

沖積河床の粗度と抵抗

徳島大学工学部 正員 〇杉尾 捨三郎

全 上 全 岡部 健 士

概 要： 本文は沖積河床をもつ流れの抵抗法則を検討したもので、ロールセンやラウスが用いた無次元量の U_* / ω_f が河床波の消長に対しても、従って河床抵抗に対しても極めて重要な役割を演じるであろうと予想し、この量を用いた新たな抵抗法則の誘導を試みたものである。

1 河川の抵抗法則に関する従来の諸研究

河川の抵抗法則の研究は、遠くシェージー、マンニングの時代から盛んに行なわれ、アインシュタインの方法、樫古屋の方法などは代表的といえる。戦後に活濬化した沖積水路の抵抗、流砂量、河床形態の研究においては、掃流に関する無次元量 $\tau_* = U_*^2 / sgd$ が常に最も重要な規定要素の一つと考えられ、樫らの抵抗法則では相当粗度 k_s を次式から定めようとした。ここに U_* = 摩礫速度、 s = 砂の水中比重、 d = 砂粒径である。

$$\log_{10} \frac{k_s}{d} = 3.48 \left[1 - 0.225 \tau_*^{-\frac{1}{2}} \right] \quad \text{..... (1)}$$

また土木研究所が W. E. S., 土研資料を整理して次式を提案したが、描点の散らばりは意外に大きい。

$$\frac{k_s}{d} = 10^3 \cdot \tau_*^2 \quad \text{..... (2)}$$

その外、流速係数 $\varphi = V / U_*$ と τ_* の関係、摩礫係数 f と τ_* の関係、あるいはアインシュタイン流に φ または f を各部分に分割して τ_* との関係を求める試みも多く提案されたが、成功したとは云えない。また k_s/d をフルード数 Fr の関数として表現する試みもあるが、次元解析上の難点が認められる。指数型の平均流速式は実用上から便利であるが、定数 K と河床粒径 d との関係が明らかでない。さて樫らは実験結果を参照し、河床波上の有効掃流力 τ_e をヤーリンの方法とは異なる次式から算定するのが合理的であると述べ、諸外国の河川資料をもとに図-1の実線で示すカーブを提案した。

ここに φ_0 は固定床とみなしたときの流速係数の値である。

図-1は φ と τ_e の関係を示す。しかしその後土木研究所が、

$$\frac{\tau_e}{\tau_*} = \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad \text{..... (3)}$$

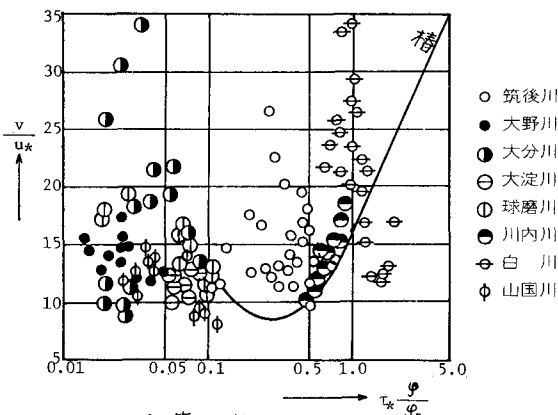


図-1 篠原・樫の曲線

九州諸河川の資料を同図に点描してみた結果、樫らの曲線は日本の諸河川に対しては余り良好な適合を示すとは云えないことが明らかにされている。

2. U_* / ω_f と河床波高 Δ

さて本文で提案する無次元量 U_* / ω_f について説明しておく。ここに U_* = 流れの見掛けの摩礫速度、 ω_f は砂粒の沈降速度である。ロールセンによれば、流れによる流砂量は U_* / ω_f と密接な関係を持ち、 ω_f が鉛直

方向の乱れの強度、 $\sqrt{v'^2}$ と同程度、すなわち $u_* / \omega_f = 1.0$ に近いとき砂粒が上方に拡散する傾向があると考えられる。従って砂粒の浮遊限界は、大畧

$$\frac{u_*}{\omega_f} = 1.0 \quad \text{----- (4)}$$

で示され、それより u_* が小さければ掃流砂が多く、それより u_* が大になれば浮遊による流砂量の割合が急増すると述べた。以上の理論から明かなように、この現象は当然、河床波の形状や規模に対しても重大な影響を与えると予想されるので、著者は矩形の実験水路で行なわれた河床波の実験結果から、河床の凹凸高さ Δ と u_* / ω_f との関係を調べて図-2を得た。縦軸は Δ を d_{50} で割って無次元表示している。

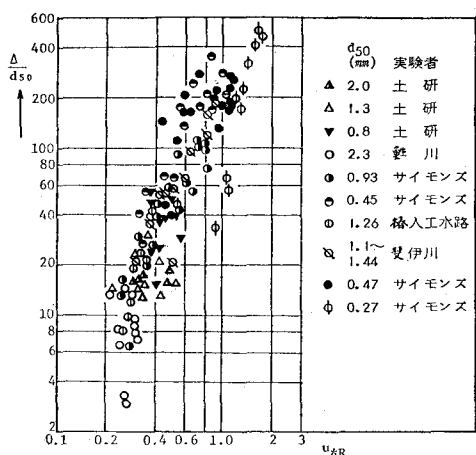
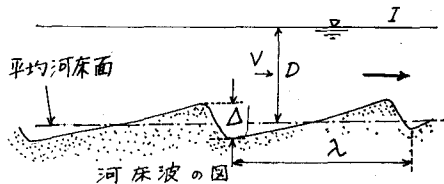


図-2 $\frac{\Delta}{d_{50}}$ と $\frac{u_*}{\omega_f}$ との関係 (実験水路)



これによれば、 $u_* / \omega_f < 0.2 \sim 0.3$ では河床波は生ぜず平坦であるが、 u_* が増すと Δ は急速に生長する。さらに $u_* / \omega_f = 1.5 \sim 2.0$ 付近で Δ は最大になり、 d_{50} の 500 倍にも達する。そしてそれ以上 u_* が増すと実験がきわめて困難になる。

3. 抵抗法則の検討

上述の検討により、河床波高 Δ が u_* / ω_f と深く関係

することが明白で、従って河床抵抗は当然 u_* / ω_f と密接に関係することが予想できる。さて河床波が発生すると見掛けの u_* は急増して φ が減少するが、固定床とみなしたときの φ を φ_0 とし、いま φ / φ_0 と u_* / ω_f との関係を、若干の実在河川を例にとって奥描したのが図-3である。ここに、

$$\varphi = \frac{V}{u_*} = \frac{V}{\sqrt{gRI}} \quad \text{----- (5)}$$

$$\varphi_0 = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{d} \quad \text{----- (6)}$$

d としては、実在河川の河床砂の粒度分布が幅広く変動することを考え、仮りに d_{35} を用いた。また ω_f の計算にはルベイ式を使用した。図によれば、 $u_* / \omega_f < 0.25$ では $\varphi / \varphi_0 \approx 1.0$ とみなされ、固定床抵抗を示す。 u_* / ω_f の増大と共に φ / φ_0 は急速に減少し、 $u_* / \omega_f = 1.0 \sim 2.0$ 付近で 0.35 あたりまで減じ、最大の河床抵抗を示す。これは砂れん(リフォル河床)に相

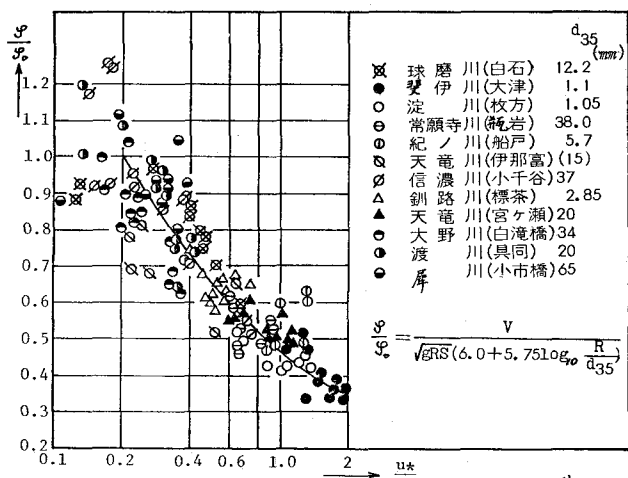


図-3 わが国の河川に対する $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ と $\frac{u_*}{\omega_f}$ の関係

当する。曲線の中間部分は砂堆(ディーン/河床)であると推定される。図中の実線は試みに描かれたものであるが、この図と(6),(5)式を利用することにより、径深 R 、エネルギー勾配 I 、35%粒径 d_{35} が与えられれば流れの平均流速 V が原理的には推算できることになる。この研究を実施するに当り、豊田教授による特定研究費の援助を受けたことを記し、謝意を表する次第である。