

# 水みち跡の物理環境に着目した 礫床裸地の維持方法の検討

Examination of Maintaining Method of the Gravel Riverbank  
Focusing on a Physical Environment in the Water Pass Trace

知花武佳<sup>1</sup>・藤森裕章<sup>2</sup>

Takeyoshi CHIBANA and Hiroaki FUJIMORI

<sup>1</sup>正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 講師(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup>学生会員 東京大学工学部 社会基盤学科(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

Due to overgrowth of exotic plants, indigenous plants on gravel riverbank such as *Aster kantoensis* are in danger of extinction. Gravel riverbank which is suitable for *Aster kantoensis* should be sustained by natural forces. However, the method how to restore the sustainable gravel riverbank is not well clarified. In this study, by referring physical environment of the water pass trace in other sites, we examine the suitable condition of riverbank which can be utilized by *Aster kantoensis* and be sustained by natural flood. At first, water pass trace can be classified into several types based on their forming process. Consequently, we clarified that the sustainable gravel riverbank can be created even on a flood plain, and the riverbank with some silt underneath open work gravel layer that is a good habitat for *Aster kantoensis* can be created on the riffle of the water pass trace without too big gravel.

**Key Words :** trace of water pass, gravel riverbank, silt, *Aster kantoensis*

## 1. 序論

近年、河川中流域の礫河原において樹林化が進行しており、礫河原固有の在来種が絶滅の危機に瀕しているという問題が全国各地で報告されている。このように絶滅の危機に瀕した植物の代表として、カラワラノギク (*Aster kantoensis* Kitamura)が挙げられる。カラワラノギクは、他の植物との競争に極めて弱く、他の植生が侵入しにくい裸地を好む。中でも、礫が表層を覆い、その下層にうっすらとシルトの存在するような環境が最も好適であることが報告されている<sup>1)</sup>。こうした中、多摩川においては、人工的に造成された礫河原上で、市民との協働を通して、手作業によって外来種を駆除しつつ、カラワラノギクを保全する試みが続けられている<sup>2)</sup>。こうした努力の結果、造成された河原には、多くのカラワラノギクが見られるようになってきているものの、一方では保全作業が手作業によって行われているため、その保護区域の維持・拡大は難しいという課題も抱えている。

礫河原の保全のためには、この他にも様々な取り組みが行われている<sup>例えば 3)</sup>が、中でも砂州の一部を切り下げ、比高を下げ冠水頻度を調整することによって、洪水外力によって維持される礫河原を造成しようとする試み<sup>3)</sup>は



図-1 水みち跡

全国各地で見られる。しかし、洪水のたびに攪乱を受ける低水路においてこうした形状が本当に安定して存在しているのかなど、不明な点はまだ多い。

一方で、一見安定した高水敷上においても、増水時の洪水流を誘導することで、裸地を維持できるのではないかという考え方がある。もしこうしたことができれば、高水敷上にかろうじて残存している礫河原固有種の緊急避難的な生育場が確保でき、維持管理の作業量も減らすことができる。こうした考えを元に実際に河川を踏査すると、樹林化や藪化の進行した河原や高水敷上にも、洪水時に水みちが生じ、その跡地において植生が破壊され、裸地として維持されている箇所（以下、水みち跡と呼ぶ）が多数存在することに気付いた（図-1）。このような水みちの跡は、ときにシルト等の細粒土砂が溜まり、結果として外来種に覆われていたり、水溜りになり抽水



図-2 水みち跡の航空写真(左から、A、B、C、D、E型)

植物が繁茂していたりするが、上述したカワラノギクの生存にとって好適な場となりそうな環境も見受けられる。そこで、こうした、自然に形成された水みちの跡の物理環境を調査することで、カワラノギクにとって好適な裸地が維持される条件を探り、人工的に裸地を造成する際の参考にすることを目的とした。

## 2. 水みち跡のタイプ

上述した水みち跡には様々な環境が存在するが、この環境の違いはそもそも発生原因の違いによる影響が大きいのではないかと考えた。そこで、航空写真からも判読が可能な水みち跡を探した上で、水みち跡をその発生原因ごとに分類し、それぞれの特徴をまとめることから始めた。対象としたのは、利根川水系神流川、多摩川水系多摩川、秋川、浅川である。その結果、水みち跡は以下のように分類された。

### A. 複列砂州型

複列砂州が形成された河道において、平水時にいくつかの流路で水が干上がる場合があり、そこが水みち跡となったもの。砂州の波長に対応するため、比較的長い。複列砂州が発生しやすい神流川で多く見られた。

### B. 落差工型

落差工は、流れを分散させる機能を有するため、その下流においては、複数の流路が現れることがある。こうした複数の流路のうちの一本が干上がることで、水みち跡となったもの。複列砂州型に比してやや短くなる。落差工の多い秋川に見られた。

### C. 早瀬脇型

平水時に早瀬となっている砂州前縁線の上流端付近では、洪水減水期に早瀬の流れが分岐することで、櫛状に複数の流路が形成されることがある。そのうちの一本が干上がり、水みち跡となったもの。早瀬の一部であり、急勾配で最も短い。交互砂州が発達する浅川に見られた。

### D. 護岸収束型

低水護岸際や堤防際では、洪水時流れが集中し、河床が深掘れすることがある。この現象が堤防に沿って流下方向へ連続的に発生することによってできた水みちが干上がったもの。河原の広い神流川に見られた。

### E. 人工水路型

高水敷上に、人工的に掘削された水路であるが、現在

は使用されず放棄されているもの。神流川で一箇所見つけることができた。この水路は高水敷の上流端から下流端までを貫くように設計されている。

これらの空中写真を図-2に示す。これらのうち、本研究ではA複列砂州型の事例として神流川、埼玉県児玉郡神流町小浜地先、B落差工型は秋川、東京都あきる野市引田地先、C早瀬脇方は浅川、東京都日野市平山地先、E人工水路型は神流川、埼玉県児玉郡神川町四軒在家地先を対象とし、D護岸収束型は調査対象外とした。これらに、水みちの通った跡は見られるものの裸地が維持されるには至っていない多摩川、東京都あきる野市草花地先を対象として加え、以上5箇所において物理環境の詳細調査を行った。このうち、A、B、Cは低水路に存在し、Eと多摩川の水みち跡は高水敷上に存在している。

## 3. 現地観測

カワラノギクにとって好適な場がどのような水みち跡のどのような場所に形成されるのかを把握するため、水みち跡の測量、底質調査を行った。底質調査は水みち跡の滞筋に沿って縦断的に数カ所行い、表層材料が礫であるかシルトであるかを判断した上で、表層材料が礫であれば、表層礫(礫間にマトリクス材が詰まっていない礫。透かし礫層とも呼ばれる)の単位面積当たりの重量を計測した。これは表層礫の厚さを表すものである。ここで、礫として扱ったのは中径32mm以上のものであり、中径128mm以上の礫を大礫、中径32mm以上128mm未満の礫を中礫と呼ぶ。ただし、人工的に作られたE型の水みち跡においては、こうした底質調査は行わず、写真を基に礫、シルトの分布状況を定性的に把握した。以下に用いる縦断図、横断図においては比高、縦断距離は下流端最深部を基準とし、横断距離は水みち跡左岸側の肩を基準として表している。

## 4. 低水路に見られた水みち跡の物理環境

### (1) 複列砂州型の水みち跡

図-3に水みち跡の縦断図を示す。この水みち跡は、第5断面より上流が二列に分かれているが、滞筋に沿った縦断勾配はそれぞれ1/109、1/105と大差はない。地形図

から読み取った周辺の地形の勾配もおよそ1/100であり、全体的な河床勾配とほぼ一致するのは、縦断距離が長いことに起因する特徴である。また、局所的には、急勾配と緩勾配が繰り返されており、水みち跡にも本川同様の瀬淵が形成されている様子が見て取れる。勾配は瀬の部分で1/53～1/100程度となっており、一般的な早瀬の勾配である<sup>4)</sup>。

次に底質に関して述べる。まず第4断面から上流側を見ると、測線の位置の問題で、第7断面と第4断面は緩勾配から急勾配への変化点である早瀬の瀬頭のように見えるが、実際の早瀬はもう少し下流から始まっている。つまりこれらの断面は平瀬であり、粗い礫の間にシルトが詰まっている。早瀬となる第6断面では植生にトラップされたシルトが見られた。早瀬から淵へと変わる第5断面では礫層を覆うシルトは見られなかった。一方、第3断面から下流側は、河床高が本川水位よりも低くなっており、本流の水が入り込んでいるため、いわゆるワンドとなっている。そのため、底質は他の部分と異なり砂が中心である。このような場にはツルヨシの侵入が見られた。

## (2) 落差工型の水みち跡

図-4に水みち跡の縦断図を示す。上流端は落差工の天端面としたが、河原の途中で水みち跡と周囲の河原の差が不明瞭となるため、ここを下流端とした。滞筋に沿った縦断勾配は1/120、地形図から読み取った周辺の地形の勾配も1/125ではあるが、落差工の落差分を除けば水みちの勾配はかなり緩勾配である。落差工直下にあたる第5断面までの勾配は1/25と早瀬に比しても極めて急であり、そのあと第5断面から第4断面にかけては逆勾配の-1/50、そこから下流端は1/5018とほぼ平坦になっている。一般に、落差工直下は深掘れし下流方向に短く幅の広い淵が形成され、そこに落差工を越流してきた流れがほぼ垂直に落ち込み、鉛直方向の循環流が発生することが多い<sup>5)</sup>。上述した第4断面から上流はこういった状況と対応している。

ある程度流量の多い洪水中には、落差工上の主流線が完全に分散されず、左右岸いずれかに偏るために河原と滞筋が明瞭に形成されるのに対し、水みち跡が形成されるのは、主に洪水減水期の落差工により流れが発散される時期であると思われ、局所的な淵の下流に発達した河原の上を、弱い力で削り込むため、勾配も緩く、不明瞭な水みち跡になったと考えられる。すなわち、洪水中にできた複列砂州型水みち跡とは異なり、洪水減水期にできる落差工型は、弱い流れで形成されるという特徴を有している。

底質に関しては、急勾配の第5断面から上流は、比較的粗めの礫が多いが、第6、第7断面付近は逆にそういった粗めの礫が全体的にシルトで覆われている様子が確認された。これも複列砂州型のものと同様に、植生によっ

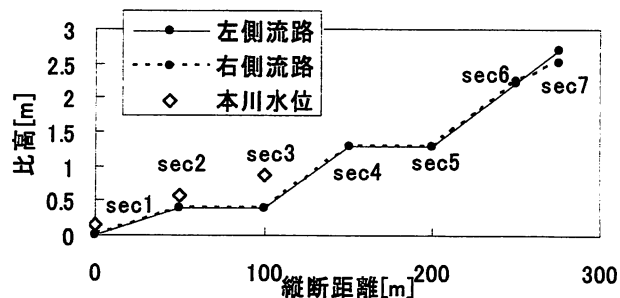


図-3 複列砂州型縦断図

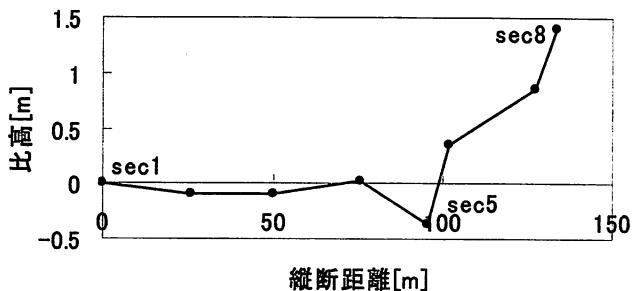


図-4 落差工型縦断図

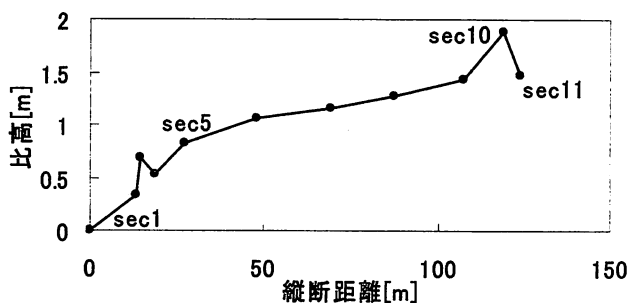


図-5 早瀬脇型縦断図

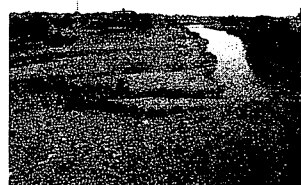


図-6 早瀬脇への植生の繁茂

てトラップされたシルトが堆積したものである。最後に第4断面から下流は、緩勾配で流れも発散する平瀬に該当し、表層の礫間にシルトが詰まり、はまり石になっていた。

## (3) 早瀬脇型の水みち跡

図-5に水みち跡の縦断図を示す。滞筋に沿った勾配は1/100で、周囲の勾配約1/200よりもやや急である。勾配は上流から下流に向けて緩やかに変化し、徐々に急勾配となっていく典型的な早瀬の縦断面形及び勾配である。この水みち跡には、ツルヨシではなくイネ科植物が繁茂

しているのが見られる。イネ科植物の種子は、図-6に示すとおり、早瀬脇の礫間で濾し取られやすく、結果としてイネ科植物が筋状に繁茂していることが多い<sup>9)</sup>。特に、緩勾配部において繁茂が激しい。

底質は全体的に礫で覆われていた。シルトが堆積している場所も一部あったが、上流から下流へかけて急勾配になるのに対応して、表層の透かし礫層厚さも増加していた。なお、こうした早瀬の透かし礫層厚さに関連し、著者らは早瀬の透かし礫層に存在する粒径64mm～128mmの礫の単位面積当たりの重量が、平水時の流量により規定されるという傾向を見いだしている<sup>4)</sup>。これは流水のある早瀬では平水時に細粒分がフラッシュされるためであるが、水みち跡の早瀬ではその効果がない。よって、透かし礫層の厚さは、厚い場所でも流水部の早瀬ほど厚くはならず、礫層の下にはすぐシルト層が見られ、カワラノギクにとっては好適な環境が形成されていた。

## 5. 高水敷上に見られた水みち跡の物理環境

### (1) 裸地とはならなかった高水敷上の水みち跡

図-7、9に植生が破壊されていない水みち跡の様子の写真と縦断面図を示す。平均縦断面勾配は1/196で、周囲の勾配とほぼ一致しており、決して緩勾配というわけではない。また、図-10には横断面図の一例を示す。このように、水みち跡は横断方向に広く発散していることが多く、傾向として落差工型の特徴と類似している。ただし、最大の違いは、その比高にあり、かなり流量がなければこの上を水が流れることはなく、シルトの堆積が生じやすい減水期にはすでに水が流れていないはずである。

図-9において、縦断面図から下方に伸びる線が表層土層厚（検土杖による調査結果）を示している。ここから見て取れるように、表層土層厚は上流ほど厚く、高水敷きに乗上げた流水に含まれる細砂が高水敷の肩で植生によって落とされるという高水敷に典型的な特徴が見られる。また、下流部は上述したように流れが発散しているためにやはり表面は細粒土砂で覆われている。ただし、ここで言う細粒土砂とは粒径0.2mm前後であり、これまで見てきたシルトに比べればその粒径は粗めである。

これらを総合すると、この高水敷における細粒土砂の堆積は、低水路で見られた洪水減水期のシルトの堆積とは異なり、洪水の水量がまだ多い段階で生じており、植生の存在と左右に発散する水みちの形状がもたらしているものと考えられる。

### (2) 人工水路型の水みち跡

図-8、11に植生の繁茂していない水路内の様子の写真と縦断面図を示す。この水みち跡は最近まで農業用水を導水するために使用されていたものがそのまま放棄されたも



図-7 多摩川高水敷写真



図-8 人工水路型写真

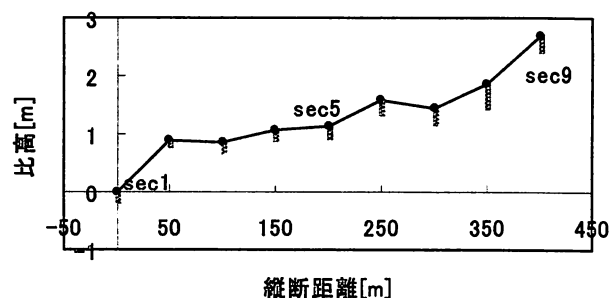


図-9 多摩川高水敷縦断面図

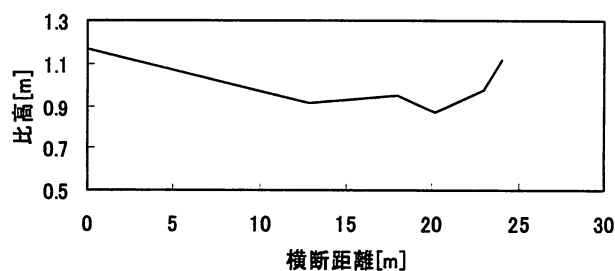


図-10 多摩川高水敷第3断面横断面図

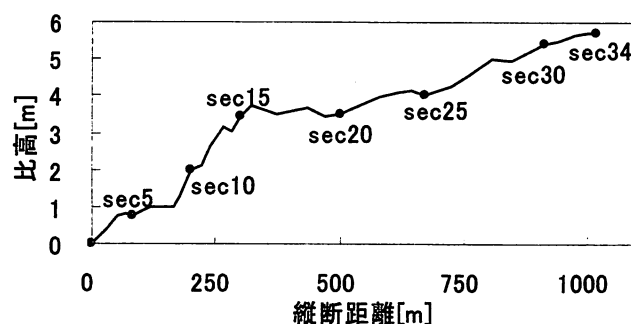


図-11 人工水路型縦断面図

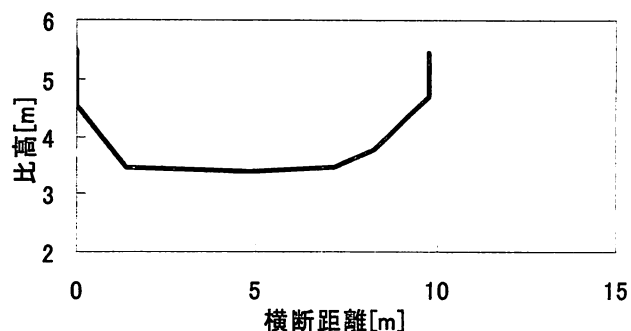


図-12 人工水路型第11断面横断面図

のである。全長1014mと長く、高水敷を迂回しているため、全体の縦断勾配が1/194と低水路河床勾配よりもやや緩勾配である。特に、点17より上流側では、勾配が1/100よりも急になることはなく平均勾配は1/276となっており、直線的である。また、図-12に横断図の一例を示す。人工的に掘削されているため、両肩の部分は切り立っている。水路幅は一部を除き、8m～12m程度であり、深さは、2m程度で一定である。

ここで底質は、比較的細かな礫(中径が3cmに満たない程度のもの)が多く見られる。勾配も緩く、高水敷上で比高も高いため、小さな礫が留まることができたものと考えられる。一方、シルトや細砂の堆積は、水路中央に見られることは少なく、水路脇においてのみ見られた。これは高水敷上から水路に張り出している植生と、そこから水みち跡に侵入してきた植生の影響であると思われる。また水路中央部では植生の定着は見られなかった。

## 6. 考察

まず、低水路型の水みちについて結果をまとめる。複列砂州型では、低水路と同様の瀬淵構造が見られ、底質もそれに対応している。すなわち緩勾配の平瀬部分、植生付近ではシルトの堆積が、早瀬から淵には透かし礫層が見られた。下流側はワンドになっており砂で覆われていた。落差工型では、落差工直下が深掘れした後、緩勾配となって流れは発散していた。この水路は洪水時減水期に形成されており、植生背後、緩勾配、流路発散部でシルトの堆積が目立った。早瀬脇型では、全体的に早瀬の形状をしており、透かし礫層の下にシルトの入った好条件ではあったが、イネ科種子もまた濾し取られるという問題がある。

しかし、いずれも早瀬や淵の形状の部分では透かし礫層が形成されており、平瀬や植生の付近でシルトの堆積が見られるという特徴は共通していた。植生によるシルトのトラップについては他に研究が行われており<sup>例えは、7)</sup>、本研究では触れない。

早瀬では、表層は礫に覆われているが、その一層ないし二層程度下にはうっすらとシルトの層が存在する。透かし礫層が薄い理由についてはすでに述べたが、シルトの堆積は、道上ら<sup>8)</sup>の実験で示されたメカニズムで説明可能である。すなわち、シルトなどの細粒分を含む流水中では、礫層の間にシルトなどの浮遊砂が沈み込み堆積するものの、表層付近は流水によって洗われるため、シルトは存在しない。混合粒径の場合、砂が礫層の間隙を埋めるために、シルトの沈み込みがより一層抑えられることが解明されている。こうしたメカニズムにより、薄い透かし礫層の下にうっすらとシルトの層ができ、カワラノギクにとって良い生息場となりうると考えられる。ただし、洪水減水期にあまり大きな礫間を少量の水が流

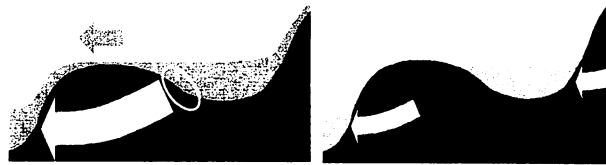


図-13 洪水減水期(左)と末期(右)での水みちにおける流れ  
(左図の白丸はシルトのトラップされる位置を表す)

れると、イネ科の種子がトラップされやすいという問題点がある。

一方、平瀬では、表面がシルトで覆われている。このメカニズムは、次のように説明できる。洪水減水期、水みちにはシルトを多く含む水が流入していると考えられるが、洪水減水期であれば、水面形が水みちにおける河床の凹凸に対応した形になっている。その時、早瀬上下流に水位差が生じることで、平瀬部分から早瀬尻へ向けての伏流が卓越する期間があるはずである(図-13左)。この際、平瀬表面では洪水流中に含まれるシルトが河床礫間にトラップされる一方で、早瀬とは異なり礫間のシルトを河床から持ち出すような、強い表面流が存在しないことから、シルトが厚く堆積することが考えられる。

この後、十分水位が低下すると、上流からの表流水の流入がなくなり、上流の平瀬から伏流した湧出水のみが流入するようになる(図-13右)。こうなると、更なるシルト流入がなくなり、水も澄んでいるため、淵底にはシルトの堆積が少ないことが理解できる。

また、今回調査した複列砂州型の水みち跡には二つの平瀬(図-4 sec. 4, sec. 7)が見られたにもかかわらず、そのいずれにもシルトの堆積が見られたことから、未だ全ての表流水が早瀬河床を伏流していない段階で、河床礫間がシルトで目詰まりを起こしていることが示唆される。すなわち、一箇所ですべてのシルトが濾し取られてしまうわけではない。

一方、人工水路型水みち跡は、他の水みち跡と異なり比高の高い高水敷の上に掘り込まれたものである。人工水路型の平瀬に堆積していた細粒分は砂程度の、シルトより粗いものであったが、それは、比高が高く冠水時間が短いため、図-13のようなシルトの堆積する期間が極めて短いからであると予想できる。そして、平均縦断勾配は1/194と、多摩川高水敷の1/196とほぼ同じである。ただし、人工水路型では深さ1～2m程度に水路が掘り込まれているため、洪水流が発散せず、細砂が堆積しにくいという特徴を有している。また、しばらく通水していたため、礫間に種子等が残存しておらず、植生が定着しにくかったことも違いとして挙げられる。

これまで見てきたことを考慮すると、一般によく言われる様に、比高が高いために冠水深が浅くなったり冠水頻度自体が下がったりすることや、勾配が緩いことが、必ずしも細粒分を溜めこむ原因ではない。それよりも、

重要なのは①図-13の様な状態を長く継続させないこと、②多摩川高水敷や落差工型で見られたように一度河原に乗り上げた流れを途中で発散させないこと、③水が流れる前に植生を定着させないこと、④礫間を少量の水が流下することでイネ科種子が濾し取られないことである。なお、①に関して言えば、水位がじわじわと低下する低水路の水みちよりも、むしろ高水敷上のものの方が有利である。

以上から、高水敷上に水みちを誘導し、裸地を維持するには、①の観点から緩勾配・逆勾配となる平瀬的部分を作らず、②の観点から、流れが左右に発散しないよう、水路を掘り込み、③の観点から最初には通水して植生種子を洗い流しておき、④の観点からあまり巨礫がごろごろと転がるような急勾配の早瀬も作らない、といった条件が考えられる。すなわち、上流端の位置は比較的高く、下流端の位置は洪水減水期にワンド状になるまでは掘り下げず、その間をほぼ一定勾配で下流ほどやや急勾配になるような形状とし、少し掘り込むというのが、筋状の裸地を比較的に長く維持させるための工夫であると考えられる。あまり勾配を急にすると、その中で瀬淵構造が自然に形成される可能性も高い。

ただし、礫を移動、更新させる方が外来種の排除のためには望ましいが、この場合は上流からの礫の供給についても考える必要がある。低水路から、必要なサイズの礫が確実に乗り上げるような位置、比高に水みちを設計することも重要であるが、礫の更新については十分に考えられていないのが現状である。

## 7. 結論

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- ・水みち跡の物理環境はその発生要因によって特徴が異なり、複列砂州型、落差工型、早瀬脇型、護岸収束型、人工水路型といったタイプがあることを見出した。

- ・水みち跡にも瀬淵構造が形成されており、底質は瀬淵構造と対応している。すなわち、早瀬には透礫層の下に薄いシルトの層ができるのに対し、平瀬ではシルトの堆積が起こる。淵底にはさほどシルトは堆積しない。この様なことを考えると、カワラノギクの生育には早瀬の構造が好適ではあるが、あまり礫径が大きいと、礫間の空隙でイネ科種子が濾し取られるという懸念がある。

- ・洪水敷上では比高が高いため、洪水の水位低下速度が

早く、水みち跡にシルトの堆積する期間が短くなり、むしろシルトの厚い堆積が起こりにくい。ただし、流路を掘り込まないと流れが発散し、細砂の堆積が生じる。

- ・高水敷上に自然に維持される礫床を設計するには、逆勾配の部分をつくることなく、かつ礫間を水が抜けるような状態になるまで流路を急勾配にしすぎず、河床勾配がそれよりやや急な一定勾配で設計し、流れが発散しないよう流路を掘り込み、初期に通水するなどして残存する種子を洗い流してしまうことが重要である。

謝辞：本研究は多摩川生態学術研究会の研究の一環として行われたものである。関係者の皆様に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ，多摩川の総合研究—永田地区の河道修復—，2006。
- 2) 一澤麻子，長岡綾子，畠瀬頼子，和田美貴代，阿部聖哉，奥田重俊，多摩川中流域における河川敷植生の復元と管理についての研究，とうきゅう環境浄化財団報告書，2006。
- 3) 眞田淳二，浦上将人，前野詩郎，渡辺敏，2006年7月出水を経験した旭川下流部礫河原再生箇所のモニタリング結果と考察，河川技術論文集，第13巻，pp. 129-134，2007。
- 4) 知花武佳，林融，三宅基文，河川中流域における土砂の動態が早瀬の物理環境に及ぼす影響，水文・水資源学会誌，第20巻，No.4，pp. 362-372，2007。
- 5) 知花武佳，三重野貴之，辻本哲郎，落差工下に形成される淵の魚類生息場特性，河川技術論文集，第11巻，pp. 465-470，2005。
- 6) 田所奈美，知花武佳，河原における植生の種子漂着場に関する研究，河川技術論文集，第12巻，pp. 465-470，2006。
- 7) 辻本哲郎，植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程，水工学論文集，第40巻，pp. 1003-1008，1996。
- 8) 道上正規，藤田正治，北川豊広，三村光太郎，空隙の大きな河床への浮遊砂の沈み込み過程と非平衡浮遊砂，水工学論文集，第38巻，pp. 609-614，1994。  
(2008. 4. 3 受付)