

乱流モデルを用いた準3次元海浜流予測モデルの適用性に関する研究

株式会社アイ・エヌ・エー 正会員 ○犬飼拓志 鳥取大学工学部 正会員 松原雄平 黒岩正光
鳥取大学大学院 学生員 上田親祐 鳥取環境大学 フェロー 野田英明

1. 概要

全国的に発生している海岸侵食の対策として、離岸堤、人工リーフ、突堤などを用いた海岸保全事業が数多く行われている。しかしながら、必ずしも十分な事業効果が発揮されないケースも報告されている。その理由はケースによって様々であろうが、構造物周辺の波、流れを精度良く予測できないこともその一因である。

本研究は短期間の海浜変形予測に用いられる3次元海浜変形モデル（①波浪場、②海浜流場、③地形変化の3ステップで構成）のうち、「②海浜流場の計算」に新たな計算モデルを提案しようとするものである。

2. 海浜流場の数値モデル

海浜流場は黒岩ら¹⁾による準3次元海浜流モデルを用いて算定する。

本研究では運動方程式に含まれる水平および鉛直渦動粘性係数、 ν_h , ν_v について1方程式乱流モデルを用いた新たな評価を行う。まず、従来の0方程式モデルでは ν_h , ν_v は次式のように表される。

$$\nu_h = Nx' \sqrt{g(h + \zeta)} \quad (\text{Longuet-Higgins}^2) \text{ モデル} \cdots \textcircled{1}, \quad \nu_v = A_v c H \quad (\text{土屋ら}^3) \text{ のモデル} \cdots \textcircled{2}$$

ここに、 N および A_v は0.01程度の係数、 x' は離岸距離、 c は波速、 H は波高を表している。

一方、 ν_h について本研究では、灘岡ら⁴⁾を参考に乱れエネルギー $\tilde{k}$ に関する輸送方程式を用いて評価する。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial t} + \tilde{U} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} + \tilde{V} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_h}{\sigma_k} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_h}{\sigma_k} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} \right) + \text{Pr} od_h - C_d \frac{\tilde{k}^{3/2}}{\ell_h} \end{aligned} \cdots \textcircled{3}$$

$$\nu_h = \frac{C_\mu}{C_d} \ell_h \sqrt{\tilde{k}} \cdots \textcircled{4}, \quad \ell_h = \alpha_h h \quad (\alpha_h = 0.2) \cdots \textcircled{5}$$

ここに σ_k , C_μ および C_d は無次元係数であり、③式から求められた $\tilde{k}$ を④式に代入することにより ν_h を求める。

ν_v については、Deigaardら⁵⁾のモデルを参考に乱れエネルギー k の輸送方程式を用いて算定する。

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_v}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \text{Pr} od_v - C_d \frac{k^{3/2}}{\ell_v} \cdots \textcircled{6}, \quad \nu_v = \frac{C_\mu}{C_d} \ell_v \sqrt{k} \cdots \textcircled{7}$$

ここで、 ν_v の場合、乱れの長さスケール ℓ_v は次のように場合分けをして与える。

$$\ell_v = \begin{cases} C_1^{1/4} \kappa z', & z' < \frac{\ell_{\max}}{\kappa C_1^{1/4}} \\ \ell_{\max}, & z' > \frac{\ell_{\max}}{\kappa C_1^{1/4}} \end{cases}, \quad \ell_{\max} = \alpha_v h \quad (\alpha_v = 0.07, 0.1) \cdots \textcircled{8}$$

このとき、底面における乱れを0とする、Non-Slip条件を採用している。

3. 計算結果

まず、鉛直循環流場に対する適用性について検討する。図1の上図は碎波点から1.485m、下図は左より3.325m岸側の地点における、乱れエネルギー、鉛直渦動粘性係数および定常流速の鉛直分布であり、実測値と計算値を

比較したものである。これらの図より、本モデルを用いて求められた乱れエネルギーの計算結果は、実測値を過大評価しているものの、それを用いて渦動粘性係数を評価して得られた定常流の鉛直分布の計算結果は、実測値と良く一致することがわかった。さらに、乱れの長さスケールは水深の 0.1 倍で与えた場合 (破線)、定常流速が実測値とよく一致することがわかった。

次に離岸堤背後の循環流場における適用性について検討する。図 2 は左から、底面付近の循環流の実測値、0 方程式モデルの計算結果、1 方程式モデルの計算結果を示している。これらの図より、本モデルの計算結果は、循環流の中心位置などから、定性的に実測値とよく一致していることが分かる。しかしながら、流速を過大評価している点もあり、定量的にはまだ問題が残されているといえる。

最後にヘッドランド周辺における適用性について検討する。図 3 は上から、海浜流の実測値、0 方程式モデルの計算結果、1 方程式モデルの計算結果を示している。これらの図で、0 方程式モデルの計算結果は定性的に実測値とよく一致している。一方、1 方程式モデルの計算結果では実測値と逆方向に流れが発生しており、本モデルをヘッドランド周辺の海浜流の計算に適用することには問題があるといえる。

4.まとめ

本研究では、渦動粘性係数の与え方に着目し、砕波により供給される乱れを考慮した、乱流モデルを海浜流の計算に適用した。上記の結果より、鉛直 2 次元循環流場および離岸堤背後の循環流場においてはその有効性が認められたが、ヘッドランド周辺の海浜流場においては、実現現象を再現できない結果となった。

以上のことから、すべての海浜流場の計算に既存の乱流モデルを用いることには問題が残されている。今後、計算精度を向上させるため、乱れの生成過程を再検討し、実現現象を捉えたモデルの開発・改良が必要である。

参考文献

- 1) 黒岩正光 (1999): 準 3 次元海浜流モデルの開発とその適用性に関する研究. 鳥取大学学位論文.
- 2) Longuet-Higgins, M.S. (1970): Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, J. Geophys. Res., Vol.75, No.33, pp.6778-6801.
- 3) 土屋義人・山下隆夫・上本 実 (1986): 砕波帯内における戻り流れについて, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp.31-35.
- 4) 磯岡和夫・八木 宏 (1993): 浅い水域の乱流場に関する数値モデルの開発と沿岸流場への適用, 土木学会論文集 第 473 号, pp.25-34.
- 5) Deigaard R., P. Justesen and J. Fredsoe (1991): Modelling of undertow by a one-equation turbulence model, Coastal Eng., Vol.15, pp.431-458.

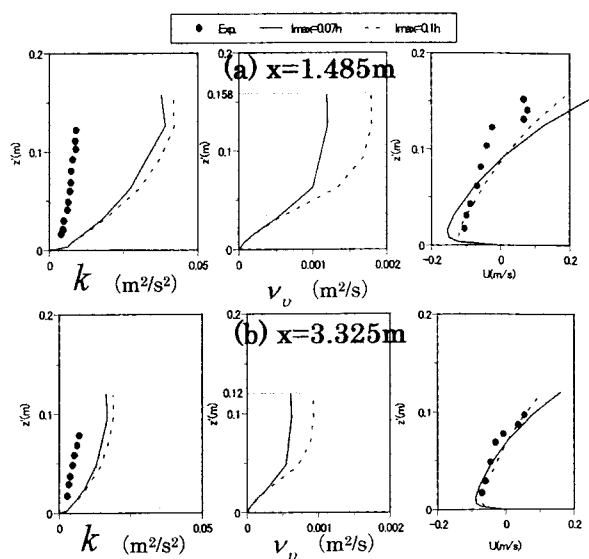


図1 鉛直分布の計算結果

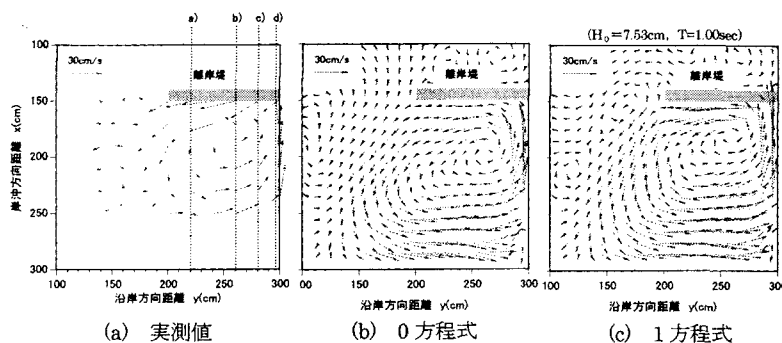


図2 底面における循環流場の比較

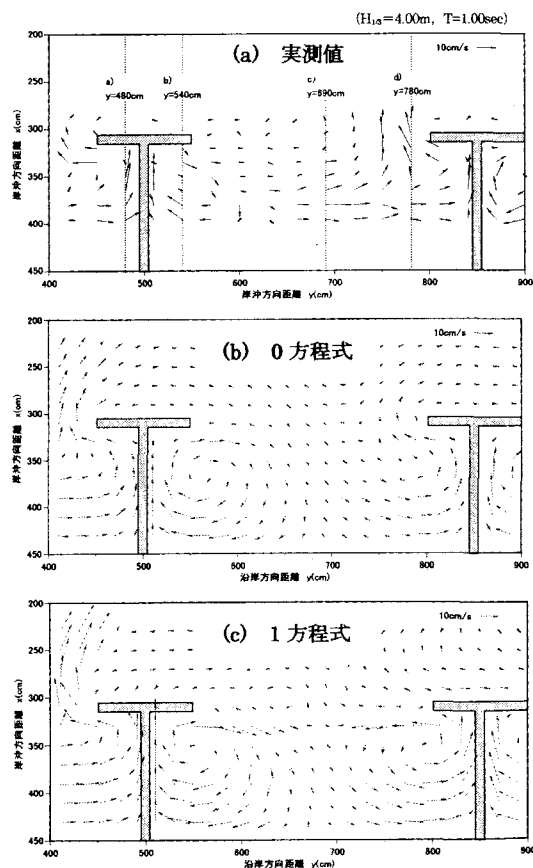


図3 ヘッドランド周辺の海浜流