

土石流先頭部への流木の集中化

北海道大学農学院 ○片山和紬

北海道大学農学研究院 山田孝

1. はじめに

土石流の先頭部には、流木が集中することが知られる。

現在までに、Mazzorana ら（2011）や Ruiz-Villanueva ら（2014）など、洪水中の流木の運搬に関する研究はいくつか見られるが、土石流中の流木の運搬に関する研究は少ない。片山（2019）では、流木の集中化によって形成される流木群が発達する際の条件等を水理模型実験で検討したが、土石流先頭部への流木の集中化の実態やそのプロセスは明らかになっていない。

そこで、本稿では、流木を含む土石流の先頭部付近を撮影した映像資料の解析や、水理模型実験を通じて、土石流先頭部への流木の集中化の実態について考察した。

2. 研究方法

2. 1 研究の流れ

まず、流木を含む土石流の先頭部付近を撮影した映像資料を収集し、土石流先頭部での土石流や流木の定量的・定性的な特徴を整理した。また、流木の集中化のプロセスや、流木群を構成する流木の変位について考察するために、水理模型実験を行った。

2. 2 映像資料整理

流木を含んだ土石流先頭部を撮影した映像を AGU の Landslide Blog や YouTube 等から収集し、映像撮影箇所の勾配・河道幅・河道の深さ・平均流速・流動深・流下幅を読み取った。また、流木群が見られたものに関しては、流木群の幅・流木群の高さ・流木群の長さ・流れの先頭部付近での流木の長さ（最長と平均）を読み取った。さらに、土石流や流木の動態について、各映像に見られた定性的な特徴を整理した。

2. 3 水理模型実験

実地の溪流の約 1/100 スケールを想定した直線流路を用いて実験を行った。流路の長さは 475cm、流路幅（B：内寸）は 18cm である。流路の勾配は溪床堆積物再移動型土石流の発生・流下区間を想定して 15° とした。流路上端から 20 秒間給水（流量：約 1,100 cm³/s）し、土石流（流量：約 4,000 cm³/s）を発生させた。

実験条件は 2. 2 の映像資料整理の結果や、2018 年に実施した福岡県朝倉市妙見川支川での流木群の堆積状況等の現地調査の結果をもとに設定した。使用した立木モデルは直径 3mm の曲がりのない丸棒である。流路全体に 5cm 厚で土砂（平均粒径 1.7mm）を敷いており、上流から順に土石流区間（土砂のみ、225cm）、立木区間（立木モデルを等間隔に設置、200cm）、流下区間（土砂のみ、50cm）とした。

実験の様子は流路直上の 2 箇所からハイスピードカメラ（LRH1540n、デジモ社）を用いて撮影した。

3. 結果・考察

3. 1 映像資料判読結果

国内・国外の 7 箇所の映像資料を判読した結果、次に示す特徴が見られた。

- ① 流木群は流れの先頭部付近に集中していた。
- ② 多くの流木が土石流や土砂流の表面付近に分布していた。
- ③ 流木群を成して流下する流木は、位置的にあまり乱れなかった。
- ④ 土砂流が河道拡幅部に到達すると、流れは横方向に広がり、流木群は一部が分解し、流木群の高さが減少した。

上記①・②の結果から、流木群は流れの先頭部表面近くに形成されることが分かった。また、上記②・③の結果から、流木群は土石流の流体内に取り込まれ乱されながら流下するのではなく、流れの表面に乗るようにしてあまり乱されずに移動することが分かった。さらに、上記④の結果から、“流木の長さ”と“河道幅に規制された流下幅”が、流木群の規模を決定する上で重要なパラメータの1つではないかと考えた。実際に、“河道幅に対する流木の長さ”と“流木群の高さ（規模の指標）”には正の相関が見られた。

3. 2 水理模型実験結果

流木の集中化のプロセスに関する実験結果を示す。流路直上からハイスピードカメラで撮影した映像を用いて、PIV（Flow-PIV、ライブラリー社）による解析を行った。fps が片山（2019）で使用したビデオカメラよりも大きくなったため、より詳細な解析結果を得ることができた。図-1 に結果の一部を示す。

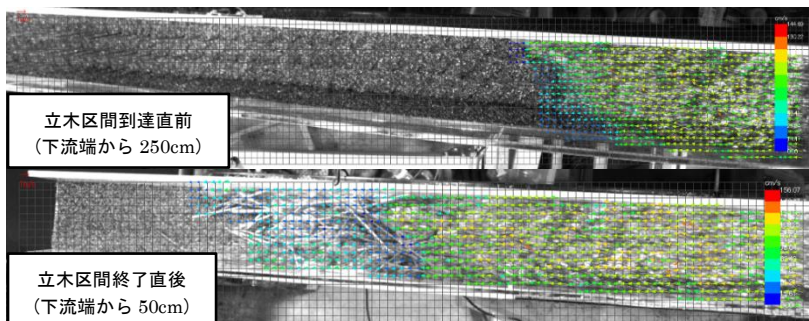


図-1 立木区間前後の流速変化（上：区間到達前、下：区間終了後）

立木区間到達直前から終了直後までの

200cm を流下する間に、土石流先頭部の流速が小さい部分（減速部）の範囲が大きくなっていることが分かる。流木の集中化が見られた他の実験ケースでも同様の傾向が見られた。このことから、立木区間や流木群により土石流先頭部が減速し、後続の流れとの速度差が発生することで、後続の流れに含まれる流木が先頭部の流木に追いつくことで、先頭部への流木の集中化が発生すると考えられる。

次に、流木群を構成する流木の変位に関する実験結果を示す。流木群が確認された実験の様子を流路直上から撮影した映像を用いて、時間経過に伴う流木の変位と偏角を測定した（図-2）。測定する流木は、映像から軌跡が追跡できるもの、かつ、特定の箇所に偏らないものを選択した（流木 A~E）。図-3 は測定開始からの経過時間ごとの流木の変位（河道の中心からの距離）を、図-4 は測定開始からの経過時間ごとの流木の偏角の変化を表したグラフである。図-3 と図-4 の A・B・C・D・E は同一の流木を指す。

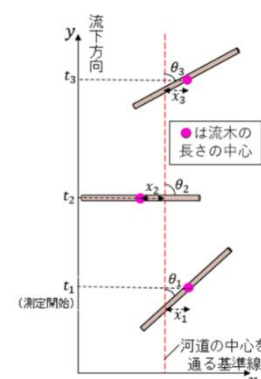


図-2 流木の変位・偏角測定方法

図-3 を見ると、どの流木も、変位は大きくないことが読み取れる。グラフに示した以外の他の流木についても、同様の傾向が見られた。このことから、流木は、流木群の他の流木によって移動がある程度制限されているのではないかと考えられる。

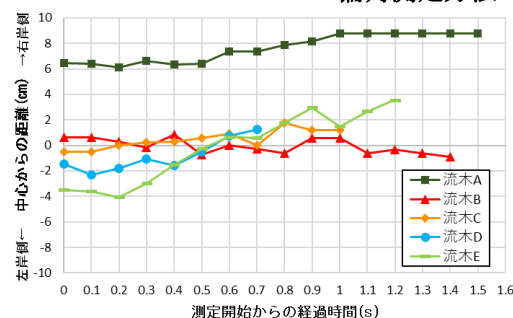


図-3 土石流先頭部の流木の変位

図-4 を見ると、流木 A・C・D は偏角に大きな変化はないが、流木 B・E は時間経過とともに偏角に変化が見られた。グラフに示した以外の他の流木についても、偏角があまり変化しないもの、時間経過とともに偏角に変化が見られるものの 2 パターンが見られた。偏角にあまり変化がなかった流木は、流木群と強く絡み合い、動きが制限されたのではないかと考えられる。一方、偏角に変化が見られた流木は、流木群との絡み合いが比較的弱く、周囲の他の流木との衝突などにより偏角が変化したのではないかと考えられる。

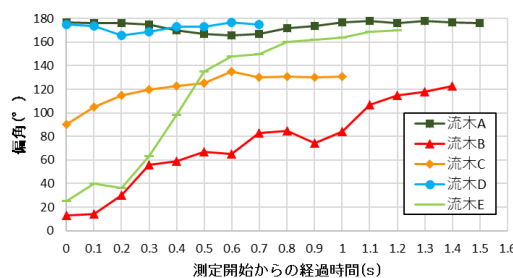


図-4 土石流先頭部の流木の偏角

4. 参考文献

1) B. Mazzorana et al. (2011) : Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers, Nat Hazards, Vol. 56, pp. 425-449 2) Ruiz-Villanueva et al. (2014) : Two-Dimensional Numerical Modeling of Wood Transport, Earth Surface Process and Landforms, Vol. 39, pp. 438-449 3) 片山和紘・山田孝（2019）：土石流の発生・流下に伴う流木塊発達に関する実験，砂防学会誌，2019 年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 459-460