

74 雲仙水無川における小規模土石流による流出流量の評価について

九州大学大学院工学研究院 ○朴 崎 嶸
 九州大学大学院工学研究院 橋本 晴行
 九州大学大学院工学府 荒渡 光貴
 八千代エンジニアリング(株) 山崎 一彦

1. はじめに

山地流域においては強い降雨時には上流で土石流や土砂流などが発生し、著しい河道変動が生じていることが多く、このような場合の流出解析には流水と流砂を連立方程式の同時解として求める解析が必要となる。山地河道には土石流、掃流状集合流動、高濃度浮流砂流など様々な流砂形態が現れるが、著者らは急勾配の山地河道に現れる流砂形態について統合的な理論展開を行い^{1), 2)}、それらの流砂量や抵抗則の評価式を開発してきた。本研究は、それらの成果を雲仙水無川において1992年6月7日発生の小規模土石流に適用し、雨水流モデルを用いた土砂と水の流出量の評価について考察を行ったものである。

2. 土砂流出量の評価

雨水流モデルはKinematic Wave法とも呼ばれ、モデル流域を斜面部と河道部とに分け(図-1)、斜面部では斜面長 L_s 、勾配 θ_s の様な矩形斜面として取り扱い、雨水の流出計算を行う。河道部では斜面からの側方流入 q_{in} を伴う場合の1次元河床変動計算を行う。降雨としてはあまり強くない雨を対象にしているため、斜面から河道への土砂流入は考えないことにする。基礎式は以下のとおりである。

2.1 斜面部

連続式は、水深を h 、流量を q 、雨量強度を r として

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} \cos \theta_s = r \cos \theta_s \quad (1)$$

となる。ここに、 x 軸は上流端から水平に測った距離である。運動方程式は擬等流として取り扱い

$$q = \frac{1}{n_s} \sqrt{\sin \theta_s} h^{5/3} \quad (2)$$

となる。ここにマンニングの粗度係数は $n_s = 0.6$ (m-sec単位)とした。

2.2 河道部

運動方程式、全相連続式、固相連続式はそれぞれ以下の通りである。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} \cos \theta = gBh \cos \theta \left[-\frac{\partial(h \cos \theta + z)}{\partial x} \right] - (B + 2h) \frac{v^2}{\phi^2} \quad (3)$$

$$B \frac{\partial(h + z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \cos \theta = q_n \quad (4)$$

$$B \frac{\partial(C + z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial(Bq)}{\partial x} \cos \theta = 0 \quad (5)$$

ここに x 軸は上流端から水平に取った距離、 z は基準水平面から垂直上向きに測った河床高さである。また流速係数は $\phi = 7$ 、最密充填濃度 $C^* = 0.7$ とした。流砂量式としては急勾配で、広範囲の勾配の河道に適用が可能な流砂量式^{1), 2)}

$$\frac{q_{cs}}{\sqrt{sgd^3}} \doteq \frac{\bar{u}_s}{u^*} \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \frac{1}{(\alpha - I_f) \cos \theta_0} G \left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u^*} \right) \quad (6)$$

を用いた。ここに、 $\alpha = 0.875$ 、 $\tau_{*c} = 0.05$ 、 $I_f = u^2/gh$ 、 $\bar{u}_s/u^* = 4.7$ 、 $u^* = v/\phi$ 、 $\tau_* = u^2/(s \cdot d \cdot g)$ である。また、

$$G \left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u^*} \right) = 1 + 0.1 (\ln(h/d))^2 (I_f)^{0.8} \exp \left\{ -2.5 \left(\frac{w_0}{u^*} \right)^{0.5} \right\} \quad (7)$$

河床材料は均一と仮定し、流砂形態として掃流砂のみを考慮する場合は粒径 $d = 0.05m$ 、掃流砂に浮流砂を考慮する場合は粒径 $d = 0.005m$ とおいた。また、掃流砂のみを考慮した場合は流砂量式中の $G(I_f, h/d, w_0/u^*) = 1$ とし、掃流砂に浮流砂を考慮する場合は、式(7)により

$G(I_f, h/d, w_0/u^*)$ を計算する。

3. 水無川流域への適用

3.1 計算区間

本計算の対象区間は水無川流域全体である。図-2に示すよ

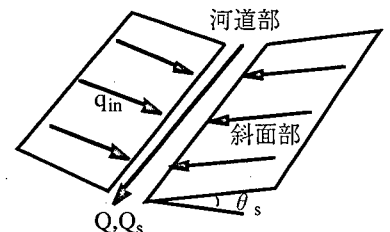


図-1 斜面部と河道部から構成されるモデル流域

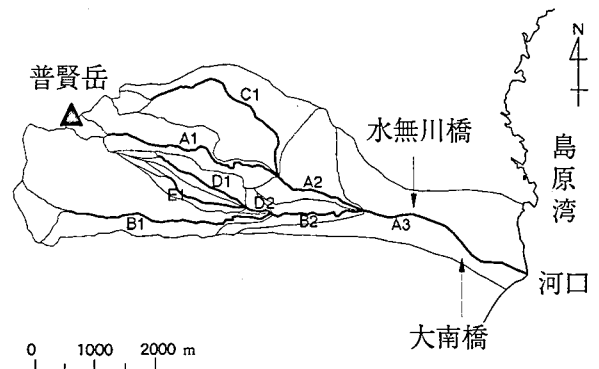


図-2 水無川流域

うに河道部を8つに分け、上流側から1本ずつ計算した。計算では上流側からの流出流量を下流側河道の境界条件として与えた。ここで、下流側のA3区間の河床勾配 θ は $1.4^\circ \sim 3.1^\circ$ であり、A2とB2区間は $2.8^\circ \sim 5.0^\circ$ である。上流部の河道は $6.1^\circ \sim 26.8^\circ$ の急勾配である。

3.2 河道幅と流域面積との関係

計算で必要となる流水幅については、流量 Q との関係を示したレジーム則や、流域面積との関係を表わした笠井³⁾の式がある。ここでは後者の式を用いることにする。

$$B = 5.36 \times A^{0.37} \quad (8)$$

ここに、 B は流水幅 (m)、 A は流域面積 (km^2) である。

図-3は、笠井が行った調査以外に筆者らの現地調査結果を合わせて示したものである。

3.3 計算条件

用いた降雨データは、1992年6月7日2時から17時間の降雨記録である(図-4)。差分化はマコーマック法を用い、計算格子間隔として、斜面部の空間刻み幅は $\Delta x = 10\text{m}$ 、河道部では $\Delta x = 20\text{m}$ 、時間刻み幅 $\Delta t = 0.05\text{秒} \sim 0.5\text{秒}$ とした。河道幅 B は、A3河道については実測値を用い、その他の河道では式(8)を用いた。

計算は、まず図-4の降雨データを式(1)、(2)に代入し、各斜面からの流出量を計算する。次に、河道について、式(3)、(4)、(5)、(6)を用いて河床変動計算を行い、流量、流砂量などを求める。

3.4 計算結果

河口から1080m上流にある大南橋での流量 Q の実測値を図-5に、計算値を図-6に示す。

図-6は、河床変動を考慮せずに計算を行った清水流の場合の計算結果、流砂形態として掃流砂のみを考慮した計算結果、掃流砂に浮流砂を考慮した計算結果の3ケースを示している。流砂を考慮した計算では、流砂を考慮しない場合よりピーク値が小さくなった。また、掃流砂のみの計算値より掃流砂に浮流砂を考慮した場合ピーク値が小さくなった。これは、流砂量が多くなるので河床変動の効果によりピーク値が減少したと考えられる。流れのピークの大南橋での到達時間は実測では7時5分であり、計算では全ケース共に7時であった。

表-1は水無川橋から河口までの区間の堆砂量に対して計算結果と実測値を示す。

流砂量については、流砂形態として掃流砂に浮流砂を考慮した場合の結果が掃流砂のみの計算結果より実測値に近い値となった。

4. おわりに

さらに詳細な流出解析を行うためには斜面における地下水の問題や、斜面からの土砂の供給を考慮することも必要である。また、河道部では、堆積層厚の問題や砂レキの粒度分布についても考慮しなければならない。

参考文献

- 1) 橋本・平野：掃流状集合流動の抵抗則と流砂量，土木学会論文集No.545/II-36，1996。
- 2) 平野・橋本・多川：急勾配水路における浮流砂を伴う流砂量，水工学論文集，第42巻，1998。
- 3) 笠井：嘉瀬川ダムに流入する河川およびダムへの流入土砂について，平成9～11年度建設省・土木学会共同研究報告書（代表 九大 橋本晴行），2000。

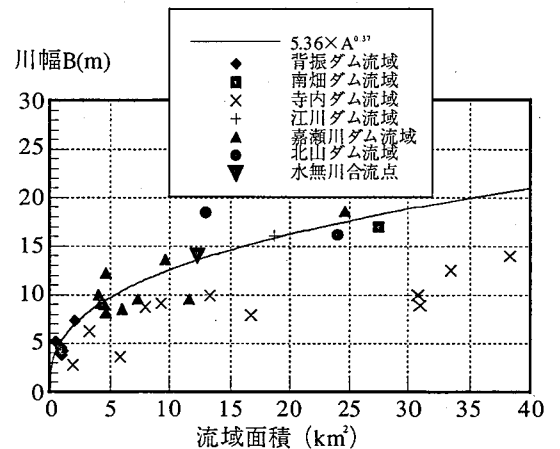


図-3 流域面積と川幅の関係

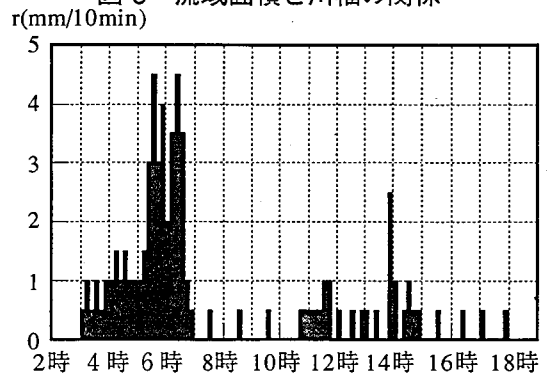


図-4 92年6月7日から17時間の雨量データ

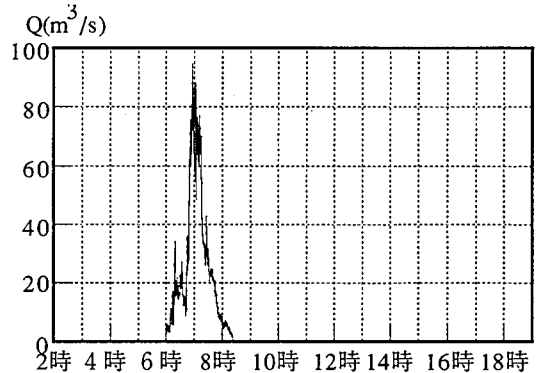


図-5 大南橋での実測ハイドログラフ

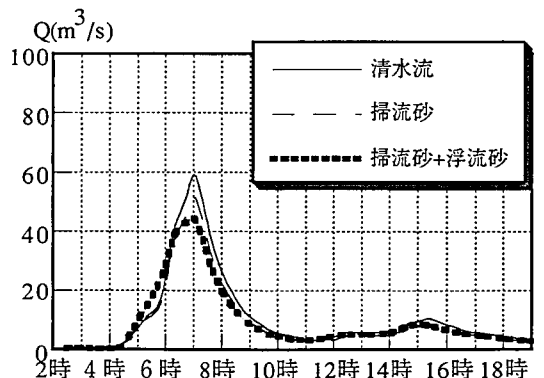


図-6 大南橋での計算ハイドログラフ

表-1 水無川橋から河口までの堆砂量

実測値	34000 m^3
掃流砂のみを考慮した場合の計算値	9800 m^3
掃流砂に浮流砂を考慮した場合の計算値	41000 m^3