

急勾配流路における浮遊砂に関する研究

京都大学農学研究科 ○末安正英、里深好文、水山高久

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。

そこで、構築した非平衡モデルが式(1)である。沈降速度は Rubey の沈降速度式、初期条件は 0、境界条件は図 1 の Z1 地点のデータを用い、Z2 地点の土砂濃度を予測した。そのとき浮上量は摩擦速度との関係がほぼ線形になることから求めたのだが、データとしてあるのは粒径 0.2mm のみなので、他の粒径の急勾配流路における浮遊砂の浮上量を求めることができるようなモデルの構築が今回の目的である。

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial qC}{\partial x} = f - Cw_0 \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ただし、C:土砂濃度 h:水深 t:時間 q:流量 x:距離
f:浮上量 w₀:沈降速度である。

2.水路実験

京都大学宇治川水理実験所において、浮上量を求めるために水路実験を行った。用いた水路は水路長 5m、幅 20cm の可変勾配水路である。幅 18cm、長さ 1.5m の板にビー玉約 600 個を 2 段六方最密ではりつけ、固定し、これを河床とした。上流側 50cm は水の流れをつくるためにそのままにしておき、下流側 30cm はビー玉の隙間から砂が出てしまうのを防ぐため、パテ詰めした。そして、残りの 70cm の区間に砂を敷き詰め、砂が侵食される量の時間変化を測った。(図 2、3)

用いた砂の粒径は 0.745mm、0.442mm、0.311mm、0.146mm の 4 種類、勾配は 4.47、6.54° の 2 種類、流量は 1286.9、2079.6cc/s の 2 種類で実験を行った。

3.水路実験結果

水路実験の結果の一部を図 4 に示した。この結果から、粒径が小さいほど浮上量が大きいことと、勾配が急であればあるほど浮上量の初期値が大きいことがわかった。

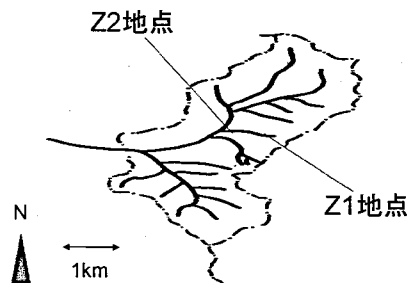


図 1 調査地(岐阜県高原川流域)



図 2 砂の初期状態

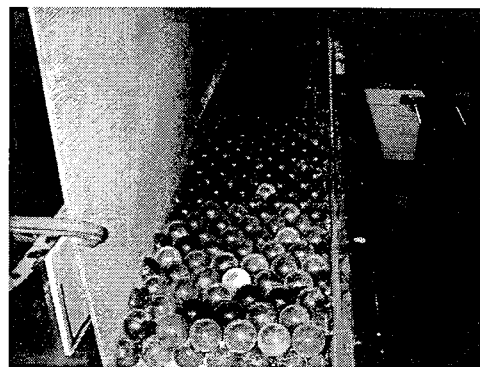


図 3 水路の様子

流量1286.9cc/s 勾配4.47°

流量1286.9cc/s 勾配6.54°

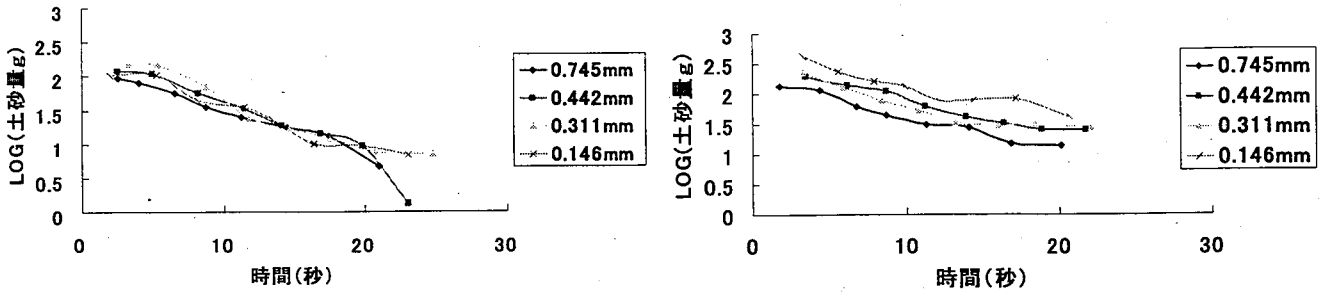


図4 水路実験結果

4. 浮上率に関するモデルの適用 (芦田・藤田 1981)

3.の水路実験結果と今回適用させたモデルによって導き出した解析結果との比較を行った。浮上率とは、単位時間、単位面積あたりに浮上する砂の量のことである。今回使用したモデルの特徴は、浮遊砂は河床表面の砂粒子が揚圧力 F_{L0} をうけて浮上することによって生成すると考えていること、静止している砂が直接浮遊砂になるものを対象としていることである。

浮上率を求める式は式(2)のようになる。

$$q_{su} = k_1 \frac{\pi}{6} \sigma d^3 N_B \int_G \frac{1}{t_c} f_{F_{L0}}(F_{L0}) dF_{L0} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ただし、 q_{su} :浮上率、 t_c :河床粒子の浮遊砂への交換時間、 $f_{F_{L0}}(F_{L0})$: F_{L0} の確率分布、 σ :砂粒子の密度、 G :粒子の水中重量、 N_B :単位面積あたりに存在する粒径 d の粒子の個数、 k_1 : N_B 個の砂粒子の中に占める浮上可能な状態の粒子の割合である。

ここで、 c :揚圧力係数(=2.5)、 u_* :摩擦速度、 k :遮蔽係数(図5)とすると、以前の研究(藤田ら)から、平均0、標準偏差 $F_{L0}' = ck^2 u_*^2 d^2$ の正規分布になることがわかっているのので、式(3)のようになる。

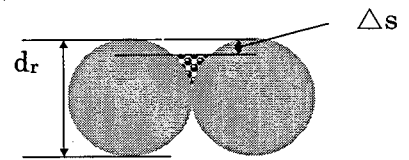


図5 遮蔽係数 ($\Delta s/d_r$ の関数として求められる)

$$q_{su} = K p_f \frac{2}{3d} \sqrt{\frac{6\sigma}{\pi}} \int_G \sqrt{F_{L0} - G} \frac{1}{\sqrt{2\pi F_{L0}'}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{F_{L0}^2}{F_{L0}'^2}\right) dF_{L0} \dots\dots \text{式(3)}$$

ただし、 q_{su} :浮上率、 t_c :河床粒子の浮遊砂への交換時間、 $f_{F_{L0}}(F_{L0})$: F_{L0} の確率分布、 σ :砂粒子の密度、 G :粒子の水中重量、 P_f :砂粒子の露出割合、 K :実験定数(=0.035)隣接する砂粒子が浮上可能になる確率である。

3.の水路実験結果と式(3)を用いた解析結果との比較を図6に示した。これは、流量 1286.9cc/s、勾配 4.47°、粒径 0.745mm の実験データを用いたのであるが、実験結果と解析結果の変化は同じような傾向を示した。

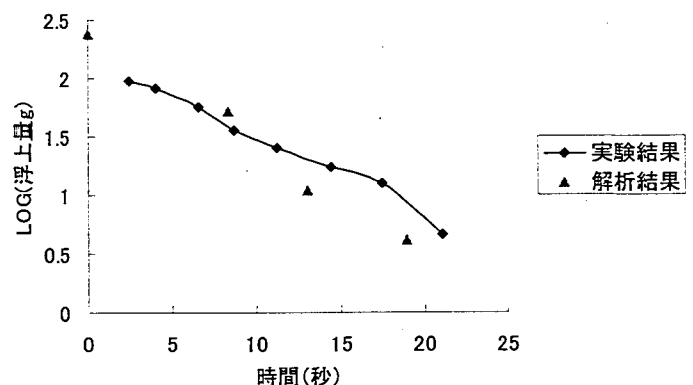


図6 実験結果と解析結果との比較

5. 今後の予定

勾配や流量を大きくした実験条件においても式(3)のモデルを適用することができるのかどうか、解析を行っていく予定である。また、今回の水路実験では河床としてビー玉を六方最密充填ではりつけたのであるが、これは実際の河床とは大きくかけはなれており、式(1)と式(3)を組み合わせたモデルが実際の河川においてどれほどの精度があるのか調べる予定である。

参考文献 芦田和男・藤田正治・向井健(1985) 「河床砂礫の浮上量と浮遊砂量」 京都大学防災研究所 年報 28