

## II-376

## 不規則に配置する粗度の抵抗係数

立命館大学大学院 学生員○田中耕司

立命館大学大学院 学生員 村高芳樹

立命館大学理工学部 正 員 大同淳之

## 1. まえがき

現地河川の測定された不規則な大きさ、配置を持つ岩の抵抗係数を模型実験で求めるにあたり、半球形の粗度と、半球形と水衝面積が等しい板および角形粗度について抵抗係数を測定して、その機構を考察した。

## 2. 用いた粗度の形状とその抵抗

図1に示す現場の石と分布形は等しく、その大きさが1/100である半球粗度、半球粗度と流れに直角的な方向な水衝面積の等しく、平面的分布は統計的に等しい板粗度及び角形粗度について、抵抗係数を測定した結果は、図2に示すとおりである。形状および粗度天端の摩擦の影響を求めようとしたが、粗度の不規則性が大きく、必ずしもその差は明かでない。

## 3. 抵抗の水理学的性質

抵抗の線形性を仮定するとき、単位面積に作用するせん断抵抗は次式によって表す。

$$\tau_r = \tau_a(1-\beta) + (\tau_k + \tau_{kf})\beta + \tau_w\beta \quad (1)$$

ここに、 $\tau_a$ :河床の砂面の抵抗、 $\tau_k$ :突起した岩の抵抗係数、 $\tau_{kf}$ :突起した岩の頂部の摩擦係数、 $\tau_w$ :突起物背後に発生する波による抵抗、 $\beta$ :突起物が後流を含めて単位面積中に占める割合である $\tau_w$ はここで扱って分ける領域では省略できるとし、 $\tau_{kf}$ は $\tau_k$ に含ませて考えることにする。分布

1箇の岩の抗力 $\tau_{k1}$ は $\tau_{k1} = \rho g C_D A_D u_k^2 / 2g$ ,ここに $A_D$ は突起した岩の流れに面する面積、 $u_k$ は岩頂の流速で表す。単位面積Aにn箇の突起があるときは、 $u_k = \alpha u_m$ 、 $\alpha$ :流速係数、 $u_m$ :平均流速として

$$\frac{\tau_k \beta}{A} = \rho g \alpha^2 \frac{u_m}{2g} \sum C_D \frac{A_D}{A} \beta, \quad u_k = \alpha u \quad (2)$$

粗面の流速分布は、底面付近のごく薄い層内の流速、粗度の最高高さ付近までの流速がほぼ一樣になる層およびその上の対数則に従う層の三つに分けて流速係数 $\alpha$ を求めると、

$$\alpha\left(\frac{h}{k}\right) = \frac{1}{E} \left(1 - \frac{k}{2h}\right) / \frac{1}{k_0} \left(\log \frac{h}{k} + \frac{k}{h} - 1\right) + \frac{1}{E} \left\{ \frac{2}{3} \left(\frac{k}{h}\right)^2 - \left(\frac{k}{h}\right) + 1 \right\}$$

と表せる。式中のEは、底面層内の渦動粘性係数 $\varepsilon$ を齊藤<sup>1)</sup>にならって $\varepsilon^f = u_* E k_s$ と表わしたときの定数である。

一方、開水路中における突起物の抵抗係数 $C_D$ は相対水深 $h/k$ の関係で

$$\frac{1}{\sqrt{C_D}} = a \log \left( \frac{h}{k} \right) + b \quad (3)$$

と表される。a, bは定数で著者の測定では $a=0.3, b=1.2$ である。

これらを考慮すると摩擦係数fは式(24)より

$$f = 4 \alpha^2 \left( \frac{h}{k} \right) \frac{1}{(a \log(h/k) + b)^2} \frac{\sum A_D}{A} \quad (4)$$

と表せる。この式によると、fは突起物の $\sum A_D$ に比例する。従来の研究でfは、さらに $k/L$ ,  $I_r$ の関数であることから

$$f = 4 \alpha^2 \left( \frac{h}{k} \right) \frac{1}{(a \log(h/k) + b)^2} \sum \frac{A_D}{S'} \frac{S}{A} \quad (5)$$

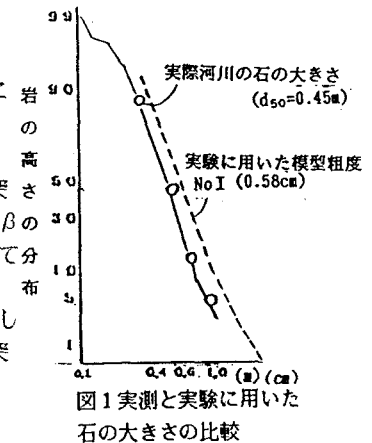


図1 実測と実験に用いた石の大きさの比較

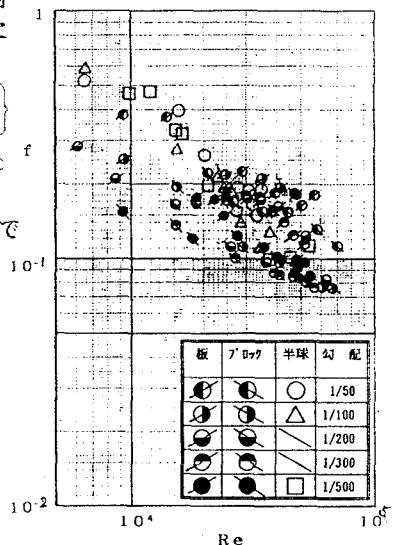


図2 抵抗係数の比較

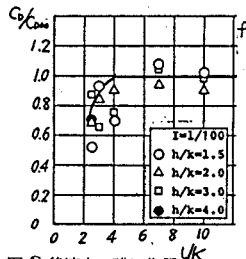


図3 後流中の球に作用する抵抗力係数の減少

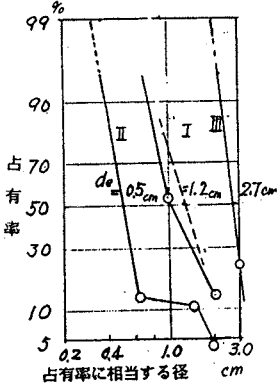
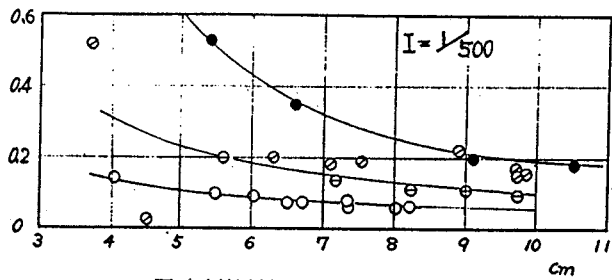
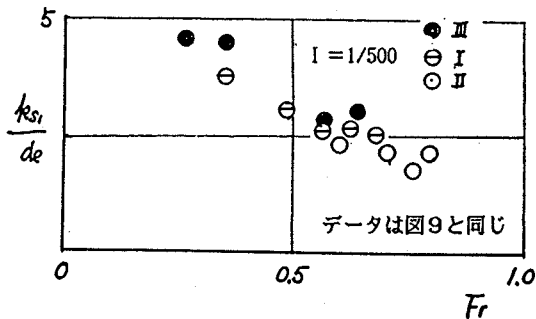


図5 河床の占有率と粒径


図4 抵抗係数に及ぼす  $\Sigma a k^2$  の効果

図6  $k_s/d_e$  と  $Fr$  の関係

ここに  $S'$  は岩の切口面積を除いた岩後流の遮蔽面積と書き直せる。 $A_d/S'$  の値で、相当粗度  $k_s$  が変化し、 $f$  の変化となる。ただ式(5)から  $f$  を支配する  $A_d/S'$  の値を見出すことは難しいので、式(4)によって  $f$  を支配する  $\Sigma A_d$  に関する特性長を見いだす。

抵抗係数  $f$  を普遍的に表すためには、粗度係数  $k_s$  で表すのが望ましい。さきに粗度係数を測定した3種の粗度について、同じ勾配について  $f$  と径深  $R$  との関係を求めると、図3のように、同じ径深のとき、 $f : f : f$  は約2 : 1 : 0.5となっている。3種の粗面の水理学的な特性長は、この比を持つと考えられる。突起する岩の後流に覆れる岩の抵抗力の減少を調べるため、二つの半球を並べ、後方に位置する半球の抵抗力の減少を抵抗力係数比で表したものを図4に示す。抵抗力の測定は、半球がおかれた床板が抵抗力によって微少変位するようにし、この変位を測定して、抵抗力を求めた。この結果は  $L/k < 4$  で抵抗力の減少がみられる。これは、福岡ら<sup>4)</sup> が直方体、球および円錐を対象に相当粗度  $k_s/h_0$ 、ここに  $h_0$  : 粗度高さが  $S'/A_d$  が4付近でピークを示す事実とも符合する。

図4より後流の面積は岩の切口面の3倍とし、大きな岩から順次占有面積を求め、占有率を対数確率紙上に表したものが図5である。占有率が50%に相当する径の大きさを水理学的有効径  $d_e$  とし、 $k_s/d_e$  を求めた結果は図6のように3種の粗度で  $k_s/d_e$  は同じ値になり、この  $d_e$  を用いると  $f$  は同じ値が得られることを示す。

#### 4. むすび

3. では粗さが分布形を有する場合、水理学的に有効な特性長として、突起した岩の後流の遮蔽面積をも含めた占有面積が、河床面の50%に相当する岩の大きさ  $d_e$  が有効であることを述べた。

#### 参考文献

- 1) 齊藤、深谷；粗面薄層流れの抵抗則についての一考察、土木学会年次講演集 35 p368 昭55
- 2) 福岡ら；護岸工の水理設計、土木技術資料 vol.30 No3 1988