

波浪推算モデルの風波実験による検証

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○辻村太郎
筑波大学システム情報工学研究科助教授 正会員 京藤敏達

1. はじめに

近年、広域における波浪場の解析に数値シミュレーションが用いられることが一般的となっている。入力する計測データに関する検討や実測値を用いた再現計算が多数行われている¹⁾。しかし、風向きが大きく変化する場合や島などの障害物が存在し擾乱が発生する場合に再現精度が落ちることが指摘されており、波浪推算モデルの詳細な検討が求められている。しかし、現地観測データを用いた検証が大部分を占め、実験データによる物理現象を考慮したモデルの検証は少ない²⁾。一方、現地観測からも、うねりが存在する場合の風波の発達の低下が指摘されている。

本研究では、擾乱が存在する場合の風洞実験の結果³⁾をSWANが再現できるかについて検討を行った。

2. 実験データ

2.1 実験の概要

長さ15.0m、幅0.40m、高さ0.88mの風洞水槽を用い、プランジャー型造波装置を風洞入り口に設置し周期的擾乱を与えた。水深は36.5cmに固定した。以下、代表風速6.4m/sでの実験結果を用いる。(実験の詳細は論文³⁾を参照。)

2.2 実験結果

有義波高、パワースペクトルをそれぞれ図-1, 2に示す。また実験の結果として以下の点が挙げられる。擾乱を与えることにより有義波高の成長が促される。風波は、風波本来のピーク周波数が与えた擾乱の周波数 f_a を超える吹走距離まで、擾乱の周波数のピークを維持し成長するが、それ以上吹走距離が伸びると擾乱のピークを失い成長する。

Milesの理論を用いて発達する擾乱の周波数が算定される。本研究ではこの3つに注目し波浪推算モデルの検証を行う。

3. 波浪推算

3.1 基本モデル

波浪推算モデルはSWANのバージョン4.031を用いた。計算は1次元計算とし、空間格子 $dx=0.01m$ 、周波数の設定領域を0.025Hz~15Hzを100分割とした。擾乱は、計算格子内の最上流部に実験値から算出した擾乱のパワースペクトルを境界条件として設定することにより、周期的擾乱を与えた。また、初期以降の風波発達を検証するため、境界条

件として吹走距離 $F=1.5m$ の位置に実験で求めたスペクトル($F=1.7m$)を与えた計算も行った。

3.2 計算モデル

三種の仕様モデルを用いて実験の推算を行った。

(1) normal SWAN モデル (CASE 1)

通常のオプションのSWANで計算を行った。風からのエネルギー入力項 S_{in} にMilesの理論は含まれておらず、 S_{in} は以下の式で表される。Aは線形的なエネルギー入力項

$$S_{in} = A + 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(28 \frac{U_*}{C_{ph}} - 1 \right) \sigma E \quad (1)$$

(2) JANSSEN SWAN モデル (CASE 2)

JANNSENのオプションを用いたSWANを用いて計算を行った。JANNSENの理論により風波表面の粗度は無次元波高により評価され S_{in} の項に反映される。

$$S_{in} = A + \beta \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(\frac{U_*}{C_{ph}} \right)^2 \sigma E \quad (2)$$

ここで β はMiles定数と呼ばれる風波表面の粗度と周波数の関数となっている。

(3) Banner の実験式を適用した SWAN モデル (CASE 3)

SWANで用いられている Wu の摩擦速度式(2)の代わりにBannerらの実験式(3)を用い、摩擦速度を算出する。

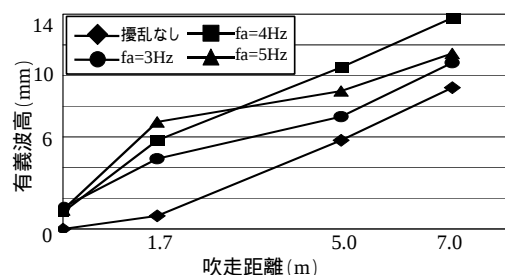


図-1 有義波高(実験値) ($U_a=6.4m/s$)

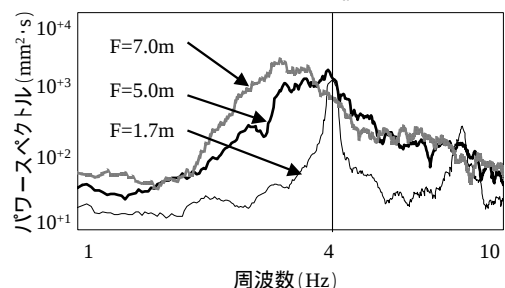


図-2 パワースペクトル(実験値) ($U_a=6.4m/s$ $f_a=4Hz$)

キーワード 風波, SWAN, 風洞実験, 擾乱

連絡先 〒305-8577 つくば市天王台 1-1-1 3F302 TEL:029-853-5486 E-mail:tujimura@surface.kz.tsukuba.ac.jp

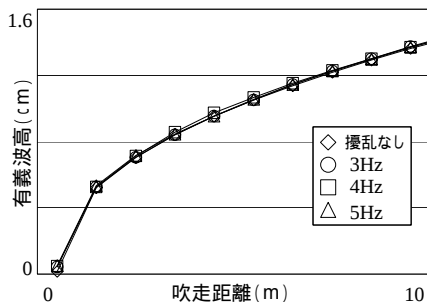


図-3 有義波高(0m)

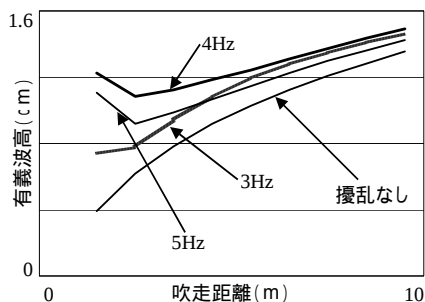


図-4 有義波高(1.5m)

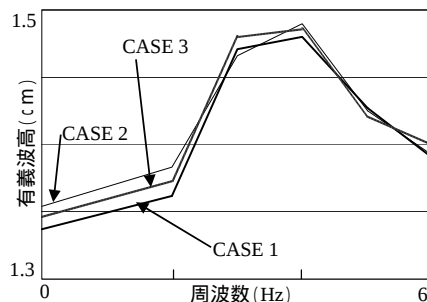


図-5 有義波高と周波数の関係(1.5m)

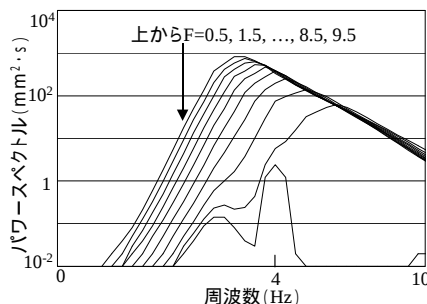


図-6 パワースペクトル(0m)

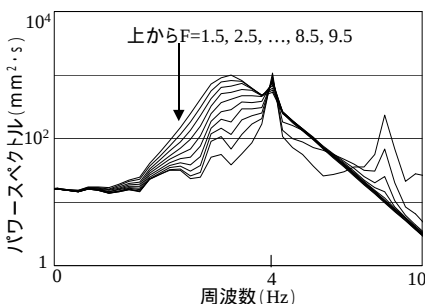


図-7 パワースペクトル(1.5m)

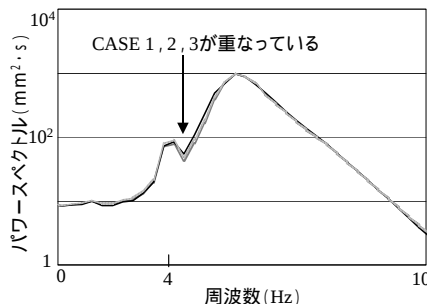


図-8 10mでのパワースペクトル(2Hz)

$$U_* = \sqrt{1.2875 \times 10^{-3} \cdot U_{10}} \quad (U_{10} \leq 7.5 \text{ の場合}) \quad (1)$$

$$U_* = \sqrt{(0.0017 + 0.00053F) / \rho_a} \cdot U_a \quad (2)$$

ここで F は吹走距離 (m), ρ_a は空気密度 (kg/m^3). この場合, 解析時に Miles の理論によって計算していた表面の粗度の変化も実験式に内包される事となる. 両者のオーダーは一致しており大きな変化は吹走距離が考慮されている点である. SWAN の設定は, CASE 1 と同様である.

4. 計算結果

4.1 有義波高

CASE2のスペクトルを0mで入力した場合と1.5mで入力した場合の有義波高をそれぞれ図-3 図-4に示す. 図-3より, SWAN では微小擾乱を与えた場合の有義波高の変化を表現できていない事がわかる. 与える擾乱のエネルギーを大きくした計算も行ったが, 有義波高は若干大きくなるが, 周波数による発達の違いは生まれない. 図-4の $F=10\text{m}$ 付近では3, 4Hzの擾乱が大きく実験結果と一致しているが, 1.5mで入力したスペクトルの影響を残したもので, 周波数による発達率に大きな違いは生まれなかった. 図-5に $F=10\text{m}$ での各CASE (擾乱 1.5m) の有義波高と周波数の関係を示す. CASEによる結果の差はほとんど現れていない. 風洞実験のように風波のエネルギーが小さい場合は, 外力項である A が支配的になっており, 風波表面の状態が考慮されていない事が原因と考えられる.

4.2 パワースペクトル

CASE 2 (擾乱 4Hz) の入力 $F=0\text{m}$ と $F=1.5\text{m}$ のパワースペクトルをそれぞれ図-6, 7に示す. 図より擾乱の周波数のパワースペクトルは成長せずに, 他の周波数にエネルギーが輸

送されていることがわかる. この事からも図-4の有義波高が増幅されているとは言えない. また, 表面の粗度を考慮していない CASE 1 とその他の計算結果の明確な差が生まれなかった (図-8). また, スペクトル形状がロックし成長する現象やスペクトルのピークの移行など未だ物理的に解明されていない現象もあり, 更なる実験的研究, SWAN への新たな機構の導入が必要である.

5. まとめ

擾乱の存在する風波実験を用いて SWAN の検証を行った. SWAN で実験の定性的な結果を表すことができなかった.

実験結果を表現するには, 吹走距離やパワースペクトルの形状, 卓越周波数により風からのエネルギーの入力 S_{in} が変化するような新たな機構が必要であると考えられ, この機構の組み込みは, うねりや沿岸域における反射波がある場での波浪推算の精度を向上させる可能性がある.

今後の予定としては, SWAN を用いて定量的な実験の評価を行えるよう改造し, 反射波が存在する場合の風波の発達の評価を行う.

参考文献

- 1) 橋本典明, 川口浩二, 松浦邦明, 宇都宮好博(2003): Adjoint WAM(Cycle 5)のデータ同化における評価関数の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.186-190.
- 2) 水谷夏樹, Sang Ho OH, 佐藤裕司, Kyung Doug SUH, 橋本典明(2002): 浅海波浪推算モデルSWANの風洞水槽実験による比較検証, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.81-85.
- 3) 辻村太郎, 金子公久, 京藤敏達(2004): 風波場における微小擾乱の増幅と風波の安定性, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.209-215.