

立命館大学理工学部 学生員 ○北村 友和 立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治
立命館大学大学院 清田 三四郎 立命館大学理工学部 正会員 伊藤 隆郭

1.はじめに 流域における土砂災害の防止・軽減、好ましい河川形態の維持のため、土砂管理の重要性が高まる中、流域全体の流出土砂量を合理的かつ容易に、予測する方法を確立することが強く望まれている。このような背景を受け、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⁾。しかし、流域特性は、流域により様々であるため、土砂流出予測を行うにあたっては、モデル特性を把握し、パラメータが流出土砂量に及ぼす影響を知ることが重要となる。ここでは、勾配と河床材料の粒度分布に着目し解析を行うことにより、より一般性の高いモデルを構築することを目的としている。

2.モデルの概要 上流域における河道は複雑に分布している。そこで、図-1の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除く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際の流域を表現することとする。また、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各単位河道において積分して平均化し、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次のように表すことができる¹⁾。

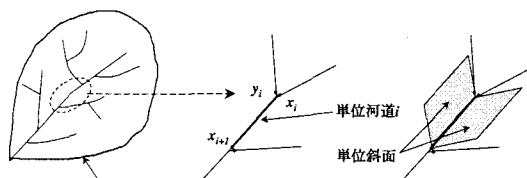


図-1 単位河道および単位斜面

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

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

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

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

さらに、 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 において単位時間当たりに生産されるウォッシュロードであり、 $4 \sim 10^\circ$ の領域をウォッシュロード発生領域としている。

3.勾配・粒度分布に関する感度分析

これまでの研究において、侵食や堆積による河道勾配の変化を導入するためのモデル化を行った。勾配変化の導入の有無による堆砂量の影響を把握するため、奈良県南部十津川上流の旭ダム流域を対象に解析を行った。図-2は旭ダム流域の概要である。流域面積は 39km^2 とる。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、 Q には $20\text{m}^3/\text{s}$ を与え、 $B=5(QA'/A)^{1/2}$ より算定された値を用いている。降雨量については、流域において平均的な、同じ雨を5回連続して与え、河道、斜面の各パラメータは、斜面の等価粗度は $0.7(\text{m-s})$ 、A層、B層、C層の浸透能はそ

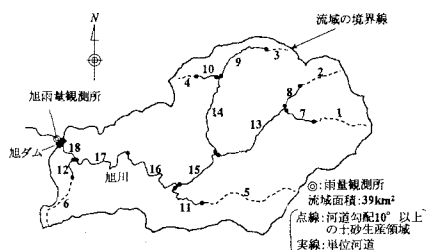


図-2 旭ダム流域図および単位河道

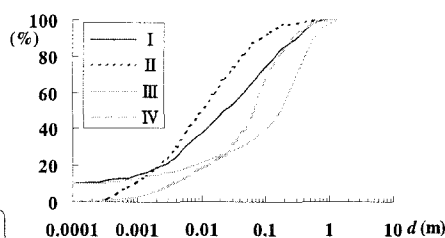


図-3 河床材料の初期粒度分布

tomokazu KITAMURA, Shinji EGASHIRA, Sanshiro KIYOTA and Takahiro ITOU

れぞれ 100~150mm/hr、10~15mm/hr、0.03~0.05mm/hr、A 層、B 層の厚さは 0.4m、0.8m、A 層、B 層の透水係数は 0.005m/s、0.0001m/s とした。初期河床材料の粒度分布は、図-3 のうち河道勾配が 4° 以上の単位河道においてはⅠを、それ以外の単位河道についてはⅡを与えている。図-5 は出水毎のダム地点での堆砂量の推移である。勾配変化を考慮しない解析法では、各出水毎にほぼ同じ堆砂量となっている。しかし、勾配変化を考慮した解析法では堆砂量は徐々に減少している。これは、河床材料の粗粒化と勾配の平滑化によって、流出土砂量が減ったものと考えられる。図-3 のⅠ、Ⅱの流度分布を用いた解析結果によると、各単位河道で多量の土砂が流出し、ダム堆砂量も実測値を大きく上回る結果となっている。これは、河床材料として与えた粒度分布の設定にあると考えられる。そこで、流域の地形、標高などを参考に、出水時の平均的な降雨において、最大粒径は流出せず、平均粒径程度が流出するように、粒度分布を決定した。ここでは、図-3 のⅢを河道勾配が 4° 以上の単位河道に、Ⅳをそれ以外の単位河道に与える。粒度分布の影響を見るために、図-4 に示すような対象流域における通常の出水に相当する降雨を与えて、河床変動に及ぼす粒度分布の影響について検討した。図-6、図-7 は、それぞれ河床勾配が 4° 以上、ダム地点近傍における粒度分布の時間変化を示している。勾配が 4° 以上の単位河道においては流量ピーク付近で徐々に粗粒化が進んでいる。一方、下流の単位河道においては河道勾配が 4° 以上の単位河道から流出した粒径が堆砂し、細粒化している。

図-8 は、勾配が 4° 以上および 4° 以下の単位河道における河床位の時間変化である。流量ピーク付近において、勾配が 4° 以上の単位河道では、侵食が活発に進み、下流の単位河道においては、土砂の堆積が緩やかに進んでいる。これは図-4 で与えた降雨に対して、上流域で生産された掃流砂が下流側には伝播せず、浮遊砂や wash load が先行して輸送されていることを示している。

4.実流域への適用 勾配変化を考慮し、現地に即した粒度分布の設定のために、3.で得られた粒度分布を用いて計算を行っている。河道、斜面のパラメータは 3.で用いたものを、降雨については、図-2 の雨量観測所での実測値を用いた。図-9 は 1992 年から 95 年までの年堆砂量に関する実測値と計算値の比較である。93 年、94 年においては、比較的適切に堆砂量を評価できている。また、92 年において実測値が解析値を大きく上回っているのは、91 年の台風により斜面崩壊が起こり、その土砂が 92 年の降雨に伴い流出したものと考えられる。95 年については今後の検討課題とする。

5.おわりに 本研究では、勾配、粒度分布が流出土砂量にどのような影響を及ぼすかについて、感度分析を行い、現地に即した粒度分布を設定して、解析を行った。勾配、粒度分布の設定により、河床材料の粗粒化や勾配の平滑化が起こり、河道における土砂の流出形態に大きく起因することを示すことができた。年堆砂量においては比較の実測値と近い傾向にあるが、上流端の河道堆積物の生成機構を考慮していないため、実測値と大きなズレが見られるようである。

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.

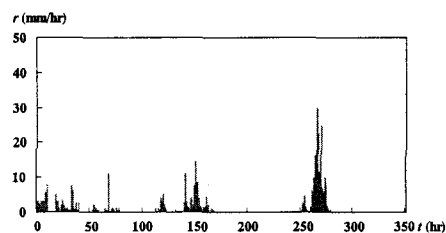


図-4 降雨量実測値

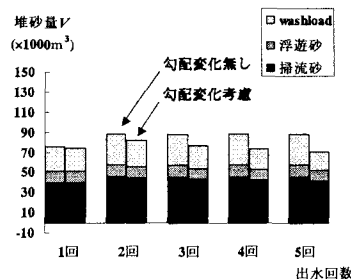


図-5 出水毎の堆砂量の推移

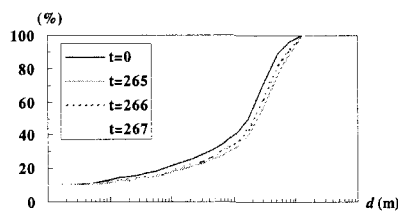


図-6 河道 7 における粒度分布の推移 (河道勾配が 4° 以上の単位河道)

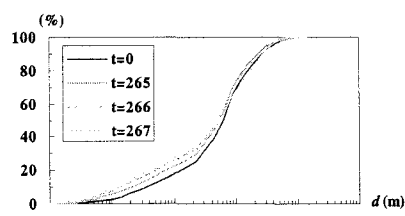


図-7 河道 17 における粒度分布の推移 (ダム地点手前の単位河道)

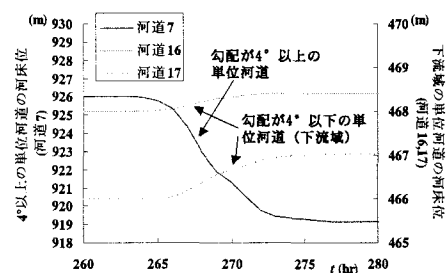


図-8 河道における河床位の時間変化

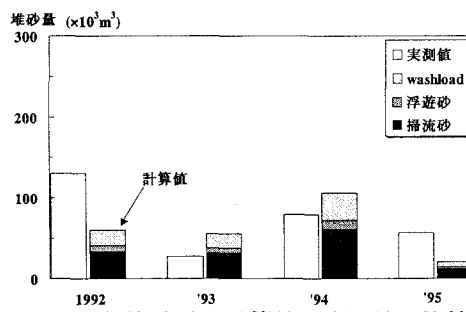


図-9 年堆砂量の計算値と実測値の比較