

第3回講座 土石流の発生・流動

梅雨も明けて暑い夏がやって来たようですが、もう台風が本土を窺うようになってきていますので、又、土砂災害の発生に注意したいものです。前回の講座に乗せました過去の例でも、案外と8月に発生している件数が多いのです。今回は土石流の発生条件の照査式とその流量について述べます。

土石流の発生条件

現象面から見た一般論では、20°以上の溪床勾配を有する溪床に堆積土砂が存在する溪流では、土石流が発生する可能性があると考えられています。

河床堆積物に起因する土石流については理論的・実験的に次のような考察が加えられています。谷頭部あるいは溪岸からの崩落により溪床に崩落土が堆積する場合、崩落土の堆積勾配は空中安息角に近い値となる。高橋はこのような堆積層の表面に流れが生じた場合の堆積層の安定性を、無限長斜面の平面すべりの発生条件により理論的、実験的に検討し、発生条件式を導きました。

$$A \frac{3.6}{e} \left\{ \frac{8g \sin \theta}{f} \right\}^{1/2} \cdot \left\{ C^* \left(\frac{\tan \theta}{\tan \phi} - 1 \right) \left[\frac{\tan \theta}{\tan \phi} - 1 \right] - 1 \right\}^{3/2} \cdot d_m \cdot B \cdots (1)$$

ここに、 A: 流域面積 (km²)

re: 洪水到達時間内平均降雨強度 (mm/hr)

fr: 摩擦損失係数

g: 重力加速度 (m/sec²)

θ: 溪床勾配 (度)

C*: 溪床堆積土砂の容積土砂濃度

φ: 溪床堆積土砂のせん断抵抗角 (度)

d_m: 堆積層の砂礫の平均粒径 (m)

B: 川幅 (m)

ρ_s: 堆積層の砂礫の密度 (tf/m³)

ρ_w: 堆積層の水の密度 (tf/m³)

ただし(1)式は下記の条件式を満足しなければ土石流は発生しない。

$$\tan \theta > \frac{C^* \left(\frac{\tan \theta}{\tan \phi} - 1 \right) \tan \theta}{C^* \left(\frac{\tan \theta}{\tan \phi} - 1 \right) + (1 + h_o/d_m)}$$

$h_o/d_m = 1.4$ (経験則)として式に代入すると

$$\tan \theta = \frac{C^*(\tan \phi - \tan \alpha)}{C^*(\tan \phi - \tan \alpha) + 2.4}$$

として土石流の発生予測が行える。

ここに、 h_o :土石流発生時表面流水深 (m)

土石流の流動

(1) 土石流のピーク流量

土石流の発生過程には、(a) 溪床堆積物が流水により強く侵食されて土石流になる。(b) 山腹崩壊土砂がそのまま土石流になる。(c) 山腹崩壊土砂が流れをせき止めて天然ダムを形成し、それが決壊して土石流になる等が考えられる。(b),(c)についてはピーク流量を推定する方法が無いので、(a)について計画値を設定する。土石流のピーク流量 (Q_{sp}) は、水のみを対象流量 (Q_p) との間に、下記のような関係があるとして求める。

$$Q_{sp} = K \cdot Q_p$$

$$K = \frac{C^*}{(C^* - C_d)} \quad Q_p$$

ここに、 Q_{sp} : 土石流のピーク流量 (m^3/sec)

: 係数 ($= \frac{C^*}{(C^* - C_d)}$) (範囲は1 ~ 20)

Q_p : 水のみピーク流量 (m^3/sec)

C^* : 溪床堆積土砂の容積土砂濃度 ($= 1 - n$, n : 間隙率)

C_d : 流動中の土石流の土砂濃度で溪床勾配 20° 以上では0.55程度とする

砂れき型土石流の一例として、焼岳上々堀沢における実測値を用いると

$C^* = 0.7$, $C_d = 0.55$ と考えられるので

$$Q_{sp} = 4.7Q_p \quad \text{と示される}$$

泥流型土石流の一例として、桜島野尻川における実測値を用いると

$C^* = 0.7$, $C_d = 0.5$ 程度と考えられるので

$$Q_{sp} = 3.5Q_p \quad \text{と示される}$$

(2) 総土石流の規模

総土石流の規模は流域面積 3km^2 を境に考えます。

1) 3km^2 以下の場合

現地で容易に入手できる地形図と災害時の時間雨量により流域面積 $0.5 \sim 3\text{km}^2$ (1～2次谷)で発生した土石流の量的把握は土石流の全量を V_s とすると

$$V_s = L_e \times B_d \times \overline{D_e} \quad (\text{m}^3) \quad \text{で示される}$$

土石流による洗掘長(L_e)は、一次谷となる地点から溪床勾配 10° となる地点までの長さをとるか、流域面積 A (km^2)が判明しているときは、 $L_e = 3A^{1/2}$ として計算する。

現地河川における川幅は、土石流の流下幅として $B_d = 3Q_p^{1/2}$ で示す。

ただし、 Q_p はラショナル式で示される清水のピーク流量である。

平均洗掘深(D_e)は、溪流の地域性によって、溪床堆積物の量が異なるため推定が困難であるが、過去の土石流災害の平均洗掘深の調査結果を参考に推定する。

平均洗掘深調査結果

土石流発生溪流	平均洗掘深
本 沢 (西湖災害、山梨県)	3.02 m
三沢川 (西湖災害、山梨県)	2.49 m
小浜川 (尾鷲災害、三重県)	2.00 m
砥石川 (天草災害、熊本県)	1.70 m
小豆島災害 (香川県)	0.5 ~ 1.8 m

流域面積を地形図から読み取る際、土石量の全量の場合は溪床勾配 10° 以上とし、さらに土砂流を加えた土砂全量とする場合は全流域面積(横過地点上流・調査ポイント)とすればよい結果が得られる。

2) 3km²以上の場合

流域面積が3km²を超える場合の土石流規模を推定する手法は、現在のところ提案されていないので3km²を超える場合は、過去の実績を元に地質別に推定するなどの方法が考えられます。

土石流区域 (標準流域面積1km²の場合)

1)花崗岩地帯	50,000 ~ 150,000m ³ /km ² /1洪水
2)火山噴出物地帯	80,000 ~ 200,000m ³ /km ² /1洪水
3)第3紀層地帯	40,000 ~ 100,000m ³ /km ² /1洪水
4)破碎帯地帯	100,000 ~ 200,000m ³ /km ² /1洪水
5)その他の地帯	30,000 ~ 80,000m ³ /km ² /1洪水

流域面積が標準の10倍の場合は数値を0.5倍、1/10倍の場合は3倍程度として用いる