

II-67

河川工事と河川の平坦化について

東京大学工学部土木工学科 正員 玉井信行

豊橋技術科学大学建設工学系 正員 中村俊六

1. まえがき

河川の上流部において、河川に人間の手が入る場合を考えてみよう。大規模な工事が行われる例は、2つ挙げられると思われる。その1は、道路建設に伴い、路肩の保護のために護岸その他の工事が行われる場合である。生活様式の近代化、モータリゼーションの進展などにより、生活道路の建設は山村、河川の上流域にまで及んでいる。第2の例は、災害復旧工事である。その地に於て史上でも有数の規模の洪水が生じ、大災害となった後の復旧である。原型復旧が原則とは言え、体験した洪水に耐える河道は必然的に大きなものとなり、大規模な工事が3年の間に行われることになる。

こうした河川工事は生活基盤の整備、あるいは防災と言う社会基盤整備の基本事項であり、必要不可欠なものである。しかし、河川あるいは内水面はアユ・ウナギ・ヤマメなどの有用魚種の生産の場であり、レクリエーションの場としても重要な役割を担っている。河川の大規模な形状変更により、瀬と淵が無くなる、産卵場として適していた砂礫の粒径が変化する、岸辺のコンクリート化により魚の隠れ場所が無くなるという指摘が漁業関係者から上がっている。魚の生態の特徴を定量的に把握、それを工事の際に反映させ、漁場価値の低下を防ぐばかりでなく、より積極的に価値を高める方策を模索する試みも始められている¹⁾。

ここでは、河川工事の結果生ずると言われている河川の平坦化が、水理量とどのような関係にあるかを砂礫洲の変形を通して考察する。砂礫洲を対象としたのは、これを通して河道計画へ反映させることが出来る可能性が最も高いと判断したためである。

2. 砂礫洲の長さと高さ

砂礫洲は下流側に張り出した前縁が水路を横断して側岸まで伸び、この前縁が側岸と交差した点でその形状が反転して上下流に伸びてゆく。こうした砂洲は砂礫堆とか交互砂洲ともよばれてきたが、ここでは木下²⁾に倣い、砂礫洲とよぶ。砂礫洲の長さ L と水面幅 B との関係は次式で表せる。

$$\begin{cases} L/B=5, & E_s \leq 1 \text{の領域} \\ L/B=5E_s^{-1/3}, & E_s > 1 \text{の領域} \end{cases} \quad (1)$$

ここに、

$$E_s = (h/B) (h/sd) (u_*'/u_{*c}) = (h^2 R^{1/2}/B) (1/sd) (\sqrt{gI}/u_{*c}) \quad (2)$$

で、 $s = (\rho_s/\rho - 1)$ は河床材料の水中比重、 ρ_s は河床材料の密度、 ρ は水の密度、 d は河床材料の代表粒径、 u_{*c} は河床材料の限界摩擦速度、 u_*' は摩擦速度、 h は水深、 R は径深、 g は重力加速度、 I はエネルギー勾配である。砂礫洲の高さ H と水深 h との関係は次式で示される。

$$\begin{cases} H/h=2, & E_s \leq 1 \text{の領域} \\ H/h=2E_s^{-2/3}, & E_s > 1 \text{の領域} \end{cases} \quad (3)$$

式(1)、(3)は観測された値の平均値であり、ばらつきの幅は $\pm 50\%$ 程度ある³⁾。

3. 拡幅と細粒化の影響の評価

本論文では河川工事に伴って生ずると言われている細粒化と、人工的な拡幅を考える。ここでは理想的な簡略化した状態を対象とし、基本的な特性と定量的な結果を、理論的に得ることの出来る取扱を目指した。細粒化は工事を行うに当り巨石を取り除くような施工を想定し、拡幅は河積を十分にとるために行われる場合を想定する。

u_{*c} と粒径との関係は玉石のような大きな粒子については不明であるが、岩垣式の上限を拡張して準用し、 u_{*c} は $d^{1/2}$ に比例すると考える。水理量が変化した後の量に添字 e を付す。式(2)より

$$E_e/E_* = (B_e/B)^{-1} (h_e/h)^{5/2} (d_e/d)^{-3/2} \quad (4)$$

となる。ここで、水路幅は十分に広いと考えて $R=h$ としている。また、 s は変化せず、 l は等流状態を想定すれば底勾配に等しく、改修後も底勾配は殆ど変化しないと仮定する。

水面幅の変化に依る水深への影響は、流量を一定として考えるのが妥当である。長方形及び放物線形の断面では、断面積 A は Bh に比例する。粒径が変化すると粗度係数も変化する。この関係を見積るにはStrickler式 $n=0.0417d^{1/6}$ を用いる。したがって、 $Bh^{5/3}d^{-1/6}=\text{const.}$ が制約条件となる。すなわち、次式を得る。

$$h_e/h = (B_e/B)^{-3/5} (d_e/d)^{1/10} \quad (5)$$

水理量の変化は流量と河道状況の両者に影響されるが、ここでは改修に依り流量は変化しないと考える。式(5)を式(4)に代入すると次式を得る。

$$E_e/E_* = (B_e/B)^{-3/5} (d_e/d)^{-5/4} \quad (6)$$

砂礫洲の長さおとび高さ E_e との関係は $E_e=1$ を境に異なるので、領域を分けて議論を進めることとする。

(a) $E_e \leq 1$, $E_* \leq 1$ の場合

ここでは新旧の両方の状態が共に E_e としては1より小さい場合を扱う。これは h/B がかなり小さくなる、大きな川の場合に相当する。水理量の変化により新旧の状態が2つの領域を跨いで変化することもあり得るが、各領域での特性を見ることが主眼であるので、錯綜した状態はここでは除く。

この領域では L/B と H/h は E_e に依らず一定である。したがって、

$$L_e/L = B_e/B, \quad H_e/H = (B_e/B)^{-3/5} (d_e/d)^{1/10} \quad (7)$$

拡幅をすれば洲は長くなり、その高さは粒径が大きくなり限り減ずる。拡幅と細粒化が起こる例がおおく見られ、この場合には洲の高さの減少は相乗的となり、長大化と併せて、河床の平坦化につながる。

(b) $E_e > 1$, $E_* > 1$ の場合

この場合も、ここでは流量は一定と考え、それ以外の要因による効果を見積ることとする。式(1), (6)より次の関係を得る。

$$L_e/L = (B_e/B) (E_e/E_*)^{-1/3} = (B_e/B)^{11/6} (d_e/d)^{5/12} \quad (8)$$

砂礫洲の長さが増大する条件 $L_e/L > 1$ は次式となる。

$$d_e/d > (B_e/B)^{-4/4} \quad (9)$$

もし $B_e/B=2$ であれば、 $d_e/d > 1/21$ であり、数分の1程度の粒径になる場合には、砂礫洲はより長くなる。

次に、砂礫洲の高さについては式(3), (6)より次式を得る。

$$H_e/H = (h_e/h) (E_e/E_*)^{-2/3} = (B_e/B)^{16/15} (d_e/d)^{14/15} \quad (10)$$

砂礫洲の高さが減少する方向に向かう条件 $H_e/H < 1$ を求めると次式となる。

$$d_e/d < (B_e/B)^{-3/7} \quad (11)$$

例えば、 $B_e/B=2$ とすれば $d_e/d < 0.45$ となる。したがって、2倍に拡幅しても、粒径が $1/2$ 以下にならないければ、砂礫洲の高さは減少しないことになる。

4. まとめ

拡幅と細粒化が生じたときに、砂礫洲の長さとおとび高さ E_e がどの様に変化するかの予測式を得た。それに基づき、河床の平坦化が生ずる可能性が高い例を指摘した。

参考文献

- 1) 全国内水面漁業協同組合連合会：内水面漁場環境・利用実態調査報告書一魚のすみよい川への設計指針（案）、265p., 1987.
- 2) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題、土木学会論文集、第345号、II-1, pp. 1-19, 1984.
- 3) 玉井信行：水理学2、培風館、pp. 68-69, 1989.