

京都大学工学部 正 員 中川 博次
 京都大学大学院 シビリケ・マハヌ

京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 京都大学大学院 学生員○奥田 晃久

1. 研究目的 河川に運ばれる土砂の量は上流山間部における土砂生産能力に支配されるから、砂斜面から河川への土砂供給量を評価することは砂防、河道計画に特に重要である。そこで土砂流出に影響する要素として、降雨強度、及び斜面角度を取り上げ、模擬降雨装置を製作しそれを用いて実験を行うことにより最下端での土砂ハイドログラフを推定する。

2. 実験装置について 図-1に示すような実験装置を用いて実験を行った。1つの箱には水滴の落下する2mmの穴が40mm間隔で180あけられている。メッシュ径1.5mmの金網を挿入することにより雨を均一に降らせ、かつ水圧のため早くなった雨滴速度を減速出来るようにした。

3. 実験結果 図-2に無次元土砂流出量 $q_b (= q_b / \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3} \sigma/\rho$: 砂粒の比重, g : 重力加速度, d : 砂粒径)と降雨強度 r の関係を示す。今回の実験結果とともに, Holy¹⁾, 芦田ら²⁾の実験結果も併示する。本実験は、斜面角度 θ が 1° , 5° , 降雨強度が70, 255,

390(mm/hr)で行った。Holyの実験は斜面角度が約 24° で降雨強度は2~10(mm/hr)で、芦田らのそれは斜面角度 12.5° , 9° で、降雨強度は80(mm/hr)前後である。図-2より土砂量は降雨強度のみでその量を推定することが困難であることがわかる。表面流による輸送強度として無次元

stream power $q_b I$ を定義する。た

だし $q_b = q / \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}$, $I = i_b / (\sigma/\rho-1)$, q : 単位幅流量, i_b : 斜面勾配である。図-3に q_b と $q_b I$ との関係を示した。図中の実線は, $q_b = 5(q_b I)^{5/3}$ を示している。傾き5/3は河川流砂の場合の値に一致するものの、実験定数5の値は、河川流砂の値0.117より1オーダー大きく、また移動限界に相当する項はかなり小さいことがわかる。実験値の観察に基づく移動開始した砂粒子のstep lengthは、通常の開水路実験での値とはほぼ同程度であり、したがって雨滴による衝撃が砂粒子の斜面からの離脱を促進しているものと考えられる。以上 q と i_b を用いたマクロ的な流砂量の適用性の考察を行ったが、斜面上の粒子移動の種々の現象を説明するためにはよりミクロな評価法が必要となる。そこで従来の実験値に河川での流砂量式を適用してみる。岩垣³⁾は砂斜面における移動のうち表面流(薄層流)のみによる流

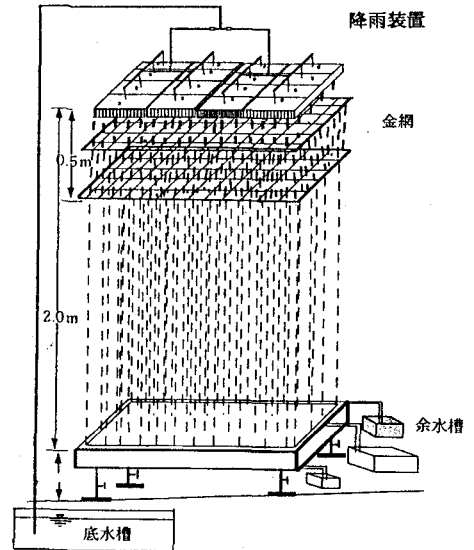


図-1 実験装置

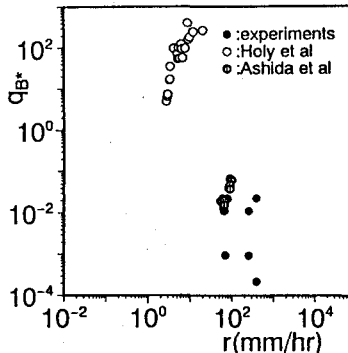


図-2 降雨強度と流砂量

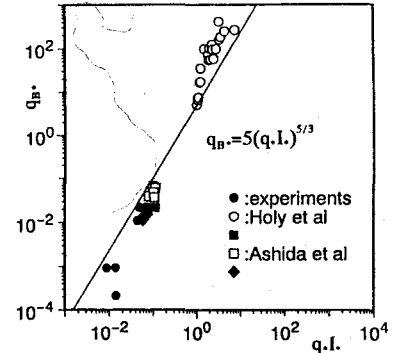


図-3 $q_b I$ と流砂量の関係

出土砂量に関する実験を行っている。図-4はいわゆるSwiss公式³⁾の限界掃流力の項に転動離脱形式(式(1))を仮定して勾配補正した限界掃流力を用いた平衡流砂量と岩垣の実験値を比較したものである一方、図-5は雨滴衝撃による効果を含んだ実験結果であり、両図から表面流のみによる土砂輸送は、河川流砂の知見が適用できることがわかる。すなわち、降雨による土砂移動機構としては、雨滴衝撃によるpick-upと、表面流によるpick-upと輸送といった2つのサブシステムを明確にすべきことが再確認された。いわゆる平衡流砂量公式の適用に当たっては、流れの強度を表す無次元掃流力 $\tau_* = u_*^2 / \{(\sigma/\rho - 1)gd\}$ 、 u_* ：摩擦速度の推定が重要である。

$$\frac{\tau_{*c\theta}}{\tau_{*c0}} = \frac{\sigma/\rho \cdot \sin(\theta_s - \theta) - \cos\theta \sin\theta_s}{(\sigma/\rho - 1)\sin\theta_s} \quad (\text{転動離脱}) \quad (1)$$

ここで u_* を評価するのに必要な抵抗則は、辻本⁵⁾による急勾配水路での f の実験式(式(2))を形式的に適用した。

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{1.22h}{d} + 5.5 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{4.34} \frac{h}{d}\right) \right\} - \frac{q_{\max}}{\sqrt{gd^3 i_b}} \cdot \frac{1}{\sqrt{h/d}} \quad (2)$$

ここで κ ：カルマン定数、 $q_{\max}$ ：斜面下流端での流量、 h ：水深である。図-6に示す芦田らの実験値との比較から、用いた抵抗則がほぼ妥当であることがわかった。さらに u_* の評価が出来れば上式でほぼ流砂量の推定が可能であることがわかった。

4 結論 斜面からの土砂流出は、表面流による浸食がより支配的で、雨滴は主に砂粒子の離脱に影響を与えることがわかった。抵抗則に辻本らによって研究された急勾配水路における実験式を用いることが妥当であることがわかった。

参考文献

- 1) Holy, M., and Vaska, J., "Relation Between Surface Runoff and Soil Loss Caused by Water Erosion," *Proceedings, International Water Erosion Symposium, Praha, Czechoslovakia, Vol. I, June, 1970, pp.437-446*
- 2) 芦田・奥村・田中：斜面侵食に関する実験的研究,
- 3) Meyer-Peter, E. and R. Muller : Formation for bed-load transport, *Proc. 2nd IAHR Congr., Stockholm, pp.39-64, 1948.*
- 4) 岩垣：雨水流による地面侵食に関する研究, 京都大学学位論文, 1955.
- 5) 辻本・細川：急勾配水路における礫の限界掃流力, 土木学会論文集, 第411号, II-12, pp.127-134, 1989.

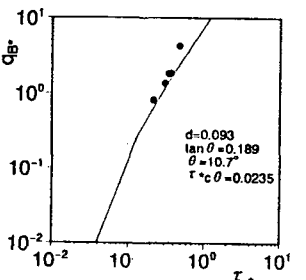
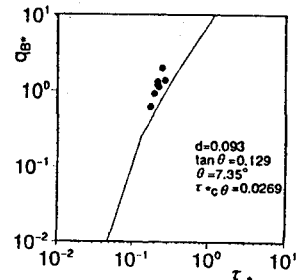
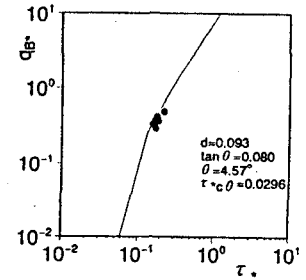


図-4 Swiss公式と岩垣の実験値の比較

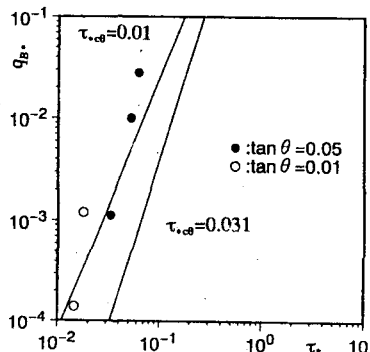


図-5 Swiss公式と本実験結果との比較

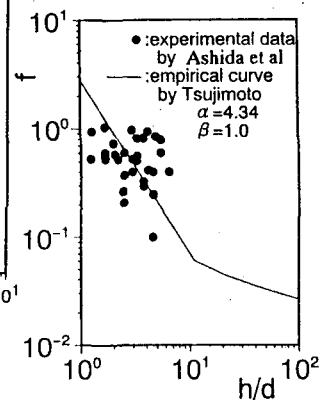


図-6 摩擦損失係数とh/dの関係