

II-286 粗度形状が違ふ不規則な配置・大きさの粗度上の抵抗係数

銚建設技術研究所 正員○田中耕司
立命館大学理工学部 正員 大同淳之

1. はじめに

現地河川で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立方体の粗度を用い、粗度の天端の影響を調べるその機構を考察した。

2. 実験概要

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な面で切ったときの面積（水衝面積）が等しい板と立方体を用いた（図2）。平面的な分布は、統計的に等しい。実験は3つの粗度とも同一勾配・流量の条件で測定し、抵抗係数を比較した。実験の条件は表1に示す通りである。

3. 抵抗係数の水理学的な構造

抵抗の線形性を仮定するとき、単位面積に働くせん断力は次式で示される。

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

ここに、 τ_s ；河床の砂面の摩擦抵抗、 τ_k ；突起した岩の抵抗係数、 τ_{kf} ；突起した岩の頂部の摩擦抵抗、 τ_w ；突起物背後に発生する波による抵抗、 β ；単位面積中に突起物と剥離領域を含めた面積が占める割合である。この τ_w と岩の抗力係数との関係が指摘されている¹⁾ことより、抗力係数に含ませることにする。

次に、1つの岩の抗力は次式で表される。

$$\tau_D = \frac{1}{2} \rho u_k^2 C_D A_D \quad (2)$$

ここに、 A_D ；水衝面積、 u_k ；岩頂の流速で表す。単位面積に n 個の突起があるときは、 τ_s の効果はそれほど望めない。ゆえに、抗力係数のみの関数で表されるものと考えられる。そこで、式(1)は式(2)より近似的に

$$\tau = \frac{1}{2} \rho \alpha^2 u_m^2 \sum_i^n C_{Di} \frac{A_{Di}}{A} \quad (3)$$

と表される。

粗面上の流速は、底面付近で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3つに分けて岩頂の流速と平均流速の比 α を求めると、

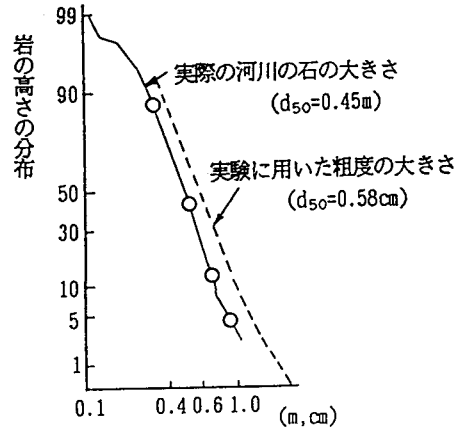


図1 実測と実験に用いた石の大きさの比較

表1 実験条件

Roughness Shape	Q (l/s)	H (cm)	Ie	u_m (cm/s)	Fr	Re ($\times 10^4$)
Hemisphere	3.1	3.1	1/50	19.0	0.26	0.60
	~15.8	~13.1	~1/500	~78.3	~0.96	~2.89
Cube	3.0	3.4	1/50	18.0	0.24	0.58
	~15.0	~11.5	~1/500	~84.5	~1.11	~2.85
Plate	2.9	4.0	1/50	13.4	0.16	0.49
	~15.3	~15.3	~1/500	~57.6	~0.62	~2.40

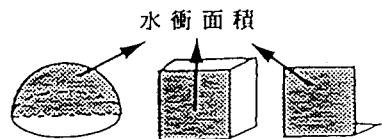


図2 用いた粗度と水衝面積

$$\alpha = \frac{\frac{1}{E} \left(1 - \frac{k}{2h} \right)}{\frac{1}{\kappa} \left(\ln \frac{h}{k} - \frac{k}{h} + 1 \right) + \frac{1}{E} \left\{ \frac{2}{3} \left(\frac{k}{h} \right)^2 - \frac{k}{h} + 1 \right\}} \quad (4)$$

と表せる。式中の E は、底面層内の渦動粘性係数を斉藤²⁾にならって $\varepsilon = u_* E k$ と表したときの定数であ

る。これらを考慮すると、摩擦係数 f は式(3)より

$$f = 4 \alpha^2 \sum_i^n C_{Di} \frac{A_{Di}}{A} \quad (5)$$

と表せる。この式(5)の抵抗係数 f は、突起物の水衝面積の和に比例する。抵抗係数 f は、従来から粗度の間隔の関数であることが知られている。そこで、岩の背後に生じる剥離領域の面積 S を加味すれば、式(5)は

$$f = 4 \alpha^2 \sum_i^n C_{Di} \frac{A_{Di}}{S} \frac{S}{A} \quad (6)$$

となる。大同は、式(6)中の $\sum AD/S$ の特性値を粒

径で議論している。しかし、ここでは分布が同じで形状が違っただけであるのでそのような特性値を見いだすことは困難である。ここで形状が異なり、さらには流れはいわゆる完全干渉流であり、Roughness sublayerの存在する流れ³⁾となっている。このような時の抗力係数の変化はそれほど望めないものと考えれば、抵抗係数を支配するものは、 α あるいは $\sum A_{Di}/S$ であろう。しかしながら、 α には形状によるパラメータは含まれておらず、 α だけの变化だけでは考えにくい。さらに、

α は、同一条件下では板および立方体とも同じ値をとるはずであり、抵抗係数は抗力係数に支配されると考えられるが図3から考えると明らかに抗力係数だけではなく他の要因による影響がでていると考えられる。

そこで、 $\sum A_{Di}/S$ の変化を水路床に単一で置いた各種粗度の同一条件下での実験結果を見てみると、図3のようになり、その比は

$$S_c : S_H : S_P = 0.6 : 1 : 1.8 \quad (7)$$

となる。図4は摩擦係数 f と相対水深 $h/d_{\max}$ の関係を示したものである。この図より同一水深の条件下での抵抗係数の比を粗度形状別にみると

$$f_c : f_H : f_P = 0.7 : 1 : 1.7 \quad (8)$$

となる。この比は上述の S の比とほぼ対応していることがわかる。すなわち、形状による抵抗係数の違いは、剥離領域での規模に比例したエネルギー損失が存在し、それが抵抗係数を支配することがわかる。

4. おわりに 本報では、分布と水衝面積が等しく形状の異なる種類の粗度の抵抗の機構を実験的に検討した。その結果、形状の異なる場合、抵抗係数は剥離領域によるエネルギー損失が大きく寄与していることを示唆し、突出した粗度の抗力係数だけでは抵抗係数の変化は説明できないことを明らかにした。

<参考文献> 1)高橋 迪夫 学位論文 1992年 2)斉藤ら 年次講演 昭和55年 3)辻本ら 土論 1991年

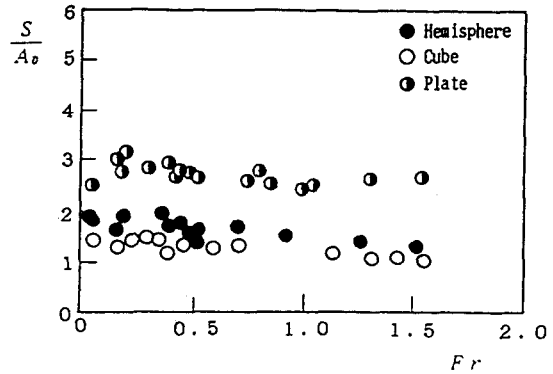


図3 粗度形状による剥離領域の面積の比較

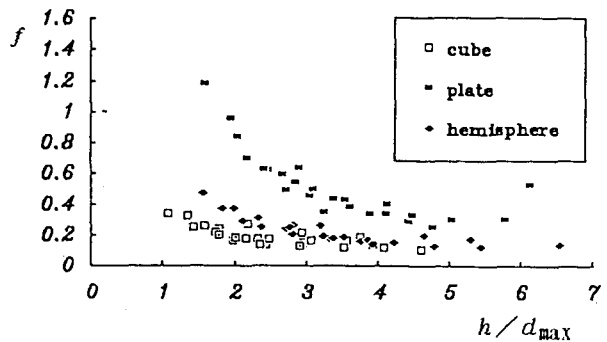


図4 抵抗係数の比較