

複合配置時の栈型粗度の水理特性に関する実験的研究

Experimental study of hydraulic characteristics of striproughness on compound distribution

北海道大学工学部
北海道大学大学院
北海道大学大学院

○学 生 員 石塚 文彦 (Fumihiko Ishiduka)
学 生 員 丹羽 雄一郎 (Yuuitirou Miwa)
フェロー会員 黒木 幹男 (Mikio Kuroki)

1. はじめに

近年、潤いや安らぎを求める風潮が高まり、多自然型河川づくりが進められてきた。河川に生息する魚類のほとんどは、日常的に遡上、下降をしており、こうした魚類にとって、堰、床止め、ダム等の河川横断構造物は移動の障害物となりうる。このような魚類の生息環境の改善に対する期待が高まる中、多くの河川に魚道が設置されてきた。しかしながら、実際に魚道を設置しても、様々な問題が発生してしまう場合があり、我々が本研究を始めるにあたってもっとも問題視したことは、魚が魚道の入り口へうまく誘導されずに遡上不可能地点で滞留してしまうことである。他にも、従来多く見られる水路タイプの幅狭魚道では、その魚道を遡上可能な対象魚種が限られたり、流木やゴミなどがひっかかり推積する等の問題が考えられる。これらの問題は、魚道の設置地点各々の流況に応じて議論の必要があるだろうが、我々はひとつの改善策として全断面に数種の粗度を複合的に設けた全断面魚道について研究している。

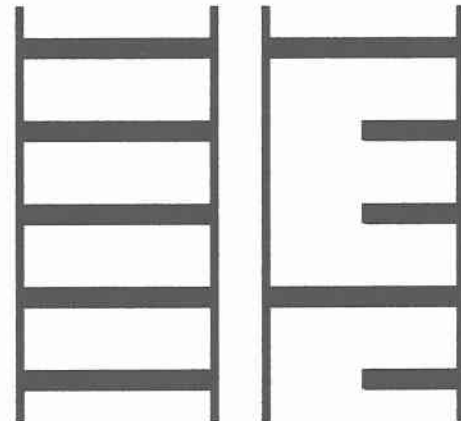
ここでは、魚道の流速に大きく影響を与えるものとして栈粗度の効果に着目し、全断面魚道へ応用することを念頭におき、実験水路を用いて様々な粗度間隔を組み合わせた模型実験を行った。

2. 実験装置と方法

本実験に用いた水路は、鋼製ペンキ塗装の幅 30cm、深さ 30 cm、長さ 10 cm の可変勾配ガラス水路で、その底面上に 1.5 cm×1.5cm 断面の木製の正方形栈粗度を設けた。栈粗度の配置の仕方については図-1 に示すように、縦断方向に対して一定間隔に敷き並べる単一間隔の場合と、間隔を横断的に2種に分ける複合間隔の場合の2パターンであり、どちらの場合も流下方向に対して直角に配置した。実験条件は表-1 に示すように、粗度指数 S/k (栈粗度間隔/ 栈粗度の高さ) 10通り、流量 Q (m^3/s) 3通り、勾配 I 4通りであり、それぞれを組み合わせ実験を行った。流量の測定は実験水路のベンチュリー管に設置されたマンメーターを用いて行った。

単一粗度実験の場合はこれらの条件をそれぞれ組み合わせ、縦断方向、横断方向に水深・流速を測定した。複合粗度実験の場合は前述したように水路の左右で S/k の異なる栈粗度配置にして同様の測定を行った。データの測定は、水深についてはポイントゲージを用い、流速については小型プロペラ流速計を用いた。

図-1 栈粗度の配置図



(上; 単一配置、下; 複合配置)

表-1 実験条件

S/k	4, 8, 10, 12, 14, 20, 30, 40, 50, ∞ (粗度なし)
Q	0.002, 0.005, 0.008, (m^3/s)
I	1/48.4, 1/94.5, 1/173, 1/348

3. 実験結果

3-1 栈粗面の低坑則

本研究では、実験によって得られた結果は理論平均流速の対数則に従うと考え、粗度の状態を M という形で表した式 (1) を用いることとする。

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{k} \ln(MR) \quad (1)$$

(U_m : 流速、 U_* : 摩擦速度、 k : カルマン定数、 R : 径深)

を用いることにする。

ここで栈粗度を取り付けない状態での係数 M を M_0 とし、式 (2) より

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{k} \ln(M_0 R) \quad (2)$$

これを变形して

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{k} \ln(M_0 R \cdot \frac{M}{M_0}) = \frac{1}{k} \ln(M_0 R) + \frac{1}{k} \ln(\frac{M}{M_0}) \quad (3)$$

よって、式 (2) より、式 (3) の第2項目が粗度の効

果を表すと考えられる

3-2 単一配置の場合の実験結果

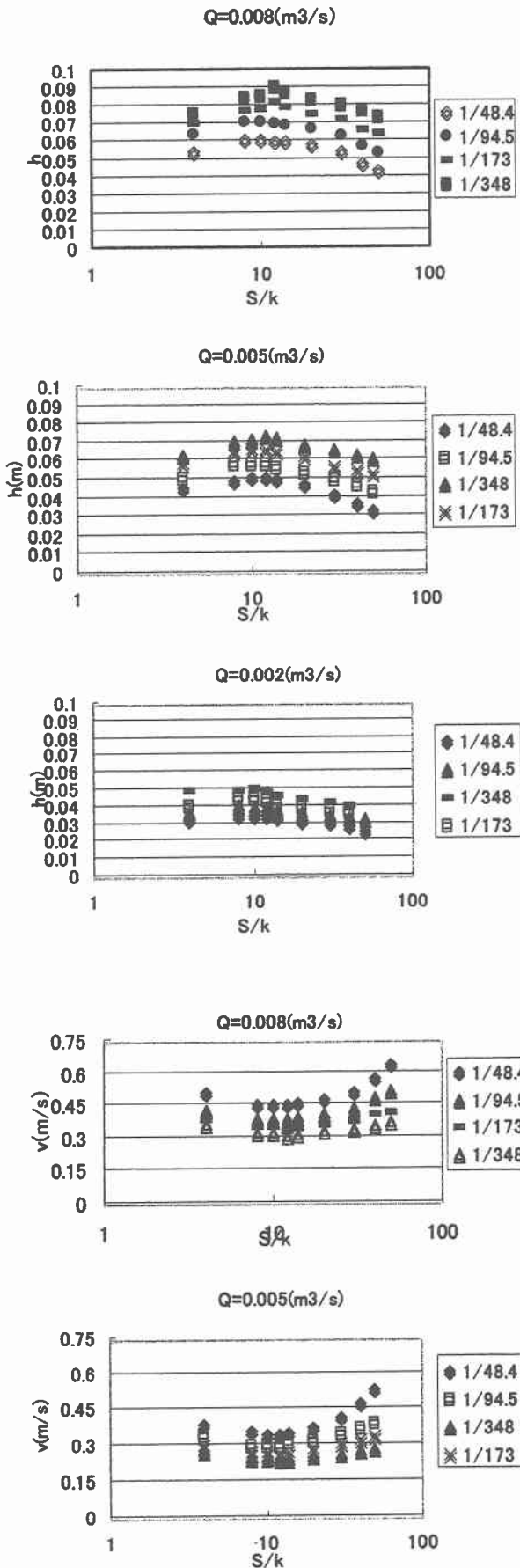


図-2 S/k と平均流速、平均水深の関係

前述のような方法で水深、流速を測定し、その結果から平均水深、平均流速を求めた。それらの値より、図-2のような結果が得られた。これらの図より、従来行われてきた実験結果と同様に S/k が 10 近傍で粗度効果が最も大きくなると考えられる。

また、流量の大きさを 3 種類変えてもその結果に変化は見られなかった。

次に、式 (3) より、粗度の効果を M/M_0 として S/k との関係を表したものを図-3に示す。

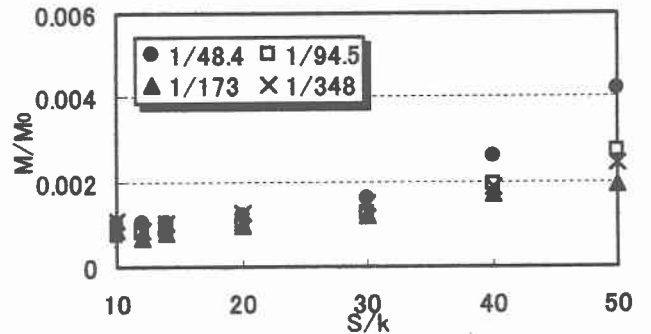
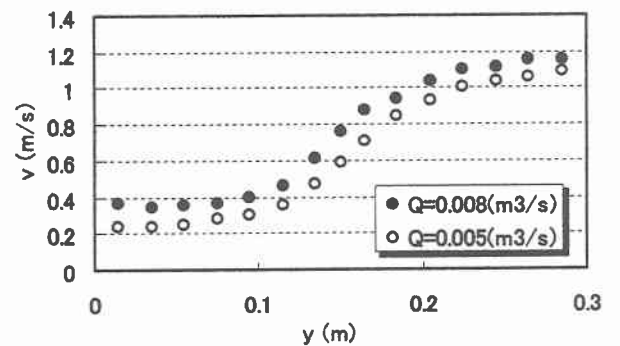


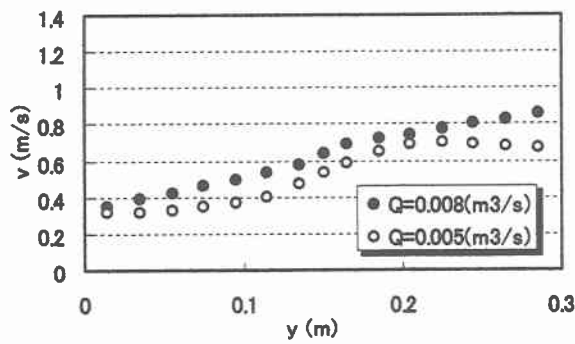
図-3 S/k と M/M_0 の関係

3-3 複合配置の場合の実験結果

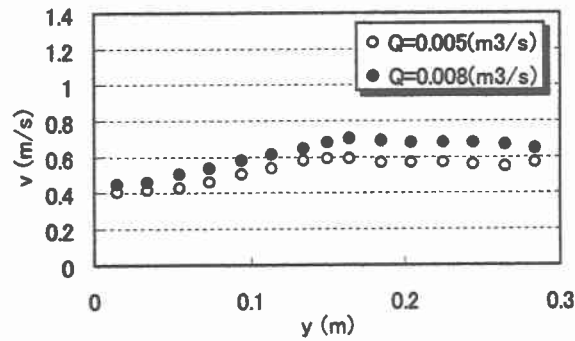
先で述べたように、左右で S/k が異なる積粗度配置にして水深、流速を測定した。 $Q=0.008, 0.005(m^3/s)$ で、10&20、10&30、10&40、10& ∞ (粗度なし)の組み合わせで行った 8 パターンについて報告する。



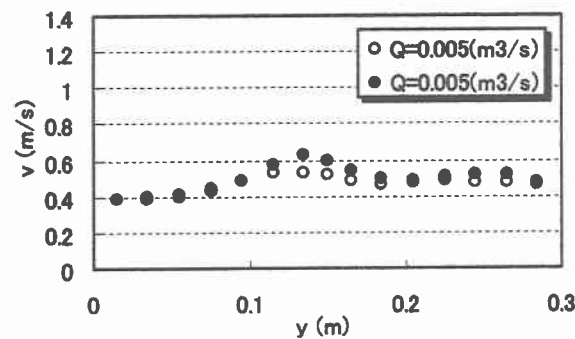
(a)10& ∞ の横断方向の流速分布



(b) 10&40 の横断方向の流速分布

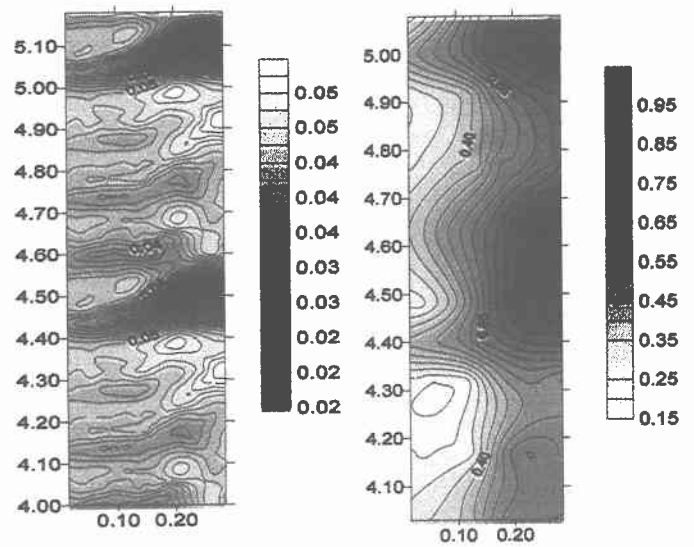


(c) 10&30 の横断方向の流速分布

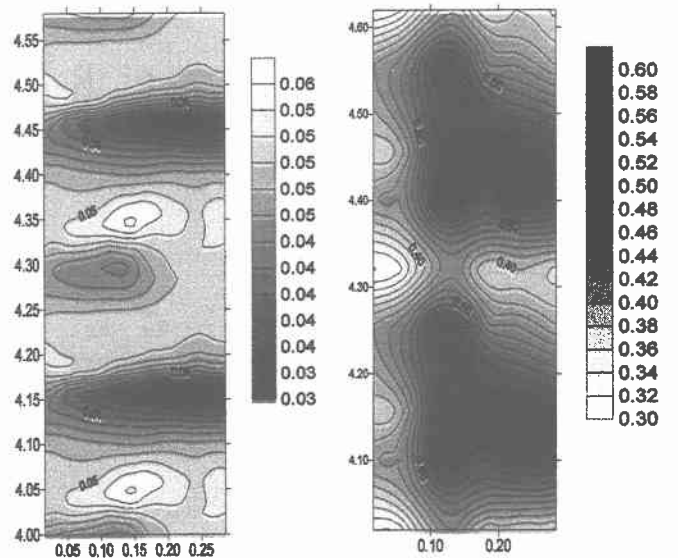


(d) 10&20 の横断方向の流速分布

図 - 4 複合粗度配置での横断方向の流速分布



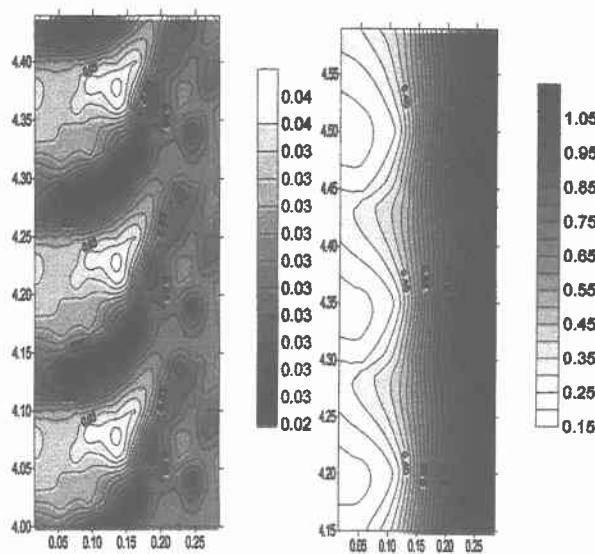
(b) 10&40 の水深、流速



(c) 10&20 の水深、流速

図-5 複合配置水路の水深(左)、流速(右)のコンター図

図-3から S/k の値が 10 と 20 とでは、粗度の効果に大きな差はないと考えられる。図-4の流速分布図をみても、 S/k 10 の区間と S/k 20 の区間とで平均流速に大きな差は見られない。10&30, 10&40, 10& ∞ と、粗度の効果に差が出る組み合わせにすると、横断方向の流速分布に大きな変化が見られる。そして、10&20の実験では、ほぼ水路の中心で、平均流速が最大であったが、粗度効果の差が大きくなるにつれて、そのピークの位置が粗度効果が小さい方へ移動していく傾向が図より見られた。図-5のコンター図より、さらに細かく流速分布を見ても、先で述べた傾向が確認できた。



(a)10& ∞ の水深、流速

4. 考察

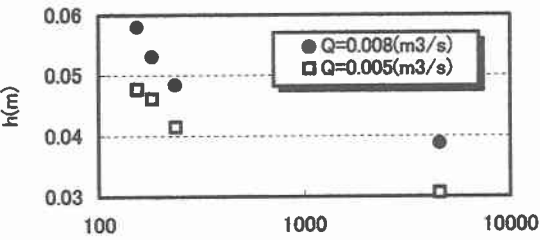


図-6 複合 $M=(M1M2)^{(1/2)}$

複合粗度の場合

Q(m³/s)	0.008	勾配I	0.020661
s/k	M1	M2	合成 M
10 & ∞	139	148800	4547.879
10 & 40	139	405	237.2657
10 & 20	139	172	154.6221
10 & 30	139	240	182.6472

単一粗度の場合

Q(m³/s)	0.008	勾配I	0.020661
s/k	M	h	V
10	139	0.06	0.444444
20	172	0.057	0.467836
30	240	0.053	0.503145
40	405	0.047	0.567376
∞	148800	0.0216	1.234568

Q(m³/s)	0.005	勾配I	0.020661
s/k	M	h	V
10	139	0.0502	0.332005
20	172	0.0461	0.361533
30	240	0.041	0.406504
40	405	0.0355	0.469484
∞	148800	0.0161	1.035197

	H	V1	V2	V
I	0.0388	0.33	1.07	0.7
II	0.0484	0.392	0.739	0.5655
III	0.058	0.424	0.548	0.486
IV	0.0531	0.556	0.676	0.6164

	h	V1	V2	V
I	0.0306	0.245	0.954	0.5995
II	0.0415	0.362	0.654	0.508
III	0.0478	0.401	0.475	0.438
IV	0.0461	0.488	0.568	0.5283

I : 10 & ∞ II : 10 & 40 III : 10 & 20 IV : 10 & 30

表-2 実験結果のまとめ

表-2は今回の実験より得られたデータをまとめたものである。まず、合成M値について説明する。複合粗度の場合で一方の粗度区間の平均流速をV1,粗度状態をM1,他方の平均流速をV2,粗度状態をM2とすると、

$$Q=bh(V1+V2)$$

これを式(1)に代入すると、

$$M=\sqrt{M1M2}$$

となる。

今回の実験では、異なるS/kで粗度を複合配置しても水路の左右で、平均水深はほとんど変わらなかった。しかし、左右の平均流速は、前述したように、粗度の差が大きくなるにつれて、変化が大きくなり、平均流速のピークが粗度効果の低いほうへ変化していることから、流量配分が水路の左右で異なっていて、粗度効果の低いほうに流れが集中していると考えられる。さらに、S/k10のデータに注目すると、単一配置の実験で測定された平均流速よりも、S/k10より粗度効果の低いものと複合配置した場合のS/k10区間の平均流速のほうが遅かった。S/k10の単一配置でのM値のほうに、これと粗度効果の低いものと複合配置した場合の合成M値より当然小さいが、このことから、一概に、単一配置のほうが粗度効果が高いと言い得ないと考えられる。

5. おわりに

今回の実験では、S/Kが異なる複合粗度配置にして、流れに表れる傾向を検証した。これからは、より複雑な粗度配置にして、その流れの傾向を調べ、さらには流れを予測するための計算方法を研究し全断面魚道の設計に応用していく。

参考文献

- 1) 足立昭平:開水路における棧型人工粗度の実験的研究、京大防災研究所年報、第3号、1959。
- 2) 磯部龍太郎、丹羽雄一郎、黒木幹男、板倉忠興：開水路における棧型粗度の抵抗特性と魚道への適用に関する研究、土木学会北海道支部論文集、第57号、2001。
- 3) 山岡 勲：河床上の矩形粗度が水路の抵抗に及ぼす効果の研究、北海道開発局土木試験所報告、第27号、1953。