

II-2

土石流の発生限界降雨に関する2、3の考察

九州大学工学部 正員 ○平野宗夫
森山聡之

1 まえがき

土石流の発生限界に関しては、従来から発生直前の降雨とそれまでの累加雨量によって判定する手法が多用されてきた。一方、力学的なモデルに基づく発生予測手法もいくつか提案されている。ここでは、前者の問題点を指摘し、前者が後者に含まれることを示す。

2 土石流発生限界の理論

山腹や渓流の土砂が豪雨により流動化する条件については、いくつかの提案がなされている。たとえば、芦田ら¹⁾は渓流における土石流の発生条件として次式を与えている。

$$Q_c = \sqrt{\frac{8 \sin \theta}{f_o \kappa^3} B^2 g d^3} \quad (1)$$

ここに、 Q_c は発生限界流量、 f_o は摩擦損失係数、 κ は土石流流動厚と表面流水深との比で1に近い値、 θ は溪床勾配、 B は川幅、 g は重力の加速度、および d は堆積物の粒径である。

上式に合理式を適用すると、発生限界降雨は次式で与えられる。

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{1}{fA} \sqrt{\frac{\sin \theta}{f_o \kappa^3} B^2 g d^3} \quad (2)$$

ここに、 r_T は T 時間内の平均降雨強度、 T は到達時間、 r は降雨強度、 A は流域面積、および f は流出係数である。

また平野ら²⁾は、山腹における側方浸透流の水深がある値(一般的には堆積層の厚さ)になった時崩壊がはじまると考え、発生条件として次式を導いた。

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{D k \tan \theta}{l} \quad (3)$$

ここに、 D は浸透流の崩壊限界水深、 l は斜面長、 k は浸透係数、 λ は堆積物の空隙の割合、および θ は斜面勾配である。

(2)式と(3)式は対象も式誘導の過程も異なるが、到達時間内の平均降雨強度がある値を超えると土石流が発生することを表している。両式右辺をそれぞれ渓流および斜面に固有の値と考え、土石流の発生は到達時間とその間の雨量によって規定されることになる。また、(2)式は洪水流出を、(3)式は中間流出を表すと考えられるから、合理式の代りに単位図法やタンクモデルを利用することもできよう。

一方、従来から土石流発生限界に関して、直前の雨量と累加雨量によって表す手法が多用されている。たとえば、建設省の指針(案)³⁾やそれを修正した矢野の方法⁴⁾では、縦軸を直前の時間雨量、横軸を1時間前までの累加雨量(または実効雨量)とした平面上に、発生限界がほぼ-1:1の直線で表わされている。すなわち、前者では土石流発生1時間前までの累加雨量を R_i と前期実効雨量 R_{w_a} の和 $R_w = R_i + R_{w_a}$ を横軸に、直前の1時間雨量 R_i を縦軸にとっている。しかし、この平面上で-1の傾きで表される直線は、下式のようになり、直前までの実効雨量 R_w がある値を越えると土石流が発生することを意味する。

$$R_i + R_i + R_{w_a} = \text{const.} \quad (4)$$

また、 $R_i + R_i$ は直前までの累加雨量であるから、累加雨量を1時間前で R_i と R_i に分けて二つのパラメータとすることは物理的に全く無意味であるばかりでなく、1次元のものをわざわざ2次元にしていたずらに繁雑にするだけであることは明らかである。(3)式において到達時間が長い場合は、(4)式とほぼ同じ結果を与える。しかし、到達時間が短い桜島や雲仙の場合は、(4)式の適合性はわるくなり、(3)式の妥当性を支持する。

一方、矢野は*i*時間前の1時間雨量を R_i 、 α_i を係数とし、横軸 R_w を

$$R_w = \sum_{i=1}^t \alpha_i R_i \quad (5)$$

としている。この場合は、縦軸を R_1 とした平面上における直線は次式のように表される。

$$\sum_{i=0}^t \alpha_i R_i = \text{const.} \quad (6)$$

したがって、 R_w を1時間前で分けるのは同様に全く意味がない。上式左辺は単位図法と同じである。(4)式で傾きが1でない場合も同様の式で表すことが出来る。

以上のことから、土石流の発生限界は、洪水流量と同じように、到達時間内の降雨強度や降雨の線型結合(すなわち、単位図や実効降雨)によって表すことができることが分かる。

3 土石流の規模と降雨

土石流の流量に関して、平野ら⁵⁾は次式を導き、桜島の土石流に適用した。

$$Q(t + \tau_1) - \int_0^L q_0 dx = A r(t) \frac{f_s}{(f_s - 1)\lambda} \left\{ \eta_0 \int_{kt \sin \theta / \lambda}^{\infty} \phi(\eta_0, l) dl \right. \\ \left. + \frac{k \sin \theta}{\lambda} \int_0^t \eta \phi\left(\eta, \frac{k(t - t_0) \sin \theta}{\lambda}\right) dt_0 \right\} \quad (7)$$

ここに、 $\eta_0 = \int_0^t r \cos \theta dt$ 、 $\eta = \int_{t_0}^t r \cos \theta dt$ 、 τ_1 は河道における到達時間、 A は流域面積、 $\phi(\eta, l)$ は $\eta = \lambda D$ および l の結合密度関数、 $f_s = (1 - \lambda) / (1 - \lambda - c)$ 、 c は土石流の濃度、 λ は堆積物の空隙の割合、 t は時間および θ は斜面の角度である。上式の右辺括弧内において、ハイドログラフの立ち上がりからピーク付近にかけて第1項が支配的であり、低減部に入るにつれて第2項の影響が現れてくる。したがって、ピーク付近では近似的に下記のように表すことができる。

$$\frac{Q}{AM} \approx r(t) \int_0^t r \cos \theta dt, \quad M = \frac{f_s}{f_s - 1} \frac{1}{\lambda} \int_{kt \sin \theta / \lambda}^{\infty} \phi(\eta_0, l) dl \quad (8)$$

ここに、 Q は土石流の流量である。上式から、土石流の流出高は直前の降雨強度と累加雨量の積に比例することが分かる。上式は、土石流の流量はその存在確率に比例し、存在確率 $\propto$ 寿命時間 $\propto$ 堆積土砂量 $\propto$ 堆積層厚であり、浸透水の水位($\propto$ 累加雨量)が堆積層厚に等しくなると土石流が発生するという条件から導かれたものである。発生直前の降雨強度と累加雨量を両軸とする平面上に(8)式を描くと $Q/(AM) = \text{const.}$ の線が双曲線として示される。したがって、直前の雨量と累加雨量で表される平面は、土石流の発生限界というより、土石流流出の強度を示すものと見なすことができる。ただし、この場合の累加雨量は「1時間前までの累加雨量」ではなく、直前までの累加雨量である。

参考文献

- 1) 芦田和男・高橋保・沢井健二：土石流の危険度の評価方法に関する研究、京都大学防災研究所年報、第21号、B-2、423-440、(1978)
- 2) 平野宗夫・岩元賢・原田民司郎：人工降雨による土石流の発生機構に関する研究、第31回土木学会年次学術講演会概要集、299-301、(1976)
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)、砂防課長通達、(1984)
- 4) 矢野勝太郎：前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究、新砂防、Vol.43, No.4(171), 3-13、(1990)
- 5) 平野宗夫・正田誠・森山聡之：活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測、第30回水理講演会論文集、181-186、(1986)