

混合粒径条件下における高精度な流砂量式構築のための基礎的研究

岐阜大学 大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 学生員 ○大橋 一弘
 岐阜県 県土整備部 岐阜土木事務所 井上 公斗
 岐阜大学 流域圏科学研究センター 正会員 原田 守啓

1. はじめに

総合土砂管理、河川環境管理において、平水時から出水時までの幅広い流況における流砂の動態を適切に評価することの重要性はますます高まっている。しかし、河床材料の粒度分布が二峰性で中央粒径が評価しにくい場合や、小径の土砂のみが移動して大径の土砂が静止している場合などでは、既存の混合粒径の流砂量式の適用が難しいことも報告されており、幅広い流況に適用できる流砂量式が求められている。

そこで本研究では、二峰性粒度分布を有する河床における流砂過程について考察するため、水理特性について多くの知見が得られている人工粗度要素（円柱状粗度、球状粗度）上における砂粒子の運動過程に着目した実験を行い、Einstein 型の掃流砂モデルにおける Pick-up rate と Step length の観点から、平坦河床の場合と比較考察する。既報¹⁾では、横断方向一様の円柱状粗度上での実験を実施した。本報では、より実際の河床に近いと考えられる球状粗度上における実験結果について考察する。

Einstein の掃流砂モデルでは、掃流砂量 q_B を、Pick-up rate p_s （河床からの砂の単位時間あたりの移動開始確率）と、Step length Λ （移動を開始した砂が再び河床に停止するまでの移動距離）の積としている。単位面積に存在する移動可能な砂の体積を V_B で与えると、掃流砂量は式(1)で表される。

$$q_B = V_B \times p_s \times \Lambda \quad (1)$$

Pick-up rate と Step length が、流砂量・掃流力の変化に対してどのように変化するかを評価することができれば、より広い流況に対応した高精度な流砂量式を構築することができると考え、本実験の考察を行った。

2. 実験・解析方法

実験に使用した水路は、長さ 14.9 m、幅 0.4 m の可変勾配型の循環式直線水路である。水路床に、模擬河床として直径 49 mm のスーパーボールを最密充填配置で設置した。供給砂は平均粒径が 1.44 mm となる一様砂であるので、粒径比が約 33 倍の二峰性の粒度分布を模擬した実験条件となる。実験条件を表-1 に示す。流量 3 段階 × 給砂量 3 段階とし、計 9 ケースの実験を行った。なお、模擬河床区間の水深を測定することで、等流状態を確認している。

実験手順は以下の通りである。模擬河床に砂を敷き詰め目的の流量で通水し、砂が移動限界に達したのち、連続的に給砂し、水路側面からビデオカメラで砂の移動を撮影する。撮影した画像をもとに ImageJ を使用して各ケースにつき約 100 個の砂の軌跡を記録し、また軌跡から Step length を実測する。

表-1 実験条件 ($I_e=1/200$)			
Case	流量 Q (L/s)	給砂量 Q_{Bs} (cm ³ /s)	摩擦速度 u^* (m/s)
A1	9.4	0.44	0.053
A2	13.3		0.058
A3	18.8		0.064
B1	9.4	0.80	0.052
B2	13.3		0.058
B3	18.8		0.063
C1	9.4	1.60	0.048
C2	13.3		0.056
C3	18.8		0.061

3. 結果と考察

3. 1 平均 Step length と逆算 Pick-up rate

各ケースで得た約 100 個の Step length の中央値を、平均 Step length として整理した結果を図-1 に示す。本実験の結果（塗りつぶしのプロット）と、平坦河床に適用される Sekine-Kikkawa の近似式²⁾を比較すると、約 1/10 程度と極端に小さい。また、円柱粗度実験の結果（白抜きのプロット）¹⁾とは同程度を示した。

各ケースの平均 Step length から、式(1)により Pick-up rate を逆算した結果を図-2 に示す。本実験の結果と、平坦河床に適用される中川・辻本の近似式³⁾を比較すると、給砂量によって大小関係が異なるが、オーダーと

キーワード 掃流砂、二峰性混合粒径、等移動仮説、Step length、粒子軌跡

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 岐阜大学 流域圏科学研究センター 水系動態研究室 TEL 058-293-2474

しては同程度を示した。また、円柱状粗度実験の結果と比較すると、どのケースも小さい。

3. 2 Step length, Pick-up rateの補正係数 α , β

Step length と Pick-up rate のそれぞれに、平坦河床での近似式による値に対する比を算出し、これを補正係数 α , β と定義し整理した結果を図-3 に示す。 α , β を水理量により予測的に評価することができれば、二峰性混合粒径条件下の掃流砂量式の精度を向上させることができると思われる。

給砂量を増加させると平坦河床に近づくため、 α , β はそれぞれ 1 に近づくと思われる。円柱粗度実験と比較すると、本実験では直線に近いプロットの分布となり、水理量の変化に対して規則的であるといえる。

3. 3 粒子軌跡の解析に基づく考察

粒子軌跡を平坦河床の場合と比較し、考察した結果を以下に述べる。(1) 平坦河床の場合は複数回跳躍したのち停止するが、本実験では移動を開始した砂は球の隙間に落ち込むことで停止する。これは、球により遮蔽効果が働くこと、また剥離渦の影響によると考えられる。多くの砂は一度の跳躍で停止し、かつ移動距離が小さいが、給砂量が増加するにつれて一度の跳躍での移動距離が大きい砂が増加する。(2) Saltation 高さは粒径の 1~2 倍であり、平坦河床の場合の 2~3 倍と比べて小さい。(3) 砂は鉛直方向に揺動しながら流下方向に移動する。

また、砂の移動速度を平坦河床の場合と比較する。平坦河床の場合は河床と接触することで加速と減速を繰り返す。しかし、本実験では河床との接触がないが、加速と減速を繰り返している。これについても球により発生する渦が原因であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、柱状粗度実験を踏まえ、球状粗度での掃流砂の移動を解析し、Einstein の掃流砂モデルにおける Step length と Pick-up rate に着目し、砂の移動過程を平坦河床の場合と比べ考察した。以下にまとめを示す。

- 1) 平均 Step length は平坦河床にくらべ約 1/20~1/10 と極端に小さい一方、Pick-up rate は同程度を示した。また、柱状粗度実験の結果と比較すると、平均 Step length は同程度であり、Pick-up rate は穏やかである。
- 2) 粒子軌跡の解析を行ったところ、砂の移動過程は平坦河床の場合と以下が異なる。(1) 跳躍の回数と距離、(2) Saltation 高さ、(3) 鉛直方向への揺動がある。これらは球により発生する渦の影響であると考えられる。今後は、 α , β の評価方法を検討し、二峰性混合粒径条件下での掃流砂量の予測精度向上を目標とする。

参考文献

- 1) 大橋一弘, 原田守啓: 混合粒径条件下における高精度な流砂量式構築のための基礎的実験, 土木学会第71回年次学術講演会, II-049, 2016.
- 2) Masato Sekine, Hideo Kikkawa: Mechanics of Saltating Grains. II, *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 118, 1992.
- 3) 中川博次, 辻本哲郎: 水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第244号, pp.71-80, 1975.

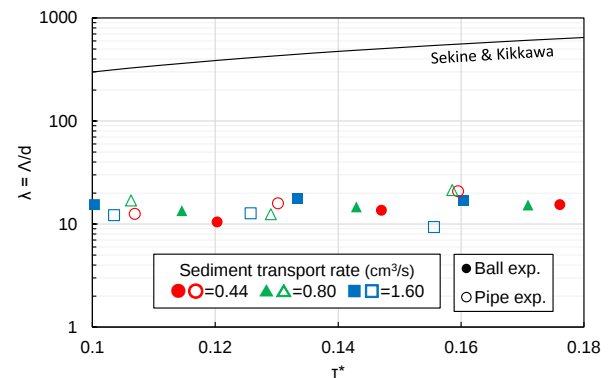


図-1 無次元掃流力と平均 Step length

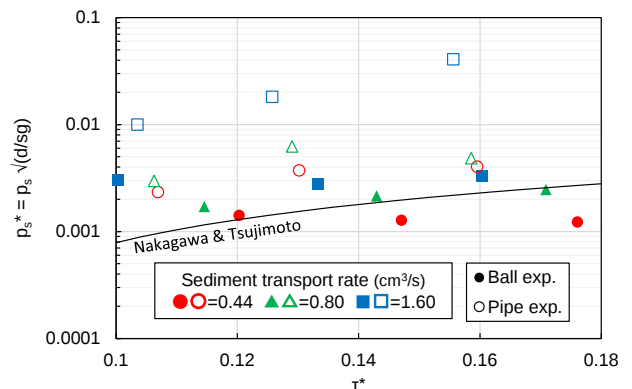


図-2 無次元掃流力と逆算 Pick-up rate

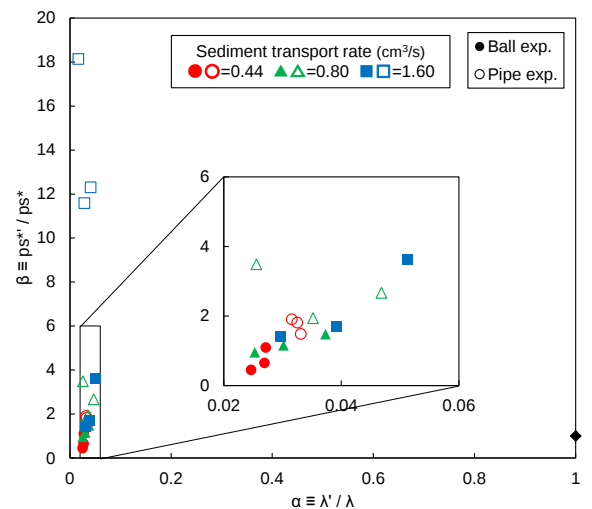


図-3 Step length, Pick-up rate の補正係数 $\alpha \cdot \beta$