

河川水系全体における土砂動態のモデル化に関する基礎的研究

Basic Study on the Synthetic Model of Sedimentation in a Whole River System

砂田憲吾*・長谷川 登**

By Kengo SUNADA, Noboru HASEGAWA

This paper presents the results of the basic study on the new synthetic model which can be used for predicting sedimentation in a whole river system. First, a conventional model of sedimentation is applied to the small basin, Haruki River (21km^2) which is a tributary of the Hayakawa River (509km^2), then sensitivities of the model parameters, estimation of sediment yield and time scale to be taken for calculation are examined. Next, the new model of sedimentation using GIS (Geographic Information System) is applied to the same sub-basin, and capabilities of the method for extending to large basin are discussed.

Keywords: river planning, sedimentation, GIS, river system

1. はじめに

流域の開発や河川環境整備の進展に伴って、流水の管理と同時に流送土砂や河道・河床のより高度な管理が望まれる。このためには従来からの各種の河床変動予測解析が基本になるものと考えられるが、究極的には水系全体の土砂動態を一括してとらえる必要がある。土砂動態はこれまで個別の支川を中心に調べられてはいる¹⁾が、下流域もしくは水系全体への接続・拡張の点からは問題も残されている。土砂の生産、流出、堆積に関わるパラメーターは多く、地域性個別性を重視せざるを得ない状況があった。近年、国土数値情報をはじめとするGIS(Geographic Information System: 地理情報システム)が進歩し、地形・地被・表層地質などの分布情報を直接考慮することが可能になってきている。本研究では、これらの分布情報を用いたメッシュベースの物理モデルを基本として水系全体における新しい土砂動態のモデル化を考えている。

ところで、この種のモデルを構成しようとする場合、土砂生産量の推定、擬似的に導入される河道網の等価性、諸パラメーターの感度、解析時間間隔など多くの問題がある。本論文はモデル化のための基本的な枠組みを得るために、これらの問題点について検討したものである。後述するように、水系全体での検討対象例としては図-1に示すような富士川支川の早川水系(流域面積 509.1km^2)を考えている。最終的には早川水系を対象に検討するが、いきなり水系全体を取り扱うのではなく、早川水系内で比較的データの整っている春木川(流域面積 20.8km^2)を対象として、従来の地形を重視したモデル、続いて数値地形情報を用いたモデルを用いて前述の問題についての基礎的検討を行う。

* 正会員 工博 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科
** 学生員 山梨大学大学院 工学研究科土木工学専攻
(〒400 甲府市武田4-3-11)

2. 従来型モデル（モデルⅠ）による検討

まず、従来から行われている地形図を基本とした土砂動態モデル¹⁾を再構成し、諸パラメータの感度、解析時間間隔について検討する。

2. 1 従来型モデルの基本構成

(1) 土砂生産量の推定： 土砂生産は土砂動態モデルで最も基本となるが、多くの要因に支配されるためまだ一般的な計算方法は確立されていない。ここでは、崩壊量と日雨量についての経験的な関係¹⁾を参考に単位面積当り土砂生産量： V ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{hr}$) を雨量強度： r (mm/hr) の関数として(1)式のように表し、最適な係数を計算結果から逆算することにする。土砂生産は日雨量100mm以上の降雨により発生するものとしている。

$$V = \beta_1 \cdot r^2 \cdots (1)$$

(2) 土砂移動モデル： 春木川を地形図を基に一次谷ごと流域分割した水系モデル（図-2）を設定し、(1)式から流域斜面ごとの時間当り土砂生産量を考慮する。土砂移動量を決める流出量の推定には流出関数法を用い、流出量は各流路ブロックの境界点で計算する。流路ブロック内は等流と仮定して流砂量計算に必要な水理量を計算する。流水による土砂輸送は、河床勾配 θ による土砂流送形態区分により、 $\theta > 15^\circ$ のときには通常は土石流として取り扱われるが、ここでは土石流の流送形態は考慮せず、生産された土砂のみが全て下流の流路ブロックに流入すると仮定する。 $\theta < 15^\circ$ の場合には掃流状態と見なし山地河川の掃流砂量式²⁾により流砂量を計算する。モデルでは河床勾配は常に元河床に等しいとし、土砂供給による河床勾配の変化は考えていない。

(3) 河道モデル： 河道での土砂量を算定するための河道モデルは、実河川の実態を損なわない程度に分割して近似した一様断面直線水路の集まりに置き換えたものを用いる。春木川では本川上に砂防施設が連続的に設置されていることから、砂防施設間での分割を基本にモデルを設定した。また支川については各支川ごとに一様断面直線水路を設定した。

(4) 諸数値の設定： 土砂の粒径、密度、内部摩擦角、河床の粗度係数等の諸数値は流域内で一定と仮定し、土砂の平均粒径と河床の粗度係数については現地調査による値を用い、その他の諸数値はこれまでの研究³⁾を参考に通常考えられる値を推定して与える。

以上の土砂生産モデル（土砂生産関数、水系モデル）、土砂移動モデル（流砂量式、流出関数法）、河道モデルを組合せ土砂動態モデルを構成する。

2. 2 河床変動計算結果

1988年12月～1989年12月間を解析対象期間とし、モデルによる河床変動計算値と測量結果とを比較した。土砂生産関数の係数 $\beta_1 = 0.1$ のとき図-3のような結果となる。簡単な仮定に基づいているにもかかわらず妥当な結果が得られた理由としては、本川筋には崩壊地があり、比較的連続した土砂供給があり、粒径にも大きな変化がないことなどによるものと考えられる。

2. 3 諸パラメータの感度

対象流域を拡大する際には諸数値の設定に必要な精度や河床変動への影響の度合を知る必要がある。図-4は各パラメータのうち重要な土砂の平均粒径(d)、土砂の密度(σ)、河床の粗度係数(n)の計算結果に対する感度を調べたものである。図の E_0 は図-3における河床変動計算値の誤差、 E はあるパラメータ

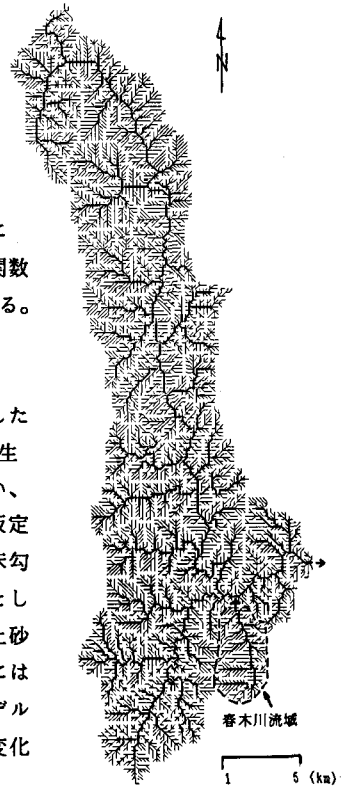


図-1 早川流域

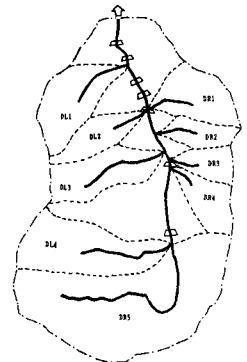


図-2 水系モデル

の値の設定をPにした場合の計算誤差、 P_0 は図-3におけるパラメータの設定値(基準値： $d_a=5\text{cm}$ 、 $\sigma=2.6\text{g/cm}^3$ 、 $n_a=0.04$)である。密度 σ は感度は高いが値そのものの変動が小さい。一方、平均粒径の設

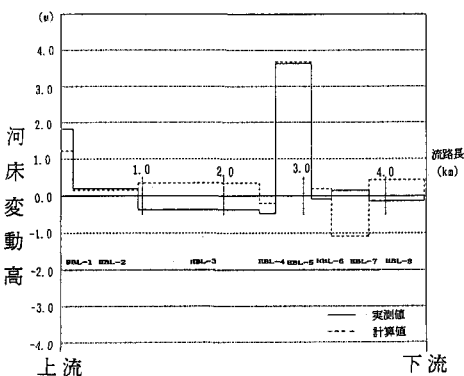


図-3 計算結果(モデルⅠ)

定値が2cm変わると約2倍の誤差を生ずることが判る。広くて多様な水系全体への適用では、平均粒径設定に十分な考慮が必要である。

2. 4 解析時間間隔

本モデルは時間単位を基準に検討を始めたが、水系全体への拡張と砂防施設計画などの評価を行うには計算効率の上から基準時間スケールの増大も検討する必要がある。雨量、流量とも6、12、24 時間平均の値を与え、各時間設定による計算誤差の時間単位のモデルの誤差に対する比 E/E_0 を調べると図-5 になる。同図より12時間単位では誤差が急増しており、6 時間平均までの簡単化が考えられる。

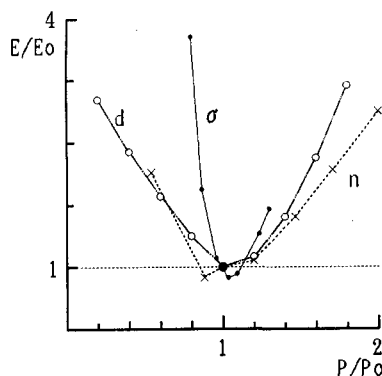


図-4 パラメータの感度

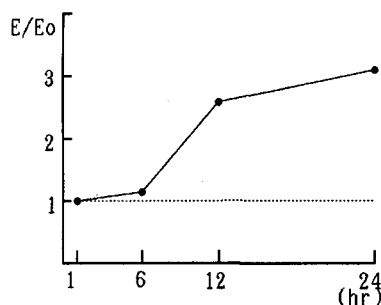


図-5 解析時間間隔

3. GISを用いた土砂動態モデル(モデルⅡ)

従来型の土砂動態モデル(モデルⅠ)では地形や地被、表層地質などの分布情報は考慮しにくく、また水系全体への拡張、あるいは他水系への適用の点では効率が悪い。そこで各種分布情報を考慮するためGISを基にした土砂動態モデルを検討した。GISには国土数値情報の標高データ(KS-110)を用いる。この標高データは約250m間隔のメッシュ点ごと標高データが整備されている。このメッシュ点標高のデジタルマップと、実河道をデジタルマップ上に近似した実河川データとを基に、流路モデルとして後述する擬河道網(図-1)を生成し、計算モデルを適用し土砂動態モデルを構成する。以下、モデルの基本構成について述べる。

3. 1. モデルⅡの基本構成

モデルⅠ(従来型モデル)と同様に時間単位の降雨強度とその時系列を与え河床変動を計算するが、全ての計算モデルは流路モデルとしての擬河道網上に設定される。モデルⅠとは以下の点が主に異なる。

(1) 土砂生産量の推定: 標高データを基に地形条件を考慮し、(1)式を拡張して、斜面の平均勾配 θ (deg) との関数として新たに(2)式のように表す。斜面平均こう配は各メッシュ点と周囲8点とのこう配を平均して与える。

$$V = \beta_2 \cdot \theta_s^\circ \cdot r^2 \cdots (2)$$

ただし、ここでは $c=2.0$ とし、係数 β_2 は計算により最適な値を逆算する。

(2) 擬河道網による流路モデルの設定: 流路モデルには落水線図による擬河道網を用いる⁴⁾。標高データをもとに、ある点の流水は周囲8点とのこう配が最大になる方向に流れると仮定して全ての点での流れ方向を追跡することにより、流域斜面の流下方向を自動的に算出する。本川については地形図よりメッシュ

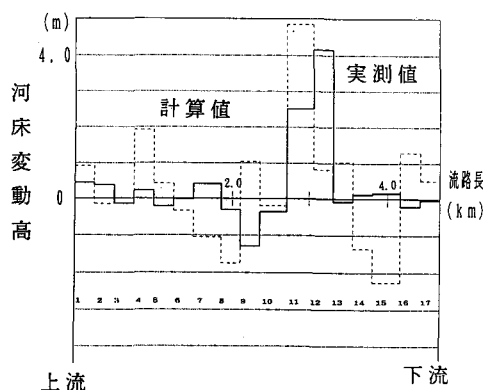


図-6 計算結果(実測川幅による)

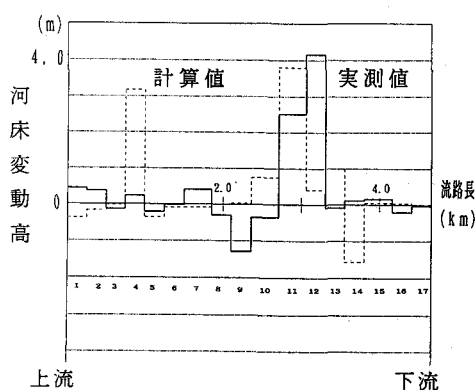


図-7 計算結果(推定川幅による)

点を通るよう近似し、あらかじめ通過位置、河床標高、河床こう配を入力しておく。以上の方法で得られた落水線に幅広矩形断面をもたせ河道モデルとなる擬河道網を構成する。河道幅の推定には(3)式の陸らによる河道幅の推定式を用いた。

$$b = B_0 \cdot A_m^k \quad \dots(3)$$

ここに、 b : 各メッシュ点における河道幅、 A_m : 各メッシュ点での集水面積、 B_0 、 k はパラメータでここでは $B_0 = 12.0$ 、 $k = 0.5$ を与えた。また春木川本川に相当する擬河道の川幅は実測値より設定した。

3. 2 計算結果とモデルの拡張性

以上によりモデルⅡを構成し、前述の期間での河床変動計算を行った。モデル河道の川幅、河床こう配については河床測量の実測値を与えた場合の結果は図-6 のようになる。計算結果は春木川本川での河床変動の傾向を比較的良好に再現している。モデルⅠによる計算結果(図-3)と比較してもほぼ同様の結果が得られている。一方、今後モデルの適用範囲を拡張する場合には実測に頼るのは煩雑になるため、続いて、川幅と河床こう配の推定方法の検討を行った。川幅については(3)式で設定したモデルにより行った計算結果は図-7 のようになり、この場合にも実際の河床変動の特徴を表現している。川幅には(4)式の推定式が適用できると考えられる。他方、河床こう配の設定を実測によらず、擬河道河床標高から求めた場合は河床こう配は実際のものより大きくなり、実河川に相当する擬河道のこう配の与え方には注意が必要である。

4. おわりに

水系全体の土砂動態モデルの構成に関していくつかの基礎的検討を行った。その結果、土砂生産としては比較的単純形式での推定が可能なこと、土砂粒径の推定精度が重要なこと、時間間隔は増大(6 hr程度まで)が可能なこと、GISによる擬河道網の利用では川幅の設定に比較して河床勾配のよりの確実な見積が必要であることなどが分かった。水系全体として整合性のあるモデル化、単純化のためには更に検討すべき点も残されている。ここでの検討によれば、広範囲な早川水系へのモデルの適用に見通しがつけられたと考えている。

最後に、解析に協力された当時学生の高橋聡尚氏(現大成建設)に、また貴重な現地資料を提供された建設省富士川砂防工事事務所に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高秀秀信・九津見生哲・藤沢寛：水系における土砂動態システムについて，第27回水理講演会論文集，pp. 767-772，1983年2月。
- 2) 水山高久：土石流から掃流に変化する勾配での流砂量，新砂防，116，pp. 1-6，1980年8月。
- 3) 芦田和男・高橋保・水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究，新砂防，107号，pp. 9-17，1978年4月。
- 4) 陸受皎・小池俊雄・早川典生：分布形水文情報に対応する流出モデルの開発，土木学会論文集，第411号/Ⅱ-12，pp. 135-142，1989年11月。