

89 砂礫の形状特性とその移動に与える影響

-----春木川の粘板岩砂礫を例に-----

東京農工大学農学部 ○永井 修 中村 浩之

1 はじめに

山地河川の砂礫は摩耗を受けておらず、さまざまな形をしており、形状が砂礫の移動にどのように影響を与えているのかを研究したものは少ない。(例えば、Komar & Li, 1986) そこで糸魚川-静岡構造線沿いに位置し、“七面山大崩れ”から大量の崩土を供給している早川右支春木川の千枚岩質粘板岩を対象に、砂礫の形状が移動に及ぼす影響について、甲斐駒ヶ岳から流出する大武川の花崗岩質砂礫と比較しながら検討した。

2 形状分布

粘板岩と花崗岩がどのような形状にあるのか、Zingg の方法で、ふるい分けした一様礫から3軸(長軸 a 、中軸 b 、短軸 c)を測定し、縦軸に b/a 、横軸に c/b をとるグラフで見えた。図1で見ると粘板岩は円盤状、小判状、棒状に広く分布しているのに対し、花崗岩は比較的球に近い範囲にとどまっている。

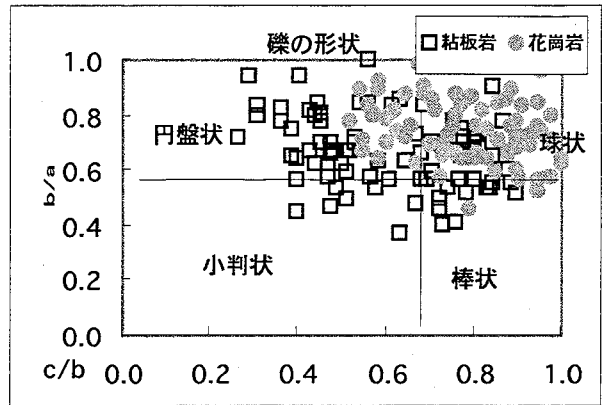


図1 粘板岩と花崗岩の形状分布

3 砂礫の形状がもたらす河床材料調査への影響解析

析用に河床表面礫については、線格子法で採取した礫の3軸(長軸 a 、中軸 b 、短軸 c)、重量、密度を計測し、河床材料については、河床表面下30 cmの砂礫の4 mm通過、3.36 mmふるい残留の砂礫を用意し、同じく3軸、重量、密度を計測した。計測した個数はそれぞれ80~100個である。これらの礫について偏平度(Flatness 指数)を表わすCorey のShape Factor (CSF)をパラメータに、密度から割り出した体積で等価相当粒径($d.n.$)を計算し、それぞれ3軸の算術平均粒径($d.a.$)、幾何平均粒径($d.g.$)とを比較した。

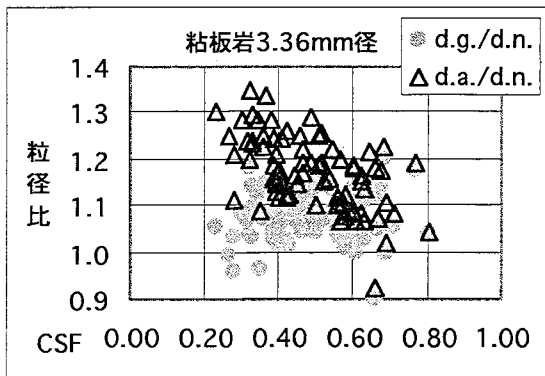


図2-a 粘板岩礫の粒径比 (春木川)

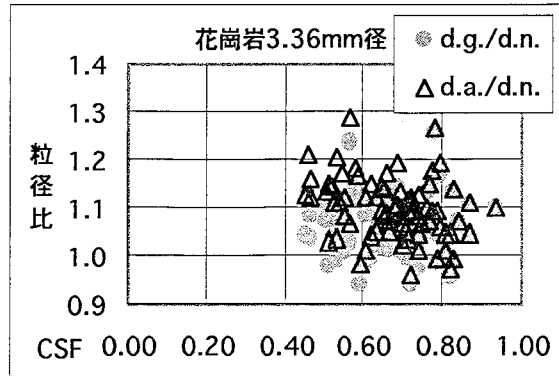


図2-b 花崗岩礫の粒径比 (大武川)

$CSF = \frac{c}{\sqrt{ab}}$ (1) であり、1で真球、0に近づくにつれ偏平になってゆく。図2-aは粘板岩(春木川)、2-bは花崗岩(大武川)の4 mm通過3.36 mmふるい残留の礫の等価相当粒径に対する粒径比である。この図から幾何平均粒径は礫が偏平になっても等価相当粒径とあまり差(平均1.1倍)がなく信頼度があるのに対して算術平均粒径はCSFが0.5以下になると差が大きく、粘板岩で顕著である。ここでは掲載を割愛したが、線格子法で採取した両河川の河床表面礫についても同じ傾向であった。ふるい分けした粒径評価の違いを表1に示す。ふるい分けは等価相当粒径よりも小さく評価されることがわかる。これは礫の歪みに起因している。(Baba & Komar, 1981) また、3軸測定した場合は等価相当粒径よりも幾何平均粒径、算術平均粒径の順で大きく評価される。

表1 4 mmふるい通過3.36 mmふるい残留粒子の粒径評価 (値は80個の平均値)

	等価相当粒径 (d.n.)	幾何平均粒径(d.g.)	算術平均粒径 (d.a.)
粘板岩	4.2 mm	4.5 mm	4.9 mm
花崗岩	4.1 mm	4.4 mm	4.5 mm

4 砂礫形状が限界掃流力に与える影響

礫の限界掃流力について、形状の影響を考慮して解析してみる。礫の限界掃流力は、Egiazaroff の式の誘導過程で、混合砂礫に一樣礫を適用して形状にかかわる係数をまとめれば、

$$\rho u_{*c}^2 = \frac{1}{27 \cdot C_D} \frac{V}{A} (\sigma - \rho) g \mu \quad \text{--- (2)}$$

V : 礫の体積、A : 礫の投影面積、C_D : 抗力係数、μ : 静止摩擦係数

体積Vは3章で検証した3軸の幾何平均が使えるので $V = abc\pi/6$ 、ところが、投影面積は3軸方向で大きく異なる。しかし、その面積は流れに直角な2軸の楕円で近似でき、最大面積 $A_1 = ab\pi/4$ 、中間面積 $A_2 = ac\pi/4$ 、最小面積 $A_3 = bc\pi/4$ になり V/A はそれぞれ流体に平行な軸のみに依存することになる。図3は3章で使った粘板岩礫の限界掃流力を(2)式で計算し、等価相当粒径の真球のときのそれと比較したものである。横軸はCSFである。この場合、長軸が流れに平行なときの粘板岩の平均限界掃流

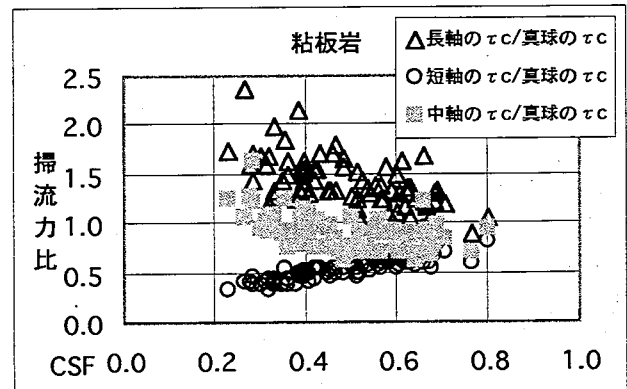


図3 粘板岩の3軸方向の τ_c と真球のときの比

力は3軸の幾何平均粒径相当の球とみなしたときの限界掃流力の1.6倍、花崗岩で1.34倍である。同じ大きさの一樣礫を使った限界掃流力の水路実験と計算の結果を表2に示す。 $U_{*c}^2 \approx \tau_c$ であるので、最小投影面積の τ_c は実験結果とよく適合しており、砂礫の長軸が限界掃流力に関与していると考えられる。ところで、砂礫は長軸が流れに平行な場合に安定しており、特に粗礫河床ではこのような砂礫の配列を見ることができる。(Allen, 1982) したがって粗礫河床では、河床破壊の限界掃流力を考えるとき、礫の長軸を指標と考えることが可能である。

表2 実験で得られた U_{*c}^2 と等価相当粒径(粘板岩4.2mm、花崗岩4.1mm)を使った $U_{*c}^2 (cm/s)^2$ 、 τ_c の計算結果

	実験による U_{*c}^2	Shields式 U_{*c}^2	最小面積の τ_c	真球の τ_c	$U_{*c}d/v$
粘板岩	62.04	35.80	62.43	43.89	240
花崗岩	47.69	33.55	49.79	41.46	226

5 まとめ

今回の解析と実験の結果、礫の形状は想像以上にその移動に影響を与えており、粘板岩のような変形礫を球体とみなすことには限界があることが明らかになった。まず、粒径評価の段階で、これまで言われているように3軸測定は等価相当粒径より大きく評価され、ふるい分けでは小さく評価される傾向にあり、粘板岩では花崗岩に比べこの差が大きく、粒径評価の時点で誤差が生じていた。次に、礫の限界掃流力は、流体に対して平行な軸の長さに依存することが明らかであり、河床で礫がどのように位置しているのが重要になってくる。特に粗礫河床では長軸が重要なパラメータとなり得る。河床のプロファイルについて粗度やプール、ステップなどの面から研究されたものは多いが、礫の配列(orientation)や重なり(imbrication)を含めて研究されたものは少なく、今後の課題としたい。

参考文献

- Komar, P.D. & Li, Z. (1986). Pivoting analysis of the selective entrainment of sediments by shape & size with application to gravel threshold, *Sedimentology*, 33, 425-436
- Baba, J. & Komar, P.D. (1981). Measurements & analysis of settling velocities of natural quartz sand & grains. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 631-41
- Allen, J.R.L. (1982). Orientation of particles during sedimentation: shape fabrics. *Sedimentary Structures: Their*