

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○石尾 将大
 建設技術研究所 正会員 中土井佑輔
 広島大学大学院工学研究科 正会員 椿 涼太
 広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 河原 能久

1. 背景と目的

ダムは治水・利水の観点から必要不可欠なものであるが、ダムの下流域において付着藻類の異常繁茂を招き、河川生態系の一次生産速度を低下させ、生態系に悪影響を及ぼしている¹⁾。このような状況を改善するために、出水（フラッシュ放流）が効果的であることがわかってきている²⁾。しかしながら、フラッシュ放流の効果を事前に評価する方法は未だ確立されておらず、出水中に付着藻類がどのようなメカニズムで剥離しているのかも解明されていない。

本研究は、出水中の付着藻類の剥離メカニズムを明らかにすることを目的として、水路実験、画像解析を行い、付着藻類の剥離率と実験条件との関係を検討した。

2. 実験方法

本研究では、図-1に示す水路を用いて、実河川から採取してきた礫に、様々な実験条件（表-1）を与え、付着藻類の剥離率がどのように変化するかを測定した。剥離に礫の形状の影響が出ないように、礫の形状を表面が平坦な礫に統一して実験を行った（実験1）。また、礫の形状が剥離率にどう影響するか観察するため、表面がピラミッド型の礫を用いて実験を行った（実験2（実験条件は実験1のCase3-2-2と同じ））。実験での通水時間は60分に統一した。剥離率の測定に関しては、礫の写真を撮り、その写真を画像解析し、NDVIに変換することによって行い、NDVIの値の変化から、剥離率を測定した。この方法を用いることによって、付着藻類を採取せずとも付着藻類の定量化を実現でき、付着藻類の連続的な剥離を観察することができる。また、NDVIの値は付着物の種類によって変化するので、剥離率だけではなく、どのような付着物がついているかを大まかに判断できる。

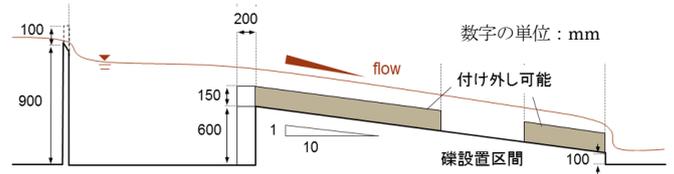


図 - 1 実験水路

表 - 1 実験条件（実験 1）

Case	d : 土砂粒径(mm)	q_B :土砂量(kg/min)	Q :流量(l/s)
1	-	-	5
			10
			20
2	1	2.5	10
			10
			20
			10
3	10	5	10
			5
			10
			20
			10

3. 付着藻類の定量化

NDVIの値をChl-aの値に換算し、付着藻類の剥離過程を付着藻類の残存率で表すために、NDVIのChl-aへの換算モデル（図-2）を作成した。この換算グラフは実験結果から得たデータと、NDVIとChl-aの値の変化の相関結果（図-3）をもとに作成した。なぜNDVIとChl-aの間に2つの関係が現れたのかに関しては次のように説明できる。実河川から採取してきた礫（10~12月に採取）には、付着藻類の上に、砂泥・藻類の死骸が付着している。そのため、最初の状態では、生きた藻類と比べ比較的NDVIの低い砂泥・藻類の死骸が礫表面にある（状態A）。このため、まず比較的NDVIの低い砂泥・藻類の死骸が剥離し、比較的NDVIの高い生きた付着藻類が表面に露出（状態B）することによって、NDVIが上昇し、その後付着藻類が剥離し、NDVIの低い礫が露出していく（状態C）ことによって、NDVIが減少していくという過程を描くことから、2つの相関が現れたものだと考えられる（図-4）。

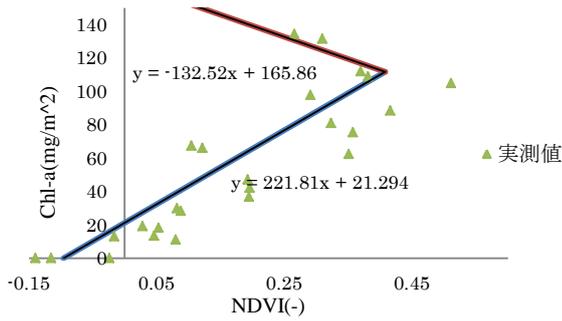


図-2 NDVI の Chl-a への換算モデル

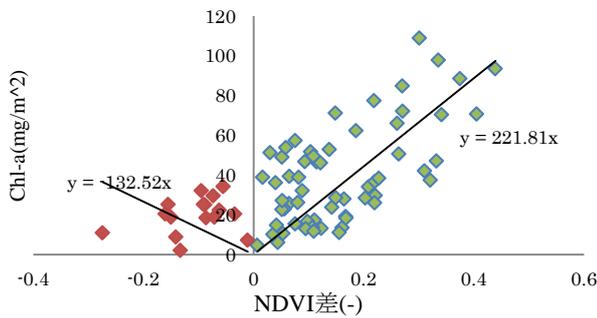


図-3 NDVI と Chl-a との相関図

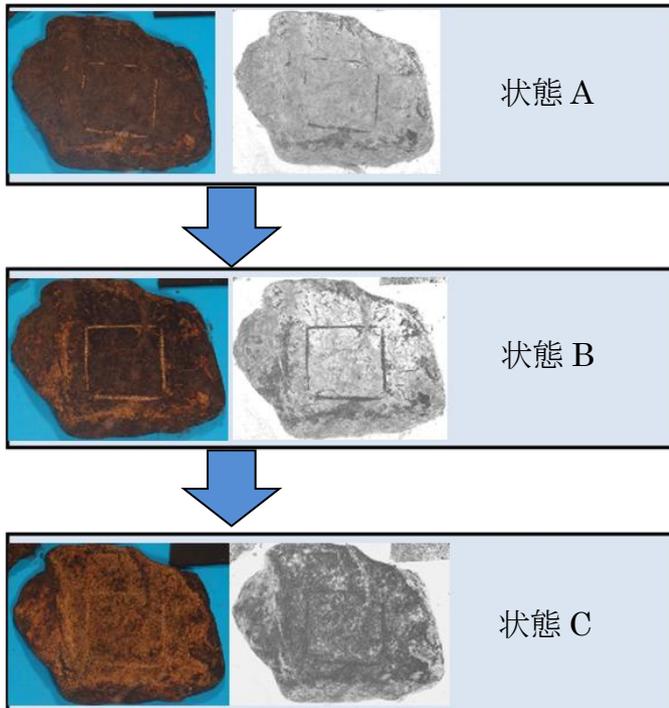


図-4 各状態における礫の写真
(左：通常写真，右：NDVI 可視化画像
(※明るい方が NDVI が高いことを示す。))

4. 結果と考察

まず実験 1 の結果を表-2 に示す。実験結果からわかるように、Case1 では付着藻類の剥離は見られず、Case2 において付着藻類の剥離は僅かであった。しかし、Case3 では全てのケースで付着藻類の剥離が確認できた。また、流量が多くなるほど、供給土砂量が多くなるほど、剥離率が高くなるという結果になった。これは、水だけでは付着藻類の剥離させるほどの底面せん断力が礫表面にかかることはなく、また、粒径が 1mm より 10mm の土砂の方が、礫表面への土砂の衝突率・衝突面積と、衝突する運動量が、付着藻類の剥離に適していたためと考えられる。この考察は、実験結果の剥離率 p とサルテーション砂礫のなす摩擦力による仕事量 W_x との相関を用いて裏付けることができる(図-5)。既往の研究²⁾より、サルテーション運動をしている砂礫が、他の物体に衝突した時におよぼす摩擦力による仕事量は式(1)で表すことができることが知られており、本研究でもその式を用いて考察を行った。

表-2 実験結果 (実験 1)

Case	p : 剥離率($10^{-4}/s$)	W_x : 仕事量($Nm^{-1}s^{-1}$)
1	1-1	0.05
	1-2	0.03
	1-3	0.01
2	2-1-2	0.01
	2-2-2	0.13
	2-2-3	0.08
	2-3-1	0.26
3	3-1-2	1.39
	3-2-1	1.88
	3-2-2	2.13
	3-2-3	3.42
	3-3-2	2.41

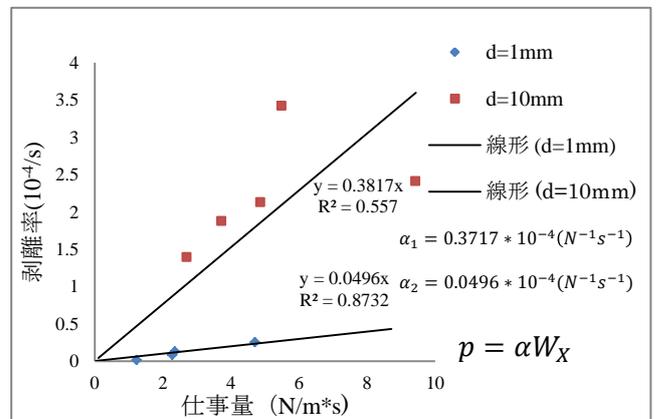


図-5 剥離率 p と仕事量 W_x の相関

$$W_x = \gamma q_B d^{1/3} u_*^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 γ ：路床の材料特性にかかわる係数（路床が平坦床の場合、 $2.02 \times 10^5 (\text{Nm}^4 \text{s}^{2/3})$ 、路床が礫床の場合、 $4.94 \times 10^5 (\text{Nm}^4 \text{s}^{2/3})$ ）、 q_B ：単位幅あたりの流砂量、 d ：土砂粒径、 u_* ：摩擦速度である。

実験2の結果を表-3に示す。実験結果からわかるように、上流側で大きな剥離が見られ（残存率が低く）、下流側では剥離はほぼ見られなかった。側面（右岸側）では、全面的には剥離が見られなかったものの、河床近くの範囲では剥離域の拡大が観察された（図-6）。このことから、土砂衝突のみでは、礫全面にわたる付着藻類の剥離の実現は難しいということがわかった。

表-3 実験結果（実験2）

礫		残存率(-)
ピラミッド型	上流側	0.19
	右岸側	0.90
	下流側	0.90

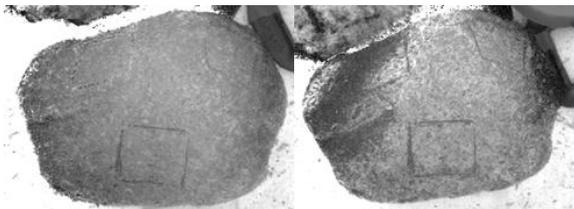


図-6 NDVI可視化画像で表した初期状態（左図）での付着藻類の残存状況と60分通水後（右図）での付着藻類の剥離状況

5. 結論

NDVIのChl-aへの換算モデルを用いることで、付着藻類の剥離率の連続観察を実現することができた。また、付着藻類の剥離率 p と仕事量 W_x には相関があることを確認でき、この結果から、河床環境や出水の規模等が分かれば、土砂投入による付着藻類の剥離具合を計算できる可能性があることを確認することができた。しかし、土砂の衝突のみでは、礫の形状によっては、剥離を生じにくい部分が発生することが分かった。このため、礫の広範囲にわたって剥離を発生させるためには礫自体の転動などを発生させることが必要であることが示唆された。

今後の課題としては、①換算モデルには未だ不完全

な部分があり精度の向上を図る必要があることや、②剥離率 p と仕事量 W_x の関係における不明点の解明などが挙げられる。また、今後の研究の方向性として、付着藻類の剥離に関しては、付着藻類の付いた礫自体が転石することによるものも考えられるので、礫の転石による付着藻類に剥離メカニズムの解明を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 皆川朋子, 河口洋一, 萱場祐一, 尾澤卓思: 流量変動が河川環境に果たす役割と実験的検討—流量増加に伴う河床付着物の層流と魚類の遡上について—, 土木技術資料, Vol.44, No.10, pp. 32-37, 2002.
- 2) 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駆除に関する実験的研究, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp. 125-130, 2000.