

II-179 土石流氾濫・堆積の数値解析に関する研究

日本気象協会 正員 ○山路昭彦
 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

1. はじめに 土石流の防止軽減策としては構造物による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た。また、堆積範囲の制御を目的として、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。さらに、立体格子ダム上流の堆積形状の時間的変化の解析も行った。

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。

$$\text{運動量保存式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \beta u \frac{\partial M}{\partial x} + \beta v \frac{\partial M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho_0} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta u \frac{\partial N}{\partial x} + \beta v \frac{\partial N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho_0} \quad (2)$$

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

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} + \frac{\partial CM}{\partial x} + \frac{\partial CN}{\partial y} = i C_* \quad (4)$$

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, ρ_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_* :堆積層中の土砂の濃度, V_s :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、クーロン摩擦に流体的な摩擦を加えた二変数モデルを採用した。それには、微細砂により水の密度が増加する効果を考慮に入れてある。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。

$$i = a \frac{C_{d\infty} - C_d}{C_*} \frac{h}{2\Delta t} \quad (C_{d\infty} \leq C_d) \quad (5)$$

ここに、 $C_{d\infty}$: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。

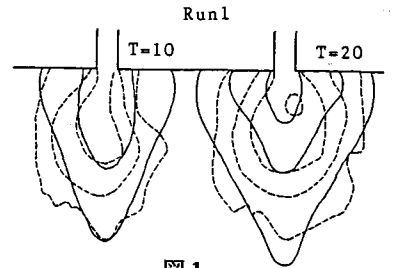


図1

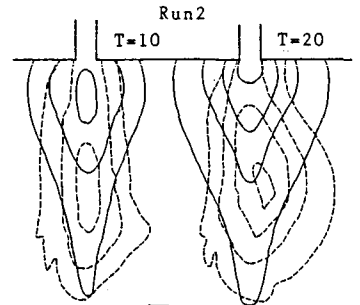


図2

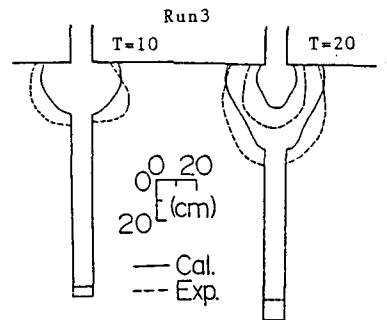


図3

$$S = \frac{\Delta y \sin r \sin \theta_u}{2 \sin(\theta_u - r)} \{ h_u^2 - (h_u - Z_p)^2 + Z_p H_{max} \} \quad (6)$$

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 $H_{max} = (\alpha v_u^2 / 2g + h_u) \cdot 0.8$ 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。

$$k = \sqrt{1 - \sum A^k / \Delta x \Delta y} \quad A^k: \text{杭の断面積}, \quad (7)$$

$$\tilde{M}_{i,j+\frac{1}{2}} = \begin{cases} R_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} M_{i,j+\frac{1}{2}} & (M \geq 0) \\ R_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} M_{i,j+\frac{1}{2}} & (M < 0) \end{cases} \quad (8)$$

$$\tilde{N}_{i+\frac{1}{2},j} = \begin{cases} R_{i+\frac{1}{2},j} N_{i+\frac{1}{2},j} & (N \geq 0) \\ R_{i+\frac{1}{2},j-1} N_{i+\frac{1}{2},j} & (N < 0) \end{cases}$$

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. 立体格子ダムへの適用 立体格子ダムを模した図7に示すような水路を考え、群杭の計算で用いた手法を水路の下流端に適用し、さらに巨れきによる遮蔽の効果を考慮に入れて計算を行った。土石流の規模は、流量 2l/s, 流速 2m/sとし、そのさい濃度は40%とした。計算結果は図8に示すとおりで、下流端より堆積が進行してゆく様子がよくわかる。土石流や地形に関する詳細なデータをこの手法に与えることにより立体格子ダムの機能を定量的に求めることが可能である。

7. 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を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。

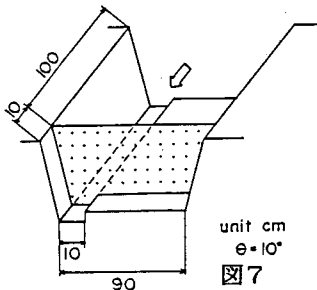


図7

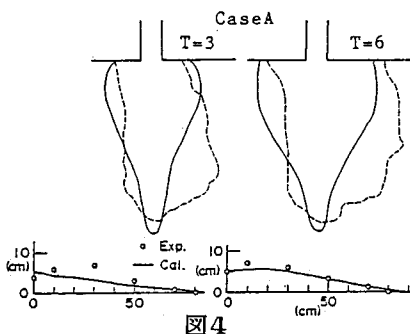


図4

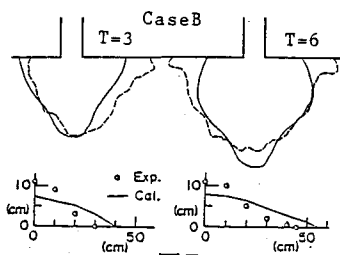


図5

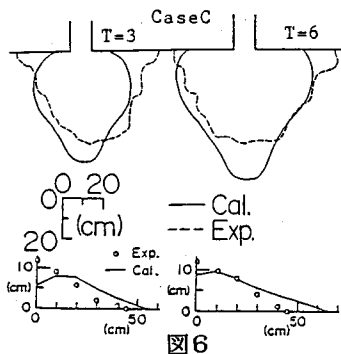


図6

表1
Conditions of experiments

Case	θ_u (°)	θ_d (°)	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

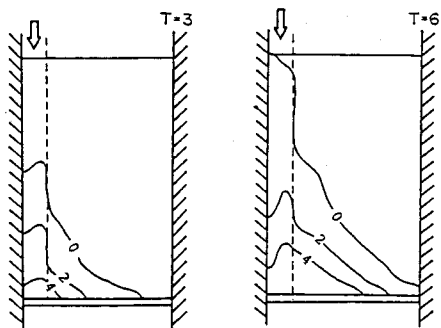


図8