

株状粗度群内の底面せん断力特性の評価に関する実験的研究

埼玉大学 学生会員 ○井上 浩一
 埼玉大学 学生会員 八木澤 順治
 埼玉大学 正会員 田中 規夫

1. 研究目的

密集した草本群落は洪水減水期に群落内部に土砂を堆積させ木本が繁茂しやすい状況をつくるため、河道内が樹林化する初期過程において草本が果たす役割は大きい。特に株状に繁茂する草本は多量の土砂を株背後に堆積させる。そのため、人為的駆除の必要性を知る上でも、自然洪水による流失条件を把握することが河川管理の観点から重要である。従来、洪水による草本の自然流失に関する研究¹⁾では、流失限界を超えた場合に群落全体が流失し裸地になると判断している。しかし、群落の上流側から粗度変化に伴う境界層が発達していくことから、群落の位置によって異なるせん断力が働いていると考えられる。そのため、群落全体の流失を評価するためには群落内のせん断力分布を把握する必要がある。

そこで本研究では、外来生物法により要注意外来生物に指定され問題視されている株状草本シナダレスズメガヤを対象とした粗度模型を平面的に配置した水理模型実験を行い、底面せん断力の変化を粗度水深比と関連付けて把握することを目的とする。

2. 研究方法

(1) 実験方法

粗度模型は粗度高さ h_v が2cm、直径 d が4mmの円柱を用いて、隣り合う全ての円柱間隔 L を等しくする条件、すなわち正六角形に中心を加えた7本で作成した(図-1(c))。円柱間距離比(L/d)は1で流下方向に対して千鳥配列で設置した。その粗度模型を幅50cm、長さ15mの水路中央付近に粗度群の長さ3m、密度 $M=198$ colonies/ m^2 とし千鳥配列で設置した。実験装置の概要を図-1に示す。測定項目はポイントゲージを用いて水深 h (m)、電磁流速計を用いて流速(m/s)を各実験ケースに対して測定した。各実験ケースの実験条件を表-1に示す。

(2) 底面せん断力の算出方法

粗度群内の底面せん断力 τ_b (N/m^2)は単位面積当りの流体に働く力のつりあいを考慮して式(1)より算出した。

$$\rho \left\{ lB - \left(\frac{D_c}{2} \right)^2 \pi (1 - \lambda) M \right\} g h_v I_e + \rho (H - h_v) B g I_e \quad (1)$$

$$= \tau_b A_b' + \frac{1}{2} \rho u_1^2 C_d A_v M$$

表-1 実験ケース一覧

ケース名	水深 H (m)	断面平均流速 U_{ave} (m/s)	粗度水深比 H/h_v	Froude数 F_r
case 1	0.04	0.175	2	
case 2	0.08	0.248	4	0.28
case 3	0.12	0.304	6	

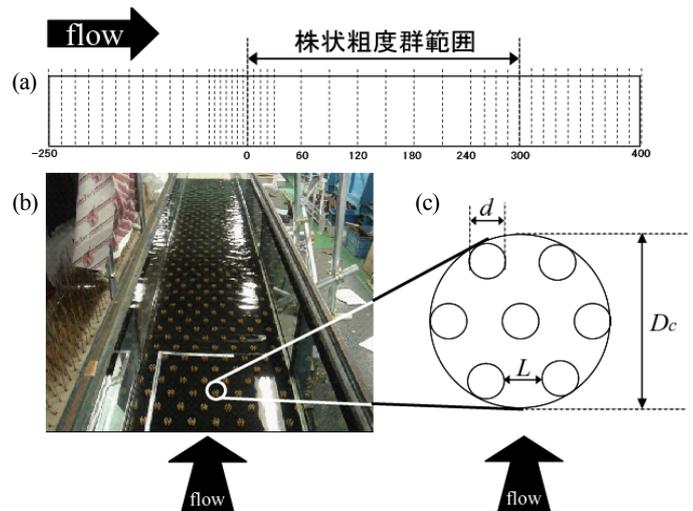


図-1 実験装置概要

- (a) 水路の側面図(図中の数字は粗度群上流端からの距離 X (cm)を表し、点線は水深測定位置を示す、
 (b) 粗度模型群の鳥瞰図、(c) 粗度模型の模式図

ここに、左辺第一項、第二項はそれぞれ粗度層、粗度上層の流体に作用する重力の斜面方向成分、右辺第一項、第二項はそれぞれ底面せん断力、粗度による抗力であり、各項の変数は、 ρ : 流体の密度(kg/m^3)、 l : 流下方向距離(m)、 B : 水路幅(m)、 D_c : 株状粗度模型の直径(m)、 λ : 粗度模型の空隙率、 g : 重力加速度(m/s^2)、 I_e : エネルギー勾配、 u_1 : 粗度層内流下方向流速の平均値(m/s)、 C_d : 抗力係数、 A_v : 粗度の投影面積(m^2)、 A_b' : 単位面積から粗度模型が占める部分を除いた底面積(m^2)である。抗力係数 C_d は本研究で用いた粗度模型と同等の L/d 、 H/h_v で行なった実験結果より0.23を用いた。また、 u_1 は以下の連続式より算出した。

$$u_1 h_v \sqrt{\theta} + u_2 (h - h_v) = U h \sqrt{\theta'} \quad (2)$$

ここに、 u_2 : 粗度上層の流下方向流速の平均値(m/s)、

キーワード 株状粗度群、底面せん断力、粗度水深比、シナダレスズメガヤ

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学大学院理工学研究科

U : 全断面の平均流速(m/s), θ : 粗度層の体積空隙率, θ' : 粗度層・粗度上層を合わせた全体の体積空隙率である。
 u_1 を算出する際に, U は実験より得られた値を用い, u_2 は u_1 との比 α を把握することで式(2)に与えた。

3. 結果および考察

(1) 粗度群内における底面せん断力の縦断変化

図-2に式(1)より算出したせん断力 τ を粗度の影響が無い上流側のせん断力 τ_{mi} で基準化した値の縦断変化を示す。粗度群上端($X/D_c=0$, X は粗度群の上端からの距離とし, 正は流下方向, 負は水路の上流方向を表す)でのせん断力 τ は τ_{mi} と比べ大きくなる。また, その割合(τ/τ_{mi})は粗度水深比 H/h_v が大きくなるにつれて増加する。一方, 粗度群内部($X/D_c=30\sim 140$)でのせん断力 τ は, H/h_v が小さいcase1の場合, τ_{mi} に比べ大きくなる。しかし, H/h_v が大きいcase2,3では, τ_{mi} とほぼ等しいせん断力となった。

(2) 粗度層流速 u_1 の縦断変化が抗力に及ぼす影響

図-3に u_1 と粗度上層の流速 u_2 との比 α の縦断分布を示す。全ての実験ケースにおいて, 粗度群上端に比べ粗度群内部で α が大きくなった。しかし, 粗度群内部での α の縦断変化は少なくほぼ一定となっている。また, H/h_v の違いに注目すると, H/h_v の小さいcase1では粗度群による u_1 の減速効果は小さいが, H/h_v の大きいcase2,3では粗度群による u_1 の減速効果が大きいことがわかる。このことより, case1では全損失(せん断力+抗力)のうち抗力の割合が大きく(せん断力は小さい), case2,3では抗力の割合が小さい(せん断力は大きい)と考えることができる。しかし, 図-2に示す結果と矛盾が生じた。

(3) エネルギー勾配 I_e の縦断変化とせん断力の関係

粗度群上端においては H/h_v が大きくなるにつれて I_e も大きくなった。また, 粗度群内部では H/h_v が小さい場合, I_e が粗度群上端に比べ若干減少し, H/h_v が大きいケースによる大きいエネルギー勾配のまま粗度群を通過する。その理由として, case1では粗度群内に入っても u_1 が減速せず, 粗度群内での縦断変化も小さい。そのため, せん断力が減少せずに, τ/τ_{mi} が1よりも大きいまま粗度群を通過する。一方, H/h_v が大きい場合, I_e が大幅に減少し, 水路床勾配(1/1000)とほぼ等しく擬似等流状態が確認された。その理由として, case2,3では粗度群内に入ると u_1 が大きく減速するため, せん断力も小さくなる。このことより, エネルギー損失が小さくなり, τ_{mi} とほぼ等しいせん断力が働くと考えられる。

4. 結論

本研究において以下の点を明らかにした。

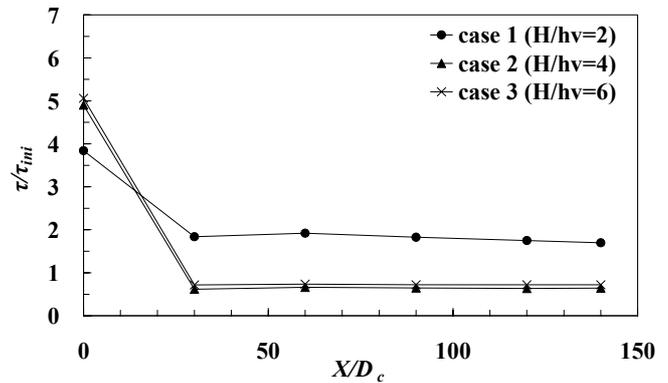


図-2 粗度の影響が無い上流側のせん断力 τ_{mi} で基準化したせん断力 τ の縦断変化

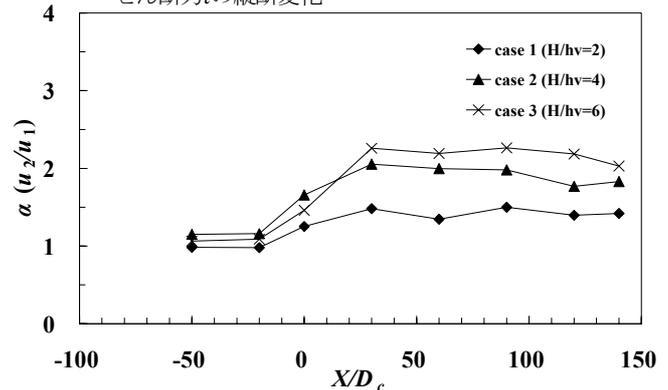


図-3 粗度層の流速 u_1 と粗度上層の流速 u_2 との比 α の縦断分布

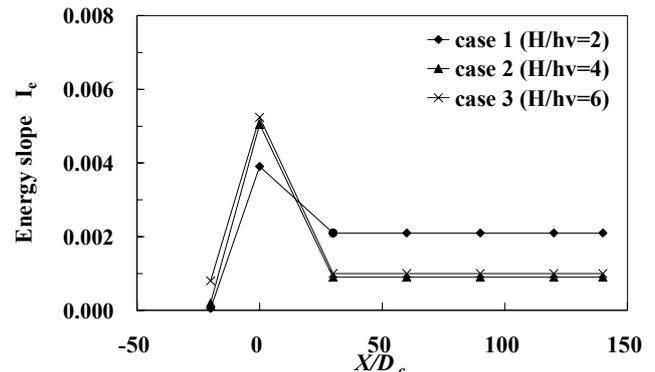


図-4 エネルギー勾配 I_e の縦断変化

- ① 粗度群上端($X/D_c=0$)でのせん断力 τ は, 粗度の影響が無い上流側のせん断力(τ_{mi})と比べ大きくなる。また, その割合(τ/τ_{mi})は粗度水深比が大きくなるにつれて増加する。
- ② 粗度群内部($X/D_c=30\sim 140$)でのせん断力は, 粗度水深比が小さいcase1の場合, τ_{mi} に比べ大きくなる。しかし, 粗度水深比が大きいcase2,3では, τ_{mi} とほぼ等しいせん断力が働く。

参考文献

- 1) 末次忠司ら：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答, 遷移および群落拡大の特性 - 多摩川と千曲川の礫河原を対象として -, 国土技術政策総合研究所資料, 第161号, pp.49-51, 2004.