

野外における河床礫の抗力係数測定法の提案と付着藻繁茂による抗力特性の変化

埼玉大学大学院 学生会員 ○坂田 良介

埼玉大学レジリエント社会研究センター 正会員 田中 規夫

1. 背景および目的

二瀬ダムにおいては置き砂による土砂還元が行われ、非出水期においても生物群集の動態に変化が生じており、非出水期でも移動可能な小粒径の土砂が影響を与えていることが Tanaka ら¹⁾によって明らかにされている。アーサー化が進んだ河川において、還元土砂は巨礫背後の遮蔽域に堆積しやすいため、巨礫背後の遮蔽域の流れ場を把握することが重要である。また Tanaka ら¹⁾は巨礫の持つ抗力が巨礫背後の遮蔽域の流れ場に影響を与えていることも指摘しており、巨礫の持つ抗力を精確に把握することが重要である。しかし、二瀬ダム下流河川においては礫表面に付着藻がしばしば発生する

ため、付着藻が巨礫の持つ抗力を変化させていることが考えられる。付着藻の活性は移動によって変化してしまうため、本研究では現地で付着藻類が繁茂した礫の抗力係数を求め、付着藻が礫の抗力に与える影響を評価した。特に、河床に面して存在する礫を模擬するために、錘によって礫を壁沿いに吊り上げる新しい実験方法を用いた。この新しい実験と礫を沈降させる実験結果を比較し、新実験方法の有用性を評価した。

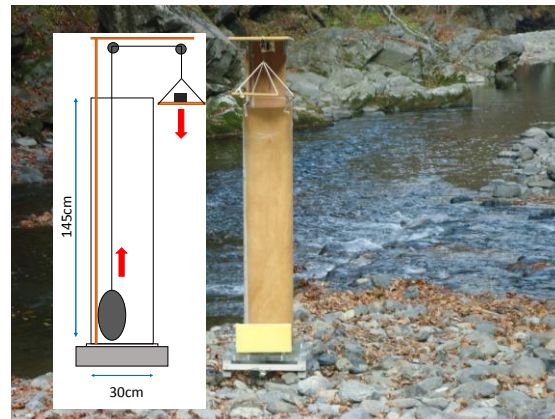


図-1 野外での抗力測定水槽の概要

2. 現地調査方法

2.1 室内実験方法(沈降実験)

円筒水槽を用いて付着藻が繁茂した状態の自然礫を重力によって沈降させ、沈降速度を測定し、抗力係数 Cd を求めた。その後、付着藻を剥がした状態で同様の実験を行った。内径およそ29cm、深さ140cmの円筒形水槽を使用し、フレーム数と落下距離によって沈降速度を測定した。それぞれの礫について4回沈降させ、4回の沈降速度の平均値を計算した。使用した礫を経験的により短軸長 c と中軸長 b の比によって扁平形礫 ($c/b < 0.56$) と丸形礫 ($c/b > 0.6$) に分類した。扁平形の礫10個、丸形の礫を8個使用した。

2.2 野外での抗力測定

1) 調査地点と採取礫の特性： 二瀬ダム下流約2.7km 地点の平瀬を調査対象とし、付着藻類の繁茂している河床礫を対象とした。2003年から2013年のモニタリング調査では、この付近の平瀬において珪藻綱、黄色鞭毛藻綱、藍藻綱、緑藻綱、紅藻綱の5綱の付着藻類が見られた。そのうち珪藻綱は7割以上を占めている。

2) 現地実験方法(吊り上げ実験)： 円筒水槽を用いた沈降実験では、礫の後方に形成される剥離渦の周期的な放出に伴う振動により、礫は回転や振動等をしながらかく様々な方向に移動し、一定方向に落下することがない。そのため、沈降実験では実河川における河床に面した礫を模擬できない。河床に面しているように、剥離渦が上方のみから形成され、流体に対して礫の投影面が変化しないような実験が求められる。そのため、実験水路と分力計を用いた実験を行うことが望ましいが、現地から藻類が付着した礫をまったく剥がれないようにかつ活性が落ちないように持ち運ぶのは困難であり、現地で簡易に精度良く計測できる実験が求められる。

そこで本研究では、図-1のように、前述の円筒水槽中の1側面に木製の板を設置し、その板を河床に見立てた。水槽底面に礫を設置し、木製の板の表面を摩擦が生じないように沿わせて錘によって吊り上げた。錘と

礫を結ぶワイヤーには、なるべく摩擦が生じないように滑車を介した。吊り上げる最終速度を計測し、抗力係数 C_d を定義式に従い算出した。これを藻類がある場合とない場合について行った。落下させた礫は 10 個、錘の重さは礫によってそれぞれ 5 段階変更して実験を行った。吊り上げ方法は、現地の巨礫の特性を考慮して、進行方向に中軸、横断方向に長軸、木の板から鉛直方向に短軸を配した。このとき付着していた藻類には珪藻綱が多く見られ、繁茂していた厚みは数 mm 程度であった。

3. 実験結果と考察

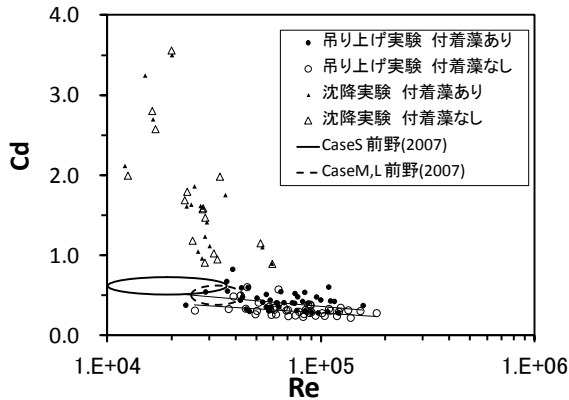


図-2 抗力係数 C_d のレイノルズ数による変化

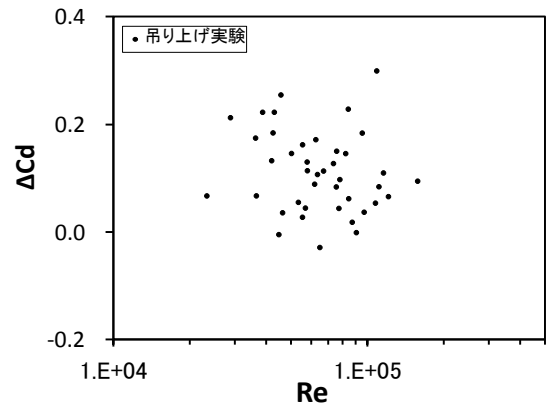


図-3 藻類による C_d の増加とレイノルズ数の関係

図-2 に抗力係数 C_d のレイノルズ数 $Re = \frac{b \cdot u}{\nu}$ による変化を示す。ここに、 u : 礫の流れに対する相対的な平均速度(m/s), b : 礫の中軸長(m), ν : 水の動粘性係数(kg/m \cdot s)である。また、前野ら²⁾が実験水路と分力計を用いて単体礫について測定した結果のおおよその分布範囲を示した。この単体礫は流れに対して本研究と同じ方向に長軸、短軸、中軸を配している。いずれの結果でもレイノルズ数が大きくなると C_d が減少する傾向が見られる。また、付着藻がある場合にはどちらも C_d が増加する傾向にあることがわかった。沈降実験の結果では、 C_d の値が大きく、値もばらつく傾向にある。これは沈降実験ではしばしば回転や揺れが生じて沈降速度が小さく評価されるためだと考えられる。分力計を用いた測定方法での結果と比較すると、測定したレイノルズ数の範囲に違いはあるものの、沈降実験よりも吊り上げ実験の方が近い結果であった。したがって吊り上げ実験は沈降実験よりも正確に実現象を捉えられると考えられる。

図-3 に、付着藻が繁茂することによって増加した抗力係数 ΔC_d とレイノルズ数の関係を示す。ここでは、抗力係数の増加とレイノルズ数には明確な関係は見られなかった。抗力係数 C_d はレイノルズ数に関係なく平均 0.11 ほど増加した。Tanaka ら¹⁾の式から考えると、付着藻繁茂により粗度層流速は減少し、遮蔽域の土砂を動かすづらくすると考えられる。

4. 結論

吊り上げ実験は、沈降実験に比べてデータのばらつきが少なく、実験水路で分力計を使った結果とも比較的近い結果だったことから、現地で簡易的に用いられる実験方法として有用であると考えられる。礫の抗力は付着藻により増加することが分かった。抗力係数はレイノルズ数大きいほど、小さくなる傾向にあるが、抗力係数の増加量はレイノルズ数に関係なく増加し、その増分の平均値は約 0.11 であった。

謝辞：河川財団・河川整備基金助成金（代表・田中規夫）を使用した。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Tanaka N. et al., Proc. of the 19th IAHR-APD Congress 2014, Hanoi, Vietnam, 2014.
- 2) 前野詩朗ら：連結石礫の流体力評価に関する研究，水工学論文集，第 51 巻，pp.679-684, 2007.