

II-277

粒子の停止距離に着目した土石流堆積の計算法について

九州大学大学院 学生員○宮島正悟
九州大学工学部 正 員 平野宗夫
九州大学工学部 正 員 橋本晴行
九州大学大学院 学生員 木藤賢一

1. まえがき

土石流の堆積危険地帯を予測するためには、土石流中の粒子がどのような位置に停止するかを明らかにする必要がある。そのため前報¹⁾において、土石流中の粒子の停止距離について実験的・理論的に検討し、ついで堆積形状の計算法について考察した。しかしながら、停止距離の予測式などにはいくつかの実験係数が含まれており、これが種々の条件下でどのような値を持つかわからなかった。そこで、本研究は、さらに粒子停止距離に関する実験を行い実験係数の特性を調べたものである。

2. 粒子の停止距離に関する実験

2. 1 実験方法

水路は、図-1に示すように、移動床部と固定床部からなる長さ950cm、幅10cmの土石流発生・流下水路と、長さ195cm、幅123cmの固定床堆積水路とをヒンジで接続したものをを用いた。実験は、移動床部に平均粒径 $d=1.9\text{mm}$ 、密度 $\sigma=2.58\text{g/cm}^3$ の砂礫を厚さ10cmに敷き、上流端から急激に給水し、土石流を発生させて行った。粒子の停止距離を調べるため、勾配変化点上で着色砂礫を土石流の先端に投入し、土石流が堆積水路上に流入してから $T_D \leq 10$ 秒間実験を継続させた後、埋没した着色砂礫を注意深く捜し出し、その停止位置 (x_d, y_d) を測定した。実験は、上流側勾配 $\theta_u=14^\circ, 16^\circ, 18^\circ$ と下流側勾配 $\theta_d=2^\circ, 4^\circ, 5.85^\circ, 8^\circ$ および単位幅供給水量 $q_{w0} \approx 50, 100, 200\text{cm}^2/\text{s}$ の組合せを種々変えて行った。

2. 2 実験結果

粒子の停止状況の実験結果より標準偏差 (σ_x, σ_y) 、 x_d 方向の変動係数 $\alpha_x = \sigma_x / \bar{x}_d$ および相関係数 R_{xy} を求め、上流側勾配および供給水量との関係を調べた。各統計量を投入位置 y_0 について平均したものと、勾配および流量との関係を示したものが図-2, 3, 4, 5である。 $\bar{\sigma}_x$ は勾配が増加するほど減少するが、 $\bar{\sigma}_y$ は勾配・流量に関係なくほぼ一定で3.5cmの値をとる。 $\bar{\alpha}_x$ は勾配・流量の増加とともに減少している。また、 $\bar{R}_{xy}$ は勾配・流量によって明確な傾向が得られなかった。

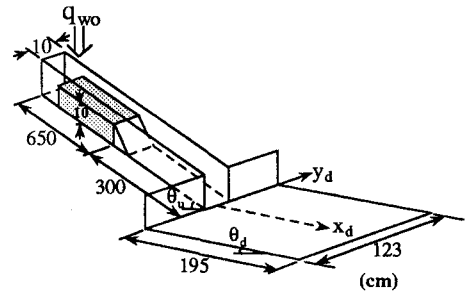


図-1 実験水路

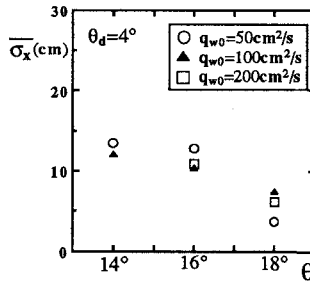


図-2 x_d 方向の標準偏差の平均値

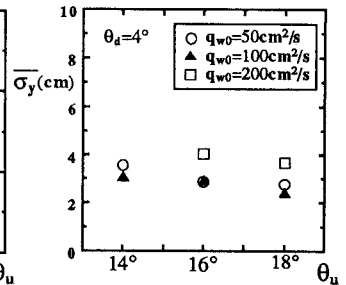


図-3 y_d 方向の標準偏差の平均値

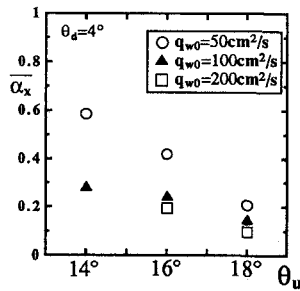


図-4 x_d 方向の変動係数の平均値

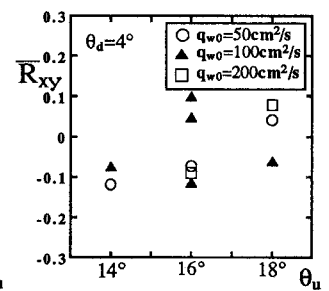


図-5 相関係数の平均値

3. 実験係数の評価

図-6に示すように、土石流は、幅 B_u の急勾配水路から幅の急拡大した緩勾配の堆積域に流入した瞬間にその幅を拡大するものとする。このとき、急勾配水路における微小幅 dB_u は堆積域では拡大して幅 dB_d となると考える。また、勾配変化点直前から堆積域突入直後にかけて、粒子位置は $(0, y_u, z_u)$ から $(0, y_{d0}, z_{d0})$ に、粒子速度は $(u, 0, 0)$ から $(u_{d0}, v_{d0}, 0)$ にそれぞれ変換されるとする。横断方向の水面形を $H/H_0 = \{1 - (2y_{d0}/B_d)^2\}^{K_1}$ と仮定すると、連続条件より、幅の拡大率 $dy_d/dy_u = \beta \{1 - (2y_{d0}/B_d)^2\}^{-K_1}$ となる。また、実

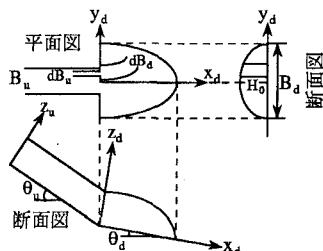


図-6 堆積水路に流入した土石流の模式図

験結果より、初速度成分比は投入位置にほぼ比例することが確かめられているため

$v_{d0}/u_{d0} = \gamma y_u/B_u$ と仮定する。 x_d 方向の平均停止距離の実験値より K_1 および β が、 y_d 方向の実験値より γ が、それぞれ求められる¹⁾。

図-7, 8, 9は、実験結果よりそれぞれの上流側勾配および供給水量についてそれぞれの係数を評価したものである。 K_1 は流量に関係なく、勾配が急になるほど減少している。また、 β は勾配に関係なく流量が増加するにつれて増加し、一方、 γ は減少している。

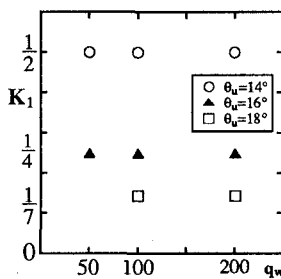


図-7 供給水量と K_1 との関係

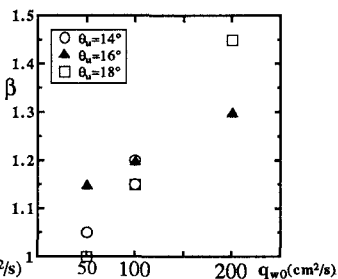


図-8 供給水量と β との関係

4. 初期堆積形状に関する考察

上流側水路の $z_u \sim z_u + dz_u$, $y_u \sim y_u + dy_u$ 区間を通過する粒子群の濃度を C 、速度を $u(z_u)$ 、堆積層における粒子濃度を C とおくと、 (x_d, y_d) における堆積高 z は次式で表される¹⁾。

$$z = \int_{d/2}^h \int_{-B_u/2}^{B_u/2} \frac{C(z_u)}{C_*} u(z_u) (t - t_{sp}) p_{zu, yu}(x_d, y_d) dz_u dy_u \quad (1)$$

停止確率密度関数 $p_{zu, yu}(x_d, y_d)$ としては次式の2次元正規分布を仮定する。

$$p_{zu, yu}(x_d, y_d) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-R_{xy}^2}\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2(1-R_{xy}^2)}\left\{\frac{(x_d-\bar{x}_d)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2R_{xy}(x_d-\bar{x}_d)(y_d-\bar{y}_d)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y_d-\bar{y}_d)^2}{\sigma_y^2}\right\}\right]$$

また、 t_{sp} は粒子の停止に要する時間であり、粒子の流入位置と t_{sp} の計算値との関係を示したものが図-10である。得られた実験係数および統計量を用いて、式(1)により初期堆積形状を計算した結果を図-11に示す。計算値は水路中央で比較的低くなっているが、これは、図-10に示されるように中央部分で流動性がよく堆積に遅れが生じているためである。

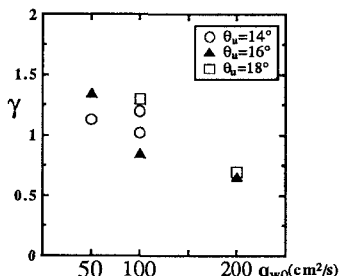


図-9 供給水量と γ との関係

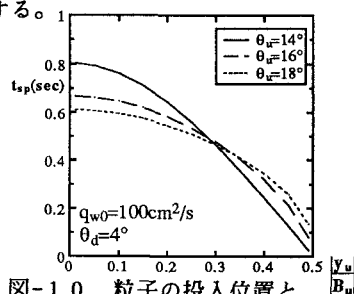


図-10 粒子の投入位置と堆積開始時間との関係

5. あとがき

種々の条件下で行った実験結果により、実験係数や統計量は勾配や流量に依存して変化することがわかった。今後、実用的な見地から実験係数や統計量を評価するとともに、十分に時間が経過した場合の堆積形状の計算について検討を進めて行く予定である。

参考文献 1) 平野宗夫・橋本晴行・田崎武詞・宮島正悟：勾配の急減と幅の急拡大による土石流の堆積過程—粒子の停止距離について—, 水工学論文集, 第35巻, 1991

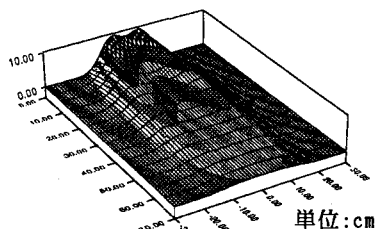


図-11 堆積形状の鳥かん図(計算値)
($\theta_u = 16^\circ$, $\theta_d = 4^\circ$, $t = 3.6 \text{ sec}$)