

建設省土木研究所 ○下東久巳

建設省土木研究所 水山高久

1. 緒言

活火山山麓の溪流や、崩壊・土石流の発生を伴う豪雨時の山地河川の溪流ではかなり高濃度の細粒土砂が流水に含まれることがあり、これが流砂量に影響を与えると考えられる。流砂量式では細粒土砂濃度の影響を水の密度(ρ)の変化のみで評価しているが、流れの抵抗にも影響を与えて、掃流砂と細粒土砂の相互作用により流砂量がさらに複雑に変化することが考えられる。そこで、水路勾配を $1/4$ から $1/50$ の範囲で変化させて、細粒土砂の流れの抵抗と流砂量に与える影響を調べた。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は幅 30cm 、長さ 15m の片面アクリルの木製水路である。本実験では細粒土砂として平均粒径 $6.9\mu\text{m}$ 、比重 2.71g/cm^3 のパールクレを用いた。電動のミキサーにより水とパールクレを所定の割合で混合して、平均粒径 1.7mm のほぼ様な砂を 5cm 厚さに敷いた水路の上流端より与えた。水路下流部で、側面より 35mm モータードライブにより撮影(毎秒4駒)を行い、水深・流速を計測し、水路下流端で水と土砂の混合物を採取して、水・パールクレ・砂のそれぞれの量を測定した。

3. 結果と考察

3.1 流れの抵抗

本実験で得られた流水抵抗の結果を図-1に示す。従来の研究結果と同様に、勾配が緩くなるほど流速係数が大きくなっている。データは2つのグループに分けられる。すなわち、 $1/7$ より勾配の急なグループと $1/20$ より勾配の緩いものであり、勾配 $1/10$ のデータはその中間にある。これは、それぞれ、土石流・掃流及び土砂流に対応している。また、微細土砂濃度の影響を見ると、各領域とも微細土砂濃度が高いほど、流速係数が小さくなる傾向が見られる。これは、流砂量式の中にあるように微細土砂濃度が高くなると、水の密度が増し、礫の水中比重が軽くなって、流砂量が多くなり、結果的に流水抵抗が増すと言う順序で説明されよう。図-1に、掃流砂の抵抗則¹⁾

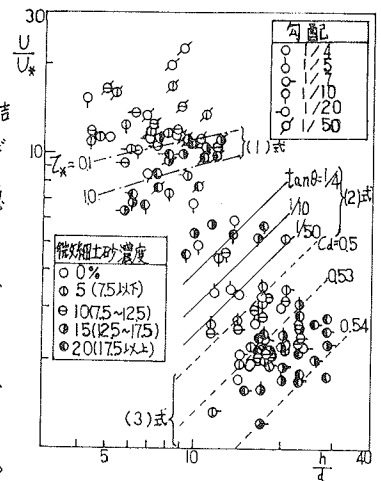


図-1 流れの抵抗

$U/U_* = 6.0 + 5.15 \log \{h / \{d(1 + 2\epsilon^*)\}\} \dots (1)$ 、掃流状集合流動(土砂流)の抵抗則²⁾ $U/U_* = (0.23 + 0.65 \tan \theta) h/d$ $\dots (2)$ 、土石流の抵抗則³⁾ $U/U_* = [0.4 \{C_*/C_d\}^{1/2} - 1] \{C_d + (1 - C_d) \rho^* \}^{1/2} h / (Q_i \sin \phi)^{1/2} \dots (3)$ を示す。ここに、 U : 平均流速、 U_* : 摩擦速度、 h : 水深、 d : 砂礫径、 ϵ^* : 無次元掃流力、 $\tan \theta$: 勾配、 C_* : 堆積層の砂礫の容積濃度、 C_d : 流体中の砂礫の容積濃度、 ρ : 水の密度、 ρ^* : 砂礫の密度、 Q_i : 係数、 $\sin \phi$: 砂礫の安息角、である。それぞれの領域における本実験の結果は、上述の抵抗則によりほぼ説明されているといえる。

3.2 流砂量

流砂量の計測は、通水直後とその後の等流部について行った。水路内の砂にはあらかじめ十分散水を行い各ケース間の誤差を少なくするよう努めたが、先頭部のデータにはバラツキが大きいので流砂量の検討は等流部のデータについて行った。流量に対して流砂量をプロットすると、勾配毎にほぼ比例関係にある。また、勾配毎に微細土砂濃度をパラメータとして整理すると、濃度が高いほど流砂量は多くなる傾向がみられた。無次元掃流砂量(q_{s*})を無次元掃流力(τ_*)に対して示すと図-2のようになる。図には、緩勾配の流砂量式 $^{(4)}$ $q_{s*} = 12\tau_* \{1 - 0.85(\tau_{*c}/\tau_*)\} \{1 - 0.92(\tau_{*c}/\tau_*)^{1/2}\} \dots (4)$ 、急勾配の流砂量式 $^{(5)}$ $q_{s*} = \{ (12 - 24\sqrt{\tan\theta}) / \cos\theta \} \tau_*^{(1-\sqrt{\tan\theta})} \{1 - \alpha(\tau_{*c}/\tau_*)\} \{1 - \alpha(\tau_{*c}/\tau_*)^{1/2}\} \dots (5)$ 、土砂流の流砂量式 $^{(2)}$ $q_{s*} = 3/3 \{4.2 - 0.75 C_d\} / \{ \cos^2\theta (\tan\phi - \tan\theta) \} \tau_*^2 (1 - \tau_{*c}/\tau_*)^2 \dots (6)$ を示した。ここで、 τ_{*c} : 無次元限界掃流力(0.05)、 α : 係数、 $\tan\phi$: 砂礫の内部摩擦角(0.8)、である。掃流力の小さい(勾配の小さい)範囲については、従来の結果と比較して過大なように思われる。そこで、無次元掃流力に対して土砂濃度を示すと図-3のようになり、微細土砂濃度の大小に拘らず1つの線上に集まる結果となった。実験式としてこれを表わすと、

$$C_d = 0.22 \tau_* \dots (7)$$

となる。実際の場合では、勾配が与えられて、ある流量の時にどのくらいの流砂量があるかを求めることが多い。そこで、土砂濃度を河床勾配に対して整理すると図-4のようになり、微細土砂濃度が増えると土砂濃度も増す傾向となっている。著者の1入が清水について提案した実験式 $^{(5)}$ より大きいが、変化傾向に一致している。勾配/10より急な部分について、微細土砂濃度を $(\rho_p - 1)$ の形で導入して、 $C_d = C_1 \{ \tan\theta / (\rho_p - 1) \}^2 \dots (8)$ 、で係数 C_1 を評価すると、清水で20、微細土砂濃度が含まれると25程度として実験値を説明することができた。

参考文献

- 1) 芦田 道上 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究 土木学会論文報告集 206号 1972
- 2) 高橋 土石流の停止・堆積機構に関する研究(3) 京大防災研年報 25号B-2 1982
- 3) 高橋 土石流の発生と流動に関する研究 京大防災研年報 20号B-2 1977
- 4) 芦田・高橋・水山 山地河川の掃流砂量に関する研究 新砂防 107号 1978
- 5) 水山 土石流から掃流に変化する勾配での流砂量 新砂防 116号 1980

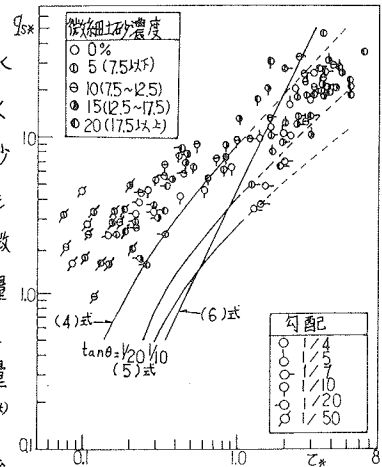


図-2 流砂量

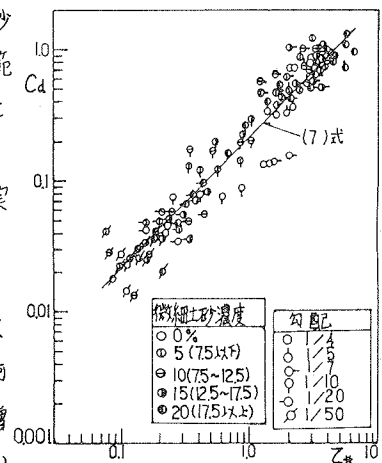


図-3 砂礫濃度

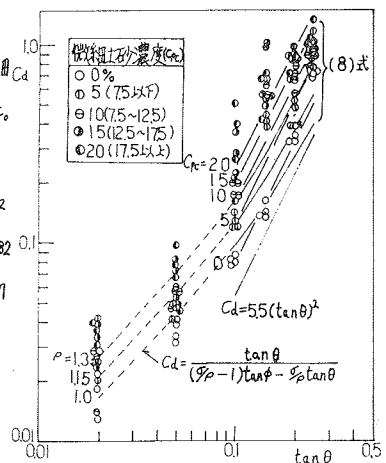


図-4 砂礫濃度