

II-132 岩河道の粗度係数の算定法

立命館大学理工学部 正員 大同 淳之

1. はしがき 岩河道の粗度係数の算定にあたり、対象の河道は極めて不規則に岩が配列しているので、その表面積から突起高さを求める式を適用して、その再現性から、サンプルとして得た突起高さが、河道の突起高さの代表値として十分であるとし、この代表値について水路実験で粗度係数 n を求めた。粗度係数の実験値を実物換算し現地の値と比較してよく一致することが分かった。平均流速を支配する要素として、流速式の定数と粗度高さを合わせた定数 X を用いて、流れの領域区分を表すと共に、突起高さと X との関係を調べた。

2. 河床に露出する岩の切口面積とその突起高さの関係

i) 突起高さの算定式 河床面で切った石の切口面積から、石の突起高さを求める。切口から上の突起高さは、石を球形とみなすと、幾何学的条件より、突起高さ K は、 $K = (r/2)(1 - \sqrt{1 - (\delta/r)^2})$ (1) である。直径 δ の面を形成する石は、直径 r が $r \geq \delta$ のものである。したがって突起高さを求めるためには、面から下の石の大きさと、その石によって δ の面積が出来る確率を知る必要がある。

$N_A(i)$, $N_A(i, j)$ をそれぞれの直径 i の石の数、直径 j の石が切口面積 i を示す数とし、石の大きさの区分を $r_{\max}$ から $r_{\min}$ まで 10 等分とすると、切口の面積 δ を形成する石は

$$N_A(r_{\max}) = N_A(r_{\max} \cdot r_{\max}) \quad (2)$$

$$N_A(0.9r_{\max}) = N_A(0.9r_{\max} \cdot 0.9r_{\max}) + N_A(0.9r_{\max} \cdot r_{\max}) \quad (3)$$

$\vdots$

となる。 N_A と N_V (単位面積中の石の数) との関係は、

$$N_V = N_A(i, j) / (P_i r_j) \quad (4)$$

p は r_i の石が i の切口を示す確率で、図の記号で $p = \Delta h / (b/z)$ (5)

$$N_V(j) = [A(j)N_A(j) - A(j+1)N_A(j+1) - A(r_{\max})N_A(r_{\max})] / 2r_{\max} \quad (6)$$

と表される。ここに $A(j)$, $A(j+1)$ は式 (2) ~ (4)

を整理したときの定数である。

この容積中の石の個数 $N_V(j)$ に、 $N_A(i)$ を作りうる式

(5) の確率をかけると、それが式 (1) の石の突起高さを規定する。

ii) 凹凸の実測値と相当粗度の関係

河床の粗さは、石の突起高さ K とその占有面積 S との比によって表される。石の占める空間面積 S は、その石の占める面積をも含めて、大きな石ほど多くの間隔を割り当て

$$S = \pi r^2 + (\text{基準面積} - \sum \pi r^2) (\pi r^2) / (\sum \pi r^2)$$

を表すことにした。

iii) 実測値との比較 木津川上流の狭さく部は、直径 2, 3m 程度の石が河床を形成している。航空写真からの縮尺 1/100 の平面図を用いて、単位面積中に存在する石の面積及びその高さを測定した。式 (6) を用いて突起高さを求め、実測値と比較した結果を図 2 に示すと両者はよく一致している。

3. 模型実験による粗度係数の測定と現地との比較

3-1 粗度係数の測定

この凹凸と抵抗係数との関係を実験で求めた。測定に用いた実験水路内の凹凸は、木津川 No 54.8km の地点の原型と分布形は同じで、 d_{50} が違う 3 通りについて行った。測定された粗度係数 n を図 3 に示す。

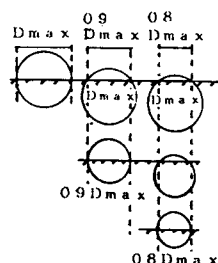


図 1 河床面における岩の切口面積の構成

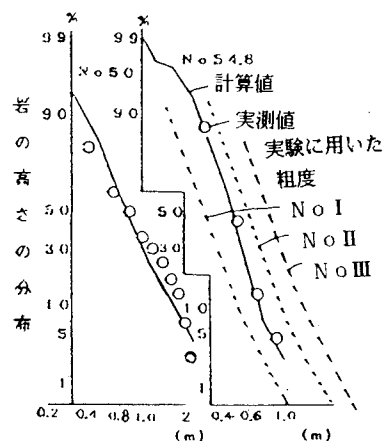


図 2 式 (1), 式 (6) による計算と実測との比較及び実験に用いた石の大きさ

3-2 原型と模型との相似

模型の原型に対する縮尺を添字 r で表すと相似則は

$$t_r = \chi_r h_r^{-1/2} \quad (7)$$

$$I_{br} = h_r \chi_r^{-1} \quad (9)$$

$$\alpha_r = 1 \quad (11)$$

$$Q_r = \chi_r h_r^{3/2} \quad (8)$$

$$\tau_{or}/\rho_r = R_r h_r \chi_r^{-1} \quad (10)$$

を得る。(7)はFroude則，(8)は流量，(9)は抵抗則，(10)は流速分布の相似である。この実験は $\chi_r = h_r$ としているので $I_{br} = 1$ である。(11)の $\alpha_r = 1$ は成り立つと考えてよい。

(10)はManning式に書き直したとき

$$n_r = R_r^{2/3} \chi_r^{-1/2} \quad (12)$$

となる。

本実験の縮尺を図2の粒径比より1/100とする。

式(9)の $I_r = 1$ とする必要から、洪水時の不等流計算による現地の水面勾配0.008を図3に与え、そのときは、Fr数もまた不等流計算の値

(Fr=0.68)を与える。この点は図3中の+印のところである。この点の模型の n を0.023と読むと、式(12)の $n_r = 0.47$ であることから、原型の n は0.048となり、不等流計算で、痕跡水位に合う粗度係数を求めるとほぼ上記の値に一致する。

4. 抵抗係数のより普遍的表示

以上の方法をさらにより普遍化して、どの川でも使えるようにするために、平均流速を

$$u_m/u_* = 5.75 \log(R/X) \quad (13)$$

と表し、 X を水理学的条件、粗度の高さ、間隔の関数として表されるものとする。測定値から式(13)にしたがって X を逆算し、広義のReynolds数

を用いると図4のように流れの領域区分を明確にするパラメータとして意義あるものになる。ちなみにこの実験での X の値は図5に示す。つぎに、水理学特性を明確にすることである。

ここで扱うような大規模粗度上の流れは、底面付近に流速が一様に近い層であり、その厚みを δ_1 としたとき、

$$\frac{u_m}{u_*} = \left(1 - \frac{\delta_1}{h}\right) \left\{ \frac{1}{K_1} \ln \frac{h - \delta_1}{\delta_1} + A_1 - \frac{1}{K_2} \right\} + \frac{\delta_1}{h} \left(A_1 - \frac{1}{K_2} \right)$$

となり、 $H - \delta = H \approx R$ とみなすとき、式(13)の X は

$$X \approx - \exp \left\{ K_1 \left[\frac{1}{K_1} \ln \frac{h - \delta_1}{\delta_1} + A_1 - \frac{1}{K_2} - \frac{\delta_1}{h} \right] - \frac{\delta_1}{h} \left(\frac{1}{K_1} \ln \frac{h - \delta_1}{\delta_1} + 2A_1 - \frac{1}{K_2} - \frac{1}{K_2} \right) \right\}$$

の内容をもっている。いずれにしても

$$X/d = f(\text{岩の代表径、間隔})$$

である。これについては、次の機会に述べるものとする。

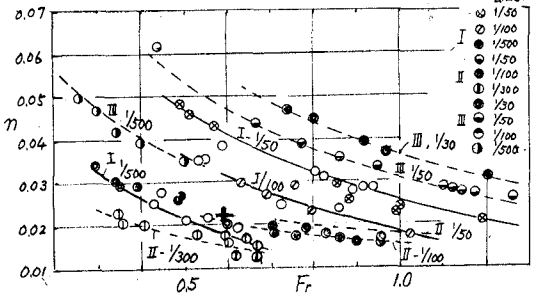


図3 木津川模型の粗度係数 n

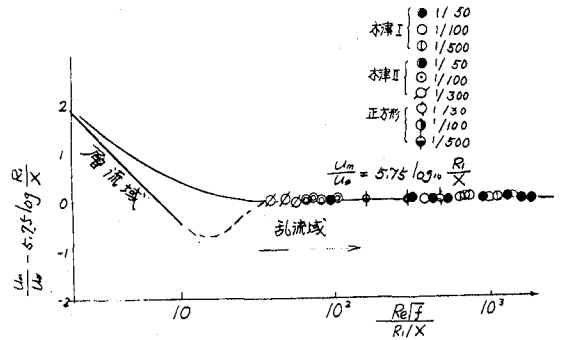


図4 X の普遍的性質

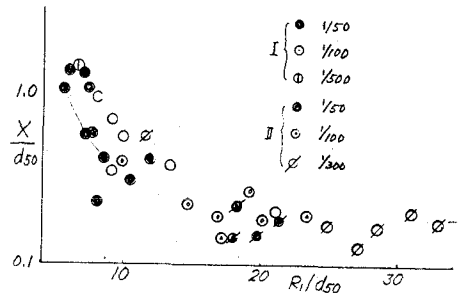


図5 木津川の粗度要素 X