

株式会社ダイヤコンサルタント ○濱口 裕介 立命館大学理工学部 江頭 進治
立命館大学理工学部 伊藤 隆郭

1.はじめに 近年、土砂管理の重要性の高まりから任意の地点、任意の時刻における流出土砂量の予測を行うことが必要となっている。江頭らは単位河道モデルを用いた土砂流出予測法を提案し¹⁾、熊野川右支川十津川流域への適用を図るとともに、掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロードを対象として、感度分析を行うことによって、モデルの汎用性に努めている。本研究では、ダム貯水池が直列に連なる吉野川流域に着目し、土砂流出予測を行い、土砂流出予測法の課題を抽出する。

2.単位河道モデルの概要 江頭らは、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区間を単位河道と定義し、さらにそれに接続する山腹斜面を単位斜面と定義し、それらを直列または並列に連結することにより実際の流域のモデル化を行った。さらに、単位斜面においてダルシー則および kinematic wave を併用した降雨流出解析法を用い、また、流砂形態として掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロードを対象として、単位河道における流水・流砂の支配方程式を次のように簡略化した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{BL} \{Q(x_i) + Q(y_i) + Q(x_{i+1})\} + \frac{1}{B} q + r \cos \theta \quad (1)$$

$$Q(x_{i+1}) = \frac{1}{n} B I^{1/2} h^{5/3} \quad (2)$$

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

$$Q_s(x_{i+1}) = \sum_j Q_{sj}(Q, I, d_j, p_j) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_j}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{Q_{sj}(x_i) + Q_{sj}(y_i) - Q_{sj}(x_{i+1})\} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_j}{\Delta} \quad (5)$$

$$f_j = p_j \left(\frac{\partial z}{\partial t} > 0 \right), \quad f_j = p_{j0} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0 \right)$$

ここに、 h : 単位河道における平均水深、 B : 河幅、 L : 河道長、 Q : 流量、 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 : 河道勾配、 z : 河床高、 λ : 堆積土砂の間隙率、 Q_s : ウォッシュロードを除いた流砂量、 d_j : 粒径、 p_j : 交換層における粒径 d_j の含有率、 p_{j0} : 交換層直下の層における粒径 d_j の含有率、 Δ : 交換層厚である。これらは、図-1 に示す単位河道についての諸量である。式(1)の横流入量 q は kinematic wave 法による降雨流出解析によって求められる(図-2)。

$$\frac{\partial ch}{\partial t} = \frac{1}{BL} \{Q_w + c(x_i)Q(x_i) + c(y_i)Q(y_i) - c(x_{i+1})Q(x_{i+1})\} \quad (6)$$

$$Q_w = -(1-\lambda)BLp_w \frac{\partial z}{\partial t} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0 \right), \quad Q_w = 0 \left(\frac{\partial z}{\partial t} > 0 \right) \quad (7)$$

ここに、 Q_w は単位河道 i において単位時間に生成されるウォッシュロードであり、 $4 \sim 10^\circ$ の傾域に位置する単位河道に

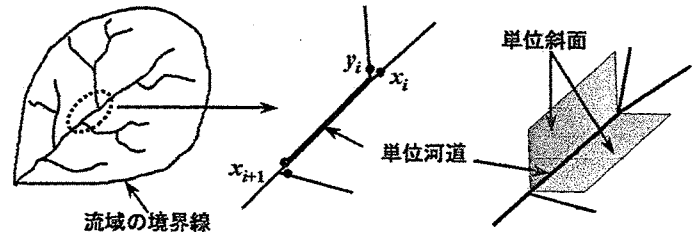


図-1 単位河道および単位斜面モデル

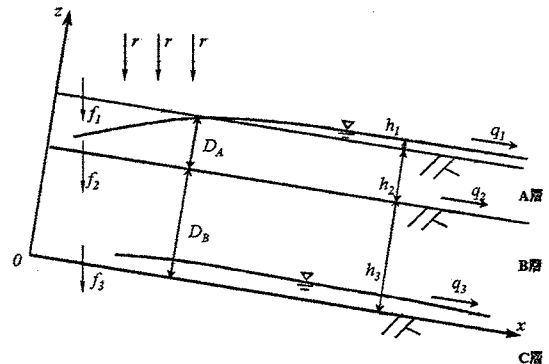


図-2 斜面における土層および降雨流出モデル

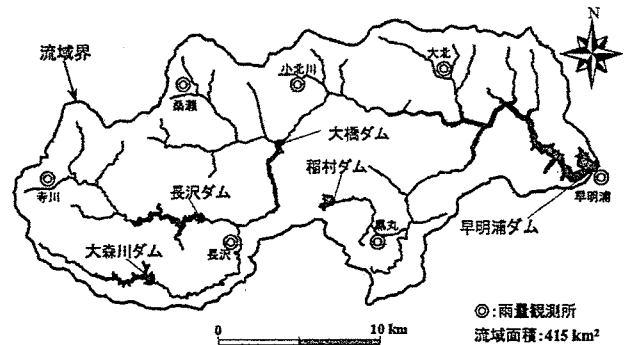


図-3 早明浦ダム流域図

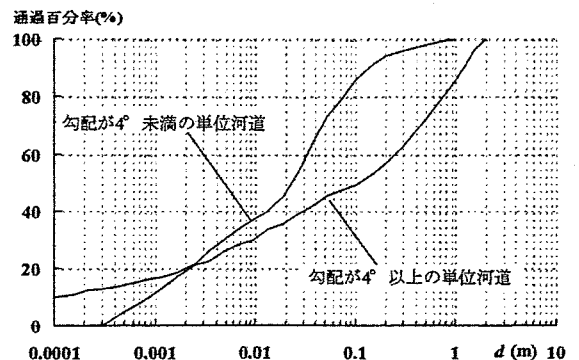


図-4 初期粒度分布

において河床が侵食されると同時に流出するものとしている。なお、流下過程において河床に取り込まれないものとしている。

3.モデルの適用 図-3 に示す吉野川上流域に位置する早明浦ダム流域を対象とし解析を行う。流域面積は約 415 (km²) で全体が三波川変成岩帯に属し、全国でも有数の地滑り地帯である。各単位河道および単位斜面の諸量は 1/25000 の地形図より決定した。単位河道数は大森川ダム流域で 41 本、長沢ダム流域で 81 本、大橋ダム流域で 46 本、早明浦ダム流域で 181 本あり合計は 349 本である。河道幅について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' 、としてレジーム則 $B = 5\sqrt{QA'/A}$ より算定された値を用い、 Q には 200 (m³/s) を与えた。昭和 50 年から 54 年までの降雨を与えて降雨流出解析を行った。用いたパラメータは、等価粗度 $n_s=0.7$ (m-s)、 $f_1=130\sim150$ (mm/hr)、 $f_2=4\sim6$ (mm/hr)、 $f_3=0.03\sim0.05$ (mm/hr)、 $D_A=0.4$ (m)、 $D_B=0.8$ (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)、空隙率は斜面、河道ともに 0.4 とした。マンニングの粗度係数は、各河道について $n=0.05$ (m-s) としている。土砂流出解析に関しては、各ダムでは土砂の流出はないものとし、流水のみが流出するものとして扱っている。交換層厚は 20cm とし、初期粒度分布には現地調査を参

考に図-4 のものを与えた。粒度分布を決定する際には、上流のダムの影響でダム下流側河床にアーマールコートが発達している可能性が考えられるため、平均粒径の大きいものを与えている。掃流砂量式には芦田・道上式を用い、浮遊砂量式には Lane-Kalinske の式を用いる。図-5 は降雨流出解析の結果である。図のように実測値と計算値はよく一致している。図-6 ～8 は早明浦ダム流域内にある各ダムにおける堆砂量の実測値と計算値を示したものである。図-6 の長沢ダムにおける昭和 53 年の堆砂量および図-7 の昭和 51 年、53 年の実測値は欠測である。図-6 の長沢ダム流域について、実測値と解析結果に多少のずれがあるが概ね傾向は一致している。また、図-7 の大橋ダム流域においては欠測があるため実測値の傾向がわかりにくくなっているが、解析結果は流出土砂が年々減少している。図-8 についても実測値と解析結果がほぼ一致している。これらのダム流域におけるずれは、粒度分布の初期設定が原因であると考えられる。このように広い流域を対象とした場合の粒度分布の設定法は今後の検討課題である。

5.おわりに 本研究では連続したダムを有する流域において解析を進めてきた。上述したように、粒度分布の初期設定法には検討課題が残されている。なお、本研究において国土交通省および水資源開発公団池田総合管理所より貴重な現地データを提供していただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献 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，pp.735-740，2000。

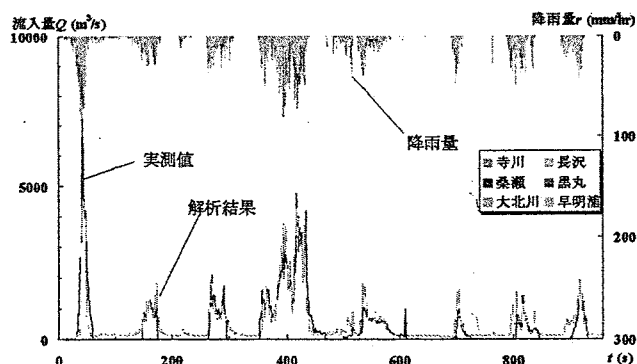


図-5 早明浦ダム流入量の実測値と計算値

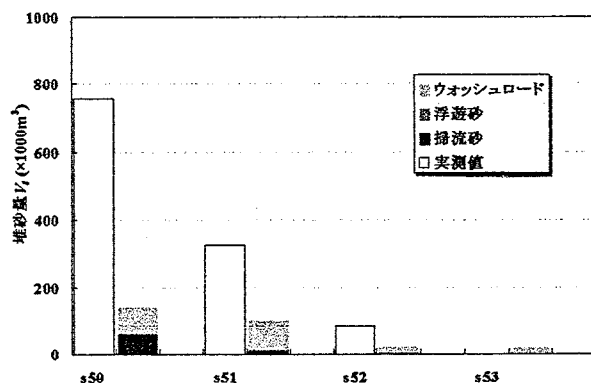


図-6 堆砂量の実測値と計算値（長沢ダム）

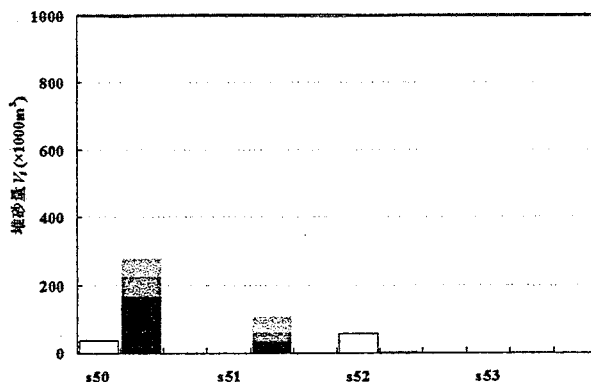


図-7 堆砂量の実測値と計算値（大橋ダム）

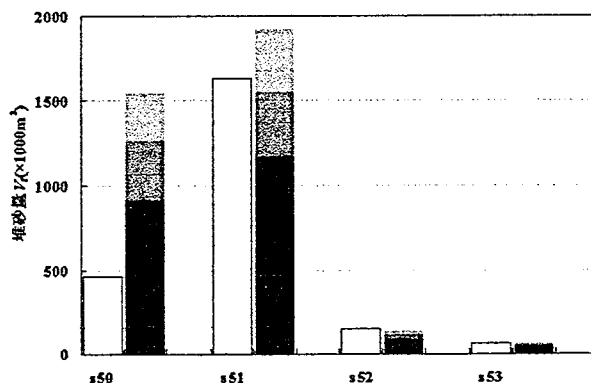


図-8 堆砂量の実測値と計算値（早明浦ダム）