

# 砂礫河原に繁茂する株状草本シナダレスズメガヤの 土砂捕捉特性と洪水攪乱による除去条件

REMOVAL CONDITION AND DEPOSITION CHARACTERISTICS OF COLONY-TYPE GRASS,  
*Eragrostis curvula*, VEGETATED ON A GRAVEL RIVER

田中規夫<sup>1</sup>・八木澤順治<sup>2</sup>・青木信哉<sup>3</sup>

Norio TANAKA, Junji YAGISAWA, Shinya AOKI

<sup>1</sup>正会員 工博 埼玉大学大学院助教授 建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

<sup>2</sup>学生会員 修(工) 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

<sup>3</sup>学生会員 学(工) 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

Initial process of forestation in a river is affected by perennial grasses because they accumulate much amount of sediments and nutrients at flood events. The growth dynamics of *Eragrostis curvula*, a colony-type and invasive grass, was investigated for elucidating the relationship between the plant dynamics and the sand deposition on a river bar. Shields parameter of the gravel around the plants was calculated using the roughness characteristics of the plants and friction velocity obtained by field measurement and wind tunnel experiment. *Eragrostis curvula* accumulates more sediment in proportion to the increase in the colony diameter. The growth of *Eragrostis curvula* in the next year of flood disturbance was changed according to the diameter of the colony. Removal condition of *Eragrostis curvula* by natural floods at the field observation site was evaluated as a function of the colony diameter and its density.

**Key Words :** *Eragrostis curvula*, sand deposition, friction velocity, flood disturbance, colony-type grass

## 1. はじめに

河川上流域に設置されたダム・堰等による下流河道でのピーク流量低下や土砂供給量減少により、低水路の河床低下や高水敷・中州との比高差拡大が生じている<sup>1)</sup>。洪水攪乱頻度の低下した高水敷や中州は乾燥化・陸地化によって樹林化が生じている。河道内の樹林化によって生じる問題として、①流水障害や水位上昇(治水上の問題)<sup>2)</sup>、②生態系の単調化<sup>3)</sup>、などが挙げられるが、高水敷や中州が樹林化していく過程の初期段階において、草本類の役割は大きいと考えられている<sup>4)</sup>。草本類が中州に入植すると、小規模出水時に土砂を捕捉する役割を果たし、中州と低水路の比高差を拡大させる要因となる。

シナダレスズメガヤ(*Eragrostis curvula*)は、法面の土留めおよび緑化、海浜埋立地の飛砂防止等を目的として播種されている南アフリカ原産のイネ科の多年生草本である。しかし、近年では、種が川を下り、下流の砂礫河原に侵入し、急速に分布を拡大している帰化植

物である。旺盛な繁殖力で河川空間(特に礫河原)を占有し生物多様性を減じるとともに、洪水時には株背後に多量の土砂を堆積させることが知られている<sup>5)6)</sup>。鎌田ら<sup>8)</sup>は洪水時の無次元掃流力とシナダレスズメガヤの死亡率の相関関係から、株の除去に必要な無次元掃流力の把握を試み、株の洪水による自然除去には極めて大きな規模が必要であるとしている。そのため、シナダレスズメガヤが礫河原に侵入した場合、人為的除去を行う必要があるとしているが、株の繁茂状態との関連が明確になっていない。

そこで、本研究ではシナダレスズメガヤの①洪水時の土砂捕捉特性、②洪水攪乱を受けた翌年の生産量の変化、③除去条件を把握することを目的とし、まず現地観測より株直径毎の体積空隙率、シュート高さ等のシナダレスズメガヤの粗度特性を把握した。さらに、それらのデータを用いて株が流水に与える抗力を評価し、株の繁茂による洪水時の底面摩擦速度の変化を算出した。それと限界摩擦速度との比較により、シナダレスズメガヤの洪水による自然除去条件を評価した。

## 2. 現地観測方法

### 2-1 洪水痕跡調査

#### (1) 現地観測地点

観測は、埼玉県熊谷市の荒川大橋上流約2kmの砂礫河原(36°8'N, 139°21'E)において行った。現地の植生分布を図-1に示す。砂礫の粒径は表層、地下50cm層ともに、砂質分から粒径20cm程度の礫が存在し、土壤栄養状態(T-N)は0.029~0.066(mg/g)である。現地砂礫河原の比高が低く攪乱を受けやすい場所では、小さなシナダレスズメガヤ株が疎らに点在し(A地点)、比高が高く攪乱を受けにくい場所では大きめの同植物株が密に生育している傾向にある(B地点)。

現地砂礫河原は2004年10月の台風22号、23号通過時には洪水痕跡により、最大で1m程度冠水したと考えられた。洪水が植生領域にたまる土砂量や植物そのものの粗度特性を把握するため、測量基準点(右岸78.4km)をもとに、流下方向に100m間隔に調査ラインを設けた。その調査ラインに沿って河川横断方向に25m間隔に調査ポイントを設置した。各調査ポイントを基本として、(1)洪水時の流向調査、(2)洪水後の堆積土砂調査(土砂量、粒度試験)、(3)シナダレスズメガヤの粗度特性調査(体積空隙率、洪水痕跡における株の傾斜角)を行った。以下にそれぞれの方法を示す。

#### (2) 洪水後の堆積土砂調査(土砂量、粒度試験)

図-2に堆積土砂特性を調査した箇所などを定義する。シナダレスズメガヤ背後における粒度分布は、同図に示すように、最も堆砂厚が厚い位置(A、B: 以下、背後部とする)およびその位置より流下方向に50cm程度離れた位置(C、D: 以下、下流部とする)における表層5cmと深部5cmの砂のサンプルを採取することによって求めた。下流部において砂のサンプルを行った理由は、その場所が剥離域の末端付近であり、時間的な堆積過程を明らかにするためである。また、洪水後にシナダレスズメガヤの背後に堆積した砂の体積 $V_s$ および流下方向の堆砂長さ $L_s$ を測定した。

#### (3) 粗度特性調査

直径の異なる株ごとにシュート高さを計測した。株の体積空隙率は、株の外周直径と縛って空隙を無くした状態での直径を計測することによって算出した。その際、計測位置は根際、根際からシュート高さの1/3の位置及び2/3の位置の3点で行った。シナダレスズメガヤ株の代表直径 $D_c$ は、算出した体積空隙率 $\lambda$ から、シナダレスズメガヤの株形状を円柱形と仮定した場合と体積的に等価な直径として定義した。また、図-2に示すように、洪水痕跡における株の傾斜角 $\theta$ を測定した。

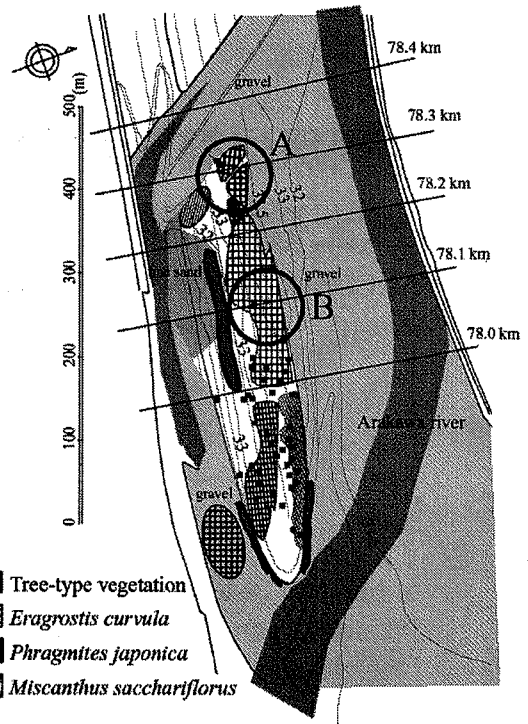


図-1 観測地点の植生分布と観測線

### 2-2 洪水攪乱を受けた翌年の生長量観測

洪水攪乱は植物体に直接的ダメージを与えるものの、株周辺に栄養塩を供給するという意味では翌年の生産量を増加させる働きもあわせもつ。そこで、2004年洪水攪乱を受けた翌年(2005年)において、前年の洪水攪乱を受けたシナダレスズメガヤ株と受けていない株の直径、密度、葉茎高さ、地下部・地上部バイオマスの観測を行った。各観測項目に対して検定を実施したところ洪水攪乱を受けた株と受けていない株に有意な差は認められなかった。しかし、代表直径 $D_c$ を0~20cm, 20cm以上と分類したところ、後者に関して洪水攪乱の有無で有意な差がみられた。そこで、代表直径 $D_c$ が0~20cm, 20cm以上の場合をそれぞれsize-A, size-Bと定義し、前年生長期における攪乱有り無しが翌年の生長量の相違に与える影響を解析した。

## 3. 解析方法

### 3-1 河川流の解析

流況を解析するに当たっては、細田ら<sup>9)</sup>による一般座標系の平面2次元非定常流れのモデルに、Struve et al.<sup>10)</sup>による植生を考慮した直交座標系モデルを一般座標系に変換し取り込んだものを使用した<sup>11)</sup>。対象とした河川は、荒川の距離標76kmから80kmの区間(全長約4km, 低水路の川幅240~430m)である。河床高データは国土交通省荒川上流河川事務所による測量データ(400mピッチでの横断測量)を使用した。横断データは一般座標系のグリッドデータとして50mピッチに変

換して使用した。格子点数は、流下方向 75×横断面方向 75 とした。また、計算条件について、初期水深は実際に水が溜まっている部分に水深を、流量規模は 200m<sup>3</sup>/s の一定流量を与え、下流端水深は等流計算による水位-流量関係より求めた。また、Manning の粗度係数は 0.035 とし、植生密度、直径は現地観測値を平均し、それぞれ 70 本/m<sup>2</sup>、0.15m とした。

### 3-2 無次元掃流力による土砂移動限界判定

シナダレスズメガヤの株の大きさ、密度等の違いによって土砂堆積を起こす条件は異なってくると考えられる。そこで、その条件を把握するため、シナダレスズメガヤ株周辺の無次元掃流力を Shields よって定義された以下の式を用いて算出した<sup>12)</sup>。

$$\tau_* \equiv \frac{u_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_s} ; R_{e*} = \frac{u_* d_s}{\nu} \quad (1)$$

ここに、 $\tau$  : 無次元掃流力、 $u_*$  : 摩擦速度(m/s)、 $\sigma$  : 土粒子密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)、 $d_s$  : 土粒子の粒径(m)、 $R_{e*}$  : 砂粒レイノルズ数、 $\nu$  : 水の動粘性係数(m<sup>2</sup>/s)である。 $u_*$  は植生による抗力を含んだ以下の力のつり合いより算出した。

$$\rho u_*^2 A' + \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A m = \rho g H i_e (1 - (\frac{D_c}{2})^2 \pi m (1 - \lambda)) \quad (2)$$

ここに、 $A'$  : 単位面積から植生占有面積を差し引いた面積(m<sup>2</sup>)、 $u$  : 流速(m/s)、 $C_d$  : 抗力係数、 $m$  : 株の平面密度(個/m<sup>2</sup>)、 $H$  : 水深(m)、 $i_e$  : エネルギー勾配、 $D_c$  : 株の代表直径(m)である。 $u$ 、 $H$  および  $i_e$  は、現地観測場所周辺において得られた数値解(それぞれ 0.9m/s、0.8m、0.0075)を用いた。

抗力係数  $C_d$  に関しては、洪水時に流水から受ける力による傾きと粗度の体積空隙率  $\lambda$  の影響について評価することが必要である。そこで、シナダレスズメガヤを模擬した株模型<sup>7)</sup>を使用し、風洞実験を行った。抗力係数  $C_d$  は以下の式より算出した。

$$C_d = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (3)$$

ここに、 $V$  は接近風速(m/s)、 $A$  は流れ方向に垂直な投影面積(m<sup>2</sup>)、 $F$  は 2 分力計(SSK 社製: LB60-1N、計測方向: X、Y 方向、計測最大荷重 1N、分解能 1/1000)によって計測された抗力(N)、 $\rho$  は空気密度(kg/m<sup>3</sup>)である。

以上のようにシナダレスズメガヤの抗力特性を(3)により把握した後、株の平面密度(個/m<sup>2</sup>)及び代表直径  $D_c$  を変化させ、(1)、(2)より算出した無次元掃流力と土砂粒径  $d_s$  の関係を求めた。移動限界粒径  $d_{s,cr}$  を算出する際には、砂粒レイノルズ数を求め、無次元掃流力と比べるのが正確ではあるが、現地中州の河床材料条件

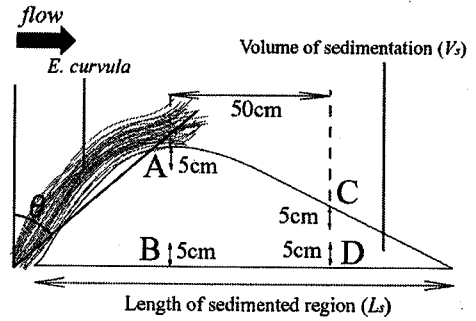


図-2 シナダレスズメガヤ株背後の堆積土砂調査の定義

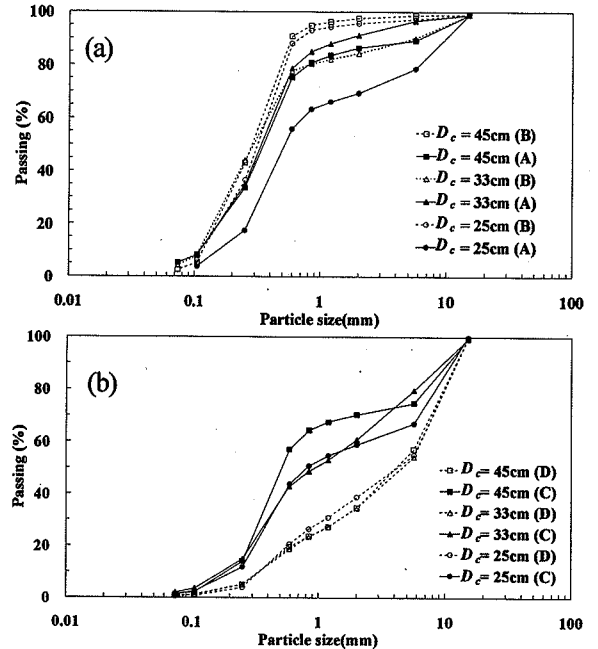


図-3 シナダレスズメガヤ背後の粒度分布

(a) 株背後の最も堆砂厚が高い位置の粒度分布  
(b) (a)の位置から 50cm 下流の位置の粒度分布  
(凡例の A~D は、図-1 中の A~D に対応)

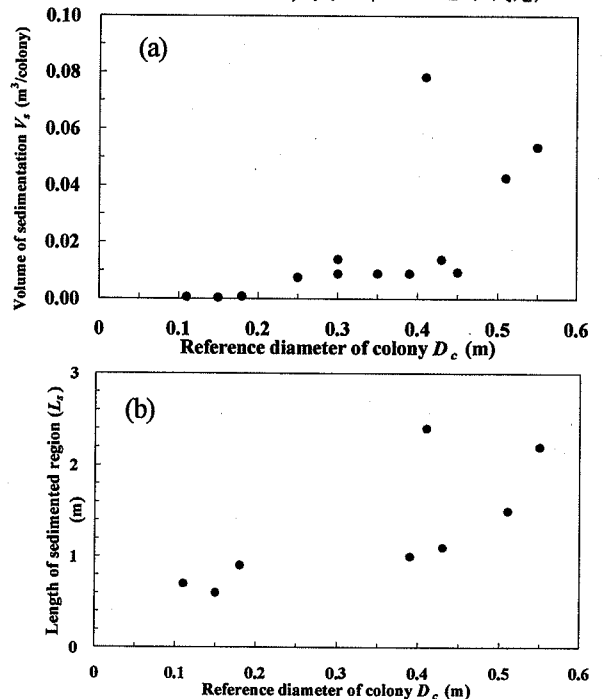


図-4 シナダレスズメガヤ背後の堆砂特性

(a) 代表直径と堆砂量  $V_s$  の関係、(b) 代表直径と堆砂長さ  $L_s$  の関係

下では、Shields の実験における一定域（砂粒レイノルズ数は 1000 程度）にあるため、無次元掃流力が 0.08 の場合を閾値として移動限界粒径  $d_{s,cr}$  を求めた。

## 4. 調査ならびに解析結果

### 4-1 洪水痕跡調査結果

#### (1) 粒度分布

洪水後にシナダレスズメガヤの株背後に堆積した土砂の粒度特性を調査した結果を図-3 に示す。図に示すように、背後部において、 $D_{60}$ (粒度試験において全体の 60%が通過する粒径)は表面より内部の方が細かく、逆に背後部においては表面の方が細かいといえる。

背後部 B と下流部 D での堆砂粒径の違いについては、増水時に背後部では株を透過する流速の減少により細粒径土砂が堆積されるが、下流部では株を迂回してきた流れにより流速・流速変動が大きく、浮遊砂は沈降しづらく掃流砂の堆積が卓越すると考察した。また、表面の堆砂粒径の違いについては、背後部 A において洪水減水時前にほぼ平衡の堆積形状になっており、流速が遅くなり浮遊砂が沈降すると考えられる流速でも、沈降しないで流出したが、下流部 C においては、流速の低減に伴い浮遊砂が堆積したためと考えられる。

シナダレスズメガヤは洪水ピーク時に自然除去されない限り、減水時においても、その背後の剥離域に大量の土砂を溜めることがわかり、洪水減水時の水位・流速変動が重要であることを示唆している。

#### (2) 堆砂量

洪水攪乱を受けたシナダレスズメガヤの背後には、株の直径により異なるが最大で 20cm 厚の砂が堆積していた。図-2 で定義した堆砂量  $V_s$  と株の代表直径  $D_c$  との関係を図-4(a) に示す。図に示すように、代表直径が大きくなるに従い、堆砂量も増加するといった一定の関係にあると言える。また、堆砂長さ  $L_s$  と(図-2 で定義)と株の代表直径  $D_c$  の関係(図-4(b))より、代表直径が大きくなるに従い、堆砂長さも増加することがわかる。このように、シナダレスズメガヤの代表直径と堆砂量、堆砂長さに相関が認められた。

### 4-2 洪水攪乱影響を受けた翌年の生長量

図-5 より、size-A の株は洪水攪乱の影響の有無で翌年の生長に有意な差はない。しかし size-B の株は洪水攪乱を受けると、翌年の密度とバイオマスは減少する傾向があった。size-B の株は size-A の株に比べ、洪水による抗力を大きく受け、株自体がダメージを受けたことによるものと考えられる。さらに、代表直径の大きい株は小さい株に比べ洪水攪乱時に株内部に土砂や洪水による流下物を堆積させやすい。そのため、翌年に新しい芽を出す際に日射量が減少することによって

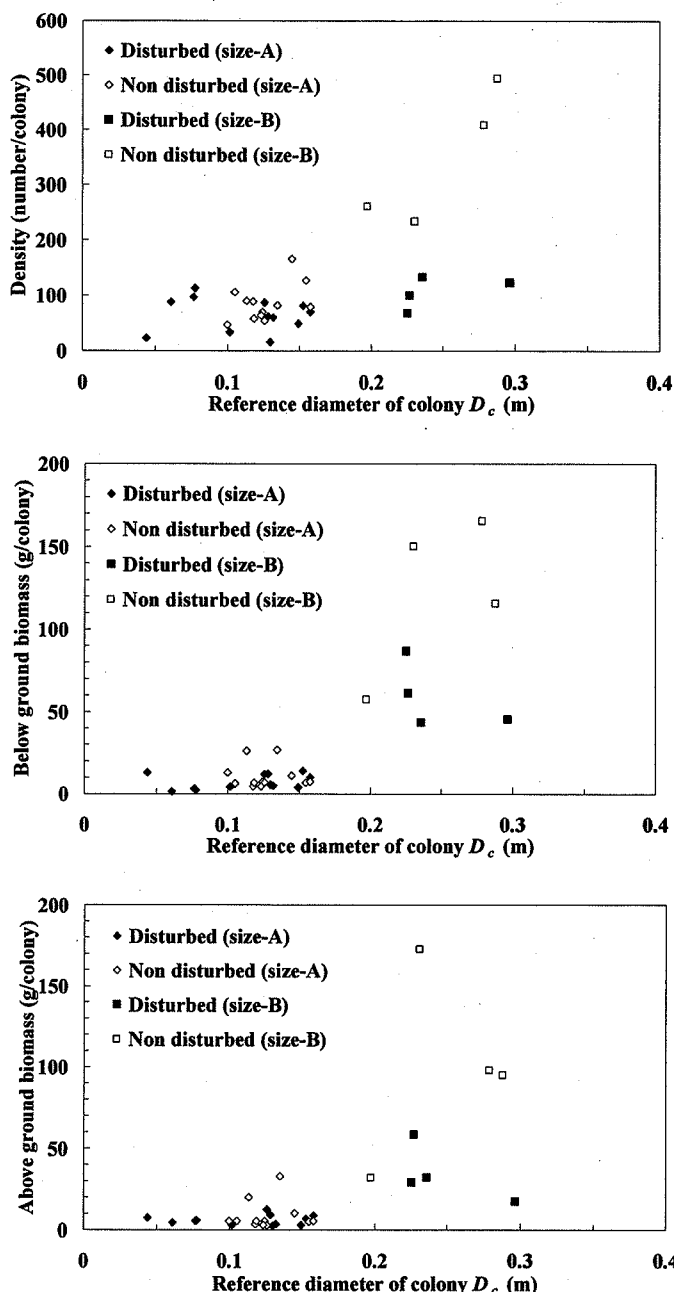


図-5 洪水攪乱(2004年10月)の有無が翌年のシナダレスズメガヤに及ぼす影響比較(2005年6月~10月に計5回サンプリング)

(a) 株の代表直径  $D_c$  と葉茎密度の関係

(b) 株の代表直径  $D_c$  と地下部バイオマスの関係

(c) 株の代表直径  $D_c$  と地上部バイオマスの関係

(size-A:  $D_c$  が 0~20cm の株, size-B:  $D_c$  が 20cm 以上の株)

生長に影響を及ぼすため、洪水攪乱を受けた翌年に葉茎密度と地上部、地下部バイオマスが減少したものと考えられる。

### 4-3 株直径と個数が土砂移動限界に与える影響

#### (1) シナダレスズメガヤの粗度特性

##### (a) 植生外の無次元掃流力

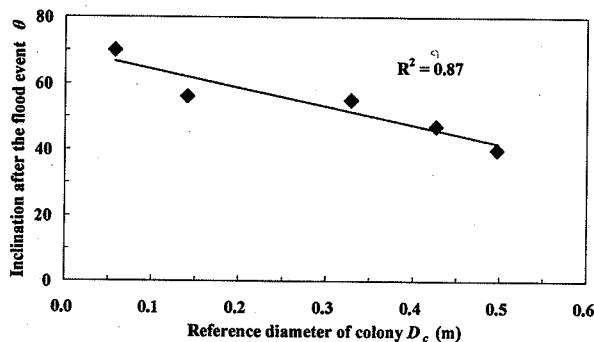
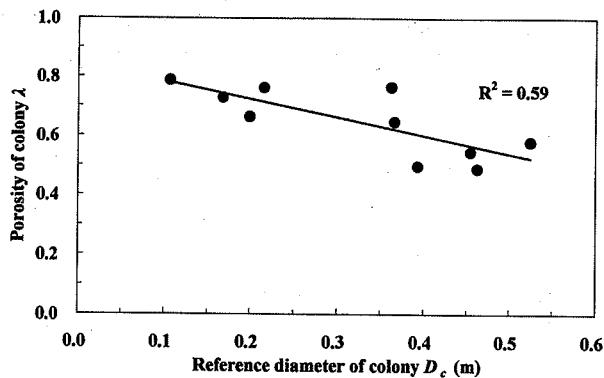


図-6 シナダレスズメガヤの粗度特性

- (a) 代表直径  $D_c$  と体積空隙率  $\lambda$  の関係  
(b) 洪水痕跡から把握した倒伏角度と代表直径  $D_c$  の関係

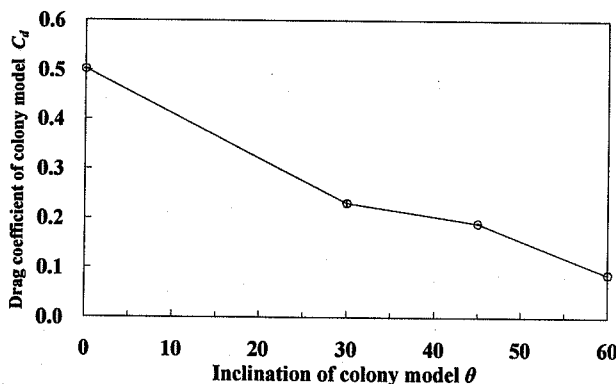


図-7 株模型の倒伏角度と  $C_d$  の関係  
誤差バーは標準偏差 ( $\pm 0.004$ )

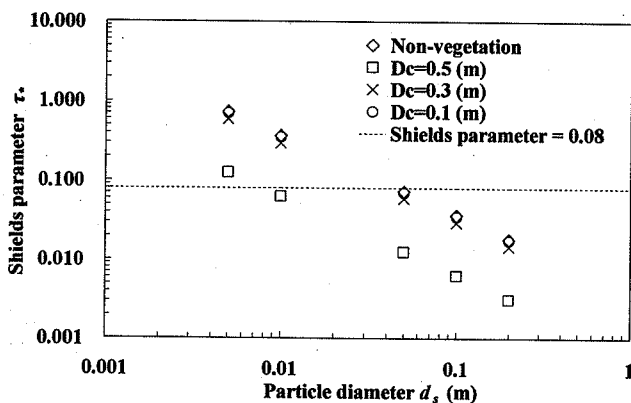


図-8 砂粒直径とシナダレスズメガヤ周辺の無次元掃流力の関係 ( $1\text{m}^2$  に 1 株の場合)

200 $\text{m}^3/\text{s}$  の流量規模時における現地中州での無次元掃流力は、植物がない場合は 0.097 となり、その時の砂粒レイノルズ数は 1250 であった。現地中州においては、同流量において現地平均粒径 1cm が移動するといえる。

### (b) 株状粗度シナダレスズメガヤの特性

シナダレスズメガヤの代表直径  $D_c$  と体積空隙率の関係を図-6(a) に示す。図に示すように、株直径が大きくなるに従って、体積空隙率が減少する傾向が見られる。また、洪水後の現地観測より求めたシナダレスズメガヤの株の大きさと倒伏角度の関係を図-6(b) に示す。図に示すように、株の直径が大きくなるに従い、洪水による倒伏角度は小さくなる。

### (2) 株の特性を考慮した風洞実験結果

図-7 に風洞実験から得られた株の倒伏角度と抗力係数  $C_d$  の関係を示す。図に示すように、株が傾き、流下方向に沿うようになるに従って、抗力係数  $C_d$  は減少する傾向が確認できる。風洞実験で用いた株模型は図-6 から得られたシナダレスズメガヤの株特性 (体積空隙率は 0.72, 倒伏角度は 0, 30, 45, 60 度) を考慮した。これらの結果からシナダレスズメガヤが洪水時に株の代表直径の違いによってどのような粗度特性を有するかを把握することができる。

### (3) シナダレスズメガヤ除去条件計算結果

シナダレスズメガヤの代表直径および株の平面密度 (個/ $\text{m}^2$ ) と移動限界砂粒直径の関係から、株背後に土砂を堆積する可能性のある繁茂状況を算出した。(図-8, 図-9)

図-8 は株状のシナダレスズメガヤ周辺において算出した無次元掃流力  $\tau$  と砂粒直径  $d_s$  を比較したものである。この図は単位面積あたりの株の繁茂個数毎に作成されるものであるが、ここでは、シナダレスズメガヤが単位面積あたり 1 株繁茂している場合の結果を示している。例えば、代表直径  $D_c$  が 50cm について見たとき、砂粒レイノルズ数から算出した無次元掃流力 0.08 を下回るのは砂粒直径が 0.008m 程度であることがわかる。

株の代表直径、単位面積あたりの繁茂個数を変化させた同様の図から移動限界砂粒直径  $d_{s, \text{crit}}$  を求め、株の代表直径との関係を把握した。その結果を図-9 に示す。シナダレスズメガヤは  $1\text{m}^2$  に直径 0.5m の株が 1 株存在していた場合には、現地での平均粒径 1cm の土砂を背後に堆積させてしまうが、 $1\text{m}^2$  に直径 0.1m の株が 16 株存在していたとしても、現地での平均粒径 1cm の土砂は移動するということがわかる。このような状況は現地においても確認されている。このことより、株の大きさの変化は土砂を堆積させる要因として強く影響を与えていると考えられる。今回観測を実施した地点においては、シナダレスズ

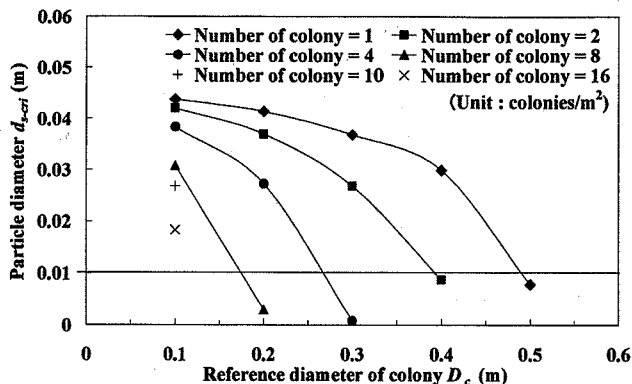


図-9 株の代表直径  $D_c$  と移動限界砂粒直径  $d_{scr}$  の関係  
(図中の  $d_{scr}=0.01$  m の実線は現地の平均粒径を表す)

メガヤを除去する条件として、 $1\text{m}^2$  当たり、①0.2m の株が 8 個、②0.3m の株が 4 個、③0.4m の株が 2 個、④0.5m の株が 1 個繁茂した場合に砂礫の移動限界を下回るほど摩擦速度を小さくするため、洪水による自然除去は難しく、人為的に除去する必要があるということがわかった。

上記の自然除去に関する知見は、今後、他地点においても判断可能な一般化をはかっていく予定である。

## 5. 結論

本研究によって、以下の点が明らかとなった。

- ① シナダレスズメガヤは株の直径に比例して、株背後の堆積土砂量を増加させることがわかった。また、洪水減水時においてその堆積長さを増加させている傾向があり、自然除去されない限りは、その株の特性に応じた土砂量を背後に堆積させる。
- ② 洪水攪乱がシナダレスズメガヤの翌年の生長に与える影響は、小さいサイズ(直径が 0~20 cm)に関しては影響が少ない。しかし、大きいサイズ(直径が 20 cm 以上)に関しては、洪水攪乱を受けた場合翌年の生長に影響を及ぼし、葉茎密度とバイオマスを減少させるということがわかった。
- ③ 現地観測と実験によりシナダレスズメガヤの粗度特性を把握し、株直径、株の平面密度というパラメータを考慮して熊谷地点に繁茂するシナダレスズメガヤ群落の除去条件を示すことができた。今回観測を実施した地点においては、シナダレスズメガヤを除去する判断基準として、 $1\text{m}^2$  当たり、0.2m の株が 8 個、0.3m の株が 4 個、0.4m の株が 2 個、0.5m の株が 1 個繁茂した場合に、洪水による自然除去は難しいということがわかった。

謝辞：本研究を実施するにあたり、国土交通省荒川上流河川事務所に資料を提供頂いた。日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究 C：代表者田中規夫）、前田

記念工学振興財団平成 17 年度研究助成金（代表者田中規夫）の一部を使用した。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 李参熙・山本晃一・望月達也・藤田光一・塚原隆夫・渡辺敏：扇状地礫床河道における安定植生息の形成機構に関する研究，土木研究所資料第 3266 号，168p，1999。
- 2) 福岡捷二・渡邊明英・田端幸輔・風間聡・牛腸宏：利根川・江戸川分派点を含む区間における流量・ヒドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価，水工学論文集，第 50 巻，pp.1165-1170，2006。
- 3) Matsumoto, J., Muraoka, H. and Washitani, I.: Whole Plant Carbon Gain of an Endangered Herbaceous Species *Aterkantoensis* and the Influence of Shading by an Alien Grass *Eragrostis curvula* in its Gravelly Floodplain Habitat, *Annals of Botany*, Vol.86, pp.787-797, 2000.
- 4) 末次忠司・藤田光一・服部敦・瀬崎智之・伊藤政彦・榎本真二：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.1-6，2004。
- 5) Tanaka, N., Takemura, T. and Shirono, Y.: Flow structures and sand deposition behind a colony-type grass on a gravel bar, 31th IAHR Biennial Congress, pp. 476-477, 2005.
- 6) 中坪孝之：河川氾濫原におけるイネ科帰化草本の定着とその影響，保全生態学研究，第 2 巻 3 号，pp.179-187，1997。
- 7) 武村武・田中規夫：株状粗度モデルに作用する流体力の評価に関する基礎実験，水工学論文集，第 49 巻，pp.871-876，2005。
- 8) 鎌田磨人・小島桃太郎・岡部健士：河川砂州上に侵入したシナダレスズメガヤを除去するのに必要な洪水営力，応用生態工学会，第 8 回研究発表会講演集，pp.97-98，2004。
- 9) 細田尚・長田信寿・村本嘉雄：移動一般座標系による開水路非定常流の数値解析，土木学会論文集，No.533/II-34，pp.267-272，1996。
- 10) Struve, J., Falconer, R.A. and Wu, Y.: Influence of model mangrove tree on the hydrodynamics in a flume, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 58, pp.1-9, 2003.
- 11) Takemura, T. and Tanaka, N.: Evaluation of expansion threshold for *Typha angustifolia* in river, 31th IAHR Biennial Congress, pp.428-429, 2005.
- 12) 土木学会，水理公式集 平成 11 年度版，p.158，1999。

(2006. 4. 6 受付)