

洪水に伴う礫床への種子供給と乱流構造との関係に関する実験的研究
 Experimental Study on Relationship between Trapping Process of River Plant Seeds
 and Turbulent Structure over a Gravels Riverbed

○松本知将・岡本隆明・大石哲也・山上路生・岡田啓頌

○Kazumasa MATSUMOTO, Takaaki OKAMOTO, Tetsuya OISHI, Michio SANJOU, Keiju OKADA

In this study, two laboratory experiments were conducted in a flume with hemispherical roughness elements to investigate the transport process of plant seeds over a gravel bed. First, the velocity field within and around the roughness sublayer was measured by Particle Image Velocimetry (PIV). Refractive-index matched hydrogel (RIM hydrogel) enabled the measurements of velocity field behind roughness elements. Second, particle motions around roughness were observed by tracking their trajectories. Results of the measurements show that the transport process of fine particles over a rough wall is strongly affected by turbulent motions of fluid.

1. はじめに

河道内の樹林化は流れの抵抗の増大や洪水時の樹木流出などを引き起こし、豪雨時の氾濫リスクの増大を招くことが指摘されている。樹林化の要因として、洪水時に種子が土砂とともに運搬され、礫河床内部へと輸送されることが挙げられる。その一方で、礫河床のように粒径が一様でない河床上の流れ場における粒子輸送の物理的機構については十分に検討されていない。また、粗度要素背後の流れ場に対してはPIVのような既存の流速計測手法を用いることが困難であるため、粗度層内部の乱流構造の計測例は少なく、未解明な点が多く残されている。

そこで本研究¹⁾では、礫河床をモデル化した半球状の透明粗度模型を用いて室内水路実験を行い、粗度層内部における乱流構造および種子輸送過程への影響について詳細に検討した。

2. 実験方法

本研究では鉛直面 PIV 計測を行い、粗度層の平均流・乱流構造について考察した。図-1 に PIV 計測装置を示す。3.0 W の YAG レーザーを光源として水路上方から厚さ 2.0 mm のレーザーライトシート (LLS) を照射し、水路側方に設置した高速 CCD カメラ (1280×1024 pixel) でデジタル撮影した。なお、粗度近傍では空間的に非一様な流れ場が発達するため、 $z/k=0$ (谷部)、0.33、0.67 および 1 (頂部) の 4 断面について計測を行った。

本実験では礫床河川を想定し、図-2 に示すよう

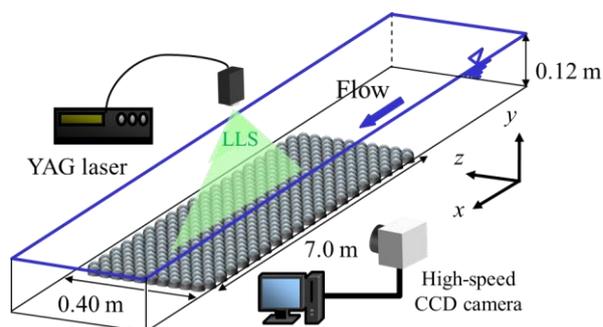


図-1 PIV 流速計測実験装置

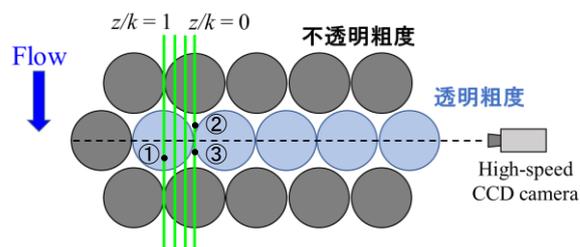


図-2 LLS 照射位置

に水路床上に半球粗度 (半径 $k=1.8$ cm) を千鳥格子状に配置した。なお、粗度層内部の流れ場を可視化するために、計測部手前の粗度には透明で水と屈折率が等しい高吸水性ポリマーを用いた (屈折率整合法, RIM)。計測地点は乱流が十分に発達している粗度領域の上流端から 3 m 下流の地点とした。さらに、粗度層における種子の挙動を観察するために、ブロッコリースプラウトの種子 (平均粒径 $d=0.19$ cm, 比重 1.21, 沈降速度 $w_0=5.77$

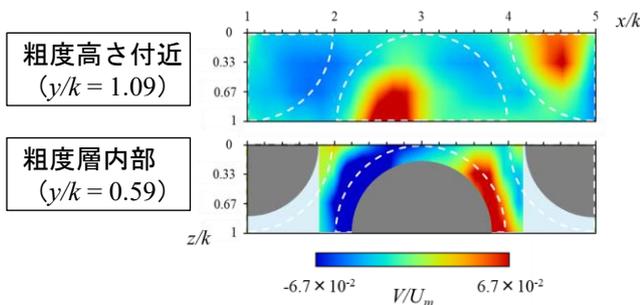


図-3 時間平均鉛直流速 V の水平面コンター

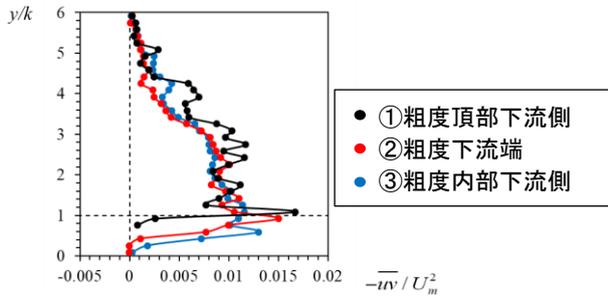


図-4 レイノルズ応力 $-uv$ の鉛直分布

cm/s) を計測部付近に投入してその挙動を観察した。断面平均流速は $U_m = 30$ cm/s, 水深は $H = 0.12$ m とした。

3. 実験結果・考察

低屈折率高吸水性ポリマーを用いた PIV 計測結果から、粗度層近傍および内部における流れ場の構造を明らかにした。図-3 に粗度層内部および粗度高さ付近 ($y/k = 0.59, 1.09$) における時間平均鉛直流速 V の水平面コンターを示す。コンター図より、粗度形状に沿って上昇流と下降流が規則的に発達している様子が確認できる。特に粗度層内部では、粗度上流側側面付近において下降流が発生している。これは流れが底面へ潜り込む馬蹄渦が発生しているものと考えられ、粗度層内部への種子の輸送に影響すると予想される。

次に、図-4 にのレイノルズ応力 $-uv$ の鉛直方向プロット図を示す。この図では図-2 で示した3点における鉛直分布を示しており、黒丸印、赤丸印および青丸印はそれぞれ①粗度頂部下流側、②粗度下流端および③粗度内部下流側に対応している。粗度背後(①粗度頂部下流側)の粗度高さ ($y/k = 1$) 付近では、流速シアによる乱れが発達している。また、流下方向に移動するにつれてレイノルズ応力のピーク値をとる高さが下方へ移動する様子が確認できる。このように、礫河床内部では粗度背後のせん断層およびその下流の礫間において組織乱流が発達している。

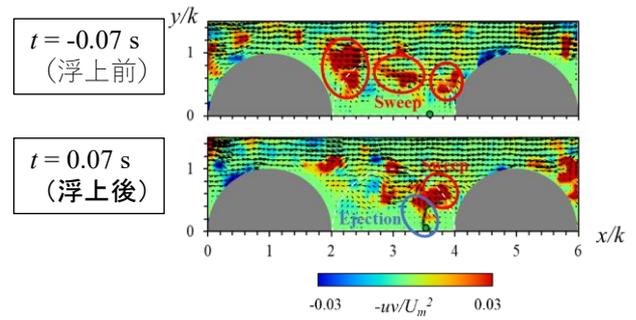


図-5 種子流出時の瞬間レイノルズ応力および種子軌跡

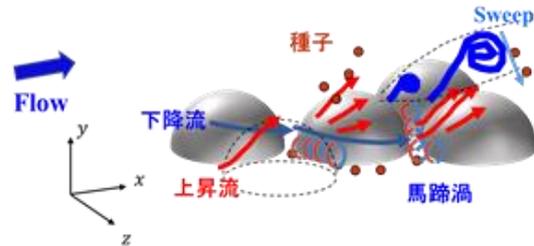


図-6 礫床近傍における種子輸送現象モデル

以上の流速計測結果を踏まえ、種子が粗度間から浮上して流出する際の流れ場に対して改めて PIV 計測を行った。図-5 に種子が移動を開始する直前および直後の瞬間レイノルズ応力 $-uv$ の鉛直面コンター図を示す。ここで、 u および v はそれぞれ流下方向および鉛直方向瞬間流速の時間平均値からの変動値を表す。図-5 より、種子浮上前 ($t = -0.07$ s) に sweep ($u > 0, v < 0$) が粗度層内部に侵入し、その後上昇する種子の周辺で ejection ($u < 0, v > 0$) が発生している様子が確認された。このような観察結果から、図-6 に示すように、礫床近傍における種子の挙動は平均的な流れ場だけではなく、粗度層で発達する組織乱流の影響を強く受けることが明らかにされた。

4. 結論

本研究では PIV 計測を通じて粗度層内部の乱流構造とその粒子輸送過程への影響について検討した。計測結果から、粒径の大きな礫河床上では種子や土砂の供給・流出過程に乱流の組織構造が強く影響する可能性が示唆された。

参考文献

- 岡本隆明, 松本知将, 大石哲也, 山上路生, 岡崎拓海: 半球粗度まわりの乱流構造が種子捕捉過程に与える影響に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.76(1), pp.118-128, 2020.