

II-129 降雨による階段状斜面崩壊とその堆積機構

岐阜大学工学部 正員 田中祐一朗
日本舗道(株) 正員 富田 和広
日本道路公団 正員 藤岡 一頼

1. はしがき: 降雨による斜面崩壊の発生機構と堆積形状については未解明の問題が多い。本研究は人工降雨による斜面崩壊に関し、簡単な実験を行い、得られた結果をもとに若干の考察を加えた結果について報告するものである。

2. 人工降雨による斜面崩壊実験: 実験斜面は図-1に示すように、幅150cm、斜面長400cm、水平長350cm、高さ185cm、斜面勾配28°の鋼製である。基面に約10cm程にベントナイトを敷き、その上に約50cmの厚さに実験砂を敷いた。実験砂は珪砂7号と8号を同量ずつ混合したものを用い、その中央粒径は $d_{50} = 0.1\text{mm}$ である。また地下水の状態を把握するため、基面に約50cm間隔に10本のマノメータを設置し、地下水位の時間的変化を測定した。人工降雨は水道水及びポンプにより、6ケのスプリンクラーを通じ与え、雨量は転倒マス型雨量計のパルス信号を斜面崩壊警報機¹⁾にて10分毎に計測した。実験中の斜面を8mmビデオにて撮影し、実験後画像解析によりデータとした。実験に先立って、実験砂の土質常数を土質試験により調べた。その結果を表-1に示す。

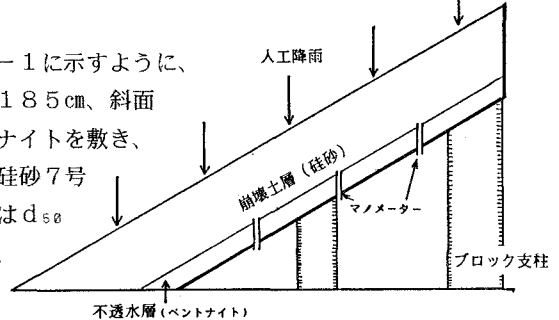


図-1 実験斜面

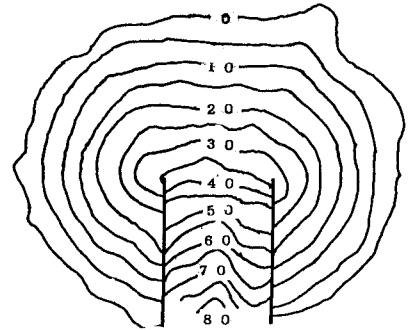
表-1 実験砂の土質常数

初期含水率	W (%)	20.2
比重		2.63
乾燥単位体積重量	γ (gf/cm ³)	1.34
飽和単位体積重量	γ_s (gf/cm ³)	1.83
水中単位体積重量	γ' (gf/cm ³)	0.83
透水係数	k (cm/sec)	1.68×10^{-3}
中央粒径	d_{50} (mm)	0.1
空隙率	n	0.49
粘着応力	C_u (gf/cm ²)	319
内部摩擦角	ϕ_u (°)	4.7

3. 実験結果: 実験斜面はコンクリートスラブ面に設置されているため、先端程砂の厚さが薄くなっている。このため、降雨による浸透水は先端程早く過飽和となり、その水が浸出する。また粒径が小さいため、この浸出水によって砂も流出し、徐々にその前面に堆積する。このようにして土砂が流出すると、上部斜面の砂はその支持層を失い、ついにはその自重を支え切れなくなり、小崩壊が発生する。こうした小崩壊は時間の経過と共に、上方へと波及して行く「階段状崩壊」となることが観察された。図-2に実験終了後の堆積形状を5cm間隔の等高線図として示す。実験中堆積勾配はほぼ一定に保たれていた。この堆積勾配は高橋ら²⁾が土石流の場合に導いた、

$$\tan \psi = \frac{C \cdot (\sigma - \rho) \tan \phi}{C \cdot (\sigma - \rho) + \rho (1 + h/d)} \quad (1)$$

で計算される角度とほぼ一致した。ここに、 ψ : 堆積勾配、 ϕ : 砂の内部摩擦角、 σ : 砂の比重、 ρ : 水の比重、 C : 斜面上の砂の容積濃度 ($= V_s/V$)、 V_s : 砂粒子の真の体積、 V : 砂の見かけの体積、 d : 砂粒子の平均粒径、 h : 表面流の水深である。 h は1mm以下で、測定できるほど大きくなかったので、 $h/d \div 1$ と仮定した。



Unit (cm)
図-2 実験終了後の堆積形状

4. 階段状崩壊の図式解: 図-3に斜面中央の縦断面形のモデルを示す。 t 時間後、地表面からの浸潤線はCE線に降下しており、この線より上の砂は流動状態にある。C点の鉛直上方の地表面上にD点を取り、

D点を通して堆積勾配 ψ に直線ADEを引く。 $\triangle ABD$ はt時間内に流出、堆積した土砂であり、同じ面積だけ斜面上の土は崩壊しなければならないことから、

$$\triangle ABD = \triangle DEF \quad (2)$$

の関係を満足するようにして、斜面上のF点が決定される。

t時間内の降雨強度をr、総降雨量をR、斜面上の砂の水分飽和度を S_w 、初期飽和度を S_{w0} 、砂の空隙率をnとすると、浸潤線の距離 D_w は次式で与えられる。

$$D_w = R/n (S_w - S_{w0}) \quad (3)$$

図-3の幾何学的な関係と(3)式により、ABの前進速度 v_{AB} は、斜面角を θ とすると、

$$v_{AB} = \frac{r}{n (S_w - S_{w0})} \left(\frac{1}{\tan \psi} - \frac{1}{\tan \theta} \right) \quad (4)$$

となり、同様にF点の後退速度 v_{BF} も、

$$v_{BF} = \frac{r}{n (S_w - S_{w0}) \cos \theta \tan \psi} \quad (5)$$

と求められる。崩壊土量の体積 V_{ABD} は、斜面の幅をbとすると、

$$V_{ABD} = \frac{b}{2} \left\{ \frac{r t}{n (S_w - S_{w0})} \right\}^2 \cdot \left(\frac{1}{\tan \psi} - \frac{1}{\tan \theta} \right) \quad (6)$$

となる。

実験での降雨量を与え、上の手順により崩壊状況の時間的変化を計算した例を図-4に示す。また図-5はビデオ画像およびマノメータの水位変化の実験値に、F点の後退の計算値(○印)を記入したものである。図に見るように両者は良く一致しており、上の解法が妥当であることをよく示している。

5. むすび： 以上人工降雨による斜面崩壊実験に見られた階段状崩壊に関し、簡単な考察を加えた。更に実験を重ね、流動に関する動的な考察へと発展させる必要がある。

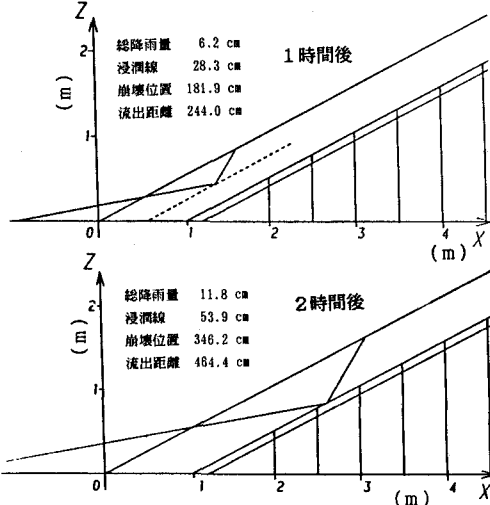


図-4 崩壊の進行状況

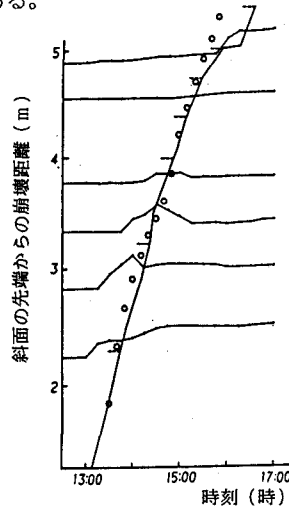


図-5 実験値と計算値の比較

参考文献： 1) 田中、昭和59年度科研費（試験研究）成果報告書、昭60。

2) 高橋ら、京大防災研年報、22号B-2、PP.315~328、昭54。