

(18) 礫床河川の抵抗に関する基礎的研究

九州大学工学部 ○岩 光 賢
 " " 平野 宗夫

流れの抵抗に関する研究は、古来数多く実験的、理論的になされているが、いまだ普通的な理論式が確立されていない。著者らは砂防工学を対象とする野溪すなわち混合砂礫の存在する河川における抵抗則式を水理学的に誘導し、検討したのでここに報告するものである。

I 抵抗則式の誘導

図-1に示すような混合砂礫床モデルにおいて、任意の粒径 $d\tau$ の礫頂面に作用する代表流速を $Uk\tau$ とし、このような混合砂礫が河床の単位面積内にランダムに存在する場合、この河床の力のつり合いは一般に、次式で定義することができる。

$$\tau_o = \tau_k + \tau_s = \frac{\rho}{2} \int_0^\infty CD \epsilon A \tau U k \tau^2 (D) dD + \tau_s \quad (1)$$

$$\tau_o = \rho g h \tau = \rho U_*^2 \quad (2)$$

τ_o : 河床の断応力 τ_k : 形状抵抗 τ_s : 摩擦抵抗 CD : 抗力係数 ϵ : 遮へい係数
 $A \tau$: 流れ方向の投影面積 (D) : 粗度要素の確率密度関数

$$\int_0^\infty A (D) dD = F/S \quad (3)$$

$F = \sum_{\tau=1}^n A \tau$ S : 任意の河床面積 S/F : 相対粗度密度

ここで(2)を(1)に代入し、平均流速を U_m 、ある代表粒径 d_o に対する底面流速を Uk_o とすると、混合砂礫に対する抵抗則式が次式のように与えられる。 ($\tau_s/\tau_o \ll 1$)

$$\frac{U_m}{U_m} = \frac{U_m}{Uk_o} \sqrt{2 / \int_0^\infty CD \epsilon A \tau \left(\frac{Uk\tau}{Uk_o} \right)^2 (D) dD} \quad (4)$$

そして、上式は、その流速分布形が既知であれば、粗度条件より U_m/U_* の値が求められることになる。そこで、従来通り、流速分布が対数則分布に従う場合には、

$$Uk_o/U_* = 8.5 + 5.75 \log \frac{d_o}{k_s}, \quad Uk\tau/U_* = 8.5 + 5.75 \log \frac{d\tau}{k_s}, \quad U_m/U_* = 6.25 + 5.75 \log \frac{h}{k_s}$$

等から(4)は次式のように変形できる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \sqrt{2 / \int_0^\infty CD \epsilon A \tau \left(1 + 5.75 \frac{U_*}{Uk_o} \log \frac{d\tau}{d_o} \right)^2 \rho (D) dD + 5.75 \log \frac{h}{2.46 d_o}} \quad (5)$$

式中、第1項は粗度要素の粒度分布 ($\sigma = \sqrt{d84/d16}$) のみに関する項、第2項は相対水深に関する項である。また、従来その物理的意味が不明確であった Nikuradse の k_s は、上式より次のように定義され、代表粒径 d_o との関係が明らかにされた。 ($K = 0.4$)

$$\frac{K_s}{d_o} = \exp \left\{ K \left(8.5 - \frac{Uk_o}{U_*} \right) \right\} \quad (6)$$

II 実験

前様より、混合砂礫の抵抗は、流速分布が対数則に従う場合、その粒度分布形を与えれば求められることが判ったので、ここでは、従来、自然河川の混合砂礫の体積分布は対数正規分布するという特性に着目し、このような条件に適合する任意の三次元乱数モデルによるシミュレーションと、水路による混合砂礫床実験によって、その抵抗特性の検討を行なった。その乱数モデルおよび混合砂礫の諸元は図-2、表-1に示すとおりである。

III 実験結果および考察

(5)式に含まれる抵抗に関する因子、抗力係数、遮へい係数、粒度分布等をそれぞれ水理学的に調べ、その抵抗特性を検討した。

(1) 礫の抗力係数

礫の降速度から抗力係数を求めたところ本実験においては $CD \div 0.6$ であった。(図-3)

(2) 遮へい係数

Wakeによる隣接粗度要素の遮へい効果を図-4のように $\epsilon = (d-f(x))/d$ なる式で定義し、数値計算で求めた。

(3) $Uk_o/U_* \sim \sigma$ および U_m/U_* の結果

乱数モデルおよび混合砂礫の結果を比較したところ、非常によく適合することがわかった。(図-5、図-6)

IV 結語

以上、混合砂礫の抵抗則に関する著者らの理論式を水理学的に検討を加え、その普遍性および適合性を検証した。なお、本式は粗度要素の幾何学的形状が一定であるような各種人工粗度に対しても、適用できることはすでに検証済みである。

参考文献

- (1) 岩元、平野：急勾配水路の粗度に関する研究(II)、土木・西部支部、1977、2

表-1 混合砂礫の諸元

σ	d_{50} (cm)	d_m (cm)
1.0	0.44	0.44
1.3	1.35	1.35
1.1	2.23	2.23
1.2	3.10	3.10
2.1	0.24	0.32
3.1	0.24	0.49
5.1	0.24	0.61

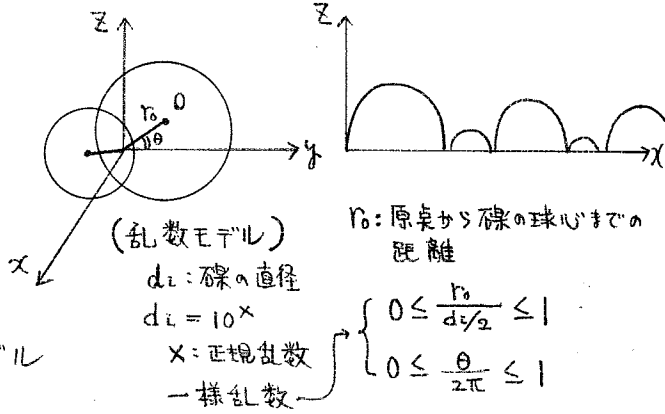
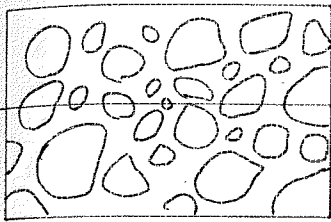
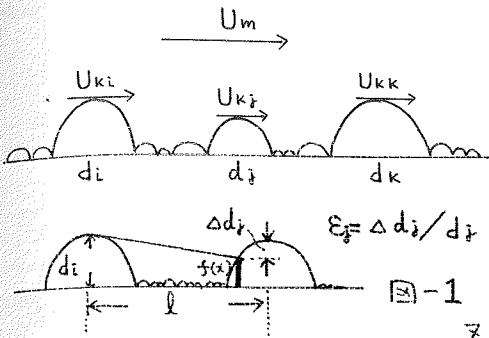


図-2. 三次元乱数モデル

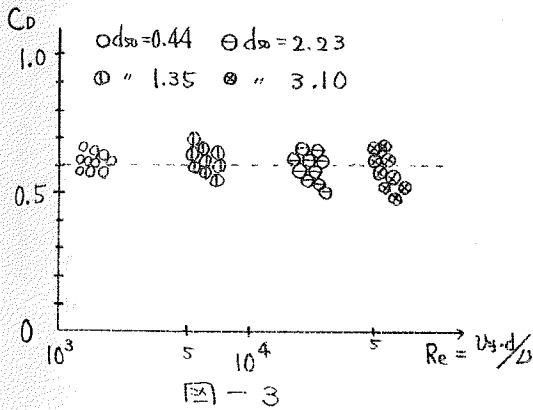


図-3

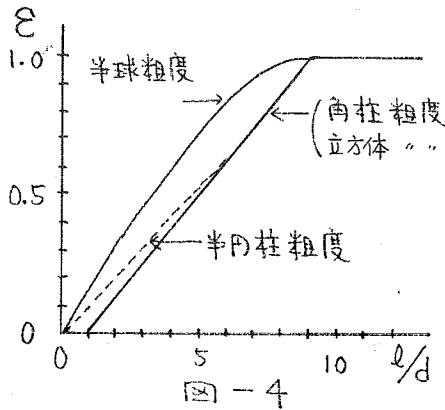


図-4

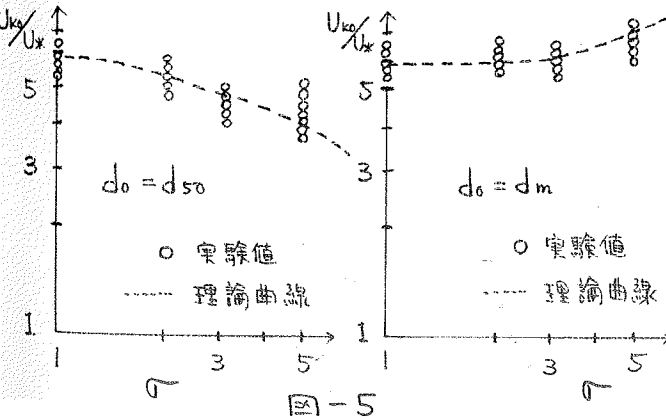


図-5

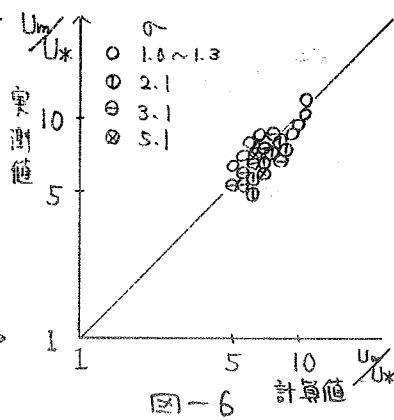


図-6