

土石流氾濫の数値シミュレーションについて

京都大学防災研究所 正員 高橋 保

京都大学防災研究所 正員 中川 一

日本気象協会 ○正員 山路昭彦

1. はじめに 土石流の防止軽減策としてはハードな対策と同時に堆積域での危険範囲の予測によるソフトな対策も重要である。本研究では、危険範囲設定の基本となる土石流氾濫シミュレーションについて検討を加え、さらに堆積域に群杭を設けた場合の氾濫を計算より求め実験結果と比較検討した。

2. 基礎方程式 土石流を水と土砂が一体となった流体と考え、水深方向に積分した二次元平面流れを表わす運動量保存式と連続式を用いる。

$$\text{運動量保存式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \beta u \frac{\partial M}{\partial x} + \beta v \frac{\partial M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\gamma_0} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta u \frac{\partial N}{\partial x} + \beta v \frac{\partial N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\gamma_0} \quad (2)$$

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i \quad (3)$$

$$\frac{\partial V_0}{\partial t} + \frac{\partial CM}{\partial x} + \frac{\partial CN}{\partial y} = C_* i \quad (4) \quad \text{ただし堆積を考慮しない場合は } i=0$$

ここに、 M, N : それぞれ x 方向, y 方向のフラックス, h : 流動深, H : 水位, β : 運動量補正係数, γ_0 : 土石流の密度, τ_x, τ_y : それぞれ x 方向, y 方向の摩擦力, i : 堆積速度, C_* : 堆積層の土石流の濃度, V_0 : 流動層内の単位面積あたりの土砂相当高さである。 β はダイラタント流体として考え 1.25 とした。摩擦項は、高橋¹⁾によるクーロン摩擦に流体的な摩擦を加えた二変数モデルとして次式を採用した。

$$\tau_x = \frac{\gamma_0 g n^2 u}{h^{1/3}} \frac{u^2 + v^2}{2} + (\sigma - \rho_0) gh C_{du} \cos \theta_x \tan \alpha \quad (5)$$

$$\tau_y = \frac{\gamma_0 g n^2 v}{h^{1/3}} \frac{u^2 + v^2}{2} + (\sigma - \rho_0) gh C_{dv} \cos \theta_y \tan \alpha \quad (6)$$

ここに、 n : Manningの粗度係数, ρ_0 : 微細砂の影響で増加する水の密度, C_{du} : クーロン摩擦に寄与する粒子の濃度である。基礎方程式を有限差分法によるモデルを用いて解く。このさい (1), (2) 式における左辺の慣性項については風上差分を用いて差分化した。

3. 堆積過程のモデル 土石流氾濫シミュレーションの場合は流下してきた土石流の一部が停止堆積するため地盤高が時間とともに変化する点が大きな特徴である。本研究では土石流の堆積は流下してくる土石流の濃度がその地点の平衡流砂濃度よりも大きいほど顕著に進むと考えた。このとき堆積速度 i は以下のように表わすことができる。

$$i = a \frac{C_{d00} - C_d}{C_*} \frac{h}{2\Delta t} \quad (7)$$

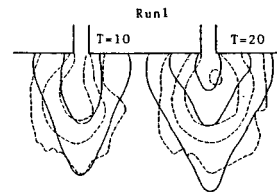


図 1

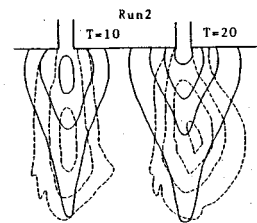


図 2

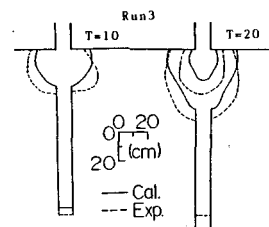


図 3

Tamotsu TAKAHASHI, Hajime NAKAGAWA, Akihiro YAMAJI

ここに、 Cd_{∞} : 平衡濃度、係数 a は $a = x/L_0$, L_0 : 先端停止距離とした。堆積過程の計算は土石流先端のフラックス M が 0 となった時点より行ない、それまでは $i=0$ として扱う。堆積過程では勾配変化点まで流下してきた土石流が堆積土砂に衝突してジャンプするが、堆積の厚さが H_{max} 以上になると土石流の一部が上流溪床内に堆積し遡上過程が始まる。このとき高橋のモデルを参考にして上流溪床内への堆積量 S を次式より求める。

$$S = \frac{\Delta y \sin \tau \sin \theta_u}{2 \sin (\theta_u - \tau)} \left\{ h_u^2 - (h_u - Z_p)^2 + Z_p H_{max} \right\} \quad (8)$$

ここに、 h_u : 流動深、 Z_p : 1ステップの間の地盤高の増分、

θ_u : 上流水路の勾配である。 H_{max} はエネルギー線の高

さより近似して $H_{max} = \left(\alpha \frac{V_u^2}{2g} + h_u \right) \times 0.8$ (9)

とした。 α はダイラタント流体の場合 1.7 である。

4. 実験結果との比較 $\rho_0=1.4, \tan \alpha=0.6, n=0.01$ と

して計算を行なった。計算結果と実験結果との比較を図 1~3 に示す。等高線の間隔は 2cm である。堆積水路の勾配は RUN1, 3 は 2° , Run2 は 4° で、Run3 には幅 10cm 深さ 5cm の流路工を設けている。図 2 のように堆積水路勾配が大きい場合は、実験では谷出口よりやや下流側で堆積厚、幅ともに最大となるが計算では谷出口で最大となる。また、計算では谷出口付近で横方向への拡がりが大きくなる点も問題であるが、およそ妥当な適合性が得られた。

5. 群杭を用いた実験 堆積水路に谷出口から 10cm 離れた所から、50cm の所まで一定間隔 D で格子状に杭を配した。実験条件は表 1 に示すとおりで、用いた混合砂の最大粒径は 2cm である。堆積の平面形状と水路中央の縦断形状を図 4~6 に示す。Case B では群杭によって氾濫がかなり妨げられた。計算では杭によって流水断面積が小さくなることを考慮して次のような通過率 k を定義し、これによるフラックスの補正を行なっている。

$$k = \sqrt{1 - \sum A_k / \Delta x \Delta y} \quad A_k: \text{杭の断面積}, \quad (10)$$

杭のあるメッシュでは $M=kM$, $N=kN$

この手法によりある程度現象を再現することができた。

6. おわりに 今回、堆積速度を規定する式を新たに導入したモデル、および通過率の考え方をいれたモデル提示しそれらがほぼ妥当であることを実験と対照することによって示した。

参考文献 1) 高橋：京大防災研年報，22B-2

表 1
Conditions of experiments

Case	$\theta_u(^{\circ})$	$\theta_d(^{\circ})$	$Q(l/s)$	$D(cm)$
A	20	4	1.5	****
B	20	4	1.5	3
C	20	4	1.5	4
D	20	4	1.5	5
E	20	4	1.5	6

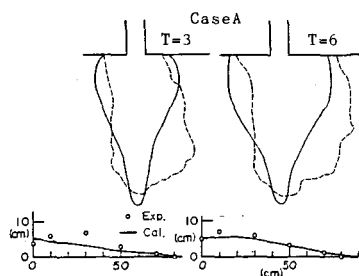


図 4

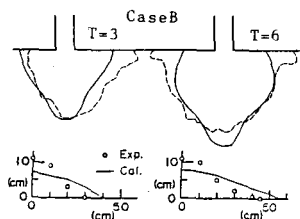


図 5

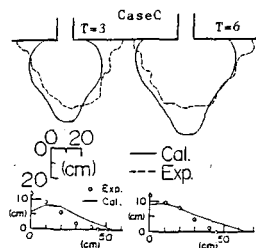


図 6