

配置の相違に伴う棧型粗度の水理特性変化に関する実験

岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 ○岩田 啓夢 学生会員 松岡俊一郎
大日コンサルタント(株) 正会員 原田 守啓 岐阜大学 フェロー会員 藤田裕一郎

1. 研究の背景・目的

日本には山間部を流れる急流河川が多く存在し、そのような河川では単位質量当たりの流水エネルギーが大きいため、湾曲部の護岸や落差工・護床工周辺のように、運動量が急激に変化する箇所では容易に被災した見られる事例が少なくない。この流水エネルギーを減勢する方法の一つとして、護岸粗度を大きくすることが挙げられるが、急流条件下に限らずそのエネルギー減勢効果は系統的には明確にされてきていない。この点に着目し、急流条件を含め、棧型粗度の抵抗特性に関する実験研究¹⁾を進めてきているが、それによって底面粗度と側壁粗度とでは流れの抵抗特性に及ぼす効果に大きな相違のあることが明らかになった。ここでは、その原因を解明するため、底面、側壁粗度の場合について横断面内の流速分布を詳細に測定し、抵抗特性が相違する理由について加えた検討結果を述べる。

2. 実験方法

実験は、図-1に模式的に示したように、延長 $L=800\text{cm}$ 、深さ $H=20\text{cm}$ 、幅 $B=20\text{cm}$ の亚克力製可変勾配水路の底面または側壁に棧型粗度として 0.5cm 角の亚克力製角材を等間隔に設置して、インバーターによって流量制御できるポンプで循環給水して実施した。

実験条件は、粗度の配置位置を底面・側壁の2種類、粗度間隔 C は 3cm のみ、路床勾配は $1/25$ と $1/400$ の2種、これらの組合せに対して2段階の流量 8.0L/s 、 15.6L/s を与えた計8ケースであり、各ケースにつき、プロペラ流速計を用いて上流から 3.5m 付近の粗度要素の中心断面とそこから上流に 1cm 間隔で設定した3断面において流速分布を計測した。1断面における計測点数は水深によって異なるが、横断方向に 0.5cm 、縦断方向に $0.5\sim 1.5\text{cm}$ 間隔の計222~741箇所で、サンプリング周波数 50Hz 、データ数1024の計測を行った。

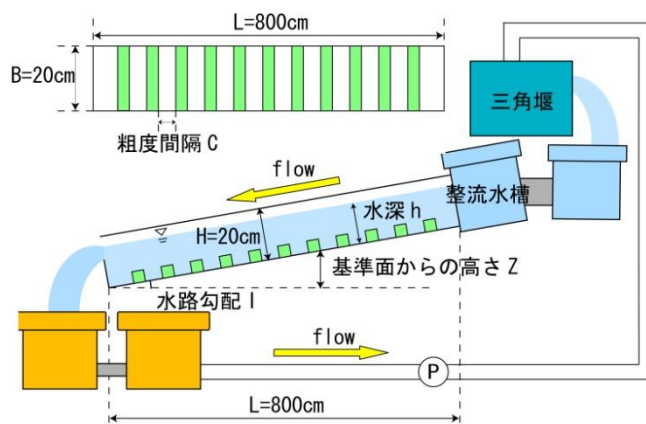


図-1 実験水路の概要

3. 実験の結果・考察

粗度によるエネルギー減勢効果を全体的な抵抗特性として評価するため、3断面の流速分布を平均した等流速線図を作成し、鉛直方向や水平方向の流速分布についても詳しく検討した。

それらの結果、図-2に示すとおり、全てのケースにおいて断面内の流速分布に歪みが見られ、最大流速点は中心軸からずれている場合が多かったが、その状況はケースごとに異なっていた。

昨年度¹⁾は4ケース全てで左側壁寄りに最大流速点のある流速分布が見られたため、水路流入端を改良して左右対称の流れを目指したが、偏りが生じた。しかしながら、今回の偏りは一方向性ではないので、水路の歪みのみの問題でなく、流れ自体の空間的なゆらぎの現れとも解釈できる。すなわち、水路方向に異なったパターンの渦（二次流）が発生していて、主流速の分布をゆがませていることが主な原因だと推察される。

従来から幅水深比が小さい場合には最大流速点は水面付近よりも下に現れることが知られており、今回計測したケースでもほぼ全てで最大流速点の潜り込みが確認され、大なり小なり二次流が存在しているが、鉛直方向と水平方向の流速分布について乱流対数則が成立している

キーワード 棧型粗度 抵抗特性 急流中小河川 せん断力分布 対数則

連絡先 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸1-1 E-mail:p3121030@edu.gifu-u.ac.jp

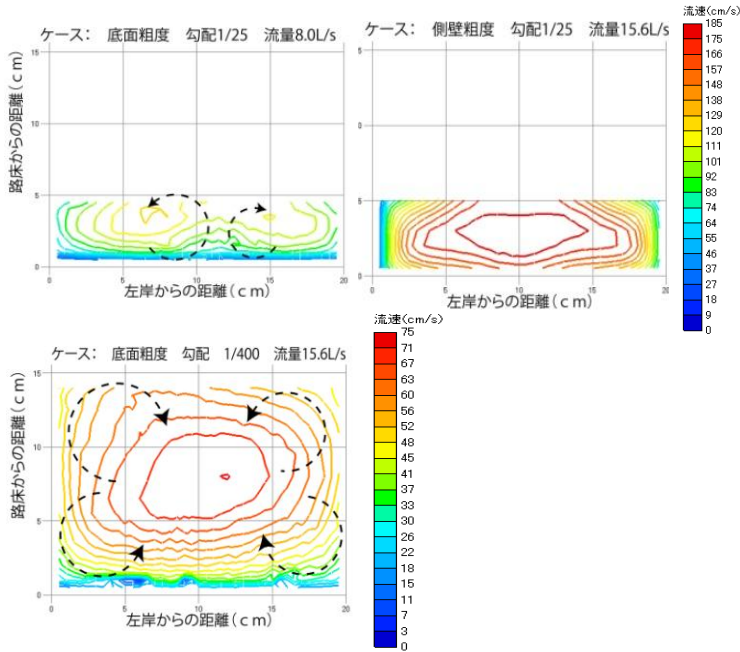


図-2 平均断面流速と二次流の予想図

領域がどの程度あるかを検討したところ、ケースにもよるが図-3のように底面または壁面からの距離がともに3～4.5 cmほどの範囲で成立していると推測された。

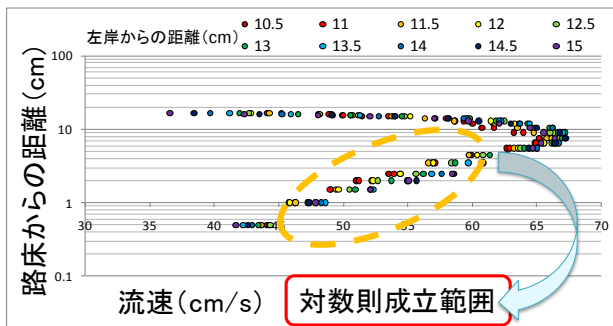


図-3 流速の鉛直方向分布

そこで、その領域について、対数則の(1)、(2)式の左辺と右辺に測定結果を代入し、その残差平方和が最小になるように摩擦速度 u_* を求め、潤辺に作用しているせん断力分布を推定した。

$$\text{滑面: } \frac{u}{u_*} = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_* z}{\nu} \dots (1)$$

$$\text{粗面: } \frac{u}{u_*} = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{z}{ks} \dots (2)$$

ここに、 z : 滑面・粗面床からの距離、 u : z における時間平均流速、 ν : 水の動粘性係数、 ks : 相当砂粒粗度である。

図-4は潤辺を展開して算定結果を示したものの一例であって、グラフ中央が底面、左右が、それぞれ左岸側壁面、右岸側壁面にかかるせん断力を表す。縦軸は τ_s を全平均値 $\bar{\tau}_s$ で割り無次元化して表示している。

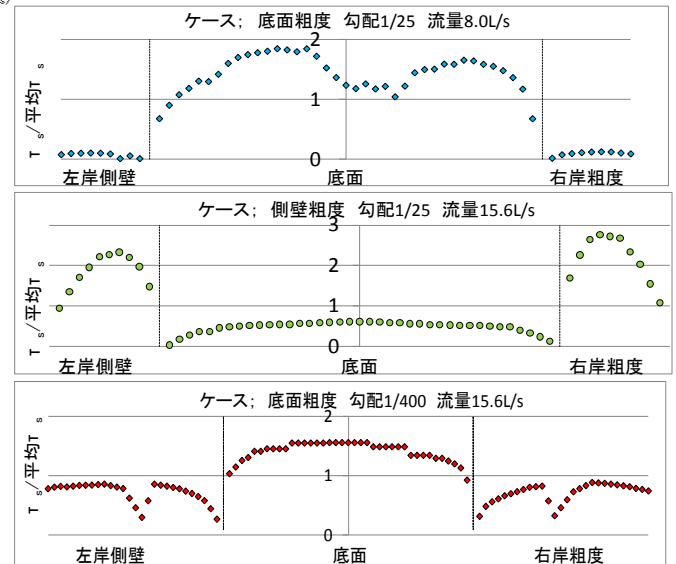


図-4 $\tau_s / \bar{\tau}_s$ 分布

図-4 上段では底面において、図-4 下段のケースでは側壁において、せん断力分布が二つ山になっており、二次流(図-2 破線)の影響と推測できる。

また断面全体におけるせん断力を τ_a ($\tau_a = \rho g R I$ g : 重力加速度、 R : 径深、 I : エネルギー勾配、 ρ : 水の密度)とし、 $\bar{\tau}_s$ との比較をしたところ、7ケースで τ_a より $\bar{\tau}_s$ が大きい傾向が見られ、壁面粗度、勾配 1/400、流量 15.6 L/s のケースのみ逆の結果になった。ケースによるが 10～30%ほどの差が生じていた。

4. まとめ

粗度要素の配置に伴う水理抵抗特性の相違の理由を明らかにするために、水路断面内の詳細な流速分布の計測を実施した。計測結果について、対数則が成立している範囲を検討し、その範囲に対数則を適用して潤辺に作用するせん断力の分布を推定した。

その結果、粗度の配置の相違により側壁、底面に作用するせん断力分布に異なる特徴が見られ、それは、二次流のパターンに対応していることが推定された。

しかしながら、対数則から導出した $\bar{\tau}_s$ と τ_a の間に差が見られることから、対数則の適用領域の設定方法についてはより一層の検討が必要であると考えている。今後、全潤辺に粗度を配置したケースについても実験を行い、対数則の適用範囲の妥当性について検討する。

参考文献

- 1) 松岡俊一郎: 流れと配置の相違に伴う栈型粗度の抵抗特性の変化に関する実験的研究, 岐阜大学卒業論文, 2010年2月
- 2) 原田守啓: 断面河道における護岸粗度の抵抗特性と中小急流河の護岸設計に関する一考察, 水工論文集, 第54巻, 2010年