

多自然型護岸ブロックの流体力の評価と洗掘量の算定

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○大堀 文彦・滝野 晶平
同上 正会員 和田 清

1. はじめに

近年、自然環境の再生・創出を目的とした多自然型川づくりが進められている。その一環として、河川空間内に魚類や水棲昆虫などの生息場所 (habitat) の確保を意図した工法が施工され、その支援構造物として、多自然型護岸ブロックが設置されている。多自然型護岸ブロックは、単に力学的安定性や洗掘・侵食防止だけではなく、生態系保全や親水性の確保などと密接な関係をもつことから、護岸の力学的設計法の確立が求められている。

河川のような定常流れが卓越する場では、抗力・揚力が支配的な流体力となり、これらの流体力を抗力係数・揚力係数という無次元量を用いて評価することが一般的である。これらの係数は小さい方が安定性の面では望ましいが、ブロックの形状や植生の成長段階によって値は大きく変化することが考えられる。そこで本研究では多自然型護岸ブロックにおける流体力係数を算定し、形状変化・設置状況 (単体, 群体) および護岸ブロックに繁茂する植生モデルが流体力に与える影響、ブロックに堆積する土砂の洗掘を実験的に把握することを目的とする。

2. 実験方法および解析方法

(1) 実験方法

護岸ブロック (1/10 模型) を 3 分力計センサー (KYOWA LMS-5KBS) に固定し、単体, 群体 (1 列目, 3 列目) における流体力 (抗力・揚力) を計測する。実験方法は、静水中から可変勾配式開水路 (長さ 10m, 幅 0.4m, 深さ 0.4m) を使用し、勾配 (水平から 1/38 まで) をモーターにより変化させて行う。計測した流速と流体力の時間変化をそれぞれ容量式水位計 (KNEK CH-303), 3 次元電磁流速計 (ALEC 電子製 AMC-300) と動歪アンプ (KYOWA Y233-01B) を通して電圧信号に変換し、これらの 8 分間の出力値をデータロガー (KEYENCE NR-110) によりサンプリング周波数 20Hz, データ数 16384 個をパーソナルコンピュータ (SONY VAIO) に取り込み 10 秒算術平均で離散化した。

(2) 解析方法

流れが定常な場合、主流方向の抗力 F_X と鉛直方向の揚力 F_Z および抗力係数 C_D , 揚力係数 C_L は次式¹⁾で表される。

$$F_X = \frac{1}{2} C_D \rho A_X u^2 \quad F_Z = \frac{1}{2} C_L \rho A_Z u^2 \cdots (1) \quad C_D = \frac{2F_X}{\rho A_X u^2}, \quad C_L = \frac{2F_Z}{\rho A_Z u^2} \cdots (2)$$

ここで、 ρ : 水の密度, u : 主流速, A_X, A_Z : 投影面積である。(2) 式より抗力係数 C_D , 揚力係数 C_L を算定し、流体力係数 (C_D, C_L) の特性を流れ場と関連づけて検討する。なお、水理特性量として、Reynolds 数 : $Re = UD/\nu$ (D : 代表長さ, ブロック長さ 10cm) を採用する。

3. 実験結果および考察

(1) 護岸ブロックの流体力係数に関する水理模型実験

図-1 は、単体, 群体 1 列目, 群体 3 列目の抗力係数 C_D , 揚力係数 C_L を示したものである。Re 数が増加すると C_D は指数的に減少し、 $Re = 1.5 \sim 1.7 \times 10^5$ の範囲で任意のある一定値に収束する。大小関係は、 C_D, C_L ともに単体 > 1 列目 > 3 列目となっている。ただし、 C_D については Re 数の指数的減少傾向や収束値との連続性は高いが、 C_L については、両者の間の不連続性が顕著となっている。Re 数が増加するにつれ収束する傾向がみられたが、揚力係数 C_L は流れが射流の高 Re 数域では収束値からの増加が生じている。洪水などの高速時では、揚力の増加によって「めくれ」による破壊形態が想定され、不安定化の一因になることが予想される。また、3 列目の揚力係数に関しては、周辺ブロック等による遮へい効果もあり、揚力が小さく、使用した計測機器では測定が困難であった。各種護岸ブロックの C_D, C_L の収束値を図-2 に示す。収束値は Re 数 $= 1.5 \sim 1.7 \times 10^5$ の範囲で平均化したものである。ブロックの設置状況に着目すると上述したように単体 > 1 列目 > 3 列目となる傾向がある。3 列目においては前面のブロックが流体抵抗となり、流体力が軽減されたと考えられる。単体と 1 列目では流況が異なるためブロックの窪みや背後に発生する渦が影響し流体力係数に差が表れたものと判断できる。また、同図に基本形として平面 6 面体を採用した場合の単体時の係数を併記した。同図から、抗力係数 C_D に関しては形状が複雑になると大きくなる傾向が見られ、揚力係数 C_L の場合は抗力係数 C_D とは逆で小

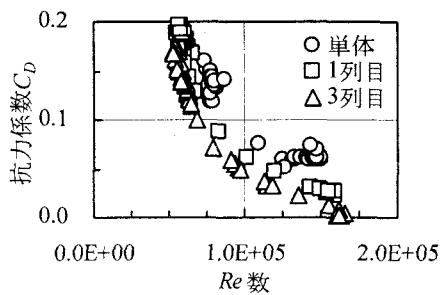
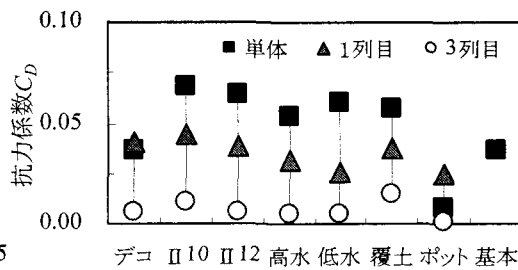
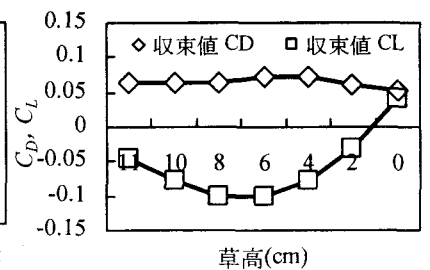
(a) 抗力係数 C_D (a) 抗力係数 C_D 

図-3 草高と流体力係数

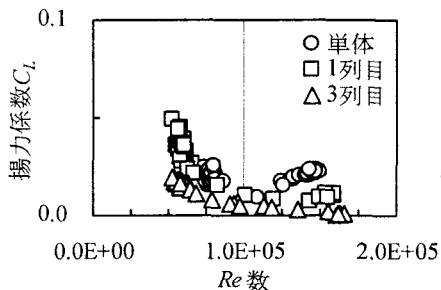
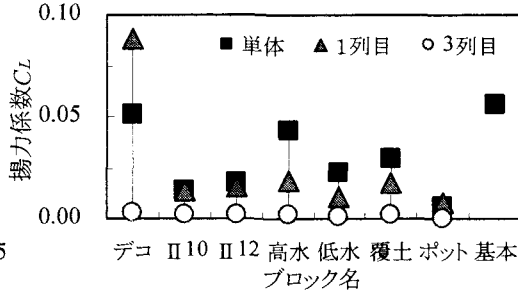
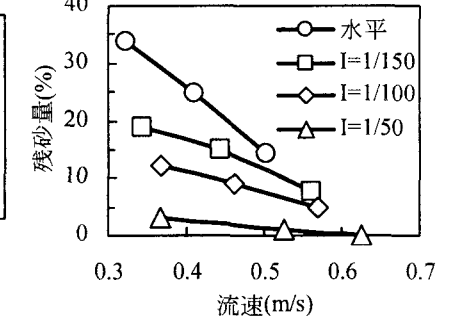
(b) 揚力係数 C_L (b) 揚力係数 C_L 図-4 残砂量
(ポットウィード)図-1 流体力係数の変化
(グラステクト低水)

図-2 流体力係数の収束値

さくなるという傾向がみられた。ブロック形状の変化は後渦の形成に影響を及ぼし、その分布によっては、揚力を抑制する効果がみられる。

(2) 植生の成長段階を考慮した流体力

成長段階ごとの各流体力係数の収束値をまとめたものを図-3 に示す。抗力係数 C_D においては、植生草高による影響は微少ではあるが、植生のない場合が最も小さく植生が成長することにより抗力係数 C_D が増加し、植生無しの場合に比べ最大で3割程度の増加が確認できる。一方、抗力係数 C_D は変化が少ないのに対して、揚力係数 C_L は植生の成長段階により大きく変化していることが確認できる。なお、植生モデルの傾倒が見られなく 6cm が最小となっている。植生の有無、傾倒状態が流体力に大きな影響を与えていることがわかり、植生の存在により揚力の発生が抑制され、特に、植生の傾倒が顕在化し始める草高において最も揚力係数 C_L が小さくなることが確認された。したがって、植生の存在は揚力を減少させブロックをより安全側へ移行することがいえる。しかし、植生の繁茂したブロックは無い場合の状態に比べ重心位置が高くなりモーメントの増大を招くおそれがあり、モーメントも含めた安全性の検討が必要となると考えられる。

(3) ブロック内部の洗掘過程

ブロックに堆積した土砂の洗掘過程を把握するために、同上の水路に幅 0.4m、長さ 2.5m にポットウィードを設置し、ブロック内部に豊浦標準砂 ($d_{50}=0.20\text{mm}$) を敷き詰め流量を6階と勾配を4段階変化させ土砂量の変化を計測した。なお、上流からの土砂供給は行っていない。砂粒の移動はすべて実験開始15分程度で定常状態に移行した。

図4にブロック最上流部の流速と残砂量の関係を示す。同図から流速が増加することにより残砂量が減少していき、流速 0.6m/s を超えると残砂量はほぼ 0% となる。また、同じ流速帯でも勾配により残砂量が変化している。勾配が大きいほど流速が小さくとも砂粒の流出量が増加していることがわかる。流速が増大することにより次第に水平時の収束値(漸近線)に近づくことがわかる。これは単に流速の大小だけでなく、水深や勾配変化によるブロックの傾きなどにより渦の生成等が変化したこと起因しているものと考えられる。

4. おわりに

以上述べたように、水理模型実験の結果から、護岸ブロックの形状、設置状況や植生の繁茂状態が護岸ブロックに与える影響を把握することができた。今後は護岸ブロック周囲の流れや渦が堆積した土砂に対して与える影響を把握するための実験を行う予定である。本実験伸す移行に際して、名古屋大学大学院教授 水谷法美先生の助言を賜った。最後に記して謝意を表する次第である。

参考文献：1) 荻原国宏：新体系土木工学 25 流体力，技報堂出版株式会社，pp.22-23，1986。