

3. 気候変動を踏まえた設計外力の評価手法の検討

3-1 検討フロー

気候変動を踏まえた設計外力の評価手法の検討として、モデル地区の代表台風を対象とした高潮・波浪推算の実施および外力増大傾向の検証を行う。

気候変動影響による外力の将来変化の検討フローを図 3-1.1 に示す。各項目の詳細な検討内容を次頁以降に記載する。

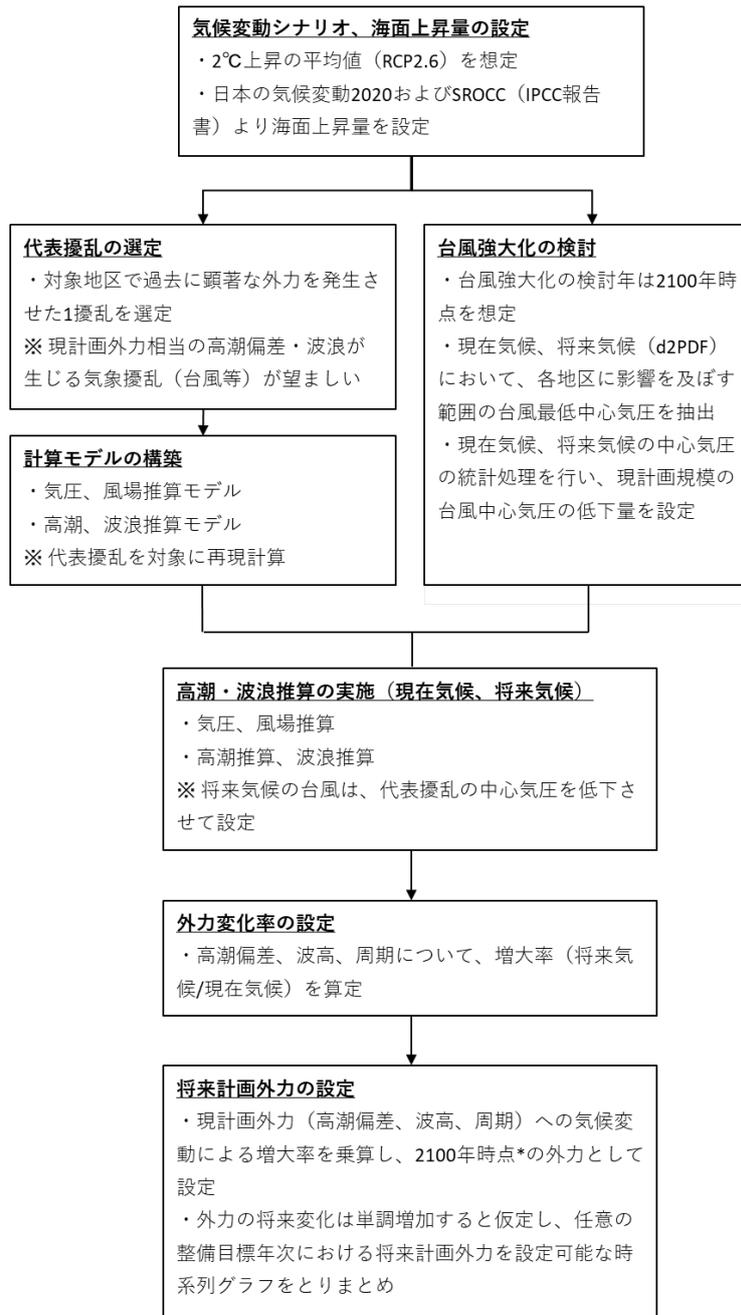


図 3-1.1 外力の将来変化の検討フロー

3-2 条件の設定

3-2-1 モデル地区の選定

気候変動による設計外力への影響を評価する地区は、令和4年度事業のモデル地区のうち、台風経路の感度分析を未実施の地区より「A地区」を選定する。

3-2-2 将来気候シナリオの設定

「令和4年度 海岸保全施設設計等技術検討調査委託事業」（以降、令和4年度事業とする）と同様に、将来気候シナリオとしてRCP2.6（2℃上昇）を設定する。

令和4年度事業ではRCP2.6シナリオ（2℃上昇シナリオ）の平均的な値を対象に検討が行われた。気候変動に関する政府間パネル（IPCC 第5,6次評価報告書）では、代表的濃度経路や社会経済活動等の変化を踏まえて複数の気候変動シナリオを設定し、その影響について検討している。我が国の海岸整備における気候変動への対応方針については「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」で議論されており、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方提言」において、『パリ協定の目標と整合するRCP2.6（2℃上昇に相当）を前提』として計画や整備を推進することが提言されている。また、海岸4省庁通知においても、気候変動を踏まえた外力変化はRCP2.6シナリオの平均的な値を前提に検討を進めることが記載されている。

気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言【概要】

- 海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換。
- パリ協定の目標と整合するRCP2.6(2℃上昇に相当)を前提に、影響予測を海岸保全の方針や計画に反映し、整備等を推進。
- 平均海面水位が2100年に1m程度上昇する悲観的予測(RCP8.5(4℃上昇に相当))も考慮し、これに適應できる海岸保全技術の開発を推進、社会全体で取り組む体制を構築。

出典：気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言【概要】

第一 設計高潮位及び設計波の設定方法等

省令第2条第1号及び第2号に規定する設計高潮位及び設計波を今後、設定及び見直しするに当たっては、気候変動の影響による平均海面水位の上昇、台風の強大化等を考慮する必要がある。その際、対象とする外力の将来予測は、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方提言（令和2年7月）を踏まえ、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による第5次評価報告書第I作業部会報告書で用いられた代表的濃度経路（RCP）シナリオのうち、RCP2.6シナリオ（2℃上昇相当）における将来予測の平均的な値を前提とすることを基本とする。ただし、RCP2.6シナリオ（2℃上昇相当）における外力の変化にも予測の幅があること、また、2℃以上の気温上昇が生じる可能性も否定できないことから、RCP8.5シナリオ（4℃上昇相当）等のシナリオについては、地域の特性に応じた海岸保全における整備メニューの点検や減災対策を行うためのリスク評価、海岸保全施設の効率的な運用の検討、将来の施設改良を考慮した施設設計の工夫等の参考として活用するよう努めるものとする。

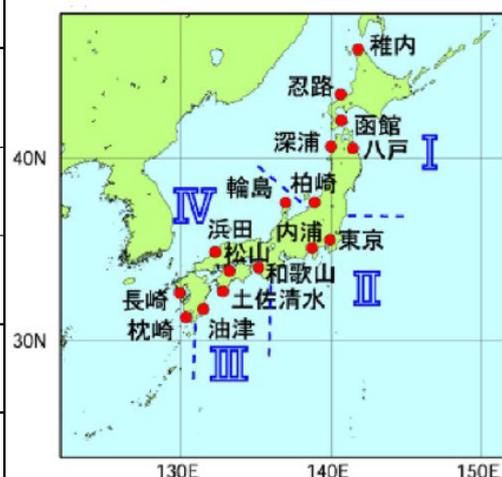
出典：【海岸4省庁通知】気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について（令和3年8月）

3-2-3 海面水位上昇量の設定

平均海面水位の上昇量については、令和 4 年度事業にて設定した海面上昇量に基づき+0.38mを設定する。

令和 4 年度事業では、日本の気候変動 2020 で示される海面水位上昇量のうち、RCP2.6 シナリオの平均値を用いた。日本の気候変動 2020 において、日本全国の沿岸を 4 領域に分割し、気候変動による各領域の海面水位上昇量が示されている。ここで示される海面水位上昇量は、20 世紀末（1986～2005 年平均）から 21 世紀末（2081～2100 年平均）までの上昇量である。

年次	20 世紀末～21 世紀末		
シナリオ	RCP2.6 平均値	RCP2.6 上限値	RCP8.5 上限値
領域I	0.38m	0.55m	0.95m
領域II	0.38m	0.55m	0.95m
領域III	0.39m	0.56m	1.00m
領域IV	0.38m	0.56m	0.98m



出典：日本の気候変動 2020 （文部科学省・気象庁：令和 2 年 12 月）

図 3-2.1 21 世紀末における日本沿岸の海面水位の 20 世紀末からの上昇量

3-2-4 代表擾乱の選定

気候変動による外力増大率は、過去にモデル地区周辺で大きな被害をもたらした台風を代表擾乱として選定し、代表擾乱を対象に現在気候と将来気候の高潮推算・波浪推算を実施することにより算出する。

本モデル地区の代表擾乱は、令和4年度事業と同様に、「2015年台風15号」とした。

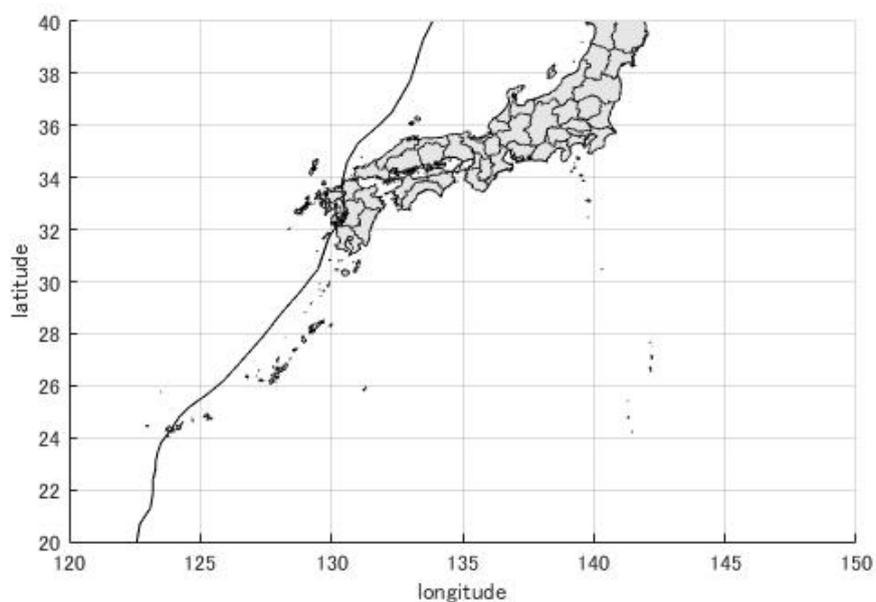


図 3-2.2 2015年台風第15号の経路

3-2-5 予測計算モデルの構築

(1) 気圧・風場推算手法

代表台風を対象として気候変動に伴う高潮・波浪の増大量を把握するため、経験的台風モデルを用いて気圧・風場の推算を行う。

経験的台風モデルにおける気圧の推算には、実際の気圧場に比較的良く合致する Myers の式を用いる。

(2) 高潮推算手法

非線形長波方程式に地球の自転、気圧低下、水表面に働く風の摩擦、海底摩擦等を組み入れた式を用いる。

(3) 波浪推算手法

波浪の方向スペクトルの各周波数・方向成分ごとのエネルギー成分の発達・減衰の過程を数値的に解くスペクトル法による基礎式を用い、モデルとしては非線形相互作用を直接的に考慮した SWAN を用いる。

(4) 計算モデル構築

1) 地形条件

A 地区の高潮推算・波浪推算で用いる水深データは、令和 4 年度事業と同じデータを用いて、2430～90m メッシュまでの 4 領域をネスティングにより接続するものとした。

3-2-6 気候変動による台風の気圧降下量

(1) d4PDF 及び d2PDF の概要

気候変動後の台風中心気圧を設定するために、本業務では、文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」、「統合」、SI-CAT、DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成された d4PDF「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」を用いた。d4PDF では大規模な気候のシミュレーションが実施されているため、d4PDF を用いることで、確率分布の極値についても議論ができるようになる。

d4PDF では以下の気候変動シナリオの全球実験が実施されている。

- | | |
|------------|---------------------------|
| ① 過去実験 | 1951 年～2011 年 8 月×100 メンバ |
| ② 非温暖化実験 | 1951 年～2010 年 8 月×100 メンバ |
| ③ 1.5℃上昇実験 | 30 年×54 メンバ |
| ④ 2℃上昇実験 | 2031 年～2091 年 8 月×54 メンバ |
| ⑤ 4℃上昇実験 | 2051 年～2111 年 8 月×90 メンバ |

④及び⑤は、気候変動が生じた場合のシミュレーションをしており、地球の平均気温が 2℃もしくは 4℃上昇した場合の気候を想定している。CMIP5 に貢献した全球大気海洋結合モデルの実験結果を基に 6 種類の SST 将来変化パターンを用い、各パターンに複数種類の摂動を加え、アンサンブル実験を行っている。

（「d4PDF 実験デザイン・利用手引き」より引用）

本業務では①④の気候変動シナリオを用い、それぞれ「過去実験」、「将来実験（d2PDF）」と表記する。

(2) 抽出範囲を通過する台風の抽出

対象とするモデル地区に対して顕著な波浪及び高潮を及ぼす台風を取得するため、対象地区を中心として一定の距離を有する台風の抽出範囲を設定する。

設定に際して、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」では緯度・経度方向に 2.5° の矩形範囲を設定しており、対象海岸への外力影響度が大きい台風を十分数確保するよう、本検討でも同様の設定方針により台風の抽出範囲座標を設定する。

(3) 最低中心気圧のバイアス補正

各台風の台風抽出範囲内における最低中心気圧を用いて、気候変動シナリオごとに極値統計解析を行った。実績台風は極値統計（合田法）により超過確率を算出し、過去実験及び将来実験（d2PDF）については経験的累積分布関数により超過確率を算出した。

バイアス（d4PDF が持つ系統的あるいは規則的に見られる誤差）補正を実施する前では実績台風と過去実験のプロットに乖離が大きいが、バイアス補正を実施することにより両者をフィッティングすることが可能となり、この際に用いたバイアス補正値を d2PDF に反映することで、バイアスによる統計的誤差を除いた台風気圧に補正した。

本検討では、中心気圧の極値及び台風緯度に応じて気象庁ベストトラックと過去実験の乖離（バイアス）をクオンタイルマッピング法により設定し、ここで得られたバイアスを将来実験の中心気圧の極値に乗じる手法を採用した。

(4) 気候変動による台風の気圧低下量の推定

バイアス補正後の「現在気候」と「将来気候」の最低中心気圧の頻度分布に基づき、モデル地区において気候変動（2°C上昇）による代表台風の最低中心気圧の低下量を6hPaと推定した。

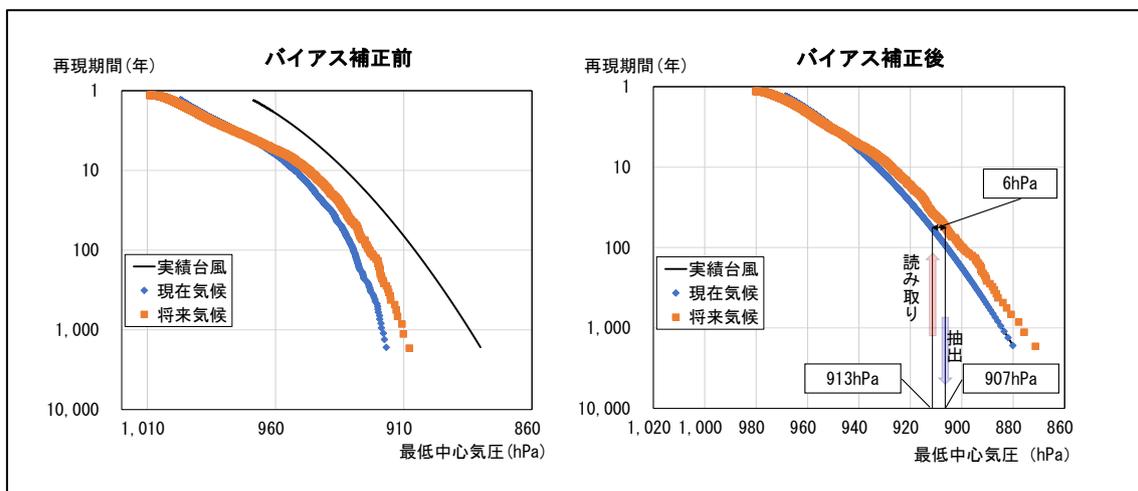


図 3-2.3 最低中心気圧の累積確率分布による気圧低下量の設定

3-3 演算及び結果の整理

3-3-1 台風経路の設定

令和4年度事業の代表台風による外力予測手法は、原則として地区ごとに1台風（1経路）を対象とするため、異なる台風条件（中心気圧、経路、台風半径、等）の際にどの程度の誤差が生じるか検証する必要がある。

令和4年度事業の台風経路の感度分析（C地区）では、台風経路の角度を回転させた条件で実施している。これを踏まえ、本事業では網羅的な台風経路の感度分析を実施する観点で、台風経路を簡略化し、東西に平行移動した3経路を設定する。

3-3-2 高潮推算及び波浪推算の実施と結果の検証

(1) 外力の増大率

経験的台風モデルにおける台風の中心気圧を6.0hPa低下させた条件で高潮推算・波浪推算を行い、現在気候と将来気候（2℃上昇シナリオ）の変化について検討した。なお、高潮推算・波浪推算の実施に当たって、現在気候の推算値と観測データが整合するように推算モデルを調整した。

[最大潮位偏差の検証結果]

- 実績経路での潮位偏差1.52m（現在気候）に対して、直線経路での潮位偏差は0.87～1.20倍（1.32m～1.82m）となる。
- 実績経路での潮位偏差の増大率である1.03倍と比較して、台風経路を感度分析した場合でも概ね同程度の増大率（1.04～1.05倍）となる。

[最大有義波高の検証結果]

- 実績経路での沖波波高14.0m（現在気候）に対して、直線経路での沖波波高は0.62～1.06倍（8.7m～14.9m）となる。
- 実績経路での沖波波高の増大率である1.03倍と比較して、台風経路を感度分析した場合でも概ね同程度の増大率（1.02～1.03倍）となる。

表 3-3.1 最大潮位偏差の増加率

	実績経路	直線経路		
		西 40km 移動	中央経路	東 40km 移動
現在気候	1.52m	1.82m	1.66m	1.32m
将来気候	1.56m	1.89m	1.72m	1.38m
増大率	1.03 倍	1.04 倍	1.04 倍	1.05 倍

表 3-3.2 最大波高の増加率

	実績経路	直線経路		
		西 40km 移動	中央経路	東 40km 移動
現在気候	14.0m	14.9m	11.9m	8.7m
将来気候	14.4m	15.2m	12.1m	9.0m
増大率	1.03 倍	1.02 倍	1.02 倍	1.03 倍

(2) モデル地区における外力増大率の整理

表 3-3.3 に、本事業で設定した A 地区と、令和 4 年度事業で設定した B～C 地区も合わせた、3 つのモデル地区の外力増大率を整理する。

3 地区の潮位偏差・波高の増加率は、台風条件の感度分析を踏まえて、潮位偏差：1.03～1.09 倍（平均 1.06 倍）、波高：1.01～1.05 倍（平均 1.03 倍）となり、限られた地区数での検討結果ではあるが、簡易的な予測として台風の影響が大きい沿岸では外力の将来変化の参考値として活用できる可能性がある。なお、計算精度や地形特性等によっては、以上に示した増加率よりも外力が大きくなる可能性を踏まえ、防護水準の確保のために余裕高等を適切に設定することが有効と考えられる。

表 3-3.3 モデル地区における外力増大率の整理

	A 地区	B 地区	C 地区
平均海面	+0.38m	+0.38m	+0.39m
潮位偏差	1.03～1.09 倍（平均 1.06 倍）		
沖波波高	1.01～1.05 倍（平均 1.03 倍）		