

側岸侵食と流路変動に関する研究

京都大学防災研究所 正員 芦田和男

京都大学防災研究所 正員 江頭進治

京都大学大学院 学生員 加本 実

1. まえがき 山腹裸地や溪岸などの土砂生産場には、粘土・シルトなどの微細土砂が、かなり含まれており、その粘着性は、生産場の侵食・輸送現象を支配する重要なパラメータであることが知られている。著者¹⁾は、先の研究においてこのような土砂生産場における侵食や流路変動現象を扱うための基礎となる側岸侵食量式を提示した。しかし、その適用も直線流路に限られており、同式の妥当性の検討が不十分であった。そこで、本報においては、侵食量式の検討をさらに深めるとともに蛇行流路における適用性の検討を行う。

2. 直線流路の側岸侵食¹⁾ 砂のみの場合の無次元限界掃流力を τ_{*c} 、粘着力によるその増分を $\Delta\tau_{*c}$ とすると、砂と粘土の混合物河床における砂礫の無次元限界掃流力 τ_{*cc} は、次式で表わせる。

$$\tau_{*cc} = \tau_{*c} + \Delta\tau_{*c} \quad \text{----- (1)}$$

流路横断形状を図-1のように仮定し、非粘着性材料を対象として

考案された砂粒子の運動に関する平野の力学モデル²⁾に対し、上に述べた粘着抵抗力を考慮し、慣用的方法による若干の変形を行うと、粘着力を受ける側岸上の砂粒子に関する無次元限界掃流力 τ_{*sc} が次式のように求まる。

$$\tau_{*sc} = (\tau_{*c} \cos \theta_1 + \Delta\tau_{*c}) \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \theta_1}{\mu_s} \right)^2 \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_1 + \Delta\tau_{*c}/\tau_{*c}} \right)^2} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $\tau_{*sc} = u_{*s}^2 / (\sigma - 1)gd$ 、 θ_1 : 側岸の傾斜角、 u_{*s} : 側岸の摩擦速度である。

つぎに、側岸侵食量式を示す。流路の横断形状に着目すると、側岸近傍では相似形が保持されていることが知られている³⁾。この事実、側岸付近の侵食がほぼ一様に進行することと同義である。そこで図-1の潤辺方向の側岸流砂量を g_p とすると、侵食が一様に進行する条件は、次式のように表示できる。

$$dg_p(p)/dp = E_1 (= \text{const.}) \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 E_1 : 側岸における単位面積当たりの侵食量である。側岸表面における単位面積当たりの露出個数 N 、 E_1 に対応する砂粒子の pick up rate を P_{s1} 、露出率を $\delta_1 (=1)$ とし、さらに、側岸における砂粒子の堆積を微少と考えると、 E_1 は次式のように書ける。

$$E_1(p) = P_{s1} \cdot N \cdot \delta_1(p) \cdot k_3 d^3 \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $N = 1/k_2 d^2$ 、 k_1, k_2 : 形状係数で $k_2 = \pi/4$ 、 $k_3 = \pi/6$ である。中川・辻本の研究成果⁴⁾を適用して、 P_{s1} の表示ができるものとする、 E_1 は次式のように書ける。

$$E_1(p) = k_3/k_2 \cdot d \cdot P_{s1} = k_3/k_2 \cdot F_0 \cdot \sqrt{(\sigma - 1)gd} \cdot \tau_{*s} \cdot (1 - \tau_{*sc}/\tau_{*s})^3 \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 τ_{*s} 、 τ_{*sc} は側岸上の無次元掃流力、及び無次元限界掃流力である。本際より、上部の河岸は側岸の侵食に伴い層状に崩落して、河床領域まで輸送されるものとする、単位河道長当たりの側岸侵食量 g_p は次式のように書ける。

$$g_p = 2 \int_0^{p_0} E_1(p) dp + 2 \int_{-p_0}^0 E_1(p) \cos(\theta_2 - \theta_1) dp \quad \text{----- (6)}$$

Kazuo ASHIDA · Shinji EGASHIRA · Minoru KAMOTO

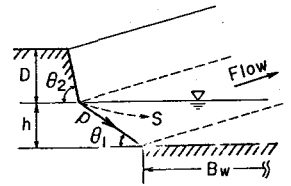


図-1 流路横断形と記号

ここに、 $P_B, -P_0$ はそれぞれ側岸と河床の交点および河岸頂部の座標である。 τ_* には、側岸全域の平均値を用いることにし、河床の無次元掃流力 τ_{*sc} を用いて、 $\tau_{*sc} = \varepsilon \tau_*$ と置き、(6)式を実行すると、

$$g_{px} = g_p / u_* d = F_{0x} \cdot \tau_*^{1/2} \cdot (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_*)^3 \left[\left(\frac{1}{\alpha} \right) \left\{ \frac{1}{2} \sin \theta_1 + \frac{D}{h} \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{1}{2} \sin \theta_2 \right\} \right] \text{----- (7)}$$

$$g'_{px} = g_{px} / [] = F_{0x} \cdot \tau_*^{1/2} \cdot (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_*)^3 \text{----- (8)}$$

ここに、 $F_{0x} = 2(k_3/k_2)\varepsilon^2 F_0$ である。

3. 蛇行流路の側岸侵食 (8)式は左右岸の掃流力が等しい場合の側岸侵食量式である。そこでこれを蛇行流路に拡張するため、左右岸の掃流力を τ_{*L}, τ_{*R} とすると、(8)式は次の二つの式に拡張される。

$$\left\{ \begin{aligned} g'_{pxL} &= F_{0x}/2 \cdot \tau_{*L}^{1/2} \cdot (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_{*L})^3, \text{ (左岸)} \text{----- (9.a)} \\ g'_{pxR} &= F_{0x}/2 \cdot \tau_{*R}^{1/2} \cdot (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_{*R})^3, \text{ (右岸)} \text{----- (9.b)} \end{aligned} \right.$$

上式を適用するには、左右岸の掃流力の推定をいかに行うかが重要である。ここでは、とりあえず、蛇行形状が sine generated curve に従うものとし、流路内の流れを池田・日野・吉川³⁾の方法に従って解析し、これに基づいて、掃流力の推定を行う。さて、流下距離 s 方向の流速 u を、平均流速 u_0 と偏倚流速 u' とに分けたとき、 u' は次のように与えられる。

$$\frac{u'}{u_0} = a \sin \frac{2\pi s}{L} + b \cos \frac{2\pi s}{L} \text{----- (10.a)}$$

$$\left\{ \begin{aligned} a &= \frac{(2\pi h_0/fL)^2 \cdot \frac{u_0^2}{2gh_0} + 1}{(2\pi h_0/fL)^2 + 1} \cdot \frac{n}{h_0} \cdot f \cdot \psi \text{----- (10.b)} \\ b &= \frac{2\pi h_0}{fL} \cdot \frac{u_0^2/2gh_0 - (2\pi h_0/fL)^2}{(2\pi h_0/fL)^2 + 1} \cdot \frac{n}{h_0} \cdot f \cdot \psi \text{----- (10.c)} \end{aligned} \right.$$

ここに、 f :河床と流体の間の摩擦係数、 ψ :最大偏倚角、 n :流心からの距離である。 $\eta_L (= (1 + u_0^2/2gh_0)^{1/2})$ なる係数を用いると、左岸での無次元掃流力 τ_{*L} は、 $\tau_{*L} = \tau_* \cdot \eta_L$ となる。これを(9.a)式に代入すると左岸の側岸侵食量 g'_{pxL} は(11.a)式で与えられる。右岸の側岸侵食量式 g'_{pxR} も同様に(11.b)式で与えられる。

$$\left\{ \begin{aligned} g'_{pxL} &= F_{0x}/2 \cdot (\tau_* \cdot \eta_L)^{1/2} (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_{*L})^3 \text{----- (11.a)} \\ g'_{pxR} &= F_{0x}/2 \cdot (\tau_* \cdot \eta_R)^{1/2} (1 - 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_{*R})^3 \text{----- (11.b)} \end{aligned} \right.$$

(11.a.b)式を一波長にあたって積分し、平均をとると次式のようにになる。

$$\bar{g}'_{px} (= \bar{g}'_{pxL} + \bar{g}'_{pxR}) = \frac{1}{L} \int_0^L g'_{px} ds = F_{0x}/2 \cdot \tau_*^{1/2} \cdot \left\{ (1-\beta)^3 - \frac{3}{2} \alpha^2 (\beta - 6\beta^2 + 5\beta^3) \right\} \text{----- (12)}$$

ここに、 $\alpha^2 = a^2 + b^2$, $\beta = 1/\varepsilon^2 \cdot \tau_{*sc} / \tau_*$ である。

4. 実験値との比較 図-2、図-3は直線流路、蛇行流路における実験値と(8)、および(12)式とを比較したものである。図中の実験データは、 θ_1, θ_2 をそれぞれ $30^\circ, 90^\circ$ として得られたものである。蛇行流路に関する実験値は、一周期の平均値を示している。これらの図の比較からわかるように、両者はかなりよく一致している。

5. あとがき 直線流路および sine generated curve に従う蛇行流路に対する側岸侵食量式の適用性について検討し、同式の一般性がほぼ確かめられた。今後、流路変動と土砂流出現象との関連性について検討を深めていきたい。〈参考文献〉1) 芦田・江頭・加本：水理講演会論文集，1983年，2月。2) 平野：土木学会論文集，210号，1973，pp13-20。3) 藤田：京大防災研年報，20号，B-2，1979，pp537-552。4) 中川・武本：土木学会論文集，244号，1975，pp71-80。5) 池田・日野・吉川：土木学会論文集，255号，1976，pp63-73

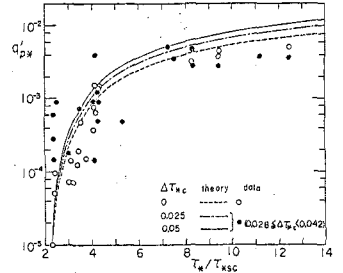


図-2 直線流路の側岸侵食量
(8式: $F_{0x} = 0.02$)

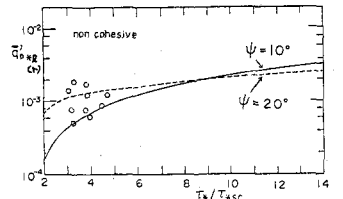


図-3 蛇行流路の側岸侵食量
(12式: $f = 0.02$)