

礫の分布特性と相当粗度

立命館大学理工学部 正員 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を面的尺度に変える、又は代用することが考えられる。本論文は、面的凹凸と線的凹凸の関係、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。

i) 石を球と見なしたときの面積分布と弦の分布の関係

石が散在する河床面を、種々の粒径の石を含む立方体を任意の面で切断したときに生じる状態とする。切断面上の球の切口の直径を δ とする。 δ の分布 $F(\delta)$ は、 $F(\delta)=f$ (半径 r の球が試験面または線と交わって δ と $\delta+d\delta$ の間の値を与える確率、 $dp(\delta)$ 、単位体積中に半径が r と $r+dr$ の間にある球の数、 $N(r)dr$)、で与えられ、 $dp(\delta)$ は、ある δ が与えられたとき、図2のように切断が球の中心から x と $x+d\delta$ の間に球と交わるとすると、この位置は、球の中心の両端に一箇所ずつある。しかし球の下面が河床面になったとき、 U_0/U の比によって石が流出して存在しないか、または露出して $2r$ を示すかになるので、片方だけを考える。したがって $dp(\delta)$ は、 $d\delta$ を切断面がとりうる位置の範囲の長さ即ち単位長さで除して $dp(\delta)=d\delta$ (1)と表される。幾何学的条件、 $x^2+(\delta^2/4)=r^2$ を用いて整理すると、

$$F(\delta)=\delta \int \frac{N(r)}{\sqrt{4r^2-\delta^2}} dr \quad (2)$$

となる。さて、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3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 $y^2+(\lambda^2/4)=\delta^2/4$ を用いて、 y 、 dy を表し、式(2)をかき直すと、

$$dp(\lambda)=\frac{\pi}{2} \lambda \cdot d\lambda \quad (3)$$

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

$$F(\lambda)d\lambda=\int \frac{\pi}{2} \lambda \cdot d\lambda N(\delta)d\delta=\frac{\pi}{2} \lambda \int N(\delta)d\delta \quad (4)$$

と表される。式(4)の積分項は、 δ の大きさが最大のものから $\lambda/2$ までの大きさをもちものの個数の和である。河床材料のふるい分け資料が得られたときの河床に露出する礫の分布が式(2)で求められる。さらにこ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が式(4)によって表される。

ふるい分けができないような粒径の大きい河道では、表面に露出する石の示す切口の面積が与えられる

Atsuyuki DAIDO

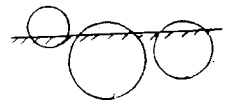


図1 河床面

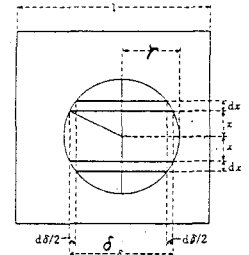


図2 断面図

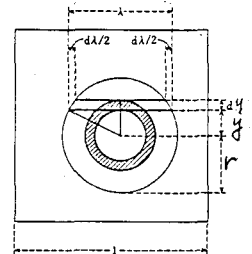


図3 平面図

ことが多く、この場合、河床層内の粒度分布がどうであるかの必要度は少なく、むしろ流れ方向に沿った測線上での凹凸度が必要である。このときは式(4)の関係だけが判ればよい。

ii)実測値との比較 木津川上流の狭さく部は、直径 2, 3 ㎢ 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。しかし石の間隔についてのモデル化は、まだできていない。

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

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

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 $F = \delta K$ 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 が測定しにくいと別々に求めると、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。一 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 $k_s/K = f(S/F, Fr)$ (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 Fr の大きさによってデータが区別され、 Fr 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%	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

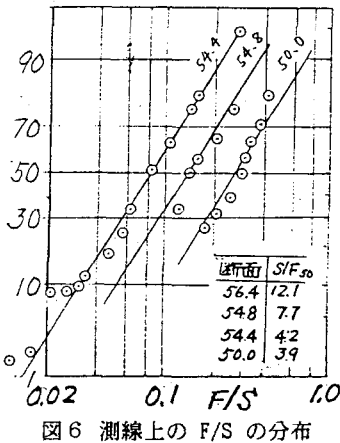


図 6 測線上の F/S の分布

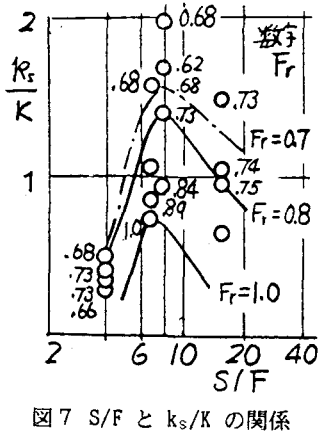


図 7 S/F と k_s/K の関係

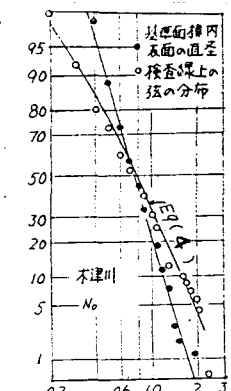


図 4 河床面の石の直径と弦の関係

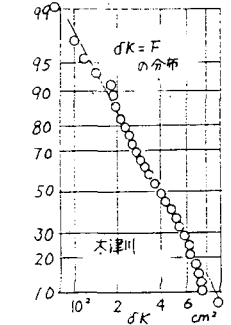


図 5 河床の石の F の分布