

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

Study on the resistance characteristics of strip roughness in open-channel and the application of it to fish-ways

北海道大学大学院 学生員 丹羽雄一郎 (Yuichiro Niwa)

北海道大学大学院 ○学生員 磯部龍太郎 (Ryutaro Isobe)

北海道大学大学院 フェロー 黒木 幹男 (Mikio Kuroki)

北海道大学大学院 フェロー 板倉 忠興 (Tadaoki Itakura)

1. はじめに

実在河川に設置された魚道について、その魚道内における流速を調べるために流量から流速を求めるという方法を用いる。魚道内の流速の大小に影響するものとして粗度工の効果に着目する。実在河川において流量、水深、勾配を測定することにより粗度工の効果を求めるのは困難であるため、実験水路を用いての模型実験を行った。流量、勾配は魚道を設計する際に与えられる条件なので、流量と勾配に関しては任意のものを考えておき、それらによる粗度効果への影響を求め、実際の河川への適用について考慮した。人工粗度の形式は多種多様であるが、本実験では最も単純な流れを横切って一定間隔に棧を並べる棧型粗度を用いた。

2. 実験装置とその方法

本実験には、幅 30cm、深さ 30cm、長さ 10m の可変勾配ガラス水路を用い、水路床はコンクリートにペンキを塗ったもので、その上に正方形棧粗度を図 1 のように設けた。人工粗度として用いた棧粗度は 1.5×1.5cm 断面の木材で、流れと直角に、等間隔に敷き並べた。粗度指数 S/k (棧粗度間隔/粗度高さ)、流量 Q 、勾配 I については下表のような各条件を組み合わせ、計 96 通りの実験を行った。流量の測定はベンチュリー管に設置されたマノメーターにより計測を行った。水深の基点については足立の研究に基づき図 2 により補正を施し、実験より得られたデータを整理し検討することとする。平均水深については各実測値の和を計測数で除したものとす。図 3 は例として、 $S/k=10$ 、 $I=1/173$ 、 $Q=8.0\text{l/s}$ の時の水面形を表したものであり、横軸は上流端からの距離を表している。

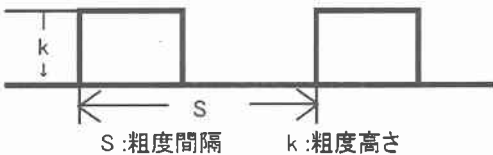


図-1 棧粗度の配置図

表-1 各実験条件

流量 Q	2.0		5.0		8.0	
勾配 I	1/48.4		1/94.5		1/348	
S/k	4	8	10	12	14	20
					50	100

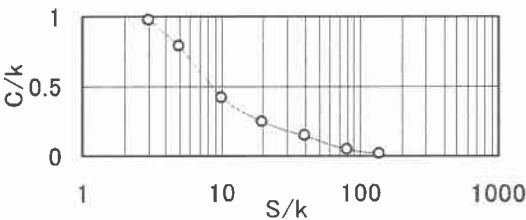


図-2 底面補正係数 C

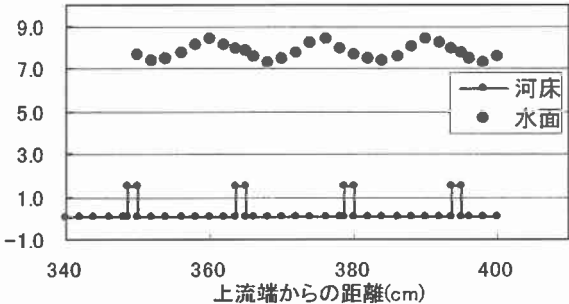


図-3 $S/k=10$, $I=1/173$, $Q=8.0\text{l/s}$

3. 実験結果

3-1 棧粗面の抵抗則

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、次式 (1) を用いることとする。

(U_m : 平均流速 U : 摩擦速度 κ : カルマン定数 R : 径深)

$$\frac{U_m}{U} = \frac{1}{\kappa} \ln(MR) \quad \dots\dots (1)$$

棧粗度を取り付けない状態での係数 M を M_0 とし式

(1) を変形し、次式 (2) を求める。

$$\frac{U_m}{U} = \frac{1}{\kappa} \ln(M_0 R) + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{M}{M_0}\right) \quad \dots\dots (2)$$

式 (1) より式 (2) の第 2 項目は粗度の効果を表していることがわかる。

3-2 粗度の効果について

1 つの例として、 $Q=5.0\text{l/s}$ について水深 H と S/k の関係を示すと図 4 の様になる。この図より、従来行われてきた実験による結果と同様に $S/k=10$ 近傍で粗度効果が最も大きくなることが確認できた。 $Q=8.0\text{l/s}$ 、 $Q=2.0\text{l/s}$ においても同様の結果が得られた。

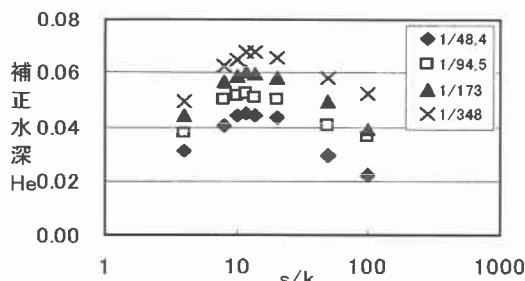


図-4 S/k と H(5.0l/s)

3-3 M/M₀の評価について

粗度の効果を表している式(2)の第2項におけるM/M₀について評価する。従来の実験のように S/k=10 近傍で粗度の効果が最も高いことがわかったので、今回の実験においては S/k=8~14 における値について考える。

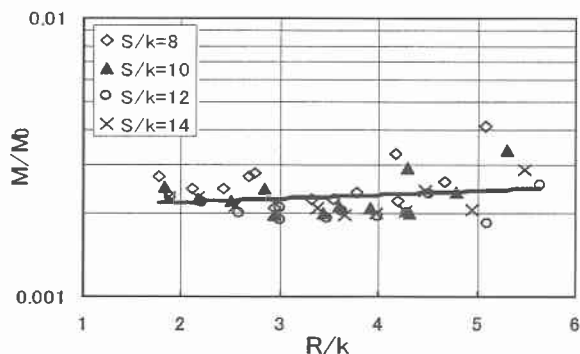


図-5 M/M₀-R/k の実測値

図5は R/k に対する 実験値をプロットしたものであるが、S/k=8~14 において違いが見られなかったため、一本の近似直線を引いた。この近似直線を式であらわしたものが式(3)である。

$$M/M_0 = 0.002 \exp(0.352 R/k) \quad \dots\dots (3)$$

この式を用いることによって、実際の魚道における粗度工の高さを算出して、魚道の設計へと応用していく。

4. 魚道の設計への適用

魚道を設計する際に、カトボディアスの遊泳力-持続時間曲線を用いて考えていく。魚種には様々なものがあるが、河川遡上を考える上では遊泳型により、サケのような一般魚と、ウナギのような全身をくねらせて泳ぐ魚の2種にのみ分類する。本研究では前者の一般魚を対象として解析する。式(4)はカトボディアスによる一般魚の遊泳速度を表す式であり、これを用いて遊泳速度を求める。これと魚の遊泳持続時間、魚道長を考慮して相対速度を求め、魚道内の目標流速を決定し、そのときの水深を目標水深とする。不等流計算により魚道内の水深の変化を調べ、その最小水深が目標水深に到達した時の Manning の粗度係数 n を設計する魚道の n 値として決定する。つぎに、式(1)を M について整理して得られる式(5)と、求めた n 値を用いて M を決定する。M₀ については魚道の材料により決まる n 値と等流水深から求める。求めた M、M₀ の各値を用いて、式(3)よ

り粗度工の高さを算出する。

$$U = 1.295 \sqrt{gl} \left(t \sqrt{\frac{g}{l}} \right)^{-0.124} \quad (\text{一般魚}) \quad \dots\dots (4)$$

(U: 魚の遊泳速度 l: 魚の体長 t: 遊泳持続時間)

$$M = \exp \left(\frac{R^{1/6} \kappa}{n \sqrt{g}} \right) R^{-1} \quad \dots\dots (5)$$

5. 実河川における計算例

魚の体長を 0.5m と仮定し、豊平川の 5 号床止の流量、勾配を参考に計算する。5 号床止における各水理条件、魚道の形状は下表に示す。

表-2 5 号床止の水理条件

単位幅 流量 q(m ³ /s)	0.329
勾配 I	1/20(=0.05)
魚道長 L(m)	18.2
魚道の材質	コンクリート

これらの条件用い、前述の計算を行うと以下のような値が得られる。

表-3 計算結果

魚道内の 目標水深 h(cm)	33.0
必要なn値	0.075
M(m ⁻¹)	18.6
コンクリートのn値	0.014
M ₀ (m ⁻¹)	5170

式(3)を k について整理し、各値を代入し、粗度高さを決定する。この計算例では k=12cm が得られた。さらに適用する S/k を定めることにより、効果的な粗度間隔 S を決定する。

6. おわりに

河川には多くの横断構造物が作られ、魚類が自由に遡上できる範囲は限られてきており魚類にとっては生息しにくい環境になってきた。しかし、近年ではこうした河川への魚道の設置は大変注目されており、今後の魚類遡上環境の回復に期待するとともに本論文が、多少なりともこれに役立てば幸いである。

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、昭和34年12月
- 2) 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、昭和28年