

河川中州上に繁茂するツルヨシのランナーによる 拡大長と生産量の評価

EVALUATION OF RUNNER EXPANSION LENGTH AND PRODUCTIVITY
BY *Phragmites japonica* ON THE RIVER BAR

小川友浩¹・田中規夫²・城野裕介¹

¹学生会員 学士 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)

²正会員 工博 埼玉大学工学部助教授 建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

For elucidating the fundamental characteristics of *Phragmites japonica* that grow on a gravel-bed river bar in middle stream of Ara river, artificial sedimentation experiment on the plants' colony was conducted and the strength of runner was measured by push-pull gauge. Quadrates were set and runner expansion was measured seasonally. Sedimentation experiment with 0.1m thickness on May had no effect on the growth of *P. japonica*. The length of runner is closely related to the cumulative shoot height of parent colony of the runner. Even the newly formed colony has enough strength to stand against the high velocity. The velocity is higher than that for the initiation of the gravel movement. Then the lateral distribution and their seasonal development of the colony is very important to evaluate their effect on the flow resistance. Dynamic growth model of *P. japonica* formulated by using the lateral enlargement characteristics of the runner has a potential to express the seasonal variation of shoot biomass and lateral biomass distribution.

Key Words : *Phragmites japonica*, runner, sedimentation effect, colony, biomass distribution

1. はじめに

ツルヨシ (*Phragmites japonica*) は、洪水時に土砂を捕捉すること、強い群落拡大能力を保有していることにより、砂州の固定化・樹林化促進に大きな影響を与えている。また、ツルヨシなどの草本は、水質浄化機能¹⁾や河岸侵食防止機能²⁾、動物の生息環境をも有しているため、近年盛んに研究が進められている³⁾⁴⁾。

水域に生息するヨシやツルヨシは、洪水による侵食・土砂堆積の他、地上器官の損失などによる攪乱を受ける。そうした攪乱影響を評価するために、内田ら³⁾は異なる高さで地上部を刈り取る攪乱を与え、地上部損失に対するヨシ、ツルヨシ両種の戦略的特性を把握し、ツルヨシの特性として強攪乱を与えた場合において匍匐茎(ランナー)を再生させ、新たな群落を形成する傾向にあると示唆した。安藤ら⁴⁾はバイカモの復元を目的とした場合に、ツルヨシを複数回刈り取ることがツルヨシの生長抑制に有効であるとしている。

しかしながら、ツルヨシの生長特性や地上部損失による影響評価に関するこれらの研究を除くと攪乱影響を評

価する研究はあまりなされていない。また、ツルヨシの柔軟さから想定すると洪水による地上部損失より堆積による影響のほうが大きいと考えられる。

ヨシ等の高茎草本が繁茂する高水敷において、洪水時の高茎草本の粗度係数及び河川の流下能力の評価方法は確立されてこなかった。しかし、近年、福岡ら⁶⁾は、洪水時の流れにおいて、その流速分布、ヨシの挙動と粗度係数、水面形の関係を明らかにし洪水時のヨシの倒伏領域推定方法および流下能力評価方法を示唆した。また、平野ら⁷⁾は植物の流水および流砂量に与える影響を力学的モデルにより理論的、実験的に検討を行った。

ツルヨシ群落の繁茂域は5月から8月にかけて急激に拡大し、株を形成する。このような群落の拡大の把握と粗度空間の関係は重要であるが、植物量の季節変化が平面的粗度分布特性に及ぼす影響は未解明である。

そこで、本研究は洪水時の攪乱を考慮し、今年伸ばしたランナー上の株に対して引張実験を行い、流体力との関係を把握し、堆砂実験により堆砂の影響を解明した。そして、観測結果からツルヨシの拡大モデルを構築し、モデル解析によりツルヨシの繁茂域を推定し、群落拡大による粗度空間の変化を把握した。

2. 観測方法および解析方法

(1) 現地観測

観測は図-1に示すように埼玉県熊谷市の荒川大橋上流約2km (36°8'N, 139°22'E) の砂礫河原において行った。表層, 地下50cm層における砂礫の粒径は, とともに砂質分から粒径20cm程度の礫であった。土壌栄養状態 (T-N) は0.029~0.066 (mg/g) であった。流下方向に20m, 横断方向に7mのツルヨシ群落で現地観測を行った。昨年, その群落はランナーを横断方向に10m程度伸ばした。なお, 本研究では定着から3年以上経過したと考えられる株を群落と呼ぶこととする。

(2) 観測方法

株を6種類, ランナーを3種類に分類した。記号の説明を表-1に示す。また, 群落の拡大のイメージとともに各記号の説明と位置関係を図-2に示す (以下はこの記号で説明する)。図-3にツルヨシの構成をC3-2-Aを例として示した。

ランナーの定点観測は, R2-1, R3-1タイプのランナーに対してランナー長を測定した。定点観測用のランナーは, 5月7日 (127 day : Julian day (1月1日を1 dayとした通日), 表記) にR2-1, R3-1タイプにつきそれぞれ5本ずつ選定を行なった。

株とランナーの関係を把握するために, ランナーの伸びが止まった7月16日 (197 day) に, ランナー長観測を行った株 (C3, C3-2-A) の葉茎高さを測定した。そして, ランナー長と葉茎高さの関係をより明確にするために, 8月10日 (222 day) にC3-2-A (10株) のランナー長と葉茎高さを追加測定した。

各器官 (葉茎, ランナー, 地下部) の乾燥重量の変化を把握するために, 植物サンプルを採取した。植物サンプルは, ランナーの定点観測を行った平均的な長さのランナーを有するC3株を1つとC3-2-A株を2つの計3つを採取した。また, 土壌栄養塩 (T-N) 状態を把握するために, 7月20日 (201 day) と8月10日 (222 day) に土壌サンプルを採取し, 水酸化ナトリウム・ペルオキソ二硫酸カリウム法により測定した。

(3) 堆砂実験

堆砂実験は洪水により堆砂する場合を想定して行った。人為的堆砂は5月11日 (131 day) に実施した。堆砂厚さは10 cm, 30 cmで行い, 堆砂厚さ10 cmは2種類 (ランナーが存在する株 (C3-2-A) と存在しない株 (C3-2-B)), 堆砂厚さ30 cmはC3-2-Bのみに対して行った。実験を行う前の葉茎密度とランナー長を表-2に示す。堆砂実施後, 再生長してきたすべての葉茎の葉茎高さとランナー長を測定した。

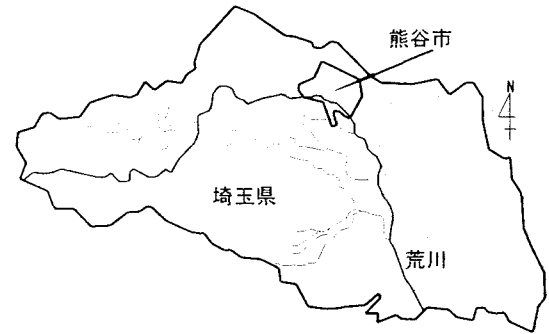


図-1 現地観測場所

表-1 記号説明

記号	説明
C3	群落(3年以上の株)
R2-1	2年目の株から伸びた1年目のランナー
R3-1	群落(3年以上の株)から伸びた1年目のランナー
R3-2	群落(3年以上の株)から伸びた2年目のランナー
C2-1	R2-1上の株
C3-1	R3-1上の株
C3-2-A	R3-2上の株(1年目のランナーを伸ばした株)
C3-2-B	R3-2上の株(1年目のランナーを伸ばさない株)
C3-2-C	R3-2上の株(1年目は生長したが2年目は生長しない株)

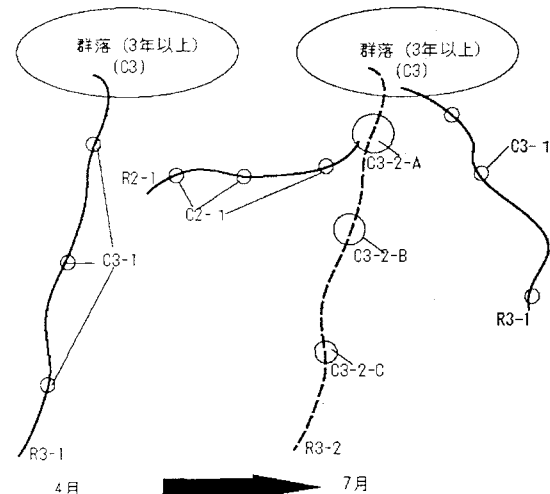


図-2 群落拡大イメージ図

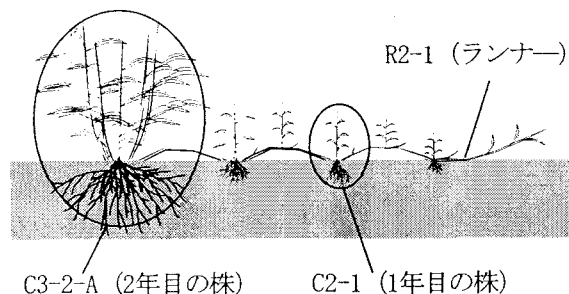


図-3 ツルヨシ構成図 (C3-2-A株)

表-2 堆砂実験実施前の状態

	number of shoot (shoots/colony)	length of runner (m)
10cm(C3-2-B)①	8	-
10cm(C3-2-B)②	12	-
10cm(C3-2-A)⑤	12	0.7
10cm(C3-2-A)⑥	10	0.5
30cm(C3-2-B)③	5	-
30cm(C3-2-B)④	8	-

(4) 引張実験

引張実験はランナー（R2-1, R3-1）上に形成する1年目の株（C2-1, C3-1）に対して実施した。図-4に示すように、C2-1, C3-1それぞれにつき株と株の中間地点（節がある場合は1 cm程度ずらした。）のランナーをプッシュプルゲージ（AIKOH 9550A）で引っ張り、株（C2-1, C3-1）とランナー（R2-1, R3-1）の耐力を求めた。株の耐力は2株を引っ張るため、株が抜けた場合における測定値の1/2とした。ランナーの耐力はランナーが切れた場合の測定値とした。実験を行った後に、両端の株とその間のランナーを採取し、それぞれの乾燥重量を器官（ランナー、根、地下茎）ごとに測定した。実験は1年目の株が定着し始めた日（5月28日）より4回（5月28日、6月5日、6月23日、8月10日）実施した。

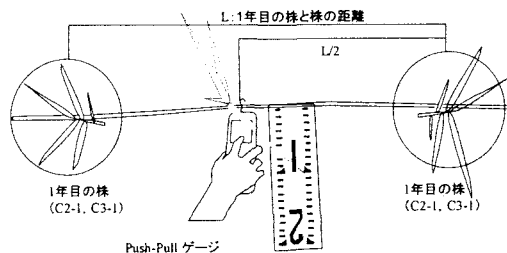
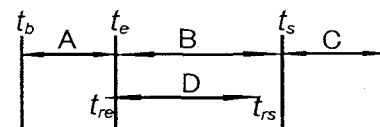


図-4 引張実験概要（上方からの図）



A：初期生長期，B：光合成生長期

C：老化期，D：ランナー生長期

生長開始日	$t_b = 90(\text{day})$
従属生長終了日	$t_e = 130(\text{day})$
老化開始日	$t_s = 240(\text{day})$
ランナー生長開始日	$t_{re} = 120(\text{day})$
ランナー伸張停止日	$t_{rs} = 220(\text{day})$

図-5 ツルヨシの生活史

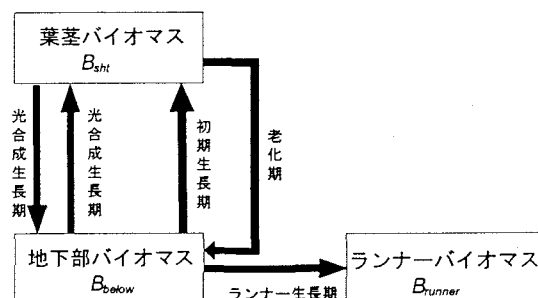


図-6 各器官間の同化産物輸送の概念

(5) ツルヨシ生長モデル

図-5に示すように、生活史を表わす生長開始日、従属生長終了日、老化開始日はツルヨシの生活史⁹⁾や、Kang et al.⁵⁾によるツルヨシの地上部バイオマス観測値を元に決定した。また、ランナーの生長開始日および伸張停止日は、現地観測において、ランナーは5月上旬（5月7日：127 day）に伸び始め、7月上旬（7月7日：188 day）にその伸びが止まったことからそれぞれ決定した。また、各器官間の同化産物輸送の概念図を図-6に示す。初期生長期において、同化産物は地下部から葉茎に輸送され、この期間はほとんどの栄養を地下部に頼っている。光合成生長期において、同化産物は葉茎から地下部へ、地下部から葉茎へ輸送される（株における葉茎密度の増加）。ランナー生長期において、同化産物は地下部からランナーへ輸送される。老化期には、地上部に固定されていた同化産物が葉茎から地下部に転流される。

以上のように、各器官（葉茎、地下部、ランナー）間の同化産物の輸送を考慮して、各器官に対してそれぞれ支配方程式を導いた。そして、その支配方程式をもとにツルヨシの生長モデルを構築した。葉茎は粗度特性として、地下部は再生長において、ランナーは拡大に関して、それぞれ重要であると考え、この3種類に分類した。生長モデルは、田中ら⁹⁾によって提案されたコウボウムギ平面拡大モデルを基本とする。田中ら⁹⁾はコウボウムギの生長過程を日当たりのエネルギー収支による常微分方程式で表現し、横走地下茎による拡大能力を評価した。本研究ではコウボウムギの横走地下茎をランナーに置き換えモデルを構築した。

(6) ツルヨシの拡大モデル

ツルヨシは4月下旬から7月上旬にかけて、ランナーにより平均7 m程度拡大した（観測地点における平均値）。そのランナー上に約40 cm間隔で地下部を持つ株を形成し、その間に地上部のみの葉茎を生長させた。拡大モデルでは生長モデルで計算されたランナーバイオマス（ラ

ンナー上の株のバイオマスを含む）からランナーの本数と長さを計算し、拡大する方向は乱数を発生させることにより拡大を表現した。ランナーの総伸張は

$$runner_l = \frac{B_{runner} - \sum (B_{runner_shoot} + B_{runner_below})}{B_{runner_unit}} \quad (1)$$

と定義した。ここに、 $runner_l$ (m) はランナーの総伸張、 B_{runner} (g) はランナーバイオマス、 B_{runner_shoot} (g) はランナー上の葉茎バイオマス、 B_{runner_below} (g) はランナー上の1年目の株の地下部、 B_{runner_unit} (g/m) はランナーの単位長さ当たりのバイオマスである。

ランナーの生成本数は、ランナー長が最大10 m程度であったことから、生成本数は、

$$runner_num = \frac{runner_l}{10.0} + 1.0 \quad (2)$$

とした。ここに、 $runner_num$ はランナーの生成本数であり、 $runner_num$ は小数点以下切捨てとする。

3. 観測結果および解析結果

(1) 観測結果

5月7日 (127 day) にR2-1, R3-1のそれぞれにつき選定した5本のうち, R2-1は2本, R3-1は3本がランナーとして生長した. R2-1, R3-1のタイプのランナーは5月7日 (127 day) に生長を開始し, 7月7日 (188 day) まで急激に伸張した. その長さは5.2~9.2 mに達し, 伸び速度は最大0.15~0.21 m/dayであった. ランナーR2-1とR3-1の株であるC3-2-AとC3との葉茎高さ, 葉茎本数, ランナー長の平均値と標準偏差を表-3に示す (7月16日 (197 day) の観測値). 表-3が示すように, 群落から伸びたランナーであるR3-1は, 2年目の株から伸びたランナーR2-1と比較して, ランナー長および伸び速度が大きな値となった.

(2) 堆砂結果

堆砂厚さが10 cmの株 (10 cm (C3-2-B) ①, ②, 10 cm (C3-2-A) ⑤, ⑥) はすべて再生長し, 4ヶ所のうち3ヶ所においてランナーが伸張した. 堆砂厚さが30 cmの株 (30 cm (C3-2-B) ③, ④) は再生長しなかった. この時期の堆砂では30 cmの堆砂が発生する場合, C3-2-Bに関しては再生長が難しいと考えられる. 再生長した株およびcontrolの株の平均葉茎高さ, 葉茎本数, ランナー長, ランナー本数を表-4に示す. なお, 表-4において, 堆砂実験を行った株は8月10日の観測値, controlの株は定点観測を行っていたC3-2-A株の7月20日の観測値を示す. 堆砂を実施した株のランナーは, 3.8~6.5 mであった. 表-4に示すように, 10 cm堆砂の場合において, 堆砂の有無に関係なく, 葉茎高さおよびランナー長は同程度生長した.

堆砂実験を行った初期は, 実験以前に存在していた葉茎のうち2~4割程度の葉茎を再生長させた. 10 cm (C3-2-A) ⑤, ⑥の初期に再生長した葉茎は2本であり, その葉茎のうち1本は株の葉茎が再生長し, もう1本は堆砂を行う前に伸びていたランナーの中間で再生長した. また, その葉茎は他のものより高く生長した. そして, 堆砂直後に再生長した葉茎が, 堆砂していない株 (C3-2-A, B) の平均葉茎高さである30~40 cmに達したときに, 新たな葉茎を生長させる傾向にあった.

(3) 引張実験

C2-1, C3-1タイプの株が抜けるまでの測定値と抜けた株の根の乾燥重量との関係を図-7に示す (C2-1とC3-1とで区別して実験を行わなかったため, 図-7はC2-1とC3-1をまとめてプロットしている). また, 根の表面積は根の半径に比例し, 根の重量は根の半径の2乗に比例する. すなわち, 抜けた株の耐力は根の表面積に比例すると仮定すると, その耐力は, 根の乾燥重量の1/2乗に比例する

表-3 定点観測結果 (7月16日)

	R2-1(定点)	R3-1(定点)
shoot height (m)	0.49±0.11	0.60±0.12
number of shoot (shoots/colony)	12	15
length of runner (m)	6.08	8.28±0.67

表-4 堆砂実験と定点の株との生長量の比較 (堆砂実験8月10日, 定点7月16日の観測)

	10cm(C3-2-B)	10cm(C3-2-A)	control(C3-2-A)
shoot height (m)	0.31±0.15	0.44±0.16	0.49±0.11
number of shoot (shoots/colony)	8	13	12
length of runner (m)	4.55	6.50	6.08
number of runner (runners/colony)	1~2	1	1
runner (m/day)	0.135	0.17	0.15

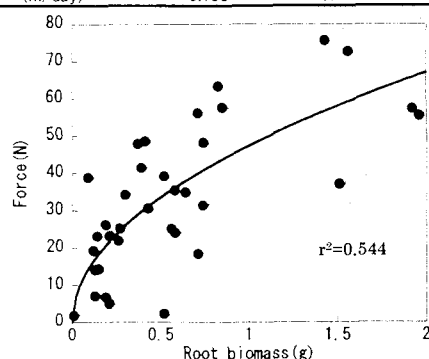


図-7 株の耐力と根の乾燥重量の関係

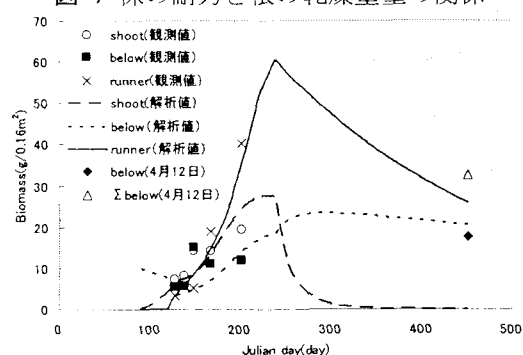


図-8 解析結果と現地観測との比較

と考えられる. (決定係数 $r^2=0.54$). 8月10日 (222 day) における実験では, 10回測定を行った中で8回の割合でランナーが切れた. そのとき, ランナーの耐力は 76.3 ± 34.0 N (幅は標準偏差を示す) であり, その両端の株の根の合計乾燥重量は, 3.16 ± 1.40 gであった.

(4) 生長解析結果

図-8に2年目の株の生長解析結果と現地観測結果を比較して示す. 生長期における解析結果は, 現地観測結果と比較して妥当な結果が得られたと考える. 4月12日 (102 day) において, 3年以上経った株 (群落) の地下部及びランナー上に形成されるすべての株の地下部の乾燥重量がそれぞれ17.67 g, 32.7 gであった. 1年後(400 day)の解析値はこうした観測値に漸近している. 3年以上経った株 (群落) と2年目の株とでは, 特性が異なるが老化期の季節変化の目安とした. 老化期について, 今後, 観測結果を加えて, モデルの精度をあげる必要がある.

(5) 拡大解析結果

図-9に、初期地下部バイオマス10 gのツルヨシが1株入植した場合（(x,y)=(28,28)に初期条件を与えた）において、その後の地下部バイオマス平面分布の変動を解析した結果を示す（3, 5年目の200 dayでの解析結果）。なお、ツルヨシのランナー上の株には、さらにランナーを伸ばすものと伸ばさないものが存在するが、同図ではランナーを伸ばす株のみの分布を示してある。3年目から5年目にかけて、株の密度が急激に増加する。この結果より、ツルヨシが入植してから数年間における急激な密度増加（抵抗の増加）を評価することの重要性がわかる。

4. 考察

(1) 株とランナーの関係

C3-2-A, C3株の総葉茎高さとR2-1, R3-1タイプのランナー長との関係を図-10に示す。図-10が示すように、ランナー長は、株の総葉茎高さと正の相関がある（R2-1の決定係数 $r^2=0.44$ ）。また、堆砂実験を行った株に関しても同程度の関係があり、10 cm堆砂による影響は少ないといえる。また、定性的ではあるが、7月16日（197 day）にランナーを株から切り離してみたところ4日後には枯れ始めた。この時期の1年目の株は葉も存在することから光合成をしていると考えられる。しかし、1年目の株は根を十分に発達させていないことから、生長に必要な栄養物質を吸収できないと考えられる。親株と縁を切った後にランナーが枯死したということからも、ランナーの生長は親株からの栄養物質の輸送に頼っている割合が高いと考えられる。このことより、1年目の株（C2-1, C3-1）およびランナー（R2-1, R3-1）の長さは、堆砂の有無に関係なく親株の総葉茎高さに大きく依存すると考えられる。

(2) 株の耐力と土砂移動発生流速の比較

ツルヨシが洪水により流される流速と土砂移動の発生流速との関係を把握するために以下の計算を行った。C2-1とC3-1の根の耐力が20 Nの時を例として考える（耐力としては低い値を想定）。ランナーと一年目の株（C2-1, C3-1）が水の流れによって受ける抗力が根の耐力を超える力を発生させると仮定し、その抗力を与える流速を、

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

より求めた。ここに、 F ：抗力（N）、 ρ ：水の密度（ kg/m^3 ）、 C_d ：抗力係数（=1.0）、 A ：投影面積（ m^2 ）、 u ：流速（ m/s ）を示す。抗力係数は茎及びランナーに関しては円柱として考え、円柱の抗力係数1.0を用いた。しかし、洪水時には大きく傾くため茎の抗力係数は1.0より

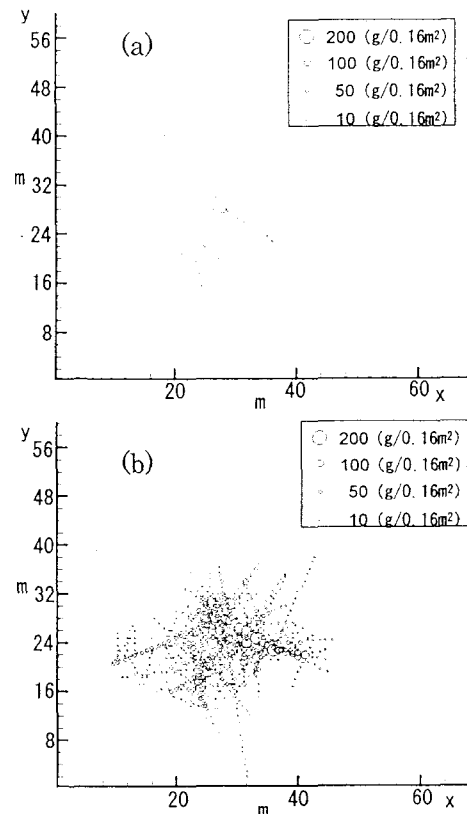


図-9 ツルヨシの平面拡大解析結果

(a)3年目（200day）、(b)5年目（200day）

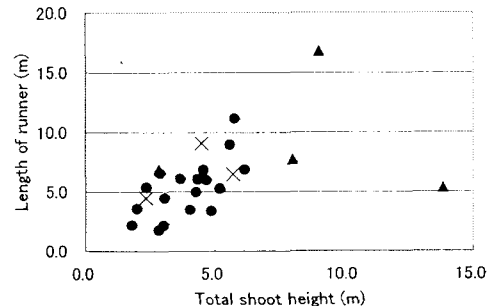


図-10 株の総葉茎高さとランナーの関係

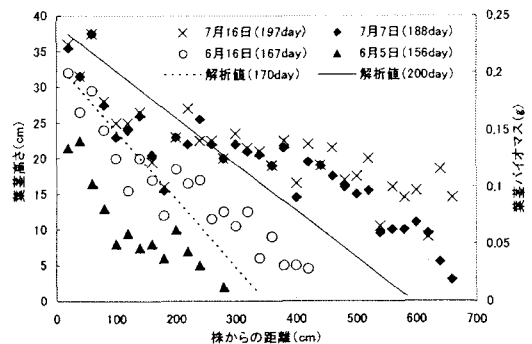


図-11 株からの葉茎高さ分布（観測値）と葉茎バイオマス分布（解析値）

は遥かに小さいと考えられる。また、葉に関してはJames et al.^[10]によると、高レイノルズ数の場合においてはヨシの葉茎の抗力は約2.0となるとしている。そこで、この計算においては、抗力係数を平均値1.0と与えた（詳細については更なる検討が必要である）。投影面積はラ

ランナー及び葉茎の太さと長さ（高さ）より算出した。
（葉茎の葉に関しては考慮していない。）20 Nの抗力がかかるときの流速は、約3.2 m/sである。

また、現地の最大粒径20 cmの礫が流される限界摩擦速度は、岩垣の式¹¹⁾における粒径が0.303 cm以上の場合の式

$$u_{*c}^2 = 80.9d \quad (4)$$

より求めた。ここに、 u_{*c} ：限界摩擦速度（cm/s）， d ：粒径（cm）を示す。同式を用いると粒径が20 cmのときの限界摩擦速度は0.4 m/sとなる。

この限界摩擦速度の場合の平均流速を摩擦速度と平均流速の関係式

$$\frac{u_*}{u} = \sqrt{\frac{gn^2}{R^{1/3}}} \quad (5)$$

より求めた。ここに、 u_* ：摩擦速度（m/s）， g ：重力加速度（m/s²）， n ：Manningの粗度係数（=0.035 s/m^{1/3}とした）， R ：径深（m）を示す。

式(5)より、最大粒径20 cmのときであっても平均流速は2.8 m/sとなる。株の耐力は最大粒径の移動が起きる流速よりも大きい。すなわち、株が抜けるより遥かに早く土砂移動が発生するといえる。

(3) 拡大解析による1年目の株の葉茎高さ

図-11に現地観測から得られた1年目の株の葉茎高さ分布と拡大解析から得られた葉茎のバイオマス分布を示す。図-11に示すように、現地観測結果から葉茎高さは株から離れるにつれ、低くなるのがわかる。また、その傾きは季節により異なる。解析結果より得られた葉茎バイオマスも同様な傾向を示している。葉茎バイオマスと葉茎高さには相関があることから、解析により求められた葉茎バイオマスから葉茎高さを算出することが可能である。よって、将来的には、拡大解析により株からの距離及び季節変化に応じた1年目の株の葉茎高さを推定し、粗度の平面分布の季節変化を解析することが可能になると考えている。

5. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) ランナーの伸びが止まった時期において、株のすべての葉茎高さとランナー長を測定し、株とランナー長との関係を把握した。その結果、ランナー長と株の総葉茎高さとは正の相関が確認された。
- (2) 洪水攪乱を想定して人為的な堆砂実験を行い、堆砂による影響を解明した。10 cm堆砂において、堆砂の有無に関係なく同程度生長した。株とランナー長の関係に関しても、堆砂実験をしていない株との差異は確認できなかった。

- (3) 引張実験を行い、株が抜ける流速と土砂移動が発生する限界摩擦流速を比較した。1年目の根が発達していない株においても、土砂移動が発生する流速よりも遥かに速い流速に耐えうることができる。
- (4) 拡大解析モデルにより、ランナー上の1年目の株のバイオマス分布を求めることが可能となった。

以上のことから、ツルヨシの1年目の株は土砂移動よりも速い流速に耐えうる。すなわち、粗度として考える必要があり、その季節的变化に応じた粗度を与えることが重要となる。

謝辞

本研究を行うにあたっては、埼玉大学水理工学研究室に所属する八木澤順治氏、山内孝太氏、竹松紘之氏に現地観測を手伝っていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 戸田祐嗣、端戸尚毅、池田駿介：砂礫河原に生息するツルヨシの生長および栄養塩吸収に関する研究、水工学論文集、第48巻、pp.1615-1620、2004。
- 2) 福岡捷二、福田朝生、永井慎也、小谷哲也、富田紀子：ヨシを用いた水際保護の研究、水工学論文集、第47巻、pp.997-1002、2003。
- 3) 内田泰三、田崎冬記、丸山純孝、佐藤洋平：Phragmites属、特にヨシ(*P. australis*(Cav.)Trin.)およびツルヨシ(*P. japonica* Steud.)群落の地上部損失に対する反応、日本緑化工学会誌、Vol.29, No.1, pp. 74-79、2003。
- 4) 安藤義範、笹田直樹、山本孝洋、内智子、国井秀伸：ツルヨシ除去によるバイカモ群落の復元手法、応用生態工学 Vol. 4, No.2, pp. 153-162、2001。
- 5) Kang, S., Kang, H., Ko, D., and Lee, D.: Nitrogen removal from a riverine wetland: a field survey and simulation study of *Phragmites japonica*, *Ecological Engineering*, Vol.18, pp. 467-475, 2002。
- 6) 福岡捷二、島谷幸宏、田村浩敏、泊耕一、中山雅文、高瀬智、井内拓馬：水流による高水敷上のヨシ原の倒伏・変形と粗度係数に関する現地実験、河川技術論文集、第9巻、pp.49-54、2003。
- 7) 平野洋一、水原邦夫、大手桂二：植生水路の流水抵抗と掃流砂に関する研究、新砂防学会誌、Vol.40, No.3, pp.4-10、1987。
- 8) 田中規夫、渡辺肇、谷本勝利、小松原肇：海浜植生コウボウムギの生長及び平面解析、海岸工学論文集、第49巻、pp.506-510、2002。
- 9) 財団法人リバーフロント整備センター編：川の生物図典、pp. 94-95、1996。
- 10) James, C. S., Birkhead, A. L., Jordanova, A. A. and O'sullivan, J. J.: Flow resistance of emergent vegetation, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.42, No.4, pp.390-398, 2004。
- 11) 土木学会編：水理公式集 平成11年度版、p.158、1999。

(2004. 9. 30 受付)