

第II部門

ブシネスクモデルを用いた強風時の風波発達および越波計算手法の開発

京都大学工学部	学生員	○佐藤 笙子
京都大学防災研究所	正会員	志村 智也
京都大学防災研究所	正会員	宮下 卓也
京都大学防災研究所	正会員	森 信人

1. はじめに

2018 年台風 21 号や 2019 年台風 19 号のように強い台風に伴って湾内で発達した高波により沿岸部の被災が発生している。2018 年台風 21 号では、高波浪に伴う越波によって関西空港の一部が水没した。このような沿岸災害を防ぐためには、湾内において強風により発達する風波を考慮することが重要である。しかし、湾内での風波の評価に関しては、強風による風波の発達と湾内の屈折・回折等の詳細な波浪変形の、そして越波までを統一的に考慮できるモデルがないという問題がある。

そこで本研究では、風波発達を考慮した位相解像型波浪モデルを開発することを目的とする。強風条件下の浅海を対象にして、ブシネスク方程式に局所的な風による波形の影響を考慮した波浪発達項を導入した。感度実験にもとづき波浪発達係数の最適化を行い、得られたモデルを用いて 2018 年台風 21 号関西空港の事例に応用して越波量を推算し、実測値と比較した。

2. 位相解像型波浪モデルへの波浪発達項の導入

ブシネスク方程式に風応力項を考慮してパラメタリゼーションを行った。従来の海面応力項に Jeffrey 理論および Miles 理論をもとにした項を追加した。従来の風応力項は以下で表される。

$$\rho_a C_d \vec{U} |U| / \{\rho(\eta + h)\}$$

これは、風によって生じる海面摩擦応力を $\rho_a C_d \vec{U} |U|$ とあらわし、せん断的に風が波に仕事をし、平均水位が上昇することを説明する項である。Jeffrey 項は以下で表される。

$$\rho_a C_d^{Jeff} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial \eta}{\partial x} \right] C_d \vec{U} |U| / \rho$$

Jeffrey 項を従来の風応力項に加えたものを Jeffrey

理論のケースとした。Miles 項は以下で表される。

$$\rho_a \frac{2C_d^{Miles}}{\kappa^2} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} C_d \vec{U} |U| / \rho$$

Miles 項を Jeffrey 理論のケースに加えたものを Miles 理論のケースとした。

沿岸部の波浪変形計算を行うブシネスク方程式を基礎式とする位相解像波浪モデルである XBeach (Roelvink, 2009) に上記の風応力項を導入し解析を行った。

3. 発達率の最適化

一定水深・一様風速・透過境界条件で感度実験を実施した。一定水深 20m の地形を用い、以下の理想状態での感度分析を行った。波高 1m, 周期 10s の規則波もしくは波高 1m, ピーク周期 10s の JONSWAP スペクトルに基づいた不規則波を左側の側方境界から入射させ、フェッチ制限の発達率を調べた。風速は 30m/s および 50m/s で一定とし、各 3600s 間計算した。図 1 は風速 30m/s 条件で定常状態まで発達したときの Jeffrey 項と Miles 項にもとづく有義波高と最大波高の空間分布を示したものである。規則波および不規則波いずれの数値実験でも、Miles 項は吹走距離が長くなるにつれて有義波高・最大波高ともに指数関数的に発達するが、Jeffrey 項の影響は局所的であった。

波浪発達の機構について考えたとき、Jeffrey 項は波形勾配の符号が考慮されないのに対して、Miles 項は波形勾配の符号を考慮する。この違いにより風波発達に関して Jeffrey 項と Miles 項の違いが生じたと考えられる。

Miles 理論のケースにおける係数 C_d^{Jeff} , C_d^{Miles} は最適化が必要である。スペクトル型波浪モデル (SWAN) で同条件計算した発達率と比較すること

で、係数 C_d^{Jeff} , C_d^{Miles} の最適化を行った。SWAN モデルから計算された発達率に最も近くなるのは $C_d^{Jeff} = 0.8$, $C_d^{Miles} = 0.06$ のときであった。

4. 2018 年台風 21 号再現実験

最適化された係数を用いて 2018 年台風 21 号関西空港の被災事例を対象に波浪発達と越波量の計算を行った。計算は断面 2 次元で陸側から関西空港東護岸までを対象とした。風速は 10~50m/s とし、入射する不規則波の位相を 10 通り変化させたアンサンブル計算を実施した。図 2 は風速 10m/s~50m/s をそれぞれ一様に与えたときの計算開始 1000 秒後の水面変位の空間変化を示したものである。従来の風応力項による水位上昇に加えて主に Miles 項による波浪発達が表現されている。

図 3 は風速毎に護岸を超えた瞬時越波量と積算越波量を示したものである。風速 40m/s を超えると越波が顕著になり、風速 40m/s で約 1 万 m^2/m 、風速 50m/s で約 3.6 万 m^2/m の越波量が計算された。関西空港が発表した実測値よりもかなり大きくなった。この原因として、断面 2 次元および定常計算であること、最適化の係数の精度が低いこと、風から波への運動量の平均水位上昇分と波浪発達分の相互関係の考慮が考えられ、今後の改良が必要である。

5. 結論

本研究では、位相解像型波浪モデルに風波発達を考慮した風応力項の導入を試みた。風波発達への影響は Miles 理論が支配的であり、スペクトル型波浪モデルによりパラメータを最適化した。次いで、最適化された位相解像型波浪モデルを用いて関西空港の越波量推定に応用した。実測値と比較した結果、越波量は過大評価となり、今後の改良が課題となった。

6. 参考文献

- 1) Chen, Q., J. M. Kaihatu, P. A. Hwang, Incorporation of wind effects into Boussinesq wave models, Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, Vol.130, No.6, pp.312-321, 2004.
- 2) Roelvink D. et al. storm impacts on beaches, dunes

and barrier islands, Coastal Engineering, Vol.56, No.11-12, pp.1133-1152, 2009.

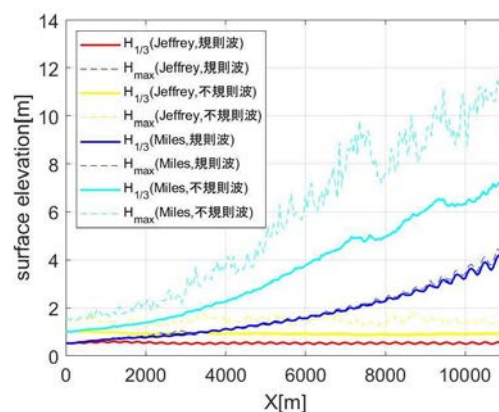


図 1 風波発達の計算結果（実線：有義波高，破線：最大波高，赤・黄：Jeffrey 理論，青・水：Miles 理論）風速 30m/s 条件

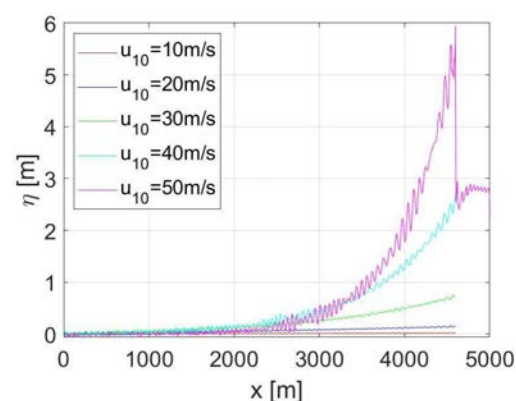


図 2 関西空港再現実験での風速 10m/s~50m/s をそれぞれ一様に与えたときの計算開始 1000 秒後の水面変位の空間変化

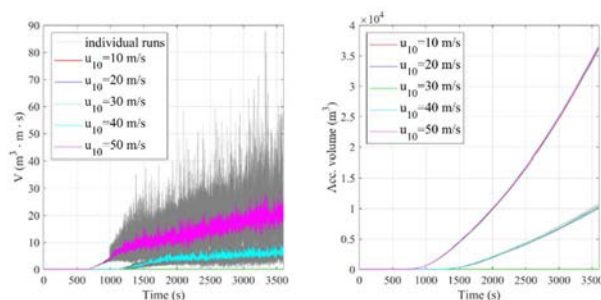


図 3 台風 Jebi 再現実験での風速毎の越波量の時間変化（左：越波流量の時間変化，右：積算越波量の時間変化）（灰色は各条件におけるアンサンブル計算の結果，色付きは各条件のアンサンブル平均）