

波と流れの共存場における波浪変形と地形変化

愛媛大学工学部 正 員 伊 福 誠
 愛媛大学大学院 学生員 金 澤 剛
 東洋ゴム(株) 正 員 〇竹中政実

1. まえがき

近年, 中小河川で発生している河口閉塞が社会問題になっており, 共存場における漂砂現象の解明が緊急課題となっている。河川流と波が共存する場における水理学的特性を把握することは堆砂現象を解明する上で極めて重要なことである。本研究では波が河口に直角入射する場合の波の変形と地形変化について検討する。

2. 基礎方程式

底面に沿って x 軸, 底面に鉛直上向きに z 軸をとると運動方程式と連続の式は次のよう表せる。

$$u_t + u u_x + g \cos \phi \bar{h}_x + g(S_r + \sin \phi + E_b) = 0 \quad (1)$$

$$\bar{h}_t + u \bar{h}_x + \bar{h} u_x + B_x u \bar{h} / B = 0 \quad (2)$$

ここに, u は流速, g は重力の加速度, $S_r = n^2 u |u| / \bar{h}^{4/3}$ (n : Manningの粗度係数), ϕ は水平面と底面とのなす角, E_b は単位長さ当りの砕波によるエネルギー損失量, $\bar{h} = h + \eta$ (h : 静水深, η : 水面変動量), B は水路幅である。

底勾配の効果を考慮した漂砂・流砂の保存式は現象を二次元と考えると次のように表せる。

$$(z_b)_t = - \{ q_x - \epsilon |q| (z_b)_x + B_x q / B \} / (1 - \lambda) \quad (3)$$

ここに, z_b は基本基準面から海底までの高さ, λ は空隙率, q は単位時間, 単位幅当りの漂砂・流砂量である。なお, 式(1), (2), (3)中の添字 x , t は場所, 時間に関する微分を意味する。

3. 数値解析法

解析には特性曲線法を用いる。

初期条件および境界条件

共存場における各断面での波, 流れの初期条件, 境界条件は次のようにとる。

$$\bar{h}(x_j, 0) = \bar{h}_j \quad (j = 1, \dots, N) \quad (4)$$

ここに, $\bar{h}_j$: 岸側の境界から河川流量 Q を流した際, 不等流計算によって求めた各断面の水位, N : 断面の数である。

$$\bar{h}(0, t) = h_0 + \eta_1(t) + \eta_R(t)$$

$$u(x_0, t) = -Q / \bar{h}(x_0, t) \quad (5)$$

ここに, h_0 : 断面 D での平均水深, $\eta_1(t)$, $\eta_R(t)$: 時刻 t における入射波, 反射波の水面変動量である。

一方, (3)式の初期条件は以下のようにとる。

$$z_b(x_j, 0) = (z_b)_j \quad (j = 1, \dots, N) \quad (6)$$

ここに, z_b は任意の基準面から海底までの高さである。

境界条件は次式とおく。

$$\partial q / \partial x = 0 \quad (7)$$

波のみ

河川流が 0 の場合の漂砂量式は著者の一人が非対称波浪を対象として数値解析して得た結果(1989)で評価する。

$$q / w_b d = 3.23 \theta^{0.61} \quad (u > 0)$$

$$q / w_b d = 0 \quad (u = 0) \quad (8)$$

$$q / w_b d = 8.7 \theta^{0.35} \quad (u < 0)$$

ここに, w_b は砂の沈降速度, d は底質の粒径, θ は無次元相対応力であり, 次式で表される。

$$\theta = \rho_f u_{bc}^2 / (\rho_s / \rho_f - 1) g d \quad (9)$$

なお, 底質の移動限界流速 u_{bc} は Komar・Miller(1974)による経験式を用いる。

$$u_{bc}^2 / (\rho_s / \rho_f - 1) g d = 0.21 (u_{bc} T / \pi d)^{1/2} \quad (10)$$

ここに, ρ_s , ρ_f は, それぞれ, 底質および流体の密度, T は波の周期である。

共存場

漂砂・流砂量公式はいくつか提案されているものの, 波と定常流の寄与分を分離した取り扱いである。共存場においては波と流れの干渉によって流れの場はかなり複雑になることが予測されることから, 波と定常流とを分離した取り扱いでは不十分ではないかと考える。

田中・首藤(1982)は波と流れの共存場における漂砂量式として次式を提案している。

$$q / w_b d = \alpha \psi_n^3 \quad (11)$$

ここに, α は係数であり 12.5~40 の値をとる。 ψ_n はシルズ数であり, 次式で与えられる。

$$\psi_n = f \rho_f u_{bn}^2 / (\rho_s - \rho_f) g d \quad (12)$$

ここに, u_{bn} は底面での最大流速, f は海底摩擦係数 $f = g n^2 / \bar{h}^{1/3}$ である。

Manningの粗度係数は一方向流場における中村(1970)および伊福が波動場において得た値より $0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とする。砕波によるエネルギー損失は伊福ら(1989)を援用する。底質の粒径および空隙率はそれぞれ 0.2 mm および 0.5 , 底質および流体の密度はそれぞれ, 2.65 g/cm^3 および 1.025 g/cm^3 とする。また, 式(9)および(12)中の u_{bc} は式(1)と式(2)から得た値を用いて評価する。

4. 河口モデル

傾斜海浜に河川が接続した場合を考える。沖側の境界

からの一様水深部の水平距離が500 m, そこから河口までの水平距離が500 m, 海浜勾配が0.026, 河口から岸側の境界までの水平距離が1000 m, 河床勾配が 10^{-6} である。水路幅は河川部で100 m, 海浜部では河口から沖側の境界での1000 mまで拡幅するものとした。河川部の水深 h , は1 mと2 mの二通り, また河川流量 Q は0, 10, 20, 30, 40, 50および100 m^3/s の7通りとする。

5. 解析結果

図1に河川流と波浪が共存する場合のDally(1987)の実験結果に基づいて解析した波高分布を示す。計算ではManningの粗度係数は $0.008 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とした。計算結果は碎波点が実験結果より30 cm程度沖側であり, 波高は碎波点付近, 河道内ともに11 %程度小さいが両者は比較的良好一致している。

図2に初期波高1.5 m, 周期15 s, 河川流量が50 m^3/s の場合の波高分布を河川流量が0 m^3/s の場合とともに示す。一様水深部では河川流の有無に係わらず, 波高はほぼ1.5 mで大きな変化はないが, 水深が浅くなるにつれ波高は徐々に増大し, 河川流量が50 m^3/s の場合の最大波高は $x=610 \text{ m}$ 付近でほぼ1.91 mで, 0 m^3/s の場合より若干小さい。その後, 河口に近づくにつれ急激に減衰するが, 河川流量が50 m^3/s の場合, 河口における波高はほぼ0.51 mで0 m^3/s の場合の86 %程度である。

図3に河川流量が50 m^3/s の場合と0 m^3/s の場合の20周期目の海浜変形を示す。式(10)中の α の値は河川流量に依存すると思われるが, ここでは25とした。Sは侵食量および堆積量である。傾斜海浜部で堆積, 河道内で侵食がみられる。最大堆積量は0.57 m程度で河口から10 mほど沖側で生じている。また, 最大侵食量は0.51 m程度で河口から35 mほど上流に生じている。堆積量および侵食量が最大となる位置は, 0 m^3/s の場合と比べると25 mほど海側に移動し, 最大侵食量は30 %ほど減少している。また, 河道内では河川流量が0 m^3/s の場合, 堆積領域がみられるが, 50 m^3/s の場合には存在しない。

図4に河床波・砂州の波数スペクトルを示す。 t/T が6においては, 河道内に波が到達していないため河口近傍における地形変化はほとんどなく, エネルギー密度は小さい。 t/T が8においては, スペクトルに鋭いピークが数多くみられるようになり, それらの波数間隔は高波数側に移行するほど密になっている。これは初期地形攪乱が発生しているためと考える。その後時間が経過するに従い, 小さな変動が大きな変動に吸収され, 低波数側のスペクトルに鋭いピークはみられなくなる。地形変化がほぼ平衡状態に達する t/T が20におけるスペクトル形状は, 一方方向流の河床波のそれの“-3乗則”よりも勾配は大きく

-4乗則が成立するようである。

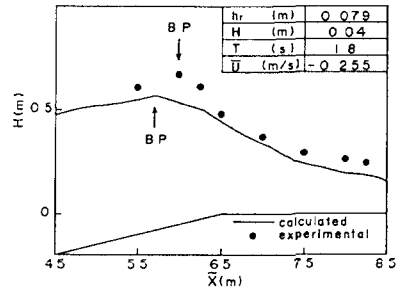


図1 Dallyの実験結果との比較

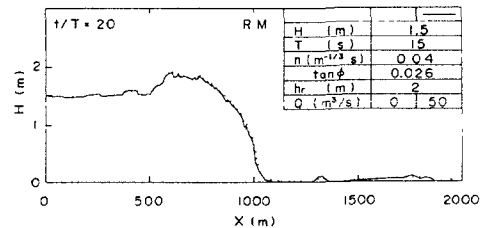


図2 波高分布

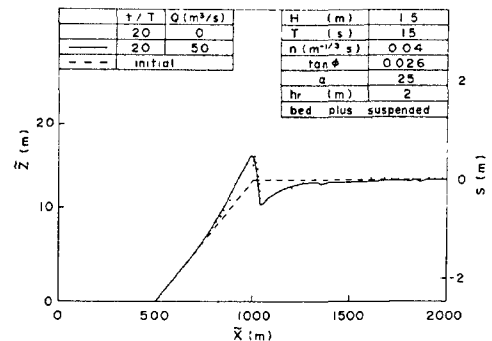


図3 地形変化

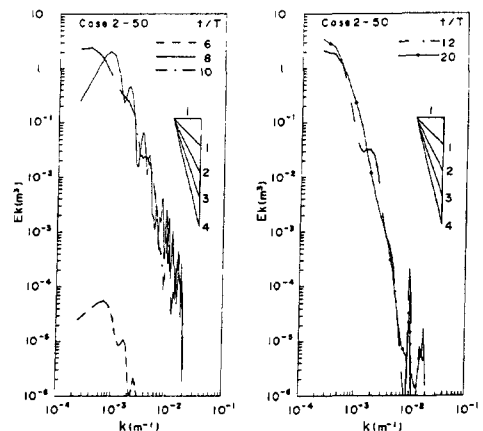


図4 河床波・砂州の波数スペクトル