

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

岐阜大学 大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 学生会員 ○大橋 一弘
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

流域で一貫した土砂管理を推進する上で、流砂の動態の把握と輸送量の評価が適切になされることが重要であり、これに関わる調査研究が進められている。本研究は、石礫と砂で構成された二峰性の粒度分布をもつ混合粒径条件において、石礫は移動せず砂のみが移動する状態の素過程に着目し、幅広い流況における高精度な流砂量式を構築するための基礎的な知見を得ることを目的とした水理実験を行った。

本研究では、まず、掃流砂の縦断・鉛直方向のみの移動に着目し、横断方向に一樣な河床形状にした実験系を構築して、掃流砂の移動形態が掃流力によってどのように変化するかを検討した。とくに、砂の移動限界状態のパターンと、移動限界状態から給砂して掃流砂が動的平衡になっているパターンについて掃流砂の移動形態の違いを観察した。また、既往の流砂量式から流砂量を求め、実験による流砂量と比較し検討する。さらに、Einsteinの掃流モデルにおける p_s と A を求め、それらの既往の評価式による結果と比較した。

Einsteinの掃流モデルでは、掃流砂量 q_B を、河床からの砂の単位時間あたりの移動開始確率（ピックアップレート p_s ）と、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（ステップレングス A ）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。

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

p_s と A が水理量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ことができると考え、本実験の考察を行った。

2. 実験方法

実験は、延長 14.9 m、幅 0.38 m、深さ 0.30 m の矩形断面の直線水路を勾配 1/200 に調節して行った。模擬河床として直径 48 mm の塩化ビニール製の中空パイプを横断方向に並べて固定した。砂は平均粒径が 1.44 mm となる一様砂を使用したことから、粒径が約 33 倍となる二峰性の粒度分布を模擬した実験条件となる。流量は 10, 15, 20 L/s の 3 パターンとし、計 6 ケースの実験を行った。

模擬河床に砂を敷き詰め平坦河床にしてから通水し、模擬河床区間の砂が移動限界に達したら、「給砂なし」の場合は実験を開始し、「給砂あり」の場合は 4.2 cm³/s/m を連続的に給砂し動的平衡に達してから実験を開始した。一つ一つの掃流砂の移動開始から停止までの軌跡を画像から得るために、水路側面から流砂をビデオカメラで撮影し、その画像をもとに ImageJ を使用し粒子移動軌跡を分析した。

3. 実験結果と考察

3. 1 掃流砂の移動の特徴

流砂の移動過程における各粒子の運動や移動軌跡に着目すると、以下の特徴が確認された。

流量に対して流砂量が少なく、砂面高が低い場合は、パイプ間の凹部に剥離渦が顕著に発生し、その渦によりパイプ間に堆積した砂が常時揺動する。揺動している粒子が、剥離渦によって巻き上げられ、流速が大きい高さまで浮上すると、流下方向へと輸送される。移動する粒子がパイプに接触すると、パイプ上を滑動・転動しながら、接触した直下流のパイプ間の凹部に収まり、停止する。一方、流量に対して流砂量が大きく、砂面高が高い場合は、剥離渦は見られず、砂面の至る所から砂粒子がピックアップされ、平坦河床における粒子の saltation 運動に近い挙動を示す。このように、流量に対する供給土砂量（流砂量）のバランスによって、大径粒子（本実験ではパイプ）の露出度合いが変化すると同時に、砂粒子の運動形態が異なることが示唆された。

キーワード 掃流砂, ステップレングス, 混合粒径, 水理実験, 粒子軌跡

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学流域圏科学研究センター水系動態研究室 TEL058-293-2474

3. 2 既往の掃流砂量式との比較

以下では、 q_B , p_s , λ をそれぞれ粒径について無次元化した q_B^* , p_s^* , λ を用いて考察する。スイス公式、芦田・道上の式において、全掃流力を有効掃流力として掃流砂量を求めた結果(図-1(上))では、実際の給砂量より約10倍大きく評価される。本実験のように河床に凹凸がある場合は、全掃流力に占める形状抵抗の割合が大きくなり、相対的に有効掃流力が小さい。有効掃流力の評価方法については、本稿執筆時点では検討中である。

3. 3 既往の λ , p_s^* 評価式との比較

各ケースにおける約50~200個の砂粒子の移動軌跡にもとづき、ステップレングス λ を評価した。 λ は個々の粒子によって異なるため、 λ の代表値を、以下の2通りの方法により決定した。1つ目の方法では相加平均を用いた。2つ目の方法では、観測値を超過確率として整理し、指数型分布を仮定して、超過確率50%となる λ を平均 λ とする方法で求めた。以上により整理された各ケースの λ の代表値を図-1(中)に示す。

これらの λ を、既往の推定式 λ_r と比較すると約1/10程度であり、かなり小さいことが確認された。これは、砂粒子が跳躍したのち再び河床に接したとき、平坦河床の場合はある程度の速度を保ったまま複数回バウンドするが、本実験における砂粒子は、パイプ間の凹部に収まって停止するためであると考えられる。事実、ステップレングスの分布は、パイプ径の整数倍ごとに分布が集中していた。

中川・辻本の p_s^* 評価式と、本実験における λ の代表値と給砂量から割り戻して逆算した p_s^* を図-1(下)に示す。実験から求めた後者の p_s^* については、水路床の全面が砂面とみなした場合(白抜きのプロット)と、砂面の露出面積を考慮した場合(黒塗りプロット)を示す。砂面の露出割合を考慮した p_s^* を評価式と比較すると約10倍大きくなった。これは主に剥離渦によりパイプ間の砂が巻き上げられることにより、平坦河床の場合と比較すると、砂粒子がさかんにピックアップされるためであると推察される。

4. おわりに

本研究では、まず、掃流砂の縦断・鉛直方向のみの移動に着目し、横断方向に一樣な河床形状にした実験系を構築して、掃流砂の移動形態が掃流力によってどのように変化するかを検討した。以下にまとめを示す。

- 1) 砂粒子の移動軌跡の観察より、流量と流砂量のバランスに伴って変化する砂面高の高低によって、掃流砂の移動の過程が異なることを確認した。
- 2) 砂粒子の移動軌跡から求めた λ と p_s^* を平坦河床の場合と比較すると、平均的には λ は小さく p_s^* が大きい傾向が見られた。流砂量が増加し砂面高が上昇すると、 λ は増加し、 p_s^* は減少して、平坦河床における値に近づくと予想される。

今後の課題として、混合粒径の流砂量式および遮蔽効果との関係性の検討、3次元性が強い流れ場での実験との比較などを踏まえて、 p_s^* , λ 評価式への反映方法を検討することが挙げられる。

参考文献

- 1) 関根正人：移動床流れの水理学，共立出版，pp.99-102，2005。

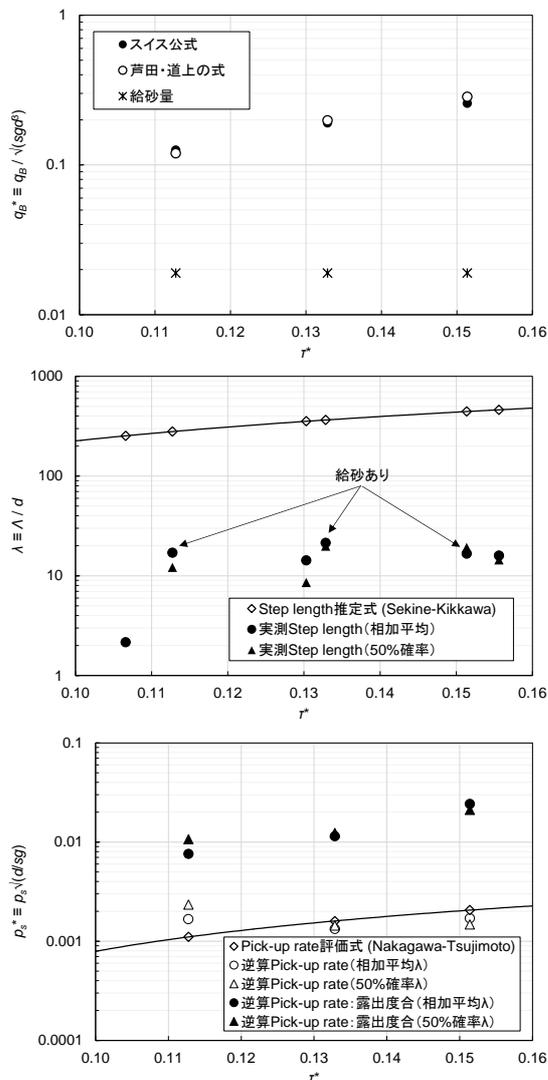


図-1 τ^* と q_B^* , λ , p_s^* の関係