

国土数値情報に基づく山地河川水系全体における 土砂動態のモデル化の試み*

砂田憲吾**・長谷川 登***

水系全体の土砂動態のモデル化をめざして検討を行った。斜面こう配などの流域特性の分布を直接考慮するために、国土数値情報に基づく擬河道網を用いる新しいモデルを構成し、地形図を用いる従来型のモデルによる場合と比較しながら、まず、小流域を対象として河床変動計算を行い、土砂生産量の推定、擬河道網の等価性などについて吟味した。提案されるモデルを富士川支川早川水系全体(509 km²)に適用した結果、流域特性に関する客観データのみによる水系土砂動態のモデル化の基本的可能性が得られた。

Key Words: *sediment routing, digital elevation model, pseudo channel network, river system, river planning*

1. はじめに

流域の開発や河川環境整備の進展に伴って、各河川では流水と同時に流送土砂や河床のより高度な管理およびこれまで以上の合理的な計画が求められている。このためには、従来からの区間的な各種の河床変動解析の精度向上と共に水系全体の土砂動態を一括して評価・予測する手法の開発をめざす必要があろう。この問題は以前から提起されてきており^{2)~4)}、各方面でこれまで主に個別の支川を中心に土砂移動の実態調査も行われてきた。特に建設省は砂防河川を対象として土砂動態に関する全国的な調査を進めている⁵⁾。最近では、橋本ら⁶⁾や高秀ら⁷⁾が河床高・ダム堆砂量資料をもとに支川水系単位での土砂動態の把握を試みている。これらの研究では、従来からの土砂輸送式を総合的に適用することにより、妥当な土砂収支の算定が可能であることを示す重要な結果が得られている。しかしながら、支川水系網の評価や主要な外力である降雨・流量の強度についての時間的経過などの考慮が必ずしも十分ではないため、下流域もしくは水系全体への接続・拡張、さらには予測の点から問題も残されている。土砂動態に関わる土砂生産、輸送、堆積過程に関する現象や条件は多く、それらは流域内の斜面、植生、表層地質、河道などの特性とその分布状態に支配されるため、各条件の適切な評価方法が必要となる。

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、地形や地被や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。すでに、GIS を用いた中小

流域規模での山腹斜面特性の評価とその利用についてはこれまでもいくつかの研究が進められている。たとえば、沖村ら⁸⁾は数値地形モデルを用いて、表層崩壊発生位置予測法を提案しており、久保田ら⁹⁾は、数値地形と AMeDAS データとを組み合わせ土石流発生危険度判定図の開発を試みている。本研究では、流域の土砂の管理と計画のために、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土砂動態のモデル化を構想する。

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、平均化空間スケールなどいくつかの問題が生ずる。本研究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。ただし、問題の設定を単純化させ、今後の研究の基礎と位置づけるために、ここでは山地河川水系に限定して考える。

水系全体での検討対象例としては、図-1 のような富士川支川の早川水系(流域面積 509.1 km²)を最終的に考えるが、同水系内で比較的データの整っている小支川の春木川(流域面積 20.8 km²)を対象としてまず基礎的検討を行う。すなわち、小流域において従来の地形図を重視したモデル、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吟味の後に、水系全体での土砂動態のモデル化を議論する。

2. モデルについての考え方

生産土砂・流出土砂やその収支に関する計画論からは、わが国の例では、数 10~数 100 km² 以上の規模の流域での数万~数 100 万 m³ の土砂量の評価が要求される。一方、関係する現象は微細な過程を含む多様な時空間スケールで生じている。降雨強度やその空間分布、土砂の生産・流送過程やその間欠性さらには表層地質・地

* 本論文の内容の一部は既発表¹⁾であるが、本編はその後の研究成果を加えて取りまとめたものである。

** 正会員 工博 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科
(〒400 甲府市武田 4-3-11)

*** 正会員 工修 電源開発(株)原子力土木建築課
(〒104 東京都中央区銀座 6-15-1)

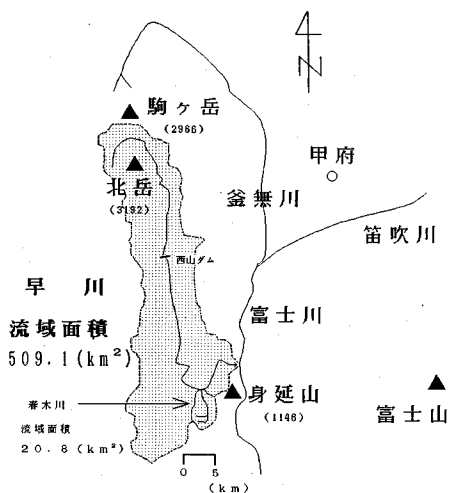


図-1 富士川支川早川水系

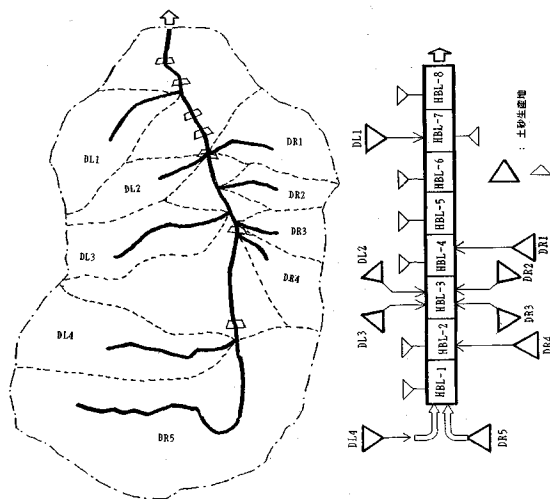


図-2 春木川流域の分割と河道モデル

被状況の変化過程など厳密な記述が困難な現象が少なくない。水系のマクロ的な土砂動態の把握と詳細な現象記述とを敢えて結合させようとする立場に立って、そのモデル化の視点を明らかにしておきたい。

まず、顕著な河床変動は、ある値以上の降雨強度に対応する出水に対して生起するとして、その期間のみを対象とするが、その流量の時系列を重視する。すなわち、現象の物理性をより明確に与えるための「水深」を流量時系列と河道要素から求めることを基本とする。このために、これまで蓄積のある時間単位の降雨量・水文情報を基礎として、250 mの空間解像度を基準に流域諸特性の「分布」を考慮する。モデルはできるだけ単純な仮定や線形関係の導入から始め、種々のサブモデルの合成により全体モデルを構成する。そうすることにより、地域特性を先験的に考慮することなしに、土砂動態シミュレーションを行うことをめざす。すなわち、流域客観データが入手できさえすれば、実測資料が乏しい地域や発展途上国の必要地域などでの1次近似的な適用も可能であると考えている。また、後述するように、検討の過程では土砂移動の評価の目的に応じて平均化可能な時間空間スケールについても調べられる。さらに、サブモデルはいわばパーツとして交換が可能であり、将来の検討結果によってモデルを充実、発展させることができる。

3. 小流域における従来型モデルの適用と検討

初めに、従来から行われている地形図を基本とした従来型の土砂動態モデルを橋本ら⁶⁾や高秀ら⁷⁾の研究をもとに再構成する。対象とする富士川支川早川水系(図-1)は、流域中央部を糸魚川-静岡構造線が通り、脆弱な地質にとまう多数の崩壊地が分布し、多量の土砂を富士川に供給している。この水系の支川春木川は、上流部に七面山の大崩壊地をかかえていることもあり、継続

的な砂防事業とともに、詳細な河床・流送土砂調査と解析が行われてきている^{10),11)}。モデル検証の規準としては降雨強度とその時系列を与えての春木川本川での河床変動の再現性を調べることにする。

(1) 従来型モデルの基本構成

a) 土砂生産量の推定

土砂動態モデルで最も基本となる土砂生産量ではあるが、その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マクロな経験的な関係⁷⁾を参考に、単位面積当たり土砂生産量： V ($m^3/km^2/hr$)を降雨強度： r (mm/hr)の関数として式(1)のように表す。

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

土砂生産は日雨量100 mm以上の降雨により発生するものとし、係数 β_1 の最適値は計算結果から逆に推定することとする。

b) 河道の近似

春木川流域を1/25 000地形図をもとに一次谷ごとに流域を分割して支川・本川河道モデル(図-2)を設定し、1/3 000平面図により河道要素を計測する。各分割流域の中間点に式(1)で与えられる流域斜面ごとの時間当りの土砂生産量を集中して与える。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。春木川では本川内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。各支川ではそれぞれに一様断面直線水路を設定している。

c) 流出量の推定

流送土砂量の算定に用いる流出量の推定には式(2)で表される流出関数法を用いる。

$$Q = 0.2778 f \alpha \int_0^{\infty} r(t-\tau) \tau \cdot \exp(-\alpha \tau) \cdot d\tau \dots (2)$$

ここに、 Q ：懸案地点での流出量 (m^3/s)、 A ：流出量計算地点での集水面積 (km^2)、 r ：降雨強度 (mm/hr)、 t ：時間、 $\alpha=1/T$ 、 T ：流出の遅れ時間 (hr)、 f ：流出係数 (0.6を設定)である。遅れ時間 T (hr) には吉野ら¹²⁾の提案式 (3) を用いる。

$$T=1.67 \times 10^{-3} (L/\sqrt{I})^{0.7} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 L ：流域最遠点から流量計算地点までの流路長 (m)、 I ：平均流路勾配である。小流域のこの場合では流域下流端で T は約 1.2 hr 程度になる。流出量は各流路ブロックの境界点で計算し、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量を計算する。地形条件だけから決まる遅れ時間式 (3) と、式 (2) の線形応答関数を用いるのは、降雨強度と流域面積のみで任意地点で流出量が設定でき、後で導入される河道網の追跡処理方法に対応して簡便な取扱いができるからである。

d) 土砂移動

流水による土砂輸送は、河床の傾き 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¹³⁾ (4) により流砂量を計算する。

$$\frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}} = \frac{12-24\sqrt{i}}{\cos\theta} \tau_*^{(1.5-\sqrt{i})} \times \left(1 - \alpha^2 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \alpha^2 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \dots \dots \dots (4)$$

ただし、

$$\alpha = \frac{2(\mu_f - S/(S-1) \cdot \tan\theta)}{1 - S/(S-1) \cdot \tan\theta}$$

$$\tau_{*c} = 0.04 \times 10^{1.72i}$$

ここに、 q_B ：単位幅あたりの掃流砂量 (cm^3/s)、 σ ：砂礫の密度 (g/cm^3)、 ρ ：水の密度 (g/cm^3)、 d ：砂礫の粒径 (cm)、 θ ：河床の傾き (角度)、 $i = \tan\theta$ 、 τ_* ：無次元掃流力、 $\mu_f = 0.425$ 、 $S = \sigma/\rho$ である。

この段階で、モデルでは区間ごとの河床勾配は元河床のそれと等しいとした。これは流入土砂量が初期の地形と支川の分布と流量で決まるといふ、短期的な小規模な変動に対してのみ許される仮定であるが、簡単のために用いた。長期の大規模な河床変動計算では実測値または計算値をもとに河床勾配を逐次設定する必要がある。

e) 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¹⁰⁾を参考に通常考えられる値を推定して与える。パラメータの設定は基準値として、 $d = 5 \text{ cm}$ 、 $\sigma = 2.6 \text{ g/cm}^3$ 、 $n = 0.04$ を与えた。

以上の土砂生産量 (土砂生産関数)、近似河道系 (地

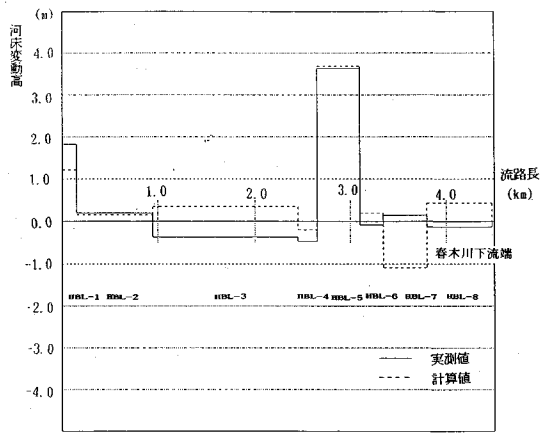


図-3 春木川河床変動計算結果 (従来型モデル)

形計測)、流出量推定式 (流出関数法)、土砂移動推定 (掃流砂量式) を組合せ土砂動態モデルを構成する。

(2) 河床変動計算結果

1988年12月～1989年12月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が $\beta_1 = 0.1$ のとき図-3のようになり、下流部区間を除き、計算による河床上昇・低下の分布状況は実測に類似した傾向を示す。本モデルが、前述のような簡単な仮定に基づいているにもかかわらず妥当な結果を与えた理由としては、本川筋の崩壊地による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流域が用いられた仮定に近い状況にあったことによるものと考えている。

比較的良好な結果を示したこの従来型モデルのもとに、筆者らはこれまでに、モデルに設定されるパラメータ値 (砂礫粒径、砂礫密度、河床粗度係数) が河床変動計算結果に及ぼす感度や、解析に用いる基礎時間間隔について検討している¹⁾。その結果、砂礫粒径設定の影響が大きいこと、流量合成など流域内時間遅れを考慮する必要がないときには6時間平均程度までの計算の簡略化ができそうであることなどが得られている。

4. 小流域における擬河道網を用いたモデルの検討

従来型の土砂動態モデルでは地形や地被、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。代表的な GIS として国土数値情報の標高データ (KS-110) を用いて、数値地形図による地形表現を試みる。この標高データは約 250 m 間隔のメッシュ点ごとの標高が収録されている。このメッシュ点標高のデジタルマップと、本川・主要支川河道をデジタル

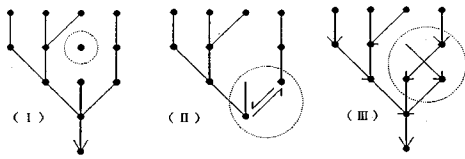


図-4 落水線の作成とチェック

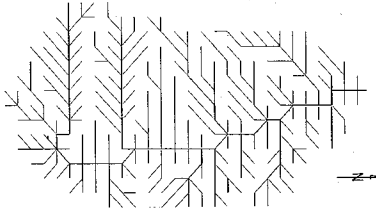


図-5 春木川流域擬河道網

マップ上に近似した実河川データとを合成し、後述する擬河道網を生成する。その擬河道網に沿ってあらたに土砂動態モデルを構成する。

(1) 擬河道網の生成

数値地形図として地形を表現する方法はいくつか提案されている。立川らは¹⁴⁾次の3つの方法に分類している。1) 等高線図モデル：地形の詳しい表現ができるが、煩雑な作業を要する、2) 三角形網モデル：立体幾何形状を三角形を用いて柔軟に表すが、適切なデータ補足と処理が必要、3) グリッドモデル：等間隔メッシュ交点での標高のみで地形を考慮する。これらは互いに長短があり、目的に応じて選択されるべきものである。本研究では、データの整備と処理が比較的簡単であること、GISを直接反映できること、研究事例が多いことなどの理由からグリッドモデルを用いることにした。分布型洪水流出モデルの構成を行った陸ら¹⁵⁾のモデルを参考に、落水線により流域斜面特性と擬河道網を近似的に表現する。

落水線は、「ある格子点付近の流水は、隣接する8格子点との勾配が最大となる方向に流下する」という仮定に基づき、格子点上の数値標高をトレースすることにより自動的に追跡される。落水線は、すべての格子点より流域出口に到達し、流下方向は反向せず、格子点以外では交差しない、の条件を満たす必要がある(図-4)。実際の計算では窪地がある場合など、これらの条件が満たされないことが生ずる。その場合には実河川・支川の位置、標高を最も近い格子点に近似して入力しておく必要も生じる。流域内各地点での集水面積は、すべての点からの落水線を流域出口までたどることにより、その通過頻度から求めることができる。

落水線を近似的に河道とみなし、それらのネットワークを擬河道網と呼ぶことにすれば、支川春木川流域での擬河道網は図-5のようになる。早川水系全体では後掲の図-8のように擬河道網が表される。

(2) 擬河道モデルの構成

従来型モデルと同様に時間単位の降雨強度とその時系

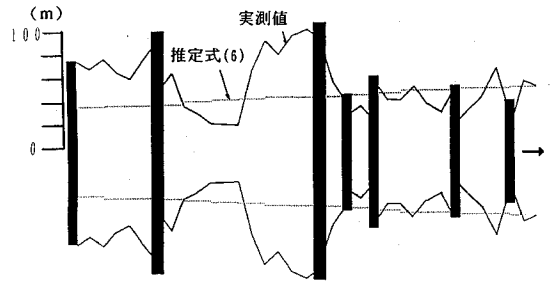


図-6 春木川本線下流部河幅

列を与え河床変動を計算するが、全ての計算は流路とみなされる擬河道網上で行われる。ここでは、擬河道モデルと呼び、従来型モデルとは以下の点が主に異なる。

a) 土砂生産量の推定

標高データを基に地形条件を考慮し、式(1)を拡張して、単位面積当り土砂生産量 V ($m^3/km^2/hr$) は雨量強度 r (mm/hr) と斜面の平均勾配 θ_s (deg) との関数として式(5)のように表し、各メッシュ点付近 ($250m \times 250m$) の生産土砂量を推定する。斜面の平均勾配は各メッシュ点と周囲8点との勾配を平均して与える。

$$V = \beta_2 \cdot \theta_s^c \cdot r^2 \dots \dots \dots (5)$$

ただし、ここでは吉松の研究¹⁶⁾を参考に $c=2.0$ とし、係数 β_2 は計算結果から妥当な値を逆算する。

b) 擬河道網による流路モデルの設定

流路モデルには、前節の方法で得られる擬河道に幅広矩形断面をもたせて河道を構成する。この河幅の推定には陸ら¹¹⁾による河幅の推定式(6)を用いた。

$$b = B_0 \cdot A_m^k \dots \dots \dots (6)$$

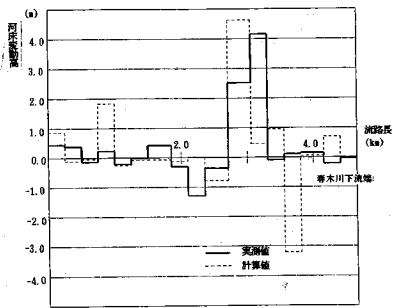
ここに、 b ：各メッシュ点における河道幅、 A_m ：各メッシュ点における集水面積、 B_0 、 k はパラメータで、ここでは $B_0=12.0$ 、 $k=0.5$ を与えた。

図-6は春木川下流部における推定式(6)と実測による河幅を表している。流域面積に較べ250mメッシュでの平均的取扱いは十分とはいえないが、本研究の目的からはこの程度の違いは容認されよう。

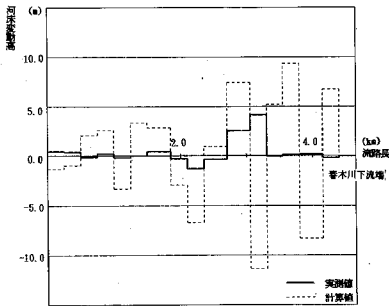
(3) 計算結果とモデルの拡張性

以上により擬河道モデルを構成し、前述の期間(88年12月~89年12月)での春木川の河床変動計算を行った。モデル河道の河幅、河床勾配の両者について河床測量による実測値を与えた場合の計算結果は図-7(a)のようになる。計算値と実測値との一致の程度は図-3の場合より劣るものの、実測値と同様な河床変動傾向を示している。

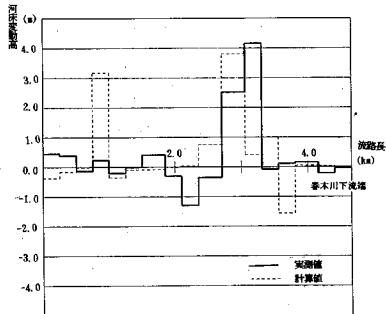
モデルの適用範囲を拡張する場合には実測に頼るのは煩雑になるため、続いて、河幅と河床勾配の推定方法の検討を行った。河幅については式(6)で設定し、河床勾配の設定を実測によらず、擬河道河床標高から計算で求めた場合について行った計算結果は図-7(b)のよ



(a) 河幅実測値, 勾配実測値を与えた場合



(b) 河幅推定値, 勾配推定値を与えた場合



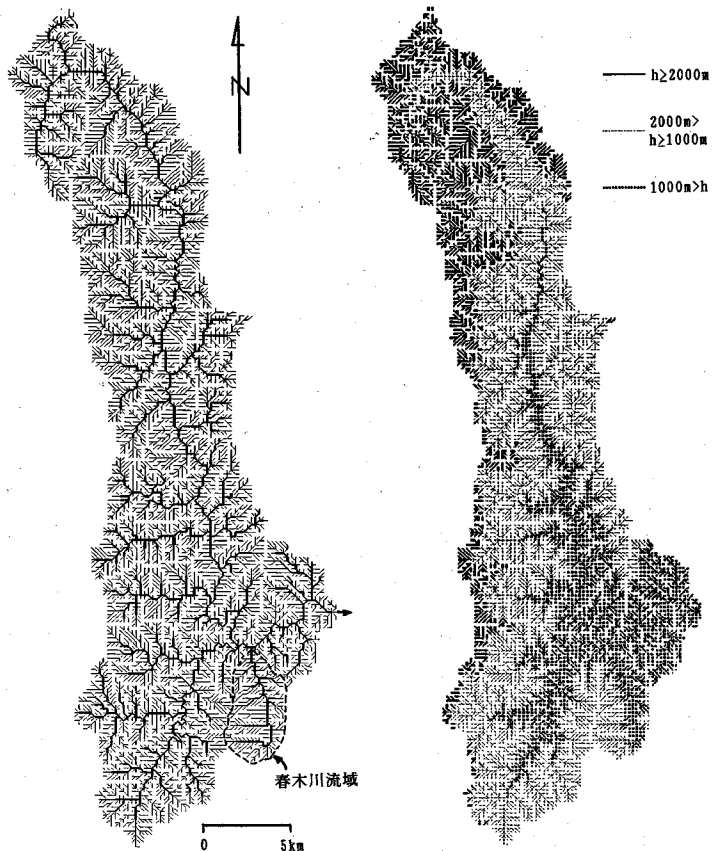
(c) 河幅推定値, 勾配実測値を与えた場合

図-7 春木川河床変動計算結果(擬河道モデル)

うになり, このままでは不相当である. 近似した河道長はメッシュ点間の距離 (250 m ~ 350 m) が用いられるので, 計算される河道の勾配は実際の河床勾配より大きくなるためと考えられる. そこで, 河幅には推定式を用い, (春木川) 本川勾配には実測値を与えて行った計算結果は図-7 (c) のようになり, とともに実測値を与えた場合 (図-7 (a)) に近い実際の河床変動の特徴を表している. 河幅には推定式 (6) が適用できると考えられるが, 河床勾配の設定が計算結果に与える影響は大きく, 擬河道とはいえ計算比較対象とする本川こう配はより精確に設定する必要がある.

5. 水系全体での擬河道網を用いたモデルの適用と検討

(1) モデルの拡充



(a) 擬河道網

(b) 流域内標高分布

図-8 早川流域擬河道網と標高の分布

上述のような擬河道モデルを基本に早川水系全体での土砂動態の検討を行う. 図-8 は用いた擬河道網および流域内の標高分布を示している.

対象を水系全体に拡大する場合, 降雨強度が地域的に変化し, 降雨流出や土砂生産に大きな影響を与えると考えられる. そこで流域内の硯島, 野呂川両雨量観測所, および流域外至近の八丁山雨量観測所の降雨観測値からティーセン法による支配面積で降雨分布を考慮した (図-9). 支川各地点での流量は式 (2) により直接算定されるが, 本川では図-9 に対応する区間ごとに 1 hr の遅れ時間を考慮して流量合成した. 図-10 はそうして得られた早川本川下流端での推定流量を示す.

モデルの水系全体への適用にあたり, 先の検討に基づいて, 早川本川・主要支川では測られた河床勾配を与えることにし, さらに以下の 3 項目について付加的にモデルの拡充について検討した.

a) 河床勾配の変化

河床勾配の変化は実河道に相当する擬河道で起こるとし, その変化を時間単位で考慮する. 各擬河道の平均河床変動量を中間点での変動量とし, 直上流の擬河道の中



図-9 流域内の降雨量分布の考慮

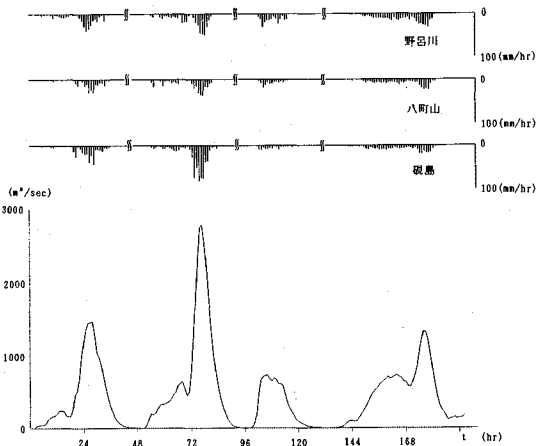


図-10 解析対象期間推定流出量(早川本川下流端)

間点変動量と直下の擬河道の中間点変動量とから新たに計算対象の上流の勾配と下流の勾配を計算し、その平均から対象区間の勾配を算定する。

b) 平均粒径の水系内分布の考慮

これまでに計算に必要なパラメータのうち特に土砂粒径 d の感度が高いことが判っている¹⁾。そこで水系内の各地点での土砂粒径を推定することを考え、Sternberg-物部の式をもとに式(7)により土砂の平均粒径を河床勾配 S より推定する。

$$d = \gamma \cdot S^{2/3} \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 γ はパラメータで、ここでは実測値をもとに d に cm の単位を用いて $\gamma = 13.8$ (cm) を与えた。

c) 砂防施設の取扱い

早川水系内には多くの砂防ダムが設置されているが、水系内全ての施設をそれぞれの諸元で表現するのは煩雑な作業となる。そこで図-11のように、砂防ダム設置位置をメッシュ点上に近似し、直上流擬河道の勾配を $1/2$ 倍、擬河道幅を 2 倍にして施設の影響を調べる。ま

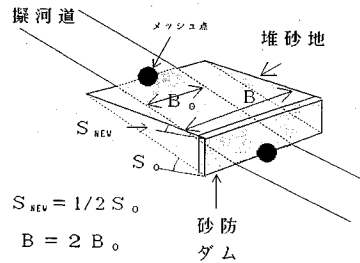


図-11 砂防ダムの考慮

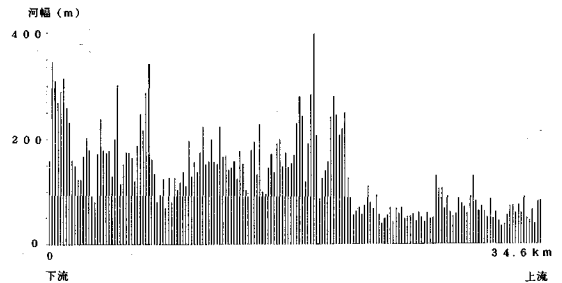


図-12 早川本川での実測河幅の分布

た流域内の雨畑、西山の大規模ダムからは土砂は流出しないとした。モデルでは現存する 40 基の砂防ダムと 2 基の多目的ダムを考慮した。

(2) 河床変動計算結果

a) 検証のための平均化スケール

基本モデルに以上の項目を考慮し早川水系の土砂動態を計算し、富士川との合流点付近の早川橋から西山ダムまでの区間約 35 km (図-1) を対象に河床変動測量の結果と比較する。計算対象期間は記録的な出水(台風 8210)を含む昭和 56 年 3 月～昭和 58 年 2 月である。

実測河床資料は縦断方向 200 m ピッチの縦横断測量の結果をもとに、平均河床高、河幅をあらためて詳しく計測している。この区間の河幅は図-12 に表されるようであり、特に、区間下流約 20 km 間は河幅の変化が激しい。ここでは、早川本川の河床変動計算を検証するが、その比較対照のための基準となる平均区間のスケールも問題となる。長区間の平均変動傾向の把握と、短区間でのより詳細な把握とはトレードオフの関係にあり、最適な評価区間スケールは定めにくい。実測河幅の変動特性からその目安を考察してみた。

200 m ごとに得られている河幅をもとに、連続 n 区間の平均河幅に対する変動係数を求め、その期待値 G を調べると図-13 のようになる。区間数を多くとるにつれて、当然のことながら変動係数は増大する。2, 5 区間平均ではその傾きが大きいが、10～20 区間程度になると G の傾きは急に緩くなり一定値をとる傾向にある。すなわち、10～20 区間長を境に河幅の変動係数の増加率が低くなるのが解る。従って、ここでは平均化区間の基本長さスケールとして 20 区間(約 6 km)を考

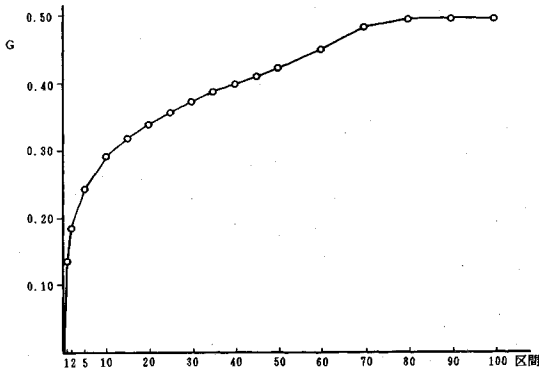


図-13 平均区間長と河幅変動係数の期待値

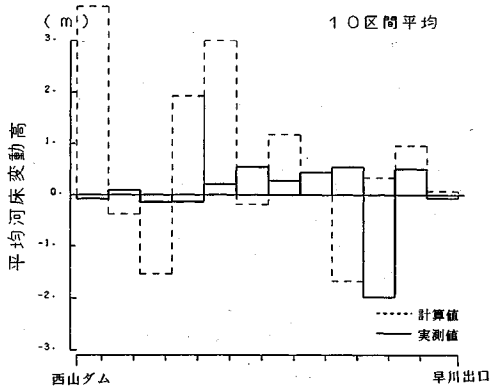


図-14 早川本川河床変動 (a, b, cは考慮せず)

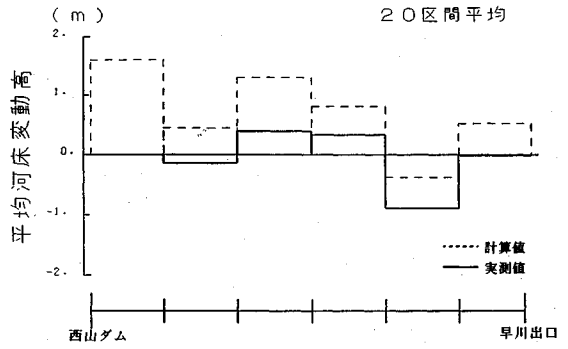


図-15 早川本川河床変動 (a, b, cは考慮せず)

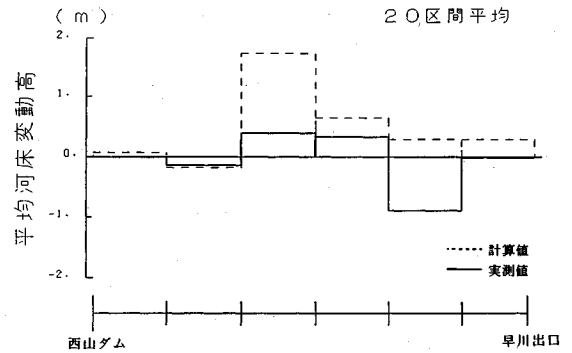


図-16 早川本川河床変動 (a, bのみ考慮)

ことにする。

b) 計算結果

まず、2章で述べた基本モデルのみに分布降雨を考慮して行った河床変動計算結果は、10区間平均(約3kmごと)で表せば図-14、20区間平均(約6kmごと)で図-15のようになり、計算値は実測値に比較して大きく堆積傾向を示した。これに対し、前節の2つの項目((1): a, b)を考慮した場合の計算結果は図-16のようになる。図-15に較べ、図-16の方が河床変動の量的な面からより妥当な結果となっている。図-17は図-16に対応する土砂収支図であり、平均区間ごとにボリュームで表されている。この段階で数値を詳細に吟味することは適当ではないが、小支川とはいえ春木川などが合流する、下流から2番目の区間で土砂流入量がやはり多くなっている。将来はこうした結果を用いて、支川ごと、溪流ごとでのモデルの細密化や検証にも役立てられよう。図-18はさらに支川での砂防ダムの影響も模倣的に考慮した場合の結果である。西山ダム直下流区間では、実際には洗掘が進み岩盤露出により河床低下が停止している状況が再現されていないが、そのほかの区間では実測とかなりよく似た傾向を示している。より実際に即したサブモデルの導入により、全体の土砂動態

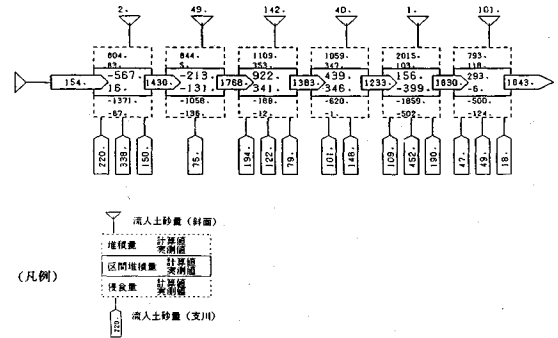
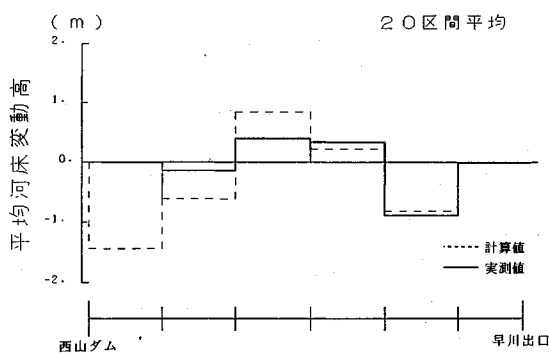


図-17 早川本川土砂収支図 (a, bのみ考慮)

シミュレーションの精度が向上している。

6. おわりに

水系全体の土砂管理と計画のための土砂動態システムの構成に関していくつかの検討を行った。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、GISによる擬河道網の利用では河幅の設定に比較して河床勾配のよりの確な見積りが必要であることなどが分かり、マクロなモデル化の際にも、より綿密な条件設定の必要性のあることが知れた。河幅の変動特性から定めた平均スケールをもとにモデルの検証を試みたところ、当然のこととはいえ、より実際現象に近いモデル化によ



図—18 早川本川河床変動 (a, b, cを考慮)

り着実にモデルの精度向上が得られることが確認され、500 km²程度の大きさの水系全体の土砂動態システムの構成に見通しがつけられたと考えている。

初期段階では不完全なモデルながら、各サブモデルの改善が容易に行える利点を生かして、各水系で発展的な「モデルの整備」が期待できる。その際、本論文ではまず地形情報のみを用いたが、GISの持つさらに広範な情報をいかに有効に利用していくかが今後の課題といえよう。

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）および栗田裕光氏（現栃木県庁）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) 砂田憲吾・長谷川登：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，水工学論文集，Vol. 37，pp. 135～141，1993.
- 2) 矢野義男：新砂防計画論（予報），新砂防，Vol. 36，No. 3，pp. 2～9，1983.
- 3) 砂田憲吾：河川中流部における土砂の諸問題（1），（2），新砂防，Vol. 42，No. 6，pp. 4～10，Vol. 43，No. 1，pp. 54～59，1990.

- 4) 芦田和男：土砂移動現象の予測・制御概説，土砂移動現象に関するシンポジウム論文集，pp. 1～8，1992.
- 5) 建設省河川局・土木研究所：砂防河川の土砂動態に関する研究，建設省技術研究会報告，pp. 525～565，1979，pp. 641～678，1980，pp. 563～582，1981.
- 6) 橋本 明・坂口哲夫・野島博次：土砂移動モデルの作成に就いて，第36回建設省技術研究会報告，pp. 855～860，1982.
- 7) 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.
- 8) 沖村 孝・中川雅勝：数値地形モデルのみによる表層崩壊発生位置予知の一手法，新砂防，Vol. 41，No. 1，1988.
- 9) 久保田哲也・正務 章・板垣昭彦：流域の任意地点における短時間降雨予測手法と土石流発生危険度判定図の開発，新砂防，Vol. 42，No. 6（167），pp. 11～17，1990.
- 10) 門間敬一：春木川の河床変動について，新砂防，pp. 46～52，1982.
- 11) 水山高久・井良澤道也・小林幹男・酒谷幸彦：山地河川における河床変動の実態，新砂防，Vol. 43，No. 4，pp. 27～32，1990.
- 12) 吉野文雄・米田耕蔵：合理式の到達時間と流出係数，土木技術資料，第15巻，第8号，pp. 3～6，1973.
- 13) 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.
- 14) 高棟琢馬・椎葉充晴・立川康人・大江郁夫：TIN-DEMを用いた流域場情報システムの開発，水工学論文集，Vol. 36，pp. 677～684，1992.
- 15) 陸 旻皎・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.
- 16) 吉松弘行：山腹崩壊の予測式について，新砂防，102号，pp. 1～9，1977.
- 17) 長谷川登・砂田憲吾・酒谷幸彦：砂防対象河川における土砂動態のモデル化に関する検討，土木学会第46回年講概要集II，pp. 614～615，1991.
- 18) 砂田憲吾・長谷川登・高橋聡尚：水系全体における土砂動態のモデル化に関する基礎的検討，土木学会第47回年講概要集II，pp. 106～107，1992.

(1993. 5. 24 受付)

STUDY ON A SYNTHETIC MODEL FOR SEDIMENT ROUTING IN A MOUNTAINOUS RIVER SYSTEM

Kengo SUNADA and Noboru HASEGAWA

This paper presents the results of the study on a new synthetic model which can be used for predicting state of sedimentation in a whole mountainous river system. First, a new model of sedimentation using the pseudo channel network obtained from DEM (Digital Elevation Model) is proposed in order to take distributions of slopes and hydrological conditions in a river basin into account. Next, the new model is applied to the small basin, Haruki River basin (21 km²), then capabilities of the model for extending to more large and complex river basins are discussed. Finally, the new model is improved for applying to the whole Hayakawa River system (509 km²) considering the spatial distribution of rainfall, effects of Sabo dams and so on. The results of the simulation of river bed variation show that potential of the new model is very high.