

開水路における棧粗度の抵抗特性とその魚道の設計への適用

北海道大学大学院 ○学 生 員 丹羽 雄一郎
 北海道大学大学院 学 生 員 磯部 龍太郎
 北海道大学大学院 フェロー会員 黒木 幹男
 北海道大学大学院 フェロー会員 板倉 忠興

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し、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、それらに関しては任意のものを考えておき、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 については表 1 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ン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¹⁾に基づき補正を施し、実験より得られたデータを整理し検討することとする。

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

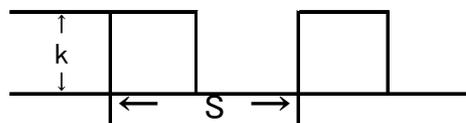


図-1 棧粗度の配置図

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。

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(MR) \quad \dots\dots\dots (1) \quad \frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(M_0R) + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{M}{M_0}\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(Um: 平均流速、U*: 摩擦速度、κ: カルマン定数、R: 径深)

棧粗度を取り付けない状態での係数 M を Mo とし式 (1) を変形したものが式 (2) である。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、図 2 に Q=5.0l/s について水深 H と S/k の関係を示す。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=8.0l/s、Q=2.0l/s についても同様の結果が得られた。

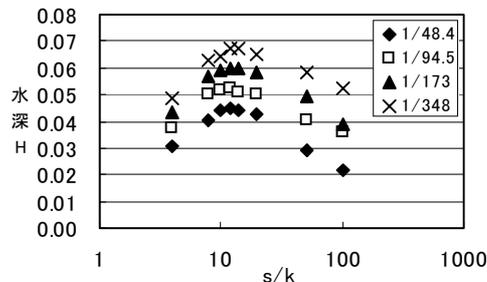


図-2 S/k と H (Q=5.0l/s)

キーワード: 魚道 棧粗度 抵抗則

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目北海道大学大学院工学研究科 t e l 0 1 1 7 0 6 6 1 9 0

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3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。

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

この式を用い、魚道の設計へと応用していく。

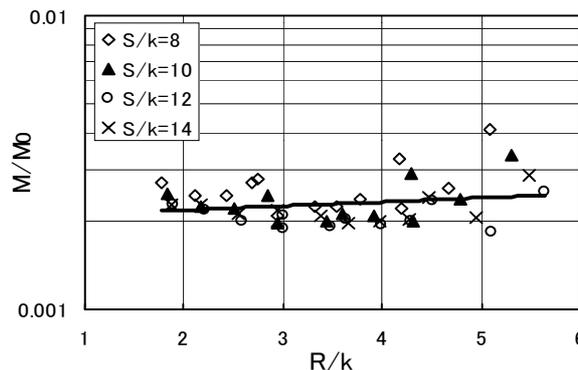


図-3 M/M₀ - R/kの実測値

4. 魚道の設計への適用

魚道を設計する際に、カトポディアスの遊泳力-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)はカトポ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ときの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。

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

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

(U: 魚の遊泳速度 l: 魚の体長 t: 遊泳持続時間)

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、魚道の形状を表2に、計算結果を表3に示す。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。

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

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

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となってきた。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 S34. 12