

直線流路の側岸侵食について

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 村上 正吾

京都大学大学院 学生員 村山 一啓

京都大学大学院 学生員○中村 武洋

1. まえがき 斜面側岸における侵食機構の解明は、拡幅に伴う横断方向の河道変化や蛇行に代表される流路変動といった問題に応用でき、護岸や河道計画といった工学的要請に対処し得るものである。しかし、側岸上での砂粒子の運動の非定常性および斜面側岸における流砂現象の非平衡性を考慮したモデルが必要である。その非平衡流砂量過程を、stochastic modelを用いて記述し、砂粒運動を摩擦過程とみなしstep length を運動軌跡に沿って定義すること、およびpick-up rateを流下方向のみならず潤辺方向の関数としてとらえることにより二次元への拡張を試みた。なお、その理論展開は既に発表しており、ここでは主に実験的な面からの検討を加える。

2. 側岸侵食過程のモデル化 側岸上での流砂の非平衡性は、流下方向(x-方向)および潤辺方向(p-方向)に出現し、横断方向流砂量 q_{BP} の流下方向の非平衡流砂過程については既に論じた。潤辺方向の非平衡性については、流下方向の非平衡性を除去するためx-方向の流砂の緩和距離を十分越えた横断面上での q_{BP} の平衡値のp方向分布について論じた。図-1の破線は個々の砂粒運動の非定常性およびstep length によってもたらされる流砂の非平衡性を無視し、流砂量とその点における掃流力によって定まるものとした時の平衡な解を示している。実線は、その点を考慮して得られたものであり、非定常項は十分に無視できることより、側岸上の流砂の潤辺方向の非平衡性が浮彫りにされているものと考えられ、実験値との対応も良好である。

なお、計算に際しては、斜面上の砂粒のstep length は、平坦河床上のものと比べて短いものは短く長いものはかなり長くなる傾向にあり、平坦河床上での指数分布よりはひずみ、shape parameter r が1以上のGamma 分布であると考えられるが、ここでは指数分布として平均 step length Λ を $400d$ として、斜面の効果を考慮した。

この非平衡流砂量modelを用いて q_{BX} 、 q_{BP} を求め、これを流砂の連続式(1)に代入すれば河床高の時間的变化に関する式が得られる。

$$\partial \xi / \partial t = - \{ 1 / (1 - \rho_0) \} \cdot (\partial q_{BX} / \partial x + \partial q_{BP} / \partial p) \quad (1)$$

次に、流下方向に一樣な場において砂粒の運動に関して非定常性が無視でき、また斜面傾斜角 θ 、底面せん断力 τ_0 、pick-up rate p_s を一定とみなせば、運動速度のx方向成分、p方向成分 u_{gx} 、 v_p 、運動方向角 ϕ は一定と考えられ、運動方程式中の慣性項を0とおいて得られる。この仮定の下で、 (x_0, p_0) から (x_A, p_A) までの運動距離は $s_c = \text{cosec } \phi \cdot (p_A - p_0)$ で表され、step length の分布を $f_s(\xi) =$

Hiroji NAYAGAWA, Shogo MURAKAMI, Kazuyoshi MURAYAMA, Takehiro NAKAMURA

$\exp(-\xi/\Lambda)/\Lambda$ とおけば式(1)は式(2)で表される。

$$\partial \xi / \partial t = - \{ 2 / (1 - \rho_0) \} \cdot A_3 \cdot d \cdot p_s / A_2 \exp \{ - (p_A - p_{min}) / \Lambda \sin \phi \} \quad (2)$$

さて、侵食が進行するに従って、水中安息角を越える個所が出現し、その個所は崩落する。以下そのモデル化を図る。図-2のように、考える断面で斜面領域を離散化しz方向の侵食量を Δt 毎に考えていく。このとき y_j での底面せん断力 $\tau_{0j} = \rho g h_j I \cos \theta$ (h_j は y_j での水深)の θ としては、 y_{j-1} と y_j を結ぶ線分の中点と、 y_j と y_{j+1} を結ぶ線分の中点の両中点を結ぶ直線とy軸とのなす角をもって定める。さて、 Δt 毎に侵食量を計算し斜面下方より斜面角が安息角を越えている個所を探す。図で y_j で安息角を越えたとすると、それより小さい角の正接を傾きとするすべり面を規定し、それより上部すなわち図の縦線部分が崩落すると考える。この崩落砂は、 y_{j-1} 、 y_{j-2} で計算できる Δz_{j-1} 、 Δz_{j-2} より式(3)のようにpick-up rateに換算して表される。

$$p_{sj}' = \Delta z_j \cos \theta_j / A_1 \cdot d \quad (3)$$

この p_{sj}' を、次に Δt 進める間に、侵食量計算式としての式(2)のpick-up rateに加える。このようにすれば崩落砂と掃流砂を統一的に扱うことが可能になる。

(式中 ρ_0 は空隙率、 A_1 、 A_2 、 A_3 は形状係数、 ρ は流体の密度、 I は河床勾配、 g は重力加速度である。)

3、実験 実験は長さ15 mの可変勾配水路の中央部5 mに、粒径0.19 cmの砂で台形断面を有する移動床を設け、同じ砂で粗度付けした同じ断面を有する固定床部を上下流に接続した。但し、移動床の上流3 mの部分は河床のみ移動床とした。実験の初期条件としては、勾配 $I = 1/450$ 、水深 $h = 8.61$ cm、斜面傾斜角 $\theta = 26.57$ 度を与えた。測定断面は移動床開始線より5 cmの断面とし、一定時間通水後ポイントゲージで水面形を計測し、停水後、河床高を測定した。なお、通水中は、河床にMeyer-Peter Müller式を使って予想される流砂量を給砂した。

4、結果及び結論 計算による侵食量が小さかったため、実験値と計算値は食い違っている。今後、更により精確な実験とモデルの検証を行っていきたい。

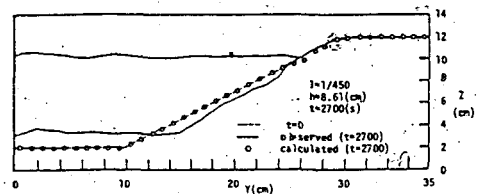
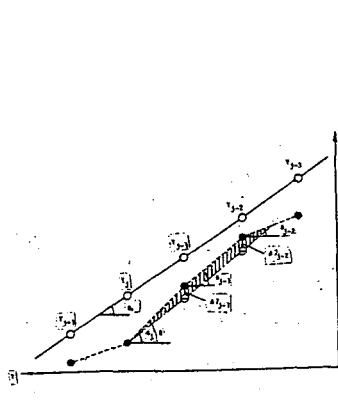
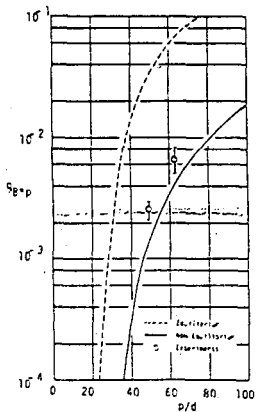


図-1) $q_{B+p} \sim p/d$ 図-2) 崩落モデル

図-3) 侵食過程

参考文献) 中川ら：第29回水理講演会概要集