

置き土砂の侵食・流送と水みち変動への影響

FLUSHING OF REPLENISHMENT-SEDIMENT AND ITS EFFECT ON LOW-WATERWAY VARIATION

三輪 浩¹・大同淳之²・竹下洋平³・高橋拓士⁴

Hiroshi MIWA, Atsuyuki DAIDO, Yohei TAKESHITA and Takuji TAKAHASHI

¹正会員 工博 舞鶴工業高等専門学校准教授 建設システム工学科 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋234)

²正会員 工博 東アジア技術事務所 (〒613-0905 京都市伏見区淀下津町129)

³学生会員 舞鶴工業高等専門学校専攻科 建設・生産システム工学専攻 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋234)

⁴株式会社梅松園 環境開発部 (〒445-0056 愛知県西尾市芥藤町新田36番地)

For the conservation and restoration of river environment, a sediment replenishment technique, which conveys a part of the sediments excavated and/or dredged in reservoirs to the river below dams, is developed and has been implemented tentatively in several dams. Sediments placed for replenishment will be flushed out and transported downstream by floodwater or dam discharge. The flushed sediments are expected to contribute to the control of degradation and the variation of low-waterway. However, this technique is in the development stage because there are many unknown factors. Therefore, systematic investigations are necessary for practical management of the technique. In this paper, the effects of the location of replenishment sediment on sediment flushing and on control of degradation are investigated through the flume tests. The differences of these phenomena between uniform sediment and non-uniform sediment are also discussed.

Key Words : *low-waterway, bed degradation, river restoration, sediment replenishment, uniform and non-uniform sediment, grain sorting*

1. 緒言

ダム建設等の人為的インパクトは河道を著しく変化させることが多く、とくにダムの下流では、流量調節による年最大流量の減少と流況の平準化、土砂供給量の減少と質(粒度)の変化によって、河床低下と流路の固定化、濡筋の深掘れ、河道内樹林化等が進行している。このような状況は治水問題であるだけでなく、環境面においてもその問題点が指摘されている(例えば、辻本¹⁾)。これらの問題に対応するためには、ダム下流河川における水量と土砂量の供給を確保する必要があり、その一環として、ダム堆砂を掘削・浚渫して仮置き土砂として河道内に置き、放流によってこれを侵食・流送させる土砂還元が全国約20の河川で試行的に実施されている^{2), 3)}。この方法は比較的小規模のため置き土砂による土砂供給の範囲制御が容易であり、生物生息環境の改善にも効果が期待されている。いくつかの河川では、河床低下の抑制効果⁴⁾や付着藻類の剥離による魚類の餌環境改善⁵⁾等の成果が報告されており、一定の成果を挙げている。しかし、この方法は体系化されておらず経験的に行われているのが現状であり、置き土砂の設置位置や量および放流量との関連、置き土の流送に伴う下流河道への影響等、系統的な検討が必要であるといえる。

井上・柏井⁶⁾は置き土砂の侵食・流送挙動と置き土砂設置区間の流砂量分布に関する置き土砂の平面形状の影

響を検討し、置き土砂の体積が同一であればこれらは平面形状によらず同様の傾向を示すことを明らかにしている。また、角⁷⁾は粗粒分と細粒分からなる置き土砂の侵食実験を行い、侵食速度に及ぼす細粒分の効果と濁度の発生状況について検討している。一方、重枝ら⁸⁾は置き土砂の侵食過程を再現するシミュレーションモデルを構築し、ダム決壊流れを想定した越流による侵食実験との比較を行っている。また、佐々木ら⁹⁾は三春ダム直下流で実施された置き土砂侵食実験を、平面2次元河床変動解析によって再現することを試みている。さらに、田中・新保¹⁰⁾はモデル蛇行河川における置き土砂の侵食・流送過程の数値シミュレーションを行い、地形特性と土砂の堆積特性の関係の重要性を指摘している。

以上のように、これまで種々の検討が行われてきているが、置き土砂に関する知見は必ずしも多くなく、より広範囲の観点から検討を深める必要がある。とくに、これまでの研究は置き土砂の侵食と流送に着目したものが多く、置き土砂の下流河道への影響についてはあまり検討されていない。置き土砂の侵食・流送に伴う河道の変動特性を検討することは効果的な土砂還元法を検討するために必要であるだけでなく、瀬・淵構造の維持・確保等の生物生息空間の改善にも役立つと考えられる。また、対象河道は河川の中・上流であるため、混合砂礫の影響も検討する必要がある。そこで本研究では、置き土砂の設置による水みち(蛇行低水路)の変動特性についてその

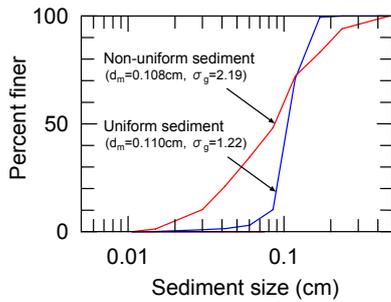


図-1 使用砂の粒度分布

効果を検討する。まず、置き土砂位置による置き土砂の侵食・流送特性と河床形状の変化過程について考察する。ついで、置き土砂による河床低下の抑制効果を調べる。さらに、濡筋および水みち深さの変動特性について検討する。なお、実験は一様砂河床と混合砂河床を対象として行い、両河床における現象を対比することによって、これらに及ぼす混合砂の分級の影響についても言及する。

2. 実験の概要

実験には長さ12m、幅0.2mの直線可変勾配水路を用い、水路下流端に砂止め、上流端に粗度付きの固定床を設置、その間に土砂を敷き詰めて長さ11mの移動床区間を設けた。実験では、移動床部上流端から2.25mの位置を測定の原点($x=0$)とし、そこから下流側8.95mの範囲を測定対象区間とした。また、実験にはほぼ同一の平均粒径を有する一様砂と混合砂を用いた。これらの粒度分布を図-1に示す。一様砂は平均粒径 $d_m=0.110\text{cm}$ 、幾何標準偏差 $\sigma_g=1.22$ を有し、混合砂は $d_m=0.108\text{cm}$ 、 $\sigma_g=2.19$ を有する。なお、砂の比重はいずれも2.65である。

実験は、まず河床を平坦に敷き均し、河床勾配を1/60に設定、上流域の河床高を初期河床高に保つように、移動床部上流端で横断方向に一様かつ連続的に土砂供給を行いながら通水し、交互砂州をほぼ平衡状態まで発達させた。ついで、ダム下流河川を想定し、流量を減少かつ土砂供給を行わずに通水して河床低下を伴う水みちを形成させた。なお、このときの流量は通水初期では混合砂に対しても全粒径が移動可能な量とした。停水直前に接触式水面計を用いて水路縦断方向20cm間隔で水面を測定し、停水後にレーザー変位計を用いて水路横断方向1cm間隔で河床面の縦断形状を測定した。その後、この水みちを初期河床($t=0$)とし、置き土砂を行うとともに流量を増加させて土砂供給を行わずに通水、置き土砂の侵食・流送と水みちの変動過程を追跡した。

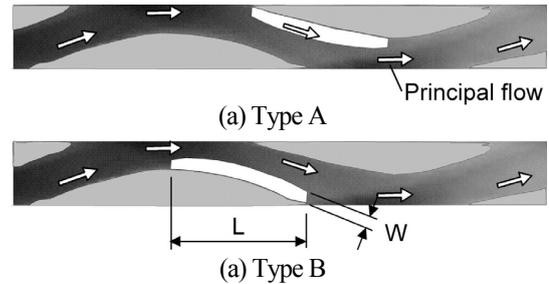


図-2 置き土砂の設置位置(平面形状)

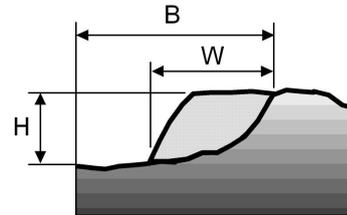


図-3 置き土砂の横断形状

置き土砂は図-2に示すような2種類の位置(白い部分)を設定した。両タイプとも浮州に接する設置形態であるが、Type Aは流心に近く、流れが比較的速い場所への設置を想定したものであり、逆にType Bは流れが比較的遅い場所への設置を想定したものである。置き土砂の寸法記号を図-2と図-3に示す。長さ L は水みち蛇行波長の1/4、幅 W は水みち幅の1/2を基本とし、置き土砂の上面は浮州のそれに一致させた。これらはおよそ $L=100\text{cm}$ 、 $W=5\text{cm}$ 、 $H=3\sim 4\text{cm}$ 程度である。予備段階でいくつかの置き土砂の重量を測定したところおおむね1500gとなり、実験ではこの量を設置することとした。また、置き土砂にはその流送状況を確認できるように青色の着色砂を混入した。なお、置き土砂は河床砂と同じものを用いた。

置き土砂を侵食・流送させるための流量は、水みち形成時よりも多く、かつ置き土砂が水没しない量とした。通水中は、置き土砂の侵食・流送状況と水みちの変動状況を把握するために、流れ場のスケッチ(河床の概形、置き土砂の形状、浮州の位置と概形および流砂方向)を随時行うとともに、水路下流端から流出する土砂を5分間隔で約1分間採取して流出土砂量を測定した。また、約10分ごとに水面と河床面の測定を先と同様の方法で行った。一つの実験はこれらを3回繰り返す、約30分間の変化を追跡した。なお、置き土砂の効果を明確にするため、置き土砂を行わない実験も実施した。

実験条件と終了時の水理条件を表-1に示す。表中、 F_r はFroude数、 τ_* は無次元掃流力、 T は通水時間を表す。水

表-1 実験条件と終了時の水理条件

実験	交互砂州形成					水みち形成					置き土砂								
	Case	土砂	流量 (cm^3/s)	水深 (cm)	F_r	τ_* (d_m)	T (min)	流量 (cm^3/s)	水深 (cm)	F_r	τ_* (d_m)	(d_{90})	T (min)	Type	流量 (cm^3/s)	水深 (cm)	F_r	τ_* (d_m)	(d_{90})
UE-0	一様		800	1.02	1.24	0.093	64	300	0.91	0.55	0.072	—	180	—	400	0.84	0.83	0.063	—
UE-A			800	1.13	1.06	0.107	99	300	0.85	0.61	0.068	—	180	A	400	0.93	0.71	0.073	—
UE-B			800	1.08	1.14	0.100	64	300	0.92	0.55	0.075	—	180	B	400	0.95	0.69	0.078	—
ME-0	混合		800	1.04	1.20	0.093	96	300	0.81	0.66	0.061	0.032	180	—	400	0.80	0.89	0.058	0.030
ME-A			800	1.14	1.05	0.105	71	300	0.72	0.78	0.058	0.030	180	A	400	0.90	0.75	0.071	0.037
ME-B			800	1.10	1.11	0.100	88	300	0.72	0.78	0.056	0.029	180	B	400	0.86	0.80	0.065	0.034

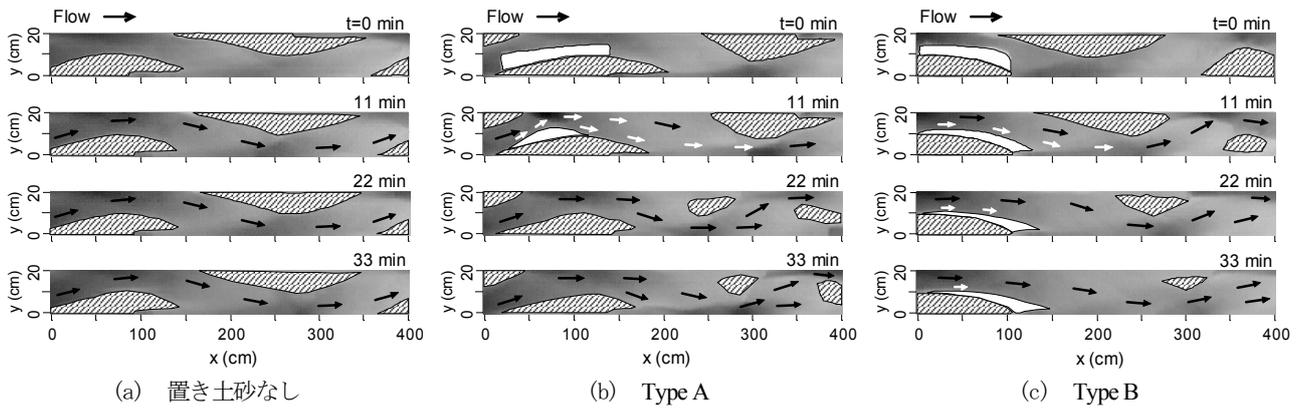


図-4 河床形状と置き土砂の侵食・流送状況の推移（一様砂河床）

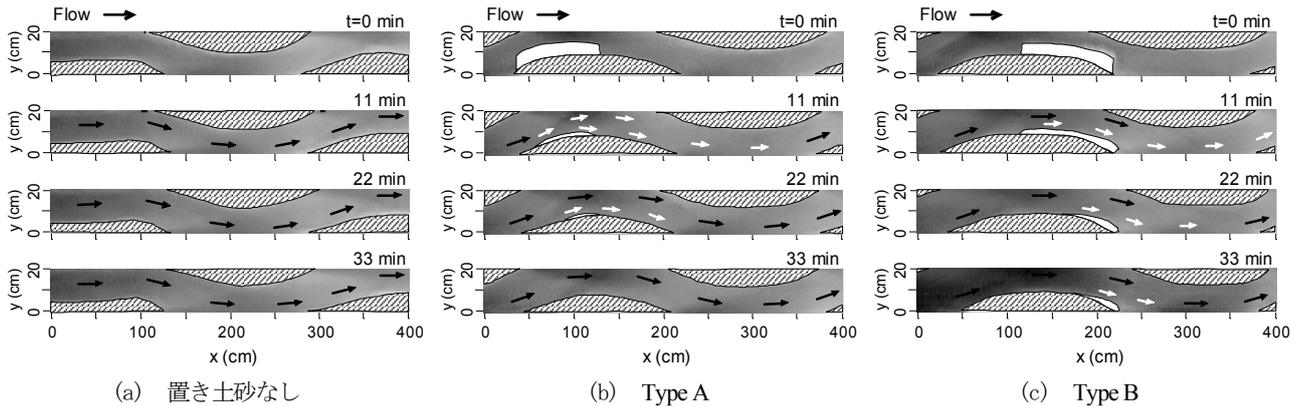


図-5 河床形状と置き土砂の侵食・流送状況の推移（混合砂河床）

みち形成と置き土砂の実験では水みちが比較的明瞭に形成された $x=400\text{cm}$ までの区間に対して平均水深とエネルギー勾配を求め、これらを用いてFroude数と無次元掃流力を算出した。なお、本実験では水深を水位の縦断形状と横断面平均河床位の差として求めているため、水深は実際よりも若干小さい可能性がある。

3. 置き土砂の侵食・流送性状

図-4、図-5はそれぞれ一様砂河床と混合砂河床における河床形状と置き土砂の侵食・流送状況の推移を示したものである。ただし、両タイプとも $t=0$ の図は水みちに置き土砂を行った時点の河床形状であり、実線で囲まれた斜線部分は浮州、白い部分は置き土砂を示す。また、黒矢線は流砂の向きを示し、白矢線は置き土砂の流送を示している。なお、河床形状は最初に発達させた交互砂州の平均河床面を基準としてそこからの変差で表されており、淡色ほど高位である。

まず、一様砂河床の場合をみると、置き土砂を行わない場合の水みちは安定しており、平面線形の変化はほとんど認められない。ただし、後述するように河床低下は進行している。置き土砂を行った場合は、Type Aのケースでは流心に近く流れが速い場所に設置されているため、22min時点で既に全ての置き土砂が侵食されている。一方、Type Bのケースでは流れが比較的遅い場所に設置されているため侵食の進行が遅く、11min以降はほとんど侵食が進んでいない。また、流送されなかった置き土砂は水流の弱い浮州の下流側先端付近に堆積してその浮州と一体化している。置き土砂の侵食形態は、主として流

水が当たる置き土砂上表面の侵食および流水と接する置き土砂下部の洗掘とこれに伴う上部のオーバーハングの崩落による側岸侵食であり、両タイプで共通している。ただし、Type Aではさらに置き土砂によって左岸側に偏倚した流れが置き土砂を通過して拡がる際に、置き土砂の下流部を侵食する様子が確認(図中11min)されており、迅速な置き土砂の侵食に寄与している。また、置き土砂上表面の侵食土砂は主流線に沿って流送され、置き土砂下流部の侵食土砂は浮州に沿って流送される傾向にあるが、流下するにつれて水みち幅に分散することも確認されている。なお、置き土砂の設置によって河積阻害や側壁の影響が懸念されるが、本実験の範囲では置き土砂は順次侵食されているので、河積は速やかに確保され、側壁の影響も緩和されているといえる。

置き土砂の設置およびその侵食・流送に伴って流れが偏倚するため、その影響は置き土砂の下流にも及んでいる。Type Aのケースでは左岸側浮州の規模縮小と水みち幅の拡大傾向が認められる。これは水みちの埋め戻しと浮州部の侵食によるものであるが、水みち幅の拡大に伴って砂州が発達するとともに浮州が出現、水みちが変動していることがわかる。Type Bのケースでも水みち幅の拡大は認められるが、これは置き土砂設置による流れの偏倚に伴う左岸側浮州上流部の侵食によるものである。また、新たな浮州は見られず、水みちの変動はType Aよりも抑えられている。

つぎに、混合砂河床の場合をみると、置き土砂を行わない場合の水みちは一様砂河床と同様に安定している。また、水みちの形成過程において粗砂の堆積を契機とし

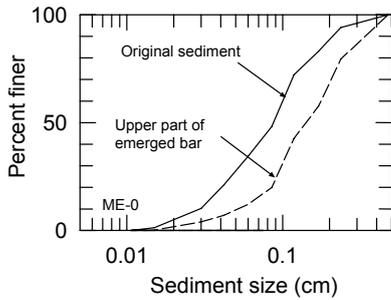


図-6 浮州上流部の河床表層砂粒度分布の一例

て浮州が形成されており、結果として浮州の上流側に粗砂が集中している。図-6は左岸側の浮州から採取した表層砂の粒度分布を示したものであり、粗粒化していることがわかる。このため、浮州は流れに対して安定であり、水みちの安定性も高いといえる。なお、同様の現象は藤田¹¹⁾によっても確認されている。さて、置き土砂を行った場合は両タイプとも一様砂の場合と同様の侵食形態を示しているが、図-4と図-5を比較すると同一時刻での置き土砂の残留量は混合砂の方が少ない。したがって、置き土砂の侵食は混合砂の方が活発であるといえる。これは、流れが緩やかな場所でも細砂は移動しやすく、細砂の抜け出しによって相対的に露出した粗砂が移動、これらが繰り返されることによって置き土砂の侵食が効率的に行われたためであると考えられる。ただし、この傾向は置き土砂の粒度構成の影響を受ける⁷⁾ため、今後、この点に着目した検討が必要である。また、一様砂河床では置き土砂の設置によって流れが偏倚し、水みちの変動

を引き起こしたが、混合砂河床では明確な変動は認められない。これは、上述したように浮州が安定であることに起因しており、侵食された置き土砂は水みちの埋め戻しに寄与していると考えられる。

以上のように、置き土砂の侵食に関しては流れの速い場所への設置が有効であり、一様砂よりも混合砂の方が活発であることが示された。また、一様砂河床では置き土砂を行うことによって下流での水みちの変動が見られた。混合砂河床でも浮州の安定性が崩れれば水みちは変動すると考えられ、置き土砂は水みちの変動を誘起させる可能性を有しているといえる。

4. 置き土砂による河床低下の抑制効果

置き土砂の侵食・流送の河床低下への影響を検討するため、一様砂河床と混合砂河床における横断面平均河床位の縦断形状の時間変化をそれぞれ図-7、図-8に示す。ただし、表示区間は図-4(図-5)と同じ $x=400\text{cm}$ までとした。図中、 $t=0$ の縦断形状は置き土砂を行った時点のもの((a)は水みちのみ)である。なお、河床位の基準($z=0$)は $t=0$ における $x=895\text{cm}$ 地点の横断平均河床である。

さて、置き土砂を行わない場合は一様砂河床、混合砂河床とも河床低下が進行していることがわかる。なお、本実験の段階では混合砂河床における水みちの河床表層は一部でアーサーコート[®]の形成が見られるものの全体としてはまだ完全には粗粒化しておらず、粗砂も移動していることが確認されている。ただし、さらに通水を続け

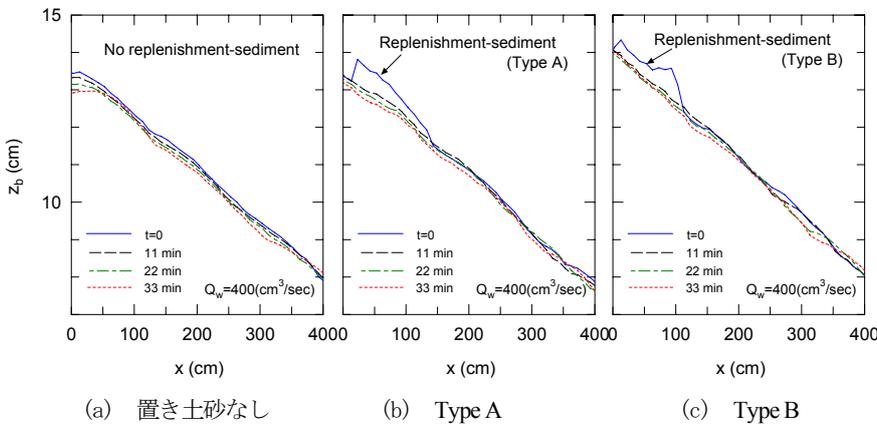


図-7 河床縦断形状の時間変化 (一様砂河床)

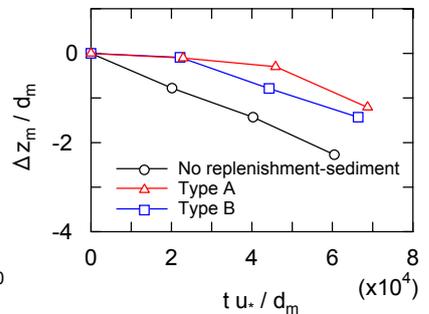


図-9 河床変動量の時間変化の比較 (一様砂河床)

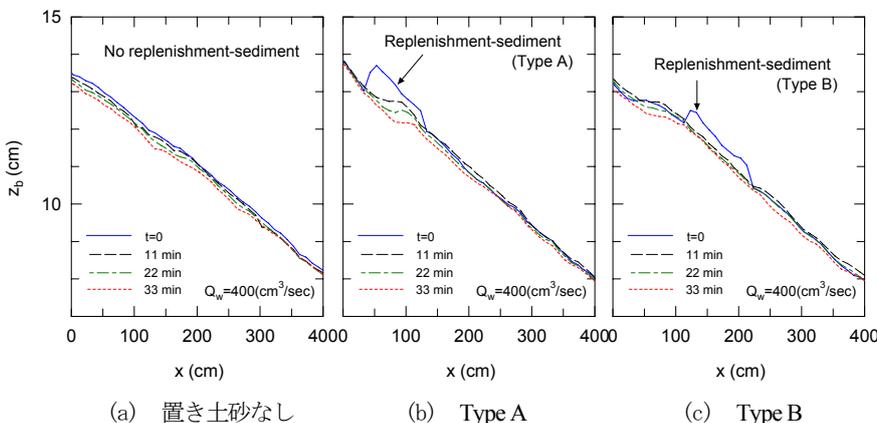


図-8 河床縦断形状の時間変化 (混合砂河床)

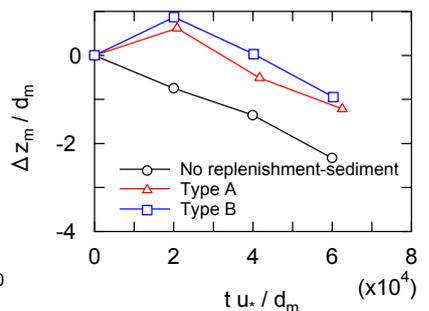


図-10 河床変動量の時間変化の比較 (混合砂河床)

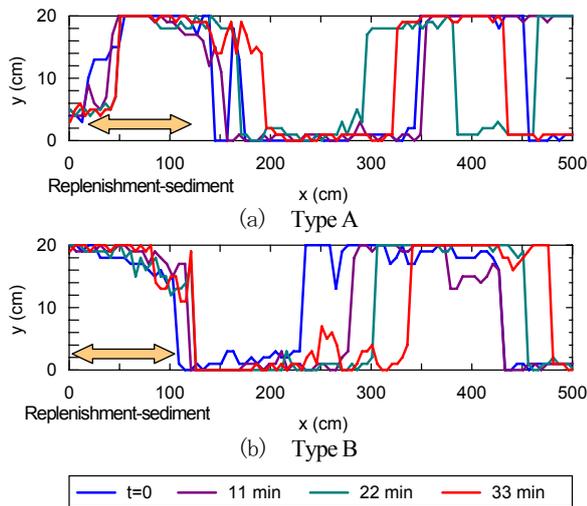


図-11 濡筋の時間変化（一様砂河床）

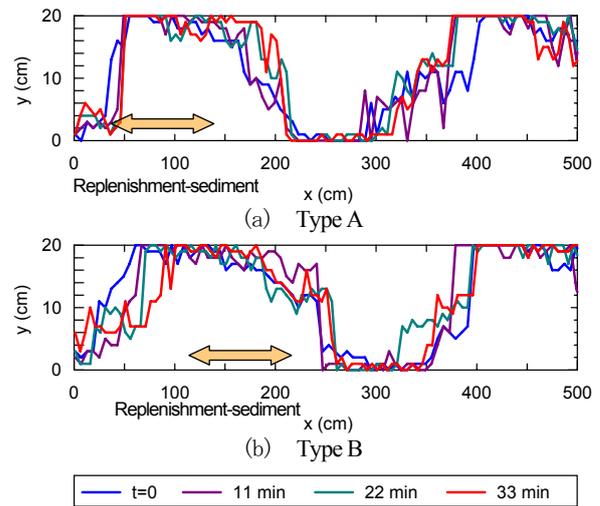


図-12 濡筋の時間変化（混合砂河床）

ることによって水みち全体が粗粒化し、河床低下は停止すると考えられる。さて、一様砂河床で置き土砂を行った場合をみると、両タイプともとくに通水開始後の初期の段階(11min)で置き土砂下流部の河床低下の進行が抑制され、一部では河床上昇が認められる。これは、置き土砂の侵食に伴う下流への土砂供給によって、置き土砂がない場合の侵食と堆積の不均衡（侵食が卓越）が緩和されたためである。したがって、より多くの置き土砂を流下させることができればさらなる河床上昇も見込まれる。ただし、置き土砂が侵食・流送した後は再度河床低下が進行するので、河床低下の抑制を継続させるためにはさらなる置き土砂が必要となる。また、混合砂河床においても一様砂河床と同様の傾向が認められる。

置き土砂による河床低下の抑制状況の特性を明確にするため、置き土砂設置前の水みちを基準とした、置き土砂の下流2m区間（流水の一蛇行長に相当）の河床変動量の平均値（平均粒径で基準化）の時間変化（平均粒径と通水中の平均摩擦速度で基準化）を図-9、図-10に示す。ただし、置き土砂を行わない場合の対象区間はType Aと同じとした。なお、平均する距離は目安として決めたものであり、ある程度これを変えても全体の関係は同様であることを確認している。まず、一様砂河床の場合をみると、両タイプとも河床低下に遅延が認められ、河床低下の抑制効果が現れている。なお、流れの速い場所に設置したType Aは早い段階で効率的に置き土砂が侵食・流送されたため、 $tu_w/d_m=4.5 \times 10^4$ 程度（22min経過時点）まで河床低下はほとんど生じていない。しかし、Type Bでは置き土砂が11min以降流送されずに残留した（図-4(c)）ため、河床低下の抑制効果はType Aよりも低い。一方、混合砂河床ではいずれのタイプでも早い段階で河床上昇が認められ、より効果的に河床低下が抑制されているといえる。これは、混合砂の置き土砂の方が侵食されやすかったこと、置き土砂下流の浮州が安定であるために侵食・流送された置き土砂は効果的に水みちに供給され、これによる埋め戻しが行われたためであると考えられる。

置き土砂を行っても時間が経過すると再び河床低下が進行するようになる。したがって、河床低下抑制効果の維持のためには継続的な置き土砂が必要である。置き土

砂による河床低下の抑制効果は局所的でかつ継続時間も短い、機動的な対応が可能であり、置き土砂以外の対策と併用することによって効果的な運用が可能であると考えられる。

5. 置き土砂の流送に伴う濡筋と水みち深さの変動特性

図-11、図-12はそれぞれ一様砂河床および混合砂河床における濡筋の時間変化を示したものである。なお、濡筋は河床横断面内の最深位置を縦断方向に連ねたものとして求められた。また、図中には置き土砂の範囲を併記している。まず、一様砂河床ではいずれのタイプでも濡筋が変化している。これらは置き土砂の侵食・流送による水みちの埋め戻しと水みち幅の拡大に伴う砂州の発達等に起因して生じたものである。より詳しく見ると、Type Aでは濡筋が上下流方向に変動しており、また置き土砂の直下流域にも濡筋の変動が認められ、Type Bよりも相対的に活発であるといえる。本実験の結果だけで置き土砂の侵食効率との関係を論じることはできないが、置き土砂の設置は水みちの変動促進につながる可能性を示唆しているといえる。一方、混合砂河床ではいずれのタイプでも置き土砂の侵食・流送による濡筋の顕著な変動は認められない。これは既に述べたように浮州が安定であることに起因しているが、流量増加や流れの集中によって浮州が不安定な状態になると水みちが変動する可能性は十分にある。このような状況を呈する条件については今後検討する必要がある。

置き土砂による土砂供給の影響は水みちの深さにも影響すると考えられる。そこで、図-9(図-10)と同じ置き土砂下流2m区間の水みち深さの平均値の時間変化を図-13に示す。ただし、 $t=0$ における水みちに対する当該区間の平均深さ D_0 を基準にしている。なお、水みち深さは河床横断面の最深河床と最高河床の差で定義されている。ただし、この場合の水みちの定義は河道全幅である。さて、一様砂河床において $tu_w/d_m=4.5 \times 10^4$ 程度（22min経過時点）までに見られる水みち深さの減少は、主として置き土砂の侵食・流送による水みちの埋め戻しと浮州の侵

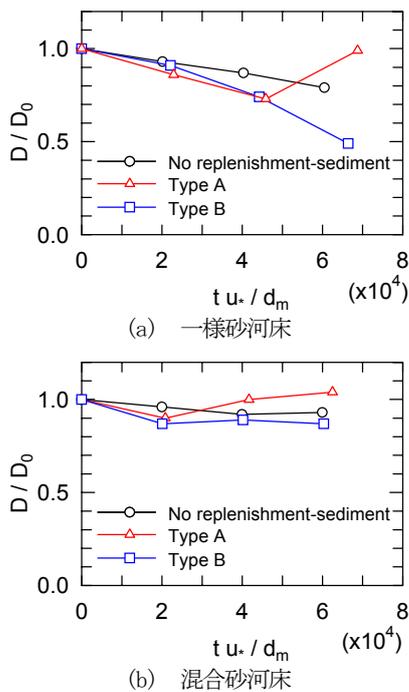


図-13 水みち深さの時間変化

食・規模縮小によるものであるが、置き土砂の侵食効率が高く、早い段階で置き土砂が流送されたType Aでは実験終了時には水みち深さが増加に転じている。このような現象は水みちの固定化につながるため好ましくない。一方、置き土砂の侵食・流送効果が低いType Bは下流への土砂供給が相対的に抑えられるものの、下流浮州の侵食・規模縮小が水みち深さの減少に寄与しているといえる。混合砂河床においてはいずれのタイプでも水みち深さの変化は小さく、置き土砂の侵食は高効率であるものの、水みち深さの抑制効果は一様砂河床の場合よりも低いといえる。これらの結果は、置き土砂の運用に当たってはその目的に合った設置方法の選択に留意する必要があることを示唆している。

6. 結 言

置き土砂による効果的な土砂供給方法を検討するための一環として、河床粒度構成の異なる水みちにおける河床低下の抑制と水みちの変動に及ぼす影響について検討した。得られた結果を以下に要約する。

- (1) 置き土砂の侵食性の観点からは流れの速い場所への設置が有効であり、また、全ての砂粒子が移動可能な条件であれば一様砂よりも混合砂の方が侵食は活発である。なお、置き土砂によって水みちが効果的に埋め戻されると水みちは変動する可能性がある。
- (2) 高効率な置き土砂の侵食・流送によって河床低下は遅延し、その抑制効果が現れる。とくに、混合砂河床では効果的な置き土砂の侵食と水みちの埋め戻しによって、早い段階での抑制効果は高い。なお、時間が経過すると再び河床低下が進行するので、河床低下抑制効果の維持のためにはモニタリングと継続的な置き土砂が必要であるといえる。
- (3) 滲筋の変動は混合砂河床よりも一様砂河床の方が活

発である。これは混合砂河床における水みちが安定であることに起因している。また、置き土砂は水みちの深さにも影響を及ぼし、効率的な置き土砂の侵食が水みちの埋め戻しに寄与、結果として水みち深さを減少させる。これは、置き土砂を継続的に行うことによって維持することができる。

本研究において相似則に関する議論は有益であるが、現段階では現象の支配パラメータが明確になっていないため十分に検討することができない。これについてはさらにデータを蓄積・分析した後に議論することとしたい。また、置き土砂を効果的に運用するためには、置き土砂の侵食・流送とこれが河道に及ぼす影響を様々な観点から検討し、負の影響要因も含めて置き土砂の効果を明確にしておく必要がある。その上で、当該河川の要求に合った置き土砂方法を採用し、継続的に実施することが肝要であるといえる。今後さらに検討を深め、実際の置き土砂方法の検討に活かせる知見をまとめる予定である。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(C) (課題番号：19560521, 研究代表者：三輪 浩) の補助を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 辻本哲郎：ダムが河川の物理的環境に与える影響 一河川工学及び水理学的視点から一、応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 103-112, 1999.
- 2) 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10巻, pp. 191-196, 2004.
- 3) 神奈川県, 国土交通省京浜河川事務所：相模川・川づくりのための土砂環境整備検討会, 第2回検討会資料, 2005.
- 4) 矢沢賢一：三春ダムにおける土砂還元と底生動物の変遷, 第18回ジョイントシンポジウム発表資料, 沿岸環境関連学会連絡協議会, 2007.
- 5) 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.
- 6) 井上清敬, 柏井条介：ダム下流河道仮置き土砂の侵食・流送挙動調査に関する基礎的研究, 土木学会第60回年次学術講演会講演概要集II, pp. 193-194, 2005.
- 7) 角 哲也：ダム堆砂の河川還元材利用における簡易処理手法の開発と土砂還元モデル実験, 土木学会環境水理部会研究集会資料, 2008.
- 8) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 小牧貴大, 高須賀真哉：河道への置き砂還元プロセスの平面2次元数値シミュレーション, 水工学論文集, 第50巻, pp. 1015-1020, 2006.
- 9) 佐々木崇憲, 櫻井寿之, 箱石憲昭：三春ダム直下流における置土侵食の平面2次元河床変動解析, 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集II, pp. 253-254, 2008.
- 10) 田中昌宏, 新保裕美：ダム堆砂放流時の下流河川環境の数値シミュレーション, 鹿島技術研究所年報, 第53号, pp. 139-144, 2005.
- 11) 藤田正治：水みちの不安定性と水みちによる河床侵食に関する研究, 平成7年度～平成8年度科学研究費補助金研究成果報告書, 基盤研究(C) (2), 1997.

(2008. 9. 30 受付)