

土砂流・掃流砂の遷移勾配付近の細粒土砂の流動、堆積に関する実験

京都大学防災研究所 ○長谷川祐治
 国土技術政策総合研究所 内田太郎
 国土交通省 中部地方整備局 林真一郎
 筑波大学生命環境系 堀田紀文

1. はじめに

掃流砂領域においては、河床近傍を流れる流砂のみならず河床近傍から水面まで幅広く分布する流砂の検討が行われているが、山地河川のように急勾配の河川では河床近傍を流れる流砂を対象に検討が進められてきた。そのため、境界となる遷移勾配付近での流砂の流動、堆積については不明な点が多く残されている。本報では、河床近傍から水面まで幅広く分布する流砂の輸送現象や挙動に関して水路実験を実施し、勾配と平衡濃度に関して既往の理論との比較を行った。

2. 実験概要

実験には一般財団法人建設技術研究所にある長さ 8 m、幅 10 cm、高さ 40 cm の直線矩形断面水路を使用した。水路下流端には、径 1.2 m、高さ 1.2 m のタンクを設置して、そこで土砂と水を攪拌用のサンドポンプにより混合させて、もう一台別のサンドポンプを用いて水路上流端に砂と水を混合させて供給した。使用した土砂の粒径は 0.16 mm である。流量は手動バルブを用いて調整し、土砂濃度はタンク内の上層、中層、下層と水路上で土砂が堆積しない条件で下流端から流出する濃度が一定になるように管理した。水路上に 1 m 間隔で超音波センサ（オムロン製、E4C-DS30）を 6 台設置して、流砂の流動や堆積状況を確認した。実験の概要を図-1 に示す。

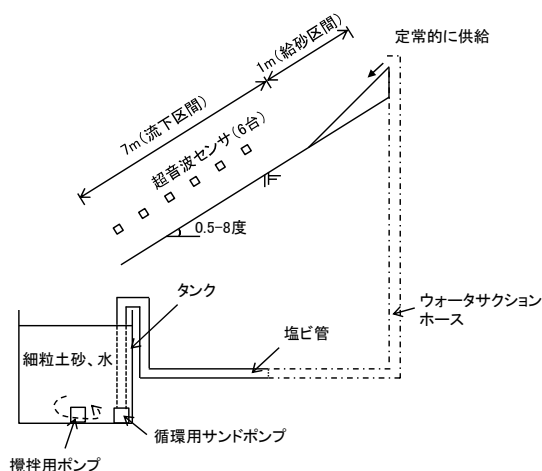


図-1 水路概略図

3. 実験結果

実験は、流量や勾配、土砂濃度を数種類変えて、水路上に土砂堆積の有無を確認した。堆積の有無は、通水を数分間行い、図-2 のように各断面に設置した超音波センサによる流動深の変化で判断した。図-3 にそれぞれの土砂濃度で流量と勾配とによる堆積の有無を示す。流量が小さく、勾配が緩く、土砂濃度が高いほど土砂は堆積しやすく、細粒土砂の平衡土砂濃度は流量と勾配の関係により境界条件が存在することが確認できる。浮遊砂量式にある基準面濃度式および濃度分布式から土砂濃度を算出し、細粒土砂濃度の結果と比較を行った。基準面濃度式には芦田・道上式 (式(1))¹⁾を、濃度分布式は Rouse 分布 (式(2))²⁾、Lane-Kalinske 分布 (式(3))³⁾を用いた。

$$\left\{ \begin{array}{l} w_0 = \left[\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{sgd^3}} \right] \sqrt{sgd} \text{、 } C_b = K \left\{ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right\} \\ g(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right) \text{ } G(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2\right) d\xi \\ \xi = w_p/\sigma_p \text{、 } \xi_0 = w_0/\sigma_p \text{ } \dots (1) \end{array} \right.$$

ここに、K: 比例定数 (=0.025)、w₀: Rubey の沈降速度 (m/s)、

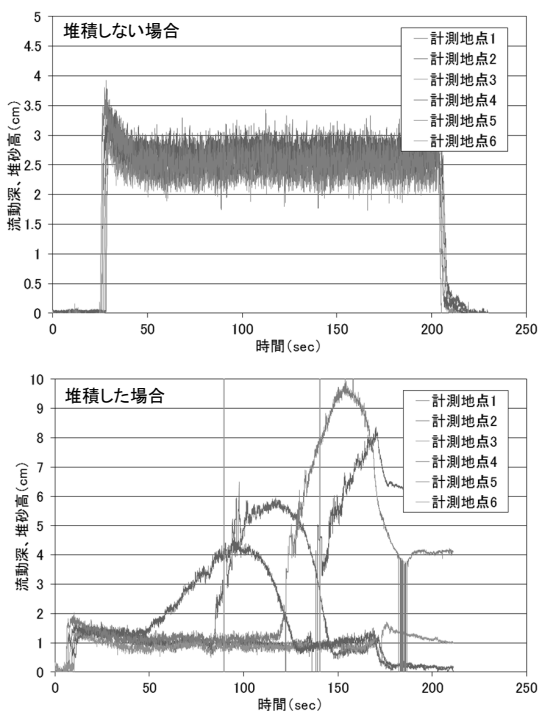


図-2 流動深の時系列

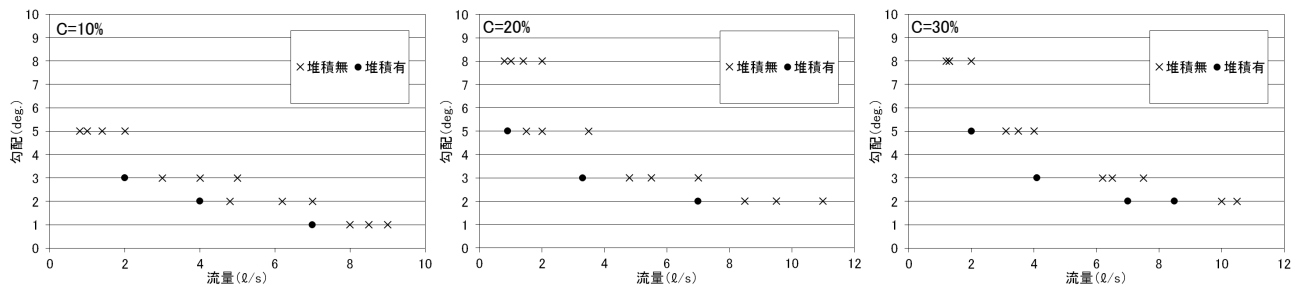


図-3 流量と勾配の関係による土砂堆積の境界条件

ν :水の動粘性係数(=0.01 m²/s)、 s :砂の水中比重、 w_p :粒子の鉛直方向の変動速度、 σ_p : w_p の標準偏差(=0.75 u_*)である。

$$\frac{c}{c_b} = \left(\frac{h-y}{y} \cdot \frac{b}{h-b} \right)^z, \quad z = \frac{w_0}{\kappa u_*} \quad \dots (2), \quad \frac{c}{c_b} = \exp\left(-\frac{6}{\kappa} \left(\frac{Z-Z_a}{h} \right) \frac{w_0}{u_*} \right) \quad \dots (3)$$

ここに、 c :濃度、 y :ある水深地点、 c_b :基準面濃度 ($b=0.05h$, $Z_a=0.05h$)、 h :水深、 κ :0.4 (カルマン定数)、 w_0 :沈降速度、 u_* :摩擦速度である。

全てのケースにおいて、摩擦速度/沈降速度は1を超える。図-4~6に摩擦速度と土砂濃度の関係を示す。図中のプロットは実験結果を、実線は上式から求められた結果であり、実線を上回ると土砂が堆積する。図-4は基準面濃度を变化させた時の結果である。基準面濃度を基準値から5倍程度に変えても、実験条件の u_* と c では全て堆積が生じる。基準値から10倍~15倍程度変えると、本実験における堆積発生、非発生の境界条件とほぼ一致する。図-5は ρ を変化させた結果である。 ρ を大きくすると、 u_* に対して c が大きくなる。しかし、 $\rho=1.5$ g/cm³ (土砂濃度30%相当)にした場合でも、実験結果とは大きく異なる。計算値の ρ の変化だけでは境界条件と一致しない。図-6は異なる濃度分布式を用いた場合の結果である。Rouse分布とLane-Kalinske分布はほぼ一致する。水深方向の濃度を基準面濃度とすると u_* に対して c が最大となるが、実験結果と一致しない。

4. おわりに

水路実験の結果、細粒土砂の堆積の発生、非発生の境界条件は既存の理論と異なる基準面濃度を与えると、ほぼ一致する。本実験では土砂と水を事前に混合させて供給しているため、河床にある土砂が巻き上げられて浮遊砂やウォッシュロードとなる現象とは異なる。しかし、土石流、土砂流から掃流砂領域まで連続している河川では、掃流砂領域でも上流から混合された土砂と水が供給される場合もあるため、このような条件下では既存の理論が必ずしも適用できるわけではない。

参考文献

- 1) 芦田和男、道上正規:浮遊砂に関する研究(1)-河床付近の濃度-, 京都大学防災研究所年報、第13号B、63-79、1970
- 2) Rouse, H.: Modern Conceptions of the Mechanics of Fluid Turbulence, Transactions, ASCE, Vol. 102, pp. 461-543, 1937
- 3) Lane, E.W. and A.A. Kalinske: Engineering calculations of suspended sediment, Trans. AGU, Vol. 22, pp. 307-603, 1941

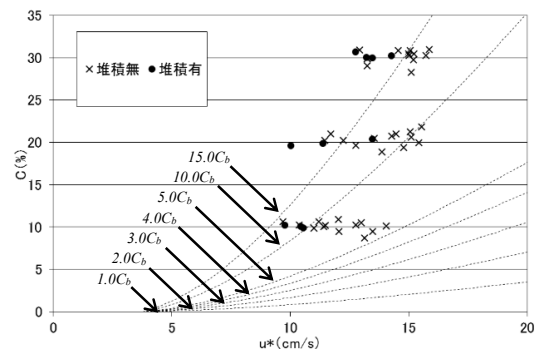


図-4 u_* とCの関係(基準面濃度を変えた場合)

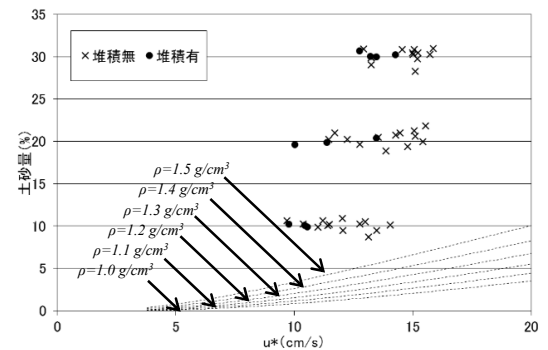


図-5 u_* とCの関係(ρ を変えた場合)

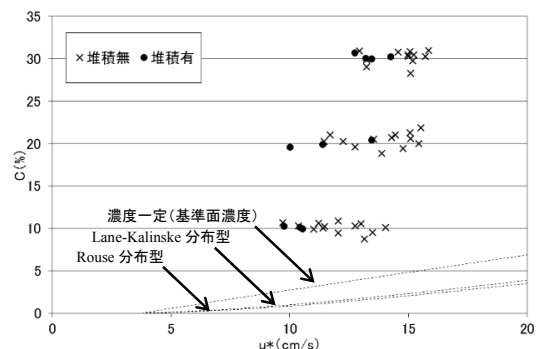


図-6 u_* とCの関係(濃度分布を変えた場合)