

II - 189

山地河道における相対水深が小さい流れの抵抗に関する研究

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

1. はじめに

山地河道では、水深と河床の粗度要素の比である相対水深が通常の開水路流れと比してかなり小さくなっており、流れの抵抗の評価が一般に困難である。本研究では、山地河道に見られるリップやステップ・プールを形成している一連の石礫群による粗度を、実験水路において規則的に配置された棧粗度として取り扱い、相対水深の小さい流れの抵抗について実験的検討を行った。

2. 実験概要

実験には全長7m、幅0.4mの可変勾配水路を用い、水路床上一辺が $\Delta=2.5\text{cm}$ の正方形断面柱を水路全幅に上流端から下流端まで等間隔で張り付け、山地河道の河床形を単純にモデル化した。表-1に示すように粗度間隔 λ と粗度高さ Δ の比 λ/Δ を4通り変化させ、流量・勾配を変えて通水を行い、棧粗度一波長分の水深を流下方向に1cm間隔で計測した。また、幾つかのRunにおいては流速分布の測定を行っている。

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^2/s)	100, 150, 200, 250

3. 棧粗度河床上に出現する流れの状況

観測の結果、棧粗度上に出現する流況は図-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では粗度要素間・粗度要素上共に流れが常流となり、水面形②では粗度要素上で流れが射流になるものの、その他の区間では常流である。水面形③は粗度要素間で跳が発生する流れであり、水面形④ではほぼ全域で流れが射流となる。一定流量のもとで勾配を増加させると水面形は①から徐々に移行するが、粗度間隔が大きいほど水面形の移行が早くなる傾向にある。また各水面形の代表的な流速分布を見ると、流れの形態によって棧粗度要素に直接作用する流速がかなり変化していることがわかる。

各種水面形の出現領域を分類しようとする試みは、単独の障害物が河床に存在する場合の流れについて池内ら¹⁾によって行われている。障害物高さを Δ 、障害物上流側的水深とフルード数をそれぞれ h_0 、 F_{r0} とすると、

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

の条件下において定常な流れが現れる。本実験のように障害物が連続して存在している場合、さらに粗度間隔 λ と障害物高さ Δ の比である λ/Δ も流れの様相を変化させる要因になると考えられるから、本実験では各水面形の棧粗度一波長分の平均水深 h_m から求められるフルード数 F_r と Δ/h_m の関係として図-2のように分類する。実験データの範囲内で流れがほぼ常流になる領域（水面形①②）と、ほぼ射流となる領域（水面形③④）は図中の点線により大きく分割

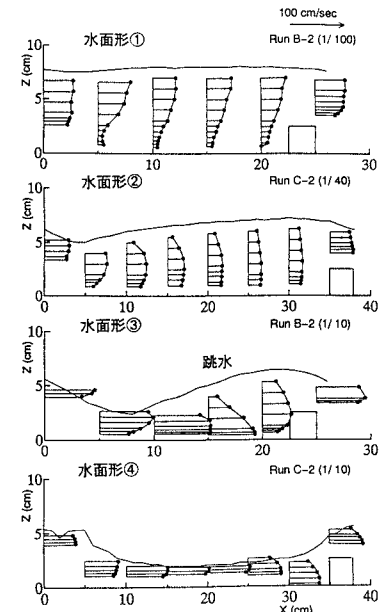


図-1 各種水面形と流速分布

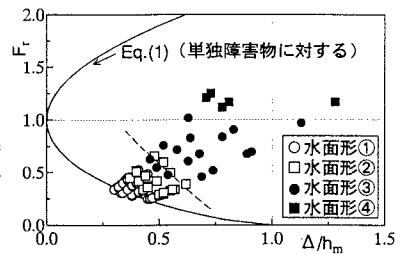


図-2 各種水面形の発生領域区分図

されるが、さらにデータを増やして検討する必要がある。

4. 棧粗度河床上の流れの抵抗について

相対水深が小さい流れの抵抗は、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、全抵抗係数は図-3の記号を用いて次式で示される²⁾。

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

ここに、 f_{Δ} : 棧の形状抵抗係数、 f_s : 摩擦損失係数、 $a \Delta$: 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。棧にかかる流速を u_{Δ} とすると、粗度要素に作用する抗力 F は次式のようになり、 f_{Δ} が求められる。

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

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。本実験において壁面摩擦と跳水によるエネルギー損失を計算した結果、形状損失と比して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で支配されると考えると、式(2)は近似的に次式で表される。

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

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が1.7付近で α が最大となっており、 h_m / Δ がこれより大きくても小さくても α は小さくなる。棧粗度一波長分の平均流速を使用し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くなるため、補正係数 α が1.0より小さい値で与えられる。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にほぼ対応する）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程度の流速が作用する。

5. おわりに 本研究では、相対水深が4以下のように小さい流れの抵抗を、流況によって粗度要素に作用する流速が大きく異なることを考慮して実験的に検討した。今後、山地のリブ河床上の実際の流れとの対応を考えていく必要がある。

参考文献 1) 池内ら: 第30回水理講演会論文集, 1986, pp. 73-78.
2) 芦田ら: 京大防災研年報, 第29号B-2, 1986, pp. 391-403.

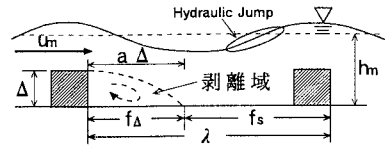


図-3 棧粗度上の流れの模式図

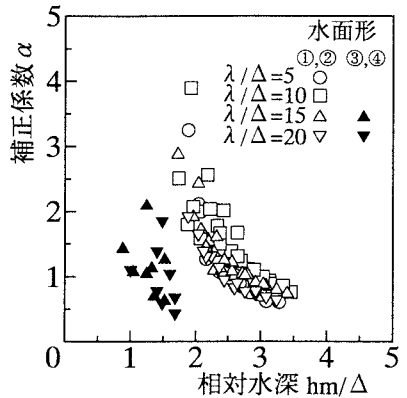


図-4 流速補正係数 α と相対水深 h_m / Δ の関係

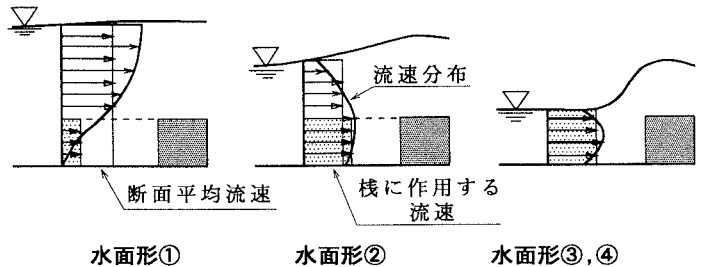


図-5 粗度要素に作用する流速