

1 はしがき 溪床堆積物が土石流として流動する限界については、長大な堆積物について、Bagnold¹⁾によって論じられ、著者²⁾はこれが成立することを実験的に確めた。高橋³⁾はこれと水深と勾配の関係を表わした。狭きく部等、堆積物の下流側に支之がある場合については、著者⁴⁾はその移動域を求める方法を示した。さて、これらの基準を用いて発生危険箇所を定めていく場合、2つの問題がある。1つは、1つの溪流において堆積物の特性値および勾配が局所的に変化し、その代表値に何を用いるか、またその地奥に供給される流量は、一般に流域面積が狭く、たとえ降雨量が正確に測定できたとしても、流出が非線形性の影響を受けて、従来の予測法が必ずしも妥当でないことである。他の1つは、上述の基準で現地を判定すると、危険と判断されるものが必ず生じ、その中で危険度の大小を判定することが必要になる。本文は、雨量の生起が確率的であるため、危険度も確率的に表わされるとし、各溪床の危険度の比較法を示すと共に、防災計画に用いる危険度の水準の決め方と述べる。

2. 土石流の発生危険率

2.1 土石流の発生領域 堆積物が表面流で流動を生じる限界勾配 θ は、Bagnoldによると式で示される
$$\tan \theta > C_* \tan \phi / [\rho / \{(\sigma - \rho) + \bar{c}\}] \quad (1)$$

ここに ϕ ; 摩擦角, C_* : 堆積物の砂れき容積率, \bar{c} ; 流動中の砂れき容積率, σ , ρ は砂れきおよび水の密度である。また、高橋³⁾によると、
$$\tan \theta > C_* (\sigma - \rho) \tan \phi / [C_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + h_0/d)] \quad (2)$$
 ここに h_0 : 堆積物上の水深である。(1)式は堆積物の全面流動、(2)式は部分流動を表わす。 $C_* = 0.64$, $\tan \phi = 0.5$, $\sigma = 2.65$, $\bar{c} = 0.52$, $h_0 = 2d$ とすると(1)式は 15° 、(2)式は 7.2° となる。 C_* , $\tan \phi$ の妥当な値といかに決めるのが問題になるが、例之は、(2)式で、この θ 以上で、 h_0 以上の水深が生じると、土石流が生じることになる。

2.2 土石流の発生危険率 流動と発生させるに必要な水深 h_0 は、その地奥の流域面積と雨量から求められる。この発生限界雨量を F_d とする。一方、この地奥の発生可能雨量を R_d とすると、 $R_d > F_d$ の降雨が生じたとき、土石流が生じる。もし F_d がその溪流で固定のものとすると、土石流発生危険率 $= F_d / R_d$ または、安全率 $S_d = R_d / F_d \quad (3)$

と定義される。 S_d を基本安全率とする。

2.3 各溪床と単位にした危険率

2.1の方法で、溪床の抵抗力に相当する F_d と、1つの溪床に沿って求めていくと、 F_d は堆積物の特性によって変化し、それらが1溪床中で占める相対度数はある分布を示す。一方、外力としての降雨の生起は、従来より確率関数で示される。抵抗力および外力が確率量るとき、土石流の発生確率 μ は雨量強度 R_d が、発生限界雨量 F_d を起さる確率として定義される。 $P\{A\}$ と事象 A の起さる確率とすると、

$$\mu = P\{|R_d - F_d| > 0\} \quad (4)$$

と表わされる。 R の確率関数と $\phi(R)$, F の確率関数と $\psi(F)$ とすると、 μ は次のように表わせる。

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(R) \int_{-\infty}^F \psi(F) dR dF \quad (5)$$

$\psi(F)$ の関数形については、常盤寺川湯川流域の6つの渓床について、発生勾配以上の突ど、 $h_0 = 2d$ (d : 平均径), 流路幅 $b = 3.5Q^{0.5}$ (Q : 流量) による係数は $1.12 \sin \theta$,³⁾ として 合理式より、流出係数 $f = 0.7$ を用いて、発生限界雨量 F を求め、1 渓床内の相対度数で表わすと、図2のように対数正規分布とみなせるようである。この分布の平均値と F_0 , 標準偏差と σ_F とする。一方、雨量強度は平均値 R_0 , 標準偏差 σ_R をもつ対数正規分布である。 $R - F = X$ とおくと、 R, F とともに対数正規分布であることから、(5)式はつぎのように表される。

$$\mu = \int_0^{\infty} f(x) dx = \int_0^{\infty} (1/\sqrt{2\pi} \sigma_x) \exp\{(1/2)(x-\bar{x})^2/\sigma_x^2\} \quad (6)$$

ここに、 $C = -\bar{x}/\sigma_x$, $\bar{x} = \ln(R/F)$, $\sigma_x = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_F^2}$ である。(6)式は、分布の特性値と与えらると、確率積分表より求められる。(3)式の R_d, F_d と σ_R, σ_F の平均値と結びつけ、 $R_0 = aR_d, F_0 = bF_d = b\sigma_d R$ とおくと、

$$\mu = f(aR_d, b\sigma_d R_d) \quad (7)$$

となり、 μ は基本安全率 σ_d の関数になる。いま、 $\sigma_0 = F_0/R_0$ とおけば、 $C = \ln \sigma_0 / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_F^2}$, これととくと、基本安全率 σ_d は

$$\sigma_d = \exp(\sqrt{\Delta R^2 + \Delta F^2}) (R_0/F_0) (F_d/R_d) \quad (8)$$

ここに、 $\sigma_0 = \exp(\sqrt{\Delta R^2 + \Delta F^2})$, $\Delta R = C \cdot \sigma_R$, $\Delta F = C \cdot \sigma_F$ である。ある地域内の各渓床の相対的な危険度は、各渓床の σ_d の比較によって求められる。(数値例については、図2の F の分布の h_0 のみで変動するので、現地調査の裏付けは行っていない)

3. 防災計画の基準

こうして危険率と与えられた場合、何らかの防災計画と施して危険率を下げなければならぬ。危険率を全くゼロにすることが経済的に無理がある場合、いくらかの危険率を残した水準で満足せざるを得ない。この防災計画とたてる危険率の水準については次のように考えられる。

ある危険率における工事費と $P(\mu)$, 土石流が発生したときの被害額と $D(\mu)$ とするとき、これらの費用と危険率 μ の関係は、図4のように示されよう。両者は相反する関係にある。防災計画の一つの基準としては、両者の費用の和が最小になる

$$P(\mu) + D(\mu) = \text{最小} \quad (9)$$

を満足する危険率が考えられる。もちろん防災計画と施すことにより、 F_d の分布が変化するので、新しい F の特性値で σ_d と比較する必要がある。

4. むすび 一 渓流の土石流発生危険度を表わすのに、抵抗力、外力が確率量であるから危険度を確率量として表現した。現地に適用した具体的数値は講演時に報告する。1) Bagnold: Phil., Trans. of Royal. Soc. of London Ser. A, Vol. 249, 1957

2) 大同: 第18回水理講演集 1974, 3) 高橋: 京大防災研年報 第17号
4) 大同, 第24回水理講演論文集, 1979, 5) 池田: 土木学会誌, 40巻5号, 1955

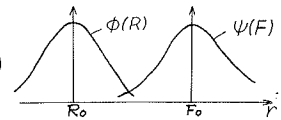


図1 土石流の発生確率

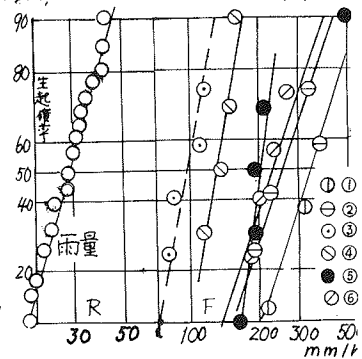
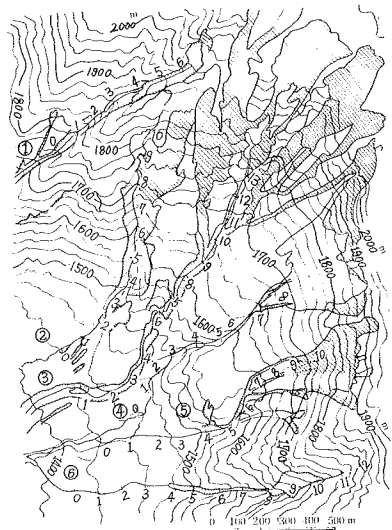


図2 RとFの分布



- 文献で詳しく説明されたと記載されている部分
- 渓床標地
- は図面より、数字は距離を示す(単位100m)

図3 湯川流域平面図

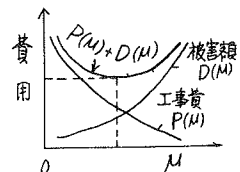


図4 防災計画の基準