

想定台風・想定低気圧の経路の違いによる 高潮計算の感度分析

竹下 哲也¹・姫野 一樹²・伍井 稔³
富永 侑歩⁴・加藤 憲一⁵・諏訪 義雄⁶

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: takeshita-t2hp@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部企画課 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

³いであ株式会社 沿岸・海岸事業部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-2)

⁴いであ株式会社 沿岸・海岸事業部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-2)

⁵正会員 いであ株式会社 沿岸・海岸事業部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-2)

⁶正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

高潮浸水想定において必要となる台風や低気圧の経路の設定のための感度分析や、計算に必要な気圧場のデータ作成を行った。

その結果、台風の経路については、海岸の向きや形状、風向により潮位偏差が大きくなる方向がある程度予想できるとともに、感度分析を通じて潮位偏差が最大となる経路の絞り込みが可能であることを確認した。また、台風以外の低気圧データについては、自然近傍(シブソン)補間を用いた作成方法を提案し、気圧が観測値に近い値となることを確認した。低気圧の経路設定については、最低中心気圧の位置に加え、海岸地形や風向を考慮した感度分析が必要であることが分かった。

Key Words : Storm surge, storm surge inundation, natural neighbor interpolation, low pressure

1. 研究の目的

2015 年の改正水防法により高潮浸水想定区域図の作成が制度化された。国が公表した「高潮浸水想定区域図作成の手引き(以下、「手引き」という。)」¹⁾では、室戸台風級の想定台風に加えて、北海道・東北・北陸地方では 2014 年 12 月の根室高潮の低気圧も考慮し各海岸で潮位偏差最大となる経路を複数設定するとされている。

手引きは三大湾での台風による高潮計算の知見をもとに作成されているが、「過去に大きな潮位偏差を生じた台風経路を参考に 3 方向以上、10 km ~ 20 km 平行移動

して設定」する手法について、三大湾以外でも同様の手法が適用可能であるかの確認が必要である。また、低気圧については 2014 年 12 月根室高潮の低気圧を潮位偏差が最大となるように経路(最小気圧位置の移動経路)を平行移動して設定することとされているが、具体的にどのように設定するかという手法の確立も必要である。

このため、本研究では想定台風と想定低気圧の経路の違いによる高潮計算の感度分析を行い、手引きの適用性確認や経路設定について研究を行うものである。

2. 想定台風の経路設定のための感度分析

(1) 計算の概要

2014 年の低気圧で被害のあった根室や 2004 年台風 23 号で被害のあった菜生(なばえ)等、全国 12 箇所(図-1)の海岸について、気象庁ベストトラックデータ(1951 年 ~ 2015 年)に基づき、海岸近く(300 km 四方)を通過した既往台風から 3 方向(「南→北」, 「南西→北東」, 「西→東」)の代表台風の経路を抽出し、各海岸から 75 km(手引き上の最大旋衡風速半径)経路を平行移動した 1 経路(図-2 の 9 海岸は西又は北に、図-3 の 3 海岸は東又は南に平行移動)と、東西又は南北

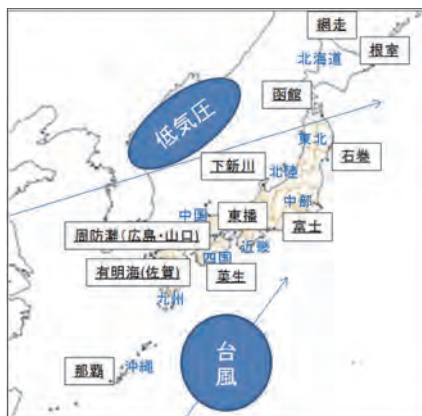


図-1 対象海岸 (12箇所)

15km ずつ平行移動した2経路の計9経路（3方向×3平行移動，中心気圧は経路と直交して平行移動）で手引きの想定台風による高潮計算を行った。なお，最小計算格子は 90 m ，台風モデルは Myers の式，波浪計算はスペクトル法，潮位計算はウェイブセットアップを考慮した非線形長波理論による高潮計算を行った。また，経路選定の参考とした既往台風の選定では，1945 年以降の検潮所の潮位偏差データを用いた。抽出した既往台風経路はそのまま使用せず，直線経路に近似した上で使用した。

(2) 結果

海岸の形状図と台風経路の違いによる高潮感度分析結果について，南向きの海岸を図-2,3に，北向きの海岸を図-4,5に示す。なお，感度分析のため，傾度風速から海上風速への変換係数は一律0.75を用いており，各海岸で実績台風での検証計算を行っていない。このため，図-3, 5は潮位偏差の最大値を1とした比率で示した。図-2, 4の海岸の向きは陸地から海に向かってフェッチ最長の

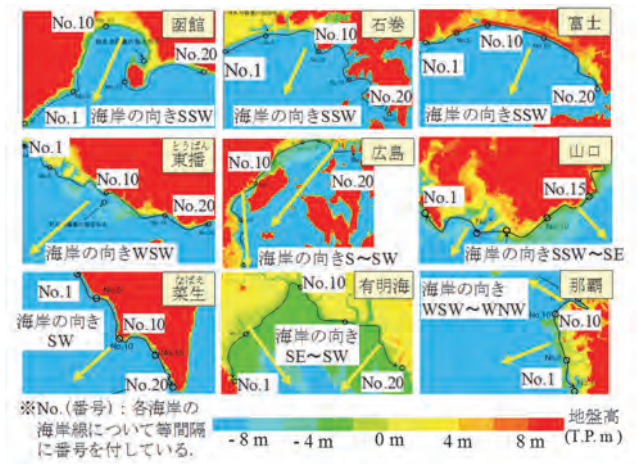


図-2 対象海岸の形状と向き（南向き9海岸）

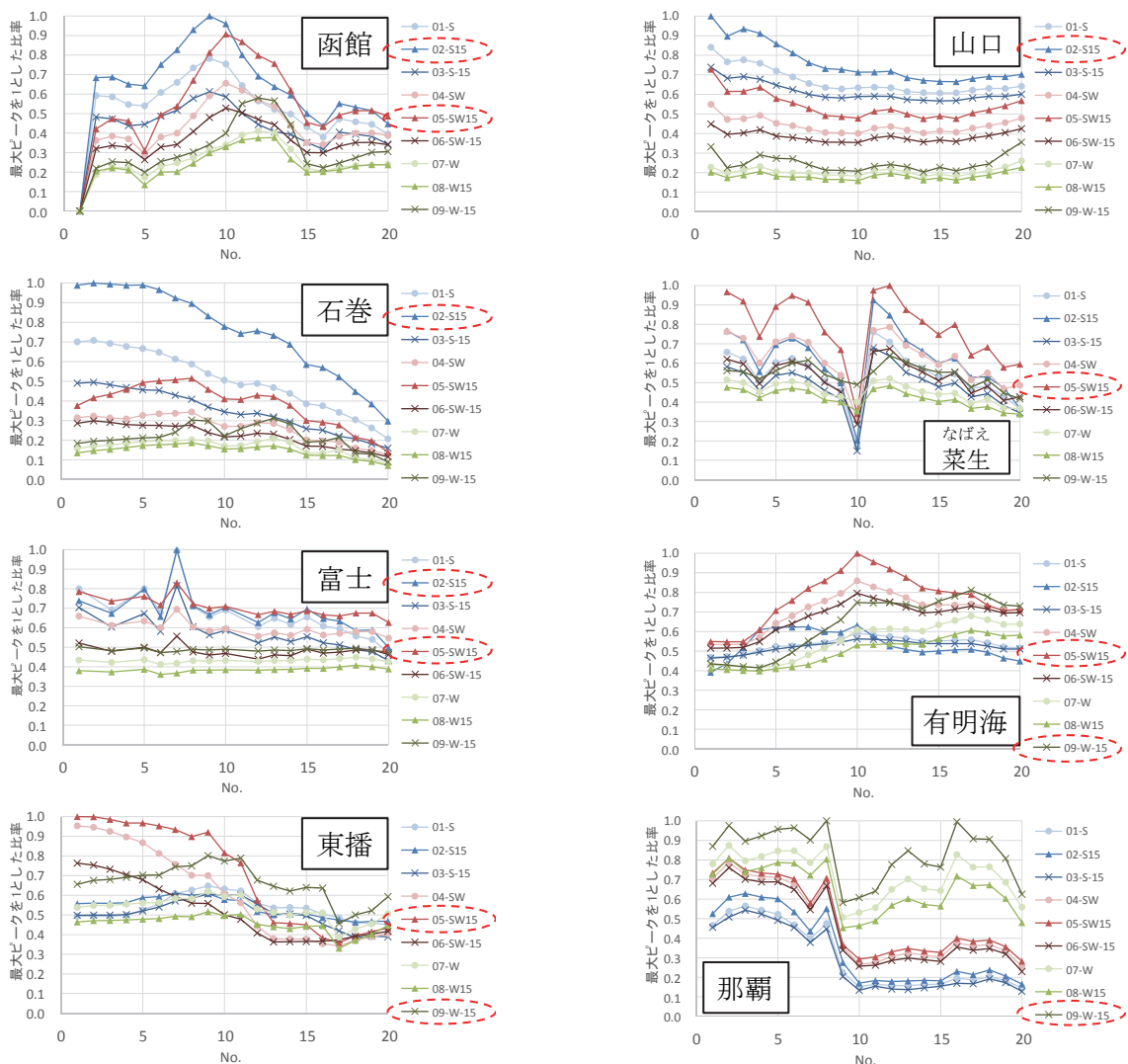


図-3 台風経路の違いによる高潮計算の感度分析（南向き9箇所，横軸のNo.（番号）は図-2に対応）

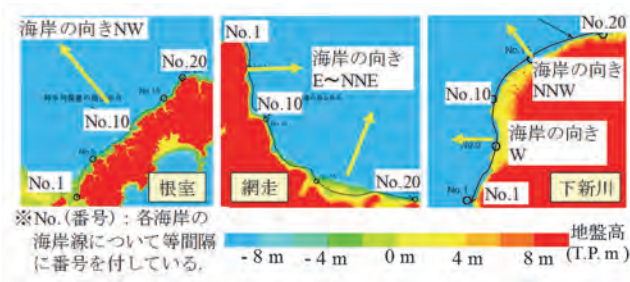


図-4 対象海岸の形状と向き（北向き3海岸）

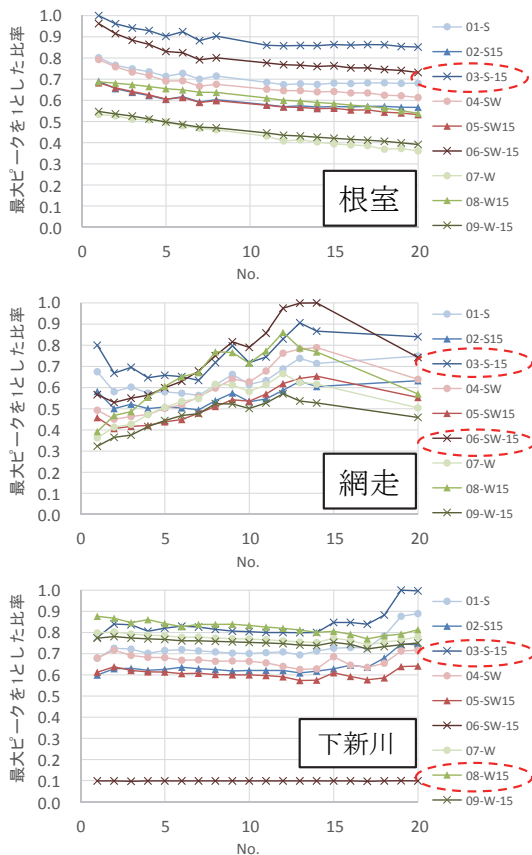


図-5 対象海岸の形状と向き（北向き3海岸，横軸のNo. (番号) は図-4に対応)

向き又は海岸線から直角方向の向きを示した。図-3の赤点線は潮位偏差最大となる台風経路を示しており、記号表記は「S：南から北」，「SW：南西から北東」，「W：西から東」を示している。また，「S15(S-15)」は「南から北の経路を東(西)方向へ15 km 平行移動」，「W15(W-15)」は「西から東の経路を北(南)へ15 km 平行移動」，「SW15(SW-15)」は「南西から北東の経路を南東(北西)へ15 km 平行移動」を示している。

(3) 考察

a) 台風経路と海岸の向きについて

12 海岸の高潮計算の感度分析で潮位偏差の高い方向

表-1 潮位偏差の高い台風経路と海岸の向き

	台風経路 (番号は経路設定の参考とした既往台風)			主な海岸の向き
	南→北 (S)	南西→北東 (SW)	西→東 (W)	
○海岸が南側（既往台風は海側から陸側へ）				
函館	T8115	T6209	T8118	南南西(SSW)
石巻	T0221	T7414	T5115	南南西(SSW)
富士	T6626	T9805	T5916	南(S)～南西(SW)
東播	T0411	T6523	T6707	西南西(WSW)
周防灘(広島)	T7611	T9918	T7818	南(S)～南西(SW)
周防灘(山口)	T7209	T9119	T7818	南南西(SSW)～南東(SE)
菜生	T6117	T0423	T7418	南西(SW)
有明海(佐賀)	T7119	T9918	T5913	南東(SE)～南西(SW)
那覇	T5405	T7920	T7414	西南西(WSW)～西北西(WNW)
○海岸が北側（既往台風は陸側から海側へ）				
根室	T5306	T7920	T7004	北西(NW)
網走	T5306	T7920	T7310	東(E)～北東(NE)
下新川	T5907	T7220	T5613	北北西(NNW)～西(W)

※■：着色は、潮位偏差が高い計算結果となった経路

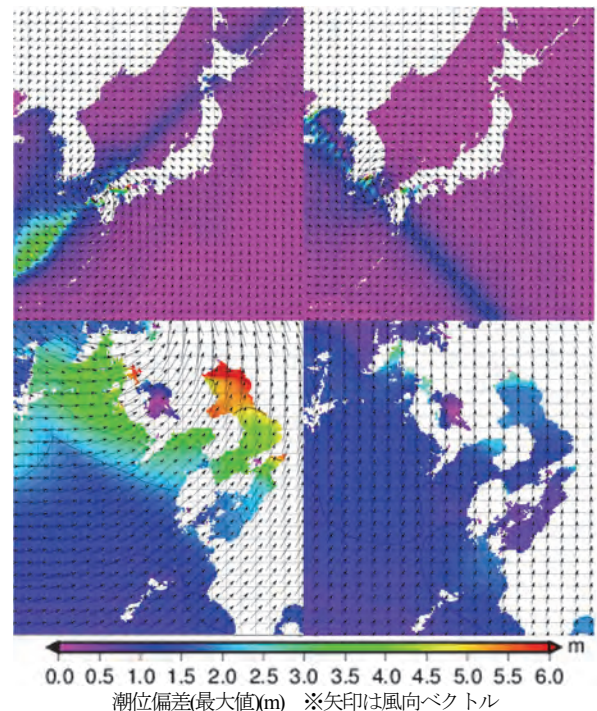


図-6 他の台風経路での計算（有明海）

と、海岸の向きを比較した結果を表-1に示す。南向きの海岸については、台風経路の方向（海岸から見て台風がやってくる方角）と海岸の向き（海岸から見て海がある方角）が近い場合に高い潮位偏差が見られた。また、北向きの海岸については、台風が陸側から海側へ抜ける経路のため、台風の風向が海岸の向きに近い場合に潮位偏差が高くなる傾向が見られた。

なお、有明海で海岸の向きが南東方向(SE)の海岸であっても、図-6のとおり、南東から北西方向(SE)の経路の台風では九州の陸地を縦断するため、南西から北東方向(SW)の台風経路に比べて潮位上昇は小さかった。

b) 台風経路と海岸の形状について

図-2,3の函館や広島のように、海岸形状に起因して、潮位最大となる台風経路は海岸位置によって異なる場合があることが分かった。図-3,5のように複数方向での高潮計算の感度分析を行い、潮位偏差の沿岸分布図を作成することで、高潮浸水想定区域図作成に資する台風経路を絞り込むことが可能であることを確認した。

3. 想定低気圧の経路設定のための感度分析

(1) 気圧場データの作成について

a) 気圧場データの作成に係る課題

低気圧による高潮計算では、時系列の気圧場のデータが必要となるが、気象庁メソ客観解析データは3時間毎のデータのため、データが空白の時間帯について内挿補間によるデータ作成が必要となる。

しかし、図-7に示すとおり、単純に時間的・空間的に線形補間すると、低気圧の中心（最小気圧の位置）の気圧深度が均される懸念がある。このため、本研究では、低気圧中心付近の切出しと自然近傍（シブソン）補間²⁾による補間（以下、「切出し補間」という。）を行った。

b) 気圧場データの作成方法

気圧場データの作成方法を図-8に示す。3時間毎の気圧場データの低気圧中心から半径200kmの範囲を切り出し、時間方向の線形補間により1時間毎の切り出し範囲内の気圧場データを作成した。次に、安田ら（2015）³⁾の時空間補間を参考に、3時間毎の気圧場データの低気圧中心位置から空間的に1時間毎の低気圧中心の位置を線形補間で求めた。最後に、切り出し範囲外の気圧場データを時間方向に線形補間で1時間毎に作成し、前述の1時間毎の切り出し範囲内の気圧場データを1時間毎の低気圧中心位置にあてはめた。なお、このあてはめによる気圧場の不連続や切り出しにより生じた空白域を解消するため、切り出した範囲の外縁部の半径160km～200kmの範囲について一旦データを空白にした後、自然近傍（シブソン）補間にて空間的に連続性を確保しながら空白域の気圧場データを再作成した。

自然近傍（シブソン）補間は、既知データ P_i の集合の中で未知の点 Q のデータを推定する方法で、ポロノイ図（2地点間から等距離となる線で形成）から算出される面積 S_i の重みづけで式(1)のような補間を行う。

$$Q = \sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) \quad (1)$$

ここで、面積 S_i は図-8のように既知データのみで作成したポロノイ図の線（青線）と未知の点 Q を追加して作成したポロノイ図の線（赤線）に囲まれた点 P_i 側の面

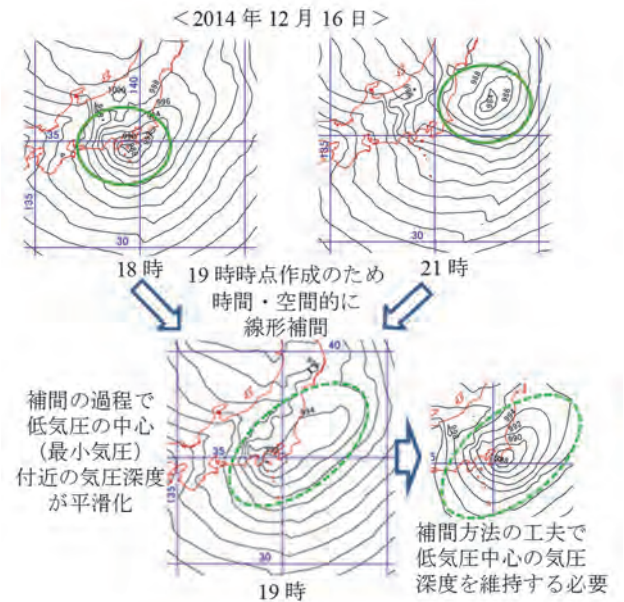


図-7 気圧場データの作成に係る課題

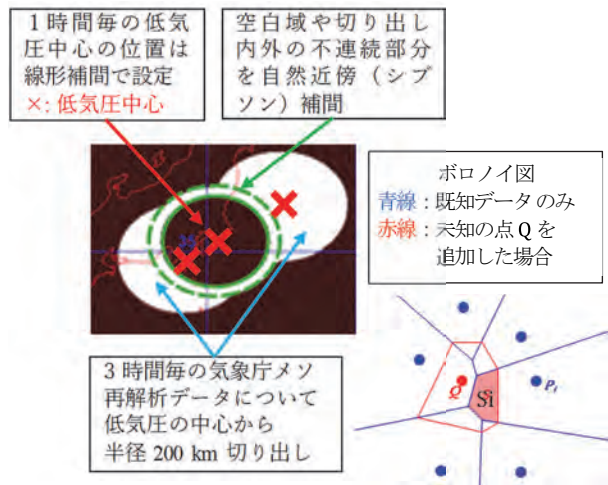


図-8 気圧場データの作成方法と自然近傍補間

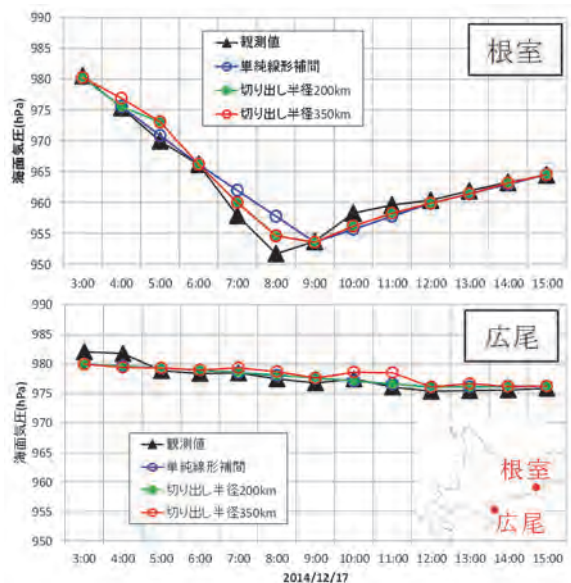


図-9 観測値と単純線形補間、切出し補間との比較 (2014年12月低気圧)

積である。また、式(1)のnは空白域の面積にもよるが、例えば図-7の19時時点の図では最大n=50である。

図-9に、根室と広尾の観測所地点において単純線形補間と切出し補間で作成した気圧データと観測値データとを比較した結果を示す。根室では、単純線形補間に比べ、今回の手法の方が観測値に近い結果となった。また、同図では切出し半径200kmと350km（調整範囲300～350km）の比較も併せて行ったが、根室ではほとんど差がなかったものの、広尾では2014年12月17日11時時点で切出し半径350kmのデータが観測値と若干異なる結果となった。当該時刻の低気圧中心と広尾までの距離が概ね300kmであることから、切出し境界では補間の精度が若干落ちる可能性が示唆された。

また、切出し半径200kmのケースでは、図-10のとおり根室の観測値の最低気圧に近づくよう、切出し半径200kmで調整ゼロ、低気圧中心で調整最大とする線形補正を行った。当該気圧場データを用いて傾度風モデル、スペクトル法、非線形長波理論を用いて最小計算格子90mの波浪潮位計算を行い、観測値（瞬間値）との比較した結果を図-11に示す。潮位偏差は観測値より約40cm高めとなったが、概ね観測値に近い結果となった。

なお、12月17日12時時点の有義波高の計算値と観測値との乖離は、根室の風向の観測値が西南西（根室の海岸線に平行）である一方、同時刻の気象庁解析データの風向が西（海岸線に向かう風）であるためと考える。

(2) 低気圧の経路設定のための感度分析計算と結果

3.(1)の切出し補間（半径200km）で作成した2014年12月の根室低気圧データを用いて、根室を対象に、経路設定のための概略高潮計算による感度分析を行った。

低気圧の最低中心気圧の位置（図-12点O）を対象海岸近くまで移動させる1ケース（図-12点A）と、低気

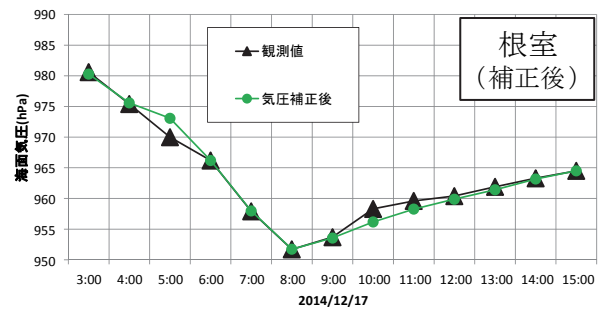


図-10 最低気圧補正後（2014年12月低気圧）

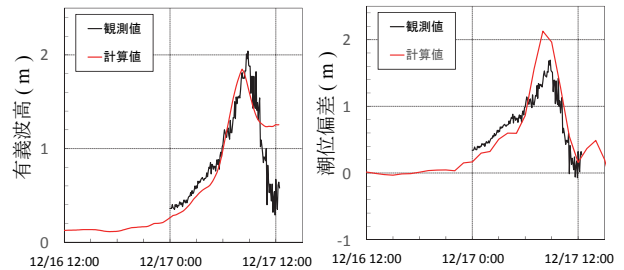


図-11 計算結果と観測値の比較（2014年12月低気圧）

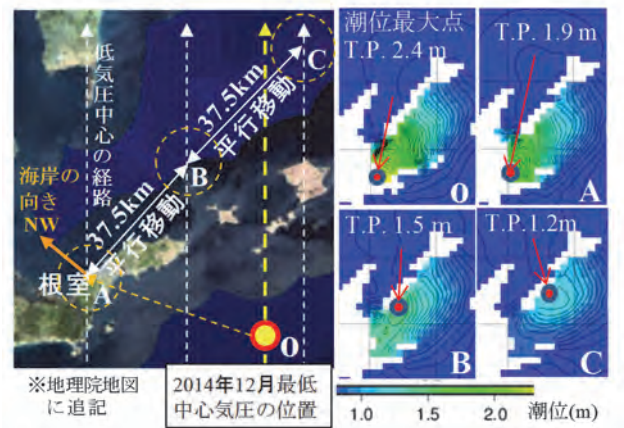


図-12 低気圧の経路設定と最大潮位コンター図（根室）

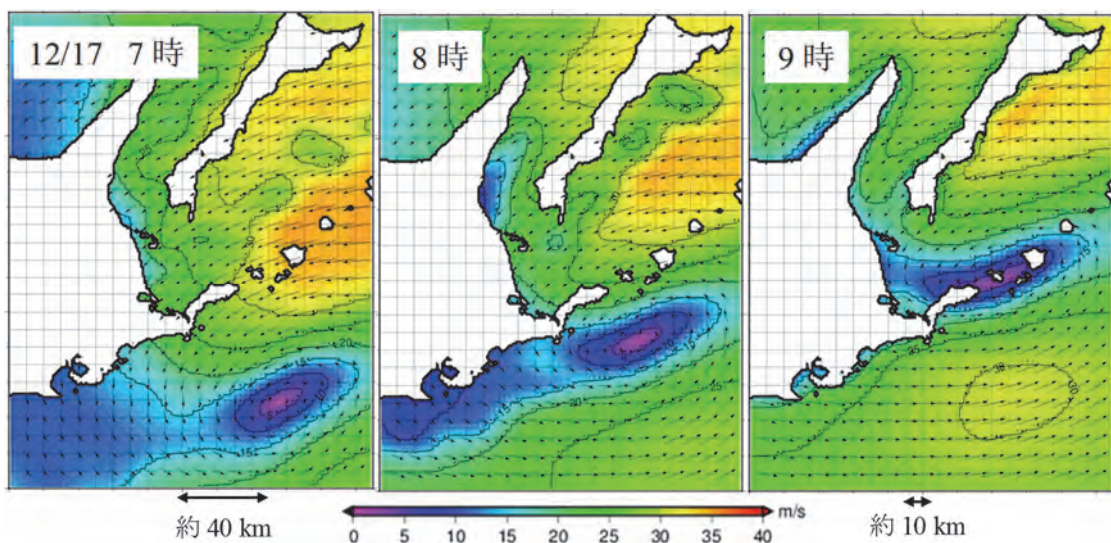


図-13 風速風向分布図（根室 実績経路）

圧による風向が対象海岸に向くことを意図して、対象海岸の海岸線の延長方向に 37.5 km (点 B), 75 km (点 C) だけ最低中心気圧の位置を平行移動させる 2 ケースの計 3 ケースを設定した。

計算結果の最大潮位コンター図を図-12 に示す。根室では海岸に最も近いケース (点 A) が移動ケースの中で潮位の計算値が最も高かったが、2014 年 12 月低気圧の実績経路の場合の計算値を上回らなかった。

(3) 考察

2. を参考に、海岸の向きと中心気圧を考慮して最低中心気圧の位置を移動させる感度分析を行ったが、平行移動させるほど潮位は低下した。その理由を考察する。

図-13 の実績経路における風速風向分布図を見ると、低気圧中心付近の風速分布が横に長い楕円状になっており、低気圧中心付近では風速 15 m/s 以下となっている。このため、図-12 の A, B, C のような平行移動を行っても対象海岸に向かって強い風が向くことが無かったものとする。また、図-13 を見ると、低気圧中心より北側に風速 30 m/s 以上の強風の範囲が分布している。このため、低気圧中心を北側に平行移動させると、風速 30 m/s 以上の範囲も北側に移動し、当該範囲で発生した波浪が国後島の海岸沿いにあたり、対象海岸である根室の周辺海域の潮位上昇に寄与しないことが推定される。図-12 の平行移動ケース B, C の最大潮位コンター図を見ても、その傾向が見られる。

今回、計算は行っていないが、例えば、図-13 の 7 時時点の低気圧中心を西側に約 40 km ほど移動させ、風速 30 m/s 以上の範囲を対象海岸に近づけることや、図-13 の 9 時時点の低気圧中心を東側に約 10 km 移動させ、対象海岸に北西向きの風をあてるといった方法で、潮位が大きくなる経路を探索することが考えられる。

このように、低気圧については、図-13 のように時系列の風向風速分布図を作成し、風向風速と海岸地形との関係を確認しながら、潮位最大となる経路を探索することが考えられる。

4. 結論

- (1) 潮位偏差最大となる想定台風の経路については、台風実績や海岸の向きから 3 方向×3 平行移動=9 ケースの感度分析を行い、潮位偏差の沿岸分布図を作成することで絞り込みが可能であることを確認した。
- (2) 高潮計算のために必要な低気圧データ作成方法として、低気圧中心付近の切出しと自然近傍 (シブソン) 補間による手法を提案し、単純線形補間に比べて気圧の観測値に近い結果となることを確認した。
- (3) 潮位偏差最大となる低気圧の経路については、時系列の風向風速分布図を作成し、風向風速と海岸地形との関係を確認しながら潮位最大となる経路を探索する必要性を示した。

参考文献

- 1) 農林水産省, 国土交通省: 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver. 1.00, pp. 7-12, 21, 2015.
- 2) 杉原厚吉: なわぼりの数理モデル, 共立出版, pp. 53-58, 2009.
- 3) 安田 誠宏, 片平 成明, 森 信人, 間瀬 肇, 澁谷 容子: 気候モデル台風のバイアス補正手法の開発と高潮の将来変化のアンサンブル予測, 土木工学論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_1507- I_1512, 2015. (2016.3.16 受付)

SENSITIVITY ANALYSIS FOR HIGH WATER PREDICTION DEPENDING ON THE DIFFERENCE BETWEEN THE EXPECTED TYPHOON AND LOW PRESSURE COURSES

Tetsuya TAKESHITA, Kazuki HIMENO, Minoru ITSUI,
Yuhō TOMINAGA, Kenichi KATO and Yoshio SUWA

In this study, we present the results of a sensitivity analysis for maximum water height prediction based on the difference between the assumed typhoon and low pressure courses and the depression data used for high tide prediction calculations.

The results confirm that the typhoon courses which generate the highest tides are forecasted through the coast direction, the shore topography, and the wind direction. The forecast accuracy is further improved using a sensitivity analysis. In the case of a low pressure field that excludes the typhoon effect, we present a method for calculating the depression data using a natural neighbor interpolation. The estimated high tide values using this model were in good agreement with those of measured tides. Finally, we present the sensitivity analysis considering not only parallel moving of the center of depression but also the shore topography, and the wind direction is necessary for the setting of low pressure course.