

砂州水際に形成される生息場の 物理特性に関する研究

A STUDY ON PHYSICAL FEATURES OF HABITATS NEAR SHORELINE OF GRABEL-BARS

佐々木学¹・知花武佳²・辻本哲郎³
Gaku SASAKI, Takeyoshi CHIBANA and Tetsuro TUJIMOTO

¹ 学生会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

² 正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

³ 正会員 工博 東京大学大学院教授併任 工学系研究科社会基盤工学専攻

In this paper, we focus on the shoreline area of bars, which plays an important role as a habitat. The purpose of this paper is to recognize various environments of the shoreline of bars from the viewpoint of its physical features. We investigated two bars to compare bed materials, cross section (mean gradient and irregularity) and current velocity/direction on a micro scale (1m to 10m) between the two bars. By expanding the scale from the local to the whole scale of the bar, we can find a fundamental mechanism that micro-scale physical factors are affected by more large-scale factors. In addition bars have common property and individuality: the latter makes physical features different from each other.

Key Words : Bars, physical features, shoreline of bars, habitat

1. 研究背景と目的

砂州水際に形成される浅瀬は生物の重要な生息場所となっている。例えば、底生昆虫にとっては羽化場所であり、魚にとっては稚魚の生息場所である。本研究は、砂州水際に焦点を当て、そこに形成される物理環境と、その形成メカニズムを把握するのが目的である。多摩川中流域の2つの砂州をフィールドとして、まず1~10mというミクロなスケールでそれぞれの物理環境(底質、断面形状および流速・流向)を把握し、これらを比較することにより、砂州水際の物理特性や多様性について議論する。次に、砂州全体を捉えるスケールにも着目し、ミクロなスケールで捉えた物理特性が何によって規定されているのかを考察する。

2. 対象区間の概要および調査方法

(1) 対象地区の概要

本研究では、1級水系多摩川中流域の永田地区、熊川地区に形成された2つの砂州を対象とした(図-1)。両地区ともにセグメント1に属しており、2つとも比較的平坦な砂州であるという点は共通している。しかし、平坦化に至った理由は異なっている。まず、羽村堰直

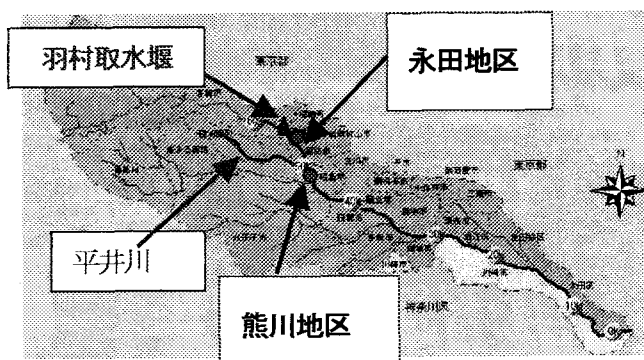


図-1 対象地区の周辺図

下流に位置する永田地区の砂州は、上流からの土砂供給量の減少のために平坦化したものであり、周囲は全体的に河床低下している。一方、やや下流の熊川地区では、河床はむしろ上昇傾向であるものの、あまり発達しなかった砂州である。よって、永田地区とは異なり対象地区の上下流に形成された砂州は発達している。また、砂州長と低水路幅はそれぞれ永田地区で約450mと60m、熊川地区で約370mと80mとなっており、砂州長・低水路幅比で見れば、永田地区の方が平坦化していると言える。なお、この区間の上流では河道復元対策として、土砂投入が行われているが、この影響も上流の永田地区の方が大きいと思われる。さらに、永田地区では羽村堰からの取水に伴い平水時の流量が

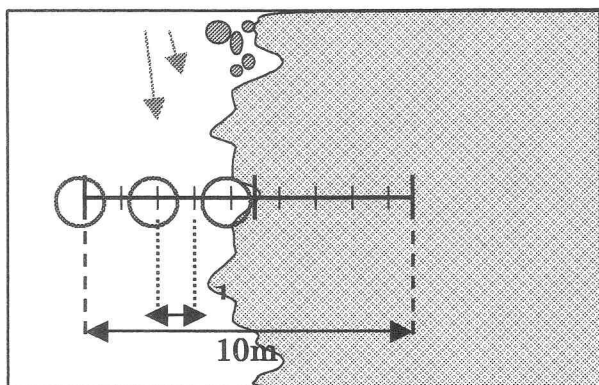


図-2 調査方法（観測点の設置）

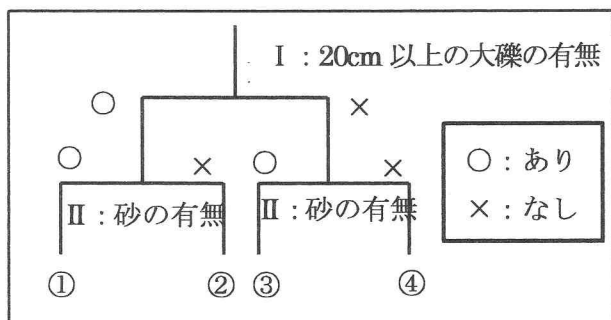


図-3 底質の解析方法

2m³/s に固定されているが、熊川地区は支流である平井川との合流部よりも下流に位置するために、熊川地区の方が多少の流量変動を有している。

（2）調査方法

各砂州において縦断方向 15m 間隔で 16 の測線を設置した。各断面では、水際を中心として 10m の範囲を対象としており、1m 間隔で計 11 個の観測点を設けている。各測点では、レベル測量、底質状態の写真撮影、流速流向計測（図-2 において丸の付いている観測点）を行った。

3. 解析方法

（1）底質の解析方法

撮影された河床の写真に、20cm 以上の巨礫が含まれているか否かと、砂（粒径 5mm 以下）が見られるか否かを判断し、底質を 4 つのグループに分けた（図-3）。

（2）断面形状の解析方法

最小二乗法によって横断面形状を直線で近似し、その傾きを水際周辺での平均横断勾配とした。また、回歸した直線と実際の地形の差を凹凸と考え、この標準偏差を凹凸の度合いとして定義した。また、直線だけでなく、半波長、1 波長、1.5 波長の正弦曲線を用いて断面形状の近似を行い、相関係数を判断基準として、

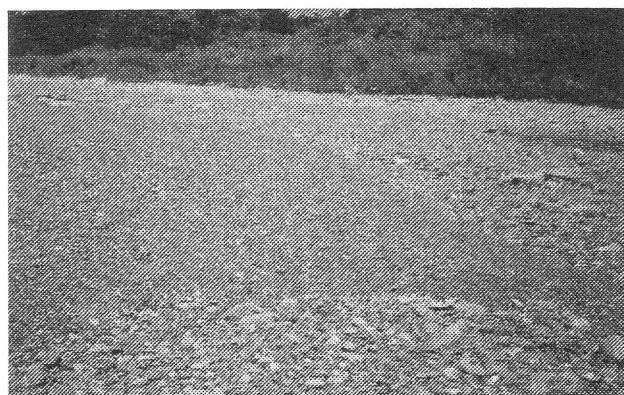


写真-1 礫の帯の様子

どの形状が最も横断面形状を表現しているかを把握した。

（3）流速・流向の解析方法

電磁流速計を用いて永田、熊川両地区で計測した流速分布をベクトル図にすることで、流れの状態を捉えた。

4. 底質の解析と考察

熊川地区と永田地区の水際部における底質の分布をそれぞれ図-4、図-5 に示す。熊川地区では細粒分（粒径 5mm 以下）はほとんど確認されず、主にグループ②と④だけで構成されていた。また、図に見られるように、縦断方向には極めて明確な境界が確認されたものの、横断方向には顕著な変化が見られなかった。一方、永田地区では底質の状態が多様で、熊川地区と比べ、縦断方向、横断方向共に変化が見られた。

このように両地区において、底質の分布状況に違いが生じた原因を把握するために、砂州全体を対象として河床材料の分級状態を調べたところ、砂州上には周囲と粒径が顕著に異なる礫が带状に分級している様子が確認された。このように、ある程度類似の粒径で構成された礫の集まりを「礫の帯」と呼ぶこととする。この「礫の帯」の一例を写真-1 に示す。

熊川地区では「礫の帯」が 2 個確認され、その内 20cm 以上の巨礫により構成される「礫の帯」が水際を横断していた。そこで、図-4 に示す様に、底質の分布を示すグリッド図と「礫の帯」の位置を比較したところ、底質グループ②となっているのは、「巨礫の帯」が水際を横断する所であることがわかる。すなわち、水際の礫の状態を把握するには、砂州上での河床材料の分級状態に着目する必要がある。

一方、永田地区では 3 つの「礫の帯」が確認され、その内 2 個が水際を横断していた。残る 1 個の「礫の帯」に関しても、水際には差し掛かっていないものの、調

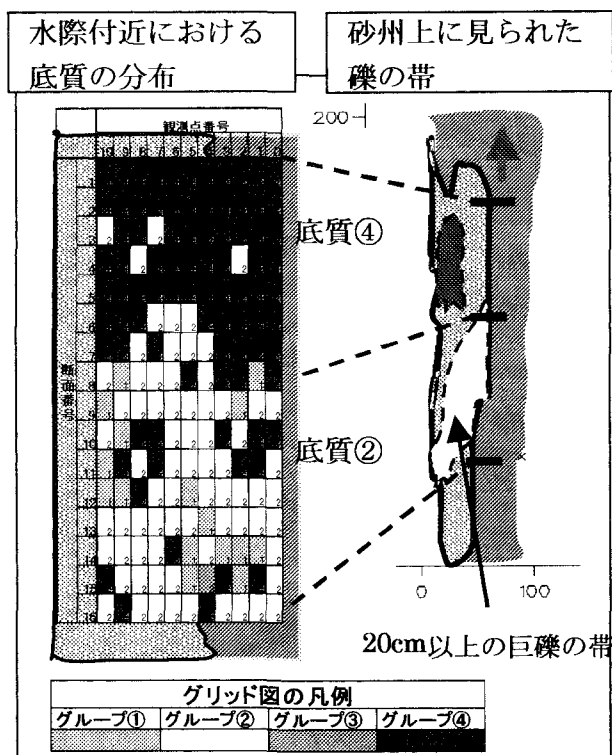


図-4 水際における底質の分布と礫の帯
(熊川地区)

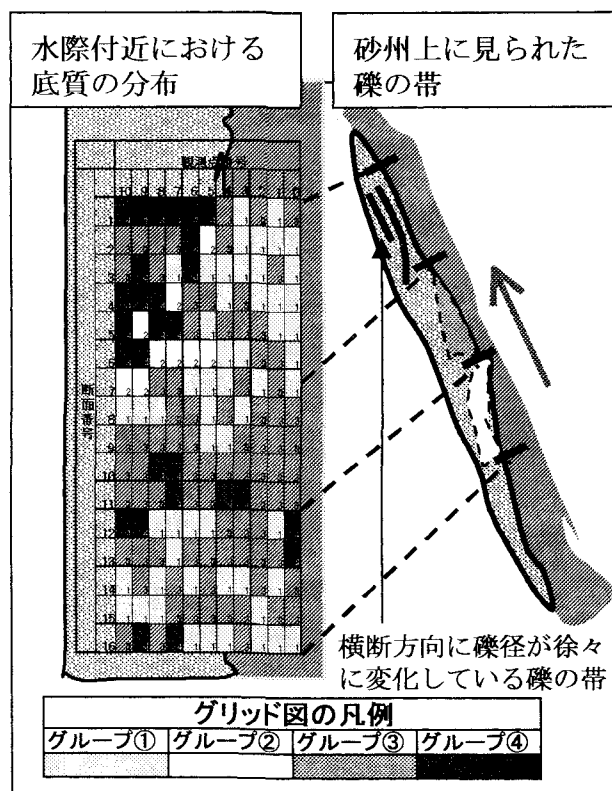


図-5 水際における底質の分布と礫の帯
(永田地区)

査対象としている水際線から 5m の範囲には入っていた。また、この帯の内部で礫径は均一ではなく、横断方向に徐々に礫径が変化している様子が確認された

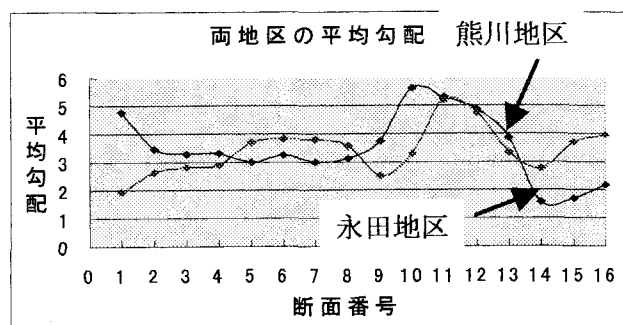


図-6 平均勾配の解析結果

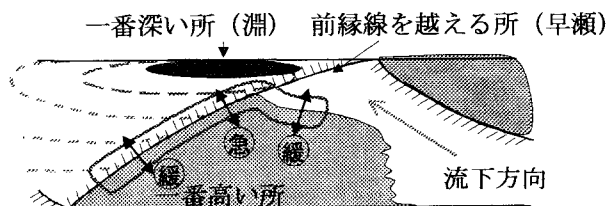


図-7 砂州水際における勾配のイメージ

〈図-5〉。

熊川地区と同様に、底質の分布と「礫の帯」を比較したところ、やはり「礫の帯」が水際にさしかかる場所で、縦断方向に底質の状態が変化していることがわかる。しかし、「礫の帯」が完全に水際を横断している熊川地区とは異なっており、横断方向にも変化がみられる。

すなわち両地区ともに、砂州全体に広がる「礫の帯」が水際に差し掛かったところで、底質の状態が変化している点は共通しているが、永田地区の方が水際にさしかかる「礫の帯」が多いために、水際の底質は縦横断に多様になっていたものと考えられる。

5. 横断面形状の解析と考察

(1) 平均勾配の解析結果

水際部における横断方向の平均勾配が、縦断方向にどのように変化しているかを両区間で比較したものが図-6である。図-6を見ると、その勾配の大きさや変化の傾向は両区間でほぼ一致していることがわかる。このような傾向を示す理由を図で表したものが図-7である。まず、砂州の下流端付近では、水域が平瀬になっており、あまり深くはない上に、対象としたのが平坦化した砂州であるために陸上の比高もさほど高くない。そのため、勾配は極めてなだらかなのである。しかし、ここから上流に向かうと、やがて流れが砂州の前縁線を越える所(早瀬)の手前に差し掛かる。ここは水中の環境が淵になっているところであるため勾配は急である。しかし、前縁線上に差し掛かれば、再び水域と陸域の比高差はなくなり、勾配はなだらかになる。

このように、砂州水際の周辺の勾配は、下流で緩く、

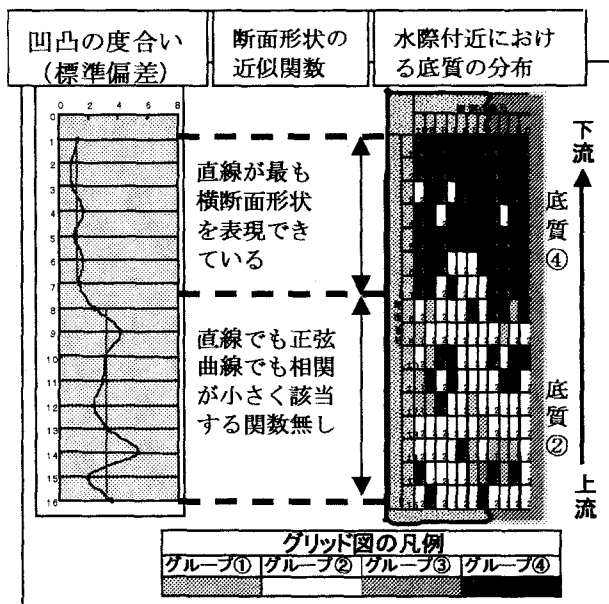


図-8 熊川地区の横断面形状の解析結果

早瀬の直下流で最も急になり、早瀬から上流では再び緩いという一定の傾向があり、これは砂州水際における基本的な特性であることが分かる。

(2) 凹凸の度合いと横断面形状の解析結果

まず、熊川地区における結果について述べる。図-8は、凹凸の度合い（標準偏差）の縦断方向の分布と、断面形状を最もよく近似できた関数の縦断方向分布を先の底質の分布と比較したものである。

下流側では凹凸の大きさを表す標準偏差が小さく、ほぼ直線で表現できる横断面形状となっていた。しかし、上流側では下流側に比べて顕著に標準偏差が大きくなっている。こうした領域の横断面形状は、凹凸が大きくなっているものの、正弦曲線でも近似することはできなかった。すなわち、こうした領域の凹凸は 5

～10m の系統的なものではなく、ランダムな凹凸である。そして、これらの変化点もまた、底質の分布の変化点と一致していた。

すなわち、熊川地区の下流側の環境は、中礫で構成されており、形状は直線に近いものの、上流側では 20cm 以上の巨礫が中心であり、ランダムな凹凸の河岸となっていた。このランダムな凹凸が生じた原因は、礫の帯が 20cm 以上の巨礫を中心に構成されていることにより、礫 1 個 1 個の凹凸が断面形状に反映されたためである。また、上流側のグループでは、勾配が急な断面と緩い断面が存在している。

永田地区でも同様の解析を行った結果を図-9 に示す。ただし、熊川地区に比べてやや複雑な構造をしているため、測量データをもとに水際部付近の地形を立体的に表示した図も併記している。

まず、横断面形状を種々の関数で近似したところ、正弦曲線でよく近似できる形状が多く見られた。これは、断面形状がランダムな凹凸を有しているのではなく、5～10m の系統的な凹凸を有していることを表している。こうした形状の特徴に基づき、縦断方向には 3 つのグループに区分することができた。次に、この系統的な凹凸が何を意味しているのかを把握するため、測量データと比較した。すると、まとまった凹凸が生じており、これらは縦断方向に連なっていることがわかる。

また、熊川地区同様、この断面形状を水際における底質の分布状況と比較したところ、各底質グループの分布状況と横断面形状は、ある程度対応していることがわかる。最上流部のグループは上に凸か下に凸といった明確な傾向は見られず、底質も様々なパターンのものが混在していた。しかし中間のグループは上に凸、下流のグループは下に凸の系統的な凹凸を有している。永田地区に見られるこうした系統的な凹凸は、「礫の

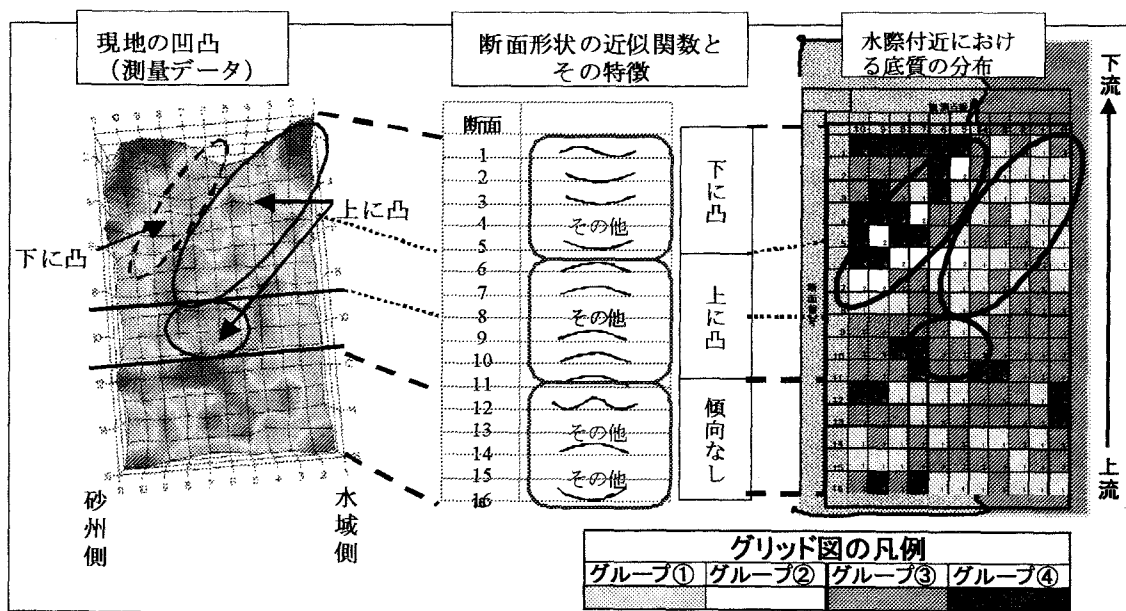


図-9 永田地区の横断面形状の解析結果

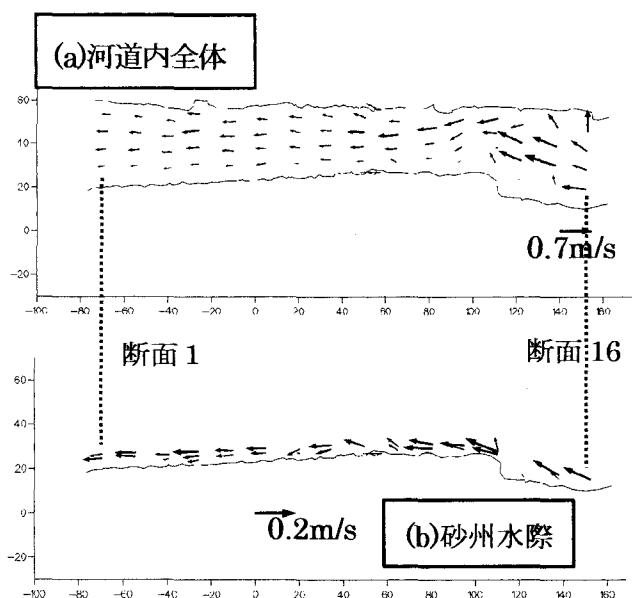


図-10 熊川地区の流速ベクトル図

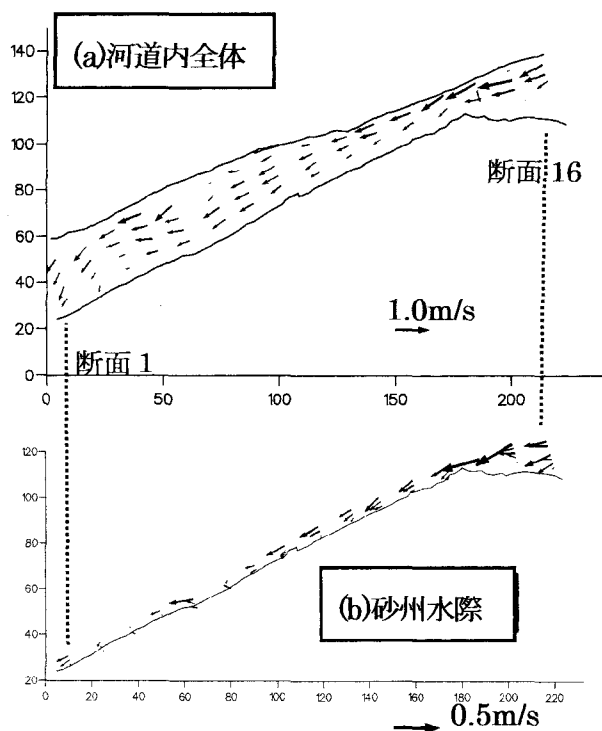


図-11 永田地区の流速ベクトル図

帯」によるものである。すなわち、熊川地区では、礫 1 個 1 個の凹凸が断面形状を特徴付けていたが、永田地区では礫の集まりが上に凸な部分と、下に凸な部分を形成していたのである。

6. 流速・流向の解析結果

図-10 および図-11 に両地区の河道内の流速ベクトル図と水際の流速ベクトル図を示した。砂州水際のベクトル図を比較すると永田地区の方が流速、流向ともに

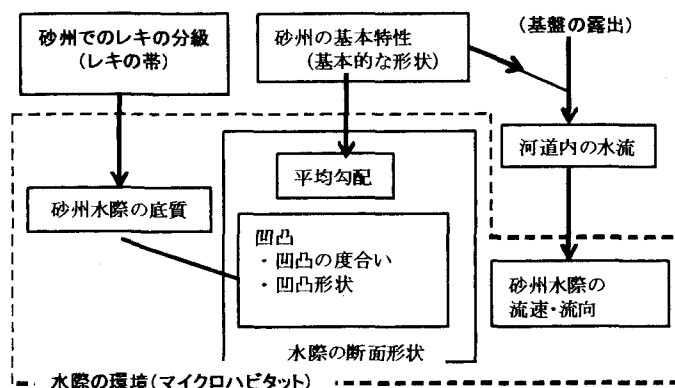


図-12 砂州水際の物理因子を規定する基本的メカニズム

多様であることがわかる。流速は上流の方で速く、下流の方で遅い上に、岸向きの流れや滞筋向きの流れも存在する。一方、熊川地区では、全体を通して同程度の流速が生じており、一部を除き流向は水際線に平行である。

これらの違いが生じた原因を知るには、河道内全体の流れを把握する必要がある。河道内全体の流れを見ると、永田地区では下流部で流れが蛇行しており、水際線に流れが当たる所ができるため、流速の大きい所と小さい所が生じ、流速・流向共に多様になったと考えられる。それに対し、熊川地区では一部を除き、河道内の流れは水際線に平行であるため、流速・流向ともに単調になると考えられる。

そして、このように河道内全体の流れを変化させた原因としては、河床低下に伴う基盤の露出が挙げられる。永田地区では河床低下が激しく、至る所で土丹層と呼ばれる基盤が露出している。そのため、流れは左右に振られることが多い。一方の熊川地区でも土丹層は確認できるが、その程度は永田地区ほどではない。

7. 解析結果のまとめ

両地区の底質および断面形状を比較したところ、平均勾配の縦断方向における変化のように砂州間で共通してみられるものもあったが、底質、凹凸および流速・流向には違いが見られた。それらの違いが生じる原因を探っていくと、まず砂州上に広がる「礫の帯」が水際の底質の分布状況が規定していた。さらに、熊川地区では 20cm 以上の大礫の分布がランダムな凹凸として現れており、永田地区では礫の集まりが 5~10m の系統的な凹凸として現れていた。すなわち、両地区でその現れ方は異なるものの、底質の分布状況が水際部の凹凸を支配していることになる。また、砂州水際の水流は河道内全体の水流の影響を受けており、河道内全体の水流を変化させていたのは、砂州の形状および

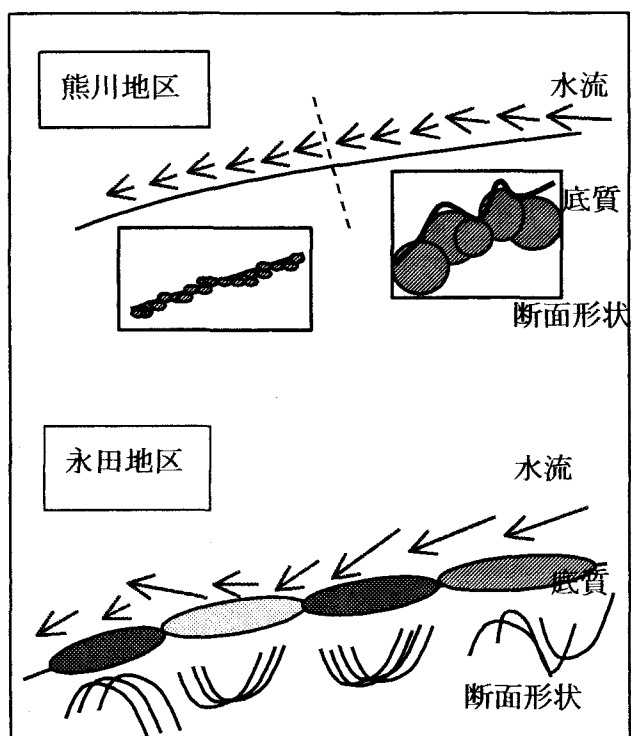


図-13 砂州水際に形成される生息場の物理環境

河床低下に伴う基盤の露出であった。これらは図-12のようにまとめることができる。図-12のフローからも分かるように、砂州水際の底質は砂州上にみられる「礫の帯」により規定され、凹凸もやはり「礫の帯」により規定されていると考えることができた。また、砂州水際的水流も河道内の水流により規定されており、それを支配しているのは基盤の露出など周辺の地形であった。ここで、「礫の帯」や河道内の水流およびこれを規定する周囲の地形は砂州スケールの物理因子であり、流況や砂州の長さ等、背景に違いがあったとしても、水際環境は共通のメカニズムで形成されていることがわかった。

すなわち、こうしたメカニズムの中には、共通して見られる基本的な特性と、砂州間で異なる個性とがある。まず、平均勾配の縦断方向の分布は両地区の砂州において共通しており、これは砂州の基本的な特性として説明することができた。さらに、礫の帯が両地区において確認されたことから、砂州上に礫の帯が存在すること自体も砂州の基本的な特性であると考えられる。一方、「礫の帯」の数、構成材料および水際を横断するか否かは砂州間で異なっており、この違いが砂州水際の底質の分布や凹凸の違いをもたらしていた。これらの要素は、砂州の個性として捉えることができる。そして、この基本特性と個性が組み合わさり、水際の物理特性が規定されていると考えられる。

こうした基本特性と個性が組み合わさった結果として、どのような生息場が両地区で見られたかを簡単に図にしたものが図-13である。この図からも分かるよう

に、永田地区の方が砂州水際に形成される生息場の物理環境が多様であった。

ただし、生物の選好性に加え、水位変動に伴う環境の変化や面的な広がりまで考えると、一概に永田地区の方が生物にとって適切な環境であると結論付けることはできない。例えば、流速が遅い環境を好む稚魚にとっては、流速の遅い環境が広がっている熊川地区の方が適切であると考えられる。しかし、浅瀬においても流速の大きい所と小さい所を使い分ける生物にとっては永田地区の方が適切であると考えられる。また、永田地区では砂州水際の底質に横断方向の変化があったのに対し、熊川地区では見られなかった。したがって、小さな水位変動に対して、永田地区では底質の環境が大きく変化してしまうが、熊川地区ではあまり変化しないと考えられる。

8. 結論

本研究では、砂州水際の断面形状（平均勾配、凹凸）、底質、流速・流向という物理因子を用いて、砂州水際に形成される生息場を捉えた。すると、砂州水際に形成される生息場の物理環境は、砂州スケールの物理因子によって規定されており、そこには基本的な特性と個性が存在することが明らかとなった。こうしたメカニズムは水際だけでなく、瀬や淵においても共通していると考えられる。したがって、今後の瀬や淵などのミクロな生息場の研究においても、交互砂州スケールの物理因子を考慮に入れる必要があると考えられ、本研究はその足がかりになったと考えられる。

参考文献

- 1) 玉井信行, 奥田重俊, 中村俊六: 河川生態環境評価法, 東京大学出版会, 2000.
- 2) 応用生態工学序説編集委員会: 応用生態工学序説, 信山会, 1997.
- 3) 山本晃一: 沖積河川学, 山海堂, 1994
- 4) 沼田真, 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 1995.
- 5) 太田猛彦, 高橋剛一郎: 溪流生態学砂防学, 東京大学出版会, 1999.
- 6) 辻本哲郎: 生態系保全における河川工学・生態系の接点, 河川技術に関する論文集Vol.6 P.7, 2000.
- 7) 長田信寿, 村本嘉雄, 内倉嘉彦ほか: 各種稼働条件下における交互砂州の挙動について, 水工学論文集第43巻 P.743-748, 1999.

謝辞: 本研究は河川生態学術研究会の研究の一環として行ったものであり、関係者の皆様に謝意を表します。

(2003. 4. 11受付)