
第2回部会における課題と対応

< 目 次 >

<u>1. 第2回気候変動検討部会における課題と対応</u>	・ ・ ・ ・ ・	p. 1
<u>2. 課題への対応（1-1 津波シミュレーション）</u>	・ ・ ・ ・ ・	p. 2
<u>3. 課題への対応（2-1 海面抵抗係数）</u>	・ ・ ・ ・ ・	p. 3
<u>4. 課題への対応（2-2 波浪推算結果の確認）</u>	・ ・ ・ ・ ・	p. 5
<u>5. 課題への対応（2-3 計画値の設定）</u>	・ ・ ・ ・ ・	p. 9

■ 第2回部会における指摘事項とその対応は以下に示すとおり。

1. 防護水準（外力）の設定（津波シミュレーション）

1-1 津波シミュレーションで河川の中は、どのあたりまで計算を行うのか。気候変動に伴い潮位が上がるため、現時点での上流端の条件が変わる可能性がある。

⇒ 津波シミュレーションにおける河川上流端の水位変動量を確認。河川上流端の水位変動は軽微であり、河川遡上の影響を十分に考慮できていると判断できる。（資料P.2）

2. 防護水準（外力）の設定（高潮・波浪推算）

2-1 波浪推算の海面抵抗係数 C_d は、安全側の検討を行うものとして「本多・光易の式」を用いて計画外力を設定。ただし、台風に対する海面抵抗係数に関する学术论文のレビューを実施しておく。

⇒ 文献調査を実施。強風速域における海面抵抗係数は学術的にも課題が残っていることを再認識。

今回は、国が発出している「高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.2.11（令和5年4月）」に準拠することとし、一定値となる風速を45m/sとして高潮・波浪推算を実施。（資料P.3～P.4）

2-2 紀淡海峡より沖側の海域において、2℃上昇シナリオよりも4℃上昇シナリオの波高が小さくなっているように見受けられる。確認を行っておくこと。

⇒ 紀淡海峡より沖側の海域における時々刻々の波高分布図を作成して確認。外洋域では波高が逆転するが、大阪湾内では4℃上昇シナリオのほうが波高が大きくなる。あくまで大阪湾内を対象としたモデルと考え、本モデルを用いて検討を実施。（資料P.5～P.8）

2-3 想定台風の時系列上で必要天端高が最も高くなる（偏差＋波高）最大時の潮位偏差と波高を用いて計画値を設定する。ただし、潮位偏差のピーク値と波高のピーク値を組み合わせた場合の必要天端高との差について確認を行ったうえで計画値を設定したほうが良い。

また、（偏差＋波高）とすると、波高に引きずられて必要天端高のピーク値を逃す可能性がある。潮位偏差＋波高の1/2を計画値として採用している事例もあるので確認を行っておく。

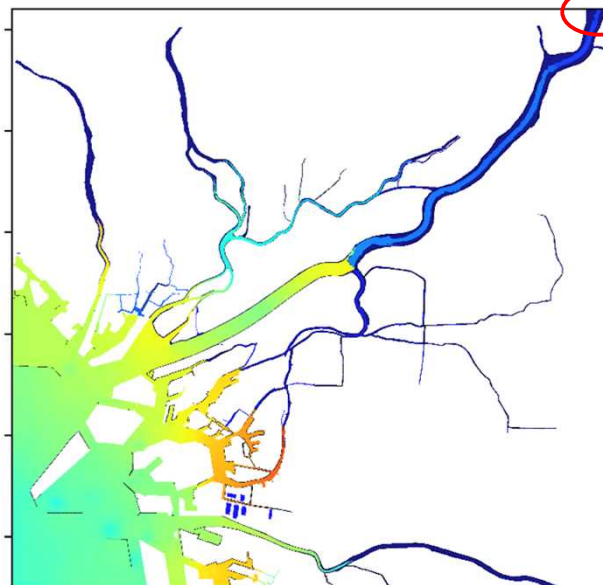
⇒ 潮位偏差のピーク値と波高のピーク値を組み合わせた場合の必要天端高を試算。また、（偏差＋波高×1/2）を「波峰高」と定義し、波峰高最大時の必要天端高を試算。緩傾斜護岸や人工海浜における必要天端高も試算し、構造形式の違いによる影響も把握。

第2回部会資料では、（偏差＋波高）最大時の潮位偏差と波高を計画値として設定する方針としたが、再検討の結果、波峰高（＝潮位偏差＋波高×1/2）最大時の必要天端高が最大となることから、このときの潮位偏差と波高を計画値として設定する方針に変更。（資料P.9～P.11）

課題1-1 津波シミュレーションで河川の中は、どのあたりまで計算を行うのか。気候変動に伴い潮位が上がるため、現時点での上流端の条件が変わる可能性がある。

対応 津波シミュレーションにおける河川上流端の水位変動量を確認。河川上流端の水位変動は軽微であり、河川遡上の影響を十分に考慮できていると判断できる。

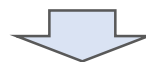
(大阪港：想定昭和南海地震津波)



淀川上流端

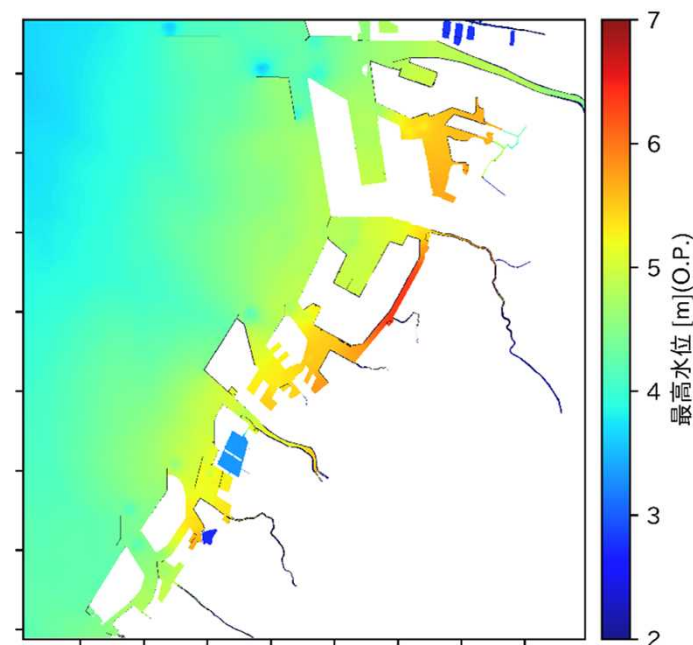
	シナリオ	
	2℃上昇	4℃上昇
初期潮位 (O. P. +m)	2.6	2.9
地殻変動量 (m)	0.18	0.18
地震後潮位 (O. P. +m)	2.42	2.72
津波水位 (O. P. +m)	2.44	2.81
水位変動量 (m)	0.02	0.09

※その他の主要河川の上流端には津波が到達していない。

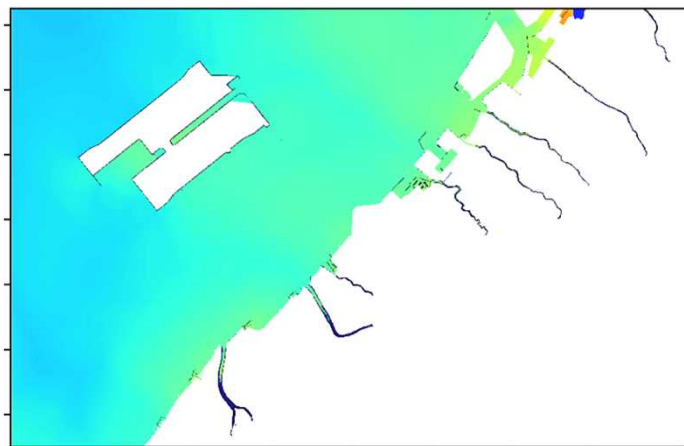


河川上流端に到達する津波は軽微であり、河川の上流端条件が海岸保全施設の津波水位に及ぼす影響は軽微

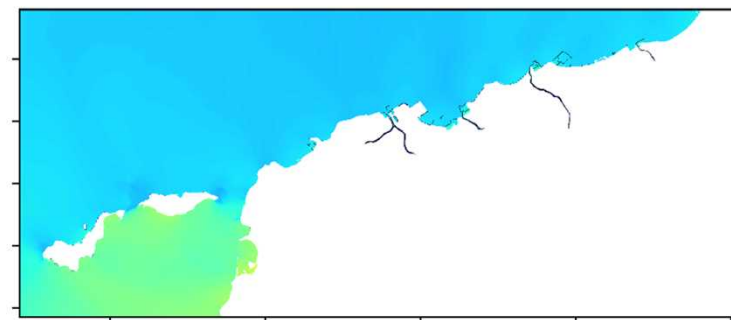
(堺泉北港・阪南港：想定安政南海地震津波)



(泉佐野ほか：
想定安政南海地震津波)



(淡輪港ほか：想定安政南海地震津波)



課題2-1 波浪推算の海面抵抗係数 C_d は、安全側の検討を行うものとして「本多・光易の式」を用いて計画外力を設定。ただし、台風に対する海面抵抗係数に関する学術論文のレビューを実施しておく。

対応 文献調査を実施。強風速域における海面抵抗係数は学術的にも課題が残っていることを再認識。

今回は、国が発出している「高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.2.11(令和5年4月)」に準拠することとし、一定値となる風速を45m/sとして高潮・波浪推算を実施。

【本検討において用いた海面抵抗係数】

本検討では、本多・光易の式および二次式を用いて波浪推算を実施。いずれの式においても、学術的に課題が残っている強風速域における海面抵抗係数の取り扱いに配慮したものとなっている(右表参照)。

本多・光易の式	$C_d = (1.29 - 0.024U_{10}) \times 10^{-3} \quad U_{10} < 8\text{m/s}$ $C_d = (0.581 + 0.063U_{10}) \times 10^{-3} \quad U_{10} \geq 8\text{m/s}$	高潮浸水想定区域図作成の手引きVer. 2.11(令和5年4月)において基本的に採用されている式 ただし、風速45m/s以上は一定値として設定
二次式	$C_d = (0.55 + 2.97U - 1.49U^2) \times 10^{-3}$	SWAN (Ver. 41.10) においてデフォルト値として採用されている式 高風速域における海面抵抗係数の低減を考慮するため二次式として設定

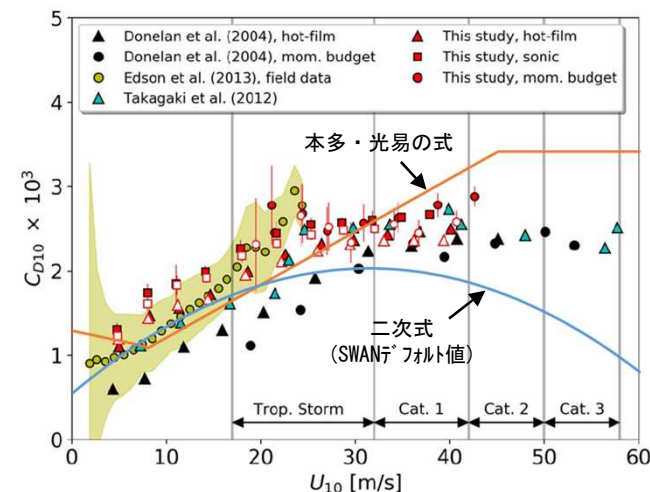
文献調査の結果要約(詳細は次頁参照)

- ✓ 風速30m/s以下では、本多・光易の式は妥当な結果を与える。
- ✓ 海面抵抗係数に上限値を設定することにより妥当な推算結果が得られる。
- ✓ 強風速における海面抵抗係数は、一定値となる傾向が見られるものの、観測困難などの理由から明確な推定方法が定まっていない。

「高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.2.11」(令和5年4月)

- ✓ 本多・光易の式を基本とし、風速45m/s以上は一定値とすることを推奨。
- ✓ 風速40m/sまでは海面抵抗係数が上昇する観測結果や、風速40~50m/sの間でも係数の明瞭な減少が見られない観測結果が得られていることから、上限値として風速45m/sを設定。

【風速と海面抵抗係数の関係】



出典: Curcicら(2020)に加筆

本検討における方針

- ✓ SWANのデフォルト値として用いられている二次式は、強風速域で過小評価する可能性がある(上図参照)。
- ✓ 本多・光易の式は、強風速域で安全側となる可能性があるが、国が発出している「高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.2.11(令和5年4月)」にて方針が示されていることから、一定値となる風速を45m/sとして高潮・波浪推算を実施。

3. 課題への対応 (2-1 海面抵抗係数)

4

【強風速域における海面抵抗係数に関するレビュー】

- ①本多・光易の式 (1980) は、風洞水槽による実験結果より導出された実験式。風速40m/sを越えるような強風速域における適合性は確認されていない。
- ②強風速域における海面抵抗係数の検討を行った事例として、Powell (2008) の研究事例がある。Powellは、ハリケーンの観測データより、風速階級ごとの海面抵抗係数について整理しており、**風速40m/s程度までは、海面抵抗係数は単調増加**することを示している (図-1参照)。
- ③Takagaki et. al. (2012) は、京大白浜観測所における観測結果と風洞水槽実験の結果を用いて、風速と海面抵抗係数の関係を整理しており、**風速40m/s程度より大きい風速の場合には、海面抵抗係数が一定値になる**ことを示している (図-2参照)。
- ④Curcicら (2020) は、風洞水槽による実験により、海面抵抗係数と風速の関係を整理している (図-3参照)。Takagaki et. al. (2012) の京大白浜観測所における観測結果とも一致した結果が得られており、②と同様に**風速40m/s程度までは海面抵抗係数が増加**する傾向となっている。
- ⑤横田ら (2013) は、データ同化手法を活用し、波浪推算モデルを仮定の観測装置とし、NOWPHAS潮岬の観測値を用いてデータ同化を行い、強風域における海面抵抗係数の推定を試みている。結果として、風速30m/s以上の強風速により発達した波浪は、潮岬の推算波高に影響を与えていないため、風速30m/s以上の海面抵抗係数は推定できなかったが、**風速30m/s以下では、本多・光易の式が概ね妥当な結果を与える**ことが示された (図-4参照)。
- ⑥金ら (2019) は、大阪湾内を対象に台風1821号の台風半径や海面抵抗係数 (Jansenの手法) の**上限値 (風速制限) を変化したパラメータスタディ**を実施し、これらのパラメータを適切に設定することにより、推算精度の向上を図ることが可能であることを示している (図-5参照)。

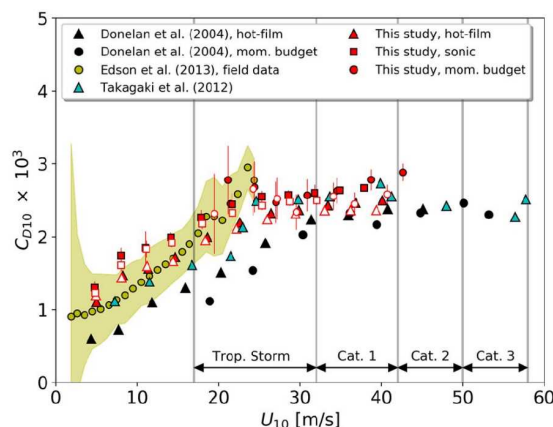


図-3 風速と海面抵抗係数の関係 (Curcicら (2020))

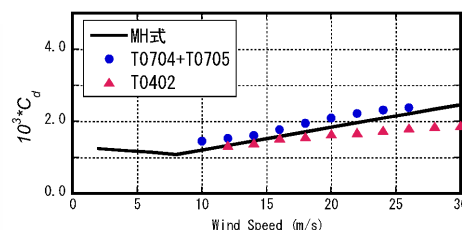


図-4 海面抵抗係数の推定結果 (横田ら (2013))

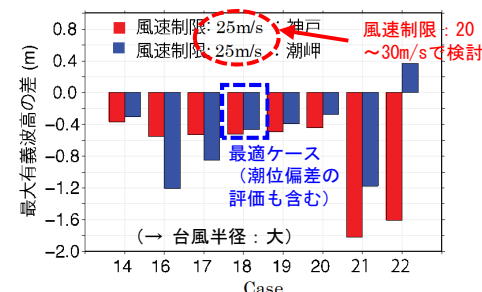


図-5 最大有義波高の推算値と観測値の差 (金ら (2019)) に加筆

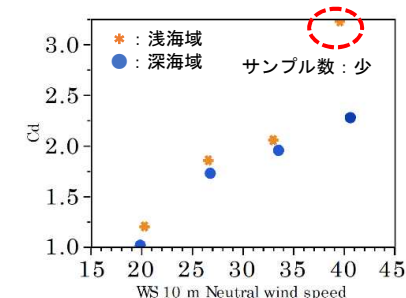


図-1 風速階級ごとの海面抵抗係数 (Powell (2008) に加筆)

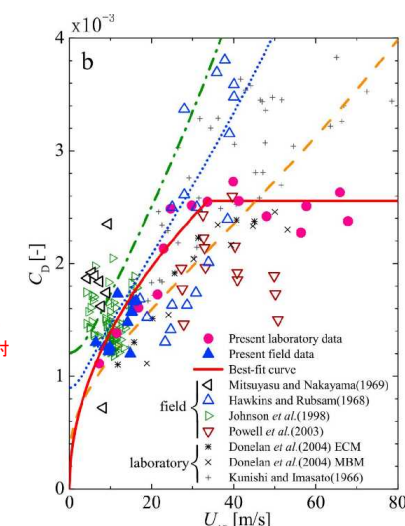


図-2 風速と海面抵抗係数の関係 (Takagaki et. al. (2012))

- ①本多忠夫・光易恒 (1980) : 水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, Vol. 27, pp. 90-93.
- ②Mark D. Powell (2008) : High Wind Drag Coefficient and Sea Surface Roughness in Shallow Water, Final Report to the Joint Hurricane Testbed
- ③Takagaki et. al. (2012) : Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, Geophysical Research Letters, Vol. 39, L23604
- ④M. Curcic and B. K. Haus (2020) : Revised Estimates of Ocean Surface Drag in Strong Winds, Geophysical Research Letters
- ⑤横田雅紀・橋本典明・網屋凌太・児玉充由 (2013) : 波浪データに基づく海面抵抗係数の風速依存性に関する研究, 土木学会論文誌B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_136-I_140.
- ⑥金珠列・森信人・竹見哲也・澁谷容子・安田誠宏・中条壮大・志村智也・二宮順一 (2019) : 高潮・波浪結合モデルを用いた2018年台風21号による高潮・波浪の推算実験, 土木学会論文誌B2 (海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp. I_277-I_282.

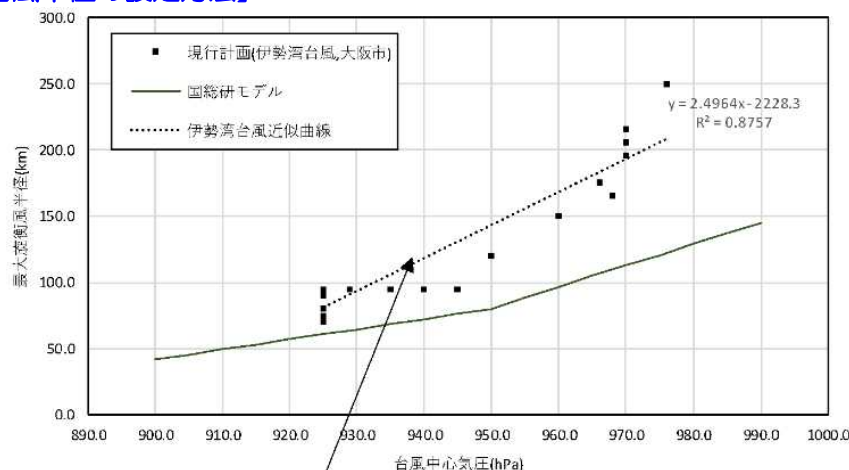
課題2-2 紀淡海峡より沖側の海域において、2℃上昇シナリオよりも4℃上昇シナリオの波高が小さくなっているように見受けられる。確認を行っておくこと。

対応 紀淡海峡より沖側の海域における時々刻々の波高分布図を作成して確認（次頁以降参照）。外洋域では波高が逆転するが、大阪湾内では4℃上昇シナリオのほうが波高が大きくなる。あくまで大阪湾内を対象としたモデルと考え、本モデルを用いて検討を実施。

外洋における波浪の発達状況

- ✓ 台風の危険半円側において、九州の南海上で発生した波浪が、台風の移動とともに発達しながら、うねりとして紀伊半島へ来襲。
- ✓ 4℃上昇シナリオのほうが、台風の中心気圧が小さいため、下図に示す関係式により算定される台風半径が小さい。
- ✓ そのため、強風域が4℃上昇シナリオのほうが小さく、2℃上昇シナリオよりも、うねりの発達が抑制される（次頁以降参照）。

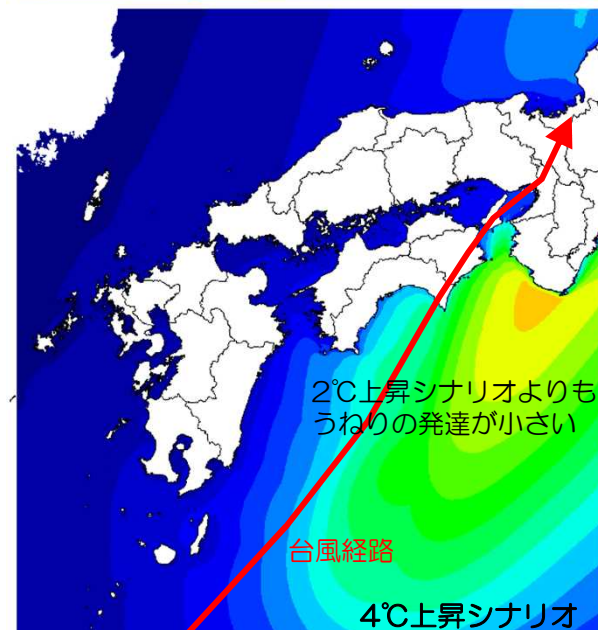
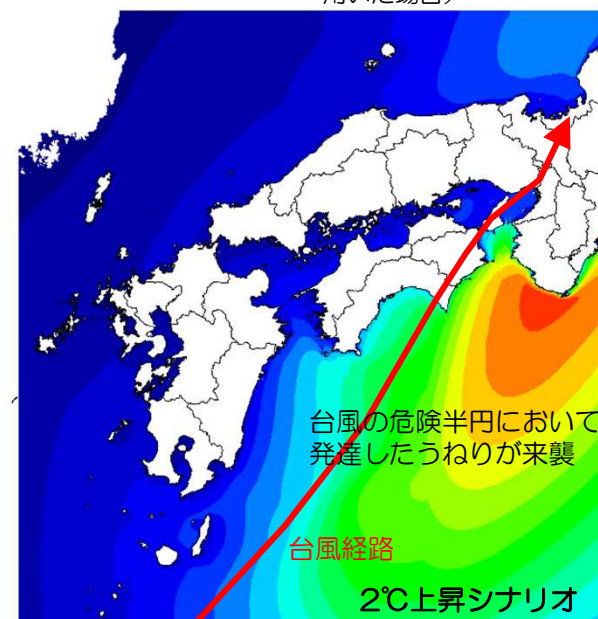
【台風半径の設定方法】



中心気圧が小さいと台風半径が小さくなる（強風域が減少）

【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

【最大有義波高分布図】 ※伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース（二次式を用いた場合）



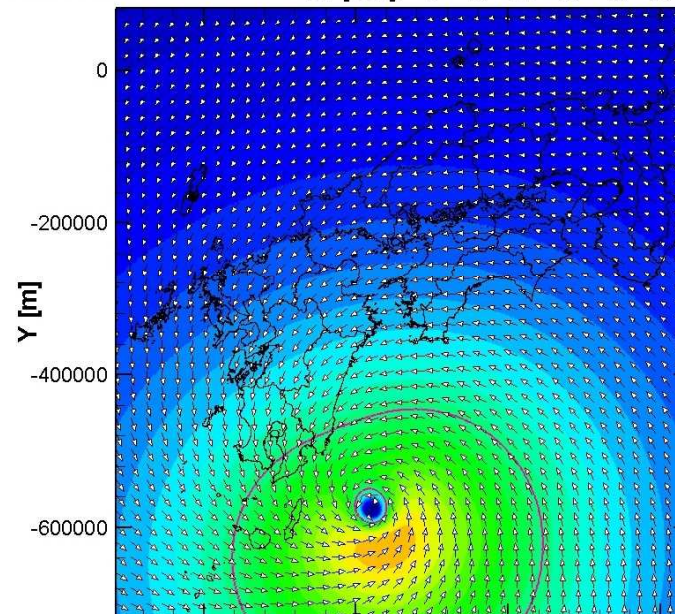
4. 課題への対応 (2-2 波浪推算結果の確認)

6

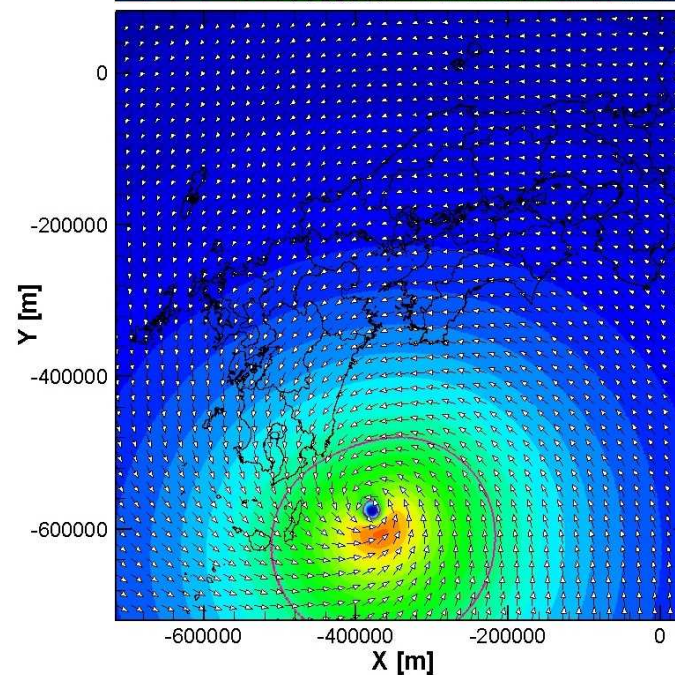
(風速分布図)

TIME : 193409202300 Wv [m/s]: 0 10 20 30 40 50 60

【2℃上昇シナリオ】



【4℃上昇シナリオ】



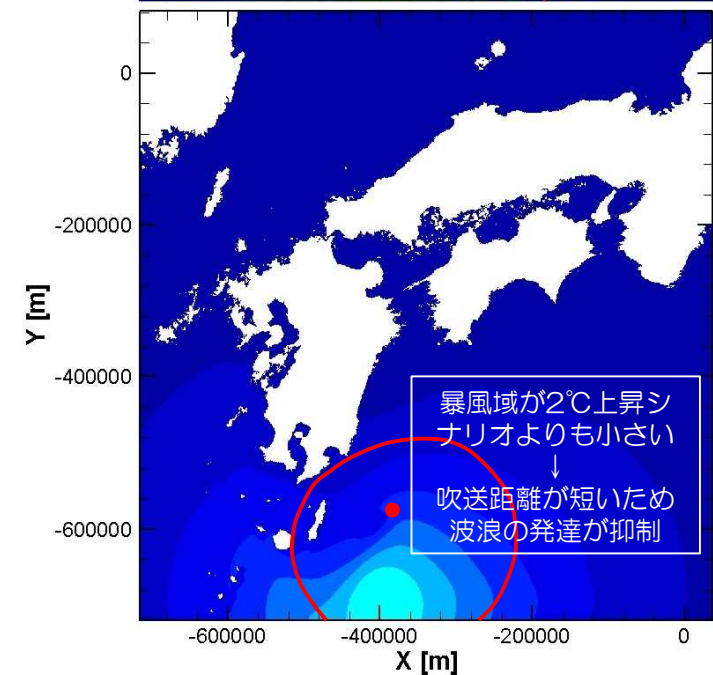
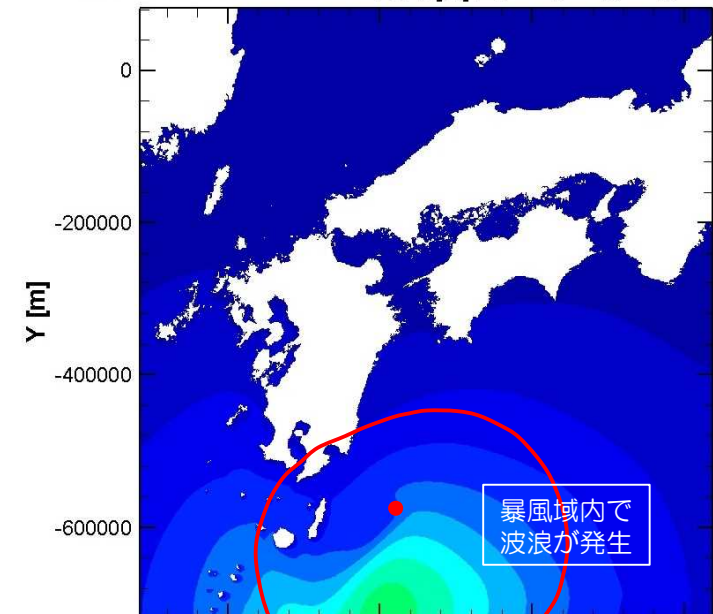
※ 伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース(二次式を用いた場合)

※ 図中のコンターラインは風速25m/s(暴風域)を示す。

※ 図中の赤プロットは台風中心位置を示す。

(波高分布図)

TIME : 193409202300 H1/3 [m]: 0 5 10 15 20



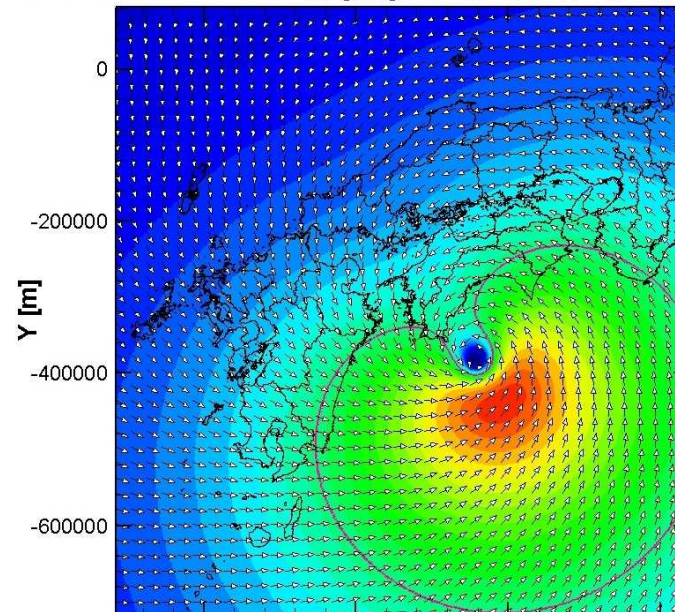
4. 課題への対応 (2-2 波浪推算結果の確認)

7

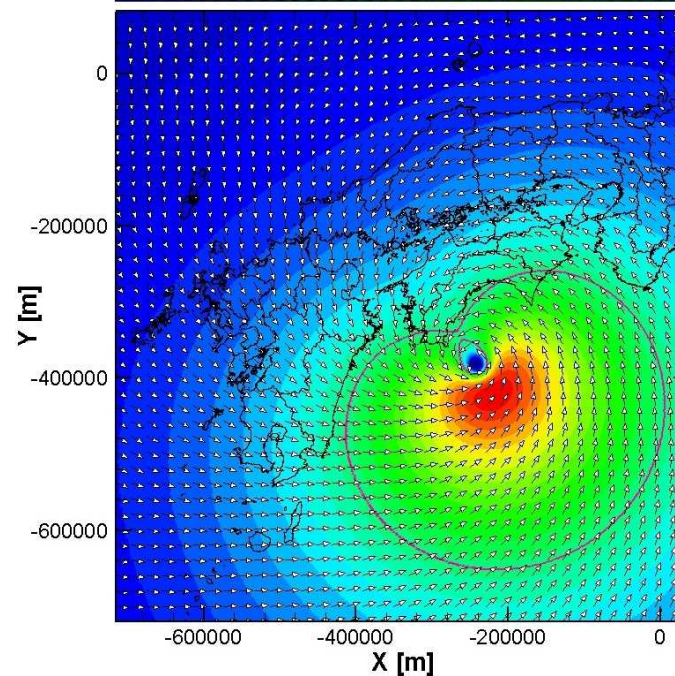
(風速分布図)

TIME : 193409210300 Ww [m/s]: 0 10 20 30 40 50 60

【2℃上昇シナリオ】



【4℃上昇シナリオ】



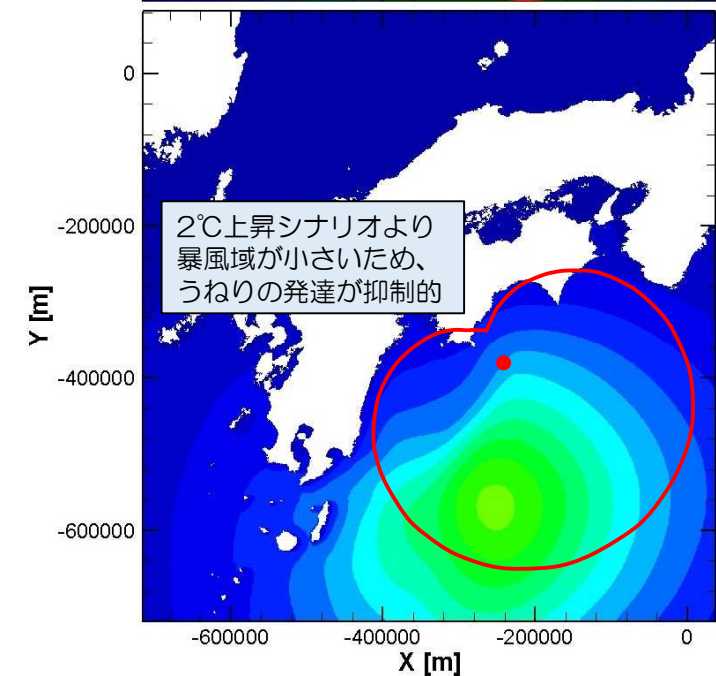
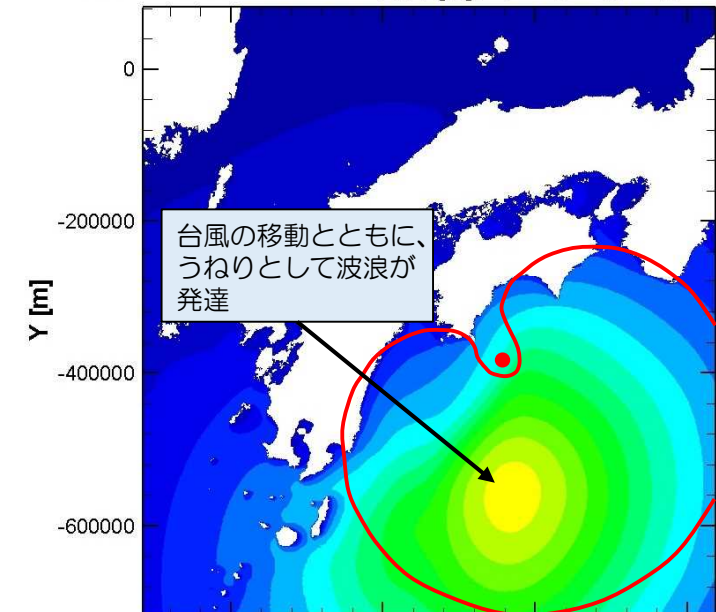
※ 伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース(二次式を用いた場合)

※ 図中のコンターラインは風速25m/s(暴風域)を示す。

※ 図中の赤プロットは台風中心位置を示す。

(波高分布図)

TIME : 193409210300 H1/3 [m]: 0 5 10 15 20



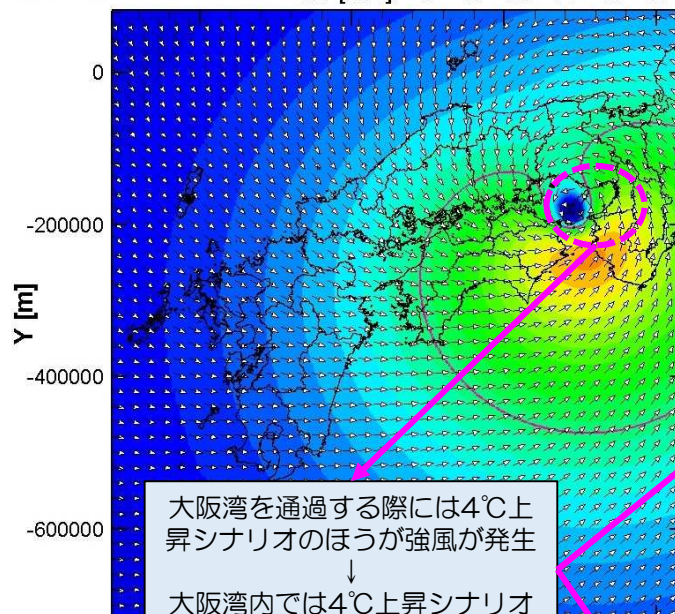
4. 課題への対応 (2-2 波浪推算結果の確認)

8

【2℃上昇シナリオ】

(風速分布図)

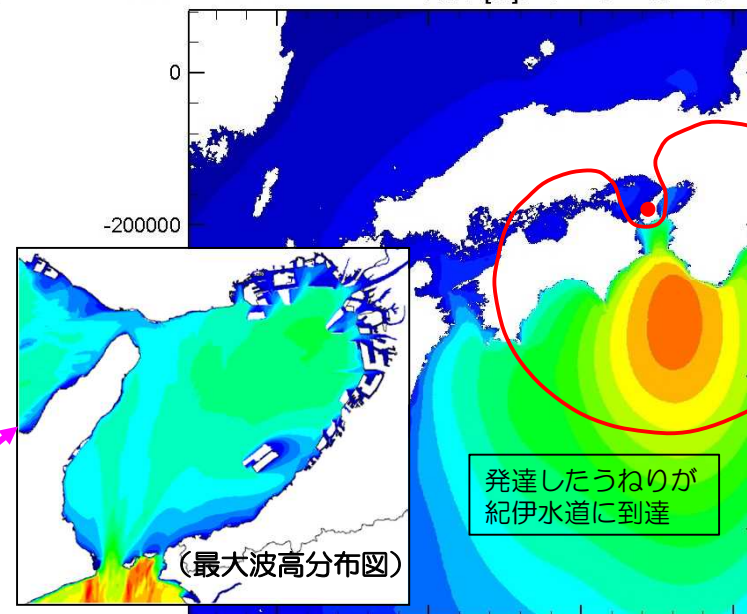
TIME : 193409210700 Wv [m/s]: 0 10 20 30 40 50 60



大阪湾を通過する際には4℃上昇シナリオのほうが強風が発生
↓
大阪湾内では4℃上昇シナリオのほうが波高が大きい(風波)

(波高分布図)

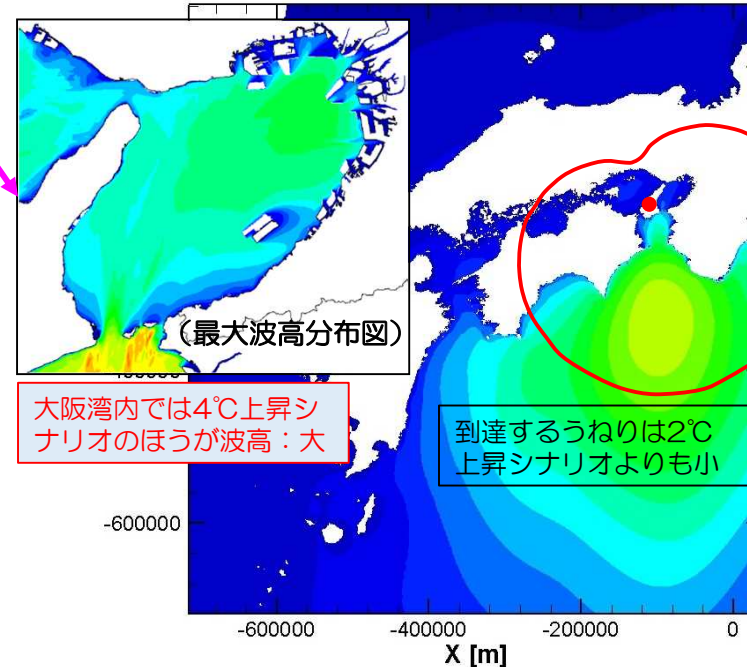
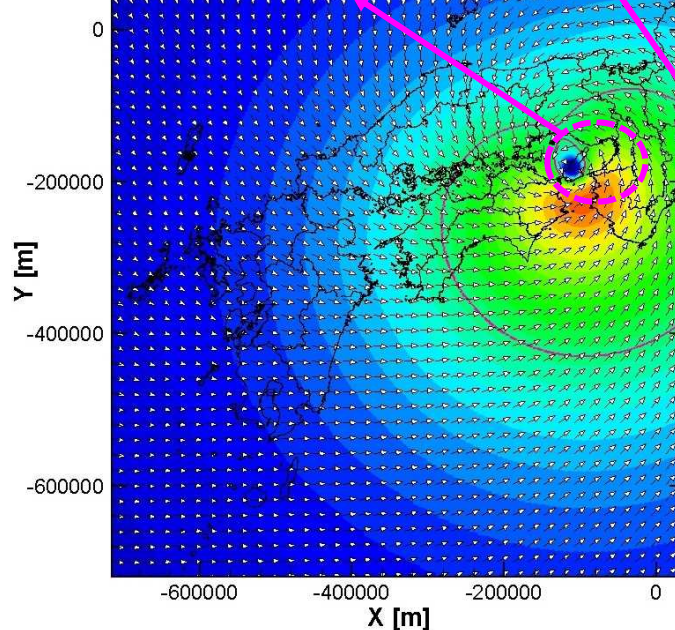
TIME : 193409210700 H1/3 [m]: 0 5 10 15 20



発達したうねりが紀伊水道に到達

(最大波高分布図)

【4℃上昇シナリオ】



大阪湾内では4℃上昇シナリオのほうが波高：大

到達するうねりは2℃上昇シナリオよりも小

(最大波高分布図)

※ 伊勢湾台風規模・平成30年台風21号コース(二次式を用いた場合)

※ 図中のコンターラインは風速25m/s(暴風域)を示す。

※ 図中の赤プロットは台風中心位置を示す。

課題2-3 想定台風の時系列上で必要天端高が最も高くなる(偏差+波高)最大時の潮位偏差と波高を用いて計画値を設定する。ただし、潮位偏差のピーク値と波高のピーク値を組み合わせた場合の必要天端高との差について確認を行ったうえで計画値を設定したほうが良い。

また、(偏差+波高)とすると、波高に引きずられて必要天端高のピーク値を逃す可能性がある。潮位偏差+波高の1/2を計画値として採用している事例もあるので確認を行っておく。

対応 潮位偏差のピーク値と波高のピーク値を組み合わせた場合の必要天端高を試算。また、(偏差+波高×1/2)を「波峰高」と定義し、波峰高最大時の必要天端高を試算。緩傾斜護岸や人工海浜における必要天端高も試算し、構造形式の違いによる影響も把握。(次頁以降参照)

検討結果概要

- ✓ 波峰高最大時の条件で検討を行った結果、大阪湾南部の傾斜堤や人工海浜で(偏差+波高)最大時よりも必要天端高が0.2~0.3m高くなる結果となった(下表参照)。
- ✓ これは、構造形式による影響というよりも、潮位偏差と波高のピーク時刻のずれが大きく、(偏差+波高)最大とすると、波高に引きずられて潮位偏差の小さい時刻の条件を採用してしまうことが原因と考えられる(p.10、p.11の青枠参照)。
- ✓ 潮位偏差と波高のピーク値を重ね合わせた場合、波峰高最大時よりも必要天端高が高くなる。大阪湾南部で最大0.2m必要天端高が大きくなるが、大阪湾南部はピーク時刻のずれが大きい(40~50分)く、ピーク時刻が重なる可能性が他の地区よりも小さい。また、ピーク値が重なったとしても、別途考慮する余裕高(0.3m)の中に収まる。

【必要天端高の試算結果】

	地区 構造形式	必要天端高 (0. P. +m)					
		北部	中部		南部		
		直立	消波	人工海浜	消波	傾斜堤	人工海浜
ケース	①潮位偏差最大時	8.3	8.0	7.6	7.2	7.9	6.5
	②波高最大時	7.7	8.0	7.6	7.1	7.3	6.3
	③(偏差+波高)最大時	8.3	8.0	7.6	7.3	7.6	6.3
	④波峰高最大時	8.3	8.0	7.6	7.3	7.9	6.5
(参考)	ピーク値重ね合わせ (④との差)	8.4 (0.1)	8.0 (0.0)	7.6 (0.0)	7.5 (0.2)	8.0 (0.1)	6.7 (0.2)

※ 着色部は、各箇所が必要天端高が最大となるケースを示す。

本検討における方針

- ✓ 再検討を行った結果、**波峰高最大時の潮位偏差と波高を計画値として設定**。
(波峰高=潮位偏差+波高×1/2)

※ 第2回部会資料では、(偏差+波高)最大時の潮位偏差と波高を計画値として設定する方針としたが、再検討結果を受けて、**設定方針を変更**。

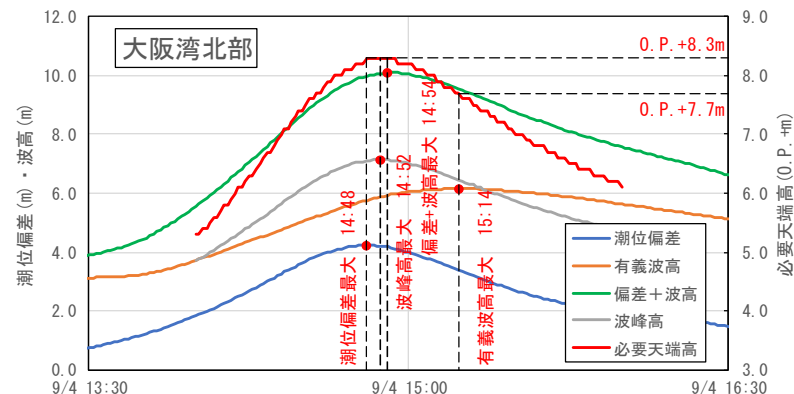
5. 課題への対応 (2-3 計画値の設定)

10

【必要天端高の試算結果】

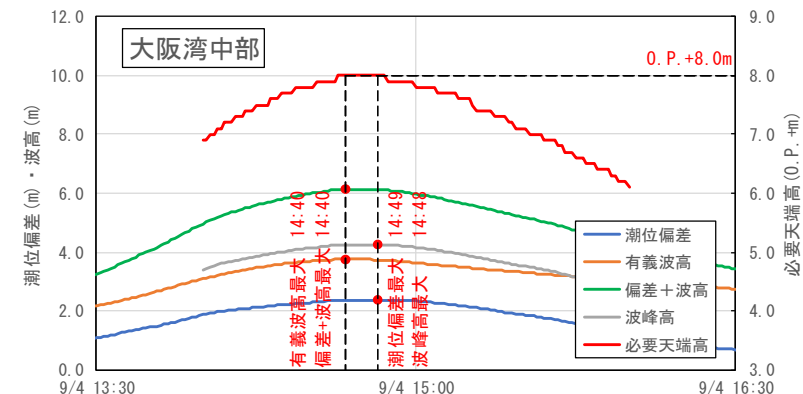
大阪湾北部 (直立護岸)										
	起時	潮位 偏差 (m)	準沖波 H _{qo} (m)	換算沖波 T (s)	波高比 Ho' (m)	海面上 昇量 (m)	潮位 (O. P. +m) H. W. L.	検討潮位	天端高 hc (m)	天端高 (O. P. +m)
①潮位偏差最大時	14:48	4.23	5.75	8.0	0.30	1.73	0.4	2.3	6.93	8.3
②波高最大時	15:14	3.39	6.15	8.4	0.30	1.84	0.4	2.3	6.09	7.7
③(偏差+波高)最大	14:54	4.17	5.93	8.1	0.30	1.78	0.4	2.3	6.87	8.3
④波峰高最大時	14:52	4.20	5.88	8.1	0.30	1.76	0.4	2.3	6.90	8.3
ピーク値重ね合わせ	—	4.23	6.15	8.4	0.30	1.84	0.4	2.3	6.93	8.4
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)	

※「波峰高」は潮位+波高/2として定義



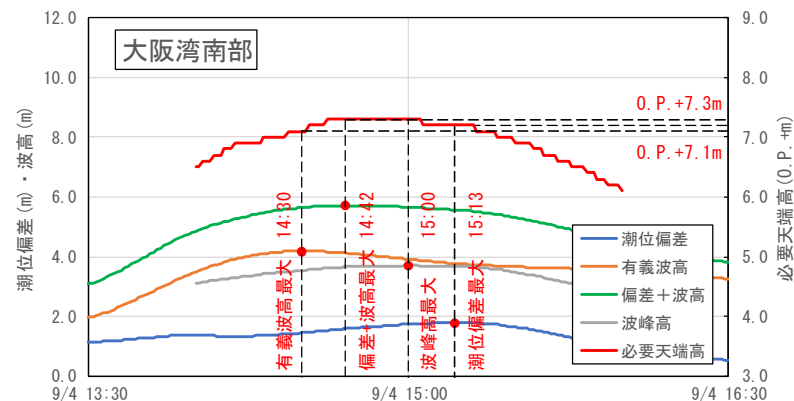
大阪湾中部 (直立護岸 (消波工設置))										
	起時	潮位 偏差 (m)	準沖波 H _{qo} (m)	換算沖波 T (s)	波高比 Ho' (m)	海面上 昇量 (m)	潮位 (O. P. +m) H. W. L.	検討潮位	天端高 hc (m)	天端高 (O. P. +m)
①潮位偏差最大時	14:49	2.38	3.74	6.2	1.15	4.30	0.4	2.3	5.08	8.0
②波高最大時	14:40	2.37	3.76	6.1	1.15	4.32	0.4	2.3	5.07	8.0
③(偏差+波高)最大	14:40	2.37	3.76	6.1	1.15	4.32	0.4	2.3	5.07	8.0
④波峰高最大時	14:49	2.38	3.74	6.2	1.15	4.30	0.4	2.3	5.08	8.0
ピーク値重ね合わせ	—	2.38	3.76	6.1	1.15	4.32	0.4	2.3	5.08	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)	

※「波峰高」は潮位+波高/2として定義



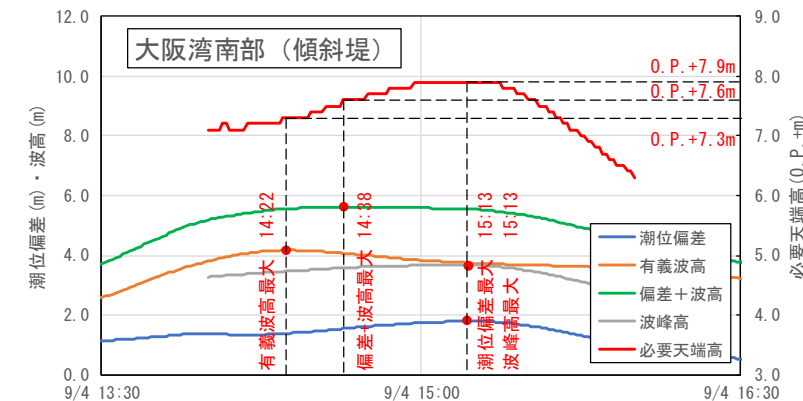
大阪湾南部 (直立護岸 (消波工設置))										
	起時	潮位 偏差 (m)	準沖波 H _{qo} (m)	換算沖波 T (s)	波高比 Ho' (m)	海面上 昇量 (m)	潮位 (O. P. +m) H. W. L.	検討潮位	天端高 hc (m)	天端高 (O. P. +m)
①潮位偏差最大時	15:13	1.80	3.77	6.2	0.75	2.83	0.4	2.3	4.50	7.2
②波高最大時	14:30	1.45	4.19	6.4	0.75	3.14	0.4	2.3	4.15	7.1
③(偏差+波高)最大	14:42	1.59	4.13	6.4	0.75	3.10	0.4	2.3	4.29	7.3
④波峰高最大時	15:00	1.75	3.91	6.3	0.75	2.93	0.4	2.3	4.45	7.3
ピーク値重ね合わせ	—	1.80	4.19	6.4	0.75	3.14	0.4	2.3	4.50	7.5
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)	

※「波峰高」は潮位+波高/2として定義



大阪湾南部 (傾斜堤)										
	起時	潮位 偏差 (m)	準沖波 H _{qo} (m)	換算沖波 T (s)	波高比 Ho' (m)	海面上 昇量 (m)	潮位 (O. P. +m) H. W. L.	検討潮位	天端高 hc (m)	天端高 (O. P. +m)
①潮位偏差最大時	15:13	1.80	3.75	6.3	0.90	3.37	0.4	2.3	4.50	7.9
②波高最大時	14:22	1.39	4.17	6.5	0.90	3.75	0.4	2.3	4.09	7.3
③(偏差+波高)最大	14:38	1.55	4.07	6.3	0.90	3.66	0.4	2.3	4.25	7.6
④波峰高最大時	15:13	1.80	3.75	6.3	0.90	3.37	0.4	2.3	4.50	7.9
ピーク値重ね合わせ	—	1.80	4.17	6.5	0.90	3.75	0.4	2.3	4.50	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)	

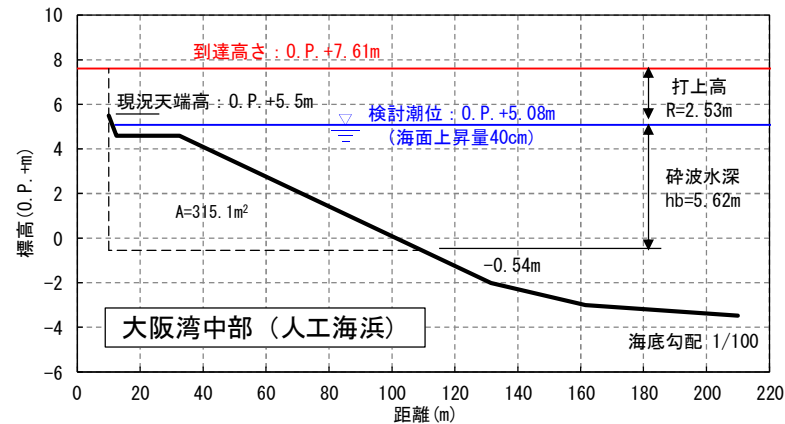
※「波峰高」は潮位+波高/2として定義



【人工海浜における必要天端高試算結果 (打ち上げ高の算定)】

	大阪湾中部（人工海浜）										
	起時	潮位	準沖波		換算沖波		海面上	潮位 (O. P. +m)		天端高	
		偏差 (m)	H _{qo} (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)		昇量 (m)	H. W. L.	検討潮位	R (m)
①潮位偏差最大時	14:49	2.38	4.94	7.4	0.70	3.46	0.4	2.3	5.08	2.52	7.6
②波高最大時	14:53	2.38	4.96	7.4	0.70	3.47	0.4	2.3	5.08	2.53	7.6
③(偏差+波高)最大	14:53	2.38	4.96	7.4	0.70	3.47	0.4	2.3	5.08	2.52	7.6
④波峰高最大時	14:53	2.38	4.96	7.4	0.70	3.47	0.4	2.3	5.08	2.52	7.6
ピーク値重ね合わせ	—	2.38	4.96	7.4	0.70	3.47	0.4	2.3	5.08	2.52	7.6
備 考					既往検討より推定		2℃上昇				

※ 「波峰高」は潮位+波高/2として定義



	大阪湾南部（人工海浜）										
	起時	潮位 偏差 (m)	準沖波		換算沖波		海面上 昇量 (m)	潮位 (O. P. +m) H. W. L.	天端高		
			Hqo (m)	T (s)	波高比	Ho' (m)			検討潮位	R (m)	(O. P. +m)
①潮位偏差最大時	15:13	1.80	3.89	6.3	0.60	2.34	0.4	2.3	4.50	1.97	6.5
②波高最大時	14:37	1.53	4.26	6.5	0.60	2.56	0.4	2.3	4.23	2.04	6.3
③(偏差+波高)最大	14:36	1.52	4.26	6.5	0.60	2.56	0.4	2.3	4.22	2.08	6.3
④波峰高最大時	15:00	1.75	4.05	6.4	0.60	2.43	0.4	2.3	4.45	2.05	6.5
ピーク値重ね合わせ	—	1.80	4.26	6.5	0.60	2.56	0.4	2.3	4.50	2.20	6.7
備 考					既往検討より推定		2℃上昇				

※ 「波峰高」は潮位+波高/2として定義

