

九州大学 工学部 正 員 平野 宗夫
 " " 正 員 岩元 賢
 " " 学生員 〇原田 民司郎
 " " 学生員 秋吉 浩

1. まえがき

従来の土石流実験においては、上流から給水して土石流を発生させ、移動速度、流動土砂量について報告されてきた。本報では珪砂および豊満標準砂を用いた斜面に人工降雨装置によって土石流を発生させ、測定を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験装置および方法

実験水路は、長さ2.5m、幅10cmの可変勾配水路($\tan \theta = 0.295 \sim 0.595$)で、水路床には玉石($d_{50} = 0.74\text{mm}$)を用いて、適当な粗度を付け、水路下流端には土砂止めを設置した。

実験に用いた砂は、珪砂($d_{50} = 0.007\text{mm}$)と豊満標準砂($d_{50} = 0.3\text{mm}$)の2種類で、これらを水路に一定厚さ($D = 1.5\text{cm}$)に敷き、一定含水状態で上流端から $L_0 = 1.0\text{m}$ の地点まで降雨装置によって雨を降らせ土石流を発生させ、その発生時間、先端部の移動速度、流動土砂量および砂堆高を測定した。なお、実験の諸元は表-1に示した通りである。

3. 実験結果および考察

まず土石流の流下時の形状は図-1に示すように殺丘状に発達し、また砂堆高 H と先端部の速度はそれぞれ一定であることがわかった。

I. 発生時間

降雨開始から土石流の発生までの所要時間 t と降雨量 r との間には図-2に示すような指数的關係があるように思われる。ここで、本実験において、浸透水は不飽和的に浸透し、停滞保留されやがて側方流れが発生すると考えられるので浸透水のみをなし、Darcy則範囲にあるので連続の式と運動方程式は、次式になる。

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

①と②より v を消去して、次の基本方程式が得られる。

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

勾配が大きいとき、 $\frac{\partial H}{\partial x}$ は $\sin \theta$ に比べ無視でき、輸送項が拡散項に比べて卓越するものと考えれば、③式は線型化することができる。

(たがって③式を解けば)

$$H_1 = \frac{r_e t}{\lambda} \quad \text{--- ④} \quad x = \frac{\lambda \sin \theta}{\lambda} t \quad \text{--- ⑤}$$

が得られる。ここで表面流出が始まったとき土石流が発生すると考えて $\lambda = 0.11$ (珪砂), 0.14 (標準砂)としてプロットすれば、図-2のような曲線が得られる。なお、 λ は本報の実験の値を用いた。次に本実験における土石流発生限界を求めれば、 $x = L_0$, $H = D / \cos \theta$ と式④より次式が得られる。

$$\frac{L_0}{D} \leq \frac{r_e}{\lambda} t \tan \theta$$

表-1

種類	珪砂	標準砂
比重	2.65	2.66
$d_{50}(\text{mm})$	0.007	0.3
透水係数 $k(\text{cm/s})$	1.0×10^{-2}	4.5×10^{-2}
降雨量 $r(\text{mm/hr})$	30~600	50~600

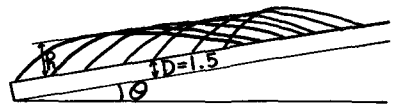


図-1 砂たいの形状

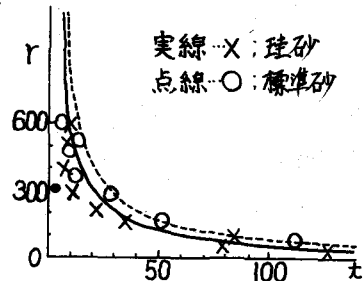


図-2 降雨量と発生時間の関係

II. 流動特性

いま図-3のような土石流のモデルを考えて、この流れを Bingham 流体と考えれば、剪断力は次式で表わされる。

$$\tau_l = \mu \frac{du}{dy} + \tau_y \quad \text{⑥ [層流]}$$

$$\tau_t = \rho \epsilon \frac{du}{dy} + \tau_y \quad \text{⑦ [乱流]}$$

⑥⑦式において、 μ —一定、 $\epsilon = K\alpha v$ と仮定して、解けば
⑥より)

$$v_e = \frac{g \left(\frac{a}{h} \right)^2}{2\nu} h^2 \sin \theta \quad \text{⑧}$$

$$v_x = \sqrt{\frac{g \left(\frac{a}{h} \right)}{2K}} \sqrt{h \sin \theta} \quad \text{⑨}$$

⑧⑨式が得られる。さらに a/h を一定と仮定すれば、⑧⑨式は、それぞれ $v_e \propto h^2 \sin \theta$ 、 $v_x \propto \sqrt{h \sin \theta}$ となる。ここで、 v と h の関係を調べたところ図-4に示すように v と $h^2 \sin \theta$ の比例関係が見い出された。次に流量について $q_T = v h$ の関係を用いると次のような関係になる。

$$q_{Te} \propto h^3 \sin \theta \quad \text{⑩} \quad q_{Tx} \propto h^{\frac{3}{2}} \sin \theta \quad \text{⑪}$$

ここで q と h の関係を図-5で調べると、⑩式が該当するようである。以上より本実験における土石流は、Bingham 流体に相当するように思われた。

III. 土石流先端の流動土砂量と流砂量

流動土砂量(砂+水) q_T と流砂量(砂) q_B をプロットすれば、図-6のようになり標準砂、珪砂ともに直線的関係にあることがわかった。これにより流動部における含水の割合(体積比)は、両者ともに一定で標準砂が35%前後、珪砂が44%前後であることがわかった。ここで粒径の大きい標準砂の方が含水の割合が小さいのは、標準砂の透水係数が珪砂に比べて大きいためであると思われる。

IV. あとがき

以上、土石流の発生に關しては、その基礎式を若干検討したが、拡散項、透水係数、有効空隙率等に対しては、今後、さらに考慮する必要が認められる。また流動特性に關しては、式を導き計算するにあたり、 $\epsilon = K\alpha v$ 、 $a/h = \text{const.}$ と仮定したが、この a は砂の粒径、先端部の速度および降雨量によって規定されるものと思われるので、さらに検討を加えていきたい。

<参考文献>

(1) 水文学 高橋 須馬、金丸昭治著

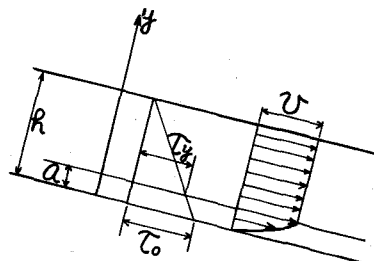


図-3 土石流のモデル図

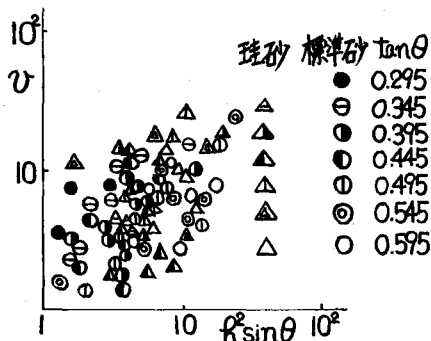


図-4 先端部速度と砂たい高の関係

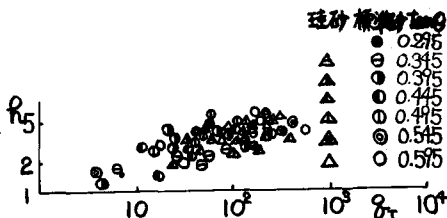


図-5 流動土砂量と砂たい高の関係

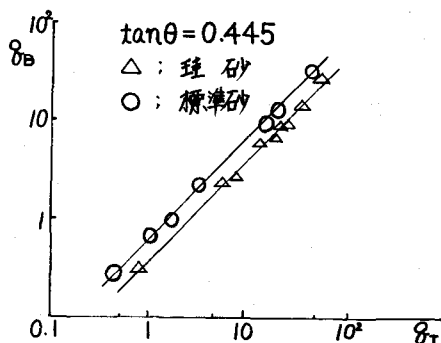


図-6 流動土砂量と流砂量の関係