

2 天竜川上流域における土砂生産・流出の実態と解析

(財) 砂防・地すべり技術センター 松村和樹 菊井稔宏

アジア航測株式会社 ○小川紀一郎

建設省天竜川上流工事事務所 井良沢道也

1. はじめに

山地流域における土砂の生産・流出状況については、調査、実験等によりその実態が把握されつつある。砂防計画を立案する上で、将来ある条件で起こり得る土砂の生産・流出状況を予測することは重要な課題であるが、同時に未解明な部分も多く、決め手となるモデルの確立までには至っていないのが現状である。

そこで、筆者らは土砂生産を考慮した土砂追跡計算を行うことにより、山地流域における土砂生産・流出過程について、実際現象と比較検討することを試みた。

2. 研究方法

土砂生産・流出に関する推定方法は様々なものが提案されているが、本検討では流出土砂量の推定に途中河道の条件を反映させるために、河床変動計算による土砂追跡を行った。本来ならば流動する土砂の三次元モデルの開発が望まれるが、本検討では縦断方向における平均河床高の変動状況ならびに流出土砂量の把握を目的としているため、従来より利用されている二次元モデルを用いるものとした。

山地流域では洪水時には支川および側方から土砂生産による土砂供給があり、この量とタイミングは河床変動に対して重要な影響を与えている。このため、本検討では河道に対する土砂供給を表現できるようなモデルを用いるものとした。ただし、土砂生産に関しては検討する重要性がかねてより認識されているが、本検討においては未完成なため、生産土砂量については実績値を用いるものとした。

調査対象地は、我国有数の荒廃河川である天竜川水系小渋川の小渋ダム上流域295km²である。本流域の主要河道では定期的に河床縦横断測量が行われ、また小渋ダムでは流量観測ならびに貯水池堆砂測量が行われている。本検討を行うにあたり、流域を3次谷程度(約10km²)を単位として31流域に分割した(図-1)。ここで各流域の河道最下流点を流出土砂量のチェックポイントとしている。

3. 土砂生産・流出の実態

調査対象とした土砂移動は、昭和57年(1982年)の洪水である。本流域は昭和57年7月から9月にかけて台風10号、台風18号の到来に伴う豪雨のため、多量の土砂が生産され流出した。とくに台風10号の影響による7月31日から8月4日までの連続雨量は、南アルプス山岳地帯を中心に500mm~700mmにも達しており(図-2)、本川上流域一帯を中心として多数の崩壊が発生した。

各分割流域における生産土砂量の分布状況を示すと図-3のとおりとなる。ここで、生産土砂量は崩壊生産土砂量と低次谷生産土砂量とに分けて算出した。崩壊生産土砂量は新規・拡大崩壊面積に平均崩壊深を乗ずることによって算出した(1)。一方、新規に崩壊の発生した渓流では、渓床堆積物が侵食を受けたものと仮定し、0次谷、1次谷、2次谷を侵食区間として低次谷生産土砂量を算出した。

各分割流域における河床縦横断測量実施区間(昭和56年、57年実施)の河床変動量、ならびに砂利採取量を考慮して土砂生産・流出状況を把握し、土砂収支を行った(図-4)。これによれば、小渋ダムにおける

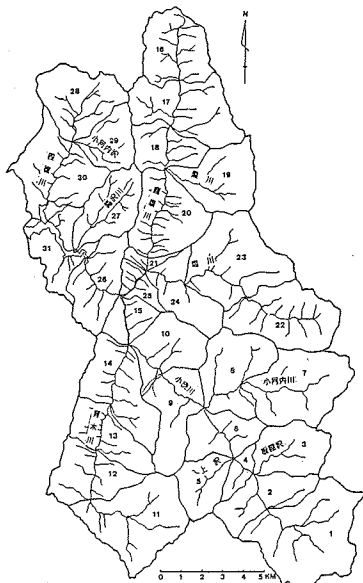


図-1 流域分割図(小渋川)

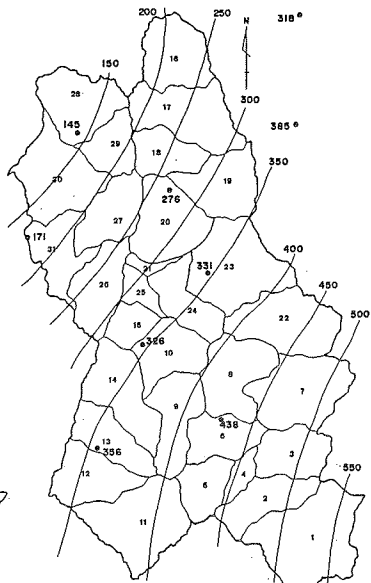


図-2 等雨量線図(昭和57年台風10号)

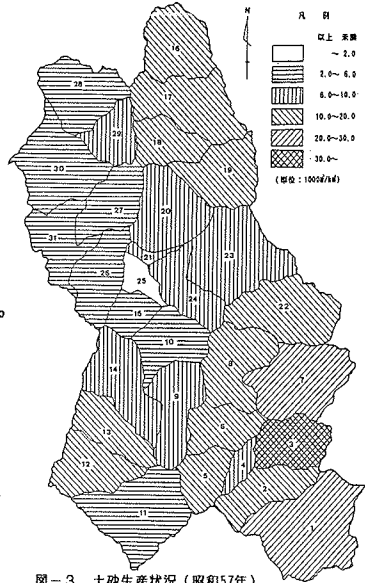


図-3 土砂生産状況(昭和57年)

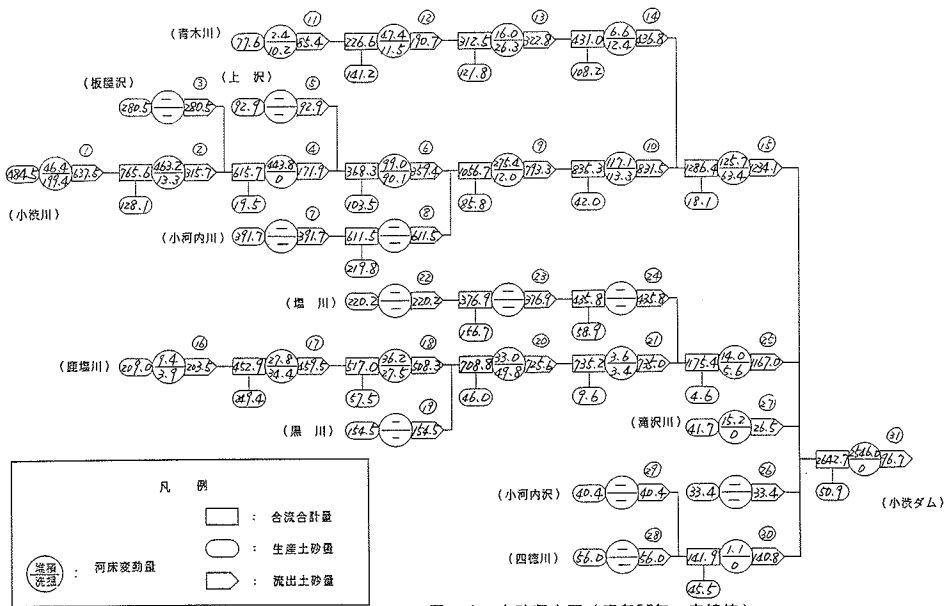


図-4 土砂取支図(昭和57年 実績値)

流出土砂量は、 $2,642,700\text{m}^3$ となり、単位面積あたりの流出土砂量は約 $9,000\text{m}^3/\text{km}^2$ となる。この時の小渋ダム貯水池内には、 $2,546,000\text{m}^3$ (年間量)の堆砂が見られている。

4. 土砂生産・流出モデルの作成

本モデルは図-1に示した流域分割図に従い、各々の水系系統の最上流部を土砂生産域とし、既往実績に基づく生産土砂量を接続する下流域へ流入させる。土砂生産域に続く単元流域は、生産、流出流域として、当該流域内で生産される土砂量を河道側方から供給する。供給のタイミングは土砂生産が生じる時刻とその影響のなくなる時刻を設定することにより変化させることが可能なモデルである。また、側方からの流入量

も考慮し、与えられた供給土砂量を受け河床変動計算で土砂を上流から下流へ追跡する。モデルの基礎式としては土砂の連続式および流水の連続式を用いている。

$$\frac{\partial}{\partial x}(C \cdot Q) + \frac{\partial}{\partial t}(C \cdot F) = C_{in} \cdot q_{in} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\{(1-C) \cdot Q\} + \frac{\partial}{\partial t}\{(1-C) \cdot F\} = (1-C_{in}) \cdot q_{in} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、C：土砂濃度、Q：流量、C*：河床堆積層の土砂濃度、F：河床堆積量、C_{in}：側方流入土砂濃度、q_{in}：側方流入量である。(1)式、(2)式より上流検査断面の流入量(Q_x)、流入土砂濃度(C_x)、と下流検査断面の側方流入量(a_{in})、側方流入土砂濃度(C_{in})が予め判明しているとなれば、下流検査断面の流量(Q_x)は次の差分式で与えられる。

$$Q_{x+\Delta x} = \frac{C_x - C_{x+\Delta x}}{C_x - C_{x+\Delta x}} \cdot Q_x + \frac{(C_x - C_{in}) \cdot q_{in} \cdot \Delta x}{C_x - C_{x+\Delta x}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

このモデルの細部の条件を列記すれば次のようになる。

- (a) 河床はアーマコートが形成されているとして、90% 粒径が移動しない場合は流砂が生じないとする。この時の限界掃流力はEgiazaroff式を用いる。
- (b) 掃流砂量式はMeyer-Peter・Müllerの式を用いる。
- (c) 掃流砂計算は全て平均粒径のみを用いており、粒径は崩壊が生じるまでは河床材料を用い、崩壊が生じれば崩壊材料を用いて流砂量を計算する。
- (d) 河床は岩盤露出や砂防ダム等の天端等の存在を考慮し、適宜非侵食高を設定する。
- (e) 未満砂の砂防ダムは満砂するまでその検査面の流出土砂量をゼロとする。

5. 土砂生産・流出シミュレーション

以上のモデルを用いて土砂生産・流出シミュレーションを行った。計算条件を示すと表-1のとおりである。計算に用いた掃流砂成分は生産土砂量の80%を見込んだ。崩壊の影響時間は、崩壊が台風10号の豪雨で発生したと考え、流量ピークの2~3時間前から洪水のほぼ終了時間までとし、その間流量に比例して平均的に土砂供給をはかるものとした。また非侵食高は、岩盤および砂防ダム下流、床固工区間は1mまで、その他の区間は3mまでの侵食を限界として与えた。粒径は、流出土砂量の計算値と実績値との関係を考慮して、河床材料調査と計算結果から合理的に説明

表-1 計算条件

計算土砂成分	昭和57年変	崩壊影響時間	45~95 時間			
平均河床高	台風10号、台風18号	非侵食高	70m 床面高差間：1m			
降雨	昭和56年雨量成果	その他	-3m			
雨量	台風10号：7/1~7/3	粒	小粒径	d ₇₀	d ₁	d _L
	台風18号：7/10~7/12		青木川	0.54	0.04	0.04
流量	台風10号：124時間	(m)	鹿島川	0.90	0.03	0.04
	台風18号：113時間		鹿島川	1.00	0.04	0.04
計算土砂成分	0.8	d ₇₀ :10%粒径, d ₁ :1%粒径, d _L :河床粒径				

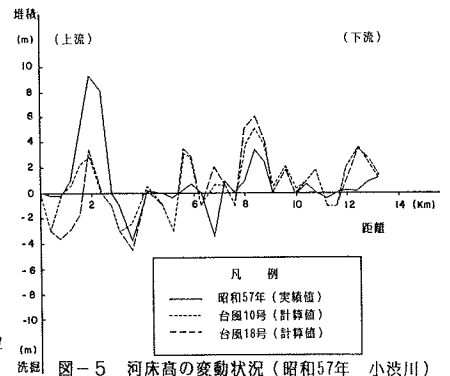


図-5 河床高の変動状況(昭和57年 小渋川)

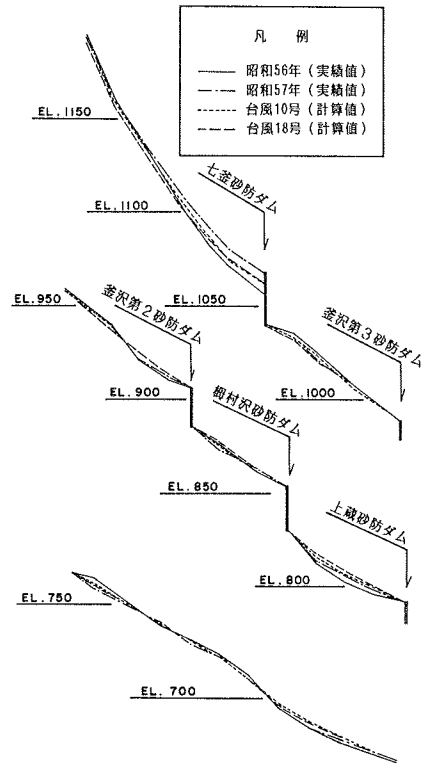


図-6 河床変動状況縦断面図(昭和57年 小渋川)

できる範囲内において変動させるものとした。

計算の結果、小渋川本川における平均河床高の変動状況を図-5に、縦断の変動状況を図-6に示した。ここでは河床縦横断測量による実績値と、台風10号および台風18号による洪水後の計算値を示している。これらによれば、七釜砂防ダム（未溝砂防ダム）上流では実績で10mもの河床上昇が見られるが、計算では、4m~3mと追従していない。しかし、その他の区間ではダム上流側の堆積傾向、ダム下流側の洗掘傾向を良く表現していると考えられる。また、台風10号と台風18号の洪水後の比較については、概略後者のほうが上流で洗掘を受け下流では堆積傾向が卓越しているようであるが、本検討では明確な違いは見出せなかった。

以上の計算結果から得られた掃流砂量に、別途調査(2)で検討した微細粒子量を加えて、本モデルによる土砂収支を行った(図-7)。ここで、微細粒子は粒径0.1mm以下のものとし、各分割流域から生産されたものは全て最下流(小渋ダム)まで流送されるものとした。流出土砂量の実績値と計算値との対応状況を図-8に示したが、これによれば本モデルは流出土砂量を把握する上でも有効であると考えられる。

6. おわりに

以上のように、土砂生産を考慮した河床変動計算を行い、山地流域における土砂生産・流出過程について実際現象との比較検討を行った結果、河床変動状況ならびに流出土砂量の算定が比較的うまく表現することができた。今後は、生産土砂の与え方と河床変動との関係、砂防施設効果の評価方法、および土砂生産モデルの検討等が重要な課題となる。

参考文献

- (1) 天竜川上流工事事務所, 国際航業(株): 小渋川・太田切川土砂動態調査報告書 1986
- (2) 天竜川上流工事事務所, (財)砂防・地すべり技術センター: 天竜川上流砂防基本計画検討業務報告書 1986

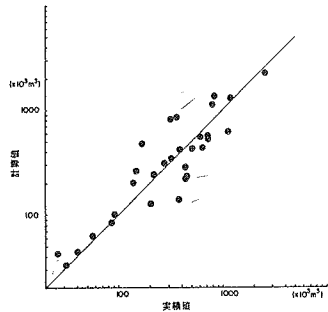


図-8 流出土砂量の実績値と計算値 (昭和57年 小渋川)

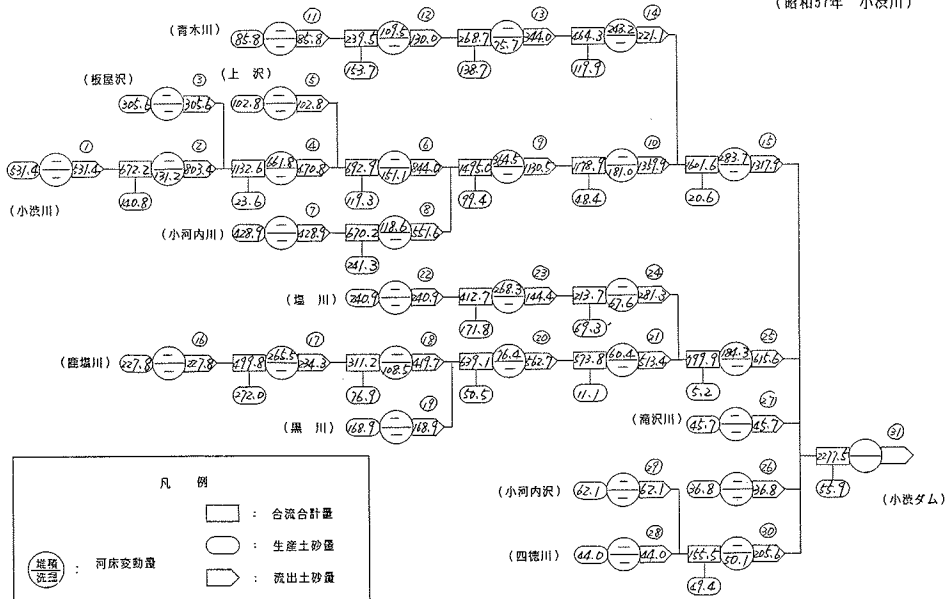


図-7 土砂収支図(昭和57年 計算値)