

II-158 礫の分布特性と相当粗度

立命館大学理工学部 大同淳之

1. はしがき 巨石が散在する河床の抵抗係数は、突起の高さと、その間隔に支配される。抵抗係数と関係づけるためには、河床の凹凸度を普遍的尺度で表す必要がある。河床の凹凸度は面的尺度で表現するのが望ましいが、河床の凹凸を面的に測定することは一般に作業量が増すため、精度はかえって低下する。そこで、試験線上で測定した凹凸度で面的尺度に変える、又は代用することが考えられる。本論文は、面的凹凸と線の凹凸の関係、および木津川における測定例について述べる。次にこのようにして表された河床の凹凸と、相当粗度の関係について述べる。

2. 河床面上に露出した礫の面積分布と、その上に任意に引かれた直線が切る弦の分布との関係。

1) 石を球と見なしたときの面積分布と弦の分布の関係

単位面積中に、直径 D の石が衝突し、河床面において半径 r の円を形成しているとする。この面上に任意の方向に直線を引いて、球の切口上の長さを λ とする。図3に示すように直線が直径 δ の円の中心から y と $y+dy$ の間で交わるとすると、 $dp(\lambda)$ は図2に示される $2\pi y dy$ で示される環状の面積を、試験線がとりうる範囲の面積、この場合、単位面積、で除したものになる。 $dp(\lambda) = 2\pi y dy$ 、幾何学的条件 $y^2 + (\lambda^2/4) = r^2/4$ を用いて、 y 、 dy を表し、式(2)をかき直すと、

$$dp(\lambda) = \frac{\pi}{2} \lambda \cdot d\lambda \quad (1)$$

となる。 $F(\lambda)$ は単位面積中に図3に示す直径 δ の切口が存在する数 $N(\delta)d\delta$ が関係する

$$F(\lambda)d\lambda = \int \frac{\pi}{2} \lambda \cdot d\lambda N(\delta)d\delta = \frac{\pi \lambda}{2} \int N(\delta)d\delta \quad (2)$$

と表される。式(2)の積分項は、 δ の大きさが最大のものから $\lambda/2$ までの大きさをもつものの個数の和である。式(2)が河床に露出した礫の面積の分布とその面上で任意の方向に引かれた測線上で、礫の切口のもつ弦の長さの分布との関係で示す。

次に石の突起高さについて考察する。切り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 $K = (r/2)(1 - \sqrt{1 - (\delta/r)^2})$ (3)

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 と形成する石は

$$N_A(r_{\max}) = N_A(r_{\max} \cdot r_{\max}) \quad (4)$$

$$N_A(0.9r_{\max}) = N_A(0.9r_{\max} \cdot 0.9r_{\max}) + N_A(0.9r_{\max} \cdot r_{\max}) \quad (5)$$

⋮

となる。 N_A と N_U (単位体積中の石の数) との関係は、

$$N_U = N_A(i, j) / (p, r_i) \quad (6)$$

p は r_i の石が i の切口を示す確率で、図の記号で $p = \Delta h / (r_i/2)$ (7)

$$N_U(j) = (A(j)N_A(j) - A(j+1)N_A(j+1) - \dots - A(r_{\max})N_A(r_{\max})) / 2r_{\max} \quad (8)$$

と表される。ここに $A(j)$ 、 $A(j+1)$ は式(4)～(6)を整理したときの定数である。

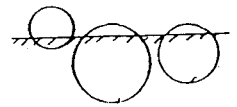


図1 河床面

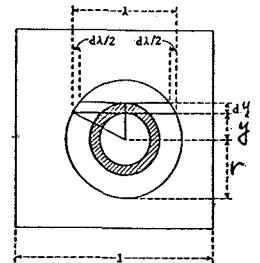


図2 平面図

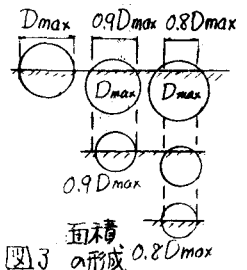


図3 面積の形成

この容積中の石の個数 $N_v(j)$ に $N_A(i)$ と作りうる式 (7) の確率をかけると、それが式 (3) の石の突起高さを規定する。

ii) 実測値との比較 木津川上流の狭さく部は、直径 2, 3 m 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およびその高さを測定した。またこの平面図上に任意の方向に測線を引き、弦と基準面からの高さを測定した。その分布形を図4 に示す。 δ のデータより $N(\delta)d\delta$ を求め、式(4) の補正をかけると、弦の分布が得られ、実測の比較はこの変換の妥当性を示す。

3. 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当て

$$S = \pi r^2 + (\text{基準面積} - \Sigma \pi r^2) \frac{\pi r^2}{\pi \Sigma r^2} \quad (5)$$

で表すことにした。

平面図で、基準面積内の石の直径 δ とその高さ K を読み取り、1 面の石の流れ方向の投影面積 F を $F = \delta K$ とし、それぞれの石の占有面積は式(5) で与えた。実際には F/S を同時に測定すべきであるが、 S が測定しにくいため別に求めると、図5 に示すように対数正規分布を示した。図から分布の 84%, 65% および 50% の F と S をそれぞれ別に読み取り、それから S/F を求めると表1

のようにて、 S/F はどの基準をとってもあまり変化しないことが示された。— 図5 河床の石の F の分布方、測線に沿ってのデータは、突起高さ K を F とし、その支配長さ S を決め、同様に分布を求め F/S を表すと、図6 のように先の面積的に求めた値とほぼ一致する。

相当粗度 k_s は一般に粗度の幾何学的形状 F/S によって表現されている。しかし k_s/K の値はかなりばらつく。これは、抵抗の表現を粗度の幾何学的大きさのみで表し、流れの条件を入れていないことに起因する。そこで $k_s/K = f(S/F, F_r)$ (6)

として表すと、図7 をえた。 k_s/K は従来から指摘されているように $S/F=10$ 付近で最大となる。そして F_r の大きさによってデータが区別され、 F_r 数が大きくなるほど k_s/K が小さくなる結果を示した。

表1 木津川の河床の相対突起高

断面No.	F	S	S/F
56.4	0.9	15.0	16.7
	0.6	8.7	16.4
	0.4	6.5	16.1
		平均	16.4
54.8	1.0	7.7	7.7
	0.6	4.3	7.7
	0.4	3.0	7.8
		平均	7.8
54.4	1.2	8.9	6.7
	0.6	4.4	6.9
	0.4	3.0	7.1
		平均	6.9
50.0	3.2	13.0	4.1
	2.1	8.0	3.8
	1.5	5.7	3.8
		平均	3.9

上段84%、中段65%

下段50% の値

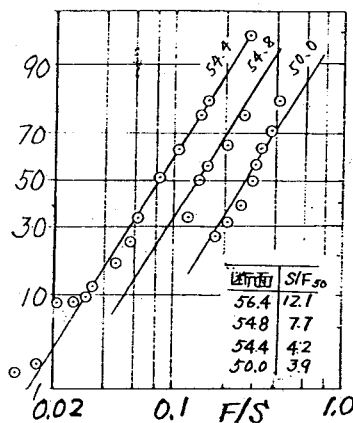


図6 測線上の F/S の分布

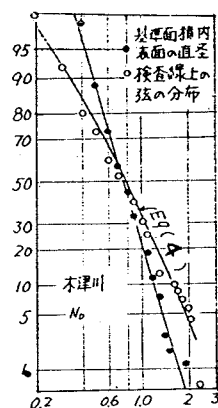


図4 河床面の石の直径と弦の関係

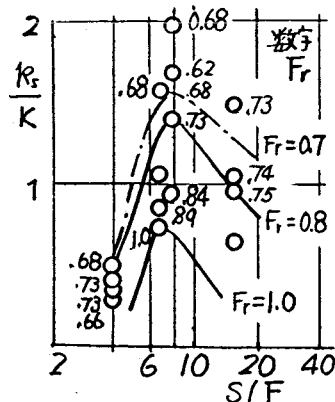
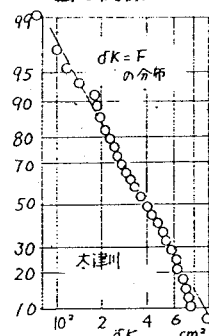


図7 S/F と k_s/K の関係