

数値解析モデルによる土石流地形の基礎的研究

信州大学工学部 正会員 吉澤孝和 ○学生員 竹内幹人

1. はじめに 集中豪雨などにより山間部においては土石流が発生する。発生した土石流の移動経路や氾濫原においては、地表の形態が大きく変化してしまう。本研究は数値解析により、土石流が流動する氾濫原について、流動方向と土石の堆積状態をシミュレートし、土石流に対する危険度判定の基礎的考察を行う。

2. 解析式 数値解析においては地形を辺長12.5 mの正方形メッシュで区画し、各区画の標高はその中心点の高さで代表させる。このような地形モデルに対して以下に示す解析式を適用する。

2. 1 移動方向の決定¹⁾ 土石流がある区画から次に進んでいく移動方向は、8方向と考える。各方向の確率は、その方向の傾斜の正弦に比例し、各々の確率は遷移確率で考える。よって i 方向の確率 $P(i)$ は、

$$P(i) = \frac{1}{8} + \frac{7}{8} \sin(\theta_i) \quad (\theta_i : i \text{ 方向の傾斜角}) \quad (1)$$

で表される。移動方向はこの確率を基準とし、乱数を発生させて決定する。

2. 2 流速の計算²⁾ 図1のように土石流先端の岩塊群を質点とみなし流動体の内部には、速度の2乗に比例する抵抗力が発生するものと考えて運動方程式をたてると、

$$m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) = mg \sin \theta - \mu \cos \theta - km \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \quad (2)$$

ここに μ : 動摩擦係数、 k : 内部抵抗係数である。

式(2)より移動距離 x と流速 V の関係を求める。

$$V = ((C \pm \exp(-2kx) | C - \alpha k V_0^2 |) / \alpha k)^{1/2} \quad (3)$$

$$C = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \quad (4)$$

ここに V_0 : $x=0$ における初速度、 α : 進行方向の変化による内部抵抗係数を補正する因子である。例として直進方向から 45° 屈曲する場合は、 $\alpha=2$ である。 90° 屈曲する場合は、 $\alpha=5$ となる。

2. 3 堆積量の計算²⁾ 勾配の変化する2つの斜面の間で図2のように $t(\text{sec})$ 間に流出した土砂は堆積すると砂レキ濃度が Cdu から C と変化すると考えて砂レキ保存の式をたてると

$$t \frac{Cdu}{C} = S \quad (5)$$

ここに qt : 土石流の単位幅流量、 S : 土砂の堆積量である。

式(5)より土石流の到達距離 X を導く。

$$X = (2qt Cdu t / (C.A))^{1/2} \quad (6)$$

$$A = \frac{\tan(\gamma - \theta d)}{\tan(\gamma - \theta d) \tan(\theta u - \theta d) + 1} + \frac{\tan \delta \cos^2(\theta u - \theta d)}{\tan(\gamma - \theta d) \tan(\theta u - \theta d) + 1} \times \left[\frac{\tan(\gamma - \theta d)}{\tan(\gamma - \theta d) \tan(\theta u - \theta d) + 1} \right]^2 \quad (7)$$

式(6)を用いて、一定の堆積量が与えられた時の流速と堆積厚さの関係を求めると式(8)が導かれる。

$$\frac{H(i)}{H_s} = \sqrt{\frac{V_s}{V(i)}} \quad (8)$$

この式より流速 V_s の時の堆積厚さ H_s を仮定すれば、各々の流速 $V(i)$ における堆積厚さ $H(i)$ を求める事ができる。

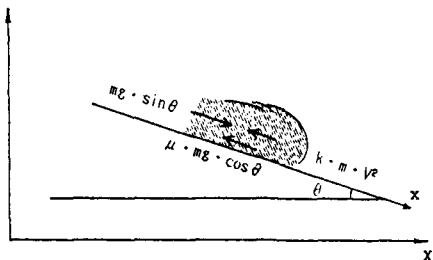


図1 土石流の運動モデル

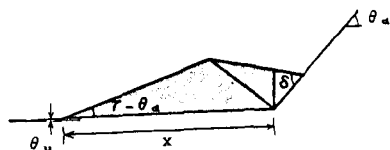


図2 土石流の堆積模式図

参考文献

- 1) 今村、杉田：Random Walk model による土砂堆積シミュレーションについて、新砂防 114号, pp.17-26, 1980
- 2) 芦田和男編：扇状地の土砂災害, 古今書院, pp.120-154 170-175, 1985

3. 解析手順（土砂の堆積を考慮する場合）

①解析条件として、動摩擦係数、初速度、土石流の発生回数（ n ）、流速（ V_s ）に対応する堆積厚さ（ H_s ）、一回の土石流の流出量（ D ）、地形データを与える。②土石流を発生させる。③式(1)と乱数を用いてメッシュ上での土石流の移動経路を順次定める。④径路上の各区画において式(3)より流速を求めて、式(8)より堆積厚さを求める。⑤原地形の標高に堆積厚さを加算する。⑥停止条件になるまで③～⑤を繰り返す。⑦指定回数（ n ）になるまで②～⑥を繰り返す。⑧解析結果を危険度分布図として出力する。

停止条件は、次の3つの場合である。①流速が0になった時 ②総堆積量が流出量（ D ）に達した時 ③土石流の先端が解析対象領域を超えた時である。流速が0になった時は、残留流出量をすべて堆積量とする。

各区画の危険度は、土石流発生回数（ n ）に対するその区画を通過する土石流の回数の百分率で表す。

計算条件として設定した最小流速 V_s より小さな流速が発生した場合の堆積厚さは、 H_s とする。

4. 解析結果と考察（一様斜面 傾斜角 10° ）

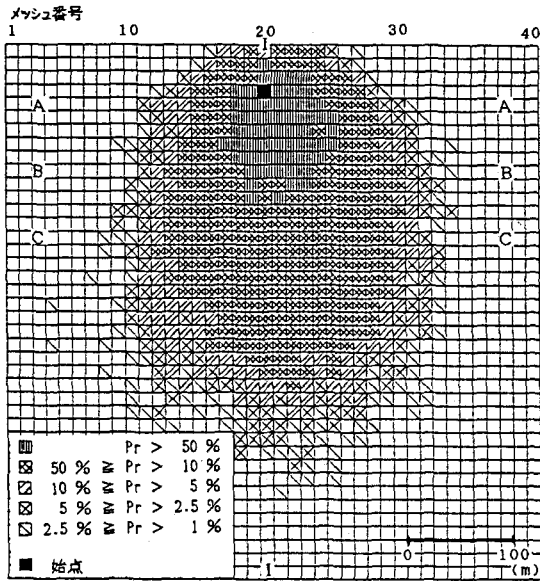


図3 危険度分布図

解析条件 $V_s=0.5(\text{m/s})$ で $H_s=0.3(\text{m})$ 発生回数 $n=1000$ 回
 $k=0.0005$ $\mu=0.1$ $V_0=10(\text{m/s})$ 毎回流出量 $D=312.5(\text{m}^3)$

危険度分布図（図3）に関する解析結果と考察

5%以上の危険度の区画によって楕円状の平面形状が形成されている。その周囲の5%未満の危険度の区画から土石流先端首振り現象が観察できる。土石流の発生回数を少なくした解析では危険度区域は小さくなるが同様の結果が得られる。 V_s と H_s の仮定において H_s を小さくすると首振り現象が起きやすくなる。首振り現象の区画の危険度は、5%未満であるが斜面の場合には斜面の下方に比較的多く発生している。

断面図（図4、図5）に関する解析結果と考察

縦断面図（図4）において、土石流の堆積によって形成された、階段状の微高地や微少な崖を含む斜面が観察される。このような断面形状は、土石流量が少ない場合にも形成される。

横断面図（図5）において、土石流の堆積による断面形状には左右対称となる傾向があらわれている。このことより一様斜面上における土石流は、扇状の地形を形成することが理解できる。

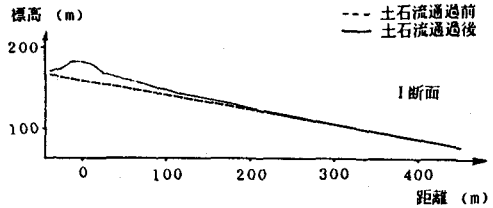


図4 縦断面図

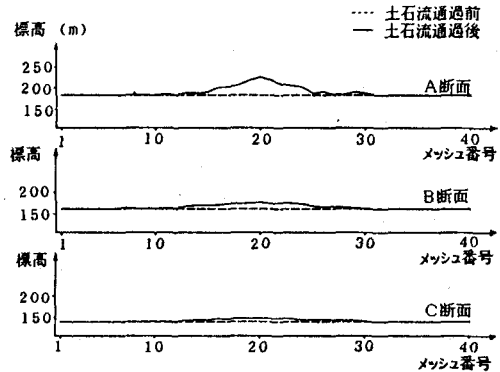


図5 横断面図