

II-138

混合砂れきの限界掃流力に関する研究

立命館大学大学院 学生員 金森 奨
立命館大学理工学部 正 員 大同淳之

1. はしがき

混合粒径の限界掃流力は、その石がおかれている状態によって作用する流体力、静止摩擦角などが変わるため、一様粒径のそれとは変化することが予測されるが、従来の研究は流体力の変化にのみ目が向けられていて、静止摩擦角の効果については十分に調べられていない。

本文は、粒径比 d/d_s によって静止摩擦角が変わることに着目し、いくつかの d/d_s について摩擦角を求め、測定した限界掃流力のちらばりが摩擦角と流体力の変化を示す勾配によることを示す。

2. d/d_s の異なるときの摩擦角 $\tan \phi$

粒径 d_s の上に d の球があるとき、 d の球が回転で転動するときの支点と鉛直軸がなすときの摩擦角 $\tan \phi$ は図-1に示すように d/d_s の比によって異なる。その値は、棒のような二次的に扱えるものでは計算することができ、表-1のようになる。実際には動きはじめるときに見かけの表面摩擦が必要で、表-1の値より若干大きくなることが予測できる。しかし、二次元的な現象となる丸棒の上において測定した結果では、 $d/d_s = 1.0$ のとき、水中で $\phi = 31.2^\circ$ となり、ほぼ計算で得た値に近い。したがって、以下の実験値の整理では計算値を用いる。

3. 限界掃流力の測定

さきに述べたように限界掃流力は、摩擦角の変化だけでなく、河床の構成である d/d_s による河床粗度の変化あるいは水路勾配の増加による流体力の変化に左右される。

しかし、勾配が小さいところでは主として摩擦角の変化によって限界摩擦速度は変化し、 $d/d_s < 1$ のとき $d/d_s = 1$ に比べて $\tan \phi$ が大きくなることから限界摩擦速度は大きくなり、 $d/d_s > 1$ のときは逆に小さくなることが予測される。

実験は、長さ9m、幅0.2mの矩形断面水路を用い、固定床として直径17mmの丸棒を河床に設置し、直径の異なるガラス製の球を図-2のように置き限界掃流力を測定した。実験条件を表-1に示す。表-1における ϕ_0 の値は、勾配が0のときの幾何学的に得られた値であり、勾配 θ があるときの摩擦角は $\phi = \phi_0 - \theta$ となる。

勾配があるときの粒子の限界摩擦速度は次のように表される。¹⁾

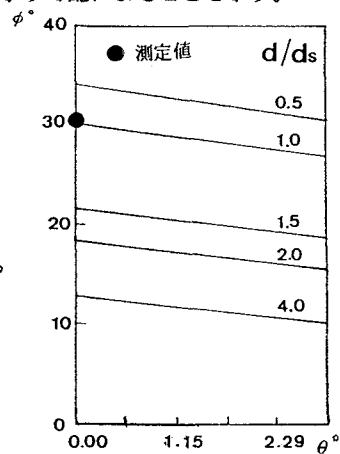


図-1 摩擦角

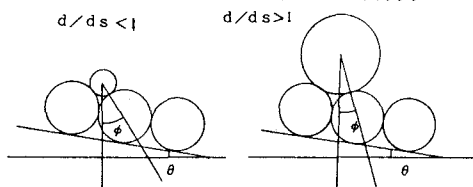


図-2 摩擦角の変化

表-1 実験条件

d (mm)	s (mm)	d/ds	ϕ_0 (°)	$\tan \phi_0$	勾配
0.5	1.7	0.29	50.6	1.22	0.01~0.05
1.2	1.7	0.71	35.9	0.72	0.01~0.05
1.7	1.7	1.00	30.0	0.58	0.01~0.05
2.5	1.7	1.47	23.9	0.44	0.01~0.05
3.0	1.7	1.77	21.2	0.39	0.01~0.05
3.6	1.7	2.12	18.7	0.34	0.01~0.05

$$\frac{u_*^2}{(s-1)gd} \cdot \frac{1}{\tan \phi \cos \theta - \frac{s}{s-1} \sin \theta} = \frac{1}{C_D} \cdot \frac{2k_3}{k_1 + \frac{C_L}{C_D} k_2 \tan \phi C^2}$$

ここに、 ϕ ：摩擦角、 s ：ガラス球と水の密度比で $s=2.52$ 、 θ ：水路の勾配、 g ：重力加速度
 C_D 、 C_L は、それぞれ抗力および揚力係数、 k_1 、 k_2 および k_3 は、粒子の形状係数である。

限界掃流力の実験結果を図-3に示す。図-3の横軸相対水深は、勾配の関数であって、左端は勾配がほぼ0に近い領域を示す。この領域での限界摩擦速度は、摩擦角の効果のみで支配されると考えられる。実験結果もさきに予測したように d/d_s が小さいものは τ^*c が大きくなり、 d/d_s が大きいものは小さくなることを示した。また従来より勾配が急になると d/h が大きくなるにしたがって τ^*c が大きくなることが指摘されており、そのとき、この変化も ϕ をパラメータとして表されるはずで、実験結果はそれを示す。

したがって、図-4のように砂粒Re数で表したとき、 ϕ と勾配の変化によって τ^*c が変化するはずで本研究の結果は、図-4の通りに表される。

4. むすび

混合粒径の限界掃流力は、石の置かれている状態で決まる流体力と摩擦角によって決まる。

1) 限界摩擦速度は、 d/d_s の値によって変化し、 d/d_s の値が小さくなるにしたがって大きい値となり、その逆であれば摩擦角 ϕ が小さくなるため、限界掃流力が小さくなる。

2) 勾配が急になるに従って、摩擦角が小さくなると共に、流体力に変化が生じる。勾配の効果間接的に相対水深 d/h で表すと、抵抗則の変化から、 d/h の増加にしたがって、 τ^*c も増加するが、その増加が摩擦角 ϕ をパラメータとして表せることが示された。

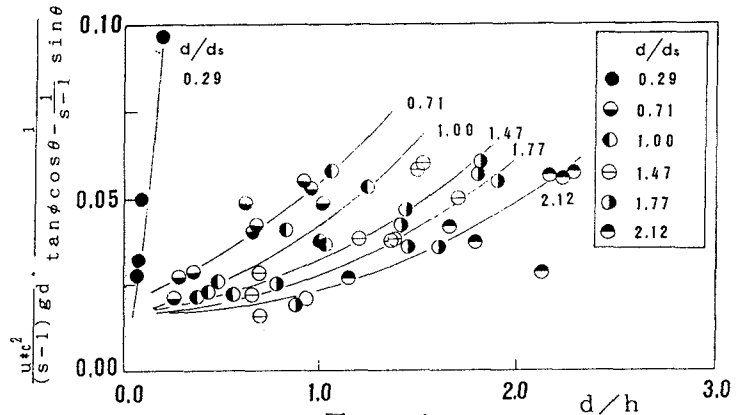


図-3 実験結果

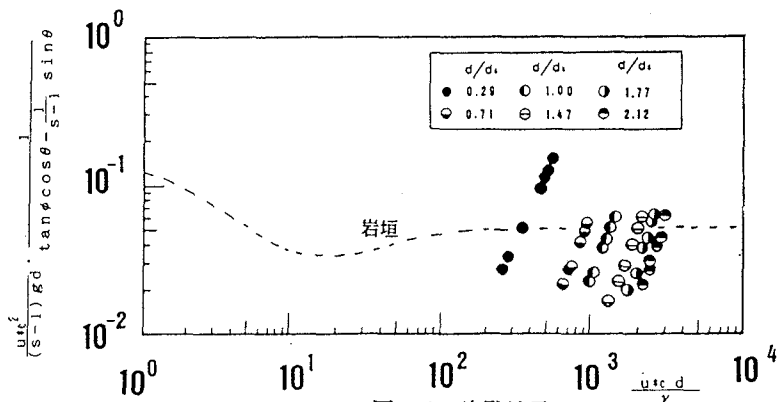


図-4 実験結果

参考文献

- 1) 芦田、大同、高橋、水山：急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究 京大防災研年報16号B