

名古屋工業大学 学生員 ○浅田 耕司
名古屋工業大学 正会員 石田 昭

1. まえがき 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もあることが、例えば日本海側の石川海岸などで知られている。しかしながら、その発生機構については、明確には解明されていない。石田¹⁾は、砂州の発生が波浪変形に伴う流速波形の前後非対称性によるものと考え、縦漂砂量を算定する数値計算法を提案している。本研究は、この縦漂砂量算定式とKDV方程式に基づく変形波の計算法とを組み合わせたいわゆるフィードバック手法により、波浪変形と海浜変形との相互干渉をも考慮に入れた海浜変形の予測を行なうものである。KDV方程式に基づく数値計算で得られる水位の時間波形と底面流速波形との間には線型の応答関数を適用し、漂砂量と海浜変形との関係は漂砂の連続式を差分化して計算を行った。

2. 縦漂砂量算定モデル 石田¹⁾が提案した縦漂砂量算定モデルは、サンドリップルが発達している場所での掃流砂量および浮遊砂量を任意の底面流速波形の下で数値積分によって求めるものである。掃流砂量 q_b および浮遊砂量 q_s は、それぞれ次式のように表わされる。

$$q_b = K_b \frac{\rho}{T} \sum_{i=1}^n \int_{T_{bi}}^{T_{ci}} U^3 dt \quad (1) \quad q_s = K_s \frac{\rho}{T} \sum_{i=1}^n \left[\left\{ \frac{U'(T_{bi}) - U'(T_{ci})}{2} \right\} \int_{T_{ci}}^{T_{ci}+T_f} \left(\frac{T_{ci}+T_f-t}{T_f} \right) U dt \right] \quad (2)$$

ここで、 T_{bi} 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_{ci} は掃流砂が停止し渦が発生する時刻、 T_{ci} は U と $\partial U/\partial t$ 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 は実験及び観測によって求めねばならない係数である。

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、これにより得られる水面波形から線型応答関数を用いて近似的な底面流速を求めた。長波の波速 C で移動する移動座標を用い、次式のような無次元化

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

を行えば、KDV方程式は次式ようになる。

$$\partial \bar{\eta} / \partial \bar{t} + \bar{\eta} \cdot \partial \bar{\eta} / \partial \bar{x} + \delta_0^3 \partial^3 \bar{\eta} / \partial \bar{x}^3 = 0 \quad (4)$$

$$\delta_0^2 = 4h^3/(9\eta_0 L^2) \quad (5)$$

ここに、 η_0 は初期水面波形の最大値、 h は水深、 T は周期、 L は波長である。水面波形は、(3)、(4)、(5)式をZabuskyらの差分化と同様な方法を用い求めた。Zabuskyらの導びいた数値解析方法は一様水深におけるものであるが、斜面上へ適用するために近似的な方法として、微小区間では水深は一様であるとし、微小区間ごとに水深を変化させるような方法を取った。得られた水面波形の各周波数成分と底面流速波形の各周波数成分との間には、次式の微小振幅波理論が成り立つものとする。

$$U_i = A_i b_i \cosh r_i(h+z) / \sinh r_i h \quad (z = -h) \quad (6)$$

ここで、 U_i 、 A_i はそれぞれ底面流速、水面波形の各周波数 b_i に対する振幅値であり、 r_i は b_i に対する微小振幅波理論に基づく波数である。また、 h は水深である。

4. 海浜変形の計算 漂砂量 q_x と水深 h の間には、砂の空隙率を λ として次式の連続式

$$\partial h / \partial t = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \partial q_x / \partial x \quad (7)$$

の関係があり、これを差分化した

$$h(t+\Delta t) = h(t) + \frac{1}{1-\lambda} (q_x(x+\Delta x) - q_x(x)) \cdot \Delta t / \Delta x \quad (8)$$

により Δt 後の水深を求めた。 Δt は10時間、 Δx は約7m、 λ は0.474を用いた。

5. 計算結果と検討 ここでは石川海岸に冬期来襲する波浪を想定して一例として波高5m, 周期14秒の波浪によって生ずる初期勾配 $1/125$ の海浜の変形予測を行った。 $R/L=1/5$ に相当する地点($R=52\text{m}$)までは正弦波形であるとして、これを初期波形とした。底質の平均粒径は $D_{50}=0.029\text{cm}$, 比重 $\gamma=2.42$ とし、(1), (2)式に含まれる係数 K_b, K_s は、この条件にあてはまる水槽実験によって得られた値 $K_b=2.653 \times 10^{-4}$, $K_s=2.012 \times 10^{-2}$ をそのまま用いたので漂砂の絶対量, すなわち時間スケールは今後検討する必要がある。漂砂量の算定計算は合田による碎波指標図から求められる碎波点($R=8.6\text{m}$, $x=425\text{m}$ 付近)より若干岸側まで求めている。図-1は底面流速(時間)波形を構成する基本波, 2倍波, 3倍波および4倍波の振幅値(U_1, U_2, U_3, U_4)の値を初期勾配斜面上と44t後の変形した斜面上とで示したものである。訂線に近づくほど高周波数成分が大きくなる傾向がわかる。図-2は(1), (2)式を用いて計算した漂砂量の分布を同様に示したもので、全体的に冲向漂砂量であるが、こまかな変化を除けば水深12mの地点を基点に取って $x=150\text{m}$ から 300m の間と 450m より岸側の2ヶ所に $\partial s_x / \partial x < 0$ の領域が現われている。連続式からこのような領域の水深は浅くなって、砂州の発生することが予想される。図-3は44tごとの海浜変形を示したものである。44tまでの計算では、まだ明瞭な砂州の発生はみられないが、上述した区間に砂が堆積される傾向は現われている。図-2をみると、この区間での漂砂量の勾配は44t後の方が急になっているので、砂州はしだいに大きくなるものと思われる。尚、石川海岸にみられる2段砂州は年によって若干の違いはあるが、沖側のものが水深11m程度の所、岸側のものが水深8m程度の所で、その間隔は約400mである。砂州の発生場所に関してはこの解析例に近いと言える。

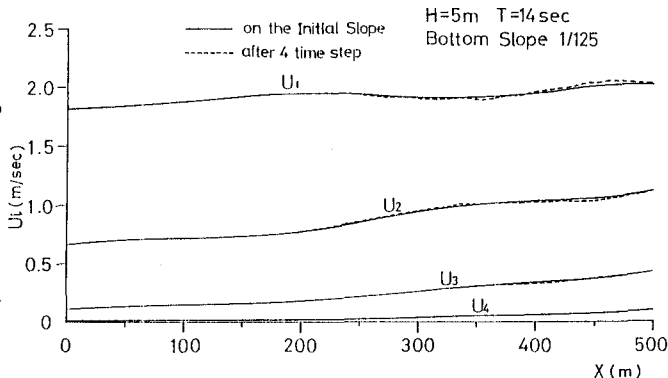


図-1 底面流速を構成する各周波成分の振幅値の場所的变化

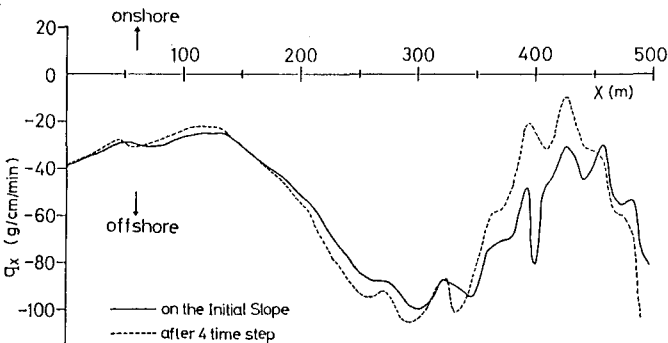


図-2 計算による漂砂量の場所的变化

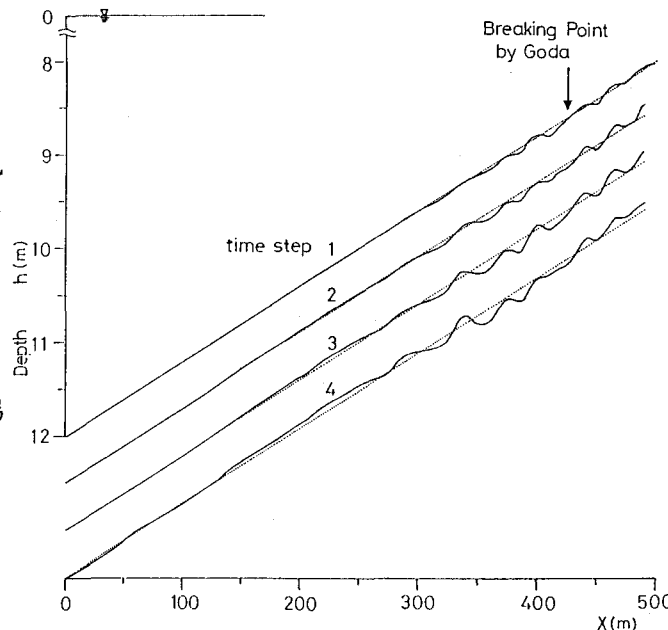


図-3 各時間ステップにおける底面変化の様子

<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, 1981
- 2) Zabusky, Kruskal: Phys. Rev. Lett. Vol. 15, No. 6, pp. 240~243, 1965