

(29) 円弧すべり面をもつ崩壊土塊の運動について

国立防災科学技術センター 森脇 寛・矢崎 忍

1. はじめに

崩壊土塊による人的、物的被害を防止・軽減するためには、土塊が落下してから停止するまでの間にどのような速度の変化を示し、どこまで到達するかを知ることが必要である。研究手法についてはいろいろ考えられるが、ここでは円弧すべり面をもつ土塊の運動を質点力学系モデルで取り扱い、その一例として人工降雨による斜面崩壊実験の結果を用いて計算を行ったので以下に報告する。

2. 崩壊土塊の運動について

円弧上を落下する土塊の接線方向および法線方向の運動方程式は次の2式で表わされる。符号は時計と反対まわりの方向を+とした。

$$m \frac{dv}{dt} = -mg \sin \varphi + fN \quad (1. a)$$

$$m \frac{v^2}{a} = -mg \cos \varphi + N \quad (1. b)$$

ただし、 $m$ は質量、 $v$ は速度、 $f$ は動摩擦係数、 $g$ は重力加速度、 $\varphi$ は角度、 $N$ は垂直抗力、 $a$ は円の半径、 $s$ は距離とする。

$\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{ds} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds}$ 、 $\frac{dv^2}{ds} = \frac{1}{a} \frac{dv^2}{d\varphi}$  として(1. a), (1. b) から  $N$ を消去すると

$$\frac{dv^2}{d\varphi} - 2fv^2 = 2ag(f \cos \varphi - \sin \varphi) \quad (2)$$

(2)を $\varphi = \varphi_0$  で $v = 0$ として積分すれば

$$v^2 = \frac{2ag}{1+4f^2} \left[ \left\{ (1-2f^2) \cos \varphi + 3f \sin \varphi \right\} - e^{2f(\varphi-\varphi_0)} \left\{ (1-2f^2) \cos \varphi_0 - 3f \sin \varphi_0 \right\} \right] \quad (3)$$

また(3)の右辺を $F(\varphi)$ とすると  $t = \pm \int \frac{d\varphi}{\sqrt{F(\varphi)}} \quad (v \geq 0)$  (4)

土塊が対岸にのり上げた場合、すなわち $\varphi$ が $\varphi_0$  ( $\varphi_0 < 0$ )に達して $v = 0$ となった時、 $\tan \varphi_0$ が土塊の静摩擦係数 $f_s$ よりも小さければ土塊はそこで停止する。しかし $\tan \varphi_0$ が $f_s$ よりも大であれば土塊は反対方向に向かって再び落下運動を始める。その時の運動は(2)の $f$ を $-f$ に置きかえたものに等しい。以上から $\varphi_0$ ,  $a$ ,  $f$ ,  $f_s$ が明らかになれば(3), (4)から崩壊土塊の運動が定まるわけであるが(4)の積分を解析的に求めることは困難なので、ここでは数値計算による方法を用いた。

3. 計算例

図2は千葉県佐原産山砂を用いた斜面崩壊実験の一例である。斜面崩壊装置は幅1.5m, 斜面長6m, 水平部3m, 深さ0.6m (土層深0.5m)の鋼鉄製水路で、片側壁は土層の変形を観察できるように強化ガラスを用いた。実験土層の初期含水比は約8%, 締め固め乾燥密度は1.48である。散水強度は50mm/分で実験開始後109分に大崩壊した。

実験後に調べたすべり面の形状、土層の変動量から近似的に半径6mの円弧すべりを仮定し、土塊

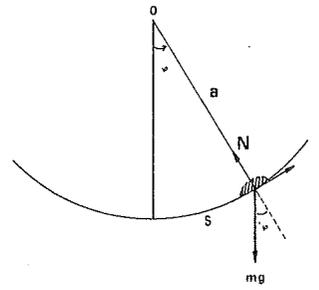


図1 運動モデル

の初期角度  $\varphi_0 = 40^\circ$ ，停止角度  $\varphi_s = 14.5^\circ$  として計算した結果が図3, 4, 5, 6である。ただし計算は崩壊土塊が一体となってまさに崩壊しようとする状態からを仮定しているため，崩壊時までにみられるクリープ変形は考慮していない。図中の各々の曲線は種々の摩擦係数値を与えた時の土塊が停止するまでの変化を示している。点線は，今回の実験で観測された停止角度  $14.5^\circ$  の場合の変化を示している。図3から本実験におけるすべり面の摩擦係数  $f$  は  $0.49$  ( $\tan 26.4^\circ$ ) となる。また  $f = 0.26 \sim 0.70$  ( $\tan 20^\circ \sim \tan 35^\circ$ ) の範囲では停止するまでの時間あまり差がでないことを示している。図4, 5, 6から土塊がどの位置またはどの時間に最高速度を示すかを推定することができる。

#### 4. おわりに

以上の計算には崩壊土塊の質量・形状および摩擦係数が変化しないなどの制約があるものの，摩擦係数の値について今後数多くの現場事例を検討すれば，危険区域を設定する際のひとつの指針を得ることが出来るものと思われる。

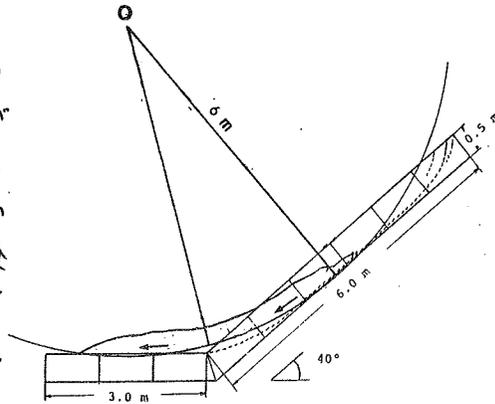


図2 斜面崩壊実験 (1981)

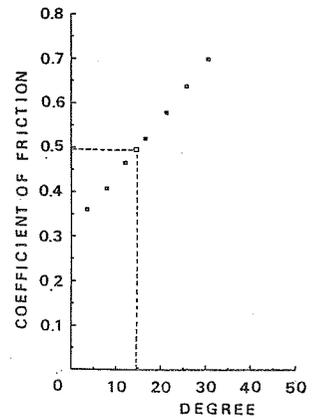


図3 動摩擦係数と停止角度

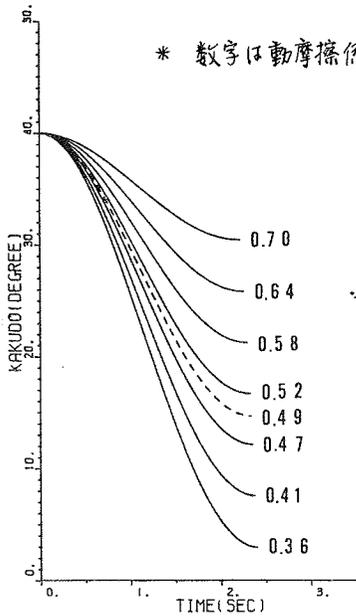


図4 移動角度—時間

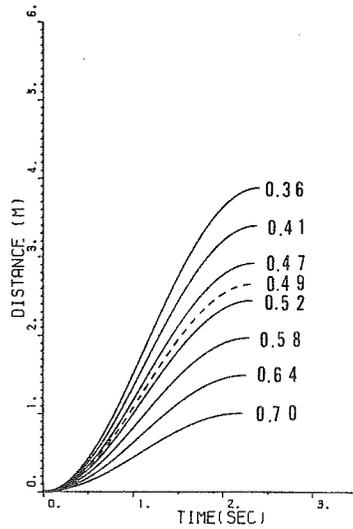


図5 移動量—時間

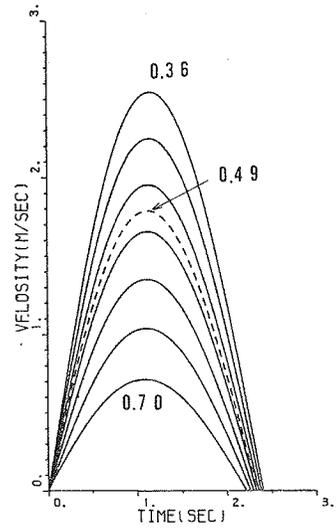


図6 速度—時間

<参考文献> 山内恭彦著 (1965), 一般力学, 岩波書店