

急勾配水路における流砂量

九州大学工学部 学生員○金子泰利 学生員 川口哲弘
九州大学工学部 正 員 平野宗夫 正 員 橋本晴行
九州大学大学院 学生員 木藤賢一

1. はしがき

水流による土砂の輸送には掃流砂、浮流砂、土石流、泥流などがある。さらに、掃流砂と土石流との間には掃流状集合流動^{1)・2)}と呼ばれる中間的な形態も存在する。急勾配水路においてはこれらの輸送形態が出現し、流砂量や抵抗則などの取扱いを複雑にしている。本研究は、河床材料として粗粒砂と微細砂を取り上げ、これらが水路勾配や供給水量などの水理条件に対応してどのような流砂形態を取り、結果として流砂量や濃度にどう影響するかを調べるものである。

2. 実験方法

使用した水路は長さ12m、幅12.5cm及び長さ7m、幅20cmの可変勾配水路である。水路に河床材料を敷き、所定の勾配 θ_0 に設定した後、上流端より水を供給して種々の流砂形態を発生させた。発生した流れには比重1の中立粒子をトレーサーとして流し、これを、側方より16mmカメラやVTRカメラを用いて撮影した。これにより水深や流速分布が求められた。また、下流端では流れを採取することにより全流量や土砂の輸送濃度 C_T を求めた。用いた材料及び単位幅当りの供給水量 q_w などの実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果

図-1は、粗粒砂と微細砂について、無次元流砂量 $q_s/\sqrt{sgd^3}$ を無次元掃流力 $\tau_* = u_*^2/(sgd)$ に対してプロットしたものである。ここに s は粒子の水中比重、 d は粒径である。図中の実線は高橋³⁾により提案された掃流砂量式の計算結果である。粗粒砂についてはよく実験結果と適合しているが、微細砂については実験値が計算値より大きくなっている。

図-2は、粒子の輸送濃度と水路勾配の関係を示す。微細砂の方が粗粒砂より輸送濃度が大きい。水路勾配 $\theta_0 = 4^\circ$ では4~5倍大きくなっている。微細砂は浮流形態で、粗粒砂は掃流形態で移動しているためと考えられるので、これを調べるため、輸送濃度 C_T を w_0/u_* に対してプロットしたのが図-3である。ここに、 w_0 は粒子沈降速度、 u_* は摩擦速度である。 C_T は w_0/u_* に対して減少することが分かる。 w_0/u_* は浮流の程度を表す目安として知られ、その値が小さいほど浮流砂は多くなる。浮流が著しくなると C_T は大きくなり、掃流形態では C_T は小さくなることを示している。従って、図-2において、微細砂が大きな輸送濃度を示すのは、それが浮流形態で移動しているためであり、一方、粗粒砂が小さな輸送濃度を示すのは、掃流形態あるいは掃流状集合流動で輸送されていることによる。

掃流砂や掃流状集合流動では移動砂礫が河床上に密集して高濃度層を形成している。その高濃度層内の輸送濃度 C_{dT} は

表-1

d (mm)	q_w (cm ³ /s)	θ_0
0.09	95~464	4°~18°
0.17	48~669	4°~18°
1.24	99~600	1°~18°
1.90	108~600	1°~18°

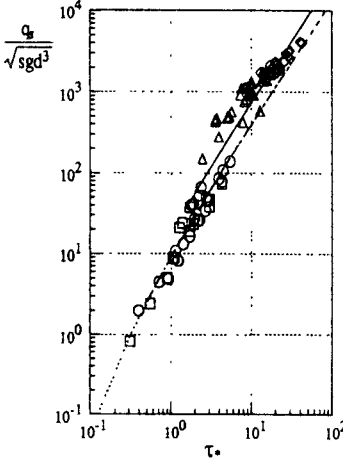


図-1

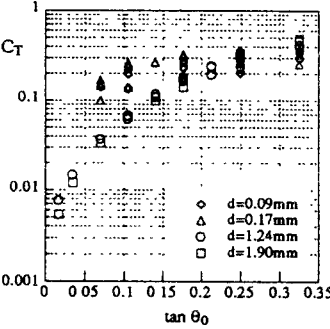


図-2

$$C_{dT} = \left(\frac{q_t}{q_{dT}} \right) C_T \quad (1)$$

より求めることができる。ここに q_t は全流量、 q_{dT} は高濃度層の流量、 C_T は輸送濃度である。 C_T は流れを下流端で採取して求められ、 q_t/q_{dT} は側方より流速分布を測定し、それを積分して求められる。その結果を図-4に示す。図-2と比較すると、高濃度層の濃度 C_{dT} は微細砂の輸送濃度 C_T と同程度の大きな値を示す。このことは、浮流土砂が底面付近においては C_{dT} よりも大きな濃度を持つことを意味している。

4. 流砂量についての考察

まず掃流砂や掃流状集合の流砂量については、図-5のように、上部水流層における粒子濃度を0とおいてモデル化し、次式

$$q_s = \int_0^{h_d} u C_d dz \quad (2)$$

によって求められる¹⁾。

一方、浮流砂を伴う場合は、まず濃度分布を予測する必要がある。これについては、図-6のように、下層には厚さ h_d 、一様濃度 C_d の高濃度層、上層には乱流拡散による砂粒子の浮流層が存在するものとしてモデル化する。そして、上層における粒子濃度 C はラウス分布を仮定すると、

$$C/C_d = \left(\frac{h_d}{h-h_d} \frac{h-z}{z} \right)^Z \quad (3)$$

となる。ここに κ をカルマン定数として

$$Z = \frac{w_0}{\beta \kappa u_*}$$

である。従って、断面平均濃度 $\bar{C}$ は

$$\frac{\bar{C}}{C_d} = \int_{h_d}^h \left(\frac{h_d}{h-h_d} \frac{h-z}{z} \right)^Z dz + h_d \quad (4)$$

となる。 $\beta=1.2$ 、 $\kappa=0.4$ 、 $C_d=0.3$ とおいて $\bar{C}$ を計算すると、図-3中の曲線のようにになる。当然 $\bar{C}$ の計算値が輸送濃度 C_T の実験値よりも大きくなっているが、両者の定性的な傾向はよく合っている。 w_0/u_* の小さな領域では $\bar{C}$ はどの勾配でも $\bar{C} \approx 0.3$ となる。これは、勾配に無関係に $C_d=0.3$ とおいたことによる。さて、浮流砂を伴う場合の流砂量は

$$q_s = \int_0^h u C dz \quad (5)$$

となる。

式(2)、(5)の計算のためには、境界条件 h_d 、 C_d や流速分布 u の正確な評価が必要であり、今後検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 高橋 保 (1982)、京大防災研年報。
- 2) 橋本晴行、椿東一郎、平野宗夫 (1986)、第30回水理講演会論文集。
- 3) Takahashi, T (1987)、Proc. IAHR.

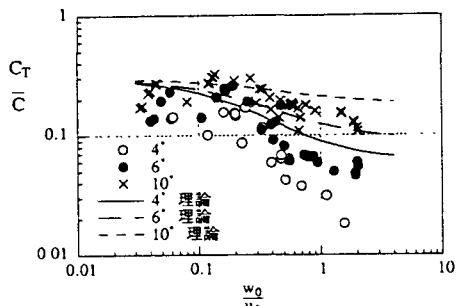


図-3

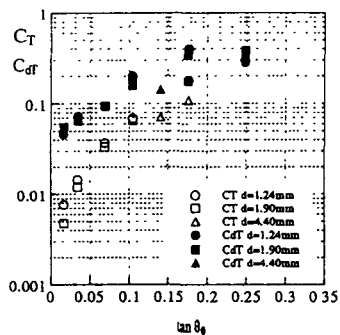


図-4

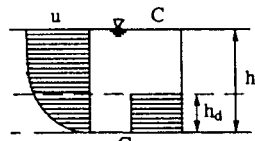


図-5

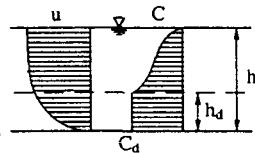


図-6