

河床材料の鉛直構造分析を用いた 浅川中流域の河床環境評価

Evaluation of riverbeds depending on the vertical constitution analysis
of riverbed in mid Asakawa river

伊藤悠¹・知花武佳²
Yu ITO and Takeyoshi CHIBANA

¹学生員 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒113-8685 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 社会基盤学専攻 准教授 (〒113-8685 東京都文京区7-3-1)

There are many kinds of habitats for fishes inside a river channel. One of the most important habitats is void generated among gravels and cobbles on the riverbed. Fish can take a rest from fast flow or sometimes even lay eggs there. However, number of voids is said to be decreasing in some rivers due to several artificial impacts. In order to preserve the voids on riverbed, it is essential to find out the mechanism of how gravels form the riverbed configuration. Against such a background, we carried out field measurements. At first, we investigated the Asakawa river that is the branch of the Tamagawa riverine system which is known to be owning a lot of habitats for demersal fishes such as weatherfish or Japanese dace. We investigated how sediments compose the layer of the riverbed.

Key Words : void of gravel bed, sediment transport, vertical constitution analysis of riverbed

1. はじめに

河床に存在する礫間の空隙は底生魚類にとっての生息場や産卵床としてだけでなく、遊泳魚の一時的な避難場所としても利用される重要な空間であるが、最近その減少が懸念されている¹⁾。これには様々な状況がある。例えばヒゲナガカワトビケラは河床の礫間に網を張って餌を取るが、洪水時にその巣が流されることで適度な個体数が保たれている。しかし、大規模な出水が減ったことにより大礫が流されなくなり、土砂の入れ替わりがなくなった河床では、トビケラが過剰に繁殖し礫同士を強固に付着させることで、礫間に存在していた多くの空隙が失われてしまう。また、上流から供給される土砂が小さいものばかりになってしまうと、それらが空隙に入り込み、その消失を招くこともある^{2),3)}。

この礫間の空隙を保全することができれば、底生魚類の生息場を増加させることができるであろうが、そのためにはそれがどのようなメカニズムでどこに形成されるかを理解する必要がある。しかし、これまで礫間の空隙を定量的に評価した研究は少ない。小野田ら¹⁾は礫下間

隙という指標を定義し、河床に存在する空隙を定量的に評価する方法を提案している。礫下間隙と呼ばれる指標は河床に存在する礫と砂の間に三角定規を挿入することによって測定できる空隙の入り口の大きさである。これは砂床に礫が点在している場合には有効であるが、様々な大きさの空隙が河床全体に無数に存在している礫床河川に適用できるものはない。

そこで本研究では、河床に存在する空隙の割合を空隙率という指標で表現し、それを生息場の機能を表現する1つの指標として評価する。次に、その空隙率の多寡に着目し、空隙の多い河床が形成される条件についてやや広域の河道特性から考察する。本文の構成は以下の通りである。

1では本研究の背景について説明した。

2では空隙率の測定に関して、その手法と浅川における調査の結果について説明する。

3では、2で述べた空隙率の空間分布を支配していると思われる、河床の鉛直構造の空間分布を把握する手法について説明する。

4では浅川における鉛直構造分析の結果を考察し、そうした結果に至るメカニズムとして考えられるものを紹介する。

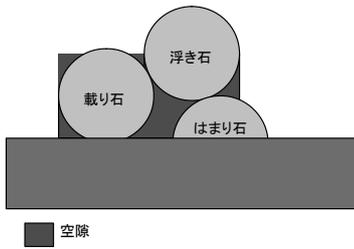


図-1 対象とした空隙のイメージ

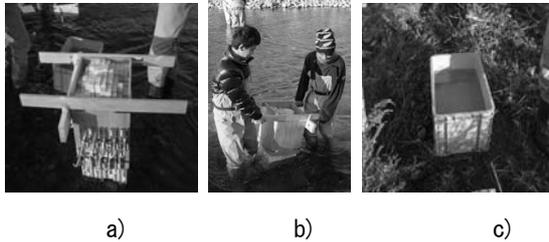


図-2 空隙率測定装置の概要

5では鉛直構造分析による結果をまとめ、それによって得られる考察を記述する。

6では浅川における空隙率の測定と鉛直構造の分析の結果を踏まえて、本研究における成果をまとめる。

2. 空隙率の測定手法と浅川における調査結果

(1) 用語の定義

まず、礫の状態について既往研究にならい以下の3つの状態を区分した^{1),4)}。

浮き石状態：礫が他の礫上に存在する状態。

載り石状態：礫が砂の上に存在する、あるいは砂にはまらず片手で抵抗なく取り上げられる状態。

はまり石状態：礫が砂にはまっている状態。

これらをふまえた上で空隙を以下のように定義した。

空隙：64mm以上の浮き石状態、載り石状態の礫より下で、砂の上に存在する空間。

空隙率：空隙体積 / (空隙体積 + 空隙を形成している礫体積)

(2) 空隙率の測定

図-2のような装置を開発して河床の空隙率を測定した。この装置は内径が一辺30cm四方の正方形の枠と内部にある一辺3cmの角材100本からなっている。側面には固定用のねじがついており、角材を自由に動く状態と、固定されて動かない状態にすることが出来る。これを用いて河床の様子を複写して空隙の体積を測定する方法を以下に説明する。

- ① 測定したい河床に枠を固定し、ねじをゆるめて角材を河床に着くまで下ろす。(図-2 a)
- ② ねじを締めて角材を固定した状況で陸上へ持ち上がり(図-2 b)、枠の下から出ている足の部分を水

表-1 測定データ (site番号については後述)

site	gravel (g)	gravel+void (cm ³)	gravel (cm ³)	void (cm ³)	void (%)
3	11,900	6,060	4,490	1,570	25.9
3	4,600	3,120	1,740	1,380	44.2
4	6,250	4,220	2,360	1,860	44.1
4	3,800	1,840	1,430	410	22.3

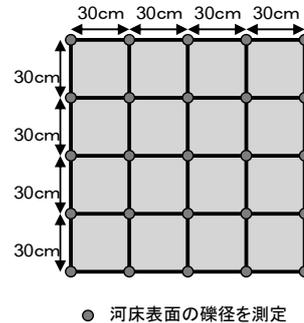


図-3 面積格子法で用いた方形枠の諸元

槽に浸けて、減った水の量(図-2 c)を用いて、基準高さ以下に存在する足(角材)の総体積を測定する。

- ③ 河床の測定した部分から浮石と載り石を取り除き、再び同じ手順で足の総体積を測定する。
- ④ ③で求められた体積と②で求められた体積の差は、取り除いた礫の体積とその周辺に存在する空隙の和であるので、ここから礫の体積分(総重量を計量し、密度2.65g/cm³で割って産出)を差し引くことによって空隙の体積を算出する。

本研究においては、浅川に生息している体長7~8cm程度の魚類が侵入可能な空隙の測定を目的にしている。また、完全に空隙ではなくとも、河床に生じる礫間のくぼみなども生息場となりうる。こうした対象を考えれば、角材を細かくして細かな隙間だけを労力をかけて計測するよりも、一辺3cm程度の角材で測れる「河床の隙間」の方が妥当であると判断したため、装置をこの様な設計としている。

(3) 浅川における調査

本研究では、ドジョウやカマツカ、ギバチといった様々な底生魚が生息している多摩川水系浅川において、河床の特徴が現れやすいと考えられる平瀬を対象として空隙率の測定を行った。しかし、南北浅川の合流点から浅川大橋まで存在する平瀬を踏査したところ、空隙率を測定できそうな大礫の存在する河床は限られた場所にしか存在しなかった。なおこれらの地点で計測した結果を表-1に示す。ここからわかるとおり、浮石と載り石の総量とは関係なく、空隙率の大きな場所と小さな場所は存在し、その違いを産んだのは粒径分布である。

このような結果を踏まえ、なぜ空隙が存在する河床と

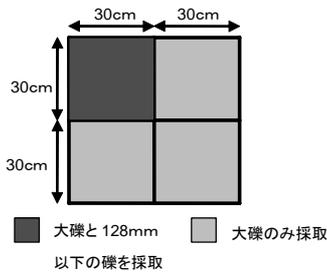


図-4 体積採取法で用いた方形枠の諸元

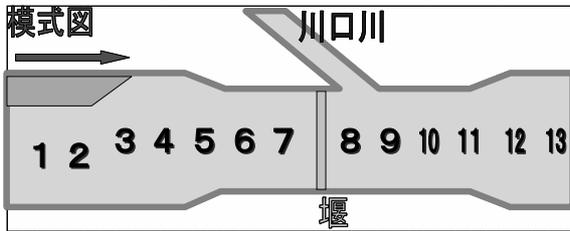


図-5 サイト番号と堰・合流部の位置関係

存在しない河床に分かれているのかを分析するために空隙形成の主たる要因となっている河床材料の鉛直構造（堆積土砂の粒径分布と、それが鉛直方向にどのように堆積しているか、すなわち、立体構造とその鉛直分布）を分析することにした。

3. 河床構造の鉛直構造分析の手法

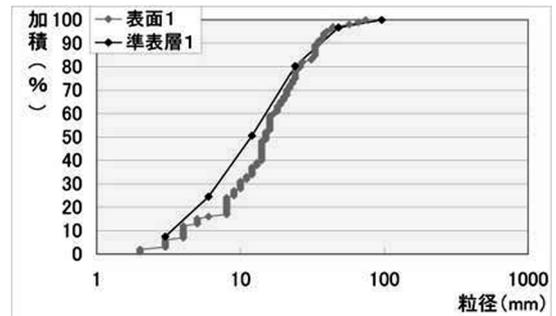
河床構造の鉛直構造分析は以下の2つの方法を組み合わせることによって行う。

(1) 面積格子法

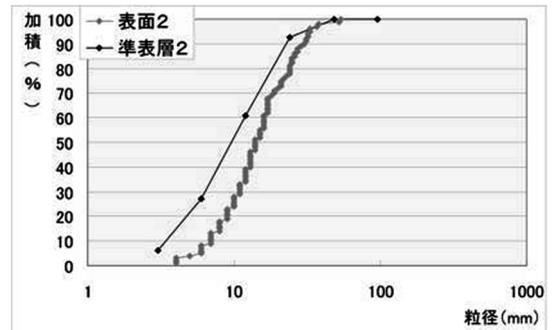
対象とする平瀬のほぼ中心に二測線、各測線上に左岸より、右岸よりの二点を設定し、一つの早瀬に付き計四箇所面で面積格子法を実施した。面積格子法は河床表面の礫を縦横断、等間隔で採取して、その径を測定する手法である。これによってこの河床の表面に存在する礫の粒径分布状況を測定することができる。今回の研究では、図-3に示す1.2m四方の方形枠を用意し、その中で30cm間隔に25点の礫を採取した。これを平瀬1つにつき4箇所面で実施するため、計100個の礫の径を測定することになる。河床に方形枠を設置する際には上下流や河岸からの影響を出来るだけ均等にするために枠の二つの辺が流下方向に対して平行になるように設置した。

(2) 体積採取法

一定面積に存在する土砂を一定の深さまですべて採取して、その粒度分布を測定する。本研究では、河床の30cm四方の範囲について、礫間が細粒分で充填されている河床高さから、深さ約10cmシャベルを差し込んで、そ



a) Site1 の粒径加積曲線（表層，表層+準表層）



b) Site2 の粒径加積曲線（表層，表層+準表層）

図-6 区間1に見られる粒度特性

こからすくい上げた土砂を対象とした。採取した土砂をふるいにかけて、通過した分量の重量を測定することで2mm-4mm, 4mm-8mm, 8mm-16mm, 16mm-32mm, 32mm-64mm, 64mm-128mm, 128mm-に分類した。存在割合の小さな大きな礫が30cm四方の枠内に入る確率が低いため、大礫が枠内に入った場合と入ってない場合で測定結果に大きな影響をもたらすことになってしまう。この問題を解決するため、大礫（本研究では128mm以上を大礫と称する）は最初に60cm四方全体から採取して重量を1/4倍して計算するという三宅らの方法を用いた⁴⁾。

(3) 鉛直構造分析

河床における礫層を、深さによって以下のように区分して、以下使い分けていくこととする。

表層：河床表面に出ている礫

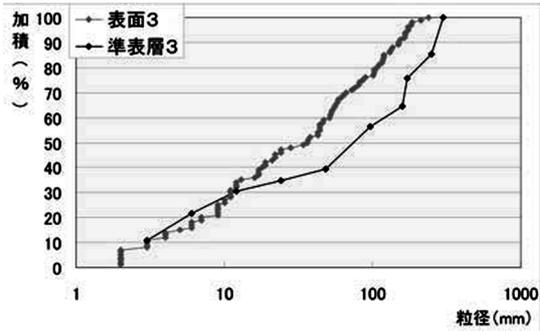
準表層：河床表面の下から10cm程度までの深さ

すなわち、面積格子法で得られるのは表層の粒度のみで、体積採取法で得られるのは表層と準表層の粒度である。そこで、面積格子法によって得た河床表層付近の粒径分布と体積採取法によって得た表層、準表層の粒径分布を同じ粒径加積曲線の上に描くと、その相対関係を見ることができる。次章ではこの結果について説明する。

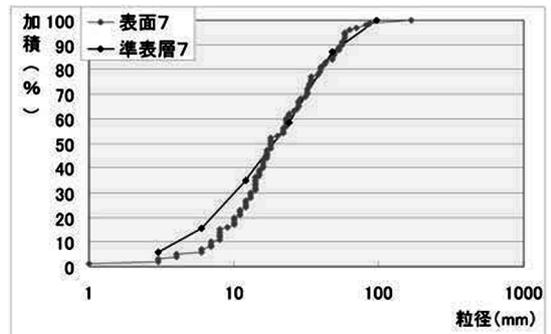
4. 浅川における鉛直構造の調査

(1) 調査の概要

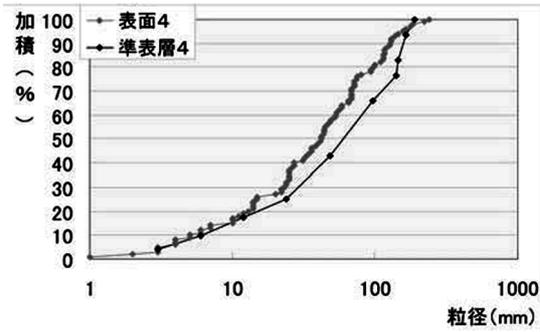
多摩川水系浅川の南北浅川合流地点から大和田橋までの区間に存在する13箇所の平瀬で調査を実施した。なお、



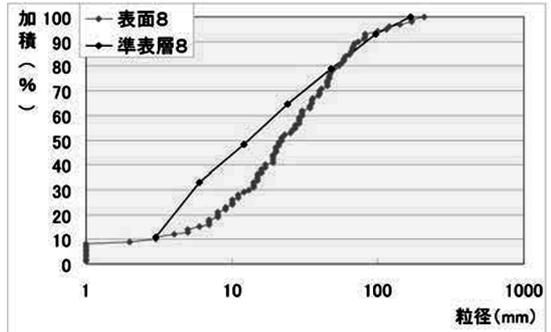
a) Site3 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



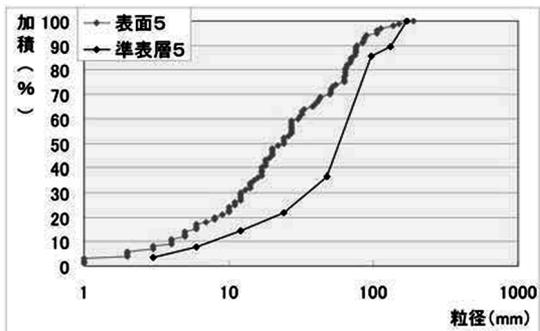
a) Site7 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



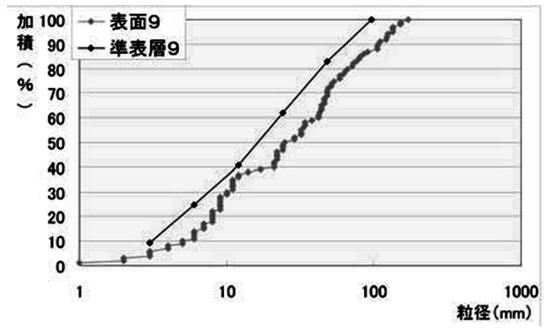
b) Site4 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



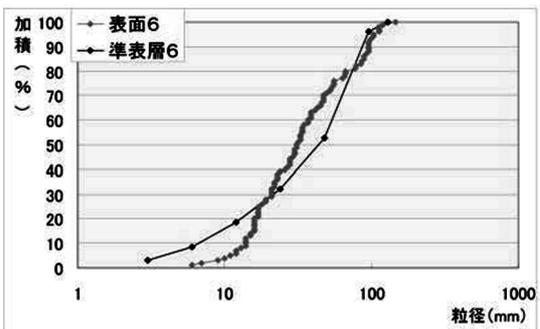
b) Site8 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



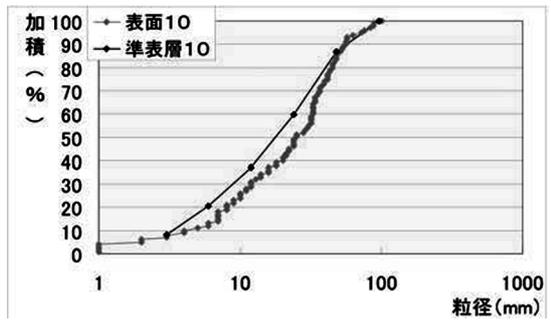
c) Site5 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



c) Site9 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



d) Site6 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



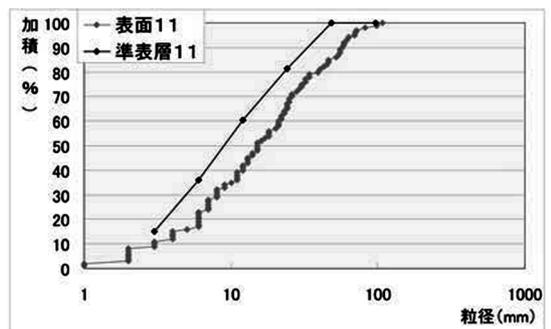
d) Site10 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)

図-7 区間2に見られる粒度特性

調査内容は上記の河床材料調査に加え、沿川の踏査による特長の把握 (土丹や護岸の有無), 流量計測である。

(2) 調査結果の概要

対象区域内の平瀬13箇所 (上流から順にSite1~13とする) を測定した結果, その特徴からSite1~13は縦断



e) Site11 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)

図-8 区間3に見られる粒度特性

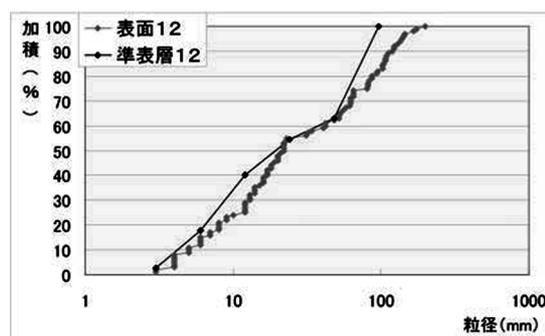
的に大きく4つの区間に分けることができた。ここで、区間1と区間3では、大礫がほとんど存在せず空隙が形成されておらず、区間2と区間4では、大礫が多く存在し空隙が形成されているのが特徴である。以下、その詳細と共に、このような状況に至るまでのメカニズムとして考え得るものを現場の状況から推察する。なお、浅川における過去の砂利採取や河川横断構造物により、上流からの土砂供給が必ずしも十分でなく、それにより河床が不安定であることは、既往研究^{5),6)}によっても示されており、これらの研究を踏まえた上での考察でもあるが、定量的な検討には至っていない。

a) 区間1 (Site1-2 (南北浅川合流地点～鶴巻橋) 図-6)

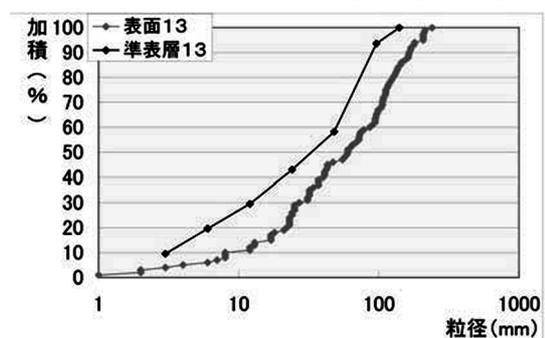
この区間は、表層と準表層で粗粒分の粒度分布に違いはないものの、準表層には表層に少ない数mm程度の細礫が含まれている。表層に細粒分が少ないのは自然であるが、扇状地の扇頂部付近であるにも関わらず、河床材料のほとんどが砂利で大礫は見られず、上述したとおり空隙も存在しない。また土砂の堆積層がかなり薄く、土丹の露出が非常に顕著である。すなわち、この区間における土砂の堆積層は薄く、鉛直方向にも細粒土砂割合が多少変化するだけで、粒径はあまり変化しないことから、洪水の繰り返しで河床が形成されるのではなく、ある一時期に堆積したものだけであると予想できる。この区間は、土丹の露出によって粗度が非常に小さくなっているため、礫が留まりにくく、洪水末期になり、水位が小さくなるまではほとんどの土砂が停止・堆積できない。そして、洪水末期には、それでも輸送されてくる粒径の小さい土砂が堆積するのみであるため、このような河床構造が形成されるものと考えられる。

b) 区間2 (Site3-6 (鶴巻橋～荻原橋下流側) 図-7)

この区間は堆積土砂も厚く、土丹層の露出は少なくなる。また、区間1に比べて準表層の礫径が大きくなり、大礫が多く見られるが、表層の方が砂利の割合が多い。すなわち、大礫が砂利で覆われているため、上述したとおり場所によって空隙の大きい場所と小さい場所が存在する。この区間で堆積土砂が厚く大礫が多く堆積している理由は、site5とsite6の間に存在する急縮部で発生する堰上げ効果ではないかと推察される。すなわち、流速が遅くなり掃流力が小さくなることによって、上流の土丹区間を通過した礫が停滞する要素が存在する。表面の粒径が準表層よりも細かくなっているのは、大礫が堆積している上に減水期に粒径の小さい土砂がかぶるからである。すなわち、大礫と砂利は一体となっては輸送されておらず、中小出水では区間1を構成しているような砂利のみが流下し、それが堰上げ効果で堆積する。そして、大出水の際に区間1で留まらずに素通りしてきた大礫が準表層に存在する。区間2の中でもsite6は準表層の細粒土砂割合が少し増加し、後述する区間3に近づく。これはsite6が急縮部の下流になり、区間2から3(後述)への移行帯にあたるからであろう。



a) Site12 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)



b) Site13 の粒径加積曲線 (表層, 表層+準表層)

図-9 区間4に見られる粒度特性

c) 区間3 (Site7-11 (川口川橋上流～浅川大橋) 図-8)

この区間になると再び粒径が小さくなり、大礫は見られなくなる。そのため、再び空隙は存在しない。それでも、区間1と比べてやや粗粒の材料の割合が多いのは区間2の礫が少しは流下してくるためではないかと考えている。その点、区間1の上流には南北浅川双方に設置された落差工とその下の土丹露出区間が存在するため、大きな礫がここに輸送されてくる機会はかなり限定的だと推察される。河床表層と準表層の粒径分布の差は再び小さくなる。これは河道が狭く掃流力が大きいことと、堰直下で堆積層が薄く土丹が露出しているため大礫が留まりにくいことの複合的効果である。site8より下流では10mm以下の割合が2割を越えるようになるが、これは砂を産出する丘陵地河川川口川によって砂が多く供給される影響がある。全体的に、土砂の堆積層が薄く土丹の露出が見られ、区間1と同様に減水期に流れてきた砂利のみがここに堆積するものと思われる。

d) 区間4 (Site12-13 (浅川大橋～大和田橋) 図-9)

この区間は準表層の粒径分布が再び大きくなり、大礫が多く見られるようになる。堆積土砂の層は厚くなり、土丹の露出は少なくなる。区間2に似た河床状態であるが、大礫が区間2ほど砂利に覆われていない。1cm以下の細粒分は区間3と同等に多い。区間2は急縮部上流の川幅が広い区間であったが、本区間は急拡部下流の川幅が広い区間にあたる。そのため堰上げにより大礫から砂利まですべてを堰き止めた区間2とは違い、河床は砂利に覆われていない。サイト12のみ、20mm以上70mm以下の礫の割合が少ない。これはサイト12の左岸側は根固め工を有

するコンクリート護岸が存在し、その影響で流れの集中する左岸側は大きな礫が堆積し、右岸側は二次流の影響で砂が堆積したためと考えられる⁷⁾。よって卓越する粒径は粗粒と細粒にきれいに分かれる。

5. 鉛直構造分析による結果の考察

表-1に示す空隙率の結果に示すとおり、今回開発した空隙測定装置で計測可能な空隙を有していたのはSite3とSite4であり、区間2に該当する。これは前章で考察したとおり、本区間には大礫が存在するためであり、区間1や3は砂利が多いので、3cm四方の角材からなる今回の装置で計測できるほどの空隙は形成されていない。そういった意味では、区間4も候補とはなるが、site12に関しては、護岸に沿った滯筋が大礫で覆われ、浅瀬は二次流で巻き上げられた砂利や砂が堆積しているという状況であった。そのため、滯筋は計測が困難であることに加え、礫がかみ合っておりその他で対象としてきた礫を簡単に取り除ける空隙とは特徴が大きく異なっている。site13に関しては、計測可能な場所もあったが、時間の制約上計測できなかつた。

表-1に示す空隙率が示すとおり、22.3~44.2%と区間2の極めて狭い範囲でも、倍半分のオーダーのばらつきが見られた。今回の手法の感度については別途検討する必要もあり、特に堆積構造までを把握できていないのは今後の課題である。しかし、重要なことは、この区間2のsite3やsite4に空隙が存在したのは、大礫が存在するからであり、その大礫が完全に砂利に埋没することもなくかつ、ある程度の量がここに存在できたのは、下流側の地形が影響していると考えられることである。すなわち、浅川では、明らかに大礫の割合は減少し、上述したとおり南北浅川の落差工でも止められてしまうが、区間1を素通りしてきた大礫がここで減速すると言うことで、一定の密度を保っている。しかし、上からは土丹の影響とそもそもの砂利採取の影響で、大礫の割合が減らされた砂利中心の土砂が供給され、それが急縮部で堰き止められるため、少し埋没気味である。こうした砂利の流下が上述した空隙率の不均一性が生んでいると考えている。

特にsite4より下流になると、下流側の堰の影響も出てくるので、砂利の影響はより顕著になり空隙はなくなる。

すなわち、区間2の良い環境は、区間1や区間3が砂利と土丹しかないという「犠牲」のもとに成り立っているとも言え、その根本的な改善のためには地先の工夫だけでは解決できないともいえる。今後、根本的な解決に向け、より広域の河道特性を把握していく必要がある。

6. まとめ

まず、河床の空隙の多さを測る装置を開発し、これを用いることで、浅川には一部に22.3~44.2%という高い空隙を有する場所が存在するものの、それが極めて限定的な場所であることを示した。

次に、河床の構成材料の粒径分布を表層と準表層という2つの層においてそれぞれ測定することによって、河床の鉛直構造を分析する手法を提案した。これを用いて多摩川水系浅川の南北浅川合流地点から大和田橋までにおいて調査を行い、その河床の鉛直構造を示した。すると、浅川において、川幅の広いところに多くの大礫が存在するが、川幅が狭い区間の上流では洪水の減水期に上に堆積する砂によってこれらの大礫が覆われてしまい、空隙にもムラができるというメカニズムが考えられる。

これらの結果を照らし合わせることで、空隙の多さを規定しているのは、単にその場所の掃流力や河床材料粒径だけでなく、上流から下流にかけての縦横断面形や、それに規定される大礫と砂利の挙動であるということを示した。

参考文献

- (1) 小野田幸生, 遊磨正秀: 魚類生息環境としての河川河床の動態, 地盤工学会誌, 第55巻, 第3号, p33-40, 2007
- (2) 田代喬, 渡邊慎多郎, 辻本哲郎: 造網型トピケラの棲み込みによる河床の固結化, 河川技術論文集, 第10巻, p489-494, 2004
- (3) 岡野眞久, 菊井幹男, 石田裕哉, 角哲也: ダム貯水池堆砂とそのダム下流河川還元についての研究, 河川技術論文集, 第9巻, p353-358, 2003.
- (4) 三宅基文, 知花武佳, 辻本哲郎: 早瀬における礫の分級構造の解明: 河川技術論文集, 第10巻, p399-404, 2004
- (5) 米沢拓繁, 福岡捷二, 鈴木重隆: 水衝部の河床表層材料と河床洗掘の関係の調査研究, 河川技術論文集, 第13巻, p345-350, 2007.
- (6) 森僚多, 石川武彦, 長田健吾, 福岡捷二: 多摩川水系浅川における河床高回復現地実験と河道管理手法, 河川技術論文集, 第16巻, p113-118, 2010.
- (7) 生川寛之, 知花武佳, 山下貴美子: 河岸が淵一平瀬構造に及ぼす影響とその形成メカニズム, 河川技術論文集, 第16巻, p201-206, 2010.

(2011.5.19 受付)