

付着藻類が繁茂した粗粒化河床の礫層内外における流れ場の河床高上昇に伴う変化

埼玉大学 学生会員 ○長谷見 優

埼玉大学大学院 (兼) 研究機構レジリエント社会研究センター 正会員 田中 規夫

1. 研究背景と目的

ダム下流河川においては、ダム上流域からの供給土砂がダムにより遮断され減少したことに伴い、細粒分が抜けて粒度が粗粒化する現象が生じる。そのため、土砂移動機会の減少が生じ、付着藻類の異常繁茂や水生昆虫群集の多様度低下がみられる¹⁾。対策として、多くのダムでフラッシュ放流や置き砂による土砂還元が行われている。土砂還元を行った場合には、還元土砂が粗粒化した河床における巨礫背後の遮蔽域に堆積しやすいことから、還元土砂の移動特性を把握するためには、巨礫背後の遮蔽域の流れ場を把握することが重要であること、流れ場に影響を与える巨礫群の抗力特性を把握することが必要である²⁾。

著者ら³⁾はこれまでに付着藻類が異常繁茂した粗粒化河川における巨礫と小粒径土砂の移動性について検討を行ってきた。実験の結果、付着藻類が繁茂することで、巨礫の上下層における運動量交換が減少し、それに伴って巨礫背後の遮蔽域の底面せん断力が減少する可能性を示唆した。底面せん断力の低下は小粒径土砂の移動性を低下させるため、礫表面の付着藻類をクレンジングする機会を減少させることを結論付けた。長谷見・田中³⁾で得られた流速分布、レイノルズ応力分布を図-1に示す。しかし、長谷見・田中³⁾での実験条件は、大礫を砂利上に乗せるようなケースであったため、土砂還元に伴って上昇する河床高の影響は把握できていない。大礫が土砂に埋まるようなケースにおいては、上下層の運動量交換が起こりやすく、底面せん断力は再び増加し、クレンジングの機会を増大させると考えられる。

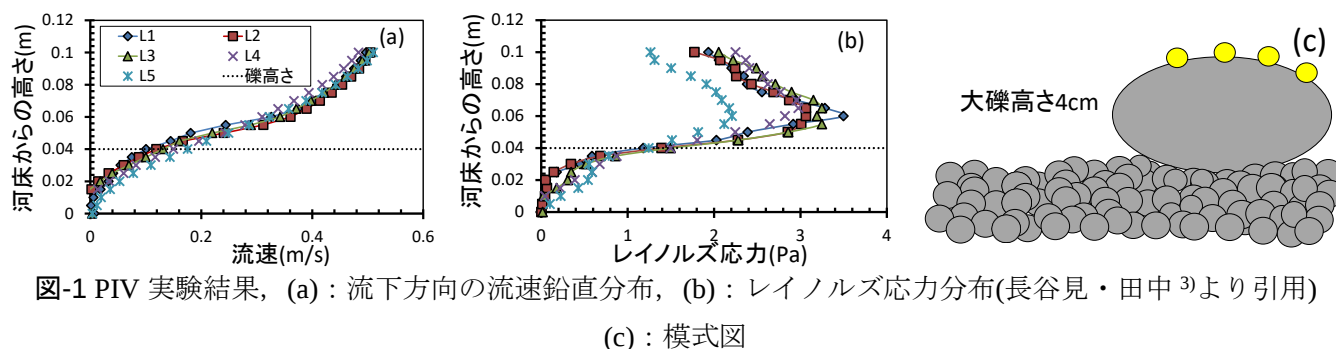


図-1 PIV 実験結果, (a): 流下方向の流速鉛直分布, (b): レイノルズ応力分布(長谷見・田中³⁾より引用)

(c): 模式図

本研究の目的は、付着藻類が繁茂したダム下流河川で、粗粒化対策としての土砂還元対策が行なわれている場合において目標とする河床高さの目安を得るため、小粒径土砂の移動が期待される河床高を把握することである。長谷見・田中³⁾の実験を拡張し、砂利内に大礫を埋める深さを変え、礫層内外の流速分布の変化という観点から流れ場の変化を詳細に調査した。

2. 実験概要

2. 1 実験方法

実験には可変勾配水路(水路長 14.0m, 水路幅 0.5m, 深さ 0.4m)を使用した。実験水路に平均粒径 16mm の砂利を敷き、長谷見・田中³⁾によって、抗力・揚力特性の類似性により確定された付着藻類模型を貼り付けた大礫(平均粒径 102mm)を敷き詰めた。付着藻類模型を貼り付けた大礫は水路の始まりから 8.5m 地点の区間に長谷見・田中³⁾と同様に敷設し、付着藻類の繁茂した粗粒化河床を再現した。付着藻類について、実物では

キーワード 付着藻類, 粗粒化河川, PIV 実験, 河床高, 底面せん断力

連絡先〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学 TEL048-858-3564 E-mail: tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

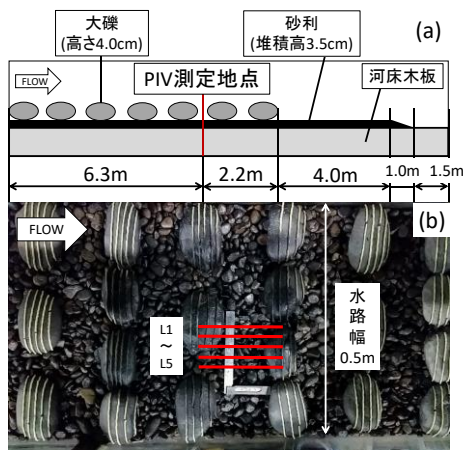


図-2 PIV 実験条件

なく模型を採用した理由は、水路実験を行うにあたって、実験や礫の設置に時間を要することから、付着藻類の活性を保って実験するのは困難なためである。

流れ場は、トレーサー粒子を投入した流れ場の中にレーザーを照射しトレーサー粒子を可視化し、そのトレーサーの動きをハイスピードカメラで撮影し、そのデータを画像処理装置によって解析して流れ場の流速やレイノルズ応力を求める PIV(Particle Image Velocimetry : 粒子画像流速測定法)手法により把握した。動画の解析にはカトウ光研株式会社の 2 次元流体解析ソフトウェア「Flow Expert Ver1.2.6」を用いた。カメラは高速度カメラ「High Speed Digital Camera K-II」、レーザーはグリーンレーザー「PIV Laser」を使用した。トレーサーはアルミ粉大さじ 2、KC フロックを大さじ半分、水を 3L の割合とした。

アルミ粉大さじ 2、KC フロックを大さじ半分、水を 3L の割合とした。

2. 2 実験条件

実験条件の模式図を図-2 に示す。敷き詰めた砂利の厚さは 3.5cm とし、付着藻類模型を貼り付けた大礫は千鳥配置とした(図-2(b))。大礫の流下方向間隔は 8cm(粗度高さ 2 倍)とした。流れ場の測定は大礫中央である L1 から、大礫の横断方向間である L5 まで、5 断面で行った。流量はいずれのケースでも 1390L/min で統一した(河床勾配 1/1000、水路幅 0.5m)。以上の条件は長谷見・田中³⁾で行われた PIV 実験と同様であり、この実験の比較対象として、砂利内に大礫を 1cm, 2cm, 3cm 埋めて PIV 実験を行った。大礫を埋める場合でも、追加で砂利の供給は行わなかった。

3. 結果

3. 1 大礫 1cm 埋め(礫高さ 3cm)

大礫を 1cm 埋めたケースの流速分布、レイノルズ応力分布を図-3 に示す。L1 から L5 における流速分布については、計測断面間での著しい差はまだ表れていない。底面付近を見ると、図-1 に比べて指数分布から線形に近づいていることがわかる。大礫上層部では、図-1 に比べて全体的に流速は減少している。これは、河床が上昇したことにより、大礫背後の遮蔽域にわずかながら流れが入りこむことによって、大礫上層部の流速が減少したと考えられる。

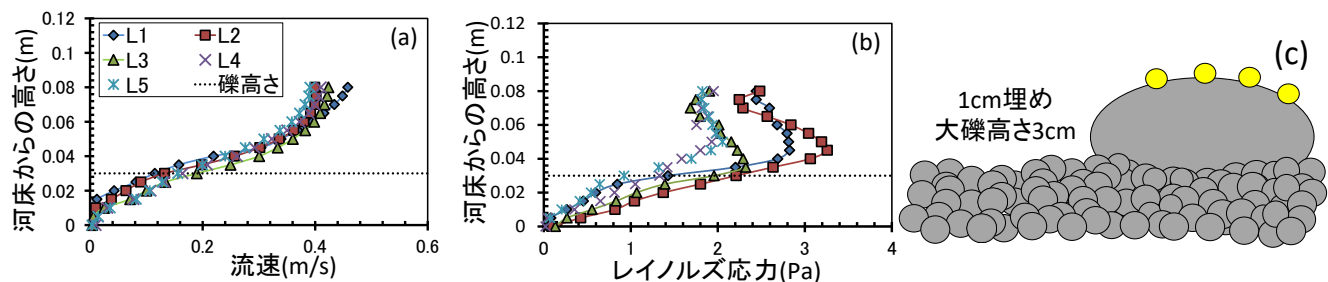


図-3 PIV 実験結果(1cm 埋め), (a) : 流下方向の流速鉛直分布, (b) : レイノルズ応力分布, (c) : 模式図

3. 2 大礫 2cm 埋め(礫高さ 2cm)

大礫を 2cm 埋めたケースの流速分布、レイノルズ応力分布を図-4 に示す。流速分布を見ると、底面付近、特に L4, L5 がより線形へ近づいていることがわかる。また、底面から礫高さ付近にかけて、L1 から L5 に流速差が表れ始めた。これは流れの横断方向の流速差の小さい 2 次元的な流速分布から、3 次元的な流速分布へ移り変わっていることを示す。大礫上層部の流速が 1cm 埋めに比べて減少していないのは、河床高が上昇することによって、粗度である大礫の高さが低くなり、流れを遮る影響がなくなったと考える。

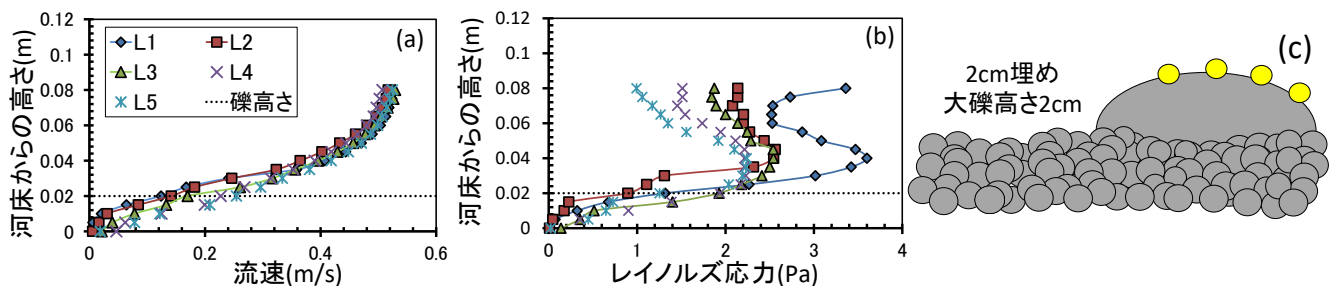


図-4 PIV 実験結果 2cm 埋め), (a) : 流下方向の流速鉛直分布, (b) : レイノルズ応力分布, (c) : 模式図

3. 3大礫 3cm 埋め(礫高さ 1cm)

大礫を 3cm 埋めたケースの流速分布, レイノルズ応力分布を図-5 に示す. 大礫を 3cm まで埋めると, 底面付近の流速分布はかなり線形へと変化している. これは, 底面の小粒径土砂が動きやすくなっていることを示す. また, 大礫上層部を見ると, L1 から L5 にかけての流速差がより顕著に表れている. L1 と L5 の流速コンター図を図-6 に示す. 付着藻類模型がない状態で, 本研究と同条件の実験が行われている⁴⁾(図-7)が, こちらも大礫上層部で L1 から L5 の流速差が顕著である.

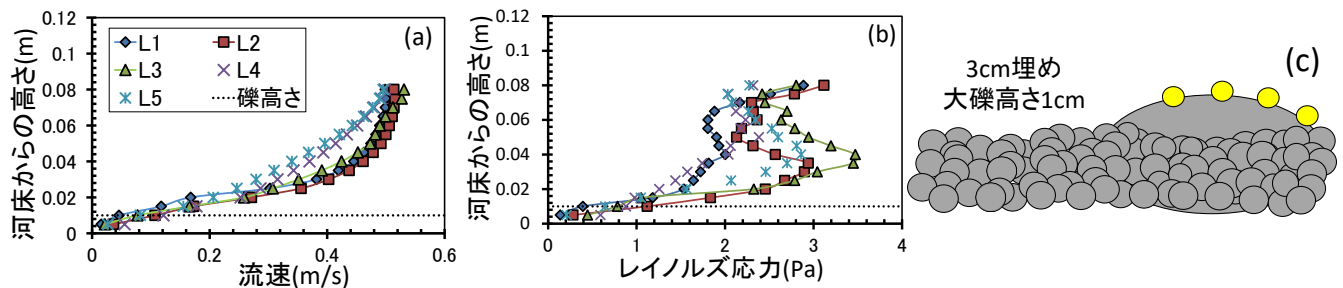


図-5 PIV 実験結果(3cm 埋め), (a) : 流下方向の流速鉛直分布, (b) : レイノルズ応力分布, (c) : 模式図

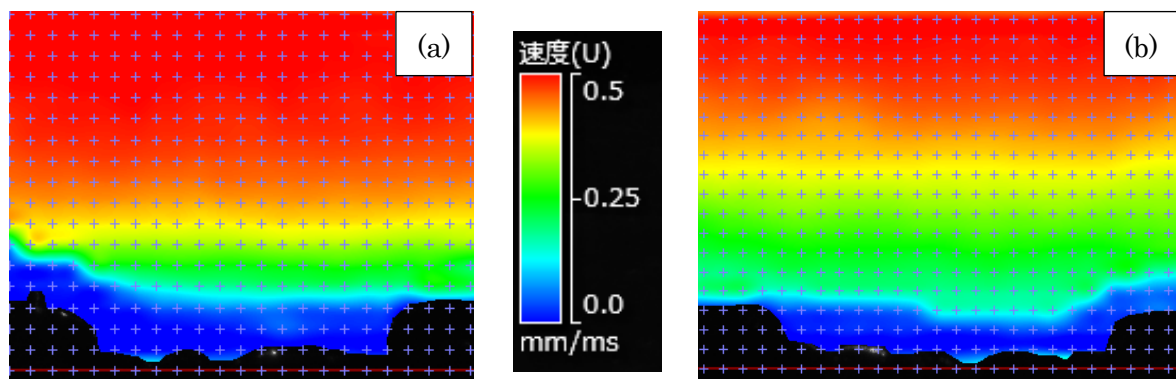


図-6 流速コンター図(3cm 埋め), (a) : L1 断面, (b) : L5 断面

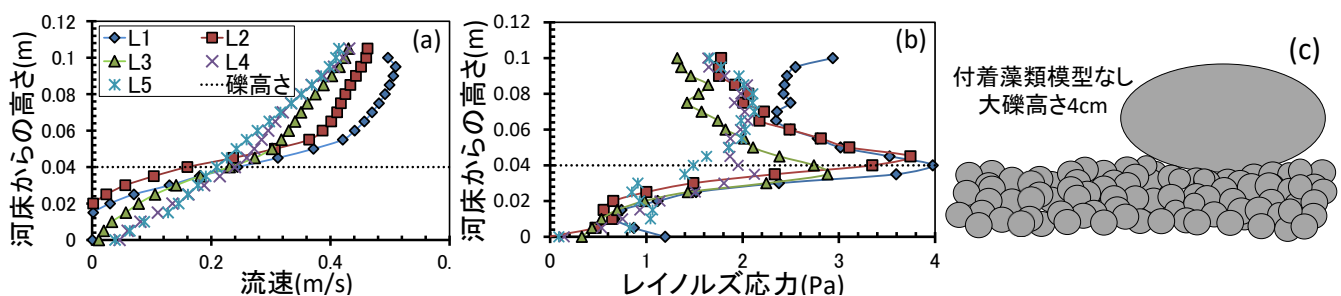


図-7 PIV 実験結果(Habib⁴⁾よりデータ引用, 付着藻類模型なし,
(a) : 流下方向の流速鉛直分布, (b) : レイノルズ応力分布, (c) : 模式図

4. 考察

3.3 より，大礫高さの 3/4 程度まで埋まることによって，大礫上層部の流速場が，付着藻類が繁茂していない実験結果³⁾と類似することがわかった．実験結果から得られた流れの構造の模式図を図-8 に示す．

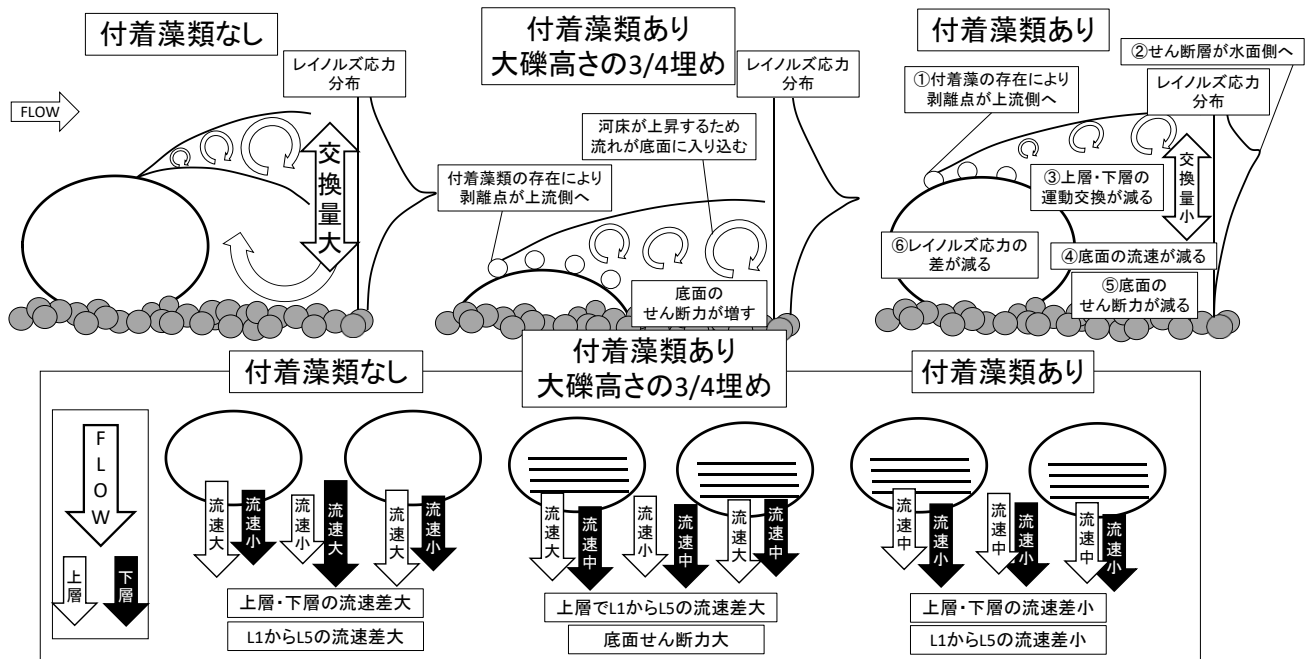


図-8 河床模式図(付着藻類なし，付着藻類あり大礫埋め，付着藻類あり比較)

5. 結論

付着藻類の繁茂した粗粒化河床においては，礫層上部と礫層内部の運動量交換が減少し，流れ場が二次元する傾向がある³⁾．しかし，大礫が高さの 3/4 まで埋まることによって大礫上層部の流速が付着藻類なしの場合と類似の 3 次元的な分布になるとともに，底面せん断力も増加した．本実験で得られた傾向は，土砂還元により粗粒化した河床にどの程度の割合で河床材料が充填されれば良いかという判断材料の 1 つになると考えられる．今後は，実際のダム河川の土砂還元に伴う河床材料構成と付着藻類の繁茂状況の変化と関連付けていく予定である．

謝辞 本研究は（公）河川財団のH28年度河川基金（代表：田中規夫）の助成によって行なわれた．また，埼玉大学学生（坂田良介氏，松尾昂祐氏，中嶋一貴氏）に実験準備を手伝っていただいた．記して謝意を表す．

参考文献

- 1) 藤田光一，富田陽子，大沼克弘，原野崇，小路剛志，伊藤嘉奈子，山原康嗣，萱場祐一：ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方—下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて—，国土技術政策総合研究所資料 521 号，土木研究所資料，第 4140 号，2009.
- 2) 田中規夫，古里栄一：粗度層ながれと水生昆虫動態—攪乱生態水理学の提案—，ながれ，第 33 巻，pp.337-342，2014.
- 3) 長谷見優，田中規夫：付着藻類の繁茂が粗粒化河床の粗度層内外の運動量交換と底面せん断力に与える影響，水工学論文集，第 61 巻（印刷中），2017.
- 4) Habib, S. : Turbulence characteristics in open channel armored gravel bed with small water depth relative to roughness elements height, Master's thesis (Saitama University), 2016.