

掃流層における流れ系と粒子系の
相互作用に関する実験的検討

京都大学工学部 正 員 中川博次 京都大学工学部 正 員 後藤仁志
京都大学大学院 学生員 渡辺幹広 京都大学大学院 学生員 〇井上裕介

1. まえがき 掃流過程を記述する上で重要な点は、①河床面との接触の不規則性、②粒子系・流体系の相互干渉の2点であるが、前者を取り扱う上で極めて有効な手法として知られるのが、Einstein型の確率モデルである。従来の確率モデルにおいては、①に重点を置いて研究が進められ、②についてはモデルの性格上の取扱いの困難さ(Euler-Lagrange coupling)のために考慮されてこなかった。②の重要性は、砂粒子数密度の増加に伴い増加すると考えられるので、本研究では、砂粒子数密度の高い掃流力の大きい領域(この領域における掃流粒子の運動はsaltationとなる)における掃流層の構造についての実験的把握を試みる。さらに、実験結果を清水流近似を用いた従来型の掃流過程の数値シミュレーション(①の効果のみ考慮)と照合して、掃流過程に対する②の効果の影響について考察を加えるものである。

2. 実験およびシミュレーションの概要 長方形断面水路(長さ9m,高さ32cm,幅12cm)に粒径5mmのガラス・ビーズを敷き詰めた粗面固定床を設置し、固定床に用いたのと同じ粒子(比重2.6)を水路上流端から定常に供給して、その運動を側方からビデオ撮影した。得られた粒子の移動軌跡の画像を解析することにより、④砂粒子の鉛直方向存在確率密度と⑧砂粒子の流下方向移動速度を評価した。水理条件を表-1に示す。シミュレーションにおいては、清水流近似を用いて流速分布を対数則で与え、河床底面における砂粒子の速度を初期条件に砂粒子の運動方程式の数値解を求めてsaltationを追跡した。河床との接触の不規則性については、仮想反発面傾斜角の確率的性質に着目した2次元反発モデル¹⁾を用いて取り扱うこととした。

3. 結果と考察 図-1は、鉛直方向存在確率密度の実験結果をシミュレーション結果とともに示したものであるが、存在確率は y/d の増加に伴い、底面付近から一旦増加し、極大値をとってから減少し、 $y/d=6.0$ 付近でゼロとなる傾向を示している。シミュレーション結果と実験とを比較すると、掃流層の上部では過小評価・下部では過大評価となる傾向が認められるものの、シミュレーション結果は実験値の傾向をほぼ良好に表しており、鉛直方向存在確率密度の推定に関しては、清水流近似の導入が本実験の範囲では妥当な近似とな

表-1 実験条件

Ie	h(cm)	Um(cm/s)	U.(cm/s)	τ_*	Fr	Re.
0.02	3.91	108.7	9.52	0.11	1.75	5435
0.02	8.29	144.75	13.56	0.23	1.61	7237.5

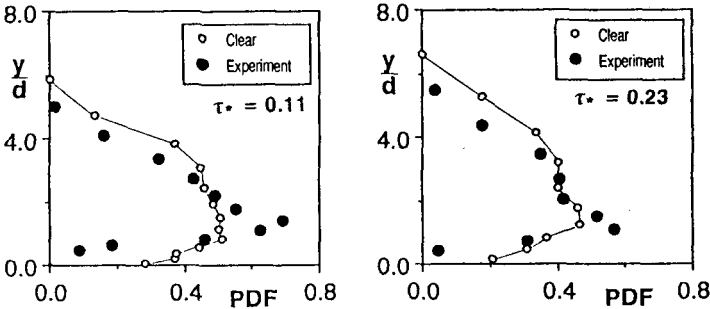


図-1 鉛直方向存在確率密度

っていることが示唆される。一方、図-2は、砂粒子の水平方向移動速度の分布を示したものであるが、存在確率密度の場合とは対照的に、実験値とシミュレーションとの間に大きな差異が見られる。シミュレーション結果は両ケースとも過大評価となっているが、両ケースともに底面に近づくにつれて実験とシミュレーション

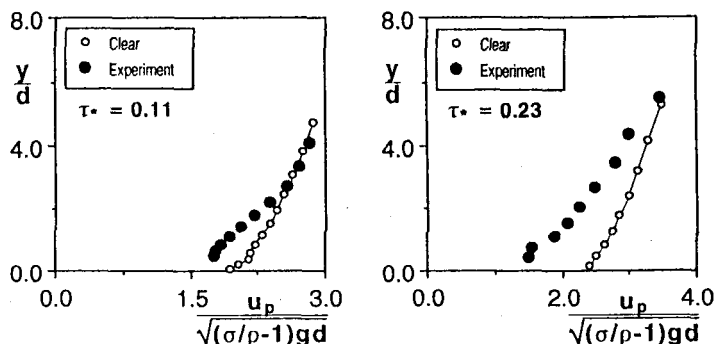


図-2 砂粒子の水平方向移動速度

の差が大きくなり、底面のごく近傍では実験値はシミュレーション結果の 60~80%程度の値をとっている。一般に、掃流粒子は流れ場から運動量の供給を受けて運動を継続しているから、流れ場にはこの反作用として運動量欠損が生じているものと推定される。実験値とシミュレーション結果との差は、このような粒子混入による流れ構造の変化を考慮していないために流速が過大評価されていることに起因すると考えられる。粒子の存在確率の低い掃流層の上部ではシミュレーションと実験結果の差は小さく、存在確率の高い底面付近では両者の差は顕著となるという事実は、混入粒子数と速度欠損の関係を強く示唆しており、移動速度の特性の説明に混相流的な取扱いが重要であることが理解できる。

砂粒子の移動速度は、流れ場の構造変化の直接的影響を反映するものであるが、粒子系の運動（すなわち saltation）は流れ構造の変化と河床面における確率的衝突・反発の両方の影響を受けてより複雑な様相を呈するものと考えられる。図-3は、粒子系の特性量の例として、シミュレーションから求めた step length (successive saltation の長さとして定義) と掃流力との関係を示したものである。掃流力が大きくなるに連れて、実験値とシミュレーションとの差異が大きくなり、 $\tau^* > 0.3$ 程度になるとシミュレーション結果は実験結果の 3倍以上にも達している。移動速度の実験結果がシミュレーション結果の 60~80%程度であるから、step length に見られる差は、粒子混入による流速分布の欠損に起因する単一の saltation 長の減少を考慮するだけでは説明不可能である。従って、実験結果の示す step length の変化傾向を説明するには、単一の saltation 長の変化に加えて、衝突事象の確率的特性の変化を考慮する必要があるものと判断される。以上のような事実から、特に掃流力の大きい領域では、流れ系と粒子系の相互干渉による粒子系の変化が無視できないものと推察される。

4. あとがき このように、従来の確率過程型のシミュレーションに用いられてきた清水流近似は、掃流力の大きい領域で精度面の問題を生じさせることが明かとなったが、これを克服するためには流体系・粒子系の相互作用すなわち流れ場の構造変化を考慮した掃流砂モデルを構築することが必要不可欠である。

参考文献 1) 中川・辻本・赤尾：水流によるSuccessive Saltationに関する研究，京都大学防災研究所年報，1983。

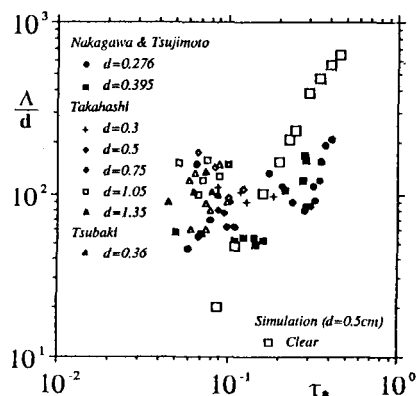


図-3 step length