

立命館大学理工学部 学生員 ○清田 三四郎
立命館大学大学院 濱口 裕介

立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治

1.はじめに 土砂災害の防止・軽減を含む流域の土砂管理、あるいは好ましい流域流砂系に関する検討を深めるためには、流域全体の流出土砂量を合理的かつ容易に予想する方法を確立することが重要である。そのような背景のもと、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¹⁾。本研究はこれらの研究に続くものであり、先のモデルに対して、流砂形態として浮遊砂を考慮するとともに、河道勾配の変化を組み込むことにより、一般性の高い土砂流出モデルの構築を目指すものである。

2.モデルの概要 上流域における河道は非常に複雑であるが、合流点から合流点是一本である。そこで図-1に示すように、上流側の合流点を含み下流側の合流点を含まない区間を単位河道と定義し、これを直列・並列に連結することで実流域の河道の再現を図る。さらに、各河道の両側に接続する山腹斜面を、単位河道を一辺とする平行四辺形で近似した単位斜面とすることで、降雨に伴う流出解析を容易に行うことができる。流水・流砂に関する支配方程式を上述の単位河道縦断方向に積分して平均化するとともに、流水の運動に対する kinematic wave 近似を行えば、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。

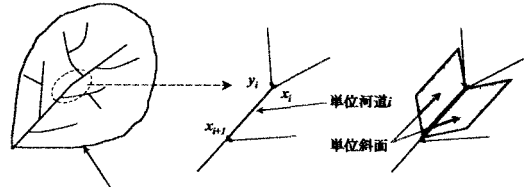


図-1 単位河道および単位斜面

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

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)BL} \{Q_i(x_i) + Q_i(y_i) - Q_i(x_{i+1}) - Q_w\} \quad (3) \quad Q_i(x_{i+1}) = \sum_j Q_{ij}(Q, I, d_j, p_j) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_j}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{Q_{ij}(x_i) + Q_{ij}(y_i) - Q_{ij}(x_{i+1})\} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_j}{\Delta} \quad f_j = p_j \left(\frac{\partial z}{\partial t} > 0 \right), \quad f_j = p_{j0} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0 \right) \quad (5)$$

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 :マンニングの粗度係数、 I :河道勾配、 z :河床高、 λ :堆積物の間隙率、 d_j :粒径、 Δ :交換層厚、 p_j :交換層における粒径 d_j の粒子の含有率、 p_{j0} :交換層直下の層における粒径 d_j の粒子の含有率であり、これらは図-1に示す単位河道 i についての諸量である。また、 $Q(x_i)$ および $Q(y_i)$ は、図-1に示す x_i 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_w は単位河道 i において単位時間あたりに生産されるウォッシュロードであり、 $4 \sim 10^\circ$ の領域に位置する単位河道において、堆積物が浸食されると同時に流出するものとすれば(7)式として与えられる。ここに、 p_w 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るれば、単位河道 i における流水中のウォッシュロードの濃度 c は(8)式によって与えられる。

$$Q_w = -(1-\lambda)BLp_w \frac{\partial z}{\partial t} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0 \right), \quad Q_w = 0 \left(\frac{\partial z}{\partial t} > 0 \right) \quad (7) \quad \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{BL} (Q_w + c(x_i)Q(x_i) + c(y_i)Q(y_i) - c(x_{i+1})Q(x_{i+1})) \quad (8)$$

ところで、先のモデルにおいては浸食や堆積による河道勾配の変化は考慮されていない。そこで、本研究では図-2のような方法で河道勾配の変化を導入する。これは、対象とする河道(単位河道 i)とその下流側に接続する河道(単位河道 $i+1$)における河床変動に基づき、それぞれの上流端を結ぶことによって、単位河道 i の次ステップの河道勾配($\tan \theta_{i+1}$)を決定するというものである。

3.実流域への適用 本研究では奈良県南部十津川上流の風屋ダム流域および風屋ダム流域内に位置する旭ダム流域を対象に解析を行う。図-3は旭ダム流域の概要であり、流域面積は 39km^2 となっている。風屋ダム流域の流域面積は 453.8km^2 であり、流域の概要については先の研究¹⁾を参考

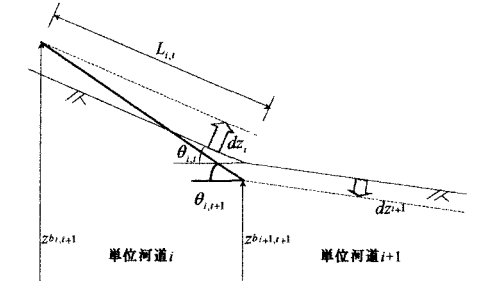


図-2 河道勾配変化の考え方

にされたい。上述の方法によって分割される単位河道は、風屋ダム流域で393本、旭ダム流域で18本である。なお、風屋ダム流域では1974～76年および1991～94年における風屋ダム堆砂量に着目し、各年のダム堆砂量がその年の最も大きい洪水によりもたらされたと見なし、各年の約4日間での出水について解析を行っており、旭ダム流域では1989～94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 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水時において解析を行っている。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 Q 、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、 $B=(QA'/A)^{1/2}$ より算定された値を用いている。 Q には風屋ダム流域で $200\text{m}^3/\text{s}$ を、旭ダム流域で $20\text{m}^3/\text{s}$ を与えている。降雨量については流域付近の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、斜面の等価粗度は $0.7(\text{m}\cdot\text{s})$ 、A層、B層、C層の浸透能はそれぞれ $100\sim150\text{mm}/\text{hr}$ 、 $10\sim15\text{mm}/\text{hr}$ 、 $0.03\sim0.05\text{mm}/\text{hr}$ 、A層、B層の厚さは 0.4m 、 0.8m 、A層、B層の透水係数は $0.00003\text{m}/\text{s}$ 、 $0.0000025\text{m}/\text{s}$ とした。初期河床材料の粒度分布は、図-4のうち河道勾配が 4° 以上の単位河道においてはIおよびIIIを、それ以外の単位河道についてはIIおよびIVを与えている。なお、旭ダム流域は風屋ダム流域の上流に位置することを考慮して、若干最大粒径の大きなIIIおよびIVを用いている。

以上の条件を用いて行った計算結果を図-5～7に示す。図-5は、旭ダム流域の下流域に位置する単位河道17についての解析結果であり、河道堆積物の粒度分布の変化(粗粒化)を無視できる初期条件の下、同じ降雨を5回連続して与えたときの河床位変化を示している。ここでは河道勾配の変化を考慮する場合としない場合での河床位変化を比較しており、河道勾配の変化を考慮することによって、河床位の変化が緩やかになっていることが分かる。

図-6は風屋ダムにおける堆砂量の実測値と計算値の比較である。1975年においては計算値が実測値を大きく下回っているが、今回解析に用いた約4日間の降雨以外にも、比較的大きな規模の降雨が数回あったことが原因であると考えられる。この他の年についても計算値が実測値を下回る傾向にあるが、計算では一年のうち最も規模の大きい一回の出水を対象としていることを考慮すれば、実際の堆砂量を適切に評価できていると考えられる。図-7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。旭ダム流域における計算では、大きな土砂流出があったと考えられるすべての降雨について計算を行っているために、実際の堆砂量を適切に評価できているようである。これらより、江頭らによるモデルは $10\sim10^3\text{km}^2$ の流域規模において適用可能であるということが分かる。

4.おわりに 本研究では、江頭らのモデルに対し、流砂形態として浮遊砂を考慮するとともに、河道勾配の変化を組み込むことにより、一般性の高い土砂流出モデルを提案している。さらに流域面積の大きく異なる2つの流域で流出土砂量予測を行うことで、流域面積の大きさに関わらず先の予測モデルが適用可能であることを示した。しかし、ここまで述べてきた河道貯留土砂を対象としたモデルでは、河道堆積物の生成機構を考慮していないため、河道堆積物の条件が大きく変化するような流域では適用が難しいと考えられる。そのため、山腹崩壊、河岸浸食、山腹斜面における裸地浸食といった河道堆積物の生成機構を考慮する必要がある、それらが今後の課題である。

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.

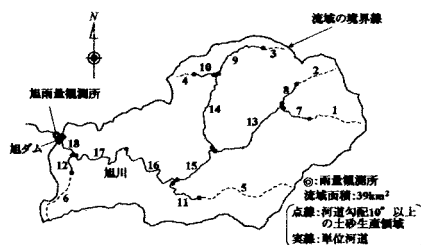


図-3 旭ダム流域図および単位河道

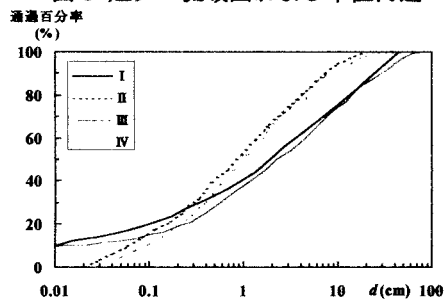


図-4 初期河床材料の粒度分布

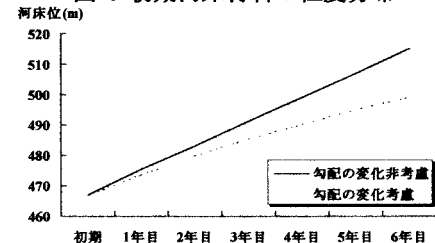


図-5 旭ダム流域の単位河道17における河床位変化

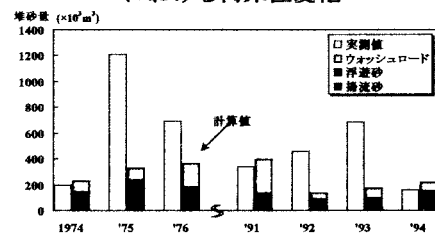


図-6 風屋ダムにおける堆砂量の計算値と実測値の比較
(一回の出水のみを対象に計算)

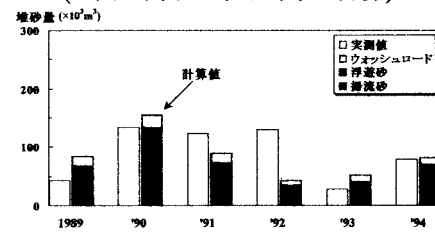


図-7 旭ダムにおける堆砂量の計算値と実測値の比較
(ダムへの流入量が移動限界流量を超える出水を対象に計算)