

山地河川における土砂流出特性のエネルギー的考察

岐阜大学工学部社会基盤工学科 非会員 ○伊原一樹, 正会員 大橋慶介, 非会員 安田真悟

1. 背景と目的

従来の研究で山地河川の降水の位置エネルギーと土砂流出量が $Q_s/P \propto P^{-0.8}$ の関係であることが明らかになっている¹⁾。そこで、本研究では、芦田・道上の平衡流砂量式と Bagnold の stream power を用いた流砂量式によって、降水の位置エネルギーが土砂流出に消費される効率 e_b を求めることを目的とする。

2. 研究方法

研究対象は図-1 に示す揖斐川流域とその砂防堰堤とし、流出解析によって得る流量を基に芦田らの平衡流砂量式を用いて土砂流出量 q_B を推定する。その後、芦田らの平衡流砂量式と Bagnold の流砂量式を等置し、各砂防堰堤集水域の e_b を求める。

1) 流出解析

Canadian Hydraulics Center の流出解析ソフト Ensim Hydrologic の THE HBV-EC MODEL¹⁾ を使って流量を得る。このときの雨量は図-1 の赤線で示すテーセン分割されたそれぞれの領域に 4ヶ所のアメダス観測地点の時間雨量を与えた。図-2 は時間雨量データが存在する 1980年1月から国土交通省越美山系砂防事務所が調査を行った 2003年12月までの雨水流出量の頻度分布である。

2) 流砂量計算

流出解析で得た流量を基に、芦田らの平衡流砂量式を用いて土砂流出量を推定する。

$$\frac{q_{Bi}}{\sqrt{sgd_i^3}} = p_i 17 \tau_{*i}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}} \right) \quad (1)$$

ここで、 d_i は粒径、 q_{Bi} は粒径別単位幅掃流砂量、 s は砂の水中比重、 g は重力加速度、 p_i は粒径 d_i の粒子が河床に存在する割合、 τ_{*i} は粒径別無次元掃流力、 τ_{*i} は粒径別無次元有効掃流力、 τ_{*ci} は粒径別無次元限界掃流力である。 d_i, p_i は砂防堰堤の堆砂域での現地調査の値を用いた。図-3 は計算に用いた各砂防堰堤の粒度分布である。計算に必要な河床断面形状、元河床勾配、堰堤高は既存資料から得た。河床断面形状の読み取りの例を図-4 に示す。計算期間

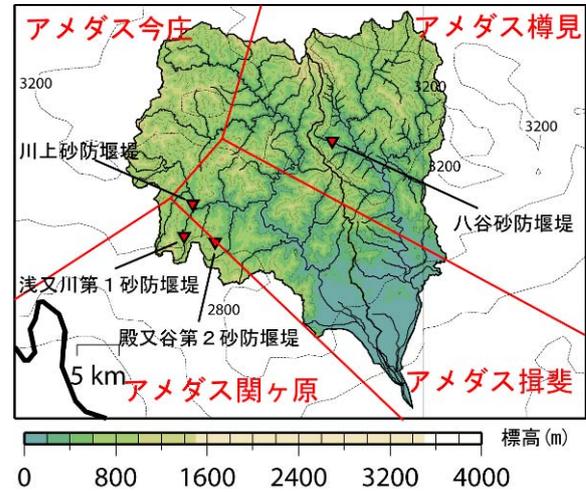


図-1 揖斐川流域概要と対象の砂防堰堤位置および流出計算での気候エリア

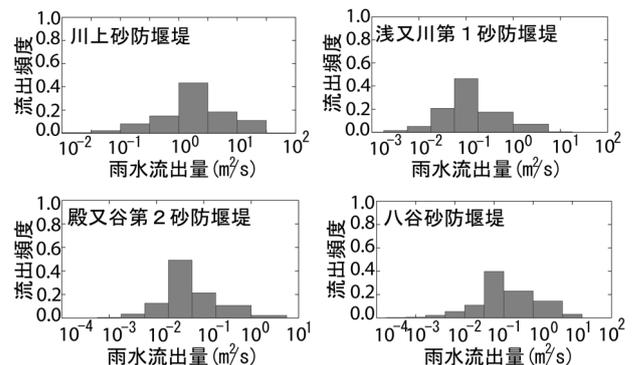


図-2 各砂防ダムにおける雨水流出量の頻度

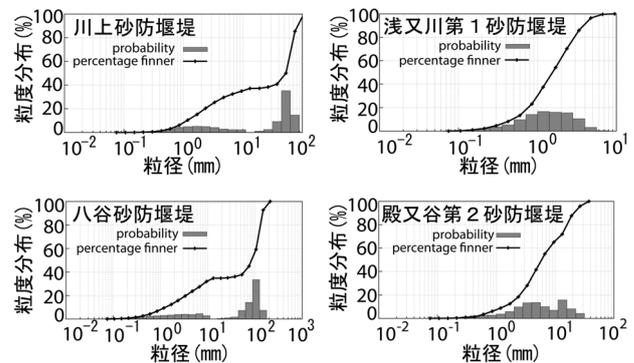


図-3 各砂防ダムの粒度分布

は堰堤完成年から調査日までとし、アメダスの時間雨量データがない 1980 年以前のは 1980 年のデータを繰り返し与えて計算した。さらに、土砂堆積に伴う流路幅の増加、河床勾配の緩和を組み込んだ

計算方法とした。

3) エネルギー的考察

Bagnold の stream power による流砂量式

$$q_B = \frac{1}{(\sigma - \rho)g} \frac{e_b}{\mu_R} \tau_0 U \quad (2)$$

と式(1)を用いて未知量 e_b を求める。ここで q_B は単位幅掃流砂量, μ_R は摩擦係数, σ は土砂の密度, ρ

は水の密度, $\tau_0 U$ は土砂流出により流水が損失するエネルギー(stream power), e_b は stream power のうち土砂の移動に利用されるエネルギーの効率であり, さらに stream power は次式で与えられる。

$$\tau_0 U = \rho g q I \quad (3)$$

ここで, q は単位幅流量, I は河床勾配である。以上の結果を用いて, 式(1), (2)の q_B を等置し, e_b を求めた。

3. 結果と考察

式(1)で推定した土砂流出量, 累積土砂流出量を図-5に示す。推定堆砂量は既存資料の計画貯砂量と堆砂状況から推定したものである。流路幅の増加, 河床勾配の緩和を考慮した計算により, 堆砂に伴い同じ流量でも土砂流出量が少なくなるのがわかる。土砂流出量と推定堆砂量に大きく差があるが, 流砂量計算に用いた流出解析で与えたパラメータが対象の流域または各砂防堰堤集水域と異なっていた, 粒度分布が堆砂後の測定のため初期状態のものと異なっていた, また, 粒度分布の測定した場所は代表性がなかったなどの原因が考えられる。また, 流砂量式の適用範囲を超えた土石流によるものとも考えられる。

図-6 は e_b と無次元 stream power³⁾ $q^* I_*$ の関係図である。ここで, $q^* = q \sqrt{\sigma/\rho - 1}$, $q_* = q / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$, $I_* = I(\sigma/\rho - 1)$ である。ここでも堆砂が進行すると e_b を大きくするためには堆砂初期段階と比べてより大きな stream power が必要となるのがわかる。

4. まとめ

土砂流出量の推定に課題があるが, 各砂防堰堤集水域ごとの e_b を求めた。今後, より精度よく土砂流出量の推定をするために流出解析, 粒度分布の改善が課題となる。また土石流計算との比較も必要となる。

参考文献

- 1) 大橋慶介・都築恭子・藤田裕一郎：山地河川における土砂流出ポテンシャルパワーを用いた流出土砂量予測, 河川技術論文集, 第15巻, 2009.
- 2) G. Lindstrom, B. Johansson, M. Persson, M. Gardelin, S. Bergstrom : Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model, Journal of Hydrology, No201, pp. 272-288, 1997.
- 3) 中川博次・辻本哲郎：新体系土木工学移動床流れの水利, 技報堂出版, 23巻, p. 174, 1986.

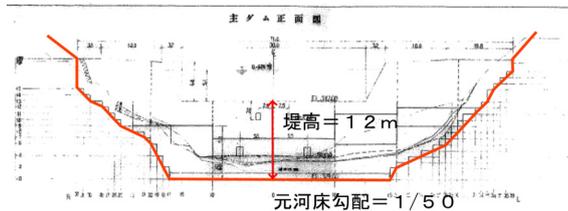


図-4 資料から読み取った河床断面形状の一例

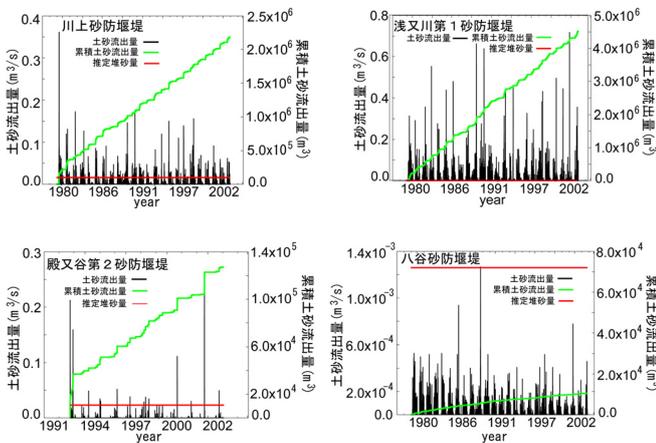


図-5 計算による土砂流出量・累積土砂流出量と資料から推定した堆砂量

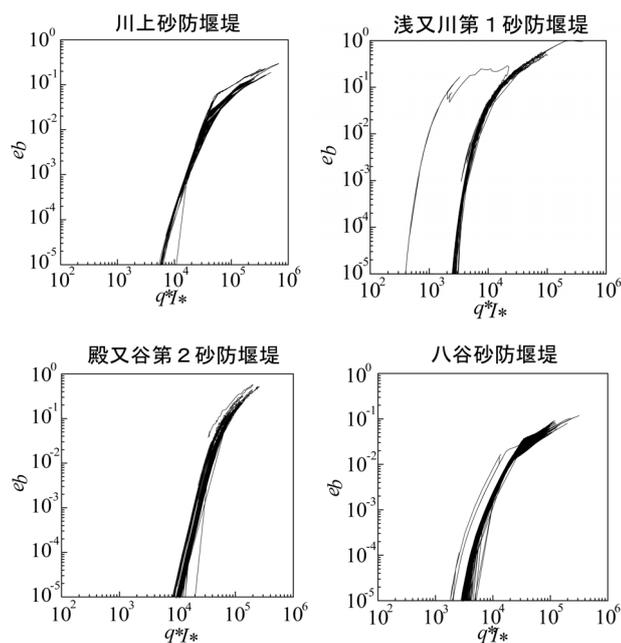


図-6 各砂防堰堤の e_b と $q^* I_*$ の関係