

II-164 人工降雨による土石流発生に関する実験 (I)

九州大学 工学部 正員 平野 宗夫

〃 〃 正員 〇岩元 賢

パシフィク

正員 原田 民司郎

I まえがき

上流端からの給水による土石流については、従来からいくつかの実験的、理論的研究がなされてきた。本報では降雨の浸透により斜面の土砂が崩壊、流動する過程に因りて、実験と若干の解析を行ない、その特性について調べたのでここに報告する。

II 実験装置および方法

可変勾配水路(15×10×250cm, $\tan \theta = 0.295 \sim 0.595$)に豊満標準砂($d_{50} = 0.30\text{mm}$)および珪砂($d_{50} = 0.17\text{mm}$)を一樣な厚さ($D = 1.5, 5.0, 7.0\text{cm}$)に敷き、斜面をある一定含水比状態に保った後、図-1に示すように水路上部の人工降雨装置により、各種の一定強度の降雨($r = 30 \sim 600 \text{ mm/hr}$)を供給して土石流を発生させ、その発生時間、形状、物動速度、流動量等を測定した。

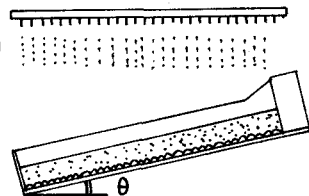


図-1 実験装置

III 実験結果および考察

1) 発生条件

降雨は、まず不飽和に浸透し、斜面下層部に停滞保留された後に、やがて重力成分の卓越化により側方流れ(地下水)が発生する。さらに、降雨が継続すると地下水の水位が次第に増大し、自由水面が地表に接するようになる。すると地表の土砂が飽和して、流動しはじめの土石流が発生する。すなわち、自由水面が地表に出ることが土石流の発生条件であると考えられる。

ここで、斜面における浸透水の運動方程式および連続の式は次のとおりである。

$$v = k i = k \frac{\partial(x \sin \theta - H)}{\partial x} \quad (1) \quad \lambda \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hv)}{\partial x} = r \quad (2)$$

k : 透水係数

λ : 有効空隙率

(1)(2)より、側方流れの基礎式として次式が得られる。

$$H \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial H}{\partial x} - \sin \theta \right) \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{k} \frac{\partial H}{\partial t} = - \frac{r}{\lambda k} \quad (3)$$

$$k' = k/\lambda$$

また、本実験のように勾配が大きい場合、輸送項の $\frac{\partial H}{\partial x}$ は $\sin \theta$ に比べて小さいので省略でき、さらに輸送項は拡散項に比べて卓越するものと仮定して(3)式を線型化すれば、その解は次のようになる。

$$H = \frac{r}{\lambda} t \quad (4)$$

$$x = \frac{k \sin \theta}{\lambda} t \quad (5)$$

(4)から、表面流が発生した時に土石流が発生するとなると、土石流発生までの時間 T は次式で表わされる。

$$T = \frac{\lambda D}{r \cos \theta} \quad (6)$$

ここで、標準砂および珪砂の有効空隙率 λ をそれぞれ 0.14, 0.11 として計算した曲線と実験値を比較したものが図-2であり、ほぼ(6)式の関係が成り立つことがわかった。

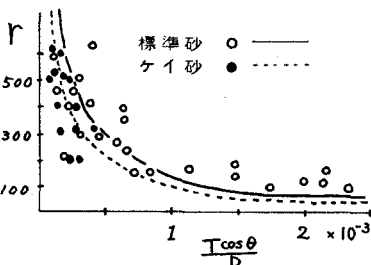


図-2 理論曲線と実験値

次に、土石流の発生限界は $\alpha = 1$ (降雨域長) で $H = D/\cos\theta$, と (4)(5)式より次のようになる。

$$\frac{r}{k} \geq \frac{D}{l} \tan\theta \quad (7)$$

上式による土石流の発生、不発生の境界領域と実験結果を比較したものが図-3である。

2) 流動特性と流動土砂量

本実験の土石流は図-4に示すように、段丘状に流動しその波高 h と先端の移動速度 v は発生初期を除くと、ほぼ一定である。そこで、土石流を図-5のようにモデル化してその流動特性を検討した。図中の記号は v_0 : 末端部の移動速度 β : 末端部(AB面)の勾配 D_d : 土石流通過後の侵食深さ β_{TL} および β_{TO} : それぞれ図のA点およびB点における土石流の流量である。

$$\text{図より、連続の式は } v_0 h = v_0 (h + D_d) + \beta_{TL} \quad (8)$$

$$\text{また、末端部において } \beta_{TO} - \beta_{TL} = v_0 (h + D_d) \quad (9)$$

$$\text{となるので(8)(9)式より } \beta_{TO} = v_0 h \quad (10)$$

$$\beta_{TO} \text{ については次式 } \beta_{TO} = \beta + \beta_B = \frac{\beta}{1 - \frac{k}{sg} \sin\beta} \quad (11)$$

を用い、土石流中の水の流量 β は、降雨による地表流 β_r に土砂中含みれている水の量を加えたものであるから

$$\beta = \beta_r + \beta_B \frac{\lambda}{1 - \lambda}$$

となり、これを(11)式に代入すると次のようになる。

$$\beta_T = \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda - \frac{k}{sg} \sin\beta} \beta_r \quad (12)$$

(12)式において、 $\sin\beta$ の値は土石流の形状測定によると一定値をとるようであるが、土石流の固体部分の流量 β_B と全流量 β_T との関係をプロットすると図-6のようになり、本実験においては $k \sin\beta / sg = 0.5$ としよようである。この値と採取した土石流の空隙の割合 $\lambda = 0.47$ を(12)式に代入すると

$$\beta_T = 1.8 \beta_r \quad (13)$$

となり、土石流の流量は降雨による表面流出量の20倍近く(体積で)に達することになる。また、 β_r として降雨分から浸透量を差引いた次の近似式

$$\beta_r = r l \cos\theta - k (h + D) \sin\theta$$

により計算した値を用い、実験値をプロットすると図-7のようになり、ばらつきは大きいが、式(13)が成り立つことが判った。

IV. あとがき

以上、人工降雨による土石流の特性について若干の検討を加えたが、降雨による発生条件に関しては先行降雨の影響を考慮する必要があり、また降雨量と土石流の移動速度についても今後、検討を加えて行きたい。

1) 橋本一郎・平野宗夫・内村好: 溪谷堆積土砂の流動(第2報) 第27回年講1972。

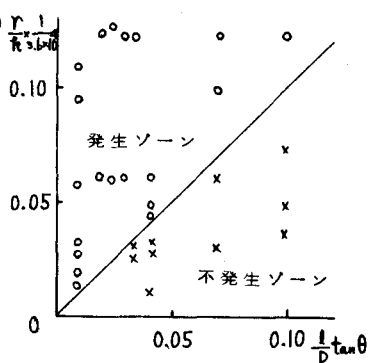


図-3 発生限界

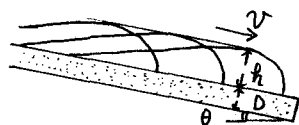


図-4 土石流の形状

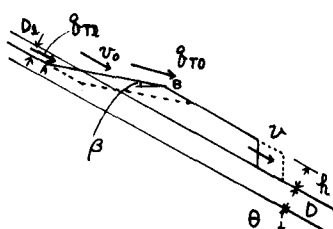


図-5 土石流モデル

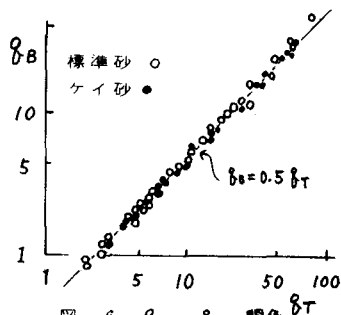


図-6 β_B と β_T の関係

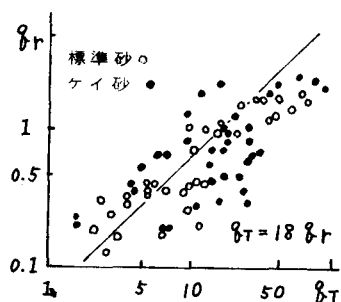


図-7 β_r と β_T の関係