

# 異なる密度をもつ材料からなる模擬河床上で生じる土砂移動現象

研究代表者 平松 裕基  
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

## 1. 研究課題

研究代表者らは、これまで川底（河床）を構成する材料の粒径の幅が極端に広い場で生じる土砂移動現象に着目した実験的検討を行ってきた。このような現象は、例えばダムの下流の河川区間などで確認されている。ダムが建設されると下流側への土砂の供給量が極端に減少してしまう結果、河床材料に含まれていた大きな礫が河床表面に露出する状態になる。このような状況が長期間にわたって維持されると、河床の高さの低下や材料の粗粒化といった問題が生じてくる。これらを改善するために排砂や置き砂といった対策がなされているが、それらの効果を定量的に評価することはできていないのが現状である。このような河川管理や防災に対する情報を提供することを目指して研究を進めてきた。

河床材料は一般に、洪水時でも移動することのない大粒子、掃流砂として移動する中粒子、浮遊砂として移動する小粒子の三つの粒径集団に分けることができる。ここで、掃流砂とは河床近傍を、浮遊砂とは河床から水面にまで幅広く輸送される土砂の輸送形態のことを指す。これまで、これらの粒径集団をそれぞれ一つの粒径で代表させるとした基礎的な水理実験を行ってきた。その結果、図-1 (a)に示すように大粒子群の間隙内で顕著な鉛直分級が生じ、河床表面下に中粒子のみからなる層が形成されることがわかった。しかし、この層の厚さや層内の粒子の構造がどのように決まっているのかについては未だ検討の余地が残されている。なお、図中のグレーの円が大粒子、黒の円が中粒子、黄色の部分が砂と空隙を表している。

この現象をさらに深く理解する突破口として、これまでとは異なる観点からも検討することが必要である。そこで、河床の構成材料の密度の違いによって生じる分級現象に着目した。例えば、静岡県鮎沢川流域に位置する小山町では密度が小さな火山砕屑物の一種であるスコリアを含む山腹斜面が台風によって崩壊した。このような土砂が河道に供給されると、土砂の密度の大小によって移動のしやすさが異なるため、土砂移動は複雑になる。このような現象に着目することによって分級のメカニズムを明らかにし、河川管理や防災に役立つ情報を発信することが本研究の目的である。

## 2. 主な研究成果

### 2.1 実験の概要

実験では、球状の材料である比重 2.5 のガラスビーズと比重 1.04 のポリスチレン粒子を用いることにした。スコリアの比重に比べるとポリスチレン粒子のものが小さいが、土砂移動によって生じる分級のメカニズムの本質を捉えるため比

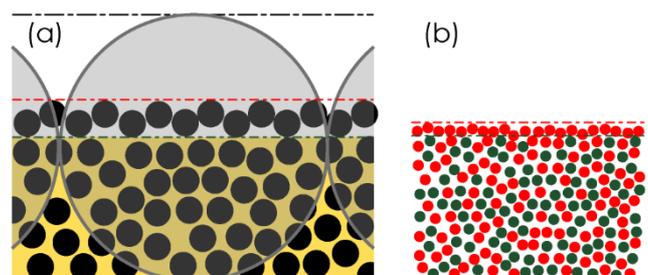


図-1 平衡状態における河床の模式図

重差を大きくした。この異なる密度をもつ二つの材料はいずれも粒径を  $D = 2 \text{ mm}$ ，その混合比率を 1:1 とした初期河床を作成した。ここに通水することにより到達する静的平衡状態における河床の鉛直構造に着目した。ここで、静的平衡状態とは、上流側から土砂が供給されてくることのない条件下で到達する平衡状態（河床が時空間的に変化しなくなる状態）のことを指す。この実験を Case A と呼ぶことにする。実験条件としては、水路の単位幅当たりの流量が  $q = 0.013, 0.025 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  となるよう設定した。河床に作用するせん断力を速度の次元をもつ量に換算した摩擦速度の平衡状態における値は  $u^* = 0.031, 0.046 \text{ m/s}$  であった。

また、これ以外にも大粒子として粒径  $50 \text{ mm}$  のアルミナ製の球（比重 3.98），中粒子として  $5 \text{ mm}$  のガラスビーズ（比重 2.5），小粒子として  $0.21 \text{ mm}$  の珪砂（比重 2.65）を用いた静的平衡状態に関する実験も行っている。この実験を Case B と呼び、格子状に配置した大粒子群の間隙に充填する中粒子と小粒子の混合比率と流量を異なる値に設定した。中粒子と小粒子の総和に占める中粒子の体積比率を  $R_M$  と定義し、この値を  $0.1 \sim 0.5$  の範囲内の値とした。また、摩擦速度は  $u^* = 0.06 \sim 0.13 \text{ m/s}$  であった。

## 2.2 河床の鉛直構造

まず、Case A の結果について説明する。平衡状態に到達した後、水面と河床の高さを計測した。その結果に基づいて概ね等流状態にある区間を判断し、その河床に作用する摩擦速度が  $u^* = 0.031, 0.046 \text{ m/s}$  であることがわかった。この状態の河床を水路側方から見た模式図が図-1 (b) である。図中の赤の円がガラスビーズ、緑のものがポリスチレン粒子を表している。この図を見ると、河床表面下にはガラスビーズのみからなる層が形成されることがわかる。これは、ガラスビーズとポリスチレン粒子が同一のせん断力を受けたとしても輸送される量が異なるために生じたものである。すなわち、ガラスビーズの移動が停止した後もポリスチレン粒子は移動し続けるため、両者の上面の位置が異なる。このようにして形成されたガラスビーズの層の厚さが大きくなるにつれて、ポリスチレン粒子に作用するせん断力が小さくなる。この現象を「遮蔽効果」と呼ぶ。ポリスチレン粒子上面に作用するせん断力が移動限界に等しくなると平衡状態に到達する。これが平衡状態に到るまでのメカニズムである。

また、平衡状態におけるガラスビーズの層の厚さ  $L_M$  を計測した。その結果、河床に作用するせん断力が大きくなると、ガラスビーズの層の厚さも大きくなることがわかった。これは、ガラスビーズ上面に作用する摩擦速度が大きくなると、ポリスチレン粒子上面に作用する値を低減させるために必要な層の厚さも大きくなるためである。

しかし、Case B では、河床に作用するせん断力の値に応じてガラスビーズの層の厚さ  $L_M$  はほとんど変わることはなかった。この結果を示したのが図-2 である。これらの図の縦軸は  $L_M$  をガラスビーズの粒径  $D_M$  で除した値と、(a) せん断力を無次元量に換算した掃流力の平均値  $\tau^*$ ，(b) ガラスビーズ上面に実際に作用する掃流力  $\tau^*_M$  の関係を表したものである。なお、 $\tau^*_M$  は当研究室で提案されてきた関係を用いて算出された値である。(a)の図を見ると  $L_M/D_M$  は概ね  $1 \sim 2$  の範囲内の値となり、 $\tau^*$  にはよらないことがわかる。一方、(b)のように横軸に  $\tau^*_M$  をとって結果を整理すると、混合比率  $R_M$  に応じて  $\tau^*_M$  ならびに  $L_M$  の値が概ね決まっていることが見て取れる。これは、大粒子が与える遮蔽効果によるものである。

このように、異なる密度をもつ材料が河床に含まれる場合の実験を通して、移動することのない大粒子が河床材料に含まれるか否かが河床の分級現象に与える影響についての理解につながる結果が得られた。

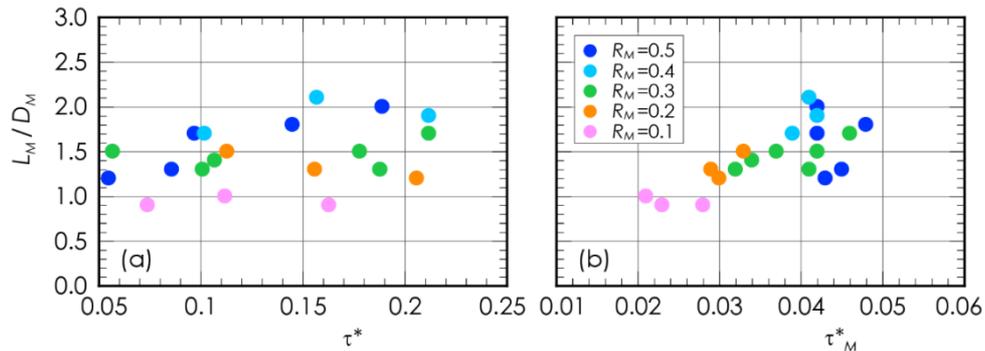


図-2 平衡状態における河床の鉛直構造

### 3. 共同研究者

関根 正人 (創造理工学部・社会環境工学科・教授)

### 4. 研究業績

#### 4.1 学術論文

関根正人・平松裕基・中川裕貴：骨格が大礫により構成される河床上で生じる鉛直分級のメカニズム，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.74，No.4 pp.I\_1069-I\_1074，2018.

#### 4.2 総説・著書

特にありません

#### 4.3 招待講演

特にありません

#### 4.4 受賞・表彰

特にありません

#### 4.5 学会および社会的活動

関根正人・中川裕貴・平松裕基・鎌田遼・輿水康二：掃流砂礫の粒度分布の違いが粒径幅の大きな河床の鉛直構造に及ぼす影響，土木学会第 72 回年次学術講演会，pp.307-308，2017.

本合弘樹・関根正人・平松裕基・中川裕貴：骨格が大礫により構成された河床に生じる鉛直分級とその構造，砂防学会研究発表会，pp.313-314，2018.

### 5. 研究活動の課題と展望

本研究の第二段階として，材料が上流側から供給されてくる条件下で到達する動的平衡状態における河床の鉛直構造に着目した実験を行い，河床表面下の材料の粒度構成などを調べていく。その結果として得られたメカニズムを組み込んだ数値計算を行うことにより妥当性を確認した上で，河川管理や防災に貢献する情報の礎となるよう努めていく予定である。