

49 大武川土砂氾濫シミュレーション(その2)

富士川砂防工事事務所 調査課 久保田 哲也
○八千代エンジニアリング(株) 井戸 清雄
八千代エンジニアリング(株) 永田 謙二

1. はじめに

土石流等による土砂災害の危険区域を設定することは、①砂防ダム等土石流対策施設の効果の判定、②災害時における住民の警戒・避難活動の指針の立案、③土石流扇状地の適正な土地利用のあり方の検討、等に対して非常に有用である。しかしながら、過去の災害を参考として経験的に設定しているのが現状であり、土石流氾濫区域を客観的・定量的に把握する手法の検討が急務である。そこで、富士川砂防工事事務所管内にある大武川をモデルとして、昭和34年8月災害における土砂氾濫を再現し得る平面二次元土石流氾濫シミュレーション手法の検討を行った。

本報告に先立ち、掃流砂量式による土砂量を数倍した土砂量(細粒土砂の追跡を行っていない)によって実現象を説明する方法を報告したが、この方法では掃流砂量の倍率という不確定な定数を導入することになり、説得力に乏しい。そこで、粗粒分土砂を掃流砂量式、細粒分土砂を浮遊砂量式によって追跡し、概ね良好な再現結果を得たのでここに報告する。

2. 大武川の概要

大武川は、富士川本川上流部釜無川の右支川で、南アルプス山岳に源流を持つ、流域面積73.3km²の急流河川である。河床勾配は標高800m付近(旧扇状地面)を境として、上流部が1/5~1/6、下流部が1/20と勾配が急変しており、扇状地部は土砂が堆積しやすい。

現地調査によれば、大武川ダムの堆砂土砂は比較的粗粒の成分とごく細粒の成分とで構成されているようで、中間的な粒径の成分が少ない花崗岩地帯独特の粒度分布状況を呈していることから、細粒土砂の土砂輸送を追跡することが重要であると考えられる。

3. 昭和34年災害の概要

昭和34年8月12日、台風12号は富士川河口付近より北上して多大の雨をもたらし、多くの土砂災害・洪水被害をもたらした。中でも大武川は水源部の黒戸山が大崩壊し、大量の土砂が洪水と重なって流下し、下流部落の武川村に押し寄せ、武川村は壊滅状態となった。当時の氾濫区域は図-2~6に示しているが、扇状地上流部の谷の出口では流路の首振り現象により流れは二分、三分している。この時の総雨量は大武川流域で約240mm、大武川から釜無川への流出土砂量は3,212千m³と推定されている。

4. 平面二次元土石流氾濫シミュレーション手法

平面二次元土石流氾濫シミュレーションは、①土砂を含む水流の運動方程式、②その連続式、③流

砂量式、④流砂の連続式、を離散化して差分計算²⁾を行っている。

二次元平面流れの運動方程式及び連続式は、式(1)～(3)のとおりである。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot (\beta \cdot u \cdot M) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot (\beta \cdot v \cdot M) = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{F_x}{\rho_0} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot (\beta \cdot u \cdot N) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot (\beta \cdot v \cdot N) = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{F_y}{\rho_0} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、M；x方向単位幅当り流量フラックス（ $M = u \cdot h$ ）、N；y方向単位幅当り流量フラックス（ $N = v \cdot h$ ）、 β ；運動量補正係数、u；x方向の流速、v；y方向の流速、H；水位（ $H = Z_b + h$ ）、h；水深、 Z_b ；地盤高

F_x 、 F_y は、x、y方向の抵抗項であり、

$$F_x = (\sigma - \rho_n) \cdot g \cdot h \cdot C_{dn} \cdot \cos \theta_x \cdot \tan \alpha + \tau_{bx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F_y = (\sigma - \rho_n) \cdot g \cdot h \cdot C_{dn} \cdot \cos \theta_y \cdot \tan \alpha + \tau_{by} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表わされる³⁾。抵抗項の第1項は、粒子間の衝突によって生じるクーロンの摩擦力であり、第2項は、流体としての抵抗力であり、マニング型の抵抗則を用いると、以下のように示される。

$$\tau_{bx} = \rho_0 \cdot g \cdot n^2 \cdot u \cdot \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\tau_{by} = \rho_0 \cdot g \cdot n^2 \cdot v \cdot \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 ρ_0 ；土石流の密度、 σ ；砂礫の密度、 ρ ；水の密度、 ρ_n ；微細砂が浮遊することによって増加した水の密度、 C_{dn} ；土石流中の粗粒分の容積濃度

土砂輸送形態としては、土石流と掃流に分類し、それぞれ浮遊砂を考慮する。すなわち、土石流では粗粒分の濃度 C_d を高橋式、細粒分の濃度 C_f を式(8)を用いて計算し、掃流では粗粒分の土砂量は芦田・高橋・水山式、細粒分の浮遊砂量は芦田・道上式を用いて計算した。

$$C_f = (\rho_n - \rho) / (\sigma - \rho) \quad \dots\dots\dots (8)$$

河床変動量の計算は、次の2つの流砂の連続式を差分化して解く。ここでは、粗粒分の土砂の代表粒径および細粒分の土砂の代表粒径のそれぞれを設定し、各メッシュごとにその土砂収支を計算する。

$$[\text{粗粒分の連続式}] \quad \frac{\partial z^t}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \cdot \left\{ \frac{\partial q_{bx}^t}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}^t}{\partial y} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{細粒分の連続式}] \quad \frac{\partial z^f}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \cdot \left\{ \frac{\partial q_{bx}^f}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}^f}{\partial y} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに、z；河床高、 λ ；空隙率、 q_{bx} ；x方向の流砂量、 q_{by} ；y方向の流砂量

5. 計算条件および計算ケース

大武川ダム上流の平均河床勾配 $i = 0.05$ を用いて、土石流の水の密度を $\rho_n = 1.5 \text{ t/m}^3$ と仮定して土石流の濃度（細粒分を含む）を求めると38.6%となる。この濃度と貯留関数法により求めたピーク付近の清水波形から、昭和34年8月災害時の土砂量258万 m^3 が流出する洪水波形を大武川の流入条件とし、図-1に示した。

地形条件は、氾濫域を正方形メッシュで覆い、その中心点の地盤高を地形図から読み取ることによってモデル化し、土地利用状況に応じて各メッシュに粗度係数を設定した。また、水理条件定数としては、平均粒径として粗粒分10mm、細粒分0.1~0.5mm、土石流の水の密度を $\rho_n = 1.5 \text{ t/m}^3$ 、土石流・掃流臨界勾配 $i_c = 0.05$ 等を設定した。

シミュレーションは表-1に示す各ケースについて行った。

表-1 計 算 ケ ー ス

CASE No.	メッシュ サイズ	代表粒径 (mm)	検討ケースの特徴
1	100m	10mm	掃流砂のみで浮遊砂は考慮しない。
2	100m	10mm 0.5mm	細粒分（浮遊砂）の粒径0.5mm
3	100m	10mm 0.3mm	細粒分（浮遊砂）の粒径0.3mm
4	100m	10mm 0.1mm	細粒分（浮遊砂）の粒径0.1mm
5	100m	10mm 0.1mm	浮遊砂量式中有効掃流力 u_{*e} に替えて掃流力 u_* を用いた。
6	50m	10mm 0.1mm	同区域を50mメッシュに分割して、CASE-1と比較した。

注) 代表粒径は上段が粗粒分、下段が細粒分を示す。

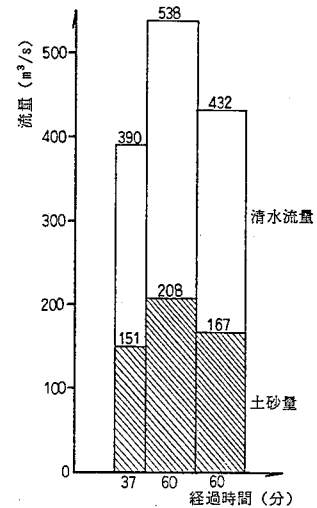


図-1 大武川の流入条件

6. シミュレーション結果

主な計算結果をまとめると次のとおりである。

○ 浮遊砂を考慮しないCASE-1や浮遊砂の代表粒径を0.3mm以上としたCASE-2,3(図-1)では、下流への土砂輸送はほとんどない。また、浮遊砂の代表粒径を0.1mmとした場合(CASE-4・図-2)は下流に土砂

が運ばれるが、その堆積深は10cm以下である。

○ そこで、浮遊砂量を大きくするために、浮遊砂量式中有効摩擦速度 u_{*e} に替えて摩擦速度 u_* を用いてシミュレーションを行ったものがCASE-5(図-4,5,6)である。

その結果はCASE-4に比べて下流で

の土砂堆積深はやや大きくなり、10cm程度となった。

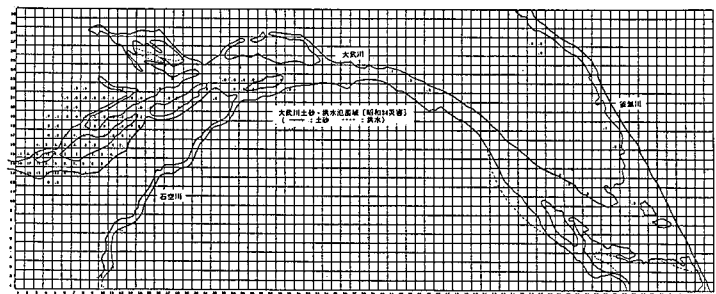


図-2 CASE-3のシミュレーション結果(堆積深分布)

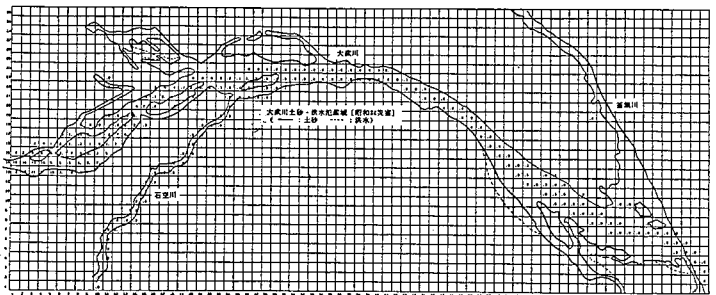


図-3 CASE-4のシミュレーション結果(堆積深分布)

○ 各計算ケースの中で、実現象の再現性が最も良いものはこのCASE-5であるが、図-4の堆積深分布によれば、上流部は実際の土砂氾濫域によく合っているものの、下流部では計算結果の氾濫域がやや小さくなっている。これはシミュレーションでは現在の地形条件を用いており、災害当時は下流部の堤防高が現在より低かったためと考えられる。本ケースの水深分布を図-5に示すが、水深分布は各ケースともほぼ同様であり、上流部流路の首振り現象や下流部右岸への氾濫状況がよく表現できている。

○ CASE-6ではメッシュの大きさのみを変えて、CASE-4と同様の条件で計算したが、その結果はほぼCASE-2と同様であった。

7. おわりに

大武川のように比較的勾配の緩い(1/20~1/50)区域の土砂氾濫では、浮遊砂による流砂量が卓越し、本シミュレーションのように浮遊砂を考慮することによって、土砂氾濫現象を表現できるものと考えられる。しかし、土砂堆積深は、実際に比べて上流部で大きく、下流部で小さい傾向が見られ、下流への土砂輸送量がやや小さいと考えられる。今後は、土砂濃度の非平衡性⁴⁾を考慮したシミュレーション手法を検討したいと考えている。最後に、本研究に当り貴重な御助言をいただいた建設省土木研究所の水山砂防研究室長に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 久保田、井戸：大武川氾濫シミュレーション；昭和63年度砂防学会研究発表会概要集 昭和63年5月
- 2) 高橋、中川、西崎：堤防決壊による洪水危険度による評価に関する研究
：京大防災研年報 第29号 B-2 1986
- 3) 高橋、辻本：土石流氾濫・堆積の数値シミュレーション；京大防災研年報 第27号 B-2 1984
- 4) 高橋、中川：河川堤防決壊に伴う浮遊砂の堆積に関する研究；京大防災研年報 第30号 B-2 1986

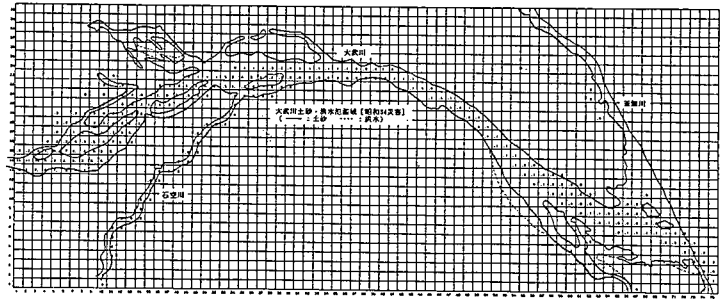


図-4 CASE-5のシミュレーション結果 (堆積深分布)

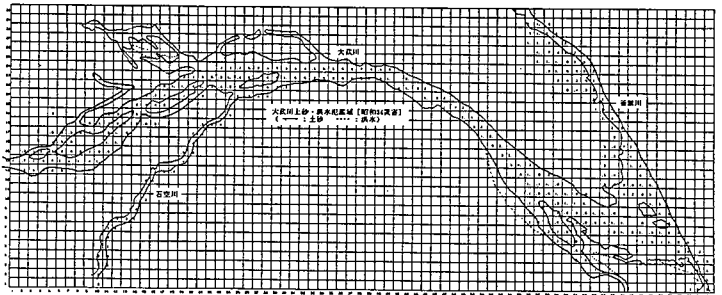


図-5 CASE-5のシミュレーション結果 (水深分布)

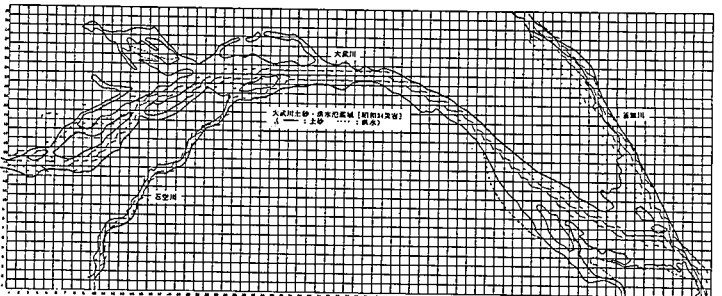


図-6 CASE-5のシミュレーション結果 (流速ベクトル)