

魚道における棧型粗度の抵抗特性に関する研究

北海道大学工学部	学生員	磯部 龍太郎
北海道大学工学部	学生員	野村 俊介
北海道大学工学部	フェロ-会員	黒木 幹男
北海道大学工学部	フェロ-会員	板倉 忠興

1. はじめに

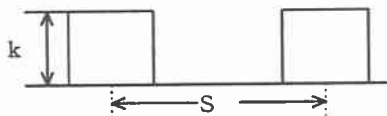
近年、潤いや安らぎ、ゆとりといった言葉で表現されるような、真に豊かな生活が求められ、多自然型河川づくりが進められている。なかでも魚類に関してはその生息環境の改善に関する期待は高い。河川にすむ魚はほとんどが河川を移動して生活しているため、河川横断構造物はその移動を阻害しているということとなり、そのため全国で魚道の新設が進められている。魚道の役割としては、魚の遡上の手助けになるように、落差の大きい河川構造物においては、それをスロープ状や階段状にする。また、流速の大きい構造物においては、その流速を抑えるといったものがある。

ここでは、魚道内の流速について、水理条件の変化によってどのように影響を受けるか、また魚道の工夫として流速を抑えるためにはどういったものがあるかについて考える。今回、流速に大きく作用するものとして、粗度工の効果を考え、実験水路を用いての模型実験をおこなった。

2. 目的

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。実際においてその効果を流速、水深、勾配を測定しその結果から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ることを目的とする。人工粗度の形式は多種多様であるが、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。

3. 実験装置とその方法



S : 粗度間隔 k : 粗度高さ

図-1 棧粗度の配置図

本実験に用いた水路は、鋼製ペンキ塗装の幅 30cm、深さ 30cm、長さ 10 m の可変勾配ガラス水路で、水路床は発泡スチロールを敷き詰めたもので、その上に正方形棧粗度を設けた。勾配は 1/50、1/100、1/200、1/500 の 4 通りである。流量の測定はベンチュリー管に設置された、マノメータ中の水位を計測し、実験に用いた流量は 8.5 l/s、5.0 l/s、2.3 l/s の 3 通りである。水位の測定はポイントゲージを用い、水深の基点は後に述べるように粗度要素の間隔に応じて定めた。人工粗度とし

Study on the reliability of resistance characteristics in fish-ways with strip roughness

by Ryuutarou ISOBE, Syunsuke NOMURA, Mikio KUROKI and Tadaoki ITAKURA

て採用した正方形棧粗度は1.5×1.5cm断面の木材で、流れに直角に連続にして、等間隔に敷き並べ粗度指数 S/k (棧粗度間隔/粗度高さ) を 2, 4, 8, 10, 12, 14, 20 および 50, 100 の 9 通りで考え、計 108 通りの実験を行った。

棧型粗度を取り付ける前に、実験水路の底面は $(U_* k_s) / \nu > 70$, $\nu = 0.0101(\text{cm}^2/\text{s})$: 動粘性係数、となるので粗面となり、理論平均流速公式は粗面水路の場合を適用し、

$$\frac{U_m}{U_*} = 6.0 + \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{R}{k_s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

U_m : 平均流速、 $U_* = (gRI)^{1/2}$ (摩擦速度)、 κ : カルマン係数 (清水とみなし 0.4 とする)、 R : 径深 k_s : 相当粗度

粗度要素を取り付けていないときの水深の基点は水路床を基点とする。

4. 実験結果

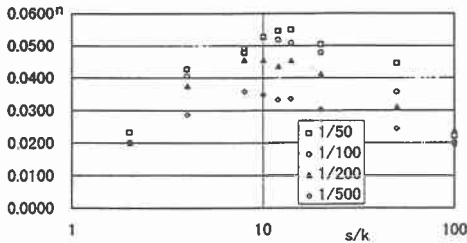


図-2 $S/k - n$ 値の実験値

前述のような方法で水深を測定しその結果から平均水深を求め、マンニング式を用いて平均流速、 n 値、径深を求めた。それらの値より、図-2 のような結果が得られた。このことから従来行われてきた実験による結果と同様にのように 10 近傍で粗度効果、ここでは n 値が最も大きくなるというように確認することができた。

5. 実験結果の考察

5-1) 足立氏の研究との比較

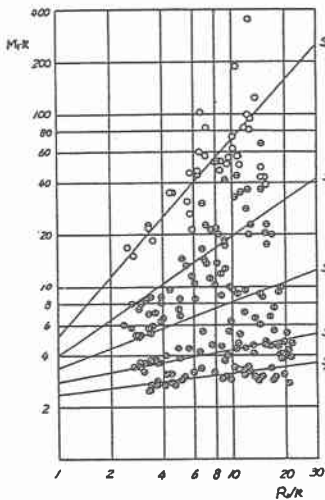


図-3 $M_1 k - R_1/k$ の関係(足立)

M_1 : 底面の粗さに関する係数、 R_1 : 底面に関する径深

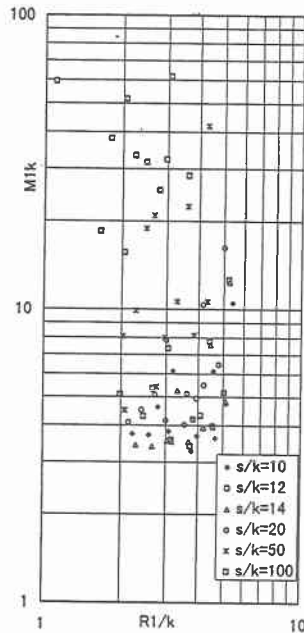


図-4 $M_1 k - R_1/k$ の関係

足立氏の研究では、図-3を示すことで棧粗度の効果を表したが、これと同様の方法で今回の実験の整理を行うと図-4のような結果が得られる。しかし、この二つの図からは異なった結果が得られることとなった。たとえば図-3からは $R_1/k = 4$ で $M_1 k$ が最も大きくなる $S/k = 160$ でも $M_1 k$ は 40 以下であるのに対し、図-4では $R_1/k = 4$ で $S/k = 100$ で $M_1 k$ が 100 に達するため、足立氏の方法では今回の実験データの整理には適さないと考えた。

そこで、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、式(1)と

$$\frac{Um}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \log_e MR \quad \dots\dots\dots (2)$$

を用いることにする。

5-(2) 棧粗面における水深の基点

棧粗度を並べての水深の基点は、常に水路床を起点にしたり、粗度要素の頂面を基点にするなどの考え方が

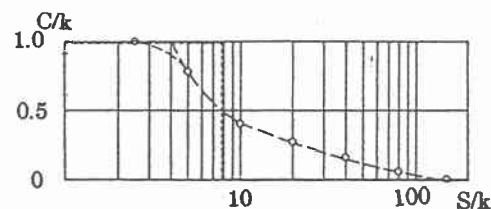


図-5 底面補正係数 C

あるが、その方法は従来全く研究者の主観に任されているようである。そこで、本研究では足立の研究に基づき水深の基点の補正を行い、実験より得られたデータを整理し検討することとする。その補正の方法は図-5より読みとることのできるCを S/k ごとに求め、水路床よりCだけ上方を水深の基点としてデータの整理をすすめる。

5-(3) 棧粗面の抵抗則

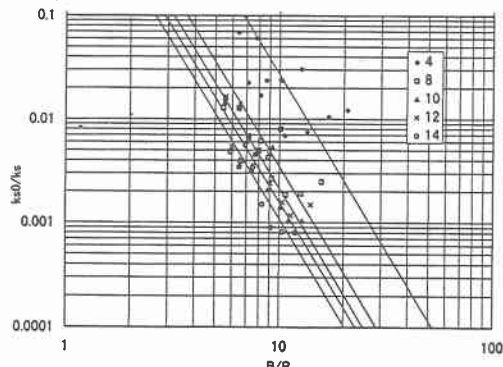


図-6 B/R と ks_0/ks の関係 ($S/k=4\sim 14$)

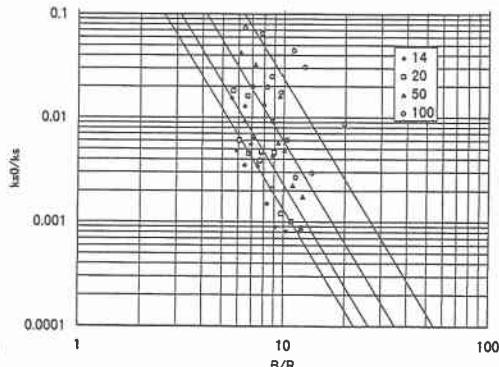


図-7 B/R と ks_0/ks の関係 ($S/k=14\sim 100$)

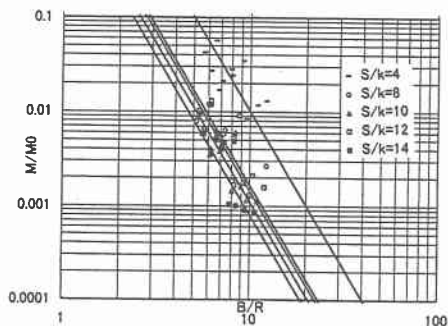


図-8 B/R と M/M_0 の関係 ($S/k=4\sim 14$)

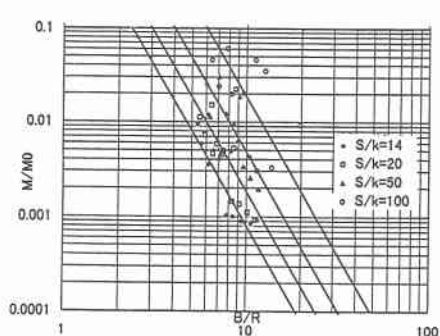


図-9 B/R と M/M_0 の関係 ($S/k=14\sim 100$)

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

$$\frac{Um}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \log_e MoR \quad \dots\dots (3)$$

これを变形して

$$\frac{Um}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \log_e \left(MoR \cdot \frac{M}{Mo} \right) = \frac{1}{\kappa} \log_e MoR + \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{M}{Mo} \dots\dots (4)$$

式 (4) の第 1 項は式 (3) より棧粗度を取り付けない状態を表わし、第 2 項は棧粗度の効果を示す項である。また、式 (1) より

$$\frac{Um}{U_*} = 6.0 + \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{R}{k_{s0}} + \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{k_{s0}}{k_s} \quad \dots\dots (5)$$

式 (5) は式 (4) と同じく第 2 項が棧粗度の効果を示す項であるから、その効果を示す項は等しいと考えることができるので、

$$\frac{1}{\kappa} \log_e \frac{k_{s0}}{k_s} = \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{M}{Mo}$$

ゆえに、

$$M = \frac{1}{k_s} e^{6\kappa} \quad \text{となる。}$$

この結果から M と $1/k_s$ は比例の関係となり、M と $1/k_s$ という棧粗度効果を表す係数として同等の意味を持つので、ここからは M に着目して実験データの考察を行いその変化について考える。つまり式 (4) の第 2 項に着目することにより、 M/Mo がパラメーターであるので水路幅 B-径深比との関係を図-8、9 に示す。

本研究における実験においては、前項の図から分かるように棧型粗度による粗度効果は S/K が大きくなるにつれて大きくなり、 $S/K=14$ を境に、順次小さくなっていく。しかしながら、 $S/K=8\sim 14$ においては粗度効果に明確な差はないと見てとれるので従来の実験結果の $S/K=10$ 近傍で粗度効果が最大となるというのにほぼ一致するといえるであろう。

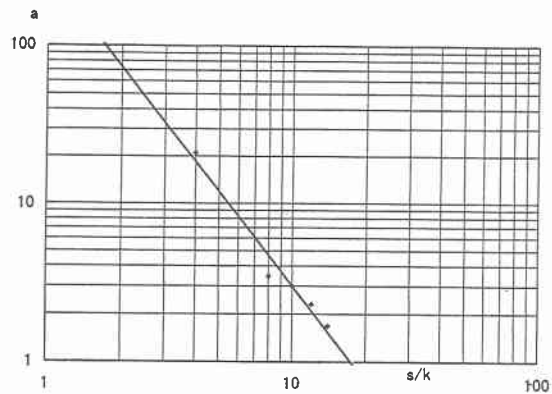


図-10 S/k による a の変化 (S/k=4~14)

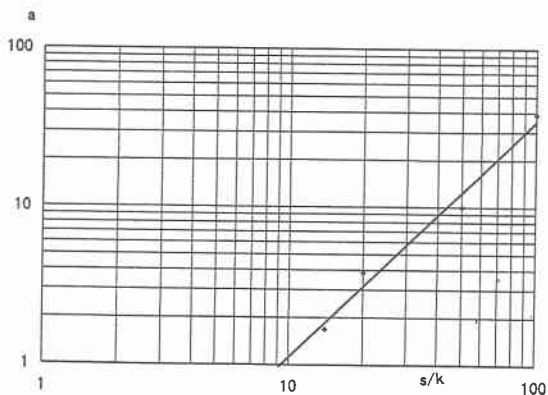


図-11 S/k による a の変化 (S/k=14~100)

図-8, 9はB/Rに対するM/Moの実験値をプロットしたものである。図-8, 9ではS/kごとに両対数の図上では近似直線を引くことができた。これらの直線はすべて $y = ax^{-n}$ の形で表すことができ、 $n=3.3219$ となる。これは直線群の傾きに相当するものである。次に、aはこれらの直線の $y=1$ での切片にあたり、 $B/R=1$ におけるM/Moの値である。このaはS/kによって決定される。つまりaは図-8, 9での近似直線の $B/R=1$ における切片に相当するものであり、aとS/kの関係から $S/k=14$ を境として、それぞれ1本の近似直線にまとめたものである。それを図-10, 11に示した。

図-10, 11からわかるようにaとS/kの関係を示す式は $S/k=14$ を境に式は2通りの場合にわかるが、式(6)、(7)のように示された。

$$a = 290.38 \times \left(\frac{S}{k}\right)^{-1.9847} \quad (S/k \leq 14) \quad \dots (6)$$

$$a = 0.0356 \times \left(\frac{S}{k}\right)^{1.4951} \quad (S/k \geq 14) \quad \dots (7)$$

ここで、 $\frac{M}{Mo} = a \times \left(\frac{B}{R}\right)^{-n}$

であるから、式(6)、(7)と $n=3.3219$ より式(8)、(9)が導けた。

$$\frac{M}{Mo} = 290.38 \times \left(\frac{S}{k}\right)^{-1.9847} \cdot \left(\frac{B}{R}\right)^{-3.3219} \quad (S/k \leq 14) \quad \dots (8)$$

$$\frac{M}{Mo} = 0.0356 \times \left(\frac{S}{k}\right)^{1.4951} \cdot \left(\frac{B}{R}\right)^{-3.3219} \quad (S/k \geq 14) \quad \dots (9)$$

式(8)、(9)によって、棧粗面における粗度の効果が2通り場合にわかるもののS/kとB/Rでもって決定することができた。

6. おわりに

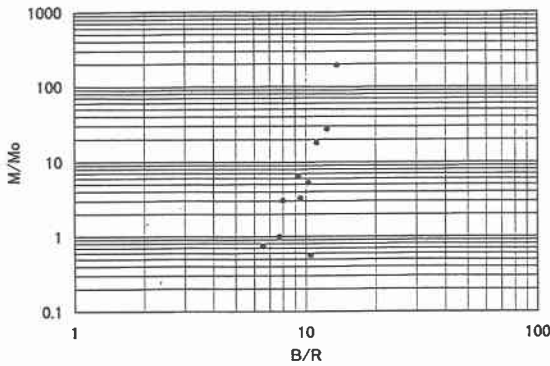


図-12 B/R と M/Mo の関係 ($S/k=2$)

水路床に棧型粗度の取り付けられた水路での粗度効果がMという形で間隔-粗度高さ比 S/k と B/R によって求めることができた。

このことから、水路タイプの魚道内における棧型粗度の効果への応用が可能となると考えられる。つまり魚道内流量、勾配、魚道幅、 S/k のデータから粗度効果が得られ、その結果から魚道内流速を求めることが可能となり、魚道を設計するに際して魚道内流速をどの程度に設定したいかといった場合にも、 S/k を今回得られた式 (8)、(9) からそれに適したものを求めることで有効であると考えられる。またすでに設置されている魚道に対しても魚道内流量、勾配、魚道幅、 S/k のデータから評価することができるであろう。

$S/k=2$ についても流量、勾配を変えて実験を行ったが、この結果は図-12 のようになり同じ B/R-M/Mo で作った図-6、8 におけるような S/k が 4 以上の場合とは、まとまった結果とならなかった。その理由として考えられるのは、棧型粗度の間隔 S が非常に小さなものとなるため、その隙間では粗度の効果が得られない形となり、つまりは水路床が発泡スチロールのものから木製のものとなったような状態となり、水路床が単に上昇したのと同じような結果となったためと思われる。

本研究の結果より流量、勾配に関係せずに、

参考文献

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

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