

九州大学 工学部 正 員 平野 宗夫
“ “ 正 員 O 岩 元 賢

I. まえがき

砂防工学で対象とする野溪(荒廢溪流)は、一般に急勾配で河床は多種多様な石礫で構成され、河床変動が甚しいので、このような流れからの流出土砂量を予測することは非常に難しい問題である。そこで、著者らはこのような野溪における流れの抵抗を検討するに当り、粗礫粒子の存在する粗面流の解明のため、前報⁽¹⁾において基本的な粗度モデルの抵抗則式を提案した。今回は式中の各因子について詳細な検討を加えたのでここに報告する。

II. 流れの抵抗則式の誘導

図-1に示すような河床モデルにおいて、その抵抗は、一般に河床の凹凸による形状抵抗と表面のマッサ抵抗が考えられる。

そして、河床の単位面積当りに働く形状抵抗 Z_k は次式で表わせる。

$$Z_k = \frac{\rho}{2} \int_0^S (C_0 \varepsilon A U_k^2) \varphi(\theta) d\theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

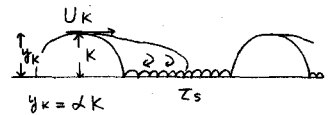


図-1 河床モデル

ρ : 水の密度 C_0 : 抗力係数 ε : 遮へい係数 A : 粗度要素の流水方向の投影面積

U_k : 粗度要素に作用する代表流速(本論文では底面流速を採用する)

また $\varphi(\theta)$ は 流水方向の投影面積 A を有する粗度要素の確率密度関数で、河床面積 S 中に存在する粗度要素の投影面積の総和を F とすると、次式のような関係にある。

$$\int_0^S A \varphi(\theta) d\theta = \frac{F}{S} \quad \dots\dots\dots (2) \quad S/F: \text{相対粗度密度}$$

また、等流状態での河床における力のつり合いは、河床のセリ断応力を Z_0 とすると次のようになる。

$$Z_0 = Z_k + Z_s = \rho g h i = \rho U_*^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Z_s : 単位面積当りのマッサ抵抗 h : 水深 i : 河床勾配 U_* : マッサ速度

ここで、(1)および(2)より、平均流速 U_m を用いて抵抗則を表わすと次式のようにになる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \sqrt{2(1 - Z_s/Z_0) / \int_0^S C_0 \varepsilon A \left(\frac{U_k}{U_m}\right)^2 \varphi(\theta) d\theta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

そして、上式は棧型粗度やイボ型粗度のように一定形状の粗度要素が等密度に配置され、マッサ抵抗が形状抵抗に比べて無視できるような場合には次式のように表わすことができる。($Z_s/Z_0 \ll 1$)

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{U_m}{U_k} \sqrt{\frac{2}{C_0 \varepsilon F} \frac{S}{S}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ゆえに、上式においてその流速分布形が既知であれば、粗度要素の配置条件から U_m/U_* が求められることになる。

たとえば、従来より流速分布が対数則分布に従う場合には $U_k/U_* = 8.5 + 5.75 \log \frac{h}{k_s}$ および

$U_m/U_* = 6.25 + 5.75 \log \frac{h}{k_s}$ なる関係を(5)式に代入すると次式で表わせる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \sqrt{\frac{2}{C_0 \varepsilon F} \frac{S}{S}} + 5.75 \log \frac{h}{2.46 k_s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

III. 実験

k_s : 代表流速 U_k の生ずる基準面からの高さ y_k

1) 棧型粗度

可変勾配水路(0.5×0.6×18.8m, $i=0.01 \sim 0.10$)の水路床に図-2に示すように

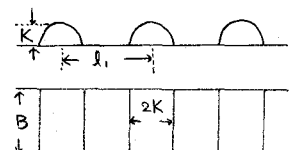


図-2 半円柱棧型粗度

高さ K 、幅 t ともに等しい正方形断面の角柱粗度 ($K=1.2, 2.5, 4.3 \text{ cm}$) と半径 $K=2.0 \text{ cm}$ の半円柱粗度を所定の間隔 λ_1 で配置した。 ($\lambda/K = 2 \sim 128$)

2) イボ型粗度

高さ K 、幅 t 、長さ W ともに等しい立方体粗度 ($K=2.5, 4.3 \text{ cm}$) と半球粗度 ($r=1.6, 2.2, 2.7 \text{ cm}$) を図-3 に示すように、所定の間隔 λ_1, λ_2 で十字状および格子状に配置した。 ($\lambda/K = 2 \sim 32$)

3) 抗力測定

角柱粗度と同一形状、寸法の抗力測定用粗度要素の前面と後面の対称な位置に直径 1 mm の小孔を底面から一定間隔に 3 ～ 5 個ずつ穿ち、この小孔に作用する圧力を直接、マノメーターで測定して抗力 D を求めた。また、その時の抗力係数 C_D は粗度要素前面の底面流速 U_k を用いた次式で計算した。

$$C_D = 2D / \rho A U_k^2 \quad \text{--- (7) ---} \quad \text{そして}$$

求めた C_D をレイノルズ数 $Re = U_k K / \nu$ に対してプロットすると図-4 のようになり、配置条件によって多少のバラツキはあるものの、ほぼ一定値 1.0 を有するようである。また、 C_D をフルード数 Fr および相対水深 λ/K に対してプロットしてみたが、前者と同様な傾向にあった。

IV. 計算およびその結果

1) 抗力係数 C_D

角柱粗度に対しては実験結果の平均値 1.0 を用いることにした。また、そのほかの粗度要素については C_D を測定していないが、角柱粗度の測定値が既往の結果⁽²⁾とよく一致していることから、立方体および半円柱粗度では $C_D = 1.0$ 、半球粗度では $C_D = 0.4$ をそのまま引用することにした。

2) 遮り係数 ε

一般に、粗度要素の境界面から発生した後流は前報などの結果から図-5 に示すような形態を呈するものと思われる。そこで、後流によって遮られしめる隣接粗度要素の高さを $f(x)$ とすると、2次元および3次元粗度に対して、その遮り係数はそれぞれ次式のように与えられることになる。

$$\varepsilon = (K - f(x)) / K \quad \text{--- (8) ---} \quad \text{2次元粗度}$$

$$\varepsilon = (A - \int_a^b f(x) dx) / A \quad \text{--- (9) ---} \quad \text{3次元粗度}$$

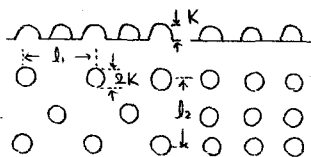
ここで、前報より後流の境界線 ($A_0 A_0'$) を勾配 $1/8$ の直線と仮定し、各種人工粗度について計算した結果が図-6 である。

3) 計算値と実測値の比較

基準面を水路床にとり ($\alpha=1.0$) さらに、前項の各種係数の該当値を逐次(6)式に代入して得られる各種人工粗度に対する計算値とその実測値の結果を図-7 に示した。図より、本式は粗度要素の幾何学的特性と流水の抵抗を定量的に表わしうることを検証された。今後は、この抵抗則式に更なる検討を加え、混合砂礫粗度に対する抵抗則式について調べたい。

(1) 平野 宗夫・岩元賢：急勾配水路の粗度に関する研究(I)土木西部支 1976.2.

(2) 橋 東一郎：水理学(II) 森北出版



$$\begin{array}{ll} \text{Chidori} & \text{Koshi} \\ S = \lambda_1 \lambda_2 / 2 & F = \pi K^2 / 2 \quad S = \lambda_1 \lambda_2 \end{array}$$

図-3 半球付型粗度

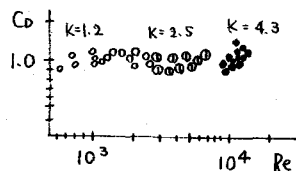
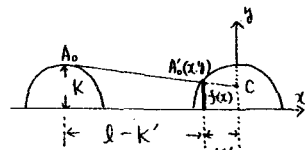


図-4 抗力係数



$$\begin{array}{l} \text{wake: } y = -\frac{1}{8}x + K \\ \text{球: } x^2 + y^2 = K^2 \end{array}$$

図-5 後流モデル

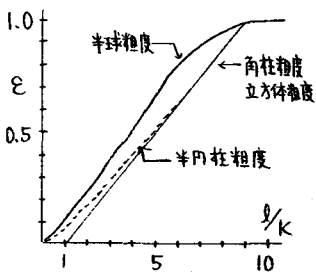


図-6 $\varepsilon \sim \lambda/K$

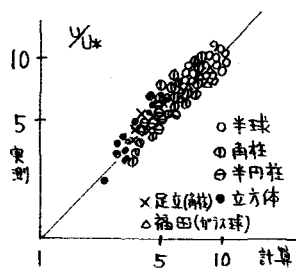


図-7 γ_{UK} の結果