

第II部門 粗度層内部における乱流の詳細構造に関する実験的研究

京都大学 学生員

○松本知将

京都大学 正会員

岡本隆明

京都大学 学生員

岡崎拓海

京都大学 正会員

山上路生

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の治水上の問題を引き起こし、水害リスクの増大を招くことが近年指摘されている。河道の樹林化の直接的な要因として、洪水時に種子が上流から土砂とともに運搬された後、礫河床に供給されることが挙げられる。このような洪水時における河床への種子供給のメカニズムを解明し、河道内植生の発生を事前に予測することは河川管理上極めて重要である。

滑面や粗面上の流れにおける植物の種子や浮遊砂といった浮遊粒子の挙動は、底面近傍で発達する乱流特性の影響を強く受けることが知られている (Nino ら(1996)¹⁾)。その一方で、粗面流れにおける乱流構造が浮遊粒子の挙動に与える影響に関する研究は未だに少ない。特に、粗度高さより下部の粗度内部における流れ場はこれまでほとんど計測されておらず、その乱流構造については未解明である点が多い。そこで本研究では、礫河床をモデル化した半球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平均流や乱流の特性について詳細に調べる。

2. 実験方法・水理条件

本研究では鉛直面 PIV 計測の結果を用いて半球粗度近傍および内部における平均流構造や乱流構造について考察する。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、水路上方に設置した高速 CCD カメラ (1280×1024 pixel) でデジタル撮影した。PIV 計測結果から鉛直面の瞬間流速ベクトル (\vec{u}, \vec{v}) を算出した。撮影領域のサイズは 19×15 cm 領域である。粗度近傍では空間的に非一様な流れ場が発達するため、LLS の照射位置を横断方向に変化させて $z/k = 0$ (粗度谷部), 0.33, 0.67,

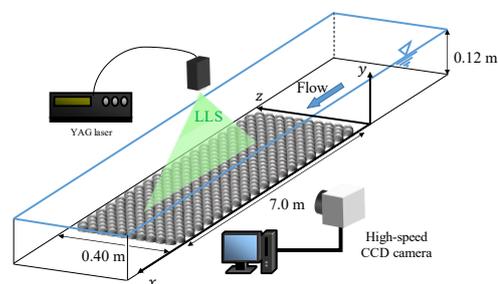


図-1 PIV 計測装置

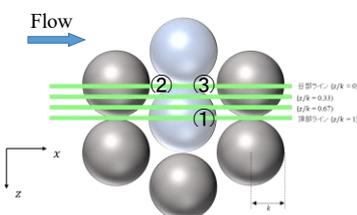


図-2 半球粗度配置

表-1 水理条件

	Q [l/s]	U_m [cm/s]	Fr	Re
Case20	9.6	20	0.18	24000
Case30	14.4	30	0.28	36000

1 (粗度頂部) の 4 断面の計測を行った。

本実験では礫床河川を想定し、図-2 に示すように半球粗度 (半径 $k = 1.8$ cm) を水路床に千鳥格子状配置で貼り付けて一様粗面とした。なお、粗度内部の流れ場を可視化するために、計測部手前の一列の粗度は高吸水性ポリマー製の透明粗度とした。計測部分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。

表-1 に本実験の水理条件を示す。ここで、 Q , U_m , Fr および Re はそれぞれ流量, 断面平均流速, フルード数およびレイノルズ数を表している。本実験では断面平均流速 U_m を変化させて 2 ケースの実験を行った。いずれのケースでも水路幅 $B = 40$ cm および水深 $H = 12$ cm であり、粗度高さ k に対する水深の比である相対水深 H/k は 6.7 である。

3. 実験結果

図-3に $U_m = 30 \text{ cm/s}$ のケースにおける時間平均主流速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。水面近傍とは対照的に、粗度近傍 ($y/k \leq 1.5$) では比較的大きな局所変化が見られた。①および②では粗度高さ付近で流速シアアが大きい、これは粗度頂部から背後にかけて流れが剥離し、粗度内部と外部の流速差が大きくなるためと考えられる。粗度谷部の②および③では粗度内部 ($y/k \leq 1$) で負の値をとる点が存在し、逆流が生じている。

図-4に同ケースの谷部 ($z/k = 0$) における時間平均鉛直流速 V の鉛直面コンター図を示す。粗度内部では全体的に下降流が生じており、種子や浮遊砂はこの下降流に取り込まれて河床に捕捉されると考えられる。特に、粗度上流側 ($x/k = 4$) では粗度表面に衝突した流れが粗度内部に潜り込み、馬蹄渦のような渦状の流れが生じていると考えられる。

図-5に図-3と同じ3点におけるレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の鉛直分布を示す。①および②では流速シアアが大きな値を示す粗度高さ付近でレイノルズ応力がピーク値を示しており、粗度頂部から背後にかけての領域でシアアによる乱れが発生している。また、①から③へ流下方向に移動するにつれてピーク値をとる高さが低くなっていることから、組織渦が流下方向に発達し、その下流側で粗度内部にまで入り込んでいると考えられる。粗度近傍における運動量輸送のメカニズムをより詳細に調べるために、レイノルズ応力の四象限区分解析を行った。ここで、主流速および鉛直流速の変動成分 (u, v) について第1象限を $u > 0$ かつ $v > 0$ 、第2象限を $u < 0$ かつ $v > 0$ 、第3象限を $u < 0$ かつ $v < 0$ および第4象限を $u > 0$ かつ $v < 0$ のときとそれぞれ定義する。図-6に②粗度下流端におけるレイノルズ応力の各象限成分の鉛直方向プロット図を示す。粗度高さ付近では RS_4 ($u > 0$ かつ $v < 0$) が卓越しており、高速の下降流である sweep が粗度近傍における浮遊粒子の輸送に影響を与えたと考えられる。

Kazumasa MATSUMOTO, Takaaki OKAMOTO, Takumi OKAZAKI, Michio SANJO
matsumoto.kazumasa.85s@st.kyoto-u.ac.jp

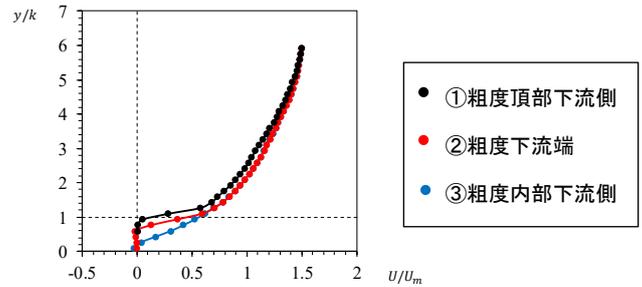


図-3 時間平均主流速 U の鉛直分布

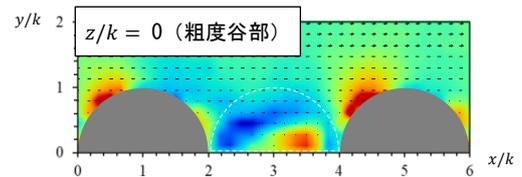


図-4 時間平均鉛直流速 V の鉛直面コンター

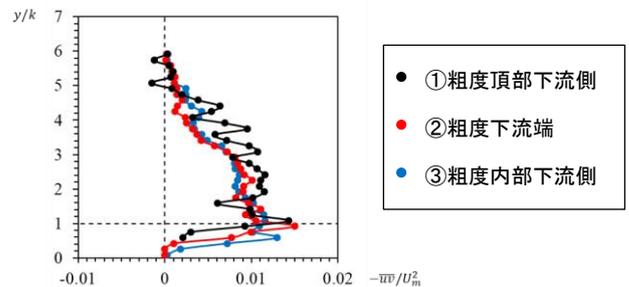


図-5 レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の鉛直分布

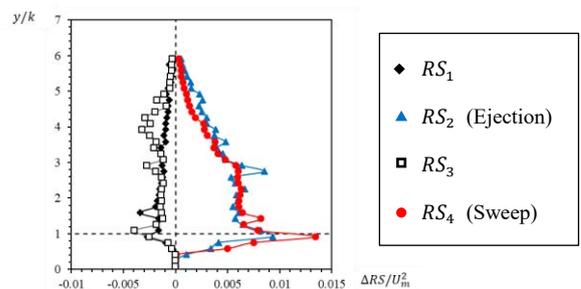


図-6 レイノルズ応力四象限区分解析結果 (位置②)

4. おわりに

半球粗度近傍および内部では平均流としての下降流と乱れによる瞬間的な下降流が生じており、浮遊粒子の捕捉に影響すると考えられる。今後の課題としては室内水路において粒子挙動を観察し、乱流特性と粒子挙動との関係性について研究していきたい。

参考文献

- 1) Nino, Y., and Garcia, M. H.: Experiments on particle-turbulence interactions in the near-wall region of an open channel flow: implications for sediment transport, J. Fluid Mech., vol. 326, pp. 285-319, 1996.