

立命館大学理工学部 学生員 ○大西 孝明
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 流域における土砂管理の重要性が高まるなか、流域からの流出土砂量を予測する方法の開発が強く望まれている。任意の地点における流出土砂量はそれより上流域の河道特性と土砂生産特性によって支配されており、土砂流出予測モデルを構築するためにはこれらをいかにモデル化するかが問題となる。しかし実流域では河道が樹枝状に分布し、また流出形態も崩壊・土石流等の発生が間欠的であるもの、掃流砂や浮遊砂等の連続的なものなど多岐にわたるため、土砂水理学による支配方程式に基づく予測は困難を極めてい。このような状況にあつて江頭ら¹⁾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。この方法においては土砂生産をいかにモデル化するかに大きな課題が残されているが、ここではとりあえずこのモデルを実流域に適用しその適用性をみる。先のモデルでは土砂の移動形態は掃流砂とウォッシュロードが対象となっていたがここでは浮遊砂も考慮した解析を行う。

2.モデルの概要 図-1 および図-2 は江頭らの土砂流出予測法で用いられている単位河道および単位斜面のモデルである。樹枝状に分布した河道を単純化するため、図-1 のように河道上流側の合流点を含み下流側の合流点を含まないものを単位河道とする。これらを直列または並列に連ねることにより実流域を再現できる。河道における流水・流砂の支配方程式は非線形の偏微分方程式であり数値解を求めるのは困難である。そこで各河道にわたって積分して平均化することで得られる以下のような貯留型の支配方程式を用いる。また山腹斜面について図-2 のように河道の両側に接続する斜面を単位斜面とし単位河道を一边とする平行四辺形で近似する。降雨流出解析には斜面においてA層、B層、C層の三層からなる土層モデルを用い、表面流はkinematic wave法、中間流と基底流はダルシー則による降雨流出解析により河道への横流入を求める。

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

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

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

$$Q_s(x_{i+1}) = \sum Q_{si}(Q, I, d_i, p_i) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)\Delta BL} \{Q_u(x_i) + Q_u(y_i) - Q_u(x_{i+1})\} - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{f_i}{\Delta} \quad (5)$$

$$f_i = p_{i0} (\partial z / \partial t \leq 0), \quad f_i = p_i (\partial z / \partial t \geq 0) \quad (6)$$

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} : ウォッシュロード量、 d_j : 粒径、 p_j : 粒径 d_j の含有率、 Δ : 交換層厚である。

これらは図-1 に示す単位河道の諸量である。最上流端の単位河道は 10° 以上の領域で生産された土砂の堆積領域の上限である 10° 付近とし 10° 以下である単位河道において掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロードを対象に解析を行う。なお、ウォッシュロード発生領域は $10^\circ \sim 4^\circ$ の単位河道とする。

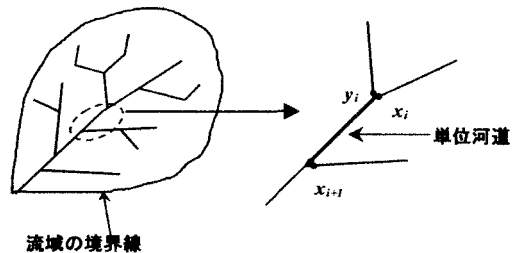


図-1 単位河道

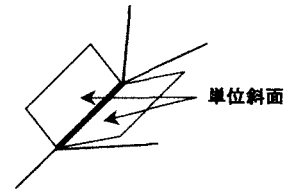


図-2 単位斜面

3.実流域への適用 現地データが一部公表されている天竜川支川与田切川流域を対象とする^{2), 3)}。流域の概要および単位河道を図-3に示す。1~12番は 10° 以上の領域で流水の計算のみである。13~31番が 10° 以下の単位河道で流砂の計算の対象となる。各単位斜面の斜面面積、斜面長、斜面勾配、流入角、および各単位河道の河道長、河道勾配は1/25000の地図より決定した。

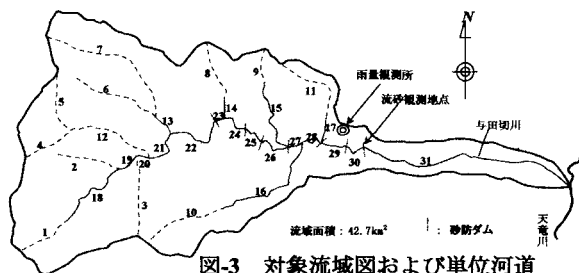


図-3 対象流域図および単位河道

各単位斜面について斜面の等価粗度は0.5、A層の浸透能は300~280mm/hr、A層厚は35cm、透水係数は 3×10^{-4} m/s、B層の浸透能は26~24mm/hr、B層厚は80、透水係数は 7×10^{-6} m/sを与えた。各単位河道についてマンニングの粗度係数は0.05とした。初期粒度分布は図-4のものを与え、交換層厚は20cmとした。掃流砂量式には芦田・道上市式を、浮遊砂量式にはLane-Kalinskeの式を用いる。河道幅 B について単位河道30の流量 Q 、流域面積 A 、各単位河道の流域面積 A' としてレジーム則 $B = 5\sqrt{QA'/A}$ より算定したものをを用いる。 Q には $20 \text{ m}^3/\text{s}$ を与えた。降雨量については図-3に示す雨量観測所のものを与えた。

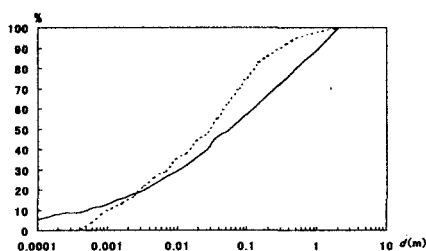


図-4 初期粒度分布

以上の条件を用いて行った計算結果を図-5から7に示す。これらはすべて流量・流砂観測施設のある単位河道30の下流端での値であり、単位河道30からの流出量となっている。図-5の降雨流出解析について、はじめの80時間あたりまでの降雨は初期条件として与えたものである。図-6は移動形態別流砂量である。図-5の結果を参照すると、流量が $20 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えたあたりから土砂は出はじめていることがわかる。図-7は実測流砂量と計算流砂量の比較である。

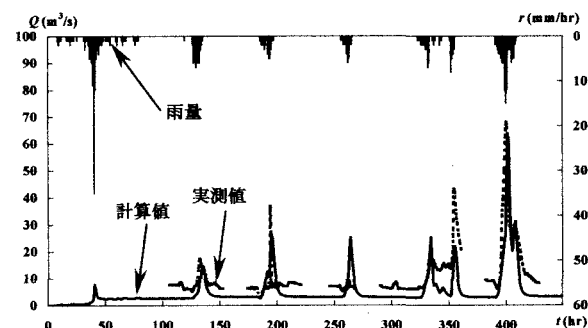


図-5 流量の実測値と計算値の比較

4.おわりに 対象とした流域は勾配が比較的急であり、殆どの単位河道が土石流の堆積領域の勾配を有している。このような流域では河床材料全体が移動することはまれであり、河道の初期条件によって流出土砂量が支配される。今後、このような領域における取扱いならびに砂防ダムなど人口構造物を有する単位河道の取扱いなど究明していきたい

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，2000.
2) 浜名ら：与田切川における土砂流出モニタリングについて(その1)，砂防学会研究発表会概要集，2001
3) 有澤ら：与田切川における土砂流出モニタリングについて(その2)，砂防学会研究発表会概要集，2001

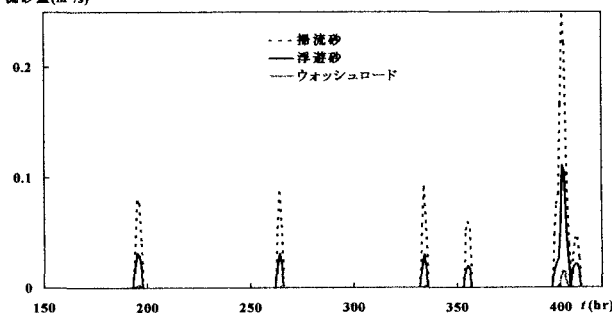


図-6 移動形態別流砂量

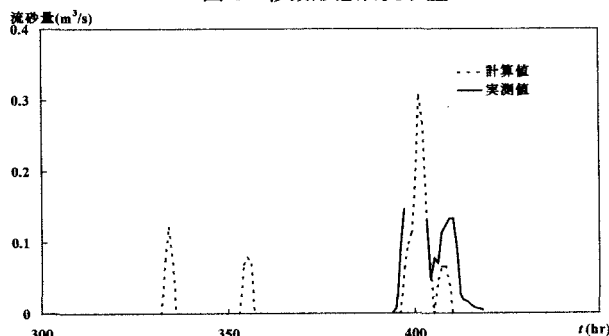


図-7 流砂量の実測値と計算値の比較