

戦-26 恒久的堆砂対策に伴う微細土砂が底生性生物におよぼす影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 24

担当チーム：水環境研究グループ
（自然共生研究センター）

研究担当者：萱場祐一、森照貴

【要旨】

ダム湖における堆砂対策は、ダム下流部に高濃度の濁水を放出するため、下流域の河川生態系への影響が懸念されている。そこで、本研究では平水および洪水時に見られる流速下において、微細土砂濃度（SS 濃度）が付着藻類に及ぼす影響を検証した。その結果、SS 濃度が高いほど付着藻類中の無機物が多くなっていたが、有機物に変化はなかった。一方、平水時の流速下では、クロロフィル *a* 量に対して SS 濃度は影響を及ぼさなかったのに対し、洪水時の流速下では SS 濃度が高いほどクロロフィル *a* 量は多くなっていた。つまり、濁水が河川生態系に及ぼす影響は、その濃度だけでなく流下速度（流速）についても考慮する必要があることが示された。

キーワード：付着藻類、流速、濁水、循環型水路、シルト

1. はじめに

ダムは水を貯めると同時に、上流部から流下する土砂の多くをダム湖内に留めるため、大量の土砂がダム湖内には堆積している。そのため、貯水機能の低下など様々な問題が懸念されている (Morris & Fan 1998)。また、ダム湖内に土砂が補足されてしまうため、ダム下流部での河床では、流下しやすい微細土砂の欠乏が報告されており、河床の構造変化に伴う河川生態系への影響が問題視されている (池淵 2009)。そのため、近年、ダム湖における土砂の堆積対策や、ダム湖下流部の環境維持のために、堆積土砂を下流河川へ排出する対策（フラッシングなど）や、ダム湖への土砂の流入を防ぐため、土砂を迂回させる対策（バイパスの建設）など、様々な方策が検討されている (図 1, 2)。いずれの手法も、自然発生した洪水時に、土砂を大量に含む濁水をダム下流へ流下させるものであるが、自然界で生じる濁水よりも、シルトを高濃度に含む濁水であるため、ダム下流域の河川生態系に対する影響が懸念されている (Morris & Fan 1998)。

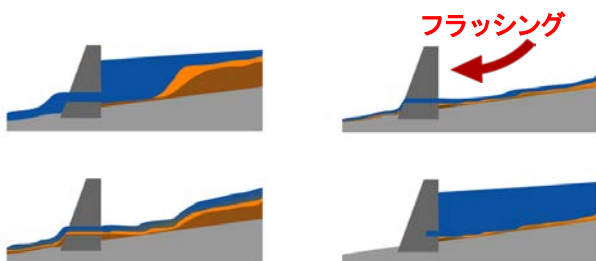


図 1. フラッシングによる堆砂対策

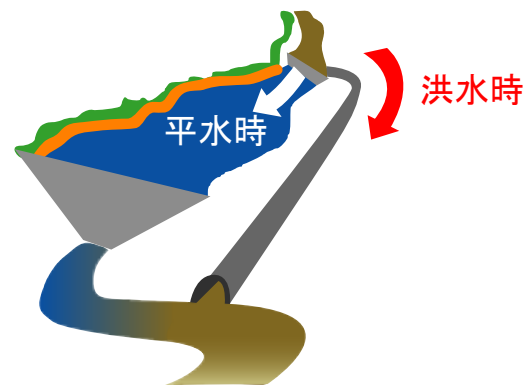


図 2 バイパスを用いた堆砂対策

濁水が河川生態系に及ぼす影響は、魚類や底生動物、付着藻類など様々な生物を対象に研究が進められてきた。これまでに、多くの生物に対して濁水の影響が報告されているが (Shaw & Richardson 2001, Bilotta & Brazier 2008)、魚類や底生動物などは支川や河岸など濁水に含まれる土砂が少ない場所に移動するなどして、濁水の影響を行動回避することが可能である。それに対し、付着藻類は支川や河岸への行動回避することが不可能であり、濁水の影響を直接的に受けると考えられる (写真 1)。

付着藻類は多くの底生動物や魚類などの餌資源として利用されるため、付着藻類の高い生産性は、これら上位生物の増加をもたらすことが知られている (Allan & Castillo 2007)。そのため、濁水の付着藻類への影響は、行動回避が可能な上位生物に対しても波及する可能性が

考えられる。



写真1 高濃度濁度水が流れる河川において、河床礫表面で観察されるシルトの堆積

これまで、自然発生した洪水時の野外調査が困難なことから、濁水が付着藻類に及ぼす影響は、主に実験水路を用いて検証されてきた。しかし、既存研究の多くは、洪水時やダムからの放水時に見られるような非常に早い流速を実験条件に反映させておらず、実際に野外で生じている現象を再現しているとは言い難い。そのため、洪水時における、濁水の影響についての知見は非常に限られており、ダム湖における堆砂対策を行う上で、どのように濁水を排出させるべきかに関して、不明な点が多く残されている。特に、付着藻類は様々な面から流速の影響を受けることが知られており、流速の変化は一次生産速度の変化や剥離量の変化をもたらす。そのため、濁水が付着藻類に及ぼす影響を解明するためには、流速の影響を考慮することが重要である。そこで、本研究では、最初に、洪水時に見られる流速を再現可能な循環型管路の作成を行った。続いて、この管路を用い、洪水時における細粒土砂濃度の増加が付着藻類に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 洪水時にみられる流速の再現

2.1 循環型管路の作成

ダム湖の堆砂対策の多くは、自然発生した洪水時に多くの土砂をダム下流部へ流下させるものである。そのため、土砂を流下させる際、ダム下流部では非常に速い流速で濁水が流れる。つまり、ダム湖の堆砂対策に伴って発生する濁水の影響を正確に検証するためには、想定される流速条件下での検証が必要である。そこで、本研究では、堆砂対策に伴い発生する濁水が、ダム下流域を流れる際に想定される流速 4.0 m/s を再現可能な循環型管路を作成した。半径 50mm のパイプおよび貯水量 200L のタンクを用いて作成し、排出量 5.9 L/s 以上の能力を持つラインポンプを使用した (図 3a)。ポンプの稼働に

伴い、管路内の水温が上昇することから、管路の一部をステンレス管にし、この部分を地下水に沈めることで、水温上昇を防いだ。また、付着藻類への影響を検証するために、管路の一部に取り外し可能な透明なパイプを使用し、その中に、付着藻類を定着させたタイルを挿入できるようにした (図 3b)。

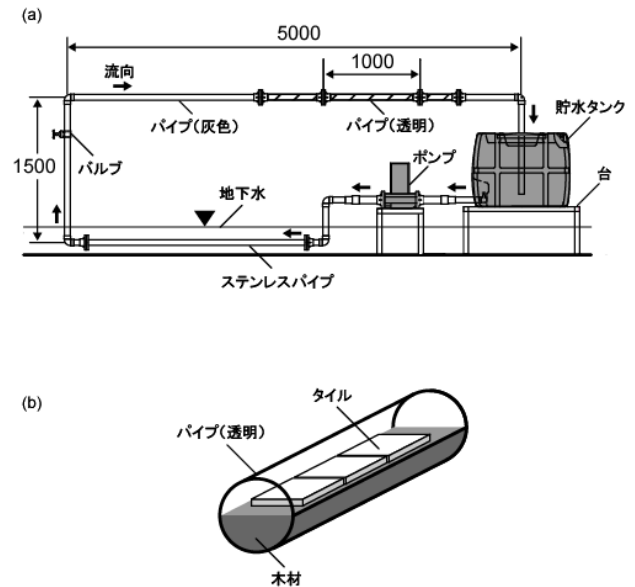


図3 循環型管路。全体図 (a) および透明パイプの拡大図 (b)

2.2 循環型管路における流速特性

作成した循環型管路において、超音波流量計を用いて管路内の流速を測定したところ、最大で流速 4.1 m/s であった。また、0.4 m/s の流速下でも管路内に空間ができることはなかった。これらの結果から、作成した循環型管路は、自然河川の早瀬や平瀬における平水時の流速条件と洪水時の流速条件を再現可能であることが明らかとなった。また、ポンプを数日間稼働させ、管路内の水温を測定したところ、地下水の冷却機能により、自然河川と類似の水温変動を示すことが明らかとなった (図 4)。

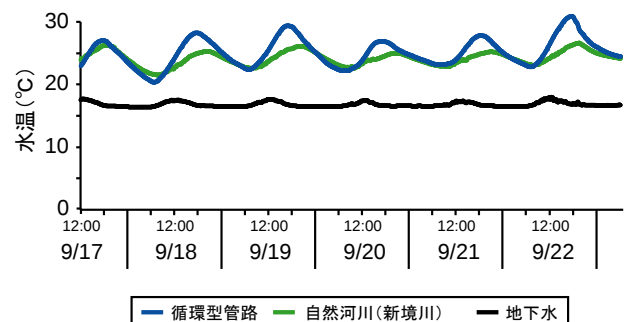


図4 循環型管路、自然河川および地下水の水温変動

3. 微細土砂が付着藻類に及ぼす影響の流速依存性

3. 1 実験の概要

フラッシングやバイパスなど、ダム堆砂対策に伴って発生する濁水が、付着藻類に及ぼす影響を明らかにするために、6基の循環型管路を用いて実験を行った(写真2)。本研究では、流速および濁水濃度を变化させることで、付着藻類に対する濁水濃度の影響が流速に依存してどのように変化するかを検証した。



写真2 実験に用いた循環型管路

3. 2 材料と方法

あらかじめ自然河川(新境川)にタイルを沈水させておき、定着した付着藻類を実験に用いた(写真3)。沈水期間は3, 6, 12日間とし、これらのタイルを循環型管路の透明パイプ内に設置し(図3)、各処理の実験水路に設置した。実験処理条件は、平水時の流速を想定した0.5 m/sと洪水時の流速を想定した4.0 m/sの二段階に設定し、濁水濃度として浮遊土砂濃度(粒径 5μ のシルト(カオリン))を用いてSS濃度を調整を10, 1000, 10000 mg/Lの三段階に設定した(写真4)。各条件で付着藻類を濁水に24時間曝露させた後、含有無機物量、含有有機物量、含有有機物比およびクロロフィルa量を測定した。無機物量および有機物量は、強熱減量により求めた。特殊アクリル繊維(ミクロクロス)を用いてタイル表面の付着藻類を擦りとり、60°Cで24時間以上乾燥させ、絶乾重量を秤量後、550°Cで4時間灼熱し、再び秤量した。これらの差から無機物量および有機物量を算出し、さらに、含有有機物比を算出した。付着藻類の現存量の指標となるクロロフィルa量は、吸光度法により求めた。付着藻類を擦り取った特殊アクリル繊維を99.5%エタノールに浸し(4°C, 24時間)、色素を抽出後、抽出液の吸光度を計測し、SCOR/UNESCO(1966)の方法に準じて、クロロフィルa量を算出した。

流速およびSS濃度が付着藻類の特性に及ぼす影響

を明らかにするため、二元配置分散分析により解析を行った。SS濃度と流速の交互作用が有意な場合、チューキーのHSD検定により各流速におけるSS濃度の主効果を解析した。



写真3 タイルに定着した付着藻類

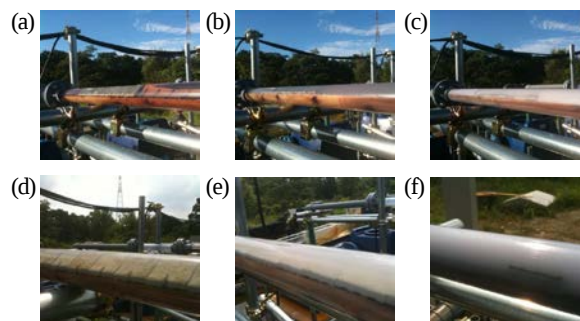


写真4 濁水の実験処理条件。カオリンを用いてSS濃度を10 mg/L(a, d), 1000 mg/L(b, e), 10000 mg/L(c, f)に調整。

3. 3 結果

二元配置分散分析の結果、含有無機物量は流速およびSS濃度の違いによって有意な差が見られた($P < 0.001$)。まだ、有意な交互作用が見られたことから($P < 0.001$)、各流速においてSS濃度の影響を解析したところ、遅い流速下ではSS濃度の上昇に伴い無機物量が増加していた(図5a)。一方、速い流速下では10000 mg/Lの濁水において最も無機物量が多くなっていたが、10 mg/Lと1000 mg/Lとは差がなかった(図5a)。含有有機物量は、流速の違いによって有意な差が見られたが($P < 0.001$)、SS濃度の影響は受けていなかった($P = 0.26$, 図5b)。一方、含有有機物比についても、流速およびSS濃度の違いによって有意な差が見られ($P < 0.001$)、交互作用が有意であった。そのために、各流速においてSS濃度の影響を解析したところ、どちらの流速においても、SS濃度が10 mg/Lの処理区でもっとも有機物比が高くなっていた(図5c)。クロロフィルaについては、流速およびSS濃度の違いによって有意な差が

見られ ($P < 0.02$)、交互作用も検出された ($P = 0.04$)。各流速において SS 濃度の影響を解析した結果、クロロフィル *a* 量に対する SS 濃度の影響は、流速によって異なっていた。遅い流速下においては、SS 濃度の違いによってクロロフィル *a* 量に差は見られなかった。しかしながら、速い流速下においては、SS 濃度によってクロロフィル *a* 量に違いが検出され、10000 mg/L の条件下においてクロロフィル *a* 量が最も多くなっていた。一方、10 mg/L と 1000 mg/L の間に違いは見られなかった。

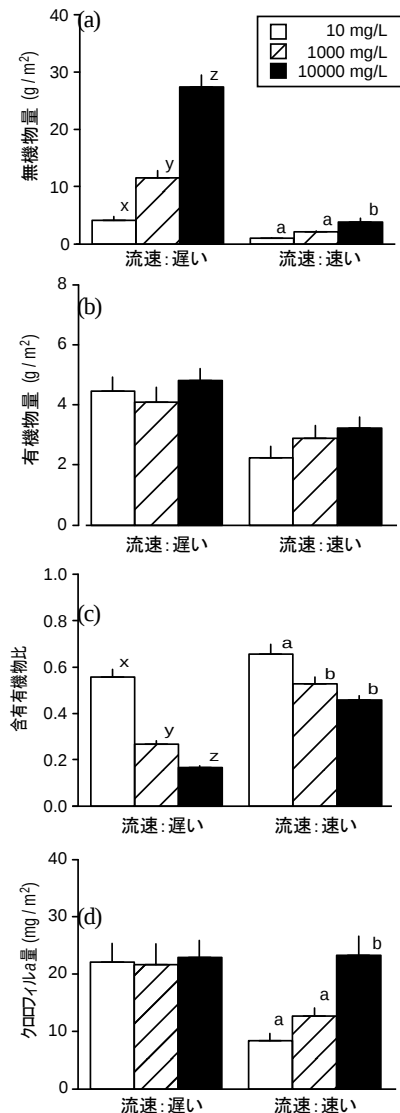


図5 流速の遅い (0.5 m/s) および速い (4.0 m/s) 条件において、各 SS 濃度 (10, 1000, 10000 mg/L) における含有無機物量 (a)、含有有機物量 (b)、含有有機物比 (c) およびクロロフィル *a* 量 (d)

4. 考察

本研究より、濁水の浮遊土砂濃度 (SS 濃度) が付着藻類に及ぼす影響は、流速に依存して変化することが示された。SS 濃度が高いほど、付着藻類に堆積する無機物量が多くなっていたが、流速が遅い方が、その量は多くなっていた。これは、流速が遅い方が多くの無機物が沈下したためと考えられ、濁水に含まれる浮遊土砂が多いほど、堆積量が多くなったと考えられる。一方、有機物量は流速のみの影響を受けており、流速が速い方が少なかった。これは、速い流速によって付着藻類が剥離されたためと考えられる。また、砂や小礫などのサイズの土砂は、藻類の剥離を促進することが報告されているが、SS 濃度は有機物量に影響を及ぼしていなかったことから、本研究で用いた砂よりも小さいシルトは剥離を促進しないことが示唆される。

無機物量と有機物量の比によって求められる含有有機物比は、流速が速いほど高く、また SS 濃度が小さいほど高くなっていた。付着藻類は底生動物や魚類などの様々な河川生物の餌資源として利用されるが、含有有機物比が大きいほど、良い餌資源である。そのため、本研究より、流速が速く濁水の濃度が小さいほど、藻類を餌資源とする上位生物への間接的な影響が小さいと考えられる。

クロロフィル *a* 量に対する SS 濃度の影響は、流速によって異なっていた。流速が遅い条件下では、SS 濃度はクロロフィル *a* 量に対して影響を及ぼさなかったが、流速が早い条件下では SS 濃度が高いほどクロロフィル *a* 量は多くなっていた。これは、付着藻類の表面に無機物が覆うように定着したことで、流水による剥離を防いだためと考えられる (コーティング効果)。ただし、このコーティングは付着藻類に到達する光量を減少させることが考えられるため、一次生産の極端な低下をもたらすと予想される。つまり、本研究より、シルトを極端に多く含む洪水は、クロロフィル *a* 量をすぐには減少させないことが明らかとなったが、時間遅れで極端なクロロフィル *a* 量の減少が生じる可能性が示唆された。

本研究より、ダム湖の堆砂対策に伴う濁水の流下は、付着藻類に影響を及ぼすことが示された。自然発生する洪水時に多くの土砂を流下させるは、速い流速条件が保たれ、大量の無機物の堆積を防ぐことが可能であることが示唆された。速い流速下において、付着藻類表面の有機物が剥離されることで、含有有機物比が低下していたが、その値は比較的高く、すぐに上位の生物に対して影響を及ぼす値ではなかった。ただし、流速が速い条件下で SS 濃度の増加とともに、クロロフィル *a* 量が多くな

っていたが、これは流水による剥離がコーティングによって一時的に防がれたためであると考えられ、この後、コーティング下にある付着藻類が光量不足により枯死することが予想される。さらに、コーティングに伴い構造化された付着藻類は剥離しにくいことが考えられ、付着藻類の更新が阻害される恐れが考えられる。このことは、時間遅れで、上位の生物にも影響する可能性があることを意味している。しかし、自然発生した洪水も大量の土砂を含んでいるが、河床礫表面における無機物の堆積はあまり観察されない。これは、シルトなどの微細土砂の他に、砂や小礫などの礫成分が同時に流下するため、コーティングや構造化された藻類を破壊し、剥離を促すためと考えられる。今後、砂や小礫の存在が付着藻類に及ぼす影響を検討することにより、ダム下流の河川生態系の健全性を保つためには、どのようにダム湖の堆砂対策に伴う濁水の流下を管理するべきか、具体的な運営方法に提言することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) Morris L. G. & Fan J., Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill Professional, 1998
- 2) 池淵周一, ダム下流生態系, 京都大学学術出版会, 2009
- 3) Shaw E. A. & Richardson S. J., Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58(11):2213-2221, 2001
- 4) Bilotta G. S. & Brazier R. E., Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research, 42:2849-2861, 2008
- 5) Allan J. D. & Castillo M. M., Stream Ecology, 2nd ed, Springer, 2007

A STUDY ON ALTERNATION IN SUSPENDED SOLIDS BY SUSTAINABLE SEDIMENT MANAGEMENT OF DAM RESERVOIRS ON STREAM BENTHIC ORGANISMS BELOW DAMS

Budgeted: Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2010-2012

Research Team : Water Environment Research Group
(Aqua Restoration Research Center)

Author : YUICHI Kayaba, TERUTAKA Mori

Abstract : Various methods which discharge sediments depositing in dam reservoirs have recently been discussed and implemented. Because operations of any methods run off highly turbid water to downstream, we examined effects of velocity and turbid water (i.e. suspended solids) on benthic periphyton. Effects of suspended solids inorganic matter and chl. *a* in periphyton depended on velocity. These findings indicated that not only concentration but also velocity to manage effects of turbid water on stream ecosystems should be considered.

Key words : periphyton, velocity, turbidity, experimental channels, silt