転に必要な海水を貯留する構造を兼ねていることから, 補機冷却海水系取水口敷高を下回る継続時間についても評価する。

【補機冷却海水系取水設備概要】



■非常用海水ポンプの運転可能継続時間

(A)有効貯水量: 約5,000(m³)

取水口敷高(T.P.-4.0m)から非常用海水ポンプの取水可能水位(T.P.-7.5m)までの容量

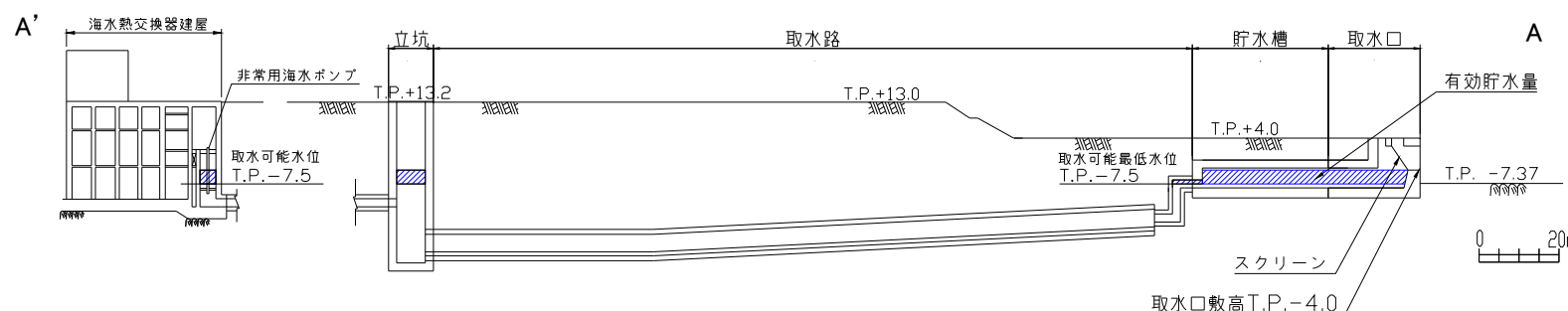
(B)非常用海水ポンプの運転可能継続時間: 約35(分)

(A)/非常用海水ポンプの取水量
= 5,000(m³)/8,340(m³/hr) × 60 = 約35分

非常用海水ポンプの取水量

	運転台数※	流量 (m ³ /hr)	取水量 (m ³ /hr)
原子炉補機冷却 海水ポンプ	2台 × 2系統	8,000	8,340
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1台 × 1系統	340	

※: 非常用海水ポンプの最大運転台数を考慮



: 津波水位が取水口敷高を下回る場合に, 非常用海水ポンプの取水に必要な海水が設備内に確保される範囲(約5,000m³)

断面図(A-A' 断面)

3. 津波波源モデルの設定方法

- 3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル
- 3. 2 青森県東方沖及び岩手県沖北部の地震
- 3. 3 津波地震
- 3. 4 海洋プレート内の正断層型地震

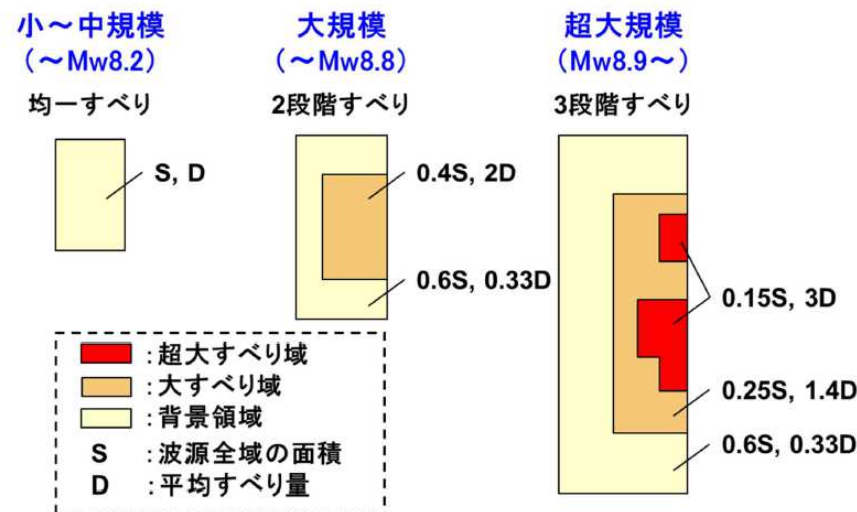
3. 津波波源モデルの設定方法

3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

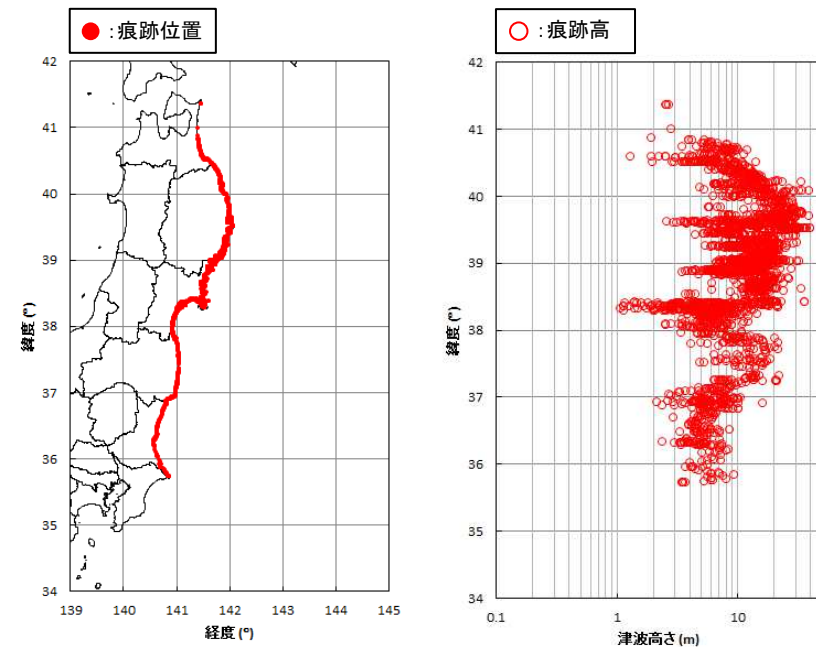
■大すべり域・超大すべり域の設定(1/2)

- 広域の津波特性(痕跡高)を考慮するため、内閣府(2012)で示されている大すべり域・超大すべり域の面積よりも大きい面積を示している杉野ほか(2014)を参考として、特性化モデルを設定した。
 - 大すべり域: 津波断層の平均すべり量の1.4倍, 全体面積の40%程度(超大すべり域を含む)
 - 超大すべり域: 津波断層の平均すべり量の3倍, 全体面積の15%程度
- なお、福島県沿岸には10m以上の痕跡高が多数見られることを踏まえ、設定する特性化モデルの大すべり域・超大すべり域の面積は、杉野ほか(2014)に示されている面積比率よりも大きく設定※1した。

※1: 大すべり域: 43.5% (超大すべり域を含む), 超大すべり域: 16.0%



杉野ほか(2014)によるMw8.9以上の規模の地震の
大すべり域・超大すべり域の設定方法
(杉野ほか(2014))



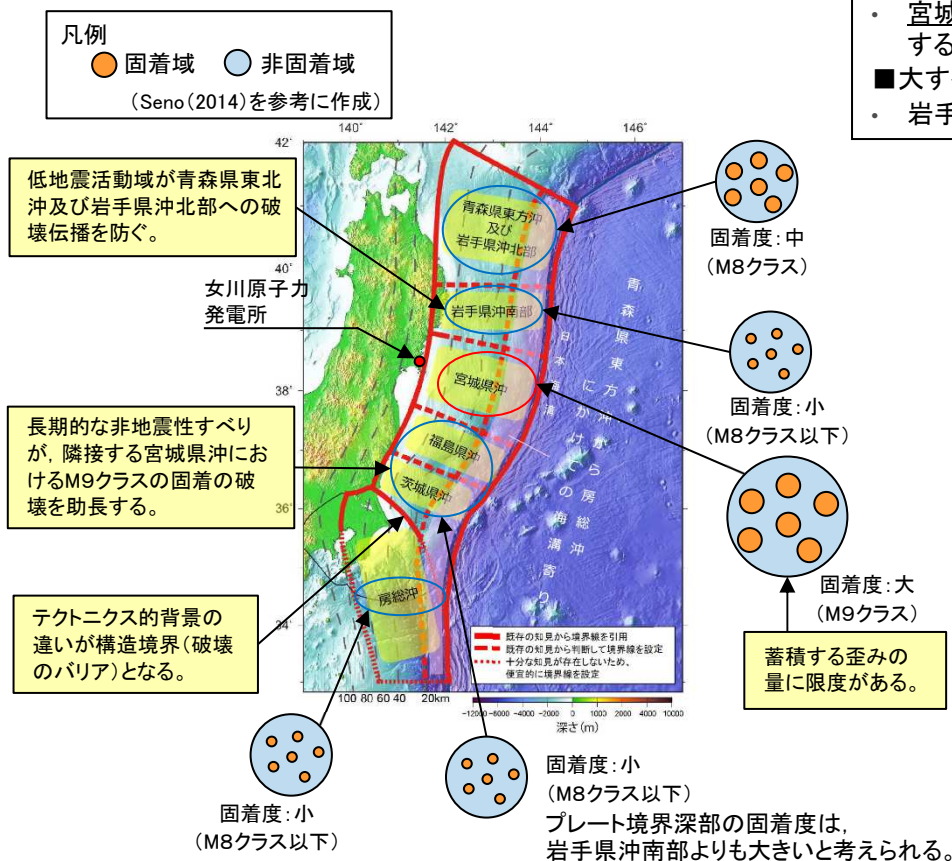
青森県北部～茨城県南部における3.11地震に伴う津波の痕跡高※2
(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012))

※2: 海岸線からの距離1000m以内, 信頼度Aのデータ(総数: 2,686)

3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

■大すべり域・超大すべり域の設定(2/2)

- 3.11地震から得られた知見, 世界のプレート境界面で発生しているM9クラスの巨大地震に係る最新の科学的・技術的知見に基づく, 各領域の固着等に関する分析結果を踏まえて設定した。



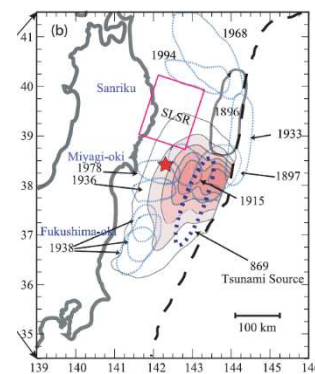
各領域の固着等に関する分析結果
 (地震調査研究推進本部 (2019)に一部加筆)

■超大すべり域の設定

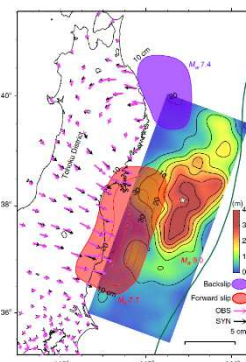
- 岩手県沖: 低地震活動域を考慮して, プレート間地震発生領域の浅部に設定。
- 宮城県沖: 3.11地震時のすべり分布形状, 同領域の固着度並びに固着の破壊を助長する長期的な非地震性すべりの発生領域を考慮して, 福島県沖を含む範囲に設定。

■大すべり域の設定

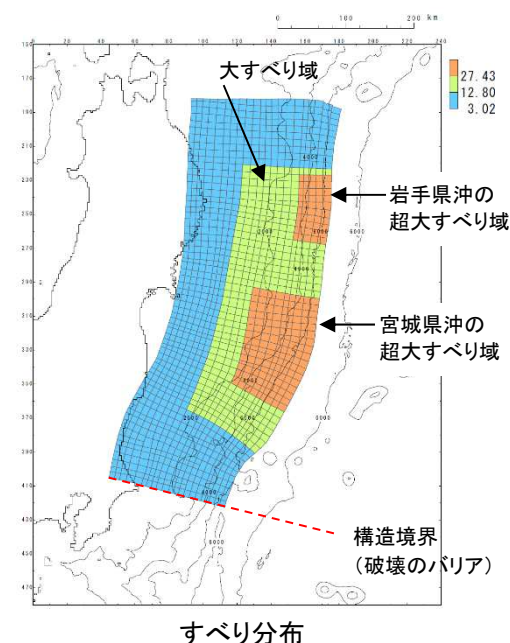
- 岩手県沖・宮城県沖の超大すべり域を取り囲むように設定。



低地震活動域 (SLSR) の位置
 (Ye et al. (2012))



長期的なスロースリップの発生領域
 (Yokota and Koketsu (2015))



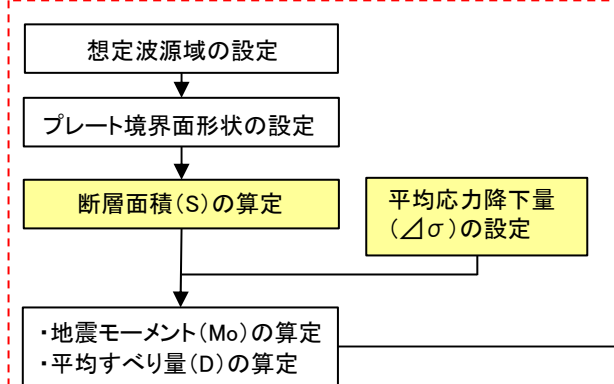
3. 津波波源モデルの設定方法

3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

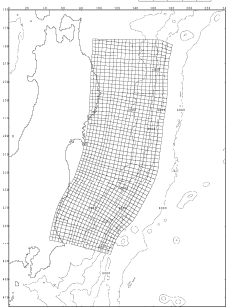
: 与条件

■設定フロー

1. 巨視的波源特性の設定



➢ スケーリング則の適用
(円形破壊面を仮定した関係式)



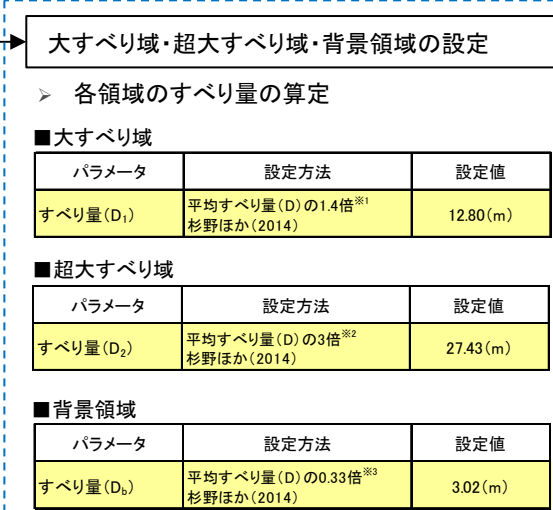
プレート境界面

・ 約10km四方の小断層(総数:1317)でプレート境界面を近似。

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	青森県東方沖～茨城県沖	129,034(km ²)
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸～深さ60km
平均応力降下量($\Delta\sigma$)	杉野ほか(2014)	3.1(MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2016)	5.0×10 ¹⁰ (N/m ²)
地震モーメント(M_0)	16/(7 π ^{3/2})・ $\Delta\sigma$ ・S ^{3/2}	5.90×10 ²² (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7 π ^{3/2})・ $\Delta\sigma$ ・S ^{1/2} / μ	9.14(m)

2. 微視的波源特性の設定

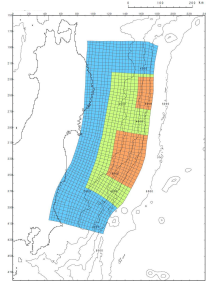
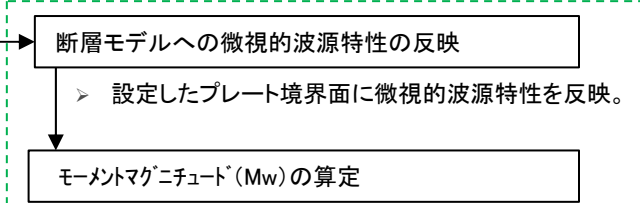


※1:全体面積の40%(超大すべり域を含む)に相当するすべり量

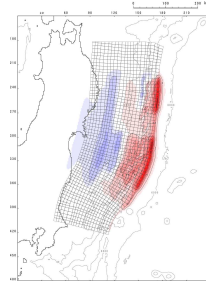
※2:全体面積の15%に相当するすべり量

※3:全体面積の60%に相当するすべり量

3. 基準断層モデルの設定



すべり量分布



地殻変動量分布

モーメントマグニチュード(M_w)	9.13	背景領域	すべり量	3.02(m)
地震発生深さ	海溝軸～深さ60km		断層面積(面積比率)	72,841(km ²) (56.5%)
断層面積(S)	129,034(km ²)		地震モーメントM _{0b}	1.10×10 ²² (Nm)
地震モーメントM ₀ (=M _{0b} +M _{0l} +M ₀₂)	6.21×10 ²² (Nm)	大すべり域	すべり量	12.80(m)
平均応力降下量($\Delta\sigma$) (=7/16・M ₀ ・(S/ π) ^{-3/2})	3.26(MPa)		断層面積 [※] (面積比率)	35,497(km ²) (27.5%)
剛性率(μ)	5.0×10 ¹⁰ (N/m ²)		地震モーメントM _{0l}	2.27×10 ²² (Nm)
平均すべり量(D) (=16/(7 π ^{3/2})・ $\Delta\sigma$ ・S ^{1/2} / μ)	9.62(m)	超大すべり域	すべり量	27.43(m)
すべり角 λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定		断層面積(面積比率)	20,696(km ²) (16.0%)
ライズタイム τ	60(s)		地震モーメントM ₀₂	2.84×10 ²² (Nm)

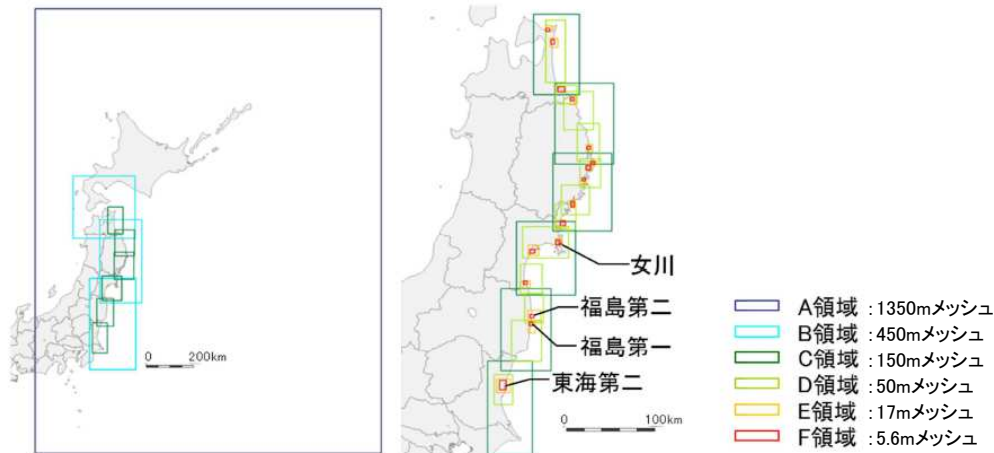
※:超大すべり域を除いた面積比率

3. 津波波源モデルの設定方法

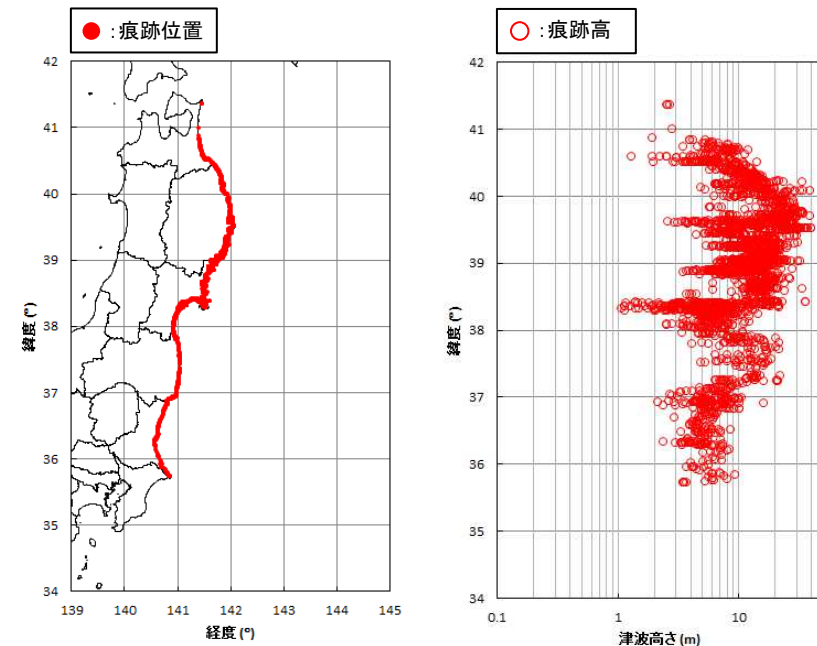
3.1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

■3.11地震の痕跡高の再現性:基本方針

- ・ 杉野ほか(2014)を参考に, 3.11地震の津波波源に直接面した沿岸の青森県北部～茨城県南部の痕跡高の再現性を確認し, 広域の津波の特性を適切に考慮しているかを確認する。



杉野ほか(2014)の計算領域
(杉野ほか(2014)に一部加筆)



青森県北部～茨城県南部における3.11地震に伴う津波の痕跡高※
(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012))

※:原子力発電所の立地条件, 津波特性を把握するために十分な痕跡数を確保する観点から, 海岸線沿いから1000m以内, 信頼度Aのデータ(痕跡数:2,686地点)を用いる。

3. 津波波源モデルの設定方法

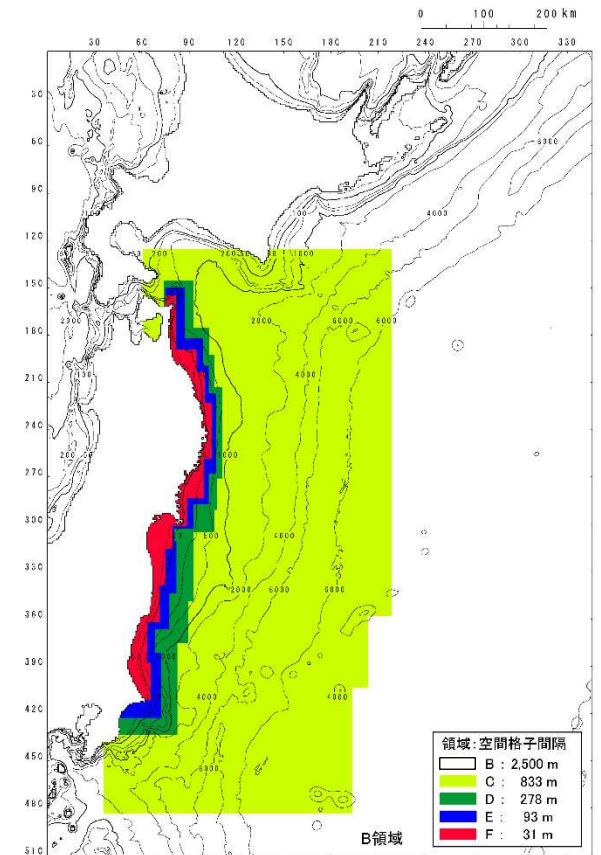
3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

■3.11地震の痕跡高の再現性: 解析条件

- ・ 再現性を確認する青森県北部～茨城県南部の最小空間格子間隔を31mに設定した。

主な計算条件

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域
空間格子間隔 Δs	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)
時間格子間隔 Δt	0.1秒				
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論)			
沖側境界条件	自由透過	外側の大格子領域と水位・流量を接続			
陸側境界条件	完全反射	完全反射 (海底露出を考慮)		小谷ほか(1998)の遡上境界条件	
初期海面変動	波源モデルを用いてMansinha and Smylie(1971)の方法により計算される鉛直変位を海面上に与える				
海底摩擦	考慮しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (土木学会(2016)より)			
水平渦動粘性係数	考慮しない				
潮位条件	T.P.-0.40m(地震発生時の潮位)				
計算再現時間	地震発生後4時間				



計算領域とその水深及び格子分割

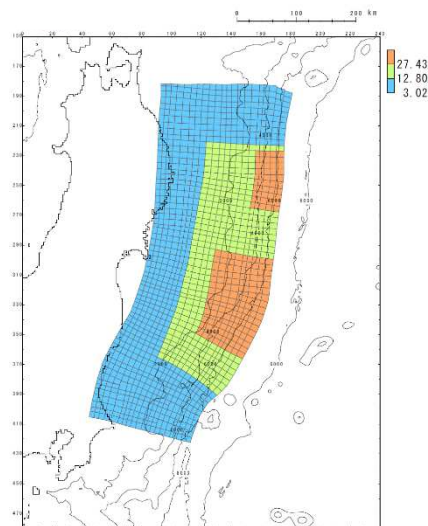
3. 津波波源モデルの設定方法

3. 1 3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル

■3.11地震の痕跡高の再現性: 確認結果

- ・ 設定した特性化モデルは、土木学会(2016)の再現性の目安を満足するとともに、津波高が大きい岩手県沿岸～福島県沿岸の痕跡高を良好に再現しており、広域の津波特性を適切に考慮していることを確認した。
- ・ さらに、女川地点を含む宮城県周辺(北緯39°～北緯38°)については、痕跡高に対して計算値の方が大きく($K=0.86$, $\kappa=1.36$, $n=836$)、安全側のモデルになっていることを確認した。

【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

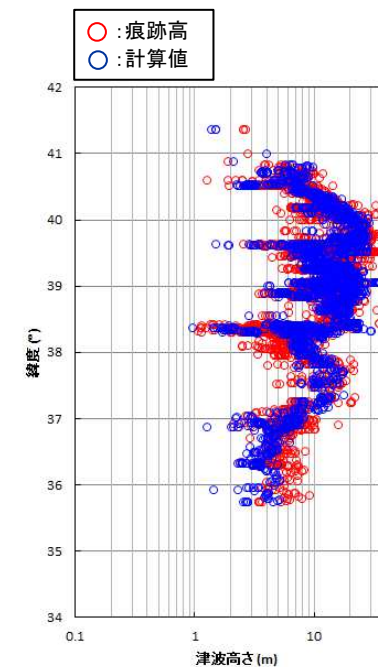
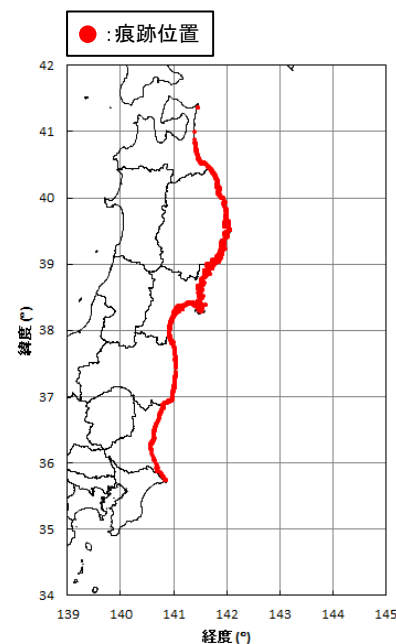


すべり量分布

【痕跡高の再現性の確認結果】

基準断層モデル	K	κ	n
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	0.98	1.39	2,686

※: 再現性の目安 $0.95 < K < 1.05$, $\kappa < 1.45$ (土木学会(2016))



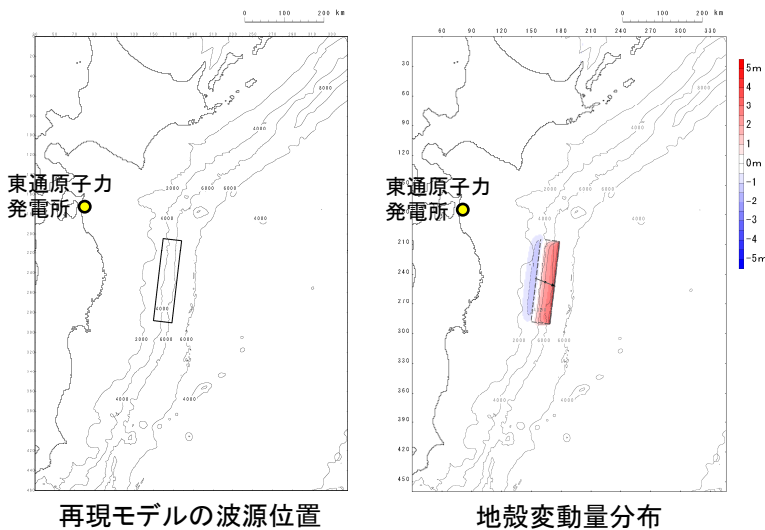
痕跡高と計算値の比較

3. 津波波源モデルの設定方法

3. 3 津波地震

■再現モデルの設定

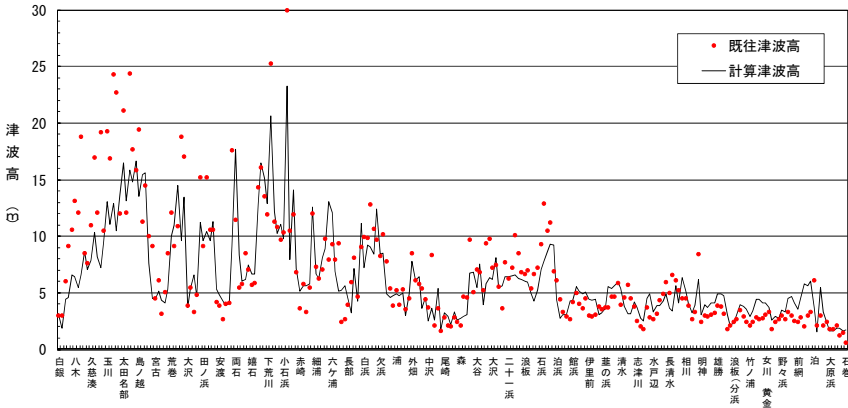
- 土木学会(2016)を参考として、1896年明治三陸地震津波の再現モデルを設定した。



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

■再現性の確認結果

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



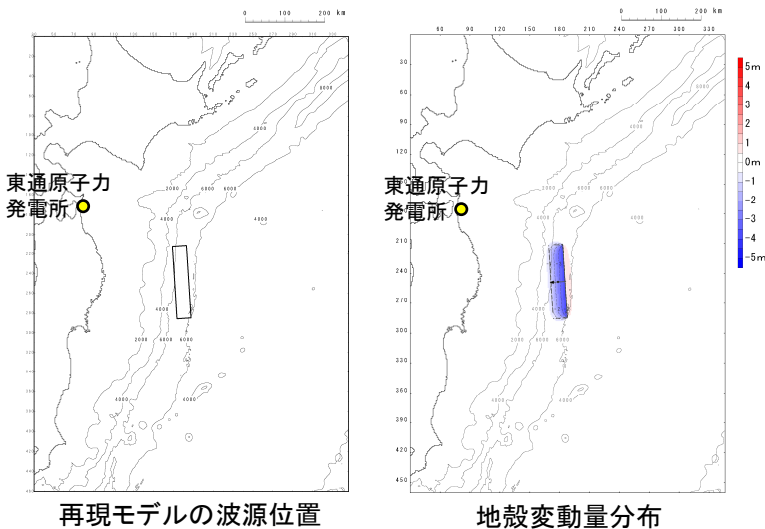
既往津波	K	κ	n	既往津波高
1896年明治三陸地震津波	1.00	1.44	246	伊木(1897), 松尾(1933)

3. 津波波源モデルの設定方法

3. 4 海洋プレート内の正断層型地震

■再現モデルの設定

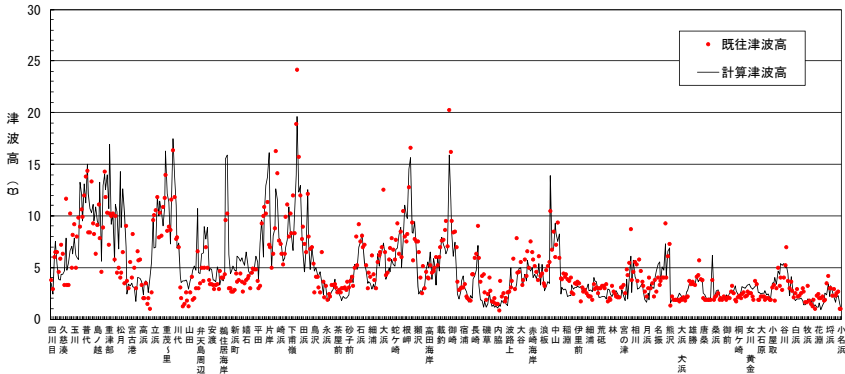
- 土木学会(2016)を参考として、1933年昭和三陸地震津波の再現モデルを設定した。



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

■再現性の確認結果

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



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

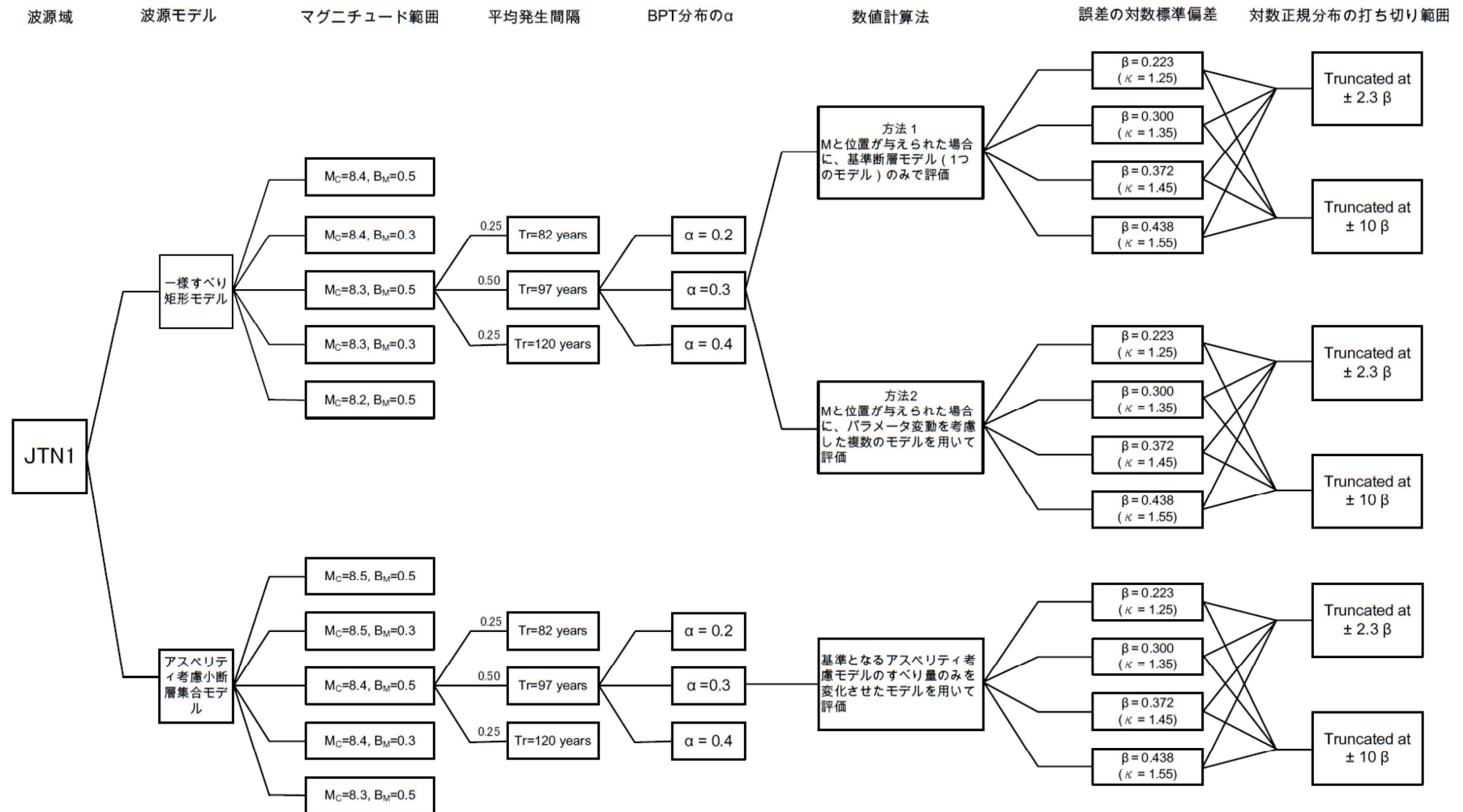
4. 土木学会(2011)のロジックツリー

- 4. 1 青森県東方沖及び岩手県沖北部の地震
- 4. 2 津波地震
- 4. 3 海洋プレート内の正断層型地震

4. 土木学会(2011)のロジックツリー

4.1 青森県東方沖及び岩手県沖北部の地震

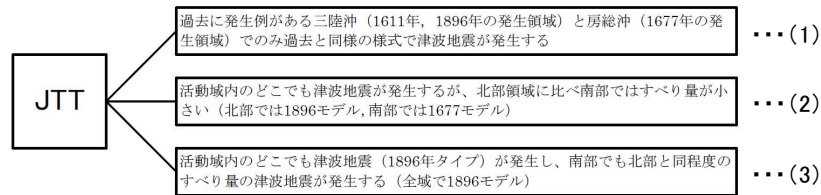
■全体ロジックツリー



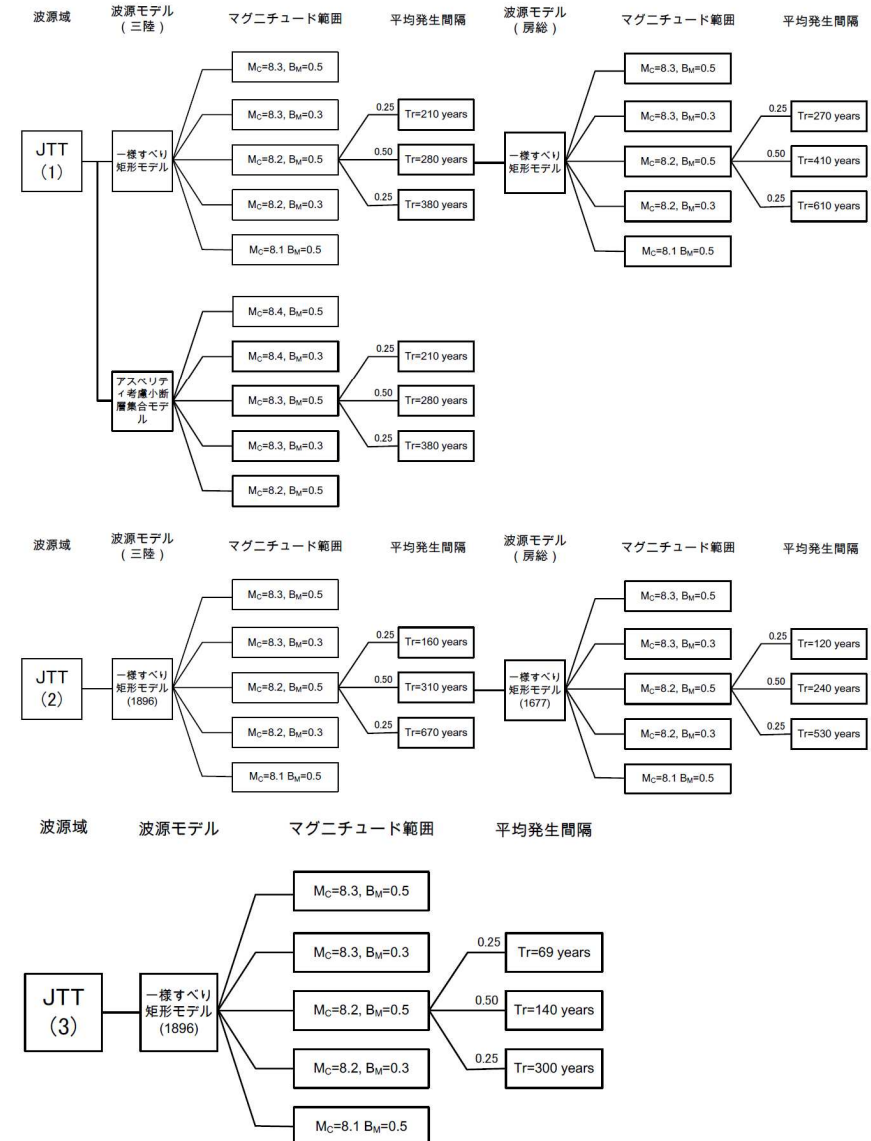
4. 土木学会(2011)のロジックツリー

4. 2 津波地震

■発生領域に関する分岐



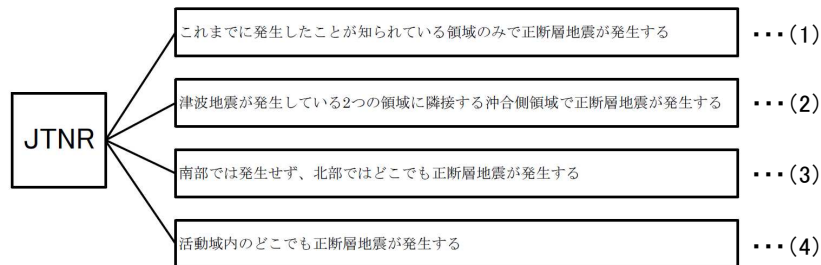
■津波発生モデルのロジックツリー



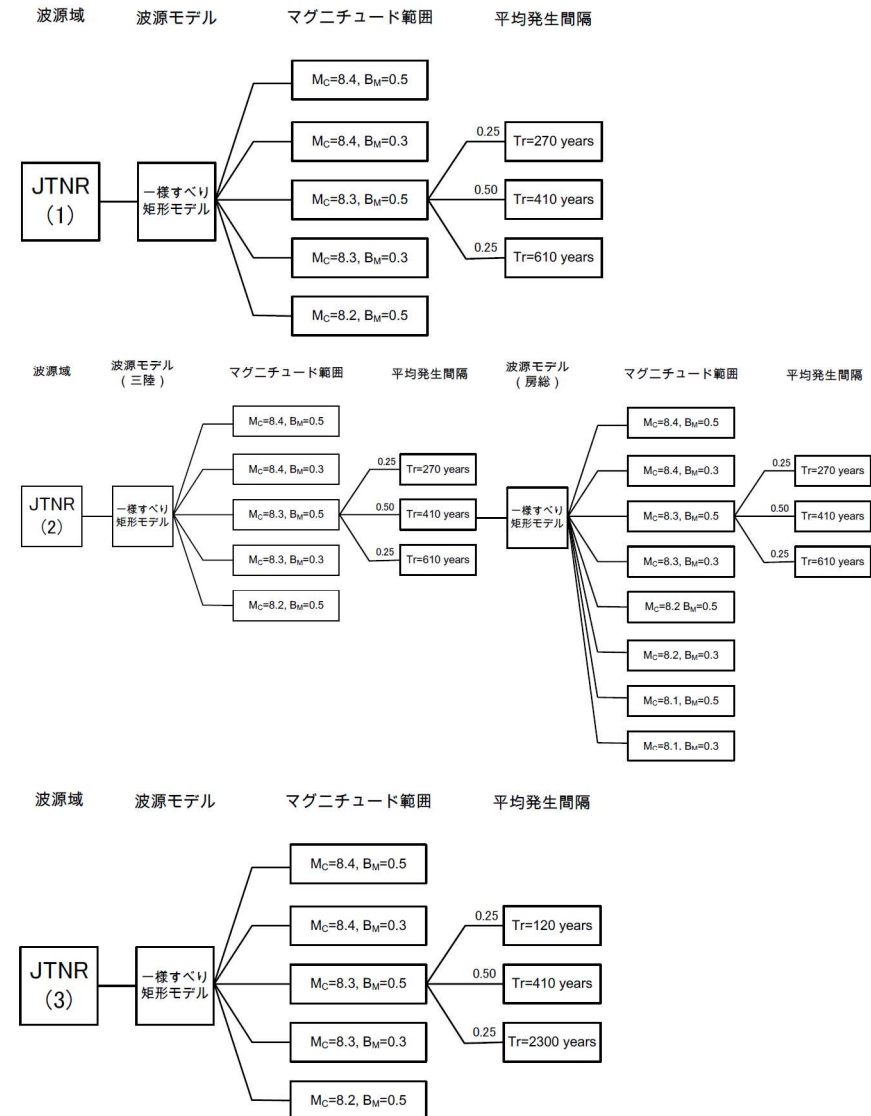
4. 土木学会(2011)のロジックツリー

4.3 海洋プレート内地震の正断層型地震

■発生領域に関する分岐



■津波発生モデルのロジックツリー※



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

5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模

5. 1 地震規模に関連する情報

5. 2 専門家意見聴取結果

5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模

5. 1 地震規模に関連する情報

■国内外における海溝外縁隆起帯で発生した海洋プレート内地震の地震規模

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

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

Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	M_W	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity Nm^{-2}	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	–	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	7.0×10^{10}	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	7.0×10^{10}	Abe (1972)
d	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	40	30	50	6	5.0×10^{10}	Beck and Christensen (1991)
e	19/08/1977	Sunda	8.2	200	70	40	45	3	6.4×10^{10}	Gusman et al. (2009)
f	19/08/1977	Sunda	8.2	200	25	29	45	9	4.0×10^{10}	Spence (1986), Lynnes and Lay (1988)
g	04/05/1990	Mariana	7.3	40	25	29	48	3.4	4.0×10^{10}	Satake et al. (1992)
h	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	40	48	1.5	4.0×10^{10}	Satake et al. (1992)
i	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	–	48	–	–	Yoshida et al. (1992)
j	04/09/2001	Juan Fernandez Ridge	6.7	70	26	30	51	1	4.0×10^{10}	Fromm et al. (2006)
k	13/01/2007	Kuril	7.9	120	40	35	45	1.9	5.0×10^{10}	Fujii and Satake (2008)
l	13/01/2007	Kuril	8.0	130	30	–	37	6.4	4.0×10^{10}	Tanioka et al. (2008)

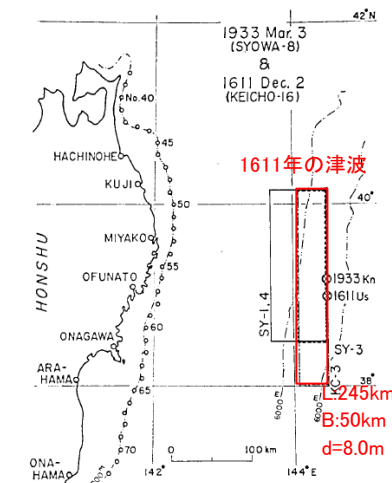
5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模

39

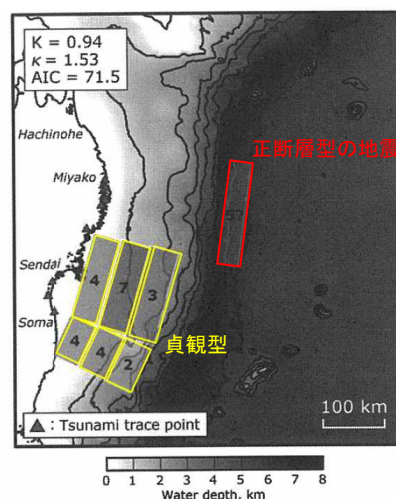
5. 1 地震規模に関連する情報

■1611年の津波の波源モデルに係る検討: 今井ほか(2012)

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



相田(1977)モデル(KC-3)



今井ほか(2012)モデル(KT-02)

【今井ほか(2012)】

■津波痕跡

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

■震源域

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

■史料に残された地震動と津波

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

■相田(1977)モデルの矛盾点

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

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

<今井ほか(2012)モデル(KT-02)>

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

5.1 地震規模に関する情報

■ハザード評価事例

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

【杉野ほか(2015)に一部加筆】

表5 日本海溝沿いの地震活動の長期評価結果と津波波源モデルの一覧

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

*1 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取

*2 長期評価報告書¹⁴⁾記載

*3 1897宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照

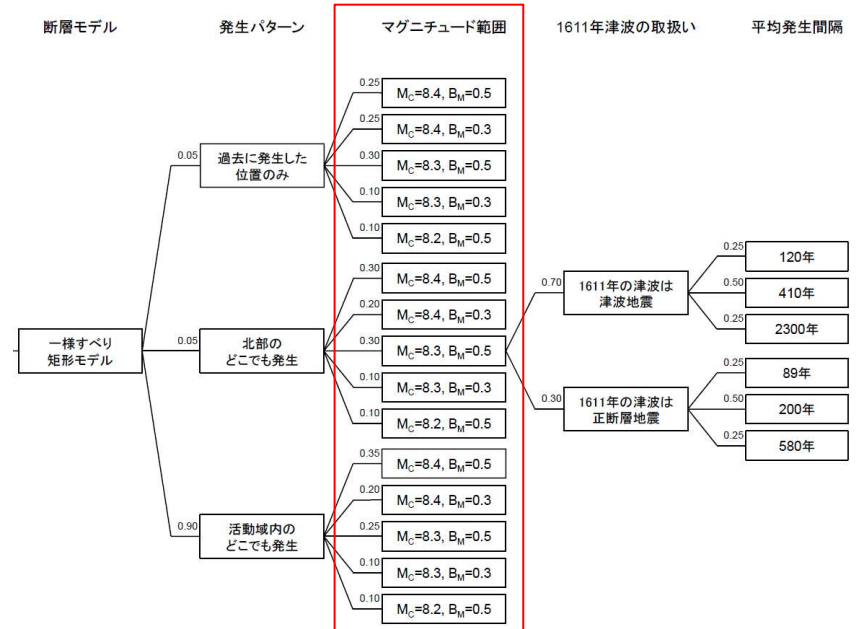
*4 1978宮城県沖地震の瀬野他(1979)モデル²¹⁾の長さ幅比を参照

*5 1793宮城県沖地震の相田(1977)モデル⁹⁾の長さ幅比を参照

*6 1938 塩屋崎沖地震の Abe (1977) モデル²²⁾の長さ幅比を参照

*7 長期評価報告書¹⁴⁾の図読取値の長さ幅比を参照

【土木学会(2016)に一部加筆】



【藤原ほか(2015)に一部加筆】

4.2.1.6 プレート内地震（正断層型）

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

5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模

5.2 専門家意見聴取結果

- ・ 前述した地震規模に関する知見の収集結果を踏まえ(「5.1」), 1611年の津波が海洋プレート内地震の場合のMwの範囲を見直すことについて, 専門家へ意見聴取を行い, 必要な関連情報等を収集した。

■ 関連情報: 海洋プレート内地震のロジックツリーの見直しについて

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

専門家のご意見
・ 1611年の津波は未だ研究途上にあるが, 最新知見を反映した今井ほか(2012)モデルは, 現時点で最も信頼できるモデル(妥当なモデル)と考えられる。 ・ 今井ほか(2012)モデルのアウトサイズ領域のすべりは1933年昭和三陸地震津波と同程度であることを踏まえると, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。
・ 現状のロジックツリーを維持し, 各分岐の重みを変更する方法も考えられるが, 上限Mwを8.8から8.6に変更する今回の方法は, 土木学会(2016)等とも整合しており, 異論はない。 ・ なお, ロジックツリーは, 5年, 10年経つと変わる可能性があるので, 最新知見の収集に努めること。
・ 1611年の津波は未だ議論があるところであり, 津波痕跡など新しい情報は増えてきているものの, 相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)の否定までには至っていないと考える。 ・ 以上から, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更するという「Mwの範囲」の分岐を見直す方法ではなく, 「波源モデル」の分岐を新たに追加する方法(例えば, 相田(1977)モデル, 今井ほか(2012)モデルを分岐で処理するなど)が考えられる。
・ 1611年の津波について, 相田(1977)が基にした痕跡データから情報が増えており, 今後, 波源そのものを再検討する動きがあると聞いている。したがって, 相田(1977)モデルをベースとした土木学会(2002)モデル(Mw8.6)に固執する必要は無いと考える。 ・ 1933年昭和三陸地震津波(Mw8.4)は, 国内外で最大規模のアウトサイズ地震であるとともに, 1611年の津波がアウトサイズ地震であった場合, 三陸沖の同じ領域において, M8クラスのプレート間地震と同程度のすべりが約300年間の間に生じたことになり, 地震学的に考えにくいのではないかと考える。 ・ 以上から, “1611年の津波が正断層型地震、の中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更する(上限Mwを8.8から8.6に変更する)ことは妥当である。

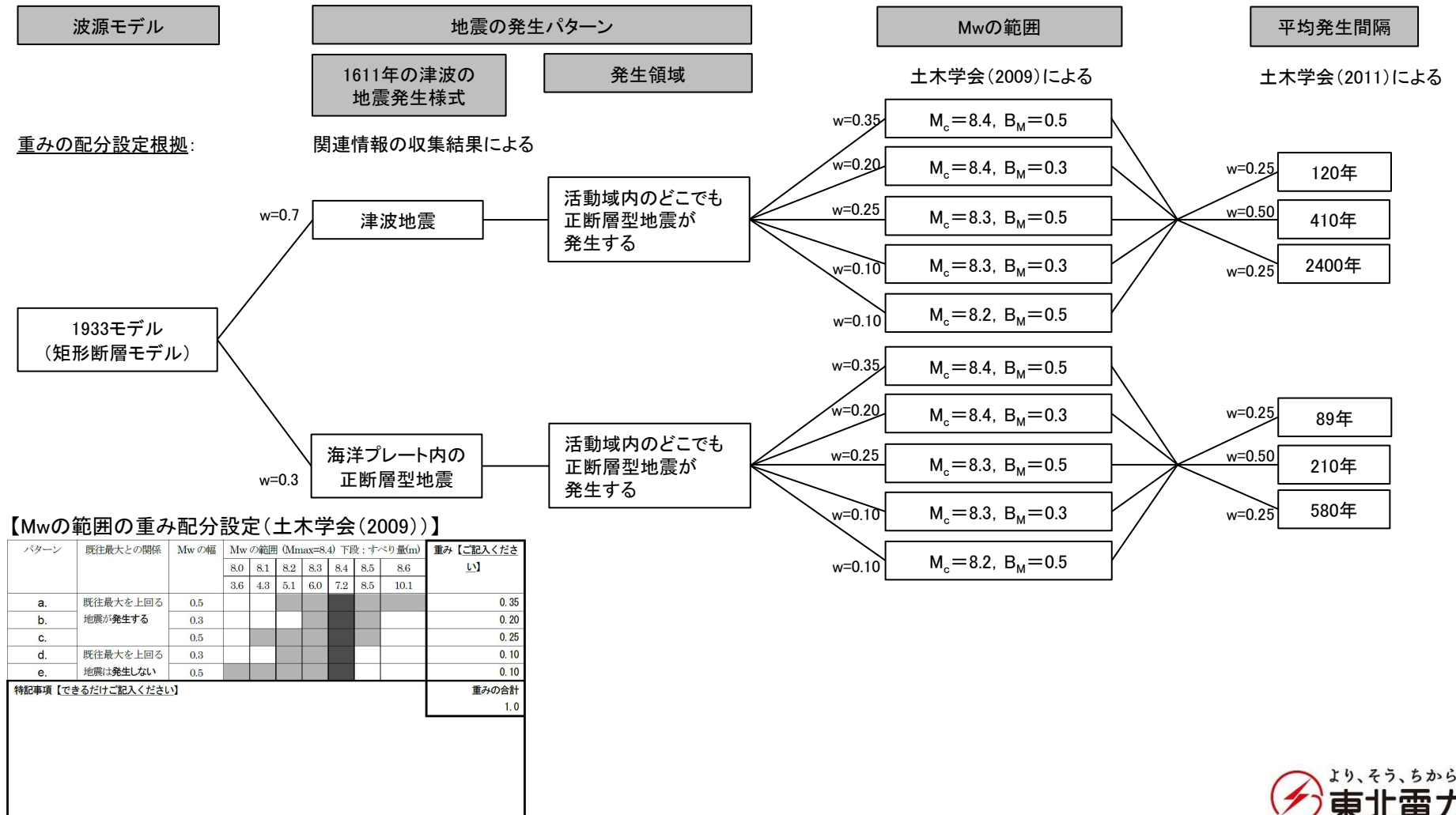
上記, 意見聴取結果を踏まえ, 中央マグニチュード(Mc)を8.6から8.4に変更することについてレビューを行い(詳細は次頁に記載), その妥当性について評価を得た。

5. 海洋プレート内の正断層型地震の地震規模

5.2 専門家意見聴取結果:レビュー内容

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

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



6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6. 1 土木学会(2016)のロジックツリー

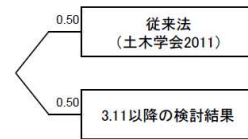
6. 2 専門家意見聴取結果

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

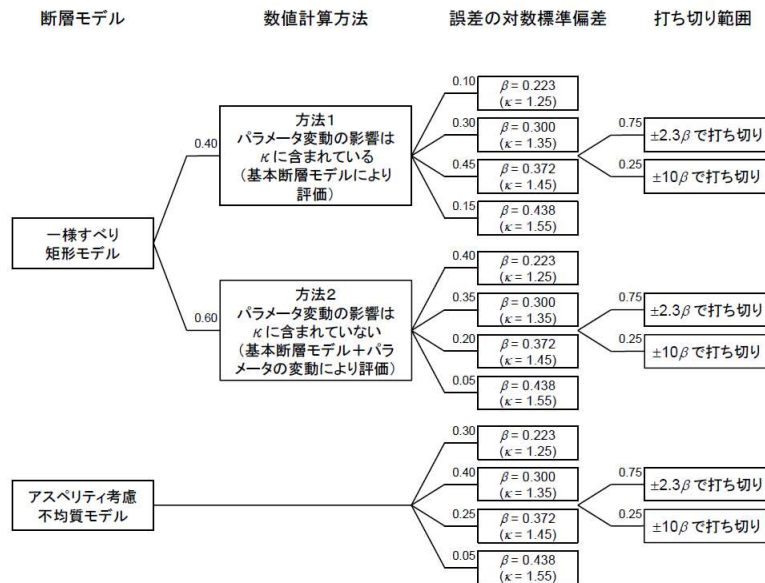
6.1 土木学会(2016)のロジックツリー

- 土木学会(2016)では、土木学会(2011)の津波高さ推定に関するロジックツリーを従来法と位置付け、3.11地震に伴う津波の再現解析等から津波高さ推定値のばらつきに関する知見をロジックツリーに反映している。

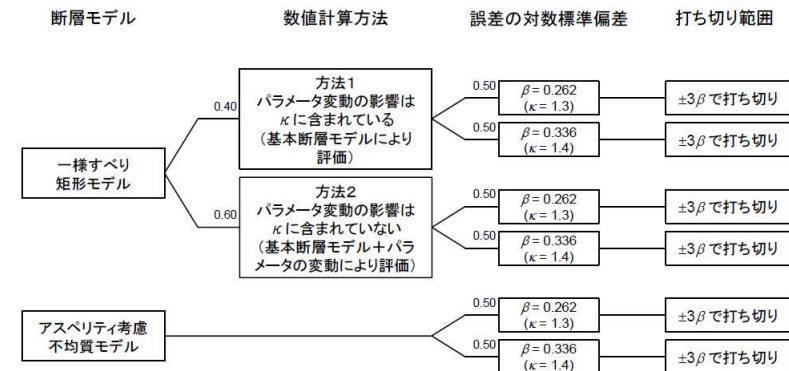
ばらつきと打ち切りの考え方



(a) ばらつきと打ち切りの考え方に関する分岐



(b) 従来法 (土木学会, 2011)



(c) 東北地方太平洋沖地震以降の検討結果

津波高さ推定に関するロジックツリー
(土木学会(2016))

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6. 2 専門家意見聴取結果

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

【収集した関連情報等】

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

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

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

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

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

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

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

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6. 2 専門家意見聴取結果: 関連情報1

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

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

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

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6.2 専門家意見聴取結果: 関連情報2

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

専門家のご意見

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

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6.2 専門家意見聴取結果: 関連情報3

■関連情報3: ロジックツリーの見直し及び重み配分設定方法の妥当性について

- ✓ JNES(2014)の内容の分析及びハザード評価の解析条件等との対比から、津波水位のばらつきはJNES(2014)の設定範囲 $\beta=0.20\sim0.30$ が妥当であり、土木学会(2011)の設定方法からJNES(2014)等の設定方法に見直すことについて(土木学会(2011)の設定方法を削除することについて)

専門家のご意見
- 誤差の対数標準偏差(β)については、JNES(2014)のみで良いと考えるが、対数正規分布の打ち切り範囲(σ)について、打ち切りなし($\pm 10\sigma$)の分岐を削除する明確な知見は無いのが現状。具体的には、土木学会(2011)の感度解析を例に考えると、中央値水位15m、$\kappa=1.35$のとき、$\pm 2.3\sigma$の曲線から算定される最大水位が30m、$\pm 10\sigma$の曲線から算定される最大水位が300mとなる。300mの津波水位は非現実的だが、30mを超える可能性は無いかと考えた場合、ゼロとは言えないので、分岐として考慮することが必要と考える。 - その場合の重みは、分岐として成立する可能性が残され则认为、土木学会(2011)の重みを0.1、JNES(2014)の重みを0.9。
- JNES(2014)の検討は3.11地震津波だけを対象としたものであり、分岐を変更するからには、歴史津波のうち比較的痕跡高の信頼性が高い1960年以降の津波も対象に検証を行う必要があると考える。ただし、JNES(2014)の知見反映は必要と考えられることから、JNES(2014)の分岐設定と土木学会(2011)の分岐設定をロジックツリーとして表現することが考えられる。 - その場合の重みについて、取り敢えずは“JNES(2014)の対案として土木学会(2011)”と考えることができるので、均等配分(0.5:0.5)。
JNES(2014)の分岐を採用する方向性に問題はないと考えるが、土木学会(2011)を完全に削除して良いかどうかは判断が難しい。したがって、土木学会(2011)を削除するという点については、慎重な対応が必要。
JNES(2014)は、土木学会(2011)の課題であった10^{-5}以下の低頻度における評価値の改善に繋がっていると考えられる。ハザード評価の解析条件等の比較に矛盾はないことから、JNES(2014)の設定方法を採用することに問題はない。

6. 津波高さ推定に関するロジックツリー

6.2 専門家意見聴取結果: 関連情報4

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

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

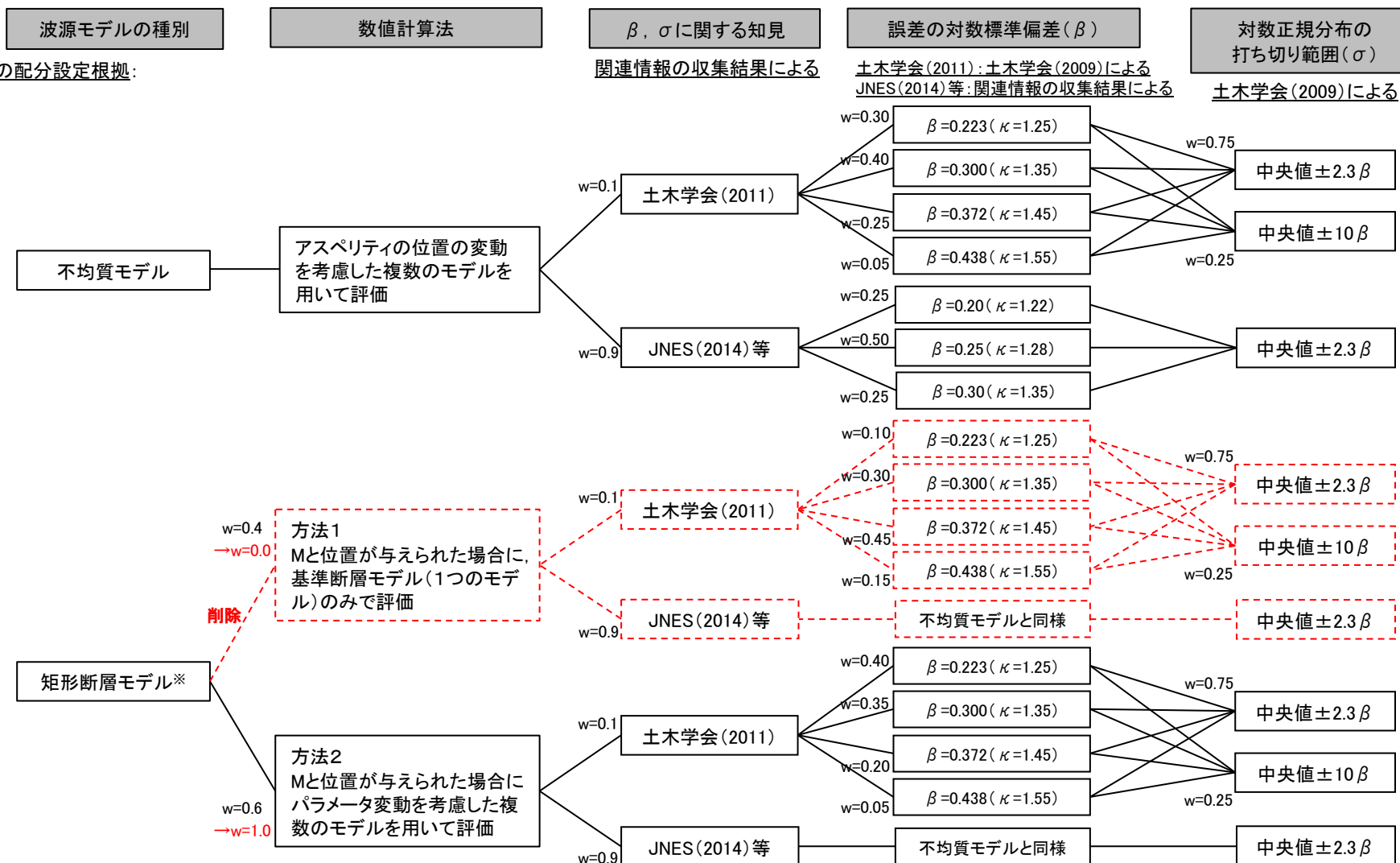
専門家のご意見
津波地震、正断層型地震は、1枚の矩形断層モデルと不均質モデルを比較し、波源特性のばらつき($\beta_{\text{波源}}$)が同程度であることを確認していることから、不均質モデルと同じ分岐、重みを適用することは妥当である。
- 従来のM8クラスの津波については、土木学会(2009)での検討事例も踏まえると、矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。また、3.11地震のような不均質性が見られる連動型地震については、矩形断層モデルを使用していない。 - 以上から、今回の検討内容を根拠に、矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
- 土木学会(2009)での検討事例も踏まえると、矩形断層モデルと不均質モデルでκの差は無いと考えられる。 - 上記要因について、不均質モデルはプレート境界面の形状を固定することが大きな制約となる。一方、矩形断層モデルは自由度を持って傾斜角を設定できること等から、モデルの違いによるκの差がそれほど見られないと考えている。 - 以上から、矩形断層モデルと不均質モデルに同じ分岐・重み配分を適用することは妥当である。
- 土木学会(2009)のアンケート結果にもあるように、矩形断層モデルは不確かさを考慮すれば、不均質モデルと同程度のκになると考える。 - 広域(広い範囲)のκと比較して、確率論で評価する特定地点(狭い範囲)のκは小さいことも踏まえれば、不確かさを考慮した矩形断層モデルであれば、不均質モデルと同等の分岐・重みを用いることが出来ると考える。 - 以上から、矩形断層モデルの数値計算法のうち不確かさを考慮しない「方法1」の分岐は削除する必要があるのではないかと。

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

6.2 専門家意見聴取結果:レビュー内容

■ 専門家意見聴取結果を踏まえて作成したロジックツリー

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



(参考)敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

1. 評価方針
2. 津波水位の評価位置
3. 年超過確率の参照

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

1. 評価方針

■評価方針

- 基準津波策定位置における津波ハザード曲線の算定と同様に、基準津波は、津波に対する安全性評価で防波堤の有無を検討することを考慮して策定していることから、各基準津波を決定する条件(防波堤有り or 防波堤無し)の津波ハザード曲線を算定し、年超過確率を参照する。

【水位上昇側】

基準津波		最高水位 (敷地前面)	年超過確率を参照する 津波ハザード曲線
基準津波[水位上昇側 (防波堤無し最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波	T.P.+12.1m	防波堤無し

【水位下降側】

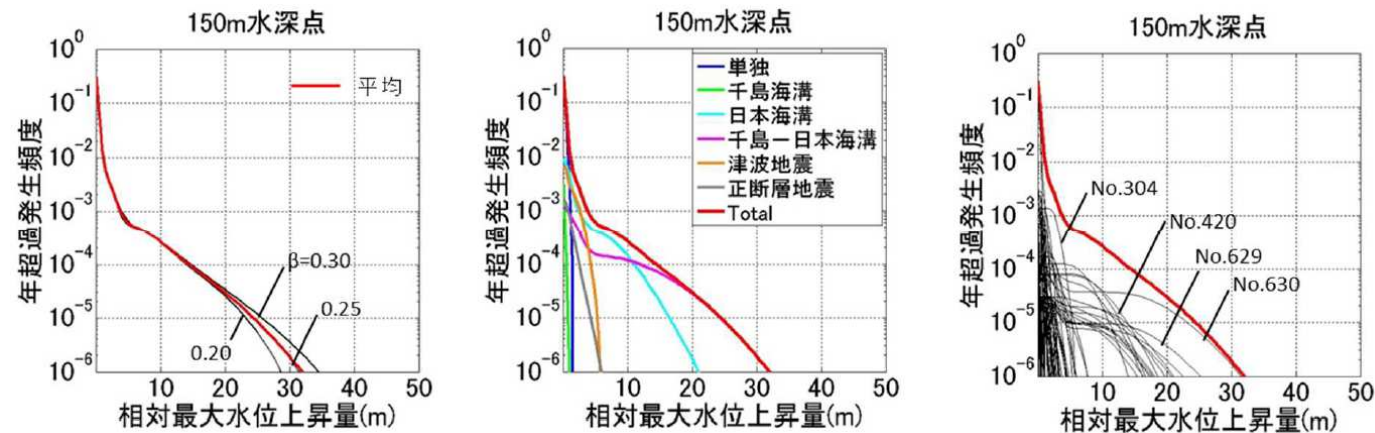
基準津波		最低水位 (補機冷却海水系 取水口前面)	年超過確率を参照する 津波ハザード曲線
基準津波[水位下降側1 (防波堤有り最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波	T.P.-6.2m	防波堤有り
基準津波[水位下降側2 (防波堤無し水位最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波	T.P.-7.5m	防波堤無し
基準津波[水位下降側3 (防波堤無し時間最大)]	十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波	T.P.-7.4m	防波堤無し

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

1. 評価方針

■津波ハザード曲線の算定

- 津波ハザード曲線の算定方法について、日本原子力学会(2017)は「対象サイトの地盤高への海底地殻変動の影響が無視できない場合があるので、対象サイトの変化を評価する。」としている。
- 海底地殻変動の影響を考慮した津波ハザード曲線の算定事例について、杉野ほか(2015)は、最大水位上昇量・下降量から敷地内の地殻変動量(隆起を正、沈降を負)を差し引いた相対最大水位上昇量・下降量を用いて、津波ハザード曲線を算定している。



海底地殻変動の影響を考慮した津波ハザード曲線(水位上昇側)の算定事例
(杉野ほか(2015))

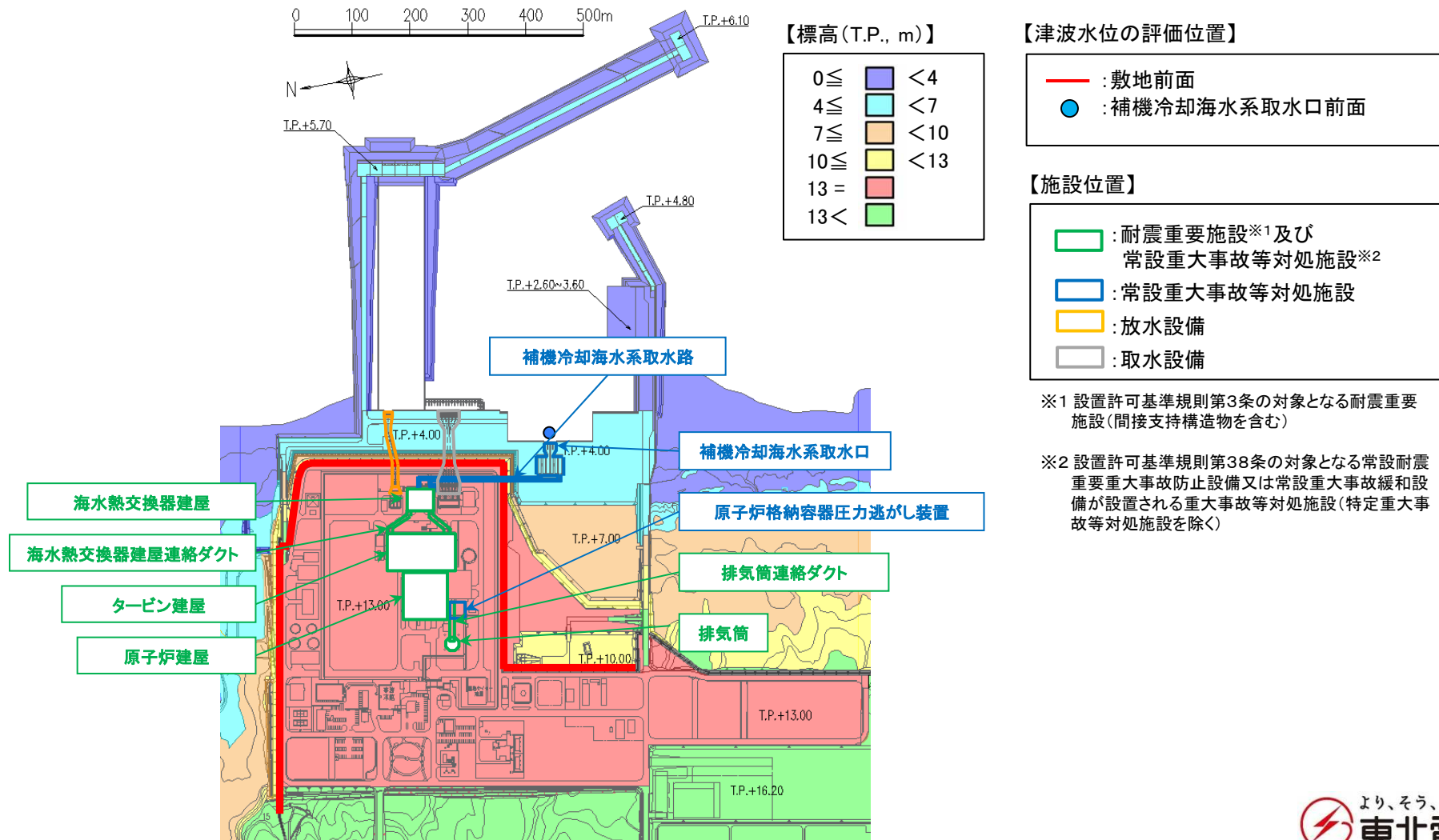


青森県東方沖及び岩手県沖北部の地震等のプレート間地震を検討対象としており、海底地殻変動の影響を受けることから、津波水位を用いた津波ハザード曲線に加え、杉野ほか(2015)を参考に、敷地内の地殻変動量の影響を考慮した相対津波水位を用いた津波ハザード曲線も算定する。

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

2. 津波水位の評価位置

- 津波水位の評価位置を下図に示す。
- 敷地前面について、津波水位が低く、敷地前面位置まで津波が遡上しない場合には、敷地前面周辺での最大水位を抽出する。

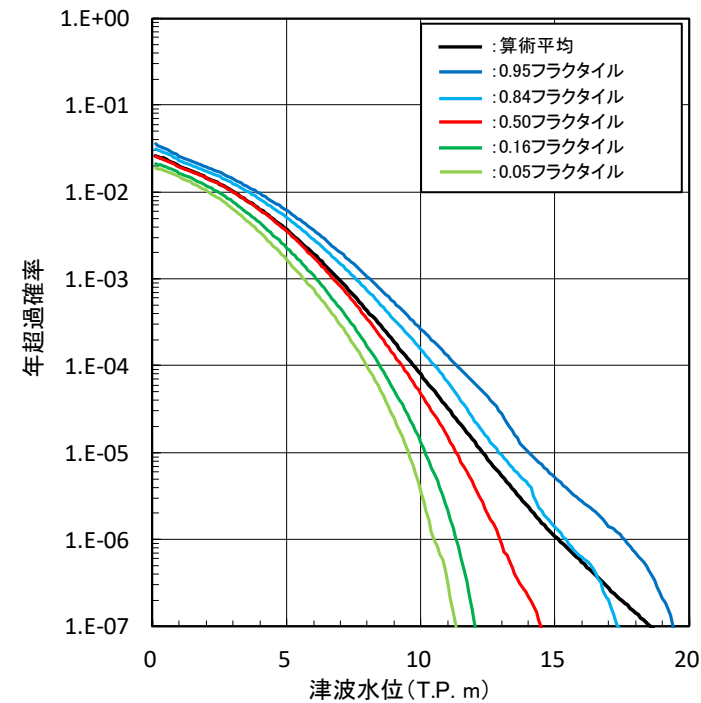
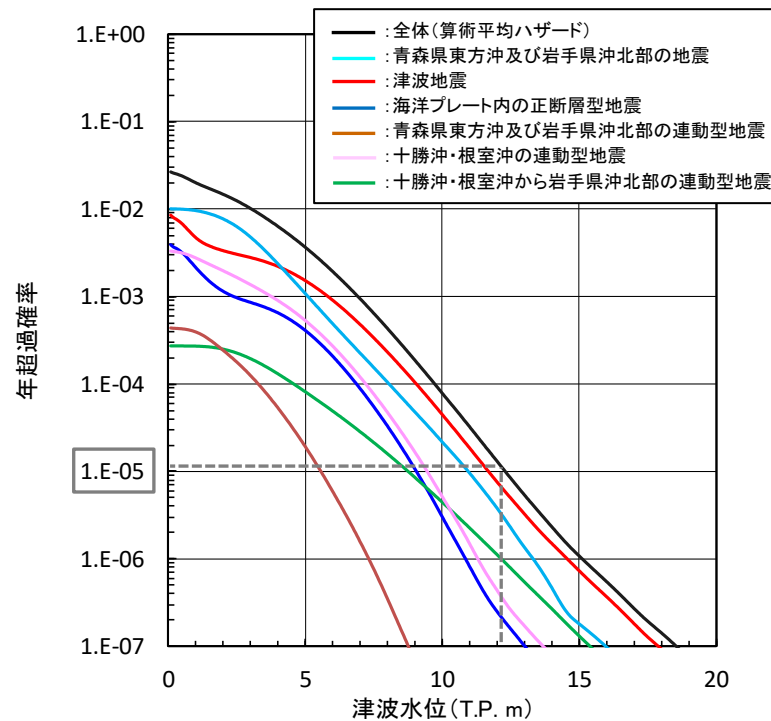


(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 基準津波[水位上昇側(防波堤無し最大)]

- ・ 防波堤無し条件の津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。
- ・ 基準津波[水位上昇側(防波堤無し最大)]の「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル①(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(内閣府(2012)考慮))]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波」の敷地前面における最高水位の年超過確率は、 10^{-5} 程度である。



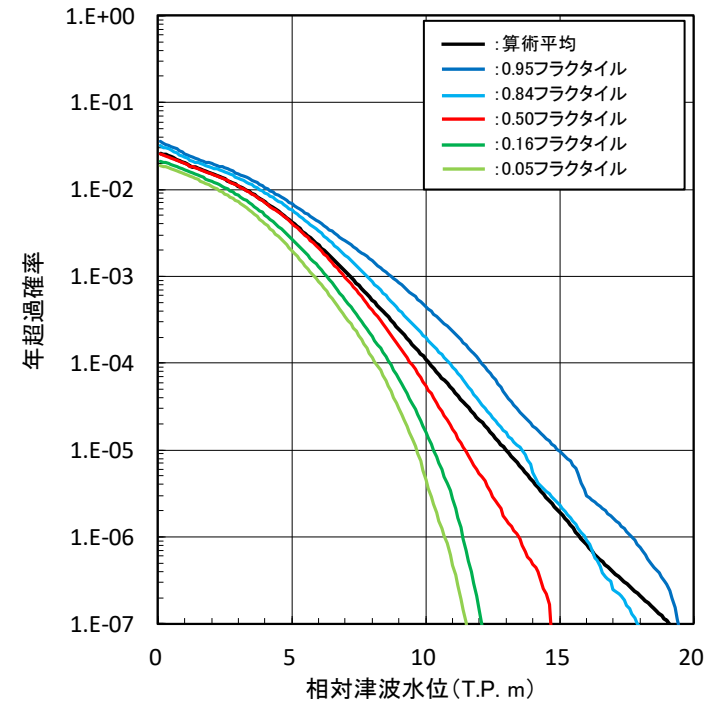
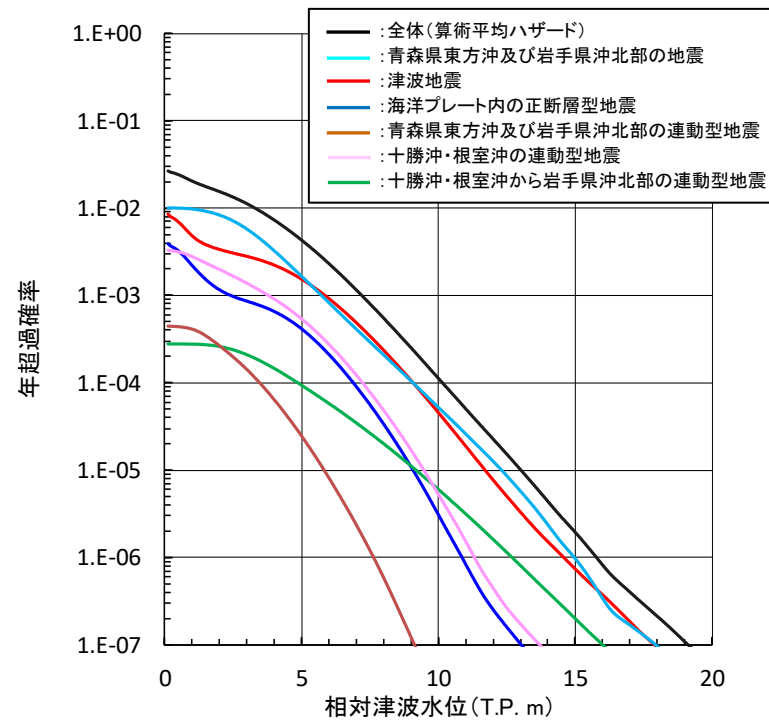
	防波堤	津波水位	年超過確率
基準津波 [水位上昇側 (防波堤無し最大)]	無し	T.P.+12.1m	10^{-5} 程度 (1.2×10^{-5})

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 水位上昇側(防波堤無し): 海底地殻変動の影響考慮

- 海底地殻変動量を考慮した防波堤無し条件による津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。

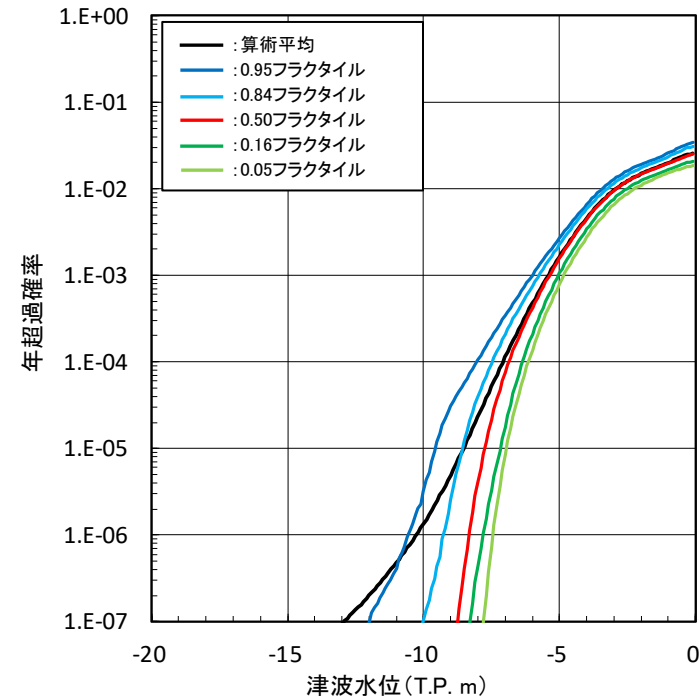
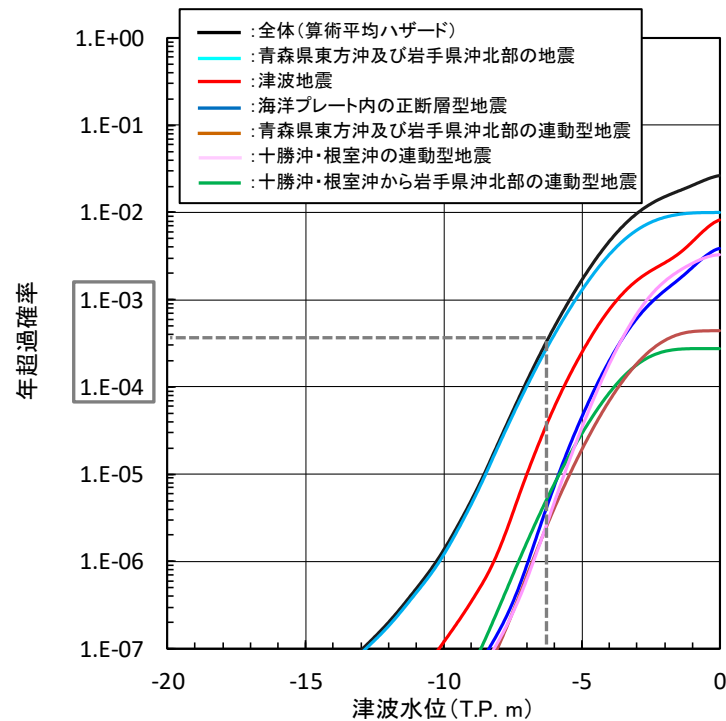


(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 基準津波[水位下降側1(防波堤有り最大)]

- ・ 防波堤有り条件の津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。
- ・ 基準津波[水位下降側1(防波堤有り最大)]の「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル③(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり分布の不確かさ考慮)]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波」の補機冷却海水系取水口前面における最低水位の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。



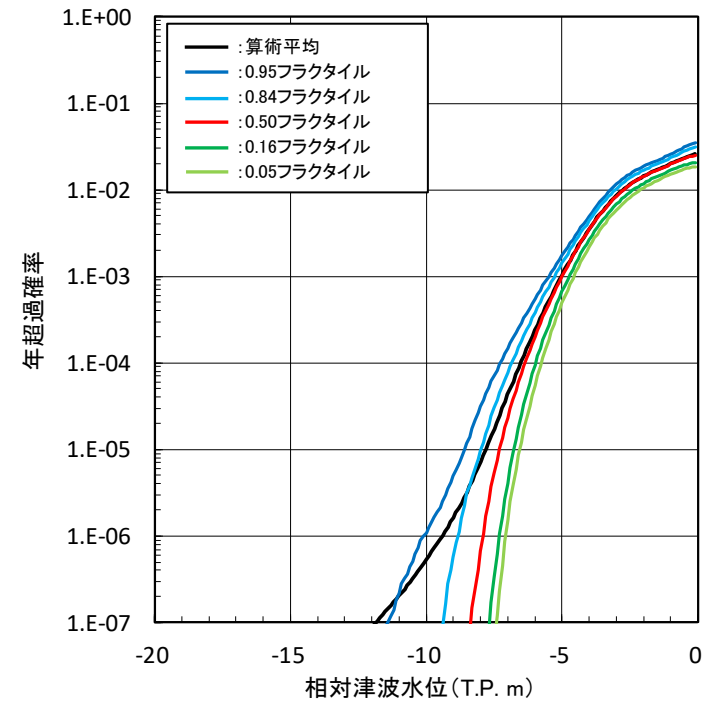
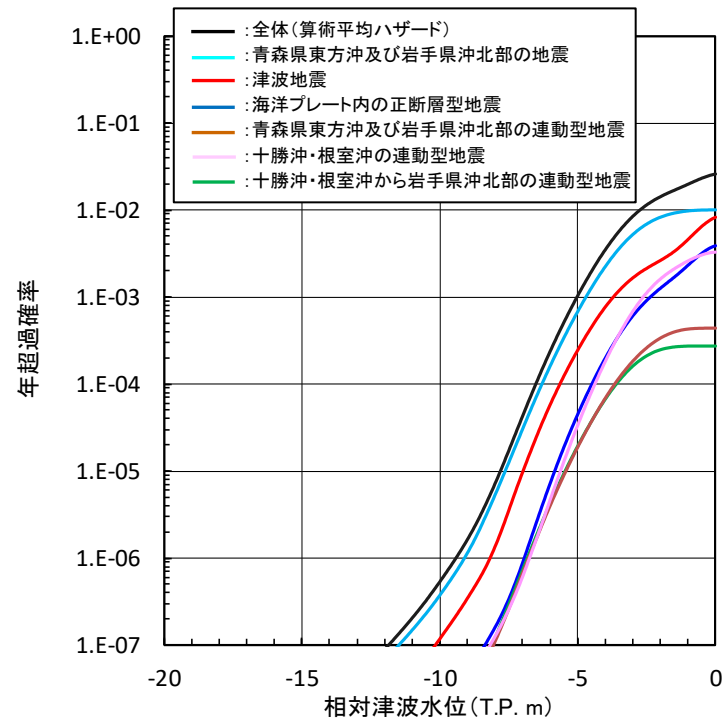
	防波堤	津波水位	年超過確率
基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)]	有り	T.P.-6.2m	$10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度 (3.6×10^{-4})

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■水位下降側(防波堤有り): 海底地殻変動の影響考慮

- 海底地殻変動量を考慮した防波堤有り条件による津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。

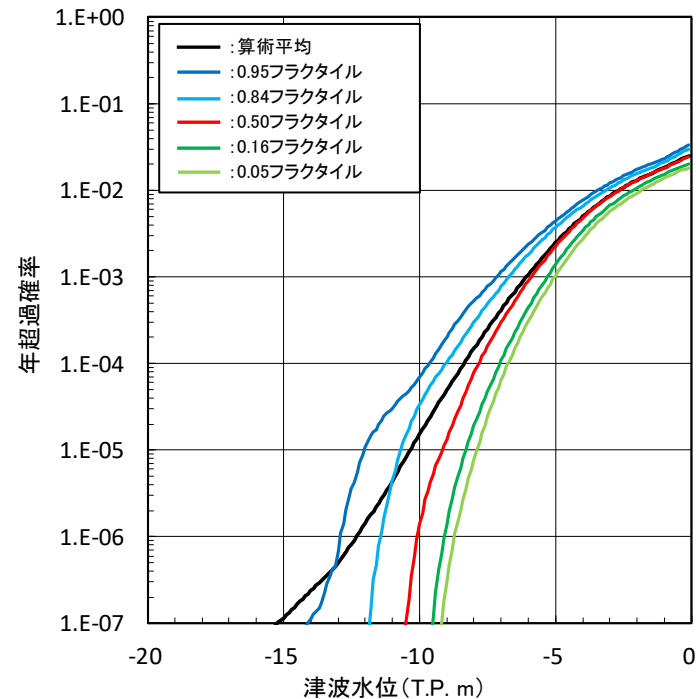
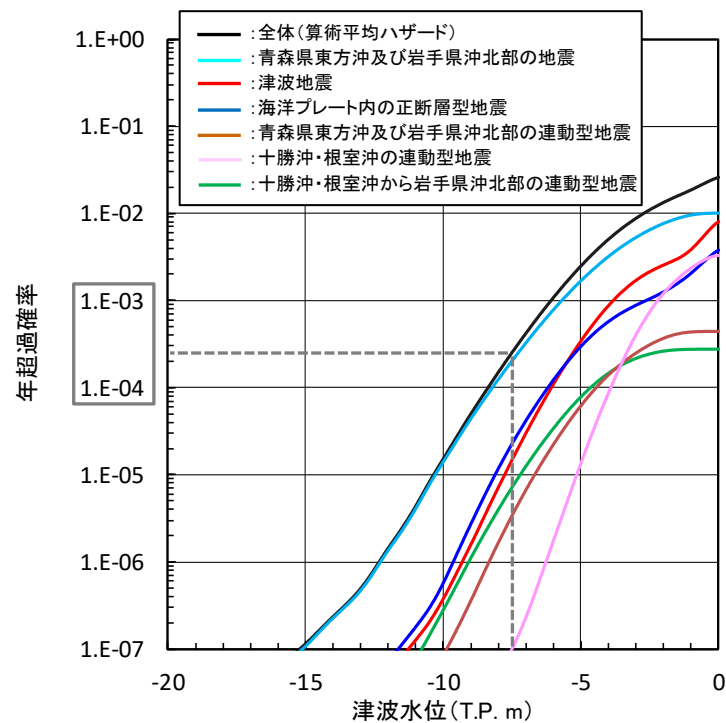


(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 基準津波[水位下降側2(防波堤無し水位最大)]

- 防波堤無し条件の津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。
- 基準津波[水位下降側2(防波堤無し水位最大)]の「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮)]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり①単独)との組合せ津波」の補機冷却海水系取水口前面における最低水位の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。



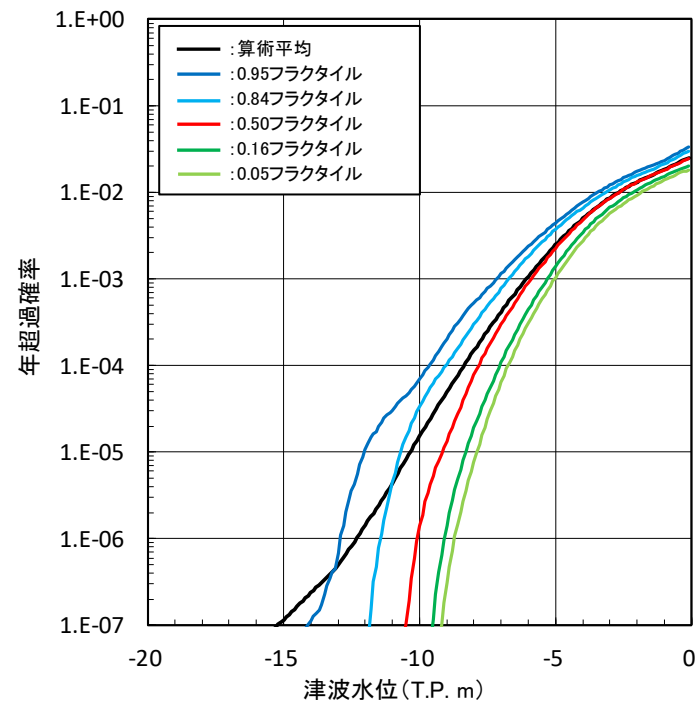
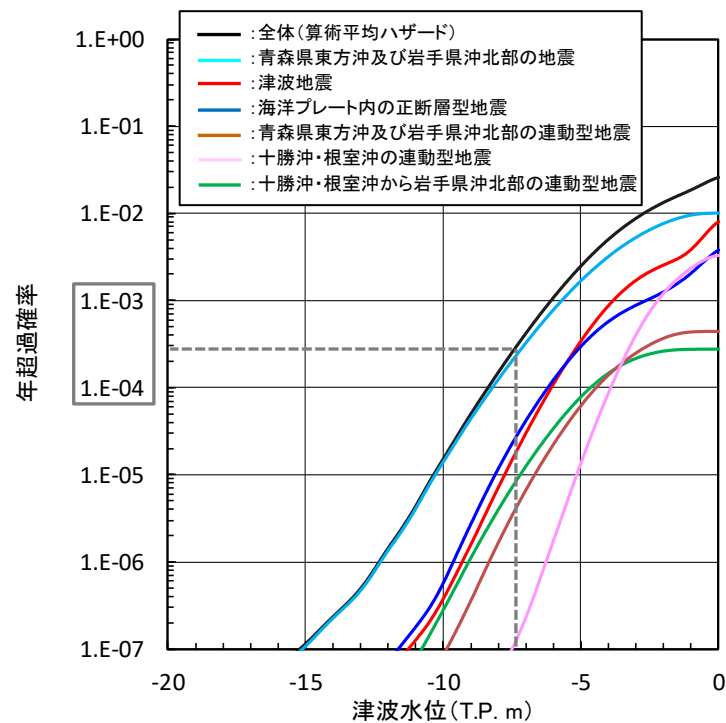
	防波堤	津波水位	年超過確率
基準津波 [水位下降側2(防波堤無し水位最大)]	無し	T.P.-7.5m	$10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度 (2.5×10^{-4})

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 基準津波[水位下降側3(防波堤無し時間最大)]

- 防波堤無し条件の津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。
- 基準津波[水位下降側3(防波堤無し時間最大)]の「十勝沖・根室沖から岩手県沖北部の連動型地震[基準断層モデル②(青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル(すべり量の不確かさ考慮)]と日高舟状海盆の海底地すべり(地すべり②単独)との組合せ津波」の補機冷却海水系取水口前面における最低水位の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。



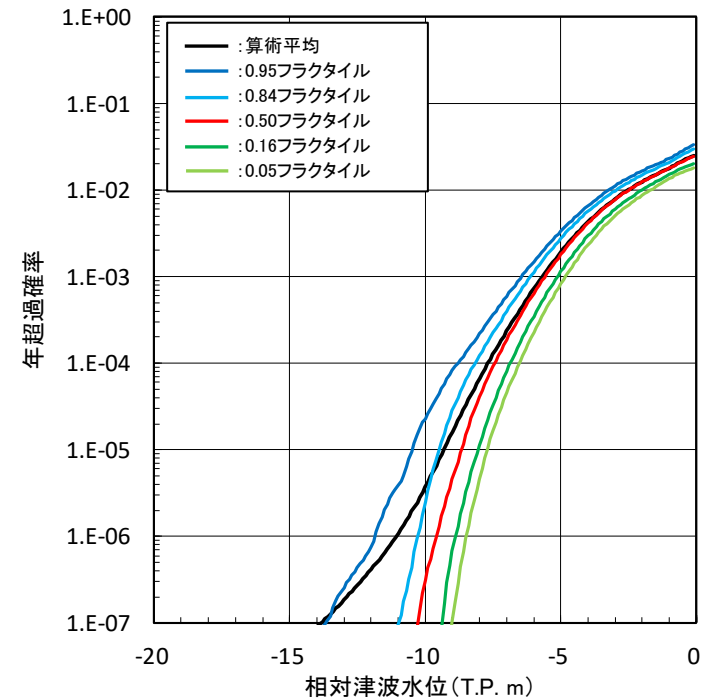
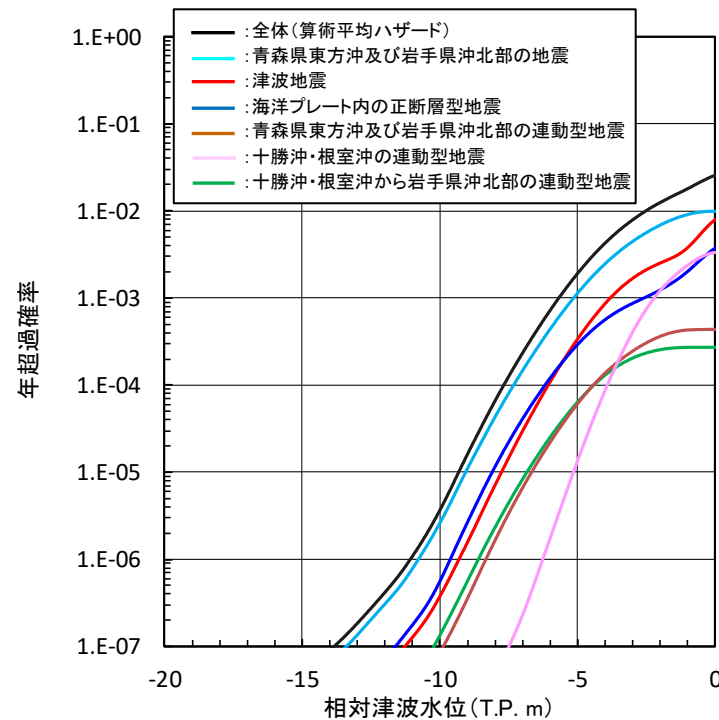
	防波堤	津波水位	年超過確率
基準津波 [水位下降側3(防波堤無し時間最大)]	無し	T.P.-7.4m	$10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度 (2.8×10^{-4})

(参考) 敷地前面及び補機冷却海水系取水口前面における津波水位の年超過確率

3. 年超過確率の参照

■ 水位下降側(防波堤無し): 海底地殻変動の影響考慮

- 海底地殻変動量を考慮した防波堤無し条件による津波ハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線を以下に示す。



参考文献

参考文献

1. 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)巻末資料,南海トラフの巨大地震モデル検討会
2. 阿部勝征(1989):地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測,東京大学地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69
3. 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998):GISを利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45巻, pp.356-360
4. Mansinha, L. and D.E. Smylie(1971):The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.61, No.5, pp.1433-1440
5. 公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016):原子力発電所の津波評価技術 2016
6. 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(2014):プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案,日本地震工学会論文集,第14巻,第5号
7. 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012):痕跡調査結果(2012年10月3日リリース版), <http://www.coastal.jp/ttjt/>
8. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
9. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
10. 相田勇(1986):津波波源の推定,水工学シリーズ86-B-2,土木学会水理委員会
11. 岸力(1969):1968年十勝沖地震調査報告,津波—北海道東北沿岸—,1968年十勝沖地震調査委員会編『1968年十勝沖地震調査報告』, pp.207-256
12. 伊木常誠(1897):三陸地方津浪実況取調報告,震災予防調査会報告,第11号, pp.5-34
13. 松尾春雄(1933):三陸津浪調査報告,内務省土木試験所報告,第24号, pp.83-112
14. 地震研究所(1934):昭和8年3月3日三陸地方津浪に関する論文及報告,東京帝国大学地震研究所彙報,別冊第1号
15. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011):確率論的津波ハザード解析の方法
16. Jose A. Alvarez-Gomez, Omar Q. Gutierrez Gutierrez, Inigo Aniel-Quiroga, M. Gonzalez(2012):Tsunamigenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America, Tectonophysics 574-575, 133-143
17. 今井健太郎・菅原大助・今村文彦(2012):津波痕跡と史料から解釈した1611年慶長地震,第31回日本自然災害学会学術講演会,Ⅲ-2-2
18. 相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション,東京大学地震研究所彙報, Vol.52, pp.71-101
19. 杉野英治・岩渕洋子・阿部雄太・今村文彦(2015):確率論的津波ハザード評価における津波想定の影響,日本地震工学会論文集,第15巻,第4号
20. 藤原広行・平田賢治・中村洋光・長田正樹・森川信之・河合伸一・大角恒雄・青井真・松山尚典・遠山信彦・鬼頭直・村嶋陽一・村田泰洋・井上拓也・斎藤龍・秋山伸一・是永眞理子・阿部雄太・橋本紀彦(2015):日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討,防災科学技術研究所研究資料,第400号
21. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009):確率論的津波ハザード解析の方法(案)
22. 独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)(2014):確率論的手法に基づく基準津波策定手引き, JNES-RE-Report Series, JNES-RE-2013-2041
23. 一般社団法人日本原子力学会(2017):日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2016