

II-405 二次元海浜変形の数値計算

金沢工業大学土木工学科
真柄建設機技術研究所
真柄建設機技術研究所

正員 水村和正
正員 上田信二
木下信弥

概要

2次元の海浜断面の変形を計算するために、まず浅海方程式を解き、流速と水深を計算する。さらに、砂の連続式から水深変化すなわち海浜断面の変形を求める。この計算結果は海浜の特性（堆積又は侵食の位置）をよく説明することができる。

序

沿岸流が強い海岸における海浜変形は季節的変動を繰り返す。波が季節的に変化することによって、2次元の海浜断面がどのように変化するかを計算によってシミュレートする第一段階として、ある一定の波が海浜断面に作用した場合、その海浜はどのように変形するかを調べるものである。

支配方程式

浅海域での波の変形計算は次の浅海方程式を解くことによって求まる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \quad (1) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここで u = 平均流速、 h = 水深、 g = 重力加速度、 t = 時間

x = 図-1で示す座標系、 S_0 = 海底勾配、 S_f = 摩擦勾配

式(1)と(2)を数値的に解くために

Lax and Wendroff の数値スキーム [1]

を適用する。

砂の連続の式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q_B}{\partial x} + \epsilon \frac{\partial}{\partial x} \left\{ |q_B| \frac{\partial h}{\partial x} \right\} \quad (3)$$

砂移動の経験式として次式を用いる。

$$q_s = \frac{B_w w_o \sqrt{f}}{(1 - n_o) s \sqrt{sgd}} \frac{U_*^2 - U_{*c}^2}{g} u \quad (4)$$

ここで、 n_o = 間隙率、 ϵ = 海浜変形の影響を示す定数 (1.0)、 $s = \rho_s / \rho - 1$ 、 ρ = 水の密度

ρ_s = 砂の密度、 d = 砂の平均粒径、 $f = g n^2 / h^{1/3}$ 、 n = マニングの粒度係数、

$B_w = 1.0$ 、 $U_* = \sqrt{f} u$ 、 $U_{*c} = \sqrt{\phi_c (\rho_s - \rho) g d}$ 、 ϕ_c = 限界シールド数 (0.11)

w_o = 砂粒子の水中沈降速度。

q_s の値は U_* が U_{*c} より小さいと 0 となる。 q_s は場所的に平衡状態の土砂移動を示す式であるので、非平衡状態の q_B に対しては次式が与えられている。

$$\Lambda \frac{dq_B}{dx} + q_B = q_s \quad (5)$$

ここで、 Λ = 砂粒子の平均移動距離で、 $100 d$ とした。

入射波が沖から来襲するとき、水深が h_i より大きい海底では砂移動が発生しないが、それより浅い場所では発生する。その値 h_i は次式より求めることができる。

$$\frac{H}{L} = 2.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \sinh \frac{2\pi h_i}{L} \quad (6)$$

ここで、 H = 波高、 L = 波長。

境界および初期条件

波動運動に対する境界条件は沖側と岸側で与えられる。沖側での入射波は与えられる。

$$\zeta = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{T} \quad (7)$$

ここで、 T = 波の周期。

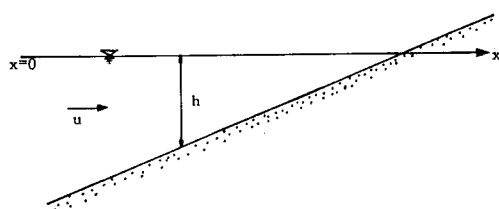


図-1 座標系

沖では岸からの反射波が存在するために、日野の条件式を用いる。すなわち

$$\frac{h'_p - h_M}{\Delta t} + \frac{u_M h_M}{\Delta x'} = 0 \quad (8) \quad h_p = \frac{h'_p - h_o}{2} + \zeta + h_o \quad (9)$$

$\Delta x'$ の値としては $\Delta t \sqrt{g h_o}$ を用いる。このとき沖側での水深 h_p は式(9)で表せる。

ここで、 h_o = 沖側境界での定常水深。

岸側での境界は波の先端速度がそこでの流速に等しいことである[2]。沖側と岸側での砂移動の境界条件は

$$q_s = 0 \quad (10) \quad \text{である。}$$

波動運動の初期条件は流速=0であり、砂移動に関しては、海底勾配が一樣である。

海浜断面の変形パターン

たて漂砂による海浜断面の変形パターンは次の3つに分類できる。（図-2）

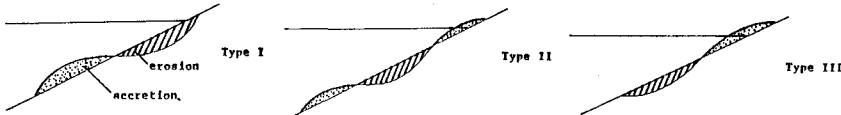


図-2 海浜断面の変形パターン

これらの3つのタイプを分類する経験式は砂村らによると

$$\frac{H/L}{(d/L)^{0.67}/S_o^{0.27}} = C \quad (11) \quad \text{である。}$$

定数Cはこれらのタイプを分類するパラメータとなる。

したがって、本モデルの海浜変形の計算結果が上記の分類に適合するか調べる。

計算結果

式(1)(2)(3)を前述した条件のもとで解くと海浜断面の時間変化が求まる。その結果は図-3に示す。このとき、 $n=0.02$ 、 $S_o=0.1$ 、 $H=0.077\text{m}$ 、 $T=1\text{sec}$ である。式(11)による分類ではI型となり、計算結果と一致する。種々の波高、周期、海底勾配に対する海浜断面の変形パターンを式(11)と比較した結果が図-4である。

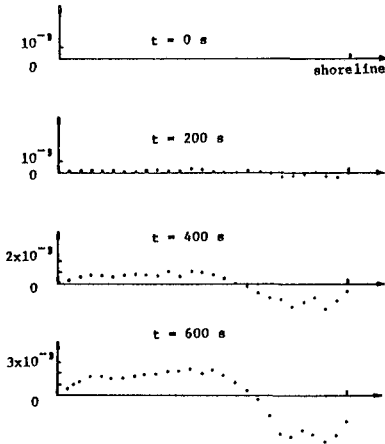


図-3 海浜変形結果（単位：m）

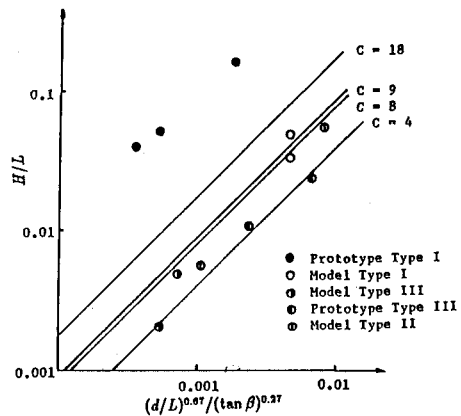


図-4 海浜変形パターンの比較

結論

浅海方程式を解き、波の変形を求める。これを用いて砂の連続の式から2次元の海浜断面の変形を計算した結果は経験式による変形パターンとよく一致した。

参考文献

- [1] Lax, P. and Wendroff, B. Systems of conservation laws. *Comm. Pure Appl. Math.*, 13, 1960, pp.217-237.
- [2] Hibberd, S. and Peregrine, D. H. Surf and run-up on a beach: a uniform bore. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.95, part 2, 1979, pp.323-345.