第 部門 崩壊・土石流による河道貯留土砂を考慮した土砂流出予測法に関する研究

立命館大学大学院	学生員	森谷	崇正	立命館大学理工学部	フェロー	江頭	進治
立命館大学理工学部	正会員	伊藤	隆郭	立命館大学大学院	学生員	谷	貴也

**はじめに** 流域全体を一貫とした土砂管理を行うためには、流出土砂の量と質を合理的かつ容易に予測する方法を 確立することは重要である。江頭らは河道貯留土砂を対象とした河道の任意の地点における時々刻々、および長期 にわたる流出土砂量の予測モデルを提案している<sup>1)</sup>。本研究は崩壊・土石流による河道貯留土砂の生成を考慮した、 より一般的な土砂流出モデルの構築を目指すものである。

**モデルの概要** 実際の流域および河道網は非常に複雑で ある。そこで、**図 - 1** に示すように河道の合流点に着目し、上 流側の合流点を含み、下流側の合流点を含まない河道を単 位河道とし、単位河道の左右岸の山腹斜面を平行四辺形で 近似し単位斜面として、降雨流出解析および土砂流出解析 が可能な江頭らのモデル<sup>1),2)</sup>を用いる。単位河道の両側に



図 - 1 単位河道および単位斜面

接続する単位斜面で崩壊・土石流が発生することを想定し、これによる河道堆積物の生成現象を流砂の質量保存則 (河床位方程式、粒度分布式)の中に取り込む。すると、流水の連続式、運動方程式および流砂の連続式(河床位方 程式)、流砂量式、河道貯留土砂の粒度分布式はそれぞれ次のようである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{BL} \{ Q(x_i) + Q(y_i) - Q(x_{i+1}) \} + \frac{1}{B} q + r \cos \theta \qquad (1) \qquad Q_i(x_{i+1}) = \frac{1}{n} Bi_b^{-1/2} h^{5/3} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)BL} \{ Q_i(x_i) + Q_i(y_i) - Q_i(x_{i+1}) - Q_w \} + \frac{1-\lambda_s}{1-\lambda} \frac{1}{BL} \frac{A_s}{A} \frac{V}{T} \qquad (3) \qquad Q_i(x_{i+1}) = \sum_j Q_{ij}(Q, i_b, d_j, p_j) \qquad (4)$$

$$\frac{P_j}{t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{ Q_{ij}(x_i) + Q_{ij}(y_i) - Q_{ij}(x_{i+1}) \} - \frac{z}{t} \frac{f_j}{\Delta} + \frac{1-\lambda_s}{1-\lambda} \frac{P_{sj}}{BL} \frac{A_s}{A} \frac{V}{T} \qquad f_j = p_j \left( \frac{\partial z}{\partial t} > 0 \right), \quad f_j = p_{j0} \left( \frac{\partial z}{\partial t} \le 0 \right) \qquad (5)$$

ここに、*h*:水深、*B*:川幅、*L*:河道長、*q*:斜面からの横流入量、*r*:降雨強度、*θ*:河道傾斜角、*n*:マニングの粗度係数、*i<sub>b</sub>*:河道勾配、*z*:河床高、 $\lambda$ :堆積物の間隙率、*d<sub>j</sub>*:粒径階*j*の粒径、 $\Delta$ :交換層厚、*p<sub>j</sub>*:交換層における粒径 *d<sub>j</sub>*の粒子の含有率、*p<sub>j0</sub>*:交換層直下の層における粒径 *d<sub>sj</sub>*の粒子の含有率、*A*:単位斜面の面積、*A<sub>s</sub>*:単位斜面における表面流の形成面積、*V*:単位斜面からの生成土砂量、*T*:崩壊が発生してから終了するまでの特性時間(後述)、*p<sub>sj</sub>*:交換層直下の層における粒径の粒子 *d<sub>sj</sub>*の含有率、 $\lambda_s$ :単位斜面表層の間隙率、*T*:崩壊が発生してから終了するまでの特性時間(後述)である。また、*Q*(*x<sub>i</sub>*)および *Q<sub>i</sub>*(*x<sub>i</sub>*)は、**図**-1 に示す *x<sub>i</sub>*地点からの流入量およびウォッシュロードを除く流入土砂量(浮遊砂、掃流砂)である。*Q<sub>w</sub>*は単位河道 *i*において単位時間当たりに生産されるウォッシュロードであり、水成作用を受けていない堆積物が侵食すると同時に流出するものとすれば、式(6)として与えられる。ここに、*p<sub>w</sub>*は河道貯留土砂におけるウォッシュロードの含有率であり、ウォッシュロードの流下過程において、それが河床に取り込まれないものとすれば、単位河道 *i*における流水中のウォッシュロード濃度 *c*は式(7)で与えられる。

$$Q_{w} = -(1-\lambda)BLp_{w}\frac{\partial z}{\partial t} \quad \left(\frac{\partial z}{\partial t} \le 0\right), \qquad Q_{w} = 0 \quad \left(\frac{\partial z}{\partial t} > 0\right)(6) \qquad \frac{\partial ch}{\partial t} = \frac{1}{BL}(Q_{w} + c(x_{i})Q(x_{i}) + c(y_{i})Q(y_{i}) - c(x_{i+1})Q(x_{i+1})) \quad (7)$$

<u>崩壊・土石流による河道堆積物の生成モデル</u>式(3)および式(5)において、単位斜面における河道堆積物の生成 土砂量および特性時間を定める必要がある。斜面からの崩壊・土石流は地形・地質条件に加えて、斜面における表 面流が深く関係すると思われる。崩壊個数密度の定式化を行うためには今後詳細に検討しなければならない課題も あるがここではとりあえず勾配、地質ごとにこれを式(8)で近似してみる。ここに、N\*:単位斜面における崩壊個数密度、

Takamasa MORITANI, Shinji EGASHIRA, Takahiro ITOH and Takaya TANI

β:係数、A<sub>sc</sub>:崩壊が発生し始める表面流の形成面積率の限界値、A:単位斜 面の面積である。各単位斜面における河道堆積物の生成土砂量 V は、式(9) のように評価することができる。さらに、特性時間 T は崩壊の発生時刻から終 了までの時間を式(10)のように重みを付けて定義する。

$$N_* = \beta \frac{A_s - A_{sc}}{A} (8) \qquad V = \alpha (N_* A) (blD) (9) \qquad T = \int_{t_s}^{t_e} \frac{A_s - A_{sc}}{A} dt \quad (10)$$

ここに、α:山腹崩壊の土石流への遷移率、δ:平均崩壊幅あるいは流動幅、l: 崩壊点から単位河道までの崩壊土の平均移動距離、D:移動過程における平 均侵食深さである。また、 $t_s$ は崩壊の開始時刻、 $t_e$ は崩壊の終了時刻である。 実流域への適用 奈良県南部十津川上流の旭ダム流域を対象とする。図-2 は流域の概要であり、流域面積は 39km<sup>2</sup> である。上述の方法によって分割さ れる単位河道は 18 本である。 1989~1995 年における旭ダム堆砂量に着目し、 旭ダムにおけるピーク流入量が 50m<sup>3</sup>/s 以上(河床材料の移動限界流量)の 出水を対象にして、1979~1995年の期間で解析を行っている。河道長、河道 勾配、河床位、斜面長、斜面面積、斜面勾配、単位河道への落水線の流入 角については 1/25000 の地形図から決定した。河道幅 B は、対象流域最下 流端の流量を O、流域面積を A、各単位河道の上流端における流域面積を A'として、B=(QA'/A)<sup>1/2</sup> より算定された値を用いている<sup>1)</sup>。Q には 20m<sup>3</sup>/s を与 えている。降雨量は雨量観測所での値を用いている。降雨流出解析に用いる パラメーターのうち、斜面のマニングの粗度係数は 0.07、河道のマニングの粗 度係数は 0.05、A 層、B 層、C 層の浸透能は Horton の式を用い、それぞれ 150~200、15~20、0.3~0.5(mm/hr)、A 層、B 層の厚さは 0.1、1.0(m)、A 層、 B 層の透水係数は 0.003、 0.0001(m/s)とした。

**図**-3 は計算に用いた初期河床材の粒度分布である。最上流端の単位河 道の初期河床材料および崩壊土砂の粒度分布には同じものを与えることにし、 **図**-3 の を用い、それ以外の単位河道については を与えている。また、 生成土砂量 Vを設定するために、 は 0.8、b は 1~2(m)、D は 1(m)、 は 50、A<sub>sc</sub> は 0.35 とした。以上の条件を用いて、case1 では先の研究と同様に崩 壊・土石流を考慮しない場合、case2、3 では崩壊・土石流を考慮し、case3 で は case2 の 2 倍の生成土量を与えて計算を行った。その結果を**図**-4~6 に 示す。1985、'90、'95 年において、**図**-4 は一繋がりの河道(**図**-2 の河道 No.8,13,15,16,17)における平均粒径の変化を case1 と case2 で比較したもの である。**図**-5 は上流域の河道 No.8 と下流域の河道 No.16 の河床変動量で ある。**図**-6 は 1989~1995 年の旭ダムにおける堆砂量の実測値と計算値の 比較である。これらの図を総合すると、崩壊・土石流を考慮した場合には河床



の粗粒化が抑えられ、ダムへの土砂流出量は増加することが示されている。また、流出土砂の内訳を見ると、崩壊・土 石流により供給された細粒分はまだダムに到達していないことが推測される。

**あわりに**本研究では、江頭らのモデルに崩壊・土石流による生成土砂を考慮することにより土砂流出予測を行った。 その結果、考慮した場合には粗粒化が抑えられ、土砂流出量が増加した。しかし、崩壊個数密度、特性時間のより普 遍的な表示方法や崩壊履歴の影響の導入法などいくつかの課題が残っており、今後の課題である。

<u>参考文献</u> 1)江頭ら:水工学論文集、第 44 巻、735-740、2000、 2)江頭ら:平成 15 年度 砂防地すべり技術研究成 果報告会講演論文集、33-46、2003。