

礫床河川における底生動物の棲み込みが河床固化に及ぼす影響

（独）土木研究所 自然共生研究センター 正会員 ○田代 喬，皆川朋子，萱場祐一

1. はじめに

ダム下流などの人為的影響を強く受けた礫床河川では、糸状緑藻が繁茂し、底生動物の群集組成が変化するなど生態系の変質が生じており、こうした原因のひとつとして低攪乱な河床の存在が挙げられている（谷田・竹門, 1999）。低攪乱礫床の形成には、いわゆるアーマー化のように粒度組成の変化を伴うなどの物理的要因と河床間隙に棲み込む底生動物などによる生物的要因（Statzner *et al.*, 2003）が考えられる。後者について、実河川における報告はいくつかあるが系統的な整理がなされておらず（Downes *et al.*, 1997; 高尾ら, 2003; Cardinale *et al.*, 2004）、実験水路を用いた報告も少ない（Statzner *et al.*, 1999; 田代ら, 2004）。したがって、河床固化の現象としての理解にまで至っていないのが現状である。

以上に鑑み、本研究は実河道における生物的要因による河床固化の実態を把握することを目的としたものである。

2. 研究方法と材料

2.1 調査地および日程

調査地は神奈川県愛甲郡愛川町を流れる中津川の平瀬であり、宮ヶ瀬ダム下流約 1.5 km 地点の愛川大橋上流に位置する。現地ではダムからのフラッシュ放流（2005/2/22）が計画されており、その影響把握の一環として調査が行われた。ここでは、2005/2/21 に行われた事前調査について報告する。

2.2 調査方法

同一ユニット（平瀬、約 10 m × 10 m）に位置する河床材料をランダムに 15 個選定し、各対象材料の 3 軸径（長径、中径、短径）および河床固化度を計測し、近傍の流速（6 割水深点）、水深を調べた。河床固化の計測には、既往の研究（Downes *et al.*, 1997; 高尾ら, 2003）を参考に、写真-1 に示す装置を作成し使い



写真-1 河床固化の測定装置。ばねばかり（置針式丸型テンションゲージ、株大場計器製作所製）と熊手にて作成。径 10 cm 程度の礫には 100 N 程度の秤量が必要であること（高尾ら, 2003）から、ここでは秤量 200 N（最小 2 N）で瞬間最高値を計測可能な置針式を採用。

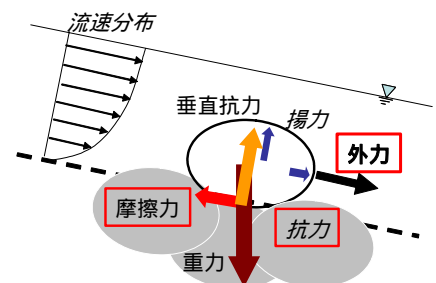
た。計測対象とする材料を熊手により捕捉し、流れと同方向に徐々に力を加えながらこれが移動するまで引っ張り続け、移動時点での引張力 F_{before} （底生動物除去前）を記録した。この際、流下物の流失を防ぐために材料の下流にサーバーネット（網目 1 mm）を設置しながら行い、ここでの集積物に移動後の材料から採取した付着物を併せて対象材料ごとの付着物サンプルとした。このサンプルを分析することで対象材料ごとの底生動物の現存量を把握可能となる。さらに、付着物除去後の対象材料を元の位置に戻し、再度、移動に必要な引張力 F_{after} （底生動物除去後）を計測した。これら 2 種の引張力から、底生動物の棲み込みによる材料の移動限界の変化を考察した。

2.3 解析方法

対象材料にかかる力の釣り合いを考え、移動限界掃流力を算定した。流れ方向に関する力の釣り合いは流体力による抗力、底面に沿って働く摩擦力によって成り立つが、本調査における引張力（外力）が加わると図-1 のように書ける。式(1)には対象材料の移動限界状態における関係を、式(2)には本研究に用いた Manning-Strickler の式を示した。

$$\tau_{*CX} - \tau_* = \frac{F_x}{A_x} \cdot \frac{1}{\rho(\sigma/\rho - 1)gd}$$

(1) 図-1 流水中の河床材料の力の釣り合い。



キーワード：礫床河川，河床固化，底生動物，限界掃流力，河床の空隙

連絡先（〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地, Tel. 0586-89-6036, Fax. 0586-89-6039）

$$\tau_* = \rho u_*^2, \quad \frac{U}{u_*} = 7.66 \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad (2)$$

ここで、 $\tau_{*(c)}$ ：無次元（限界）掃流力、 x ：底生動物除去前 or 後を表す添え字、 F ：材料移動に必要な引張力、 A ：接着部の面積、 ρ / σ ：水密度 / 材料密度、 g ：重力加速度、 d ：材料径、 u_* ：摩擦速度、 U ：平均流速、 h ：水深である。はじめに、底生動物除去後の移動限界状態における礫（3 軸径の平均： d ）の力の釣り合いを対象とし、岩垣（1956）の式から得られる $\tau_{*c/after}$ （ $=0.05$ ）、実測の U, h を式(2)に代入して算定される τ_* 、実測した F_{after} を式(1)に代入することで接着部の面積 A_{after} を求めた。同じ礫の底生動物除去前を対象に、 $A_{after} = A_{before}$ と想定し上記と逆の手順にて再度式(1)を用いれば、実測の F_{before} から未知の $\tau_{*c/before}$ を推定できる。この $\tau_{*c/before}$ が底生動物の棲み込みによって引き起こされた河床固化を評価する指標となる。

3. 結果と考察

表-1 には、調査地の物理環境として 15 点分の物理量の平均と標準偏差を併記した。なお、礫径については各材料の 3 軸の平均径の平均と標準偏差を算定し示した。これらの物理環境指標間に有意な相関関係は見られなかった。図-2 には、底生動物除去前後における礫の移動に必要な引張力の計測結果を示した。両者の分布に正規性が確認されたことから、対応のある t 検定を行うとこれら 2 者の間には有意な差があることが確認された（ $t = 5.0 \times 10^6$, $df = 14$, $P = 1.4 \times 10^{-7}$ ）。

図-3 には、接着面積率と河床固化の影響を受けた無次元限界掃流力との関係を示す。ここでの接着面積率は、材料を球状と仮定し得られた表面積に占める接着部の面積割合である。両者の関係には負の相関があり、材料の接着面積率が小さいと無次元限界掃流力が大きくなった。これはすなわち、材料間の空隙が大きいと河床固化の影響が大きくなることを示しており、いわゆる浮き石帯において河床固化が顕在化しやすいことを示す結果になった。また、ここで見積もられた無次元限界掃流力は、既往の研究での数値（ $\tau_{*c} = 0.05 \sim 0.1$ （田代ら, 2004））を遥かに上回るものであり、問題の深刻さを改めて裏付けているものと考えられた。

表-1 調査地の物理環境。

	平均	標準偏差
水深 (cm)	20.9	6.2
流速 (cm/s)	33.0	14.1
礫径 (cm)	18.8	2.9
引張力・前 (N)	80.8	19.9
引張力・後 (N)	32.8	16.2

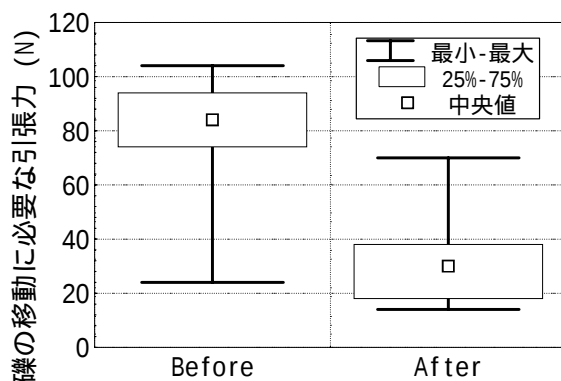


図-2 底生動物除去前後で異なる材料の移動に必要な引張力。

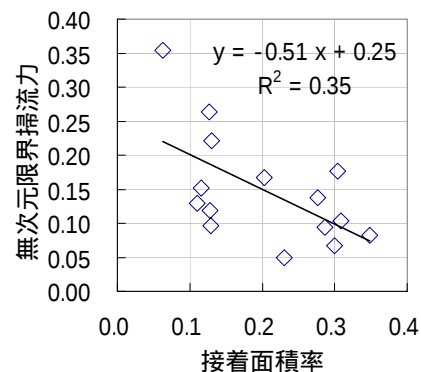


図-3 材料の接着面積率と無次元限界掃流力の関係。

4. おわりに

本研究では、簡易な計測装置を用いた調査結果とその分析から、実河道における生物的要因による河床固化の影響把握を試みた。その結果、実河道における河床固化は、実験水路などで想定されたよりも顕著な現象であることが分かった。今後は、季節変化や底生動物の現存量および群集組成の違いによる影響などについても検討を進める予定である。

現地調査に際し、横浜市環境科学研究所福嶋悟氏、土木研究所河川生態チーム対馬孝治氏にご助力いただいた。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- (1) Cardinale et al.: *Functional Ecology*, Vol. 18, pp.381-387, 2004.; (2) Downes et al.: *J. N. Am. Benthol. Soc.*, Vol. 16, pp.203-220, 1997.; (3) 岩垣雄一: 土木学会論文集, 第41号, pp.1-21, 1956.; (4) Statzner et al.: *Water Resources Res.* Vol. 35, pp.3495-3506, 1999.; (5) Statzner, et al.: *Water Resources Res.*, Vol. 39, pp.1309-1325, 2003.; (6) 高尾ら: 応用生態工学会第7回講演集, pp.5-8, 2003.; (7) 田代ら: 河川技術論文集, Vol. 10, pp.489-494, 2004.; (8) 谷田, 竹門: 応用生態工学, Vol. 2, pp.153-164, 1999.