

大径石礫が散在する河床の抵抗則について

徳島大学 正員 岡部 健士
徳島大学 学生員 〇速水 正樹

1. まえがき: 山地河川を特徴づけるものに、河床材料の粒径範囲が非常に大きく、相対水深の小さい流れがあげられる。また、大径の石礫は、通常の出水時において流送されることがなく、いわゆるイボ型粗度のように平均河床面上に突出し、流水ならびに流砂の運動を著しく阻害している。このような相対粗度の大きい流れにおける抵抗特性は、従来、各種の人工粗度を用いてかなり明らかにされている。しかし、その多くは、固定床におけるものである。また、不規則な粗度配置の抵抗特性についてもまだ不明な点が多い。

本報は、上述のような河床を粗大な円柱と細砂からなる二粒径混合床でモデル化し、その抵抗特性について実験的および理論的に考察するものである。

表-1. モデル河床の諸元

配置様式	路床名	露出高さ(Δ) (cm)	配置密度(θ) (%)
ラ	1-A-1	2.0	7.1
	1-A-2	4.0	7.1
	1-A-3	6.0	7.1
ン	1-B-1	2.0	13.5
	1-B-2	4.0	13.5
	1-B-3	6.0	13.5
ダ	1-C-1	2.0	28.3
	1-C-2	4.0	28.3
	1-C-3	6.0	28.3
ム	1-D-1	2.0	44.0
	1-D-2	4.0	44.0
	1-D-3	6.0	44.0

2. 実験設備: 実験に用いた水路は、幅60cm、深さ40cmの長方形断面を有する長さ14.6mの鋼製、両側面透明アクリルライト張り可変公配水路である。ここに、まず移動しうる細砂として平均粒径1.8mm、比重2.52の砂を平坦に敷き、ついで、直径6cmの円柱を所定の配置密度および露出高さで埋め込んでモデル河床を構成した。円柱の配置様式には、ランダム配置と千鳥配置の2種類を用いた。なお、ランダム配置とは、水路全体を方形メッシュで区切り、各メッシュ内に円柱を1個ずつ配置するものとして、その座標を一樣乱数で発生させて決定したものである。これらのモデル河床の諸元を表-1に示す。ここで、配置密度 θ

全円柱の水平面積と河床面積との比。

3. 実験結果: 普遍的対数則(1)式を用いて、本実験資料から相当粗度 K_s を求めてプロットしたものが図-1である。ここで、 S : 1個の粗度が受け持つ河床の面積、 F : 粗度要素の流れ方向の投影面積を表す。

$$v_m/u_* = 1/k \cdot \ln F/K_s + 6.0 \quad (1)$$

右は、円柱の容積分の水量を考慮した平均水深で次式で与えられる。

$$F = H \cdot (1 - R_N \cdot V / H) \quad (2)$$

H : 測定水深、 V : 円柱の露出部容積、 R_N : N/BL で表わされる。

なお、図中には、参考のため平野らの半球と立方体を用いた、固定床人工粗度の実験結果を記入している。さて、本図の範囲内では、粗度要素の配置様式の相違に起因した抵抗特性の相違は明らかでない。

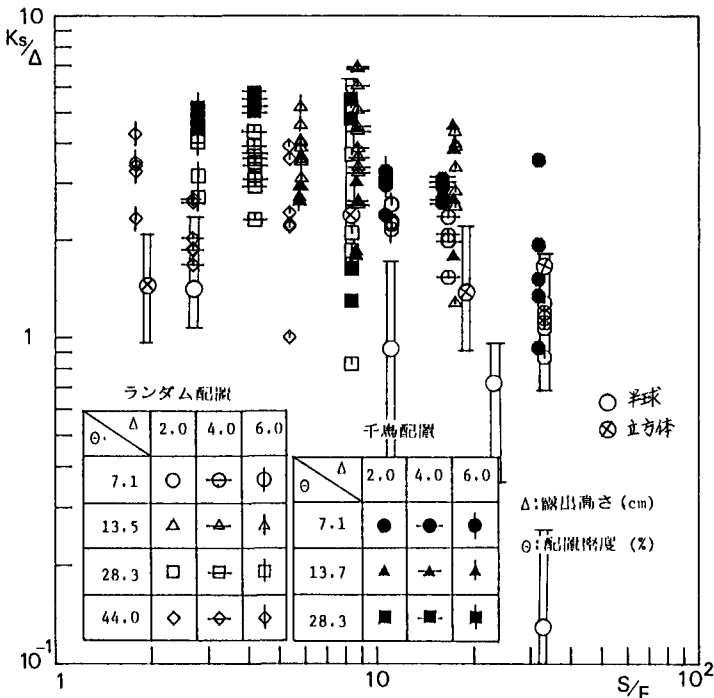
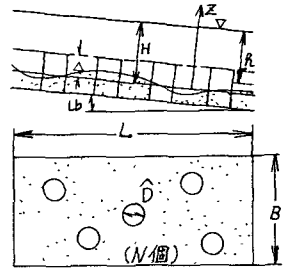


図-1. 相当粗度の特性

また、 S/F が 8~10 で k_s/Δ がピークを持つようであり、定性的に平野らの実験結果と同様の傾向を示している。ところで、同一の S/F における k_s/Δ の分散はかなり大きくその原因に興味がたれる。これには、流砂に伴って生じる砂面凹凸の大小が関係していると考えられ、とりあえずそのパラメータとしての粗粒木梁やフルード数との関連を検討してみたが、明解な結論に達しなかった。

4. 抵抗則の評価式： 図-2 に示すように勾配 θ 、長さ L 、幅 B の河床が N 個の円柱粗度（直径 Δ ）と粒径 d の均一砂で構成され、粗度の頂点は平均砂面位から一様に Δ だけ露出しているものとする。粗度の大きい流れでは、粗度近傍の鉛直方向の流速分布が普遍的対数則からはずれて一様化の傾向をも



つこびが知られている。そのため円柱の頂面より上層と下層に分け、次のように流速分布式を与える。上層は、普遍的対数則が成

$$u/u_* = 1/\phi \cdot \ln [Z/d \cdot (1 + \theta \cdot Z_*)] + 6.0 \quad (4)$$

立するものと考えられ(3)式で与える。一方下層の流速分布は、円

$$\phi = 0.4 + 5.6 \cdot \sin 2\theta \quad (6)$$

柱の密度や砂面状態の直接的影響を受ける極めて

$$u_{*e} = \frac{u_*^2}{1 - 5 \cdot \theta + \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot R_n \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{1}{\phi} \ln \frac{\Delta}{d \cdot (1 + \theta \cdot Z_*)} + 6.0 + 1/\phi \right)^2} \quad (7)$$

難解なものであるが、直感的ながら着るれば、下層部の平均流速と砂面の有効摩擦速度 u_{*e} の関係は、

$$d\Delta \leq L : \bar{A}_p = A_p \quad (8)$$

(4)式で表現し得るのではないかと考えている。(4)式より流速分布を逆に求めると、(5)式となる。なお(3)式の

$$A_R = \Delta \cdot B \cdot (1 - R_n \cdot V / \Delta) \quad (9)$$

K はこの式と(3)式の接続条件より定まる。また ϕ に対して現在のところ、

$$\frac{u_m}{u_*} = \frac{\frac{1}{K} \left(\ln \frac{H}{\Delta + d(1 + \theta \cdot Z_*)} + \frac{1}{\phi} - 1 \right) + \frac{(1 - \frac{1}{\phi})A + \frac{1}{\phi}(1 - R_n V / \Delta)(A - \frac{1}{\phi})}{\sqrt{1 - 5 \cdot \theta + \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot R_n \cdot \Delta p \cdot A^2}}}{1 - R_n V / H} \quad (10)$$

ここに、 $A = 1/\phi \cdot \ln \frac{\Delta}{d(1 + \theta \cdot Z_*)} + 6.0 + 1/\phi$ (10)

に関する力の釣り合い式より、(7)式のように求まる。ここに、 $\bar{A}_p$ は粗度要素1個当りの形状抵抗に有効な面積であって、 $\bar{L} = \sqrt{BL/N}$ 、 Q ：粗度要素の wake zone 長さに関する係数、 A_p ：円柱露出部の流水方向投影面積とすると(8)式で求まる。 θ ：砂面凹凸や流砂による粗度増加を考慮するための係数；粗度要素の遮蔽領域の広さに関する係数、 C_0 ：抵抗係数、以上の諸式を用いて上層、下層部流量を求め流速係数 u_m/u_* を誘導する。まず下層の流量は、この領域の平均横断面積 A_R を(9)式で与えこれに(4)式を乗じて求められる。一方上層の流量は、(3)式を用いてこれを $Z = \Delta \sim H$ 間で積分して求められる。これらから流速係数 u_m/u_* が(10)式で与えられる。なお、上述した諸係数については、模範検討して次のように決定した。 $\theta = 3$ 、 $5 = 1$ 、 $C_0 = 0.7$ 、 $d = 4$ 。

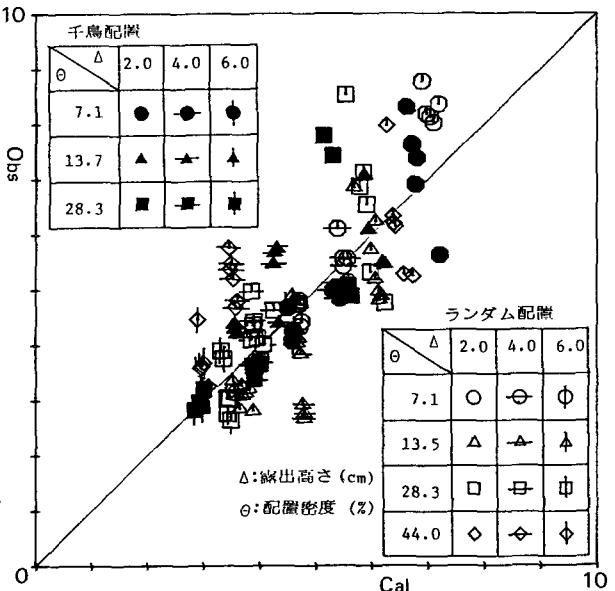


図-3. 計算値と測定値との比較

(10)式を用いて u_m/u_* の計算値とその測定値との相関を示したものが図-3である。全体的にみて、適合性は良好であると思われる。なお、理論式が河床を平坦と仮定し導かれたものであるため、砂面の凹凸に帰因すると思われる偏点のバラツキについては、今後とも検討する必要がある。

〈参考文献〉 1) 平野・若元；新砂防10， 2) 木山；京都大学学術論文，1977 3) 田部連水；第38回年講