

浮遊砂の少ない河川の抵抗法則について

徳島大学工学部 正員 〇杉尾 捨三郎
 全 全 岡部 健士
 三井建設(株) 田辺 善弘

1. 概 要

本研究は浮遊砂が比較的小さい河川に対する抵抗法則を論じたもので、河床形態の変化をも考慮に入れた、新しい沖積河川の抵抗法則の開発を企図したもので、わが国の17河川の実測資料をもとに検討している。

2. 過去の研究

沖積河川の抵抗法則の研究は、シエジー、マニングなどの古典的研究に始まり、現在なお繰返し種々の方法が提案されているが、沖積河川に対しよく適応するものは稀である。これは河床材料の粒度と配合、河川の寸法、形状、河床波の規模、植生、河岸状態、水理特性などが区々であるため、研究を一層困難にしている。図-1

は17河川に対する野外資料から、平均流速 V と $R^{2/3}S^{1/2}$ との関係を描いているが、粗度係数 n は $0.01 \sim 0.05$ の間に広く分布しており、各河川ごとにみても描点の分散はきわめて大きい。

実用的な目的からいえば、その河川、その地点ごとに適切な n の値を選ばば足りるのであるが、何故その値をとるべきかの根拠を問はれれば、常に困惑したのであった。

過去にもアインシュタイン、椿・古屋その他の諸研究があるが、汎用性のあるものは少ない。杉尾のレジム型平均流速公式は、河床形態ごとに4種の同型の公式を提案しているが、描点の適合度の点からいえばマニング式より余程良好と思われるが、定数 K の物理的意義が明確でないという難点がある。

岸・黒木は、各種室内実験の結果を解析し、図-2 に示すように流速係数 φ を、掃流かみ数 τ_* と R/d とを用いて表現する方法を提案し、表-2 のように6種に分類した。このうちの砂堆河床Ⅰ に対しては(1)式を与えている。

$$\text{砂堆河床Ⅰ} : \varphi = 2.4 \left(\frac{R}{d} \right)^{1/6} \cdot \tau_*^{-1/3} \quad \text{---(1)}$$

$$\text{砂堆河床Ⅱ} : \varphi = 8.9 \quad \text{---(2)}$$

$$\text{平坦河床} : \varphi = 6.9 \left(\frac{K_0}{K} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{R}{d} \right)^{1/6} \quad \text{---(3)}$$

ここに $\varphi = V/u_*$, $u_* = \sqrt{gRS}$ = 摩擦速度, R = 径深, S = エネルギー勾配, d = 河床の砂の平均粒径である。

また掃流かみ数 $\tau_* = u_*^2 / \{ (6/\rho - 1)gd \}$ とする。

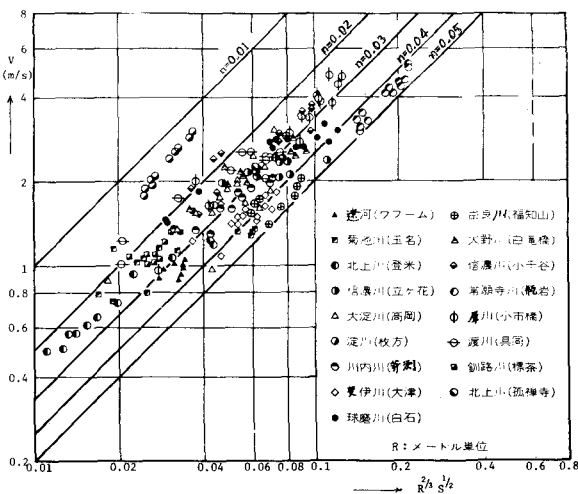


図-1. V と $R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ との関係 (17河川)

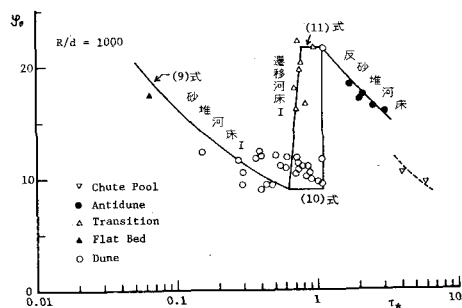


図-2. φ と τ_* との関係 (岸・黒木)

さて(1)式を変形すれば $\varphi = 2.4[\tau_* \cdot (R/d)^{-1/2}]^{-1/3}$ となるので、 φ と $\tau_* \cdot (R/d)^{-1/2}$ とを両対数紙の両軸にとり、17河川の資料を点描すれば図-3が得られる。図-3上では(1)式は水平と $-1/3$ の勾配をもつ直線となる。これによれば、大部分の描点は(1)式の示す砂堆河床Ⅰの直線の周囲に集中する傾向があり、実験水路だけでなく、自然河川に対してもほぼ満足することがわかる。(2)式周囲の描点は砂堆河床Ⅱに対応するもので、淀川(校方)の描点は(3)式の平坦河床にちかい。前者の見解によれば、校方の描点では $\varphi \approx 25$ であって勾配ゆるく河床砂は微細であり、砂れんに相当すると判定されるのであるが、この点は両氏と若干意見が異なるのである。

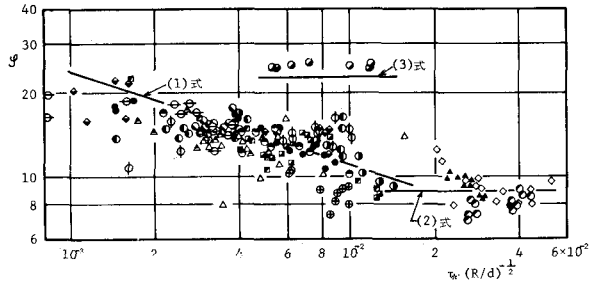


図-3. φ と $\tau_* \cdot (R/d)^{-1/2}$ との関係図(岸黒本公式)

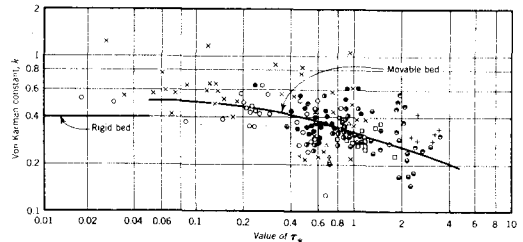
3. 流速係数比 φ/φ_0 を用いた解析

本文では、固定床とみなしたときの仮定上の流速係数 φ_0 を次式により算定し、 φ/φ_0 と u_*'/w_f との関係を検討することにした(図-5)。

$$\varphi_0 = 8.5 - \frac{1}{K} + \frac{2.3}{K} \log_{10} \frac{R}{d_{35}} \quad \dots (4)$$

ここに K はカルマン常数で、清水の場合には $K = 0.40$ であるが、浮遊砂が多いときは K はそれより減少する。ここでは Paintal & Garde の図(図-4)を利用することとし、 $\tau_* < 0.50$ の範囲では $K = 0.40$ とみなすことにした。また w_f は河床砂の 35% 粒径に対応する沈降速度で、Rubey 公式により算定した。なお図-4 における τ_* の計算に当っては、 $d = d_{65}$ とした。図-5 の描点の散在はいちじるしいが、およそ次式で面無次元量の関係を示す。

図-4. カルマン常数 K と τ_* との関係



$$\frac{u_*'}{w_f} < 0.27; \quad \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx 1.0 \quad \dots (5)$$

$$0.27 < \frac{u_*'}{w_f} < 2.0;$$

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = 0.458 \left(\frac{u_*'}{w_f} \right)^{-0.60} \quad \dots (6)$$

即ち u_*'/w_f が小さく、0.27 付近より小ならば平坦河床で、固定床に近い河床抵抗を示すが、 u_* の増加と共に φ/φ_0 は徐々に減少し、砂堆(Dunes)から砂連(Ripples)にまで変化する。砂れんでは φ/φ_0 は 0.30 付近に低下するが、これは

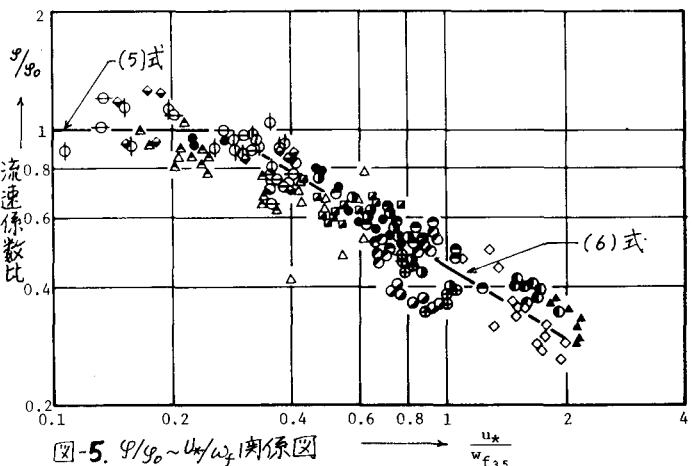


図-5. $\varphi/\varphi_0 \sim u_*'/w_f$ 関係図

砂れんは河床抵抗が最大のもので、平坦な固定床とみなした時の平均流速の 30% にまで V が低下することを意味する。即ち図-5 は、単に一種の抵抗法則を示すだけでなく、河床波の形状も考慮に入れたという点で意義がある。なお図上で、 $u_*'/w_f > 2.0$ の領域については将来さらに検討すべきであると考えらる。