

浮遊砂の移流を考慮した 3 次元海浜変形予測に関する研究

鳥取大学大学院 学生員 ○橋本 和幸
 鳥取大学工学部 正会員 松原 雄平 黒岩 正光
 鳥取環境大学 フェロー 野田 英明

1. はじめに

海浜変形を予測するにあたっては漂砂量の評価が重要である。一般に正味の漂砂量は、波と流れ（海浜流）による漂砂量に分けて評価される。特に波による漂砂量は、移動形態別に掃流、浮遊、シートフローの3種類に分類されるが、砕波帯内においては、水面からの乱れによって高濃度の浮遊砂雲が形成され、これが地形変化に大きな影響を及ぼしているとされ、浮遊砂量の分布を精度よく見積もる必要がある。

上述のことから本研究では、浮遊砂濃度を3次元移流拡散方程式で算定する3次元海浜変形予測モデルを提案しようとするものである。提案されたモデルの妥当性を検討するため、黒岩ら（1999）による鉛直一次元浮遊砂海浜変形予測モデルと比較する。

2. 数値モデル

本モデルは、波浪場、海浜流場、漂砂量および海底地形計算の3段階に分けられる。波浪場は、非定常緩勾配方程式、海浜流場は黒岩ら（1997）の準3次元モデルを用いる。漂砂量は浮遊砂による効果を検討するため、簡単のため浮遊砂のみとし、また、移流の影響を考慮するため3次元の移流拡散方程式を用いて以下のように算定する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} + \frac{\partial(WC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w_f \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

ここで、 C ：浮遊砂濃度、 U, V, W ：定常流速、 W_f ：砂粒子の沈降速度、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ：拡散係数である。拡散係数は渦動粘性係数を用いて、

$$\varepsilon_x = A_h CH \quad (2) \quad \varepsilon_z = A_v CH \quad (3)$$

ただし、 $\varepsilon_x = \varepsilon_y$ となる。ここに、 C および H はそれぞれ波速および波高、 A_h および A_v は無次元係数であり、それぞれ 0.005～0.1 程度の値である。なお、本研究では $A_h = 0.05$ 、 $A_v = 0.005$ とした。

底面および水面の境界条件は

$$-\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} = P \quad (4) \quad \varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} + w_f C = 0 \quad (5)$$

なお、式（4）中の P は底質の巻上げ率（Pick-up rate）で、沼野らを参考にシールズ数の関数で与えた。すなわち、

$$P = A_p w_f (\psi - \psi_c)^3 \quad (6)$$

ここに A_p は無次元係数であり、本研究では $A_p = 0.0002$ とした。 ψ はシールズ数で、 ψ_c は限界シールズ数（ $\psi_c = 0.05$ ）である。

浮遊漂砂量は波の一周期にわたって時間平均された浮遊砂濃度の鉛直分布と定常流速の鉛直分布の積を水深方向に積分することにより算定する。すなわち、

$$q_{sx} = \int_{-h}^{\eta} \bar{C}(x, y, z) U(x, y, z) dz \quad (7)$$

$$q_{sy} = \int_{-h}^{\eta} \bar{C}(x, y, z) V(x, y, z) dz$$

水深変化は底勾配の影響を考慮した漂砂の連続式を用いて算定する。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(q_x + \varepsilon_s |q_x| \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_y + \varepsilon_s |q_y| \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} \quad (8)$$

ここで、 E_s 無次元定数、 λ は砂の空隙率である。なお、本研究では $\varepsilon_s = 5.0$ 、 $\lambda = 0.3$ とする。 q_x および q_y は全漂砂量であるが、本研究では浮遊砂による影響を検討するため、正味の漂砂量を式（7）で示した浮遊漂砂量 q_s のみで算定する。

3. 計算結果

鉛直一次元モデル(黒岩モデル)を Model 1, 本研究で提案した局所漂砂量型モデルを Model 2 とし, 本研究では, 実規模の海底勾配 1/50 の海浜に長さ 200m の離岸堤が水深 4 m に設置されている場合を想定し, その周辺における 24 時間後の地形変化計算を試みた. なお, 入射波の沖波波高は $H_o=2.0\text{m}$, 周期は $T=8.0\text{s}$, 波は離岸堤に直角入射させた. 図-1 は, 海浜流の断面平均定常流の計算結果を表したもので, 離岸堤背後には 0.7m/s 程度の循環流が発生している. 図-2 および 3 は, それぞれのモデルにおける 24 時間後の海底地形の計算結果を表したものである.

図-2 および 3 から Model1 および Model2 の 24 時間後の海底地形変化の計算結果を比較すると, 両者とも $X=800\text{m}$, $Y=400\text{m}$ 地点および $X=800\text{m}$, $Y=600\text{m}$ 地点, すなわち, 離岸堤両端近傍で水深が約 8~10m となり, 洗掘されている状況が計算されている. また, $X=900\text{m}$, $Y=0\sim300\text{m}$ 地点および $X=800\text{m}$, $Y=700\sim1000\text{m}$ 地点では, Model1 による計算結果は水深約 3m であるが, Model2 では約 6m となっており, トラフすなわちバーが形成されていることがわかる. また, $X=900\text{m}$, $Y=400\sim600\text{m}$ 地点, すなわち離岸堤背後では両者とも 80m の等深線が前進し, トンボロ状の海底地形となっているが, 形状が異なり, Model2 のほうが実現に近い形状であると考えられる. このことから, 離岸堤背後では, Model1 より Model2 の方が海浜流による移流の効果によって離岸堤外から底質が運搬され, 離岸堤背後に堆積すると考えられる.

最後に, Model2 による底質の巻上げ率 (Pick-up rate) および底面濃度分布の計算結果を図-4 および 5 に示す. $X=850\text{m}$, $Y=350\text{m}$ 付近でピックアップ率が高くなっており, そこで巻き上げられた底質が海浜流によって離岸堤背後に運搬され $X=900\text{m}$, $Y=500\text{m}$ 付近に沈降し, 濃度が高くなっていることがわかる. 移流拡散方程式を用いることにより, 浮遊砂の移流効果が考慮できることが確認できた.

4. おわりに

本研究では, 移流拡散方程式を用いた浮遊砂の移流の影響を考慮できる 3 次元海浜変予測モデルを提案し, 鉛直 1 次元浮遊砂モデルと比較しモデルの妥当性を検討した. その結果, 離岸堤両端近傍では Model1 および Model2 は侵食・堆積状況が類似していることがわかった. また, 離岸堤背後では, Model1 より Model2 の方が移流の効果によってトンボロが形成され, 実現に近い海底地形変化が計算できることがわかった. 今後の課題として, 本モデルの実用化に向けて, Pick up rate や拡散係数のパラメータの評価方法を再検討し, 実測値と比較検討する予定である.

参考文献: 1) 黒岩ら(1999), 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 616-620

2) 黒岩ら(1997), 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 151-155

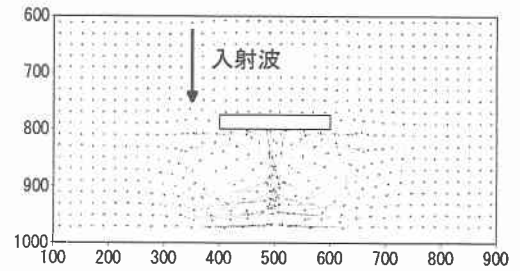


図-1 海浜流の断面平均定常流

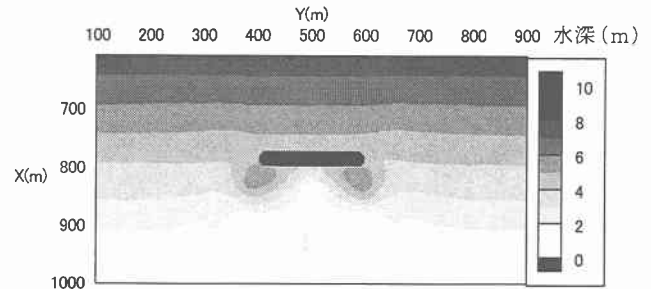


図-2 Model1 の 24 時間後の海底地形

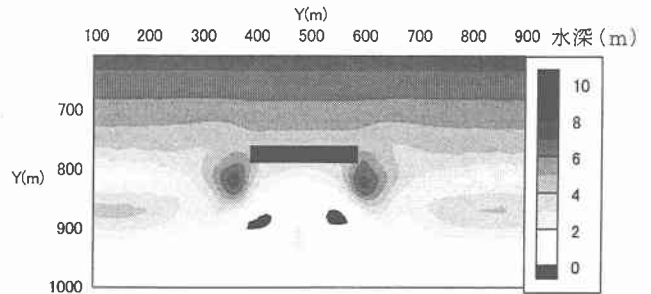


図-3 Model 2 の 24 時間後の海底地形

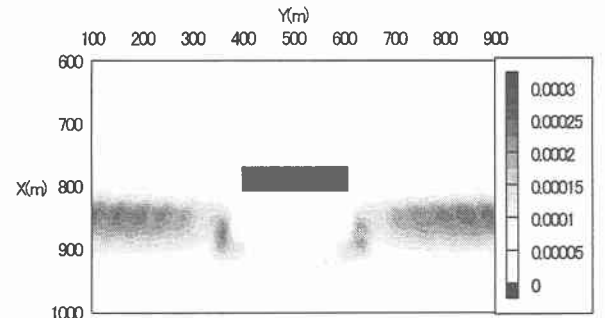


図-4 Model 2 における底面の浮遊砂濃度分布

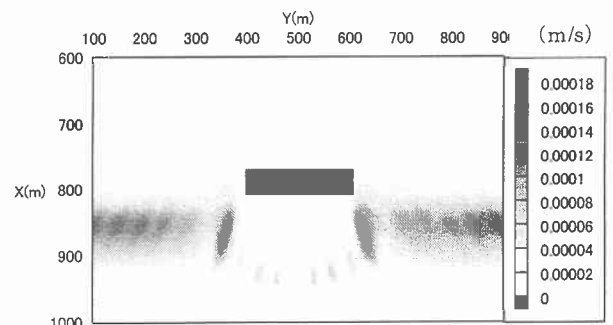


図-5 Model 2 における Pick-up rate 分布