

## 山間部急流河川における流水エネルギー減勢に関する実験的研究

岐阜大学大学院

JR 東海

岐阜大学大学院

岐阜大学流域圏科学研究センター

学生員 ○山中 貴之

石井 南

正会員 原田 守啓

フェロー会員 藤田裕一郎

## 1. 研究の背景と目的

山間部の急流河川では、大きな流水エネルギーに起因する極度の河床洗掘や護岸の破壊が治水安全上の重要な問題となっている。従来から、側岸や河床の一部に何らかの粗度要素を設置して、流水のエネルギーを減勢することが試みられているが、十分な成果を挙げるに至っていない。これは、急勾配流れでの粗度によるエネルギー減勢の水理が明確にされていないことが主因の1つであると考えられる。例えば、棧型粗度のような基本的な粗度形状の水理特性の把握は常流条件下にほぼ限られており、射流での粗度特性は現地の石礫などを模した斜路などについて経験的に把握されている場合が多い<sup>1) 2)</sup>。

そこで、本研究ではまず、基本的な粗度要素である棧型粗度を路床底面に設置した場合、ついで、それを側壁や潤辺に配した場合について急流河川のような急勾配・射流条件下を含めて実験を行い、それらの有する水理特性を把握して考察を加えた。

## 2. 実験方法

棧型粗度が流れ場に与えるエネルギー減勢効果を捉える第一の方法は、平均流速とエネルギー勾配の関係、すなわち抵抗則を検討することである。そこで、長さ  $L=400\text{cm}$ 、幅  $B=20\text{cm}$ 、側壁高さ  $H=20\text{cm}$  のアクリル製水路を用いて、粗度の配置と設置間隔及び路床勾配を変化させ、種々の流量を与えて実験を行い、水位  $H$  を計測した。

粗度の配置条件は底面・壁面・全面の3種類であり、棧型粗度として  $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm} \times 20\text{cm}$  のアクリル棒を等間隔に設置した。図-1に実験装置の概略図を示す。粗度間隔  $C$  を3種類 (3cm, 6cm, 12cm)、路床勾配  $I_0$  を5種類 (1/400, 1/200, 1/100, 1/50, 1/25) の15パターンとし、各パターンについて流量  $Q$  を4段階 (4.5~14.0l/s) に変化させた。なお、流量は上流端の三角堰で推定し

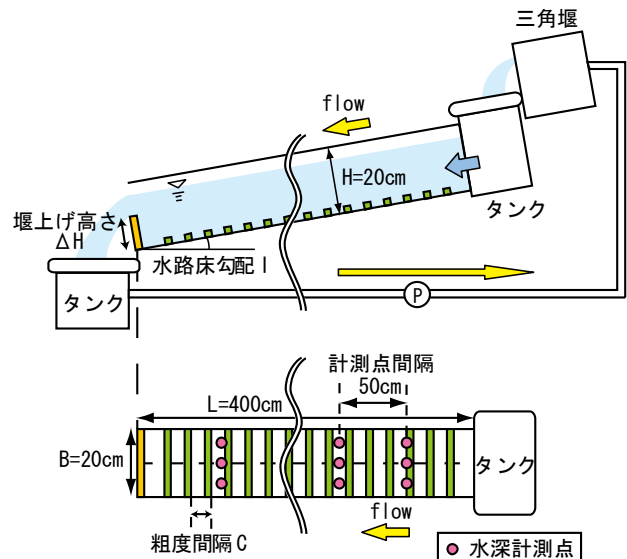


図-1 実験装置概略図 (底面に棧型粗度を設置)

た所定の流量をポンプによりインバータ制御して与えた。水位の計測は、上流端から 50cm ごとに 7 断面、1 断面につき横断方向中心と、両側壁から 5cm の 3 点で行った。水位と路床高  $z_b$  から算定した水深  $h$  と平均流速  $U$  を用いてエネルギー勾配  $I_e$  を算出し、棧型粗度の抵抗特性を把握した。なお、1/400 の計測データは路床勾配に対して低下背水の影響が強く出過ぎたため、1/50~1/200 のデータを用いて考察を行った。

## 3. 結果および考察

今回の実験では、抵抗特性の指標として用いた相当粗度  $k_s$  は対数則 (1) から算出した。

$$\frac{U}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{k_s} \quad \dots (1)$$

ここに  $U$  は平均流速、 $u_*$  は摩擦速度 ( $u_* = (gh)^{1/2}$ ,  $g$  は重力加速度),  $R$  は径深である。なお、径深  $R$  について径深補正を行っている。

図-2に、各粗度配置 (底面、壁面、潤辺) におけるフルード数  $Fr$  と相当粗度・粗度高さの比  $k_s/hg$  の関係を示す。

キーワード 急流河川, 棧型粗度

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1 岐阜大学大学院工学研究科 TEL 058-293-2476

同図では、粗度の配置にかかわらず、路床勾配に応じて  $Fr$  数が増加し、 $ks/hg$  も増加しており、同一の路床勾配では、流量の増加に伴って流速が増加することで  $Fr$  数が増加し、 $ks$  が減少していることがわかる。粗度間隔の大きい  $C=12\text{cm}$  で  $ks$  が最も小さく、 $C=3\text{cm}$  と  $6\text{cm}$  では配置ごとに異なる傾向を示し、底面粗度の場合、緩勾配 ( $I=1/200$ ,  $1/100$ ) では、粗度間隔による  $ks$  の変化は顕著ではないが、急勾配 ( $I=1/50$ ,  $1/25$ ) では、 $C=3\text{cm}$  で  $ks$  が最大になることが明確である。また、壁面粗度の場合、緩勾配では粗度間隔  $C=3\text{cm}$ ,  $6\text{cm}$  の  $ks$  の違いは顕著に現れてはいないが、急勾配では、 $C=12\text{cm}$  で  $ks$  が最も大きくなっている。一方、全面粗度の場合、底面・壁面に比べて抵抗が大きくなり、水深が上昇することで流速が抑えられ、 $Fr$  数は  $I_0=1/25$  でも  $Fr<1.2$  となっており、水路床勾配や粗度間隔の違いによる  $ks$  の変化傾向に差異が認めにくい。緩勾配では粗度間隔が小さいほど相当粗度が大きく、急勾配では壁面粗度に近い特性を示すものと考えられる。以上の検討で、粗度の配置条件が異なると、相当粗度  $ks$  と  $Fr$  数の関係が大きく変化する、すなわち粗度の配置条件の違いが流速低減の効果に影響を与えることがわかった。

図-3 に相当粗度  $ks$  と水深・粗度高さの比  $h/h_g$  の関係 ( $I=1/400$  は除く) を示す。同図より、路床勾配が一定であるとき  $C=3\text{cm}$  では、水深  $h$  の増加にしたがって底面・全面粗度ともに相当粗度  $ks$  がわずかに増加している。また、 $C=6\text{cm}$  では、底面粗度は水深  $h$  の増加とともに相当粗度  $ks$  が減少し、全面粗度は水深  $h$  の変化に関係なく相当粗度  $ks$  が横ばいとなることがわかる。なお、図-3 には示していないが、 $C=12\text{cm}$  では  $C=6\text{cm}$  と同様の傾向を示すが、 $C=6\text{cm}$  に比べて水深増加に対する相当粗度  $ks$  の減少が緩やかである。なお、図-3 には  $h=ks$  の関係を破線で画しているが、相当粗度が水深より大きくなる現象のケースが確認でき、対数則適用限界と併せて、より適切な抵抗則を検討していく必要があることを示唆している。

#### 4. 今後の課題

本研究によって、相当粗度  $ks$  は従来知られている粗度間隔だけではなく、フルード数  $Fr$  あるいは、路床勾配  $I_0$  に影響を受けて変化することがわかった。今後は粗度要素周辺の流れ場を把握し、適切な抵抗則を検討していく予定である。

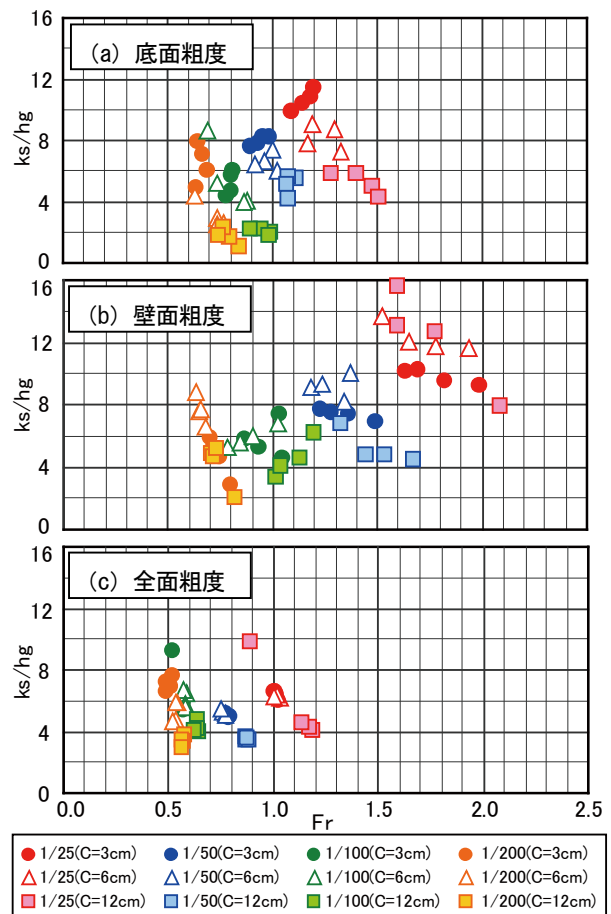


図-2 粗度配置毎にみた  $Fr$  数と相当粗度の関係

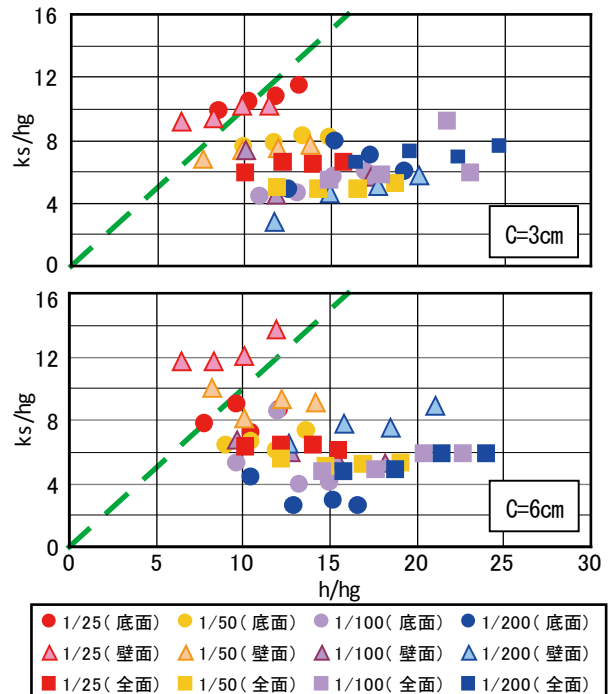


図-3 粗度間隔別の水深と相当粗度の関係

#### 【参考文献】

- 1) 足立昭平：固定床河川模型水路の人工粗度に関する研究，pp.2.1～2.66，1961
- 2) 河村三郎：魚類生息環境の水理学 (財)リバーフロント整備センター，pp.1～21，2003