

## 比重の異なる同粒径粒子を用いた

## Bed material load の輸送メカニズムの解明に向けた実験的検討

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| 早稲田大学大学院   | 学生員 | ○ 鷲津明季 |
| 早稲田大学大学院   | 学生員 | 中間遼太   |
| 早稲田大学理工学術院 | 正会員 | 関根正人   |

## 1. 序論

従来、流砂は掃流砂と浮遊砂に区分され、粒子の運動についてはそれぞれ異なる方法で評価されてきた。しかし、これらの理論では、本来区別のない土砂を便宜上、掃流砂・浮遊砂に分けて取り扱っており、評価の精度や力学的な意義には疑問が生じる。そこで、掃流砂と浮遊砂を統一的に取り扱う理論を構築することが重要となる。

関根 (2007)<sup>1)</sup> は、LES 乱流モデルを用いてせん断乱流場を数値的に再現し、浮遊砂としての運動を運動方程式を用いることにより明らかにすることに挑んだ。本研究は、この論文をもとにした検討であり、浮遊砂だけでなく掃流砂を含めたすべての流砂について、水の乱れによって生じる粒子の運動を実験的に明らかにすることを目的としている。実験には、同粒径で比重の異なる 2 種類の粒子を用いた。比重の違いによって掃流砂と浮遊砂の運動が混在する状態を再現し、ハイスピードカメラで撮影することで個々の粒子の移動の追跡が可能となった。また、PIV 解析を用いて水の乱れを解析し、水の乱れと粒子の移動の関係について検討を行った。

## 2. 実験概要

本実験で用いた実験水路は、長さ 6m、幅 0.2m、勾配 1/150 のアクリル製の循環型水路であり、河床は上流端から 2m にわたる固定床区間の下流側に 3m の移動床区間があり、そのあと 1m の固定床区間が続いている。移動床区間の水路床は固定床区間より 5cm 低くなっており、ここに河床材料を敷き詰めて初期河床を作成した。河床材料には、掃流砂として粒径 2mm、比重 2.5、無次元限界掃流力 0.042 のガラス粒子を、浮遊砂として粒径 2mm、比重 1.04、沈降速度 0.022m/s のポリスチレン粒子をそれぞれ用いた。初期河床の作成には、まず、通水時にも移動しない大礫を、移動床区間に直角格子状に敷き詰めた。これは、大礫の遮蔽により粒子に作用する摩擦速度を低減させ、急激な河床低下を防ぐためである。大礫には、粒径 50mm、比重 3.97 のアルミナ製の球を用いた。大礫の間隙には、ガラス粒子とポリスチレン粒子を同体積ずつ均一に混合したものを充填し、さらに大礫の頂部より 5mm 上の位置まで敷き詰めた。これは、通水前の湛水時に空気に触れている河床表面のポリスチレン粒子が水に浮き、移動してしまうことを考慮してのことである。初期河床作成後、河床の粒子を動かすことがないように留意しながら所定の水位まで湛水し、5 L/s の流量で通水を行った。

実験の際は、移動床区間の中央付近において、水路幅の中央の位置に、水路縦断方向に水面上方からレーザーシートを照射した。また、上流側の固定床区間からトレーサー粒子を投入し、レーザーが照射された縦断面を水路側方からハイスピードカメラ（カトウ光研株式会社製）で撮影した。実験後、高機能流体解析ソフト FlowExpert2D2C（カトウ光研株式会社製）を用い、ハイスピードカメラで撮影した映像の PIV 解析を行った。これにより、水路幅中央縦断面での流速を詳細に解析することができる。

## 3. 結果と考察

通水開始後、河床はガラス粒子とポリスチレン粒子の流下によって徐々に河床低下し、それに伴って大礫が露出することがわかっている。本論文では、通水開始の 8 分後の時点での現象を PIV 解析の対象とした。この時点では、河床は大礫の頂部がやや露出し始める程度まで低下している段階であり、ガラス粒子が河床表面を被覆するように掃流砂として移動する様子と、ポリスチレン粒子が浮遊砂として水中を移動する様子が同時に観察された。また、この時の着目地点での水深は 4.91cm、河床に作用する摩擦速度は 0.043m/s であった。レーザーシートを用いた撮

キーワード：Bed material load, 掃流運動, 浮遊運動, 組織渦, PIV 解析

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, TEL 03-5286-3401

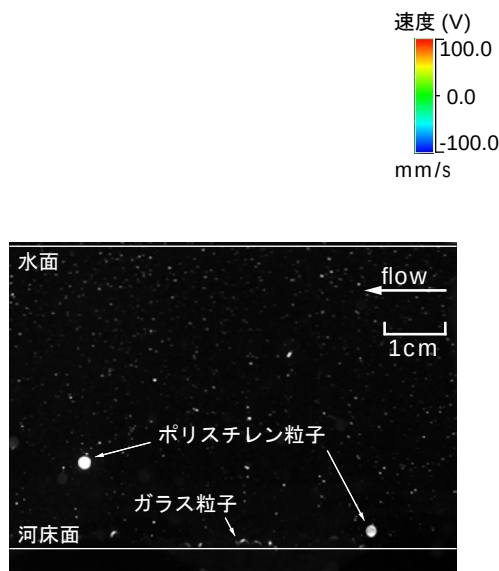


図-1 通水開始 8 分後の  
ハイスピードカメラ画像

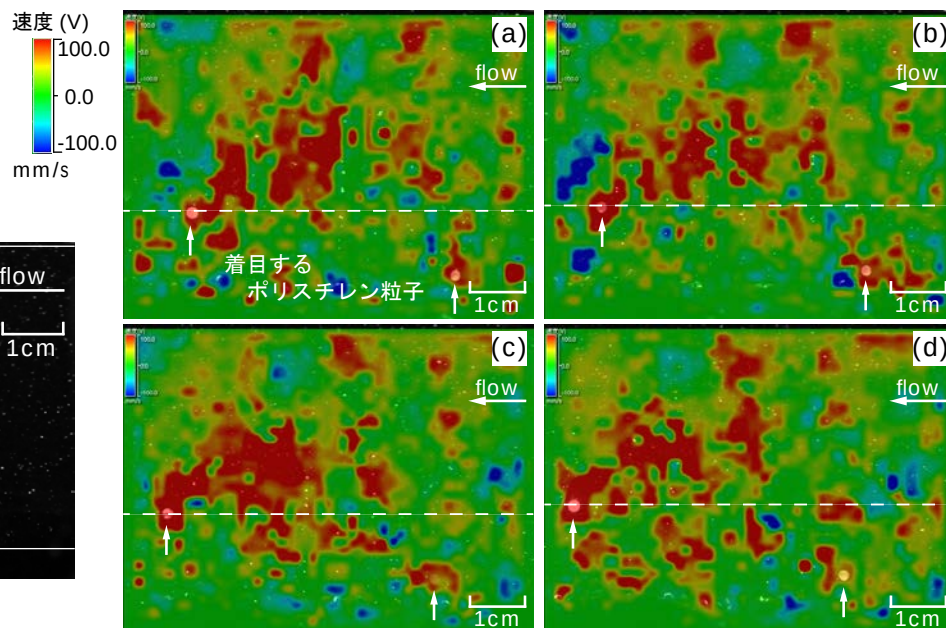


図-2 流速の鉛直方向成分のコンター図

影では、水路内に存在する粒子のうち、水路中央の断面内を通過したもののみを撮影することとなる。

図-1 は、PIV 解析を行った通水開始 8 分後のハイスピードカメラ画像のうちの 1 枚である。図中に示すように、図の上端付近に水面、下部に河床面が位置する。流れは右から左の方向であることに注意されたい。さらに、水中に白く映る円形のものが浮遊するポリスチレン粒子であり、河床面付近には河床表面を構成するガラス粒子の存在が確認できる。

図-2 は、高機能流体解析ソフトを用いて得られた、流速の鉛直方向成分のコンター図である。粒子の位置との関係を考察するため、コンター図を同時刻のハイスピードカメラの映像に重ねて示した。このコンター図において、赤く示されている場所では上向き速度成分があり、上昇流が、青く示されている場所では下向き速度成分があり、下降流が、それぞれ発生していることを意味している。(a)~(d) は、PIV 解析を行った 0.14 秒間のうち、0.03 秒間分の連続画像である。解析に用いたハイスピードカメラの映像は 500fps であったが、ここでは 5 枚おきに抽出し、0.01 秒ごとの画像を、順番に 4 枚示した。以下の考察では、図の左下に撮影されているポリスチレン粒子に着目する。

図中の破線は、着目したポリスチレン粒子の各時刻における高さを示している。図に示す時間帯の中で、着目する粒子は浮上しており、コンター図でも赤く表示されている。さらに、粒子周辺のコンター図は広い範囲で赤となっており、このとき粒子周辺で上昇流が発生していることが見てとれる。このことから、浮遊砂であるポリスチレン粒子は、水の乱れの影響を受け、流体塊の上昇に伴って浮上したと判断される。なお、図右下に写るポリスチレン粒子も、同様に上昇流の中で浮上しており、図に示す前後の時間帯も併せてみると、河床付近から浮遊し、上昇していることが確認された。

また、掃流砂である河床表面のガラス粒子についても同様の検討を行った結果、ガラス粒子は上昇流が発生しても流下方向に小さく移動するにとどまり、ポリスチレン粒子のように大きく浮上あるいは沈降することはないことが確認されている。

#### 4. 結論

本論文では、PIV 解析を用いて水の乱れを解析し、その影響を受ける流砂の運動を実験的に解明することを目的として実験と解析を行った。その結果、浮遊砂は流体塊の上昇に伴って浮上する一方、掃流砂は水の乱れを受けても大きく浮上することはないことが確認された。

#### 参考文献：

- 1) 関根正人：土砂の運動解析を基礎とした浮遊砂の分散過程に関する研究，土木学会論文集 B, Vol.63, No.4, 311-322, 2007.11