

過剰な土砂流入による河床高及び流砂量変化の機構

広島大学大学院　○学生会員　青山芳彦　　広島大学工学部　　正会員　渡邊明英

広島大学工学部　　フェロー会員　福岡捷二　　広島大学大学院　学生会員　名尾耕司

1. 序論

上流域で生産された土砂の河川への流出は、土砂移動や河床変動に影響を及ぼす。河道の平衡流砂量を超えた量の流入土砂がある場合の河床変動については、その重要性にも関わらず十分な研究が行われていない。本研究ではダム等からの排砂を想定し、土砂流入量の増大により生じた河床上昇が下流へ伝わっていく機構を調べることによって、流入土砂及び河床高の伝播特性を明らかにする。さらに、一次元河床変動モデルによる計算結果と実験結果の比較検討を行い、モデルがどの程度流入土砂の下流への伝播を説明できるか調べる。

2. 実験

a) 実験概要

河床変動現象を単純化し考察できるように、一様な河床材料を用い直線水路で実験を行っている。実験条件を表-1に示す。水路 upstream から平衡流砂量(14.4 ℓ/hour)を超える給砂(31.7ℓ/hour)を連続的に行う。そして河床高、水位の縦断形及び水路下流端から流出する流砂量を測定する。

b) 河床高と水位

図-1が河床高及び水位の測定結果である。上流からの河床上昇が、時間の経過と共に下流へ伝わっていく状況がわかる。水位も河床と同様に変化しながら上昇している。下流部の河床高及び水位は下流端に設置された高さ一定の堰のために、時間的にほとんど変化しないことが分かる。

c) 堆積フロント

各時間河床高の変化の大きい位置をフロントと定義する。図-1において➡で示したものが各時間のフロント位置である。フロントの位置とフロントの移動速度の関係を図-2に示す。これらよりフロントは、その速度を減少させながら下流へ移動していくのがわかる。

d) 流砂量

図-3は下流端から排出された流砂量を示す。既往の研究によって、平衡流砂量と同量の給砂を行った場合には、下流端から排出される流砂量は時間と共に減少し給砂量に漸近していくことがわかっている。これは通水初期には、河床が平坦であり抵抗も小さいため、多量の土砂が流出するが、河床波が発達し抵抗が増大す

表-1 実験条件及び計算条件

初期河床勾配	1/600
水路全長 (m)	27.5
水路幅 (m)	1.5
流量 (ℓ/s)	36.4
給砂量 (ℓ/h)	31.7
平衡流砂量 (ℓ/h)	14.4
河床材料	平均粒径 0.8mm
砂の比重	2.59
下流端水深 (cm)	4.7(実験より)
マンニングの粗度係数	0.015(実験より)

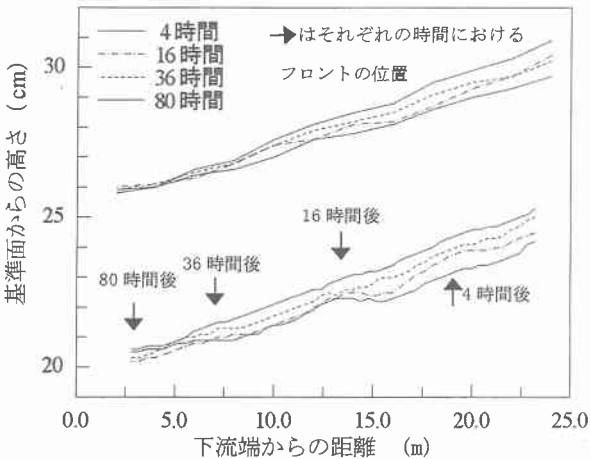


図-1 河床及び水位の実験結果

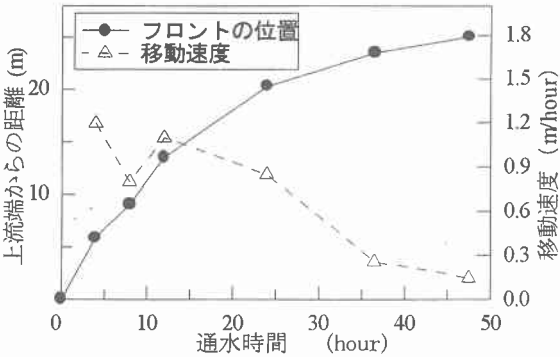


図-2 フロントの位置とその移動速度

ると、土砂の移動量は少なくなるためである。しかし本実験のように平衡流砂量以上の土砂移動がある場合には、図-1に示すように河床の上昇部が下流へ達していないにも関わらず、通水開始8時間後には増加に転じ、その後72時間かけて給砂量に漸近していくという結果が得られた。これは給砂により上流部で河床勾配が急になると、すぐに流れの状態もこれに追従し水面勾配も急になる。このため掃流力が大きくなり、流砂量が増大したものと考えられる。

3. 一次元河床変動解析

a) 計算概要

ここでは、一次元河床変動モデルを用いる。解析ではすべて掃流砂とする。上流域の流砂運動は非平衡状態であるが、ここでは第一近似として平衡流砂量式である芦田・道上式を用いている。解析には式(1)(2)(3)式を用いる。(1)式と(3)式よりその地点での流送土砂量を求め、これを(2)式に代入し Δt 時間後の河床高を計算する。これを繰り返すことによって河床高と水面形を計算する。計算条件は表-1の実験条件を与えている。下流端水深及びマンニングの粗度係数は実験より求めたものを与える。

b) 計算結果

4時間後と36時間後の解析結果を図-4に示す。計算河床高は平坦のまま時間とともに変化しており、実験で見られたフロントの移動といった局所現象を示すことができなかった。実際の現象は流砂運動の非平衡性、河床波の発達と移動により、土砂移動が時間的に一定とはならず局所的な河床変動が生じている。この現象を本計算法では考慮できていないことが局所現象を説明できない原因である。平均水位については、粗度係数を常時一定にしているため若干のずれは見られるが、ほぼ一致する。

c) 流砂量

下流端付近の水量より求めた流砂量を図-3に示す。通水後の流砂量の減少過程とその後の増加過程が求められているが、計算流砂量は実測流砂量と比べると多く算出されている。これは実験河床では局所的な河床変動による付加的な抵抗が存在し、流砂量が計算流砂量よりも少なくなるためである。

4. 結論

過剰な土砂流入により河床が上昇し、河床変動が下流へ伝播していく様子を示すことができた。そして流入土砂のフロントが未だ下流に到達していないにも関わらず水面形の変化を受けて、下流端からの流砂量が増大していくことが分かった。また一次元解析では、全体的な水面形、河床変動傾向を示すことはできたが、場所的な変動が下流へ伝播していく機構など、流砂の時間変化を十分表せなかった。流砂の非平衡性を考慮にいたれた水面形、河床変動計算が必要である。

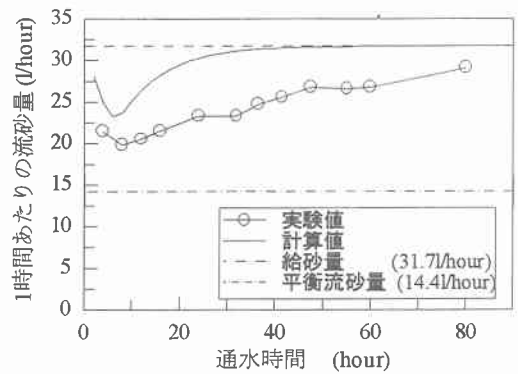


図-3 流砂量の実験と計算の比較

解析に用いた式

開水路漸変流の基礎方程式

$$\frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{B \cdot h} \right)^2 + \frac{1}{R^{4/3}} \left(\frac{n \cdot Q}{B \cdot h} \right)^2 = 0 \quad (1)$$

流砂の連続式

$$\frac{dz}{dt} = - \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{dq_B}{dx} \quad (2)$$

芦田・道上の式

$$\frac{q_B}{u_{*c} \cdot d} = 17 \tau_{*c} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \quad (3)$$

z : 基準面からの河床高 B : 水路幅

n : マニングの粗度係数 R : 径深

x : 下流端からの距離 λ : 土の間隙率

q_B : 単位幅流砂量 Q : 流量 h : 水深

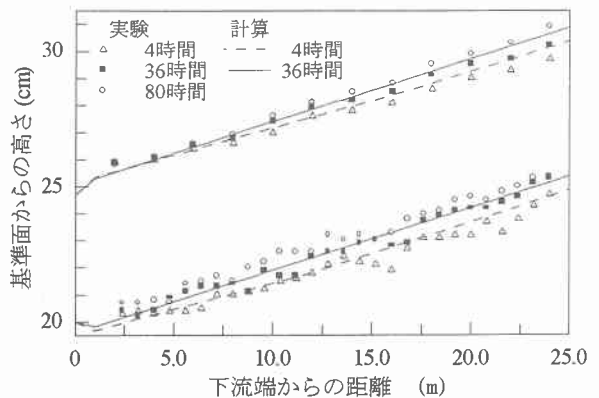


図-4 実験結果と計算結果との比較