# 多様な形状・粒径から成る石礫粒子群の流砂量に関する研究

中央大学大学院	学生会員	〇田所	弾
中央大学研究開発機構	正会員	福田	朝生
中央大学研究開発機構	フェロー	福岡	捷二

### 1. 序論

石礫河川の河床は、様々な大きさと形状の粒子から構成されているため、洪水時の河床安定には粒度分布や河床 粗度の影響だけでなく、洪水後の河道に見られる石礫河川特有の覆瓦構造等、石礫粒子の形状が河床安定に寄与し ていることが知られている.様々な形状の河床材料からなる石礫河川の土砂移動問題を理解するためには、粒子形 状の影響を明らかにする必要がある.本研究では、種々の形状と大きさからなる粒子群と流体の運動を同時に解析

できる数値水路(図-1,2)を用いて,各々3種類の崩落数値実験・移動床数値 実験を行い,安息角や流砂量,その素過程である Pick-up rate(粒子の離脱確率) と A<sub>2</sub>d<sup>2</sup>(離脱粒子の河床停止時の上から見た際の露出投影面積), Step length(粒 子が離脱してから堆積するまでの移動距離)に対し,粒子形状や粒径がどのよ うに効いているか検討する.

### 2. 数値移動床水路の概要

図-3に示す5種類の形状を用いて図-4に示す粒度分布(40mm 青色,50mm 赤 色,70mm 水色,90mm 緑色,120mm 黄色) となるように各形状を均等な数に設 定し,数値実験を行った.石礫粒子4形状の粒子径は同一体積の球の直径とし て定義している.崩落実験では水路の端から2mの範囲に壁を立て,その間に 高さ2mとなるように粒子群を敷き詰め,水深3.0mの条件の下,瞬時に壁を取 り除き粒子群を崩落させる.移動床実験では,水路長15mの水路上流端で0.5 m<sup>3</sup>/sの一定流量を与える.給砂は下流端を通過した粒子を同時刻に上流 x=1-2mの範囲にランダムに投下させる.数値解法は福田らの解析法を用 い,流れは Euler 的に,粒子は剛体として Lagrange 的に解析する.

#### 3. 崩落実験での tan Φと移動床実験での流砂量の比較

崩落実験では、崩落後の最急勾配を計測しtanΦを評価した.同一粒子 群の実験は、水路底面を移動床・固定床、さらに崩落粒子群の敷き詰め、 高さを変えてもtanΦの値がほとんど変化しない.実験結果を図-1に示す. 球粒子が多く含まれているほどtanΦの値が小さくなることが確認できる. 次に数値移動床実験では2m間隔・60s間計測した同粒径同形状の流砂量 の時空間平均の値を図-2に示す.球粒子が多いほど流砂量が大きくなっ ていることがわかる.図-5に示すtanΦと流砂量を比較すると、同様の粒 度分布を用いても、球形粒子群が多いほど、粒子群間での接触点数が減少 することで、粒子形状によるかみ合わせ効果が減少し、tanΦが小さく、 流砂量が大きくなると考えられる.

### 4. 流砂量の素過程に及ぼす粒子形状の影響

Case2-1,3 を用いて各粒径毎の粒子形状が  $A_2d^2$ , Pick-up rate, Step length に対し、どのように効いているか検討する。そして上記の計測した素過程 と流砂量式(1)から算定する流砂量と数値移動床水路で計測した流砂量を

キーワード 数値移動床水路,粒子形状,流砂量,石礫河川,粒度分布 連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27-31214 中央大学研究開発機構







#### TEL 03-3817-1615

比較する.

$$q_{B} = \left(A_{3}d^{3}/A_{2}d^{2}\right) \cdot \Lambda \cdot p_{s} \tag{1}$$

ここに A<sub>3</sub>d<sup>3</sup>: 粒子体積, A<sub>2</sub>d<sup>2</sup>:離脱粒子の水路上から見 える面積, P<sub>s</sub>: 平均 pick-up rate, A: 平均 step length である. 本研究では石礫の粒子径は,同一体積の球の直径として定 義しているため,異なる 5 形状粒子の A<sub>3</sub>d<sup>3</sup>の値は各粒径で 同一である.数値移動床水路では時空間的に河床を構成し ているすべての粒子の座標を把握できる.どのような状態 の粒子をもって河床粒子(移動する確率を持っている粒子) と定義するかは,石礫粒子群の離脱過程を検討する上で重 要である.そこで実際に離脱した粒子が動き出す前の停止 時に水路上から見える面積割合分布と,水路上から少しで も見え,停止している全粒子の面積割合分布の比較を図-6 に示す.これより,70%以上河床から露出している場合に 多く動き出していることが確認できる.この結果から,7 割以上露出している粒子を河床粒子と定義した.図-7 に離

 $(A_2d^2)$ の、同粒径の球に対する面積 ( $\pi d^2/4$ )の割合

(A<sub>2</sub>d<sup>2</sup>/(πd2/4))を示す.これより,球形から異なる形状の 粒子ほど大きな値を示している.そして,大きい粒子ほど 粒子形状による A<sub>2</sub>d<sup>2</sup>の差が顕著に出ている.これは小さい 粒子は大きい粒子に比べて相対的に周りの粒子配置の影響 を大きく受け,安定な向きをとりにくいためと考えられる. 図-8 に示す Pick-up rate の計測結果を見てみると, A<sub>2</sub>d<sup>2</sup>が大 きい粒子ほど, Pick-up rate が小さくなる傾向を示す.つま り球とは異なる形状の粒子ほど流れに対し安定した向き

(平らな面を上)をとって停止し,離脱しにくいことが確認できる.ここでCase2-1での球形が大きな値を示すのは, Case2-3に比べ,周りにある粒子によるかみ合わせ効果が小さいためと考えられる.図-9には数値移動床水路で十分な標本数を計測できる小さい粒径(d=40,50mm)のStep lengthを示す.大きい粒子のStep lengthは長いため,水路が十分



長くないと計測できない.(d=70mm 粒子の標本数は少ないが,参考のため図にのせている.) Step length は粒径で 無次元化している.小さい粒子では,球形よりも石礫粒子の方が Step length が大きくなる傾向を示している.これ は石礫粒子が流れ場よりも遅い速度で移動している場合,流れに対して大きな投影面積をとり,大きな流体力を受 けながら移動するため,球に比べて停止しにくいことが考えられる.図-10は,計測した流砂量の素過程から式(1) を用いて算定した d=40,50mm の流砂量と,計測した時空間平均流砂量の比較を示す.これより計測した流砂量と, 素過程から算定した流砂量は,最大で1.5倍程度の差はあるものの,ほぼ近い値を示すことが確認された.

## 4. 結論

流砂量やその素過程に対し、粒子自身の形状だけでなく周りにある粒子群の影響も受けていることを示した.今後は大きい粒径の Step length も計測できるように十分長い数値移動床水路を用いて解析し、小から大粒径まで含む 粒子群について Step length に及ぼす粒子形状の影響について検討する.