

浮遊砂の移流拡散を考慮した 3 次元海浜変形予測に関する研究

鳥取大学 工学部 正 員 黒岩 正光
環境大学設立準備財団 フェロー 野田 英明
(株) 新栄エンジニアリング 正 員 ○中嶋 孝昌

1. はじめに

海浜変形予測をするにあたっては漂砂量の評価が重要である。特に碎波帯内においては水面からの乱れによる高濃度の浮遊砂雲が形成されるため、浮遊砂を精度よく算定する必要がある。

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新たな 3 次元海浜変形予測モデルを提案し、電力中央研究所が所有する大型造波水路で実施された縦断地形変化に関する現地規模の実験結果¹⁾および輸省港湾技術研究所所有する波崎海洋研究施設における現地観測結果²⁾と比較し、数値モデルの適用性を検討しようとするものである。

2. 数値モデル

本 3 次元海浜変形予測モデルは①波浪場の計算、②海浜流場の計算および、③漂砂量と地形変化の計算の 3 つのサブモデルに分けられる。波浪場は、エネルギー平衡方程式、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。全漂砂量は、波と流れによる浮遊漂砂量と、波による掃流漂砂量および底面定常流速を用いた掃流漂砂量に分けて計算する。なお、浮遊漂砂量は、3 次元移流拡散方程式を用いて以下のよう求めた。静水位を原点とし、沖から岸向きに x 軸、沿岸方向に y 軸、鉛直方向に z 軸をとる。3 次元移流拡散方程式は、

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

で表される。ここに、 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。式 (1) を σ 座標変換し、移流項と拡散項に分け陽解差分法を適用して浮遊砂濃度 C を算定する。このとき、移流項は流速の正負に応じて前進、後退差分を用い、拡散項は中央差分を用いた。底面および水面の境界条件は

$$\varepsilon_z \partial C / \partial z = -P \quad (2) \quad , \quad \varepsilon_z \partial C / \partial z + w_f = 0 \quad (3)$$

とした。なお、式 (2) 中の P は底質の巻き上げ率 (Pick-up rate) で、シールズ数の関数、すなわち、

$$P = 0.001 w_f (\phi - 0.05)^3 \quad (4)$$

で表した。波による漂砂量 q_{wb} は、渡辺ら⁴⁾のパワーモデルを参考にし、次式

$$q_{wbx} = A_w Q u_{wb} \cos \alpha \quad (5), \quad q_{wby} = A_w Q u_{wb} \sin \alpha \quad (6), \quad Q = (u^2 - u_c^2) / g \quad (7)$$

で算定する。ここに、 u は摩擦速度、 u_c は底質の移動限界摩擦速度、 A_w は無次元定数で、本研究では 0.1 ~ 0.15 とした。流れによる掃流漂砂量 q_c は、底面定常流速を用いて、

$$q_{cbx} = A_c Q U_b \quad (8) \quad , \quad q_{cby} = A_c Q U_b \quad (9)$$

で表される。 A_c は 0.2 ~ 0.6 とした。波と流れによる浮遊漂砂量 q_s は、浮遊砂濃度 $C(x, y, z)$ と x 方向および y 方向の定常流速の積を取り、底面から平均水位面まで積分すると

$$q_{sx} = \int_{-h}^{\eta} C(x, y, z) U(x, y, z) dz \quad (10) \quad , \quad q_{sy} = \int_{-h}^{\eta} C(x, y, z) V(x, y, z) dz \quad (11)$$

のように表される。地形変化の計算は渡辺ら⁴⁾の漂砂の連続式を用いて算定した。汀線近傍から遡上端まで

の漂砂量は汀線近傍における全漂砂量を用いて線形的に外挿して算定した。

3. 計算結果

3.1 実験結果との比較 : 実験条件は、初期地形の勾配は $\tan \beta = 1/20$ 、一様水深部の水深は 6 m、入射波は周期 $T=3.1$ s、造波波高 $H_I=1.54$ m、沖波換算波高 $H_0=1.62$ m の規則波で、沖波波形勾配が $H_0/L_0=0.108$ m である。図-1～3は、造波開始 7 時間後、15 時間後および 30 時間後の地形変化の計算結果と実験結果を比較したものである。なお、計算の際には、前の海底地形変化の計算結果を用いて波と流れを計算し、浮遊砂量を求め、地形変化を計算した。図中に示す○印は実験値を表し、文献から読み取ったものである。また、縦軸の 0 は静水位を表している。これらの図より、バーの形成位置とバー高さは 7 時間後、15 時間後および 30 時間後ともに計算結果は実験値とよく一致している。しかしながら、バー地形よりも岸側の地形変化の再現性は劣る。

3.2 現地観測結果との比較 : 現地観測は 1997 年 1 月 30 日から 2 月 3 日まで波崎棧橋下における沿岸砂州周辺において行われている。栗山ら²⁾によると 1 月 31 日から 2 月 1 日にかけて高波浪 ($H_{1/3}=2.43$ m, $T_{1/3}=11.81$ s) のため沿岸砂州が沖側へ移動したことが報告されている。その結果を用いて検討する。なお、現地では、不規則波を考慮する必要があるが、詳細の計算方法は黒岩ら⁵⁾に譲る。図-4はバー地形周辺の地形変化の計算結果を示したものであり、1 月 31 日に実測された結果(細実線)を初期地形とし、2 月 1 日に実測された海底地形を再現したものである。この図から汀線付近における計算値は多少実測値と異なるが、バーの変形が良く再現されている。

4. おわりに

本モデルを用いることにより、バーの周辺の地形変化の計算結果は実験結果および現地観測結果と良く一致した。今後の課題としては、バー地形よりも岸側の地形変化の精度の向上が必要である。また、現地海岸

の波浪、流況および浮遊砂濃度や海底地形変化などの多くの観測データが必要である。そのデータから、Pick up rate などの本モデルの精度向上のために必要なパラメーターの評価法を再検討する必要がある。

参考文献 : 1) 丸山ら (1987) : 海底地形変化予測モデルの現地適用性, 電力中央研究所報告, 2) 栗山ら (1999) : 沿岸砂州周辺の戻り流れ・沿岸流推定モデル, 土木学会論文集, No.635., 3) 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, 鳥取大学博士論文 4) 渡辺ら (1984) : 構造物設置に伴う 3 次元海浜変形の数値予測モデル, 第 31 回海講論文集, 5) 黒岩ら (2000) : バー地形上の波と流れの数値シミュレーションに関する研究, 平成 12 年度 土木学会中国支部研究発表会概要集

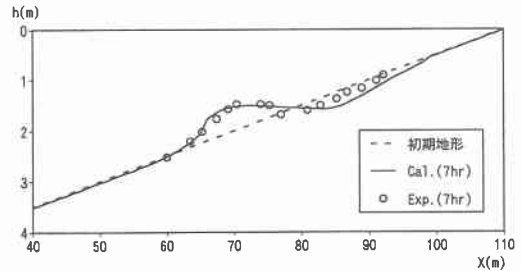


図-1 造波開始 7 時間後の海底地形の比較

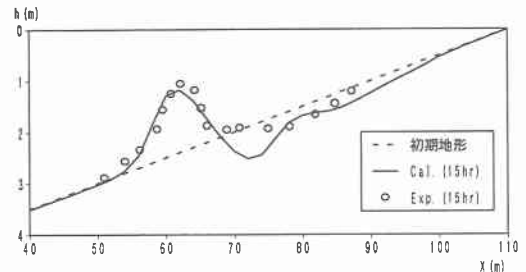


図-2 造波開始 15 時間後の海底地形の比較

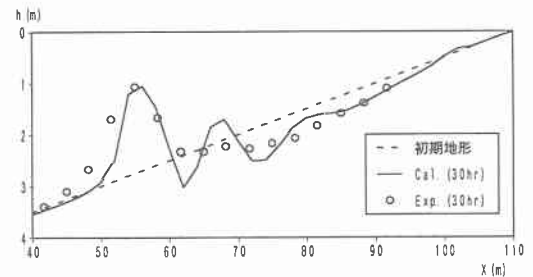


図-3 造波開始 30 時間後の海底地形の比較

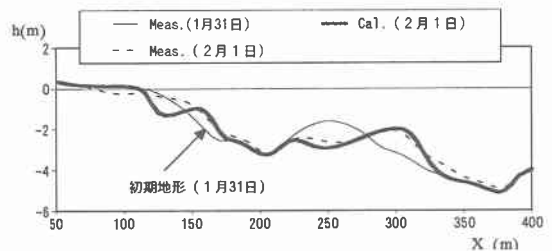


図-4 地形変化の計算結果の比較