

砂防ダムからの排出土砂の移動とそれが 溪流環境に与える影響

MOVEMENT OF SEDIMENT REMOVED FROM A SABO DAM AND ITS IMPACT ON RIVER ENVIRONMENT

藤田正治¹・澤田豊明²・水山高久³・木下篤彦⁴

Masaharu FUJITA, Toyoaki SAWADA, Takahisa MIZUYAMA, Atsuhiko KINOSHITA

¹正会員 工博 京都大学助教授 農学研究科森林科学専攻 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

²正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所 (〒506-1442 岐阜県吉城郡上宝村中尾)

³正会員 農博 京都大学教授 農学研究科森林科学専攻 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

⁴京都大学学生 農学研究科森林科学専攻 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

The sediment trapped by a sabo dam during a flood should be back to the downstream reach if the sediment trapping causes the sediment imbalance in the river system. The sediment flushing must, however, give a great impact on river environment. In this study we have investigated sediment movement in mountain rivers after sediment flushing and its impact on the habitats of fishes and aquatic insects with some experiments on sediment flushing in a field. In the experiments, the released sediment passed the observation section completely covering the armor coat and filling up a series of pools. Such a sediment movement took the habitats from fishes and aquatic insects. The deposition volume in the pools and the deposition depth on the armor coat were taken as the indexes of the influence on fishes and aquatic insects. A method for estimating the indexes was presented with a numerical bed variation model. The method can be used for establishing the criterion for sediment flushing.

Key Words : *sediment flush, sabo dams, river environment, habitat, step-pool, bed variation*

1. はじめに

砂防ダムや貯水ダムの機能維持とその下流域の土砂供給の要求に応えるために、透過型砂防ダムや排砂施設を備えた貯水ダムが作られるようになってきた。しかし、流砂が少なくなっている河道にダムに堆積した土砂を一挙に供給すると、濁水の通過や土砂堆積によって魚類や水生昆虫の生息条件が悪化し、新たな環境問題も引き起こされる。反対に、藻類の付着した河床材料の洗浄、砂礫の移動や土砂氾濫による新たな環境条件の創造などプラスの効果も期待できるかもしれない。

これまで貯水ダムからの排砂による濁度や溶存酸素濃度の変化とそれが魚類に与える影響について研究がなされ、魚類の生存可能性と濁度および溶存酸素濃度の関係について多くのデータが蓄積されている¹⁾。砂防ダムからの排砂でも水質の変化に配慮する必要があるが、排砂後の土砂移動により淵や河床の空隙が消失すれば、魚類等に大きな影響を与えることになるので、河床変動にも気をつけなければならない。そのためには、河床変動の程度を表わす指標とその基準値を提示するとともに、指

標値の変化を求める方法を構築することが重要である。

本研究は砂防ダムから排砂を行ったときに溪流環境に与えるインパクトを河床変動の点から評価する方法を確立することを目的として、現地における排砂実験に基づいて以下のことについて検討する。まず、砂防ダムから排出した土砂が移動する過程とそのときイワナや水生昆虫に与える影響の実態を調査する。つぎに、排砂によって生じるプール内の堆積量とアーモアコート上の堆積厚を生息生物に対する影響評価の指標として取り上げ、それを求める方法を提示し、生息生物への影響が小さくなる排砂条件を知るための方法について検討する。

2. 現地実験

(1) 試験地と実験の概要

排砂実験は1997年から1999年までの間に4回、京都大学防災研究所附属穂高砂防観測所ヒル谷試験流域の試験ダムを砂防ダムに見立てて行われた。試験ダムの高さは4.7m、幅は7.5mである。堰堤の左右には排砂ゲートが2つある。ヒル谷は神通川水系蒲田川の上流の足洗

表-1 実験条件

	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ	実験Ⅳ
流量 (m ³ /s)	0.026	0.080	0.050	0.049
排砂時間 (min)	210	120	60	120
排砂量 (m ³)	20	49	25	40
単位時間排砂量 (×10 ⁻³ m ³ /s)	1.59	6.81	6.94	5.55

注：排砂量は空隙を含む

表-2 河床条件

	A	B	C	D
区間長 (m)	16	72	73	19
平均勾配	0.08	0.18	0.08	0.14
川幅 (m)	3.5	1.0	1.5	1.0
平均的な大きさのプールの数	0	36	12	6
プール間平坦部の勾配	0.05	-	0.03	0.03

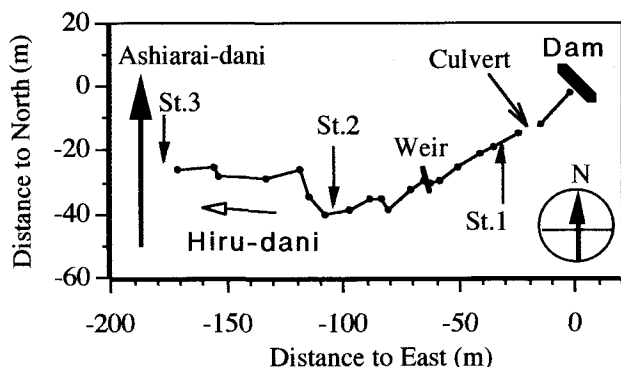


図-1 観測区間の平面図

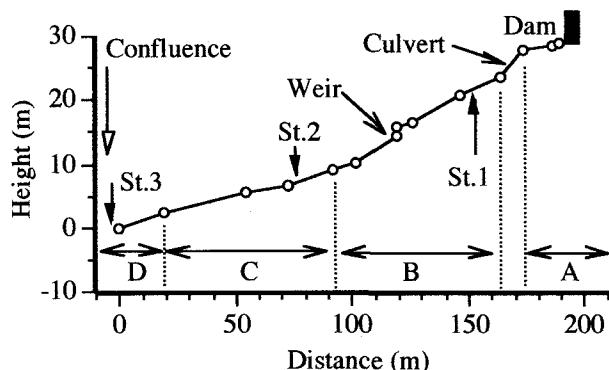


図-2 観測区間の縦断面図

谷流域に位置し、その流域面積は0.85km²、比流砂量は40m³/km²/year程度である。この試験ダムではこれまで年1、2回排砂が行われている。

実験Ⅰでは排出土砂や濁水の移動過程とそれに伴う河床変動、実験Ⅱ、Ⅳでは実験Ⅰの内容に加えて排砂がイワナの生息に与える影響や溶存酸素濃度の時間変化、実験Ⅲでは排砂が水生昆虫の生息に与える影響を調査した。各実験での流量、排砂時間、排砂量を表-1に示す。

図-1、2は観測区間の平面図および縦断面図を示したものである。ヒル谷は試験ダムから約190m下流で足洗谷に合流し、その途中に高さ約1.35mの取水堰がある。ただし、実験中は取水していない。試験ダムから約16m下流では、ヒル谷は急勾配に埋設された直径約1mのヒューム管でできた暗渠を通して道路を横切っている。観測は試験ダムから足洗谷合流点までの階段状河床が発達した区間で行った。図中のSt.1～3ではプールの横断形状の測定や採水が行われた。

(2) 河床条件と河床材料

観測区間を図-2に示す4つの区間に分けると、各区間の河床条件は表-2のようである。区間Aは試験ダムから暗渠までの16mの区間で、20cm程度の小さな段差があるがほぼ平坦な河床形状を呈している。暗渠は急勾配になっているので暗渠入口の河床は変化しない。区間Bは他の区間より急勾配で階段状河床の波長が小さく、大小のプールが連続して存在している。区間C、Dではプールの間隔が大きくなり、プールとプールの間には小さな段差があるが河床形状はほぼ平坦と見なせる。区間A、C、Dのプール間の平坦部の河床勾配、川幅は表-2に示すとおりである。澤田²⁾によると、試験ダムより上流区

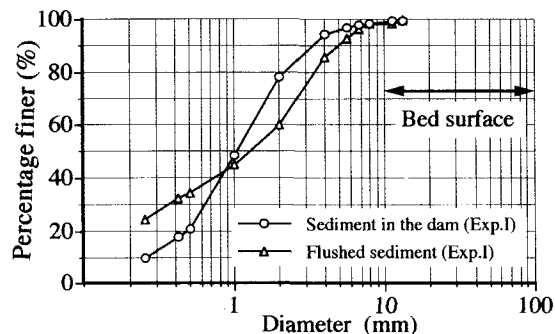


図-3 堆砂の粒度分布

間のプールの長さ、深さ、幅、入口幅、出口幅の平均値は、プール内に堆積がないとき、各々116, 24, 97, 63, 40cmで、単位幅当たりの土砂貯留容量、すなわち土砂堆積のためのプールの空き容量の平均値は0.189m³である。この規模のプールは表-2に示すように、区間Bに36個、Cに12個、Dに6個あり、区間Bにはそれより小さいプールが間を埋めている。

図-3は試験ダムの堆砂の粒度分布および実験Ⅰのときの排出土砂の粒度分布を示したもので、0.1mm～2cmの砂礫が主な成分である。ステップの部分を除いた河床材料は数mm～十数cmの砂礫であるが、主な成分は1cmから10cmの範囲にある。したがって、排砂時には河床材料に比べて粒径の小さな砂礫がアーモークートの発達した階段状河床上を流下することになる。

3. 土砂の移動

(1) 堆砂の侵食

まず、堆砂の侵食過程について述べる。左右どちらかの排砂ゲートを開けると、水位低下によってゲート付近の堆砂先端部が侵食を受け流路が形成され、その幅は流

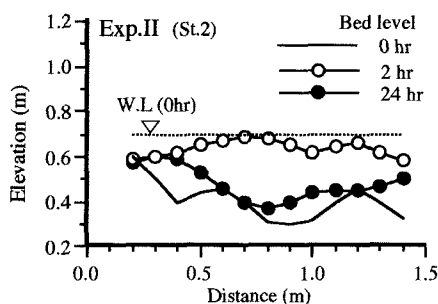


図-4 プールにおける土砂堆積と侵食

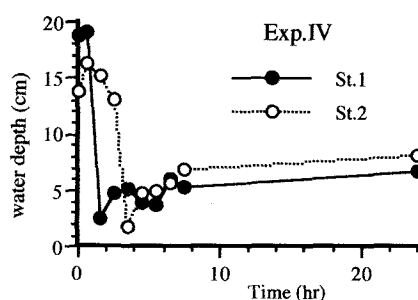


図-5 プールにおける平均水深の時間変化

水の作用で拡がった。このような流路の形成と拡幅によって堆砂は侵食され、ダムから土砂が流出した。しかし、流路が安定化すると侵食量が減少したため、人為的に流向を変えることなどによって侵食を促進させた。排砂量は流量に左右されるが、上述のような人為的要因も影響しているので、表-1のように流量と単位時間排砂量の間には明確な相関はない。また、堆積物質の粒度分布は一様でないので、排出土砂の質も時間的に一定していない。以上のことから排出土砂の質・量は時間的に変化していると考えられるが、後の解析では排砂の質的な時間変化はないものとし、全侵食量を排砂時間で割った値で土砂が平均的に流出するものと仮定する。

(2) 土砂の移動

排出土砂の中の粒径の大きな成分は河床のアーマールコート構成する砂礫の空隙やプールを埋めながら掃流形態で徐々に流送された。掃流砂が到達する前に細粒成分が濁水に含まれて流下してきたが、その濃度は実験ⅠとⅡでは2000～3000ppmであった。採水地点に掃流砂が到達してプールを埋めると、水深が小さくなるため浮遊砂を掃流砂と区別して採集することは困難となり、全排砂量の何%が浮遊形態で流出したのかは正確にはわからない。もちろんこの割合は排砂の粒度分布が等しいとしても流量に影響されるので一定の値ではないが、後の掃流砂の移動過程を解析するときに必要なデータとして、およそ何%が浮遊砂として流出したかについて目安をつける。さて、掃流砂が到達するまでの浮遊成分の最大粒径は実験Ⅰでは500 μ m、実験Ⅱでは1mmであった。また、澤田の研究²⁾によるとヒル谷ではプールに堆積しながら流下する土砂の平均粒径は3mmであるので、図-3の粒度分布を考慮すると0.5～1mm以下の土砂、すなわち全排砂量の40%程度が主に浮遊形態で流下するものと考えられる。

区間Aではどの実験でも過剰給砂となっており、顕著な土砂堆積が見られた。実験Ⅳでは堆積痕跡から判断して最大堆積厚はダム直下で40cm、暗渠入口付近で20cm程度であったが、土砂堆積は排砂終了後侵食され、24時間後には元のアーマールコートが現われていた。St.2付近のプールとプールの間の平坦部においても、すべての実験で最大堆積厚が20～25cmに達し、

アーマールコートが完全に砂で覆われたが、24時間後には元の状態に戻っていた。

区間B～Dのプールは掃流砂によって埋没した。図-4は実験ⅡのSt.2における河床横断形の時間変化を示したものである。この図から、排砂2時間後にはプールが満砂している。その後堆砂は侵食され、24時間後にはかなり元の形状に近づいている。図-5は実験ⅣのSt.1とSt.2のプールにおける平均水深の時間変化を示したものである。流量や水位はほとんど変化していないので、平均水深はプールの土砂貯留容量に対応している。St.1では排砂2時間後までに急速に堆積が進み、St.2では2時間後から堆積が始まり3時間30分後までに満砂している。このように、実験Ⅱに比べて流量の小さい実験Ⅳでは土砂貯留容量の回復が遅く、平坦部に比べてプール部では排砂の影響が長く続いている。

4. 生物への影響

(1) イワナへの影響

実験ⅡおよびⅣでは、排砂前に体長20cmの養殖イワナを放流してイワナの挙動を観察するとともに、排砂前後におけるイワナの個体数を調べた。さて、掃流砂の到達前に濁水が通過するが、その濃度は2000～3000ppm程度であり、フランス電力公社の研究結果¹⁾から判断するとイワナが生存できないような濁水ではない。また、溶存酸素濃度はプールや河床の空隙が埋まることによって減少する傾向も見られたが、9.5～10mg/l程度であり、これもイワナの生死に影響を与えるほどの値ではない。したがって、水質の点から見るとそれほど排砂の影響は大きくない。

掃流砂の流下によりプールに土砂が堆積するとそのプールに生息していたイワナはプールの脇の淀みに避難していたが、やがて堆積はプール全体に広がりイワナはプールから追い出される。そのときには土砂の堆積はその下流に及んでおり、河床の平坦化、流れの一様化、粗度の減少による水深の減少、流速の増加により逃げ出したイワナは上流に遡上しようとするものの下流に流され、さらに下流の河岸やプールに残されたわずかな淀みに避難する。実験Ⅳでは排砂前に取水堰の下流から足洗谷合流点までに20匹の養殖イワナを均等に放流し、こ

の区間の個体数が調べられた。ただし、放流区間の下流端には大きい段差があり、それより下流に流されると容易には上流に戻れない。排砂終了時点(2時間後)では掃流砂の堆積層のフロントは取水堰付近にあるが、この時点では少なくとも15匹のイワナが確認された。その後堆積層が放流区間に達すると、前述のようなイワナの挙動が観察され、排砂2日後の調査では放流したイワナが4匹、以前放流して天然化したイワナが2匹、稚魚が2匹確認されたのみであった。このように実験Ⅳのような掃流砂の堆積層の通過によってかなりの割合でイワナは下流に押し流され、その生息に大きな影響を与えられた。しかし、ほとんど生息できるような場所がなくなっても数匹のイワナが確認されたことや、毎年1~2回同様の排砂が行われているにもかかわらず天然化したイワナや稚魚が生息していることは、避難場所の多さ、すなわち河道形状の非一様が強いことによるものである。

掃流砂の堆積層の伝播による影響を緩和するためには、避難場所となる淀みの部分を多く確保する必要があるが、プール内やアーマーコート上の土砂堆積が大きいとプールの側岸にある空間やステップを構成している石礫の下にある空間、河岸部の淀みのほとんどが消失する。また、粗度の減少による水深の減少、流速の増加によりイワナが下流に流され易くなる。したがって、影響評価の指標としてこれらの堆積量または堆積厚を考えることができ、それらなるべく小さくすることが排砂の影響を小さくするために重要である。

(2) 水生昆虫への影響

実験Ⅲでは排砂前後における水生昆虫の個体数を調査した。排砂時間は実験Ⅳと異なるが、単位時間排砂量や流量は同程度で、土砂移動の状況は実験Ⅳとほぼ同じである。個体数調査は排砂の前日、1日および8日後に行った。また、実施月は4月である。水生昆虫は50cm四方のコドラートを用いてプール以外の8地点で採集され、カワゲラ類、トビケラ類、カゲロウ類に分類された後それぞれの個体数が数えられた。

水生昆虫全体の生息数は排砂前後で110匹から72匹に減少したが、その後8日間で95匹に回復した。種類別に見るとカワゲラ類は排砂後生息数が増加し、トビケラ類は減少した後増加したが排砂8日後でも個体数は元に戻らなかった。カゲロウ類は個体数が減少したままとなった。このように、種類によって個体数の回復度は異なるが、アーマーコートが比較的早く回復したため、全体的な生息数は8日間で元の数値に近くなった。

(3) 影響評価に関する一考察

澤田⁹⁾はプールからの流砂量が落下水脈の河床における流速に支配されるとして流砂量式を半理論的に提案し、抵抗係数、水面勾配などのパラメータにヒル谷の数値を代入して、ヒル谷の平均的な大きさのプールからの

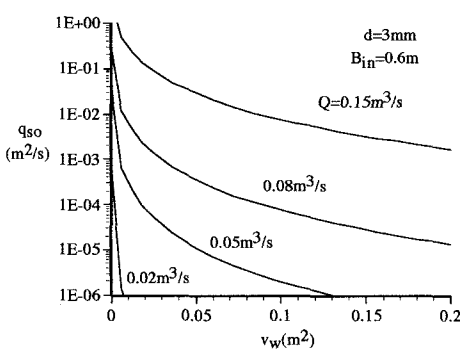


図-6 平均的な大きさのプールからの流出土砂量

単位幅当たりの流砂量の算定式(m-sec単位)を次式のよう

$$\frac{q_{so}}{\sqrt{sgd^3}} = A \left\{ \frac{7.207 \alpha^2 q^{3/4}}{sgd \left(0.745 v_w^{1/2} + 0.37 q^{2/3} \right)} \right\}^{6.62} \quad (1)$$

ここで、A:係数、 $q=Q/B_{in}$ 、 $s=\sigma/\rho-1$ 、Q:流量、 B_{in} :プール入口幅、 v_w :土砂貯留容量(土砂堆積のためのプールの空き容量)、 d :粒径、 σ :砂の密度、 ρ :水の密度、 g :重力加速度で、一様幅の2次元模型実験から $A=2.015 \times 10^{-6}$ としている。また、係数 α は文献²⁾では考慮されていないが、現地のプールの幅は入口幅より大きくプール内の平均的な底面流速が一様幅の場合より小さくなることを考慮して導入した。ここでは、次章の土砂移動のシミュレーション結果から判断して $\alpha=0.41$ とするが、この点に関しては今後検討する必要がある。図-6は $d=3\text{mm}$ 、 $B_{in}=0.6\text{m}$ 、 $s=1.65$ に対して流砂量と貯留容量の関係性を流量をパラメータとして求めたものである。

v_w はプール内の土砂堆積の程度を表わすので、生息生物に対する排砂の影響を評価する指標として用いることができる。そこで、プールに実験Ⅳの単位時間排砂量にあたる土砂流入がある場合、平衡状態でどの程度土砂が堆積するかを v_w によって評価する。試験ダム内の堆砂の空隙率を0.4、プール出口幅を0.4mとすると、図-6より $Q<0.08\text{m}^3/\text{s}$ で $v_w<0.01\text{m}^2$ となる。未堆砂の状態の貯留容量は 0.189m^2 であるので、このような流量ではほぼプールが満砂することになる。 $Q=0.15\text{m}^3/\text{s}$ になると $v_w=0.1\text{m}^2$ となり、プールにあまり土砂が堆積しない状態で掃流砂が通過することになる。

ついで上記のような堆積の後土砂流入がなくなったときのプールの回復度について考察する。たとえば $Q=0.05\text{m}^3/\text{s}$ のとき $v_w=0.005\text{m}^2$ まで堆積するが、土砂流入がなくなると侵食されプールは回復して行く。しかし、ある程度回復すると流砂量がなくなりそれ以上侵食されなくなる。この限界の流砂量を便宜的にプールから 1g/s の流砂量となったときとすれば、 $Q=0.05\text{m}^3/\text{s}$ では $v_w=0.13\text{m}^2$ までしか回復しない。一方、 $Q=0.08\text{m}^3/\text{s}$ では、 $v_w=0.189\text{m}^2$ になるまで流砂はあるので未堆砂の状態に戻ることができる。

以上より、実験Ⅱ、Ⅳのような条件ではプールは一旦

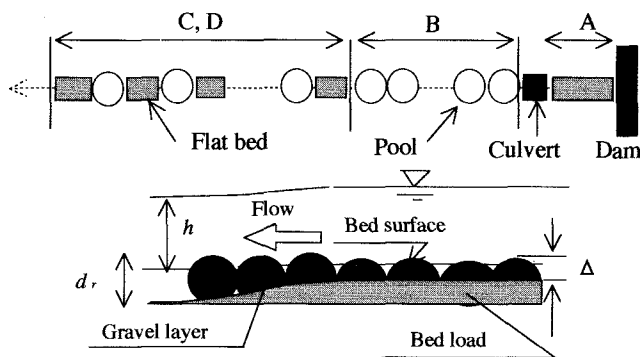


図-7 河道のモデル

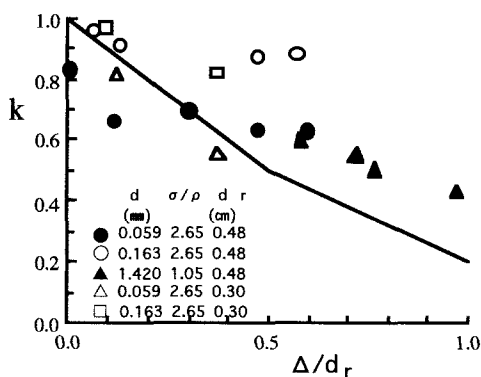


図-8 遮蔽係数

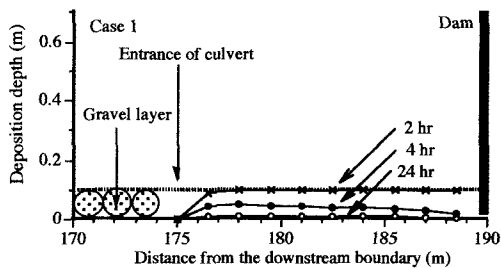
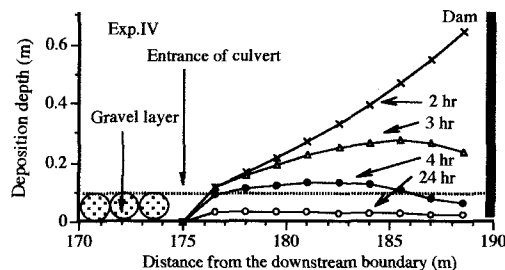


図-9 ダム直下部における河床変動

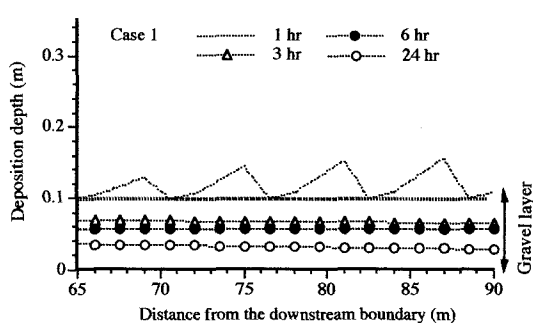
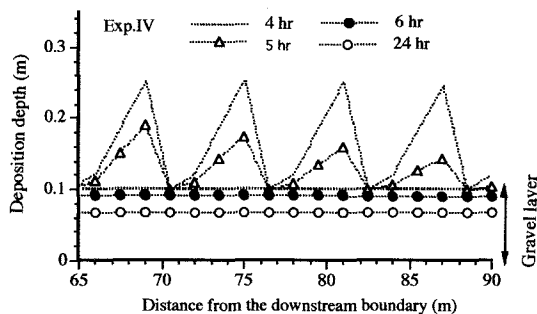


図-10 平坦部の河床変動

満砂するので生息生物への影響は大きく、さらに実験Ⅳの条件ではその後のプールの回復も十分でないで影響が長期間続く。もしも、 $0.15\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量のとき実験Ⅳのような排砂を行えば、満砂することもないしプールの回復も非常に早く、生息生物への影響も小さくなる。このように、式(1)を使ってある程度排砂の影響評価が行える。

5. 土砂移動のシミュレーション

(1) 河道のモデル化

掃流砂が土砂堆積のない空の状態のプールに堆積し、河床表面のアーマーコート覆いを覆いながら流下する現象を実験Ⅱ、Ⅳを対象にして数値計算によって再現する。まず、観測区間を河床条件の違いから、図-7のように3つの区間に分けた。区間Aはアーマーコートの発達した平坦河道、Bはプールの連続した河道、C、Dはプールとアーマーコートの平坦部が交互に連続した河道である。区間Aの下流端は暗渠入口にあたり固定床とした。平坦部の河床勾配は表-2に示した値とする。平坦部の河床表

面には $d=10\text{cm}$ の石が空隙率0.4で1層の厚さで敷き詰められているとする。ヒル谷の平均的な大きさのプールは表-2に従って区間B、C、Dに各々36、12、6個等間隔に設置する。ただし、プールの大きさは初期土砂貯留容量 0.2m^2 、長さ1m、幅1m、入口幅0.6m、出口幅0.4mとする。ただし、区間Bでは連続してプールがあるので、平均的なプールとプールの間に貯留容量 $0.1\text{m}^2/\text{s}$ のプールを配置し、計72個の大小のプールを1m毎に設置した。

(2) 計算方法

平坦部の河床変動計算では礫層中の掃流砂の移動や堆積が評価できるようにする。まず、図-7に示すように粒径 d_r の礫からなる礫層中を掃流砂が移動するとき、掃流砂の堆積厚は流水幅を考慮して次式で計算される。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B\lambda_r(1-\lambda)} \frac{\partial}{\partial x} (B_s q_B) = 0 \quad (2)$$

ここに、 z : 砂の堆積厚、 B_s : 流水幅、 B : 河幅、 q_B : 掃流砂量、 λ : 掃流砂の堆積層の空隙率、 λ_r : 堆積面が礫層表面より下にあるとき礫層の空隙率、上にあるとき1で

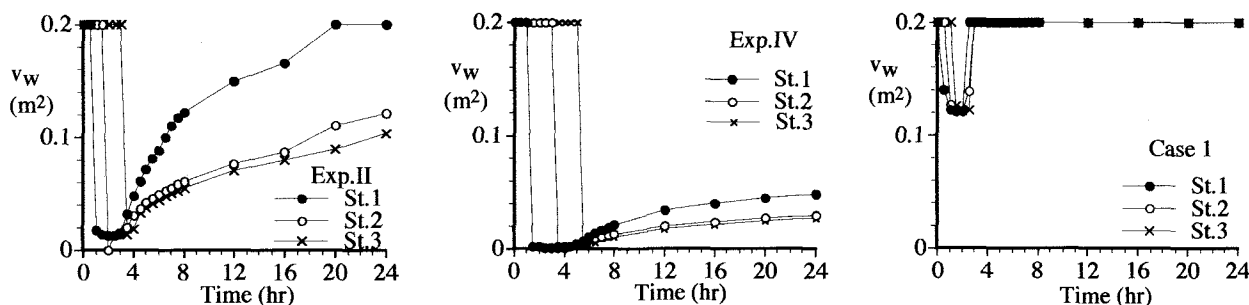


図-11 プールの貯留容量の時間変化

ある。理論河床は礫の頂部から砂の堆積面と礫の頂部との差 Δ の1/4だけ下がった位置とし、水深は擬似等流近似のもとにマンニングの式から計算する。ただし、初期河床のマンニングの粗度係数は0.02とし、アーマーコートが砂で覆われると0.01とした。流水幅はレジーム則 $B=5Q^{0.5}$ から求めた。礫層中の掃流砂量は、摩擦速度に礫の遮蔽係数 k をかけて有効な摩擦速度を求め、芦田・道上の掃流砂量式³⁾から算定した。遮蔽係数は礫層中の砂の堆積面の位置に関係するものと考えられ、芦田・藤田⁴⁾、道上・藤田・三村⁵⁾によると k と Δ/d_r の関係が図-8のようにプロットされるので、これを参考に図中の折線のような関係を用いた。プールの河床変動は式(1)でプールからの流出量を計算し、流入量は一つ上流のプールまたは平坦部下流端の流砂量を与えて計算される。ただし、プールは初期貯留容量以上には侵食されないものとした。給砂量は排出土砂の40%が浮遊砂として流出するものとして、表-1の単位時間排砂量に0.6かけたものを与え、粒径は3mmとした。

(3) 結果

計算は実験Ⅱ、ⅣおよびⅣと同じ条件で流量条件のみ0.15m³/sに変えたCase1について行った。図-9は区間Aにおける堆積厚を実験ⅣとCase1について示したものである。実験Ⅳでは排砂終了2時間後礫層を覆い尽くす土砂堆積が見られる。痕跡調査によるとダム直下部で40cm、暗渠入口付近で20cmの堆積があったので、計算結果は実現象をよく表現している。Case1では、礫層をちょうど覆う程度の土砂堆積しか起こらず、アーマーコートの回復も早いので魚類等への影響は実験Ⅳに比べて小さいものと思われる。図-10はSt.2付近の平坦部の堆積厚の計算結果を実験ⅣとCase1について示したものである。堆積厚が大きい位置がプール直下流、小さい位置がステップ直上流である。実験Ⅳでは25cm程度の土砂堆積が見られ、実現象と良く対応している。Case1では土砂堆積が小さくなっている。図-11は実験Ⅱ、Ⅳ、Case1のプールの貯留容量の時間変化を示したものである。実験Ⅱ、Ⅳともに堆積し始め満砂状態になるまでの時間や元の状態への回復度が実現象と良く一致している。Case1では顕著な土砂堆積は起こっておらず、排砂後2時間で元の状態に回復しているので、Case1のような条件であれば、排砂の及ぼす生息生物への影響は

河床変動の点からは大きくないものと推測される。

6. おわりに

本研究は砂防ダムからの排出土砂の移動過程とそれが魚類や水生昆虫に与える影響について検討した。得られた主要な結果をまとめると次のようである。

- (1) 排出土砂のうち掃流砂で移動するものはプールに堆積し、アーマーコートを埋没しながら流下する。このような移動形態はイワナや水生昆虫の生息場所を奪う。
- (2) プール内やアーマーコート上の堆積厚が大きいほど生息生物の避難場所も少なくなる。したがって、排砂の影響評価を行う指標の一つとしてこれらの堆積厚を用いることができる。本実験では堆積厚が大きかったため多くのイワナが避難場所を確保できず、下流に流された。
- (3) 掃流砂の移動過程を計算する手法を示し、その適用性を観測結果との比較から検証した。この結果を用いると(2)の指標の時間変化が計算され、排砂の影響度や回復度を見積もることができる。
- (4) 本実験条件より大きい0.15m³/s程度の流量のときに排砂すれば、その影響は河床変動の点から見ると小さくなるのが掃流砂の移動過程の計算から示された。これについては今後検証したい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、京都大学志田正雄技官、吉田義則技官、里深好文助手、小杉賢一朗助手、舞鶴高専三輪浩助教授、大阪府立高専本田尚正講師にご協力を得ました。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 角 哲也：ダム貯水池からの排砂と排砂時の放流水質管理、ダム技術、No.127, pp.30-38, 1997.
- 2) 澤田豊明：山地流域の土砂流出に関する研究、京都大学博士論文、pp.51-85, 1985.
- 3) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文集、第206号、pp.59-69, 1972.
- 4) 芦田和男、藤田正治：河床粒子の浮遊機構とそのモデル化、土木学会論文集、第375号、pp.79-88, 1986.
- 5) 道上正規、藤田正治、三村光太郎：粗面河床上の平衡浮遊砂濃度分布に関する研究、平成4年度土木学会中国四国支部研究発表会、II-87, pp.264-265, 1992.

(1999.9.30受付)