

水衝部の河床表層材料と河床洗掘の関係の 調査研究

RESERCH ON BED SURFACE MATERIALS AROUND A FLOW ATTACK POINT AND BED SCOURING

米沢拓繁¹・福岡捷二²・鈴木重隆³
Hiroki YONEZAWA, Shoji FUKUOKA, Shigetaka SUZUKI

¹正会員 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所調査課計画係長
(〒230-0051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

²フェロー会員 Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The bed of gravel bed rivers is composed of the bed materials with wide grain size distribution. In general, when the flood flows in the gravel bed river, the bed material which responds to the tractive force of the flow covers the surface of riverbed. The Asa river which is the main tributary of the Tama river is not necessarily sound in view of the sediment transportation, because the large amount of gravel excavation had been done in the past and the sediment supply from the upstream is not abundant. In this research, we clarify the relation between the bed variation and grain size distribution at the point of flow attack around 9.2km in the Asa river. Appearance of "Dotan" on the riverbed surface during floods shows to influence the management and maintenance of the river.

Key Words : riverbed surface material, sediment transportation, mud stone

1. 研究の背景と目的

礫床河川の河床は、広い粒度分布の河床材料で構成されており、流水の作用を受けると、流れの掃流力に見合った河床材料が表層を占めることになる。特に水衝部では河床変動量が大きいので、広い粒度分布を持つ河床材料が互いに噛み合うことで洗掘に対抗していると考えられる。福岡らにより、ある区間で見たときに土砂の収支のバランスが取れており、河床が広い粒度分布の材料から構成されている礫床河川では、流水により洗掘を受けると、より粒径の大きな材料が河床表面に露出し、そこで洗掘堆積が停止し、河床が安定することが明らかにされている^{1),2)}。

多摩川右支川の浅川では、古くに砂利採取が行われていることや河川横断構造物が存在していること、上流からの土砂供給が必ずしも十分でないことから、土砂輸送の視点から見て、河道が健全とはいえない状況になっている。特に、浅川の河川横断構造物の安全性を確保するためには、構造物周りの河床材料が、そこに働く掃流力

に対応する粒径集団から構成されているかどうか重要なポイントであり、この点について検討する必要がある。

浅川9.2km付近は水衝部であり度重なる出水により、護岸被災が起きており、根固め工が縦断的に崩落した区域である。本研究では、浅川9.2km付近の滞筋周辺について表層画像解析法を用いた河床材料調査を行い、河床表層材料特性を把握すること、そして既往洪水の水量と河床材料の対応を検討することで根固め工崩落の原因を明らかにすることを目的としている。

2. 浅川9.2km付近の河道特性

(1) 浅川の概要

浅川は、東京都西部の高尾山や陣馬山を水源として、八王子市を貫流し、日野市百草地先で多摩川へ合流する延長30.15kmの一級河川である。図-1に示すように、河床勾配は多摩川合流点から10kmまでの間で約1/200、それより上流は、さらに急勾配になっている。

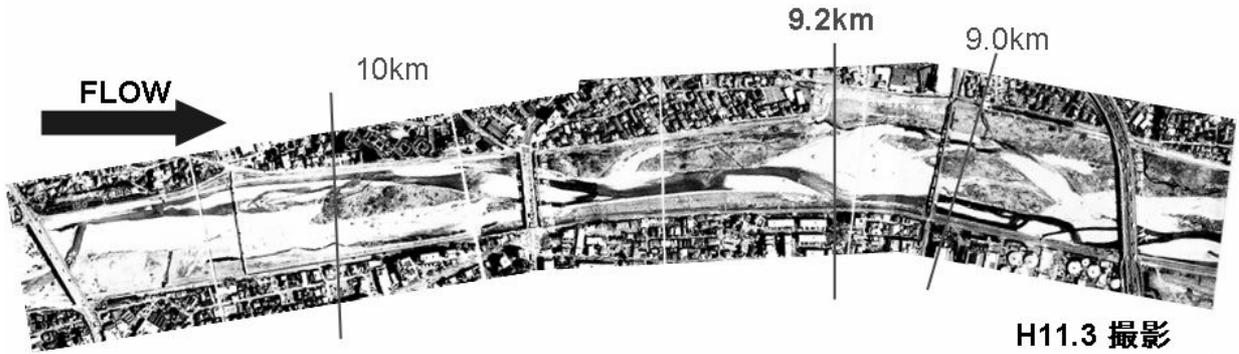


写真-1 浅川9.2km付近の航空写真



写真-2 9.2km付近の根固め工崩落状況(右岸側)

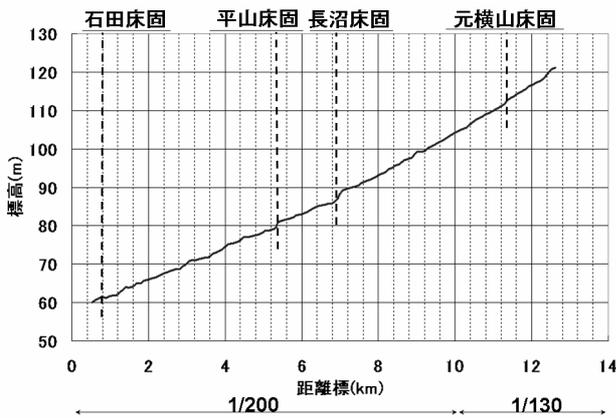


図-1 河床勾配



写真-3 河床表面に露出した土丹

(2) 浅川9.2kmの河道線形

写真-1 に浅川9.2km 付近の航空写真を示す。写真は H11.3 に撮影されたものである。9.2km 付近は、低水路の湾曲により外岸側が水衝部になっており、度重なる出水により護岸が被災し、根固め工が縦断的に崩落している箇所である。ここで、護岸改修工事を行う際に河道を締め切り、流路を切り替えることで水抜きをし、河床表面が露出した滞筋周辺における、河道形状、河床構成材料を調査した。

(3) 沖積砂礫層が薄いことに起因する土丹層の露出

9.2km 付近の河岸、河床において、土丹層の露出が見られた。浅川の土丹層は上総層群に分類され、砂層、泥岩層から成っていることが知られている。

写真-2 は根固め工の下に分布している土丹を、写真-3 は河床表層に露出した土丹を示している。写真-2 に関しては、元来9.2km 付近の根固め工の下に砂礫層が基盤として分布していた。しかし、低水路湾曲部の影響を受けて、局所洗掘が発生し、それに伴って根固め工が変形し、その下の砂礫層が吸い出され、度重なる出水によって、洗掘深が土丹層まで達し、現在の状況になったと推測できる。写真-3 に示すように土丹の表面が凸凹形状をしているが、これは洪水水中に運搬された礫や岩石質材料が土丹表面に衝突すること等で、徐々に削られているためである。

写真-3 に関しては、出水の度に砂礫層が掃流されて経年的な河床低下が生じ、土丹層まで達したと考えられる。河床表層に土丹層が露出することの問題点として、以下

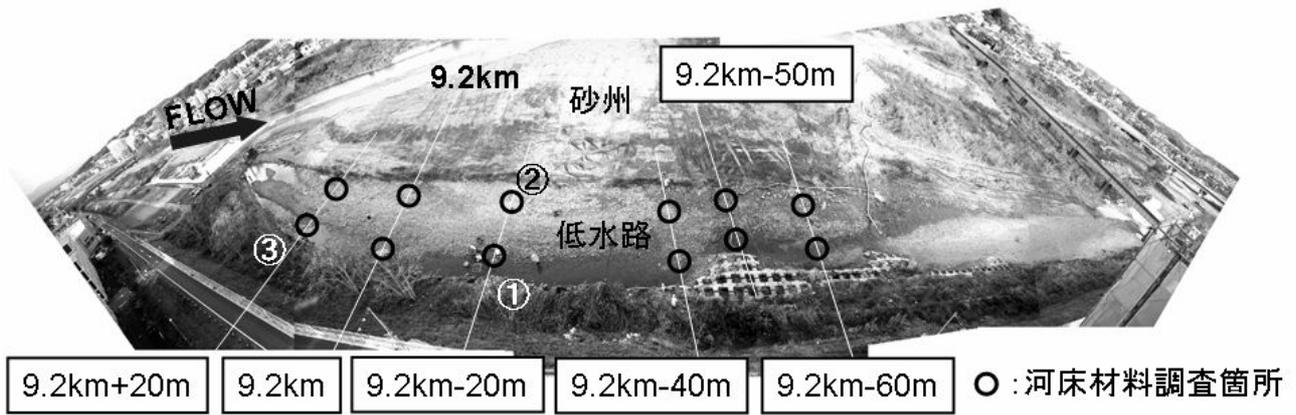


写真-4 9.2km付近河床材料調査箇所

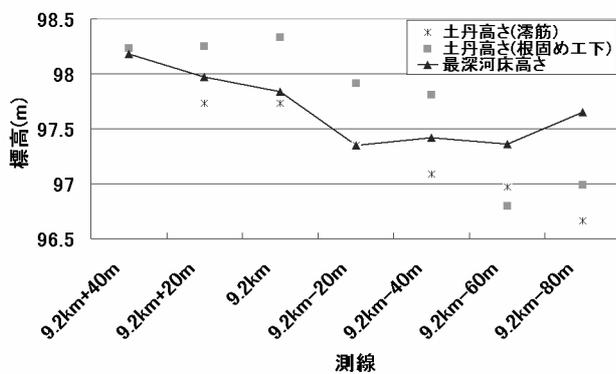


図-2 土丹層と最深河床高さの関係

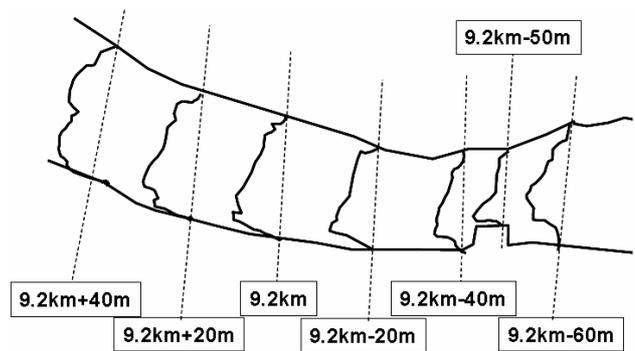


図-3 9.2km付近の河道形状

のことが考えられる。

- 土丹表面が滑らかであるために一度土丹層が露出すると、その上に砂礫が留まることが出来ずに掃流される。土丹層上にどれ程の砂礫層が存在すれば、洪水時に土丹が現れることがないかについて、十分な知識がない。
- 土丹は、礫や岩石質材料の衝突や摩擦により、削られ、侵食を受けやすく、流水の作用によって溶け出しやすい。
- 構造物が土丹の上に乗っているところでは、構造物の安定性について十分な理解がない。

浅川の砂礫層の下には場所によっては広く土丹層が存在している。9.2km付近において縦断方向に20m間隔で土丹層の分布を調査し、砂礫層の厚さを確認した。調査は、瀬替えをし、濬筋にほとんど水がない状態でを行った。このとき同時に河床材料調査も行った。

図-2 に、濬筋最深河床高さと土丹層高さの関係を示す。図中の土丹高さ(濬筋)は、濬筋河床を土丹層が出て来るまで掘削して確認し、根固め工下の土丹高さは、根固め工を取り払い、土丹層の位置を確認したものである。9.2km-20mの地点では、最深河床位置には、砂礫層が存

在せず土丹が出ている。9.2km-20mは、最深部で河床勾配が1/40~1/80とかなり急であり、また低水路湾曲の影響が特に大きく、大きな洗掘が生じている地点である。測量時(平成18年11月)の砂礫層厚さを縦断的にみると10cm~40cmの幅を持って分布していることがわかった。9.12kmでは、最深河床高が9.18km~9.14kmと比較して高くなっており、砂礫層厚さは100cm程度であった。

(4) 9.2km付近の河床形状と河床材料調査

図-3 に、9.2km付近の低水路横断形状を示す。9.2km周辺では、低水路湾曲部の影響により主流が曲げられ、右岸部に局所的な洗掘が生じている。特に、9.2km-20mで顕著に見られる。9.2km-50m右岸部に見られる突起は、崩落した根固め工が流心に突き出し、結果的に根固め水制の役割を果たしている。9.2km-40mは、崩落根固め工の直上流部であるために、流速が落ち、それに伴って掃流力が小さくなり、局所的な洗掘が生じなかったと考えられる。9.2km付近で見られる様な横断面形状になると、最深部に流れが集中し、さらなる河床低下を引き起こす可能性が高い。浅川のような礫床河川において、流れに対する河床の安定性は、河床表層材料の粒度分布や粒径の大きな石の存在等が大きく寄与していると考えられる。

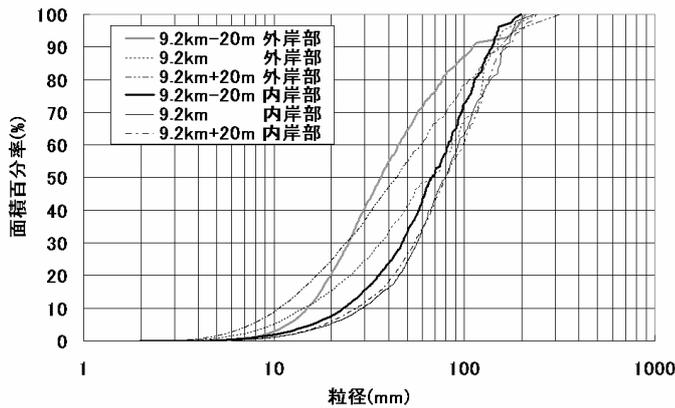


図-4 9.2km付近の粒度分布

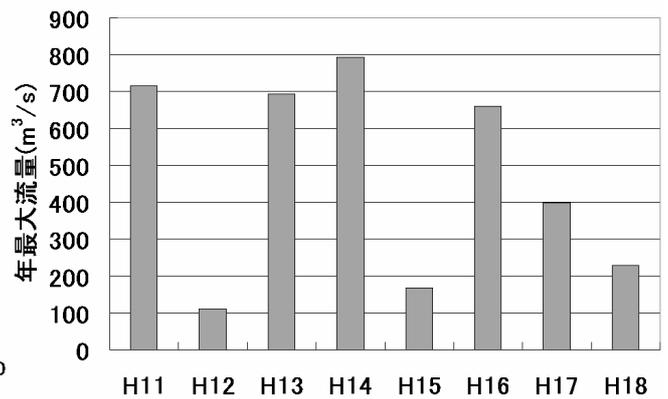


図-5 浅川出水状況

1),2). 本研究では、水衝部における河床表層構成材料を評価するために表層画像解析法²⁾を用いた河床材料調査を行った。また、比較のために、表層から最大粒径程度の深さにある材料についてもふるい分け試験を行った。写真-4に調査地点の空中写真を示す。

9.2km付近において縦断的に20m間隔で測線を引き、各測線上で低水路の内岸部、外岸部の河床表層材料を調査した。①、②、③の地点ではふるい分け試験も行った。

図-4は9.2km-20m、9.2k、9.2km+20mの各測線についての河床材料調査結果を示したものである。3測線全てのケースにおいて粒度構成は異なるものの、粒径範囲に大きな違いは見られなかった。粒度曲線を見ると、100mmを超える範囲で滑らかな曲線が描けていない。これは、面積百分率で粒度分布を表現しているために、粒径の大きな材料が河床表層をどれだけ占めているかで粒度曲線に与える影響が変化するためである。

9.2km付近の河床材料の特徴として、外岸部の河床表層構成材料の粒径は内岸部の河床表層を構成する材料より小さくなっている。特に9.2km-20mでその傾向は、顕著になっており、 d_{90} は内岸部では80mm程度であるのに対して、外岸部では40mm程度であった。一般的に低水路湾曲部の河床材料分布特性は、外岸側の最深部で流速が速くなり、それに伴い掃流力が大きくなり、小さな粒径集団が掃流され、粒径の大きな材料が河床表層に現れ、内岸側に移行するにつれて次第に細粒化すると考えられている³⁾。しかし、調査結果から得られた9.2km付近の水衝部の河床材料分布特性は、外岸のほうが内岸より礫粒が小さく、異なる結果となっていた。

前述のように、土丹層の縦断的な分布を調査したところ、最深河床から土丹層までの距離が10cm～40cm程度であり、砂礫層厚さは薄い。そして、河床材料調査結果から、水衝部付近の河床材料分布特性として、外岸部で粒径が小さく内岸部に移行するにつれて粗粒化している。これら二点から、洪水中には、流水の掃流力と平衡した

河床材料になっていないことが推測でき、河床に土丹層が露出していた可能性が強い。これらの推測を説明するために、既往洪水の水理量(実測データ)と対応関係を検討する。

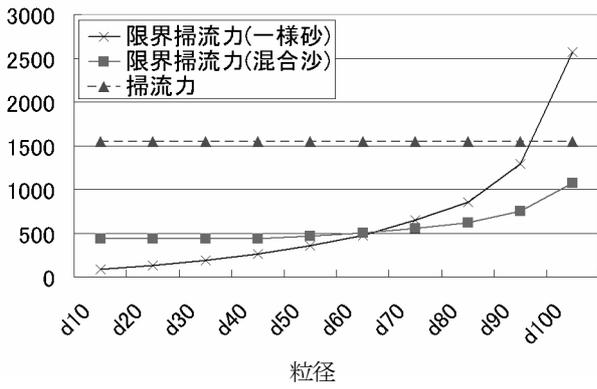
3. 調査結果の考察

調査で得られた河床粒度分布から限界掃流力を算出し、それぞれの場所に働く掃流力と比較することで、河床表層構成材料が洪水の水理量(実測データ)と対応しているかを検討する。

図-5に浅川の出水状況を示す。近年の最大規模の出水であるH16.10洪水(660.44m³/s)を対象として比較、検討を行った。一様粒径の限界掃流力の算出には岩垣の式を用いており、限界掃流力の算出には、Egiazaroffの式を芦田・道上が修正した式を用いて算出している⁴⁾。大きな粒径の礫床河川の限界掃流力の算出には、Egiazaroffの式の適合度は低いが、参考のために、一様粒径に対する岩垣式とともに用いる。ここでは9.2km+20mと9.2km-20mについて、それぞれ内岸部と外岸部で検討を行った結果を示す。

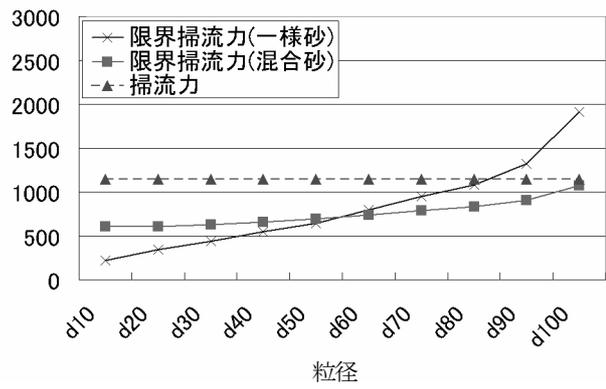
図-6より、全てのケースで、作用した掃流力が粒径に対応する限界掃流力に比べて大きくなっていったことがわかる。外岸部では、 d_{90} クラスの粒径でも掃流されていたと考えられる。また、内岸部では、限界掃流力は外岸部と比較して大きな値を取っているが、 d_{90} クラスの粒径が掃流されていた。図-2の最深河床から推定される洪水流の水面勾配が大きいことから、調査で得られた粒径集団では、洪水期間に作用する掃流力に耐え得ることが出来ず、河床材料が掃流され、土丹が現れていたものと推定される。根固め工の崩落は、外岸部の大きな洗掘が主要原因であることが明らかである。外岸部を構成する粒径が内岸部の粒径より小さいことの原因として、洪水ピー

掃流力・限界掃流力($g/cm \cdot s^2$)



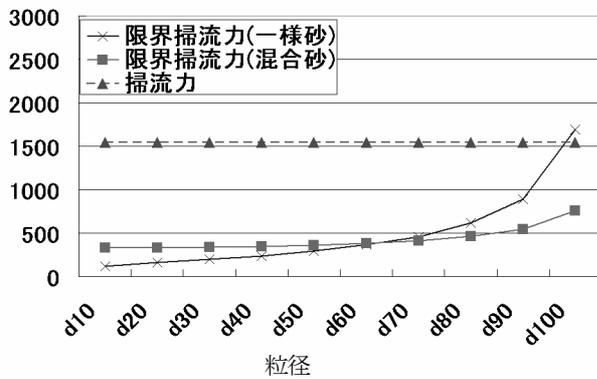
9.2km+20m(外岸部)

掃流力・限界掃流力($g/cm \cdot s^2$)



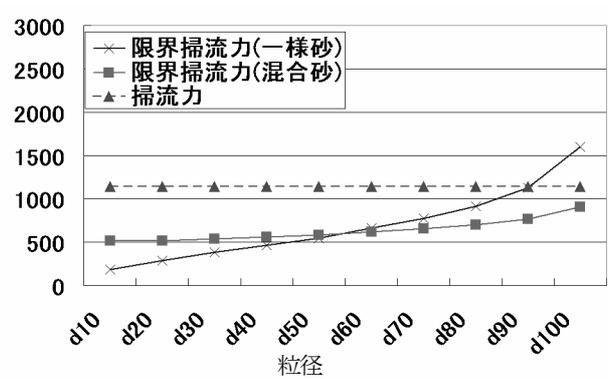
9.2km+20m(内岸部)

掃流力・限界掃流力($g/cm \cdot s^2$)



9.2km-20m(外岸部)

掃流力・限界掃流力($g/cm \cdot s^2$)



9.2km-20m(内岸部)

図-6 掃流力-限界掃流力の比較

ク時には、滲筋河床を構成する河床材料は掃流され、河床には縦断的に土丹が露出し、砂礫が河床に留まることができなかつた。そして、小さい河床材料の集団が洪水減水期に運搬され、その掃流力に見合う量が沈降、堆積し、洪水後の河床を構成していたためと考えられる。

一方、内岸部は、洪水ピーク時の時間帯に外岸部に留まることが出来なかつた砂礫が、下流に運ばれるとともに、二次流によって内岸部にも運ばれ、堆積したものが残っており、このため内岸部を構成する粒径集団のほうを外岸部より大きくなつていたと考えられる。

図-7 は9.2kmの横断面形状と測量時(H18.11)の土丹高さの関係を示したものである。この測量図は、経年的に徐々に外岸側の洗掘が進み、土丹層に最大洗掘深が達している事を示し、すなわち、さきの推定を強化するものである。H14.10、H16.10に700 m^3/s 規模の出水が生じ、湾曲部外岸側で河床低下が生じている。H16.3の時点で砂礫層厚さは約70cmあつたが、H18.3の時点では土丹層が河床表層に露出していたことがわかる。浅川9.2kmに

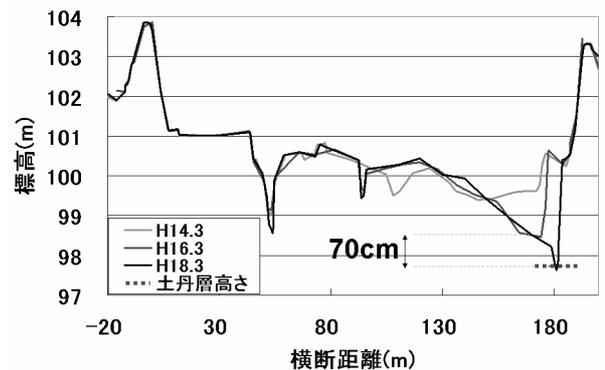


図-7 9.2km横断面形状と土丹層高さ

において、河床材料を構成する粒径集団の径が限界掃流力を超えてしまうことから、このような場合、砂礫層厚さが70cm程度では、出水の際に掃流されて河床低下が進行し、土丹層まで達してしまうことがわかつた。浅川の河床基盤である砂礫層がどれだけの厚さを有していれば、

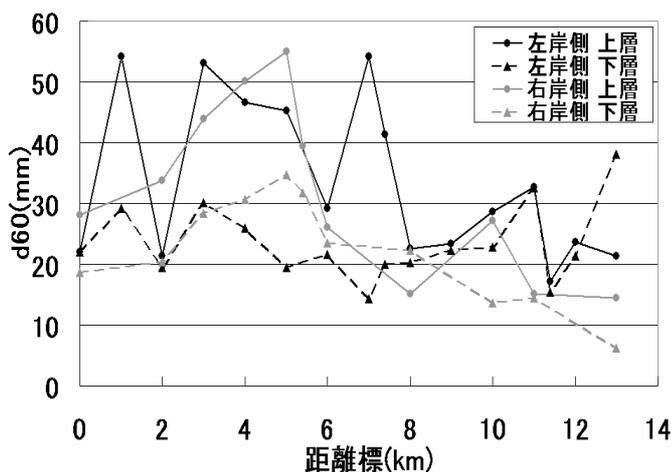


図-8 浅川における d_{60} の縦断分布

洪水時に洗掘が土丹層まで達しないのかを明らかにすることが今後の課題である。

4. 浅川の縦断的な河床材料分布特性

浅川において、沖積砂礫層が薄いことに起因する洗掘や構造物の安全性の問題は、9.2km付近だけでなく、縦断的に生じていると考えられる。図-8はH17年度河床材料調査のデータをもとに、 d_{60} の縦断的な分布を表したものである。ここでは、表層から深さ方向に30cmを上層、上層下30cmを下層としている。縦断的に d_{60} は、20mm～50mmまで幅を持って存在しており、左岸側と右岸側ともに、上層を構成する材料は下層と比較すると粒径が大きい。また、左右岸ともに、上層の d_{60} の縦断的な変化が下層の d_{60} の変化とほぼ対応しており、縦断的な河床材料の変化が深さ方向にも対応していることが分かる。

7.0kmでは、左岸部と右岸部で d_{60} が大きく異なっている。ここは、堤防線形が湾曲していることに加え、床固

めの直上部であることの影響を受けていると考えられる。今後は、河道の線形や河床材料調査箇所等を考慮に入れ、河床材料の特性の検討を進めるとともに、河床材料特性に応じた河床変動に対する河川構造物の安定性について理解を深める必要がある。

5. 結論と今後の課題

- ・浅川9.2km付近の水衝部では、湾曲部外岸部を構成する材料の粒径集団が内岸部を構成する粒径集団と比較すると小さくなっていた。
- ・浅川9.2km付近の滞筋部では、砂礫層厚さが10cm～40cmの範囲であり、洪水中に砂礫層が掃流され、河床洗掘が土丹層に達した。
- ・河床安定上、本来そこに存在すべき粒径の礫がなく、掃流力に見合った河床構成材料になっていないため、土丹の洗掘が進み、これが根固め工崩落の主要な原因であることが明らかとなった。
- ・浅川では、土丹層上にどの程度の粒径のものがどれだけの厚さあれば、河床の安定を保つことが可能であるのか。今後検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 黒田勇一, 福岡捷二, 山本輝, 吉田和弘, 井内拓馬: 礫床河川滞筋形成機構と河床粒度分布特性, 河川技術論文集, 第11巻, 2005年6月
- 2) 福岡捷二, 山崎憲人, 黒田勇一, 井内拓馬, 渡邊明英: 急流河川の河床変動機構と破堤による氾濫流量算定法の調査研究, 河川技術論文集, 第12巻, 2006年6月
- 3) 吉川秀夫: 流砂の水理学, 丸善株式会社, 1985.
- 4) 社団法人土木学会: 水理公式集(平成11年度版)

(2007. 4. 5受付)