

不透過潜堤周辺の二次元海浜変形

愛媛大学工学部 正 員○伊福 誠
愛媛大学大学院 学生員 弓山 泰

1. はじめに

波と流れの共存場を対象とした漂砂量算定式は、渡辺および清水らのものがある。渡辺のモデルは準定常状態を対象としたものであり、漂砂の方向を判定するには既往の経験的な研究結果に頼らざるを得ない。一方、清水らのモデルは渡辺のモデルで不明確であった漂砂の方向が判定できるが、摩擦応力の作用方向と流れの方向との違いが漂砂量に及ぼす影響は含まれていない。

本研究では、前述した結果を踏まえ、まず、波動場を対象とし、波による流れの時間的な変化をも考慮した海浜変形に関する数値モデルの構築に努める。次に、微小振幅波およびStokes波を対象とし、構築した数値モデルを用いて海底構造物周辺の海浜変形について調べようとするものである。

2. 漂砂量式

漂砂量式は渡辺のモデルを基礎とするが、式中の摩擦速度や係数の一部に波の方向性や渡辺らの式が提案された後の実験結果や数値計算結果で得られた知見を取り込んだ新たな漂砂量式を用いて任意の時刻、任意の場所における岸沖・沿岸漂砂量を算出する。

渡辺の式は碎波帯内外を対象としたものであり、波の一周期間における net の漂砂量は

$$q = \frac{B_w w_0}{(1-\lambda) s g \sqrt{s g d}} (u_r^2 - u_{rc}^2) u_r \quad (1)$$

と表せる。ここに、 λ は空隙率、 $s = \rho_s / \rho_f - 1$ (ρ_s , ρ_f は砂および流体の密度)、 d は砂の粒径、 B_w は係数 ($B_w = 7.0$)、 w_0 は砂の沈降速度、 u_r は波と流れの共存場の摩擦速度、 u_{rc} は波と流れの共存場の限界摩擦速度である。

渡辺の漂砂量式は net の漂砂量を対象としたものであり、式中の係数 B_w の値は水槽実験における結果をうまく説明するような値が採用され、また、漂砂量は波の代表的な特性と関連づけられている。しかしながら、漂砂量は局所的な波や底質の条件によって決定されるものである。さらに、漂砂量の時間的な変化もとに地形変化を予測しようとする場合には式(1)の取扱いでは不十分であり、海底摩擦係数や水

粒子速度の時間的な変化も考慮されるべきであると考ええる。こうしたことから、任意の時刻における漂砂量の算出にあたって以下のような取扱いをする。

さらに、式(1)のような表現を用いるときには、摩擦応力の超過分 $\rho_f (u_r^2 - u_{rc}^2)$ に乗すべき量は摩擦速度 u_r ではなく、むしろ波動流速であるべきことが示唆されている (本間/堀川, 1985)。なお、解析対象が平面二次元の場合、砂の移動が生じるときは、岸沖方向の摩擦速度だけでなく沿岸方向の摩擦速度も考慮しなければならない。すなわち、砂の移動様式は岸沖方向と沿岸方向の摩擦速度の合成摩擦速度として取り扱われるべきである。

いま、岸沖方向と沿岸方向の海底摩擦係数が等しいと仮定すると、任意の時刻の合成摩擦速度は

$$V_r(t) = \sqrt{f (u^2(t) + v^2(t))} \quad (2)$$

と表せる。ここに、 $u(t)$, $v(t)$ は任意の時刻の岸沖方向および沿岸方向の速度成分、 f は任意の時刻の海底摩擦係数であり、Manning の抵抗則が成立するものとするれば

$$f = g n^2 / \bar{h}^{1/3} \quad (3)$$

と表せる。ここに、 n は Manning の粗度係数である。

以上の結果より時々刻々変化する岸沖方向と沿岸方向の漂砂量式は次式で与えられる。

$$q_x(t) = Q(t) u(t) \quad (4-1)$$

$$q_y(t) = Q(t) v(t) \quad (4-2)$$

$$Q(t) = A_w (V_r^2 - V_{rc}^2) / g \quad (4-3)$$

$$A_w = \frac{B_w w_0}{(1-\lambda) s \sqrt{s g d}} \sqrt{f} \quad (5)$$

ここに、 V_{rc} は限界合成摩擦速度である。

式(5)中の海底摩擦係数 f の値は、一般に軌道流速振幅や軌道径、粗度などによって変化する、 B_w の値が一定であっても A_w の値は時空間的に変化する。しかしながら、式(1)の碎波帯内への適用性および式(1)中の係数値 B_w の普遍性が十分に考慮されていないことから、碎波帯内外の全域に対して A_w の値は一定と仮定して解析せざるをえないであろうとされている (本間/堀川, 1985)。ここでは、海底摩擦係数を式(3)で評価するので A_w の値は時空間的に変化するようになる。

伊福ら(1988)が既往の実験・観測結果に基づいて

解析した漂砂量に関する結果を再整理した岸向きおよび沖向き漂砂量、 q^* および q^* 、と波の一周期平均の漂砂量 $\bar{q}$ との関係は

$$q^*/w_0 d, q^*/w_0 d \approx 30 \bar{q}/w_0 d \quad (6)$$

である。

伊福らが解析に用いた波はStokes波およびクノイド波であり、微小振幅波と比較すると非対称性が強い。岸向き漂砂量と波の一周期平均の漂砂量との関係について微小振幅波を対象として調べたものは著者の知り得るところ無いようである。そこで、本研究においては式(6)を準用し、式(5)の右辺に30を乗じたものを使用して漂砂量を算出する。

(1) 漂砂の連続式

底勾配の効果を考慮した二次元の漂砂の連続式は次式で表せる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z_B}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x} \left(q_x - \varepsilon |q_x| \frac{\partial Z_B}{\partial x} \right) - \\ & \frac{\partial}{\partial y} \left(q_y - \varepsilon |q_y| \frac{\partial Z_B}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Z_B は任意の高さを基準にした局所的底面高さ、 ε は正の係数である。

(2) 初期条件および境界条件

初期条件は

$$Z_B(x, y, 0) = Z_r \quad (8)$$

とする。 Z_r は基準面から海底までの高さである。

沖側の境界条件としては次式を採用する。

$$\partial q_x / \partial x = 0 \quad (9-1)$$

一方、岸側の境界条件は

$$q_x = 0 \quad (\text{任意の時刻の汀線}) \quad (9-2)$$

とする。

また、側方の境界条件は

$$\partial^2 q_y / \partial y^2 = 0 \quad (9-3)$$

とする。

3. 解析結果

図-1のように傾斜海浜に二基の潜堤を設置した場合の潜堤周辺の海浜変形について調べた。式(4-3)中の限界合成摩擦速度 V_{rc} は、渡辺が細砂の全面移動限界に対して得た限界シールズ数は0.11を準用する。砂の粒径 d は0.2 mm、空隙率は0.5、 ε は1.0とする。また、砂の沈降速度 w_0 はRubeyの式で算出した静止流体中の値を使う。なお、Manningの粗度係数は $0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とした。

波高1 m、周期10 sの微小振幅波とStokes波を対象とした場合の洗掘・堆積量を最大洗掘深さで除して正規化した等変動量線を示したのが図-2であり、

図の左側が微小振幅波右側はStokes波の場合である。なお、二基の潜堤の天端間の開口幅は72 mであり、図中の実線および破線は、それぞれ、堆積領域および侵食領域を示す。微小振幅波において、洗掘量が最大となる位置は潜堤沖側の堤脚部付近である。潜堤沖側堤脚部近傍は洗掘領域が存在し、その沖側において僅かな堆積領域が存在する。一方、潜堤岸側堤脚部の端の領域において、最大洗掘量の絶対値を上回る堆積領域が存在する。また、潜堤の岸側において、僅かな堆積領域が点在する。二基の潜堤間の開口部の地形変化はほとんどない。Stokes波において、洗掘量が最大となる位置は潜堤岸側の堤脚部付近である。潜堤堤脚部の四つの端付近は堆積領域が存在する。しかしながら、いずれの堆積量とも最大洗掘量の絶対値より小さい。また、潜堤岸側堤脚部の両端から汀線に向けて僅かな堆積領域が角状に存在する。なお、微小振幅波の場合にみられた潜堤沖側堤脚部の洗掘領域はほとんど存在しない。二基の潜堤間の開口部の堤脚部近傍に僅かな堆積領域が存在する。

以上のように、対象とする波の違いによって構造物周辺の地形変化に差異が生ずる。従来、海浜変形の問題を調べる際には主として微小振幅波が対象とされてきた。ここで得た結果は、浅海域における地形変化あるいは構造物周辺の洗掘の問題に対して極めて関心あることのように思える。

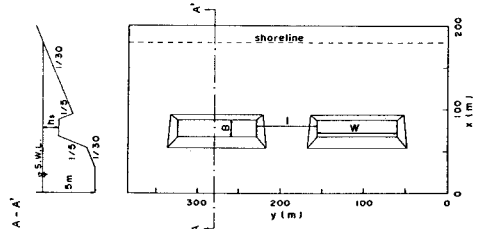


図-1 潜堤を築造した海浜形状

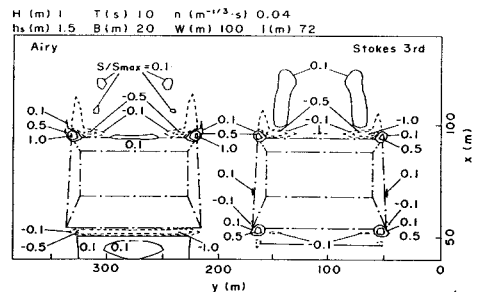


図-2 初期地形からの変動量の平面分布