

## 11. 河川水草帯における水の滞留特性の把握と適正水草帯規模の提案に関する研究

1. 研究の目的と方法
2. 水草帯の特性に関する現地調査
3. 水草帯の地下水位と土壤水質に関する現地調査
4. 水生植物相に関する現地調査
5. 水草帯周辺の流れ特性に関する水理実験
6. まとめ

大阪大学工学部教授 村岡 浩爾  
大阪府立工業高等専門学校教授 多田 博登  
岡山理科大学教養部助教授 波田 善夫



## 1. 研究の目的と方法

豊かな自然、うるおいのある生活等の合言葉のもとで、地域住民が身边に接触できる水環境が望まれている。都市域およびその近郊においては、河川が最も身近な親水の対象であろう。建設省においても、近年、河道の整備事業の中に環境保全事業が組み込まれていることが多い。特に豊かな自然の確保のために、高水敷の水生植物を保全することが多い。しかしながら、単なる自然の保護だけでは河川出水時の流動に関する保全に支障を及ぼすこともあり得るため、適正な水草の規模や状態を計画立案するために、水草帯の形狀的な特性、植生の特性、流れとの関係、地下水や土壤水の水質といった観点からの調査研究が必要である。

調査対象区域は、淀川河口から12~13kmの湾曲部の右岸側に位置する豊里地区の水草帯を含む高水敷とする。この地域は自然保護の対象としてヨシやオギの群生する水草帯を形成している。水際は整備された低水敷との境界として抽水植物がせり出した凹んだりする波状水際線をなしている（付録写真参照）。

調査研究の方法は以下の通りである。

1. 調査対象地域の植相図を踏査によって作製する。
2. 水際線形状の季節変化を確認し、合わせて水際線付近植相の変化も把握するため、小型飛行機による空中ビデオ撮影を繰り返し実行する。
3. 高水敷の適当な位置に横断測線を設け、測線上の4測点で、地下水位の観測、深度別土壤水試料についての陽イオン・陰イオン水質項目の分析を行う。
4. 室内水理実験として水路の側岸に沿岸線変化を持たせ、流れ特性、抵抗特性を検討し、水草帯形狀の持つ意義を検討する。

## 2. 水草帯の特性に関する現地調査

### 2. 1 現地植生帯の概要

調査対象植生帯として淀川河口より12~13kmの豊里地区右岸高水敷に広がるヨシ原である。淀川におけるヨシ原は豊里の他に、城北、鶴殿、向島、中津付近があるが<sup>1)</sup>、常時河川水面の抽水域であること、感潮域ないこと、釣り人などの侵入が少ないとことなどから本地域を選んだ。対象区域の上および下流では、低水敷護岸および高水敷の整備ができており、植生らしいものは余り見られない。しかし対象の約1km区間は地元の要望などによってバクダン池と言われる多数の池の散在する自然の高水敷がそのまま残されていて、川柳が散在する中、ヨシ、セイタカヨシ、オギなどがお互いに小さい群落を形づくり密生する植生帯が形成されている。特に12kmから12.8kmの間は釣り人も侵入しにくくなっている、自然堤防状の汀線沿いや抽水域植生の平面形状は自然の状態を保っていると思われる。建設省近畿地方建設局淀川工事事務所作成の相観植生図を見ると、最大の部分を占めるのがヨシ群落であり、次にセイタカヨシがとりわけ自然堤防状に高くなっている沿岸帶に偏って分布している。オギは箇所としては少ないが比較的広い地域を占めている。その他池の周辺にマコモ群落が小規模に分布している。汀線の外の抽水域はヨシのみで形成されている。

豊里地区の約2km下流に河口堰が設置されていてその上流の水面のコントロールを行っている。

また3km上流に右派川神崎川への放流口、更に付近に多くの上水や工業用水などの取水口がある。植生帯付近は6月から8月にかけて比較的大きな流量が出現する程度で常時は流れは微少である。

対象区域の河川断面形状は、1988年と1990年の測量を比較して低水敷において最大1m程度の変化が見られるものの、高水敷はその間におそらく冠水したであろうがほとんど変化はない。かなり安定した地形であると思われる。

## 2. 2 汀線と抽水域植生帯の平面形状

低水時における汀線（OP 3m水面と高水敷地盤との交点）および抽水域植生帯の外縁の平面形状を本研究初年度1990年10月に測量基線からの距離としてテープで、および2年目1991年6月に対岸より光波距離計によって測量を行った。また測量用軽飛行機を借り受け上空からの写真およびビデオ撮影を隨時行い全体像の把握と変化を観測した。

平面測量による低水時抽水域植生帯の結果を図-2. 1に示す。図中黒く塗りつぶされている部分が初年度測量による抽水域帯、丸をつけた実線が2年目測量の植生帯外縁の形状である。図から分かるように、初年度および2年目観測の植生帯外縁は凹凸がほぼ規則的に現れている部分が目立ち、また抽水域の幅は凸部で最大10m程度である。観測結果とは3カ所外縁と汀線が一致している部分があるが、ここでは川柳が高さ5m程大きく成長し水面に枝を張っていたためヨシが生えていない。その後冬期に柳が伐採されたので、2年度の観測ではその部分2カ所に新たにヨシの植生が認められた。ヨシは地下茎が発達しているのはよく知られているが、上空が明いた直後の春に芽を出し植生帯を形成することができたヨシの生命力の強さを見ることができる。

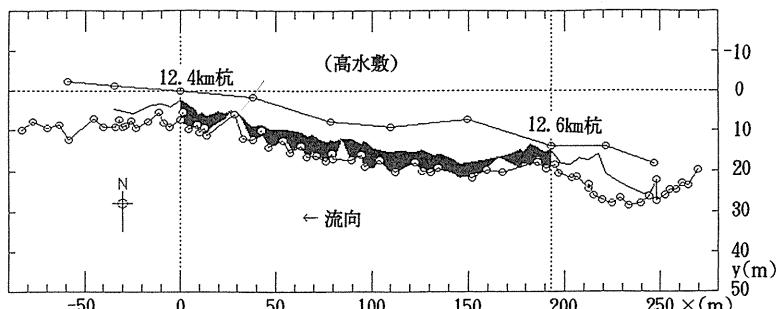


図-2. 1 淀川豊里地区抽水域植生帯平面図

## 2. 3 植生状況

抽水域ヨシの植生密度を知るため単位面積当たりの個体の本数を計測した。一般に抽水域外縁付近が最も密（110～120本程度）であり、中程から汀線付近はかなり小さく（50～60本程度）なるようである。

茎の直径は根元付近ほど大きく（6～12mm程度）先にいくほど小さいが、低水時の水面高さにおける茎径は平均値は観測地点で多少異なる（6.4～8.2mm）がいずれも図-2. 2に例として示すような正規分布に従い標準偏差は1.8～1.9mm程度の狭い範囲にある。

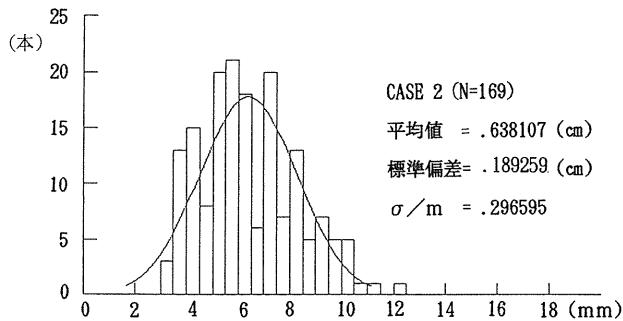


図-2.2 抽水域ヨシの茎径分布

## 参考文献

- 1) 柴田保彦他：「淀川の自然」、大阪市立自然史博物館第18回特別展「淀川の自然」解説書、1991

### 3. 水草帯の地下水位と土壤水質に関する現地調査

#### 3. 1 本調査の目的と調査手法

調査地域は図3-1に示す淀川下流の豊里大橋下流付近の右岸で、幅約150mの高水敷植生帯である。河口からは13.0kmのB. M. 付近に横断線を設定し、これを測線とする。この測線に沿う植生分布は図3-2に示す通りで、ヨシおよびオギの群生中を通っている。河岸（水際線）よりに陸側約135m地点に第1測点St.1（ここを距離0mとする）をとり、河川側に順次St.2（43m）、St.3（88m）、St.4（129m）を設定し、これらの測点で地下水位、土壤水の採水を行う。また、水質を表面水と比較するため近傍の池の水、湿地の水、淀川の水も採水する。

この調査地域は自然地区として野鳥や自然植生が保護され、河川特有の良好な自然状態がそのまま存在している地域であり<sup>1)</sup>、そうした地域が現在のような環境下においてどのような影響を受け



図3-1 淀川調査区域

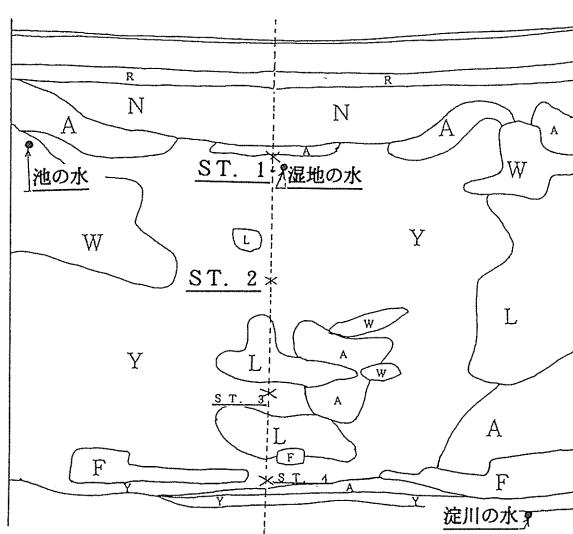


図3-2 調査区域における植生分布

ているのか、また将来の環境変化に対してどのように影響を受けて行くのかを把握することが終局の目標である。しかしこれを理解するには総合的な調査を行わねばならないだろう。そこで、ここではその一端としてこれまで調査試料が不足している河川敷植生帯における地下水、土壤水の水質に着目し、ほぼ季節を通して観測することによってその特性を検討しようとするものである<sup>2)</sup>。

### 3. 2 地下水位の変動特性

平成2年度においては現地踏査、予備調査、測定機器の製作などの作業を行い、本調査は平成3年6月18日から平成4年1月13日まで8回の調査を行った。

地下水位はSt. 1、2、3、4において接触式水位計によって観測し、予め行った測点の水準測量から正確な水位を求めている。また測定日の淀川河川水位は、建設省淀川工事事務所毛間出張所の管理による長柄大堰付近の水位記録より読み取っている。また、日本気象協会から得た大阪の降水量も参考にしている。

図3-3は地下水位の測線上の季節変化である。河川水位そのものの季節変動の少ない地点であるので（この付近は長柄大堰の堰上げ水域で水位が安定している）、地下水位も大きな変動はみられない。しかし陸側のSt. 1、St. 2では水位の変動が少ないので対し、河川側のSt. 3、St. 4ではかなり変動している。特に河川水際線から約15mしか離れていないSt. 4において、河川水位が安定しているにも拘らず、高低の変動がみられるのは何かの原因があるとみられる。

この点に関し、大阪の雨量との相関を調べたが、地下水位測定日の前期晴天日数に関係することが考えられる。すなわち、前期晴天日数が多いときには、ヨシ群等の植物からの蒸散累積量が大きくなり、地下水位は下がる可能性があるとみられる。

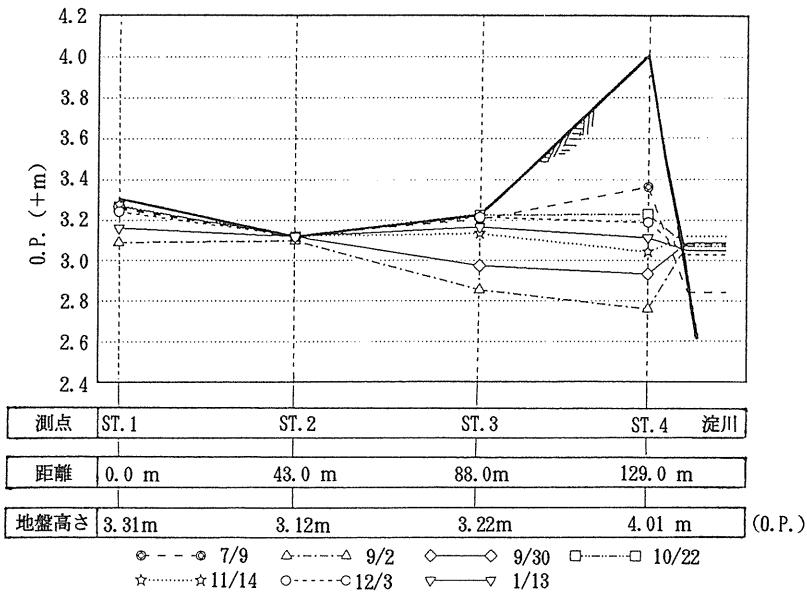


図 3-3 地下水位の断面図

### 3. 3 土壌水、地下水、表面水の水位特性

3測点における表面水の採水はポリビンで簡単に実行できる。土壌水の採水はSt. 1, 2, 3, 4において 0.5m, 1.0m, 1.5mの3深度でポーラスカップによって試水を得た。地下水位が地表面から深くないので、1.0m, 1.5mの深度はその地点の地下水と考えてもよい。

試水の水質分析項目は、標準化学成分の $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ および栄養塩物質の $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ である。12月3日の表面水についてはこの外にBOD, T-COD, D-CODの分析も行った。分析結果は紙面の都合でごく一部をここに示す。すなわち、図3-4は $\text{Na}^+$ の0.5m深および1.5m深の場所・季節変化を示し、図3-5では $\text{NO}_3\text{-N}$ の0.5m深および1.5m深の場合を示している。これらの図を含め、水質の変動特性をまとめると以下のようである。

- 1)  $\text{Na}^+$ はSt. 1においてのみ採取深さによる違いがある。0.5m深が少なく、次に約1.5m深、多いのは1.0m深である。また季節的に変動しない。
- 2)  $\text{K}^+$ はSt. 4が他の測点と比べて比較的多い。
- 3)  $\text{Mg}^{2+}$ は $\text{Na}^+$ と同じくSt. 1においてのみ採取深さによる違いがあり、0.5m深、1.0m深、1.5m深の順に多くなっている。淀川に近い測点St. 4において、0.5m深では淀川の水と同じく低い値を示すが、1.0m深、約1.5m深と深くなるにつれて高い値を示している。St. 2, St. 3について深さによる変化があまりない。
- 4)  $\text{Ca}^{2+}$ は $\text{Mg}^{2+}$ と同じ傾向をもっている。
- 5)  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は $\text{K}^+$ と同じくSt. 4が他の測点と比べて比較的多い。
- 6)  $\text{NH}_4\text{-N}$ を採取深さ別でみるとSt. 1とSt. 2において1.5m深の濃度が0.5m深、1.0m深と比

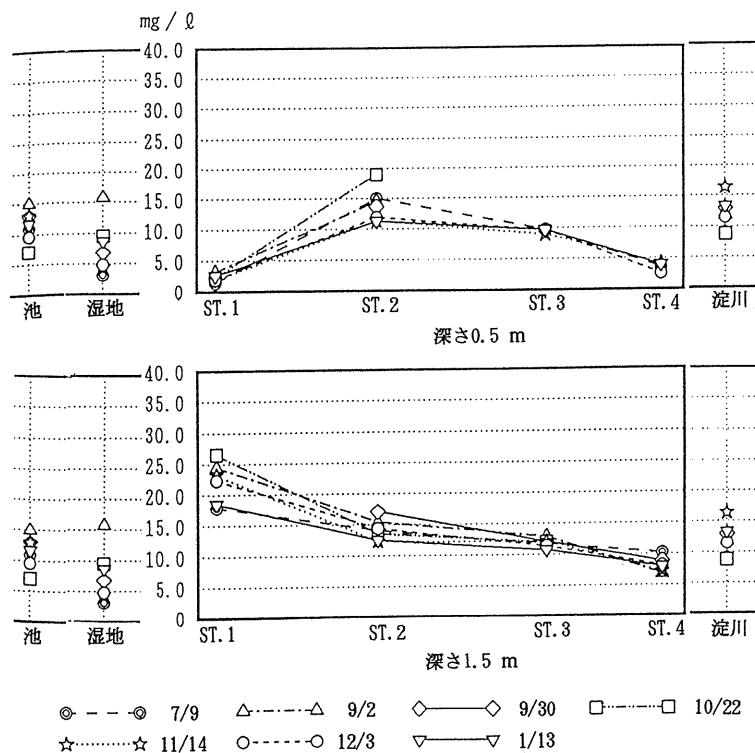


図 3-4  $\text{Na}^+$  深度別季節変動

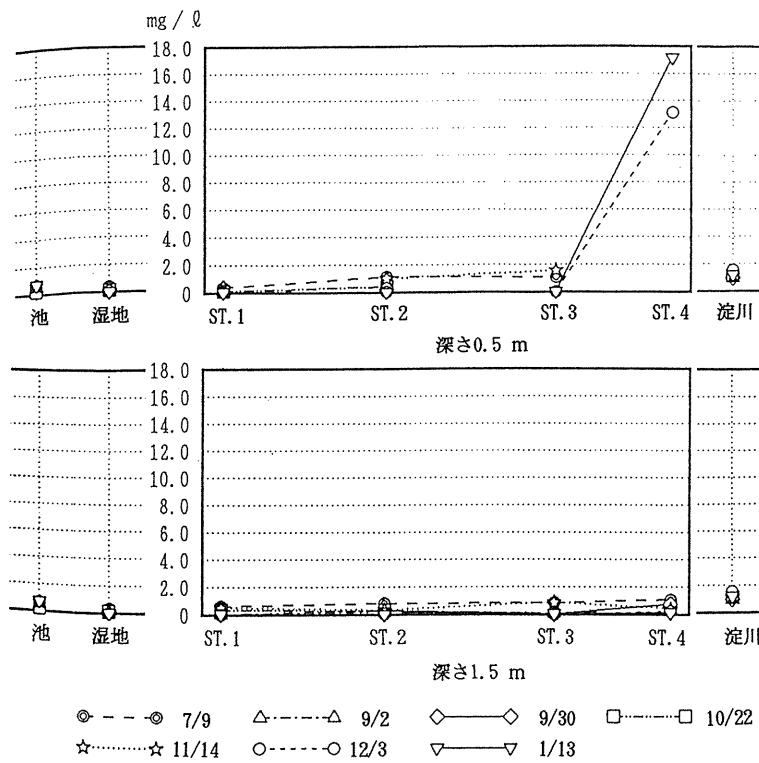


図 3-5  $\text{NO}_3\text{-N}$  深度別季節変動

べて大きい。この理由として、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は酸化されて $\text{NO}_2\text{-N}$ を経て $\text{NO}_3\text{-N}$ に変化するので、酸素が十分にある上層部では $\text{NO}_3\text{-N}$ になりやすく、深くなると酸素が少なくなつて酸化しにくくなるため考えられる。確かにSt. 4において $\text{NO}_3\text{-N}$ は0.5m深、1.0m深で多く、1.5m深では少ない。また、抽水植物のN、Pの含有量についての研究によれば、ヨシのN、Pの含有量について、4月の成長初期に最も高くてNは3~4%、Pは0.5%であるが、その後5月後半までにはその含有量は急速に減少してそれぞれ半分ほどになる。更に枯死が始まるとその含有量は減少し、枯死体はNが0.5%以下、Pが0.02%以下と著しく減少するという。St. 1、St. 4の1.5m深では変動はしているが日毎に増加している。これはヨシなどの抽水植物によって、Nが吸収されたためと考えられる。

7)  $\text{NO}_2\text{-N}$ はすぐに酸化して $\text{NO}_3\text{-N}$ になるので自然には小量しか存在しない。従って、変動特性はあまりない。

## 参考文献

- 1) 河川環境管理財団編：解説河川環境、山海堂、1989.
- 2) 橋口成人：淀川高水敷の地下水位と土壤水位の変動特性に関する調査研究、大阪大学工学部土木工学科 平成3年度特別研究、1992.

## 4. 水生植物相に関する現地調査

### 4. 1 高水敷における主要水生植物の生態

高水敷あるいは河川敷において優占する主要植物としては、イネ科のツルヨシ、ヨシ、オギ、クサヨシ、セイタカヨシ、カヤツリグサ科のカサスゲ、キク科のセイタカアワダチソウ、ヨモギ、タデ科のヤナギタデなどがあげられる。調査地では、これらの内ヨシ、オギ、クサヨシ、セイタカヨシ、カサスゲ、セイタカアワダチソウなどの生育などが見られる。以下にこれらの生育条件について述べる。

#### オギ *Miscanthus sacchariflorus*

根茎は0~10cmの層に70%程度が分布しており、根のみではこれよりやや深いものの、20cmまでの範囲に80%が分布している。刈り取りによる地上部と地下部の配分比率は地下部が74%を占めており、大量の根系が発達している事になるが、そのほとんどは地下茎であり、根はわずかに6.2%を占めているに過ぎない。

オギの生育する場所は、通常水位以上の場所であり、根系の水没に対しては抵抗性が低いものと思われる。生育適地の土壤は、微砂から細砂を多量に含む砂質の土壤である。このために、オギは発達させた地下茎で土壤を大まかに緊縛することはできても、細根の少なさのために完全に土壤を保持する能力は低いと言えよう。

当該地では、自然堤防上など、比較的高い場所に優占群落を形成しており、セイタカアワダチソウを伴っている場合も多い。後背湿地などの地下水位の高い場所ではヨシ群落に移行する。

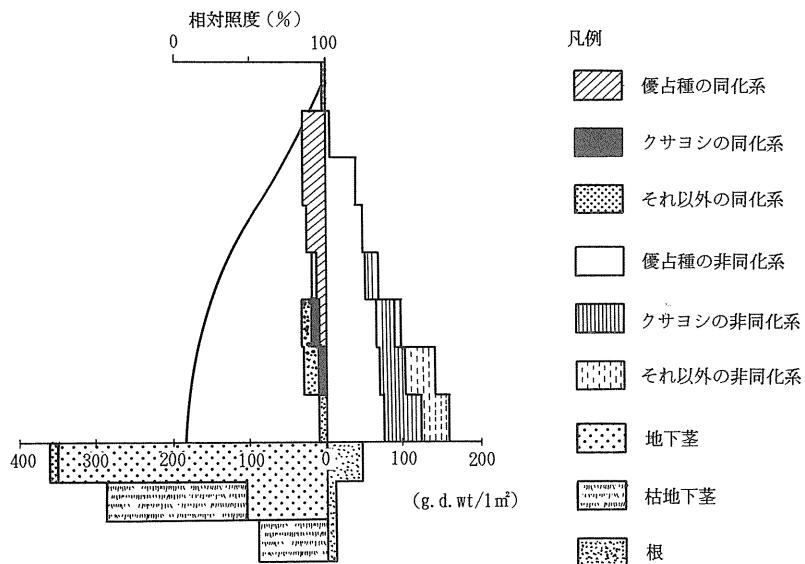


図4-1. オギ群落の層別刈り取り結果（生産構造図）

#### ヨシ *Phragmites communis*

今回の調査ではヨシの根系の分布を確認する事ができなかった。ヨシの根系に関する調査は多くはないが、それらから推察すると、相当な深さに太い地下茎を横走させており、これから地上茎を発達させる形態となっているものと思われる。淀川のわんどの場合には、おそらく通常水位からそれ以下の深さに地下茎を発達させているものと思われ、高い場所では数メートル以上の深さから地上茎を発達させているものと考えられる。

土壤的には礫をあまり含まない粘土質の土壤が生育適地であり、通常水位以下の層における土壤に関しては、根系の発達による緊縛力によって土壤流亡を防ぐ能力は高いものと思われる。

当該地では自然堤防の後背湿地や汀線付近などの水湿地に広い群落を形成している。組成的にはカサスゲを伴っている場合が多い。

#### クサヨシ *Phalaris arundinacea*

地下茎は細く、地下茎の99.8%は深さ10cmまでに分布しており、根を合わせると重量で95%が深さ10cmまでの層に分布している。根系はほぼ地表面直下に分布していると考えて良かろう。地上部の現存量と比較すると、地下部の現存量が地上部を大きく上回っており、70%を占めている。その内2/3は根系であり、地下茎に比べて細根の量が非常に多くなっている。

クサヨシの生育する場所の土壤は粘土質を多量に含む砂質土壤であり、大量の根系の緊縛により、ブロックとして切り出す事も可能である。根系の発達深度は浅いものの、密な根系により土壤の流亡には大きな抵抗力を持っているものと思われる。

当該地では、生育地は広いが優占群落を形成している場所は少ない。地下水位からあまり離れた場所では生育が不良であり、通常水位付近の粘土質土壤地に生育している。

### セイタカヨシ *Phragmites karka*

今回の研究では、セイタカヨシの根系部に関する調査は行っていない。崩壊した場所の観察では、比較的地下茎の発達部位は比較的浅いと思われた。セイタカヨシの生育立地は相当な増水でないと水没しない立地であり、通常水位から3m前後の高い立地である。土壤は砂質であり、比較的土壤の緊縛力は弱いものと思われる。

### セイタカアワダチソウ *Solidago altissima*

本種は北米からの帰化植物であり、河川植生においても強い生活力を見せて繁茂している。わんど地域ではオギ群落に随伴する傾向が高く、耕作などにより攪乱された場所では優占群落を形成している。今回の調査では根系調査を行っていないが、崩壊断面での観察では根系の発達部位は浅く、主に地表から10cm以内の層で密に分布している事が観察できた。

セイタカアワダチソウの生育している場所は通常水位以上の場所であり、根系は水没に対しては抵抗性は低いものと思われる。土壤は粘土質を含む砂質土壤であり、表層土に関する緊縛力は比較的高いものと思われる。

当該地では通常水位から3m程度の比高を持つ場所で密な群落を形成しているが、面積的には大きなものではない。

## 4. 2 根系分布からみた汀線の安定性について

当該地の植生配列は、通常水位からの比高で言えば次のようになる。

表4-1 群落とその発達立地

群 落 名	比高 (cm)	備 考
ヨ シ 群 落	-50 ~ 100	自然堤防の後背地や池ではカサスゲが随伴
オ ギ 群 落	50 ~ 300	クサヨシが随伴する事が多く、比高が高まるにつれセイタカアワダチソウが増加する
セイタカヨシ群落	100 ~ 350	堤防近くの比高が高く、洪水時においても流速の遅い場所のみに発達

本項では、広く発達しているヨシ群落とオギ群落の根系分布からみた汀線の侵食に対する安定性について述べる。

ヨシの根系は十分に明かではないが、主に通常水位以下に根系を分布させていると考えられる。表水域に群落が発達する場合には、ヨシの純群落となる場合が多いが、根系の土壤緊縛力は比較的低いものの、地上茎が流速を弱めることもあり、侵食に対する抵抗性は比較的高いものと思われる。但し、ヨシ群落の存在が侵食に対して威力を発達するためには十分な面積が必要であり、特に群落

の幅が必要である。十分な幅を持つ群落が形成されるためには、河岸の傾斜が緩やかである必要がある。河岸の傾斜が緩やかである場所や自然堤防の後背湿地、池の岸などの過湿地ではヨシの下層にカサスゲが繁茂する場合が多い。カサスゲの根系分布は表層から30cmの範囲にあり、比較的密な細根を発達させている。このような群落は根系による直接的な土壤の緊縛とともに表層の植物体により流速は弱められ、洪水時においては侵食傾向より堆積傾向となるものと思われる。

オギの根系は、おおむね表層から20cmの範囲に発達しているとして良かろう。オギの優占群落にはセイタカアワダチソウが随伴する事が多いが、これも表層に根系を発達させる植物である。オギは地下茎の量は多いものの、土壤を緊縛する細根の量が少なく、全体として侵食に対する抵抗性は低いものと思われる。また、根系が表層のみに分布する事から、一旦侵食が始まると下層の砂質土壤は容易に流失する。このような状態は調査地域の各所で見られ、特に通常水位から1m以上の比高を持つ砂質の自然堤防付近で著しい。

この様な侵食に対する抵抗性の違いや堆積に関する特性の違いから、当該地における土砂の移動と群落の関係は次のようになると考へる事ができる。

ヨシ群落は次第に泥土を集積して比高を高める傾向があり、通常水位からの比高が高くなった結果、オギの優占する群落が形成される。オギの群落も泥土を集積して次第に比高を高めるが、侵食に対する抵抗性が低いために、一旦侵食が始まると河岸の傾斜が侵食平衡に至るまで侵食は継続され、緩傾斜地が形成される。この緩傾斜地にはヨシが侵入し、ヨシ群落が形成される。

このような一連の遷移が特定の地域の堆積・侵食環境の中で相互に連関しつつ継続されていると考えられる。

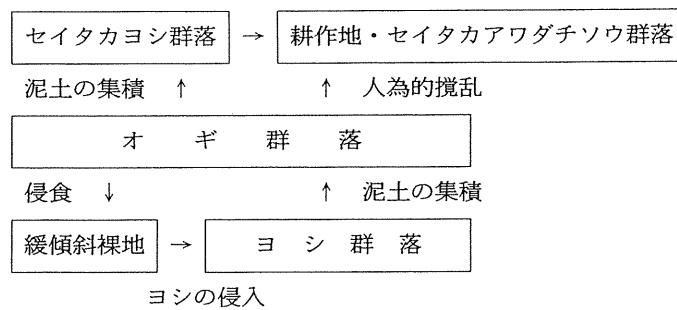


図4-2. 調査地域の植生遷移系列

## 5. 水草帯周辺の流れ特性に関する水理実験

### 5. 1 植生モデルと実験水路

植生のある流れについて、特に洪水時に抵抗として作用する樹木群を対象としたもの<sup>1)</sup>、あるいは植生のよう動に着目して乱流構造を詳細に検討したもの<sup>2)</sup>が実験研究として知られているが、本研究では特に植生の水質浄化作用を考慮して、低水時における抽水域植生帯と周囲の流れの関係を知るために以下のようなモデルによって水理模型実験<sup>3)</sup>を行った。

ヨシの個体を円柱で模擬できるとして径3.8mm、長さ9.06cmの鉄製丸釘を用いる。これを1cm×

1 cmのメッシュの交点に穴を開けたエンビ板に所定の配置に従って規則的に差し込み植生帯に見立てるにすることにする。植生模型の種類として、①植生密度は1本/cm<sup>2</sup>（穴に全て植える）場合、および0.5本/cm<sup>2</sup>（千鳥に配置）場合の2ケース。②植生の平面形状は片側の水路壁に沿って壁より外縁までを一定幅（b=12、10、8、6、および5 cm）、および外縁の形状に凹凸がある植生モデルとして壁側の5 cm一定幅に高さ5 cmの山形形状を外側に切れ目なくつけたもの、山形を半分の数にしたもの2種、また全水路幅（30 cm）に渡って植えたケースの計7ケースとした。図-5. 1(1)～(2)に植生モデルのタイプの例を示している。

このようなモデルは実際の植生帯をそのまま模擬したものではなくいくつかの簡略化を行っているが、両者の相違は表-5. 1に示すようである。基礎的な研究である本実験では省略されたこれらの各特性の効果は、将来の研究目的とされるものであると考えている。同表に水路モデルと観測現地との相違も示している。また実験条件における植生密度および茎径は現地観測の結果よりかなり大きな値であるが、本実験は両者の効果を強調したモデルであるとする。

実験水路は水平床のエンビ製矩形断面水路で、幅30 cm、長さ9 mである。植生モデルは下流端から6 mの区間に渡り、右岸側壁に沿って植生があるように敷く。下流端には水位調節用の堰を設けている。

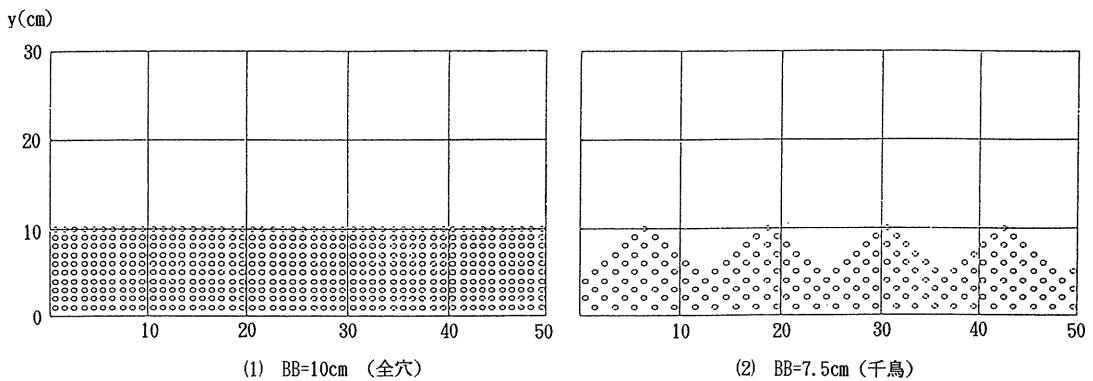


図-5. 1 植生モデル

表5. 1 実験モデルと現地の相違

	実 験	現 地
植 生	円柱状要素（一定径） 全植生域で一定密度 剛（流れで動かない） 規則的な平面形状	円錐状（節あり） 外縁で最大密度 柔（揺動する） 不規則な形状
水 路	矩形断面 固定床 水平床 幅が小	任意（植生部は傾斜） 移動床 勾配あり 大

## 5. 2 実験条件と計測

実験における流れの条件は、通水流量Qと下流端堰高wの組み合わせ、(Q (1/s)、w (cm)) = (0.5, 4)、(1, 4)、(2, 2)、(3, 2)、および(3, 4)の計6ケースとする。これは低水時の流れを対象とし、主流域のフルード数を0.2程度以下になるような条件とした。

計測はポイントゲージによって不等流水面形の水深、および2方向電磁流速計によって主流域における水平面上の水路中心軸に平行な流れ方向(X軸)および水路側壁に直角な方向(Y軸)の変動流速分布を測定した。水深は水路下流端から1mおよび5m上流断面の水路中心軸上の2点、流速は下流端から3m上流の断面で、鉛直方向は河床より2cmの高さとし、横断方向は植生モデルの外(主流域)において1cmあるいは2cm間隔の測点とした。変動流速は10Hz、60秒間のサンプリング(サイズ=600個)を行って求めた。

また流れの状態を観測するための可視化実験として、インクによる着色水をトレーサーとして、流れを乱さないように低速流速の植生域に注入して水塊に添加し、それが植生域から主流域に流出する状況を水路上空からビデオカメラで撮影した。

## 5. 3 実験結果と解析

### (1) 可視化観測結果

目視観測およびビデオモニタによる観測から、植生域と主流域間で水塊の流出と流入の一対となっている組織的な流れがあり、これによって両領域の水塊の交換が活発に行われていることが観測された。特に規則的なケースでは、植生域から主流域への水塊の流出部と逆の流入部の断面の位置がほぼ一定間隔の距離であり、流出部の直上流には次の流入部が引き続いており、それらが一定速度で流下していく。よって一定断面で観測すると流入部、流出部が交互に周期的に断面を通過する。流出部と等しい一定流下速度で移動しながら一対の流出と流入を観測すると、図-5. 2に速度ベクトルとして示される様な構造が観測される。図は色素雲の移動をビデオモニタのコマ送りによって各地点の速度ベクトルを求め、構造自体の流下速度(主流域平均流速より小さい)で差し引いて示したものである。まず上流側断面で植生域より出した着色水は次第に主流域深く侵入してそこで大きなX方向流速に遭遇し下流方向に湾曲し前進する。これより下流断面での流出部の水塊は前者ほど深くは主流域に侵入しないが右廻りのゆっくりと回転する河床に垂直な軸を持つ渦に乗って両領域の境界からY方向に離れるに従って加速し流下する。更に下流では進行方向を植生側に変えて境界から植生帯に流入する。このため流入の直下流では次の構造の上流端があり押し出されるように植生帯から水塊の流出がある、というよう一つの組織だった渦となっている。

この一連の現象は、実験条件によって固定断面に流入と流出の出現する平均周期と偏差は明らかに異なるが、同一のケースにおいて流出と流入が明瞭に観測できる時間と不明瞭である時間があり、実験ケースによってこれらの時間の割合に差異がある。また水深が大きい場合組織的構造は3次元的になっていることが注意深い目視観測から見ることができるので、他の横断方向の混合の機構(例えば局所的な縦渦)も存在する可能性があり複雑な流れになっている。

ビデオモニタ上において比較的規則的に組織的構造がみられる時間帯で周期をサンプリングし、

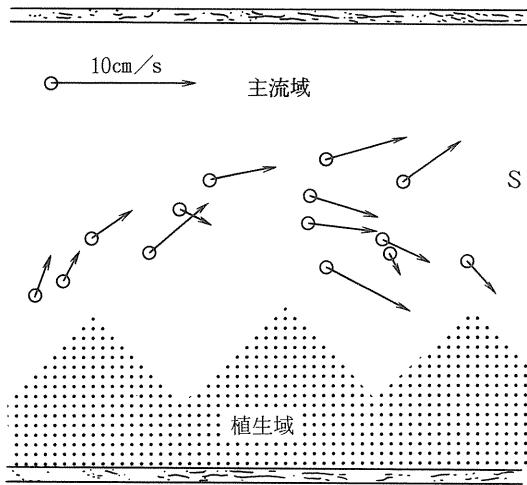


図-5. 2 植生域からの流出と流入

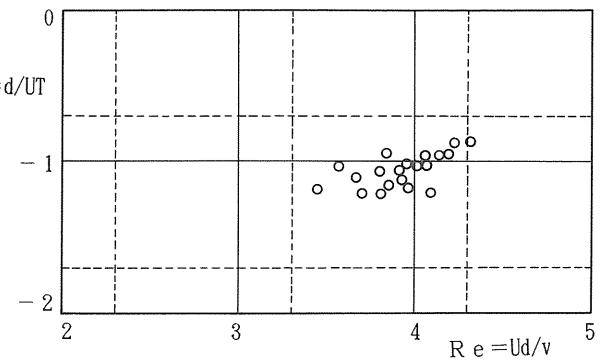


図-5. 3 ストローハル数

平均周期  $T$  を求め、流れ場の代表長さ  $d$  として面積で換算した植生幅  $B$ 、代表速度  $V$  として主流域平均流速に相当する  $Q / (B - B)$ 、ここに  $B$  : 全水路幅、を用いたストローハル数  $S (= V T / d)$  をレイノルズ数で整理し図-5. 3 に示す。図から分かるように、ばらつきはあるもののストローハル数は -1 付近にまとまっている。よって本実験の範囲では周期は流速に関係し、同一植生モデルの場合平均流速が大きいほど周期は小さく、また流速が等しいとすると植生幅が大きくなるほど周期も大きくなることが分かる。流速は流れの抵抗として現れるものであるから、抵抗に影響する要因として植生域と主流域の水交換の機構を考慮しなければならないと思われる。

## (2) 流速分布

水路横断方向の流速分布の例を図-5. 4 に示している。図中  $U$  は  $x$  方向局所平均流速、 $u'$  は  $U$  の標準偏差、および  $v'$  は  $y$  方向流速の標準偏差である。局所平均流速分布では植生域側の速度勾配は緩やかであり、最大流速の生じる位置は主流域の中心より植生域の対岸の側壁側に偏っている。このことは上で述べた組織構造によって低速の植生域の影響が横断方向に伝えられていることを表している。標準偏差の分布は  $x$  方向、 $y$  方向流速とも植生域と主流域の境界付近が最大で  $y$  の增加とともに減少するような同様な形状を示すが、特に  $x$  方向流速の変動は  $U$  が最大値となる位置付近で大きくなる。

特に組織的な流出と流入に関係する  $y$  方向変動流速  $v$  は、植生域を離れ  $U$  の最大値が現れる付近まで周期性を失わない傾向があるが、 $u$  の場合は植生域ごく近傍では周期的であるものが離れるに従って速やかに周期性を失うようである。

$y$  方向の水量の交換は、 $v$  の正あるいは負のみのものの平均値によって表すことができる。分布を見ると図-5. 4 の  $v'$  のものと相似であり、両領域の境界付近が最大でほぼ直線的に減少している。これらの特性は本実験範囲の植生モデルの外縁の形状には関係なく存在する。

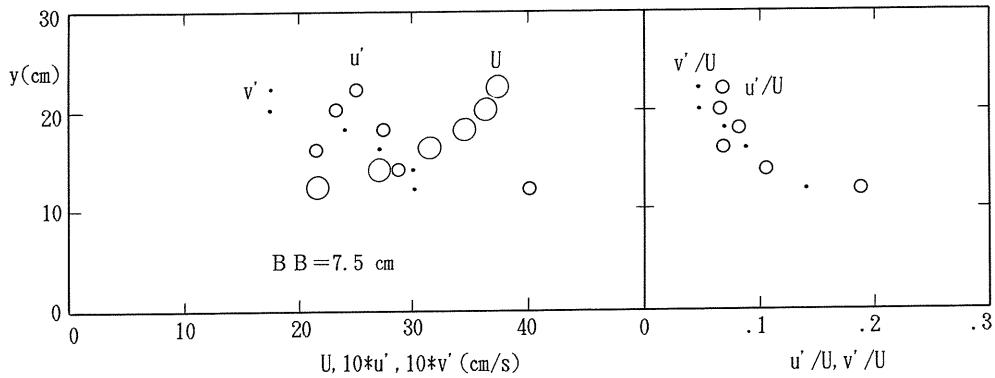


図-5.4 流速分布図

### (3) 流れの抵抗

本実験水路では水路幅  $B = 30\text{cm}$ 、摩擦損失係数は  $f = 0.0060$ であることを確かめているが、植生モデルを設置することによって流れの抵抗は増加する。これを植生域が存在するために見かけ上水路幅が減少したとする水路幅相当減少量  $\delta B$ なる巨視的な概念で表すことを考える。 $\delta B$ が大きいほど植生域の影響のため抵抗が大きい。実験による観測値は不等流水面形の上・下流2点の水深であるから、下式の様な水平床不等流水面形の式形に合致する水路幅を見つけることで求めることができる。

$$dh/dx = -f(hc^3/2g)(2h+B-\delta B)/(h^3-hc^3) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $hc$ ：限界水深、 $\delta B$ ：見かけ上減少した水路幅である。植生域が不透過であれば水路幅相当減少量は植生幅と等しくなるものである。

図-5.5は、本実験における水面形から求められた $\delta B$ を面積換算の水路幅 $B_B$ で無次元表示し、面積換算植生幅 $B_B$ で整理して示している。(1)は全穴タイプ(密度1本/cm<sup>2</sup>)、および(2)は密度が半分の千鳥タイプであるが、両者の傾向は著しく異なるようである。全穴タイプでは植生幅が全水路幅の1/3より大きい場合はむしろ植生の影響はその幅に比べて小さいが、面積換算植生幅が小さくなるほど相当減少量は植生域にも流れがあるに拘らず植生幅以上に増加している。このことは可視化実験で観測された組織渦の効果であり、面積換算植生幅の小さい場合でも規則的な渦は対岸の側壁近くまで侵入しており、また流速最大値の生じる位置は植生幅が小さくても大きいものと同様の対岸側壁寄りの位置であることから、相対的に組織渦の影響が大きくなっているためであろうと考えられる。また同一植生幅における水路幅相当減少量の大小の差異は、やはり組織渦の規則的な発生率の関係であると考えられ、発生頻度の大きいケース(本実験範囲では流速の大きいケース)が大きな抵抗を示していることから分かる。

一方千鳥タイプの場合は、全般的に減少量は小さくなっていて、ほぼ面積換算水路幅に等しいかあるいはむしろ小さくなっているケースが多い。これは小さい植生密度の場合は疎通能力が比較的大きいため、主流域と植生域間の速度勾配が余り大きくなく、組織的な渦の発生は抑えられているのである。全穴のものに比べて最大流速の生じる位置が多少植生域寄りであることからも考えら

れる。しかし流速の大きいケースではやはり相当減少量も面積換算水路幅より大きくなっていて、植生密度と速度勾配の関係が大きく流れの抵抗に寄与することが分かる。

植生域の外縁の形状については、図-5.5において  $BB/B = 0.75/3$ 、および  $0.625/3$  のケースがそれぞれ外縁に山型をすき間なくおよび半分に配置したものであるが、全穴、千鳥共に流れの抵抗特性に影響を与えることはないようであり、植生が主流水域と接する長さは大きくなるが、抵抗については面積換算幅で整理できる。

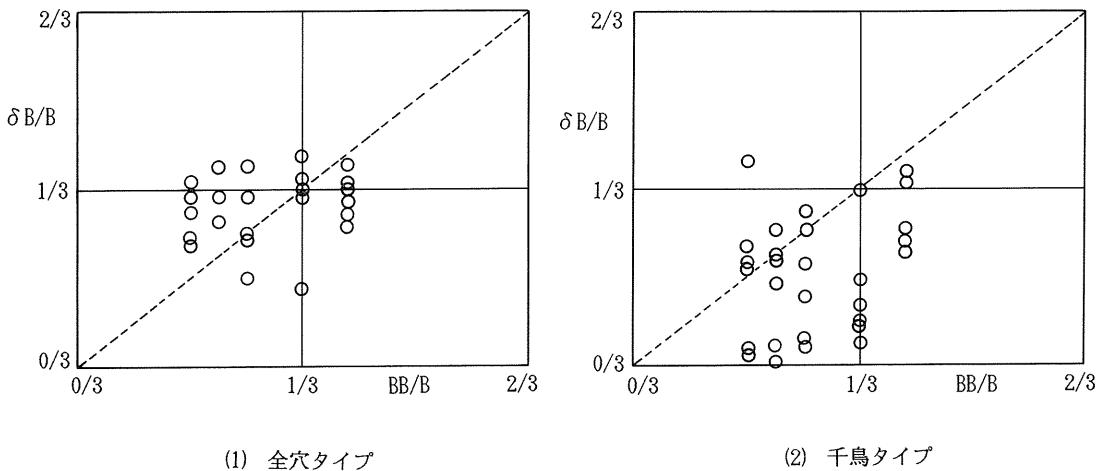


図-5.5 水路幅相当減少量と植生幅の関係

#### 5.4 まとめ

可視化実験、流速分布、および水面形の計測実験から以下のような流れの特性を抽出することができた。

円柱で模擬できるような植生モデルにおける流れでは、抵抗は植生域内の遅い流れと主流域内の早い流れの相互作用によって、組織的な渦が発生し、これが主流域に大きく広がることによって流れの抵抗が大きくなる。これにともなって水塊の交換がなされ、植生域内が死水域となって水が滞るようなことが抑止される。植生の幅は小さいほど相対的には大きな抵抗をもたらす。植生密度は主流域の流速との関係において渦の発生に大きく関係し、密度が粗であっても、主流域の流速が大きければ大きな抵抗を示し、その時主流域と植生域間の水量の交換も活発になる。

植生帯の外縁の形状の効果は、面積換算植生幅より相当減少量が常に大きくなることから、幾分流れの抵抗に影響を与えるであろうことは明かであるが、特に形状効果があるとは言えないようである。

低水時の流れの抵抗に関するモデル化および高水時の現象把握を今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) 福岡捷二・藤田光一：洪水流の横断方向流速差がもたらす付加的抵抗の評価、第33回水理講演会論文集、1989
- 2) 室田 明・福原輝幸：直立性植物を有する開水路流れの構造について、第28回水理講演会論文集、1985
- 3) 多田博登：河川側岸の植生による流れの特性に関する模型実験、土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集、1991

## 6. まとめ

これまで河川高水敷といえば、第一に治水対策の一環として十分な流水面積を確保することであり、堤防と合わせ高水敷を流れから守る維持対策も主たる対象であった。しかし最近では河川環境の保全と整備が重要な事業の一つになっている。とりわけ、大都會を通る、あるいは近くにある大河川は、都市域の住民意識の中で水環境をイメージする重要な対象となってしまっている。従って行政も同レベルの意識で取り組まねばならず、従来の河川構造と違った認識が加わらなければいけない。

本研究はその新たな認識を支援する要素とは何か、そして要素の特性を整理し、今後の河川事業計画の立案に役立つものは何かを考察するための調査を行うことであった。その詳細な検討は文中に記してきたが、全体を見てまとめると以下のようことが言える。

1. 高水敷の植相は複雑であり、植種間で常に干渉し合っている。このため植相の変遷をきめ細かく捉えて、高水敷の植物生態系を追跡する手法を継続して行かねばならないであろう。局所的に根系の特性に興味があり、土壤特性、地下水位特性とも関連する。
2. 高水敷の地下水位と土壤水の水質がある程度明らかになった。対象地域は、自然保護地区であるとは言え、かなり人為的影響を受けている。すなわち水質からみれば特に清澄な水環境とは言い難い。
3. 水際形状や植生の特性と河川流との関係を航空写真および水理模型実験とによって明らかにした。特に、植生帶外縁形状と植生帯が一種の通水部であることによる水際線付近の流れの特徴がまとめられ、今後の水際線の設計にも資すると考えられる。

本研究の遂行に当り、調査に便宜を計って頂き、また流量など基礎資料の提供を頂いた建設省淀川工事事務所および同毛馬出張所の御関係者に厚くお礼を申し上げる次第である。

[付録写真]



淀川豊里地区右岸水際線の様子（航空写真）



堤防側から測線沿いに見た様子（建物は対岸のもの）