

砂面の変動高，礫の被度面積を考慮した 付着藻類の現存量の変動予測

宮川 幸雄¹・角 哲也²・竹門 康弘³

¹正会員 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

E-mail:y-miyagawa@pwri.go.jp

²正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:sumi.tetsuya.2s@kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:takemon.yasuhiro.5e@kyoto-u.ac.jp

ダム下流に砂を供給することで、砂の衝突による付着藻類の剥離効果や、河床への砂の堆積による付着藻類の生育面積の減少により、付着藻類の現存量が変化する可能性がある。本研究は、砂供給前後におけるこれらの変化を考慮し、 1m^2 あたりの付着藻類の現存量を精緻に予測することを目的としている。河床に大量の砂を投入した場合の砂面の変動高、付着藻類の現存量等の経過を実験的に観測し、そのデータを基としたモデルにより付着藻類の生長および剥離速度を予測した。この結果、剥離後の付着藻類は剥離前よりも生長速度が高く、 1m^2 あたりの付着藻類の増加速度は礫の被度面積が減少しはじめる砂面の変動高で最大値を示した。このため、砂供給後に礫の被度面積が減少しない程度の砂が残存すれば、 1m^2 あたりの付着藻類の生産性は供給前よりも向上することが示唆される。

Key Words: bed load sediment, detachment, primary production, sand accumulation

1. はじめに

ダム湖に砂が堆積することで、下流への砂の供給量が減少し、河床の低下および粗粒化が進行する¹⁾。砂が消失した河床では、礫に付着する藻類群集（付着藻類）が、砂の粒子と衝突して剥離される機会が減少する可能性が報告されている²⁾。付着藻類が剥離せず残存期間が長い環境下では、異常繁茂および流下する無機物の堆積が生じやすく、付着藻類を餌とするアユ等の水生生物に多大な影響を及ぼすおそれがある。これに対し、ダム湖に堆積する砂を、排砂等により人工的に下流に供給することで、河床の低下および粗粒化を抑えるだけでなく、供給された砂の衝突が付着藻類の剥離を促し、異常繁茂等を抑える効果が期待されている。砂の衝突による付着藻類の剥離は、掃流砂の運動のなす摩擦力による仕事量と関連付けられることが報告されており³⁾、この理論をもとに、掃流砂による付着藻類の剥離量を予測するモデルを構築し、実河川に適用することで掃流砂の剥離効果を定量的に評価する試みも行われている⁴⁾。

しかし、砂の供給量の増加とともに礫間の砂面の高さ

が上昇するため⁵⁾、この間は表層に露出し付着藻類が生育可能な礫の面積が少なくなると考えられる。上昇した砂面は砂の供給が終了すれば再び低減するが、砂の供給前と同じ状態で安定するとは限らず、これにより底質が変化すれば付着藻類は砂供給前とは異なる状態となる可能性もある⁶⁾。また、付着藻類の生長速度は生長段階によって異なるため⁷⁾、剥離後の付着藻類の生長速度が剥離前とは異なる可能性もある。この2つの現象を同じ時間軸で定量的に評価するためには、 1m^2 あたりの付着藻類が生育可能な礫面積と礫上の付着藻類の生長速度との積から算定される 1m^2 あたりの付着藻類の生長速度を推定する必要がある。しかし、既存の研究は礫上の付着藻類の現存量のみに着目したものが多く、砂供給後の付着藻類の生育面積の減少および剥離後における付着藻類の生長速度の増加を考慮した研究事例はほとんどない。

そこで本研究では、砂の供給で砂面が上昇した後の砂面が低減する過程において、砂面の変動高および礫の被度面積の変化を考慮し、 1m^2 あたりの付着藻類の現存量をより精緻に予測することを目的として、砂を河床に大量に投入した場合の砂面の変動高、礫の被度および付着

藻類の現存量の経過を観測した。このとき、剥離量の予測に必要な河床にはたらく掃流力を把握するため、流量および川幅が概ね一定の条件下で実験が可能な野外施設で観測を実施した。また、砂面が上昇および低減する間は河床に虫等の生物が定着せず、それらの生物による付着藻類の摂食の影響はほとんどないものとした。

2. 実験および分析方法

本研究は、岐阜県各務原市の自然共生研究センターの野外に敷設された2本の実験河川にて行った。実験は、各河川の上流部に位置する幅約2m、延長約60mの直線区間を対象として実施した。この河川は、木曾川水系の河川水を導水し、直上の放流口から一定の流量を流すことが可能な施設である。実験中、流速は約0.4m/s、水深は約25cmに維持した。

(1) 実験全体の流れ

はじめに、付着藻類の基盤となる礫を2本の河川の河床に設置した。設置した礫は長径・短径の平均が約260mm、高さの平均が約160mmのもの（以下、大礫）と、長径・短径の平均が約130mm、高さの平均が約80mmのもの（以下、中礫）の2種類とした。ダム下流で見られる粗粒化した河床を再現するため、大礫および中礫の1m²あたりに占める割合がそれぞれ20~30%程度になるように、1m²あたりに大礫を約4.5個、中礫を約15個敷設した。礫の設置から1カ月経過し、礫上に付着藻類が生育したことを確認した後、実験を開始した。具体的には、1本の河川（以下、実験区）の区間全体に、礫を設置した地盤を高さ0mmとして、そこから200mm程度の高さまで、平均粒径が約2mmの川砂を投入した。このとき、もう1本の河川（以下、対照区）には川砂の投入を行わなかった。そして、砂の投入日から4、1、3、7、11日後に2本の河川において物理環境および付着藻類の計測を実施した（計測の詳細は2.(2)参照）。

(2) 物理環境の計測

計測した物理環境は、砂面変動高、河床の被度割合、流下土砂量である。以下に各値の計測方法を示す。

a) 砂面変動高

砂面変動高は、礫を設置した地盤（以下、河床基盤）を高さ0mmとしたときの堆積した砂の厚さとして実験区で計測した。はじめに、砂の投入前に実験区の上流、中流、下流（実験区の上流端からそれぞれ15、30、45m下流の地点）の中心にピンを設置した（図-1）。そして、ピン直近、ピンから両岸に向かって1m離れた2地点の計3地点を計測地点に設定した（図-1）。砂の投入後、

設定した地点に径1mmの針金を河床基盤にあたるまで刺し、その針金を中心として直径50mmのゴム製円盤を砂面に落下させた。そして、針金先端とゴム製円盤までの距離を計測した（図-1）。

b) 河床の被度割合

計測は実験区と対照区にて実施した。地点は、a)で設定した上流、中流、下流の中心部から両岸に1m離れた箇所（1つの横断測線につき2箇所）とした（図-1）。そして、その地点における50cm×50cm中の表層における被度割合を計測した。粒径区分は、既存の文献を参考に⁸⁾、大礫の粒径を表す指標として①257mm以上、中礫の粒径を表す指標として②65~256mm、河床基盤の粒径を表す指標として③3~64mm、投入した砂の粒径を表す指標として④2mm以下と設定した。

c) 流下土砂量

実験区の最下流部から更に約5m下流の中心部にプラスチックボックス（幅380mm、奥行264mm、高さ155mm）を設置し、流下した土砂を採取した（図-1）。ボックスは、砂を投入してから1、3、7、11日後の午前10時頃に一旦回収し、測定後空になったボックスをその日の午後5時頃に再度設置した。

(3) 付着藻類の計測

実験区の上流端から10mおよび40m離れた箇所をそれぞれA地点、B地点とし、それらの地点内にて付着藻類の回収を実施した（図-1）。はじめに、回収を行う測線をA、B地点内でそれぞれ決定し、その測線上の右岸、流心、左岸部の3か所にある大礫、中礫を1つずつ（計6個）選定した。次に、選定した礫における砂に埋もれていない部分（露岩部）の長径、短径、高さを記録した。そして、選定した礫の露岩部に生育した付着藻類をブラシで擦りとり、サンプルとして採取した。その後、礫の全長径、短径、高さを記録し、採取したサンプル中に含まれるchl a量を、現存量の指標として、SCOR/UNESCO

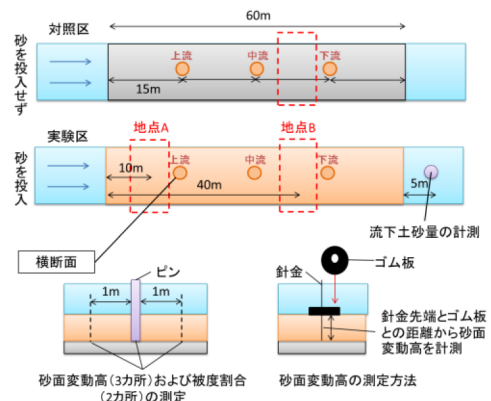


図-1 物理環境および付着藻類の計測箇所
(図中の上流・中流・下流は物理環境の計測箇所
地点A、Bは付着藻類の採取箇所を表す)

(1966)の方法に基づき測定した⁹⁾。また、対照区では上流端から40m離れた箇所において、実験区と同様の方法でサンプルを採取し測定を行った。

(4) 砂面変動高、被度および掃流砂量の分析

砂面変動高および被度の観測データを集約し、砂面変動高が時間経過により減少することで、被度がどのように変動するかを両者を軸とした散布図で分析した。さらに、中礫および大礫上で付着藻類が生育可能として、1m²あたりの礫割合を中礫・大礫の被度割合の和から算出し、砂面変動高との関係を散布図で分析した。

また、ある砂面変動高における掃流砂量を以下の方法で推定した。はじめに、観測データをもとに実験区における砂面変動高、河床材料の60%粒径(D_{60})の時間変化を推定した。次に、下記の式から混合粒径河床において砂粒子にはたらく無次元掃流力 τ_i^* (式(1))、無次元限界掃流力 τ_{ci}^* (式(2))および有効摩擦速度 u_e^* (式(3))を算出した¹⁰⁾。掃流力の算出に必要な摩擦速度 u^* は、Heyの式を用いて算出した(式(4))¹¹⁾。

$$\tau_i^* = \frac{u^*{}^2}{Rgd_i} \quad (1)$$

$$\tau_{ci}^* = Hi \times \tau_{cm}^* \times \frac{d_m}{d_i} \quad (2)$$

$$\frac{u}{u_e^*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \left\{ \frac{R}{d_m(1 + 2\tau_m^*)} \right\} \quad (3)$$

$$\frac{u}{u^*} = 5.75 \log_{10} \left\{ \frac{11.16h}{3.5D_{84}} \right\} \quad (4)$$

ここで、 u は平均流速(m/s)、 R は砂の水中比重(=1.65)、 g は重力加速度(=9.8N)、 d_i は砂の平均粒径(=2mm)、 Hi は遮蔽係数($d_i=2$ のとき、0.85)、 τ_{cm}^* は河床の平均粒径の大きさの粒子における無次元限界掃流力(=0.05)、 d_m は河床材料の平均粒径(mm)、 τ_m^* は河床の平均粒径の大きさの粒子にはたらく掃流力、 h は平均水深(m)、 D_{84} は河床材料の84%粒径を表す。このときの d_m は D_{60} に設定した。そして、芦田・道上の式から混合粒径の河床における掃流砂量 q_i の時間変化を推定した(式(5))¹⁰⁾。最後に、地点A、Bにおける掃流砂量 q_{ix} をそれぞれ推定した(式(6))。

$$\tau_i^* > \tau_{ci}^* \quad \frac{q_i}{f u_e^* d_i} = 17 \times \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{ci}^*}{\tau_i^*}} \right) \left(1 - \frac{\tau_{ci}^*}{\tau_i^*} \right)$$

$$\tau_i^* < \tau_{ci}^* \quad q_i = 0 \quad (5)$$

$$q_{ix} = \alpha \times q_i \quad (6)$$

ここで、 f_i は河床表層に占める粒径 i の粒子の割合を表す。また、補正係数 α は推定した掃流砂量 q_i が観測した流下土砂量に最も近づく場合の値を、0.05間隔で試算することで求めた。

(5) 砂面変動高と付着藻類との関係の分析

chl.a量の観測データを集約した後、付着藻類の現存量を生長速度と剥離速度の収支から推定するためのモデルを設定した(式(7))¹²⁾。

$$\frac{dB_{chl.a}}{dt} = G - R - D \quad (7)$$

ここで、 $B_{chl.a}$ はchl.a量(mg-chl.a/m²)、 G は一次生産速度、 R は呼吸速度、 D は剥離速度を表す。 G および R は、藻類の生長に必要な栄養塩濃度および溶存酸素量が河川中に十分にある場合、式(8)、(9)で表される¹²⁾。

$$G = Pmax \cdot 1.047^{T-20} \frac{I}{I_k + I} \quad (8)$$

$$R = Rmax \cdot 1.047^{T-20} \quad (9)$$

ここで、 $Pmax$ は20°Cにおける全基質飽和条件下での最大光合成速度(mg-chl.a/m²/hr)、 T は水温(°C)、 I は光量子束密度($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{hr}$)、 I_k は半飽和定数、 $Rmax$ は20°Cにおける全基質飽和条件下での最大呼吸速度(mg-chl.a/m²/hr)を表す。このとき、剥離前後で付着藻類の $Pmax$ および I_k は異なると仮定した。一方、 D は、2.4)で推定した掃流砂量を用いて式(10)で表される³⁾。

$$D = \beta \cdot \gamma \cdot q_{ix} \cdot d_i^{1/3} \cdot u_*^{2/3} \cdot B_{chl.a} \quad (10)$$

ここで、 β は砂粒子による剥離のしやすさを表す係数(=3.0×10⁻⁴と設定)、 γ は摩擦による仕事に関する係数(=4.94×10⁵と設定)を表す。ここで、砂の投入直後から大礫は掃流砂に衝突するが、砂に深く埋没している中礫には、砂面変動高がある程度低下してから掃流砂が衝突するものと仮定した。そして、砂の投入直後の大礫の平均高さ(約160mm)と砂面変動高(約200mm)の比率から、砂面変動高が約100mmのときに中礫(平均高さ約80mm)への剥離が開始されると設定した。また、既存の報告を参考として¹³⁾、砂面の天端から約20mmの高さまでを掃流砂の通過する範囲と設定し、そこより高い範囲では剥離が生じないと仮定した。実験中、そのような区間は中礫では発生しないが大礫では発生するため、大礫の剥離量 D' を下記の式(11)で補正した。

$$H > Z + 20 \quad D' = D \cdot \frac{Z + 20}{H} \quad (H < Z + 20, D' = D) \quad (11)$$

ここで、 H は大礫の高さ、 Z は砂面変動高を表す。これらのモデルを用いて、砂投入前後における付着藻類の1時間毎の現存量および剥離量を推定した。

計算に必要な変量は、光量子束密度および水温である。これらは、河床に光量子計(MDS-MKV/L, JFEアドバンテック社製)および水温計(Tidbit v2, Onset製)を設置し、実験中に1時間間隔で自動測定した。本モデルを用いて、はじめに対照区の付着藻類の現存量を計算し、実測値と比較することで剥離前の $G - R$ の感度分析を行った。次に、感度分析したモデルを用いて、実験区の付着

藻類の現存量を砂投入日まで計算し、実測値と比較して D の感度分析を行った。最後に、 P_{max} および I_k を変化させ、実験区の土砂投入後における付着藻類の現存量を計算し、実測値と比較することで、剥離後における $G-R$ の感度分析を行った。そして、砂面変動高が砂による被覆および剥離を介して付着藻類の増加量に及ぼす影響を散布図により分析した。このときの増加量は現存量そのものに依存するため、現存量の増加率 (%) (もとの現存量から何%増加したか) を目的変数に設定した。

3. 結果

(1) 観測されたデータ

砂面変動高および被度割合を観測した結果、上流、中流、下流とも土砂を投入した直後から砂が流出し、3日後に安定する結果となった(図-2, 3)。また、安定後、砂面変動高は平均 60mm となり、被度割合は概ね砂投入前に戻るが、上流、中流、下流とも砂が 10%程度残存した。本研究では、砂面変動高が低減する過程における付着藻類の変動について分析するため、砂投入の-4, 1, 3 日後のデータを対象に以降の分析を実施した。一方、付着藻類の現存量を観測した結果、実験区において砂投入から1日後は4日前よりも減少するものの、1日後~3日後にかけて急増する傾向が見られた(図-4)。

(2) 砂面変動高、被度および掃流砂量の関係

砂面変動高と各粒径区分の被度割合を比較した結果、砂面変動高が高いほど砂の割合は多い傾向であったが、特に 50~100mm の間で増加量が多くなり、50mm 以下では増加量が少なくなった(図-5a)。河床基盤の割合は砂面変動高が高いほど低い傾向であった(図-5b)。一方、砂面変動高の増加に対して中礫、大礫の割合はそれほど大きな変動が見られないが(図-5c, d)、1m²あたりの礫割合は約 80mm 以上で減少する傾向が見られた(図-6)。一方、芦田・道上の式から算出した掃流砂量を補正した結果、式(6)の α が 0.20 のとき、実測から推定した掃流砂量と概ね一致する結果となった(図-7)。

(3) 砂面変動高と付着藻類との関係

対照区の付着藻類のデータとモデルの予測値を比較し感度分析を行った結果、 P_{max} および R_{max} が 3、 I_k が 200 でモデルは実測値の傾向と概ね一致した(図-8)。さらに、感度分析後のモデルを用いて、実験区の土砂投入後の現存量を予測した結果、土砂投入後に P_{max} を 5、 I_k を 50 でモデルは実測値の傾向と概ね一致した(図-9)。そして、A、B 地点の砂面変動高と 1m²あたりの付着藻類の増加率との関係を比較した結果、A、B 地点ともに、

砂面変動高が 80~100mm 付近で現存量の増加率は最大となったが、約 150mm 付近では、現存量の増加率は A 地点ではほぼ 0%、B 地点では負になった(図-10)。

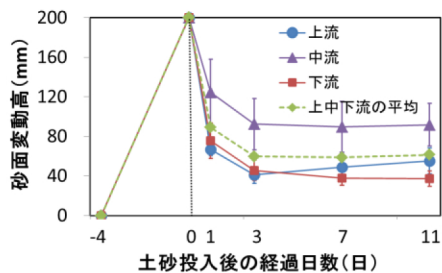


図-2 実験区における砂面変動高の時間変化

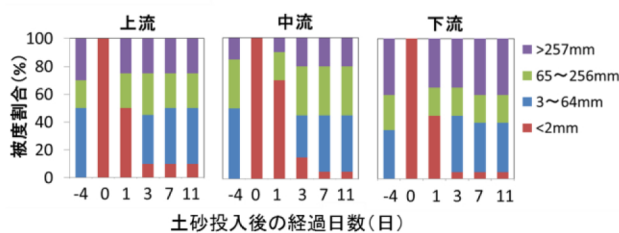


図-3 実験区における被度割合の時間変化

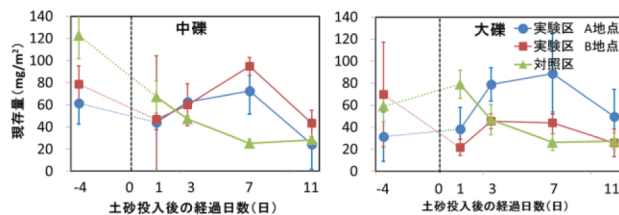


図-4 付着藻類の現存量の時間変化

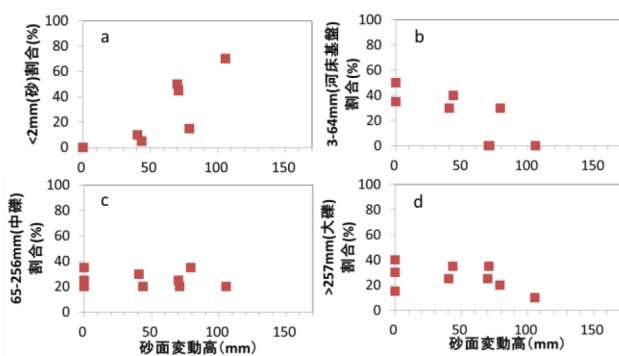


図-5 砂面変動高と各粒径区分の被度割合との関係

(a: 2mm 以下(砂), b: 3-64mm(河床基盤), c: 65-256mm(中礫), d: 257mm 以上(大礫))

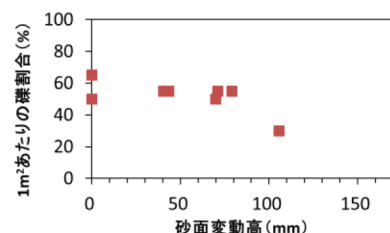


図-6 砂面変動高と 1m²あたりの礫割合との関係

4. 考察

(1) 砂面変動高, 礫の被度および掃流砂量との関係

本研究の結果から, 供給された砂で河床が覆われた場合でも, 砂の供給が終了してから3日程度で砂が流出し, ある程度の砂面変動高で安定することが示された(図-2). この間, すなわち 1m^2 あたりの付着藻類の現存量が大きく変動すると考えられる間に着目すると, 砂面変動高がある高さを超えると河床表層の礫割合が減少し始めるほか(図-6), 掃流砂も発生しはじめ, 付着藻類の現存量が減少することが示唆される(図-10). 本研究では 80mm 程度のときがそれに該当し, 概ね中礫の高さの平均値に相当する. 砂投入前の被度割合から推定した粒径分布をみると, 中礫の長径・短径の平均値は約 130mm で D_{60} に相当する. このため, 本研究で設定した砂が消失した河床においては, D_{60} の粒径の礫が埋まる程度の砂面変動高を超えると礫割合および付着藻類の現存量の急激な減少が開始されると考えられる. ただし, 本研究の結果は各粒径にばらつきのある大礫および中礫の2種類を使用した場合の傾向であり, 粒径が一律の河床またはより幅広い粒径分布を有する河床の場合は異なる傾向を示す可能性もある.

また, 芦田・道上式で計算した掃流砂量 q_i に対し, 実測値から推定した値が少ない理由 ($\alpha=0.20$, 図-7) について補足する. 計算では, 大礫の高さを一律とし, それより高い砂面変動高では砂の被度割合を 100% としたため, 砂投入直後は高い掃流砂量が算出された. しかし, 実際は大礫の高さにばらつきがあり, 一部の突出した礫により, 砂投入直後から大礫がある程度の被度割合を占めたため, 計算よりも河床に働く掃流力が小さく, 流出土砂が少なくなったと考えられる. また, 土砂投入後, 上流からは給砂を行っておらず, 土砂投入直後より上流端の方から非平衡状態になったことも, 流出土砂が少なくなった理由と考えられる.

(2) 砂面変動高と付着藻類との関係

本研究で算出された P_{max} , R_{max} および I_k の値は過去に同じ場所で観測された年間の値と概ね一致しており¹²⁾, 妥当な範囲と考えられる. 砂投入後の P_{max} は, 砂投入前および対照区のもの比べて高くなり, I_k は低くなった. これは砂の投入により, 生長開始から日数が経過し生産速度が低下した藻類 (P_{max} が低く, I_k が高い傾向) が除去され, 新たに生長をはじめ高い生産速度を有する藻類 (P_{max} が高く, I_k が低い傾向) に更新されたためと考えられる. これらの付着藻類の生長段階に応じた P_{max} , I_k の傾向は既存の研究報告とも概ね一致する⁷⁾.

モデルによる計算結果から, 砂面変動高が増加し河床表層の砂割合が増加することで, 1m^2 あたりの現存量は

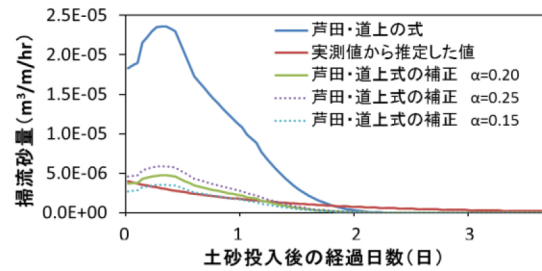


図-7 実測値から推定した掃流砂量と芦田・道上式から算出した掃流砂量との比較

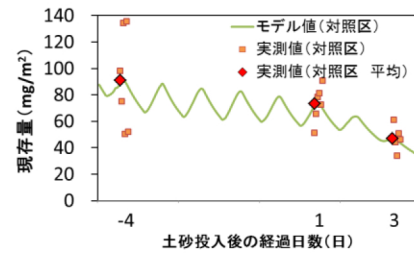


図-8 対照区の付着藻類の現存量のモデル値と実測値との比較

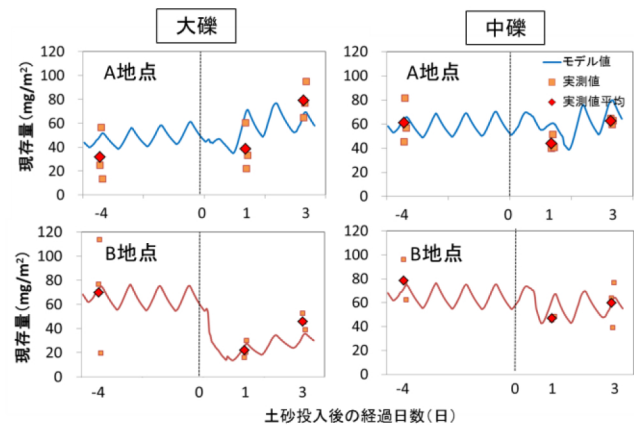


図-9 実験区の付着藻類の現存量のモデル値と実測値との比較 (上段:A地点, 下段:B地点)

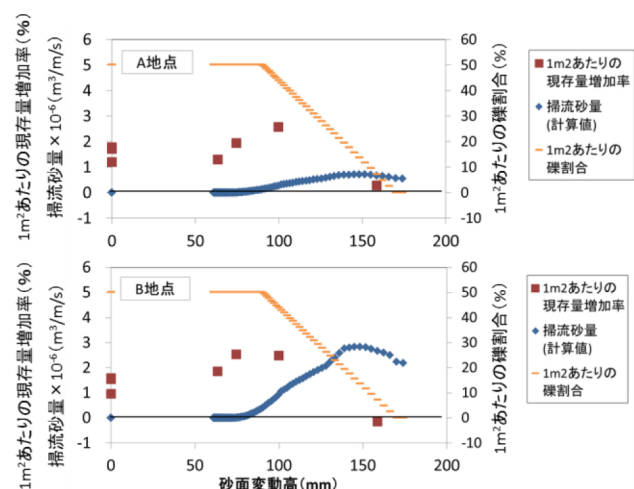


図-10 砂面変動高, 掃流砂量, 1m^2 あたりの現存量増加率および礫割合との関係(モデル値の 1m^2 あたりの現存量増加率は日中の平均値)

減少することが示された。この傾向は実測値とも一致し、モデルによる結果の妥当性が裏付けられる。さらに、剥離後の付着藻類は剥離前よりも生産速度が高く、1m²あたりの現存量の増加率は、1m²あたりの礫割合が減少し掃流砂が発生しはじめる80~100mm程度の砂面変動高において最大となった(図-10)。このため、砂の供給から3日程度経過し、表層の礫が埋没しない程度の砂が残存すれば、1m²あたりの付着藻類の生産性は供給前よりも向上することが示唆される。この結果は、ダム下流で人工的に砂を供給する際に、供給する砂で砂面変動高が増加しその後低減する中で、ある程度の砂が残存した状態で砂面が安定すれば、付着藻類の生育面積を減少させることなく、付着藻類を剥離させ生産性を向上させる効果があることが示唆される。

5. まとめ

本研究では、礫が埋没する程度の砂を河床に投入した場合の砂面変動高、礫の被度面積および付着藻類の現存量を観測した。この結果、礫が埋没した場合でも、砂の供給が終了してから3日程度で砂が流出し、砂面変動高が安定することが示された。さらに、付着藻類の現存量および増加速度をモデルと観測値から予測した結果、剥離後の付着藻類は剥離前よりも増加速度が高く、1m²あたりの付着藻類の増加率は礫の被度面積が減少しはじめる砂面変動高において最大値を示した。これらの予測は、実測値の傾向とも概ね一致し、モデルの妥当性が示された。今後は、砂面変動高の安定後の付着藻類の現存量の経過についても分析・予測を行う予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、(株)建設環境研究所には、付着藻類等の観測およびデータのとりまとめ等、数々のご協力を頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) Erskine, W. D.: Downstream geomorphic impacts of large dams: the case of Glenbawn Dam, NSW, *Applied Geography*, Vol.5, pp.195-210, 1985.
- 2) 皆川朋子, 福嶋悟, 萱場祐一: ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流, 土木技術資料, Vol.49, No.8, pp.52-57, 2007.
- 3) 北村忠紀, 加藤万貴, 田代喬, 辻本哲郎: 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, Vol.6, pp.125-130, 2000.
- 4) 田代喬, 渡邊慎多郎, 辻本哲郎: 掃流砂礫による付着藻類の剥離効果算定に基づいた河床攪乱作用の評価について, 水工学論文集, Vol.47, pp.1063-1068, 2003.
- 5) 藤田光一, 山原康嗣, 富田陽子, 伊藤嘉奈子, 小路剛志: 大礫床表面における砂の堆積状況と浮遊砂量との関係についての実験的研究, 水工学論文集, Vol.52, pp.547-552, 2008.
- 6) Wood, P. J. and Armitage, P. D.: Biological effects of fine sediment in the lotic environment, *Environmental management*, Vol.21, No.2, pp.203-217, 1997.
- 7) Hill, W. R. and Boston, H. L.: Community development alters photosynthesis-irradiance relations in stream periphyton, *Limnology and Oceanography*, Vol.36, No.7, pp.1375-1389, 1991.
- 8) Bain, M. B., Finn, J. T. and Booke, H. E.: Quantifying stream substrate for habitat analysis studies, *North American Journal of Fisheries Management*, Vol.5, pp.499-500, 1985.
- 9) SCOR-UNESCO: Determination of photosynthetic pigments in seawater, *Monographs on Oceanographic Methodology 1*, pp.11-18, 1966.
- 10) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, Vol.206, pp.59-69, 1972.
- 11) Hey, R. D.: Flow resistance in gravel-bed rivers, *Journal of the hydraulics division*, pp.365-379, 1979.
- 12) 萱場祐一: 河川中流域における物理環境場が一次生産過程に及ぼす影響に関する研究, 博士論文, 2007.
- 13) Auel, C., Albayrak, I., Sumi, T. and Boes, R. M.: Bed load particle dynamics in high-speed flows, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2016.

(2016.9.30 受付)

ASSESSING ATTACHED ALGAE BIOMASS AFTER SUPPLYING SEDIMENT AND INCREASING FINE MATERIALS ON RIVERBED

Yukio MIYAGAWA, Tetsuya SUMI and Yasuhiro TAKEMON

Supplying sediment below dams may change attached algae biomass on stone surfaces by not only promoting detaching algae but also decreasing exposed stone surface area for algae growth. This study is aiming to predict the algae biomass per unit area. Attached algae growth and detaching rate were measured in the prototype flume to make a prediction model focusing sand height and algae biomass. The result showed that the production rate was higher after sediment supply. Especially, the highest rate was recorded in case that the sand height was the just before the stone surface area start to decrease by sediment covering. If sediment will not reduce exposed area, higher production rate can be expected under the increasing sediment supply condition.