

土石流先端部における流木の挙動に関する水路実験と数値計算

(国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所： ○鈴木 拓郎, 経隆 悠, 浅野 志穂

株式会社建設技術研究所： 村上 正人, 飯田 弘和, 高橋 佑弥, 奥山 遼佑

1. 背景及び目的

近年、気候変動による極端降雨の増加が予想されている。広範囲に豪雨が発生すると斜面崩壊が多面的に発生し、斜面上の立木が流木となり激甚な災害となる恐れがある（例えば、平成29年九州北部豪雨など）。林野庁では、複合防御型治山対策の推進しており、流下域において流木捕捉型治山ダムによる流木対策を位置づけている。

施設によって流木を捕捉する場合、流木が集積した状態で捕捉することが効率的であると考えられる。これまでの研究において流木が集積しやすい条件を検討したところ、河床勾配が大きいほど、あるいは流木材料の摩擦力が小さいほど流木が先端部に集積しやすいことが明らかになっている。そのため、急勾配領域で集積した流木が緩勾配領域でどのような挙動を示すかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、流木が集積した状態で供給された場合の挙動を明らかにするために、水路実験と数値計算を実施した。

2. 実験方法

(1) 実験水路と実験材料

実験水路は、株式会社建設技術研究所の長さ10m、幅30cm、高さ50cmの直線水路を用いた。実験砂は直径3mm程度の均一砂とした。流木模型は、直径5mm、長さ75mmの丸棒および自然木材の2種類を用いた。下流側を固定床区間として10cm高くした。上流側には固定床区間の底面と同じ高さになるよう深さ10cmまで土砂を敷き詰めた。供給土砂量は100Lである。流木混合条件では、供給流木量を供給土砂量の容積の1.0%程度(680本)として土砂に概ね均一に混合させた。流木塊条件はその半量の流木(340本)を置土直下付近の固定床上に山状に設置した。水路勾配は10、15、20度の3種類で行った。

(2) 計測項目

上流から定流4.5L/secで水を供給して流木混じり土石流を発生させた。置土下流端から1、3、5m(以下、上流、中流、下流とする)の地点の直上からビデオ撮影を行い、通過する流木のタイミングを計測した(図-1)。流木が集積している場合、重なって見えなくなる流木が存在する。そのため全ての流木が通過するまでを計測したうえで、総流木量が340本になるようにデータを補正した。なお、流木混合条件は昨年度(鈴木ら, 2021)に実施した実験をやり直したものである。昨年度は実験ケースごとに流下距離を変化させたが、今年度は精度向上のために、上記の方法とした。

3. 数値計算方法

数値計算には粒子法を用いた。鈴木・堀田(2015)が開発した土石流の構成則に基づいたモデルをベースに、流木は粒子を連結した固体要素として取り扱う。流木の形状を保つための方法はKoshizuka et al. (1998)の方法を用いている。

流木の粒子は基本的に土石流粒子と同様に取り扱うが、応力を土石流粒子として計算すると、固体間の接触摩擦を生じさせることができない。一般的には個別要素法が用いられるが、計算時間が非常に長くなる。そのため、固体粒子同士がある距離より近い場合(接触判定)には、摩擦力を粒子の相対速度と逆方向に作用させる簡易摩擦項(摩擦力=固体粒子間の接触応力×摩擦係数)を導入した方法を用いた(鈴木ら, 2021)。

丸棒と自然木材は摩擦係数を変化させることでその違いを表現した。

4. 結果

流木混合条件では、昨年度と同等の結果が得られた。勾配が大きいほど、あるいは流木材料の摩擦力が小さいほど先端部に流木が集積する結果となった。集積が顕著な20度：丸棒・自然木、15度：丸棒のグループ、修正があまり進行しない15度：自然木、10度：丸棒・自然木グループに分かれているようであったが、今後詳細に検討する。

一方、流木塊条件では、流木混合条件における最大流木濃度よりも高い集積状態で下流まで流下する様子が見られた。

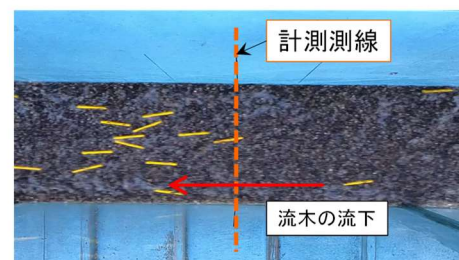
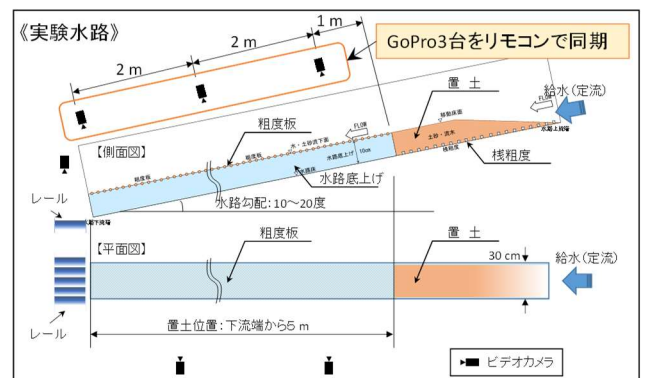


図-1 流木のカウント方法



図-2 流木塊条件 (20度, 自然木) の実験の様子

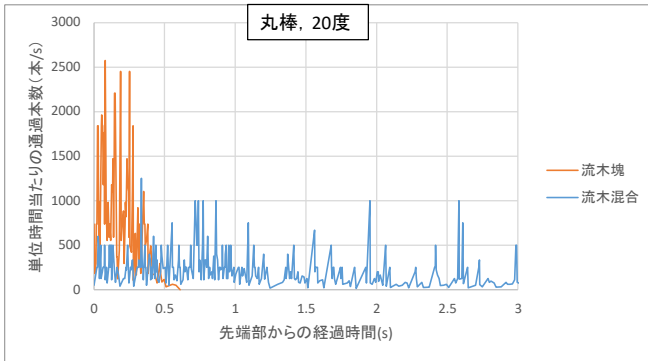


図-3 流木混合と流木塊条件の比較 (20度, 丸棒)

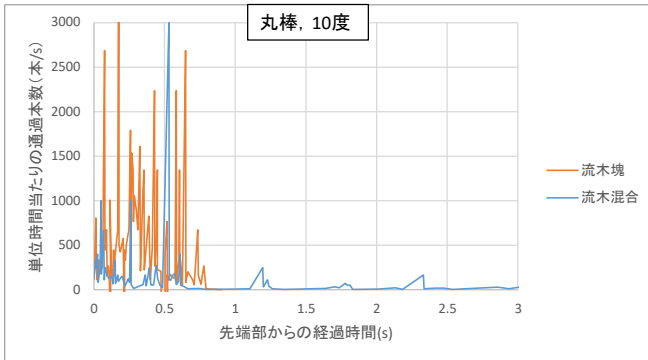


図-4 流木混合と流木塊条件の比較 (10度, 丸棒)

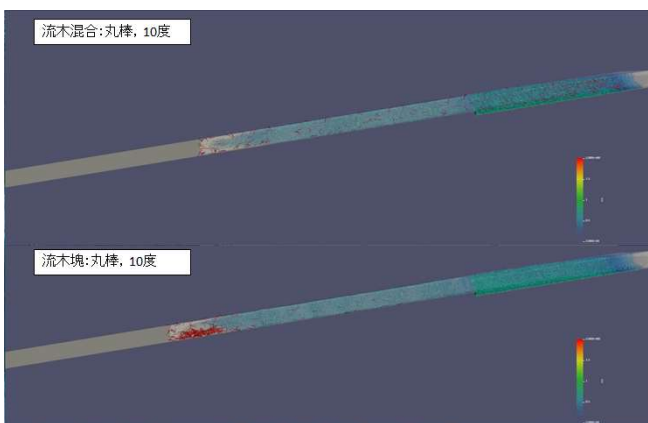


図-5 数値計算例

流木が集積状態を保ったまま下流まで流下する様子はほぼ全ての条件で見られた。しかし、同条件でも土石流の偏流などの影響で流木が分散して流出する場合もあった。

図-2, 3に具体例を示す。それぞれ丸棒かつ20度, 10度の流木混合条件, 流木塊条件の下流地点の結果を比較したものである。縦軸の単位時間当たりの流木通過本数は流木フラックスに相当するものであり, 流木通過時間間隔の逆数として算出した。流木混合条件と流木塊条件では総流木本数が異なるので総量としての比較はできないが, 流木混合条件よりも流木塊条件の方が明らかに先端部に集中して流木が流下している様子がわかる。

数値計算では, ほぼ全ての条件で, 流木塊条件が流木混合条件よりも高い流木濃度で下流まで流下する結果が得られた。数値計算では土石流の偏流は生じていない。図-4に10度・丸棒の計算例を示す。流木混合条件では先端に流木がほとんど集積していないが, 流木塊条件では流木が集積した状態で流下している様子がわかる。

5. 考察

昨年度までの流木混合条件の検討では, 流木が受ける摩擦抵抗力と勾配による駆動力の関係によって集積のしやすさが決まると考えられていた。つまり, 勾配が小さいほど駆動力が小さいため, 流木の集積が進行しにくく, 最大流木濃度が小さくなるということである。今年度の流木混合条件の結果も同様であった。したがって, それよりも大きな流木濃度が供給された場合(流木塊条件)には, 上記の最大流木濃度に遷移するように流木が分散していくとの仮説もあった。しかしながら, 実験及び数値計算結果から流木があまり分散せずに集積状態を保ったまま長距離を流下することが明らかになった。

流木の集積構造は流木同士の摩擦力によって維持されていると考えられる。つまり, 集積構造における流木の摩擦力を超えるような外力が働かないと, 流木の集積構造が破壊されにくいということだと考えられる。以上から, 流木の集積構造を形成する過程においても, 流木の集積構造を破壊する過程においても, 流木の摩擦力を超える外力が必要ではないかと考えられる。

7. 謝辞

本研究は令和3年度農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究(個別課題番号 19191196)の助成を受けたものである。ここに記して感謝申し上げます。

8. 引用文献

- Koshizuka et. al. (1998) : Int. J. Numer. Meth. Fluids, 26, p.751-769
 鈴木・堀田 (2015) : 砂防学会誌, Vol.68, No.1, p.13-23
 鈴木ら (2021) : 令和3年度砂防学会研究発表会概要集