

急勾配混合砂礫河床の形態と流水抵抗に関する研究

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一
愛媛大学工学部 正 員 山本裕規
愛媛大学大学院 学生員 〇藤岡貴之

1. はじめに

山地河川は一般に急勾配で、河床構成材料は広範囲の粒度分布（巨礫～砂・粘土）を有するため、特有の河床形態が見られる。また水深と粗度要素の比である相対水深が小さいため、開水路で一般的に使用される流速の対数分布則を用いて流れの抵抗を評価するのが困難である。本研究では、山地河川で生じる相対水深の小さい流れの流水抵抗を粗度モデルを用いて評価した。

表-1 実験条件

λ/Δ	5, 10, 15, 20
河床勾配	1/5, 1/10, 1/20, 1/40 1/60, 1/80, 1/100
単位幅流量 (cm/s)	100, 150, 200, 250

2. 粗度モデルによる相対水深が小さい流れの抵抗に関する実験

2.1 実験概要 実験には全長7m、幅40cmの変勾配水路を用い、その水路床上に一辺が $\Delta=2.5\text{cm}$ の正方形断面柱を張り付けることで山地河川の階段状河床形を単純にモデル化し、表-1に示すように粗度間隔と粗度高の比 λ/Δ を4通り変化させ、流量、勾配を変えて通水を行った。

2.2 粗度上での流れの状況 観測された流況を写真などから整理すると、図-1に示すように概ね4通りに分類される。すなわち、水面形①は粗度要素間・粗度要素上で流れが常流となり、水面形②では粗度要素上で流れが射流となるものの、粗度要素間では常流である。水面形③は粗度要素間で跳水の発生する流れであり、水面形④では流れがほぼ全域で射流となっている。

各種水面形の出現領域を分類しようとする試みは、池内・山田¹⁾らによってなされている。本実験の平均水深 h_m から求められるフルード数 F_r と Δ/h_m の関係を示すと図-2のようになる。なお図中の実線は単独の突起に対する水面形発生領域を示すもので次式で表される。

$$\frac{\Delta}{h_0} < \frac{1}{2} F_{r0}^2 - \frac{3}{2} F_{r0}^{\frac{2}{3}} + 1 \quad (1)$$

ここに、 h_0 , F_{r0} : 単独で存在する突起の上流側における水深とフルード数である。実験データの範囲内で流れが常流になる領域（水面形①②）と、射流になる領域（水面形③④）は図中の点線により大まかに分割されるが、データをさらに増やして検討する必要がある。

3. 粗度モデル実験の流れの抵抗の評価

相対水深が小さい流れの抵抗では、粗度や河床波の一波長分のエネルギー損失が、粗度や河床波による形状損失と壁面の摩擦損失、さらに跳水によるエネルギー損失の和で表されるとした考え方が一般的であり、全抵抗係数 f は図-3の記号を用いて次式で示される。

$$f = f_A \frac{a \Delta}{\lambda} + f_s \left(1 - \frac{a \Delta}{\lambda} \right) + \frac{8}{F_r^2} \frac{\Delta H}{\lambda} \quad (2)$$

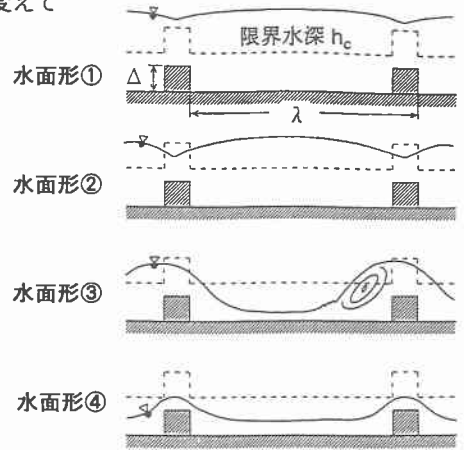


図-1 各種水面形の概念図

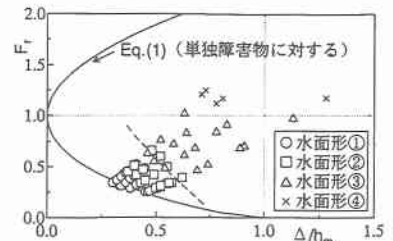


図-2 各種水面形の出現状況

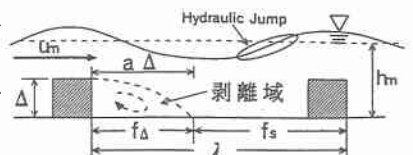


図-3 模式図

ここに、 f_{Δ} : 棧の形状抵抗係数、 f_s : 摩擦抵抗係数、 a : 剥離長、 F_r : 跳水前の水深から求められるフルード数、 ΔH : 跳水による損失水頭である。 f_{Δ} は芦田ら²⁾によれば、粗度高さと平均水深の比を用いて $f_{\Delta}=4KE\Delta/h_m$ ($K \approx 6$, $E \approx 0.08$) で与えられるが、本研究では棧粗度一波長分の平均水深が見かけ上同じであっても速度分布が流況によって大きく異なることを考慮して、粗度要素に作用する抗力 F を用いて棧の抵抗係数を表す。このとき、抗力 F および f_{Δ} は次式で与えられる。

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D (\alpha u_m^2) \Delta, \quad f_{\Delta} = \frac{4\alpha C_D}{a} \quad (3)$$

ここに、 ρ : 水の密度、 C_D : 抗力係数、 α : 平均流速から棧粗度に直接作用する流速を算出するための補正係数である。今回の棧粗度モデル実験において摩擦抵抗係数と跳水によるエネルギー損失を計算した結果、無視できるオーダーであったため、流れの抵抗が形状抵抗のみにより支配されるものと考え、式(2)は近似的に次式で表される。

$$f \approx f_{\Delta} \frac{a}{\lambda} = 4\alpha C_D \frac{\Delta}{\lambda} \quad (4)$$

式(4)においては抗力係数 C_D に、長方形単一部材に対して得られている値 $C_D=2.2$ を使用し、流速補正係数 α を実測の平均抵抗係数に合うように逆算して求め、相対水深 h_m/Δ との関係を示すと図-4のようになる。この図から相対水深 h_m/Δ が1.7付近で α が最大となり、相対水深が1.7より大きくなると α が小さくなり、逆に相対水深が1.7以下になると α が0.5~2.0程度になっていることがわかる。棧粗度一波長分の平均流速を用いて抗力を算定する場合、図-5に示すように相対水深が比較的大きい場合は、粗度要素に直接作用する流速が平均流速と比して小さいため、補正係数 α が1.0より小さい値で与えられるが、相対水深が小さくなり1.7に近づいていくと粗度要素には平均流速以上の流速が作用することで α が大きくなる。相対水深が1.7以下の場合（ここでは水面形③④に対応する）では、水面形③のように跳水が発生するときは流れの主流方向が粗度要素の上を迂回するため粗度要素に作用する流速が平均流速より小さくなり、 α が小さくなる。水面形④のようにほぼ全域で射流が生じる流れでは粗度背後の剥離域がほとんど現れないため、粗度要素にはほぼ平均流速のものが作用する。

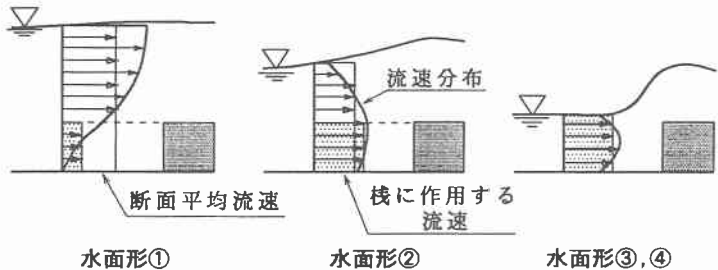


図-5 粗度要素に直接作用する流速

4. おわりに

本研究では、山地河道の河床形態を棧粗度により単純にモデル化して流況を観察した。その結果流れは概ね4通りに分類される。また、流れの抵抗を粗度による抵抗 f_{Δ} と摩擦抵抗 f_s の和で表現するとともに、各流況により流速分布が大きく異なることを考慮して、 f_{Δ} を抗力で評価するための流速補正係数を算定した。今後は混合砂礫を用いて山地河道の河床形態の形成実験を行い、棧粗度モデルと比較する予定である。

参考文献

- 1) 池内・山田・村上：第30回水理講演会論文集, 1986, pp. 73-78.
- 2) 芦田・江頭・西野：京大防災研年報, 第29号B-2, 1986, pp. 391-403.