

移流拡散方程式を用いた縦断面地形変化予測に関する研究

鳥取大学 工学部 正員 黒岩正光 鳥取大学 工学部 フェロー 野田英明
鳥取大学大学院 学生員 中嶋孝昌 姫路市 ○福本好城

1. はじめに

砕波帯内では、激しい乱流場が形成され、浮遊砂が卓越する。海浜変形を予測する上ではこの浮遊漂砂量を正確に評価する必要がある。従来、経験に基づいた浮遊砂量算定公式が多く提案されているが、底質の巻き上げ、移流および拡散現象を厳密に取り扱われたモデルは少なく、辻本ら¹⁾が移流拡散方程式を用いて浮遊砂濃度を算定し、さらに浮遊砂量を算定し地形変化を計算している程度である。彼らの手法ではバー地形が再現されるものの汀線変化が考慮されていない。浮遊砂の移流拡散現象を考慮したモデルについてはあらゆる条件に対して適用できるモデルは未だ確立されていない。本研究では、新たな移流拡散方程式を用いた縦断面地形変化予測モデルを提案し、モデルの適用性について実測値と比較検討しようとするものである。

2. 数値モデル

波浪場は、渡辺ら²⁾の砕波減衰項を付加した非定常緩勾配方程式を用いて算定する。海浜流場は黒岩ら³⁾による準3次元海浜流モデルを岸沖方向のみにについて解き算定する。全漂砂量は、波と流れによる浮遊砂量と底面定常流速を用いた掃流砂量に分け計算した。なお、波による掃流漂砂量は冲向きの漂砂量が卓越する場合を考慮し、本研究では、浮遊砂と流れによる漂砂量のみとして海浜変形計算を試みた。浮遊漂砂量は移流拡散方程式を用いて以下のように求めた。沖側の任意水深 H_s における底面を原点とし、沖から岸向きに x 軸、鉛直上向きに z 軸をとると、鉛直2次元の移流拡散方程式は

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

と表される。ここに、 C は濃度、 U 、 W はそれぞれ x 、 z 方向の定常流速、 ε_x 、 ε_z はそれぞれ x 、 z 方向への拡散係数、 w_f は砂粒子沈降速度である。式(1)を柴山ら⁴⁾と同様に σ 座標変換を行い、水平および鉛直方向成分の境界条件を容易に取り入れることができ、陰的に解くために、 σ 変換された拡散方程式を水平方向と鉛直方向の微分項の2つに分割して解く fractional step 法を採用し濃度 C を算出した。浮遊砂量 q_s と掃流砂量 q_c は

$$q_s(x) = \int_{-h}^{\eta} CU dz \quad \dots\dots\dots (2) \quad q_c(x) = Q_c U_b \quad \dots\dots\dots (3) \quad Q_c = Ac(u_*^2 - u_{*c}^2)/g \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 U は定常流速、 U_b は底面定常流速、 u_* は波と流れの共存場の底面摩擦速度である。 u_{*c} は底質の移動限界摩擦速度、 Ac は係数を表す。波打ち帯以外の領域における漂砂量と波打ち帯の正味の漂砂量は浅野らによる方法を用いて算定する。

$$q(x) = q_s(x) + q_c(x) \quad \dots\dots\dots (5) \quad q(x) = \left(\frac{x - x_2}{x_1 - x_2} \right)^n q(x_1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

x_1 および x_2 はそれぞれ砕波端岸側位置および遡上端位置であり、 $q(x_1)$ は x_1 における漂砂量である。

3. 数値計算結果 図-1は、砕波帯内における浮遊砂濃度の鉛直分布の計算結果と佐藤らの実験結果と比較したものである。この図から、上層において若干相違が見られるが、計算値は実験値とほぼ一致している。つぎに、1986~1988年に鳥取大学工学部海岸海洋工学実験室に隣接する屋外平面水槽を用いて行われた実験のうち侵食型(ケース7)の結果と比較する。なお、初期海底勾配は1/10で、波浪条件は沖波波高7.02cm、周期1.0secである。底質の中央粒径は0.017cmである。図-2は、浮遊砂および流れによる掃流漂砂の岸

沖分布を示したものである。この図から、碎波帯内における浮遊砂量と掃流砂量のピークの位置が異なり、汀線付近の地形変化には戻り流れによる掃流漂砂が寄与すると考えられる。最後に、式(6)における n が汀線変化に与える影響について検討した。図-3の(a)~(c)は x_1 を270cm、式(4)の Ac を0.001、と一定にし式(6)の n を変化させた場合の300分後の海底地形の計算結果を示したものである。各図はそれぞれ $n=2.0$ 、1.0および0.5としたときの結果で、図中に示す実線は300分後の地形、点線は初期地形を表している。この図から、 $n=0.5$ とした場合、 $x=340(\text{cm})$ 付近で浜崖のような地形が形成されており、浅野らが示した結果と同じ傾向であることがわかる。汀線の後退量は、 $n=2.0$ とした場合が最も大きいが、実験値と比較すると、どの場合も汀線の後退量が過小評価されている。また、計算結果と実験値のバーが形成されている場所はほぼ同じ位置にあるが、それより沖側での土砂の堆積量が実験値に比べて非常に小さい。

以上の結果からバー地形は定性的に再現されているが、汀線の後退量がかなり過小評価されていることがわかった。指数 n の与え方については $n>1$ とすると汀線が後退し、 $n<1$ とすると遡上先端部で浜崖が形成されることがわかった。

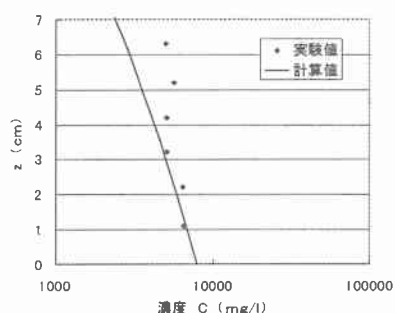


図-1 濃度分布の比較 (佐藤ら, 1990)

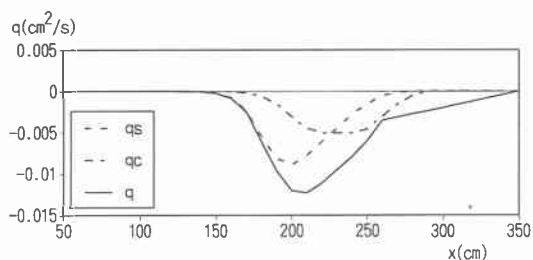


図-2 岸沖方向の漂砂量分布

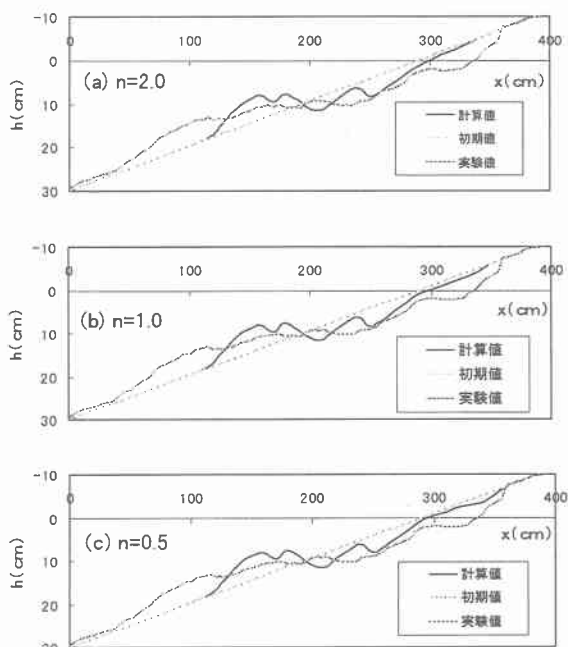


図-3 300分後の実測値と計算値の比較

3. おわりに 移流拡散方程式を用いることにより、碎波帯内における浮遊砂の移流と拡散現象を取り扱うことが可能であり、浮遊砂濃度の計算結果は実験結果とよく一致することがわかった。本研究では、侵食側の地形変化を対象とし、浮遊砂と戻り流れによる掃流砂に分けて算定した。その結果、本モデルを用いることによって永瀬(1987)による実験結果との比較からバー地形が定性的に再現できることがわかった。

参考文献 1)辻本ら, 浮遊砂濃度フラックスによる2次元海浜の地形変化に関する研究, 海岸論文集, 第45巻, 2)西村ら, 直接数値積分による波の場の解析, 第30回海講論文集, 3)渡辺ら, 屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解法, 第31回海講論文集, 4)柴山ら, 乱流下の移流拡散方程式を用いた碎波帯内浮遊砂濃度の予測数値モデル, 海岸論文集, 第42巻, 5)黒岩ら, 準3次元海浜流場の数値シミュレーションに関する研究, 海岸論文集, 第44巻。