

粗石付き斜路の数値解析

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎
金沢大学大学院 学生員 ○永禮 大

1. まえがき

従来の魚道は、限られた魚種にしか対応できないものがほとんどだった。魚によって好ましい流れが異なり、魚道内の流れ場は全ての魚種に対応したものでなかったからである。そこで、底生魚や小型魚に有用だとされる粗石付き魚道に対し横断勾配を設けて、魚道内の流れに変化を持たせることが考えられる。本研究では、形状や粗石の配置の仕方によって変わる粗石付き斜路の流れを平面2次元計算によって容易に把握し、様々な魚種に対応可能な魚道づくりの一助となることを目的とする。

2. 水路実験

実験水路において粗石付き斜路の模型を設け流速及び水深測定実験を行った。模型の平面図を図1に、断面図を図2に示す。路床勾配は $ib=1/15$ 、横断勾配は $1/23$ 、粗石の直径は $d=3.3\text{cm}$ 、流量は $Q=1105\text{cm}^3/\text{s}$ である。流速測定は電磁流速計を使用し、流速の流下方向成分(U)と横断方向成分(W)を計測した。また、粗石の配置は図1に示す $\theta=90^\circ$ 度と $\theta=63^\circ$ 度について実験した。

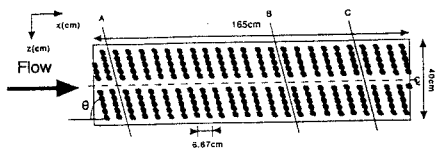


図1 実験模型の平面図



図2 実験模型の横断面図

なお、本論において粗石配置が $\theta=90^\circ$ 度の測定を実験1、 $\theta=63^\circ$ 度のものを実験2とする。計測点は、実験1,2共に図1に示すA,B,Cでの各横断測線であり、流速に関しては $z=h/2$ (z は路床からの高さ、 h は水深)で計測した。

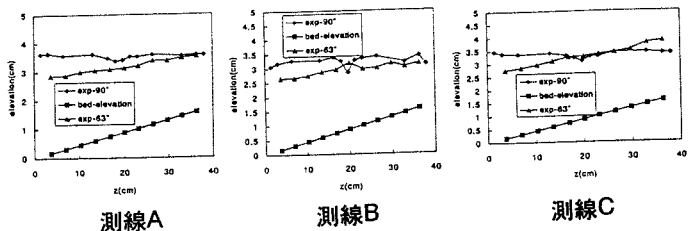


図3 実験から得られた水面形

図3に測線A, B, Cに関する実験から得られた水面形を示す。実験1の水深は概ね実験2と比べ大きく、また水面形に関して実験1では路床勾配に関係なくほぼ水平になっているし、実験2では水面勾配が河床勾配に近くなっている。これは、斜め粗石配置のとき個々の粗石が流下方向へ抗力を返していないことを示す。

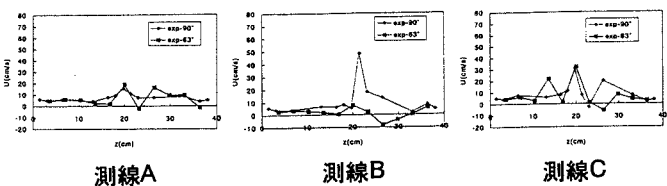


図4 実験から得られた主流速分布

本実験で斜め配置した粗石は、それぞれ主流速に対する遮へい部分がそれぞれ重なり合わないよう配置したことを考えると、これらの結果は粗石1個に形成する剥離渦が隣り合う粗石の影響により左右対称に働いていないからと思われる。

図4に測線A, B, Cに関する実験から得られた主流速分布を示す。実験1,2共に水路中央付近で主流速が最大となっているが、他は特別な性状を見出せない。

3. 数値計算

実験条件に基づいて計算を行う。計算には、 $k-\varepsilon$ 平面2次元計算を用いる。本計算において、粗石が図5に示す角度 θ をもった配置であるとき、粗石は抗力をその配置に垂直に返す¹⁾と考えた。一つの粗石に作用する抗力を D とすると次のようになる。

$$D = \frac{1}{2} C_D \lambda \rho H (U \sin \theta - W \cos \theta) \sqrt{U^2 + W^2}$$

ここに、 U, W ：流速の流下方向及び横断方向成分、 H ：水深、 ρ ：水の密度である。抗力係数 C_D は実験結果を用いる。本実験において抗力係数は実験1, 2に対してそれぞれ5.28, 1.46となった。 λ は水の単位重量当たりの粗石の遮へい面積であり次式のようになる。

$$\lambda = \frac{A}{BhS - V}$$

ここに、 h ：水深、 A ：水深 h における粗石の遮へい面積、 S ：粗石の流下方向における間隔、 B ：粗石の直径、 V ：水深 h における粗石の水没体積である。

計算結果の水面形を図6に、主流速分布を図7に示す。水面形は $\theta=90$ 度の場合、流入部から水平な形状を保っていることが伺えるが、 $\theta=63$ 度では等流部になるに従い横断勾配に平行な形状になるようである。また、水深は $\theta=90$ 度の方が大きく、抗力が粗石配置に垂直に働くと考えた影響が見られる。主流速分布は両結果とも同様であったが、横断方向に変化に富んだ流速域を形成していないことが読みとれる。なお、それぞれの計算結果は実測した断面と対応したものである。

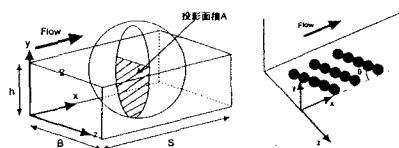


図5

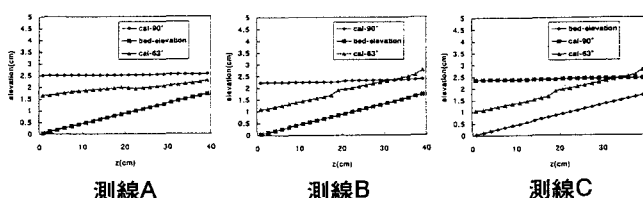


図6 計算から得られた水面形

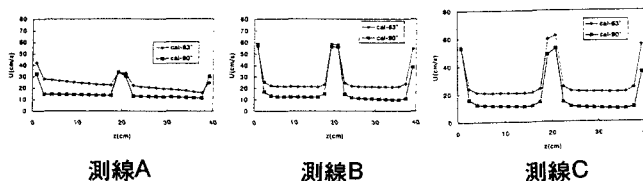


図7 計算から得られた主流速分布

4. 実験結果と数値解析の比較

計算結果は水面形状に関して、実験結果を良く再現しているが、水深は実測と比べ小さくなった。これは、 $C_D \lambda$ が過小なことや、粗石の水没体積による水位上昇を数値計算で取り入れていないことによると考えられる。流速分布に関して、計算結果は粗石部分ではほぼ一定に低速域が現れ水路中央部と側壁域で高速流が出現しているのに対し、実験結果は水路中央部で高速流が出る傾向にあるが粗石部分はややランダムである。計算では、粗石の抗力が働くと考えた領域において均等に抗力が働くとしているが、実際にその領域は粗石部分と空隙部分と考えると抗力是不均一であり、それが実験の主流速分布を生みだしたと推測される。

5. あとがき

今回、粗石が複数並んでいるときに作用する抗力は粗石配置に垂直に働くと考えたが、そのように考えられるのは粗石一個に形成する剥離渦が、隣り合う粗石に完全に影響されるときである。粗石の間隔によっては今回のように考えられない場合が出てくる可能性があるため、今後は適切な粗石モデルの検討を行いたい。

参考文献：1) Tetsuro TUJIMOTO: Numerical analysis for aid to understand the flow structure of stream-type fishways, on Fishways'95 Gifu, pp49-65, 1995