

東通原子力発電所 津波の評価について
(基準津波に対する安全性〔砂移動評価〕)
(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. 女川再現モデル	16
3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料	19
4. 海底地形変化の評価結果	22
5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価	71

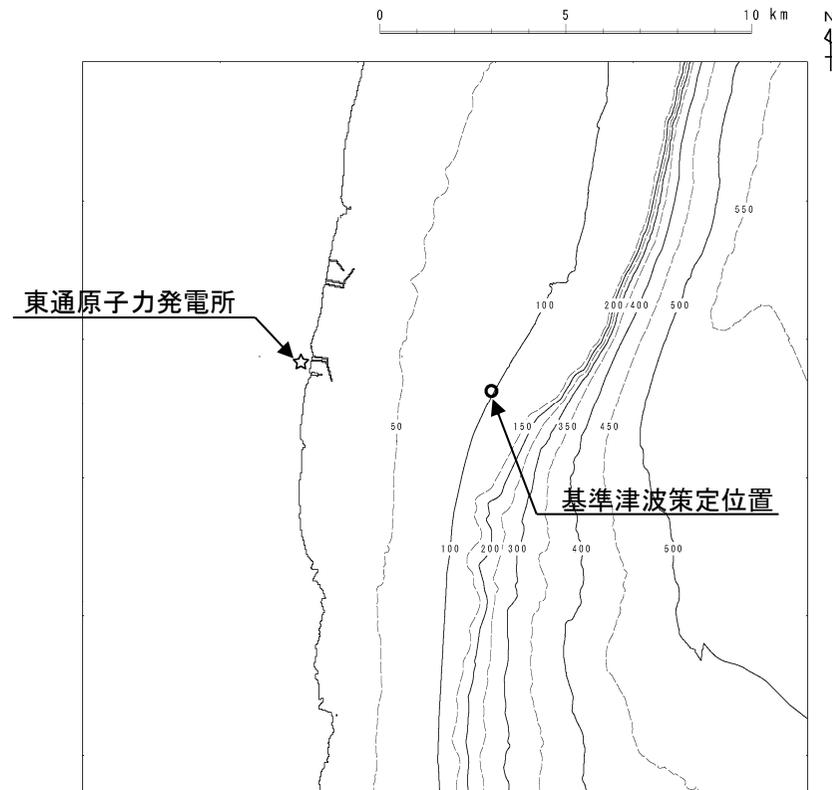
1. 基準津波の策定

- 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	<u>11.34</u>	<u>9.35</u>	<u>9.56</u>	<u>9.31</u>	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

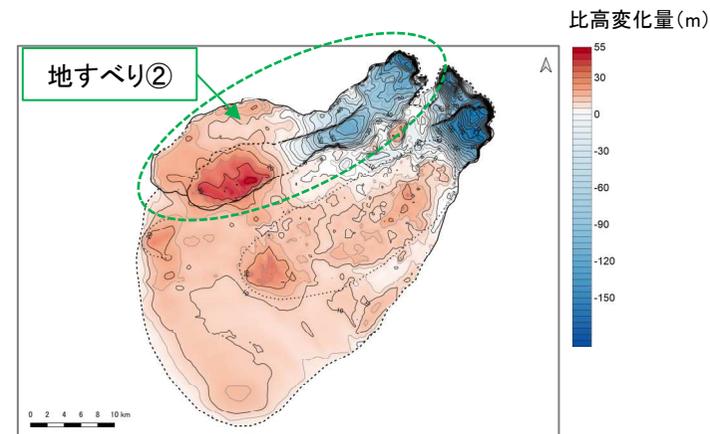
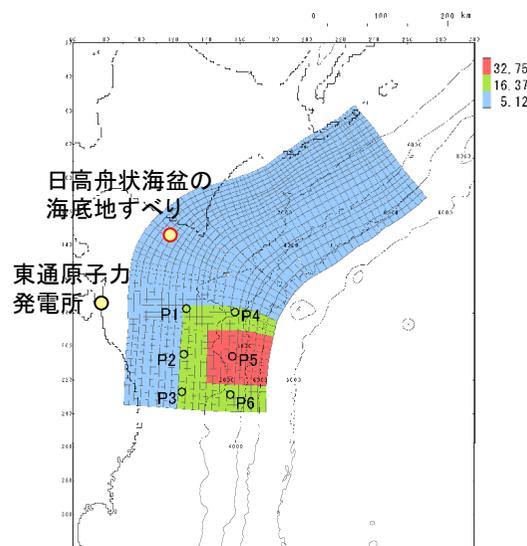
■基準津波[水位上昇側(防波堤無し最大)]

- 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		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	<p>The graph plots water level (水位) in meters (m) on the y-axis (ranging from -10.0 to 10.0) against time (時間) in minutes (分) on the x-axis (ranging from 0 to 240). The water level starts near 0, rises to a peak of 5.31m at 36.3 minutes, then drops to a trough of -4.43m at 87.9 minutes, followed by several smaller oscillations.</p>	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

■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

■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)]

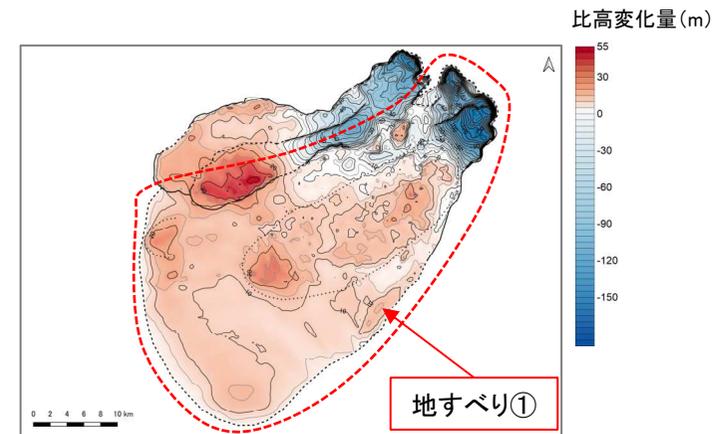
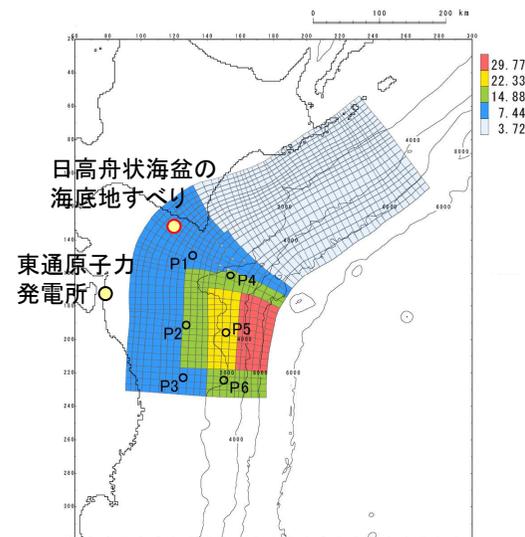
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波 [水位下降側1 (防波堤有り最大)] に選定。

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		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)]

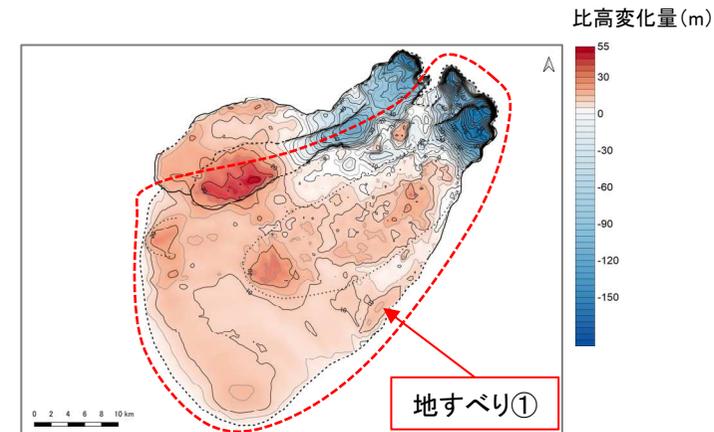
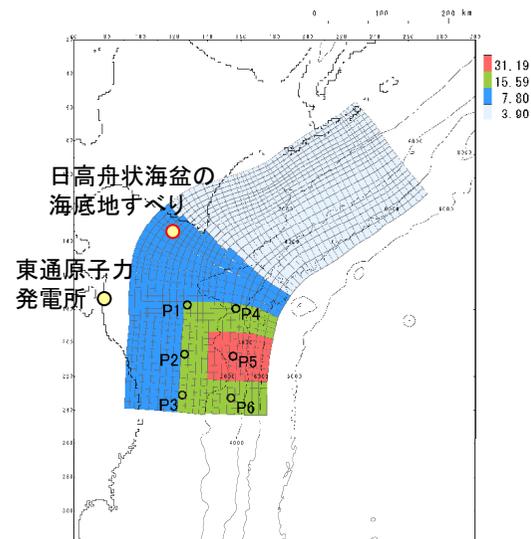
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波 [水位下降側2 (防波堤無し水位最大)] に選定。

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



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		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)]

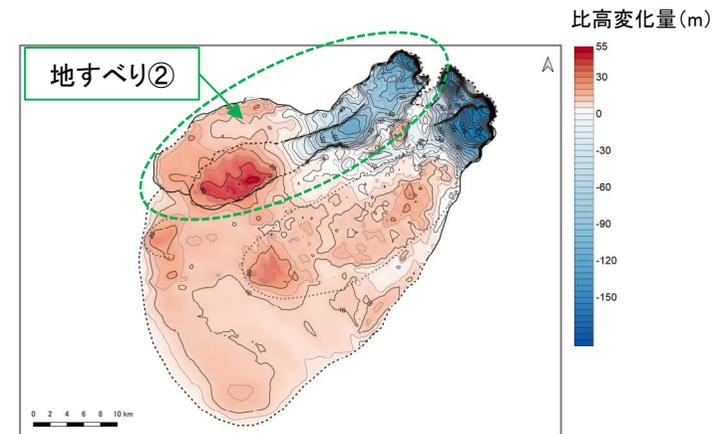
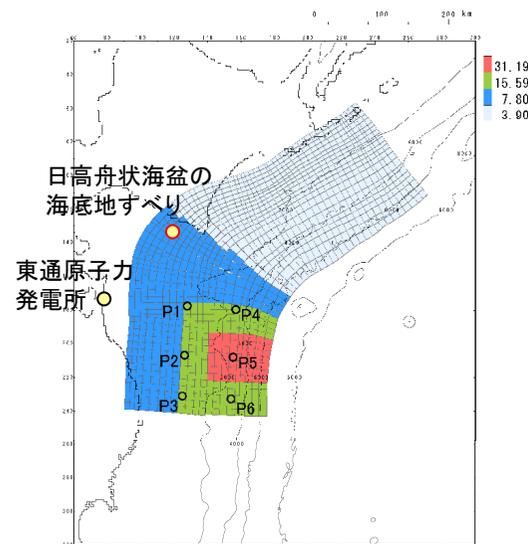
- 各津波の評価結果を踏まえ、以下の津波を基準津波 [水位下降側3 (防波堤無し時間最大)] に選定。

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		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.-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. 女川再現モデル

2. 1 設定概要

2. 2 痕跡高及び観測波形の再現性

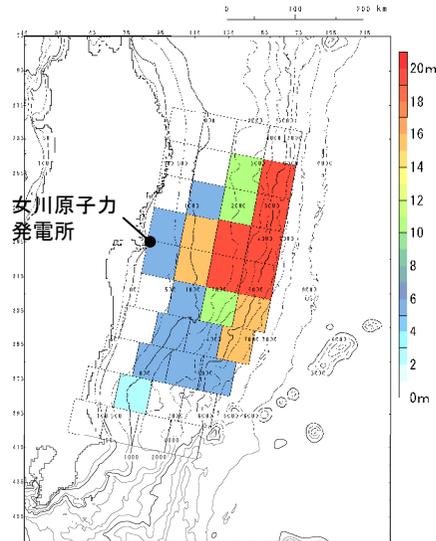
2. 女川再現モデル

2.1 設定概要

- 女川再現モデルは、藤井・佐竹40枚断層モデル(Ver.4.0)*をベースとして、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波による発電所敷地周辺の痕跡高及び発電所港湾内で取得した観測波形を良好に再現するように、すべり量及び断層上縁深さを調整して設定したモデルである(東北電力(2011))。

※:参照日は2011年4月21日。公開先が更新され現在は確認できない(http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTtohokuPacific2011/tsunami_ja.html)。

■女川再現モデル(東北電力(2011))

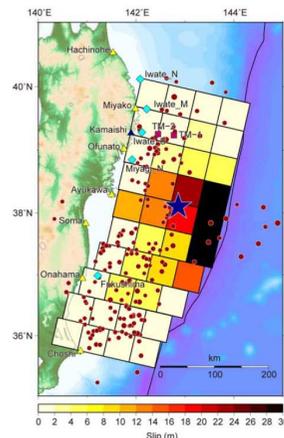


すべり量分布

主な断層諸元

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード [*]	Mw	$(\log M_0 - 9.1) / 1.5$	8.94
断層面積	S (km ²)	藤井・佐竹(ver.4.0)	100,000
平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	$7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	2.47
剛性率	μ (N/m ²)	土木学会(2016)	5.0×10^{10}
平均すべり量	D(m)	東北電力(2011)	6.43
地震モーメント	M ₀ (Nm)	μSD	3.2×10^{22}
断層上縁深さ	d(km)	東北電力(2011)	3
最大すべり量	D _{max} (m)	東北電力(2011)	20.00
ライズタイム	τ (s)	東北電力(2011)	60

(参考) 藤井・佐竹40枚断層モデル(ver.4.0)



小断層毎のすべり量

0	0	0	0
0	0.05	3.52	0
0	3.79	5.56	5.74
0	12.44	23.35	34.45
11.57	12.65	19.87	33.62
0	4.21	8.52	30.83
0	4.34	8.82	14.09
1.28	4.98	4.27	1.95
0.59	1.94	0	0
0.62	0.14	0.2	0.01

2. 女川再現モデル

2.2 痕跡高及び観測波形の再現性

- 女川再現モデルは、女川原子力発電所敷地周辺の痕跡高及び発電所港湾内で取得した観測波形を良好に再現することを確認した。

■ 痕跡高の再現性(東北電力(2011))

● : 痕跡地点



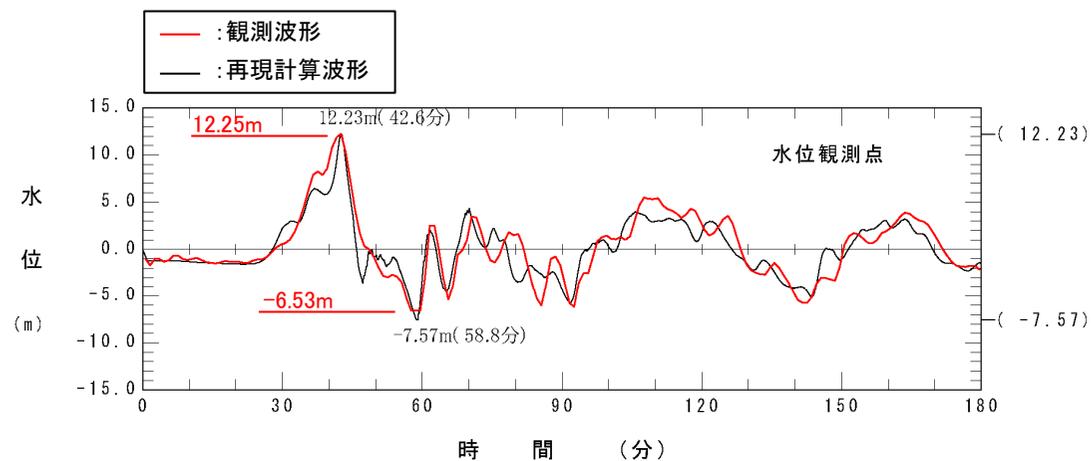
痕跡地点(小屋取～発電所)

痕跡高の再現性※

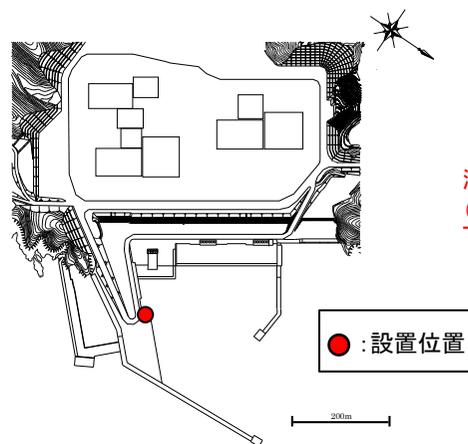
	K	κ	n
女川再現モデル	1.00	1.04	14

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

■ 観測波形の再現性(東北電力(2011))

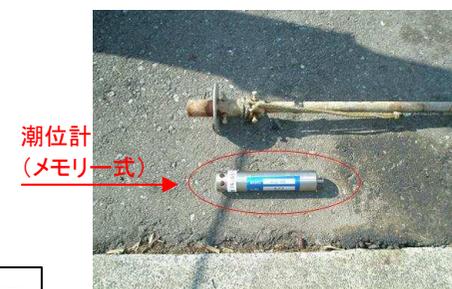


観測波形と再現計算波形の比較



● : 設置位置

潮位計設置位置

潮位計
(メモリ式)

3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

- 3. 1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について
- 3. 2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較

3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

3.1 高橋ほか(1999)の適用範囲と浮遊砂濃度上限について

- 高橋ほか(1999)では、掃流砂量及び巻き上げ量の測定実験が行われ、シールズ数(無次元掃流力)で整理されており、実験範囲はシールズ数が概ね0.2~1程度となっている。
- 高橋ほか(2012)によれば、高橋ほか(1999)の手法において、津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性があるため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入しているとされている。

高橋ほか(1999)による掃流砂量とシールズ数の関係

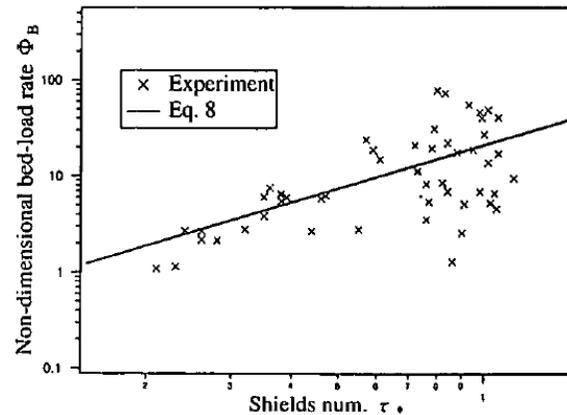


図-4 実験から求めた掃流砂量とシールズ数の関係

高橋ほか(1999)による巻き上げ砂量とシールズ数の関係

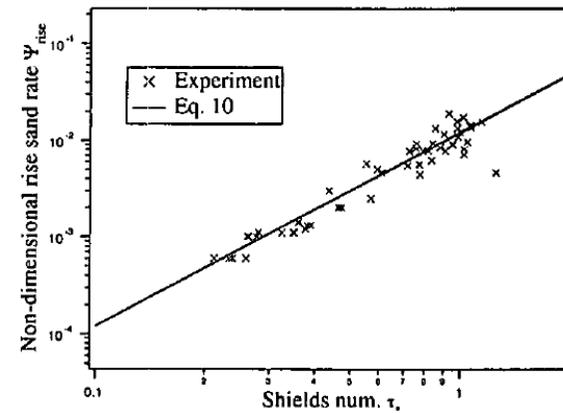


図-5 実験から求めた巻き上げ砂量とシールズ数の関係

4. 数値モデルの課題

高橋ら(1999)によるモデルの課題を以下に列記する。

- ・ 現行モデルでは単一粒径の砂を仮定している。しかし、実海岸は混合砂で形成されているため、混合砂を取り扱えるモデルが必要である。高橋ら(2011)は津波による砂移動を再現するための大型実験水路を開発して、粒径ごとの水理実験を実施した。その結果、以下の値を得ており、これらを用いたモデルの拡張が期待される。

$$\alpha = \begin{cases} 5.6 & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.0 & (d=0.267\text{mm}) \\ 2.6 & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{cases} 7.0 \times 10^{-5} & (d=0.166\text{mm}) \\ 4.4 \times 10^{-5} & (d=0.267\text{mm}) \\ 1.6 \times 10^{-5} & (d=0.394\text{mm}) \end{cases} \quad (9)$$

- ・ 現行モデルでは、せん断応力の計算に Manning 則(式(2)および式(3)の左辺第5項)を用いているが、全水深が小さい場合に底面でのせん断応力を過大に評価する傾向がある。特に遡上時にはこの傾向が強くなるため、津波堆積物のシミュレーションにおいてはせん断応力の計算方法を見直して、流速の鉛直分布を考慮することが必要である。

・ 底面でのせん断応力の増加に伴い浮遊砂層に巻き上げ砂が供給され、浮遊砂濃度が増大する。浮遊砂濃度が極めて大きくなると、乱れ強度が抑制され、浮遊砂を保持する力が減少すると考えられる。従来の河川流や波浪を対象とした場合では浮遊砂が希薄であるため問題にならないが、津波の場合は巻き上げ砂が過大に見積もられる危険性がある。そのため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入しているが、物理的なメカニズムを考慮した飽和浮遊砂濃度のモデル化が必要である。飽和浮遊砂濃度を水理実験で発生させることは難しいため、固液混相流に関する砂粒子レベルの数値実験が期待される。

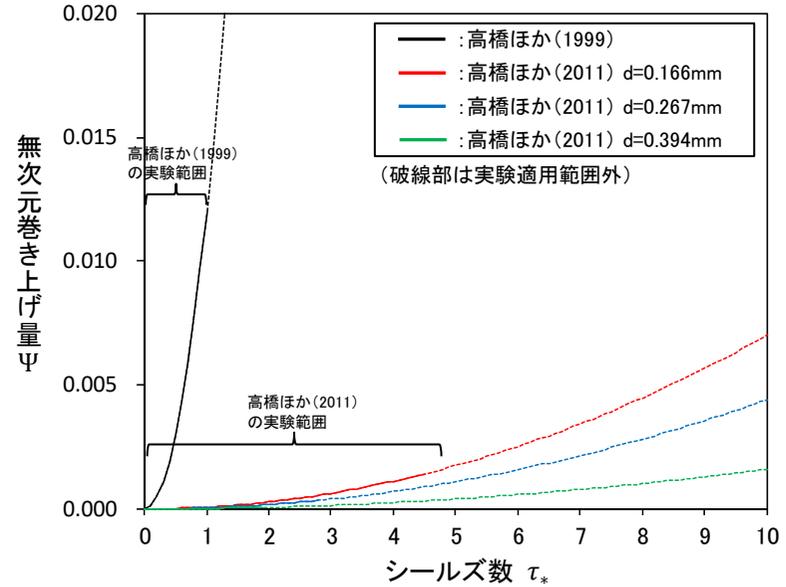
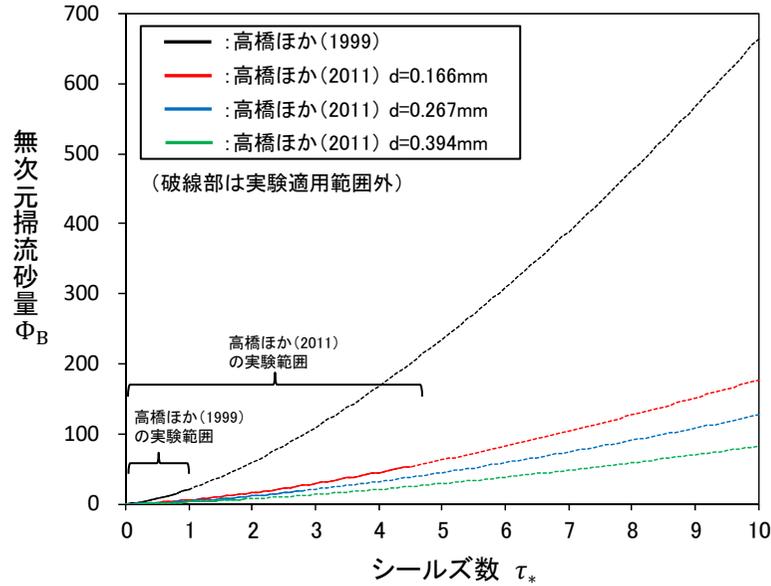
- ・ 複雑な実地形や波形勾配が大きな津波を対象とした場合、流速が時空間的に急激に変化することがあり、せん断応力の不連続性が強くなることもある。そのような流況が発生すると、現行モデルでは計算が不安定になりやすいため、計算スキームの改良が必要である。

・ 固定床計算領域(流水のみを計算する領域)と移動床計算領域(流水と流砂の両方を計算する領域)の境界条件が確立されていない。特に浅海域では流砂量の不連続が生じて、計算の不安定性を招きやすいため、物理的な境界条件の検討と計算スキームの改良が必要である。

3. 高橋ほか(1999)の手法に関する補足資料

3.2 高橋ほか(1999)と高橋ほか(2011)の掃流砂量・巻き上げ量の比較

- 掃流砂量及び巻き上げ量の算定式の係数について、高橋ほか(1999)はシールズ数が概ね1以下の実験結果であるのに対し、高橋ほか(2011)はシールズ数が概ね1~5程度の実験結果であり、シールズ数が大きくなるほど両者の乖離が顕著に大きくなる。
- 上記について、高橋ほか(2011)によれば、高橋ほか(1999)は、ヘッドタンクから細い円管で水路内に導く際の整流化が十分ではなかった等の問題の可能性があるとしている。



評価手法	無次元掃流砂量
高橋ほか(1999)	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 21\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.166mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 5.6\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.267mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 4.0\tau_*^{1.5}$
高橋ほか(2011) d=0.394mm	$\Phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 2.6\tau_*^{1.5}$

評価手法	無次元巻き上げ量
高橋ほか(1999)	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 0.012\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.166mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 7.0 \times 10^{-5}\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.267mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 4.4 \times 10^{-5}\tau_*^2$
高橋ほか(2011) d=0.394mm	$\Psi = \frac{q_s}{\sqrt{sgd}} = 1.6 \times 10^{-5}\tau_*^2$

ここに、 Φ_B : 無次元掃流砂量

q_B : 掃流砂量

Ψ : 無次元巻き上げ量

q_s : 巻き上げ量

τ_* : シールズ数

$s = \sigma / \rho - 1$

σ : 砂の密度(kg/m³)

ρ : 海水の密度(kg/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

d : 砂の粒径(m)

4. 海底地形変化の評価結果

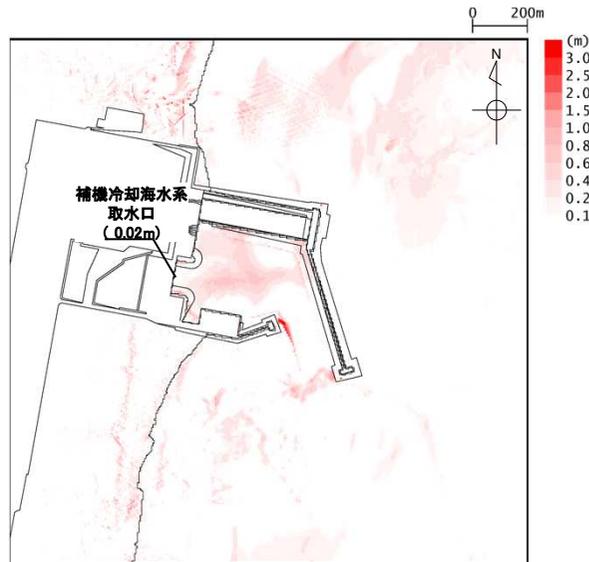
- 4. 1 基準津波(水位上昇側)
- 4. 2 基準津波(水位下降側1)
- 4. 3 基準津波(水位下降側2)
- 4. 4 基準津波(水位下降側3)

4. 海底地形変化の評価結果

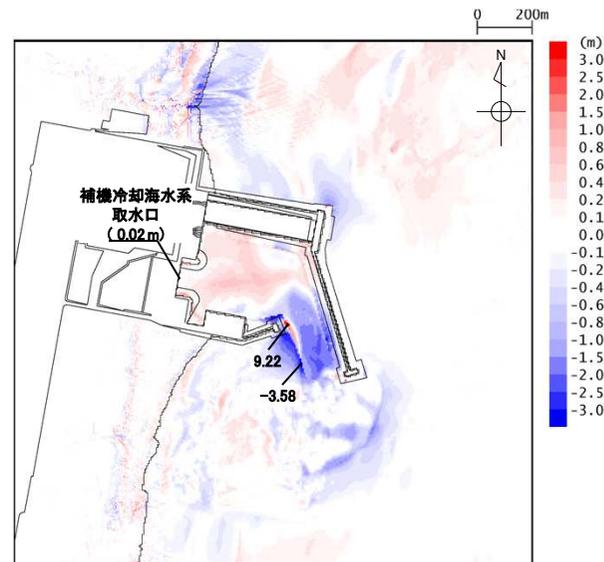
4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	有	0.02m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



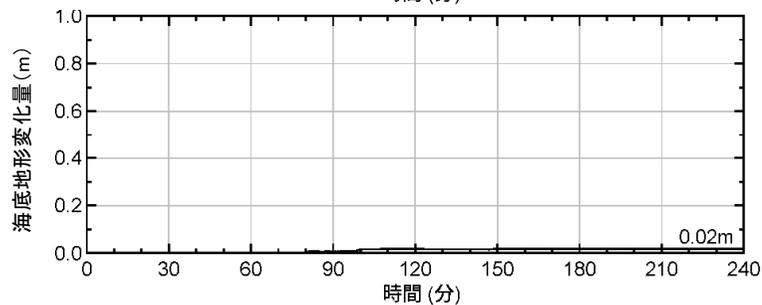
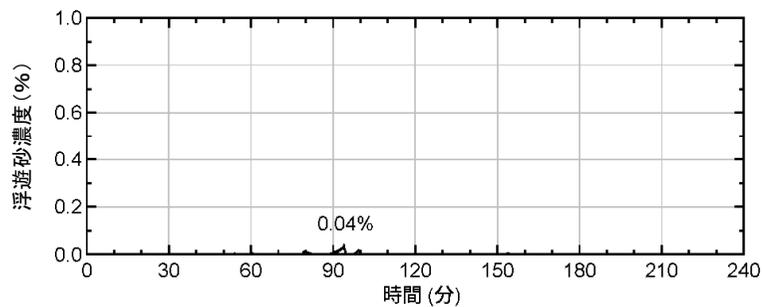
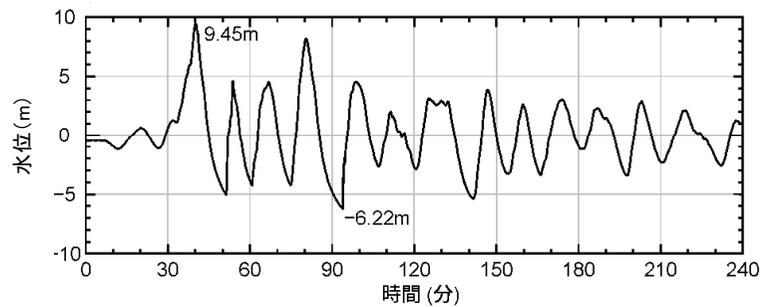
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	有	0.02m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

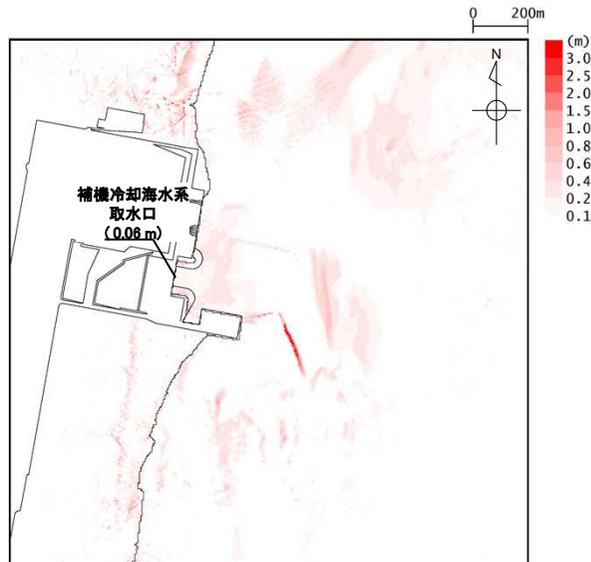


4. 海底地形変化の評価結果

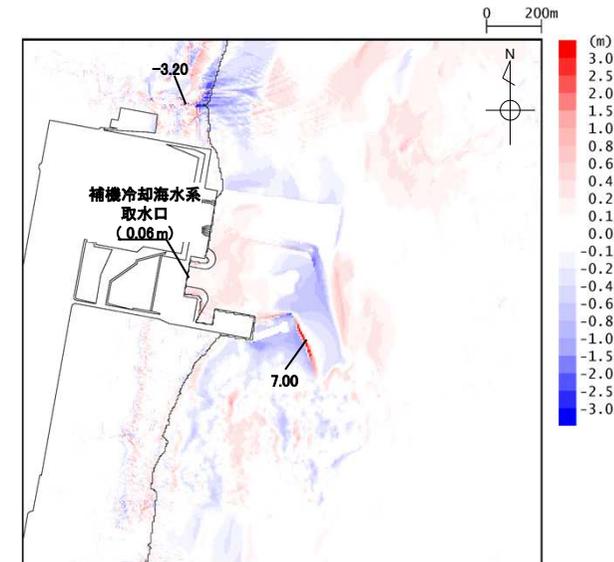
4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	無	0.06m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



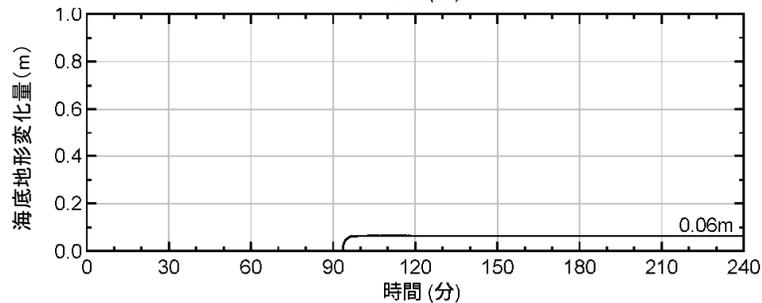
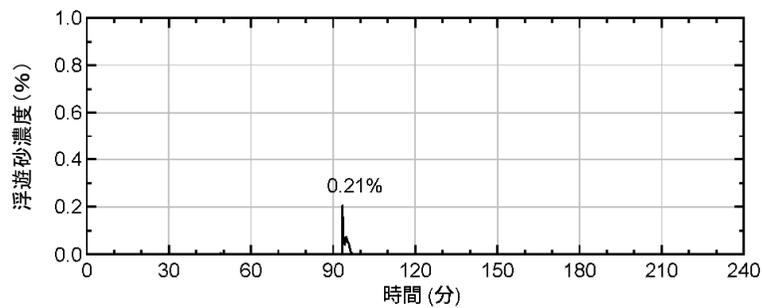
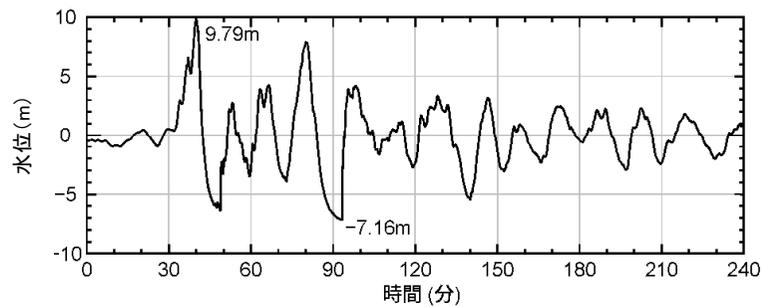
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	1%	無	0.06m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

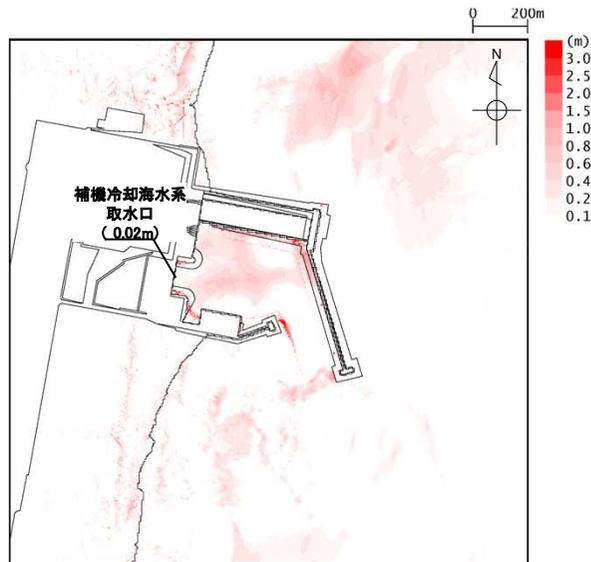


4. 海底地形変化の評価結果

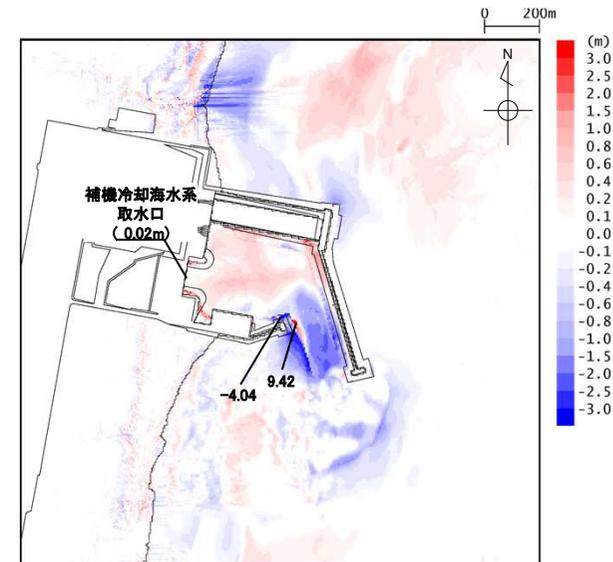
4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	5%	有	0.02m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



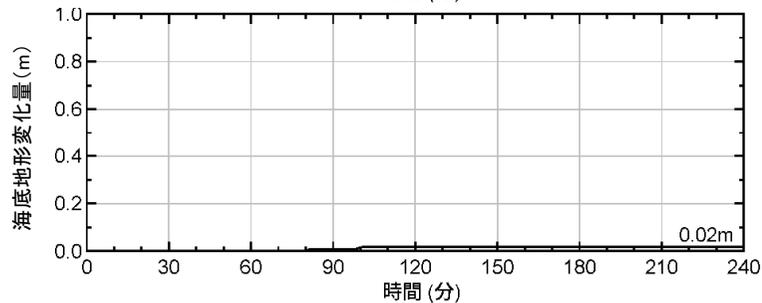
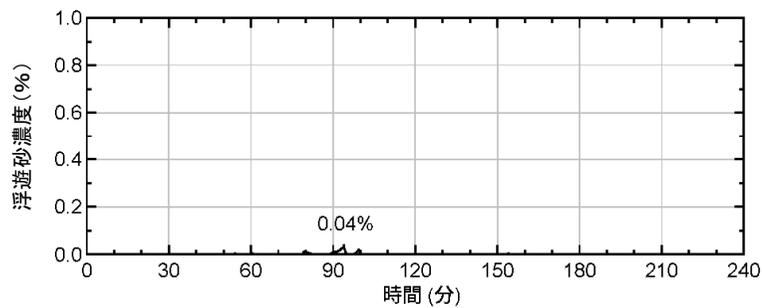
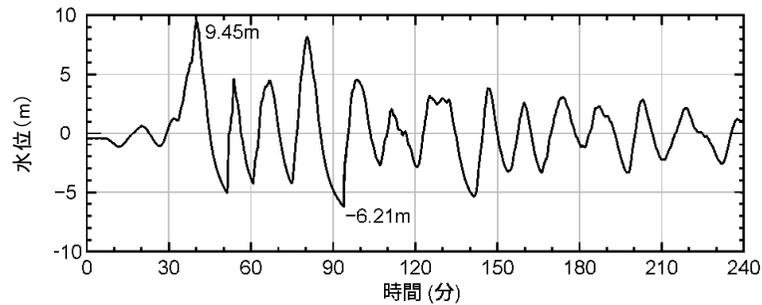
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	5%	有	0.02m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

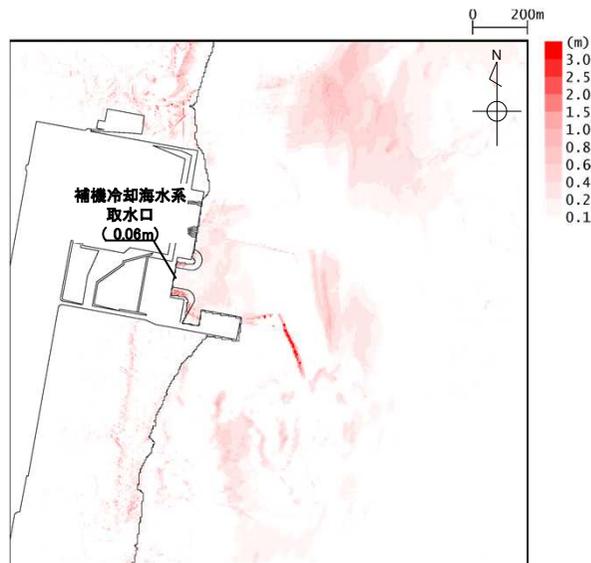


4. 海底地形変化の評価結果

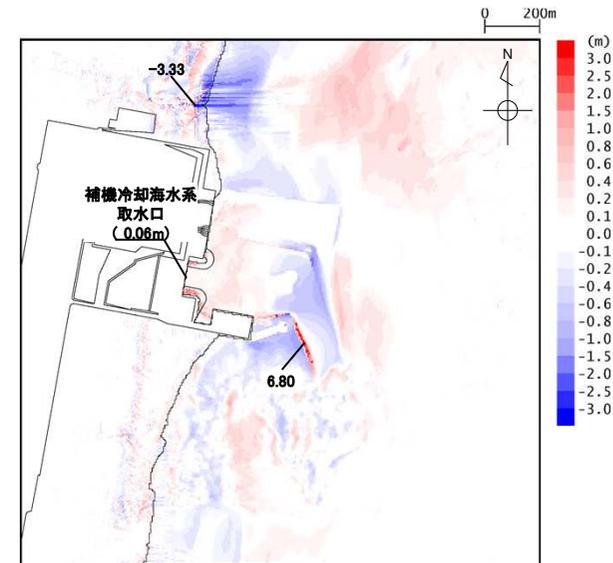
4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	5%	無	0.06m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



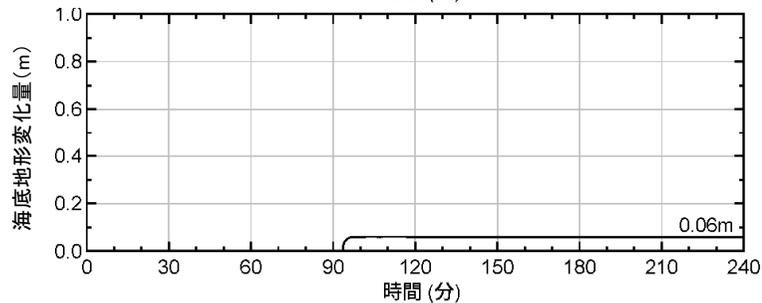
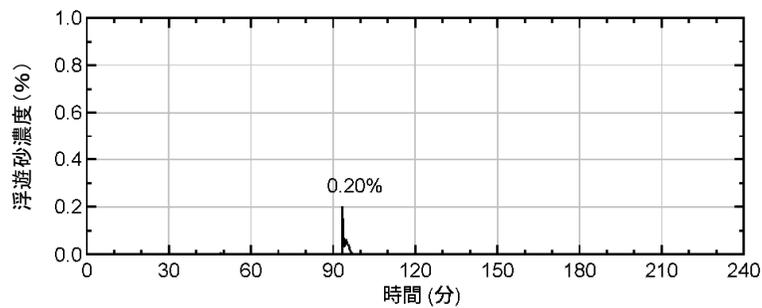
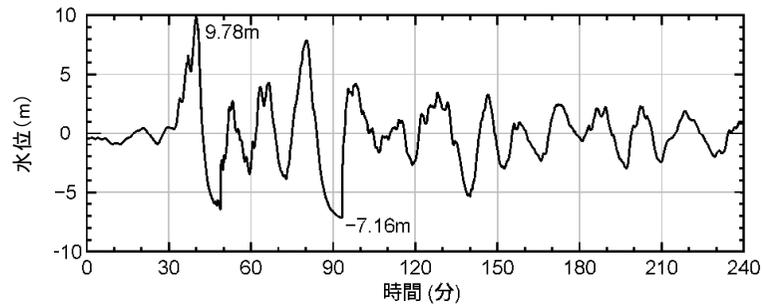
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	藤井ほか(1998)	5%	無	0.06m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

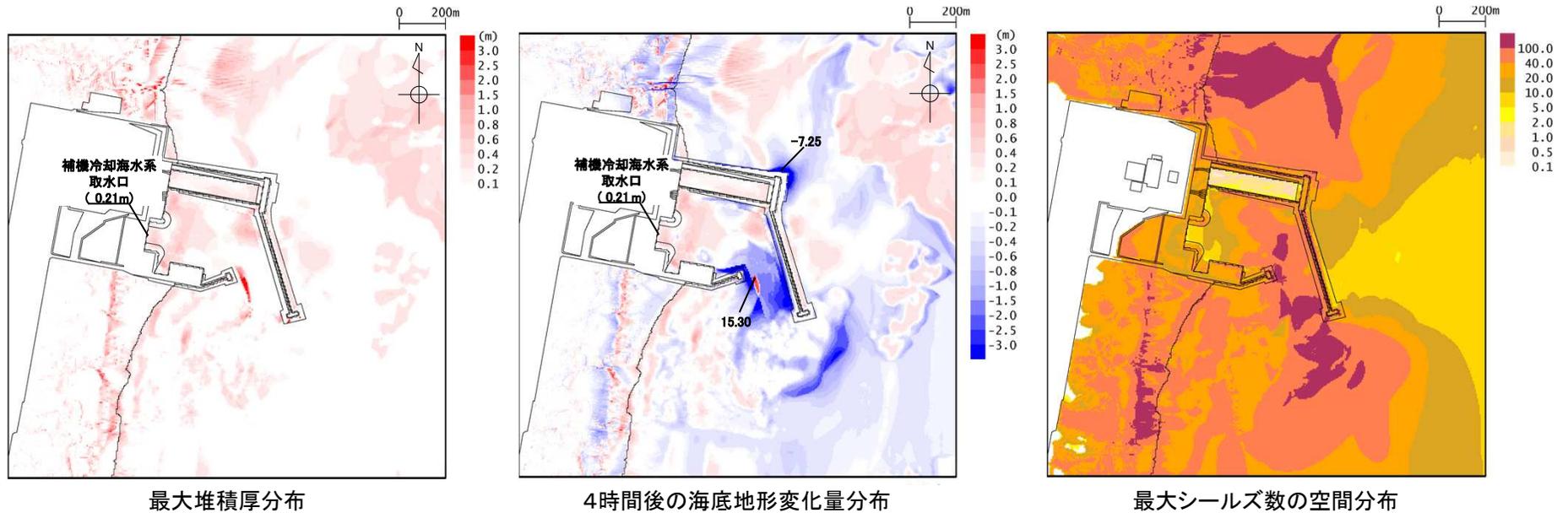


4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	有	0.21m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

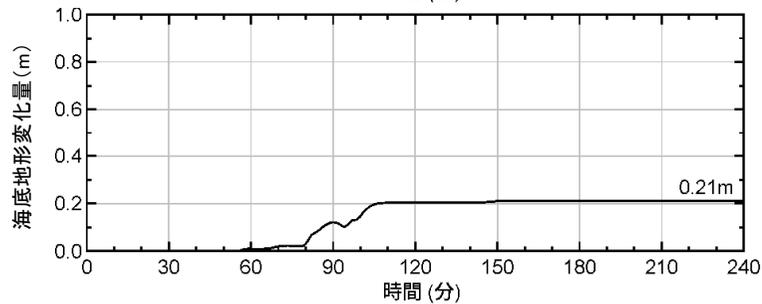
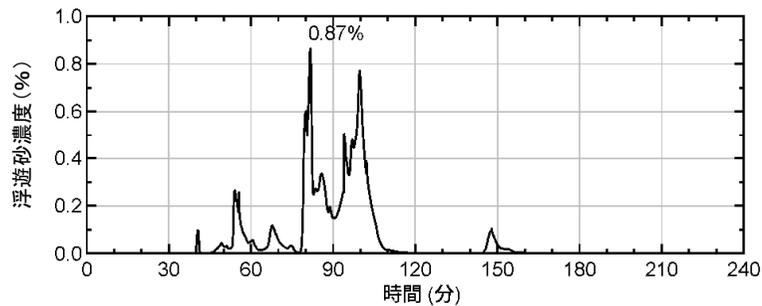
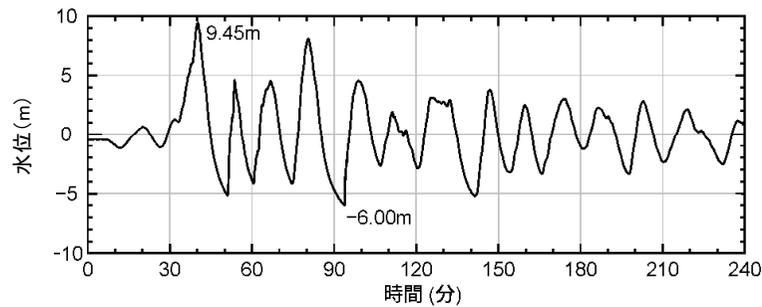


4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	有	0.21m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

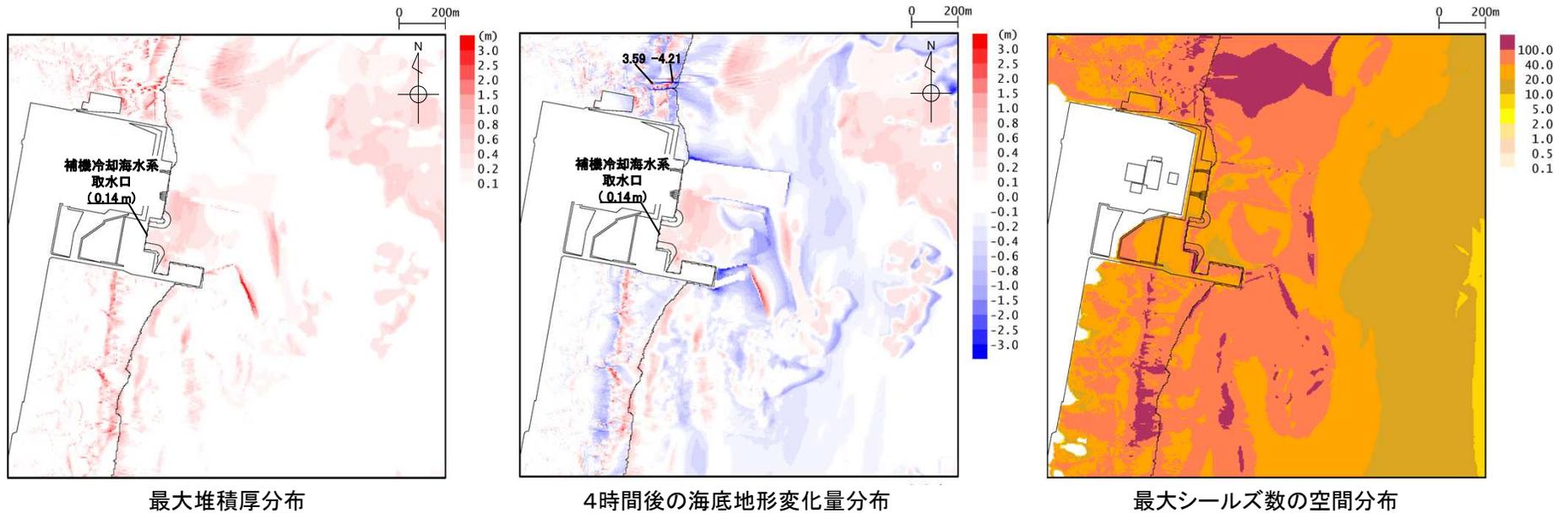


4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	無	0.14m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

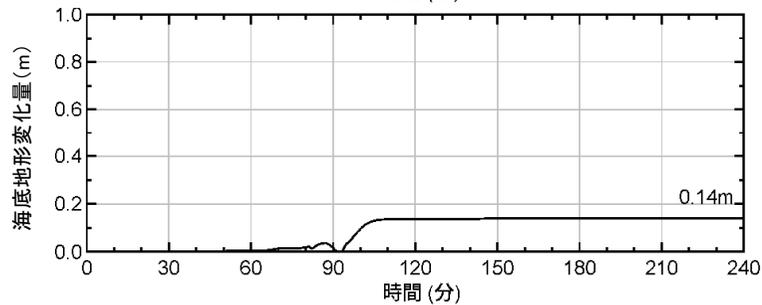
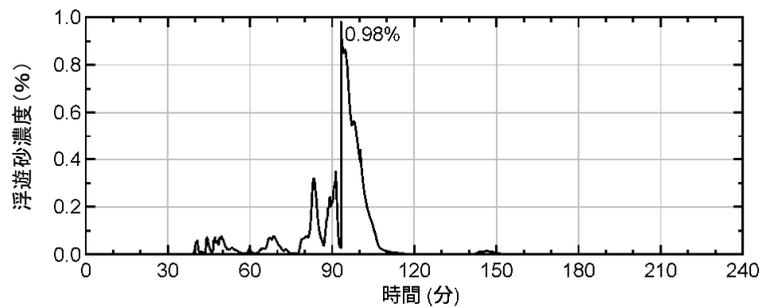
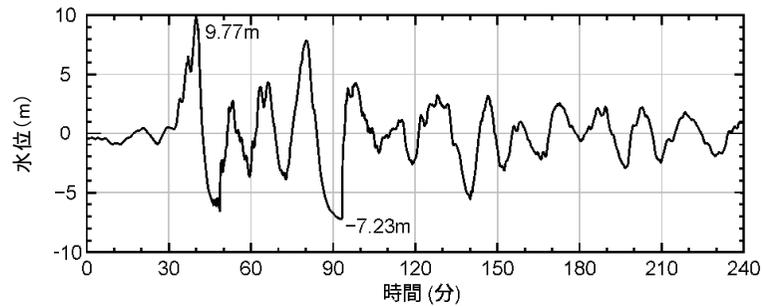


4. 海底地形変化の評価結果

4.1 基準津波(水位上昇側)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位上昇側	高橋ほか(1999)	1%	無	0.14m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

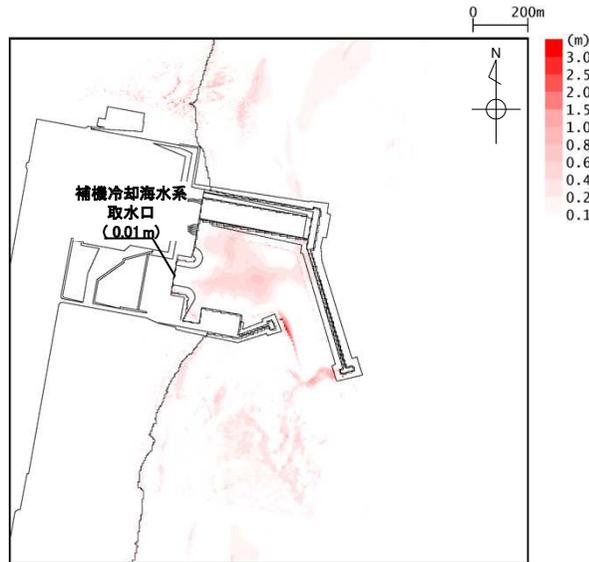


4. 海底地形変化の評価結果

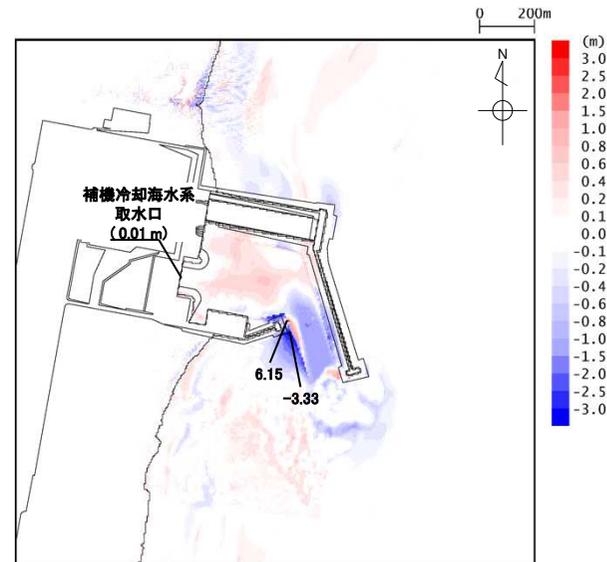
4. 2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	1%	有	0.01m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



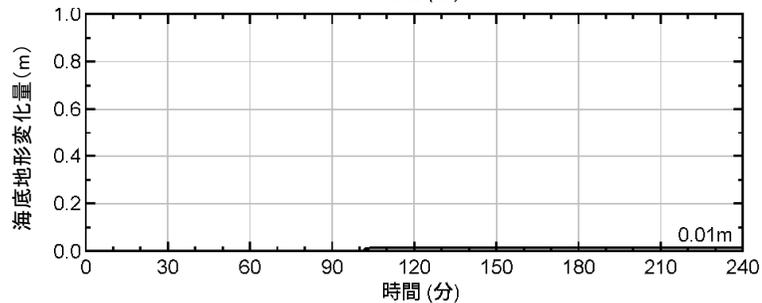
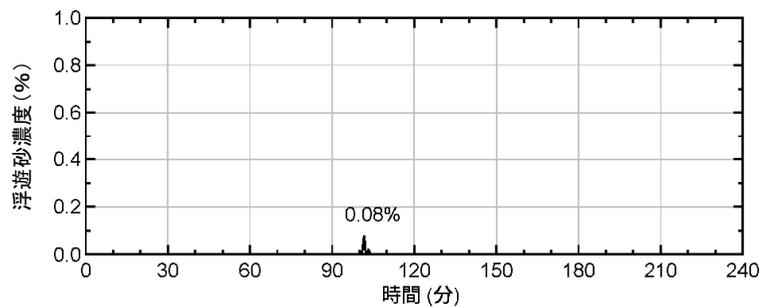
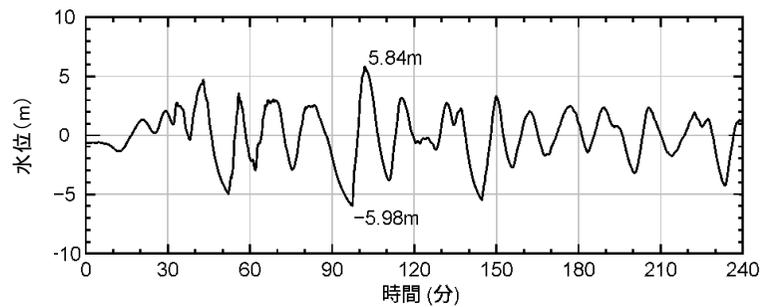
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	1%	有	0.01m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

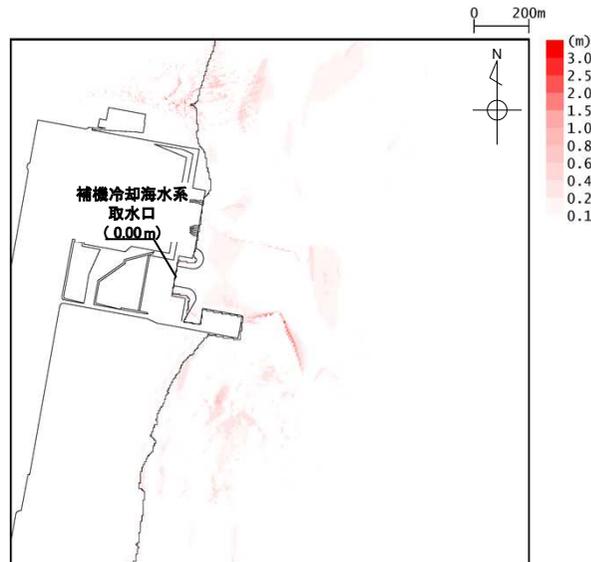


4. 海底地形変化の評価結果

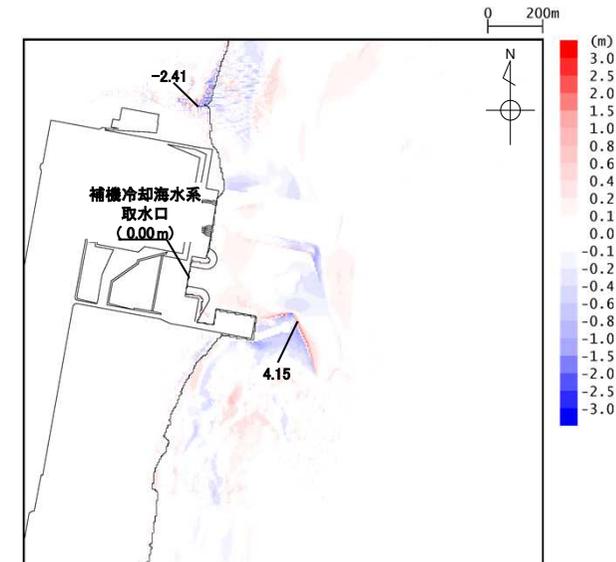
4. 2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



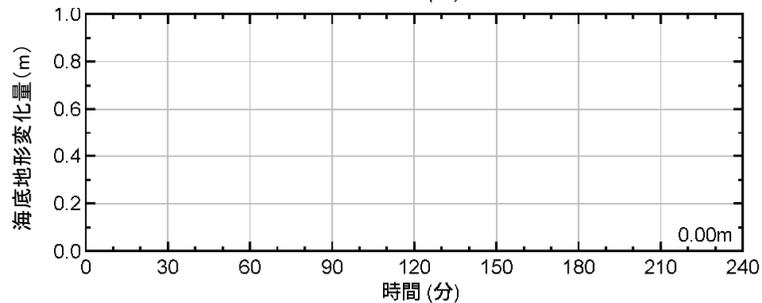
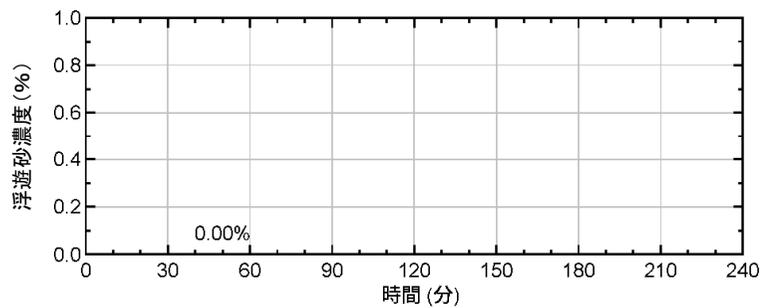
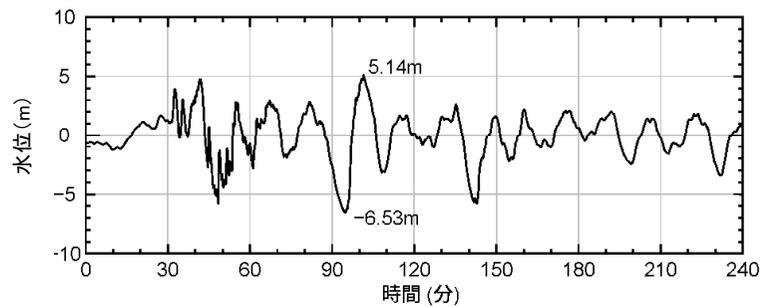
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

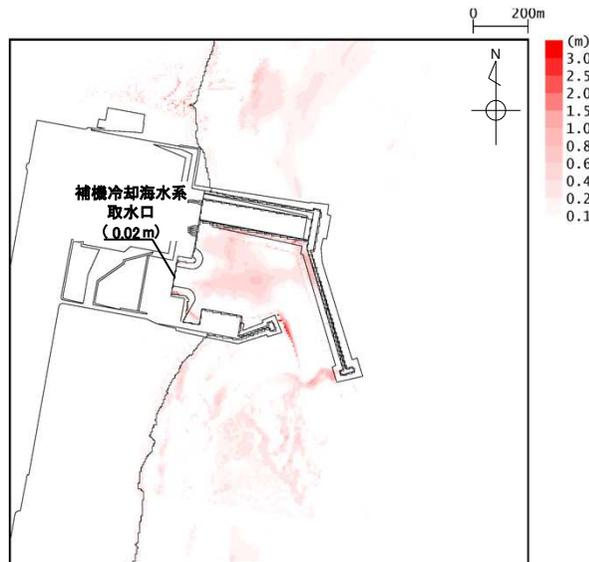


4. 海底地形変化の評価結果

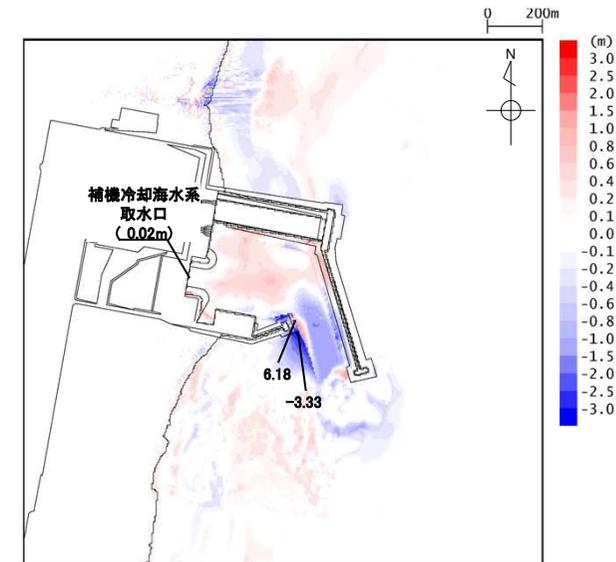
4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	5%	有	0.02m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



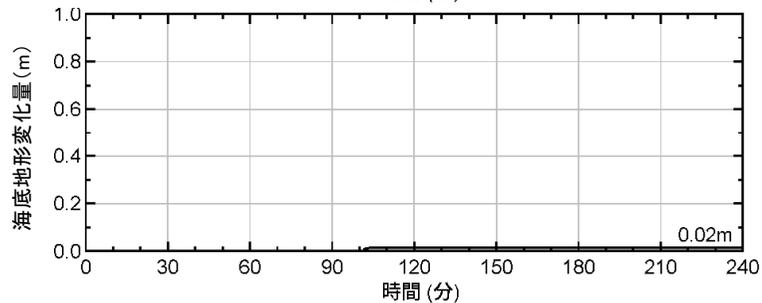
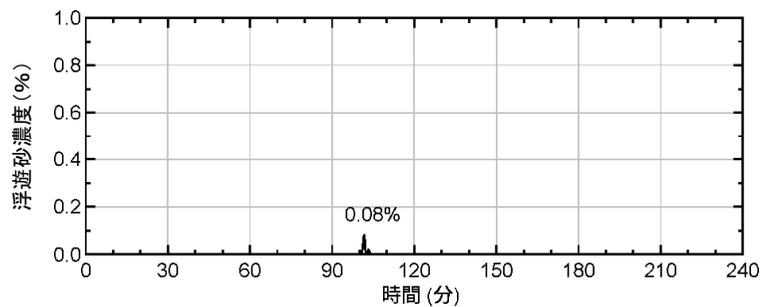
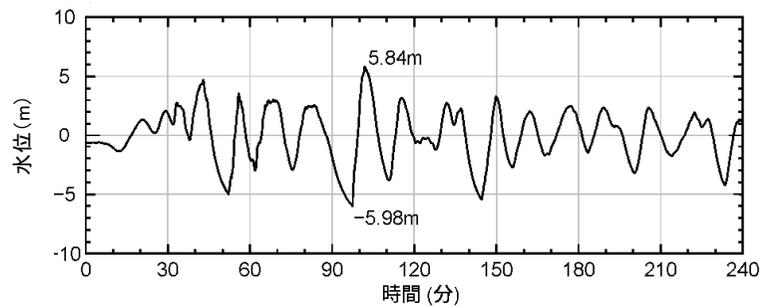
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4. 2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	5%	有	0.02m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

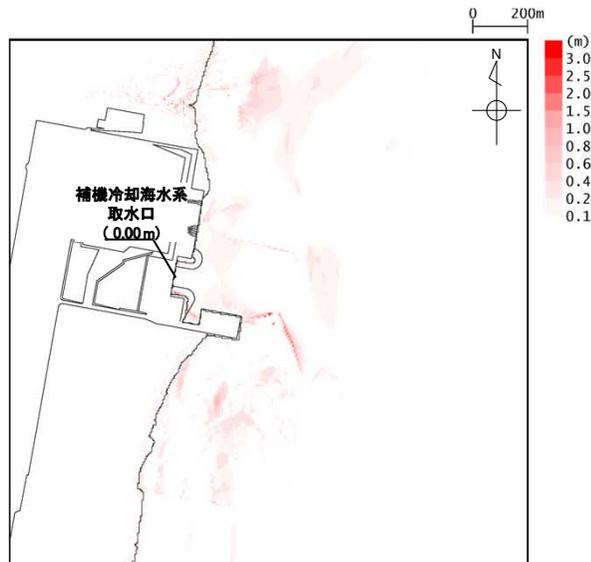


4. 海底地形変化の評価結果

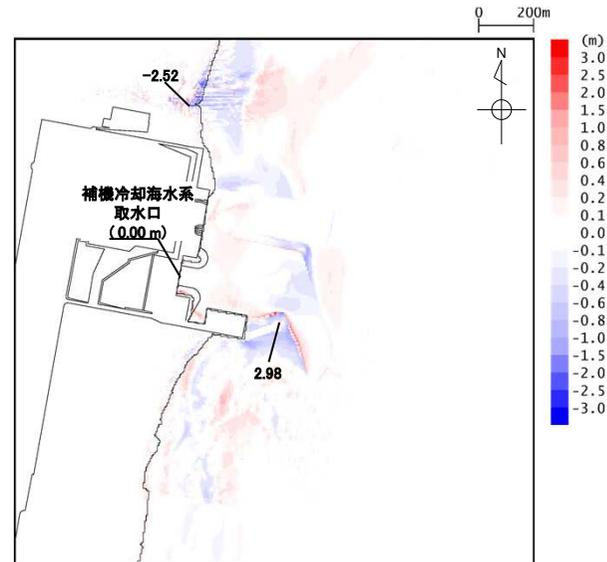
4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



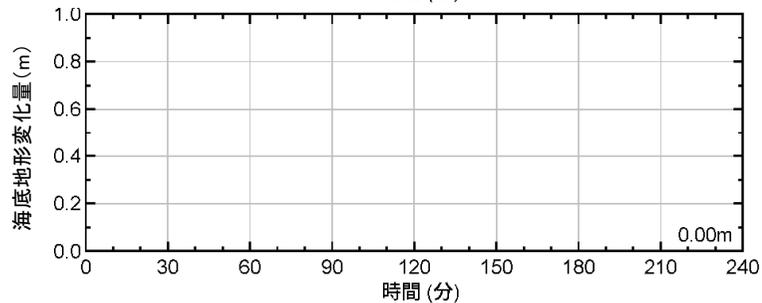
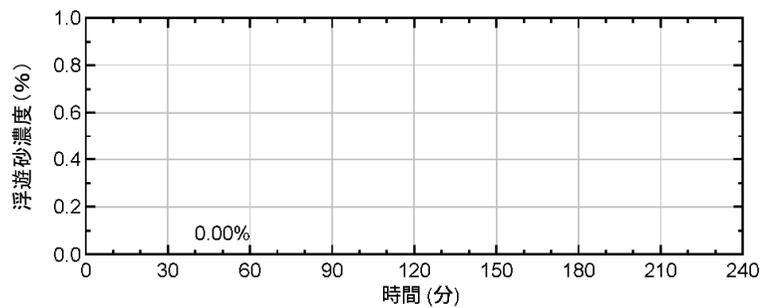
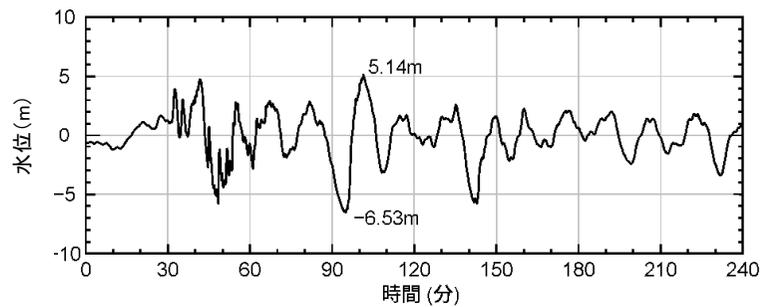
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

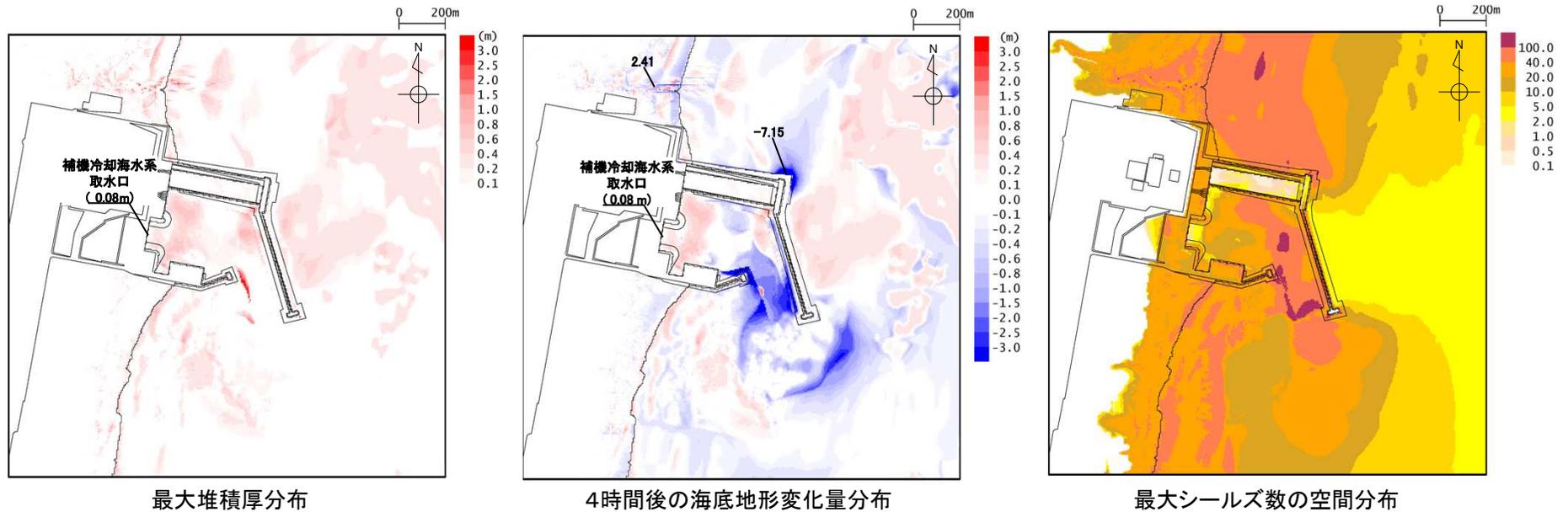


4. 海底地形変化の評価結果

4. 2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	有	0.08m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

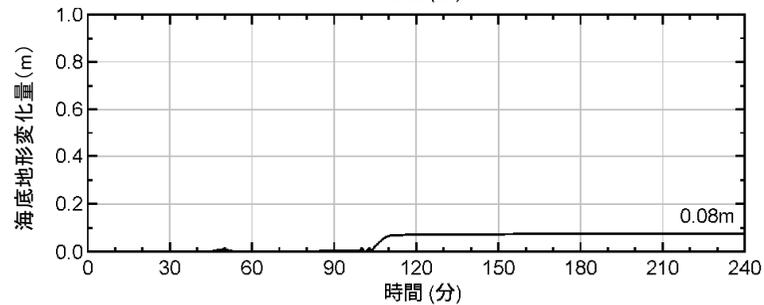
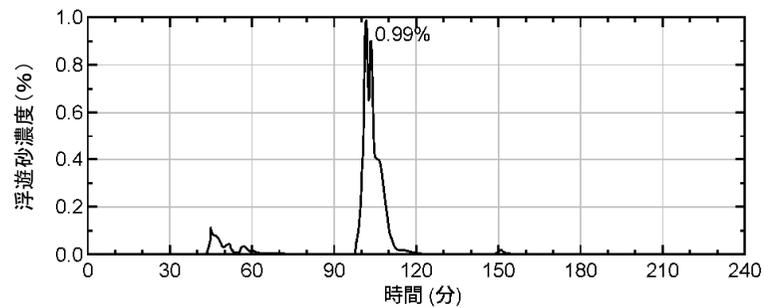
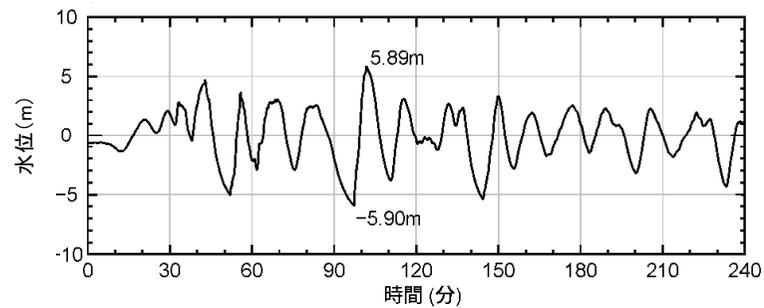


4. 海底地形変化の評価結果

4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	有	0.08m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

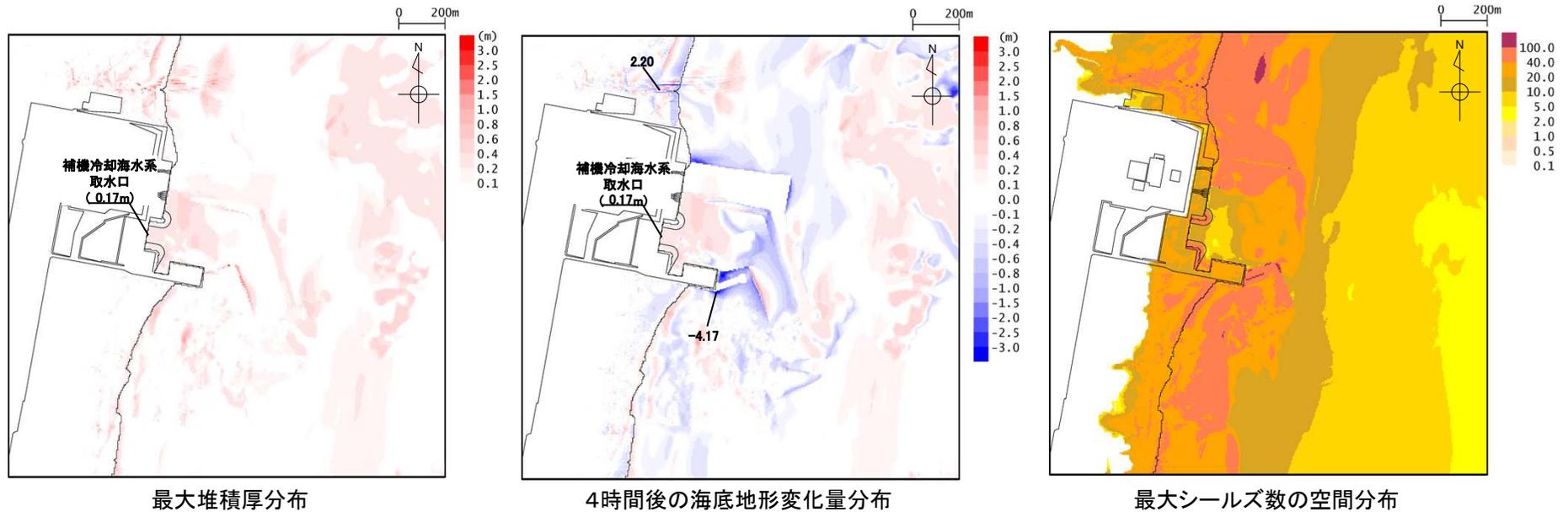


4. 海底地形変化の評価結果

4. 2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	無	0.17m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

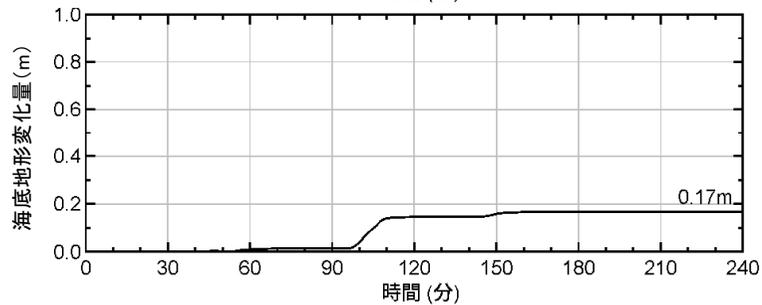
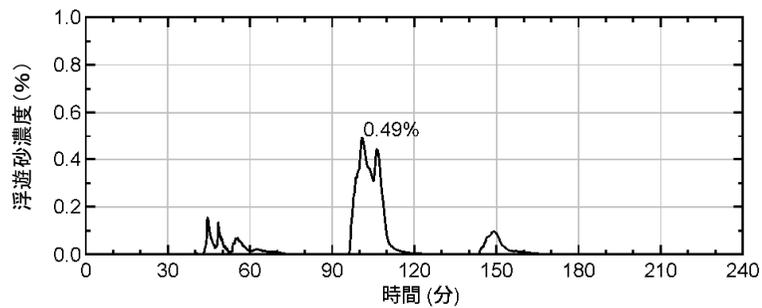
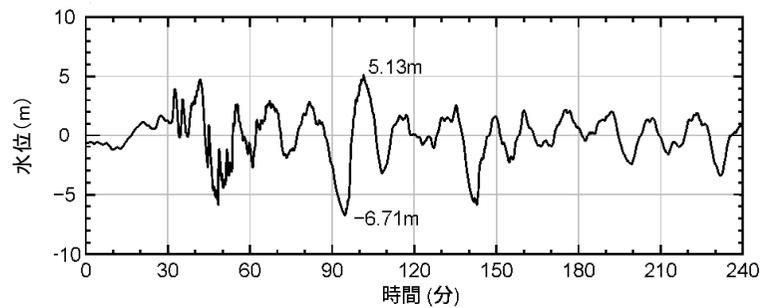


4. 海底地形変化の評価結果

4.2 基準津波(水位下降側1)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側1	高橋ほか(1999)	1%	無	0.17m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

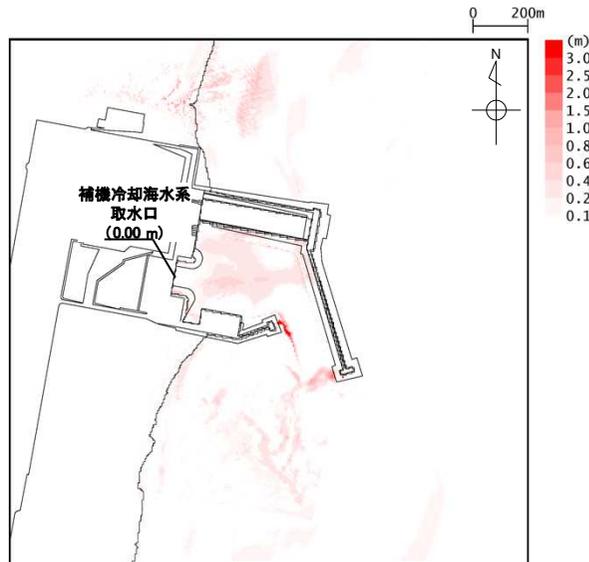


4. 海底地形変化の評価結果

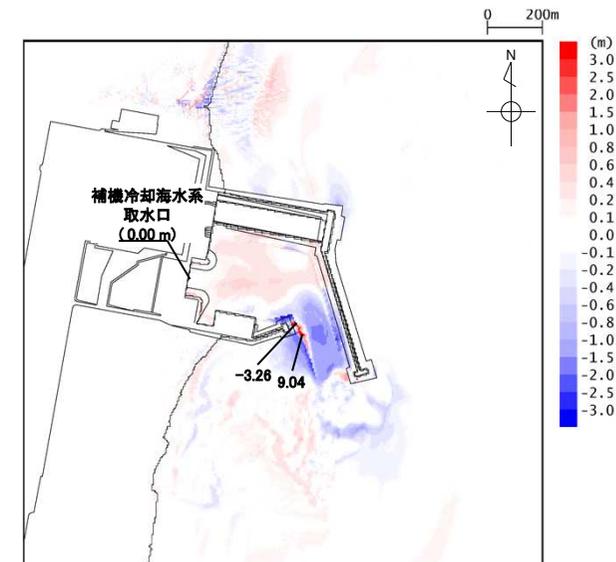
4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	1%	有	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



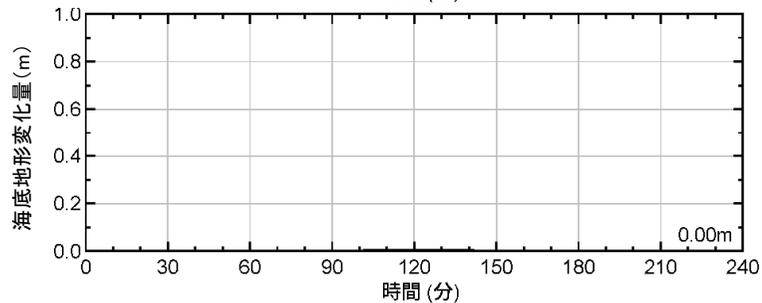
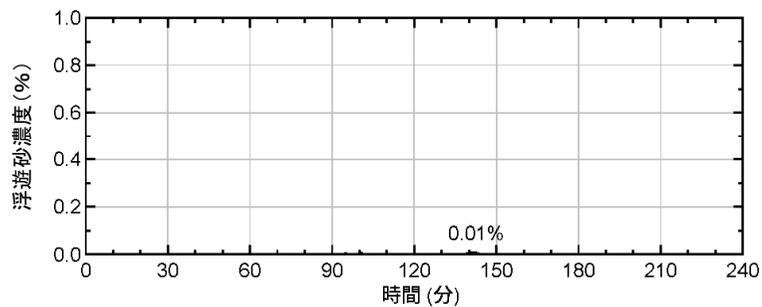
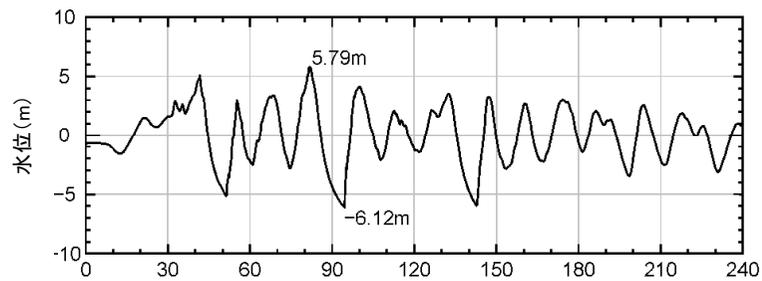
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	1%	有	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

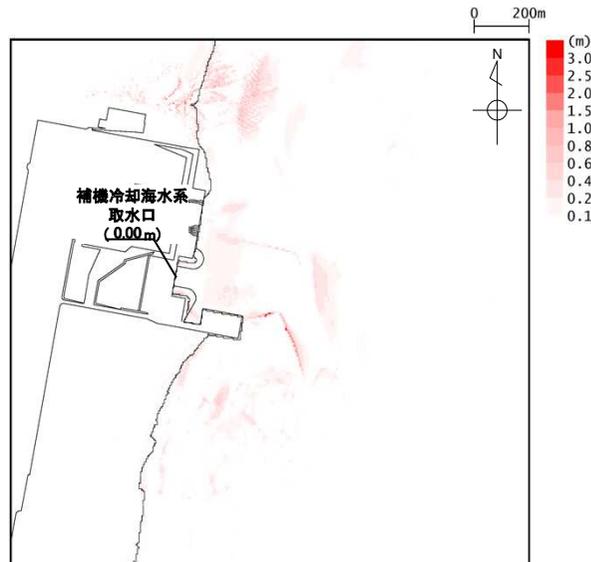


4. 海底地形変化の評価結果

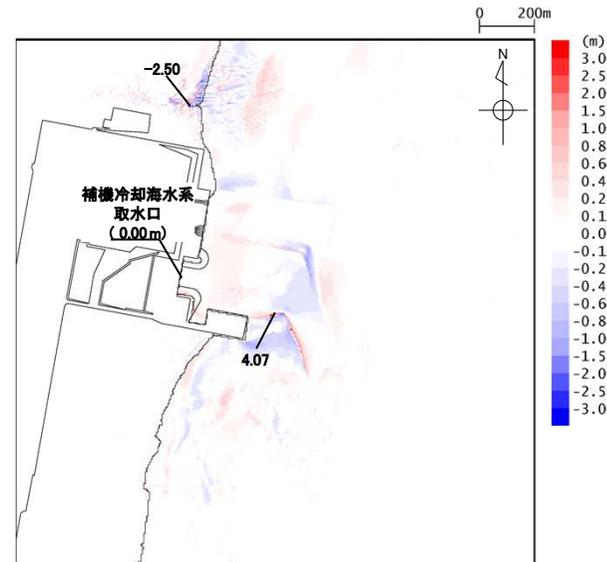
4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



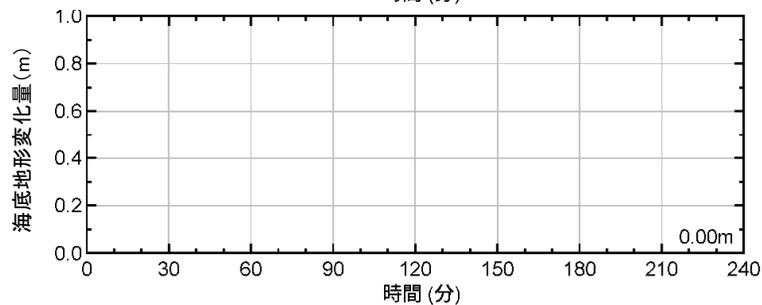
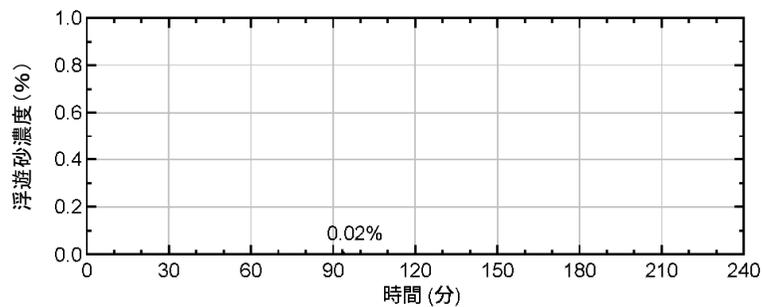
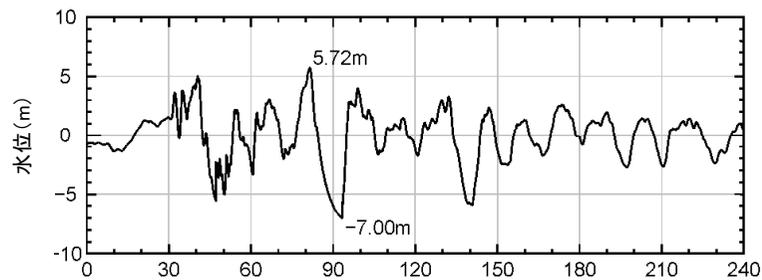
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

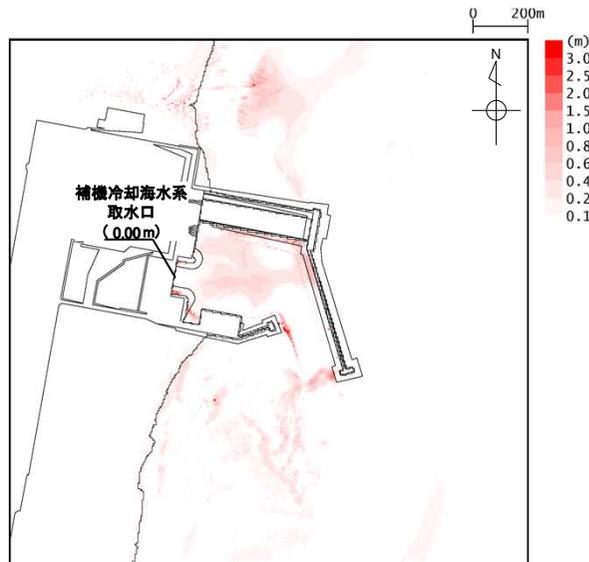


4. 海底地形変化の評価結果

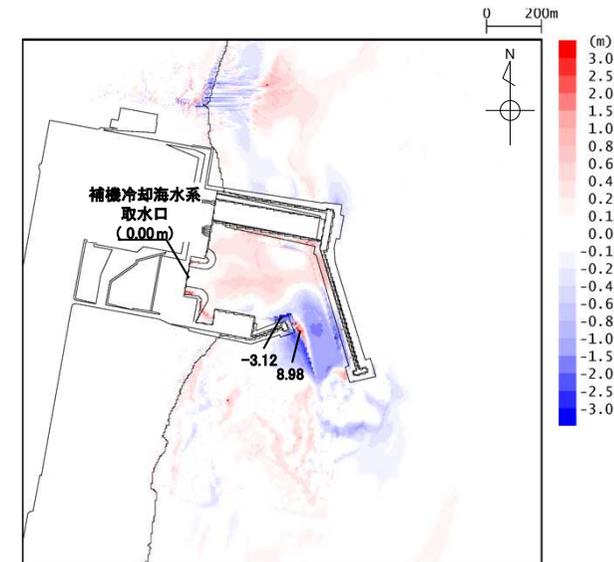
4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	5%	有	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



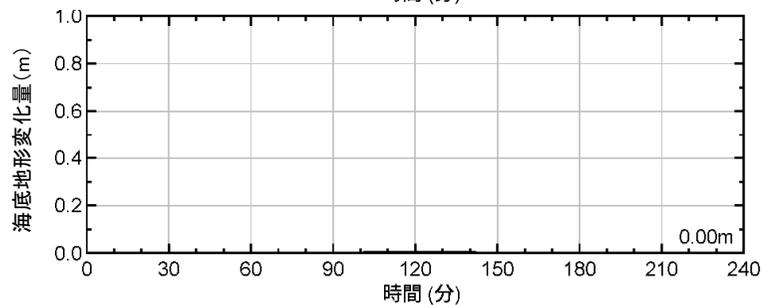
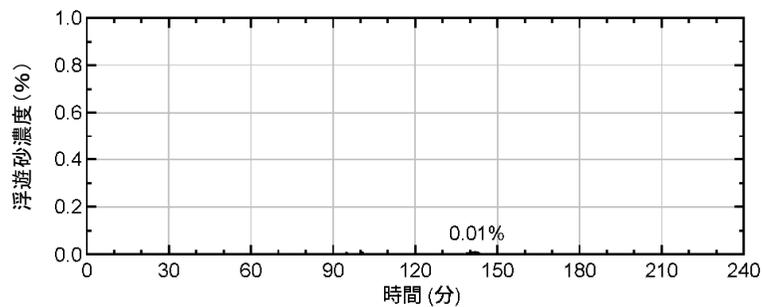
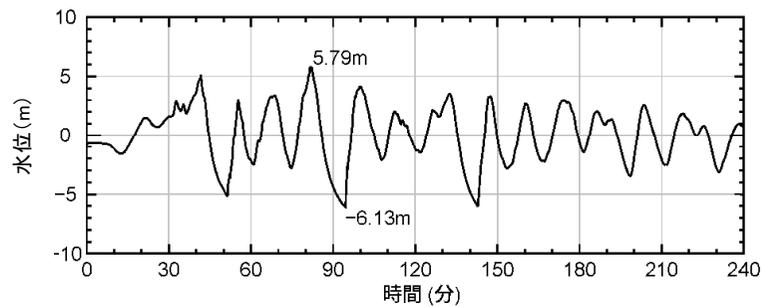
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	5%	有	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

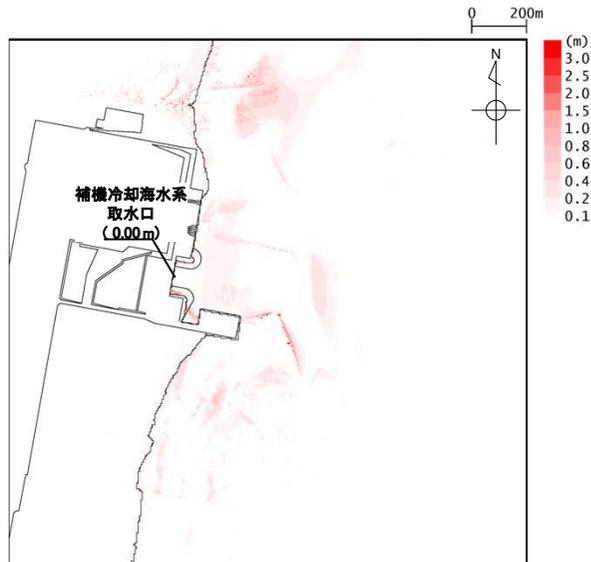


4. 海底地形変化の評価結果

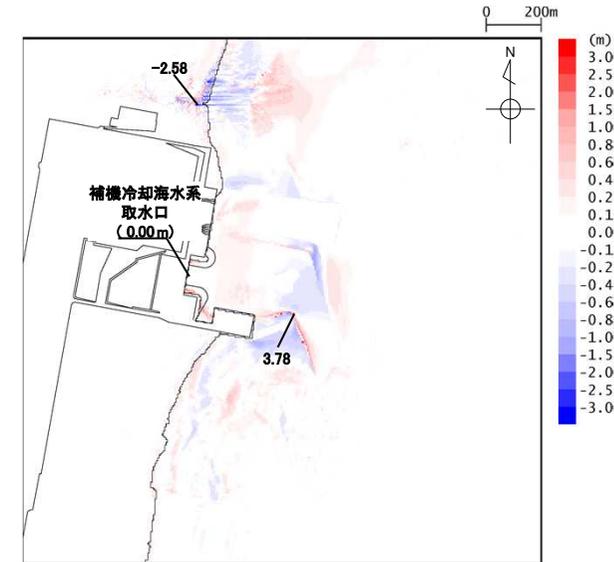
4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



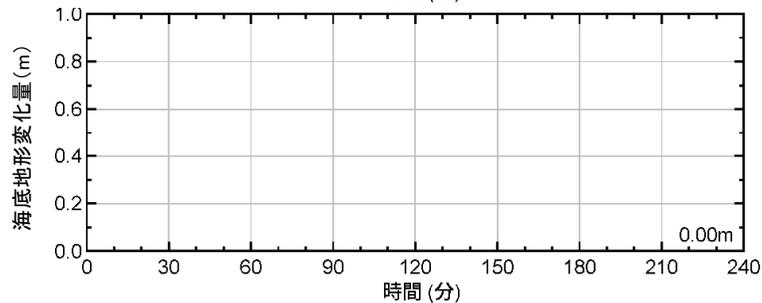
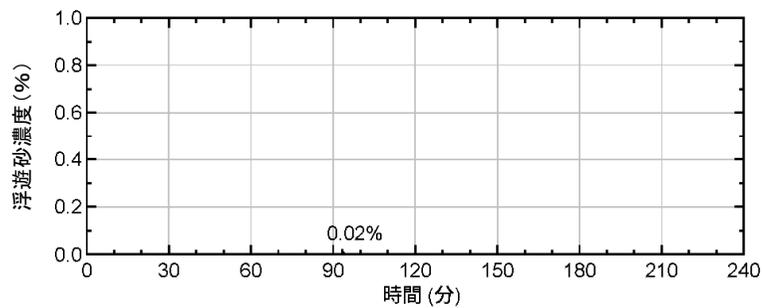
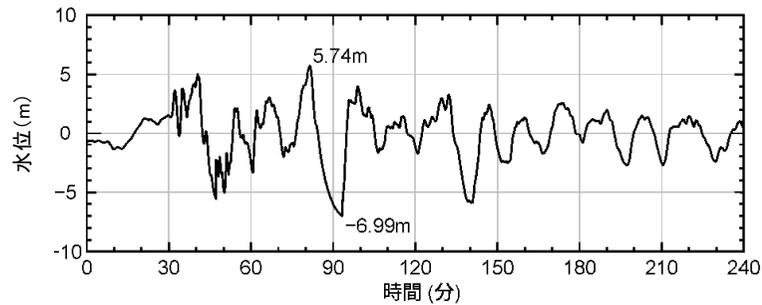
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

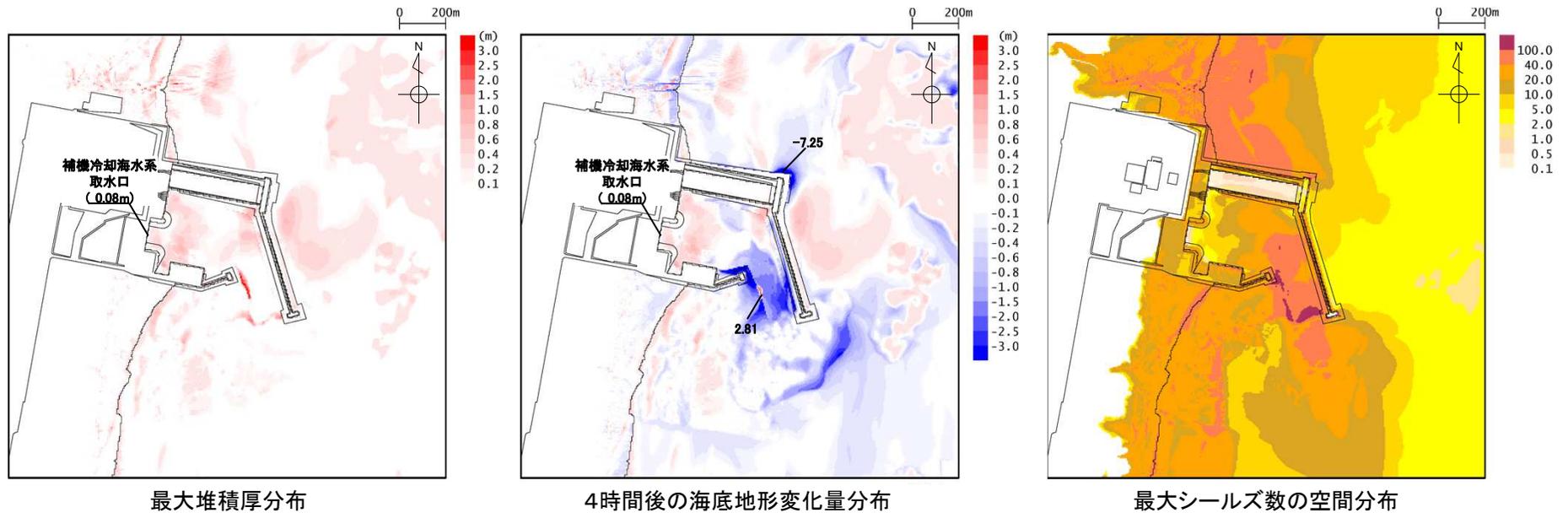


4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	高橋ほか(1999)	1%	有	0.08m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

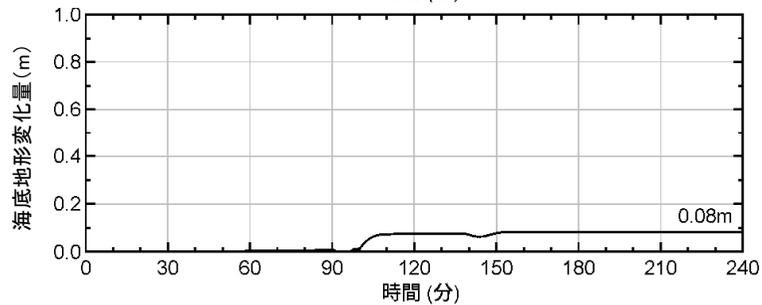
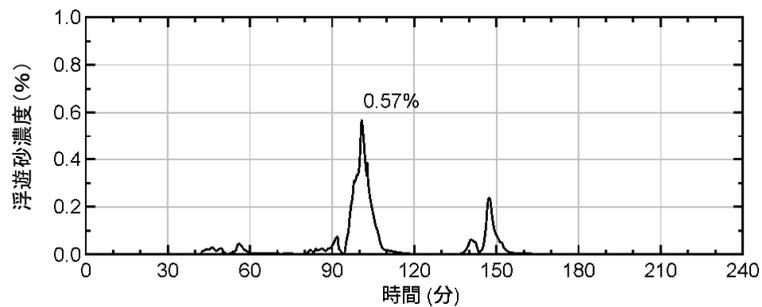
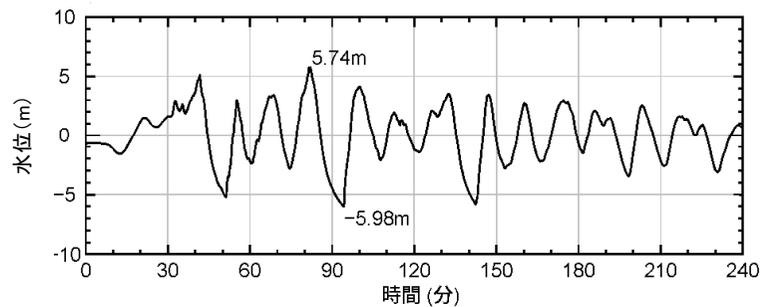


4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	高橋ほか(1999)	1%	有	0.08m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

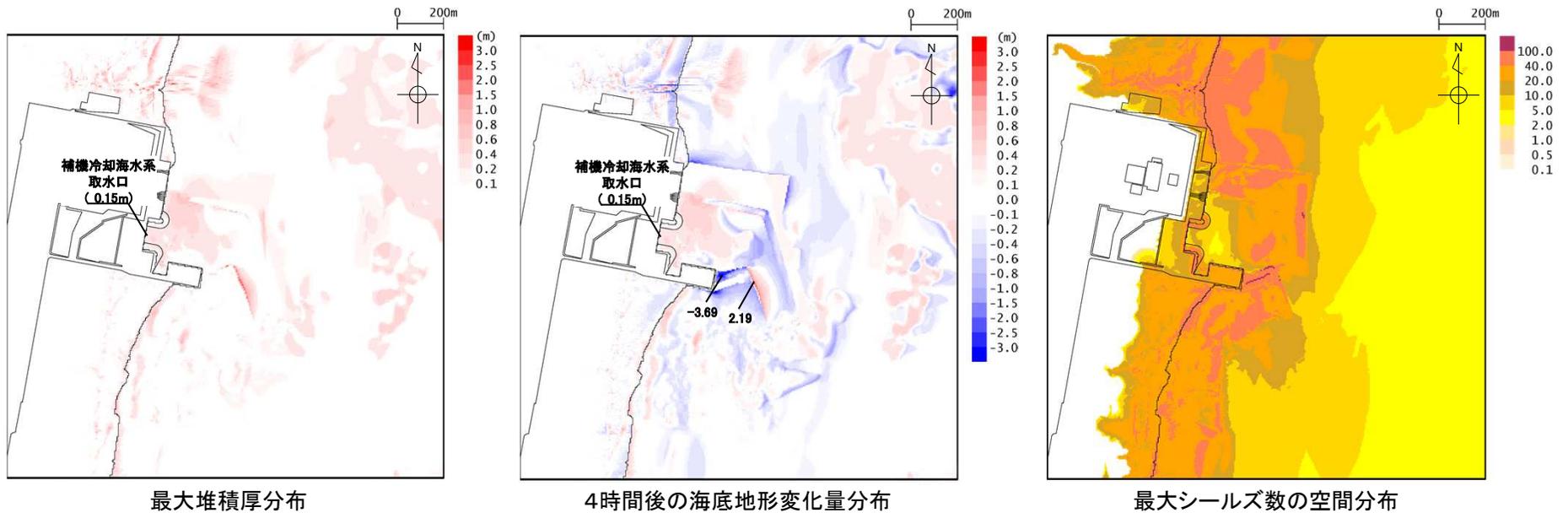


4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	高橋ほか(1999)	1%	無	0.15m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

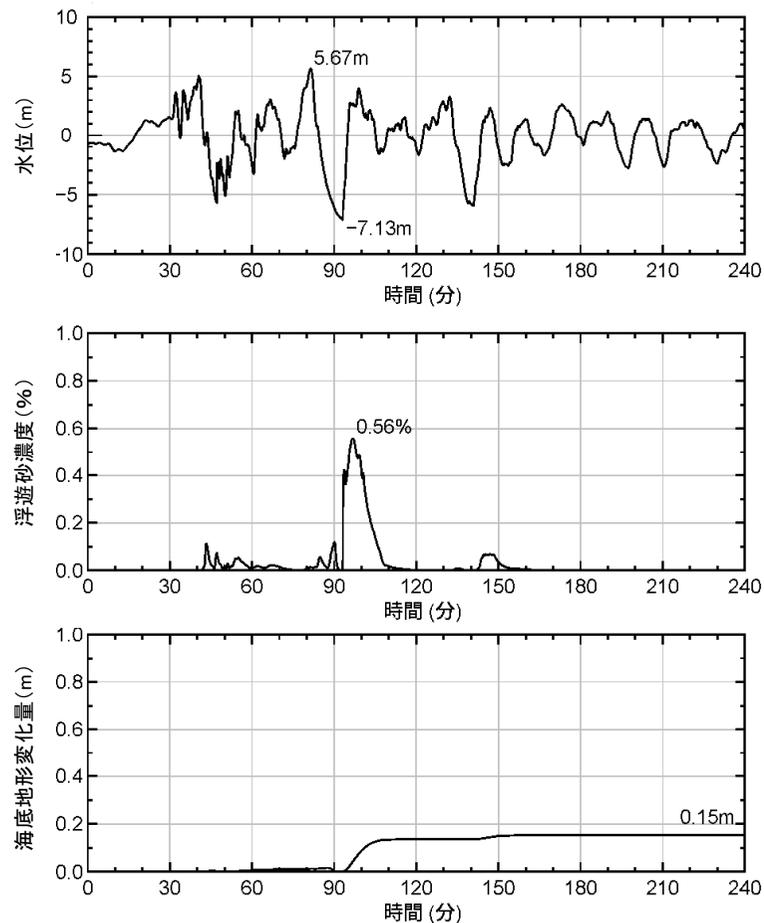


4. 海底地形変化の評価結果

4.3 基準津波(水位下降側2)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側2	高橋ほか(1999)	1%	無	0.15m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

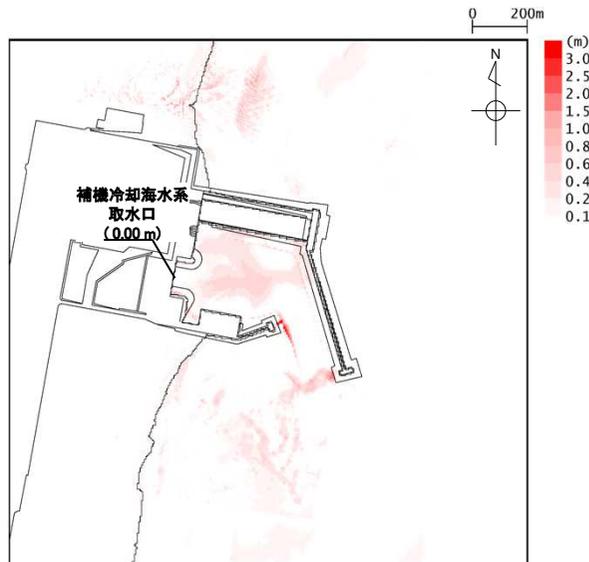


4. 海底地形変化の評価結果

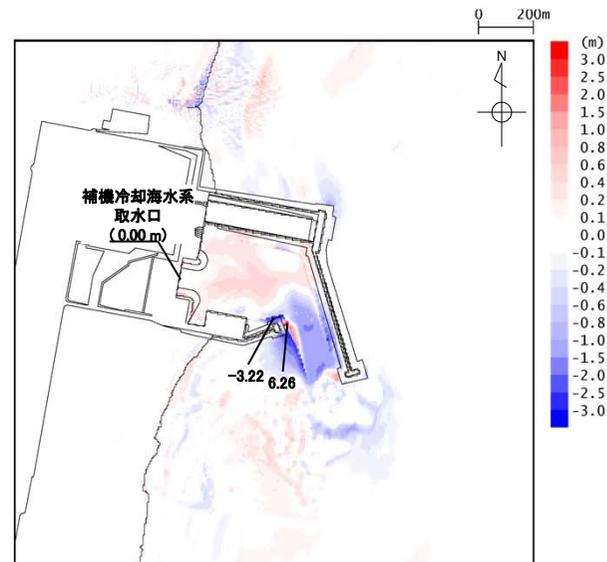
4. 4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	1%	有	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



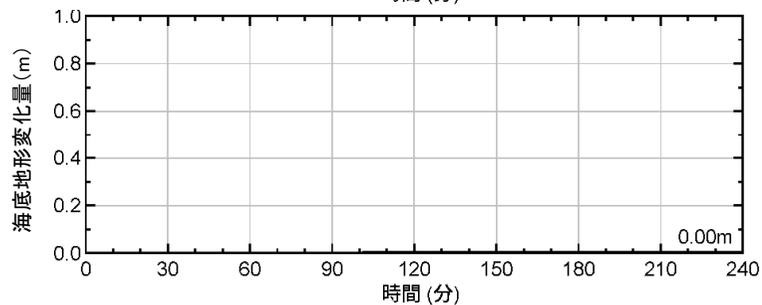
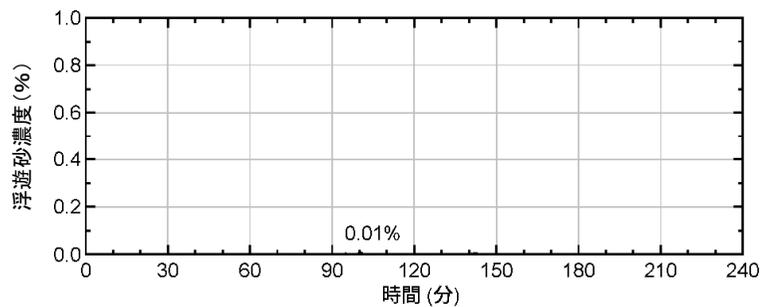
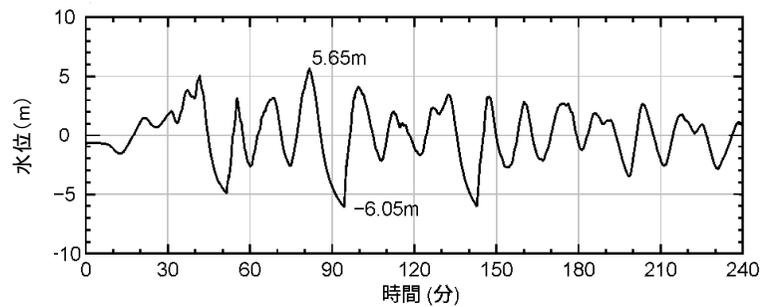
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4. 4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	1%	有	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

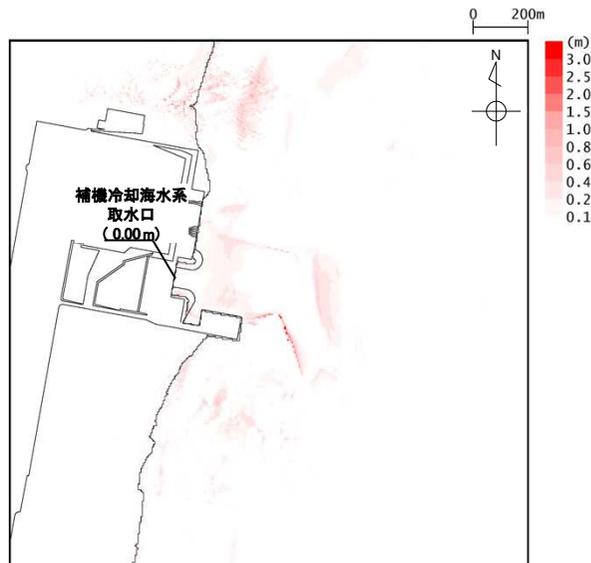


4. 海底地形変化の評価結果

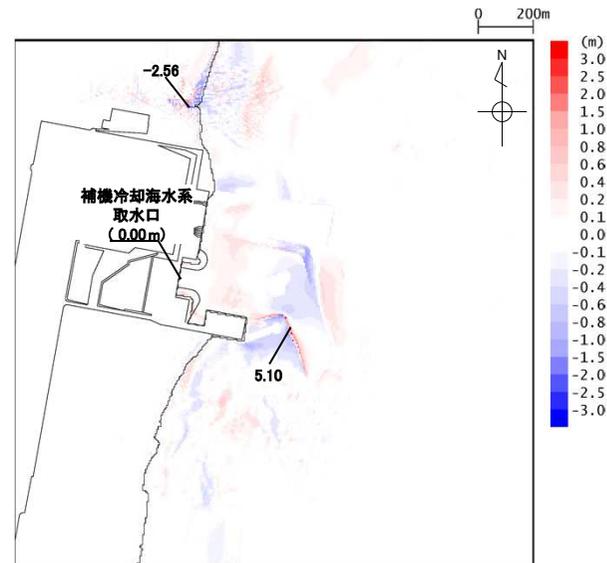
4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



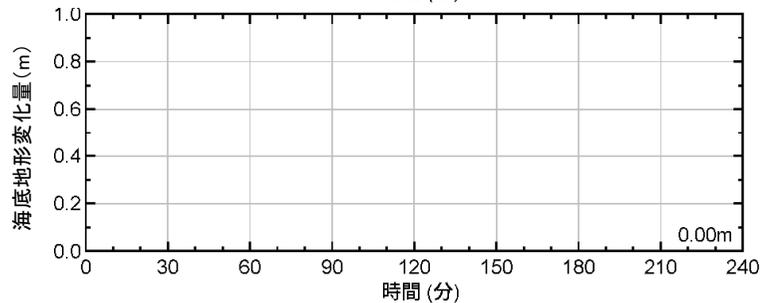
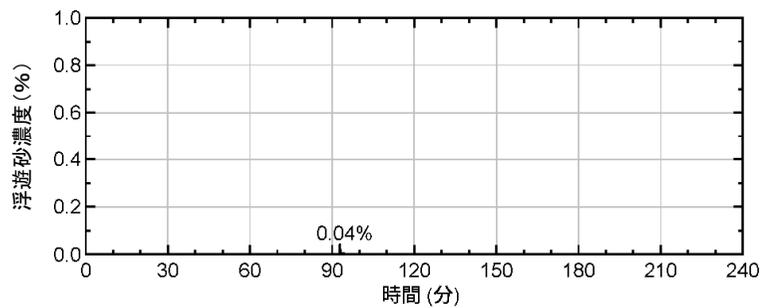
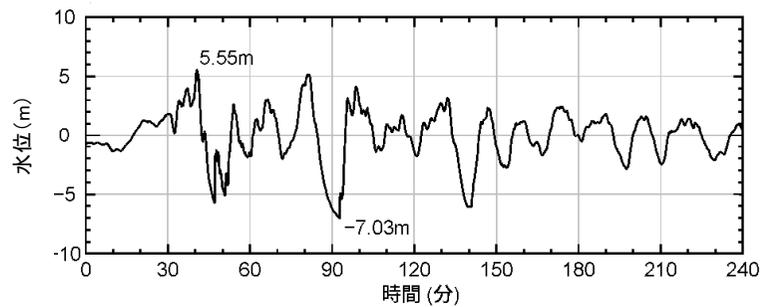
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	1%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

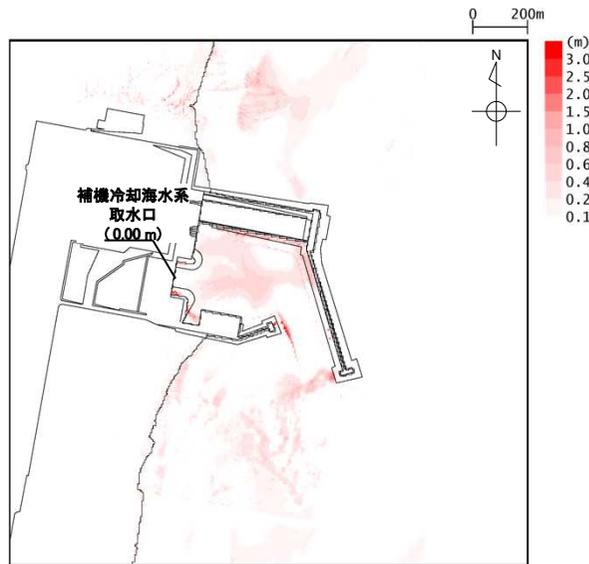


4. 海底地形変化の評価結果

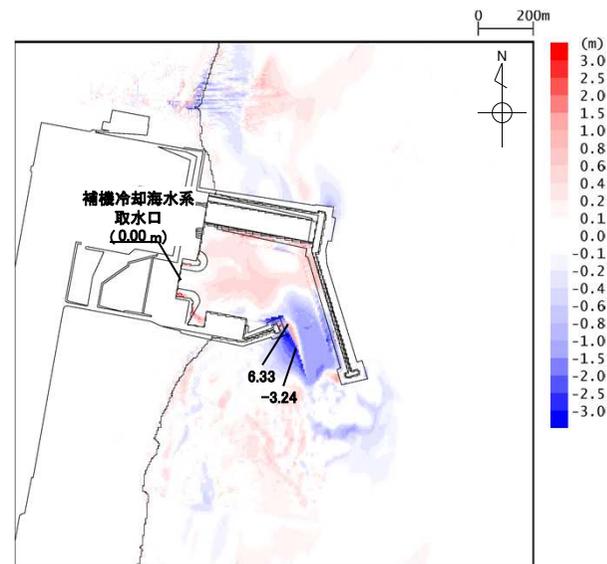
4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	5%	有	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



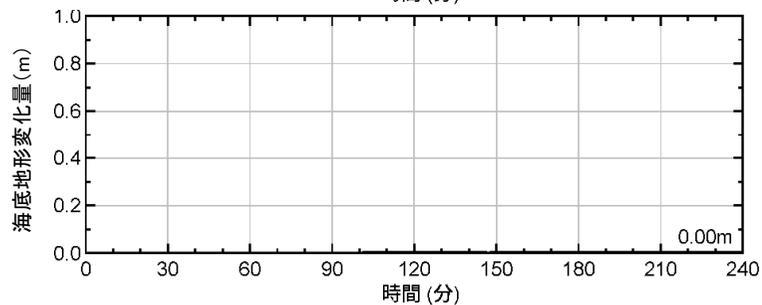
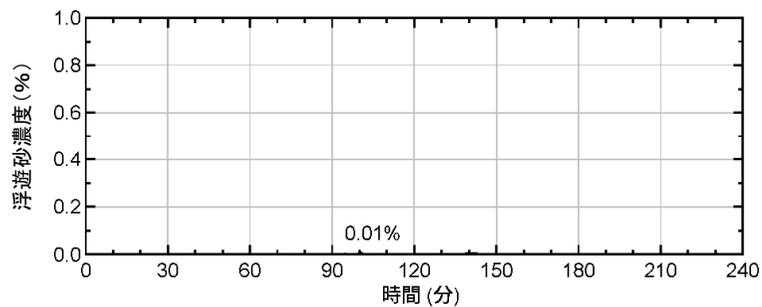
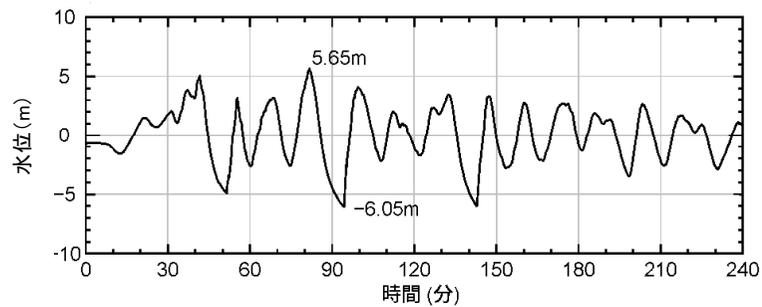
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	5%	有	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

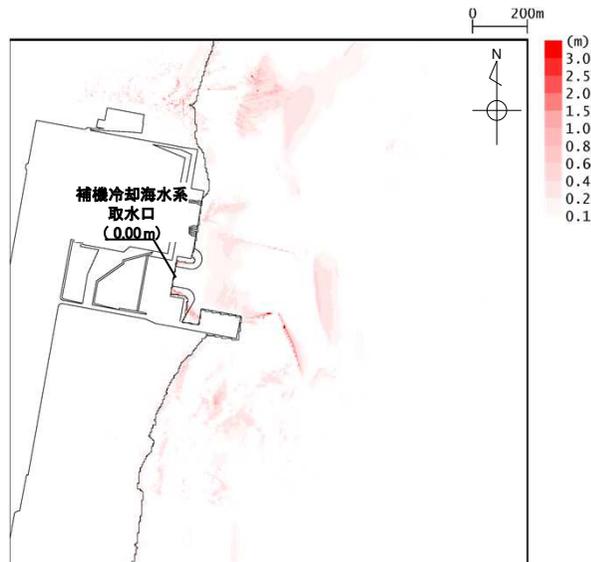


4. 海底地形変化の評価結果

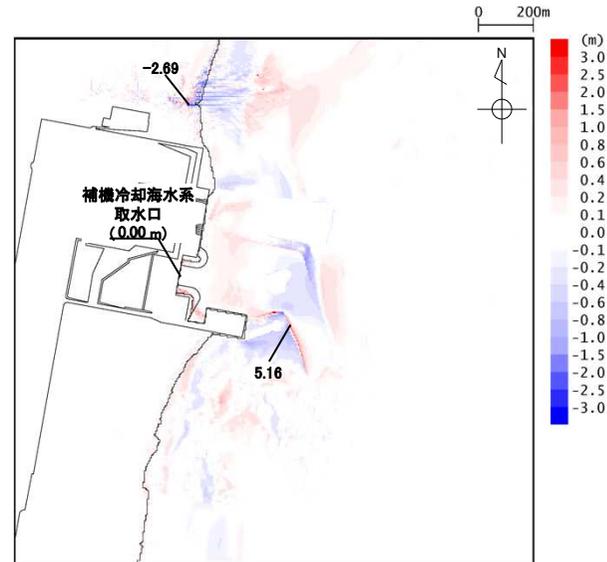
4. 4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布



最大堆積厚分布



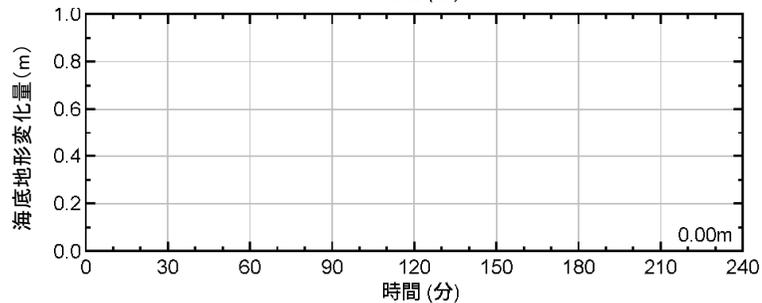
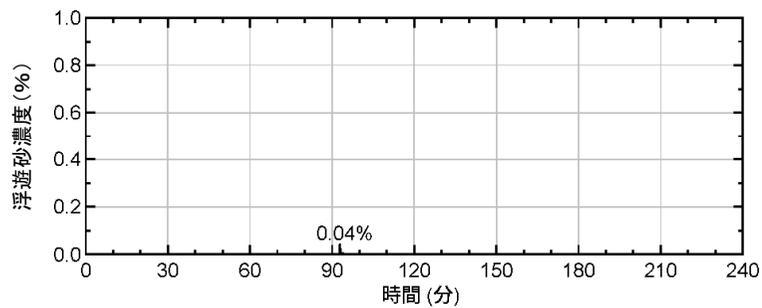
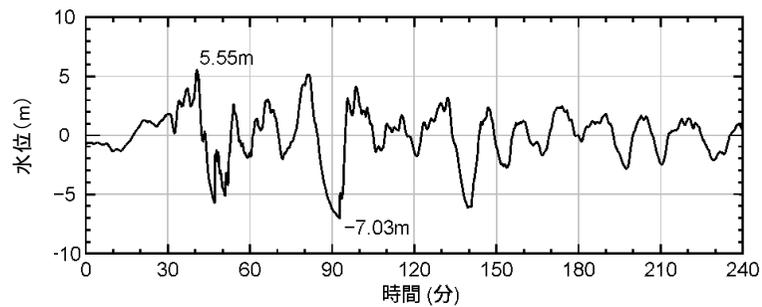
4時間後の海底地形変化量分布

4. 海底地形変化の評価結果

4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	藤井ほか(1998)	5%	無	0.00m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

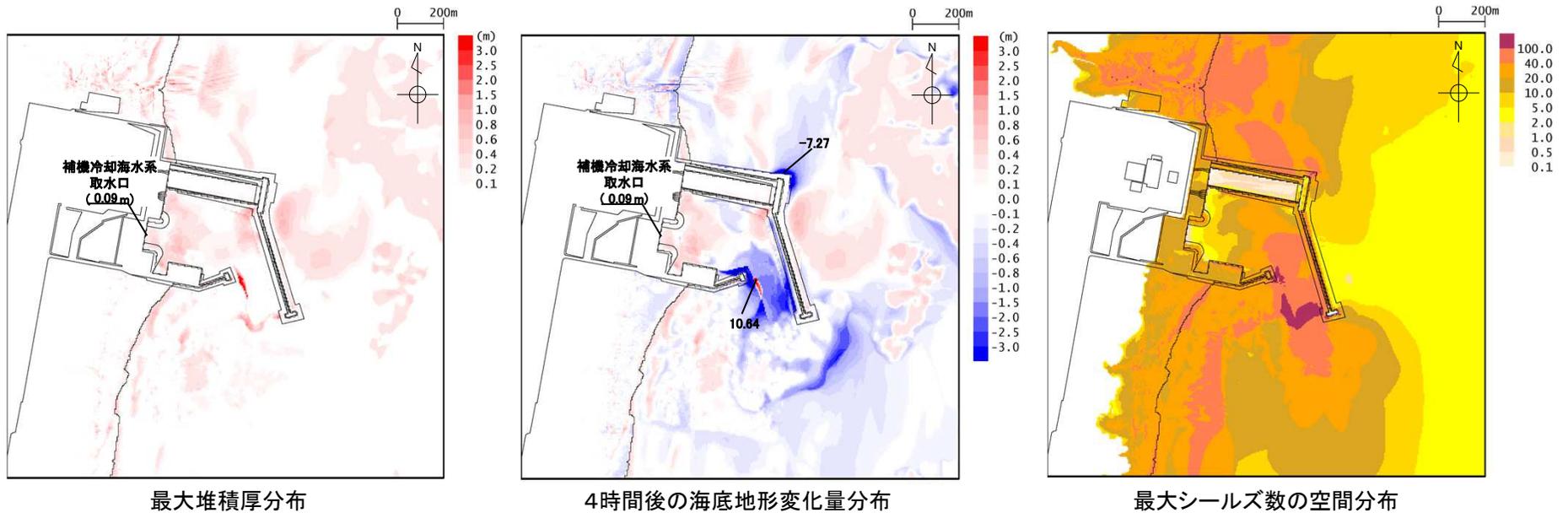


4. 海底地形変化の評価結果

4. 4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	高橋ほか(1999)	1%	有	0.09m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

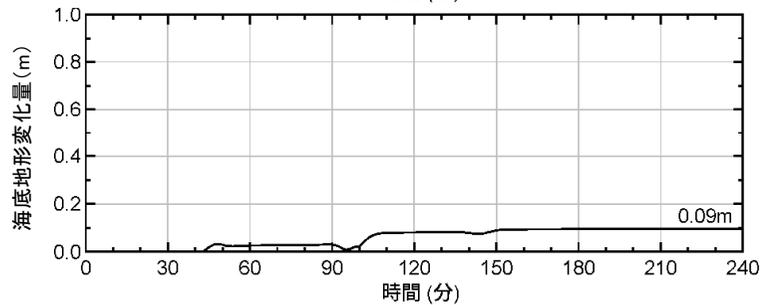
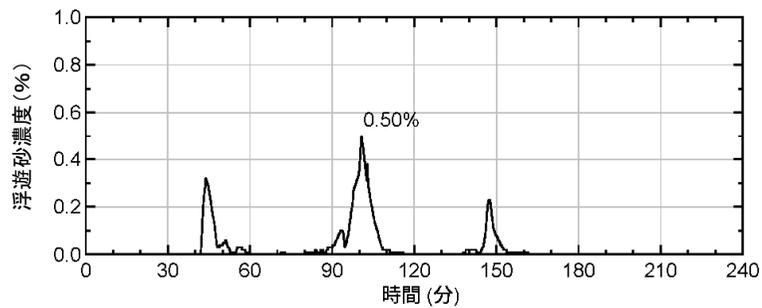
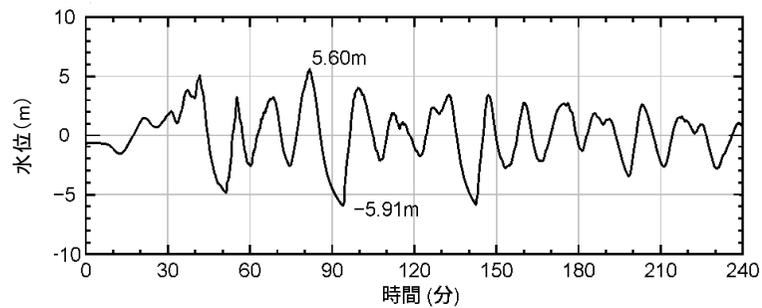


4. 海底地形変化の評価結果

4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	高橋ほか(1999)	1%	有	0.09m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

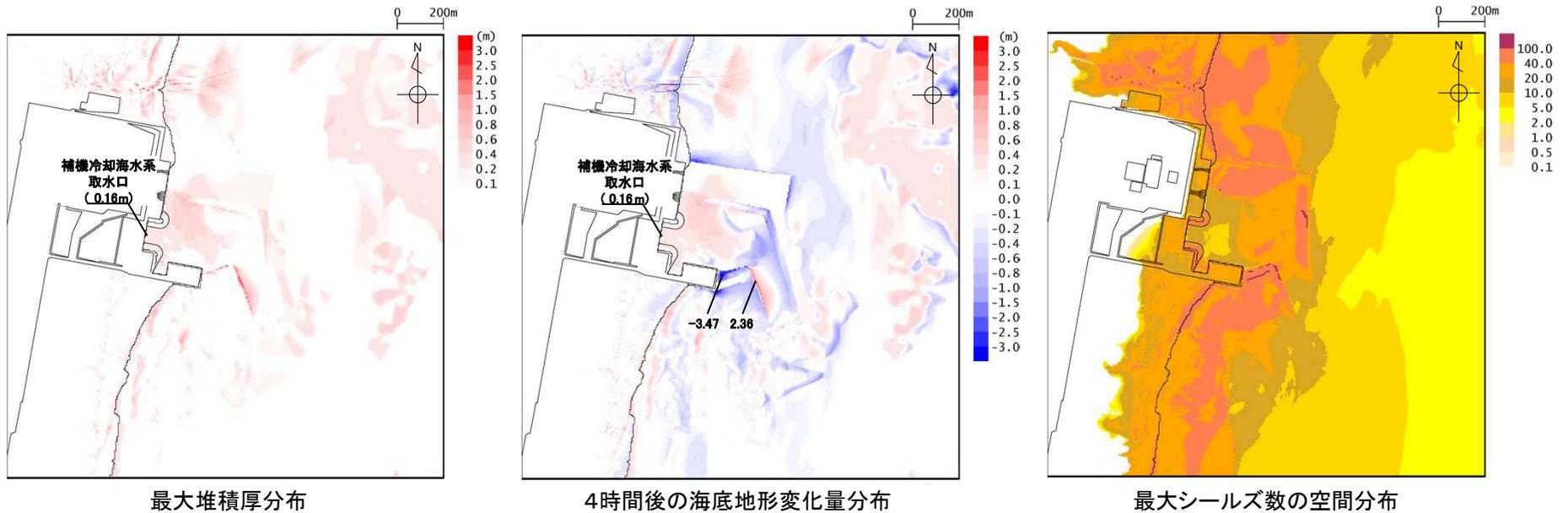


4. 海底地形変化の評価結果

4. 4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	高橋ほか(1999)	1%	無	0.16m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

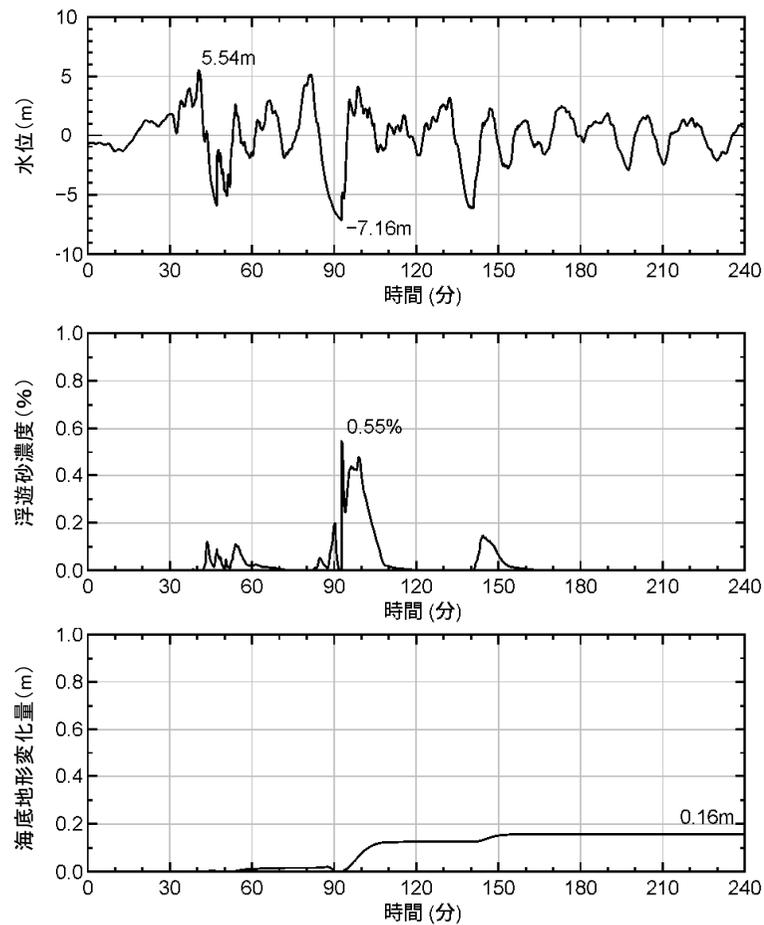


4. 海底地形変化の評価結果

4.4 基準津波(水位下降側3)

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
水位下降側3	高橋ほか(1999)	1%	無	0.16m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ



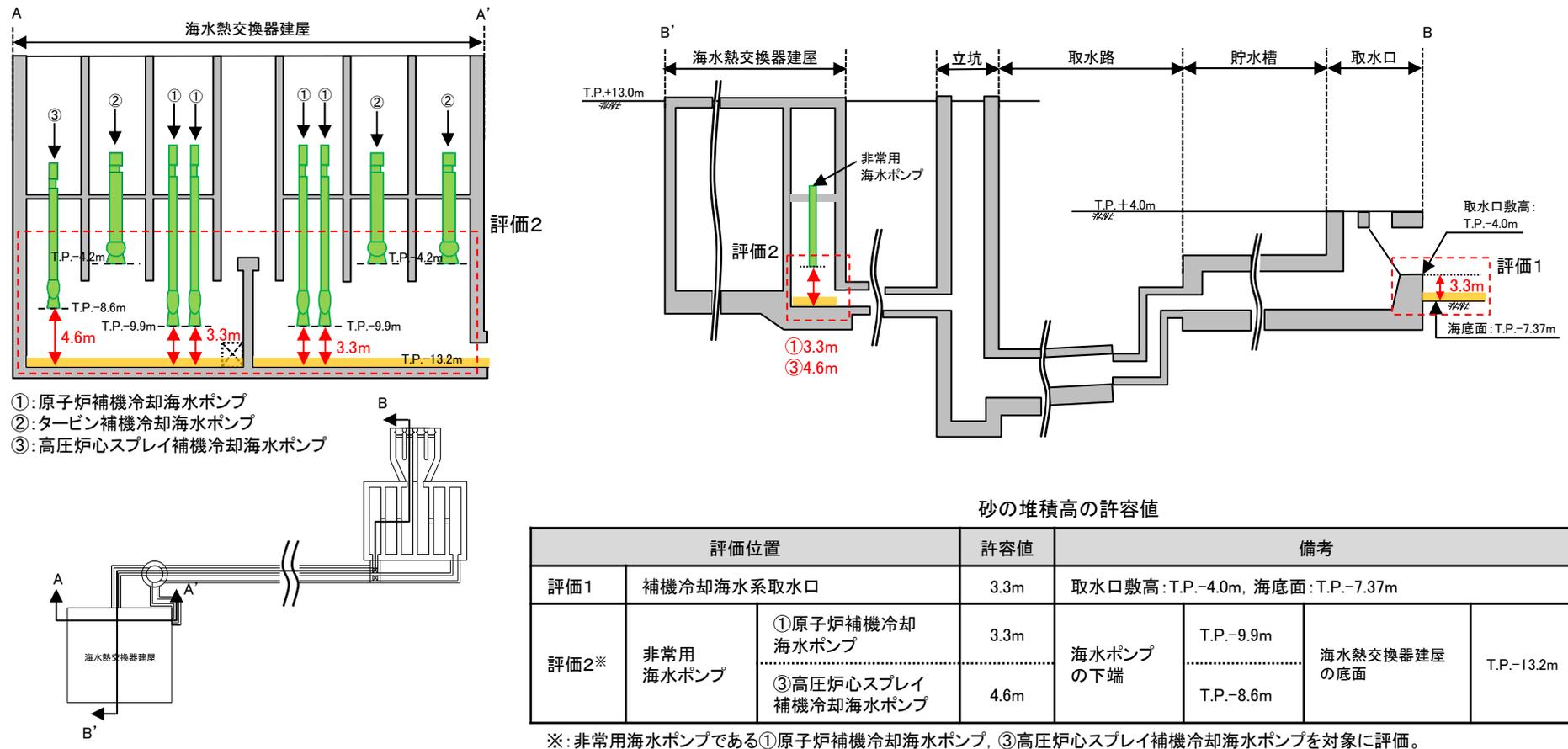
5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

- 5. 1 評価方針
- 5. 2 浮遊砂濃度上限値の設定
- 5. 3 海底地形変化
- 5. 4 海水熱交換器建屋内における砂の堆積
- 5. 5 まとめ

5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.1 評価方針

- 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)(下図:評価1)及び海水熱交換器建屋内における砂の堆積高(下図:評価2)を評価した。
- 浮遊砂濃度上限値3%の設定根拠を次頁に示す。



5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.2 浮遊砂濃度上限値の設定

- 高橋ほか(1999)の砂移動評価に関する文献調査, 並びに女川原子力発電所における3.11地震津波による砂移動の再現解析結果を踏まえ, 浮遊砂濃度上限値1%を基本とし, 各検証箇所(各検証津波)(下表)を再現する浮遊砂濃度上限値を上回る3%を影響評価用の設定値とした。

■文献調査(本資料p24再掲)

- ✓ 上限値5%の検証結果から, 浮遊砂濃度上限値5%は過大評価になると考えられる。
- ✓ 上限値1%の検証結果から, 浮遊砂濃度上限値1%は妥当な設定値であると考えられる。

文献調査結果

検証箇所 (検証津波)	文献	計算使用 砂粒径	計算格子 間隔	浮遊砂濃度 上限値	浮遊砂濃度上限値に関する評価
気仙沼湾 (1960年チリ津波)	玉田ほか (2009)	0.001~ 1mm	25m, 5m	1%, 5%	・ 計算格子間隔5mの場合, 浮遊砂濃度上限値5%は実績値より浸食深を過大に評価。
八戸港 (1960年チリ津波)	藤田ほか (2010)	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・ 浮遊砂濃度上限値5%は過大に評価。 ・ 浮遊砂濃度上限値1%, 2%の場合の再現性が良好。
宮古湾 (3.11地震津波)	近藤ほか (2012)	0.08mm	10m	1%	・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致。 ・ 防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良く一致。
気仙沼湾 (3.11地震津波)	森下・ 高橋(2014)	0.3mm	10m	1% 可変※	・ 砂移動評価に影響を及ぼす因子として, 無次元掃流力, 流砂量式係数, 飽和浮遊砂濃度の3つを抽出。 ・ 上記3つの因子を同時に変えたモデルにより, 再現性が向上する可能性を示唆。 ・ 飽和浮遊砂濃度については, 摩擦速度の関数とすることで再現性の向上に繋がることを示唆。

※: 試行的に $C_{sat} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$ と規定(C_{sat} : 飽和浮遊砂濃度, U, V : 断面平均流速(m/s), $\alpha=0.01$)。

5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

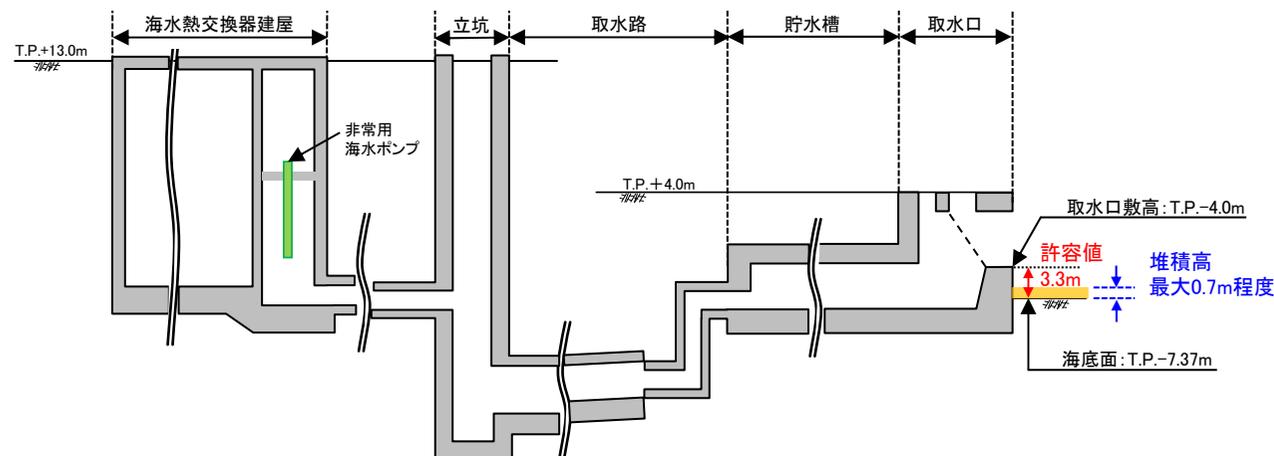
5.3 海底地形変化:評価結果

- ・ 補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高は最大で0.7m程度であり, 取水口高さを上回らない。
- ・ 以上から, 非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。
- ・ 防波堤有り, 無し条件の最大ケースの最大堆積厚分布, 補機冷却海水系取水口前面における海底地形変化量の時刻歴データを次頁以降に示す。

下線:最大ケース

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)		許容値(m)
			防波堤有り	防波堤無し	
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	3%	<u>0.69</u>	0.43	3.3*
基準津波 (水位下降側1)	高橋ほか(1999)	3%	0.32	0.39	
基準津波 (水位下降側2)	高橋ほか(1999)	3%	0.49	0.46	
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	3%	0.50	<u>0.47</u>	

※:取水口敷高T.P.-4.0m, 海底面T.P.-7.37m



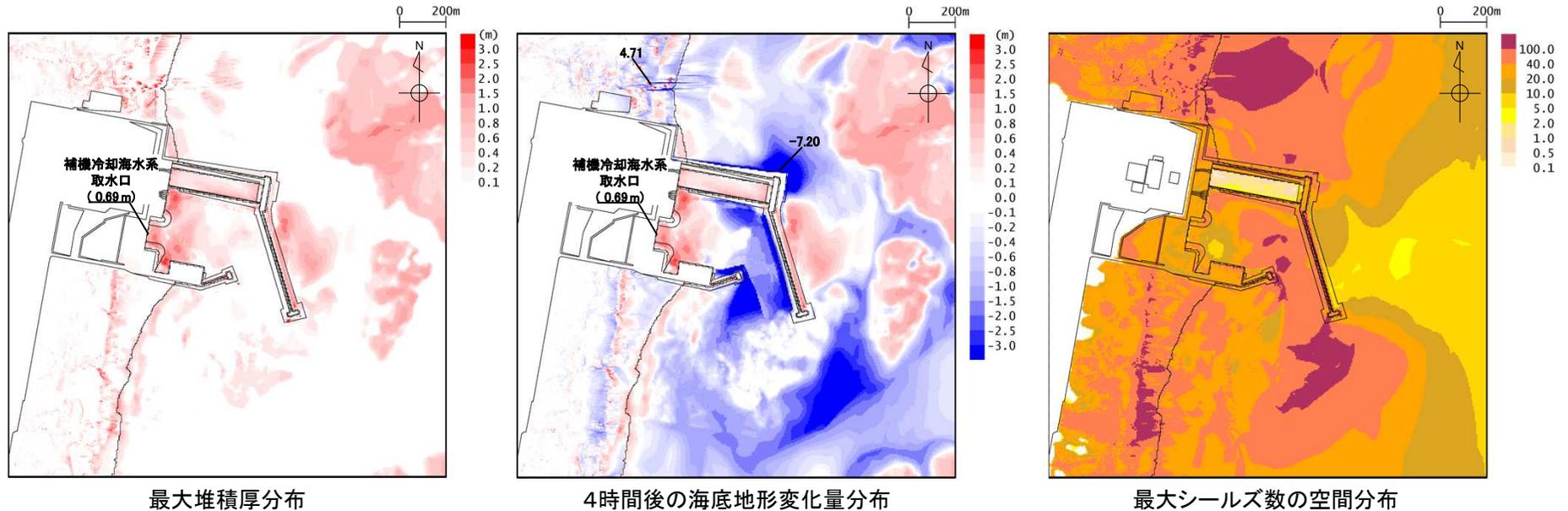
評価内容と非常用取水設備(概要)の関係

5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.3 海底地形変化:評価結果 防波堤有り最大ケース [基準津波(水位上昇側)]

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	3%	有	0.69m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

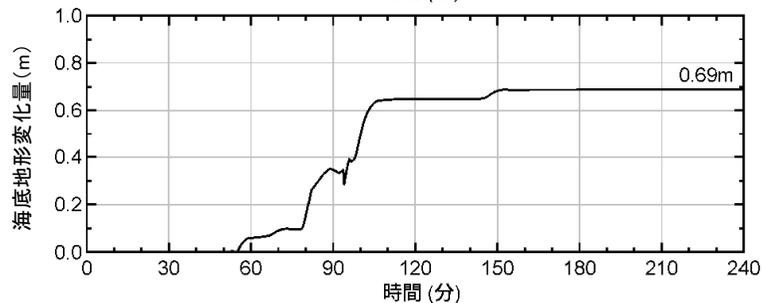
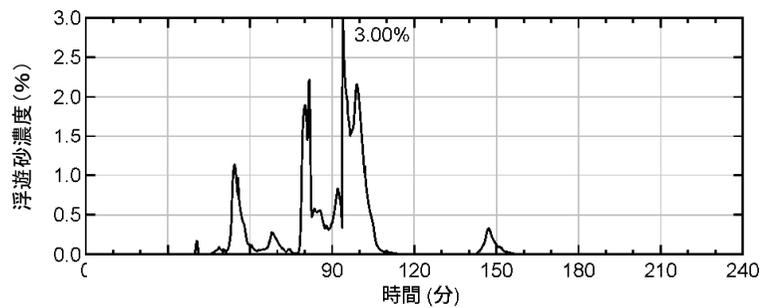
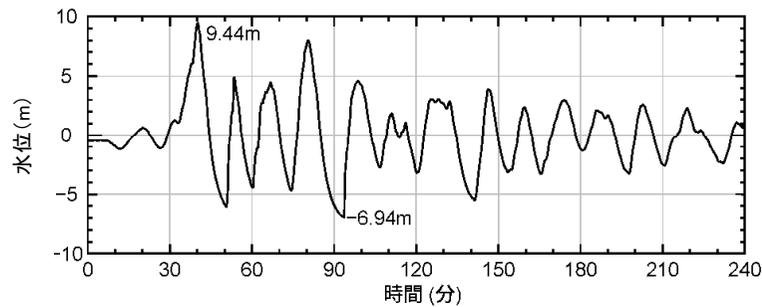


5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.3 海底地形変化:評価結果 防波堤有り最大ケース [基準津波(水位上昇側)]

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	3%	有	0.69m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

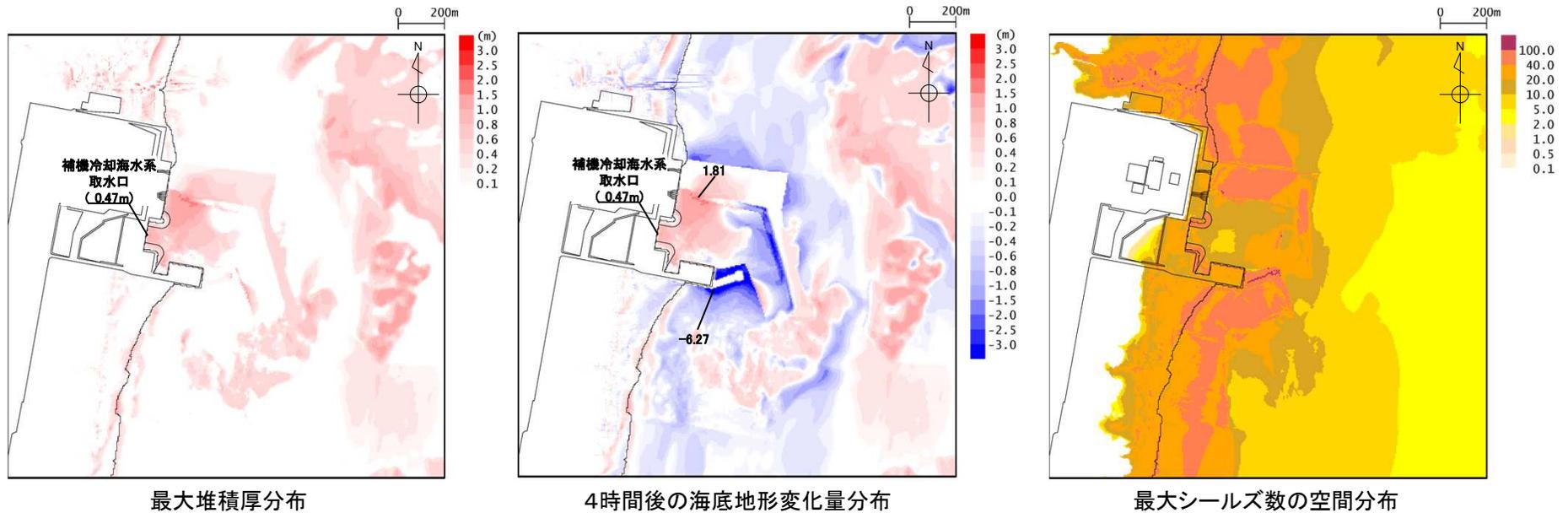


5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.3 海底地形変化: 評価結果 防波堤無し最大ケース [基準津波(水位下降側3)]

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	3%	無	0.47m

■最大堆積厚分布, 4時間後の海底地形変化量分布, 最大シールズ数の空間分布

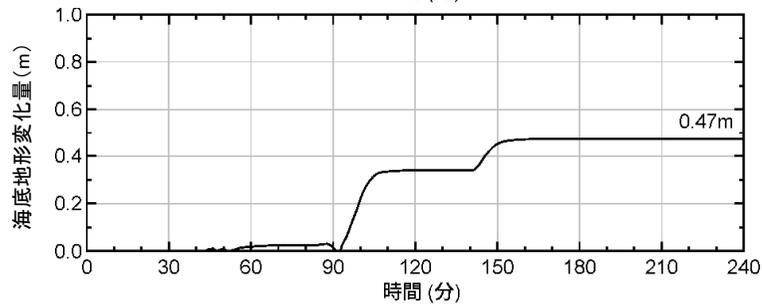
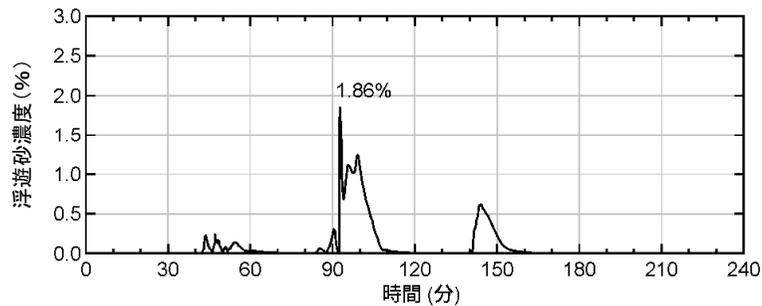
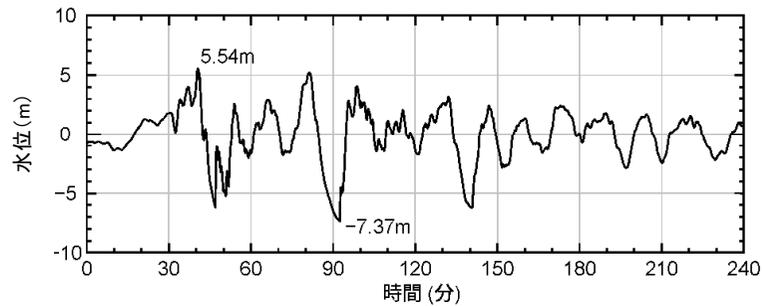


5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.3 海底地形変化:評価結果 防波堤無し最大ケース [基準津波(水位下降側3)]

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度上限値	防波堤	補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高(m)
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	3%	無	0.47m

■補機冷却海水系取水口前面における水位, 浮遊砂濃度, 海底地形変化量の時刻歴データ

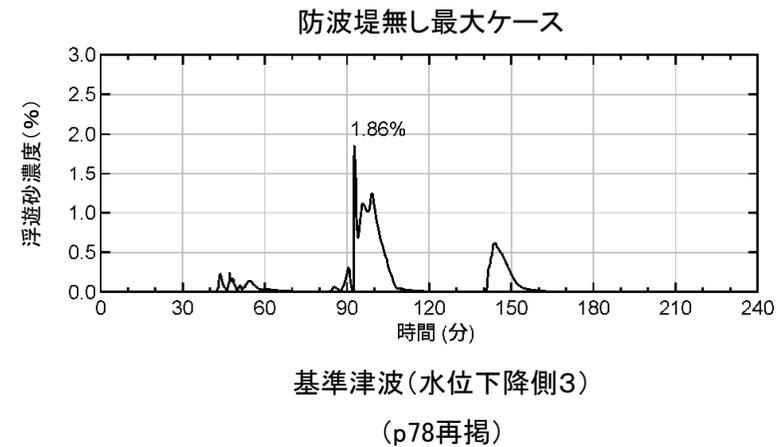
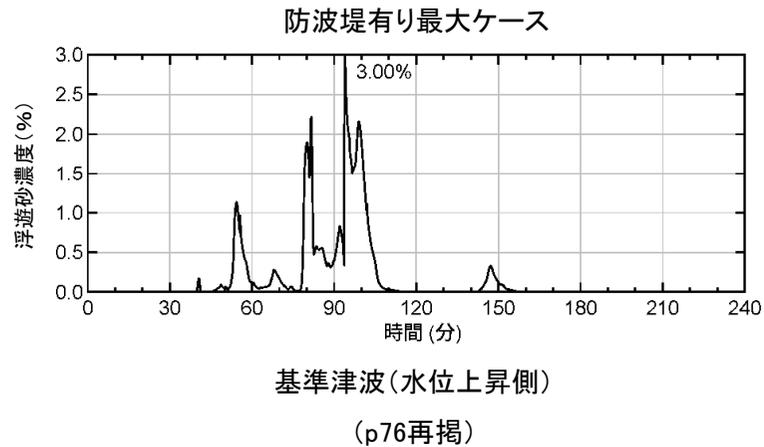


5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.4 海水熱交換器建屋内における砂の堆積: 検討方法

- ・ 海底地形変化の評価(評価1)から得られる補機冷却海水系取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、高橋ほか(1999)の手法を用いて砂移動解析を実施し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高を算定した。
- ・ 取水設備の水理特性を考慮した一次元水位変動解析及び砂の堆積高の算定方法は、浮遊砂濃度上限値1%の評価(本資料p37, p40)と同様である。

■補機冷却海水系取水口前面における浮遊砂濃度の時系列データ



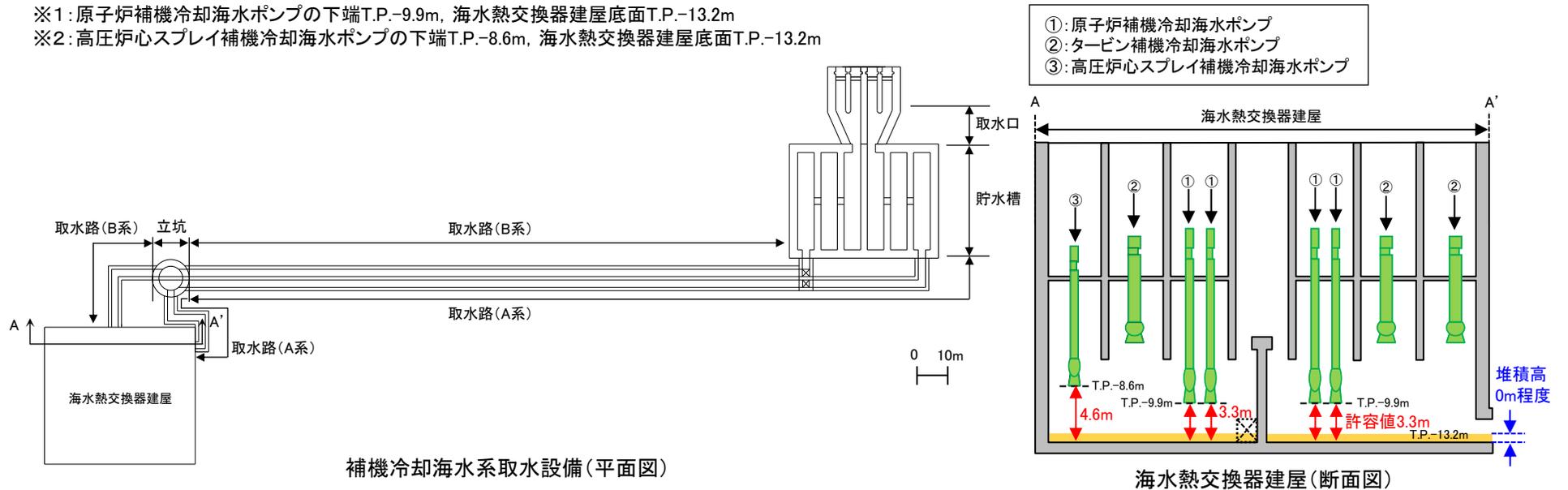
5.4 海水熱交換器建屋内における砂の堆積: 評価結果

- 各非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高は0m程度であり、各非常用海水ポンプの下端に到達しないことを確認した。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響は無いことを確認した。

評価結果

基準津波	評価手法	浮遊砂濃度 上限値	防波堤	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	
				砂の堆積高(m)	許容値(m)	砂の堆積高(m)	許容値(m)
基準津波 (水位上昇側)	高橋ほか(1999)	3%	有り	0.00	3.3m ^{※1}	0.00	4.6m ^{※2}
			無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側1)	高橋ほか(1999)	3%	有り	0.00		0.00	
			無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側2)	高橋ほか(1999)	3%	有り	0.00		0.00	
			無し	0.00		0.00	
基準津波 (水位下降側3)	高橋ほか(1999)	3%	有り	0.00		0.00	
			無し	0.00		0.00	

※1: 原子炉補機冷却海水ポンプの下端T.P.-9.9m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m
 ※2: 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの下端T.P.-8.6m, 海水熱交換器建屋底面T.P.-13.2m



5. 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

5.5 まとめ

- ・ 高橋ほか(1999)の手法における浮遊砂濃度上限値を3%とした場合の非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響を確認するため、基準津波に伴う砂移動(海底地形変化)及び海水熱交換器建屋内における砂の堆積高を算定した。
- ・ 検討の結果、補機冷却海水系取水口前面における砂の堆積高は取水口高さを上回らないこと(評価1)、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積高は各非常用海水ポンプの下端に到達しないこと(評価2)を確認した。
- ・ 以上から、浮遊砂濃度上限値を3%にした場合でも、非常用海水ポンプの取水に及ぼす影響は無いことを確認した。

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. 東北電力株式会社(2011):女川原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告書, 2011年7月
4. 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
5. 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999):掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610
6. 高橋智幸(2012):津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題, 堆積学研究, 第71巻, 第2号, pp.149-155
7. 高橋智幸・黒川貴博・藤田将孝・島田広昭(2011):津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I_231-I_235
8. 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998):津波による海底地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.376-380
9. 玉田崇・田村保・高橋智幸・佐々木元(2009):河川での津波防災検討における津波移動床モデルの適用性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.301-305
10. 藤田尚毅・稲垣和男・藤井直樹・高尾誠・金戸俊道(2010):津波による海底地形変化評価モデルの現地適用性に関する研究, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.213-218
11. 近藤武司・森本徹・藤本典子・殿最浩司・志方建仁(2012):港湾での津波による土砂移動計算の再現性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_396-I_400
12. 森下祐・高橋智幸(2014):2011年東北地方太平洋沖地震津波襲来時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, I_491-I_495