

数値地形モデルによる扇状地形成過程と土石流危険区域の予測

信州大学工学部 正会員 吉澤孝和 ○学生員 島田正徳

**扇状地と土石流に関する問題点** 扇状地は、断層や曲隆などの地殻運動を受けた山地の周縁につくられる地形で、これが形成される地形・地質条件は(1)上流山地側に急斜面で浸食されやすい岩石・地層が存在し(2)下流の堆積地域では、河川が自由に流路を移動または拡張でき(3)砂礫が排除されたり水面下に没しないことである。そして気象条件として、集中豪雨または長期間連続降雨が必要である。これにより上流域で生産された流動土石が谷口から下流部に放出されて扇状地が形成される。<sup>1)</sup> 近年、都市部への人口集中は扇状地の都市化を促している。古くからの集落は、土石流災害の少ない扇端部に発達しているが、宅地開発の波は扇頂部にまで及ぶ昨今である。そのため、扇状地上の土石流災害に対する検討が、都市防災のひとつの課題となる。本研究はまず、数値地形モデルを用いて、谷口から放出される土石流の挙動を解析する。これにより(A)土石流災害の危険度を数値的にあらわすこと(B)扇状地の形成過程を考察すること(C)地形改修による土石流災害の軽減策の検討を目的とするものである。

**基本式と考察** 土石流の一般的な流動形態は、先頭に岩塊・流木の集中する盛り上がりを持ち、その後次第に粒径の小くなる礫・砂・泥を多量に含んだ流動体が続く。本研究では、土石流の挙動は先端の岩塊群の運動に支配されるものとみなし、つぎのような運動方程式を導びく。<sup>2)</sup> この式においては、土石流先端の岩塊群を図1に示すような質点とみなし、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いる。<sup>2)</sup>

$$m \cdot (d^2X/dt^2) = mg \cdot \sin \theta - \mu \cdot mg \cdot \cos \theta - km \cdot (dX/dt)^2 \tag{1}$$

ここに  $\mu$  = 動摩擦係数、 $k$  = 内部抵抗係数である。

式(1)をつぎのように変形する。

$$dV/dt = C - \alpha k V^2 \tag{2}$$

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

$\alpha$  は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り、たとえば直進方向から45° 屈曲する場合は  $\alpha = 2$ 、90° ならば  $\alpha = 5$  となる。

式(2)を解き、初期条件( $X=0$ で  $V=V_0$ )を与えれば次式を得る。

$$X = -(1/2 \alpha k) \cdot \ln |(C - \alpha k V^2)/(C - \alpha k V_0^2)| \tag{3}$$

ここで  $\alpha = 1$  (直進) の場合に関して式(3)を  $V$  について解けば

$$V = \{ (C + \exp(-2kX)) \cdot |C - kV_0^2| \} / k \}^{1/2} \tag{4}$$

$$V = \{ (C - \exp(-2kX)) \cdot |C - kV_0^2| \} / k \}^{1/2} \tag{5}$$

これら2式は平衡速度:  $V_e = \{C/k\}^{1/2}$  ( $V_0, \mu, k, \theta$  は一定とした場合の) に収束する。

つぎに土石流の速度変化のない斜面の傾斜角  $\theta_c$  を求めると

$$\theta_c = \tan^{-1} \mu + \sin^{-1} [kV_0^2 / \{g \cdot (1 + \mu^2)\}^{1/2}] \tag{6}$$

土石流の通過する斜面の傾斜角を  $\theta$  とすれば、 $\theta > \theta_c$  ならばその速度は  $V_e$  に収束し、 $\theta < \theta_c$  ならばその速度は減衰して0となる。また、 $V_0 < V_e$  ならば式(4)を、 $V_0 > V_e$  ならば式(5)を用いるものとする。

以上の事項は、土石流が曲流する場合すなわち  $\alpha = 1$  以外の場合に対しても適用できる。

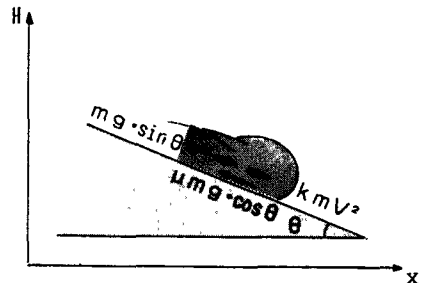


図1 土石流の解析モデル

<sup>1)</sup> 町田・他: 地形学辞典, 二宮書店, 1981.

<sup>2)</sup> 芦田和男: 扇状地の土砂災害, 古今書院, 1985.

**危険区域の予測と考察** 扇状地は土石流の運動特性が遷移する領域にあたり、微地形の影響によって局所的な堆積・洗掘・偏流等の現象が発生し、さらにその結果、偶発的な流路変動を生ずるため、災害の及ぶ領域が広い範囲にわたって変動する可能性が少なくない。一般に、扇面と流路床面との交点が、扇頂部より上流の渓流部に位置する場合または扇状地内に侵食谷が形成されている場合には、土石流の変動範囲はある程度しぼられる。この交点が扇頂付近に位置する場合には流路変動が顕著となるため、それを考慮して危険区域を予測することが必要となる。

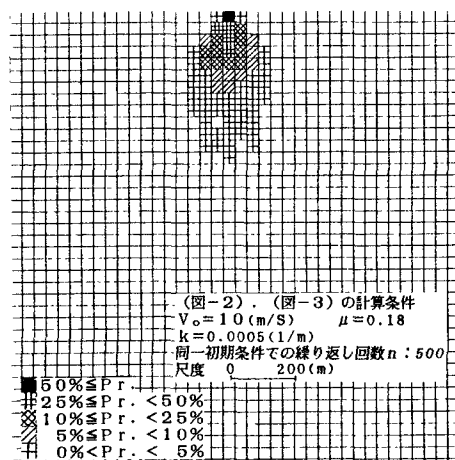


図2 土石流危険範囲の予測例(堆積なし)

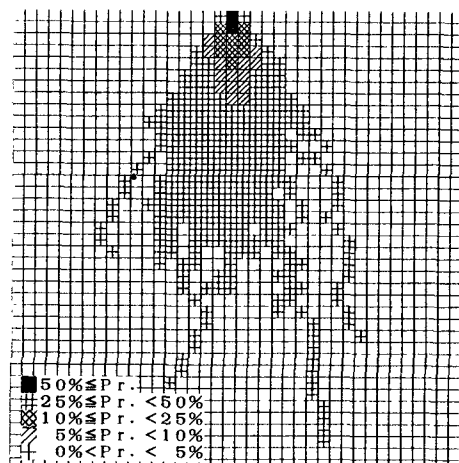


図3 土石流危険範囲の予測例(堆積あり)

土石流危険範囲の予測の手法として、本研究では前述の式(4),(5)を用い、扇頂に速度 $V_0$ で到達した土石流がさらに前方に流動する場合の挙動を、単純な仮定による運動モデルとメッシュ・データによる微地形を要因として、ランダム・ウォーク・モデルを適用して解析する。応用例として、傾斜角が $10^\circ$ の一樣斜面上に対する土石流災害の発生確率を求める。図2と図3は解析結果で、解析に用いた諸数値は図2に併記した。図2は土石流が流動してもそこに土砂が堆積せず、地形変化が生じないものとして解析したもので、土石流の発生回数の増加に伴ってほぼ対称的な図形が得られた。図3は土石流の通過のたびに土砂の堆積すなわち地形変化を考慮したものである。土石流発生回数の増加とともに到達距離は増大し、各所に突出した流動軌跡があらわれてくる。

**土石流と地形発達** 図4は、一樣な斜面上を土石流が通過するたびに堆積が生じて形成された地形の等高線図で、図3の解析結果を図化したものである。また図5は扇頂から斜面下方に向かう中心線に沿った断面図である。土石流の流速が $0.4V_0$ 以下となったとき通過メッシュの標高は $20\text{cm}$ ずつ上昇する条件で解析をした。今後は洗掘の影響も解析にとり入れる必要がある。さらにまた、微地形の変化が土石流の挙動にかなり影響することを利用して、地域の地形に防災的な改修を加えることも検討したい。

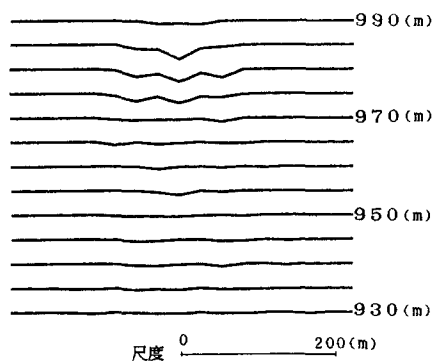


図4 一樣斜面上に形成された土石流地形

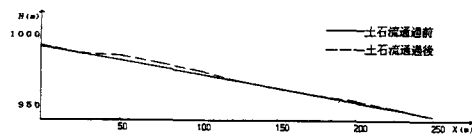


図5 土石流の堆積による一樣斜面の地形断面の変化