

異なる流木形状による流木混じり土石流の砂防堰堤に作用する荷重低減効果とその影響要因

○正木宏幸¹⁾ 畠俊郎¹⁾ 中谷加奈²⁾ 正岡直也³⁾

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科

2) 京都大学防災研究所, 3) 京都大学大学院農学研究科

1. はじめに

近年広域的な集中豪雨の頻発により、土砂災害の発生件数は増加の一途を辿っている。砂防堰堤の整備等が進められているにも関わらず、災害は依然として発生し続けている。このような状況下において、危険性の高い地域に優先順位を付け、効率的にハード対策を実施することが喫緊の課題となっている。

土砂災害の一種である土石流は山地で発生し、流下過程で流木を巻き込むことが知られている。実験的に、流木を巻き込むことによって土石流が砂防堰堤に作用する荷重が減少する可能性が示唆されている¹⁾。一方で流木を含まない土石流はより大きな荷重を砂防堰堤に与えることが分かっている。このため、土石流のリスクの高い地域の中で流木を巻き込む恐れが低く、より強い外力が発生する可能性の高い地域を優先的に整備することが重要である。

しかしながら、実際の土石流では流木が、流下中に衝突することで複雑に屈曲する場合や、広葉樹のように特異な形状を持つ場合も少なくない。既往研究^{1,2)}の多くは、単純な円柱状の流木を対象としており、複雑な流木形状が土石流荷重に与える影響については、未だ十分な知見が得られていない。

そこで本研究では、複雑な流木形状が土石流荷重に与える影響を解明することを目的とし、4種類の流木形状を模した模型（写真1）を用いた水路実験を実施した。

2. 実験方法

実験は、図1に示す水路長15mの施設を用いて行った。水路は幅0.1mの直線矩形水路で、勾配を調整できる構造となっており、本実験では18度に設定した。水路の底面には平均粒径2.3mmの砂礫を貼り付け、凹凸のある粗面河床とした。さらに、水路の上流部には天然ダム状に堆積させた土砂を配置し、土砂の上には流木を一様に配置した。そこへ整流槽から水を供給することで越流侵食を引き起こし、流木混じりの土石流を発生・流下させた。

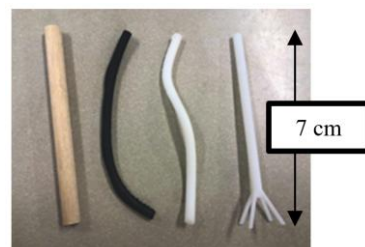


写真1 4種の流木（円柱・弓型・S字・根付き）

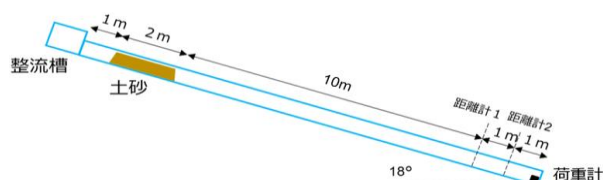


図1 実験水路の概略図

表1 水路実験の条件

実験水路		土石流	
水路幅	15 m	土砂量	約25 kg
水路長	0.1 m		約14,000 cm ³
勾配	18度	流木量	約140本
給水流量	約0.8 L/s		約280 cm ³

実験では、複数地点のレーザー距離計による流動深の時間変化と流速、水路出口に設置した荷重計で流下した土石流の荷重を計測した。

実験条件を表1に示す。流木形状は円柱状、弓型、S字、根付き型の4種類とした（写真1）。これらの形状は、平成30年7月豪雨により山間部から流出した流木形状の調査³⁾に基づき決定した。流木長0.07m、湿潤時の比重は約1.10である。各条件3ケースずつ実施した。

3. 結果と考察

実験結果を図2に示す。図中の値は3ケースの平均である。流木形状により最大荷重が異なった。土砂のみと比較し、円柱状の流木は5.3%、S字状の流木は11.5%の荷重減少を示した。一方、根付きの流木は41.2%、弓状の流木は46.0%と、顕著な荷重軽減効果が認められた。結果の要因として、根付きや

弓状などの複雑な形状を持つ流木は、土石流の流動に対して大きな抵抗となり、流速を低下させることで荷重を軽減すると考えられる。また、これらの流木形状は土砂を捕捉したり、流れを阻害したりすることで、土石流の流動抵抗を増加させ、流速を低減した可能性もある。一方、円柱状やS字型の流木は、根付きや弓型の流木と比べて荷重軽減効果が小さかった。流木形状が土石流の流動に対する抵抗が小さく、土砂と絡み合う部分が少ないため、流木が土石流の動きが限定的になったためと考えられる。

図3に流木形状と土石流の流速との関係を示す。土砂のみの土石流と比較すると、円柱状流木を含む土石流では平均13.2%の流速増加が確認された。この結果は、一般に流木が流速を低減させるとする従来の認識と異なり、今後の研究課題として検討が必要である。一方、S字状、根付き、弓状流木を含む土石流においては、それぞれ平均6.9%、18.0%、18.9%の流速低減効果が観察された。特に、根付きおよび弓状流木においては、顕著な流速減少が認められた。これらの流木形状は複雑な形状を有するで、流動抵抗の増大を招き、流速が減少したと考えられる。

次に下記式(1)を用いて、実験で計測した流速(U)、流動深(D_d)から流体力(F)の変数部分(F')を算出する。ここでは係数(K_h:1.0)、単位体積重量(γ_d)、重力(g)加速度は定数とする。

$$F = K_h \times \frac{\gamma_d}{g} \times D_d \times U^2 \quad (1)$$

この式において流体力Fの変数に依存する部分をF'と定義すると、式(2)となる。

$$F' = D_d \times U^2 \quad (2)$$

その結果を図4に示す。円柱状の流木を含む土石流が最も大きなF'を示した。これは、円柱状の流木が土石流の流路をスムーズにし、流速を増加させたためと考えられる。また、流動深も増加した可能性が考えられる。一方、根付きや弓状の流木を含む土石流は、流体力の係数が小さくなった。これらの流木が複雑な形状を有しており、流路を阻害し、流速を減少させたためと考えられる。流体力は、F'に比例するため、流速と流動深の積が大きいほど大きくなる。円柱流木の場合、流速の増加によってF'の値が大きくなり、流体力も大きくなったと考えられる。一方、根付きや弓型の流木の場合、流速の減少によってF'の値が小さくなり、流体力も小さくなったと考えられる。今回の実験結果は、流木形状が土石流の流体力に影響を与えることを示唆している。流木

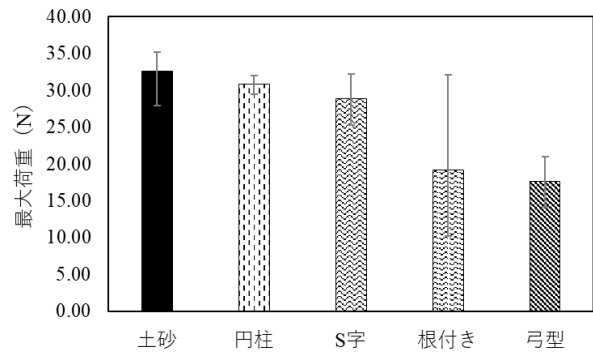


図2 流木形状の違いによる最大荷重の変化

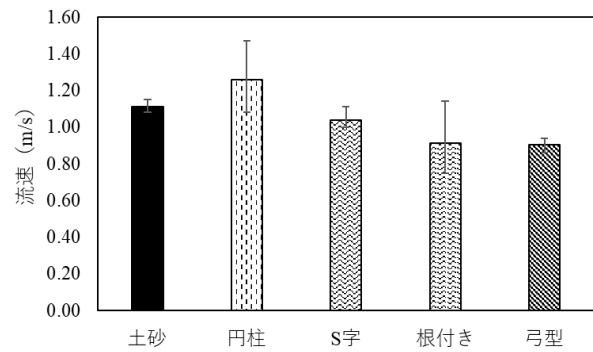


図3 流木形状の違いによる流速の変化

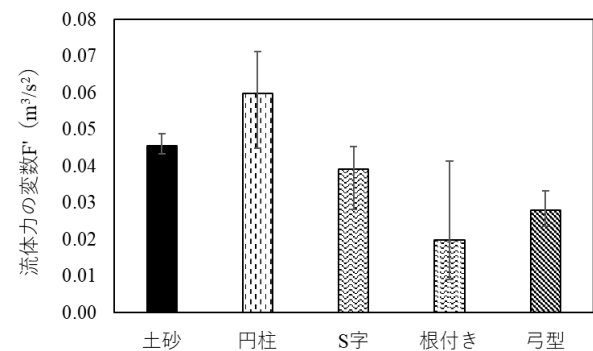


図4 流木形状と流体力変数(F')の関係

形状によって土石流の流速と流動深が変化し、それが流体力に影響することが分かった。特に、円柱流木は流体力を増加させる一方、根付きや弓型の流木は減少させる傾向があることがわかった。

4. まとめ

本実験により、流木の形状が土石流の流速や流体力に大きく影響することが明らかとなった。特に、根付きや弓型の流木は流動抵抗を増し、流速と流体力を低下させる効果が高いことが示された。一方、円柱状の流木は流速を増大させる傾向があり、今後の課題とされた。本研究の知見は、ハード施設の設計で流木形状を考慮する重要性を示唆している。

参考文献 1) 正木ら(2024): 地盤工学会中国支部論文報告集, 地盤と建設, 42(1), 2) 堀口ら(2020): 土木学会論文集, 76(2), 3) 中谷ら(2021): 自然災害科学, 40(8)