

流木を伴った土石流の先端部の抵抗則に関する実験的研究

西日本技術開発(株)
京都大学大学院
群馬工業高等専門学校
九州大学大学院工学府
元九州大学大学院工学研究院

○福岡尚樹
山本泰己
永野博之
池松伸也
橋本晴行

1. はじめに

平成 26 年 8 月広島土石流災害は巨礫とともに流木が住宅街に多く流出・氾濫しており、流木が被害を助長したことが推測される．このような流木を伴った土石流については Nagano et al.¹⁾ が流動モデルを提案している．Fukuoka et al.²⁾ はこのモデルをもとに数値シミュレーションと航空写真解析を行い流木と土砂の堆積状況を調べている．しかしながら、流木の挙動については不明な点が多い．著者らは³⁾、流木を伴った土石流を水路実験により再現し、その挙動や抵抗則などを調べてきた．本研究はその延長上にあるもので、流木を伴った土石流先端部の抵抗則をさらに詳しく検討したものである．

2. 実験方法

図-1 は実験に用いた水路の縦断面図である．水路は、長さ 12m、幅 30cm の長方形断面水路で、下流端から上流へ 4m までの区間は粒径 $d=3.6\text{mm}$ の粗度を貼り固定床とし、さらに 4m から 11m までの区間の水路床に土砂（粒径 $d=3.6\text{mm}$ 、比重 $\sigma/\rho=2.65$ ）を 10cm の厚さで敷き移動床とした．流木模型を初期移動床面に所定の数密度（水路幅 30cm×区間 100cm の底面に 90 本）で設置し、上流端から給水することで流木を伴った土石流を発生させた．流木模型は木製円柱棒を使用し、ここに、長さ $L_D=2\text{cm}$ 、7cm、直径 $D=4\text{mm}$ 、湿潤時の比重 $\sigma/\rho=0.55$ である．移動床上に着色した流木を 7m の区間に 630 本設置し、上流から 1m 毎に青、黄、緑、赤、水色、無色の順に配置した．実験条件を表-1 に示す．水路下流端では流れを採取し、土石流の流量と流砂濃度を測定した．水路側方および真上からはデジタルカメラを用いて土石流先端部の流動状況を撮影し、先端部の平均高さ H_D 、平面形状、速度 v_D を求めた．

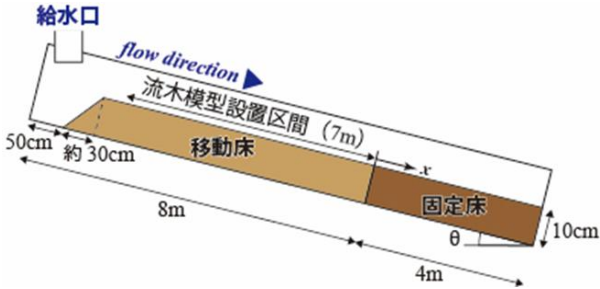


図-1 実験水路の縦断面図

表-1 実験の条件

Run No.	水路勾配 θ (°)	上流端流量 q_{w0} (cm ² /s)	流木長 L_D (cm)
1	13.8	205	7
2	12	205	7
3	12	207	7
4	10	200	7
5	8	199	7
6	13.8	202	2

3. 実験結果と考察

3.1 流木の流動状況

写真-1 に、流木を伴った土石流の流動状況を示す．実験の結果、流木は土石流の先端部に集積し、流木群を形成した．流木群は盛り上がった形状をしており、後続の土石流に押されるように、キャタピラのように写真-1 における時計回りの方向に回転しながら流下した．

図-2 は土石流先端部に集積した流木群の実績率と水路勾配との関係である．水路側面から撮影したビデオを用いて、先端部に集積した流木群の平均水深を求め、水路幅方向に一樣と仮定することで、流木群の見か

けの体積 V_w を評価した。そして、実験前に水路に静置した流木模型の総体積 V_0 と比較することで、流木群の実績率 V_w/V_0 を算出した。水路勾配が急になるほど流木群の体積は大きくなり、実績率が低下する傾向が見られた。流木の長さが 7cm の場合、勾配 9° のとき実績率は約 0.24、勾配 13.8° のとき実績率は約 0.18 であった。また、勾配 13.8° で流木の長さが 2cm の場合、実績率は約 0.08 であった。このように、流木が長いほど、勾配が急であるほど疎な流木群が形成された。楠窪ら⁴⁾によると、2013 年 7 月島根県津和野名賀川流域で発生した洪水時に堆積した流木群の実績率は 0.2 前後と評価されている。また、山本ら³⁾によると、勾配が急であるほど流木群の形状は流下方向スケールよりも水深方向スケールが卓越し、盛り上がった形状をとることが知られている。すなわち、勾配が急であるほど流木は疎で大きな群を形成し、盛り上がった形状を呈する。

3.2 抵抗側

図-3 に各実験結果における流木群と土石流の流速係数を示す。各流速係数は実験結果より得られた土石流および流木群の平均水深と流速 v , v_D をもとに算出した。土石流の流速 v は土石流の単位幅流量を平均水深で除すことで求めた。図より、流木群の流速係数 φ_D は土石流の流速係数 φ より小さい傾向にあることが分かる。この傾向は、流木が長くなるほど、水路勾配が大きくなるほど顕著になる。

橋本⁵⁾ は土石流などの高速・高濃度の固液混相流を規定する無次元パラメータとして $N_h \equiv \frac{h}{d} \sqrt{\frac{\rho_t}{\sigma F(C)}}$ を導入している。ここに、 h は土石流の平均水深、 ρ_t は土石流の密度、 $F(C)$ は土砂濃度 C の関数である。この無次元パラメータは粘性流体の Reynolds 数に相当し、本実験における土石流は $N_h \approx 20$ 、流速係数 $\varphi \approx 4$ を示し、層流型土石流であった。

4. 結論

水路実験により流木を伴った土石流を再現し、流木群の流動特性を明らかにした。その結果、水路勾配が急であるほど流木は疎で大きな群を形成し、盛り上がった形状を呈した。また、流木が長くなるほど、水路勾配は大きくなるほど、流木群の流速係数は土石流のそれに比べて小さくなることが分かった。

参考文献 1) Nagano. H., Hashimoto. H. and Miyoshi. T., Proceedings of the 35th IAHR World Congress, USB-ROM, 2013. 2) Fukuoka. N, Nagano. H, Hashimoto. H., Asian Network on Debris Flow Workshop, Kyoto, Japan, USB-ROM, 2016. 3) 山本泰己, 福岡尚樹, 池松伸也, 橋本晴行, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2017. 4) 楠窪正和, 赤野久志, ムハマド イスラミ ルシダ, 池松伸也, 永野博之, 橋本晴行, 第 7 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 103-108, 2014. 5) 橋本晴行, ながれ, 第 29 巻, No.3, pp. 193-202, 2010.



Run 1 ($\theta=13.8^\circ$, $L_D=7\text{cm}$)



Run 5 ($\theta=8^\circ$, $L_D=7\text{cm}$)

写真-1 土石流先端部に集積した流木

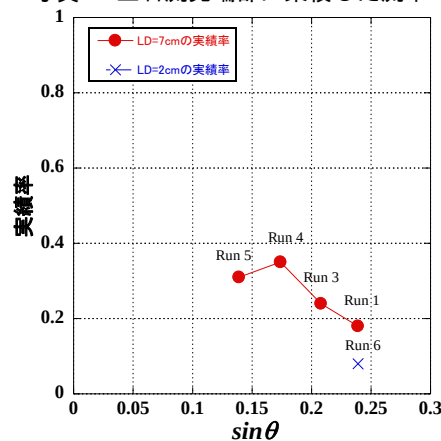


図-2 土石流先端部に集積した流木群の実績率と水路勾配との関係

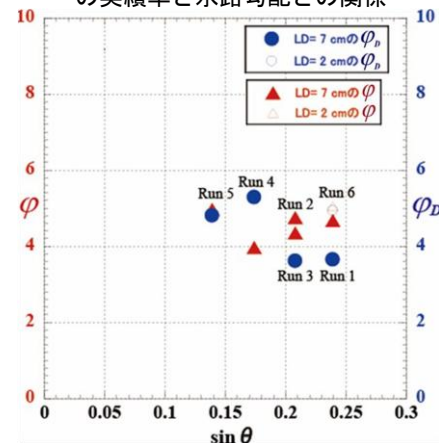


図-3 土石流および流木群の流速係数と水路勾配との関係