

名古屋工業大学 正 員 石田 昭
名古屋工業大学 学生員 ○浅田 耕司

1. まえかき 波による漂砂現象に伴って沖浜領域において多段砂州の発生する場合があることが知られている。しかしながら、その発生機構について明確には解明されていない。著者らの一人は、砂州の発生が波形変形に伴う流速波形の前後非対称性によるものと考え、縦漂砂量算定式を提案している¹⁾。本研究は、漂砂量算定式を斜面上で変形する波に適用し、石川海岸に見られる二段砂州の発生機構を検討したものである。

2. 縦漂砂量算定モデル 石田らが提案した漂砂量算定モデルは、リッププルが発達している場所での掃流砂および浮遊砂を任意の底面流速波形の下で数値積分により求めるものである。掃流砂および浮遊砂は、それぞれ次式で表わされる。

$$q_b = K_b \frac{\rho}{T} \sum_{i=1}^n \int_{T_{ai}}^{T_{bi}} U^3 dt = K_b B \quad (1) \quad q_s = K_s \frac{\rho}{T} \sum_{i=1}^n \left[\frac{U^3(T_{bi}) - U^3(T_{ci})}{2} \times \int_{T_{ci}}^{T_{ci}+T_f} \left(\frac{T_{ci}+T_f-t}{T_f} \right) U dt \right] = K_s S \quad (2)$$

ここで、 T_{ai} は底面流速の絶対値 $|U|$ が限界移動流速 U_c を越える時の時刻、 T_{bi} は掃流砂が停止し渦が発生する時刻、 T_{ci} は U と $\partial y/\partial t$ が同符号になり渦が壊れる時刻、 T_f は浮遊状態の砂粒子が沈降するのに要する時間である。また、 ρ は底質の密度、 T は周期、 K_b 、 K_s は係数である。

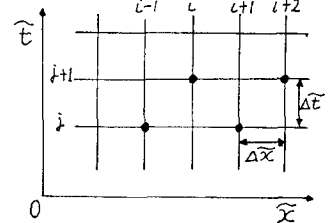
3. 斜面上での波浪変形の計算 ZabuskyとKruskal²⁾による一様水深域での数値解析の手法を斜面上での変形波が得られるように改良し、近似的な底面流速を求めた。長波の波速 C_0 で移動する移動座標で表わし次のような無次元化

$$\tilde{\eta} = \eta/\eta_0, \quad \tilde{t} = 3\pi\eta_0/(hT), \quad \tilde{x} = 2(x - C_0 t)/L \quad (3)$$

を行えば、KDV方程式は次式のようになる。

$$\partial \tilde{\eta} / \partial \tilde{t} + \tilde{\eta} \cdot \partial \tilde{\eta} / \partial \tilde{x} + \partial_0^2 \partial \tilde{\eta} / \partial \tilde{x}^3 = 0 \quad (4)$$

$$\partial_0^2 = 4\pi^2/(99\eta_0 L^2) \quad (5)$$



ここに η_0 は初期波形の最大値、 h は水深、 T は周期、 L は波長である。図-1 格子点の取り方 Zabuskyらは、図-1に示す4点での $\tilde{\eta}$ の値を含むような差分化を行い次式を得た。

$$\tilde{\eta}(i, j+1) = \tilde{\eta}(i+1, j) - \left[\tilde{\eta}(i+2, j+1) - \tilde{\eta}(i-1, j) \right] \left[(\partial_0^2 + F) / (3\partial_0^2 + F) \right] \quad (6)$$

$$F = \Delta \tilde{x}^2 \left[\tilde{\eta}(i+2, j+1) + \tilde{\eta}(i-1, j) \right] \quad (7)$$

ここに、 $\Delta \tilde{x}$ 、 $\Delta \tilde{t}$ は差分の間隔であり、 $\Delta \tilde{t} = \Delta \tilde{x}^3 / (4\partial_0^2)$ の関係がある。(6)式において、 $\tilde{\eta}(i+2, j+1)$ の値が必要であるが、収束計算を早くするために、(4)式を別の方法で差分化を行って得られる次式を用いて設定した。

$$\tilde{\eta}(i+2, j+1) = \left[(3-F')\tilde{\eta}(i+2, j) + 3\tilde{\eta}(i+1, j) - \tilde{\eta}(i, j) + \tilde{\eta}(i-1, j) \right] / [4+F'] \quad (8)$$

$$F' = \Delta \tilde{x}^2 \left[\tilde{\eta}(i+2, j) - \tilde{\eta}(i-1, j) \right] / (6\partial_0^2) \quad (9)$$

一波長を $2M$ 個の等間隔に区切り、空間波形の周期性を仮定して、次式

$$\left| 1 - \tilde{\eta}(2, j+1) / \tilde{\eta}(2M+2, j+1) \right| < \epsilon \quad (10)$$

を満足するまで順次 Left sweep を進めていけば、任意時刻の空間波形を得ることができ、これを時間波形に置き換える。斜面上の計算は近似的な方法として、各時刻 t での計算が一様水深であると考え時間 Step (Δt) が進むごとに水深が浅くなるような手法を取った。得られた水面波形と底面流速波形の関係は微小振幅波理論に基づく次式を仮定した。

$$u = \bar{u} \cosh k(h+z) / \sinh kh \quad (z=-h) \quad (11)$$

$\bar{u}$, k はそれぞれ基本成分波の周波数と波数である。

4. 計算結果と考察 漂砂量の計算において斜面勾配は石川海岸における平均海浜勾配である $1/25$ を代入し、 $R/L = 1/5$ の地点から正弦波を入力し、 $2M=30$ で計算を行った。また底質は $D_{50}=0.029\text{cm}$, $\rho_s=2.42$ の一様な砂と仮定しており、(11), (12) 式の K_b, K_s はそれぞれ 2.653×10^{-4} , 2.012×10^{-2} とした。計算に用いた波の条件は図-2~4中に示す通りである。水深20m地点からの波形の各周波数成分振幅値と漂砂量の計算値を図-2~4に示す。図中 a_1, a_2, a_3 はそれぞれ基本波、2倍波、3倍波の振幅を示したものである。一様水深の場合と同様の傾向を示すが、高周波の振幅がそれほど大きくないのでソリトフあるいは二次波峰現象のような分裂現象とはならず、波形の前傾性と後傾性が繰り返して出現するような変形現象となる。(11)式で算定した底面流速 u を (12) 式に代入して漂砂量を求めたのが図中の Q である。点線で示した部分は波が砕波する領域である。 Q の変動を漂砂の連続式に当てはめて考えると地形変化が推定される。すなわち $\partial Q / \partial x < 0$ の所に砂州ができることになる。図-2の周期10秒の波では約200m間隔で発生し、図-3の周期14秒の場合には300~400m間隔でできることになる。図-5の石川海岸での二段砂州は間隔が400mであり、周期14~15秒、波高5m程度の波によって発生したものではないかと考えられる。図-4は周期18秒の場合であるが、この場合にはかなり長い砂州が一つだけ発生することが推定される。いずれの計算でも平均的には沖向きの漂砂になるので、全体に浜が深くなった上に沿岸砂州が発生することを意味している。

参考文献 1) 石田・林・高橋：第28回海岸工学講演会講演集，pp.188~192

2) Zabuzky, kruskal: Phys. Rev. Lett. Vol. 15, 240~243

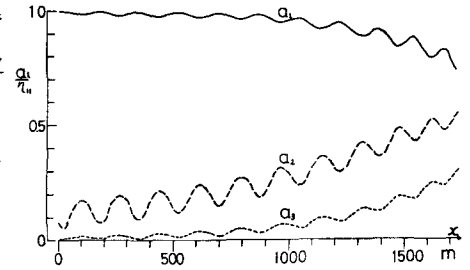


図-2 漂砂量の計算 T=10sec H=5m

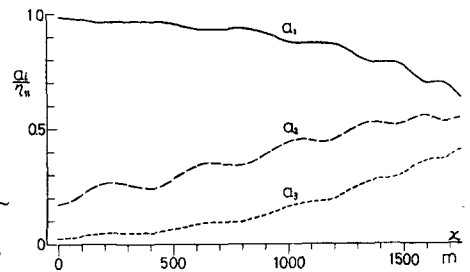


図-3 漂砂量の計算 T=14sec H=5m

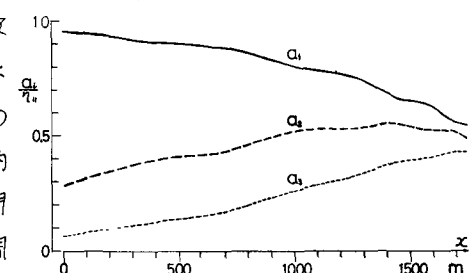


図-4 漂砂量の計算 T=18sec H=5m

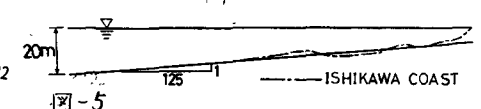


図-5