

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

AN INFLUENCE OF SEDIMENT AUGMENTATION ON RIVERBED TOPOGRAPHY AND MATERIALS AT THE DOWNSTREAM

植木真生¹・福島雅紀²・末次忠司³

Masao UEKI, Masaki FUKUSHIMA and Tadashi SUETSUGI

¹正会員 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 (〒305-0804 つくば市旭1)

²正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究室 主任研究官 (同上)

³正会員 工博 (財)ダム水源地環境整備センター 研究第一部 部長 (〒102-0083 千代田区麴町2-14-2)

To keep a continuity of sediment transport, such projects as reconstruction of sabo dam into slit dam, sediment augmentation downstream toe of dam and sand bypassing or sand recycling are being carried out in the upstream area and seacoast area. But, impacts of sediment augmentation on riverbed topography and materials were not clarified yet.

In the Nagata district of the Tama River, sediment was supplied at the upstream end of the district from 2001. In this study, the influence of sediment augmentation on the downstream was observed mainly with field works. Consequently, sediment augmentation would make height of sandbar rise and area of loose gravel increase.

Key Words : *sediment augmentation, riffle and pool, riverbed topography, riverbed materials*

1. はじめに

1998年に河川審議会答申が出され、流砂系一貫の土砂管理が叫ばれるようになって久しい。河川上流域では、砂防堰堤のスリット化、ダムに堆積した土砂の下流への還元など、土砂移動の連続性を確保するための施策が検討され、いくつかの河川を対象として現地実験が実施されている^{1), 2)}など。また、海岸域においては、沿岸漂砂の連続性を確保することを目的として、サンドバイパスやサンドリサイクル³⁾などが実施されている。

一方、河川中下流域では、濁りや還元する土砂の供給源確保などの問題から土砂還元が実施されなかったり、利水の関係から土砂移動の連続性を分断する固定堰などの河川横断工作物の改築が進まなかったりしている。

本研究で対象とする多摩川永田地区(51.7~53.3kp)は、土砂の供給源が近傍(約3km上流の小作堰に堆積した土砂を浚渫し利用)に存在すること、小作堰は東京都が管理しており取水量を確保するため毎年浚渫が必要であること、浚渫した土砂は0.075mm以下のシルト分をほとんど含んでおらず永田地区と同様な粒度分布であること、河川生態学術研究会の研究サイトになっていることなどから、2001年以降、小作堰から土砂を浚渫・運搬し、永田地区上流に敷設・供給するといった事業が継続して

実施されてきた(以下、敷設供給)。

多摩川永田地区は、代表粒径32~46mm、河床勾配1/350~1/250、平均年最大流量520m³/sの河道特性を持つ区間であり、高度経済成長期に実施された砂利採取やダム・堰等の河川横断工作物の建設によって土砂収支バランスが崩れ、治水面、環境面から問題が生じている。治水面では、低水路の河床低下により左岸側堤防基礎の洗掘が指摘されており、環境面では、低水路河床高の低下と相まって高水敷が樹林化し、河道内一面に広がっていた砂礫河原が減少したことで、そこに生息・生育していた動植物が減少している。これらの問題を解決するための方策として河道内への敷設供給が行われ、敷設供給と併せて、51.8~52.2kp区間(延長400m)について50m程度、低水路幅の拡大が行われた。

河川上流域、中下流域、海岸域で行われているこれらの事業は、健全な流砂系を保ち良好な河川生態系を維持する施策として、今後、ますます重要となり、その円滑な推進のためには治水面、環境面への影響を把握・評価する必要がある。

本研究では、事例の少ない河川中流域における敷設供給事業を対象として、敷設供給が下流の河床状態(形状と質)に与える影響を把握するため、魚類の生息場として重要な瀬淵構造および魚類の産卵場・底生生物の生息場として重要な浮石堆の変化などに着目して現地観測を

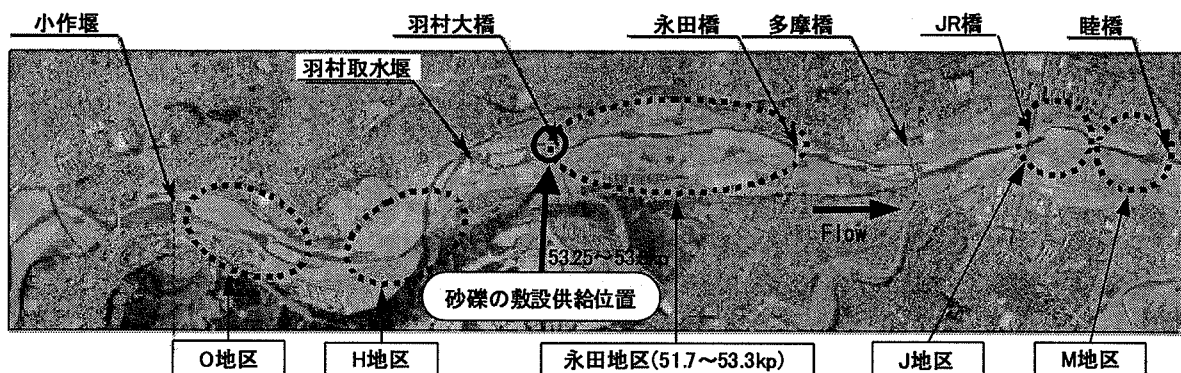


図-1 調査対象地区の概要

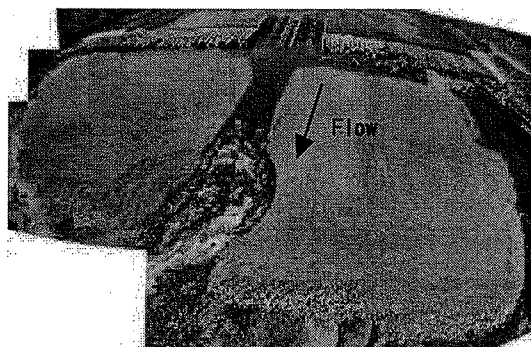


写真-1 砂礫の敷設状況

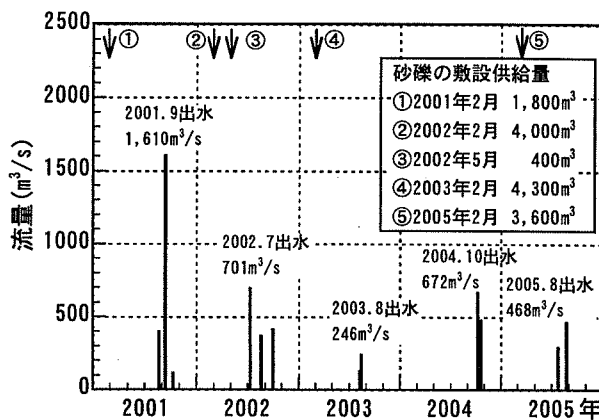


図-2 出水状況と砂礫の敷設供給量

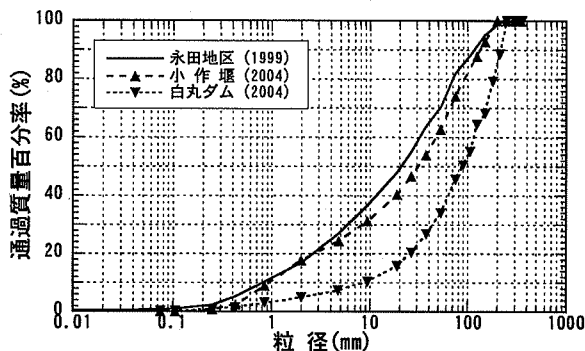


図-3 敷設供給した砂礫の粒径加積曲線

実施した（3章）。なお、事業開始から5年経過しているが、現地観測のみでは地形の変化に対する影響が不明確と考えられたため、モデル河道を設定し、数値解析により敷設供給の効果を検討した（4章）。次章では調査対象地区の概要および調査内容について記述する。

2. 対象地区の概要と調査内容

(1) 対象地区の概要

調査対象地区は図-1に示す全5地区とし、その特徴は以下の通りである。なお、永田地区以外の地区は敷設供給の影響を直接受けることがないことから、永田地区の対照地区として設定した。

- ・ 永田地区：敷設供給の影響を直接受ける区間。低水路幅は狭く70m程度（低水路幅拡大区間は120m程度）。淵の最大深さは1.4m程度。
- ・ O地区：小作堰直下流の直線区間。低水路幅は190m程度。淵の最大深さは0.8m程度。
- ・ H地区：羽村取水堰上流の左向きの湾曲部。低水路幅は140m程度。淵の最大深さは2.0m程度。
- ・ J地区：多摩川右支川平井川合流点下流の右向き湾曲部。支川流入の影響で湍筋の変動が激しい。低水路幅は120m程度。淵の最大深さは4.8m程度。
- ・ M地区：睦橋上流の直線区間。下流に昭和用水堰があり土砂が堆積しやすい。低水路幅は120m程度。淵の最大深さは1.0m程度。

(2) 砂礫の敷設供給

敷設供給位置は羽村大橋付近53.25～53.3kp区間であり、写真-1に敷設後の状況を示す。敷設供給は2001年より実施されており、各年の敷設量（砂礫の空隙率0.4を除いた実質的な体積）は図-2に示す通りである。なお、2001年は試験的に少量が敷設供給された年であり、2004年は敷設供給が実施されなかった年である。敷設供給した砂礫の採取場所は、2001～2003年は小作堰（56.0kp）、2005年は小作堰および白丸ダム（小作堰より約20km上流）であった。敷設供給した砂礫の粒径加積曲線は図-3に示す通りである。

(3) 調査内容

敷設供給が河床状態に与える影響を把握するため、以下のa)～d)について現地観測を行った。ここで、各項の括弧内は調査を実施した年度を示す。

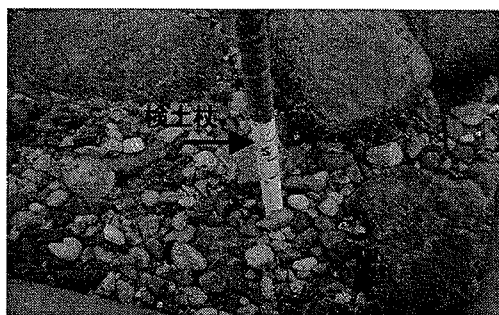
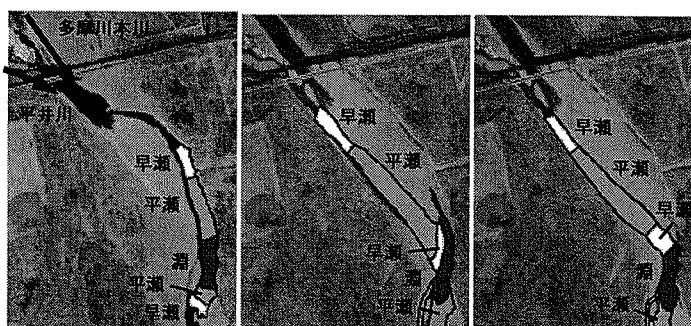


写真-2 検土杖の貫入状況



2004年9月 2005年1月 2005年12月
図-4 瀬淵の平面形状の変化 (J地区)

a) 河床変動 (2001~2005年度)

永田地区において、河床の縦横断形状の変化を把握するため、高精度GPS測量器（精度：鉛直約3cm、水平約2cm）を用いて横断測量を縦断方向25m間隔、横断方向2~4m間隔で行った。

b) 瀬淵形状 (2004~2005年度)

全5地区において、瀬淵の平面形状の変化を把握するため、簡易GPS測量器（精度：水平約50cm）を用いて、平水時の早瀬・平瀬・淵の境界を記録した。早瀬は波立ち状況、平瀬と淵は水深（約50cm以浅を平瀬、以深を淵と定義）によって区分した。図-4に調査結果の例を示す。

c) 河床表層の質 (2004~2005年度)

全5地区において、出水に伴う河床状態、特に質の変化を把握するため、①表層の水中写真撮影、②検土杖（測量用ピンポール、直径8mm、長さ1m）による河床の締め固まり具合の調査（写真-2）を行った。

d) 河床材料の更新状況 (2005年度)

出水中に生じる河床材料の更新は、河床表層の質を議論する上で重要と考えられたため、永田地区の砂州上で中小規模の出水時に生じる河床材料の更新層厚を図-5に示す計測手法（以下、リング法）によって把握した。本手法は、洪水時の最大洗掘深を求める際に以前から用いられてきたが、出水後、杭が砂礫によって埋没し発見できなかったり、大規模出水時に杭が流失するなどの問題があった。本研究では、高精度GPS測量器と組み合わせることで、中小規模の出水に伴う河床材料の更新層厚を簡易に把握する手法として有効であると考えた。なお、本調査は本手法の試験も兼ねて、2005年のみ実施した。

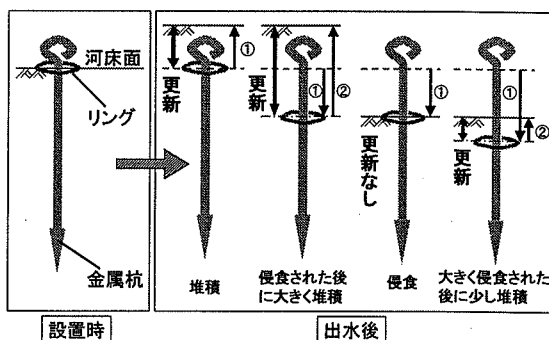


図-5 河床材料の更新層厚計測手法 (リング法) の概略図

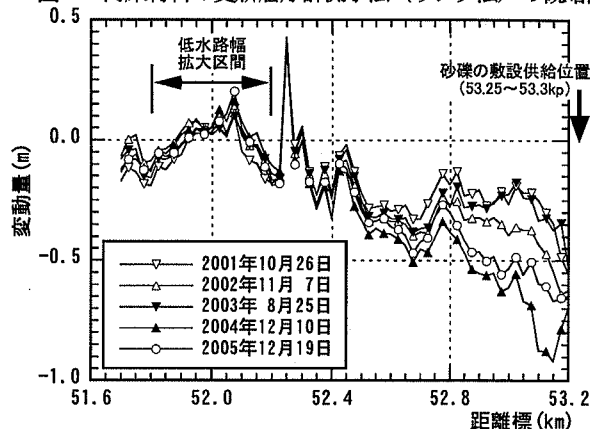


図-6 2001年7月を基準とした低水路平均河床高の変動量

および2005年には河床が上昇しているが、2003年は年最大流量が200m³/s程度と小さかったこと、2005年は敷設供給した砂礫の50%が永田地区の河床材料に比べ、2~3倍と大きな粒径であったこと（図-3参照）が理由として挙げられる。

3. 現地観測結果

(1) 治水上の効果

敷設供給を開始した2001年から2005年に至るまでの永田地区における2001年7月を基準とした低水路平均河床高の変動量を図-6に示す。低水路幅拡大区間およびその下流の河床高はほぼ安定しており、その上流では洪水継続時間が長かった2001年9月出水時に河床が大きく低下した。その後、敷設供給が実施された年には河床が維持されているが、2004年は大きく河床が低下した。2003年

(2) 瀬淵構造の変化

瀬淵構造の調査は、2004年9月、11月、2005年1月、8月、9月、12月の合計6回行った。図-7は、早瀬・平瀬・淵の平面区分をもとに各地区の調査面積全体に対する各区分の面積割合を算出した結果である。敷設供給を実施している影響は顕著ではなく、ほぼ全ての地区において、早瀬：平瀬：淵の割合はそれぞれ25%、60%、15%程度であった。ただし、湾曲部のH地区は他の地区と異なり、M型の淵の形成によって淵の面積割合が大きかった。図-4から分かるようにJ地区も湾曲しているが、局所洗掘が顕著であり小さくて深い淵が形成されていた。

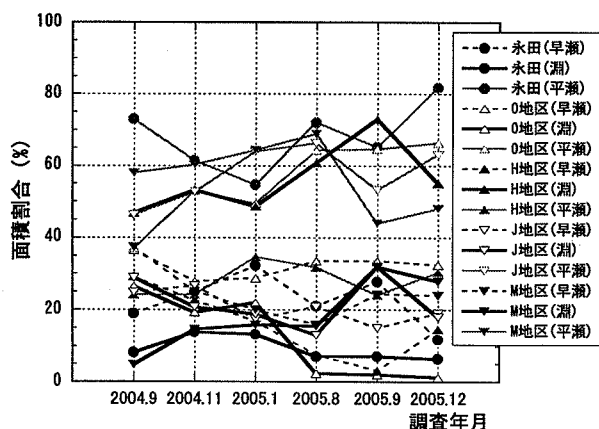


図-7 早瀬・平瀬・淵の面積割合の変化

表-1 水深区分の経時変化

永田地区(51.7～53.2kp, 全61断面)

水深区分	2004年4月	2004年12月	2005年12月
①0.3以下	14	10	19
②0.3～0.6m	33	33	33
③0.6～1.0m	11	14	7
④1.0m以上	3	4	2

表-2 水深変化からみた侵食・堆積傾向

永田地区(51.7～53.2kp, 全61断面)

変化状況	傾向	2004年	2005年
①→①	変化なし	6	10
①→②	侵食傾向	8	0
①→③	侵食傾向	0	0
①→④	侵食傾向	0	0
②→①	堆積傾向	4	8
②→②	変化なし	23	25
②→③	侵食傾向	5	0
②→④	侵食傾向	1	0
③→①	堆積傾向	0	1
③→②	堆積傾向	2	8
③→③	変化なし	7	4
③→④	侵食傾向	2	1
④→①	堆積傾向	0	0
④→②	堆積傾向	0	0
④→③	堆積傾向	2	3
④→④	変化なし	1	1

一方、第2章(3) a)で述べた横断測量の際には各測線上で水位を計測している。平水時の最深部の水深は瀬淵の特徴を表していると考えられ、各断面について、その水深によって①0.3m以下、②0.3～0.6m、③0.6～1.0m、④1.0m以上の4つに区分した。表-1はその集計結果であり、表-2は2004年および2005年の水深の変化状況を整理したものである。2004年は水深0.3m以下が減少し、0.6～1.0mが増加するなど侵食傾向が見られ、2005年は反対に水深0.3m以下が増加し、0.6～1.0mが減少するなど堆積傾向が見られた。敷設供給によって淵が浅くなっていることを示しているが、次項で示すように河床には浮石堆が増加していた。これらの淵の多くは、1970年代以降の河床低下が進行した状況で、河床に土丹層(軟岩)が露出し、局所的に洗掘が進行したものであった。

(3) 河床の質の変化

2004年と2005年の出水前後および冬季に撮影した水中写真をもとに河床表層の粒度組成を図-8に従って分類した。その結果、全ての地区の70～90%の割合で礫床河道では特徴的と考えられるA-IIまたはA-IIIの状態を確認できた。なお、B-IIの状態も10～30%確認され、B-Iについては水裏部等に局所的に堆積していた箇所でのみ観測された。なお、この傾向は5地区で同様であった。

図-9は、検土杖の貫入深の経時変化を各地区の早瀬・平瀬・淵ごとに整理した結果である。特徴的なのは、早瀬・平瀬は地区によるばらつきが小さくどの地区も同様な変化傾向を示したのに対して、淵は地区によるばらつきが大きく、その変化傾向も異なっていた。特に、早瀬においてはその傾向が強かったが、堆積環境に形成される早瀬は掃流力と河床の摩擦力の釣り合いによって河床

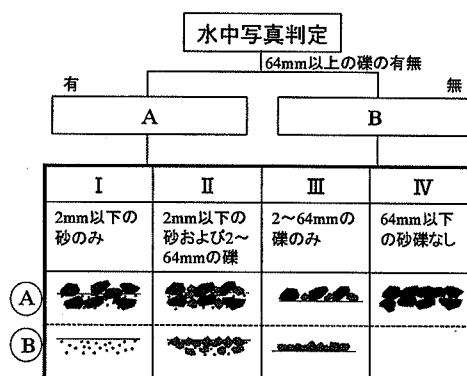


図-8 河床表層の粒度組成の分類

材料の静止が決定されるため、河床材料の大きさによって決まる一定した状態が表されたものと考えられる。淵については形状によって細粒分の堆積状況が異なり、計測した検土杖の貫入深には細粒分の堆積厚も含まれることから、このようなばらつきが生じたと考えられる。

早瀬の変化を見ると、2004年9月に4cm程度であった貫入深が出水後の2004年11月に低下し、敷設供給後の2005年8月以降は増加傾向にある。図-2に示したように、2004年から2005年にかけては、2004年10月、2005年7月、2005年8月に代表粒径程度の河床材料が移動する規模の出水が発生している。また、2004年9月の結果は、2003年度まで継続されてきた敷設供給の影響を受けた状態と考えられる。これらを考慮すると、敷設供給を実施することで検土杖の貫入深が増加することが確認された。検土杖の貫入深は河床表層の締め固まり具合を表すことから、敷設供給を実施することで河床材料が動きやすい、いわゆる浮石堆の形成を促すことが示された。

(4) 出水に伴う河床材料の更新状況

図-10に示した河床の洗掘量および埋戻量は2005年8月26日に発生した洪水(ピーク流量468m³/s)に伴って生じた変化を示したものである。

平水時に砂礫州となっている河床(河原)が、出水中に10～20cm程度洗掘され、出水後に同程度埋め戻されて

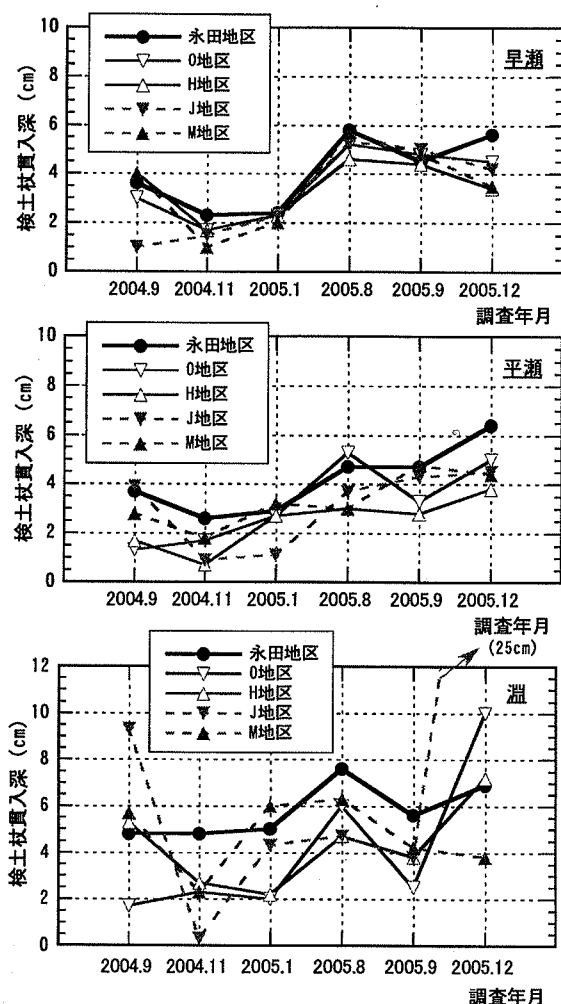


図-9 検土杖貫入深の変化

いる状況を確認できる。そのような変化を示した箇所の番号は1, 2, 10, 11の4箇所であり、図-3で示した永田地区の平均的な河床材料で構成された場所であったことを確認している。なお、図-10の番号3, 4, 5, 6は粒径60cm程度の巨礫が散在するアーマコートが発達した箇所(写真-3)であり、8, 13は植生群落内であった。アーマコートおよび植生群落の発達に伴って河床材料の更新が抑制されたと考えられる。また、7の箇所は粒径3cm程度の均一な材料が堆積していた箇所であり、他の箇所に比べて粒径が小さく、河床材料が移動しやすかったため更新が促されたと考えられる。9, 12については不明な点もあるが、9は堆積環境であること、12は水裏部であることが更新が抑制された主な原因として考えられる。

4. 数値解析による検討

(1) 検討方法

図-11に示すようなモデル河道(蛇行度1.033, 7波長分)を作成し、上流から水理量に見合う給砂量(以下、平衡給砂量)を与えた場合の河道形状を求める。次いで、給砂量を平衡給砂量の0.5倍および2倍とした場合の河床

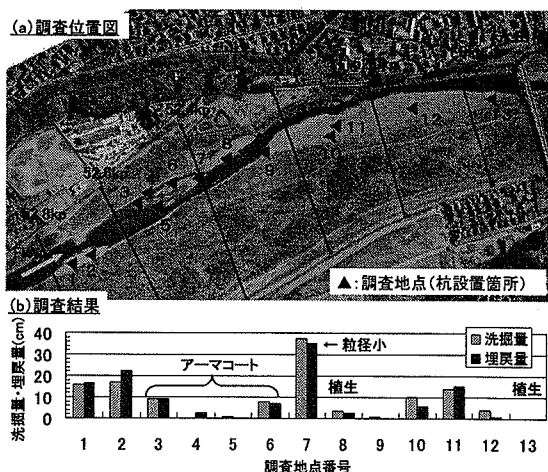


図-10 河床の更新状況(調査地点および結果)

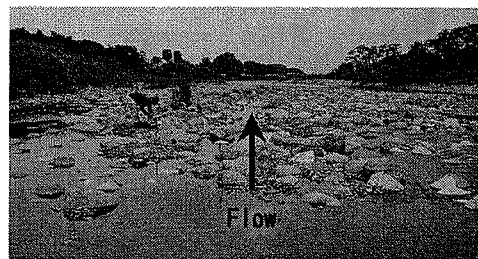


写真-3 アーマコートの発達状況(52.4kp付近左岸砂州)

変動の応答を評価する。計算にあたっては、2次元浅水流方程式および流砂の連続式を長田ら⁴⁾に従って差分化し、平面2次元河床変動計算を行った。初期形状は低水路深さ3.5m、河床勾配1/860の平坦河床とし、河床材料は平均粒径20mmの混合粒径(低水路粗度0.03)とした。流砂量式はMPM式を用い、低水路満杯流量を通水した場合の応答を見た。縦断距離0~300m区間は固定床とした。

図-12は直線河道に対して同様な検討を行った結果であり、給砂量変更後48時間が経過した時点での平均河床高の変化を表す(上流3波長分)。縦断距離300~1,600m区間でその影響が現れ、給砂量の減少・増加に伴う河床の低下・上昇傾向を確認できる。次項では、蛇行河道における低水路内最高河床高および最深河床高の応答を示す。なお、平均河床高の応答は直線河道と同様であることを確認しており、上流2波長分の区間の応答を示す。

(2) 給砂量の変化が河床高に与える影響

図-13、図-14はそれぞれ給砂量変更後48時間が経過した時点での最高河床高および最深河床高の縦断分布を表す。最高河床高については、給砂量の増減に伴って顕著な上昇・低下を確認できる。一方、最深河床高への影響は小さいように見えるが、供給量の増加に伴って縦断方向の変動が若干大きくなっている。この結果より、上流からの給砂量の増加によって、砂州頂部の高さが増加するとともに、瀬淵構造と関連が深い最深河床部の起伏も若干大きくなる。すなわち、上流からの給砂量の増加に伴って、水理実験結果⁹⁾などで見られるように河床材料の動きが活発になり瀬淵構造が顕著になると予測された。

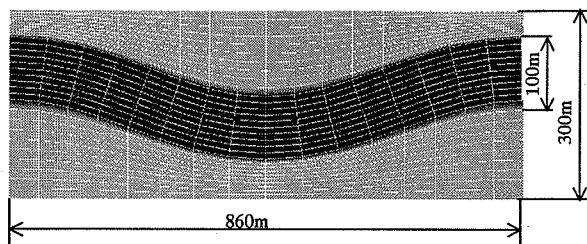


図-11 モデル河道の平面形と計算メッシュ

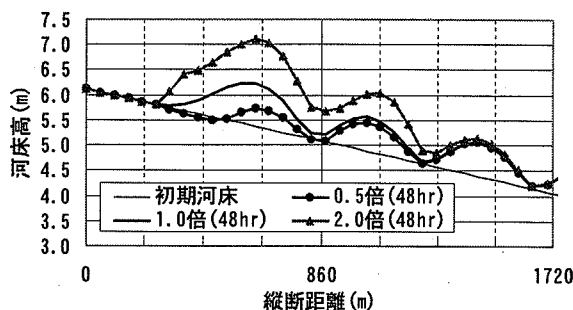


図-13 蛇行河道における最高河床高の変化

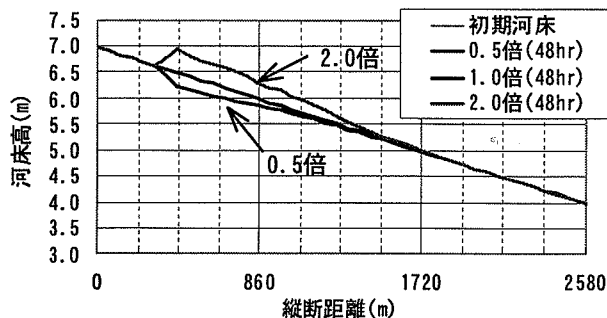


図-12 直線河道における給砂量変更後の河道の応答

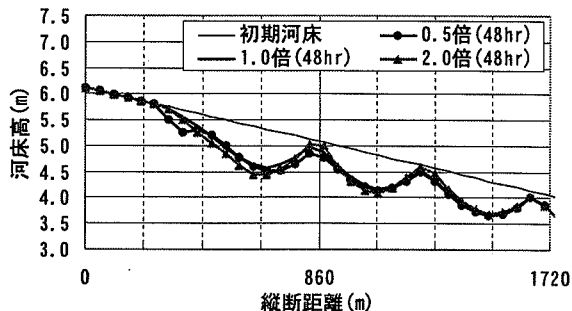


図-14 蛇行河道における最深河床高の変化

このことは、図-15に示す永田地区52.35kp付近の横断形状の変化からも確認でき、敷設供給を実施した2005年には平均河床高が上昇するとともに砂州高も上昇している。一方、敷設供給を実施しなかった2004年には平均河床高が低下するとともに砂州高も低下している。なお、2004年4月の平均河床高が高いのは2001年から2003年に行われた敷設供給の効果であることを付記しておく。

5. おわりに

河川中流域における砂礫の敷設供給の影響・効果について、主に現地観測によって把握した。本研究で対象とした永田地区は、事業開始から5年が経過しているが、平均河床高の維持など治水上的効果は発揮されている。一方、河床形状に与える影響は徐々に現れつつあり、数値解析で見られた砂州高の上昇が数断面で確認された。淵が浅くなる傾向がみられたが、これらの淵は1970年代以降の河床低下が進行した際の土丹層の露出に起因した局所洗掘によって形成された淵であった。質的な面では検土杖を使った調査結果から、早瀬において浮石堆が増加する傾向が確認され、敷設供給により河床が動きやすい状態となることを示した。最後に、試験的に実施したリング法は中小規模の出水時に生じる河床材料の更新層厚を計測する手法として有効であった。

謝辞：本研究を実施するにあたっては、東京大学大学院知花講師、明治大学岡田様に、調査手法、調査地の設定について御意見を頂いた。特に、図-8については知花講師の御意見を参考に作成した。また、京浜河川事務所には、現地調査にあたって円滑な活動が行えるように配慮して頂くとともに、定期横断測量結果や航空写真などの

貴重なデータを提供頂いた。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) 坂本博文，谷崎保，角哲也：河川土砂還元を組み合わせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」，河川技術論文集，第11巻，pp. 273-278，2005。
- 2) 梶野健，浅見和弘，中嶋一彦，杉尾俊治，林貞行，高橋陽一：浦山ダム下流に投入した土砂がウグイの産卵にもたらす効果について-ダム下流河川における土砂投入の効果-，応用生態工学，Vol. 6(1)，pp. 51-58，2003。
- 3) 佐藤慎司，古屋隆男，坂根博吉，山本幸次，田子洋一，牧野一正：弓ヶ浜海岸におけるサンドリサイクルシステムの有用性，海岸工学論文集，第46巻，pp. 686-690，1999。
- 4) 長田信寿，細田尚，村本嘉雄：河岸侵食を伴う河道変動の特性とその数値解析法に関する研究，土木学会論文集，No. 621/II-47，pp. 23-39，1999。
- 5) 望月達也，藤田光一，坂野章，服部敦，塚原隆夫，梅野浩一，平鍋治，二村貴幸：水理模型実験による常願寺川河道計画の検討，土木研究所資料，第3704号，pp. 72-73，2000。

(2006. 4. 6受付)