

立命館大学理工学部 学生員 ○長谷川 祐也 立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治
立命館大学大学院 濱口 裕介 立命館大学理工学部 正会員 伊藤 隆郭

1. はじめに 流域の土砂管理の必要性が叫ばれて久しいが、流域流砂系を好ましい姿に維持するためには、河川流域全体、少なくともダム貯水池の流域スケールを対象とするとともに、その流域に分布する河道の任意の地点・時刻での流出土砂量の予測が重要となる。しかし、実際の山地流域では河道が樹枝状に分布し、さらに、土砂の流出形態も間欠的に発生する崩壊・土石流等、掃流砂や浮遊砂などの連続的なものまで多岐にわたる。これらを土砂水理学による支配方程式に基づいて予測することは非常に複雑で困難を極めている。このような状況にあって、江頭らは、河道貯留土砂を対象とした任意の地点における短期及び長期にわたる土砂流出予測法を提案している¹⁾。本研究においては、このモデルを吉野川上流域に適用し、その適用性について検討する。

2. 対象流域概要 本研究で対象とする吉野川は、四国4県にまたがる流域面積3,750km²(四国の約20%)、幹線流路約190kmの四国最大の河川である。図-1は吉野川流域付近の地質図である。四国には北から順に、中央構造線、御荷鉾構造線、および仏像構造線が東西に走る。地質についてみると、四国地方には、これらの構造線に分けられた4つの地質帯がある。これらはそれぞれ、北から順に砂岩・頁岩等からなる和泉帯、変成岩からなる三波川変成帯、石灰岩からなる秩父帯、および砂岩・泥岩からなる四万十帯である。吉野川流域は、中央構造線と御荷鉾構造線に挟まれた三波川帯領域にあり、三波川帯および御荷鉾構造線に沿う地帯は地滑りが密集している。降雨については、上流域は台風の進路にあたるため、我が国有数の多雨地帯であり、年間降水量は、3000mm以上で、6月、7～9月に降水量が多く、日最大降水量が500mmに達することもある。本研究では、図-2に示した早明浦ダム流域にて現地調査を行い、写真撮影及び河床・斜面の土砂に関する土砂採取を行った。

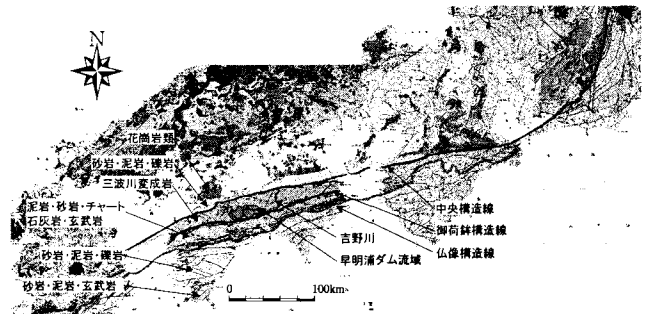


図-1 地質図



図-2 早明浦ダム流域概略図

図-3は現地調査により得られた粒度分布を示している。縦軸は通過百分率(%)、横軸は粒径(mm)である。A: 水際から10m, B: 水際から5m, C: 河床材料, D: 河床堆積物, E: 河床材料, F: 河床堆積物, G: 河床材料, H: 河床堆積物, I: 河床材料, J: 河床堆積物。各地点の粒径分布が示されている。

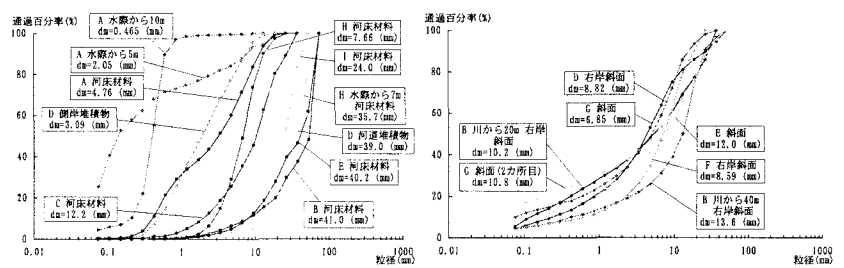


図-3 現地調査により得られた粒度分布

図-2には土砂を採取した地点を示しており、図-3は採取した土砂の粒度分布である。

3. モデル概要 図-4は江頭らによる流域の概略図および流域・河道のモデルを示したものである¹⁾。これは、図に示すように、流域の合流点に着目し、河道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

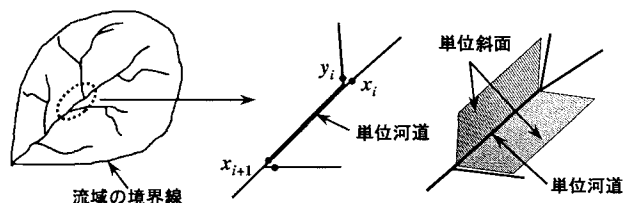


図-4 単位河道・単位斜面モデル

河道とし、図に示すように左右岸に連なる山腹斜面を単位斜面とすれば、これを直列及び並列に繋げることによって実際の流域および河道網のモデル化を行うと共に、土砂移動形態に着目して、支配方程式を河道長スケールにわたって積分平均することによって、貯留型の準線形方程式を用いるものである。流水の連続式、運動方程式、および流砂の連続式、流砂量式、および河道貯留土砂の粒度分布式はそれぞれ次のようである¹⁾。

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

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)BL} \{Q_s(x_i) + Q_s(y_i) - Q_s(x_{i+1}) - Q_{sw}\} \quad (3) \quad Q_s(x_{i+1}) = \sum Q_{si}(Q, I, d_i, P_i) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{Q_{si}(x_i) + Q_{si}(y_i) - Q_{si}(x_{i+1})\} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_i}{\Delta} \quad (5) \quad f_i = p_{i0} (\partial z / \partial t \leq 0), \quad f_i = p_i (\partial z / \partial t \geq 0) \quad (6)$$

ここに、 h :単位河道における水深、 B :河道幅、 L :河道長、 Q :流量、 q :斜面からの横流入、 r :降雨量、 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 :流砂量、 Q_{sw} : wash load 量、 d_i :粒径、 p_i :粒径 d_i の含有率、 Δ :交換層厚である。降雨流出解析においては斜面では3層の土層モデルを用い、表面流は kinematic wave 法、中間流と基底流はダルシー則を用いて降雨流出解析を行っている。最上流端の単位河道は土砂の堆積領域の上限である 10° 付近とし、掃流砂・浮遊砂・wash load を対象に解析を行う。なお、wash load 発生領域は $10^\circ \sim 4^\circ$ の単位河道としており、wash load 生成、輸送については、次式のように扱う。

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

$$\frac{\partial ch}{\partial t} = \frac{1}{BL} (Q_w + c(x_i)Q(x_i) + c(y_i)Q(y_i) - c(x_{i+1})Q(x_{i+1})) \quad (8)$$

ここに p_w : wash load の含有率、 c : wash load 濃度である。

4. 実流域への適用 吉野上流の早明浦ダム流域を対象にする。早明浦ダム流域は図-2 に示されているが、流域面積は約 415km^2 である。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。各单位斜面について斜面の等価粗度は 0.7 、A 層の浸透能は $150\sim 130\text{mm/hr}$ 、A 層厚は 40cm 、透水係数は $5 \times 10^{-4}\text{m/s}$ 、B 層の浸透能は $6\sim 4\text{mm/hr}$ 、B 層厚は 80cm 、透水係数は $1 \times 10^{-4}\text{m/s}$ を与えた。各单位河道についてマニングの粗度係数は 0.05 とした。初期粒度分布は図-3 を参考に図-5 のものを与え、交換層厚は 20cm とした。掃流砂量式には芦田・道上式を、浮遊砂量式には Lane-Kalinske の式を用いる。河道幅 B については、対象流域最下流端の流量を Q 、流域面積を A 、各单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 $200\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。降雨量については図-2 に示す雨量観測所のものを与えた。以上の条件を用いて計算を行った。図-6、図-7 はそれぞれ早明浦ダムにおける、流量に関する実測値と計算値の比較、および年堆砂量に関する実測値と計算値の比較である。図-7 によると、ダム堆積の経年的な傾向は類似しているが、S50 年、S51 年において、計算値が過大に見積もられているようである。これについては、今後、粒度分布等を変更しながら検討する必要がある。

5. おわりに 本研究では、江頭らの河道貯留土砂を対象とした土砂流出モデルを吉野川上流域に適用し、その適用性について検討した。まず、現地調査により、河道堆積物の粒度分布についての実態を把握し、その結果が土砂流出モデルに反映された。吉野川上流域における土砂流出量の計算結果は、ダム堆砂量の実測値と概ね傾向は一致している。堆砂量の実測値と計算値にズレが見られる箇所については、今後さらに検討が必要である。なお本研究において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 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.

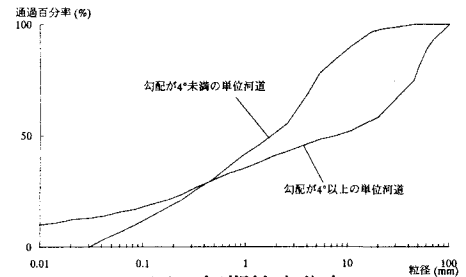


図-5 初期粒度分布

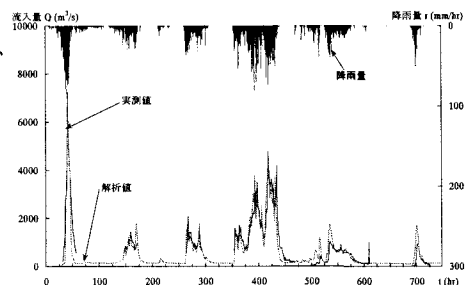


図-6 流量の実測値と計算値

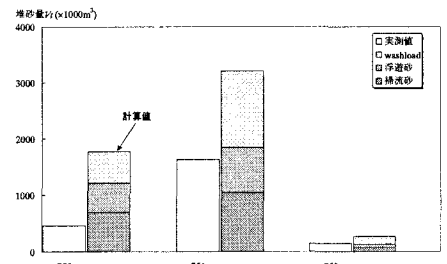


図-7 年堆砂量に関する実測値と計算値の比較