
防護水準（外力）の設定について （高潮・波浪推算）

< 目 次 >

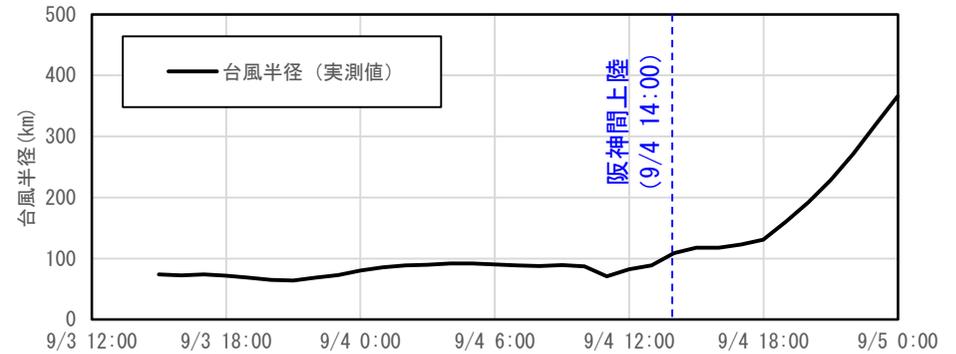
<u>1. 再現計算の実施</u>	p. 1
1. 1 再現計算の概要	p. 1
1. 2 再現計算結果	p. 2
1. 3 再現計算結果とりまとめ	p. 5
<u>2. 高潮・波浪推算の実施（計算条件）</u>	p. 6
<u>3. 現在気候における高潮・波浪推算</u>	p. 8
3. 1 台風諸元の設定	p. 8
3. 2 推算結果（検討対象擾乱の選定）	p. 10
<u>4. 将来気候における高潮・波浪推算</u>	p. 11
4. 1 将来気候下の台風諸元の設定方法	p. 11
4. 2 高潮・波浪推算結果	p. 13
<u>5. 防護水準（潮位偏差・波浪条件）の設定</u>	p. 20
5. 1 潮位偏差・沖波波浪の設定方針（案）	p. 20
5. 2 海面抵抗係数 C_d について	p. 24
<u>6. 審議事項一覧</u>	p. 26

1. 再現計算の実施

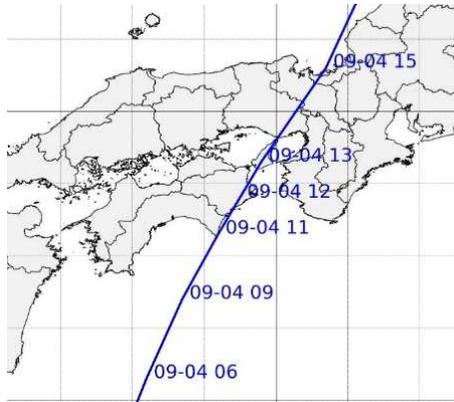
1. 1 再現計算の概要

- 再現計算は、大阪湾に甚大な被害をもたらした平成30年台風21号を対象に実施する。
- 台風パラメータとして、中心気圧や台風半径は実測値を使用し、任意性のある、**風速の換算係数Cを変化**させて検討を実施する（下表参照）。
- 波浪推算における**海面抵抗係数Cd**も各種提案式（下図参照）を用いて再現計算を実施し、**観測値の再現性を確保できる最適な値を設定**する。

【台風半径】



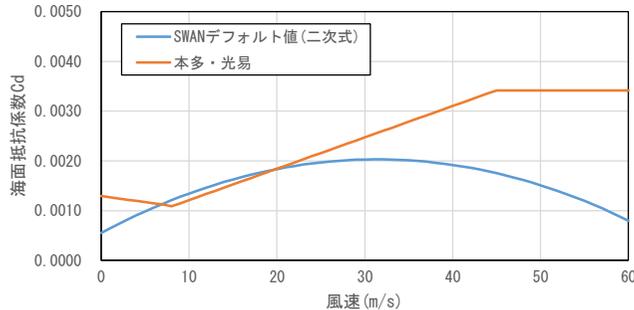
【台風経路】



【再現計算の計算条件】

気圧場・風場推算	検討擾乱	平成30年台風21号			
	中心気圧	実測値	気象庁ベストトラックデータ		
	最大風速半径	実測値	観測気圧より台風モデルの逆算を行って設定		
	移動速度	実績値	台風中心位置間の距離と経過時間より移動速度を算出		
	台風経路	実績値	気象庁ベストトラックデータ		
	推算条件	推算手法	Myersモデル		
		風速の換算係数	C = 0.625 ~ 0.700	0.025ピッチで変化させて再現性の高い値を設定	
		風場の吹き込み角	30°		
波浪・高潮推算	共通	初期潮位条件	O. P. +1.95m	実測最大潮位	
		計算格子	2430m、810m、270m、90m	1:3でネスティング	
	波浪推算	波浪推算手法	SWAN Ver41.10		
		海面抵抗係数Cd	SWANデフォルト値 : $Cd = (0.55 + 2.97U - 1.49U^2) \times 10^{-3}$ 本多・光易の式 : $Cd = (1.29 - 0.024U_{10}) \times 10^{-3}$ $U_{10} < 8m/s$ (1980) $Cd = (0.581 + 0.063U_{10}) \times 10^{-3}$ $8m/s \leq U_{10}$	Cdを変えて再現計算を実施。それぞれの場合で再現性の高い風速の換算係数Cを設定。	
		周波数解像度	範囲: $0.04306 \leq f \leq 1.0000$ (分割数: 32)		周期: 1.00s ~ 23.22s
		方向解像度	$\Delta \theta = 5^\circ$ (分割数: 72)		
		計算時間間隔	300s (2430m ~ 810m領域)、150s (270m領域)、60s (90m領域)		
	高潮推算	高潮推算手法	非線形長波理論式		波浪によるラジエーションストレス項を考慮
		海面抵抗係数Cd	本多・光易の式 : $Cd = (1.29 - 0.024U_{10}) \times 10^{-3}$ $U_{10} < 8m/s$ (1980) $Cd = (0.581 + 0.063U_{10}) \times 10^{-3}$ $8m/s \leq U_{10}$		風速45m/s上限(高潮浸水想定区域図作成の手引きに準拠)
		計算時間間隔	0.50s		
粗度係数		0.025		海域一律	

【海面抵抗係数Cd】



SWAN (Ver. 41.10) では、海面抵抗係数のデフォルト値として二次式が導入されている。一方、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」では、高潮推算に用いる海面抵抗係数として本多・光易の式が示されており、波浪推算では、**SWANデフォルト値(二次式)**のほか、**本多・光易の式**を用いた場合についても再現計算を実施する。

※ 着色箇所は、再現計算において変化させて計算を実施する項目を示す。

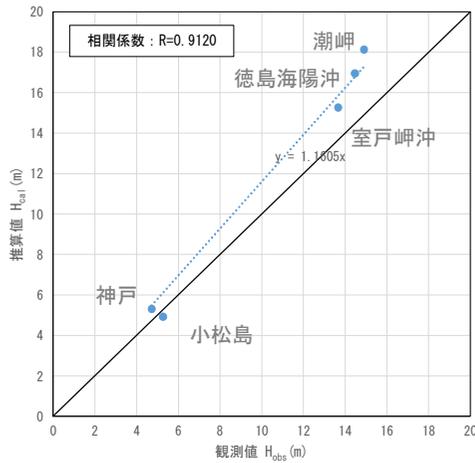
1. 2 再現計算結果

■ 観測値とのピーク値の比較（下図）および相関係数等の比較検証（次頁）を実施した結果は下記のとおり。

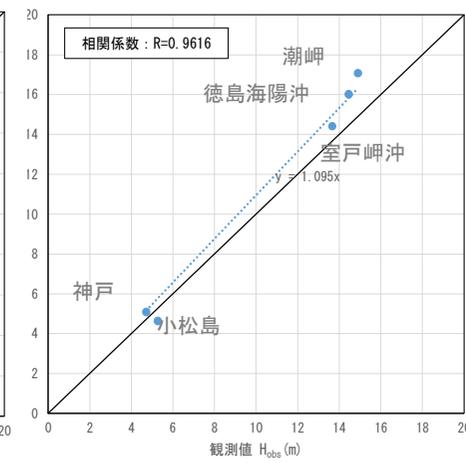
- 高潮推算は、風速の換算係数を $C=0.70$ とした場合に最も再現性が高い。
- 波浪推算は、海面抵抗係数 C_d に二次式を用いた場合は、風速の換算係数を $C=0.70$ とすると最も再現性が高い。本多・光易の式を用いた場合には、風速の換算係数を $C=0.650$ とすると、概ね再現性が確保できる。

【波浪推算結果（本多・光易の式を用いた場合）】

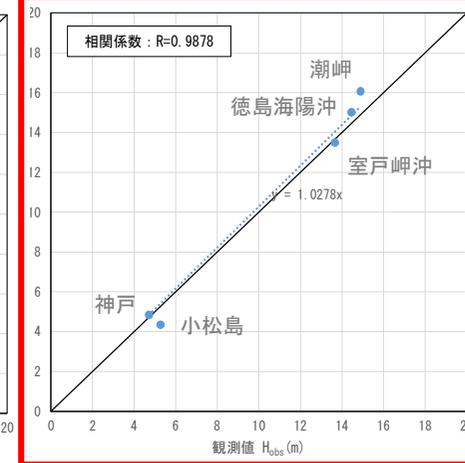
($C=0.700$)



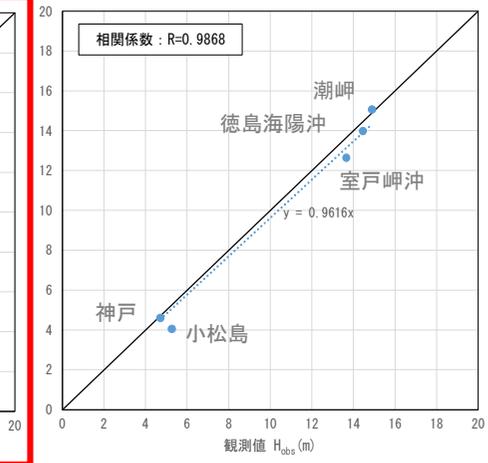
($C=0.675$)



($C=0.650$)

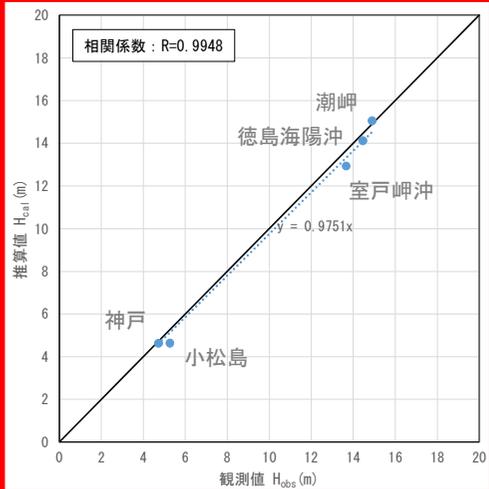


($C=0.625$)

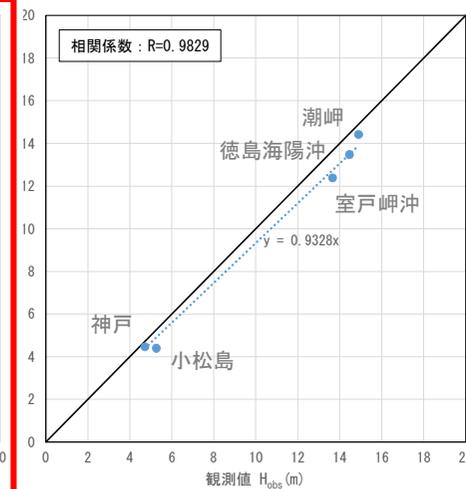


【波浪推算結果（二次式を用いた場合）】

($C=0.700$)

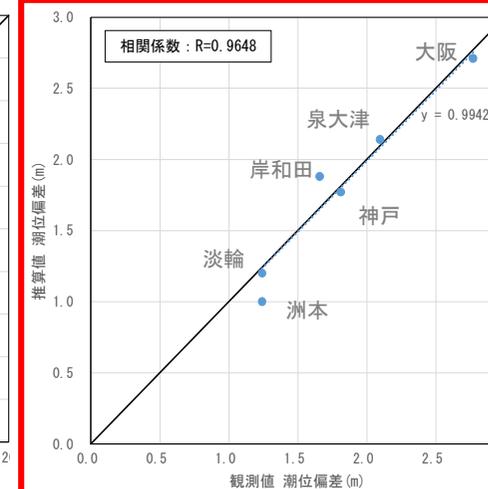


($C=0.675$)

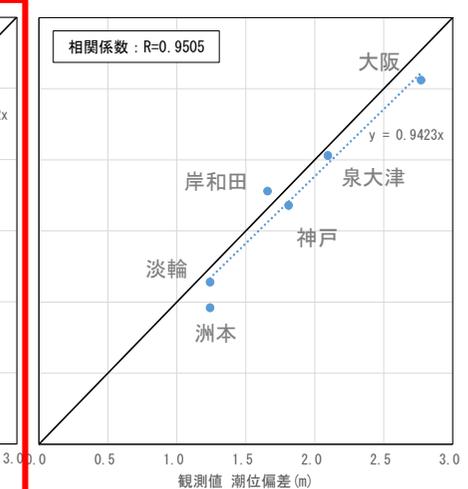


【高潮推算結果（本多・光易の式）】

($C=0.700$)



($C=0.675$)



【再現計算結果の整理】

海面抵抗 係数Cd	風速の換 算係数C	波浪推算（波高）					高潮推算（潮位偏差）							
		地点	観測値	推算値	差	回帰係数	相関係数R	地点	観測値	推算値	差	回帰係数	相関係数R	
本多・光 易の式	0.700	神戸	4.72	5.32	0.60	1.161	0.912	神戸	1.81	1.77	-0.04	0.994	0.965	
		室戸岬沖	13.66	15.27	1.61			大阪	2.77	2.71	-0.06			
		小松島	5.27	4.92	-0.35			泉大津	2.10	2.14	0.04			
		徳島海洋沖	14.46	16.96	2.50			岸和田	1.66	1.88	0.22			
		潮岬	14.90	18.13	3.23			淡輪	1.24	1.20	-0.04			
	0.675	神戸	4.72	5.09	0.37	1.095	0.962	洲本	1.24	1.00	-0.24	0.942	0.951	
		室戸岬沖	13.66	14.41	0.75			神戸	1.81	1.68	-0.13			
		小松島	5.27	4.63	-0.64			大阪	2.77	2.56	-0.21			
		徳島海洋沖	14.46	16.01	1.55			泉大津	2.10	2.03	-0.07			
		潮岬	14.90	17.07	2.17			岸和田	1.66	1.78	0.12			
	0.650	神戸	4.72	4.84	0.12	1.028	0.988	淡輪	1.24	1.14	-0.10			
		室戸岬沖	13.66	13.48	-0.18			洲本	1.24	0.96	-0.28			
		小松島	5.27	4.34	-0.93			上記のケースより再現性が低くなることが明らかであるため計算未実施。						
		徳島海洋沖	14.46	15.02	0.56									
		潮岬	14.90	16.06	1.16									
	0.625	神戸	4.72	4.59	-0.13	0.962	0.987							
		室戸岬沖	13.66	12.64	-1.02									
		小松島	5.27	4.05	-1.22									
		徳島海洋沖	14.46	13.98	-0.48									
		潮岬	14.90	15.06	0.15									
二次式 (SWANデ フォルト値)	0.700	神戸	4.72	4.62	-0.10	0.975	0.995	「高潮浸水想定区域図作成の手引き」に準拠し、高潮推算に用いる海面抵抗係数Cdは本多・光易の式を使用。						
		室戸岬沖	13.66	12.93	-0.73									
		小松島	5.27	4.63	-0.64									
		徳島海洋沖	14.46	14.12	-0.34									
		潮岬	14.90	15.05	0.15									
	0.675	神戸	4.72	4.47	-0.25	0.933	0.983							
		室戸岬沖	13.66	12.38	-1.28									
		小松島	5.27	4.40	-0.87									
		徳島海洋沖	14.46	13.47	-0.99									
		潮岬	14.90	14.41	-0.49									

※ 着色部は最も再現性の高いケースを示す。

- 若干のピーク時刻のずれがあるものの、時刻歴波形についても、いずれのケースでも妥当な結果となる。
- ピーク時刻のずれは、波浪推算のほうが若干大きい、波浪観測が20分ピッチであることを踏まえると、波浪推算と高潮推算とでピーク値のずれに有意な差は無いと推定。

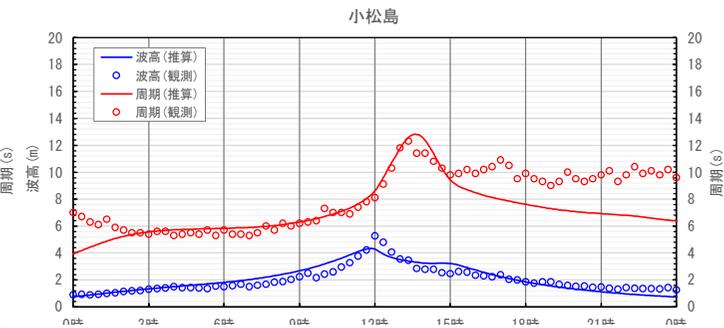
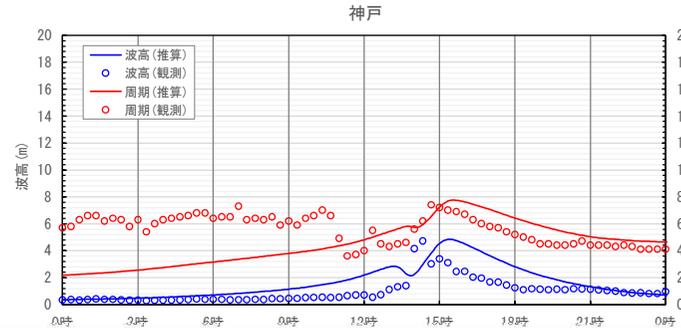
【ピーク時刻のずれ】

(波浪推算)	ピーク時刻		時間差 (分)
	観測値	推算値	
神戸	9/4 14:20	9/4 15:25	65
小松島	9/4 12:00	9/4 11:50	-10
平均	—	—	28

(高潮推算)	ピーク時刻		時間差 (分)
	観測値	推算値	
大阪	9/4 14:18	9/4 14:50	32
淡輪	9/4 15:10	9/4 15:15	5
神戸	9/4 14:09	9/4 14:40	31
洲本	9/4 15:13	9/4 15:25	12
平均	—	—	20

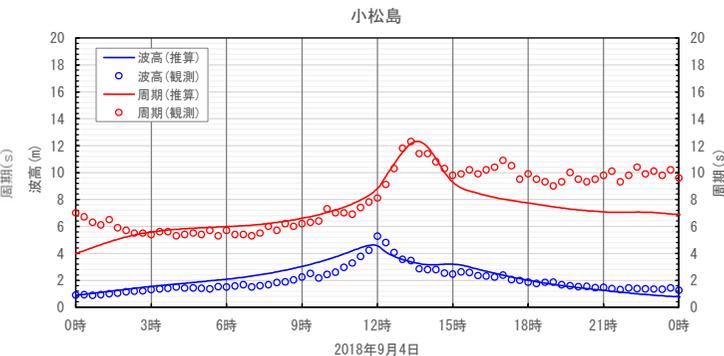
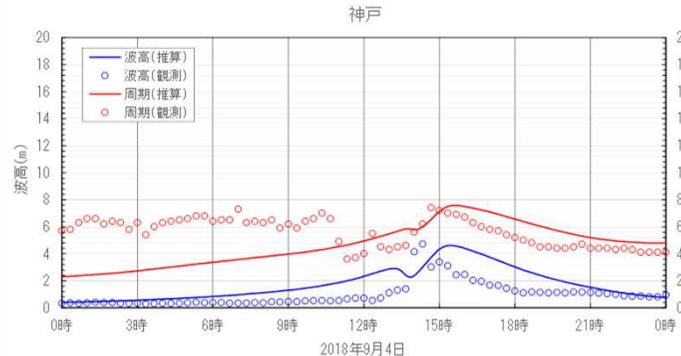
【波浪の時刻歴波形】

海面抵抗係数Cd：本多・光易の式
風速の換算係数：C=0.65



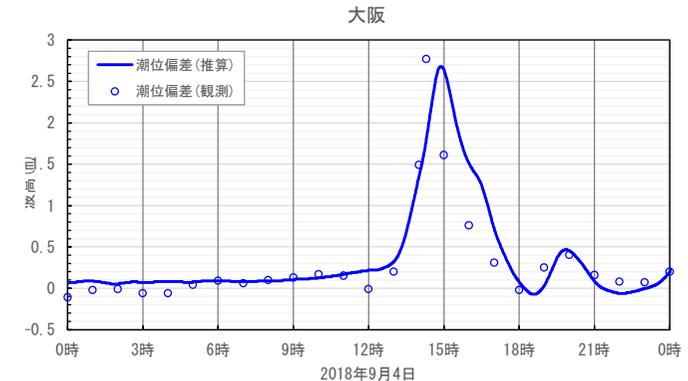
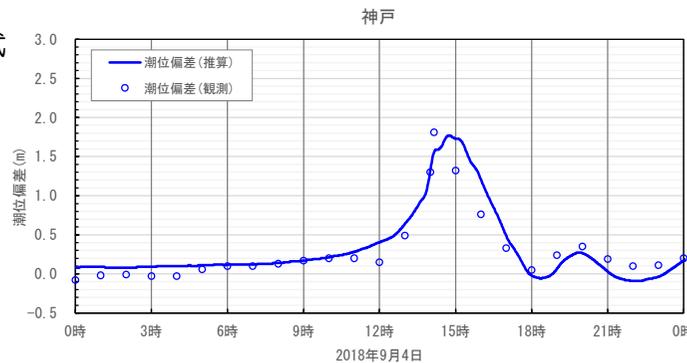
【波浪の時刻歴波形】

海面抵抗係数Cd：二次式
風速の換算係数：C=0.70



【潮位偏差の時刻歴波形】

海面抵抗係数Cd：本多・光易の式
風速の換算係数：C=0.70



1. 3 再現計算結果とりまとめ

- 高潮推算に用いる海面抵抗係数は、高潮浸水想定区域図作成の手引きに準拠し、本多・光易の式を使用するものとし、再現計算結果より、**高潮推算の風速の換算係数はC=0.70**とする。
- 波浪推算の海面抵抗係数として、SWAN(Ver. 41.10)のデフォルト値である**二次式を用いた場合は**、波浪推算の風速の換算係数は**C=0.70**とする。
- 波浪推算の海面抵抗係数を高潮推算と同じ**本多・光易の式を用いた場合は**、波浪推算の風速の換算係数は**C=0.65**とする。
- **波浪推算に用いる海面抵抗係数は、想定台風に対する将来気候の波浪推算結果を踏まえ、二次式もしくは本多・光易の式のいずれを用いるか決定**する。

【再現計算結果一覧】

	高潮推算		波浪推算					
	中心気圧 ・台風経路	平成30年台風21号の実測値 (気象庁ベストトラックデータより設定)						
台風半径	平成30年台風21号の実測値							
海面抵抗係数 Cd	本多・光易の式 (高潮浸水想定区域図作成の手引きに準拠)		二次式 (SWAN(Ver. 41.10)デフォルト値)		本多・光易の式 (高潮推算と同じものを使用)			
風速の換算係数 C	0.675	0.700	0.675	0.700	0.625	0.650	0.675	0.700
潮位偏差 (大阪)	2.56 (-0.21)	2.71 (-0.06)						
波高 (神戸)	-		4.47 (-0.25)	4.62 (-0.10)	4.59 (-0.13)	4.84 (0.12)	5.09 (0.37)	5.32 (0.60)
備考	波浪推算に用いる海面抵抗係数Cdは、想定台風に対する将来気候の波浪推算結果を踏まえて決定。							

※ () 内の数字は、観測値からの差異を示す。

(観測値) 潮位偏差 : 2.77 m

有義波高 : 4.72 m

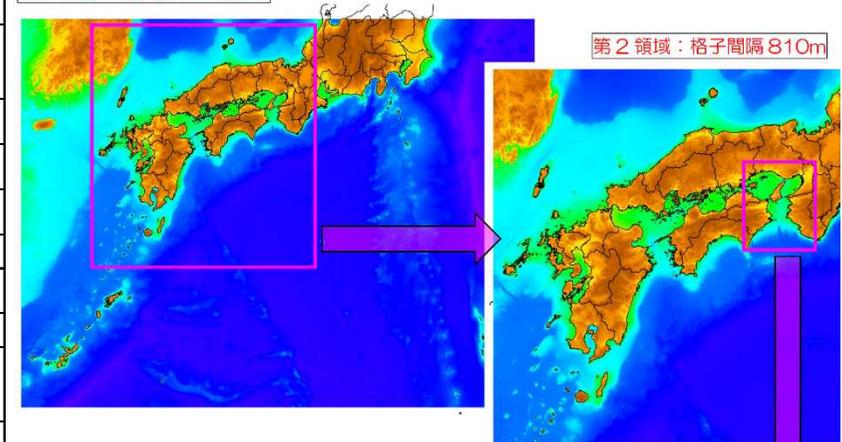
2. 高潮・波浪推算の実施（計算条件）

- 検討対象擾乱は以下のとおり。（第1回気候変動検討部会における決定事項）
 - ケース1：伊勢湾台風規模・室戸台風コース
 - ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース
 - ケース3：平成30年台風21号
 - ケース4：50年確率規模の台風 ※ ケース4は将来気候における50年確率波を設定するために波浪推算を実施（検討対象外）。
- 計算手法は下記に示すとおり。波浪推算については、海面抵抗係数Cdを変えた計算を実施し、防護水準の設定に用いるケースを選定。
 - 気圧場：経験的台風モデル（Myersの式）
 - 風場：傾度風と移動風をベクトル合成（風速の換算係数Cは再現計算により決定）
 - 高潮推算：非線形長波理論式（ラジエーションストレスによるウェーブセットアップを考慮）
 - 波浪推算：第三代波浪推算モデルSWAN（海面抵抗係数Cdを変えた計算を実施）
- 地形条件は、計画目標の21世紀末時点の地形を想定し、港湾計画を反映した地形とする（津波シミュレーションに同じ）。

検討擾乱		ケース1	ケース2	ケース3	備考	
		伊勢湾台風規模・室戸台風コース	伊勢湾台風規模・H30台風21号コース	平成30年台風21号（実績台風）		
気圧場・風場推算	中心気圧（阪神間上陸時）	現在気候：940hPa 2°C上昇：933hPa 4°C上昇：925hPa	現在気候：940hPa 2°C上昇：933hPa 4°C上昇：925hPa	現在気候：955hPa 2°C上昇：— 4°C上昇：—	現在気候は実測値、将来気候は実測値に気候変動による気圧低下量の比率を乗じて設定	
	最大風速半径	実測値（伊勢湾台風）		実測値（平成30年台風21号）	将来気候は中心気圧と台風半径の相関式を使用	
	移動速度	実測値（室戸台風）	実測値（平成30年台風21号）		台風中心位置間の距離と経過時間より移動速度を算出	
	台風経路	実測値（室戸台風）		実測値（平成30年台風21号）		
	推算手法	Myersモデル				
推算条件	風速の換算係数	C=0.70 C=0.65(Cdに本多・光易の式を用いた場合の波浪推算に使用)		台風1821号の再現計算により設定		
	風場の吹き込み角	30°				
波浪・高潮推算	共通	初期潮位条件	現在気候：0.P.+2.3m 2°C上昇：0.P.+2.7m 4°C上昇：0.P.+3.0m	再現計算：0.P.+1.95m	気候変動後は海面上昇量を考慮。ケース3は再現計算結果を準用。	
	波浪推算	計算格子	2430m、810m、270m、90m		1:3でネスティング	
		波浪推算手法	SWAN Ver41.10			
		海面抵抗係数Cd	SWANデフォルト値：Cd=(0.55+2.97U-1.49U ²)×10 ⁻³ 本多・光易の式：Cd=(1.29-0.024U ₁₀)×10 ⁻³ U ₁₀ <8m/s (1980) Cd=(0.581+0.063U ₁₀)×10 ⁻³ 8m/s≤U ₁₀		Cdを変えて将来気候の計算を実施（ケース2）し、防護水準設定に用いるケースを選定	
		周波数解像度	範囲：0.04306≤f≤1.0000（分割数：32）		周期：1.00s～23.22s	
		方向解像度	Δθ=5°（分割数：72）			
	計算時間間隔	300s（2430m～810m領域）、150s（270m領域）、60s（90m領域）				
	高潮推算	高潮推算手法	非線形長波理論式			ラジエーションストレス考慮
		海面抵抗係数Cd	本多・光易の式：Cd=(1.29-0.024U ₁₀)×10 ⁻³ U ₁₀ <8m/s (1980) Cd=(0.581+0.063U ₁₀)×10 ⁻³ 8m/s≤U ₁₀		風速45m/s上限（高潮浸水想定区域図作成の手引きに準拠）	
		計算時間間隔	0.50s			
	粗度係数	0.025			海域一律	

【計算領域】

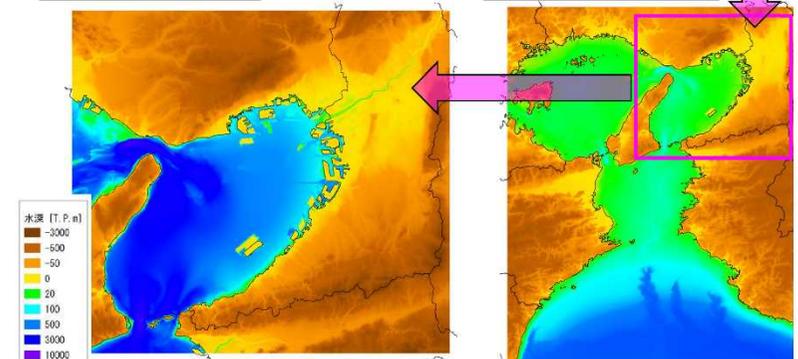
第1領域：格子間隔 2,430m



第2領域：格子間隔 810m

第4領域：格子間隔 90m

第3領域：格子間隔 270m



3. 1 台風諸元の設定

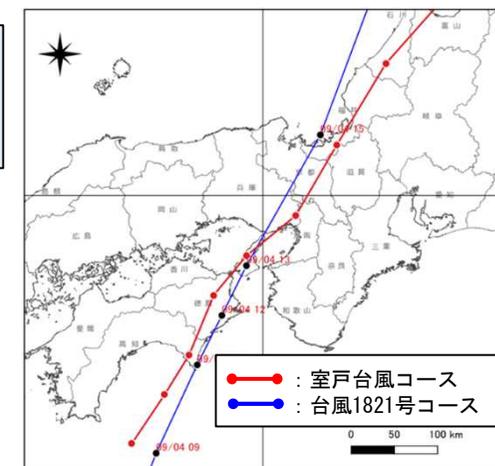
- ケース1およびケース2は、伊勢湾台風規模の台風が室戸台風コースおよび平成30年台風21号コース（右図参照）で来襲した場合を想定した想定台風であり、下記に示す方法で台風諸元を設定。
- ケース3は、再現計算と同様、平成30年台風21号の実測値により台風諸元を設定。

【検討対象擾乱一覧】

※ 第1回気候変動検討部会にて決定

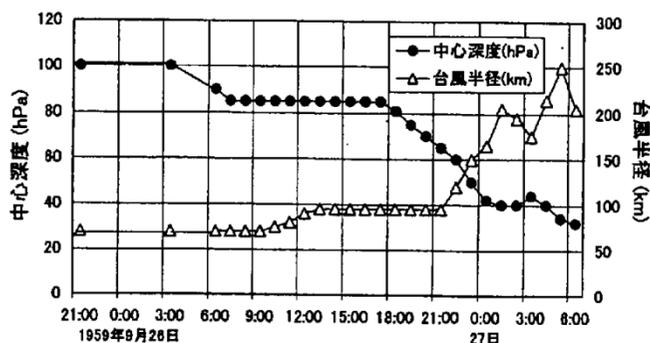
	ケース1	ケース2	ケース3
中心気圧	伊勢湾台風実測値		平成30年台風21号実測値
台風半径	伊勢湾台風実測値		平成30年台風21号実測値
台風経路・移動速度	室戸台風実測値	平成30年台風21号実測値	

【台風経路】

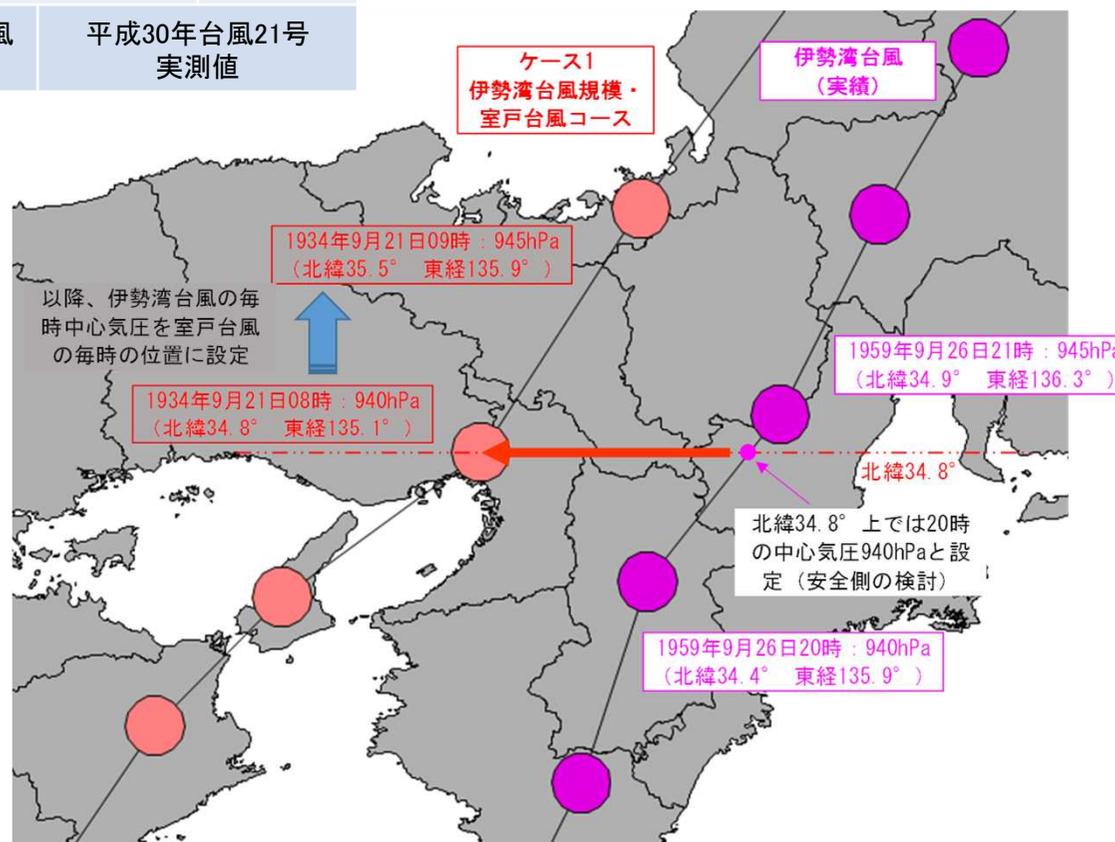


ケース1：伊勢湾台風規模・室戸台風コース

- 伊勢湾台風の実測中心気圧・台風半径（下図参照）を室戸台風の毎時の位置に設定。
- 室戸台風の阪神間上陸時（9/21 8時）に、同緯度における伊勢湾台風の台風諸元（中心気圧・台風半径）を設定（右図参照）。



【出典】柴木秀之：波浪・高潮・津波の数値計算と沿岸防災支援システムへの応用に関する研究



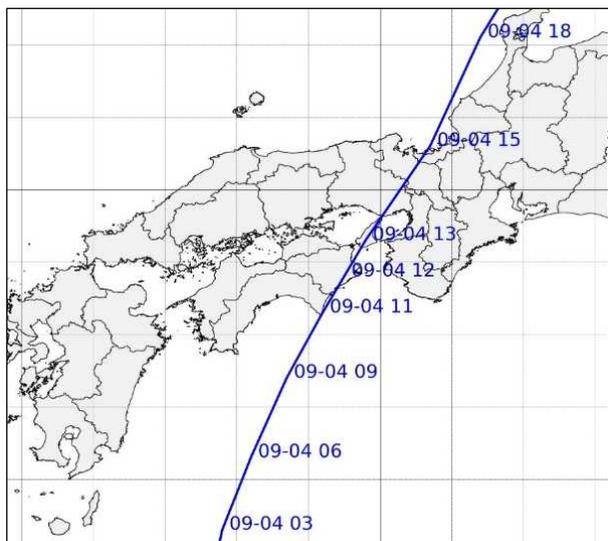
3. 1 台風諸元の設定

ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース

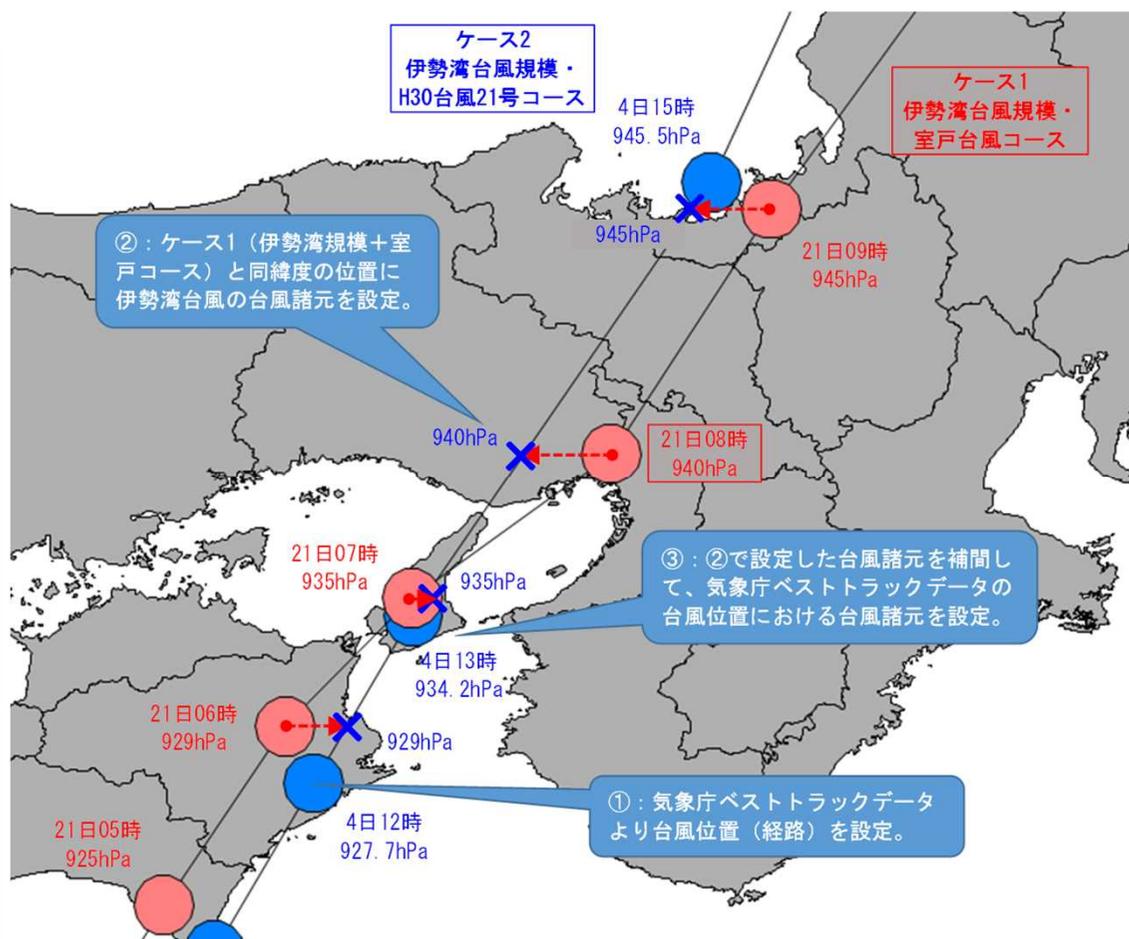
- ① 気象庁ベストトラックデータより、平成30年台風21号の台風位置（経路）を設定。
- ② 平成30年台風21号の経路上で、ケース1（伊勢湾台風規模・室戸台風コース）の毎時位置と同緯度の位置に、ケース1の台風諸元（中心気圧・台風半径）を設定（下右図参照）。
- ③ 気象庁ベストトラックデータの各時刻の台風位置における台風諸元を②で設定した台風諸元の補間により設定。台風の移動速度は、気象庁ベストトラックデータの2地点間の平均的な移動速度を算出して設定。

ケース3：平成30年台風21号（実績台風）

- 気象庁ベストトラックデータより、台風位置（経路）、中心気圧を設定（下図参照）。
- 台風半径は観測気圧より逆算した値として設定した実測値を設定（再現計算に同じ）。



※ 気象庁ベストトラックデータの台風位置を図化（日本周辺域のみを記載）



3. 2 推算結果（検討対象擾乱の選定）

- 各評価点における最大有義波高および最大潮位偏差を整理（下図）。有義波高については、海面抵抗係数Cdを変えた場合の結果および別途算出されている50年確率波高も比較。
- ケース3（平成30年台風21号実績）は、潮位偏差・波高とも検討擾乱中で最小。潮位偏差、波高ともケース2が検討擾乱中で最大。
- 50年確率波高（ケース4）は、実績台風（ケース3）以下。
- 海面抵抗係数Cdに本多・光易の式を用いた場合、二次式を用いた場合よりも有義波高が0.5m程度大きくなる。



将来気候の検討対象擾乱

- ケース1：伊勢湾台風規模・室戸台風コース
- ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース

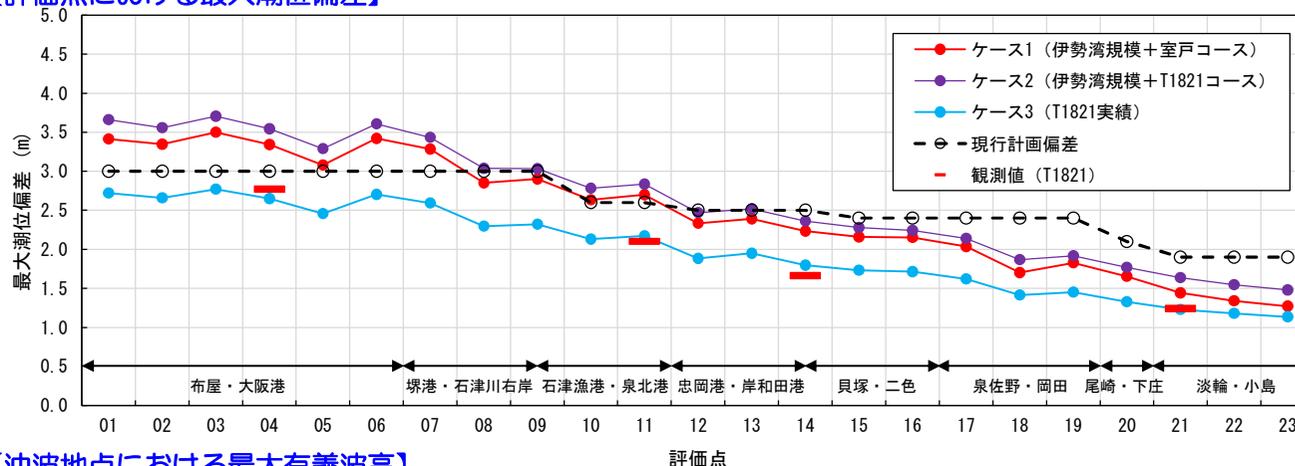
※ ケース1は、現行計画における想定台風であるため検討対象擾乱として採用。

※ ケース2は、潮位偏差・波高が最大となるケースであるため、検討対象擾乱として採用。

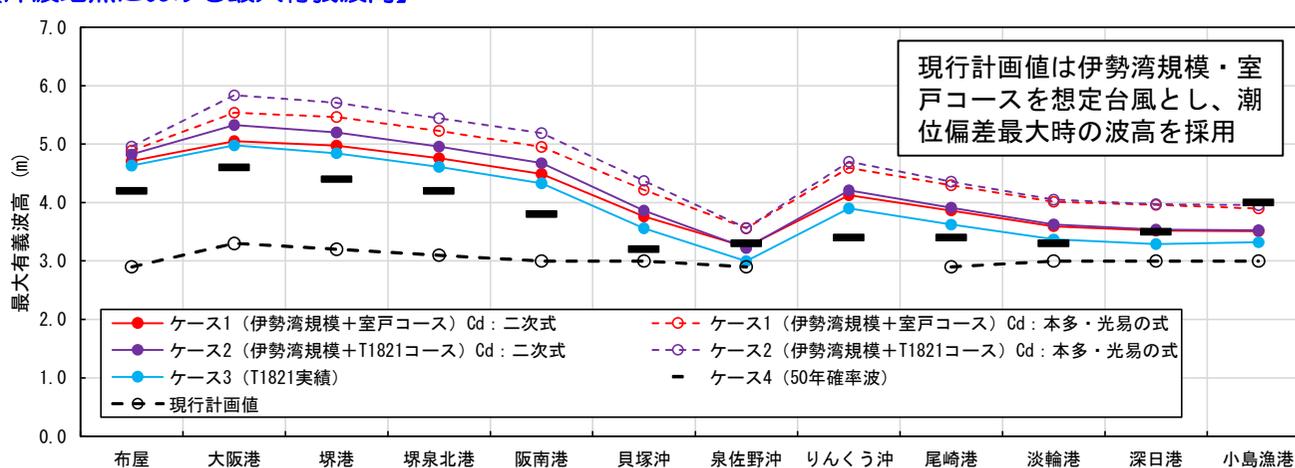


将来気候における潮位偏差・波高を総合的に勘案し、計画台風（計画値）を決定。

【評価点における最大潮位偏差】



【沖波地点における最大有義波高】



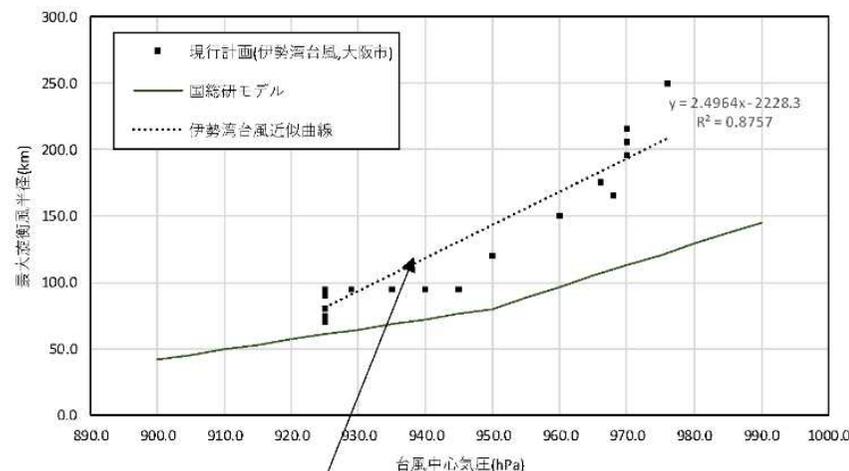
4. 1 将来気候下の台風諸元の設定方法

※ 第1回気候変動検討部会における決定事項

■ 将来気候における台風パラメータは下記のとおり設定。

- **中心気圧**：アンサンブルデータセット（d4PDF）を用いて将来気候における気圧低下量を設定（次頁参照）
- **台風半径**：中心気圧と台風半径の関係式（下図）より設定
- **移動速度**：現在気候は実測値、将来気候は現在気候と同じとして設定（下記参照）

【伊勢湾台風の中心気圧と台風半径の関係】



中心気圧と台風半径の相関式（伊勢湾台風実績）を用い、将来気候の気圧低下量より台風半径を設定。

【出典】大阪府河川構造物等審議会 第2回気候変動部会 資料3（令和2年11月10日）に加筆

【台風の移動速度】

アンサンブルデータセット（d4PDF）より台風の移動速度を整理（下表参照）。現在気候と将来気候の移動速度に明瞭な違いはない。

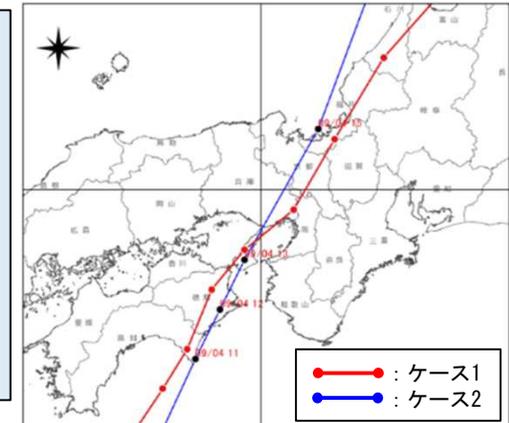
将来気候の移動速度は現在気候と同じとして設定

	現在気候	将来気候（4℃上昇）
全台風平均移動速度（km/h）	45.3	44.9
全台風上位1%移動速度（km/h）	93.2	94.0
全台風上位10%移動速度（km/h）	71.2	71.3

【出典】大阪府河川構造物等審議会 第2回気候変動部会 資料3（令和2年11月10日）における検討結果を整理

■ 台風強大化に伴う中心気圧の低下を考慮して気候変動後の高潮・波浪推算を実施。中心気圧の変化は、アンサンブルデータ (d4PDF) を用いて設定。

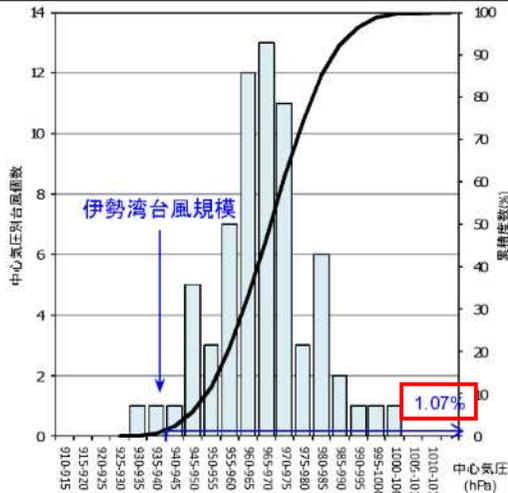
- ① 気象庁ベストトラックデータより想定台風 (伊勢湾台風規模) の上陸時中心気圧 (現在気候 : 940hPa) に相当する出現累積度数を把握 → 1.07%
- ② アンサンブルデータベースセット (d4PDF) を用いた極値統計解析結果より、現在気候・将来気候における想定台風 (伊勢湾台風規模 : 1.07%) の中心気圧を把握
- ③ 現在気候と将来気候の中心示度の比率を算定
- ④ 想定台風の中心示度 (現在気候) に③の比率を乗じて気候変動後の中心気圧を設定



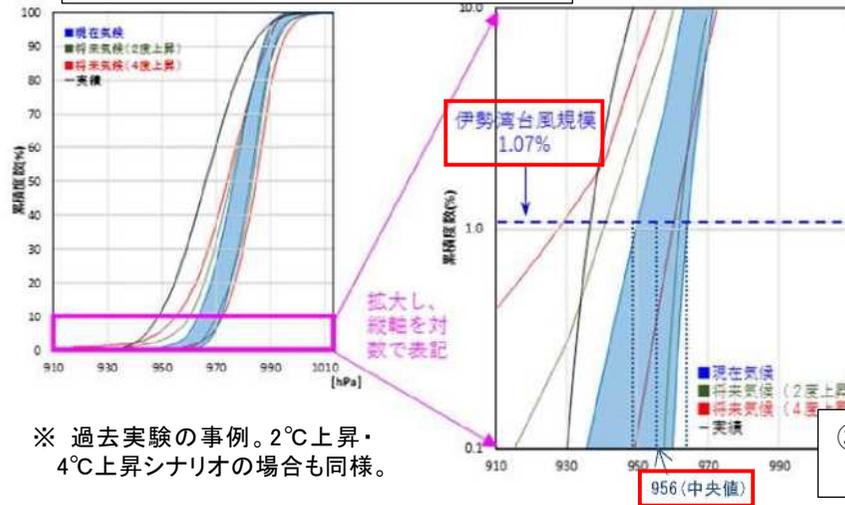
ケース1: 伊勢湾台風規模・室戸台風コース
ケース2: 伊勢湾台風規模・H30台風21号コース

【気圧低下量設定方法】

① 気象庁ベストトラックデータより伊勢湾台風規模の累積度数 (1.07%) を把握



② d4PDFより60年間を1つのケースとして極値統計解析を実施



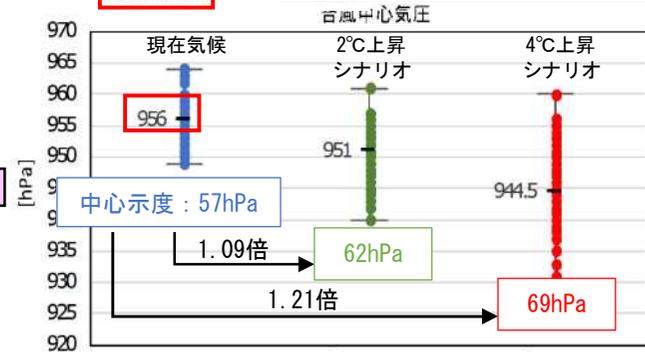
※ 過去実験の事例。2°C上昇・4°C上昇シナリオの場合も同様。

③ 現在気候と将来気候の中心示度の比率を算定

④ 【気圧低下量算定結果】

項目	現在気候	将来気候 2°C上昇	将来気候 4°C上昇
中心示度の比率	—	1.09	1.21
中心示度 (hPa)	73	80	88
中心気圧 (hPa)	940	933	925

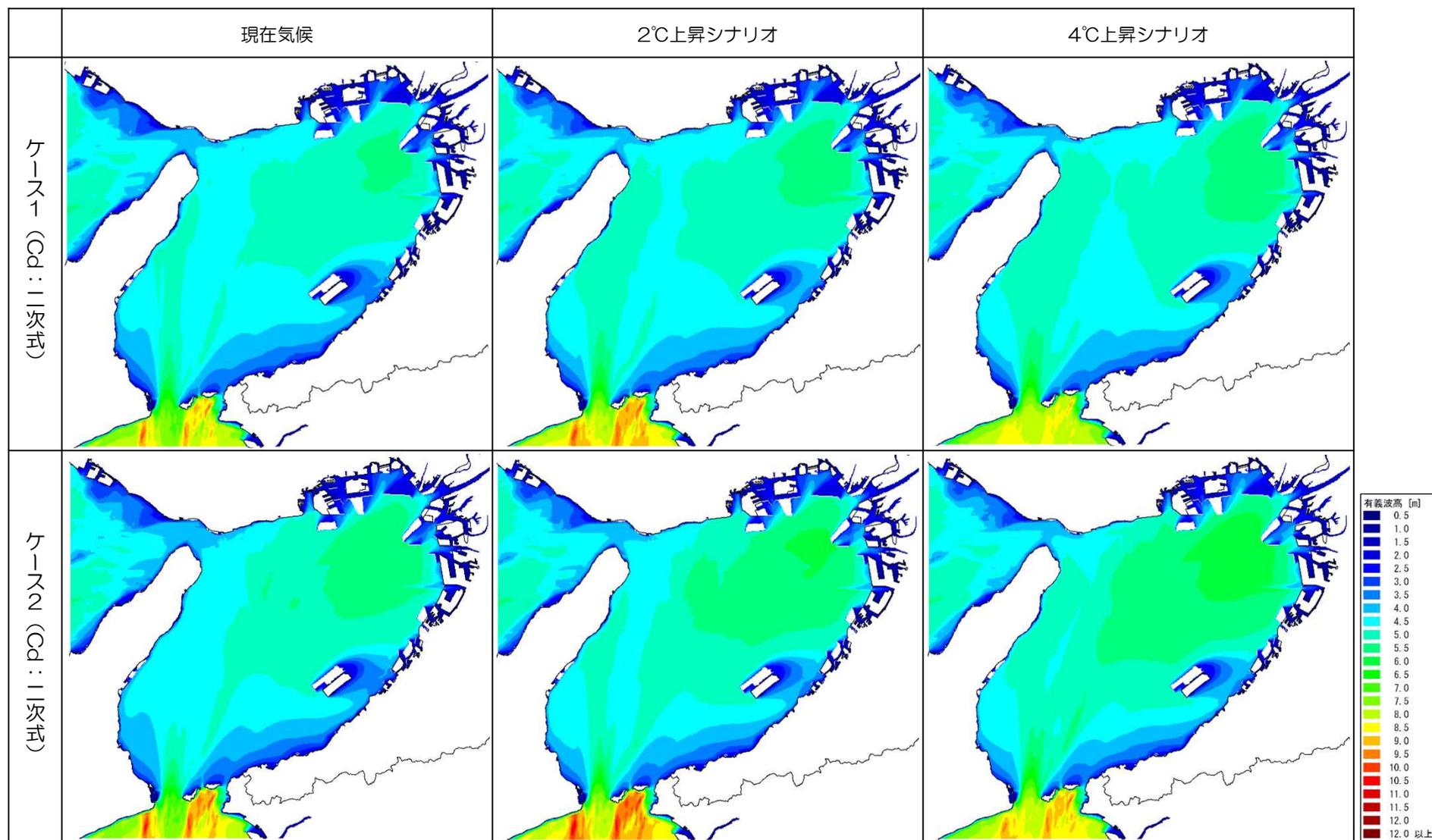
【グラフの出典】
大阪府河川構造物等審議会
(令和元年度第1回) 資料4



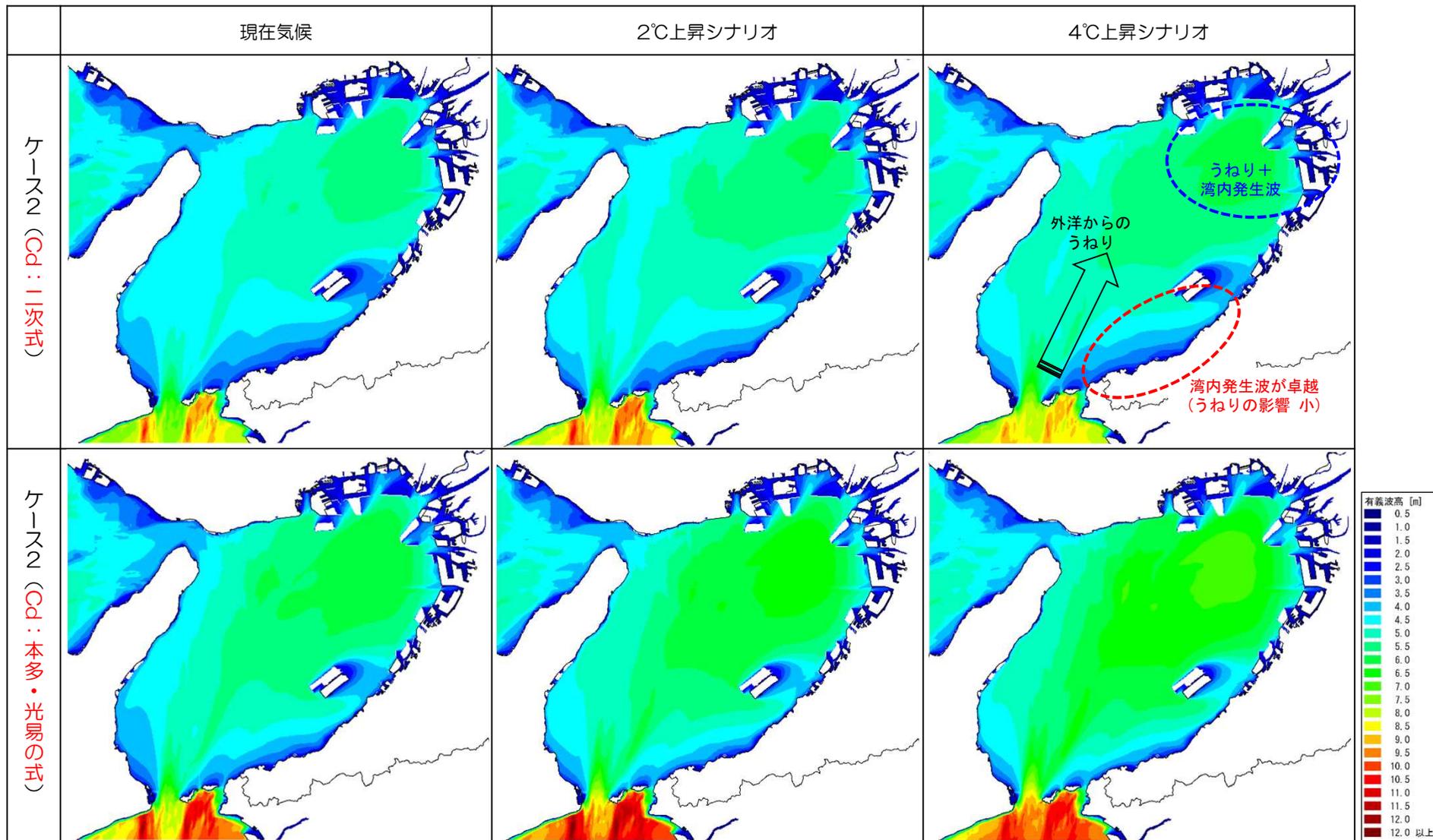
4. 2 高潮・波浪推算結果

- 高潮・波浪推算結果として、最大波高分布図および最大潮位偏差分布図を作成（下図）。
- 評価点位置における最大波高、最大潮位偏差についても整理（p. 16以降参照）。

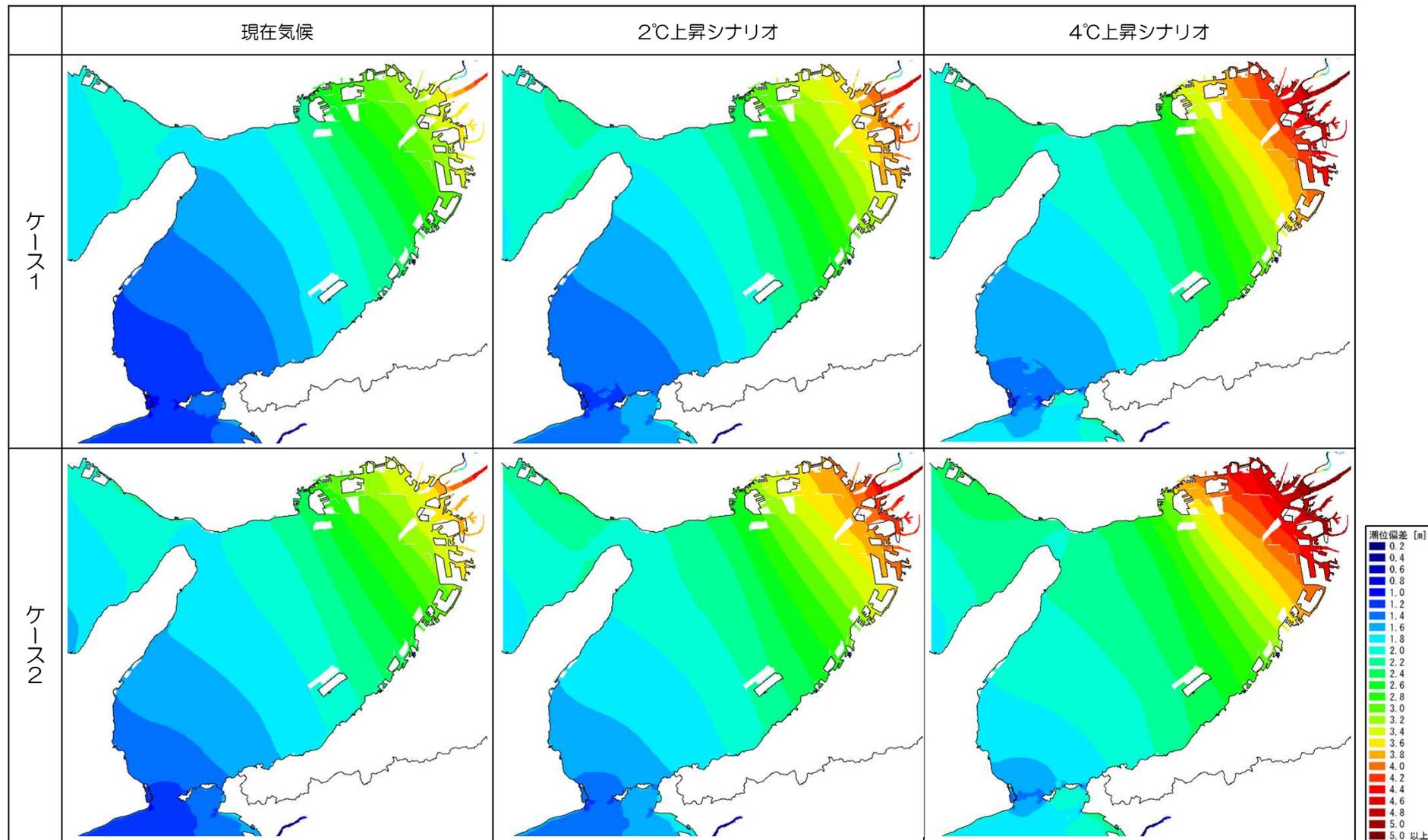
【最大波高分布図】 ※ ケース1：伊勢湾台風規模・室戸台風コース ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース



【最大波高分布図】 ※ ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース



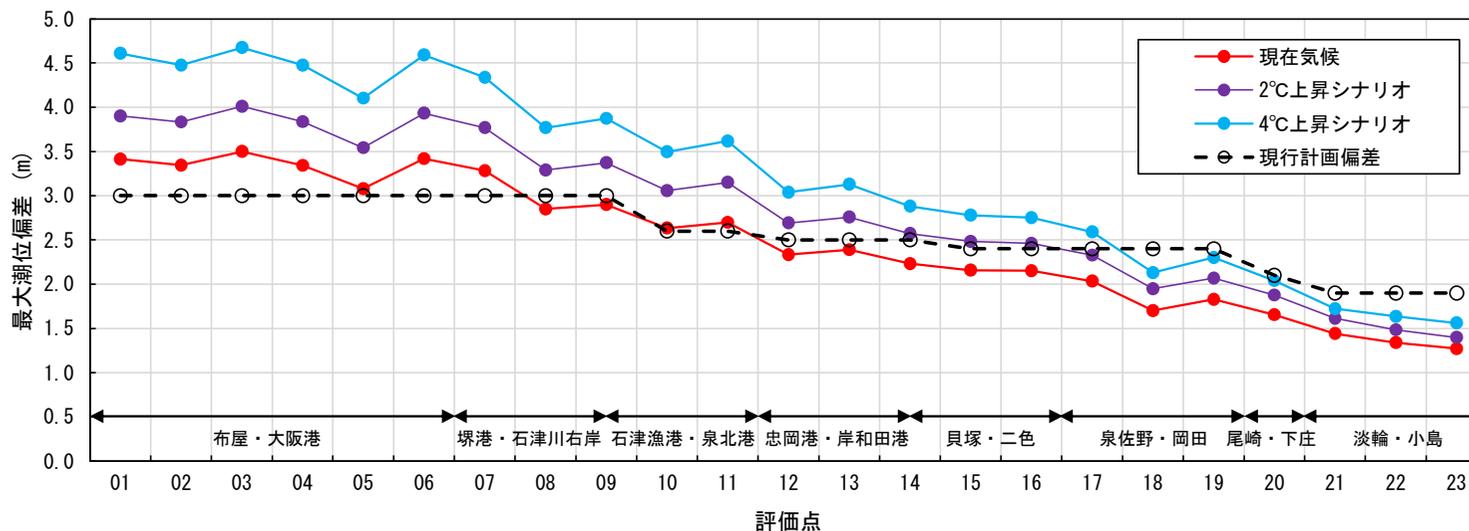
【最大潮位偏差分布図】 ※ ケース1：伊勢湾台風規模・室戸台風コース ケース2：伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース



■ ケース1（伊勢湾台風規模・室戸台風コース）の各評価点（p.7参照）における、現在気候および将来気候（2℃上昇シナリオ・4℃上昇シナリオ）の最大有義波高および最大潮位偏差を整理した結果は下図のとおり。

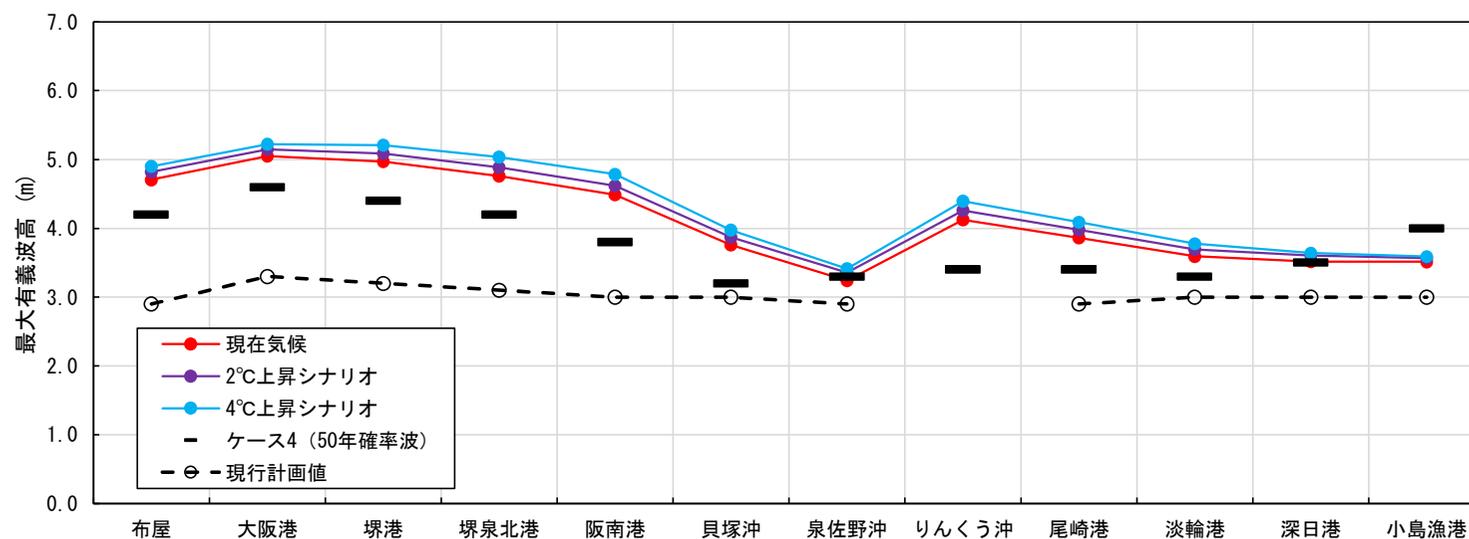
【評価点における最大潮位偏差】

ケース1
（伊勢湾台風規模＋
室戸台風コース）



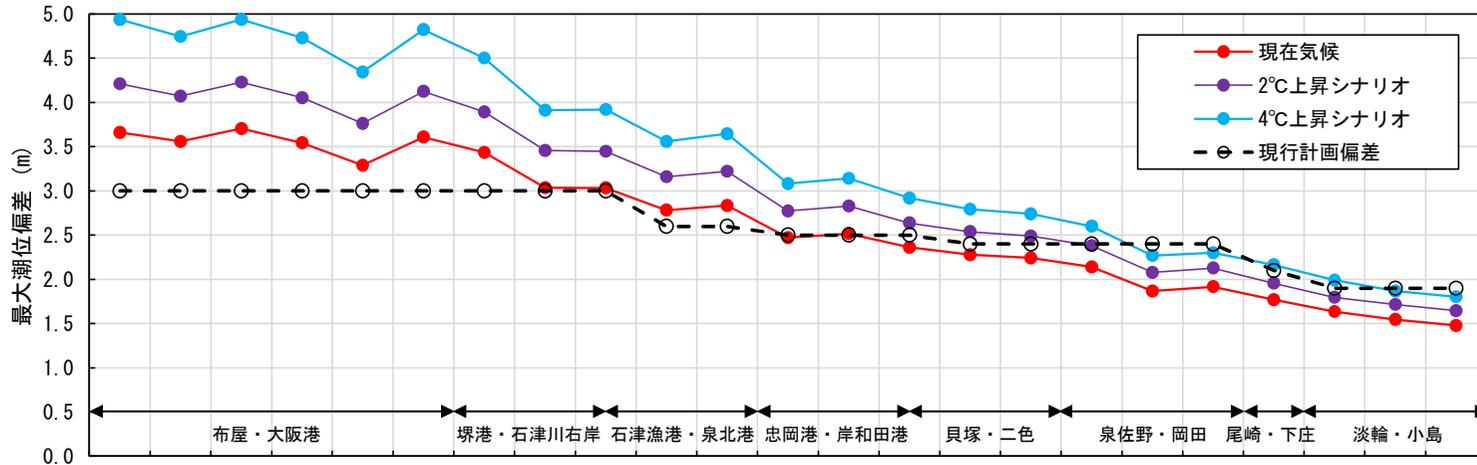
【沖波地点における最大有義波高】

ケース1
（伊勢湾台風規模＋
室戸台風コース）



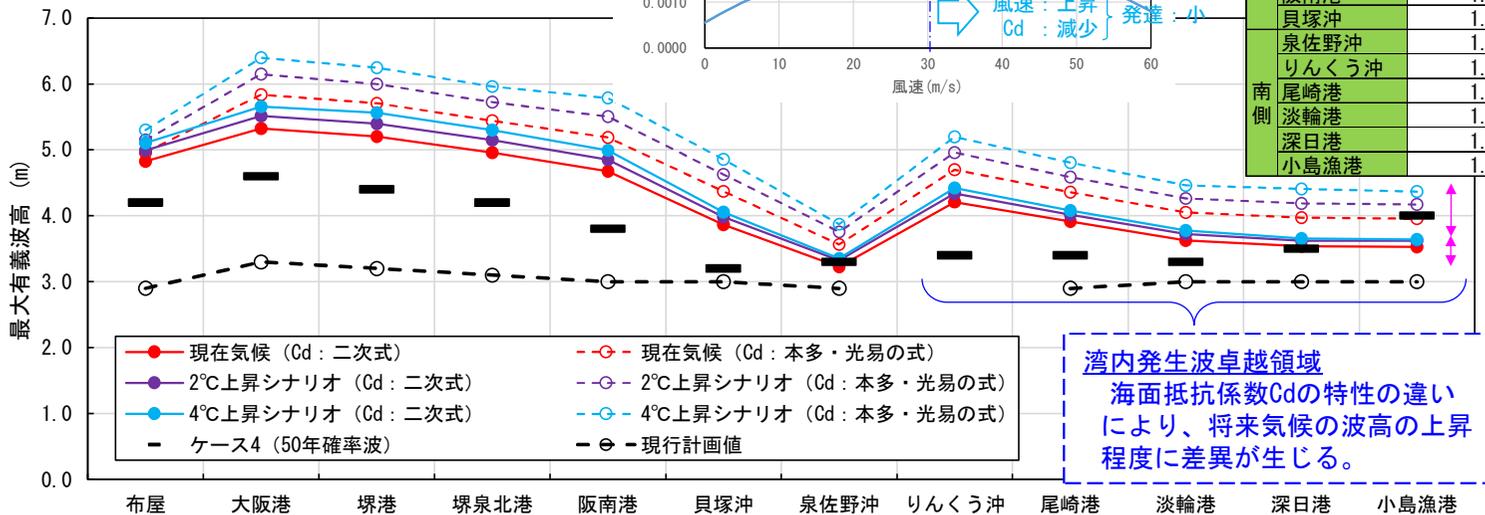
■ ケース2（伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース）の各評価点（p.7参照）における、現在気候および将来気候（2℃上昇シナリオ・4℃上昇シナリオ）の最大有義波高および最大潮位偏差を整理した結果は下図のとおり。

【評価点における最大潮位偏差】 ケース2（伊勢湾台風規模+平成30年台風21号コース）



【沖波地点における最大有義波高】

ケース2
（伊勢湾台風規模+平成30年台風21号コース）



【現在気候と将来気候の波高の比率】

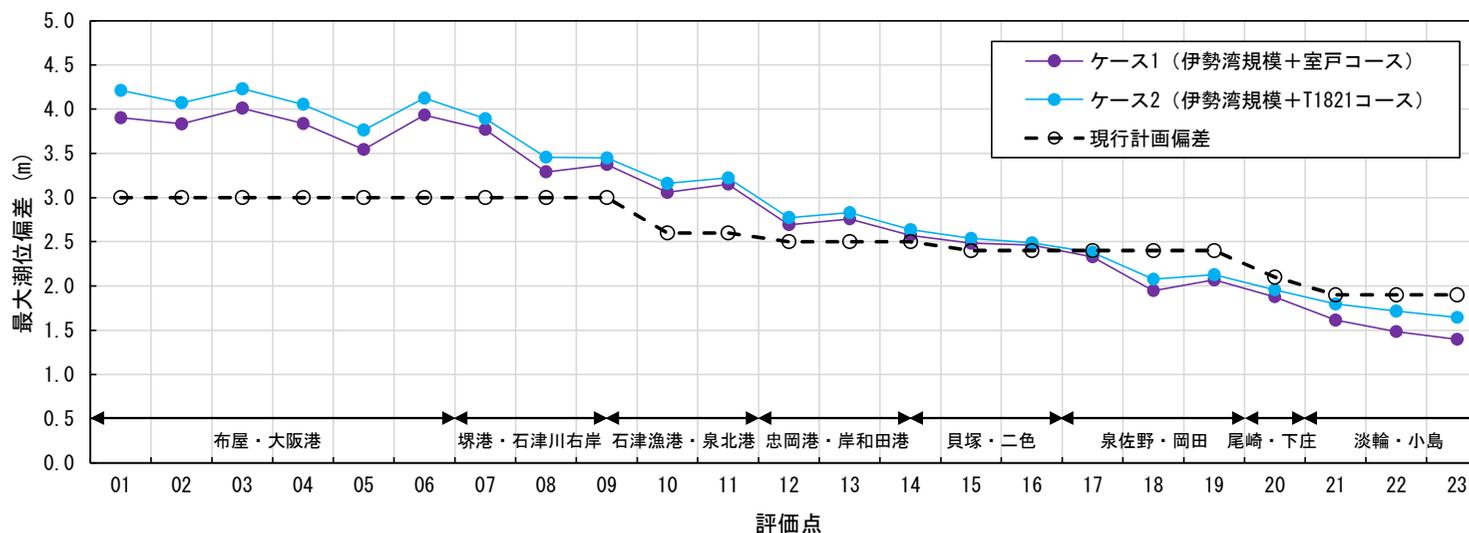
Cd	2℃上昇シナリオ		4℃上昇シナリオ	
	二次式	本多・光易	二次式	本多・光易
布屋	1.03	1.04	1.06	1.07
大阪港	1.04	1.05	1.06	1.10
北側 堺港	1.04	1.05	1.07	1.09
堺泉北港	1.04	1.05	1.07	1.10
阪南港	1.04	1.06	1.07	1.11
貝塚沖	1.03	1.06	1.05	1.11
泉佐野沖	1.03	1.05	1.04	1.09
りんくう沖	1.03	1.06	1.05	1.11
南側 尾崎港	1.03	1.05	1.04	1.10
淡輪港	1.03	1.05	1.04	1.10
深日港	1.02	1.05	1.03	1.11
小島漁港	1.03	1.05	1.03	1.10

湾内発生波卓越領域
海面抵抗係数Cdの特性の違いにより、将来気候の波高の上昇程度に差異が生じる。

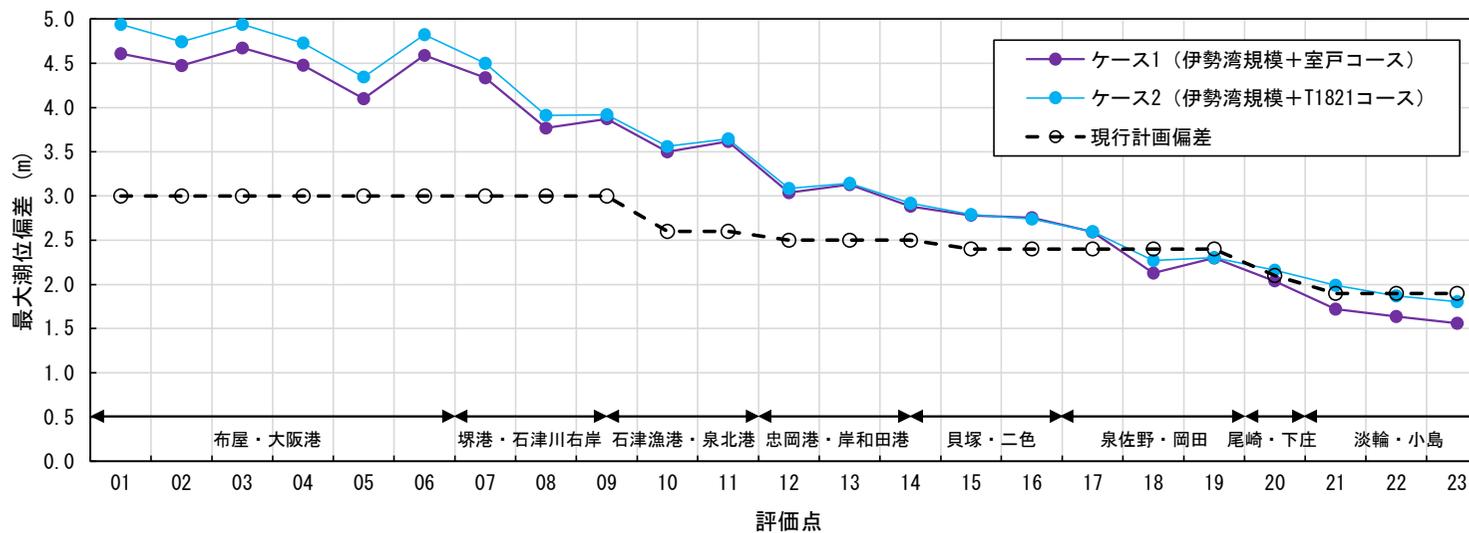
- 最大潮位偏差について、将来気候におけるケース1とケース2の比較を実施（下図）。
- 最大潮位偏差は、現在気候の場合と同様に、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオとも、**ケース2（伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース）が大きい**。

【評価点における最大潮位偏差】

2℃上昇シナリオ



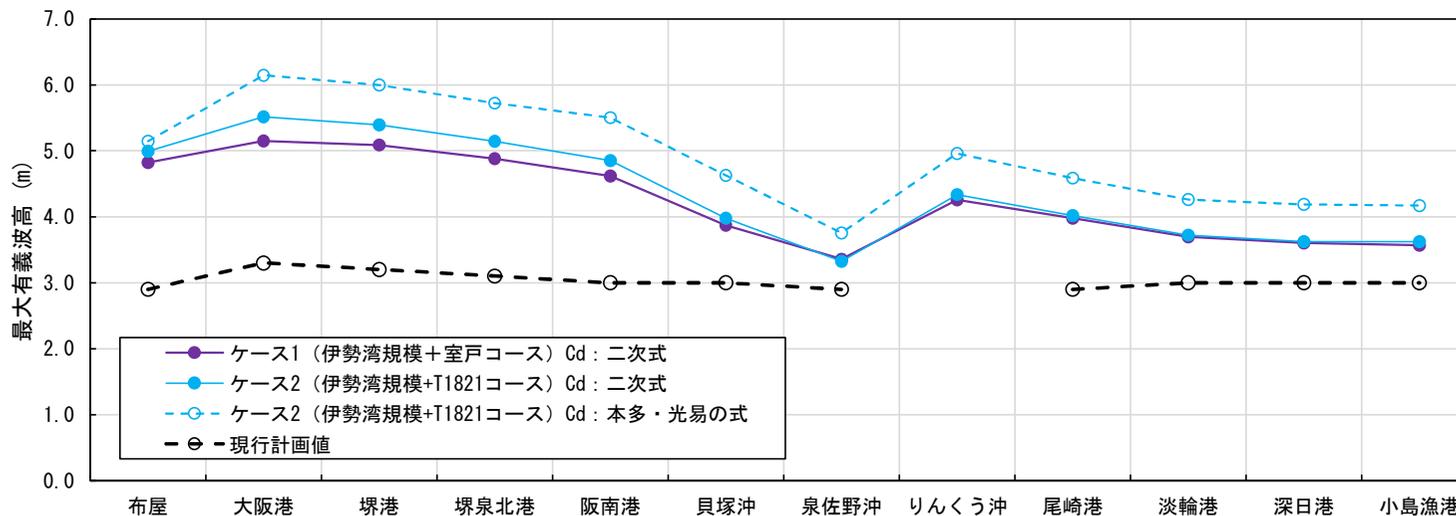
4℃上昇シナリオ



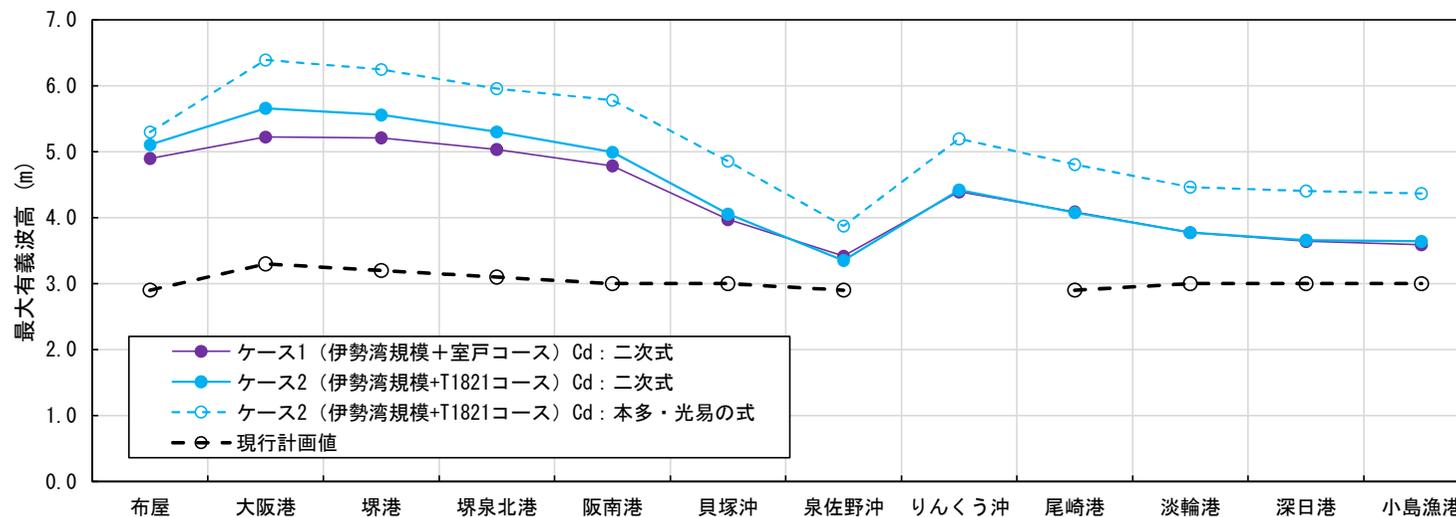
- 最大有義波高について、将来気候におけるケース1とケース2の比較を実施（下図）。
- 最大有義波高は、現在気候の場合と同様に、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオとも、**ケース2（伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース）が大きい**。

【評価点における最大有義波高】

2℃上昇シナリオ



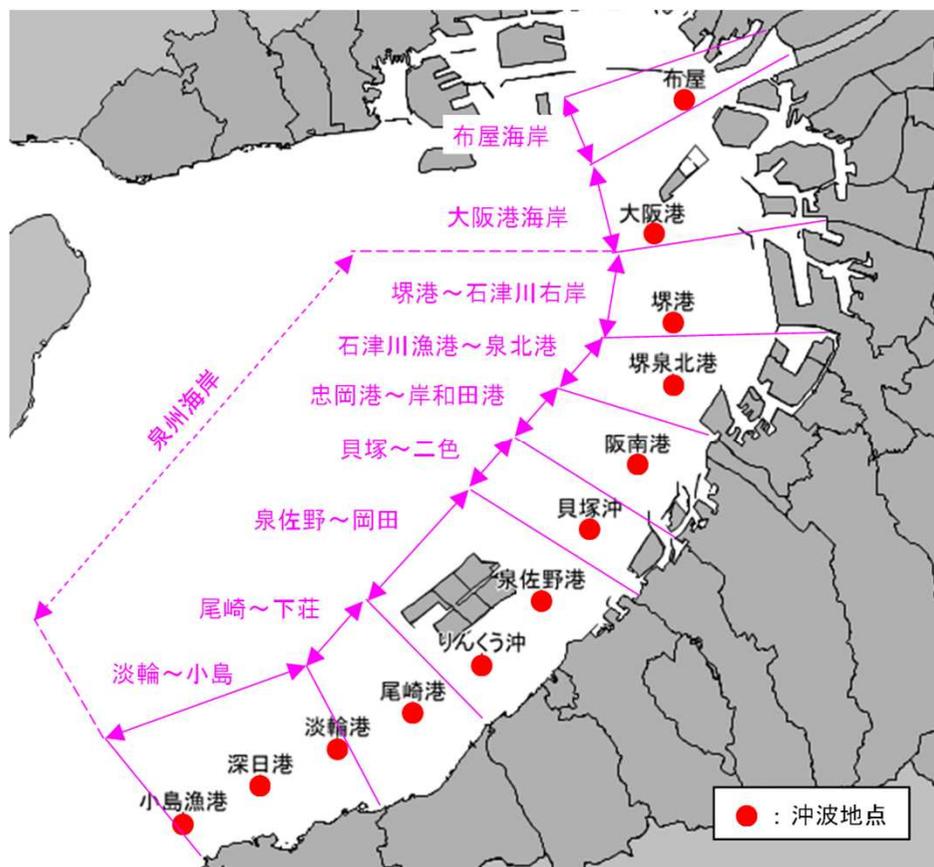
4℃上昇シナリオ



5. 1 潮位偏差・沖波波浪の設定方針（案）

- 現行計画では、最大級の台風（伊勢湾台風）が最も危険なコース（室戸台風コース）を通過するものとして想定台風（ケース1に相当）を設定し、防護水準（潮位偏差・波浪条件）を設定。
- 現行計画値は昭和36年に検討実施。以降、平成30年台風21号では、大阪港等において既往最大潮位を更新。
- 最も危険なコースとして平成30年台風21号を想定し、ケース1よりも潮位偏差・波高が大きくなる**ケース2（伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース）**の高潮・波浪推算結果より新計画値を設定。
- 現行計画値では、潮位偏差最大時の潮位偏差および波高を用いて必要天端高の計画値を設定。新計画値（案）では、想定台風の時系列上で必要天端高が最大となる時刻として、**（偏差+波高）最大時を採用**し、計画値を設定。（次頁参照）。
- 沖波波高は、下図に示す沖波地点において設定。潮位偏差は、現行計画と同様に、下図に示す区間ごとに設定。

【海岸区分および沖波地点】



● 潮位偏差と波浪の組み合わせ

- 下記理由により、時系列的に**同時刻の潮位偏差と波高を計画値として採用**。
 - 想定台風（ケース2）で計画値を設定するため、時系列上、同時刻の潮位偏差と波高を採用することが合理的（下記、「海岸基準」参照）。
 - 大阪湾内では、外洋で発達した波浪が、紀淡海峡からうねりとして伝播すると考えられ、大阪湾北部沿岸では、うねりの伝播時間により、台風の通過と波高最大時のタイムラグが生じると考えられる。台風の移動速度が遅いと潮位偏差と波高のピーク時間が一致する可能性があるが、その場合、潮位偏差・波高とも小さくなる（下図参照）。
 - 現行計画においても、潮位偏差最大時の潮位偏差および波高を計画値として採用している。

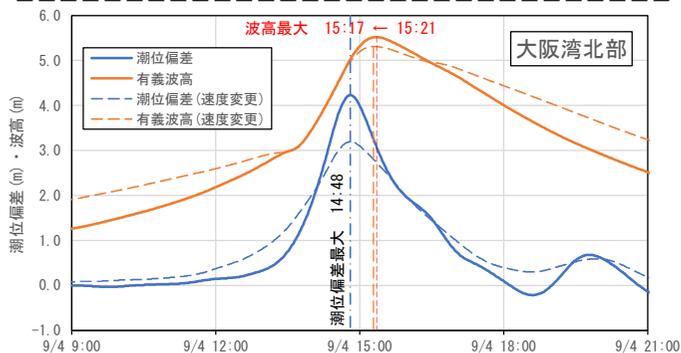


同時刻の潮位偏差と波高を計画値として採用し、時刻歴のうち、最も厳しい条件となる潮位偏差と波高の組み合わせを検討（次頁）

【台風の移動速度を低下させた場合の時刻歴波形】

ケース2の台風接近時の移動速度（約72km/hr）を45km/hrまで低下させて推算を実施。

- ✓ 潮位偏差と波高のピーク時間のずれは、若干小さくなる。
- ✓ 移動速度を低下させたことにより潮位偏差が1m程度小さくなる。



(7) 高潮と高波の同時生起性

内湾の高潮は、主として気圧低下による海面の吸い上げと風による吹き寄せによって生じる。湾口部では一般に、吸い上げの効果が卓越し、台風が最接近して気圧が最も低下する頃に潮位偏差が最大となる。浅く長い内湾の奥部では一般に、吹き寄せの効果が卓越し、風が湾口から湾奥に向かって最も強く吹く頃に潮位偏差が最大となる。一方、波浪は、気圧低下と直接の関係はなく、風によって発達し、風が吹かないところでも海底地形の影響を受けながら伝播を続ける。高潮と波浪にはこのような違いがあるため、台風の経路や湾内の位置によっては、潮位偏差の経時変化のピークと波高のピークが同時に生起しないこともある²²⁾。

堤防、護岸等の設計では、安全側に考え、朔望平均満潮位等の天文潮位に潮位偏差の経時変化のピーク値を加えた設計高潮位と、波高の経時変化のピーク値である設計波との、組み合わせを基本とする。ただし、この条件で設計高潮位が著しく高くなる場合には、満潮、潮位偏差のピーク、波高のピークが同時に生起する可能性を考慮し、設計高潮位を下方修正してもよい。

【出典】「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」（平成30年8月）p. 2-9

● 潮位偏差と波浪の組み合わせ

■ 時系列的に同時刻の潮位偏差と波高の組み合わせのうち、必要天端高が最大となる場合を計画値として設定。必要天端高が最大となる可能性がある場合として、下記①～③を設定。

- ① 潮位偏差最大時の波高を計画値として設定
- ② 波高最大時の潮位偏差を計画値として設定
- ③ (偏差+波高) 最大時の波高と潮位偏差を計画値として設定

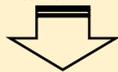
【必要天端高の試算結果の整理】

海面抵抗係数 Cd	パターン	必要天端高 (O.P. +m)		
		大阪湾北部	大阪湾中部	大阪湾南部
SWAN (Ver. 41.10) デフォルト値	① 潮位偏差最大時	8.1	7.7	7.0
	② 波高最大時	7.1	7.6	6.8
	③ (偏差+波高) 最大時	8.1	7.7	7.0
本多・光易の式	① 潮位偏差最大時	8.3	8.0	7.2
	② 波高最大時	7.7	8.0	7.2
	③ (偏差+波高) 最大時	8.3	8.0	7.4

※ 着色部は、各ケースで必要天端高が最大となる場合を示す。



③ (偏差+波高) が最大となる時刻を採用することにより、必要天端高が最大となる時刻を把握することが可能。

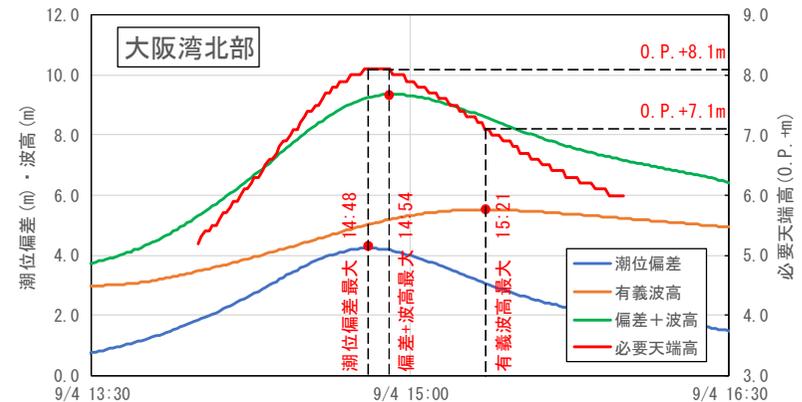


(偏差+波高) 最大時の波高と潮位偏差を計画値として設定

【天端高の試算結果（大阪湾北部）】 構造形式：直立護岸

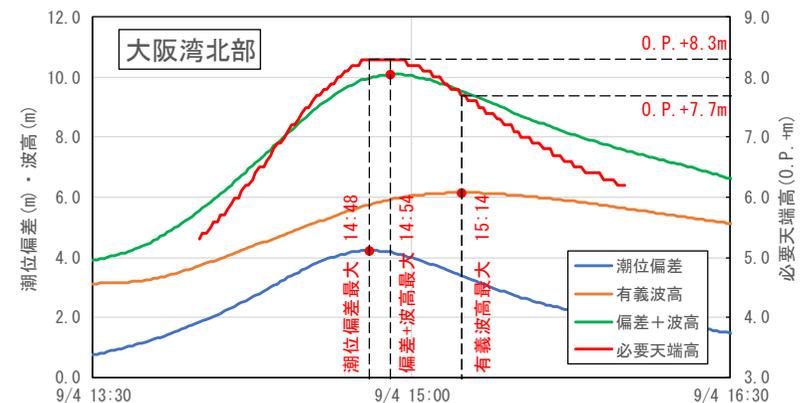
● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに二次式を用いた場合

	大阪湾北部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P. +m)		天端高 (O.P. +m)	
		Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位	hc (m)		
① 潮位偏差最大時	14:48	4.23	5.02	7.5	0.30	1.51	0.4	2.3	6.93	1.09	8.1
② 波高最大時	15:21	3.07	5.52	8.1	0.30	1.66	0.4	2.3	5.77	1.32	7.1
③ (偏差+波高) 最大	14:54	4.17	5.19	7.7	0.30	1.56	0.4	2.3	6.87	1.23	8.1
備考						既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量: 0.01 (m ³ /s/m)		



● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに本多・光易の式を用いた場合

	大阪湾北部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P. +m)		天端高 (O.P. +m)	
		Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位	hc (m)		
① 潮位偏差最大時	14:48	4.23	5.75	8.0	0.30	1.73	0.4	2.3	6.93	1.32	8.3
② 波高最大時	15:14	3.39	6.15	8.4	0.30	1.84	0.4	2.3	6.09	1.59	7.7
③ (偏差+波高) 最大	14:54	4.17	5.93	8.1	0.30	1.78	0.4	2.3	6.87	1.43	8.3
備考						既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量: 0.01 (m ³ /s/m)		



5. 防護水準（潮位偏差・波浪条件）の設定

【天端高の試算結果（大阪湾中部）】 構造形式：直立護岸（消波工被覆）

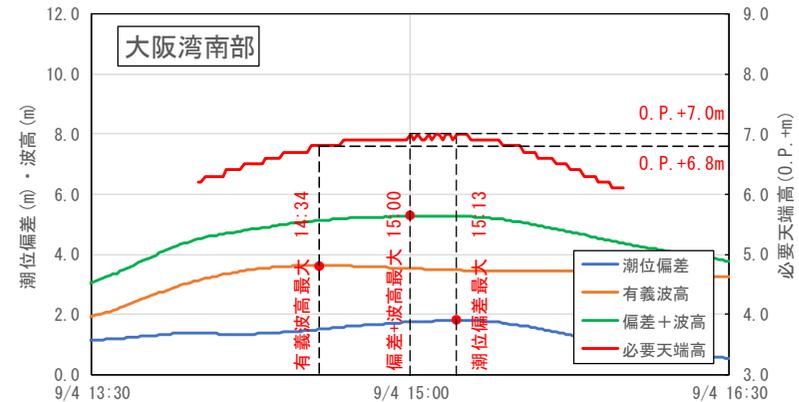
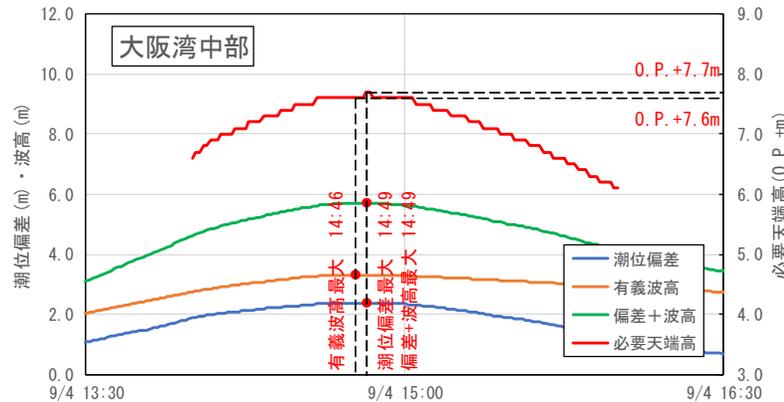
【天端高の試算結果（大阪湾南部）】 構造形式：直立護岸（消波工被覆）

● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに二次式を用いた場合

● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに二次式を用いた場合

	大阪湾中部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P.+m)		天端高 (O.P.+m)	
			Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位		hc (m)
①潮位偏差最大時	14:49	2.38	3.32	5.9	1.15	3.82	0.4	2.3	5.08	2.53	7.7
②波高最大時	14:46	2.37	3.32	5.9	1.15	3.82	0.4	2.3	5.07	2.52	7.6
③(偏差+波高)最大	14:49	2.38	3.32	5.9	1.15	3.82	0.4	2.3	5.08	2.53	7.7
備考							既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量：0.01 (m ³ /s/m)	

	大阪湾南部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P.+m)		天端高 (O.P.+m)	
			Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位		hc (m)
①潮位偏差最大時	15:13	1.80	3.47	6.0	0.75	2.60	0.4	2.3	4.5	2.41	7.0
②波高最大時	14:34	1.50	3.62	6.0	0.75	2.72	0.4	2.3	4.2	2.54	6.8
③(偏差+波高)最大	15:00	1.75	3.53	6.0	0.75	2.65	0.4	2.3	4.5	2.46	7.0
備考							既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量：0.01 (m ³ /s/m)	

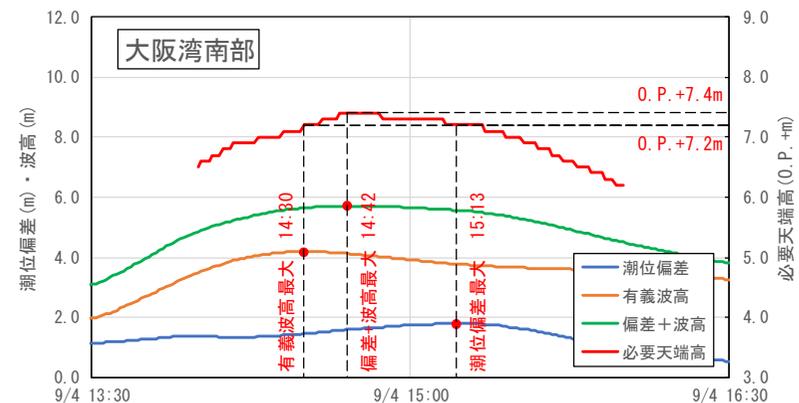
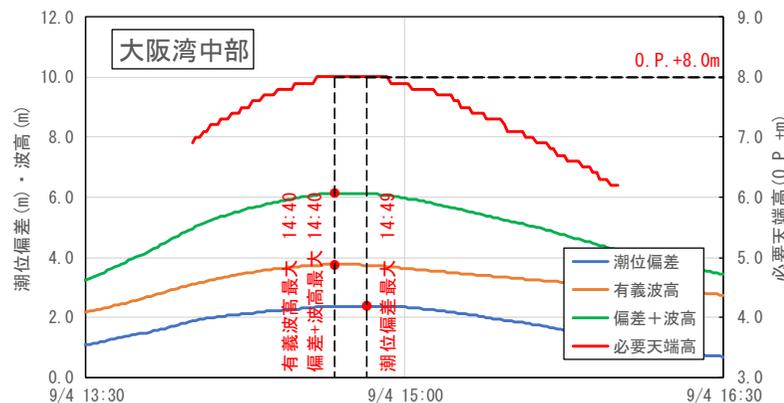


● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに本多・光易の式を用いた場合

● 波浪推算の海面抵抗係数Cdに本多・光易の式を用いた場合

	大阪湾中部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P.+m)		天端高 (O.P.+m)	
			Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位		hc (m)
①潮位偏差最大時	14:49	2.38	3.74	6.2	1.15	4.30	0.4	2.3	5.08	2.88	8.0
②波高最大時	14:40	2.37	3.76	6.1	1.15	4.32	0.4	2.3	5.07	2.89	8.0
③(偏差+波高)最大	14:40	2.37	3.76	6.1	1.15	4.32	0.4	2.3	5.07	2.93	8.0
備考							既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量：0.01 (m ³ /s/m)	

	大阪湾南部										
	起時	潮位偏差 (m)	沖波		堤前波		海面上昇量 (m)	潮位 (O.P.+m)		天端高 (O.P.+m)	
			Ho (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		H.W.L.	検討潮位		hc (m)
①潮位偏差最大時	15:13	1.80	3.77	6.2	0.75	2.83	0.4	2.3	4.50	2.69	7.2
②波高最大時	14:30	1.45	4.19	6.4	0.75	3.14	0.4	2.3	4.15	2.96	7.2
③(偏差+波高)最大	14:42	1.59	4.13	6.4	0.75	3.10	0.4	2.3	4.29	3.11	7.4
備考							既往検討より推定	2°C上昇		許容越波流量：0.01 (m ³ /s/m)	



5. 2 海面抵抗係数Cdについて

- ケース2（伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース）について、（偏差+波高）が最大となる時刻の有義波高と潮位偏差を整理（下図）。
- 波浪推算の海面抵抗係数Cdとして本多・光易の式を用いた場合は、二次式を用いた場合よりも計画値（波高）が0.4~0.8m程度大きくなる。いずれのケースも50年確率波高（既検討結果）よりも大きく、確率年を推定した結果は下表のとおり。



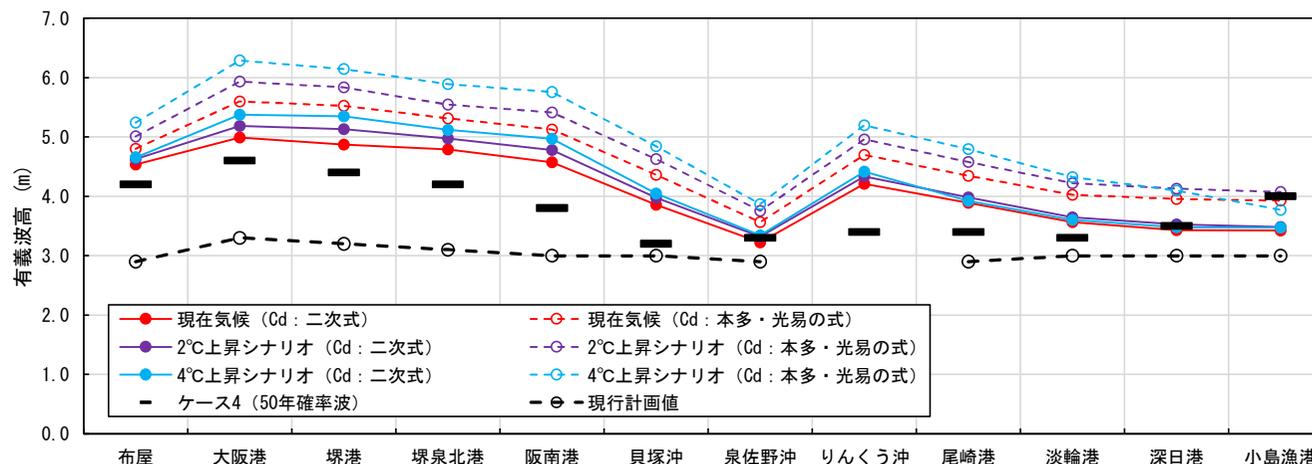
海面抵抗係数Cdの違いによる計画値への影響は次頁に示すとおり

【沖波波高の確率評価（推定）】

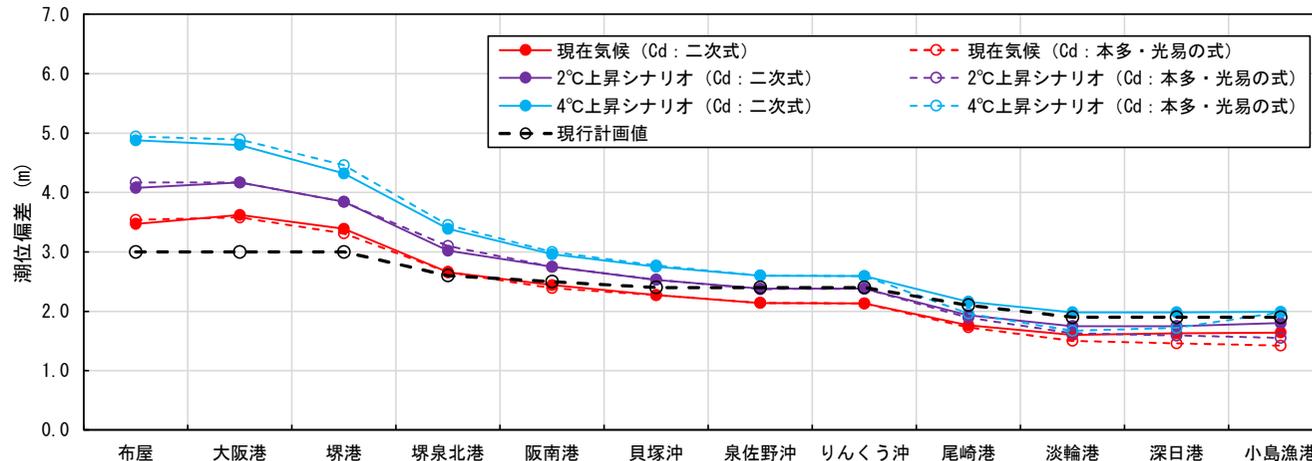
Cd	確率年（年）	
	二次式	本多・光易の式
布屋	96	130
大阪港	88	137
堺港	87	134
堺泉北港	107	157
阪南港	101	145
貝塚沖	104	181
泉佐野沖	45	96
りんくう沖	113	151
尾崎港	105	159
淡輪港	64	134
深日港	26	80
小島漁港	12	29
平均	79	128

※ 既検討（沖波推算結果）における極値統計解析結果より推定。

【(偏差+波高)最大時の沖波波高】



【(偏差+波高)最大時の潮位偏差】



- 波浪推算に用いる海面抵抗係数Cdの違い（二次式、本多・光易の式）が、計画値の設定に与える影響を整理した結果を下表に示す。

	波浪推算に用いる海面抵抗係数Cd	
	二次式 (SWAN(Ver. 41.10)デフォルト値)	本多・光易の式
風場の設定	高潮推算と同じ風場で検討 (風速の換算係数) 高潮推算：C=0.70 波浪推算：C=0.70	波浪推算の再現性確保のため、高潮推算と風場が異なる (風速の換算係数) 高潮推算：C=0.70 波浪推算：C=0.65
高潮推算との整合性	高潮推算で用いた海面抵抗係数 (本多・光易の式)と異なる	高潮推算で用いた海面抵抗係数に 同じ
沖波波高の確率年 (各地点の平均)	79年	128年
大阪湾南部海域での波高	現在気候と将来気候の波高の差が 軽微	現在気候と将来気候の波高の差が 明瞭に現れる
必要天端高の設定	本多・光易の式を用いた場合より も必要天端高が0.5m程度低くなる	二次式を用いた場合よりも必要天 端高が高くなる

