

東京大学大学院 ○黄 怡仁
 東京大学農学部 鈴木 雅一
 東京大学農学部 太田 猛彦

1. はじめに

本研究では、前年度の研究発表結果¹⁾をふまえて、台湾東部の寿豊溪における土砂流動・堆積の解析を行うものである。その目的は、現段階の河床変動モデルを極端に強い降雨で、大規模な土砂移動のある山地河川に適用できるか検討することである。前年度の一つの結果として、土砂移動の形態を掃流砂のみとした場合は、掃流砂量式で算出された流出土砂量の最大値が観測値に較べ、かなり小さいことがわかった。この結果と長期にわたって実測された河床材料の粒度分布から見て、寿豊溪では、河床変動や土砂収支は浮遊砂を無視して議論できないと考えられる。本年度ではさらに浮遊砂及び掃流砂を全流砂量として取り込み、解析を行った。

2. 計算概要

モデルは流域を斜面部と河道部とによって表し、雨水の流出及び土砂の流出を計算するものである。計算区間の上流集水及び斜面からの雨水の流出に関しては Kinematic wave 法を用い、計算区間の河道に関しては、上流及び斜面からの出水供給を考慮した一次元の河床変動計算を行う。地下への浸透、蒸発散などは考慮していない。流域地形モデルとして、ここでは6個のエレメント(斜面4、河道2)からなる単純な流域モデルを作成した。河床材料となる土砂の粒径に関しては現場の実測値を用い、10階級の粒径に分けて全地点一様に与える。土砂の移動形態としては掃流砂及び浮遊砂を考えている。なお、演算格子は直交座標系を、差分法は MacCormack 法を用いた。河道の断面形は長方形とし、Regime 理論によって流量から水みちの幅を求める。河床変動の計算区間は実際に横断測量が行われた豊平橋より上流に向かって14kmの区間である。また、本計算では、1990年9月6日の降雨イベント(1096mm、降雨時間72時間)を対象とし、当降雨イベントの出水データとその前後の横断測量、河床材料の粒度分布データを用いている。

2.1 基礎式

連続式

$$\text{流れ} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} \quad (1)$$

$$\text{浮遊砂} \quad \frac{\partial(C_s h)}{\partial t} + \frac{\partial(v C_s h)}{\partial x} = (v_s E_s - v_s C_s) + \frac{q'_{bin,j}}{B_0} \quad (2)$$

$$\text{河床位} \quad \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B_0} \left(\frac{\partial \sum_j G_j}{\partial x} - \sum_j q_{bin,j} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\text{粒度分布} \quad \delta \frac{\partial p_j}{\partial t} + k_j \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left(\frac{\partial G_j}{\partial x} - \frac{q_{bin,j}}{B_0} \right) = 0 \quad (4)$$

ただし、 $k_j = \epsilon p_j + (1-\epsilon)p_{1j}$

運動方程式

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} - i + i_f + \frac{q_{in} v}{2gA} \left(1 - \frac{v_s^2}{v^2} \right) = 0 \quad (5)$$

ここで、 Q : 全流量= vA (v : 流速)、 A : 流れの断面積、 q_{in} : 単位長さ(Δx)当たりの側方流入量、 h : 水深、添字 j は混合における粒径 d_j の粒子に対する物理量、 C : 浮遊砂の濃度、 q'_{bin} : 支川等からの横流入浮遊砂量、 B_0 : 川の断面幅、 v_s : 浮遊砂粒子の沈降速度、Rubey(1933)の式を用いた。 E_s : 浮遊砂の連行係数、 C_s : 底面近傍の浮遊砂(体積)濃度、水深方向の濃度分布式は Lane-Kalinske 指数型の式(1941)を用いた。 z : 基準面からの河床位、 λ : 河床堆積土砂の空隙率、 G : 全流砂量、 q_{bin} : 単位長さ(Δx)当たりの側方からの流入土砂量、 δ : 交換層の厚さ、 p_j : 粒径 d_j の粒子が河床(交換層)に存在する割合、 p_{1j} : 交換層の直下の原河床に存在する割合、 ϵ : 係数、堆積の場合は1、侵食の場合は0である。 i_f : 摩擦損失(又はエネルギー)勾配、 i : 水路勾配、 R : 径深である。そして、横流入あるいは横流出の流速 $v_s = v$ とする。

2.2 流砂量式

従来よく使われている幾つかの流砂量式について予め検討を行った。その中から、混合粒径の扱いに適し、解析対象となった寿豊溪流域の勾配範囲にも適用できる芦田・高橋・水山の式(掃流砂量式)及びGary Parkerら²⁾の式(浮遊砂の連行係数式)を選んだ。

2.3 計算条件

昨年度の結果によって、土砂の供給方式に関わらず、材料の粒度分布が同じであれば、計算区間の下流端から算出される流出土砂量はほぼ同じであることが判明しているため、土砂の供給条件を単純化している。上流と側方の境界から濃度一定の土砂量を供給し、以下のように三つのケースを行った。①水のみ、②河床と同じ粒度分布の材料を供給する、③河床材料より細かい土砂を供給する。

3. 計算結果及び考察

3.1 土砂濃度について

計算結果の一例として、ケース③における土砂濃度の变化を図-1 に示す。2.3 の計算条件で現段階のモデル、流砂量式を用いた場合、寿豊溪における地形、水理条件では、 $8.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ の土砂供給量によっても、最大濃度は0.06に達せず、各個運搬と見なせる程度の濃度であることが分かった。

3.2 粒度分布について

河床表層の平均粒径变化を図-2 に示す。そして、図-3 は出水前に測定された計算区間内各断面の勾配、川幅及び標高であり、計算の初期値として与えられた。図中の点線で囲まれた3箇所は、河道の河床勾配急変点、拡幅部など流速の減少する地点である。これらの場所で浮遊砂が急速に堆積するという従来より指摘されきた特徴が、図-2 に示された計算値に現われている。支流の合流などの影響が大きい上流側の数 km を除いて、計算結果は観測値を再現している。

3.3 河床変動について

計算区間内の河床位变化を図-4 に示す。一次元・直線化した河道モデルにおいては支川の影響は表現できないが、供給土砂材料の粒度分布を考慮した今回の解析によって、計算結果は現象をかなり再現することが分かった。

3.4 堆積・流出土砂量について

計算区間における堆積・流出土砂量の計算結果を表-1 に示す。下流端の流出土砂量の計算結果によると、供給土砂なし、掃流砂のみを考慮した場合は、均一粒径を使用した計算は混合粒径を使用したものより流出土砂量が多いことが分かった。また、供給土砂あり、掃流砂・浮遊砂両方を扱うケース②及び③では、計算結果はかなり実測値に近い。なお、供給土砂材料に関して、小さい粒径の含有率が多い場合には流出土砂量が多くなり、供給材料の粒度分布によって堆積・流出土砂量の計算結果は敏感に反応することが分かった。

4. まとめ

最低限の観測データを用いて極端降雨、大規模な土砂移動のある山地流域で、数値解析により河道内の土砂移動現象を再現することを試みた。崩壊地における（粒度分布、崩壊土砂量等）調査、下流における流量、土砂濃度観測が行われなかったため、詳しい比較はできないが、平衡流砂量式が組み込まれた現段階のモデルで、洗掘・堆積及び粒度分布について、ある程度現象を反映した結果を得ることができた。

参考文献 (1)黄・鈴木・太田：台湾東部・寿豊溪を対象とした河床変動計算、平成9年度砂防学会研究発表会概要集, 1997, p. 174-

175(2) Garcia, M., Parker, G. "Entrainment of bed Sediment into Suspension" J. Hydr. Engrg., ASCE, 117(4), 1991, pp. 414-435.

表-1 土砂量の計算結果

	Case	代表粒径	上流供給量 m^3	側方供給量 m^3	全供給量 m^3	堆積土砂量 m^3	流出土砂量 m^3
掃流砂のみ	①	均一粒径	0	0	0	-1490893	1490893
掃流砂のみ	①	混合粒径	0	0	0	-1211368	1211368
掃流+浮遊砂	①	混合粒径	0	0	0	-3386886	3386886
掃流+浮遊砂	②	混合粒径	788159	7750196	8538355	4757534	3780821
掃流+浮遊砂	③	混合粒径	788159	7750196	8538355	4660661	3877694
観測及び推測値					約 8500000	4681132	> 3800000

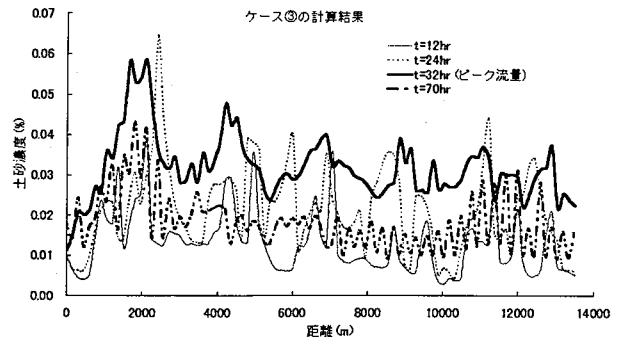


図-1 土砂濃度変化

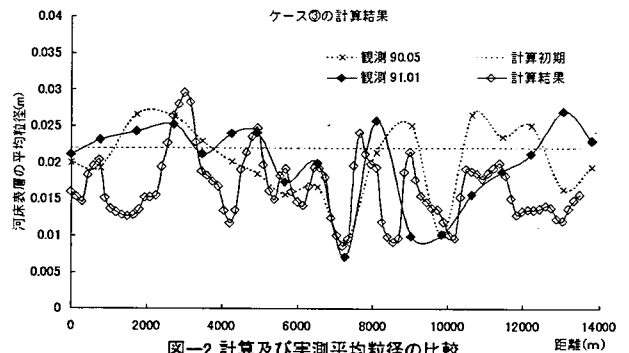


図-2 計算及び実測平均粒径の比較

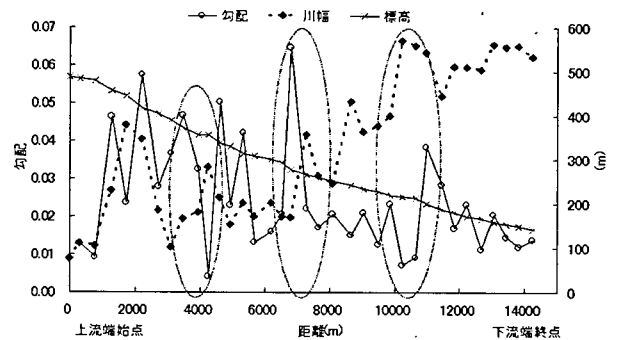


図-3 計算区間内各断面の勾配、川幅及び標高

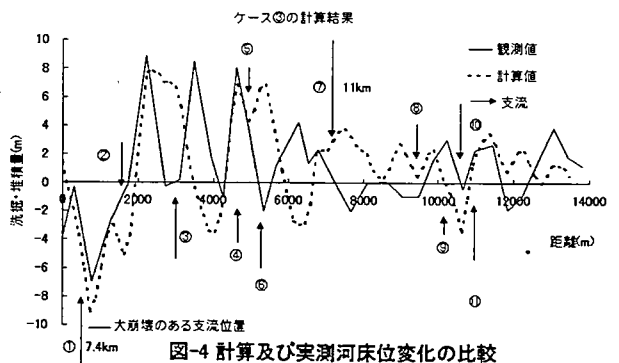


図-4 計算及び実測河床位変化の比較