

II-224

土の粒度組成が崩壊現象に及ぼす影響

岐阜大学 正会員 ○田中祐一朗
建設省 後藤 功次

1. はじめに

地球の表面は絶えず変動しており、平地においては水害、山地においては土砂災害がつきまとい、人類の生活を脅かしている。災害は人間の力によって軽減されてきたが、まだまだ自然の力が人力を上回っている。自然災害が猛威をふるっているのが現状である。土砂災害を軽減する道には二つあり、第一は斜面崩壊の防止、土砂流の進路の変更あるいは阻止であるが防止事業は個人の能力を越えるものである。第二は災害の発生する土地を利用しない、あるいは災害の発生を予知して、災害が発生しそうな時期だけその土地を離れて避難することである。

本研究は崩壊現象を粒度組成といった観点から、崩壊の発生機構を検討し、その発生を予知する方法を確立しようとするものである。

2. 全層崩壊

全層崩壊とは斜面先端部分からの砂の流出がなく、降雨の浸透によって、地下水が基面上に蓄えられ、土のせん断抵抗が、土塊を下方に運動させようという応力よりも大きくなると崩壊斜面が一時にすべり落ちる現象で、一般に大規模崩壊となることが多い。

そこで、第一の条件である砂の流出が発生しない条件として降雨によって生じる掃流力と斜面を構成している土が持っている限界掃流力、つまり、摩擦速度 u_* と限界摩擦速度 u_{*c} において $u_* < u_{*c}$ の関係が成立する崩壊発生条件式を考える。降雨強度 r が透水係数 k よりも小さい場合、降雨はすべて土中に浸透するとすると、

$$r < k \text{ のとき} \quad r > r_w \quad (1)$$

となり、降雨強度 r が透水係数 k よりも大きな場合、透水係数以上の降雨は斜面上を流下するとすると

$$r \geq k \text{ のとき} \quad r < (r_w + k) / 2 \quad (2)$$

となる。 r_w は以下のように斜面を構成する、土質諸量によって決まる値である。

$$r_w = \frac{2 \sin \theta \cdot u_{*c}^{10/3}}{M D' \cdot g^{5/3} \tan^{7/6} \theta} \quad (3)$$

M ; マニングの粗度係数、 θ ; 斜面勾配、

g ; 重力加速度、 D' ; 土層厚

ここで、限界摩擦速度 u_{*c} は岩垣の限界掃流力の式を用いることにする。

次に地下水深の上昇による土の強度低下について考

えることにする。時間と共に地下水の貯留が進行し、土中の間隙水圧が増大すると、やがて基面に作用するせん断応力が土の粘着応力 C' と基面に作用する有効応力 σ' の和としての土のせん断抵抗力を越えるようになる。

$$\tau > C' + \sigma' \tan \phi \quad (4)$$

これはCoulombの土のせん断応力の関係式としてよく知られており、この条件が満たされた時点で、斜面上の土は一度に崩壊することになる。

しかし、実際の斜面においては、砂質土のみで構成されている斜面はほとんど皆無であり、砂と比較して粒径のかなり大きな礫を含む斜面が大多数である。そこで、図-1に示すような単位面積あたりの砂層の中に粒径 d の礫を m 個含む斜面モデルについて考える。砂層の一部を礫で置き換え残りの空間に砂が詰まっているとすると、基面に作用する有効応力 σ' とせん断応力 τ は以下のように表される。

$$\sigma' = \left(\sigma m \frac{\pi d^3}{6 x y} + (D - m \frac{\pi d^3}{6 x y}) \cdot \left\{ \frac{H_1}{D} \gamma_{sub} + \left(\frac{D - H_1}{D} \right) \gamma_t \right\} \right) \cos \theta \quad (5)$$

$$\tau = \left(\sigma m \frac{\pi d^3}{6 x y} + (D - m \frac{\pi d^3}{6 x y}) \cdot \left\{ \frac{H_1}{D} \gamma_{sat} + \left(\frac{D - H_1}{D} \right) \gamma_t \right\} \right) \sin \theta \quad (6)$$

σ : 礫の比重、 d : 礫の粒径、 $x y$: 斜面の単位面積

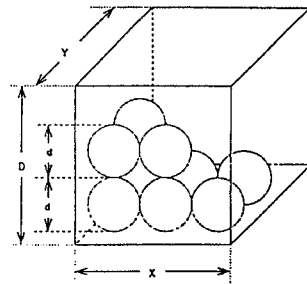


図-1 礫を含む斜面モデル

これをCoulombの条件式に代入し、降雨と地下水の連続条件を考慮すると、

$$R > \frac{n}{\cos \theta} \cdot A' \quad (7)$$

$$A' = \left\{ \frac{C'}{\cos \theta} \left(\frac{D}{D-m \frac{\pi d^3}{6xy}} \right) + D \left(\frac{\sigma m \frac{\pi d^3}{6xy}}{D-m \frac{\pi d^3}{6xy}} + \gamma_t \right) (\tan \phi - \tan \theta) \right\} / (\gamma_{sat} - \gamma_t) \tan \theta + (\gamma_t - \gamma_{sub}) \tan \phi \quad (8)$$

C' : 粘着力、 γ_t : 湿潤単位体積重量、

γ_{sat} : 飽和単位体積重量、

γ_{sub} : 水中単位体積重量、 ϕ : 内部摩擦角

と、総降雨量 R に関する崩壊条件式が得られるが、この式では、総降雨量が同じであれば小雨のような降雨強度の非常に小さなものが長期間降ったものと集中豪雨のような降雨強度の非常に大きなものが短期間降ったものも変わらないことになる。そこで地下水深が上昇する降雨強度は土の透水係数 k が粒子の間隙に大きく関係することから、この効果を取り入れた、コッユニ式

$$k = \frac{c g}{\nu} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_s^2 \quad (9)$$

$$1/d_s = \sum (\Delta l_{12}/d_{12})$$

$$d_{12} = \sqrt{d_1 d_2}$$

c : 0.003~0.006砂の形状に関する定数
 n : 空隙率

を用いることによって、

$$r_k > r_d' \quad (10)$$

$$r_d' = \frac{2 n^3 c g d_1 d_2 \tan \theta}{(1-n)^2 \nu L} \cdot A' \quad (11)$$

となる。以上のことから、全層崩壊の降雨強度に関する発生条件式を整理すると、以下のようである。

$$r < k \text{ のとき} \quad r_d' < r < r_w \quad (12)$$

$$r > k \text{ のとき} \quad r_d' < r < \frac{1}{2} (r_w + k) \quad (13)$$

また、崩壊発生時刻は

$$t > \frac{2 n^4 c g d_1 d_2 \tan \theta}{(1-n)^2 \nu L \cos \theta} \cdot \frac{A'^2}{r^2} \quad (14)$$

となる。

3. 領域区分

粒径 d と降雨強度 r の関係から崩壊の形態を区別し

たものが図-2である。一斜面における崩壊発生降雨強度条件 r_w 、 r_d' は各々その斜面がもつ土質諸量によってただ一つ求められる。 r_w は限界摩擦速度 u_{*c} に岩垣の式を用いることにより、 $r_w = \alpha d^{5/3}$ と粒径の $5/3$ 乗に比例する関数となり、一方、 r_d' は $r_d' = \beta' d^2$ と粒径の 2 乗に比例する関数として書き表すことができる。ここで、 α 、 β' は土質諸量と斜面の規模によって決まる比例定数であり、これらの値により、それぞれの関数の交点は変化することになるが、その斜面における階段状崩壊の領域 $r_w < r$ 、全層崩壊の領域 $r_d' < r < r_w$ はただ一つ図示することが可能となる。この図から次のようなことが言える。第一に、たとえ同じ粒径であっても、降雨強度によって、全層崩壊や階段状崩壊が生じたり、崩壊は発生しなかったりと様々である。第二に、粒径が大きくなるに従い、崩壊は起こりにくくなる。第三に、階段状崩壊¹⁾ は粒径が大きくなっても、降雨強度を大きくすることによって崩壊は起こりうるが、全層崩壊は粒径に限界があるため、この限界の粒径を超える斜面ではいくら大きな降雨強度を与えても全層崩壊は発生しない。

以上のことから、土質諸量と斜面規模によって求められる崩壊領域図から粒径と降雨強度を与えることによって、どのような形態の崩壊が発生するかを予測することが可能となる。この理論の妥当性については講演時に述べることにする。

4. おわりに

本研究は、単位面積について考慮しており、斜面の形状については考慮していない。V字型地形等斜面形状に関する検討は、別の機会に発表したい。

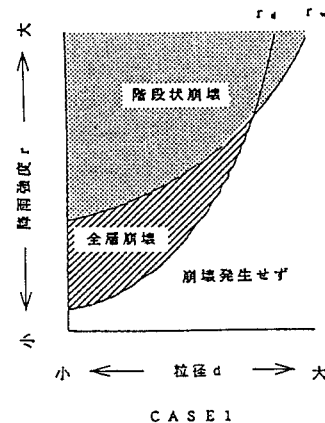


図-2 粒径と降雨強度による崩壊領域

【参考文献】

- 1) 田中祐一郎: 階段状崩壊の発生とその堆積機構、岐阜大学工学部研究報告、第43号、1993