

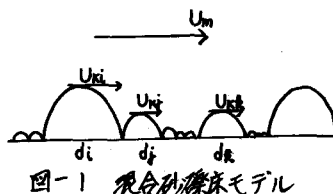
九州大学 工学部 正 員 平野 宗夫
 " " 正 員 岩元 賢
 " " 学生員 中野 義一

I まえがき

抵抗則に関しては、従来様々な人工粗度を用いて、実験が行われてきている。本論では、従来の完全粗面領域に対する抵抗則式を検討する事により誘導した抵抗則式を、より実際の河川に近づけるという意味で、多種多様な粗度要素が混在している混合砂礫を使った実験結果で検討したので、報告する。

II 抵抗則式の誘導

各種粒径の粗度要素が混在する混合砂礫床の抵抗則式も、前報と同様に求めてみる事ができる。即ち、図-1に示すような河床モデルにおいて、任意の粒径 d_i の礫の頂面に作用する底面流速を U_{ki} とすると、このような粒径の異なる礫が河床の単位面積内にランダムに存在する場合、この河床のカウツリ合いは、一般に次式で表わす事ができる。



$$\tau_0 = \frac{\rho}{2} \int_0^\infty (C_D \varepsilon A_i U_{ki}^2) \varphi(d) dd + \tau_s \quad (1)$$

τ_0 : 河床の剪断応力 C_D : 抗力係数

$$\tau_0 = \rho g h_i = \rho U_*^2 \quad (2)$$

τ_s : 河床の単位面積に働く摩擦抵抗

τ_s : 河床の単位面積に働く形状抵抗 (右辺第一項)

A_i : 粒径 d_i の礫の流れ方向に対する投影面積 ε : 遮断係数 i : 河床勾配 h : 水深 ρ : 水の密度

$\varphi(d)$: 流れ方向に A_i なる投影面積を有する粗度要素の確率密度関数で、ある任意の河床面積を S とした時、

A_i の総和 F との間には次のような関係が成り立つ。

$$\int_0^\infty A \varphi(d) dd = F/S \quad (3)$$

S/F : 相対粗度密度 ($F = \sum A_i$)

ここで(2)式を(1)式に代入して、代表粒径 d_0 に対するその底面流速 U_{k0} や平均流速 U_m を用い、さらに、摩擦抵抗が形状抵抗に比べて無視できるので($\tau_s \ll 1$)混合砂礫に対する抵抗則式は次式のように与えられる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{U_m}{U_{k0}} \sqrt{\frac{2}{\int_0^\infty C_D \varepsilon A_i \left(\frac{U_{ki}}{U_{k0}} \right)^2 \varphi(d) dd}} \quad (4)$$

そして、上式は、その流速分布形状が既知であれば、粗度条件から U_{k0} が求められる事になる。例えば、従来通り流速分布が、対数則分布に従う場合には、 $U_{k0}/U_* = 8.5 + 5.75 \log(d_i/k_s)$, $U_m/U_* = 8.5 + 5.75 \log(d_0/k_s)$ から $U_{ki}/U_m = 1 + 5.75 \frac{U_*}{U_m} \log(d_i/d_0)$ なる関係(4)式に代入すると次式が得られる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \sqrt{\frac{2}{\int_0^\infty C_D \varepsilon A_i \left(1 + 5.75 \frac{U_*}{U_m} \log \frac{d_i}{d_0} \right)^2 \varphi(d) dd}} \quad (5)$$

したがって U_m/U_* は、粒径分布形のみの関数となることがわかる。次に抵抗則は $U_m/U_* = 6.25 + 5.75 \log(\frac{h}{2.46 d_0})$ を考慮し、粒度分布の形を標準偏差 σ で代表させると

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{U_{k0}}{U_*} (A) + 5.75 \log \frac{h}{2.46 d_0} \quad (6)$$

となり、右辺第一項は粒度分布形のみに関する項、第二項は水深と代表粒径に関する項である。

III 実験

1) 均一礫床実験

1) 均一粒径に近い4種類の礫 ($\Omega=1.0$ $d_{50}=0.84\text{cm}$, $\Omega=1.3$ $d_{50}=1.35\text{cm}$, $\Omega=1.1$ $d_{50}=2.23\text{cm}$, $\Omega=1.2$ $d_{50}=3.10\text{cm}$) を可変勾配水路 ($0.5 \times 0.6 \times 18\text{m}$, $\tan\theta=0.01 \sim 0.10$) にランダムに固定した。

2) 混合礫床実験

対数確率紙上で直線的な粒度分布を有しその中央粒径 d_{50} が等しく、かつ体積分布が対数正規分布するように配合された3種類の混合礫 ($\Omega=2.05$ $d_m=0.32$, $\Omega=3.10$ $d_m=0.89$, $\Omega=5.10$ $d_m=0.61\text{cm}$) ($d_{50}=0.24\text{cm}$) を水路 ($0.25 \times 0.25 \times 5.2\text{m}$, $\tan\theta=0.014$) に設置し流速分布、水深、河床勾配等を測定した。

3) 礫の抵抗力係数

本実験に用いた礫の抵抗力係数 C_D は、静水中を落下する時の限界沈降速度 U_{*c} から算出する事にする。なお測定は $1/100$ 秒まで読みとれる digital timer によって行なった。

IV 実験結果および考察

1) $(U_{*c}/U_{*c}) \sim \Omega$ の関係

均一礫および混合礫における d_{50} に因する実験結果を図-2に示した。図より本実験の値は Ω が大きくなるにつれて、抵抗力が増大するため U_{*c}/U_{*c} の値は漸減することとなる。

2) 抵抗力係数 C_D

nominal diameter による礫の抵抗力係数と Re 数の関係を図-3に示す通り本実験に用いた礫の C_D は、ほぼ一定値 0.6 を有するものと思われる。

3) 抵抗力式の検討

以上より、本実験の実験値と式(1)に実験の $U_{*c}/U_{*c}(\Omega)$ を代入して計算した結果を図-4に示した。図-4より、本式による結果は良好ではあるが、完全に一致はしなかった。これは $U_{*c}/U_{*c}(\Omega)$ として実験値を用いたため、 d_{50} に対する混合礫床の誤差から生ずるものと思われる。

V 乱数モデルによる混合礫床のシミュレーション

第Ⅱ項より、粒度分布形を与えれば式(1)によって混合礫床の抵抗力が求まる事が判ったので、ここでは従来自然河川の混合礫床の体積分布が、一般に対数正規分布する特性に着目し、体積分布が対数正規分布するような、乱数モデルによる混合礫床のシミュレーションを行う事にした。図-5に示すような乱数によるモデル河床は等オ性があると思われるので、河床のいかなる任意の標上の粒度分布も確率的には同じである。そこで任意の標上 Ω において、その粒径 d_i を一様乱数 ($0 \leq R \leq 1$) で、二次元方向に発生させると、球心 O から標上までの距離 e は、 $e = d_i (\frac{1}{2} - R)$ となり、その時の縦断面 (iii) に示ようになる。ゆえに、このような混合礫床における抵抗力を求めるためには式(1)の積分項に対し、混合礫床の標準偏差 Ω を任意に考慮して数値積分を行うと、図-2に示すような U_{*c}/U_{*c} と Ω の関係式が得られるので、逐次任意の混合礫床に対する抵抗力が求められる事になる。なお本関係式については現在検討中である。

1) 平野 泉夫, 岩元 賢 : 急勾配水路の粒度に関する研究 (I)(II) 土木西部支部 1976, 1977, 2.

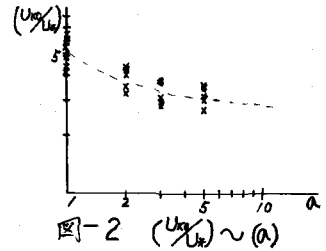


図-2 $(U_{*c}/U_{*c}) \sim \Omega$

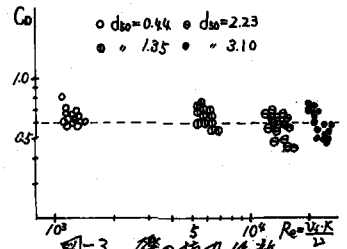


図-3 礫の抵抗力係数

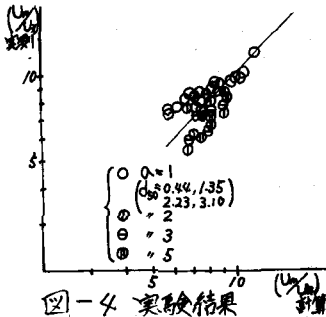


図-4 実験結果

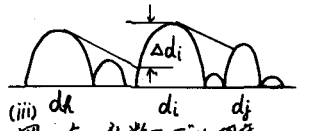
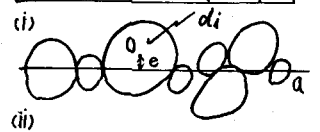
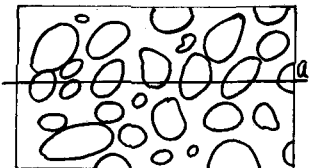


図-5 乱数モデル河床