Bed Material Load の流送過程に関する一考察

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人 早稲田大学大学院 学生員 米澤 秀剛

早稲田大学大学院 学生員 藤井 和久

1.はじめに

Bed Material Load の流送過程については、従来より掃流砂と浮遊砂とに分離し、その各々が卓越する掃流力範囲 を対象として研究が進められてきた.しかし、掃流砂から浮遊砂への遷移が顕著に起こるような掃流力範囲における土 砂粒子の運動に関しては、未だ十分に理解されておらず、わずかに中川・辻本らによる遷移過程に関する研究¹⁾がある のみであろう.著者らは、これまでの流砂の枠組みを見直し、Bed Material Load を一括して取り扱うことを最終目 標とした試みを進めてきており、前報²⁾ではいわゆる Saltation Model を拡張したモンテカルロ・シミュレーショ ンを行い、その第一歩を踏み出した.しかし、このモデルには、バースティングに代表されるような組織的な渦の影響 が考慮されていない.そこで、本研究では、組織的な渦の影響を今後数値解析に反映させていくに先立って、現象の更 なる理解と基礎データを得ることとを目的として、基礎的な水路実験を試みることにした.

2.実験概要

実験には,長さ14m,幅20 cmの勾配1/254のアクリル製水路を用い,この中央の4mを移動床区間として粒子を 平坦かつ密に敷き詰めた この移動床区間の前後は固定床となっており その高さおよび表面の粗度に不連続が生じな いように,表面には移動床を構成する粒子と同一の粒子を貼り付けた.移動床区間には,粒径2 mm,比重2.5のガラ スビーズと,粒径が等しく比重が1.024のポリスチレン粒子(w_=2.15 (cm/sec.))とを3:1の比率で均一に混合した 材料を敷き詰めた これは 本研究で対象とする掃流力範囲を想定すると (1)すべての粒子をポリスチレン粒子とする と 瞬時に大量の粒子が同時に移動するため 粒子個々の運動の解析が困難となること (2)粒径の小さな粒子を混合す ると、大粒径の粒子の遮蔽の影響を考慮せざるを得なくなること、などの問題が生じるため、これらを解決する上で望 ましい条件であると判断している 実験時には 水路上方からスリット光を照射し 水路中央部分を移動する粒子の運 動を高速度カメラ(HAS200-R;毎秒200フレ-ムの撮影が可能)を用いて,水路側方から撮影した.本解析では,約2秒 間の画像を高速映像用信号ケ - ブルを通じて直接パソコンの内部に取り込み、その画像をモニタ - に出力することで、 注目する粒子の運動を5/383秒刻みで解析した.また、この粒子運動と水流中の組織的な渦との関係を捉えるため、河 床付近の流れを染料であるフローレッセンを用いて可視化するため 移動床区間の中央に当たる位置に、外径1 mmの 注射針を、その先端が移動床構成粒子の頂部付近と一致するように設置した.これにより、図-1の右側に示すように、 染料で可視化された上昇流中に着目粒子が取り込まれ 急浮上していく様子などが画像データとして取り込まれるとと もに、連続画像の解析を通じて、一連の粒子軌跡や速度の水平・鉛直方向成分の時間変化を算出することもできる.こ こで説明する実験の水理条件は以下の通りである:Q = 3.71 (//sec.), h = 4.1 (cm), u^{*}=3.5 (cm/sec.).

3.粒子の移動軌跡と組織渦

図-1は,Saltationと判断される規則性の強い軌跡から,河床付近の上昇流(Ejection)の影響を受けて,急浮上し, 浮遊に到る軌跡の例を示したものである ポリスチレン粒子に対して算出した摩擦速度と沈降速度の比u⁻/w_oは1.62 であり,ガラスビーズに対して算出した無次元掃流力 は0.038 であるため,前者は浮遊状態にまで到るのに対 して,後者は移動限界以下の条件となっている.図-1中の太線は,このような遷移が生じた時刻を確定するために計 算された確定論的な(すなわち乱れの影響を無視して計算された)粒子軌跡のうち 粒子が河床と衝突したと判断され る時刻の直後の座標および移動速度を初期条件として計算されたものである 図中の(a)~(c)は右側の連続画像とそれ ぞれ対応しており,画像中の矢印の先に着目粒子がある.このように,掃流から浮遊への遷移には組織的な上昇流が密 接に関わっていることが理解された.一方,浮遊から掃流への遷移に関しては、紙面の関係で結果を示すことは省略す るが,いわゆるSweepの影響を強く受けることが理解された.なお,ここで注目している組織的な渦運動とは,中川・ 禰津³⁾あるいは芦田・藤田⁴⁾が指摘している「バースティング」のことであり,その発生周期は無次元量にして T_u U_{max} / h = 2.2 となり,従来より報告されている値とも一致する.

キーワード:Bed material load,バースティング,流送過程,濃度分布 連絡先:〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 TEL. 03-5286-3401 FAX 03-5272-2915



図-2 粒子の移動速度と濃度の鉛直分布

4.移動速度と濃度の鉛直分布

図-2(a),(b)には、粒子の移動速度の鉛直分布と濃度分布とを示した 移動速度分布については、水流の対数則分布 と比較する形で示してある、この図より、(1)河床面近傍では、それまでの跳躍の最中に受けてきた運動量のため、流速 より平均的に大きな移動速度を持つこと、(2)河床面から離れて粒径の10倍程度までの高さでは、逆に流速ほどには加 速を受けないために、流速を下回る流速になること、(3)さらに上方では粒子は水流に十分追随し得ることなどが理 解される、典型的な掃流砂の場合には、跳躍高さが小さいこともあって、高さによらず流速よりも小さな移動速度とな ることがわかっているが、このこととあわせて考えると、掃流砂・浮遊砂が混在する条件下における底面付近の土砂移 動を従来から認識されているような典型的な掃流砂と考えることには問題があるようである、図-2(b)には、底面濃度 C。を用いて基準化した濃度分布を示している、ここでは基準点濃度という概念を導入することなく、濃度を粒子の供 給源である河床面から連続するものとして評価しており、このように取り扱う方が合理的ではないかと考える、

5.おわりに

本研究では、掃流砂・浮遊砂が混在する水理条件下における土砂の流送過程を対象として 基礎的な水理実験を行った.今後は,さらに広範囲にわたる検討を重ね,実験の面から現象の理解を深めていく予定である.

参考文献

1) 中川・辻本ら:Bed material load における saltation から浮遊への遷移機構のモデル化,第29回水理講演会論文集,509-514,1985.

2) 関根・小川田・佐竹: Bed Material Load の流送機構に関する研究,土木学会論文集, No.545/II-36, 23-32, 1996.

3) 中川・禰津: せん断乱流の bursting 現象とその物理モデル,第22回水理講演会論文集,29-36,1978.

4) 芦田・藤田:粗面上の粒子の浮遊機構と浮遊限界に関する研究,京都大学防災研究所年報,第26号 B-2,363-377,1983.