

斜面における崩土の挙動に関する研究

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男

京都大学防災研究所 正員 江頭 進治

京都大学大学院 学生員 〇神矢 弘

1. まえかき 山腹崩壊によって生産される土塊の挙動を調べることは、土砂災害の防止・軽減対策を企画・実施するうえで重要な役割を果たす。本報においては、斜面上における土塊の挙動に着目し、それがどのような抵抗則にしたがって運動するのかを、理論と実験の両面より検討する。

2. 土塊の運動方程式 土塊がその形を保ったまま斜面上を滑動するようすを観察すると、その滑動速度 u_f は、ある程度まで増加したのち定常値 $u_{f\infty}$ となる。このような運動特性は、土塊に作用する抵抗力として、 u_f に依存しない粒子摩擦力と u_f に依存する流体抵抗力の二つを考えるとうまく説明がつく。図-1は、斜面上を滑動する土塊の模式図である。この図のように運動を一次元的に取扱ひ、斜面は非侵食性で土塊は水で飽和し、さらに滑動中の土砂堆積と土塊先端からの水の流出がないものと仮定し、上述の二種類の抵抗力を導入すると、斜面上を滑動する土塊の運動量保存則が求まる。いま、表面流速 u_1 が u_f よりも大きい場合について示すと次式のようなものである。

$$\frac{d}{dt}(B A_f u_f) = B A_f g \sin \theta - \mu_k (1 - \lambda)(B - P) A_f g \cos \theta - P f_b u_f^2 + P(u_1 - u_f)^2 h_1 + \frac{1}{2} P g h_1^2 \quad (1)$$

ここに、 μ_k は動摩擦係数、 f_b は流体抵抗係数、 λ は土塊全体の空けき率、 P 、 B 、 P_f はそれぞれ水、土粒子、土塊の密度、 A_f 、 l_f 、 h_f はそれぞれ土塊の断面積、長さ、高さ、 h_1 は表面流の水深である。 $u_1 \leq u_f$ の場合は(1)式で $h_1 = 0$ とおけばよい。ここで、滑動中の土塊の底面近傍のようすに着目する。

図-2は土塊の変形過程を示したものである。(a)の段階ではせん断による変形がまだ生じておらず、土塊底面の粒子の滑動速度 u_s は土塊全体の滑動速度 u_f に等しく、土塊は完全なスリップ運動を呈する。一方、間げき水の速度は水の粘性のため斜面との接点ではゼロとなるから、図中(a)のような速度分布となる。本報ではこのような段階における運動

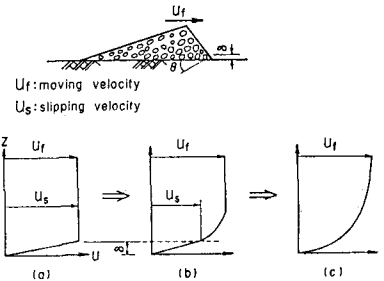


図-1 斜面を滑動する土塊

を対象としており、間げき水のせん断に伴う層流抵抗を考えると、流体抵抗係数 f_b については以下のような議論が可能である。すなわち、土塊底面における水のせん断力を τ 、水の粘性係数を μ とすると、流体抵抗力は(2)式のように表わせる。さらに、せん断層厚 δ が粒径 d の α 倍であると考えれば、図-2(a)を参照して(3)式が成り立つ。

$$P f_b u_f^2 = \tau = \mu \frac{du_s}{dz} \Big|_{z=0} \quad (2) \quad \frac{du_s}{dz} \Big|_{z=0} = \frac{u_s}{\delta} = \frac{u_f}{\alpha d} \quad (3)$$

(3)式を(2)式に代入して f_b は次式のように表わされる。

$$f_b = \frac{\mu/P}{\alpha u_f d} = \frac{1}{\alpha Re_*} \quad (4)$$

ここに、 $Re_* = \frac{u_f d}{\nu}$ であり ν は水の動粘性係数である。(4)式は f_b が Re_* に逆比例することを示す。

Kazuo ASHIDA, Shinji EGASHIRA, Hiroshi KAMIYA

3. 土塊の運動に関する実験的考察 実験水路は幅10.5cm、長さ6mの矩形断面で、側壁はガラス張りにして目視観察・ビデオ撮影が可能となるようにしてある。また、路床には粗度がはりつけてある。図-3は実験に使用した土塊の模式図である。土塊は砂と粘土とを一定割合で練り合わせて作ったもので、ほぼ $l_f = 20\text{cm}$ 、 $h_f = 4\text{cm}$ 、また幅は水路幅に等しい。これを、あらかじめ定めた勾配、粗度のもとで一定流量を供給して滑動させ、その滑動速度 u_f を測定する。図-4はその実験結果の一例である。これによれば、ある距離を滑動したのち、土塊は定常速度 $u_{f\infty}$ に近づくことがわかる。ここで、 μ_k と f_b についての実験的考察を行う。図-5は土塊の動摩擦係数 μ_k と静止摩擦係数 μ_s との関係を見たものである。図-6は土塊の動摩擦係数 μ_k と静止摩擦係数 μ_s との関係を見たものである。図-7は土塊の動摩擦係数 μ_k と静止摩擦係数 μ_s との関係を見たものである。

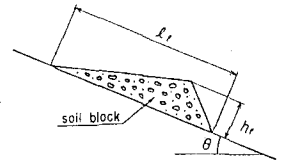


図-3 整形した土塊

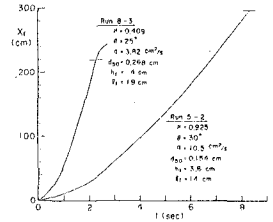


図-4 滑動距離の時間変化

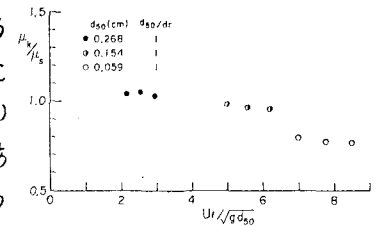


図-5 μ_s と μ_k の関係

より求めたものである。この図より、若干のばらつきはあるものの、実験領域においてはほぼ $\mu_k \approx \mu_s$ とみなしてもよいことがわかる。図-6は実験から得られた $u_{f\infty}$ および $\mu_k (= \mu_s)$ を(1)式に代入して求めた f_b と $Re_* = \frac{u_{f\infty} d_{50}}{\nu}$ との関係を示したものである。ここに、 d_{50} は土塊材料の50%粒径である。図に示すように、 f_b は Re_* に逆比例しており、その比例係数は材料ごとに異なった値になっている。このことは先に述べた f_b に関する議論と一致するところであるが、実験領域や比例係数が粒径に依存する点などについては今少し検討を要する。

4. 土塊の運動方程式の解とその適用 以上のように議論された μ_k と f_b を(1)式に適用してそれを解けば、無次元滑動速度 $u_f' (= u_f / \sqrt{g h_f})$ と無次元滑動距離 $x_f' (= x_f / h_f)$ とが次式のように求まる。ここでは簡単のため、 $u_1 < u_f$ なる場合のみを示す。

$$u_f' = -\frac{C}{b} + \left(u_0' + \frac{C}{b}\right) e^{bt'} \quad (5)$$

$$x_f' = -\frac{C}{b} t' + \frac{1}{b} \left(u_0' + \frac{C}{b}\right) (e^{bt'} - 1) + x_0' \quad (6)$$

ここに、 $b = -2 \frac{P}{P_f} \frac{\nu / \alpha}{d_{50} \sqrt{g h_f}}$ 、 $C = \cos \theta \left\{ \tan \theta - \mu_k (1 - \lambda) \frac{P_s - P}{P_f} \right\}$ 、 $t' = t \sqrt{g / h_f}$ 、また u_0' 、 x_0' はそれぞれ $t = 0$ における u_f' 、 x_f' の値である。図-7は(6)式と実験値とを比較したものである。一例ではあるが、両者はかなりよく一致していることがわかる。

5. あとがき 山腹崩壊によって生産される土塊の斜面上における抵抗則について理論と実験の両面より検討を行い、興味ある知見を得た。今後、 μ_k や f_b についてのさらに詳細で一般的な議論が必要である。

<参考文献> 1) 芦田, 江頭, 大槻; 山腹崩壊土の流動機構に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 26号B-2,

昭和58年4月, pp 315-327

図-6 f_b と $Re_* = u_{f\infty} d / \nu$ の関係

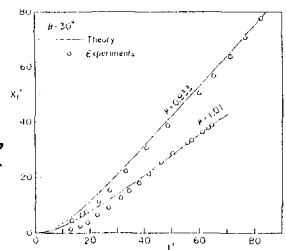


図-7 x_f' の理論値と実験値

