

北大工 正 長谷川 和義

1: まえがき 昨年は、浸食砂の慣性力を考慮にいれて、非平衡流砂量式を導き、せん断力分布を一定とみなして、実験値との比較をおこなったが、砂粒の加速によるせん断力項の係数を、かなり大きく見積らないと実験値に一致しなかった。その後、いろいろの角度から検討を加えた結果、この項が機構的に大きくなりえないことがわかり、流砂量の分布は、せん断力の分布を考慮しないと、説明できないことが明かになった。しかし、この場合にも、非平衡性は無視できず、各場所の流砂量は、せん断力に対してある距離だけずれて平衡するという結論をえた。

2: 非平衡流砂量の基礎式

昨年報告した側壁斜面の浸食量に関する基礎式は、横断方向にせん断力分布をもつ一般の場合についても成り立つ。今、この式の一部を修正し、軸系を図-1のようにとって示すと、次のようになる。

$$\int_p^L \frac{c(p')}{|\tan \tilde{\gamma}(p')|} dp' + G(p) c(p) = F(p) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、
$$F(p) = K_1 m (1 - \frac{1}{\sqrt{m T_*}}) (T_* - 1) u_* d \qquad G(p) = K_1 K_2 (\sqrt{m T_*} - 1) d$$

$$\tan \tilde{\gamma}(p) = - \frac{\tan \theta}{\mu_s} \sqrt{\frac{m}{T_*}} \qquad T_* = \frac{u_*^2}{u_{*c}^2 \cos \theta}$$

$$K_1 = \psi_d \tau_{*c} / \mu_s \qquad K_2 = 6.6 \psi_d (\sigma / \rho + 0.5) \qquad m = \mu_s / \mu_k$$

c: 単位時間単位面積あたりの浸食量 (体積) ψ_d : 砂粒に働く流速に関する流速係数
 $\tilde{\gamma}$: 移動粒子のx軸にたいする方向角 θ : 側壁傾斜角 他は、慣用の記号にしたがっている。

c(p)に関する解は、
$$c(p) = \frac{F(p)}{G(p)} - \frac{1}{G(p)} \int_p^L \frac{F(\xi)}{|\tan \tilde{\gamma}(\xi)| G(\xi)} \exp\{- \int_p^\xi \frac{d\xi'}{|\tan \tilde{\gamma}(\xi')| G(\xi')} \} d\xi \dots\dots (2)$$

一方、p方向の流砂量は、

$$q_{BP} = \int_p^L \frac{c(p')}{|\sin \tilde{\gamma}(p')|} dp' \sin \tilde{\gamma}(p) \approx \int_p^L \frac{c(p')}{|\tan \tilde{\gamma}(p')|} dp' \tan \tilde{\gamma}(p) \dots\dots (3)$$

したがって、(1)、(2)式から

$$q_{BP} = \tan \tilde{\gamma}(p) \int_p^L \frac{F(\xi)}{|\tan \tilde{\gamma}(\xi)| G(\xi)} \exp\{- \int_p^\xi \frac{d\xi'}{|\tan \tilde{\gamma}(\xi')| G(\xi')} \} d\xi \dots\dots (4)$$

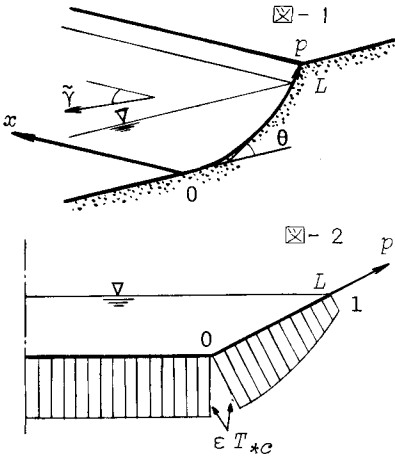
さて、これらの式で、非平衡性をもたらしめているのは、(1)式のG(p)c(p)なる項であり、これが0となるときは、

$$\tilde{q}_{BP}(p) / \tan \tilde{\gamma}(p) = F(p) = K_1 m (1 - 1 / \sqrt{m T_*}) (T_* - 1) u_* d \dots\dots\dots (5)$$

となって、芦田・道上の平衡流砂量の原式に一致し、G(p)の
大小が非平衡性を規定していることがわかる。昨年は、 T_* に
分布を認めず、 q_{BP} の分布がすべて非平衡性のあらわれとみな
したが、そのようにすると、Gのなかの係数 K_2 を、 10^3 程度に
とる必要がでてきて、常識的な数値 $K_2 \approx 177$ より大きくかけは
なれる。したがって、 T_* の分布を一樣とみなすには無理があ
り、 q_{BP} を求めるには、分布形をあたえて(4)式の積分を解
く必要がある。

3: 非平衡流砂量の近似式

(4)式の積分は、 T_* が簡単な分布をする場合でも、容易には
解くことができない。そこで、Gが、比較的にかさいことを考慮
して、次のような近似式を用いる。すなわち、(3)式をpについ
て微分し、(3)式とともに、(1)式に代入整理すると、



$$\{1 + G \frac{|\tan \tilde{\gamma}|}{\tan \tilde{\gamma}} \frac{d \tan \tilde{\gamma}}{dp}\} q_{BP} - G |\tan \tilde{\gamma}| \frac{dq_{BP}}{dp} = \tan \tilde{\gamma} F$$

ここで、 $Gd/dp(\tan \tilde{\gamma}) \approx 0$, $G |\tan \tilde{\gamma}| = \Delta(p)$ (6)

とくと、前式は $q_{BP} - \Delta d/dp(q_{BP}) = \tan \tilde{\gamma} F \equiv \tilde{q}_{BP}$ (7)

Δ が小さいとき、左辺は、近似的に $q_{BP}(p - \Delta)$ に等しいと

みなせるから、(7)式は、 $q_{BP}(p - \Delta) = \tilde{q}_{BP}(p)$ (8)

あるいは、 $p - \Delta$ をあらたに p として、 $q_{BP}(p) = \tilde{q}_{BP}(p + \Delta)$.. (9)

この式は、 p 点における非平衡流砂量が、それより Δ だけ上の平衡流砂量に等しいことを示している。流砂の運動方向と軸の方向が一致する場合には、(1)式の積分範囲のとり方が逆になるので、

$$q_{BP}(p) = \tilde{q}_{BP}(p - \Delta) \dots\dots\dots (9)'$$

さて、 Δ を $|\tan \tilde{\gamma}|$ で割ると、流砂の運動方向のずれの距離 δ がえられ、 $\psi_d = 8.5$ 、 $\sigma / \rho = 2.65$ 、 $\tau_{*c} = 0.05$ 、 $\cos \theta = 1$ とおくと、河床で成り立つ次式をうる。

$$\delta \approx 75 \left(\sqrt{\frac{\mu_s}{\mu_k}} \frac{u_*}{u_{*c}} - 1 \right) d \dots\dots\dots (10)$$

4：計算例

Ippenらによる台形水路のせん断力測定実験によると、側壁上のせん断力分布は、潤辺に対する2次ないし3次の曲線のようなものである。そこで、図-2のような台形水路を想定し、側壁上の T_* が $T_* = \varepsilon T_{*0} \{1 - \alpha(\frac{p}{L})^3\}$ (11) にてあらわされるものと考え、 q_{BP} に対する厳密解 (4)式、近似解 (9)式、平衡解 (5)式を計算し比較する。ただし、 ε は平均せん断力に対する河床せん断力の割増係数、 T_{*0} は T_* の断面平均、 α は $p=L$ (水際) における T_* の値によって決まる定数。今の場合、 $T_*(L) = 1$ と考え、 $\alpha = 1 - 1/(\varepsilon T_{*0})$ としている。なお、(4)式は数値積分をおこなった。

図-3は、 $L = 100d$ の場合について $q_{BP}(0) / u_{*0} d$ の比較をおこなったものである。また、図-4 (a)、(b)は $q_{BP}(p) / q_{BP}(0)$ の比較を示す。 T_{*0} が大きくなると差がでてくるが、近似解の近似の度合はよいようであり、また、非平衡性が無視できないことがわかる。

5：実験値との比較

図-5は、実測による側壁浸食速度と、(9)、(11)式による浸食速度の差を、単位時間あたりの河岸崩落量で除し、崩落砂の分布密度 ϕ を求めたものを示す。ただし、 s は河岸崩壊端を原点に、 p と逆向に測った距離。実験は、 $T_{*0} = 2.1 \sim 12.4$ の範囲の9種類についておこなわれたが、 ϕL は、掃流力に関係なく、ガンマ分布に近い形でまとまっており、また、村本・藤田による崩落砂のサンプリング実験の結果とも、ほぼ一致している。これらによって、(9)、(11)式が妥当なものとする。参考文献：1)長谷川・長田、直線状流路の側壁浸食機構に関する研究、土木学会第32回年講2-224、昭52・10

2) 村本・藤田、河岸の浸食機構について、同上第28回年講2-135、昭48・10

