

## 粒度幅の極端に広い材料により構成された河床の動的平衡状態の鉛直構造

早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人
早稲田大学理工学術院	正会員	平松 裕基
早稲田大学大学院	学生員	○ 鎌田 遼
早稲田大学大学院(当時)	学生員	劔持 尚樹
早稲田大学大学院	学生員	鈴木 昌宏

### 1. 序論

本研究は、ダム直下流のような極端に粒度幅の広い河床上で生じる流砂現象に着目した。このような河床では流砂の連続性が失われる結果として、河床低下に加えてその粗粒化が進行している。これらの対策として、排砂や置き砂などが講じられてきているが、その効果を定量的に評価する手法は未だ確立されていない。そこで、著者らは、洪水時でも移動しない大礫 (L 粒子)、河床上を掃流砂として移動する砂礫 (M 粒子)、浮遊砂として移動する砂やシルト (S 粒子) の三つの粒径集団に分け、それぞれ一つずつの粒径で代表させた基礎的な実験を行ってきた<sup>1)</sup>。本論文では、M 粒子と S 粒子が供給される条件下で実験を行い、設定した掃流力と給砂量の違いが動的平衡状態における河床の鉛直構造に与える影響を明らかにすることを旨とした。

### 2. 実験の概要

実験は、全長 16 m、幅 0.2 m、勾配 1/250 の長方形断面を有する開水路を用いた。この水路の上流端から 8.5 ～ 14 m の区間に深さ 0.05 m の凹部を設けられており、ここに模擬河床材料を敷き詰める。その材料として、L 粒子は粒径が  $D_L = 50$  (mm) のアルミナ製の球 (比重 3.98)、M 粒子は粒径が  $D_M = 2$  (mm) のガラスビーズ (比重 2.5)、S 粒子は粒径が  $D_S = 0.21$  (mm) の珪砂 (比重 2.65) を用いた。この M 粒子の無次元限界掃流力は  $\tau^*_{MC} = 0.042$ 、S 粒子の沈降速度は  $w_{oS} = 0.025$  (m/s) である。

掃流力の違いが動的平衡状態の河床の鉛直構造に与える影響を調べるために、流量として 5 l/s と 9 l/s の二つを対象とした。それぞれの無次元掃流力を M 粒子に対して求めると、 $\tau^* = 0.065$ 、 $0.090$  程度であった。なお、 $\tau^*$  は側壁の影響を除いた河床に作用する平均値として評価されている。M 粒子の供給量  $Q_M$  は  $0.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  と一定にし、S 粒子の供給量  $Q_S$  を異なる値に設定した実験を行った。この、 $Q_S$  は  $0 \sim 5.7 \text{ cm}^3/\text{s}$  の範囲内の値とした。これらの給砂量は、M 粒子のみ、あるいは S 粒子のみの均一粒径河床に対する平衡流砂量の値以下に設定されている。これは、L 粒子が河床表面に露出する状態を対象としているためである。また、通水中は流量ならびに給砂量の値を時間によらず一定にした。

### 3. 動的平衡状態における河床の鉛直構造と粒度構成

M 粒子と S 粒子の供給量に応じて、動的平衡状態の河床の鉛直構造は異なる。図-1 (a) ～ (d) は  $\tau^* = 0.065$ 、(e) ～ (h) は  $\tau^* = 0.090$  の結果である。ここでは前者を中心に説明する。L 粒子頂部からその間隙の最上面に位置する M 粒子、S 粒子までの鉛直距離を図-2 のように  $\Delta_M$ 、 $\Delta_S$  と定義する。図-1 (a) は、 $\Delta_M$ 、 $\Delta_S$  を L 粒子の粒径  $D_L$  で除した値と S 粒子の供給量  $Q_S$  の関係を示している。図中の●は M 粒子上面の高さ、●は S 粒子上面の高さである。また、赤色と緑色の一点鎖線はそれぞれ静的平衡状態における M 粒子ならびに S 粒子の上面の高さを表す。図-2 (a) には静的平衡状態の模式図を示した。この状態から供給された M-S 粒子が一点鎖線の上方に堆積し、やがて動的平衡状態に到る。それ以降も、流砂と絶えず交換が生じている層が M-S 粒子交換層、その下方に位置する流砂との交換がない層が M-S 粒子堆積層である。また、これら二つの層において、L 粒子を除いた体積に占める間隙の体積比率を空隙率  $\lambda$ 、M-S 粒子の総体積に占める M 粒子の比率を  $R_M$  と呼ぶ。図-1 (b)、(c)、(d) は、縦軸にそれぞれ  $\lambda$ 、 $R_M$ 、M-S 粒子交換層の厚さ  $\delta_E$  と M-S 粒子堆積層の厚さ  $\delta_D$  を M 粒子の粒径  $D_M$  で除した値を、横軸に  $Q_S$  をとって結果を整理している。

まず、M-S 粒子交換層内の  $\lambda$  と  $R_M$  について、動的平衡状態の河床の鉛直構造とともに説明する。 $Q_S$  が 0.4

キーワード：混合粒径河床、動的平衡状態、鉛直構造、粒度構成

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

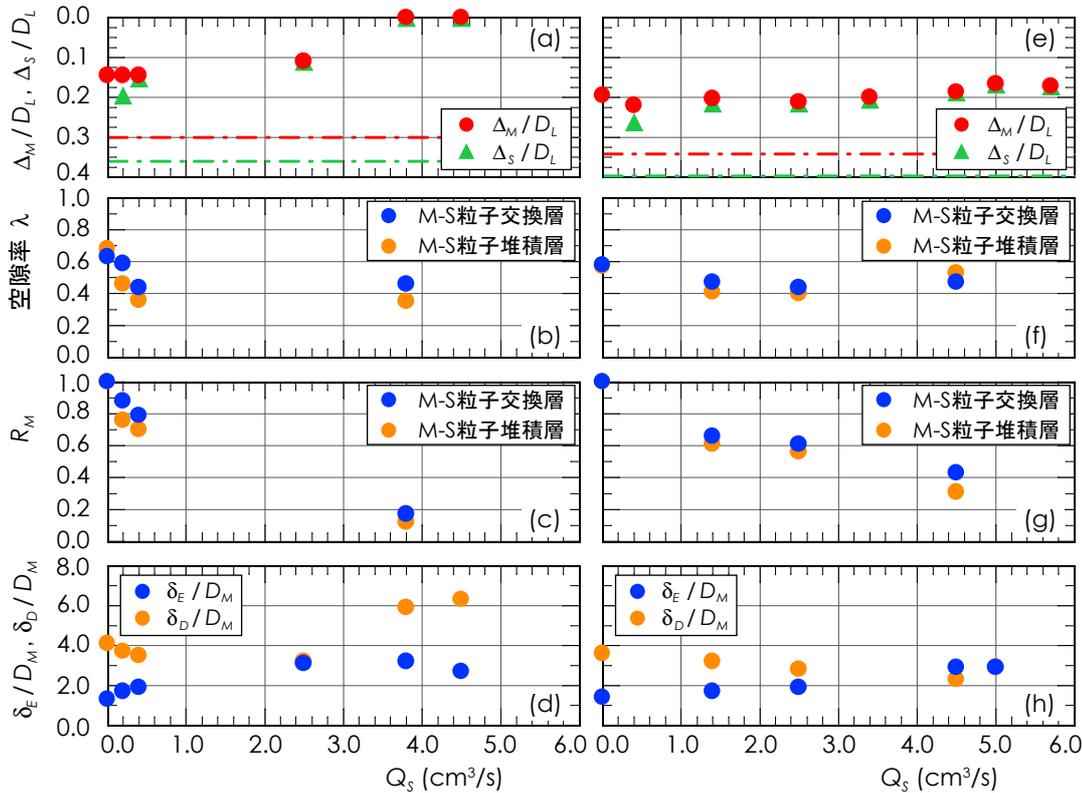


図-1 動的平衡状態における河床の鉛直構造: (a)~(d)  $\tau^*=0.065$ , (e)~(h)  $\tau^*=0.090$  の結果を示している。赤色と緑色の一点鎖線はそれぞれ静的平衡状態における M 粒子ならびに S 粒子の上面の高さを表している。

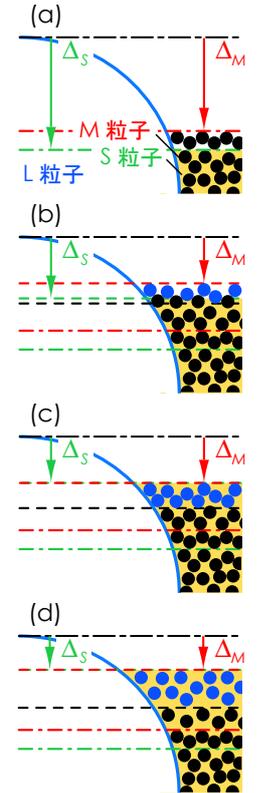


図-2 鉛直構造の模式図: 黒の破線は M-S 粒子交換層の下面を表す。

$\text{cm}^3/\text{s}$  より小さい場合は、河床表面下に M 粒子のみの層が形成され、これが図-2 (b)に相当する。なお、図中の黒色の破線は M-S 粒子交換層の下面の高さを表している。 $Q_s = 0.4 (\text{cm}^3/\text{s})$  のとき、M 粒子と S 粒子の上面の高さが一致し、図-2 (c)の状態になる。 $Q_s$  をさらに大きくしていくと、 $\Delta_M$  が小さな位置で動的平衡状態に到る。これが図-2 (d)である。M 粒子のみを供給したときの  $\lambda$  は 0.6 であり、これは静的平衡状態の M 粒子のみの層における値と同じになった。供給した S 粒子が河床表面の M 粒子の間隙に堆積するため、 $\lambda$  ならびに  $R_M$  は減少する。図-2 (c), (d)の状態では、 $\lambda$  は概ね 0.4 程度と変わらないものの、 $R_M$  は徐々に減少していく。また、図-2 (c)における  $R_M$  は 0.6 ~ 0.8 程度になる。ここで、M-S 粒子交換層と M-S 粒子堆積層の結果を比較すると概ね同じ値になる。次に、 $\tau^* = 0.090$  に相当する図-1 (e) ~ (h)の結果を見ると、 $\tau^* = 0.065$  の場合と同様の傾向が見られるが、値が一致するとは言えない。設定した掃流力に応じて、輸送可能な M 粒子の量すなわち掃流砂量  $Q_B$  は異なる。しかし、本研究では M 粒子の供給量  $Q_M$  を一定にしているため、このような違いが生じたと考えられる。これを踏まえて、 $Q_M/Q_B$  を同じ値にした実験を行うと、両者の結果は一致するものと推察される。

最後に、図-2 (d)と (h)を見ながら M-S 粒子交換層と M-S 粒子堆積層のそれぞれの厚さについて説明する。層の厚さ  $\delta_E, \delta_D$  を  $D_M$  で除したものを縦軸に、 $Q_s$  を横軸にとっている。M-S 粒子交換層の厚さは、 $Q_s = 0 (\text{cm}^3/\text{s})$  のときに  $\delta_E/D_M = 1.3$  であり、これ以降  $Q_s$  が増えるにつれて徐々に大きくなるが、 $\delta_E$  はやがて  $D_M$  の 3 倍程度の一定値に漸近していく傾向が見られた。M-S 粒子交換層の最上面と M-S 粒子堆積層の最下面の高さは図-2 (c)の状態になるまで変わらないため、 $\delta_E$  が大きくなる分だけ  $\delta_D$  は小さくなる。 $\delta_E/D_M$  が一定の値になったとき、S 粒子の供給量を増やすと  $\Delta_M$  が小さくなるため、 $\delta_D$  は徐々に大きくなる。

4. 結論

本研究では、M 粒子と S 粒子を供給する条件下で実験を行い、動的平衡状態における河床表面の高さとその下方に存在する材料の粒度構成を明らかにした。今後は、 $Q_M/Q_B$  を一定にした実験も行う予定である。

参考文献:

1) 平松裕基・関根正人・剣持尚樹: 骨格となる大礫を伴う河床の動的平衡状態の鉛直構造, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.I\_865-I\_870, 2015.