

排砂による河床変動が溪流魚の生息分布に与える影響

京都大学大学院農学研究科 ○木下篤彦
 京都大学防災研究所 藤田正治
 京都大学大学院農学研究科 水山高久
 京都大学防災研究所 澤田豊明

1. はじめに

著者らは、排砂による溪流魚への影響を河床変動の点から調査する目的で京都大学ヒル谷試験流域で排砂実験を行い、河床変動と溪流魚の生息分布の変化を調査し^{1), 2)}、さらにこれらの実験を基に河床への土砂堆積による溪流魚の移動パターンをプールと瀬それぞれにおいてモデル化した³⁾。その上で、プールでの魚の移動についてはさらにプール容積のうち魚の生息場所、避難場所として有効な体積を求める手法を確立する必要があることが分かった。そこで本研究では、ヒル谷での排砂を対象にしてプール容積から魚の生息場所、避難場所の体積を求める手法を確立する。

2. プールでの魚の移動モデル

2.1 モデルの概要

魚の生息場所、避難場所について、鈴木⁴⁾はイワナを含む数種の魚を用いて遊泳速度を測定する実験を行い、魚は流速が最も小さいところを選んで定置することを示している。そこで、本研究ではプールにおいて他の場所と比較して格段に流速の小さい場所を調査した。図-1にダム下流90m付近でのプール平面図および水深5cmにおける流速の大きさの分布を示す。ただし、流速測定時のヒル谷の流量は0.072m³/sであった。図-1から、プール内ではステップ下の空間や河岸がえぐれて淀みができている場所が流速が小さいことが分かる。このことからプールではこれらの場所が魚の生息場所、避難場所になると考えられる。そこで、1つのプールに生息できる魚の数はこれらの場所での水の体積に比例すると仮定すると、1つのプールに生息できる魚の匹数Aは以下の式で表される。

$$A = \text{int}(\beta_1 \cdot V_e / V_f) \dots (1)$$

ここに、int(x)=xを超えない最大の整数、 β_1 :魚の体積と魚が生息に必要な水の体積の比、 V_e :ステップ下の空間、河岸の淀みの水の体積、 V_f :魚の体積である。

2.2 モデル中のパラメーターを決定するための給砂実験

式(1)中の比例係数 β_1 を求める目的でヒル谷において給砂実験を行った。給砂実験では、あらかじめイワナを放流したプールに給砂を行い、プール内の水の体積、式(1)中のステップ下の空間、河岸の淀みの水の体積 V_e とプール内に生息するイワナの個体数Aの時間変化を調査した。なお、プール出口ではトラップを設置し、プールから追い出されたイワナの数のカウントした。実験は5回行い、実験条件を表-1に示す。ただし、表-1中の実験I~IIIはダム下流50mのプールで、実験IV, Vはダム下流90mのプールで行っている。図-2に給砂後の V_e の時間変化を示す。図-2では、給砂時の流量が多かった実験I~IIIでは V_e は若干減少しただけで大部分は残されたが、流量の小さかった実験IV, Vでは V_e はほぼ0となった。また、 V_e が大部分残された実験I~IIIではイワナは流されず、 V_e がほぼ0となった実験IV, Vでは実験IVで4匹のイワナが、実験Vで全てのイワナが流されるという結果となった。図-2の実験IV, Vの結果について、 V_e をイワナの体積 V_f で除した値をX軸に、プール内のイワナの数AをY軸にプロットしたものを図-3に示す。また、図-3に式(1)における β_1 の値が $\beta_1=0.015$ の場合の式(1)より求められる V_e/V_f とAとの関係を描く。ただし、図中黒丸は以上を、白丸は未満を意味する。図-3から $\beta_1=0.015$ の場合に実験結果と計算値がよく適合していることが分かる。尾崎⁵⁾は水槽実験において魚を刺激せずに実験を行うには水の体積は魚の体積の少なくとも10倍、すなわち $\beta_1=0.1$ 以下の

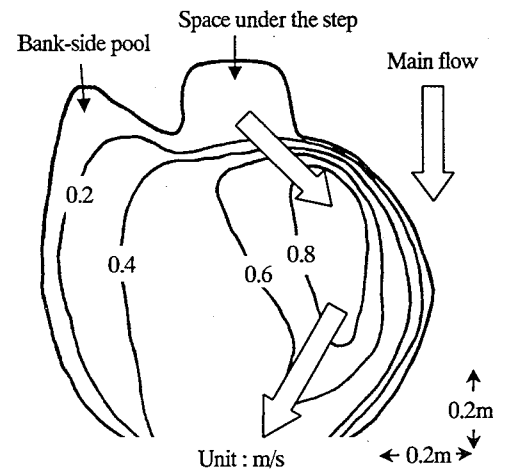


図-1 プール平面図と水深5cmでの流速分布

表-1 給砂実験の実験条件および実験を行ったプールの初期条件

	給砂した砂の平均粒径 (mm)	給砂量 (m ³)	給砂時間 (min)	流量 (m ³ /s)	給砂前のプール内の水の体積 (m ³)	給砂前のステップ下の空間、河岸の淀みの水の体積 (m ³)	給砂前に放流したイワナの個体数
Case. I	1.4	0.12	15	0.056	0.512	0.142	10
Case. II	3.0	0.12	15	0.056	0.512	0.142	10
Case. III	6.2	0.16	20	0.056	0.512	0.142	10
Case. IV	3.0	0.18	7.5	0.025	0.162	0.028	5
Case. V	5.9	0.20	8.0	0.025	0.162	0.028	5

ある必要があると述べているが、プールのステップ下の空間、河岸の淀みについては水槽実験と異なり流速が0でないこと、地形条件によって生息場所が制限されることを考慮すると図-3より得られた $\beta_1=0.015$ という値は妥当であると思われる。

3. 本モデルを用いた計算

3.1 計算の概要

藤田ら¹⁾の河床変動モデルでは排砂後の単位幅当たりのプール容量 V_w の時間変化は計算できるが、式(1)の V_e については直接計算できないので V_w から V_e を計算する手法を確立する。

まず、プールに土砂が堆積していない時の V_e の大きさを V_{e0} とおくと、 V_{e0} の値はプールによって異なると考え、ヒル谷の一定区間で代表的な大きさのプールを20個選び、それぞれのプールについて V_{e0} の大きさを調査した。図-4に V_{e0} の頻度分布を示す。藤田ら¹⁾の河床変動モデルではヒル谷に72個のプールを配置しているが、以後計算を行う際には図-4と同じ頻度でヒル谷のプールの V_{e0} の値を設定する。

次にプール内の水の体積を V_p とすると、2.2の給砂実験IV、Vの時の V_p とステップ下の空間、河岸の淀みの水の体積 V_e の値の変化から土砂堆積によって V_p が減少するときの V_p と V_e の関係を求める。図-5に実験IV、Vでの給砂後の V_p と V_e の関係を示す。図-5では V_p が $0.16(\text{m}^3)$ から $0.09(\text{m}^3)$ までは V_e は減少していない。この時プール中心部に土砂がマウンド状に堆積するもののステップ下の空間や河岸の淀みには堆積しなかった。 V_p が $0.09(\text{m}^3)$ から $0.05(\text{m}^3)$ までの間では V_e は直線的に減少している。この時、土砂のマウンドが大きくなり土砂はステップ下の空間や河岸の淀みにも移動している。 V_p が $0.05(\text{m}^3)$ になると V_e はほぼ0となっている。この時ステップ下の空間や河岸の淀みは完全に土砂で埋まっている。 V_{e0} が減少し始める V_p を V_{Pr1} 、 V_e が0になる V_p を V_{Pr2} とし、図-5から V_p と V_e の関係を以下の式(2)~(4)のように表す。

$$V_e = V_{e0} (V_{Pr1} < V_p < V_{Pr0}) \dots (2) \quad V_e = V_{e0} \cdot (V_p - V_{Pr2}) / (V_{Pr1} - V_{Pr2}) (V_{Pr2} < V_p < V_{Pr1}) \dots (3) \quad V_e = 0 (0 < V_p < V_{Pr2}) \dots (4)$$

ここに、 V_{Pr0} ：土砂が堆積する前のプール内の水の体積である。式(2)~(4)中の V_{Pr1} 、 V_{Pr2} について、河岸の淀みやステップ下の空間はプール水面付近にあるため、土砂堆積前のプール内の水の容積 V_{Pr0} が大きいほど、すなわちプールが深いほど V_{Pr1} 、 V_{Pr2} が大きくなると考えられ、 V_{Pr0} と V_{Pr1} 、 V_{Pr2} の関係式を式(5)、(6)のように表す。

$$V_{Pr1} = k_1 \cdot V_{Pr0} \dots (5) \quad V_{Pr2} = k_2 \cdot V_{Pr0} \dots (6)$$

ここに k_1 、 k_2 ：比例係数である。式(5)、(6)の k_1 、 k_2 の値については図-5より求める。図-5において、およそ $V_{Pr0}=0.16(\text{m}^3)$ 、 $V_{Pr1}=0.09(\text{m}^3)$ 、 $V_{Pr2}=0.05(\text{m}^3)$ となるので、式(5)、(6)より $k_1=0.56$ 、 $k_2=0.31$ となる。

次に、 V_p は V_w から以下の式(7)によって計算できる。

$$V_p = B \cdot (V_w + \Delta h \cdot L_p) \dots (7)$$

ここに、 B ：プール幅、 Δh ：プール出口とプール水面の高さの差、 L_p ：流下方向のプール長である。

図-4と式(2)~(7)によって V_w から V_e を計算でき、さらに V_e から式(1)を用いてプールに生息できる魚の数を計算できる。

3.2 現地実験の再現計算

本モデルを用いて、1999年の排砂時の流量、排砂量、排砂時間を基に再現計算を行った。なお、計算では実験時に放流した20匹のイワナを放流した場所に配置した。また、ヒル谷はダム下流190mで足洗谷に合流している。再現計算の結果、プールのステップ下の空間、河岸の淀みは全て土砂で埋まり全てのイワナがプールを追い出され足洗谷に流されるという結果になった。1999年の排砂でもプールに生息していたイワナが土砂堆積によってプールを追い出され20匹中16匹のイワナが足洗谷へ流されており、計算結果はおおよそ実現現象を再現していたと言える。

4. おわりに

本研究ではプールへの土砂堆積による魚の移動パターンのモデルを構築し、排砂による魚の生息分布の変化を予測することができた。ただし、プール内の水の体積とプールのステップ下の空間、河岸の淀みの水の体積との関係を給砂実験を行った1つのプールでの関係をヒル谷の全てのプールに適用しており、この点で問題が残った。この点については今後の排砂実験においていくつかのプールでこれらの関係を調査し、検討する必要がある。

参考文献 1)藤田ら：水工学論文集，2000. 2)木下ら：河川技術論文集，2001. 3)木下ら：砂防学会概要集，2003. 4)鈴木：土木学会論文集，1999. 5)尾崎：魚類生理学講座，1970.

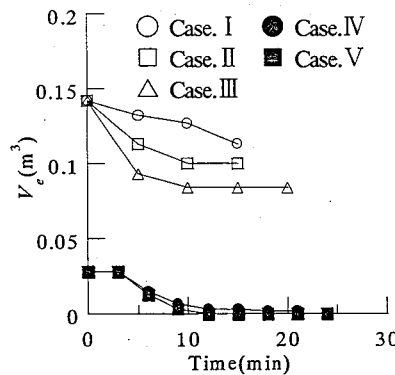


図-2 給砂後の V_e の時間変化

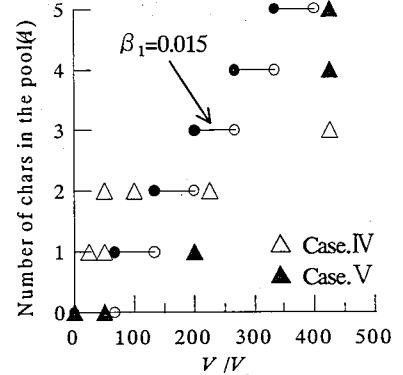


図-3 V_e/V_i と A の関係

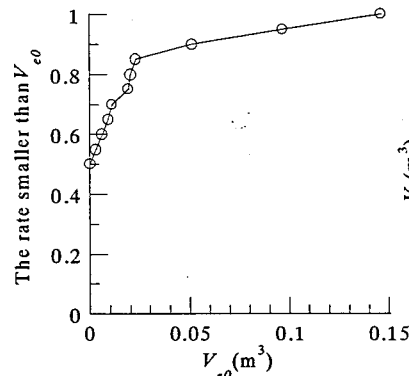


図-4 V_{e0} の頻度分布

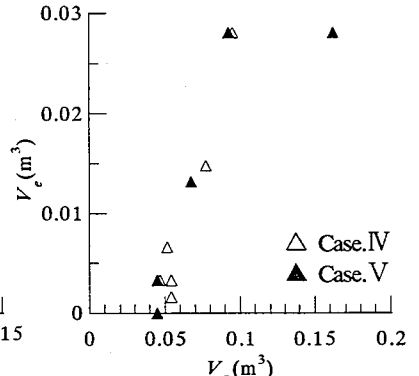


図-5 V_p と V_e の関係