

河道掘削および砂礫の敷設供給 に対する河床の応答

RESPONSES OF RIVERBED FOR RIVER CHANNEL MANAGEMENT

植木真生¹・福島雅紀²・山下武宣³

Masao UEKI, Masaki FUKUSHIMA and Takenori YAMASHITA

¹正会員 株式会社ウエスコ 兵庫支社 技術部 (〒651-0092 神戸市中央区生田町2-2-2)
(元 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室 交流研究員)

²正会員 工(博)(独) 土木研究所 河川・ダム水理チーム 主任研究員 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室 室長 (〒305-0804 つくば市旭1)

Bed excavation will be conducted within the upcoming two decades to increase discharge capacity. On the other hand, it is pointed out that river maintenance becomes more important to maintain safety and comfortable environment. In this study, relation between riverbed materials and biological habitats was investigated, which is also key factor to estimate riverbed evolution. As a result, it was clarified that bed excavation mixes riverbed materials, and that flood makes riverbed materials sorted to offer diversity of wildlife habitats.

Key Words : river maintenance, bed excavation, sediment augmentation, riverbed evolution, riverbed materials, sieve analysis

1. はじめに

近年、頻発する自然災害の防止、多様な生物の生息・生育場としての河川環境の保全、老朽化した河川管理施設の更新などの課題を抱えるなか、国民生活の安全・安心が持続可能な河川管理が求められている¹⁾。限られた予算と人員のなかで効果的・効率的に河川整備を行い、維持管理していくためには、具体的な整備目標や維持管理目標およびそれらを達成するための仕組みづくりが必要であり、現在、河川整備については河川整備基本方針ならびに河川整備計画の策定が進み、維持管理については河道・堤防・護岸・河川管理施設などに区分して河川維持管理基準の整備に向けた検討が進められている。そのなかで、河道の管理については、流下能力の確保および河床の維持が治水上の大きな管理項目であり、洪水流下断面確保のための河道掘削、河床低下抑制のための河道内への砂礫の敷設供給が行われることがある。最近では治水面での効果に加えて、礫河原の再生など環境面での効果を期待してこれらの事業が行われる場合も多い。

しかしながら、河道掘削については、掘削後の河道が大きく変化したり、何度かの出水によって徐々に川幅が縮小し次第に元の状態に戻ることが指摘されるなど²⁾、

掘削前に行う予測手法の精度向上および掘削後の維持管理手法の確立が課題となっている。一方、河道内への砂礫の敷設供給については、供給した砂礫の挙動および下流の河床状態(形状や質)に与える影響の把握が課題となっている。また、これらの事業は、生物の生息・生育場に直接的なインパクトを与えることから、その影響を軽減するための配慮が求められている。

そこで本研究では、河床の変動や生物の生息・生育場を考える上で重要となる河床材料に着目し、主に現地観測を通じて河道掘削および河道内への砂礫の敷設供給に対する河床の応答について明らかにした。

調査対象地区は、2006年3月に試験的河道掘削を行った千曲川栗佐地区および2001年以降ほぼ毎年砂礫の敷設供給を行ってきた多摩川永田地区³⁾である。なお、永田地区は2001年11月から2002年3月にかけて高水敷を一部掘削しているが、ここでの検討の対象とはしていない。

まず、千曲川栗佐地区を対象として、掘削前後および出水後の河床材料の粒度の変化を調べ、人為的インパクトである掘削と自然的インパクトである出水の粒度に与える影響の違いについて把握した。また、出水に伴って生じる河床材料の更新状況(材料の入れ替わり)について調べた。出水中の河床材料の動きをみると、流体力の変化に伴って、単純に侵食または堆積する場所に加え、



図-1 千曲川栗佐地区位置図（掘削前の2005年6月撮影）

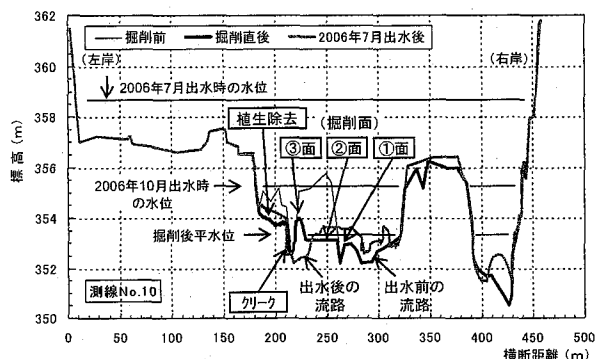


図-2 千曲川栗佐地区の横断図（測線 No. 10 [81.0kp付近]）

一度侵食された後に堆積する場所がみられる。このような河床材料の更新状況は河床の侵食・堆積傾向の把握とともに植生繁茂など生物の消長を考える上で重要な情報と考えられたため、リング法⁴⁾によって砂州上の更新層厚を面的に把握した（2章）。次に、多摩川永田地区を対象として、供給した砂礫の量と河床高の変動量の関係を把握した後、敷設供給箇所下流の粒度変化および出水に伴う更新状況を調べ、下流の河床状態に与える影響について把握した（3章）。最後に、現地観測により得られた知見をまとめ、河道掘削および砂礫の敷設供給を対象として河道管理に向けた留意事項を述べた（4章）。

2. 河道掘削に対する河床の応答

(1) 千曲川栗佐地区の概要

千曲川栗佐地区（距離標81kp付近）における調査箇所を図-1に示す。栗佐地区の河道形状は、堤間幅450m、低水路幅260m、高水敷と低水路の比高差が4m程度の複断面河道である。河道特性は、河床勾配1/500～1/600、代表粒径2～4cm、平均年最大流量1,350m³/s程度であり、Seg. 1～Seg. 2-1の変化点直下流（Seg. 2-1の上流部）に位置する。栗佐地区では、河川生態学術研究会千曲川研究グループによる「河道掘削による人為的インパクトが生態系に与える影響把握」をテーマとした研究が実施されており、筆者らもその活動に加わっている。2006年3月に、それまでオオブタクサやアレチウチリなどの帰化植物が密生していた低水路左岸側の中水敷を対象として試験的河道掘削が行われ、図-2に示すように冠水頻度の

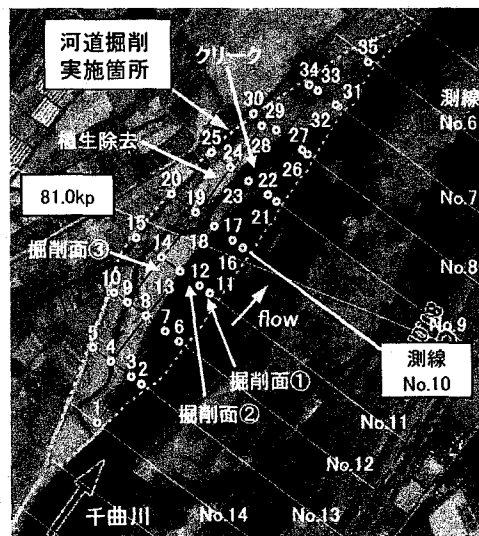


図-3 千曲川栗佐地区調査地点（掘削直後の2006年4月撮影）

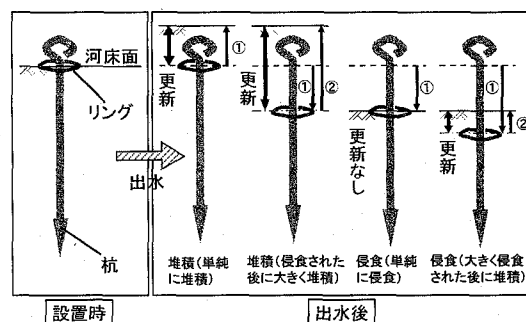


図-4 河床材料の更新状況調査手法（リング法）の計測概要

異なる3つの掘削面を造成した。具体的には①面は常に冠水する高さ、②面は平水位で冠水する高さ、③面は平均年最大流量で冠水する高さとした。

掘削後の2006年7月には対象地区近傍の杭瀬下水位流量観測所における観測史上7番目となる大規模な出水（ピーク流量3,040m³/s程度）が発生し、その際、河道掘削を行った箇所（以下、掘削地）が5m程度冠水し、出水前に流路であった場所が砂礫の堆積によって埋没するとともに、掘削地内を切り込むように新たに流路が形成された（図-2、図-3、図-6参照）。その後、2006年10月に中小規模の出水（ピーク流量740m³/s程度）が発生し、掘削地の側岸侵食が進んだ。

(2) 調査内容

河床材料の粒度について掘削に伴う変化および出水に伴う変化を把握するため、掘削前（2005年12月）、掘削直後（2006年3月）、2006年7月出水後（2006年9月）の3時期において、図-3に示す掘削地内の地点1～35の表層（深さ30cm程度）の河床材料を採取し粒度分析を行った。分析方法は「土の粒度試験方法」（JIS A 1204）に準拠し、粒径0.075mm以上の材料（砂、礫）についてふるい分析を行った。

また、掘削後に発生した2006年7月出水および2006年10月出水を対象として、出水に伴う河床材料の更新状況

をリング法によって把握した。調査地点は河床材料の採取地点と同じく図-3に示す各地点である。リング法による計測の概要を図-4に示す。リング法は、出水前にリングを通した杭を河床面に打設しておき、出水後にリング位置と地盤高を計測することによって出水中に生じた河床の侵食量および堆積量を把握する手法である。今回の調査にあたっては、RTK-GPS測量器を活用することにより、以前は比較的困難であった出水後の杭の探索および標高の計測を容易にし、作業の効率化を図った。なお、図-4の更新と記した箇所の厚さを以降、更新層厚と呼ぶ。

(3) 河道掘削後の河床材料の粒度変化

河床材料の粒度分析結果を図-5に示す。掘削前の表層はほぼ全ての地点において粒径1mm以下の砂・シルトで覆われていた。掘削直後は掘削によって水没した地点の代表粒径（60%粒径）が3～5cmと大きくなった。また、平常時に冠水していない地点については粒径幅（粒度分布の幅）の広がりが見られた。一方、2006年7月の出水によって河床材料が移動し、大粒径に分類された地点と小粒径に分類された地点の大きく2つに分かれた。

以上のことから、掘削は礫・砂・シルトなどを混合し（粒径幅を広くする）空間的に均された河床の状態をつくる働きがあり、一方、出水は礫・砂・シルトなどを分離させ（分級する）流況に応じた特徴のある河床の状態をつくる働きがあることを確認した。

また、掘削前～掘削直後～2006年7月出水後という一連の変化のなかで各地点における河床材料の粒度変化の特徴を分析した結果、図-6に示す5つのパターンに分類することができた。場の特徴と各パターンの関係をみると、パターン1および4は掘削面③などの比高の高い場所、パターン2および5は出水に伴って新たに形成された流路、パターン3は出水前の流路上に堆積した砂州というように流況および地形変化に応じて河床材料も変化している状況を確認することができた。

(4) 河道掘削後の出水に伴う河床材料の更新状況

河道掘削実施後に発生した2006年7月出水（大規模出水）および10月出水（中小規模出水）に伴う河床材料の更新状況を図-7に示す。2006年7月の出水時には左岸側の流路に大きな変化が生じたこともあり、掘削面②では設置した杭が流失するなど単純に侵食される場合が多かった。一方、掘削面③では側岸侵食を受けた地点を除くと単純に砂が堆積する場合が多かった。この比高の高い場所での単純な堆積傾向は2006年10月の出水時にもみられ、複断面河道の形成過程で述べられているように、ある程度の比高になると砂の堆積傾向が卓越し、徐々に堆積が進行していく状況が確認できた。図-8は掘削地における掘削前、掘削直後、2006年7月出水後の低水路平均河床高と断面積の経時変化を示したものであるが、いくつかの横断測線において掘削によって増加した低水路

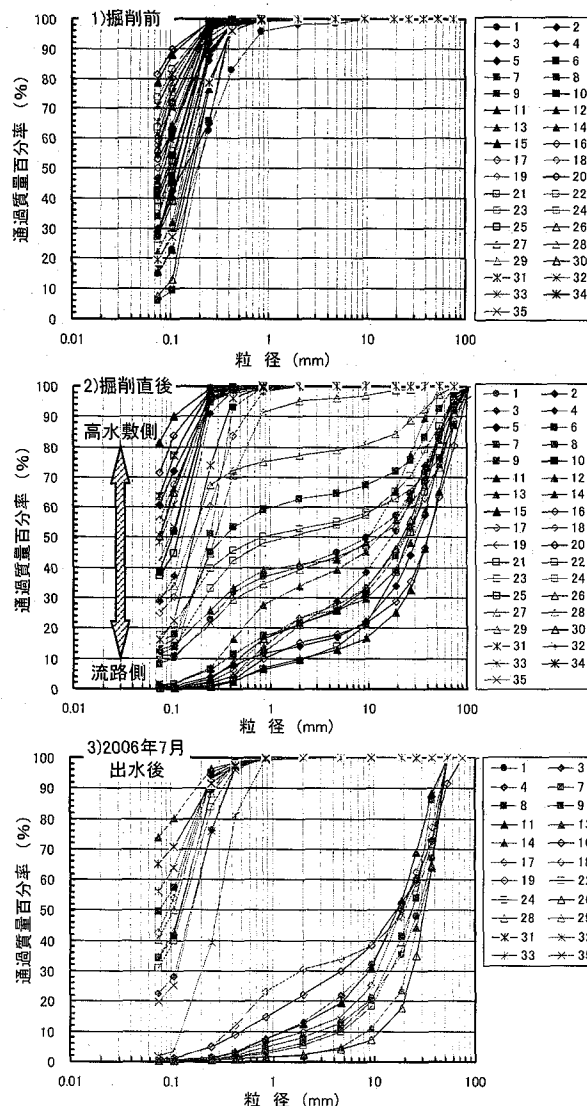


図-5 河床材料の粒度分析結果（粒径加積曲線）

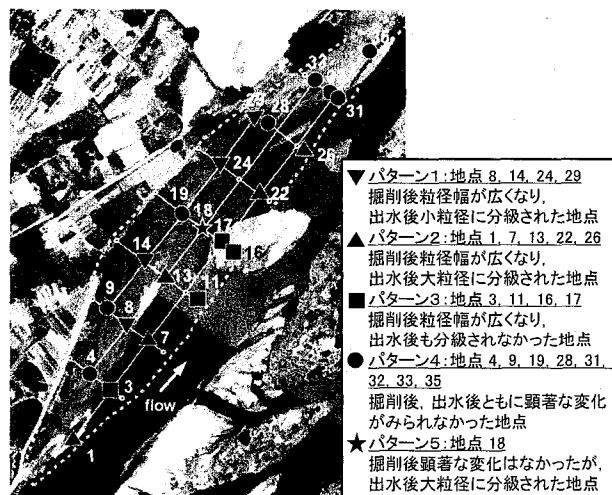
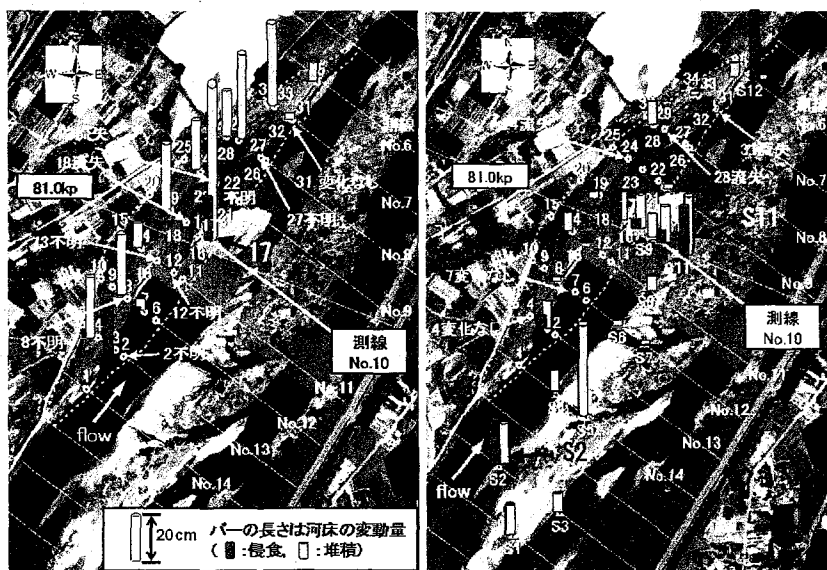


図-6 河床材料の変化パターンの分類と分布状況
(2006年7月出水後の2006年8月撮影)

断面積が出水後に減少していることが確認できる。このことは、掘削後の河道における戻り現象を意味するが、一方で出水後に断面積が増加している横断測線もあるため、この傾向が一時的なものなのか長期的なものなのか



(i) 2006年7月出水後調査結果 (ii) 2006年10月出水後調査結果

図-7 河床材料の更新状況調査結果 (千曲川粟佐地区)



写真-1 地点17のトレンチ掘削状況

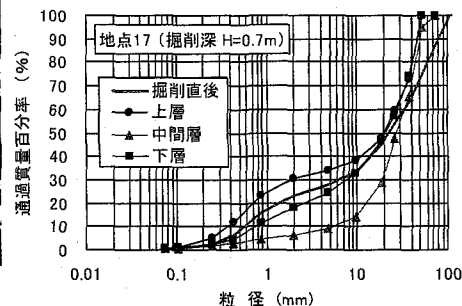


図-9 地点17の河床材料の粒度分析結果

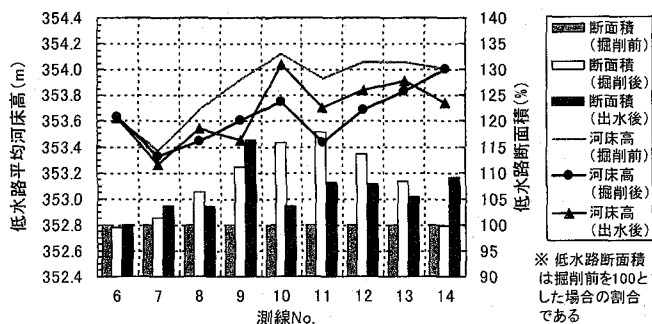


図-8 低水路平均河床高・断面積の変化 (千曲川粟佐地区)

S2 (侵食量20cm・堆積量18cm) および新たな砂州の形成に伴って水衝部となった水際の地点S11 (侵食量22cm・堆積量26cm) であった。なお、2006年10月出水後の調査で両地点の代表粒径は4cm、最大粒径は10cm程度であり粟佐地区の平均的な河床材料であることを確認している。また、地点17付近に形成された砂州の上流側でも数cmの侵食の後に堆積が生じている。出水後の植生の回復状況を確認すると、このような更新状況がみられる場所では植生の繁茂が抑制されていた。

はさらにモニタリングを続けて判断する必要がある。

また、2006年7月出水時の更新状況で注目したいのが地点17である。他のほとんどの地点では単純な侵食または堆積であったが、地点17では出水中に一度20cm程度の侵食が起こり、その後70cm程度堆積していることが確認された。更新層厚は70cmであり、かなりの厚さの河床材料が新しい材料に置換されている。地点17は平水位で冠水する高さに掘削された場所であるが、出水によって掘削地内左岸側が侵食を受け、それに伴って形成された砂州の水際に位置する。図-9は地点17付近にトレンチを掘り (写真-1)、深度の異なる3層について粒度分析を行った結果であるが、中間層、下層、上層の順で粒径1cm以下の材料を含む割合が増加している。これは、出水ピーク前に河床の侵食が始まり、その後出水前と同様な河床材料が堆積し、ピーク前後に大きな流体力が働き主流路が左岸側に移動した際に礫分を主体とした材料が中間層に堆積し、減水期に砂分を多く含んだ材料が上層に堆積した、という出水中の河床材料の移動状況を表した結果であると考えられる。

地点17のような出水中に一度侵食された後に堆積する場所は2006年10月の中小規模の出水時にも確認されている。特に更新層厚が大きかったのは中州の上流端の地点

3. 砂礫の敷設供給に対する河床の応答

(1) 多摩川永田地区の概要

多摩川永田地区 (距離標51.7~53.3kp付近) の調査地点を図-10に示す。永田地区の河道形状は、堤間幅250m、低水路幅70m (拡大区間は120m)、高水敷と低水路の比高差が3m程度の複断面河道である。河道特性は、河床勾配1/250~1/350、代表粒径32~46mm、平均年最大流量520m³/s程度であり、Seg. 1に区分される。永田地区では、河床低下の抑制および礫河原の再生を目指して河道修復事業が行われており、その一環として2002年に51.8~52.2kp区間の低水路幅の拡大などが行われ、併せて礫河原の裸地環境の維持などを目的として2001年より羽村大橋付近で砂礫の敷設供給が行われている (ただし、2004年は行われていない)。なお、永田地区での砂礫の敷設供給は流下能力に余裕のある場所で行ったものである。

(2) 調査内容

2005年および2006年に行われた砂礫の敷設供給を対象として、供給した砂礫の量と河床高の変動量の関係について25m間隔の横断測量結果をもとに把握した。また、



図-10 多摩川永田地区調査地点 (2005年12月撮影)

敷設供給した砂礫および出水に伴って下流に堆積した河床材料の粒度分析を行い、砂礫の敷設供給が粒度に与える影響について調べた。さらに、河床材料の更新状況について栗佐地区と同様にリング法によって把握した。

なお、砂礫の敷設供給量は2005年が3,600m³、2006年が12,000m³（値はいずれも礫間の空隙を除いた礫の実質体積）であり、小作堰（永田地区の約3km上流）および白丸ダム（小作堰より約20km上流）で浚渫した砂礫を兩年とも供給量に対して半分ずつ敷設している。2005年および2006年に発生した主な出水は、2005年8月出水（ピーク流量550m³/s）、2006年10月出水（ピーク流量420m³/s程度）であった。

(3) 砂礫の敷設供給量と河床高の変動量

低水路平均河床高の変動量（年間の累計値）を図-11に示す。敷設供給した砂礫の量が多かった2006年の方が2005年に比べて低水路平均河床高の上昇量が大きいことを確認できる。2006年の変化について横断面図をみると、52.5kp付近より上流側では低水路全体に砂礫が堆積している状況を確認した。52.5kp付近より上流側は上流の床止めの影響によって河床低下が進行していた区間であり、敷設供給された砂礫が出水に伴って流下し深掘れしていた箇所を埋めたものと考えられる。

なお、次項以降に示す調査結果については、2005年が平衡状態に近い環境での結果であり、2006年が堆積傾向が強い環境での結果であることを述べておく。

(4) 砂礫の敷設供給後の河床材料の粒度変化

敷設供給した砂礫および出水に伴って砂州上に流下・堆積した河床材料の粒度分析結果を図-12に示す。なお、図中の④は線格子法、その他はふるい分析によって粒度を調べた結果であり図中には調査の年月を示した。小作堰から浚渫した材料が敷設供給が行われる以前の1999年に調べた永田地区の河床材料とほぼ均質であること、白丸ダムの粒径は永田地区の2～3倍であることを確認できる。2006年の出水に伴って敷設供給箇所から流下し永田地区に堆積した材料の粒度分布をみると、供給した2種類の砂礫の粒度分布に包含されるような形であった。供給した砂礫の細粒分が抜けた粒度分布となっているが、

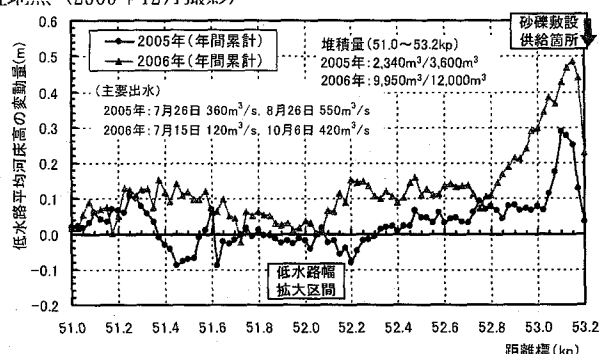


図-11 低水路平均河床高の変動量 (2005年～2006年)

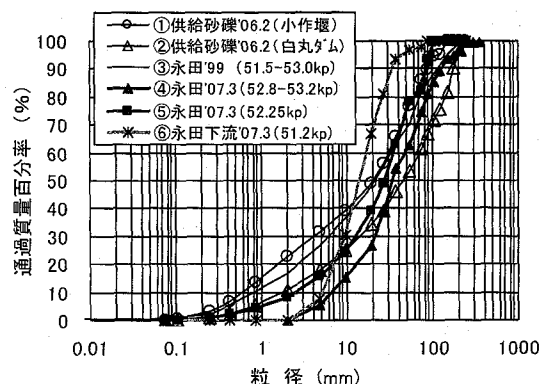


図-12 供給した砂礫と堆積した河床材料の粒度分析結果

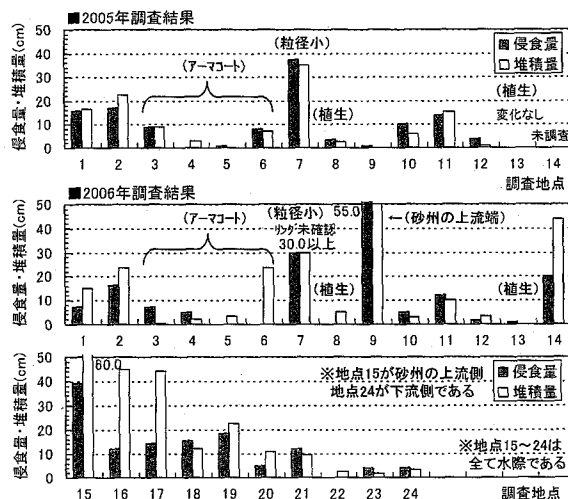


図-13 河床材料の更新状況調査結果 (多摩川永田地区)

永田地区の低水路幅が狭いことから下流へ流れたものと考えられる。また、⑥は永田地区下流の中州に舌状に堆積した材料を採取したものであるが、流況によってこのような比較的細かい成分が堆積する場所もあった。

(5) 砂礫の敷設供給後の出水に伴う河床材料の更新状況

2005年8月出水および2006年10月出水に伴う河床材料の更新状況調査結果を図-13に示す(調査地点は図-10参照)。砂礫の敷設供給量の異なる2005年と2006年の更新状況をみると、顕著な違いがみられた地点は6および9である。地点6は砂州内の小流路に位置するが、供給量の増加に伴う砂州の発達によって水裏部となり比高の低い小流路内への堆積が進んだものと考えられる。一方、地点9は砂州の上流端に位置するが、上流の砂州(地点14のある砂州)の発達によって水衝部となり大きく侵食されたものと考えられる。地点9は侵食後に同程度の堆積がみられたが、これは上流からの砂礫の供給量が十分にあったためであり、2006年に調査した地点15~17で侵食量よりも堆積量の方が多くなっていることも供給量の増加による影響と考えられる。その他の地点については、供給量の増加による顕著な違いはみられなかった。

また、著者ら⁵⁾は2005年の結果について河床材料の粒度や植生の繁茂状況の違いなどによって更新状況が異なることを述べているが、2006年の結果でも同様の傾向が確認された。さらに、今回の調査では砂州上における平面的な更新状況を詳細に把握した結果、砂州の上流側で大きな更新が生じていることを確認した。すなわち、上流からの砂礫の供給量の違いは砂州上流端での更新層厚の違いとして顕著に現れると考えられた。

4. 河道の管理に向けた留意事項

河道掘削および砂礫の敷設供給に対する河床の応答に関して本研究で得られた主な知見を以下に示す。

①河床材料の粒度の変化について

- ・河道掘削は礫・砂・シルトなどを混合し空間的に均された環境をつくり、出水は礫・砂・シルトなどを分級し流況に応じた特徴のある環境をつくる働きがある。
- ・砂礫の敷設供給を行った箇所の下流では供給した砂礫と同様の粒度分布を示したが、粒度は一樣ではなく出水による分級作用がみられる。

②河床材料の更新状況について

- ・千曲川栗佐地区の掘削地では単純な侵食または砂の堆積が多く、Seg. 2-1の特徴が顕著に現れた。
- ・多摩川永田地区の河原では出水中に一度侵食された後に砂礫が堆積している場所が多くみられ、Seg. 1の特徴が顕著に現れた。砂礫の供給量の増加によって堆積傾向が強くなる場所がみられた。
- ・アーマコート化した場所や植生が繁茂した場所での更新層厚は小さく、砂州の上流側で大きくなる傾向が確認された。
- ・出水中に一度侵食された後に堆積している場所、特に更新層厚が大きな場所では植生の繁茂が抑制される傾向が確認された。

以上の知見を踏まえ今後の河道管理に向けた留意事項を述べる。千曲川栗佐地区においては、掘削後の大規模出水によって低水路の河床形状が大きく変化した。掘削直後の河道は不安定な状態でありこのような変化が生じる可能性がある。水衝部の変化や環境面での変化に留意する必要がある。一方、砂礫の敷設供給を行う場合には、供給する砂礫の粒度および量に留意する必要がある。特に供給量が多い場合には砂州の発達が促進され水衝部の位置が変化する可能性があるので注意が必要である。また、河道掘削によって礫河原の再生を行う場合には、年間で1回程度冠水し主要な河床材料が更新されるような場をつくることが重要であり、掘削後しばらく更新が行われない場所では、埋土種子からの発芽によって掘削前と同様な植生(栗佐地区ではオオバクサなど特に礫河原固有の植物でないもの)が繁茂し、河床材料の動きがさらに抑制される可能性があるので留意する必要がある。

5. おわりに

本研究で行ったリング法による河床材料の更新状況調査は、出水中の河床の動きを簡易に計測することが可能であり、今後、河床材料の更新状況と水理量、流砂量および粒度など場の条件との関係を明らかにすることで、掘削後の河道の変化予測などへの活用が望まれる。また、植生繁茂や生物のハビタットとの関係を明らかにすることで、河原の健全度など環境を評価する指標としての活用が望まれる。

謝辞：本研究の実施にあたり、信州大学中村浩志教授には貴重な御意見を頂いた。また、千曲川河川事務所ならびに京浜河川事務所にはデータの提供とともに現地調査の際に便宜を図って頂いた。ここに記して謝意を表す。最後に、本研究は河川生態学術研究会千曲川研究グループならびに多摩川研究グループの調査研究の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会河川分科会：安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について(提言)，2006。
- 2) 藤田光一：河道の応答を環境保全と治水の両面にきちんと織り込む技術の体系化に向けて～多自然川づくりに求められる基本技術として～，河川，pp. 23-27，2006。
- 3) 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。
- 4) 土木学会：水理公式集(平成11年度版)，丸善，p. 78，1999。
- 5) 植木真生，福島雅紀，末次忠司：河道内への砂礫の敷設供給が下流河川の河床状態に与える影響，河川技術論文集，第12巻，pp. 415-420，2006。

(2007.4.5 受付)