

気候変動を踏まえた計画外力の検討

令和5年9月5日

国土交通省 四国地方整備局 高知河川国道事務所
高知県 土木部 港湾・海岸課

潮位偏差、波浪（波高，周期）の検討結果

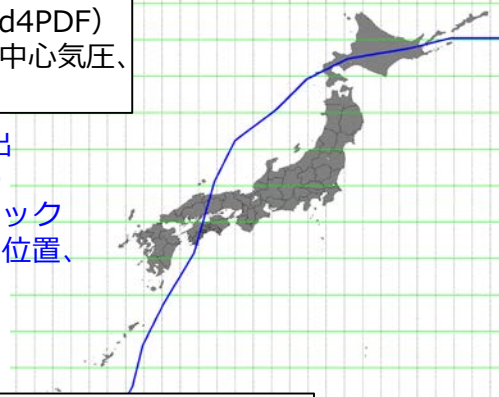
第2回検討会の指摘内容(風速の計算結果に関する確認)

- 第2回検討会では、d2PDF/d4PDFの台風トラックデータに含まれる台風の中心気圧を用いて、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」を基に、Myers式・経験的台風モデルより気圧・風速を推算し、気候変動後の計画外力を算定した。
- 算定の結果、高知港波浪観測所では、過去実験から2℃上昇において30年確率波高が1%上昇する結果となった。
- 第2回検討会での指摘:2℃上昇時の波高は1%しか上昇していないが、海域の風速は上昇していると考えられるため、**計算された風速を確認すること。**

第2回検討会での気圧・風速の推算方法

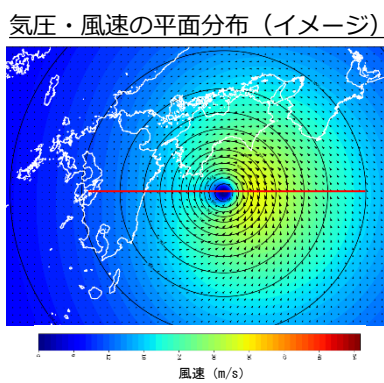
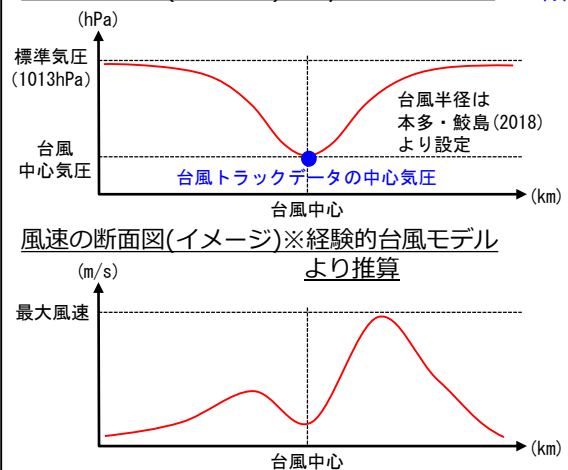
①台風トラックデータ (d2PDF/d4PDF)
 ※6時間毎の台風の中心位置、中心気圧、最大風速が含まれるデータ

- ・対象範囲を通過する台風を抽出 (第2回検討会 資料-3 P5 参照)
- ・抽出台風を対象に、台風トラックデータに含まれる台風の中心位置、中心気圧を②へ適用

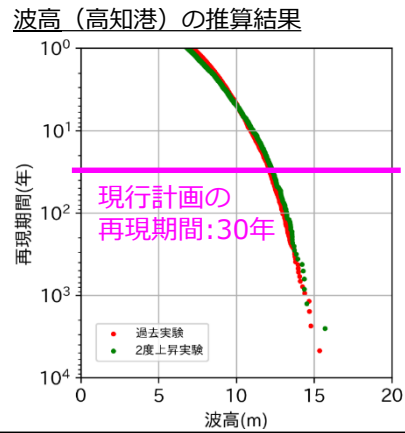


②Myers式・経験的台風モデルによる気圧・風速の推算

- ・Myers式、経験的台風モデルを用いて、気圧・風速を平面的に推算
- 気圧の断面図(イメージ)※Myers式より推算 ※適用モデルは過去の経験則に基づいた計算手法



第2回検討会での波高 (高知港) の推算結果

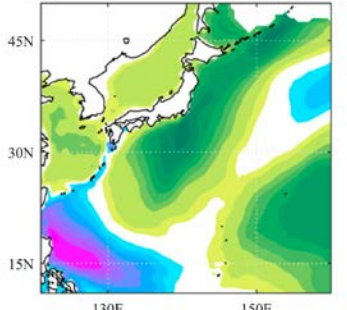


現行計画 再現期間	高知港 (30年)
過去実験	12.14m
2℃上昇	12.29m
変化量 (変化率)	0.15m (1.01倍)

d4PDF(4℃上昇時)を直接用いた研究事例※ (参考)

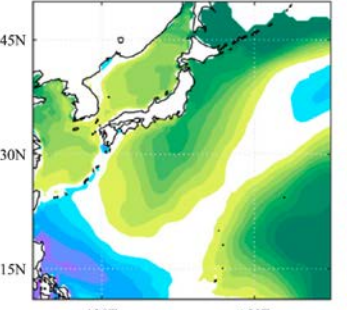
4℃上昇時の10年確率波高の変化量

(b) Mean future change [m]



4℃上昇時の10年確率波高の変化率

(c) Future change ratio [%]



d4PDFの気圧・風速データを直接用いた研究事例では、4℃上昇時における土佐湾周辺の10年確率波高は数%上昇

※Future Projections of Extreme Ocean Wave Climates and the Relation to Tropical Cyclones: Ensemble Experiments of MRI-AGCM3.2H (Shimura et al., 2015)

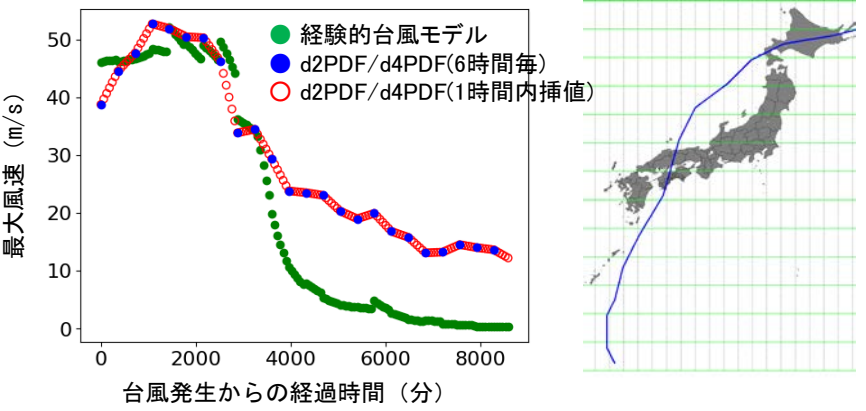
経験的台風モデルの推算風速とd2PDF/d4PDFに含まれる風速の比較

- 経験的台風モデルより推算した風速とd2PDF/d4PDFに含まれる風速について確率評価を行い比較した結果、過去実験から将来実験への最大風速の上昇量は、経験的台風モデルより推算した風速の方が小さくなる。
- d2PDF/d4PDFに含まれる最大風速は、過去実験に比べ将来実験の方が同じ気圧で上昇傾向にある。
- 以上より、経験的台風モデルでは、気候変動による将来の風速変化を過少に評価する可能性がある。

同一台風による最大風速の時間変化の比較 (一例)

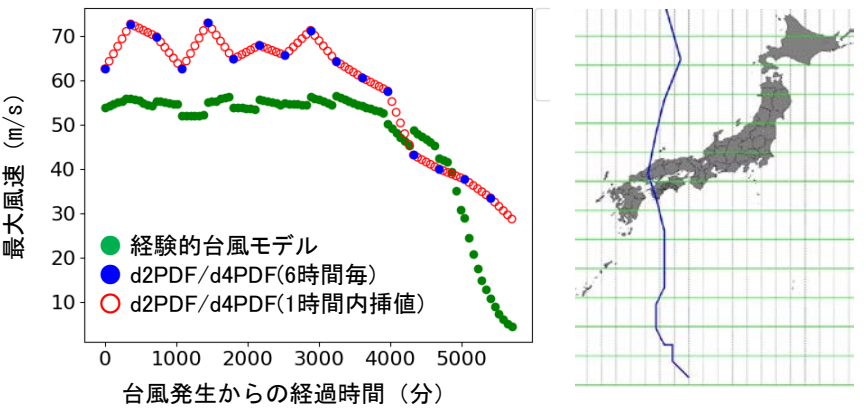
最大風速の時系列図 (例①)

・例①では、経験的台風モデルとd2PDF/d4PDFの風速は概ね一致(風速が大きくなる時間では最大風速が同程度となる)

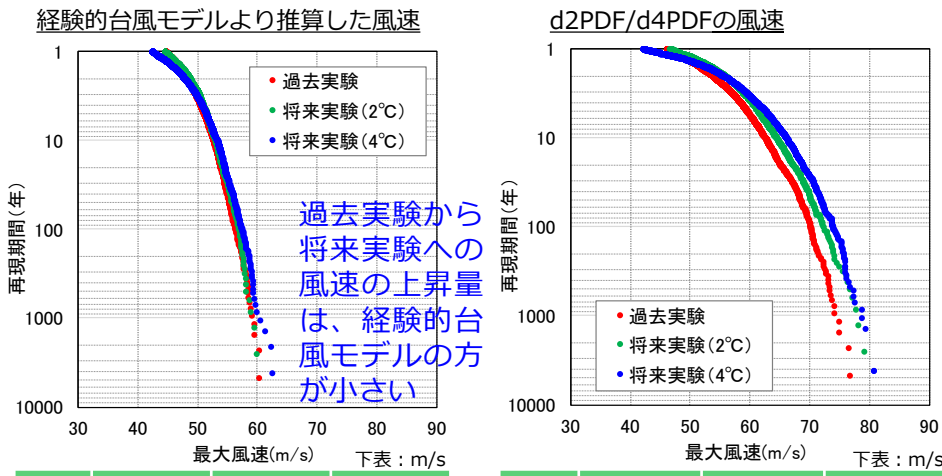


最大風速の時系列図 (例②)

・例②では、経験的台風モデルよりd2PDF/d4PDFの風速が大きい



対象範囲内の最大風速に関する確率評価結果の比較



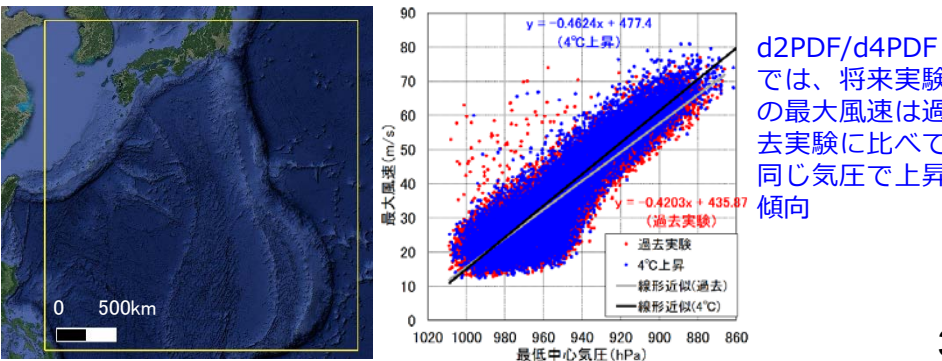
下表: m/s

確率年	過去実験	2°C上昇	4°C上昇
10	52.9	53.2	53.5
30	54.7	55.2	55.4
50	55.4	55.9	56.4

下表: m/s

確率年	過去実験	2°C上昇	4°C上昇
10	62.9	64.7	66.4
30	67.2	69.1	70.7
50	68.7	70.3	72.1

最大風速の抽出対象範囲 (南端は台風発生箇所周辺) d2PDF/d4PDFより抽出した対象範囲内の最低中心気圧と最大風速の関係 (参考)



d2PDF/d4PDFでは、将来実験の最大風速は過去実験に比べて同じ気圧で上昇傾向

d2PDF/d4PDFを用いた風速補正による潮位偏差・波浪の推算

- 経験的台風モデルでは気候変動による将来の風速変化を適切に表現できない恐れがあるため、経験的台風モデルより推算した風速をd2PDF/d4PDFの台風トラックデータに含まれる最大風速によって補正することとした。
- 風速の補正は、台風毎に、最大風速の時系列図より、経験的台風モデルとd2PDF/d4PDFの最大風速の時間毎の乖離率を求め、経験的台風モデルより推算した同時刻の風速場全体に一律補正する方法を採用した。

d2PDF/d4PDFの最大風速による風速場の補正イメージ

① 台風トラックデータ (d2PDF/d4PDF)
 ※6時間毎の台風の中心位置、中心気圧、最大風速が含まれるデータ

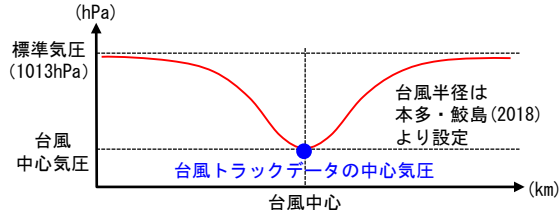
- ・ 対象範囲を通過する台風を抽出 (第2回検討会 資料-3 P5 参照)
- ・ 抽出台風を対象に、台風トラックデータに含まれる台風の中心位置、中心気圧、**最大風速**を②へ適用



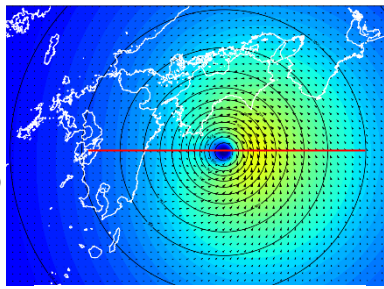
② Myers式・経験的台風モデルによる気圧・風速の推算、**更に風速補正**

- ・ Myers式、経験的台風モデルを用いて、気圧・風速を平面的に推算
- ・ **d2PDF/d4PDFの最大風速を用いて推算した風速を補正**

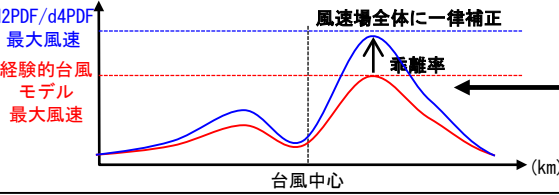
気圧の断面図(イメージ)※Myers式より推算



気圧・風速の平面分布 (イメージ)



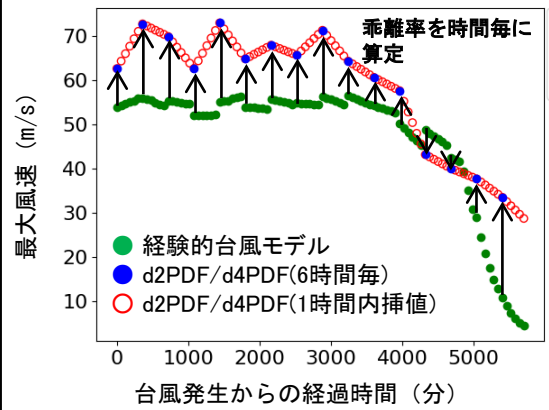
風速の断面図(イメージ)※経験的台風モデルより推算×乖離率(風速補正)



経験的台風モデルとd2PDF/d4PDFの風速の乖離率

最大風速の時系列図 (例②)

- ・ 台風毎に経験的台風モデルとd2PDF/d4PDFの最大風速の時系列データを整理
- ・ 各台風において、経験的台風モデルとd2PDF/d4PDFの最大風速の時間毎の乖離率を算定
- ・ 算定した時間毎の乖離率を、経験的台風モデルより推算した同時刻の風速場全体に一律補正

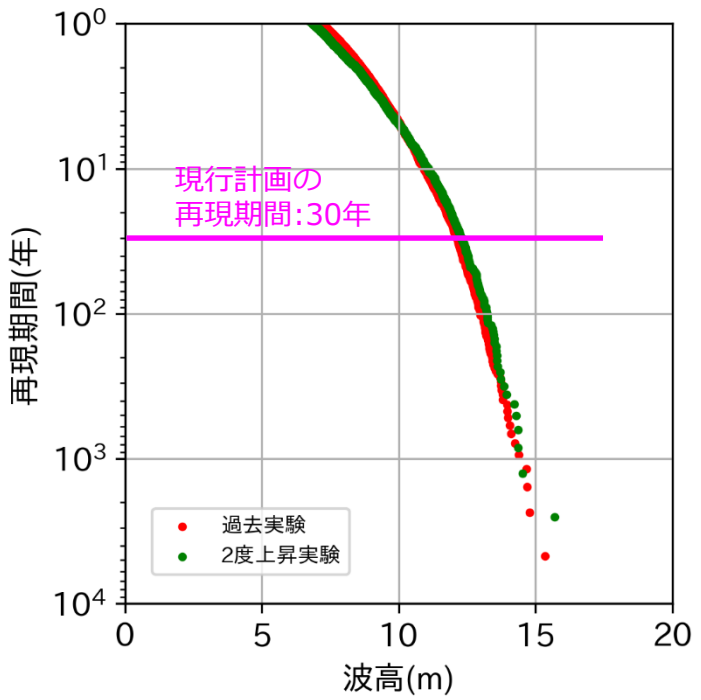


気候変動後の波浪の推算結果(風速補正前後の結果比較)

■ d2PDF/d4PDFを用いた風速補正を行い、第2回検討会で構築した簡易推定式(風速の違いによる結果を確認するためここでは従前の式を適用)を用いて高知港波浪観測所の波高を推算し、波高の確率評価を実施した。

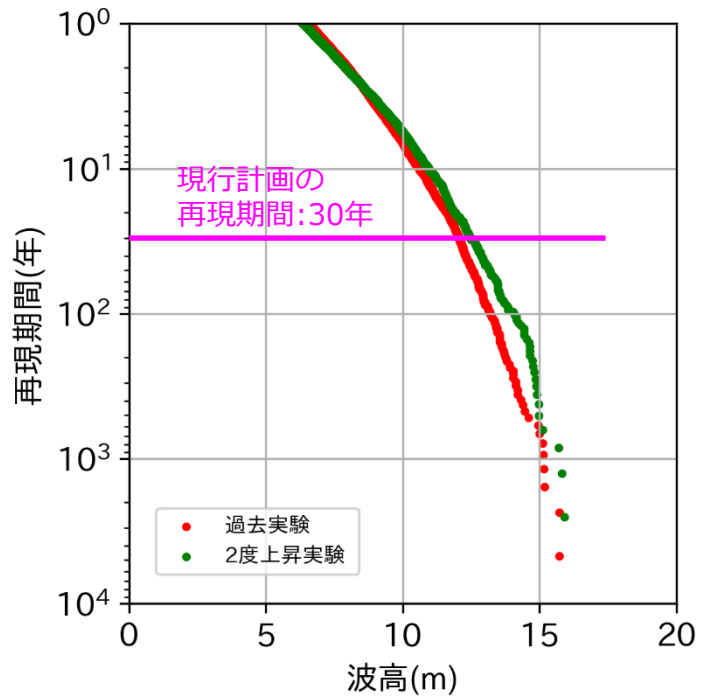
■ 現行計画(波浪:30年確率)の再現期間では、過去実験から2℃上昇の波高の変化率は、風速補正前が1%の上昇であるのに対し、風速補正後は3%の上昇となる。

波高(高知港)の推算結果
(風速補正前※第2回検討会結果)



現行計画 再現期間	高知港 (30年)
過去実験	12.14m
2℃上昇	12.29m
変化量 (変化率)	0.15m (1.01倍)

波高(高知港)の推算結果
(風速補正後)



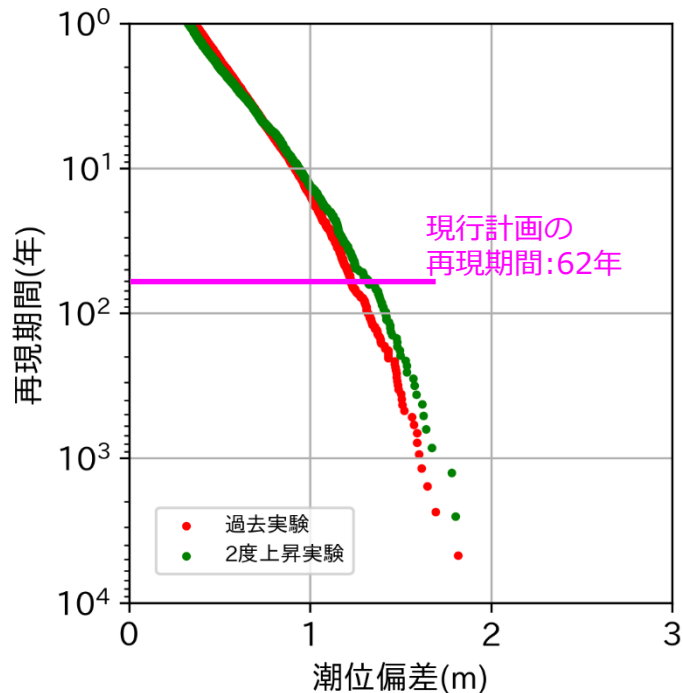
現行計画 再現期間	高知港 (30年)
過去実験	12.06m
2℃上昇	12.48m
変化量 (変化率)	0.42m (1.03倍)

気候変動後の潮位偏差の推算結果(風速補正前後の結果比較)

■ d2PDF/d4PDFを用いた風速補正を行い、第2回検討会で構築した簡易推定式(風速の違いによる結果を確認するためここでは従前の式を適用)を用いて高知検潮所の潮位偏差を推算し、潮位偏差の確率評価を実施した。

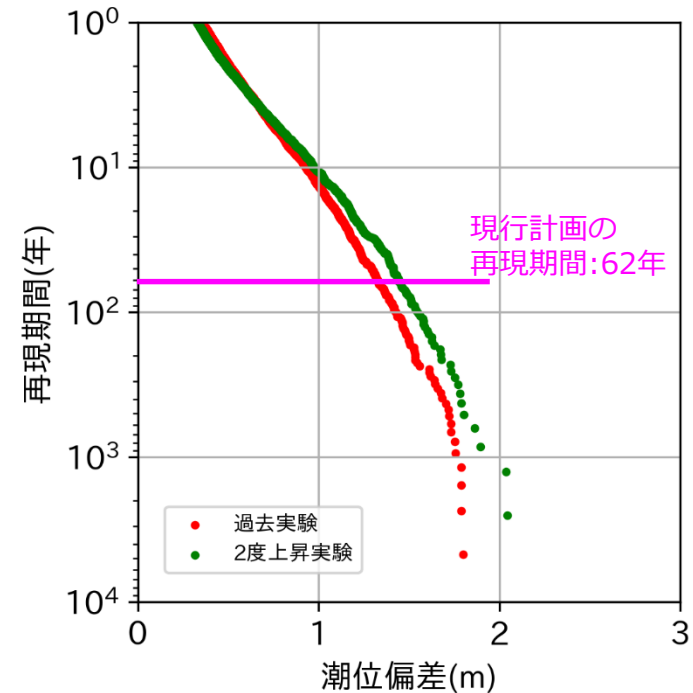
■ 現行計画(潮位偏差: 1.46m)の再現期間では、過去実験から2°C上昇の潮位偏差の変化率は、風速補正前が7%の上昇であるのに対し、風速補正後は9%の上昇となる。

潮位偏差(高知検潮所)の推算結果
(風速補正前※第2回検討会結果)



現行計画 再現期間	高知検潮所 (62年)
過去実験	1.23m
2°C上昇	1.32m
変化量 (変化率)	0.09m (1.07倍)

潮位偏差(高知検潮所)の推算結果
(風速補正後)



現行計画 再現期間	高知検潮所 (62年)
過去実験	1.33m
2°C上昇	1.45m
変化量 (変化率)	0.12m (1.09倍)

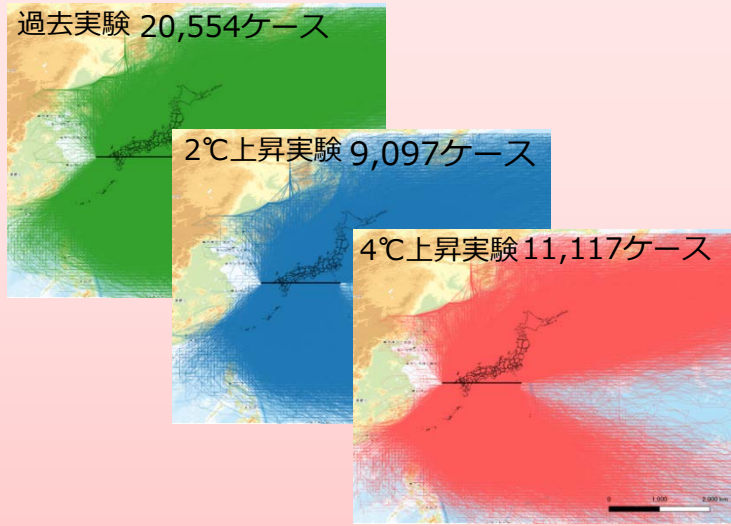
B-1(全球気候モデル台風を活用する方法)の検討手順 第2回検討会資料に加筆

■B-1(全球気候モデル台風を活用する方法)は、風速補正を考慮して、以下の手順①～⑤に基づき実施した。

大規模アンサンブル気候予測データベース (d2PDF/d4PDF)

①台風の抽出
d2PDF/d4PDFから対象範囲を通過する台風を抽出(第2回検討会 資料-3 P5参照) **合計40,768ケース**

- ▶ 対象範囲は、足摺岬・室戸岬から東西に600kmの範囲で足摺岬の緯度を設定
- ▶ 潮位偏差・波浪の簡易推定式の構築には、様々な条件(気圧・風速・経路・移動速度)の台風を抽出する必要があるため、過去、2℃上昇、4℃上昇実験の全データを使用



②高潮・波浪シミュレーションの実施
高潮・波浪シミュレーションの実施に用いる台風を、気圧、風速、経路、移動速度に偏りが生じないように100ケース抽出
抽出した台風の中心気圧のバイアス補正を実施
「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」の方法に準拠
バイアス補正後の100ケースの台風について、高潮・波浪シミュレーションを実施 (d2PDF/d4PDFによる風速補正)
高潮浸水想定区域図作成の手引きに準拠

③簡易推定式の構築
②で実施した100ケースの高潮・波浪シミュレーション結果をもとに、潮位偏差・波浪を推定できる簡易推定式を構築(簡易推定式の精度は検証)
重回帰分析式を適用

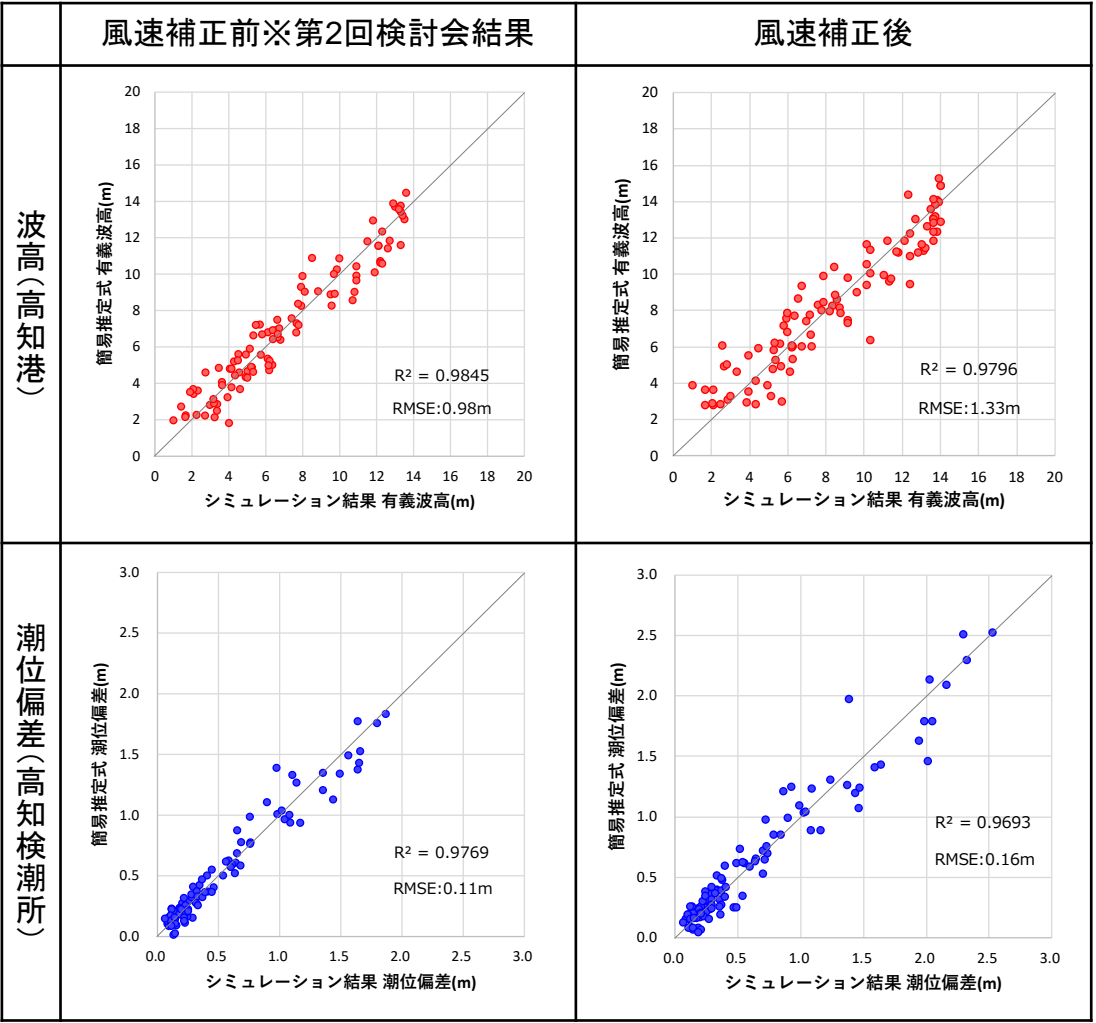
④確率評価の実施
①で抽出した過去実験と2℃上昇実験の台風を対象に、③で構築した簡易推定式により対象地点の潮位偏差・波浪を推算
d2PDF/d4PDFによる風速補正
推算した潮位偏差・波浪の確率評価を実施
その際、実績と過去実験の台風年間発生個数のバイアス補正は実施(1.28倍)

⑤気候変動後の潮位偏差・波浪の推算
現行計画と同確率となる気候変動後の潮位偏差・波浪(差分値又は変化率)を推算

簡易推定式の構築結果(精度検証－風速補正前後の結果比較)

■ 簡易推定式の構築に用いた台風100ケースを対象に、d2PDF/d4PDFによる風速補正を行い、各観測地点の潮位偏差・波高について、簡易推定式により推算した値と高潮・波浪シミュレーション結果を比較し、精度検証を行った。
 ■ 風速補正後でも、補正前と同程度の精度を有しており、構築した簡易推定式は概ね妥当であることが確認できる。

簡易推定式の構築結果 (精度検証－風速補正前後の結果比較)

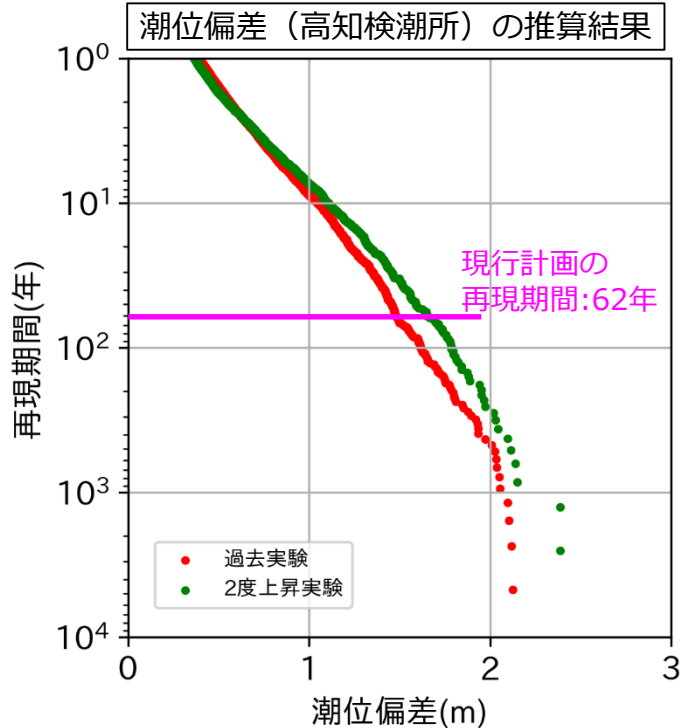


※RMSE(二乗平均平方根誤差)
 : 誤差の大きさを表す指標であり、
 値が小さいほど誤差が小さい。

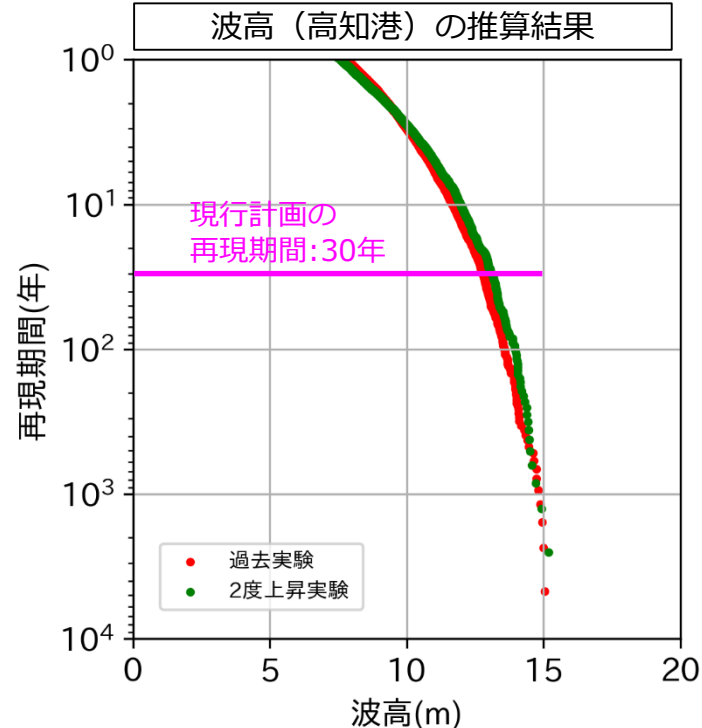


気候変動を踏まえた計画外力(潮位偏差・波高)

- 過去実験(20,554ケース)及び2℃上昇実験(9,097ケース)の台風を対象に、d2PDF/d4PDFによる風速補正を行い、今回構築した簡易推定式を用いて各観測地点の波高・潮位偏差を推算し、それぞれの確率評価を実施した。
- 高知検潮所では、現行計画と同確率(62年確率)となる気候変動後(2℃上昇時)の潮位偏差の上昇率は、12%。
- 高知港波浪観測所では、現行計画と同確率(30年確率)となる気候変動後(2℃上昇時)の波高の上昇率は、2%。
- 気候変動後(2℃上昇)の計画外力(波高、潮位偏差)は、現行計画に上記の上昇率を考慮すると以下のとおりとなる。
 潮位偏差(62年確率): 1.64m(現行計画1.46m × 1.12)
 波高(30年確率): 13.0m(現行計画13.0mの計算値12.6m × 1.02 = 12.9mとなるが、現行計画とおり安全側に繰上。)



現行計画 再現期間	高知検潮所 (62年)
過去実験	1.49m
2℃上昇	1.67m
変化量 (変化率)	0.18m (1.12倍)



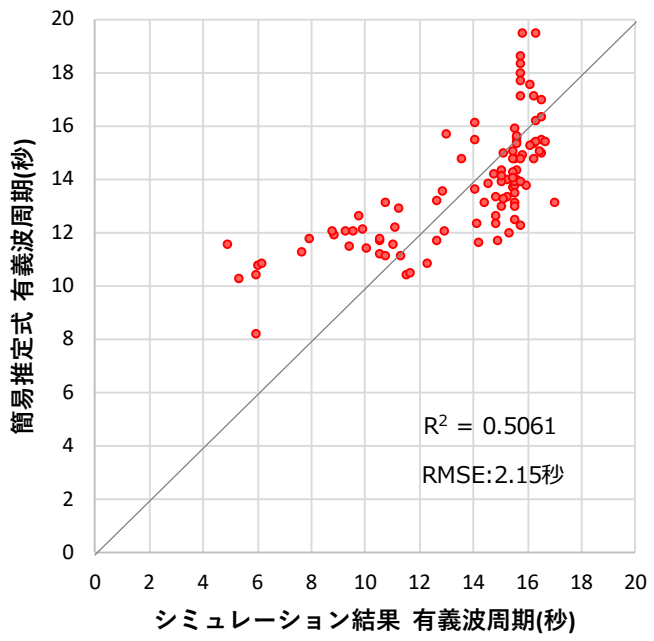
現行計画 再現期間	高知港 (30年)
過去実験	12.79m
2℃上昇	13.10m
変化量 (変化率)	0.31m (1.02倍)

気候変動を踏まえた計画外力(周期)

- 高知港波浪観測所の周期について、簡易推定式により推算した値と高潮・波浪シミュレーション結果を比較し、精度検証を行った結果、相関性が低く、構築した簡易推定式では周期の推算精度を確保できないことを確認した。
- そこで、簡易推定式の構築に用いた台風100ケースの高潮・波浪シミュレーション結果より、高知港波浪観測所における波高一周期の関係式を作成し、現行計画で用いられている波高一周期の関係式との比較を行った。
- この結果、30年確率波高(13.0m)に対応する周期は、気候変動後(2°C上昇)も現行計画(15.5秒)と同程度となる。

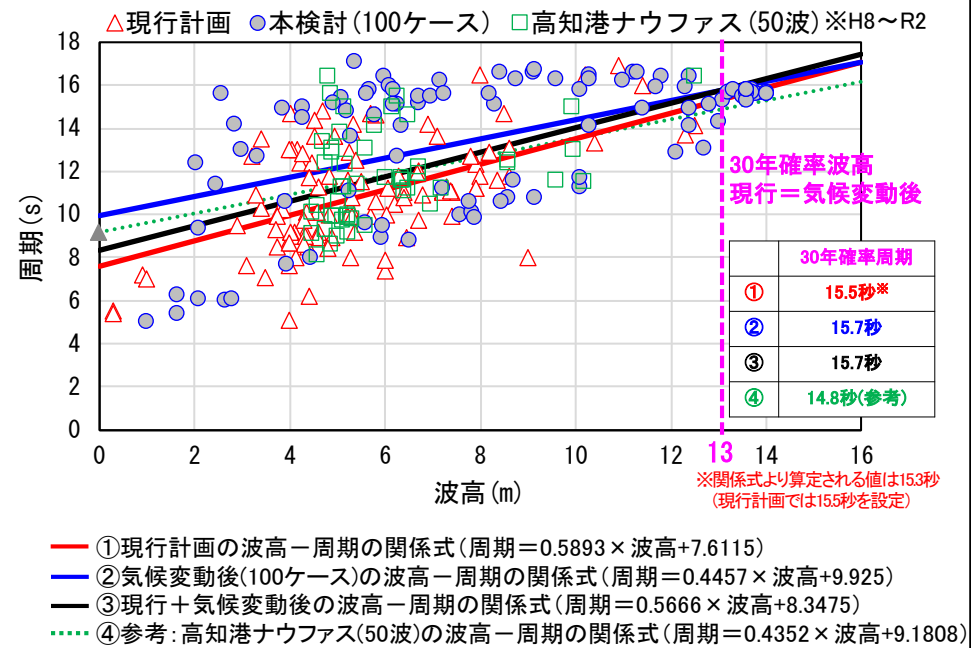
周期(高知港)の簡易推定式の構築結果

- シミュレーション及び簡易推定式による周期の推算結果の比較
- ・ 簡易推定式の構築に用いた台風100ケースを対象に、高知港波浪観測所の周期について、簡易推定式により推算した値と高潮・波浪シミュレーション結果を比較し、精度検証を実施
 - ・ 相関性が低く、簡易推定式では精度が確保できない



波高一周期の関係式の比較(高知港)

- 現行計画と本検討で作成した波高一周期の関係式の比較
- ・ 台風100ケースを対象とした高潮・波浪シミュレーション結果より、気候変動後の波高一周期の関係式(下記②③)を作成
 - ・ この結果、30年確率波高(13m)に対応する周期は、気候変動後(2°C上昇)も現行計画(15.5秒)と同程度。



津波水位の検討結果

気候変動を踏まえた津波水位の検討方法

- 土佐湾沿岸中央部※1を対象に、平均海面水位の上昇を考慮した津波シミュレーションを実施した。
- 検討方法は現行の設計津波水位の設定方法に準拠したうえで、初期潮位条件として既往の朔望平均満潮位※2に、2100年に予測される平均海面水位の上昇量を加えた、朔望平均満潮位(T.P.+1.30m)※3を設定した。

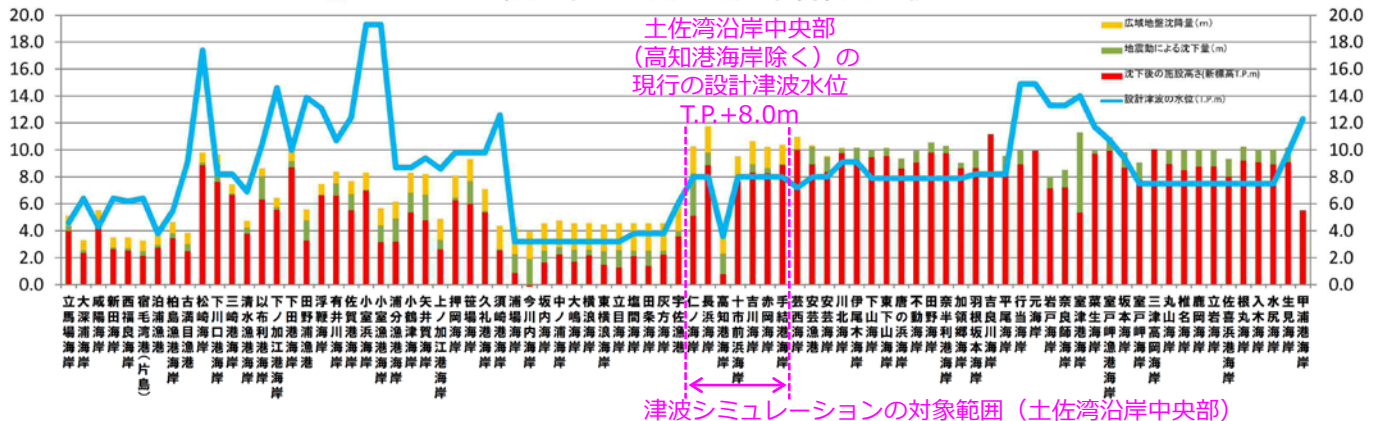
現行の設計津波水位



項目	解析条件(現行計画に準拠)
支配方程式	非線形長波方程式
計算格子間隔	波源域から沿岸まで 2,430m→810m→270m→90m→30m→10m
海底地形条件	2012年内閣府公表データ
計算時間	6時間(時間間隔:0.1秒)
堤防条件	現況の海岸堤防の位置において津波浸入を防ぐ境界条件を設定
初期潮位	現行の設計津波水位の設定に用いられた既往の朔望平均満潮位※2に、2100年に予測される2℃上昇時の平均海面水位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位※3を設定
対象津波	2003年中央防災会議公表の 東南海・南海地震連動※4

設計津波の水位と現況堤防高の比較

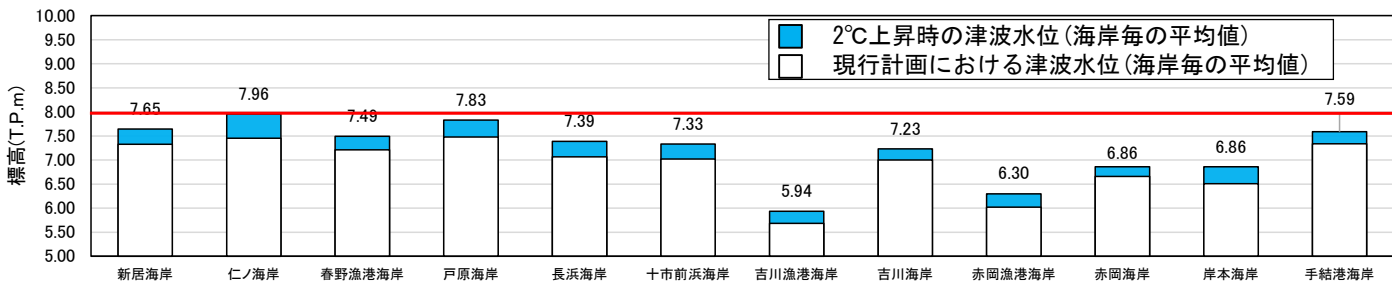
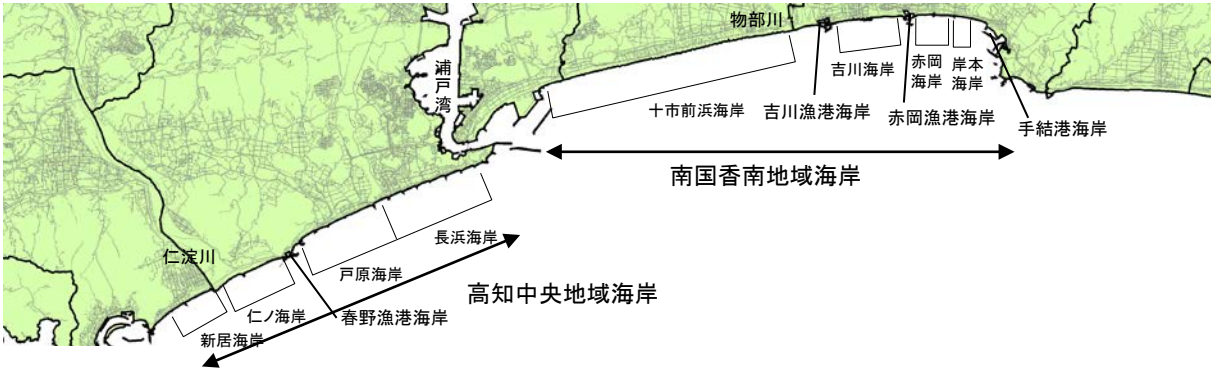
標高T.P.(m)



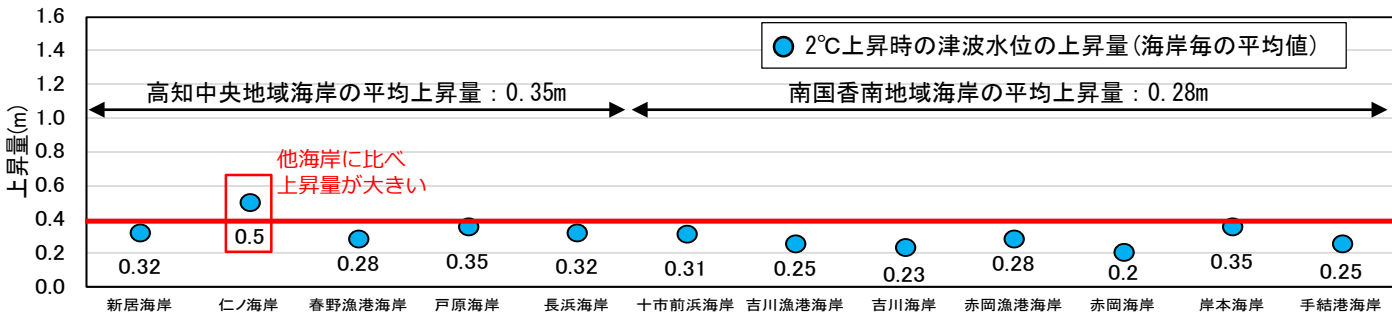
- ※1: 高知中央地域海岸(新居海岸～長浜海岸)と南国香南地域海岸(十市前浜海岸～手続港海岸)を対象
- ※2: 高知検潮所の朔望平均満潮位の10ヶ年(2002～2011)の平均値(T.P.0.93m)
- ※3: 第1回検討会で設定した2100年時点の朔望平均満潮位(第1回検討会 資料-5 P3参照)
- ※4: 現行計画では東南海・南海地震連動と東海・東南海・南海地震連動のうち津波水位が高い方を設定しており、対象範囲については東南海・南海地震連動を採用

気候変動を踏まえた津波水位の検討結果

■2℃上昇時の津波水位の上昇量(海岸毎の平均値)は、平均海面水位の上昇量と同程度であり、現行の設計津波水位を下回る。(ただし、局所的には上昇量が大きい箇所もある。)



現行の設計津波水位
T.P.8.0m



他海岸に比べ
上昇量大きい