

オギ・ヨシ等の植生の河岸保護機能の評価¹⁾

福岡捷二*・渡辺明英**・新井田 浩***・
佐藤健二****

洪水流や航行する船の造る波の河岸侵食力に対し、河岸に生育しているオギやヨシがどの程度の河岸侵食軽減機能を有するかを現地観測によって調べている。オギやヨシの生育環境、これらの植生が河岸侵食を軽減する機構を明らかにした上で、オギやヨシを河岸保護に活用する場合、保護機能が発揮される限界流速を理論的に算定し、これが工学上有効であることを現地観測結果によって、明らかにしている。

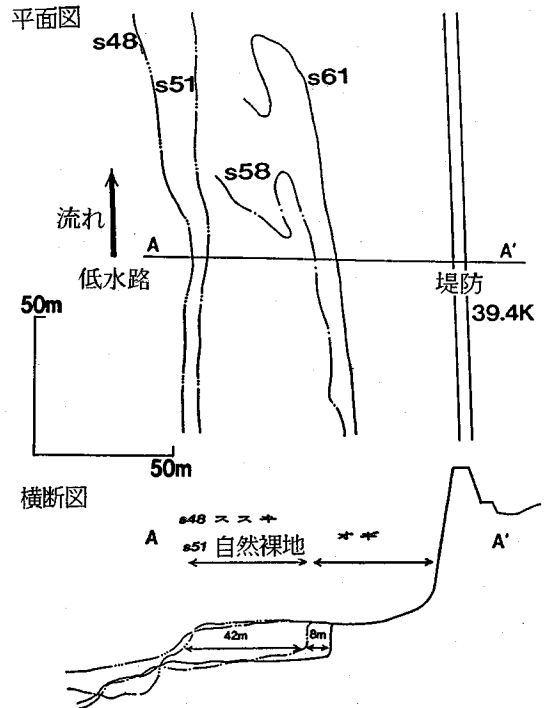
Key Words: natural vegetation, bank protection, vegetation revetment, flood current, boat generated waves, energy dissipation

1. 序 論

河道内の植生は、洪水時流れの抵抗要素となり河川水位に影響を与える一方、景観・生態系等の河川環境面で大きな役割を果たしている。近年、河道内植生の洪水時の抵抗や河川環境に果たす役割など水理学面¹⁾、環境面²⁾からの研究が多くみられるようになってきている。河道内植生の植物生態学的見地からの研究もなされており³⁾、河川敷内のどのような場所にどのような種類の植生が群生するかといった知見も蓄積されつつある。

近年、多自然型川づくりが我が国の河川で一般的に行われるようになり、その中のひとつに自然の植生を川づくりに生かそうという試みが展開されている。これは望ましい方向であり、河川の植生を河岸保護に利用するための研究がいくつか行われている^{4),5)}。しかし、これらに関する技術の蓄積は現在のところ十分ではなく、より一層の調査・研究が求められている。

本研究は、河岸付近に群生する植生、特にオギおよびヨシの根による土壌保持機構に着目し、これらの植生の河岸保護工としての利用可能性を検討する。最初に、オギとヨシが河岸侵食を抑制する機構を明らかにする。次に、これらの植生をもつ河岸が洪水時にどれだけの流速まで侵食に耐えることができるかを現地での試験とその結果を用いた解析によって明らかにする。最後に、河岸のヨシ原が船の造る波のエネルギーを減衰させる効果を明らかにし、波による河岸侵食を防止する上で有効であ



図一 高水敷上植生と河岸侵食の経年変化

ることを示す。

2. 高水敷上のオギの河岸侵食抑制効果

(1) オギの生育環境と河岸侵食抑制機構

オギが河岸侵食をどれほど抑制するかを把握するために、多摩川中流部 39~40 km、右岸の横断測量に基づく河岸侵食量と高水敷上植生の関係を調べ、その結果を図一に示す。

多摩川で高水敷上に十分水がのる程の大きな洪水は昭和 49 年, 54 年, 57 年 (8 月, 9 月) に発生している。

1) 本論文の内容の一部は水工学論文集に発表されているが、新しい検討結果を加え、まとめたものである。

* 正会員 工博 Ph. D. 広島大学工学部教授, 第 4 類 (建設系) (〒724 東広島市鏡山 1-4-1)

** 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室 主任研究員

*** 正会員 工修 国土開発技術研究センター 調査第 1 部研究員

**** 正会員 工修 (株)熊谷組, 横浜支店

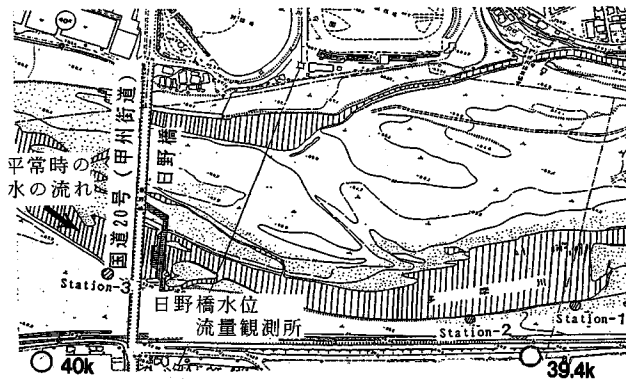


図-2 現地調査区域

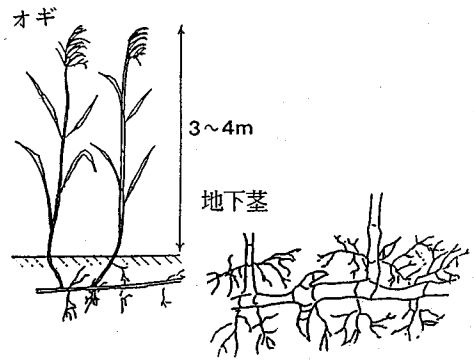


図-3 オギ

表-1 オギと生育場所の特性 (初夏～晩秋)

		STATION-1	STATION-2	STATION-3
オギの特性	高さ(m)	3.0	3.0	2.0~3.0
	密度(本/m ²)	40~60	120~140	170~250
	茎径(cm)	1.0	0.5~0.8	0.7~1.0
	地下茎深(cm)	15~50	20	10~30
	地下茎径(cm)	1.5~2.0	0.7	0.7~1.0
河岸状況				
土壌特性	粒径(mm)	細砂 d ₁₀ 0.05 d ₃₀ 0.17 d ₅₀ 0.18	細砂 (10cm深) (30cm深) d ₁₀ 0.03 0.04 d ₃₀ 0.10 0.12 d ₅₀ 0.19 0.30	細砂 (50cm深) d ₁₀ 0.03 d ₃₀ 0.08 d ₅₀ 0.15
	体積比(%)	土粒子 35~45 水 20~30 空気 30~40	土粒子 40~50 水 30~40 空気 20~30	土粒子 40~50 水 15~35 空気 25~40
	空隙比	1.2~2.0	1.0~1.7	1.0~1.2
	透水係数(cm/s)	5.5 × 10 ⁻³	(10cm深) (30cm深) 1.1 × 10 ⁻³ 1.3 × 10 ⁻³	0.84 × 10 ⁻³

昭和48年は、高水敷にススキが群生していたが⁶⁾、昭和49年に大きな洪水を受けたため、昭和51年には、高水敷が自然裸地に変化した。これは、倒れたススキ群上に浮遊土砂が堆積し、枯れたためと考えられる。その後、昭和51~58年の7年間に4回もの大きな洪水を受け、河岸が大きく侵食され、後退したが、堤防側から進行してきた高水敷上のオギ群との境界で河岸侵食がほぼ止まっていることがわかった^{7),8)}。昭和61年の河岸と、昭和58年の河岸を比較すると、この間に侵食はそれほど進んでいない。このことから、高水敷上のオギが河岸の侵食を抑制する効果をもつことが推定できる。

そこで、オギの河岸侵食抑制効果について現地ですらに詳しく調べた結果を述べる。図-2は、多摩川の調査区域で、調査地点はSTATION1, 2, 3である。ここには日野橋水位・流量観測所がある。STATION1, STATION2は洪水流が河岸に向かってくる場所である。STATION3は平水時には水が流れているが、洪水になると主流が河道中央に寄り、洪水流による侵食量が

STATION1, 2に比して小さい場所である。オギは、河川の中流~下流の砂質土壌が厚く堆積する中州や高敷上によく見られる。図-3に示すように、オギはススキとよく似た外形を有しているが、ススキは株状に生えるのに対して、オギは地下茎を持ち根系がよく発達している。土砂に埋もれても根系の節から発芽し、その高さは3m~4mにも達する。茎間隔は、10cm程度とかなり密に生育し、地下茎でつながっている。調査区域は、勾配1/280、堤間幅400m、右岸高水敷幅70m程度で、1960年以来流路部の平均河床高が3m程度低下している。低水路河岸はシルト混じりの礫からなり、その上に洪水流が巻き上げた砂が最大70cm堆積し、オギはこの細砂に根を張り、群生している。

表-1には3つの場所におけるオギと土壌の特性を示す。これより、オギは洪水の冠水頻度の小さい高水敷上に生育すること、オギの地下茎は砂層にしか入らず、生育密度、茎や地下茎の大きさは砂層の厚さに強く影響されていることが明らかである。

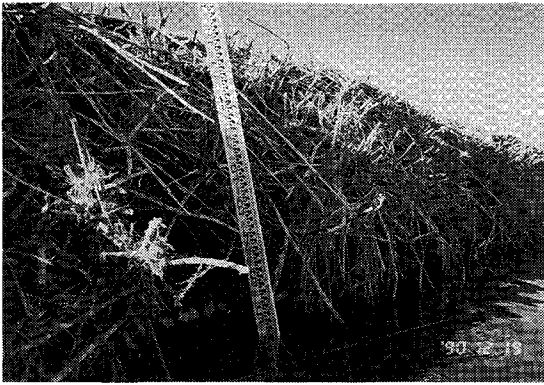


写真-1 洪水後のオギを有する河岸

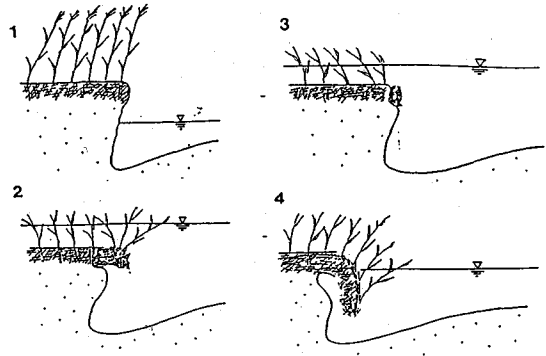
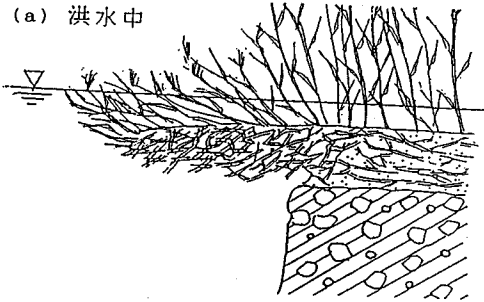
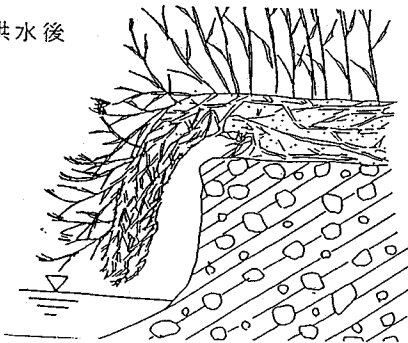


図-5 オギ河岸の侵食過程



(a) 洪水中



(b) 洪水後

図-4 オギを有する河岸の形態

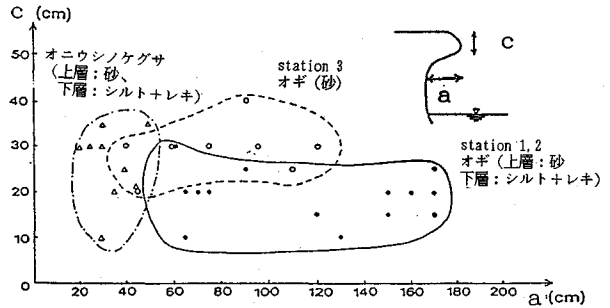


図-6 侵食形状図

洪水時の河岸のオギは図-4 (a) に示すように水面に浮き、洪水が低水路を流れているとき、オギは写真-1, 図-4 (b) に示す様にヒサシ状となる。オギ以外の河岸植生もヒサシの長さに差はあるものの、一般にこのように上層が張り出した侵食形態をとる。ヒサシ状河岸として一般的な構造である下部にシルト混じりれきがあり、上部の砂層上にオギを持つ河岸が、どのような過程を経てヒサシ状になるかを次に述べる。

図-5 に洪水時の低水路河岸の侵食過程を示す。水位が上昇してくると河床の洗掘とともに砂れきからなる河岸下層が侵食を受ける (図-5 (a))。上層はマット状に連続している地下茎によって強く保持されているため、

相対的に侵食を受けにくい。地下茎の周囲の砂が洗われると、地下茎群に直接、流れの力が及ぼされるが、節の引張り破壊に至ることはほとんどない。河岸下層の侵食がさらに進むと、地下茎と土壌からなるヒサシ部分の安定が失われ、地下茎は引っ張り破壊を受けてヒサシは崩落する。洪水中はこのようなプロセスを経て、河岸侵食が進む。前述のように、洪水水位が高水敷高さ以下になると、ヒサシは垂れ下がる。この段階でも流速は十分大きい、ヒサシは粗度を増大させ、流速を減じ、侵食を小さくするとともに、河岸への水当りを緩和する。このようにヒサシは、水防工法の木流し工と同様な役割を果たしているといえる。

河岸のヒサシ形状を調べ、ヒサシの長さ a とヒサシの厚さ c を用いて作成したヒサシ河岸の形状図を図-6 に示す。ヒサシの長さとは、垂れ下がったヒサシを伸ばして測定した長さである。図-6 には、オニウシノケサも示している。オニウシノケサは根株の大きさが 50 cm 程度で、河岸に群生している。密な細い根毛が河岸の土砂を保持している。この図より、オギとオニウシノケサ河岸の侵食形態の違いがわかる。オニウシノケサをもつ上層土の崩落は、下層が 1 株に相当する 50 cm 程度侵食されると発生する。

一方、オギ河岸の場合は場の条件や根の張る砂層の厚さにもよるが、河岸下層がかなりの侵食を受けても上層

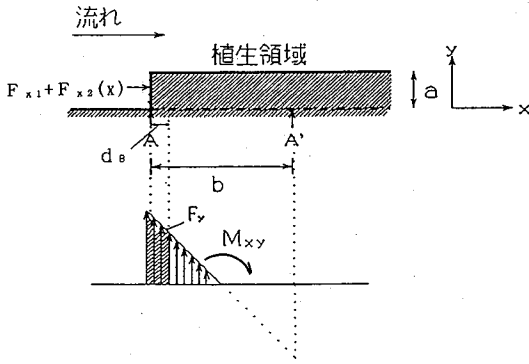


図-9 x-y 面内の曲げ応力分布

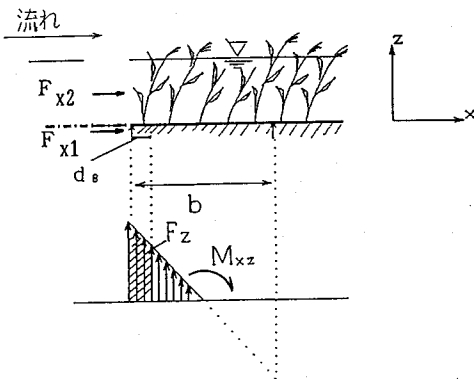


図-10 x-z 面内の曲げ応力分布

る距離, u :主流の接近流速, u' :オギ群内の流速 ($=u \exp(-2.15x')$), c :ヒサシ基部の厚さ, h :ヒサシ上の水深である。オギ群内の流速の減衰定数は, $C_D \cdot \phi \cdot \sigma$ などに基いて求められるべきものであるが, 実際の抵抗はオギが倒伏したり, 葉の影響を受けるため, 径のみでは決まらない。ここでは, 減衰定数(=2.15)は, 現地のオギ(平時:空隙率96.5%)に対応する植生模型(空隙率:91%)の内の流速を測定し, これを準用し, 外力の算定に用いる C_D は, 1.0と仮定した。

このとき, ヒサシ破壊部(流下方向の長さを d_B とする)に作用する流下方向の流体力 F_x は,

$$F_x = F_{x1} + F_{x2}(d_B) \dots \dots \dots (3)$$

である。ヒサシ状の河岸は F_x によってそれぞれ図-9, 図-10に示すように, xy 面内, および xz 面内で曲げモーメント (M_{xy} , M_{xz}) を受ける。

$$M_{xy} = (F_{x1} + F_{x2}(b)) \cdot a/2 \dots \dots \dots (4)$$

$$M_{xz} = F_{x2}(b) \cdot (c+h)/2 \dots \dots \dots (5)$$

これらの曲げモーメントによって, A-A' 面に生じる曲げ応力 F_{xy} , F_{xz} を三角形分布と仮定する。このとき, d_B の部分に作用する y 方向, z 方向の力は, 曲げ応力及び重力・浮力から次のように求まる。

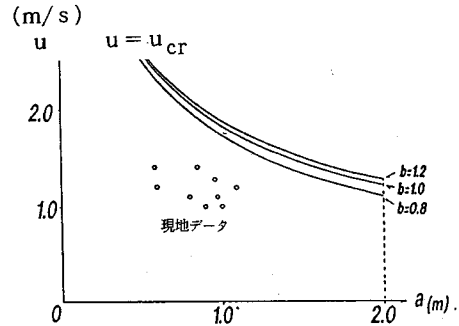


図-11 ヒサシ状河岸の張出し長さと限界流速の関係

$$F_y = \int_0^{d_B} 6M_{xy}(1-2x/b)/b^2 dx \dots \dots \dots (6)$$

$$F_z = \int_0^{d_B} 6M_{xz}(1-2x/b)/b^2 dx \dots \dots \dots (7)$$

$$+ \{(\rho_m - \rho) a \cdot c + (\rho_v - \rho) a \cdot h \cdot \sigma' \cdot \pi \phi^2 / 4\} g h_B$$

ここで, ρ_m :根の部分の密度(1.2), ρ_v :茎の部分の密度(0.7)である。ここでは, 重力と浮力はほぼ釣り合う程度の値であり, 両者の差は抗力による曲げ応力よりも小さいので無視できると考えて良い。以上から, d_B に働く外力の合力ベクトル $F = (F_x, F_y, F_z)$ が求まる。この外力 F と式(8)で与えられる破壊面でのオギ地下茎の引張り強度 R とのつり合い関係から式(9)のヒサシの破壊限界流速 u_{cr} が求まる。

$$R = r \cdot \sigma' \cdot d_B \dots \dots \dots (8)$$

$$u_{cr} = [2g \cdot r \cdot \sigma' \cdot d_B / \{\rho \cdot C_D \cdot a \cdot (K_1^2 + K_2^2 + K_3^2)^{1/2}\}]^{1/2} \dots \dots \dots (9)$$

ここに, r :オギの地下茎の引張り強度(27 kgf/本), σ' :単位流下距離あたりのオギ地下茎の本数, また,

$$K_1 = c + \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot \int_0^{d_B} f(x') dx'$$

$$K_2 = 3a/b \cdot d_B/b \cdot (1 - d_B/b) \cdot \{c + \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot \int_0^b f(x') dx'\}$$

$$K_3 = 3 \cdot d_B/b \cdot (1 - d_B/b) \cdot \{\phi \cdot h \cdot \sigma \cdot (c+h) \cdot \int_0^b f(x')^2 dx'\} / b$$

$$f(x') = \exp(-2.15x')$$

である。

水没深 $h=1$ m の場合について, ヒサシ長さ a を変数として求めた計算限界流速 u_{cr} と現地(多摩川40 km付近)における測定データを図-11に示す。計算では, $c=0.4$ m, $\phi=0.01$ m, $\sigma=90$ 本/m², $\sigma'=40$ 本/m², $d_B=0.1$ とした。現地データは, 洪水後に河岸に残っているヒサシ長を測量し求め, a の値と低水路満杯水位より60 cm程度高い水位で測定した流速値を用いてプロットされている。限界流速そのもの測定されていないが, 現地に残されているヒサシは計算 u_{cr} よりも小さく, 式

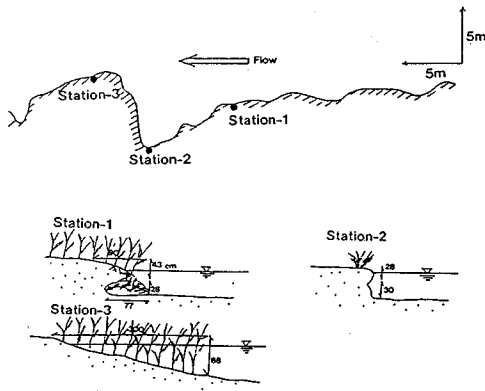


図-12 ヨシ河岸の状況

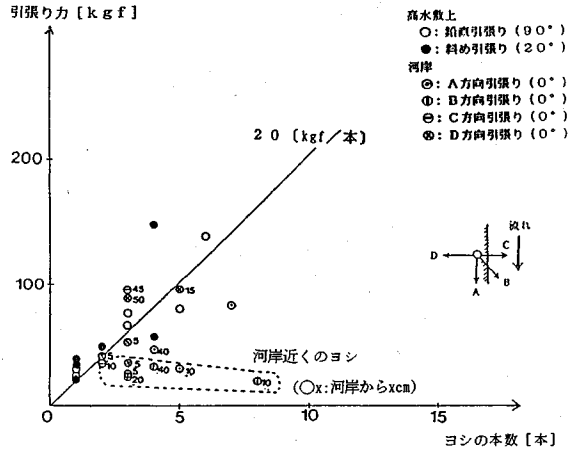
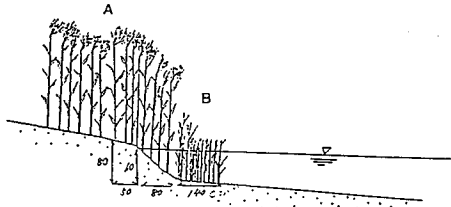


図-14 ヨシ地下茎の引張り強度

植生データ	A	B
高さ	3m 程度	0.7m 程度
密度	25本/50×50cm ²	56本/50×50cm ²
茎径	1cm	0.5cm
地下茎深	50cm	25cm
地下茎径	1.5cm	1.5cm
地下茎密度	5本/30×30cm ²	5本/30×30cm ²

河岸形状



土壌データ	A	B
体積比 (15cm 深)		(25cm 深)
(土粒子)	42%	46%
(水分)	43%	39%
(空気)	14%	15%
空隙率(V_v/V_s)	1.29	1.52
透水係数	1.6×10^{-1} (cm/s)	9.0×10^{-1} (cm/s)

図-13 ヨシと生育場所の特性

(9) は限界流速の概略値を与えているといえよう。図中の $b=0.8, 1.0, 1.2$ m は、それぞれ主流の接近流速 u の 82%, 90%, 93% がオギ内で減衰してしまう距離である。 $a=2.0$ m より大きいところが示されていないのは、高水敷高と低水路水面高の差が 2.0 m より大きくなると、ヒサシ自身が自重で落下するため、河岸保護効果は期待できないためである。また、この高低差が大きいと河岸の安定性も小さく、安全度は低い。この図は、河岸流速が 2 m/s 以下であれば、0.8 m 以上のヒサシ長さを保持できることを示す。

3. ヨシ原の河岸保護効果

(1) ヨシの生育環境と河岸保護機能

ヨシは、湖沼周辺や河口域など停滞水域に一般に見られる植生で、オギと同様に高さが 3 m 程度で、地下茎を持つ。調査は、多摩川の河口から 6 km 付近で行われ

た。感潮域のため水位の変化が大きく、平水時の流速は小さい。また湾曲部の内岸に位置しており、土砂が堆積しやすい場所である。河岸の縦・横断形状を図-12に、またヨシと生育場所の特性を図-13に示す。

対岸にボートの係留場所があり、ボートの造る波によって河岸が侵食されている場所が見られる (STATION 2)。ヨシが緩やかな横断河床勾配の場所に群生している場合 (STATION 3) は、ボートの波を減衰させるヨシの効果が大きく河岸がまもられている。そうでない場所 (STATION 1) でも、群生するヨシの根の周囲の砂が洗い出されても、露出した無数のヨシの地下茎がヒサシ状に河岸を覆うことになるため、侵食が抑制されることがわかる。

(2) ヨシの引張り強度とヨシ河岸の洗掘限界流速

原位置引張り試験器を用い、ヨシの引張り強度を測定した。試験条件は、河岸からの距離、引張り角度、引張る方向を変えてそれぞれ数ケース測定した。測定結果を図-4に示す。この図より河岸から少し離れた位置ではヨシの耐力は 1 本当たり 20 kgf 程度であることがわかる。一方、河岸際に生えているヨシの耐力は小さい。これは、河岸際にはヨシの地下茎周囲の土壌がほとんど洗い流され、露出していたり、土壌による固定が弱いため引張力が小さくなっているためと考えられる。しかし、この状態にあっても河岸の近くの流れを弱め、またボートのつくる波を減衰させる効果がある (図-12 STATION 1)。

オギと同様の方法でヨシの侵食限界流速を見積もる。ヨシ原は河岸近傍の低水路河床から生えている。したがって、流体力は上部のヨシに作用する。また、重力と浮力の差は抗力よりも小さいと仮定する。ヨシ原と河岸に作用する流体力と曲げモーメントを図-15のように、モデル化する。このモデル化に基づいて、外力 F と破壊面でのヨシの引張り抵抗力 R とのつり合い式からヨ

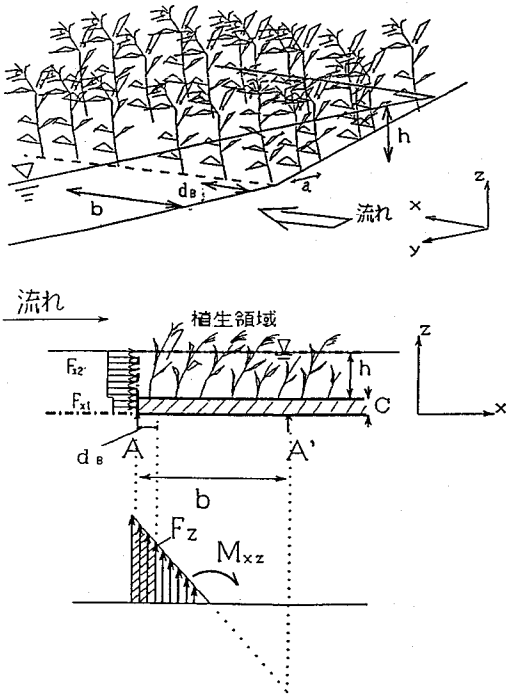


図-15 ヨシ河岸のモデル化

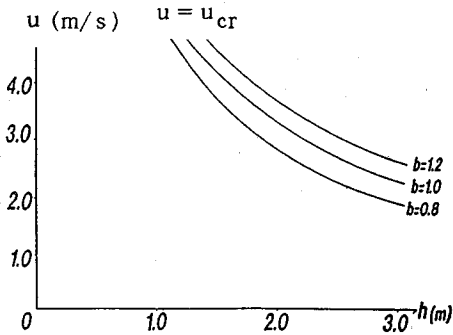


図-16 ヨシ原上の水没水深と侵食限界流速の関係

シ原の侵食限界流速が式 (10) で定まる。

$$u_{cr} = [2g \cdot r \cdot d_B / (C_D \rho \cdot a \cdot h \cdot (K_1^2 + h^2 \cdot K_2^2)^{1/2})]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、

$$K_1 = \phi \cdot \int_0^{d_B} f(x')^2 dx'$$

$$K_2 = 3\phi \cdot d_B \cdot (1 - d_B/b) \cdot \int_0^b f(x')^2 dx' / b^2$$

$$f(x') = \exp(-2.15x')$$

ヨシ原の水没水深 h を変数としたときの限界流速 u_{cr} の計算結果を図-16 に示す。ヨシは一般に流速の遅い下流部に生育し、緩やかな横断勾配を持つ河床から生えている。そこでは、大流速が生じることは希であり、侵

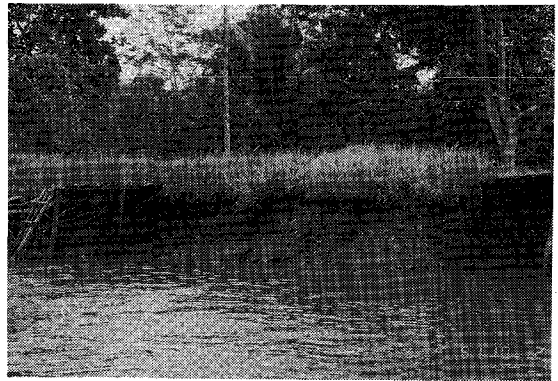


写真-3 船の波による河岸侵食

食を受けにくい安定な状態で生育している。図-16 は、ヨシ原は大きな流速が生じない限り、侵食されないことを示す。したがって、ヨシ原は河岸の保護工として十分な機能を果たすものと考えられる。

(3) ボートの造波とヨシ原による減衰

河川における航行船の増大は、いくつかの新しい問題を引き起こしている。問題の一つに運搬用及びレジャー用ボートの造る波がある。ボート通過時の波は河岸で遊ぶ人々の利用空間を損ない、また写真-3 に示すように、著しい河岸侵食を引き起こす。欧米河川では、すでにボートの波による河岸侵食の調査研究及び被害軽減対策は実行されているようである⁹⁾。東南アジア諸国では舟運が人々の移動手段であるところが多い。このため、河川交通によって著しい河岸侵食が生じ、深刻な問題を引き起こしている。我が国では、ボートによる河岸侵食対策も含めて水面利用・水面航行のあり方の検討が行われている¹⁰⁾。

ヨシ原の河川環境に果たす役割は自明であるが、治水上の機能については、よくわかっていないのが現状である。水際にあるヨシ原が船の造る波のエネルギーを減殺し、水面を静穏に保ち、さらに波による河岸の侵食防止を図る上で有用となれば、ヨシ原の治水的・環境的機能を生かしながら保全・再生を図っていく十分な動機が与えられる。ヨシ原群が船の造る波のエネルギーをどの程度まで反射し、減衰させるかを船の走行試験を行って調べた¹¹⁾。用いた船は建設省荒川下流工事事務所所有の河川巡視船“すみだ”と“あらかわ”の2隻である。それぞれの船の諸元を図-17 に示す。

試験区域は、荒川 14.5 km 右岸のヨシ原前面の水域である。ここは感潮域で水流の速度はほとんど無視できる。河道断面、河岸の勾配、ヨシ原の生育状況を図-18 に示す。船の航行位置での水深は約 6 m、ヨシ原前面での水深は 1.0~1.5 m である。2つの船の造る波の波形勾配 H/L はほぼ同じである。しかし、“あらかわ”が造る波の波高、波長は“すみだ”よりも十分大きい。測定

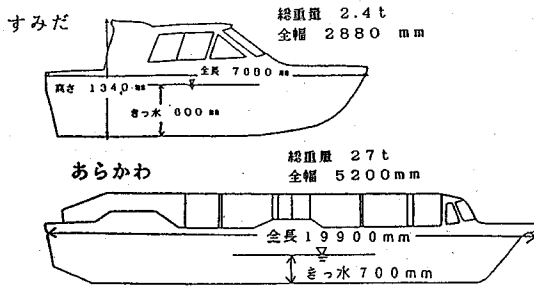


図-17 河川巡視船

表-2 船の波の特性

	巡視船“すみだ”	巡視船“あらかわ”
波高	13~23cm	6~52cm
波速	1.85~2.67 m/s	2.11~3.56 m/s
周期	1.7~2.4 秒	2.2~4.6 秒
波長	5.5~6.6 m	5.1~15.9 m
波の数	10~12 個	10~14 個

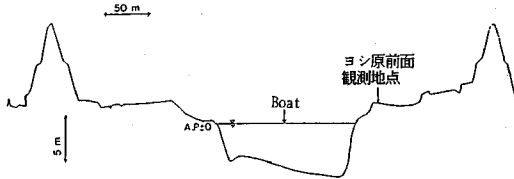


図-18-a 14.5 km 地点での河道断面図

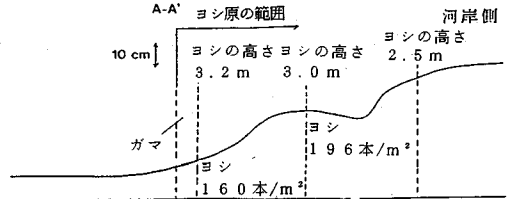


図-18-c 河床形状とヨシ原の植生状況 (A-A')

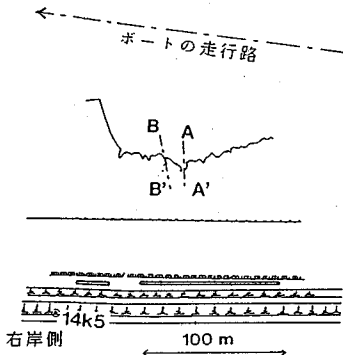


図-18-b 現地実験付近の平面図

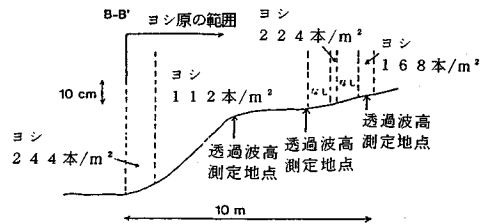


図-18-d 河床形状とヨシ原の植生状況 (B-B')

された波の諸元を表-2に示す。図-19は船の速度と微小振幅波の仮定を用いて計算した船の波のエネルギーフラックス ($W=1/8 \rho g H^2 C_g$) の関係を示す。船の型式から“すみだ”では、船の速さ $V_b=(6\sim 9)\text{m/s}$ で大きなエネルギーを持つ波が河岸へ押し寄せ、また、“あらかわ”では 6m/s で、最大エネルギーフラックスをもつ。

船のつくる波について、多くの研究が行われている。これらの研究成果を用いて航跡波を求め、船の造る波の特性について述べておく。航跡波は移動する波源によって造られた波の重ね合わせで表すことができる¹²⁾。

現地の水深は 8m 前後のため、実際の船の波は浅水波である。しかし、波源の形状を求めることは煩雑であることから、簡潔に解析を行うため、波形を深海波の二次元コーシー・ポアソン波で表し、浅水効果を無視する。

波高分布とは一般に、次式で表現される。

$$\zeta(t, r) = \int_0^\infty \cos(\sigma t) J_0(kr) k dk$$

$$\cdot \int_0^\infty g(\alpha) J_0(k\alpha) \alpha d\alpha$$

t : 波が生起してからの時間

r : 波源からの距離

σ : 周波数 ($\sigma^2=gk$)

k : 波数

J_0 : 0次のベッセル関数。

ここで、 g は波源での波の形を表す関数である。これは、船の大きさ、形状等に対して定められるものであるが、ここでは、解析を簡単にするために、点源を仮定し、

$$\int g(\alpha) J_0(k\alpha) \alpha d\alpha = \frac{1}{2\pi}$$

と置く。この波源を速度 v_s で連続的に動かすとき、任意の場所 (x, y) で生じる波高は

$$\zeta(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty \cos\left(\frac{\sigma X}{v_s}\right) \cdot J_0(k\sqrt{y^2 + (x-X)^2}) k dk dX$$

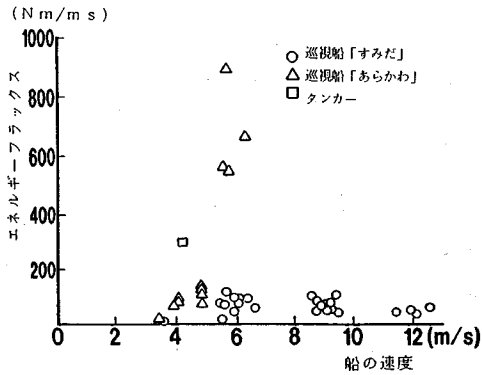


図-19 船の速さと波のエネルギーフラックスの関係

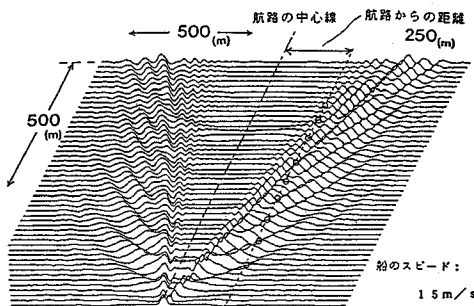


図-20 進行する波源によって伝わる波

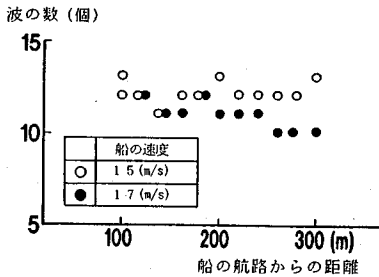


図-21 船によって造られる波の数

で表される。ここで、 x 軸は船の進行方向と逆向きに、 y 軸は x 軸に垂直にとっており、原点はそのときの波源の位置である。式を数値積分して得られる波高分布の一例を図-20に示す。この図から以下のことが言える。船が造る波は進行方向と、ある角度をなす波群として伝わる。実際には波源からみると固定されたこの波形が船の進行方向に進むことになる。したがって、波源近傍を除けば、航路からの距離によって波の特性が大きく異なることはない。これらは、既往の航跡波の研究で既に明らかになっていることではあるが、荒川の観測でもこのことが確認されたと言えよう。航路からの距離で表される位置での波形は、図に示した被線上のものとなる。この位置では、丸印を付けた9個の大きな波が通過することになる。同様に、航路からの距離と船の速度を変えて

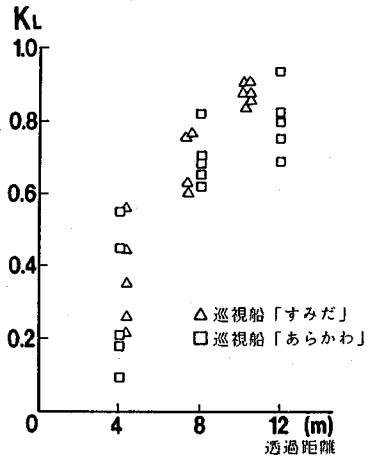


図-22 船の波のヨシ原でのエネルギー減衰率

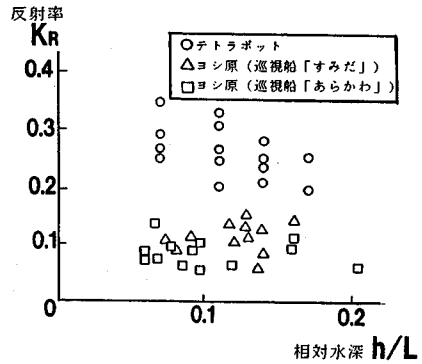


図-23 船の波のヨシ原での反射率

船によって造られる波の数を求めると、図-21のようになる。これより、船によって造られる波の数は9~13程度であり、船が1回通るたびに河岸に向かってくる波の数はほぼ決まっていることがわかる。現地観測で得られた船が造る波の数は巡航速度の速い“すみだ”の場合で10~12個、巡航速度の遅い“あらかわ”の場合で10~14個であり、解析はこれをほぼ説明している。

ヨシ原が存在するところでは、波のエネルギーは一部反射波、一部は透過波のエネルギーとなり、残りはヨシ原の中でのエネルギー損失となる。このときエネルギー保存則は、入射波高 H_I 、反射波高 H_R 、透過波高 H_T を用いて表される反射率 $K_R=H_R/H_I$ 、伝達率 $K_T=H_T/H_I$ 、エネルギー損失率 K_L によって次式の様に表される。

$$1 = K_R^2 + K_T^2 + K_L \dots\dots\dots (11)$$

ヨシ原で波は不完全反射し、節と腹を持つようになる。標尺を波の進行方向に20cm間隔に10本立て、ヨシ原前面の1つの波群の最大波高を各位置で読み取り、1つの波の波高の変化を求めた。このようにして得た波の峰の包絡線と谷の包絡線を求め、Healyの方法で反射率 K_R を求めた。エネルギー損失率は、ヨシ原内部へ4.4m、

7.40, 9.9 m の位置に標尺を設置し、透過波高 H_T を測定して求めた。

図—22 は、波がヨシ原を通過する距離とそれに対する波のエネルギー損失率の関係を示す。波がヨシ原を 8 m 透過するとエネルギー損失率は (60~80%) にも達する。このように“あらかわ”がつくる大きな波のエネルギーに対しても、ヨシ原のエネルギー減衰効果は大きく、ヨシ原の背後の河岸に対する波の侵食力は、ほぼゼロとみなしてよいことが分かる。また図—23 より、ヨシ原の波の反射率はわずかに 0.05~0.15 となり、テトラポットの反射率 0.2~0.35 よりも十分小さい。これよりヨシ原は、反射波を十分小さくする機能をもつことがわかる。このことは、ヨシ原は船の通過後速やかに水面を静穏化することを意味し、水面利用の上からもヨシ原は有効であることを示す。

以上よりヨシ原のエネルギー減衰特性、反射特性は、他の人工消波構造物に比して、高いことが明らかとなった。ヨシ原は河岸侵食軽減、水面の静穏化をもたらす、治水面からも大いに利用に値するもので、ヨシ原の環境的機能と併せて安全でうるおいのある水辺を構成する重要な要素である。

4. 結 論

本研究では、川辺に生育しているオギおよびヨシを河岸保護工として用いるために必要な技術について検討を行った。現地調査・現地試験および解析を通して得られた主な結論を示す。

- ①オギは、洪水時に河岸をヒサシ形状に維持すること、および洪水中、洪水減衰期にこのヒサシが河岸を覆うことで河岸侵食を抑制することを明らかにした。
- ②オギおよびヨシの引張り強度を明らかにするとともに、これらの植生を河岸保護工として利用する際の侵食限界流速の概略値を示した。
- ③オギおよびヨシの生育環境は、主に冠水頻度等の水理的性質、および根の入る土壌の厚さ、特性の影響を受け

ることを明らかにした。

④ボートが造る波の特性を明らかにするとともに、ヨシ原がボートの波のエネルギーを減衰させるのに効果的であることを明らかにした。

現地調査を遂行するにあたり、建設省関東地方建設局荒川下流工事事務所沿川再開発課、および京浜工事事務所調査課の協力を得た。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 福岡捷二・藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，建設省土木研究所報告，第 180 号-3，pp.129~192，1990。
- 2) 桜井善雄：水辺の生息環境と植生，雨水技術資料，Vol. 9，pp. 17~34，1993。
- 3) 奥田重俊：多摩川流域の植生と植生図，多摩川流域自然環境調査報告書第 1 次調査別刷，300 p.，1976。
- 4) 福岡捷二：河岸植生と植生護岸～土砂移動現象に関するシンポジウム論文集～，芦田和男先生退官記念，pp.83~114，1992。
- 5) 福岡捷二：自然の機能を生かした治水対策，東京工業大学土木工学科研究報告，No. 47，pp. 31~46，1993。
- 6) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：多摩川の植生，1973。
- 7) (財)とうきゅう環境浄化財団：多摩川河川敷現存植生図，1979，1984。
- 8) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：多摩川河川敷現存植生図，1986。
- 9) R.W. Hemphill and M.E. Bramley：“Protection of River and Canal Banks” CIRIA, Butterworth, pp.18~22, 1989。
- 10) 建設省関東地方建設局，埼玉県，東京都：荒川水系水面利用計画，77 p.，1991。
- 11) 福岡捷二・甲村謙友・渡辺明英・三浦央晴：船が造る波のエネルギーを減衰させる河岸ヨシ原の効果，水工学論文集第 36 巻，1992。
- 12) H.Lamb：Hydrodynamics, Dover Publications, New York, 1932。

(1993.12.20 受付)

THE BANK-PROTECTING FUNCTIONS OF COMMON REED AND DITCH REED

Shoji FUKUOKA, Akihide WATANABE, Hiroshi NIIDA and Kenji SATO

Through field observations and hydraulic experiments we have revealed the mechanism by which common reed and ditch reed growing along river banks reduce bank erosion by mitigating erosive forces acting on natural banks of, for instance, flood flow and waves produced by boats. We also theoretically assessed critical velocities at which bank-protecting functions of reed can be brought out, the engineering validity of the theoretical approach were proved in field investigation.