

アジア航測株式会社

○上妻 由拓

立命館大学理工学部

江頭 進治

財団法人砂防・地すべり技術センター

松木 敬

福岡県

藤井 陽子

1.はじめに 流域の土砂管理において、流出土砂量の予測法を確立することは重要である。江頭らは河道堆積物を対象とし、流水・流砂に関する貯留型の支配方程式と kinematic wave 法に関する降雨流出モデルとを組み合わせた土砂流出予測法を提案している<sup>1)</sup>。ところが、この方法においては河道堆積物の生成機構が考慮されておらず、河道堆積物の条件が崩壊等により大きく変化するような流域では適用が難しい。そこで本研究においては、崩壊・土石流の発生に伴う河道堆積物の生成モデルを考察し、これを上述の土砂流出モデルに組み込んで上述の予測法を改良するとともに、実流域を対象としてその適用性を検討するものである。

2.河道堆積物の生成モデルの概要 図-1 は、江頭らの土砂流出予測法で用いられている単位河道のモデルである。単位河道は、河道の上・下流の合流点に着目し、二つの流入点と一つの流出点から構成される部分である。ここで、単位河道の両側へ接続する山腹斜面を単位斜面と定義し、これを図-1 のようにモデル化する。さらに、図-2 のような土層モデルを用いることにすれば、表層崩壊(A層)による土砂生産が降雨流出解析との関連のもとに議論できる。すなわち、山腹崩壊は表面流の形成と密接に関連しており、単位斜面における表面流の形成率、勾配、地質などのパラメータと崩壊個数密度の関係が明らかに出来れば、単位斜面における河道堆積物の生成量は次式によって評価できる。

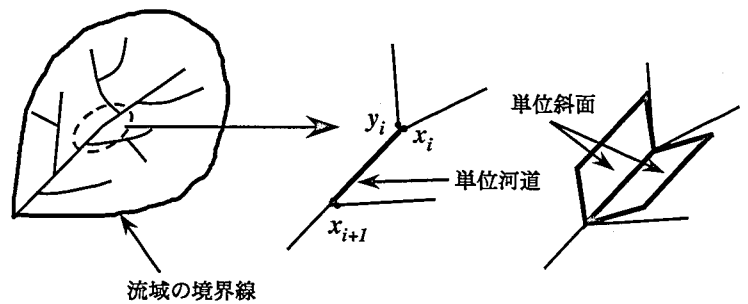


図-1 単位河道と単位斜面

式によって評価できる。

$$V = \alpha (N_s \cdot A) (b l D) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$  は山腹崩壊の土石流への遷移率 ( $\alpha \leq 1$ ) であって、1982 年長崎豪雨災害<sup>2)</sup>等を参考にすれば、殆どの崩壊が流動化しており、 $\alpha$  は 1 に近い値<sup>3)</sup>であると予想される。 $N_s$  は単位斜面における崩壊個数密度、 $A$  は単位斜面の面積、 $b$  は平均崩壊幅あるいは流動幅、 $l$  は崩壊点から単位河道までの土塊の平均移動距離、 $D$  は A 層の厚さあるいは移動過程における平均侵食深である。

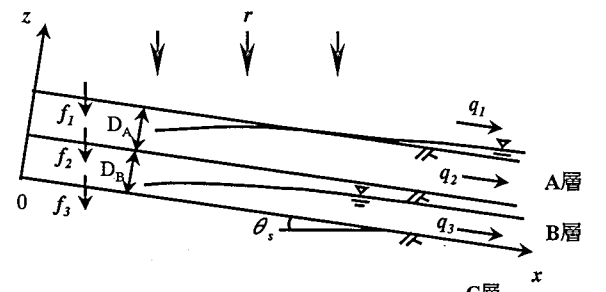


図-2 単位斜面の土層モデル

3.崩壊個数密度の推定 奈良県十津川上流旭ダム流域を対象として、崩壊個数密度と表面流の形成率の関係を検討する。図-3 は流域の概要である。流域面積は約 39km<sup>2</sup> である。図中の番号はそれぞれ単位河道 (No.7~No.20) と河床勾配が 10° 以上の領域 (No.1~No.6) を示している。また、それに連なる単位斜面として 40 の領域に分けられる。なお、勾配を 10° としたのは、土砂流出モデルにおける先の研究<sup>1)</sup>において設定したように、最上流或いは流域界に最も近いと見なせる単位河道の勾配であるからである。各単位河道に連なる山腹斜面の長さ、勾配、面積、流入角については 1/25000 の地形図より決定した。降雨流出の計算条件として、斜面の等価粗度は 0.7(m-s)、空隙率は 0.4、A 層の浸透能  $f_1$  は 130~150(mm/hr)、B 層の浸透能  $f_2$  は 4~6(mm/hr)、C 層の浸透能  $f_3$  は 0.03~0.05(mm/hr)、A 層の厚さ  $D_A$  は 0.45(m)、B 層の厚さ  $D_B$  は 0.4(m)、A 層の透水係数は 0.005(m/s)、B 層の透水係数は 0.0001(m/s) とした。新規崩壊個数は、旭ダム流域において昭和 51 年、昭和 57 年、昭和 61 年および平成 1 年に調査・作成された判読図を用いて、単位斜面ごとにそれぞれ集計した。

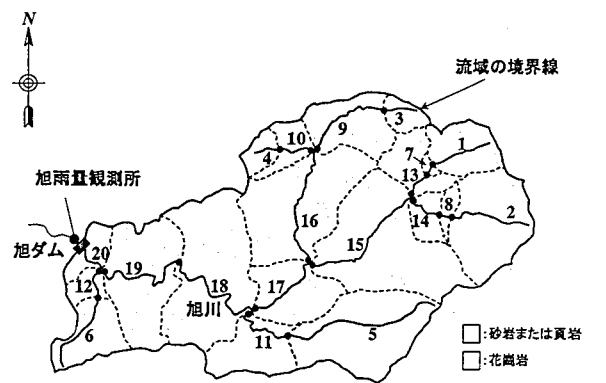


図-3 旭ダム流域図

図-4 は各期間における新規崩壊個数密度と表面流の形成率の関係を示したものである。なお、新規崩壊の生成に関する議論を簡単にするために、表面流の形成率は対象とする期間における最大値としている。山腹崩壊は地形および地質特性に影響されるので、斜面の勾配、地質によって分類している。図によれば、砂岩・頁岩に比べ花崗岩を多く含む斜面の方が崩壊個数密度が大きいこと、および斜面勾配が大きくなると、表面流の形成率が小さくても崩壊しやすいことが分かる。後に示す式(3)および式(4)に崩壊に伴う生産土砂量を考慮するために、図-4 を用いて崩壊個数密度の定式化を

行う。これについては、今後詳細に検討しなければならないが、ここでは勾配、地質ごとに次式で近似する。

$$N_s = \beta (A_{s*} - A_{s*c}) \quad (2)$$

ここに、 $N_s$ : 単位斜面における崩壊個数密度、 $\beta$ : 地質、勾配に影響されない係数、 $A_{s*}$ : 表面流の形成率、 $A_{s*c}$ : 崩壊が起こる限界の表面流の形成率である。なお、 $A_{s*c}$ は固定値とした影響を反映して、勾配と地質の関数になる。

**4. 土砂流出モデルの適用** 先に述べたように表面流の形成率に着目し、さらに式(1)および式(2)を併用することによって、降雨に伴い発生する崩壊個数および崩壊土砂量の評価が可能になる。上述の河道堆積物の生成モデルを江頭らの土砂流出予測法に組み込めば、貯留土砂量の式および貯留土砂の粒度分布は次のようになる。

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

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)BL\Delta} \{Q_{si}(x_i) + Q_{si}(y_i) - Q_{si}(x_{i+1})\} + \frac{(1-\lambda_s)}{(1-\lambda)} \frac{p_{ic}}{BL\Delta} \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_i}{\Delta} \quad (4)$$

$$f_i = p_{i0} (\partial z / \partial t \leq 0), \quad f_i = p_i (\partial z / \partial t \geq 0)$$

上式のような河道堆積物の生成モデルを導入した江頭らの土砂流出予測法を用いて、旭ダム流域における昭和58年～平成1年の流出土砂量を計算する。計算において、各单位河道の長さ、および勾配は1/25000の地形図を用いて決定し、各单位河道のマニングの粗度係数は0.05(m-s)とした。河幅 $B$ は $B = 5\sqrt{QA'/A}$ により算定した<sup>1)</sup>。ここに、 $Q$ は最下流端の旭ダム流入量、 $A$ は流域面積、 $A'$ は各单位河道の上流端の流域面積である。なお、 $Q$ は旭ダム流域での小出水時の流量(30m<sup>3</sup>/s)とし、河幅は流量によって変化させていない。式(1)および式(2)を用いて、昭和58年～61年および昭和62年～平成1年の各期間における生成土砂量を設定する。式(1)において、 $D$ はA層厚さ0.45(m)、 $b$ と $l$ は実測の堆砂量を参考にして、それぞれ $b$ を10(m)、 $l$ を95(m)とした。このように設定した生成土砂量のうち、昭和58年～61年および昭和62年～平成1年については、各期間の最も大きな出水時、すなわち昭和61年と平成1年に全て生成されるものとし、その時の出水ピーク時に各单位斜面が接続している単位河道にそれぞれ与えた。昭和61年より以前の単位河道における貯留土砂は、式(1)および式(2)を用いて、昭和52年～57年における生成土砂量を求め、それが全単位河道中に等しく堆積しているものとして設定した。降水量は旭雨量観測所の毎時雨量データが用いられている。

図-5は旭ダムにおける堆砂量の実測値と計算値の比較である。図をみれば、計算値と実測値の傾向は概ね一致している。昭和60年における計算値と実測値の大きなズレの原因は、今のところ詳細には分からないが、河岸侵食等の影響も考えられるため、今後の検討課題としたい。

**5. おわりに** 本研究では、単位斜面という概念を用い、新規崩壊を対象として崩壊個数と表面流の形成率の関係を考察し、それと江頭らの土砂流出予測法を組み合わせたモデルを提案した。さらに、それを旭ダム流域に適用し、モデルの妥当性について検討した。今後検討すべき課題が残されているものの、崩壊に伴う生成土砂量を考慮することによって、流出土砂量の評価がある程度可能になったと言える。現地データの収集に当たり、関西電力株式会社および電源開発株式会社の諸兄に御協力いただいた。ここに記し感謝いたします。

**参考文献** 1)江頭進治・松木敬:河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法,水工学論文集,第44巻,2000. 2)江頭進治:昭和57年7月豪雨による土砂災害について,京大防災研年報,26号A,1983,pp.1-18. 3)芦田和男・江頭進治・大槻英樹:山腹崩壊土の流動機構に関する研究,京大防災研年報,26号B-2,1983,pp.315-328.

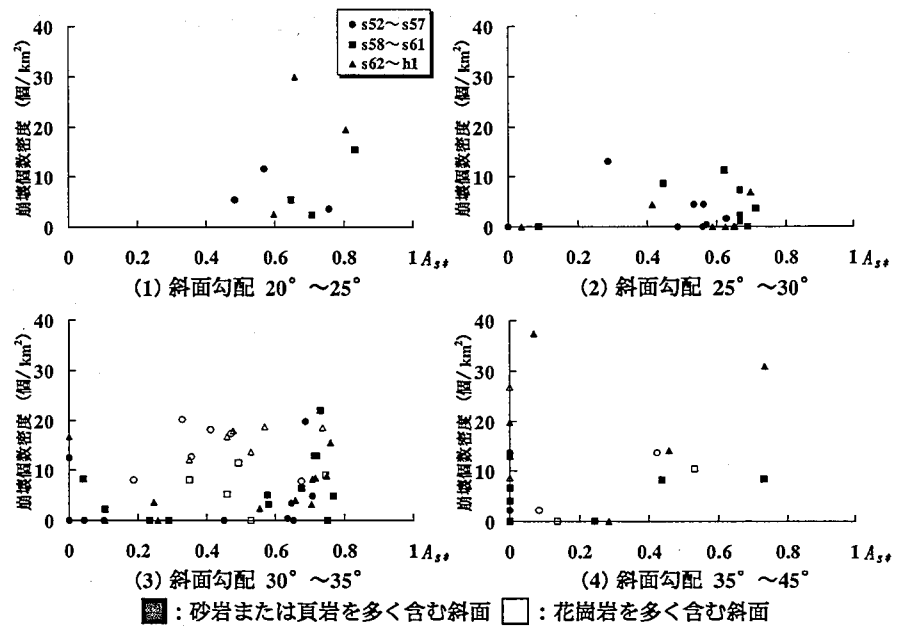


図-4 単位斜面における表面流の形成率と崩壊個

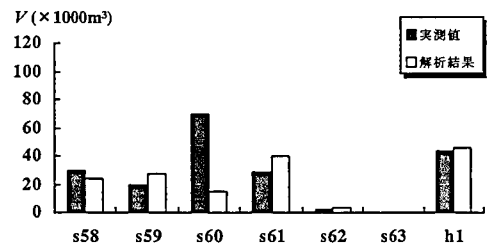


図-5 旭ダムにおける堆砂量の実測値と計算値