

第Ⅱ部門

台風による低頻度高波浪事象のスクリーニングのための簡易高速波浪推算法の検討

大阪市立大学 工学部 都市学科 学生員 ○堀田 大幹

大阪市立大学 大学院工学研究科 都市系専攻 正会員 中條 壮大

1. 背景・目的

2018 年台風 21 号は大阪湾沿岸や和歌山で大きな被害をもたらした。特に越波の浸水被害や構造物破壊、船舶等の浮体流出が課題として明らかとなった。波浪観測資料は時空間的に限定され、長期再現年数の波浪やその空間分布の情報は不足している。また台風による高波浪時には測定不能となる場合もある。今後の高波浪災害の防災対策においては、想定される高波イベントの推定が依然として重要であると思われる。現在、高波の推算においては、スペクトル法が主流であり、精度の高い推算結果が得られている。ただしその計算負荷は大きく、多数の想定シナリオに対する解を求める場合には不利になることがある。

海岸工学の初期に提案された有義波法の一つである SMB 法は、一様風域の波浪の発達過程を理論的に誘導し、パラメータを経験的に調整した波浪推算法でありフェッチが限定される湾内を一様に風が吹くような場合は精度よく波浪の発達過程を模擬でき、計算負荷はかなり低い。しかし、台風のように風域が移動し、一様でない場合の適用は工夫が必要である。過去の実務における波浪推算においてもフェッチや風速は天気図等から経験的に与えられていた。井島ら（1967）は Wilson の深海波に対する推算式を浅海波向けに変形し、台風の中心から同心円状に設定した小領域を起点として波の発達過程を推算する手法を提案している。

近年では気候変動による将来の高波浪リスクを評価するために、大アンサンブル予測結果の d4PDF データセットや、それを元に校正された確率台風モデルの台風経路データが提供されており、またリアルタイム台風予測においても確率論的な考え方で多数シナリオの検討を必要とする状況が増えている。

こうした背景から、多数の台風経路データから高波浪リスクを評価するための簡便な有義波法を構築し、より詳細な検討が必要な事例を抽出するためのスクリーニング法として活用する可能性を検討することを目的とした。今回は紀伊水道以南の外洋に面した海域に

おける精度検証と、確率台風モデルの台風経路データから現在と将来の波浪変化を推定した結果を示す。

2. 方法

外洋域における波浪推算のために Wilson の提案した有義波高 H 、有義波周期 T に関する以下の経験則を適用する。

$$\frac{gH}{U^2} = 0.3 \left[1 - \frac{1}{\{1 + 0.004\sqrt{gF/U^2}\}^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{gT}{U} = 8.6 \left[1 - \frac{1}{\{1 + 0.008\sqrt{gF/U^2}\}^5} \right] \quad (2)$$

ここで F はフェッチ、 U は代表風速である。風速分布については Myers の式から同心円状の気圧分布を求め、そこから傾度風を算定し、環境場の風の効果を加えた後に、海面での摩擦による低減を考慮した 10 m 高度風を 0.1 度格子毎に算定した。対象領域は北緯 10～40 度、東経 120～150 度の範囲としている。気圧分布を求める際に最大風速半径が必要となるが、実際の台風を対象とした再現計算においては定点観測された気圧の時間変化を良好に再現するものを採用し、仮想台風については以下の河合ら（2005）の中心気圧の関数で表される経験則を用いた。

$$r_{max} = 94.89 \exp(P_0 - 967/61.5) \quad (3)$$

時々刻々変化する風域の影響を考慮するために、井島ら（1967）は波高の伝播過程を簡易化するために、波の進行方向と風向きがなす角 θ の関数で $\cos\theta$ だけ波高が低減されると仮定している。ここでは、連続する時刻では風域は大きく変化せず、前時刻の波高の影響は前時刻のフェッチ F に反映され则认为、 F の履歴が順次加えられるとした定式化を考えた。

$$F_t = F'_t + F_{t-1} \cos(\theta_t - \theta_{t-1}) Z^{\Delta t} \quad (4)$$

ここで F'_t はその時刻の風域から決定されるフェッチ、 θ は各時刻の風向き、 Z は時間経過によるフェッチの低減係数であり、刻み時間 Δt の指数関数で減衰する。

F'_t と代表風速 U の決定においては、台風により生じ

た風域を広域的に捉えて定義した。まず対象地点に向かう風速成分が X m/s よりも大きな風速となる領域を抽出する (図-1)。図中の風速ベクトルは X m/s 以上の風速場であり、対象地点に向かって吹いている。次に風向きが一樣と近似できる風域を短冊状に複数設定する。幅は暫定的に 50 km と設定している。この短冊状風域の長さを F_i 、領域内の平均風速を U とした。各風域候補から Wilson 式より波高が求められるため、その中で最大の波高となるものを選択した。また、風域と対象地との距離が離れていると実際の波が到達するまでの遅れ時間 T_d が存在するため、波の群速度を用いて T_d を考慮した。パラメータ X, Z の決定には、仮想台風 9 つを想定し、スペクトル法の SWAN を用いて波浪計算を行った結果を真値として最適値探索を実施した。

3. 結果

9 地点の波浪計算結果から最大波高 H_{max} の再現性を指標として推定した最適値は $X = 23$ m/s, $Z = 0.4$ となった。計算結果の X に対する感度はそれほど高くない。SWAN と本手法で求めた H_{max} の相関係数は 0.85 であった。現状として最適値決定が大阪湾寄りの台風経路を中心に決定していることもあり、高知県付近の検証点ではやや過大評価となる傾向にある。

図-2 には 2018 年 21 号台風時の太平洋沖で推算された SWAN の波高変化と本モデルの計算結果の比較を一例として示す。 H_{max} のみでなく波浪の発達過程もある程度表現できていることがわかる。ただし、この 21 号台風はパラメータ推定に使用した事例でもあるために、検証例は十分ではない点は注意が必要である。

暫定的ではあるが、波浪推算の大枠は構築できたとみなし、梅田ら (2019) が構築した全球確率台風モデルの 1 万年相当の台風経路データを用いて現在と将来の波浪変化を試算した。将来予測については、平均気温が 4°C 上昇した条件である。対象地付近を通過した台風は現在で 20,147 個、将来で 11,485 個であったが、ここでは $N32^{\circ}$ 通過時の風速が 35 m/s 以上の台風 (現在が 1244 個、将来が 1505 個) のみを本モデルを用いて波浪推算を行った。図-3 は和歌山県潮岬における 10 m 以上の H_{max} をもたらす事象の頻度分布比較である。帯域によって多少の差はあるが 11 m よりも大きな事象の頻度が将来は増加していることがわかる。

4. 結論

外洋に面した海域の簡易波浪推定方法について提案

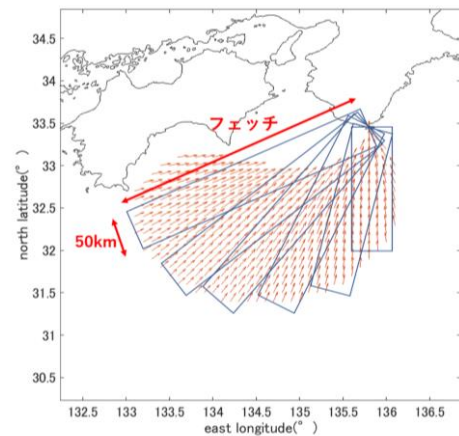


図-1 風域の決定方法についての概略図

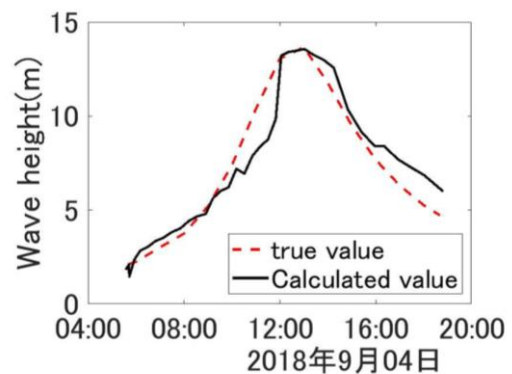


図-2 2018 年 21 号台風時の波浪変化予測 (紀伊水道の南沖合い, $E135^{\circ}$, $N33^{\circ}$)

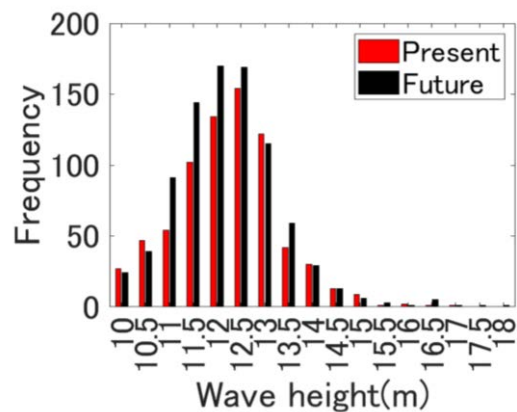


図-3 現在と将来の高波浪頻度比較 (潮岬)

し、最適パラメータの決定方法を提示した。現状としてスペクトル法と比較して約 300 倍の速度 (1 台風に対し約 3 分) で解析可能であり、スクリーニング法として有用であると考えている。確率台風モデルの台風経路を用いた検討から、将来の高波浪頻度が 11 m 以上で増加することを示した。今後はモデル精度の検証数を増やすことと、将来変化予測についてはスペクトル法と組み合わせた詳細解析が必要と考えている。