

土石流氾濫シミュレーションとその適用性

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
不動建設 正員 〇辻本浩史

1 まえがき 土石流災害を防止軽減するためには、砂防ダムや流路工の設置といったハードな対策と同様に、危険地域設定といったソフトな対策も重要となる。このためには複雑な地形条件を有する堆積域での土石流堆積過程を知る必要がある。そこで本研究では運動方程式に基づいた氾濫シミュレーションの方法を導くことを目的とした。さらに、水路実験の結果と比較しモデルの適合性を検討した後に、過去の土石流災害地へ適用を試みた。

2 土石流氾濫シミュレーション

2-1 基礎方程式 土石流を水と土砂が混然一体となった流体と考えるならば、二次元平面上での基礎式として

$$\text{運動方程式 } x \text{ 方向: } \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (MU)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (MV)}{\partial y} = g h \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{F_x}{r} \quad (1)$$

$$y \text{ 方向: } \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial (NU)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (NV)}{\partial y} = g h \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{F_y}{r} \quad (2)$$

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3) \quad \text{となる。}$$

ここに M, N はそれぞれ x 方向, y 方向の流量フラックス, r : 土石流の密度, β : 運動量補正係数で土石流をグイラタント流体として取り扱う場合 1.25 となる。摩擦項 F_x, F_y については従来用いられているクーロン摩擦に流体的な摩擦項を加えた二変数モデルとし次式で与えた。

$$F_x = (0 - \mu p) r g C_{dn} \cos \theta_x \tan \alpha + r \left(\frac{D}{\alpha} \right) v^2 \quad (4)$$

$$F_y = (0 - \mu p) r g C_{dn} \cos \theta_y \tan \alpha + r \left(\frac{D}{\alpha} \right) v^2 \quad (5)$$

ここに μp は土石流中の微細砂の影響で増加する水のみかけの密度, C_{dn} は土石流中で浮遊せずにクーロン摩擦に寄与する粒子の濃度, D は堆積域での粗度高さである。(4),(5)式を(1),(2)および(3)式に代入すると基礎方程式が得られる。本研究では得られた基礎方程式を解く方法として岩佐らの有限差分法を用いた数値解析モデルを用いる。

2-2 地盤変化のモデル 洪水を対象とする氾濫シミュレーションと最も異なる点は、流下してきた土石流の一部が停止、堆積するために地盤の条件が時々刻々変化する点にある。この問題を扱うためにここでは図1のような堆積過程を分類した。土石流の停止は先端部のメッシュの流量フラックス $M=0$ で判定し、その段階で流動している他のメッシュも停止するものとして地盤に変換する。堆積過程においても外縁部では流動層全体が停止するので流量フラックスで

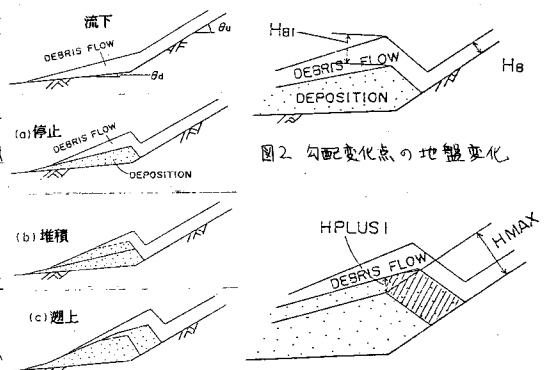


図1 地盤変化のモデル

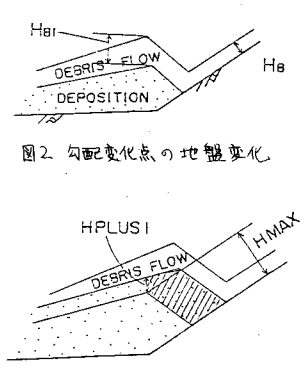


図2 勾配変化点の地盤変化

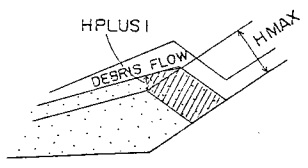


図3 遡上過程のモデル

Tamotsu TAKAHASHI Hirosumi TUJIMOTO

地盤に変換するかどうかの判定を行うが、勾配変化点では表面は常に流動を続けながら土砂の一部を堆積させる。したがってこの部分では流量フラックスで判定することはできないので図2のように勾配変化点での流動深 H_{b1} が上流の境界で与えられる H_b とほぼ同じ値 $H_{b1} = H_b \times \frac{\cos \theta_{b1}}{\cos \theta_b}$ ——(6)をもつとして、もしも H_{b1} よりも大きな水深 H_2 が計算された場合は $H_{PLUS1} = (H_1 - H_{b1}) \times \frac{C_{b1}}{C_{b2}}$ を地盤高の増分とした。ここで右辺に $\frac{C_{b1}}{C_{b2}}$ をかけているのは停止した後水がしぼり出されて流動層の厚さが減りする現象を考慮したものである。堆積過程が進むにつれて勾配変化点での地盤が上昇するが、ある値 $HMAX$ を越えると、流下してきた土石流の一部が上流溪床内に堆積し遡上が始まる。遡上モデルは図3のように高橋²⁾のモデルを参考にし、 $HMAX$ についてはエネルギー線の高さに近似できるものとして $HMAX = \left(\frac{C_{b1}^2}{2g} \cos \theta_{b1} + R_{b1} \right) \times 0.8$ ——(7)とした。

3. 実験結果との比較検討

以上に述べたシミュレーションを実験結果と比較したものが図4～図6である。図5のように堆積水路勾配が急な場合の谷の出口付近での適合性に問題が残されているがほぼ妥当な結果となっている。図6のように流路工をもつような複雑な堆積域においてもシミュレーションが可能なのが本モデルの長所である。

4. 54年洞谷土石流への適用

図7に洞谷土石流による堆積厚の分布を示し、図8、9に氾濫シミュレーションの結果を示している。図8では流路工弯曲部付近から土石流が溢流を開始しており図9では氾濫した土砂が家屋などの障害物の間を流下している。図7と図9とを比較すると今回のモデルが複雑な地形条件をもつ堆積域においても適合性が優れているといえる。

- 参考文献 1) 岩佐義朗 井上和也 水島雅文 1980: 氾濫水の水利の数値解析法 京大防災研年報 25号B-2
2) 高橋 保 土石流の力学的機構 水工学シリーズ 80-A-1 土木学会水理委員会 昭55.7

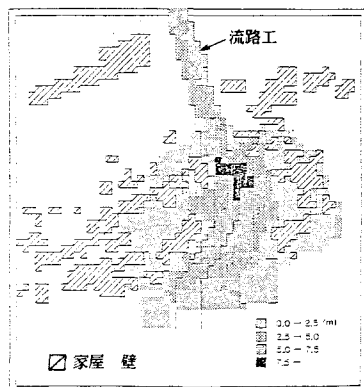


図7 土砂堆積分布

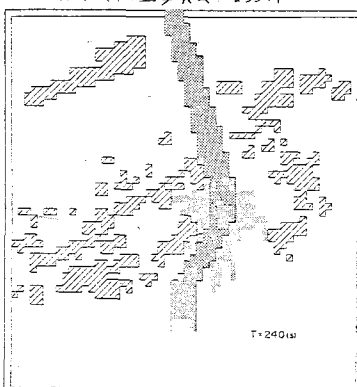


図8 氾濫シミュレーション

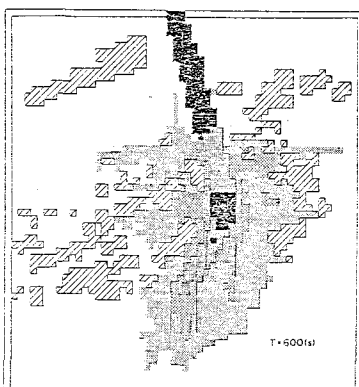


図9 氾濫シミュレーション

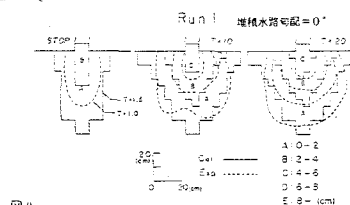


図4

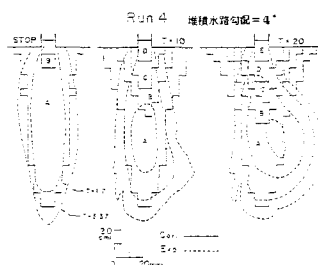


図5

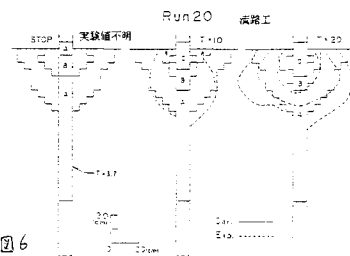


図6