

1 方程式乱流モデルを用いた準 3 次元海浜流予測に関する研究

鳥取大学大学院 学生員 〇犬飼 拓志 鳥取大学工学部 正員 黒岩 正光
鳥取大学工学部 正員 松原 雄平 鳥取環境大学 フェロー 野田 英明

1. はじめに： 海浜流場の計算には、radiation stress を外力とした平面 2 次元モデル (2DH モデル) が用いられているが、構造物背後に発生する循環流の再現性については十分でなく、摩擦係数や渦動粘性係数の与え方 (0 方程式モデル) に問題があることや、戻り流れが顕著に発生する場合も再現性が劣ることが報告されている¹⁾。したがって、戻り流れも計算できる準 3 次元モデル、さらに乱流モデルを導入した新たな海浜流モデルを構築する必要がある。本研究は、乱流モデルを用いた新たな準 3 次元海浜流モデルを構築する事を目的としているが、その第一段階として、乱れの運動エネルギーの 1 方程式乱流モデルを用いた準 3 次元海浜流モデルを開発する事を目的とする。本報では、岸沖方向の鉛直循環流場 (戻り流れ) および離岸堤背後に発生する循環流場の実験結果と比較し、モデルの適用性を検討する。

2. 数値モデル： 波浪場は、Dally²⁾ の碎波減衰項を付加したエネルギー平衡方程式を用いて算定する。海浜流場は黒岩³⁾ の準 3 次元海浜流モデルを用いて算定するが、 v_h および v_v 、つまり水平および鉛直渦動粘性係数の算定には以下に示すモデルを用いる。

v_h は灘岡⁴⁾ のモデルを参考に、水深方向に断面平均された乱れエネルギー $\tilde{k}$ の輸送方程式を用いて評価する。

$$\frac{\partial \tilde{k}}{\partial t} + \tilde{U} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} + \tilde{U} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_h}{\sigma_k} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_h}{\sigma_k} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x} \right) + \text{Prod}_h - C_d \frac{\tilde{k}^{3/2}}{\ell_h} \quad (1)$$

ここに、 σ_k および C_d は無次元定数であり、それぞれ 1.0 および 0.09 とする。 v_h は水平渦動粘性係数であり、乱れエネルギーと乱れの長さスケール ($\ell_h = \alpha_h h$) を用いて $v_h = \ell_h \sqrt{\tilde{k}}$ で表される。 Prod_h は乱れエネルギーの生成項で、碎波によるエネルギー逸散率および水平せん断変形による生成を考慮して次式で表す。

$$\text{Prod}_h = \frac{D_b}{\rho(\bar{\xi} + h)} + v_h \left(\frac{\partial \tilde{U}}{\partial x} \right)^2 \quad (2)$$

v_v は Deigaard ら⁵⁾ の鉛直 1 次元の 1 方程式に基づいて評価する。乱れエネルギーの輸送方程式、乱れエネルギー生成項は以下のものである。

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_v}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \text{Prod}_v - C_d \frac{k^{3/2}}{\ell_v} \quad (3)$$

$$\text{Prod}_v = \frac{D_b}{\rho(\bar{\xi} + h)} + v_v \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + v_v \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \quad (4)$$

v_v は $v_v = \ell_v \sqrt{k}$ で表され、 ℓ_v は、Deigaard ら⁵⁾ と同様に次式で与える。

$$\ell_v = \begin{cases} C_d^{1/4} \kappa z', & z' < \frac{\ell_{\max}}{\kappa C_d^{1/4}} \\ \ell_{\max}, & z' > \frac{\ell_{\max}}{\kappa C_d^{1/4}} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 $\ell_{\max} = \alpha h$ であり α は 0.07~0.1 程度の値を取る。 κ はカルマン定数 (=0.4)、 z' は底面からの高さを表す。底面 $z = -h$ および水面 $z = \bar{\xi}$ における境界条件は

$$k = 0 (z = -h), \quad \frac{\partial k}{\partial z} = 0 (z = \bar{\xi}) \quad (6)$$

で与える。

3. 数値モデルの適用性： まず、岸沖方向の鉛直循環流場への適用を試みた。計算に用いた波浪条件は Ting ら⁶⁾の実験によるものを用いた。すなわち、海底勾配 1/35、沖波波高 $H_o=0.127\text{m}$ 、周期 $T=2.0\text{s}$ である。図-1(a)~(c)は $h/h_b=0.68$ の地点における乱れエネルギー、渦動粘性係数および定常流速の鉛直分布の計算結果と実測値を比較したものである。図-2 は $h/h_b=0.50$ の地点における同様に結果を示したものである。図中に示す・印は実測値、実線は $\ell_{\max}=0.07h$ 、破線は $\ell_{\max}=0.1h$ として計算した結果を示したものである。この図から、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。定常流速については、両者とも上層で実測値との相違が見られるが、底面付近では $\ell_{\max}=0.07h$ とした方が実測値との一致度が良いことがわかる。図-2 から、 $h/h_b=0.68$ における結果と同様に、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が、流れの計算結果は実測値と良く一致している。特に、

$\ell_{\max}=0.07h$ とした結果の方が良く実験値を再現している。なお、水平渦動粘性係数の ℓ_h の α_h は種々変化させて計算した結果、 $\alpha_h=0.2$ とした。

つぎに、黒岩ら³⁾の実験にもとづいて、離岸堤背後の循環流場への適用を試みた。図-3 は底面付近における離岸堤背後の循環流の数値計算例を示したもので、比較のため 0 方程式型の渦動粘性係数を用いた結果(b)も示している。図(b)の結果と比較して、本モデルは沖向きの流れを過大評価するが、循環流(大規模渦)の中心位置は実測値と良く一致し、構造物背後の縦貫流の特性を定性的によく再現できることがわかる。

4. おわりに： 本モデルによる乱れエネルギーの計算値は実測値を過大評価するが、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。離岸堤背後の循環流場の計算結果から、従来の 0 方程式によるモデルに比較して、流れの大きさを過大評価するが、循環流の特性を定性的によく再現できることがわかった。

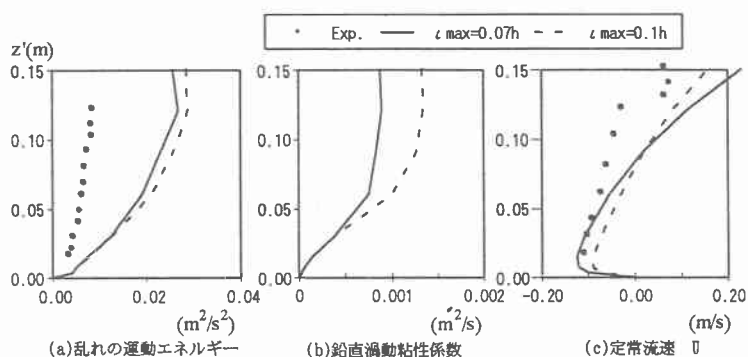


図-1 計算結果と実験結果の比較 ($h/h_b=0.68$)

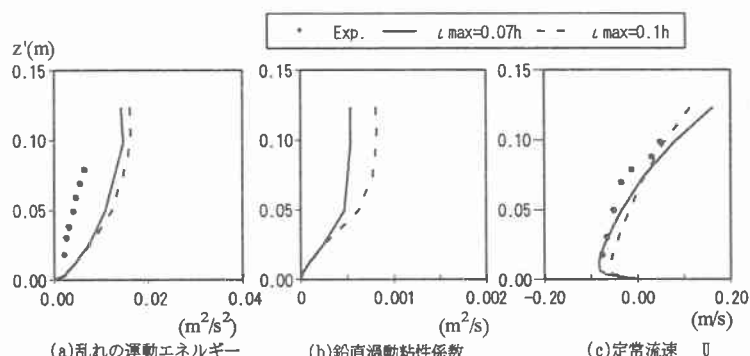


図-2 計算結果と実験結果の比較 ($h/h_b=0.50$)

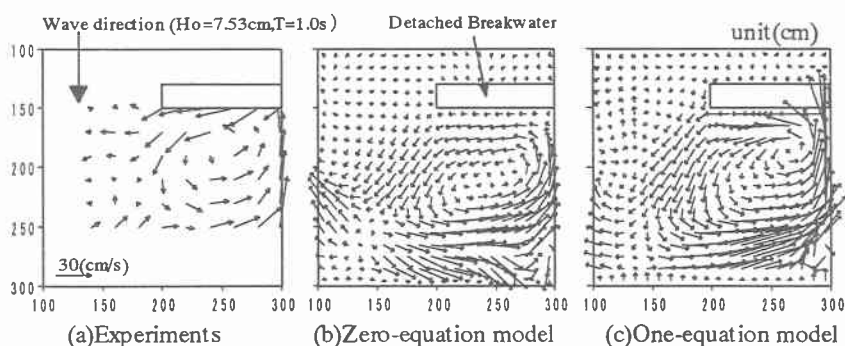


図-3 底面付近における離岸堤背後の循環流場

<参考文献> (1)河田ら：漂砂環境の創造に向けて，土木学会，海岸工学委員会，359p.，1998. (2) Dally ら：A Model for Breaker Decay on Beaches, Proc. 19th ICCE, pp.82-97, 1984. (3) 黒岩正光，野田英明，中嶋孝昌，森山貴之：構造物周辺における準3次元海浜流モデルの適用性に関する研究，海岸工学論文集，第45巻(1)，pp.196-200，1998. (4) 灘岡ら：準3次元浅水乱流モデルの開発に基づく三次元大規模渦構造の数値シミュレーション，海岸論文集，第47巻，pp.466-470, 2000. (5) Deigaard ら：Suspended-sediment in the surf zone, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.112, No.1, pp.115-128, 1986. (6) Ting ら：Observation of undertow and turbulence in a laboratory surf zone, Coastal Eng., Vol.24, p51-80, 1994. (7) Rakha ら：A Quasi-3D phase-resolving hydrodynamic and sediment transport model, Coastal Eng., Vol.34, p.277-311, 1998.