

II-35

棧型粗度を有する魚道の水理特性に関する研究

北海道大学工学部	○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

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。河川にすむ魚のほとんどは日常的に河川をのぼったり、くだったりして生活している。こうした魚たちにとって、河川横断構造物がその移動を阻害しているということとなる。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、障害物の存在する場所においても、魚が遡上できるように特別な水路や装置をもうけて、魚の通り道を確保することである。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。魚道は工学的な意味での、河川構造物であると同時に、生活環境の一翼を担う大切な回遊路の一部である。

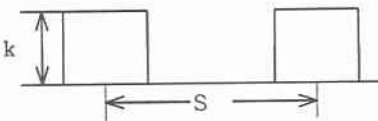
ここでは、魚道内の流速が水理条件の変化によってどのように影響を受けるか、また魚道の工夫として流速を抑えるためにはどういったものがあるかについて考える。今回、流速に大きく作用するものとして、粗度工の効果を考え、実験水路を用いての模型実験をおこなった。

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。実在河川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

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 10m の可変勾配ガラス水路で、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設けた。勾配は 1/48.4、1/94.5、1/173、1/348 の 4 通りと定めた。実験に用いた流量は 8.0 l/s、5.0 l/s、2.0 l/s の 3 通りであり、測定はベンチュリー管に設置されたマンメータ中の水位の計測を行った。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。



S : 粗度間隔    k : 粗度高さ  
 図-1 棧粗度の配置図

Study on the hydraulic characteristics in fish-ways with stripe roughness

by Yuuitorou NIWA, Ryuutarou ISOBE, Mikio KUROKI and Tadaaki ITAKURA

人工粗度として採用した正方形粗度は  $1.5 \times 1.5 \text{cm}$  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  $S/k$  (粗度間隔/粗度高さ) を 4, 8, 10, 12, 14, 20 および 50, 100 の 8 通りで考え、計 96 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、 $U_* = \sqrt{gRI}$  (摩擦速度)、 $\kappa$ : カルマン定数 (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. 棧粗面における水深の基点について

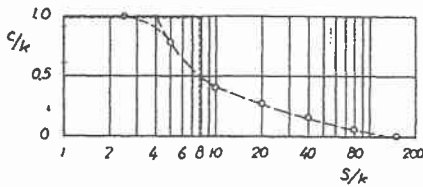


図-2 底面補正係数 C

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あるが、その方法は従来全く研究者の主観により任意に決められている。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-2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. 実験結果

##### 5- (1) 粗度の抵抗について

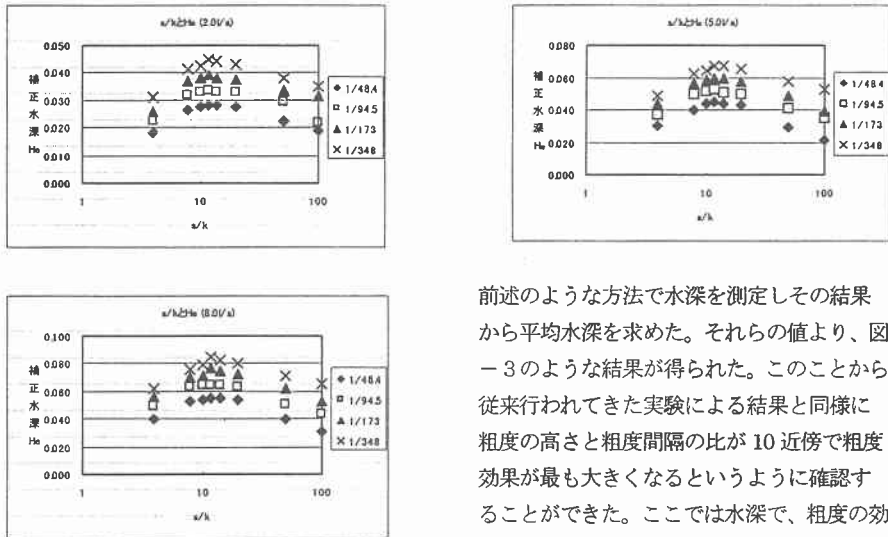


図-3  $S/k-H$  の実験値

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た。それらの値より、図-3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粗度の高さと粗度間隔の比が 10 近傍で粗度効果が最も大きくなるということが確認することができた。ここでは水深で、粗度の効果を考慮している。

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。

5-(2) 稜粗面の抵抗則

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、式(1)と

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

を用いることにする。

ここで稜粗度を取り付けない状態での係数MをM<sub>0</sub>とし、式(2)より

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(M_0 R) \quad \dots\dots\dots (3)$$

これを変形して

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(M_0 R \cdot \frac{M}{M_0}\right) = \frac{1}{\kappa} \ln(M_0 R) + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{M}{M_0}\right) \dots\dots\dots (4)$$

よって、式(3)より、式(4)の第2項目が粗度の効果を表すと考えられる。

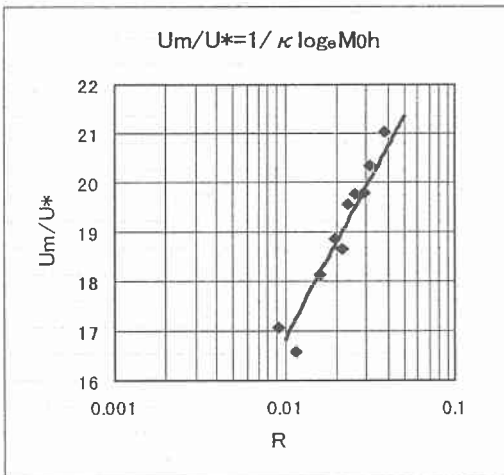


図-4 稜粗度のない状態の抵抗則

ここで、水路に稜粗度の取り付けられていないときについて考えていく。

左のグラフは横軸に測定値の径深、縦軸に平均流速をとったものであるが、これに最小自乗法で、近似直線を引くと次式のようなになる。この式よりカルマン係数κ、定数M<sub>0</sub>を求めていく。

$$\frac{U_m}{U_*} = 2.81 \ln(R) + 29.77 \dots\dots\dots (5)$$

式(3)を変形することにより

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(M_0) + \frac{1}{\kappa} \ln(R) \dots\dots\dots (6)$$

(5)、(6)式より

$$\kappa = 0.356 \quad \left( \because \frac{1}{\kappa} = 2.809 \right)$$

ふつうはカルマン係数はκ=0.4を用いるものだが、今回の実験ではこの値を用いて、実験結果を考察していくものとする。

ここで求めた値と (5)、(6) 式を用いて

$$\frac{1}{\kappa} \ln(M_0) = 29.77$$

よって、 $M_0 \approx 40000$  と求められる。

この値と (4) 式より  $\frac{M}{M_0}$  について評価していくこととする。

5 - (3)  $\frac{M}{M_0}$  の評価について

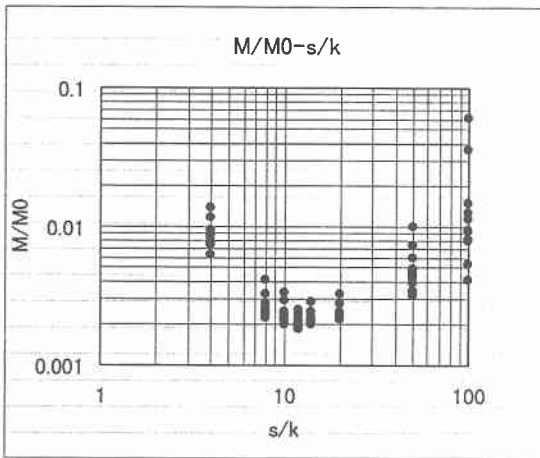


図-5  $M/M_0 - s/k$  の実測値

式 (4) の第 2 項目に着目することにより、パラメーター  $M/M_0$  を縦軸、粗度の高さ  $S/K$  と粗度の間隔比  $s/k$  を横軸にとって、左のようなグラフを表した。

このグラフより従来の研究結果と同様に  $S/K = 10$  近傍で、粗度の効果が最も高いことが確認できた。

グラフより  $M/M_0$  の値は 1 より小さいので、(4) 式を考える上ではその値が小さければ小さいほど、粗度の効果が大きいと考えられる。

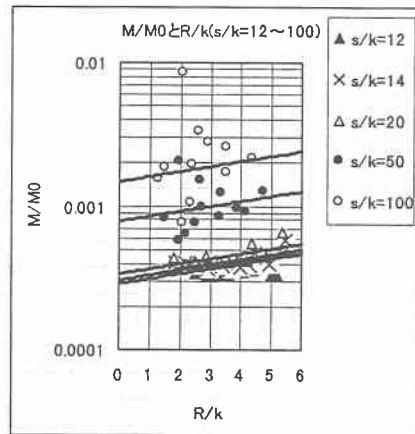
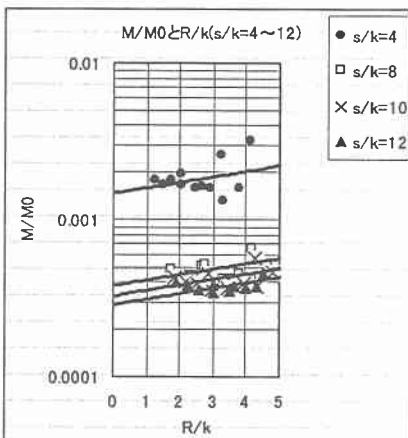


図-6  $M/M_0 - R/k$  のグラフ

図5を横軸に径深と粗度の高さの比 (R/k) をとって、S/k を12で分けることにより直線化して表したものを図6に示す。

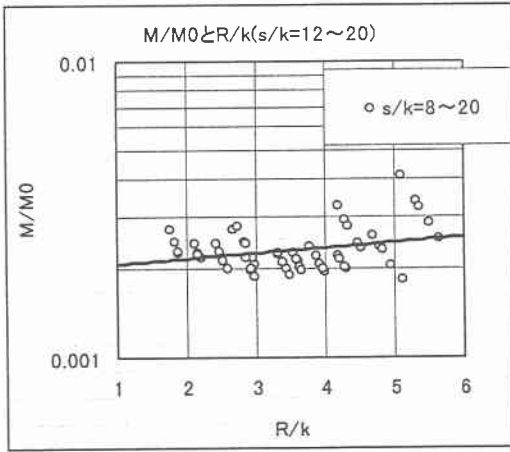


図-7 M/M<sub>0</sub> - R/k の実測値

前述のように S/K = 10 近傍で粗度の効果が最も高いので、今回の実験においては S/K = 8 ~ 20 における値について考えることとした。

左のグラフは径深 R と粗度の高さの比 R/K に対する 実験値をプロットしたものであり、片対数の図上で近似直線を引くことにより、次式を得ることができた。

$$\frac{M}{M_0} = 0.002 \exp\left(0.0352 \frac{R}{k}\right) \dots (7)$$

この式を用いて、実際の魚道の設計について考えていく。

## 6. おわりに

本研究の結果を用いて、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であると考えられる。ここで、魚道の設計は S/K = 10 近傍で行うことを前提として、(2)、(7) 式より

$$Um = \frac{1}{\kappa} \sqrt{gRI} \ln\{M_0 * 0.002 \exp(0.0352 R/k) * R\}$$

この式と連続式より

$$Q = \frac{1}{\kappa} \sqrt{gRI} \ln\{M_0 * 0.002 \exp(0.0352 R/k) * R\} * Bh$$

この式を粗度高さ k について解くと次式になる。

$$k = \frac{0.0352 R}{\left\{ \kappa Q / Bh \sqrt{gRI} - \ln(0.002 M_0 R) \right\}} \dots\dots (8)$$

$\kappa = 0.356$ 、 $M_0 = 40000$ 、B : 魚道幅

式(8)より、魚道内流量、勾配、魚道幅が与えられれば、棧型粗度を取り付けた際の目標水深 h をさだめることで、有効な粗度高 k を求めることができる。下に示した表1は今回の実験値をもちいての計算結果例であるが、用いた粗度の高さは k = 0.015 (m) であるので、式(8)は妥当であると考えられる。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 を決めることができる。

すなわち、魚道を設計するに際して、今回得られた式(8)よりそれぞれの条件に有効な粗度高、粗度間隔を求めることができ、またすでに設置されている魚道についても、その効果を評価することができる。

表-1 実験値による計算結果

k(m)	h(m)	$\kappa$	Q(l/s)	i	B(m)
0.01095	0.05465	0.356	8.0	0.0207	0.3
0.01532	0.04495	0.356	5.0	0.0207	0.3
0.01463	0.06455	0.356	8.0	0.0106	0.3
0.01644	0.05225	0.356	5.0	0.0106	0.3
0.01622	0.05995	0.356	5.0	0.0058	0.3

#### 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