

4 加計町土石流への氾濫・堆積モデルの適用

東京農工大学 太田 猛彦
東京農工大学 窪田 順平
東京農工大学大学院 ○大倉 陽一

1 はじめに

従来から土石流氾濫域予測手法として、氾濫水の堤内地における拡がりを表す数学モデルとその差分式の原理を、土石流の数値解析に適用したものがある。過去の研究例を見ると、土石流の停止条件の設定と、その後の堆積過程の計算手法は、個々の研究者によって様々な取り扱いがなされてきている。例えば、「土石流氾濫・堆積の数値シミュレーション」(1984、高橋ほか、)では、先端部の流量フラックスの値が0か否かで停止の判定を行っており、その後は堆積・遡上過程を通して堆積が進行してゆく。「土石流扇状地の地形と土石流の堆積氾濫」(1985、水山ほか、)では、停止条件として、先頭部の流動深が平均粒径程度より小さくなった時点としている。その後は同じ様に堆積・遡上過程を通じて堆積が進行してゆく。「数値地形モデルを使った土石流の流下・堆積域のシミュレーション」(1988、沖村ほか、)では、停止条件として、①土石流流速が0となった場合、②土石流の流下方向の勾配が4度以下の場合、を上げている。

そこで、本研究では過去の研究例を参考に、停止条件と堆積過程の計算手法を検討し、正確な氾濫・堆積モデルを開発する為の基礎的検討を行った。解析対象地は、広島県加計町江河内谷の扇状地である。今回の土石流は1988年7月21日午前3時頃に発生したものである。死者10人、全半壊家屋19戸の被害をもたらした。流域面積は約0.7km²の土石流危険渓流である。

2 シミュレーションの数学モデル

$$\begin{aligned} \text{＜連続の式＞} \quad & \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \\ \text{＜x方向運動量保存式＞} \quad & \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (MU)}{\partial x} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{Fx}{\sigma f} \\ \text{＜y方向運動量保存式＞} \quad & \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial (NV)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{Fy}{\sigma f} \end{aligned}$$

h : 流動深、 M ・ N : x ・ y 方向単位幅流量、 U ・ V : x ・ y 方向流速、 H : 流動面標高、 F : 抵抗応力、 σf : 土石流密度、 β : 運動量補正係数、 g : 重力加速度

上記の式をリープフロッグ法によって差分化する。

3 初期条件及び境界条件

土砂流入端の格子で、境界面の N 、 V は、上流流路と同じ値を10分間与え続ける。その他格子では、流量・流速・流動深はすべて0と置く。流動先端部については、「氾濫水の水利の数値解析法」(1980、岩佐ほか、)と同様な取り扱いをする。すなわち、①周辺の流動面より地盤の高い格子での流入フラックスはない。②流動深が移動限界深より小さくなった格子での流出フラックスはない。③計算される流動深が負となった場合には、これを0出置き換える。③の様な取り扱いでは、上流からの流入量と解析地での土石流の全土量との間に差が生ずるが、岩佐によると、これは僅かなものである。また、①の様な取り扱いでは、土石流の慣性による高所への侵入が無視されているが、今回のシミュレーション結果を見ると、時間の経過とともに、流動面が上昇し、やがては高位のセルにも流動しており、流下・堆積域も実際より広く出て、特にこの事は考慮する必要はないものと思われる。土石流流入端の格子に於いては、流動深は常に上流流路中の流動深以下とし、これより大きくなっ

た場合は、次の停止条件で述べるような取り扱いをする。

4 停止条件及び堆積高の計算

土石流氾濫が洪水氾濫と大きく異なる点は、流下してきた土石流自体が土砂を堆積させながら地盤条件を時々刻々変化させることである。よって地盤高の変化をプログラムに組み込む事が土石流シミュレーションでの一つのポイントとなる。停止条件は次のものを設定した。

①当該セルでの土石流表面標高が周囲8方向のセル中心標高より低くなった場合。この時堆積高の計算方法は次の様に行う。

$$\begin{aligned} T &= h \cdot C_d / C_s \\ H &= 0 \end{aligned}$$

T：堆積高、h：流動深、C_d：流動中の土砂容積濃度、C_s：堆積層中の土砂容積濃度

②流動深が移動限界深以下となったセルが存在する場合。このとき堆積高の計算は次の様に行う。

(i) 流動深が移動限界深以下となったセル：①と同様に計算する。

(ii) 土砂流入端セル： $h_u < h_o$ であれば、

$$\begin{aligned} T_o &= (h_o - h_u) \cdot C_d / C_s \\ h_o &= h_a \end{aligned}$$

T_o：土砂流入端セル堆積高、h_o：土砂流入端セル流動深、h_u：上流流路流動深

(iii)その他のセル

$$\begin{aligned} T &= h \cdot (T_o / h_o) \\ h &= h - T \cdot C_s / C_d \\ T &：当該セルでの堆積高、h：当該セルの流動深 \end{aligned}$$

5 計算条件及び土質工学的諸量

表1 計算条件

解析対象地	格子間隔	計算時間間	初期流量	初期流速	全流量	移動限界深	解析時間
800m X 700m	25m	0.5s	2.91m ³ /s	6.04m/s	43650m ³	0.005m	600s

表2 土質工学的諸量

σ (kg/m ²)	ρ (kg/m ³)	C _d	C _s	$\tan \alpha$	d (m)	D (m)	k	β
2650	1250	0.35	0.65	0.6	0.1	0.1	0.05	1.25

$\tan \alpha$ ：動摩擦係数、d：代表粒径、D：堆積層の粗度高さ、k：抵抗定数

土石流ハイドログラフについては江河内谷での資料が得られなかった為、岐阜県の洞谷での土石流解析に高橋が用いた値を流用した。

6 結果及びまとめ

計算結果は図2の様になった。図1の氾濫図を見ると、扇状地下部に鉄道の盛土部が有り、これが堤防の役割を果たし、その上流に堆砂地が形成された。そして2ヶ所のボックスカルバートを通った土砂が第3の堆積域を形成している。また、シミュレーションでの扇状地下部での堆積域の拡がり方が少なかったのは、中央部付近で流下路が狭められ、土砂が流下しづらくなったた為と思われる。上記2点を除いては、シミュレーション結果は、扇状地上部の堆積域と下部の堆積域をよく表現しており、ほぼ実際の傾向にあったものといえよう。

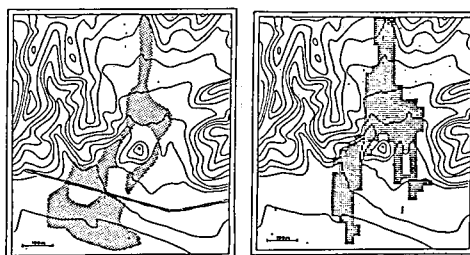


図1 江河内谷氾濫図 図2 シミュレーション結果