

山地河川における浮遊砂モデルに関する研究

京都大学農学研究科 ○末安正英、木下篤彦、里深好文、水山高久
 京都大学防災研究所 澤田豊明

1. はじめに

近年、土砂移動による災害の防止、生態系・景観の保全等の観点で土砂移動に関わる現象がクローズアップされている。しかし、いろいろな土砂の移動形態があるなかで山地河川を想定した浮遊砂をとりあげた研究はあまり行われていなかった。山地河川には、相対水深が小さく、流砂も時間的・空間的に変動し、移動する土砂の河床上での存在率が小さい、といった特徴があるので、従来の緩勾配流域を対象とした浮遊砂のモデルでは、山地河川における浮遊砂の動態を予測しきれないのである。そこで、土砂流出予測に用いることができるような、非平衡状態を想定した浮遊砂に関するモデルを提案する。

2. 平衡流砂量式を用いた解析

浮遊砂に関する平衡流砂量式を用いて、幅広い粒度分布をもつ山地河川における浮遊砂量の時間変化を計算した。用いた式は以下の通りである。

- ① 流れの抵抗則 ② 流れの連続式 ③ 河床の連続式
- ④ 芦田・道上の基準面濃度式 ⑤ 浮遊砂に関する平衡流砂量式
- ⑥ 河床表層の粒度分布の変化式

粒径0.1mmと0.3mmの土砂を濃度1%で供給し、上流端からの流入流量は一定とし、供給土砂濃度を時間的に変化させて、上流端からの距離が200m、400m、600m、800mのそれぞれの地点での土砂濃度を計算した。計算結果は図1.1、1.2のようになった。ただし、図1.1は交換層を1cm、図1.2は交換層を3cmとした場合である。また河床表層と下層における粒度分布は図1.3のように設定した。

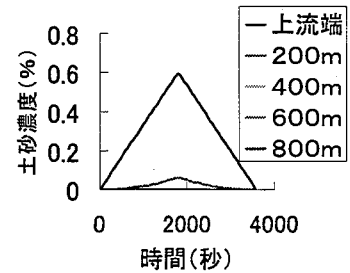


図 1.1 交換層 1 cm

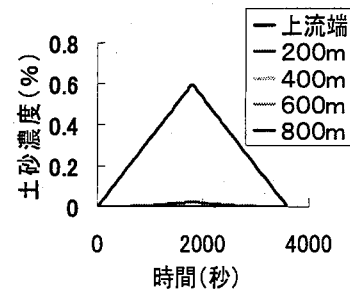


図 1.2 交換層 3 cm

3. 高原川流域における土砂流出に関する現地調査

2004年8月31日に、岐阜県東部に位置する京大砂防観測所付近の、焼岳を源流とする神通川水系の高原川の土砂濃度、粒度分布などを測定した。(午前5時から10時まで) 右の図2は解析に用いた土砂濃度等を測った地点である。今回の研究では、図2のZ1地点とZ2地点でのデータを用いた。

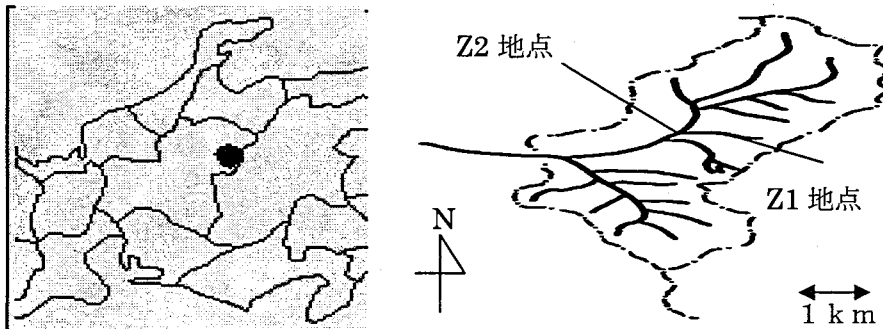


図 2 調査地

河床表層の粒度分布	下層の粒度分布
0	0
0	0.05
0	0.1
0	0.1
0	0.1
0	0.1
0.1	0.1
0.3	0.15
0.3	0.15
0.3	0.15

図 1.3 河床の粒度分布

4. 非平衡モデルを用いた解析

Z1地点のデータからその下流側にあるZ2地点での土砂濃度を予測し、実際のZ2地点での土砂濃度のデータとの比較を行うことで、今回適用したモデルの妥当性をはかった。用いた式は下記のとおりである。

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial qC}{\partial x} = f - Cw_0$$

ただし、 C : 土砂濃度、 x : 区間幅、 h : 水深、 q : 流量、 $f(u_*)$: 浮上量、 $g(C)$: 沈降量、 t : 時間である。これを差分化し、整理すると、

$$\tilde{C}(i) = \frac{1}{h} \left\{ f - C(i)w_0 - \frac{qC(i) - qC(i-1)}{\Delta x} \right\} \frac{\Delta t}{h(i)} + C(i) \frac{h(i)}{h(i)}$$

ただし、 $C(i)$: 地点 i における土砂濃度、 $\tilde{C}(i)$: 地点 i における Δt 秒後の土砂濃度である。

浮上量は、過去に行われた実験データから「摩擦速度と浮上量の関係」を導き出して求めた。沈降量は土砂濃度と沈降速度の積から求め、沈降速度は Rubey の沈降速度式から求めた。

i) 計算方法は、Z1 地点 (外ヶ谷) から Z2 地点までの距離が約 700 m なので、その区間を 14 個のブロックにわけ、1 ブロックを 50 m とし、10 秒ごとの各ブロックにおける土砂濃度変化を計算した。このとき、各ブロックの土砂濃度の初期値は 0 とし、上流端の土砂濃度の境界条件に 3 章の調査から得た Z1 地点のデータ (午前 5 時から) を用いた。また、実際の山地河川においては、浮遊できるほど小さな粒径の砂と浮遊できないほど大きな粒径の砂とが混在するが、それぞれの存在率に関するデータはないので、浮遊可能な砂の存在率が 5% であると仮定して計算を行った。その結果は図 3 のようになった。ただし、浮遊砂の粒径は全て 0.2 mm であると仮定した。

ii) i) では浮遊した砂の粒径を全て 0.2 mm と仮定して計算を行ったが、実際には浮遊した砂粒子もさまざまな粒径のものが存在するので、Z1 地点での土砂濃度のデータと浮遊した砂の粒度分布のデータから、浮遊した粒径 0.2 mm の砂の土砂濃度を求め、i) と同様の計算を行った。そして、Z2 地点における、浮遊した粒径 0.2 mm の砂の土砂濃度を Z1 地点の場合と同様に求め、計算結果との比較を行った。その結果は図 4 のとおりである。

5. 結果と考察

前述より浮遊砂に関する平衡流砂量式では、交換層の厚さを小さく設定しないと濁りが伝わらないという結果になってしまった。これは、土砂の下流への移動が交換層の粒度変化を通じて生じるものと考えているからである。従って、山地河川においては平衡流砂モデルをそのまま適用できないことがわかった。

4 (i) より、外ヶ谷での土砂濃度のピークが他の地点へと数十秒の時間差を生じて伝わっているのがわかり、当然の挙動を示しているといえる。また、外ヶ谷の土砂濃度の増減に伴って、下流の地点での土砂濃度が増減しており、当然の挙動であるといえる。

4 (ii) より、4500 秒付近で解析結果とデータのどちらもピークが訪れているが、そのときの土砂濃度はほぼ一致し、解析結果の土砂濃度の増減に伴ってデータの土砂濃度も増減しており、解析結果とデータはほぼ一致していることがわかった。よってこのモデルは妥当であるといえる。

6. おわりに

河床上の浮遊可能な砂の存在率を 5% としたのは仮定なので、正確な土砂濃度を予測するためには、この存在率を正確に求めることが不可欠である。また「摩擦速度と浮上量の関係」を求めるために使用した実験データが 0.2 mm のものしかないので、他の粒径の土砂濃度予測も行えるようにならなければならない。

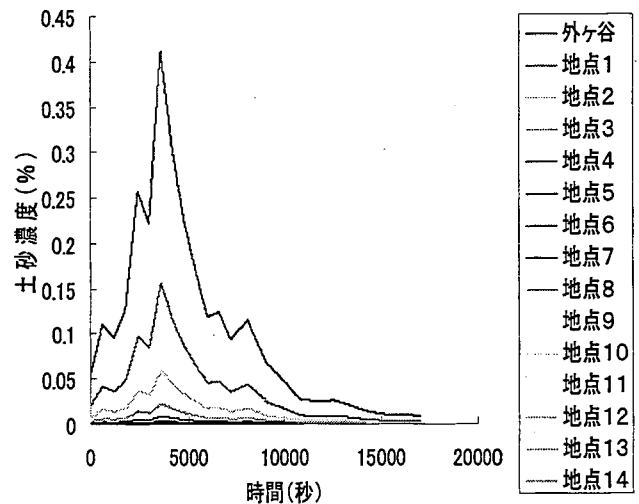


図 3 解析結果

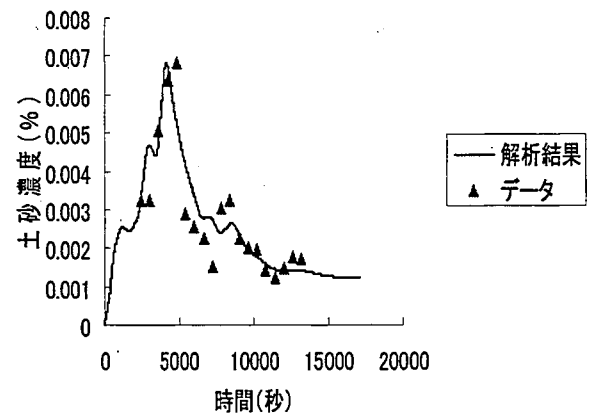


図 4 解析結果とデータとの比較