

(財)砂防・地すべり技術センター ○ 松木 敬*
 立命館大学理工学部 江頭進治**
 立命館大学大学院 上妻由拓**

はじめに 河床変動はそれより上流域(山地部)からの土砂流出によって支配されており, その予測は河川・砂防工学上極めて重要である. 著者らは単位河道において一次元の流水・流砂モデルを積分することにより, 現象の時空間スケールの巨視化を図り, これと kinematic wave 法による降雨流出モデルを組み合わせた土砂流出予測法¹⁾を提案している. 本研究においては著者らのモデルについて感度分析を行い, 流域貯留土砂の伝播過程について検討した.

2. モデルの概要 一次元の流れの連続式, 運動方程式, 貯留土砂の連続式, 流砂量式, 河床材料の粒度分布式を合流点に着目した単位河道について積分すると次のようになる.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{BL} \{Q(x_i) + Q(y_i) - Q(x_{i+1})\} + \frac{1}{B} q \quad (1)$$

$$Q(x_{i+1}) = \frac{1}{n} BI^{1/2} h^{5/3} \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)BL} \{Q_s(x_i) + Q_s(y_i) - Q_s(x_{i+1}) - q_w\} \quad (3)$$

$$Q_s(x_{i+1}) = \sum Q_{sj}(Q, I, d_j, p_j) \quad (4)$$

$$q_w = \frac{\partial z}{\partial t} (1-\lambda)BLp_w, \left(\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0\right); q_w = 0, \left(\frac{\partial z}{\partial t} \geq 0\right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial p_j}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{Q_{sj}(x_i) + Q_{sj}(y_i) - Q_{sj}(x_{i+1})\} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_j}{\Delta}, \quad (6)$$

$$f_j = p_{j0} (\partial z / \partial t \leq 0), f_j = p_j (\partial z / \partial t \geq 0)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{BLh} \left\{ q_w + c(x_i)Q(x_i) + c(y_i)Q(y_i) - c(x_{i+1})Q(x_{i+1}) \right\} \quad (7)$$

ここに, h : 単位河道における平均水深, B : 河道幅, L : 河道長, Q : 流量, q : 斜面からの横流入量, n : マニングの粗度係数, I : 河道勾配, z : 河床高, λ : 堆積土砂の間隙率, Q_s : ウォッシュロードをのぞく流砂量, d_j : 粒径, p_j : 粒径 d_j の含有率, Δ : 交換層厚, q_w : 単位河道における単位時間あたりのウォッシュロード生産量, p_w : ウォッシュロード含有率(ウォッシュロードの生産域以外では $p_w=0$ とする.), c : ウォッシュロード濃度である. これらは, 単位河道についての諸量である. 式(1)の横流入量 q は kinematic wave 法による降雨流出解析によって求められる. なお, 以下の解析においては掃流砂, ウォッシュロードを対象にする. 最上流端の単位河道は土石流堆積領域の上限付近に位置するものとし, 河床勾配を 10° のところとする. また, ウォッシュロード生産源域は土石流堆積区間に一致させ, 河道勾配 $4^\circ \sim 10^\circ$ の範囲にある単位河道とし, その生産は式(5)のように河床侵食によるものとする. 式(4)の流砂量式には芦田・道上式を用いる.

3. 実流域への適用 熊野川右支川十津川上流の風屋ダム流域を対象とする. 流域面積は約 450km^2 である. 図-1は流域の概要である. 図中の番号は単位河道であって, 当該流域の河道は, 前述の方法に従うと, 44本の単位河道に分割される. 各単位河道に連なる両側斜面については平行四辺形で近似し, 斜面長, 斜面勾配, 傾斜角, 流入角については $1/25000$ の地形図を用いて設定した. 斜面の等価粗度は最上流の単位河道に連なる斜面において $0.7[\text{m-s}]$ とし, それ以外の斜面では 0.4 とした. 斜面表土層の厚さ D は 40cm , 透水係数 0.05m/s , 浸透能は Horton の式において, 初期値 16mm/hr , 最終値 10mm/hr としている. 下層の浸透能は 0.16mm/hr とした. なお, これらの値は, 金屋敷らの研究²⁾を参考にして決定されている. 各単位河道については長さ, 勾配を $1/25000$ の地形図より決定し, 土砂の浸食・堆積に伴う河床勾配の変化は考慮していない. マニングの粗度係数は最上流の単位河道において $0.07[\text{m-s}]$, それ以外で $0.035[\text{m-s}]$ とした. 各単位河道の河幅 B は次のように設定した. 対象流域最下流端の流量を Q , 流域面積を A とし, 各単位河道の上流端の二つの流入点における流域面積を A' として, $B=5(QA'/A)^{0.5}$ により算定した. ただし, 河幅が流量によって変化すると, それに伴う流出土砂量の変動があり, 各地点における流出土砂量はこれらが複合した結果として現われる. そのため計算結果の解釈が難しくなるので, ここでは, $Q=200\text{m}^3/\text{s}$ を与えて算定された河幅を採用している. 流砂の交換層厚は 40cm , 初期河床材料の粒度分布には若干の現地調査を行い, それ

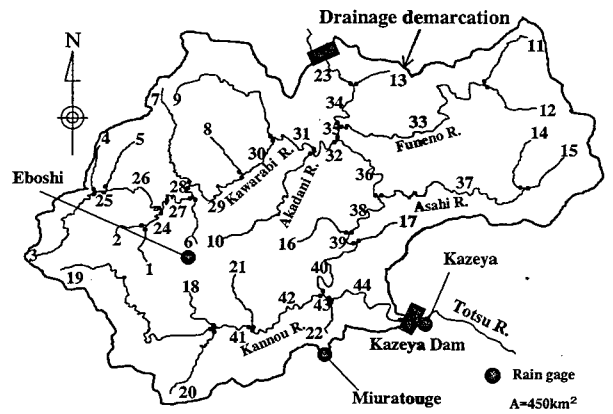


図-1 風屋ダム上流域図

Key words: 降雨流出, 土砂流出, 掃流砂, ウォッシュロード

* 〒102-0074 東京都千代田区九段南 4-8-21 TEL. 03-5276-3274 FAX 03-5276-3394
 ** 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL. 0775-61-2732 FAX 0775-61-2667

を参考にして図-2のようなものを与え粒径階として14分割した。4°以上の単位河道においては分布形Iを与え、それより緩い勾配の単位河道には分布形IIを用いた。また、各々の単位河道における貯留土砂は、このような分布形を持つ材料が無限の深さ存在しているものとしている。

降雨は全流域に対して1974年7月の降雨を0.7倍した降雨を用いて、これを繰り返し8回与えて、風屋地点および最上流の単位河道における流出土砂量の変化をみる。降雨を0.7倍にしたのは、元の降雨条件を用いると、出水ピーク時に最上流の単位河道において河床材料全体が移動する条件になり、予測法の特徴が見えにくいからである。図-3は、計算に用いた降雨である。

図-4, 5は、それぞれ最上流の単位河道 (No.1) および風屋地点 (No.44) において、1回目から8回目の降雨に対する流出土砂量を掃流砂とウオッシュロードを分けて示したもので、図-6, 7は、それぞれ二つの地点におけるピーク流量時の河床表層の粒度分布である。図-4, 5の横軸は与えたモデル降雨の回数で、図-6, 7の中の数字は、モデル降雨の回数に対応している。

最上流の単位河道のものについてみると、流出土砂は急激に減少し、4回目の降雨以後においては有意な流出土砂はみられない。これは、図-6の粒度分布の結果にもみられるように、河床表面にアーモークコートが発達し、砂礫の移動が停止する条件になっているからである。

次に、最下流端の風屋地点における流出土砂量についてみると、出水回数とともに、ウオッシュロードの流出が減少すること、および図-7にみられるように、掃流砂量は、中央粒径近傍の材料が粗粒化することの影響を受けて、3回目の降雨までは比較的顕著に減少する。それ以後、全流出土砂量における顕著な変化はみられない。これは、河床材料の粒度分布変化にみられるように、一旦粗粒化した河床表面が、上流側からの影響によって細粒化するような現象が起こるからである。

この予測法は、一般に認知されている比流出土砂量と流域面積との関係や、流域が荒廃して流出土砂が増加した後、比較的早い段階に減少するなどの特性を評価できる。しかし、本手法においては、河道貯留土砂の増減にかかわらず、河床勾配を一定として扱うとともに、河床材料の粒度分布の変化は交換層だけを対象にしているなど、これらが結果に対してどのような影響を与えるか検討する必要がある。

4.おわりに 著者らが提案している土砂流出予測法について流域貯留土砂の伝播過程を調べた。流域貯留土砂の形成の問題など今後検討すべき課題は残されているものの、本予測法は、比流出土砂量や荒廃流域からの土砂流出が経年的に減少することなど、従来から認知されている現象を評価できることなどが示された。なお、現地データの収集にあたり、建設省近畿地方建設局および電源開発株式会社の諸氏に御協力いただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献 1)松木・江頭・上妻:土砂流出予測法に関する研究,平成11年度砂防学会研究発表会概要集,pp.64-65.
2)金屋敷・芦田・江頭:山地流域における濁度物質の生産流出モデルに関する研究,第24回水理講演会論文集pp.143-149,1980.

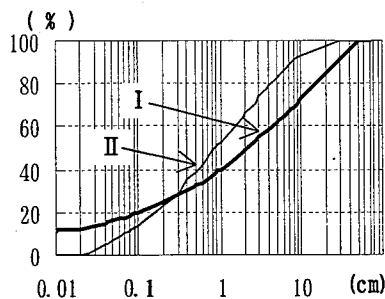


図-2 初期河床材料

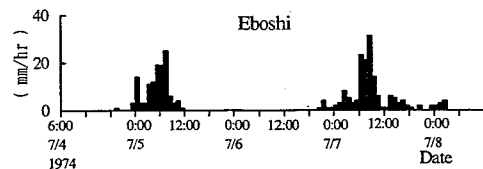


図-3 モデル降雨

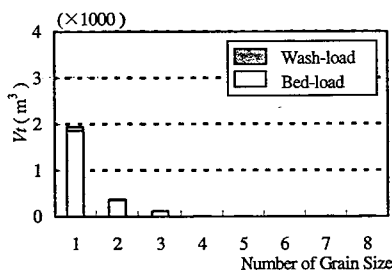


図-4 降雨回数による流出土砂量の変化(最上流の単位河道)

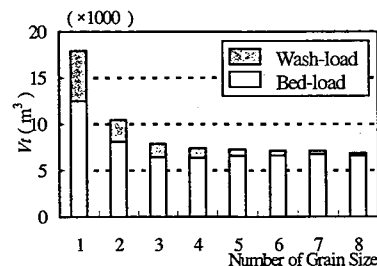


図-5 降雨回数による流出土砂量の変化(風屋地点の単位河道)

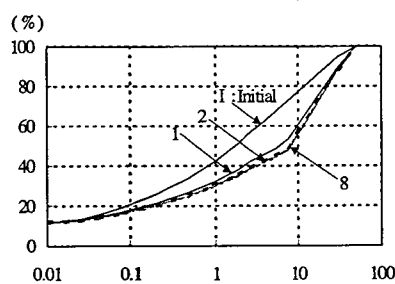


図-6 降雨回数による粒度分布の変化(最上流の単位河道)

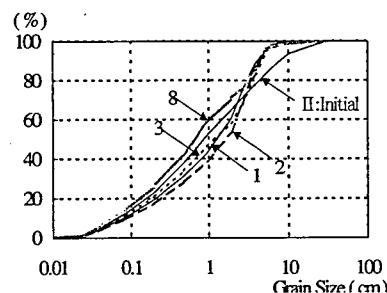


図-7 降雨回数による粒度分布の変化(風屋地点の単位河道)