

第II部門

位相解像型波浪モデルを用いた強風時の風波発達モデルの開発

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浸水量を推算し、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 理論による風応力項は以下で表される。

$$\rho_a (C_d + C_d^{Jeff} \left| \frac{\partial \eta}{\partial x} \right|) \vec{U} |U| / \{\rho(\eta + h)\}$$

この理論に基づく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 理論による風応力項は以下で表される。

$$\rho_a \left(C_d + C_d^{Jeff} \left| \frac{\partial \eta}{\partial x} \right| \right) \vec{U} |U| / \{\rho(\eta + h)\} + \rho_a \frac{2C_d^{Miles}}{\kappa^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} \vec{U} |U| / \rho$$

この理論に基づく項を 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 0.1~1.0m, 周期 10s の規則波と波高 1m, ピーク周期 10s の JONSWAP スペクトルに基づいた不規則波をそれぞれ左側の側方境界から入射させた。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 で不規則波を入射させたときの Jeffrey 理論と Miles 理論にもとづく風応力を導入したときのそれぞれの有義波高と最大波高を示したものである。規則波および不規則波いずれの実験でも、有義波高・最大波高ともに吹走距離が長くなるにつれて大きくなるという点で Jeffrey 理論にもとづく風応力を導入したときと大きな差があり、入射条件に関わらず Miles 理論の風波発達への大きな寄与があることがわかった。

波浪発達の機構について考えたとき、Jeffrey 理論は風がせん断応力的に波にはたらき波が運動量を受け取るのに対して、Miles 理論は鉛直方向の圧

力の空間勾配によって波が運動量を受け取る。この違いにより風波発達に関して Jeffrey 理論と Miles 理論の違いが生じたと考えられる。

Miles 理論のエネルギー輸送係数はチューニングが必要である。スペクトル型波浪モデル(SWAN)から計算された結果と比較することで、Miles 理論のエネルギー輸送係数の最適化を行った。最適化から $C_d^{Jeff} = 0.8$, $C_d^{Miles} = 0.06$ が得られた。

4. 再現実験

最適化された係数を用いて 2018 年台風 21 号関西空港の事例で波浪発達と越波量の計算を行った。図 2 は風速 10m/s～50m/s をそれぞれ一様に与えたときの水面変位を示したものである。図 2 より、吹走距離が長くなるにつれて水位が大きくなるのが分かった。また、風速が大きくなると水位の発達も大きくなることが確認できた。

図 3 は風速が 10m/s～50m/s のときの越波量を示したものである。図 3 より風速 40m/s のときは越波量が約 1 万 m^2/m 、風速 50m/s のときは約 3.6 万 m^2/m である。これに東護岸の長さ 2600m をかけるにことにより、越波量総量はそれぞれ約 2600 万 m^3 、約 9360 万 m^3 と評価できる。関西空港が行った実測結果をもとにした総浸水量約 270万 m^3 よりも大幅に大きくなった。この原因として、実際には風向・風速が時間的に変化するのに対し、計算では風向・風速を一定にして計算したこと、および最適化の係数の精度が考えられる。最適化の精度の向上を今後の課題とする。

5. 結論

本研究では、位相解像型波浪モデルの風応力項に局所的な波形勾配を考慮した。風波発達への影響が Jeffrey 理論は小さく、Miles 理論が大きいことがわかった。次いで、最適化された位相解像型波浪モデルを用いて 2018 年台風 21 号関西空港の事例に応用し、実測値と比較した。

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.

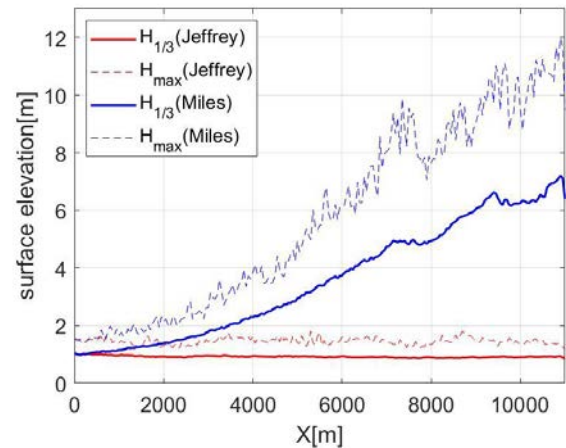


図 1 局所的な波形勾配を運動量交換係数を含みつつ圧力項として考慮したときの風波発達の計算結果：風速 30m/s（実線：有義波高，破線：最大波高，赤線：Jeffrey 理論，青線：Miles 理論）

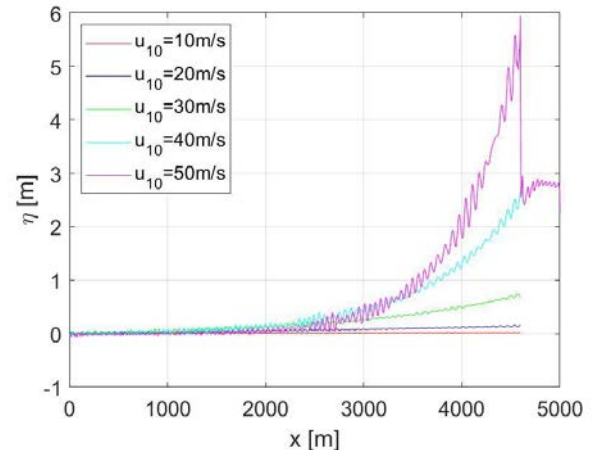


図 2 再現実験での風速 10m/s～50m/s をそれぞれ一様に与えたときの水面変位の空間変化

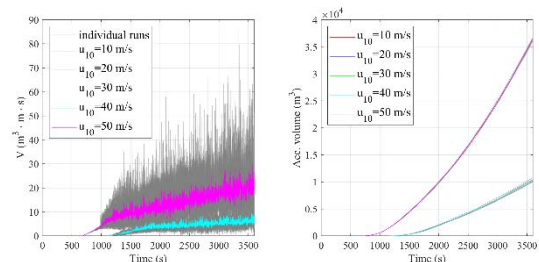


図 3 台風 Jebi 再現実験での風速毎の越波量の時間変化（左：越波流量の時間変化，右：積算越波量の時間変化）