

二瀬ダム下流河川の生物相に影響を与えた還元土砂の有効粒径について

埼玉大学大学院 学生会員 ○坂田 良介

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

国土交通省 二瀬ダム管理所 米山 実

1. 背景および目的

河川の低水路環境において、付着藻類や水生昆虫といった第一次・第二次生産者は重要な生態系構成要素の一つである。そのため、土砂還元事業による改善効果の一つとして、付着藻類や水生昆虫群集の健全化が期待されている。河川低水路空間は出水頻度が高いことが特徴の一つであり、これらの生物相は、移動する土砂と衝突し適度な攪乱をうけることにより、生物多様性を維持していると考えられる。

付着藻類は主に礫上に繁茂するため、サルテーションや浮遊砂のように、礫河床に埋没しないような移動形態をもつ移動土砂が剥離に有効であり、そのような移動形態を多く生じる出水規模の大きい夏場において、改善効果が得られている¹⁾。

一方、水生昆虫の生息場は河床底面以下であるため、水生昆虫の流失に関しては、掃流砂との衝突が有効であると考えられる。田中ら²⁾は二瀬ダム下流において河床材料の細粒化の傾向は粗粒化の進行した上流地点では遅く、下流地点の方が小規模かつ短期的な流量増加時においても移動する可能性の大きい砂礫成分が早く増加したことを示し、その結果、土砂還元後の水生昆虫相の特徴として、秋季のカゲロウ目やカワゲラ目の現存量の経年的な増加傾向や、安定した河床状態で増加しやすいトビケラ目の秋季から早春季にかけての増加が見られなくなったことを確認した。以上のことから、冬季の小規模出水で掃流されるような小型サイズの粒径が水生昆虫相の動態に影響を与えていると考えられる。

粗粒化が進行した河川においては、巨礫の抵抗によって巨礫層内の流速が低下することが知られているが、坂田・田中³⁾は複数の巨礫によって流下方向に狭められた空間(縦キャニオン)では、流れが加速され、摩擦速度が大きくなることを示した。

前報¹⁾では付着藻類の剥離を担う有効な粒径を計

算し、2.5mm程度の粒径が付着藻類の剥離に有効であるとしたが、他の既往研究⁴⁾⁵⁾と比較して小さい粒径であり、縦キャニオンにおいて生じる移動成分の考慮が必要である。

本研究では、縦キャニオンの摩擦速度を考慮して、前報¹⁾にて行った付着藻類の剥離に対する有効粒径の再計算をすると同時に、同様の手法を用いて、冬季間の掃流土砂が河床に与える攪乱度合いを明らかにし、水生昆虫の動態に影響を与えた移動土砂の粒径を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2. 1. 二瀬ダムモニタリングデータの概要

二瀬ダムは埼玉県秩父市、一級河川・荒川の本流最上流部に建設されたダムである。ダム下流の河床材料の粗粒化が問題となり、2004年度から貯砂ダムに堆積した土砂をダム下流に還元する試みがなされている。この還元土砂による河川生態系への影響を把握するため、2003年度から河川物理環境・魚類・底生動物についてモニタリング調査が行われている。調査地点図を図-1に示す。また、最初の還元土砂(2003年の貯砂ダムの堆積土砂)の粒度分布図を図-2に示す。前報で付着藻類の剥離に有効であるとした1.5~2.5mmの粒径は、還元土砂において数%程度しか存在しない粒径であった。



図-1 二瀬ダム下流河川の概要。

キーワード 河川事業, 付着藻類, 水生昆虫, 縦キャニオン, 有効粒径,

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

2. 2. 各粒径が河床に与える力積の計算

前報¹⁾と同様に、ある粒径が河川に十分存在する場合を仮定し、(1)粒径別にどのような移動形態で移動するかを判別した。(2)一年間当たりの単位幅流束個数を計算した。(3)河床に与える力積を積算して攪乱の指標とした。付着藻類の剥離量については、剥離特性値と一年間における粒径別の河床に与える総力積との積により求めた。

(1) 河床移動材料の移動形態の判定

河床浮遊砂・掃流砂が卓越して発生する条件は、それぞれ式⁶⁾より、以下の式より算出した。

$$u_*/w_0 > 1.67 \quad (\text{浮遊砂卓越条件}) \quad (1)$$

$$u_*/w_0 < 1.08 \quad (\text{掃流砂卓越条件}) \quad (2)$$

ここに、 u_* は摩擦速度 (m/s)、 w_0 はある粒径の細粒土砂の沈降速度(m/s)である。式(1)、(2)において、 w_0 と u_* はそれぞれ以下の式より算出した。

$$u_* = ku_1 \quad (3)$$

$$w_0 = \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \frac{\rho' - \rho}{\rho} d \right)^{1/2} \quad (4)$$

ここに、 k は縦キャニオン内での加速を考慮したせん断力補正係数である³⁾。巨礫の占める面積を計算すると本研究で対象とする二瀬ダム下流 St.3 では67%であったのに対して、同論文³⁾の実験ケース2では72%であり、近い値であったことから、ケース2で得られた平均値から $k=0.68$ とした。また、 u_1 は粗度層内平均流速、 g は重力加速度(m/s²)、 h は流量と河川横断面から推定した水深(m)、 i は河床勾配、 ρ は水の密度(kg/m³)、 ρ' は砂粒の密度(kg/m³)、 C_D は球の抵抗係数である。 d は砂粒の粒径(m)である。

(2) 単位幅流束個数の計算

土砂粒子を真球と仮定し、体積から単位幅流束個数 N_{qb} を計算する。

$$N_{qb} = \frac{q_b}{V_d} \quad (5)$$

$$V_d = \frac{1}{6} \pi d^3 \quad (6)$$

ここに、 q_b は単位幅流束[m³/s・m]である。

(3) 砂礫が一回の衝突で生じさせる剥離量の計算

サルテーションする礫一個が衝突で生じさせる付

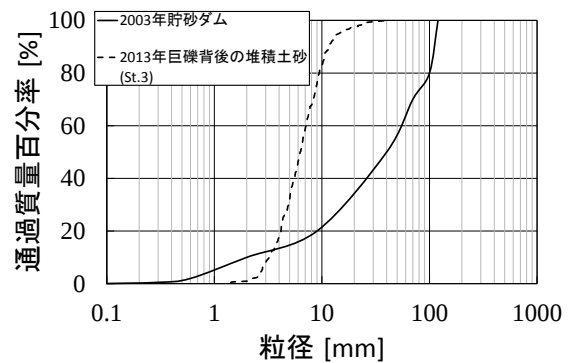


図-2 砂防ダムの堆積土砂と調査対象場所の粒度分布。

着藻類の乾燥剥離量を M_a とする。北村ら¹⁾によれば、実験時の観察によると、付着藻類の剥離はサルテーション運動する砂礫が巨礫表面に衝突する際の、河床に対して鉛直方向に働く力に比例した摩擦力によって生じている。よって、真球と仮定した砂礫の沈降速度と砂礫の質量の力積によって以下の式のようにあらわせると仮定した。

$$M_a = pw_0 M_{di} = pw_0 V_d s \quad (7)$$

ここに、 p は砂礫の衝突実験¹⁾によって得られた剥離特性値(=0.037[g/kg・m])である。 w_0 は真球と仮定した砂礫の沈降速度[m/s]、 s は礫の水中密度[kg/m³]である。

なお、水生昆虫の流失を担う粒径も同様の手法を用いて、冬季間の出水に対してのみ計算し、掃流砂が水生昆虫の流失に寄与しているものと仮定した。水生昆虫と小礫の衝突による流失特性については、まだ観測を行っていないため、力積のみ計算した。

3. 二瀬ダムモニタリングデータ整理結果

ダム下流 St.3 における日平均放流量と付着藻類細胞数、カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目の現存量(それぞれ E, P, T で示す)の経年変化を図-3に示した。また、全水生昆虫に対する E, P, T の総量の割合を示した EPT%と、E,P,T の総量に対する T の割合を示した。出水攪乱のない河川では、時間変化によって、造網型のトビケラが優占することが知られている⁷⁾が、土砂還元後では、T の割合の変化は出水規模・頻度の小さい秋季から冬季にかけて土砂還元後に減少傾向にある。これは、冬季の出水規模で移動する還元土砂が水生昆虫が生活する河床に攪乱を与えたことを示唆している。付着藻類については、土砂還元の実施に伴い、経年的に細胞数が減少して

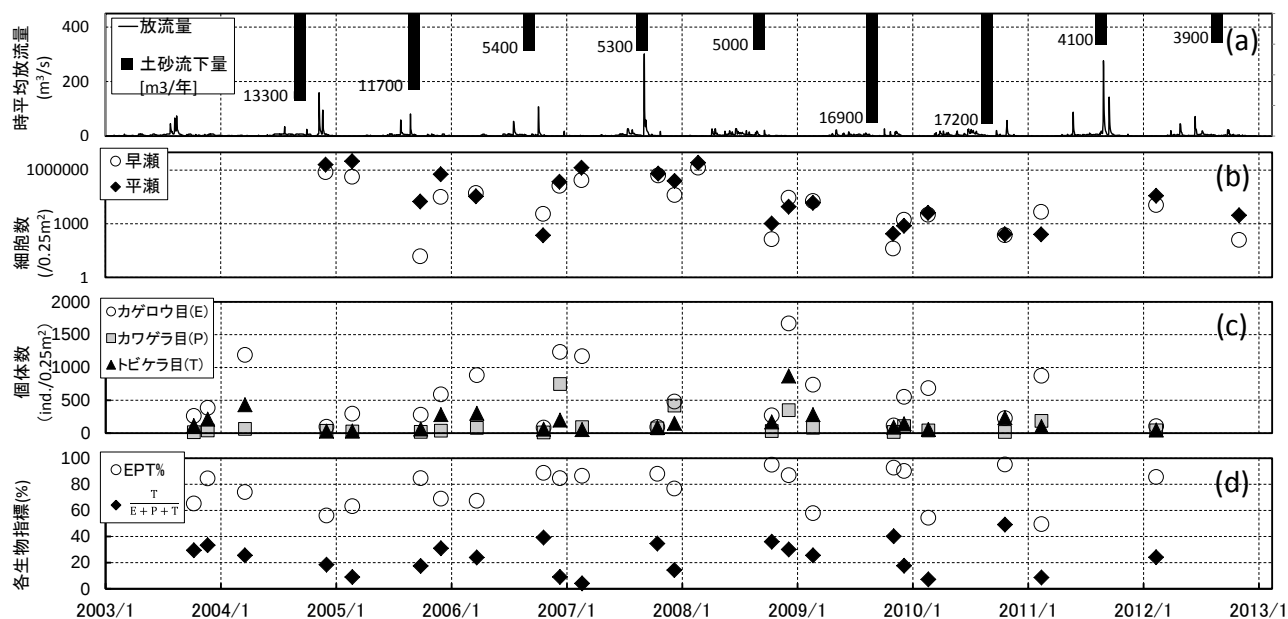


図-3 二瀬ダム下流(st. 3)における水生昆虫群集の変化

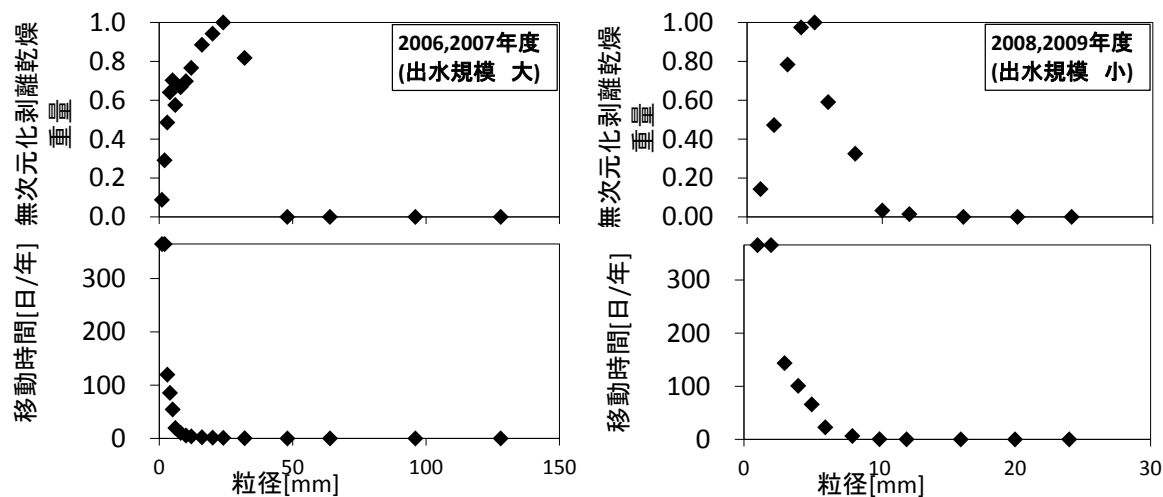


図-4 各粒径が担う付着藻類の剥離可能量と浮遊・サルテーション時間

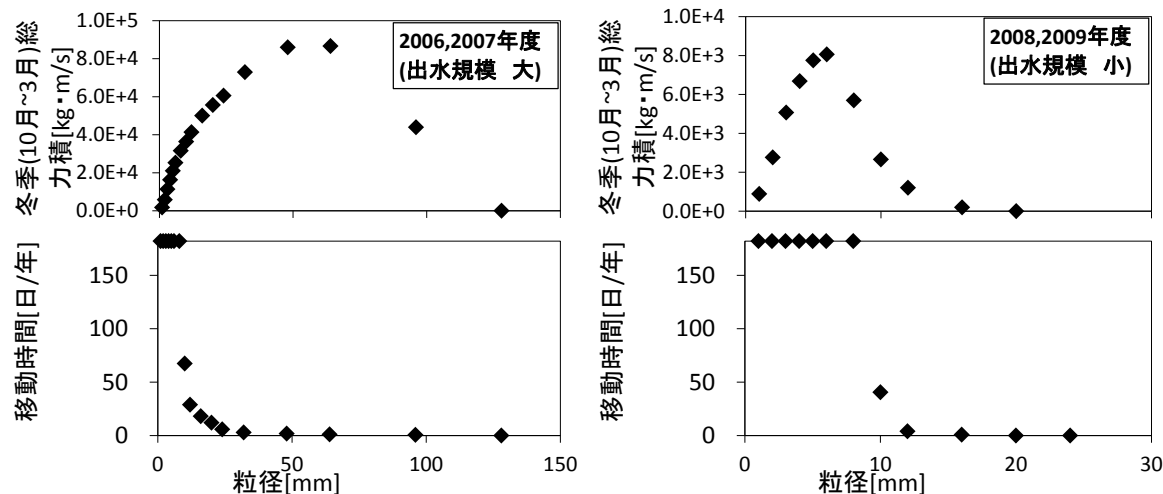


図-5 各粒径が担う河床へ与える力積の積算量と移動時間

いる。2008,2009 年度の夏季のような、出水規模の比較的小さい年度においても出水直後の付着藻類の細胞数の減少が顕著に見られた。冬季においては付着藻類の細胞数は短期的に増加傾向にあり、冬季で移動する土砂は付着藻類の剥離に寄与しないと考

られる。

本研究では、出水規模が比較的大きい 2006,2007 年度と出水規模が比較的小さい 2008,2009 年度においてそれぞれについて移動土砂の力積の積算量を通年と冬季(10月~翌3月末)について計算した。

4. 解析結果

4. 1. 付着藻類の剥離可能量(通年)

二瀬ダム下流における各粒径が付着藻類を剥離させる可能量と各粒径が掃流砂と浮遊砂の遷移領域以上になる時間を図-4 に示す。

小さい粒径は移動頻度が多いが、重量が小さいため剥離量は小さい。大きい粒径は逆の傾向を示し、移動頻度は少ないが、剥離量は大きくなる。今回の計算では、出水規模の大きな期間では 24mm で剥離量のピークをとり、出水の小さな期間では 5mm でピークをとった。

4. 2. 掃流砂が河床に与える力積の積算量(冬季)

二瀬ダム下流において掃流される各粒径が冬季(10 月~翌 3 月末)に河床底面に対して与える力積の積算量を図-5 に示す。今回の計算では、出水規模の大きな期間では 64mm で力積量のピークをとり、出水の小さな期間では 6mm でピークをとった。

図-2 と比較すると、これらの計算で得られた 5~64mm の粒径は 2004 年度に還元した土砂中に 40%以上含まれていることが分かった。還元した土砂が生物相の改善に影響を与えていることから本研究の計算は妥当であると考えられる。

5. まとめ

本研究では大礫間の流れが加速される空間(縦キャニオン)の摩擦速度を考慮し、小粒径の河床材料の移動について、付着藻類・水生昆虫動態の改善が顕著に見られた 2006~2009 年度について、出水規模の大きい 2006,2007 年度と 2008,2009 年度に二分し、それぞれの期間で生物相に影響を与えた移動土砂の粒径を、衝突によって河床に与える力積の積算量により明らかにした。

付着藻類は夏季に生じる掃流砂と浮遊砂の遷移領域以上となるような移動土砂が剥離に大きな影響を与えるため、掃流砂が卓越するような条件を除いて計算を行った。

水生昆虫については、河床底面を生息場としているため、移動形態の限定は行わなかった。土砂還元によって冬季に改善効果が見られたため、期間を冬季に限定して計算を行った。

計算の結果、出水規模の大きい年では 24~64mm

程度の粒径が影響を与え、出水規模の小さな年では、5~6mm の粒径が最も生物相に影響を与えることが示唆された。5~64mm の粒径は 2003 年度に還元した土砂に 40%以上存在していることが分かった。還元した土砂が生物相の改善に影響を与えていることから本研究の計算は妥当であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は(公)河川財団の H28 年度河川基金(助成番号 285211017, 研究代表者: 田中規夫)によって行なわれた。

参考文献

- 1) 坂田良介, 田中規夫, 米山実: 二瀬ダム下流の付着藻類動態に影響を与えた還元土砂の有効粒径について, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 第 43 回, II-48, 2015.
- 2) 田中規夫, 古里栄一, 木村國男: 土砂還元実施後の二瀬ダム下流における水生昆虫群集の経年的な動態変化と低水路空間における河床材料の移動性について, 河川技術論文集, 第 19 巻, pp.483-488, 2013.
- 3) 坂田良介, 田中規夫: 粗粒化した河床における土砂移動に関わる礫間底面せん断力の評価, 水工学論文集, 第 61 巻, 2017(印刷中).
- 4) 北村忠紀, 加藤万貴, 田代喬, 本哲郎: 砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究, 河川技術に関する論文集, 6, pp.125-130, 2000.
- 5) 赤松良久, 池田駿介, 浅野誠一郎, 大澤和敏: ダム下流における糸状藻類の強制剥離に関する研究. 土木学会論文集 B, 65(4), pp.285-295, 2009.
- 6) 椿東一郎: 水理学 II, 基礎土木工学全書 7, 森北出版, 1974
- 7) 田代喬, 渡邊慎多郎, 辻本哲郎: 低攪乱な礫床河川に優占する造網型トビケラの個体群動態とそれに伴う河床固化に関する解析, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1453-1458, 2005.