

## 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

埼玉大学 学生会員 ○坂田 良介

埼玉大学大学院 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

ダム下流河道の河床においては、上流からの供給砂礫がダムによって遮断されたことに伴い、河床の粒径が粗粒化する現象がよく知られている。粗粒化した河床では、魚類や水生昆虫等のハビタットの消失や底質の固定化による礫付着藻類の異常繁茂といった環境面での悪影響が発生している場合も多い。特に付着藻類の異常繁茂は景観の悪化や、悪臭の発生、他の水生生物への悪影響を引き起こすことがある。これらへの対策として、二瀬ダムにおいては土砂還元事業が行なわれ、平成16年度以降にダム下流河川における還元土砂の流下に伴う河床材料の小型化や付着藻類現存量に変化が生じた。

しかし、付着藻類の異常繁茂抑制に適した土砂還元手法、特に付着藻類の剥離に有効な土砂の粒径と量については、まだ明らかになっていない。

北村ら<sup>1)</sup>は掃流砂を投入した水路実験の結果を用いて、カワシオグサが95%剥離されるのに必要な土砂の投入量を粒径別に算出した。流量によって効果は異なるが、1mmから10mm程度の粒径が効果的であることが推定された。赤松ら<sup>2)</sup>も水路実験によって、5mmから10mmの掃流砂が付着藻類剥離に効果的であることを示している。ただしこれらの結果は、砂礫が巨礫間に埋没することなく掃流されることが前提である。しかし、粗粒化が進行したダム下流においては、礫間の遮蔽域を掃流砂が進行することが予想される。その高さは付着藻類の繁茂する高さとは異なることから、その前提が成り立たない。よって粗粒化した河川で行われる土砂還元では、サルテーションや浮遊砂となる成分が担う付着藻類剥離の効果を考慮する必要がある。

本研究は、二瀬ダム下流で生じた土砂の移動モードに注目し、付着藻類の現存量の10年分の時系列データの解釈を行うことによって、付着藻類剥離に

有効な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。付着藻類については2004年度から調査が行われている。調査地点図を図-1に示す。本論では、支川の中津川が合流前のSt.3について付着藻類の経年データを用いて整理を行った。

#### 2. 2. 一年間の付着藻類剥離可能量の計算

ある粒径が河川に十分に存在すると仮定したとき、一年間に生じる可能性がある付着藻類剥離量を計算により求める。剥離特性値と力積の関係を実験により求め、時系列の放流量データから、粒径別に一年間当たり・単位幅当たりに生じる剥離量を計算する。粒径 $d$ による年間の単位幅当たりの剥離量 $[g/m \cdot year]$ は、サルテーションの単位幅流束個数 $[個/s \cdot m]$ と礫一個が衝突で生じさせる剥離量 $M_a[g/個]$ の積によって求められるものとし、 $M_a$ は後述す



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, 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

る実験により求めた。

### (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、それぞれ椿(1974)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。

$$u_* = \sqrt{ghi} \quad (3)$$

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

ここに、 $g$ は重力加速度(m/s<sup>2</sup>),  $h$ は流量と河川横断面から推定した水深(m),  $i$ は河床勾配,  $\rho$ は水の密度(kg/m<sup>3</sup>),  $\rho'$ は砂粒の密度(kg/m<sup>3</sup>),  $C_D$ 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[m<sup>3</sup>/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着藻類の乾燥剥離量を  $M_a$ とする。北村ら<sup>1)</sup>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。

$$M_a = p w_0 M_{ai} = p w_0 V_d s \quad (7)$$

ここに、 $p$ は剥離特性値[g/kg・m]であり、後述する砂礫の衝突実験によって得られた値である。 $w_0$ 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/m<sup>3</sup>]である。

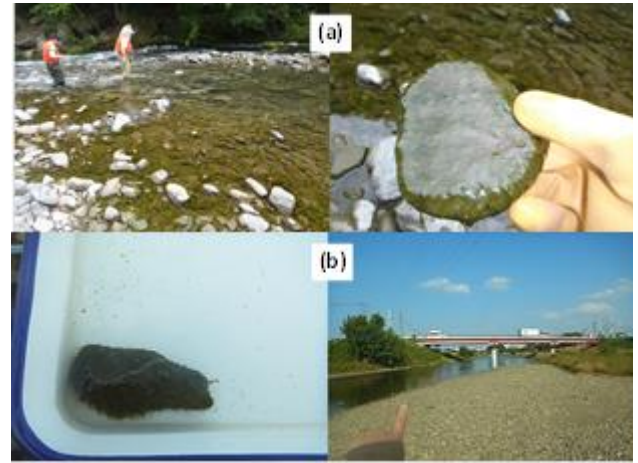


図-2 衝突実験の付着藻類採取場所と対象とした珪藻網の付着藻類, (a)二瀬ダム下流 St. 3, (b)柳瀬川富士見橋上流。

## 2. 3. 現地実験方法

付着藻類の剥離特性値  $p$ を調べるため、礫の衝突実験を行った。実験には、図-2に示すように、二瀬ダム下流と柳瀬川の珪藻網の付着藻類が繁茂した礫を使用した。珪藻網を対象とした理由としては、後述するように、珪藻網が二瀬ダム下流に存在する付着藻類の網の中で最も多くの割合を占めているからである。付着藻類が繁茂した礫に別の礫を自由落下で衝突させ、剥離した付着藻類を採取した。これにより、剥離した衝突時の力積と剥離した藻類の乾燥重量の関係を求めた。実験ケースは、落下高さ 10cm, 25cm, 50cm, 100cm の4ケース、粒径は 10 mm から 100 mm の間で適宜選定し、衝突回数は3回から10回とした。各ケースにおいて実験は3回繰り返した。室内分析で、剥離した付着藻類の乾燥重量と衝突させた礫の重量を計測した。

## 3. 二瀬ダムモニタリングデータ整理結果

2003年から2013年の調査データから、図-3に二瀬ダム下流 St.3における平均放流量と付着藻類細胞数の経年変化を示す。付着藻類の現存量は経年的に減少傾向にある。冬季においては短期的に付着藻類細胞数は増加する傾向にあるが、夏季において大規模な出水を経ることによって付着藻類細胞数が減少しており、これが経年的な付着藻類細胞数減少の要因と見られる。しかし、最も放流量の多い2007年夏の出水を経たときは、付着藻類の細胞数の減少はあまり見られない。それに対して、2008年から2011年にかけて、年最大放流量が小さい時期であっても

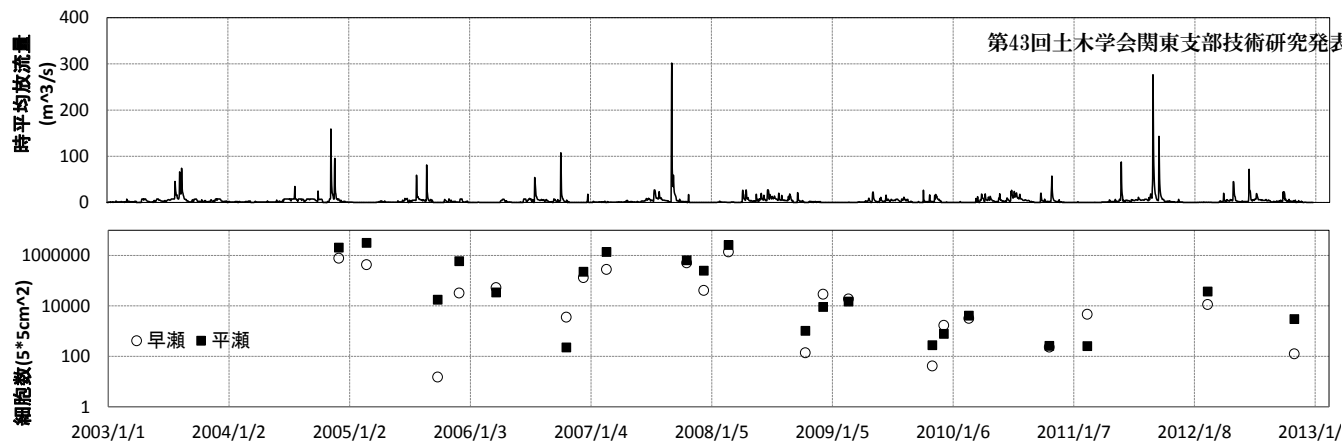


図-3 二瀬ダム下流 St. 3 における平均放流量と付着藻類の総細胞数の経年変化

付着藻類の細胞数が減少しており、年最大放流量と付着藻類の細胞数の減少はあまり関連が無いと思われる。経年的な付着藻類細胞数の減少の主要因は水流ではなく、土砂還元による効果だと示唆される。

図-4 には、付着藻類の細胞数と各年における流下土砂量の比較を示した。ここで示した付着藻類細胞数は夏季の出水後に採取されたものである。夏季出水の影響を大きく受けたあとの付着藻類の現存量と考えることが出来る。この2つの間には強い逆相関の関係があることがわかる。よって、これらの整理の結果から、二瀬ダム下流において発生した経年的な付着藻類の細胞数の減少は、水流それ自体による剥離というよりは、土砂還元の実施に伴って、河床における小粒径の土砂が増え、出水時における移動量が増えたことに大きく起因するものだと考えられる。竹澤ら<sup>4)</sup>によれば、数値解析では、二瀬ダムに供給された土砂のうち40mm程度の主要な粒径が上流域に堆積し、下流には10mm未満の粒径が供給されることが示唆されており、小粒径材料の移動が付着藻類に大きな影響を与えたことが考えられる。

また、図-5 に各調査区各瀬に置いて得られた付着藻類細胞の合計数の割合を網別に示す。本データでは珪藻綱、黄色鞭毛藻綱、藍藻綱、緑藻綱、紅藻綱の5網が見られた。そのうち珪藻綱、黄色鞭毛藻綱、藍藻綱が大半を占めており、特に珪藻綱については、平瀬において7割以上を占めることが分かった。

## 4. 解析結果

### 4. 1. 衝突実験結果

衝突実験の結果を図-6 に示す。力積と剥離量の関係は線形の関係であり、剥離特性値の平均値は  $p=0.037[\text{g/kg} \cdot \text{m}]$  となった。力積が大きくなるほど、付着藻類の剥離量のばらつきは大きくなるため、礫

の衝突する際の当たり方によるばらつきが大きいことが考えられる。

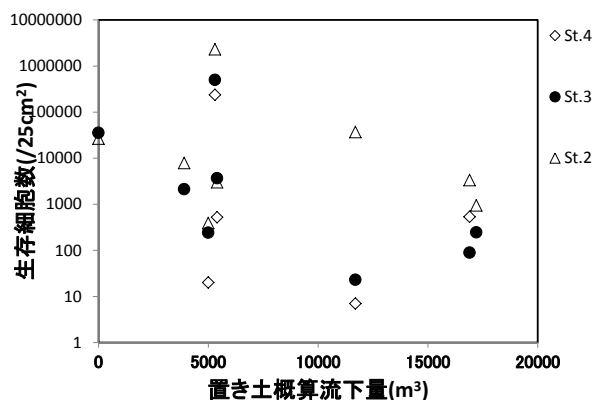


図-4 各年における夏季出水後の付着藻類の全細胞数と流下土砂量の比較

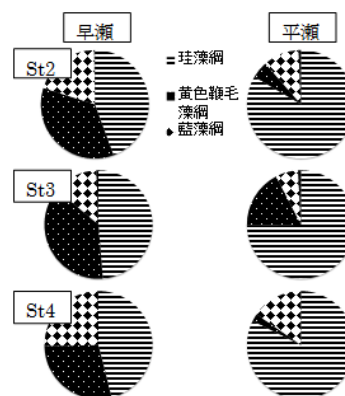


図-5 二瀬ダム下流における付着藻類網の内訳

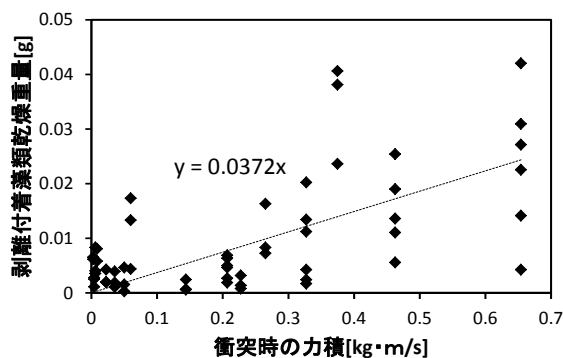


図-6 衝突時の力積と剥離した重量の関係

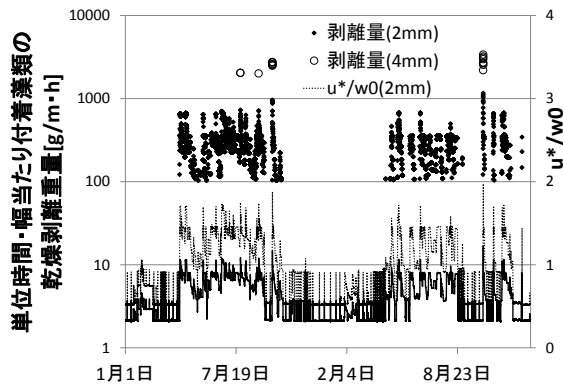


図-7 各粒径の  $u^*/w_0$  と衝突時の剥離量の変化

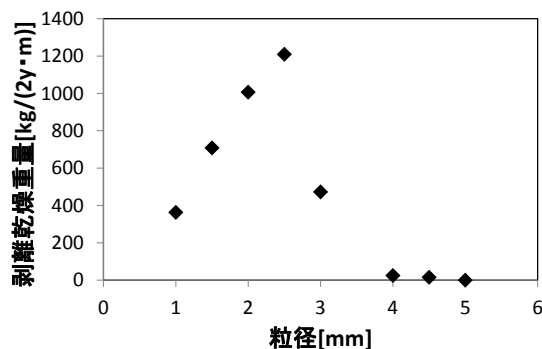


図-8 各粒径が二年間で生じさせる剥離可能総量

#### 4. 2. 付着藻類剥離可能量解析結果

2008 年～2009 年二瀬ダム下流における  $d=1\sim 4\text{mm}$  の場合での粒径別の付着藻類可能剥離量を図-7 に示す。上に示されるプロットは各粒径が生じさせた 1 時間あたりでの剥離量を示しており、下に示される線グラフは移動形態を判定する各粒径の  $u^*/w_0$  の値を示している。小さい粒径は掃流砂と浮遊砂の遷移領域以上になる  $u^*/w_0$  になりやすく剥離を生じさせる頻度が多いが、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、4mm の粒径になると 1 年に数時間程度しかサルテーションが発生しない。また、各粒径の付着藻類剥離量の 2 年間での積算量を図-8 に示す。1.0mm から 5.0mm までの 0.5mm 間隔での整理では、2.5mm で最大の積算量を示し、それ以上からは粒径の増加に伴って急激に減少していくことがわかる。よって 2.5mm の粒径がもっとも多くの剥離を担っており、2008 年、2009 年度における放流量では、2.5mm 以下の粒径が土砂還元の有効であることが示唆された。

#### 5. まとめ

粗粒化した河川においては掃流砂が輸送される間に巨礫間の空隙に埋没し、付着藻類の剥離に対する効果が薄いと考えられるため、本研究ではサルテーションが発生するような小粒径の河床材料の移動に着目し、付着藻類の現存量の減少が顕著に見られた 2008, 2009 年の夏季について、各粒径が担った付着藻類剥離量を計算した。2mm 程度の粒径が粗粒化した河川において付着藻類を剥離させるのに有効であることが示唆された。なお、二瀬ダム下流 St.3 地点で、巨礫背後の流れ場が遅くなる空間に対して行われた容積採取法による粒度分布において、1.5mm から 2.5mm の粒径は、全体の約 10% から 20% を占めており<sup>5)</sup>、本研究で得られた有効粒径が付着藻類の現存量の減少に影響を与えたと考えるのは妥当である。しかしながら、計算の過程で使用した土砂輸送流束密度の算定式や、土砂の移動形態の判別式は粗粒化した河川に適用できるかについては疑問が残るため、更なる基礎的な研究が必要である。

#### 謝辞

河川財団・H26-27 年度河川整備基金（代表者：田中規夫）の支援を受けた。記して謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 椿東一郎: 水理学Ⅱ, 基礎土木工学全書 7, 森北出版, 1974
- 4) 竹澤祥太, 田中規夫, 八木澤順治, 本戸卓美, 二瀬ダム下流の粗粒化河道におけるダム還元土砂の動態評価, 河川技術論文集, 第 21 巻, pp.115-120, 2015.
- 5) 坂田良介, 田中規夫, ダム下流の粗粒化河床における水生昆虫動態に関連した小型材料を捉える粒度分布作成方法, 水工学論文集, 第 59 巻, pp.1159-1164, 2015.