

流木体積一定条件下における多様な流木形状を有する土石流の衝突荷重に関する研究

○正木宏幸¹⁾ 島俊郎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、豪雨に伴う土石流災害において流木被害が顕在化しており、砂防堰堤の設計において流木の挙動の把握が重要となっている。既往の研究¹⁾では、流木の混入が土石流の流動特性や衝突荷重に与える影響が報告されているが、その多くは単純な円柱形状を対象としたものであり、実際の複雑な流木形状の影響については未解明な点が多い。また、昨年度の著者ら²⁾の検討を含め、形状の影響を比較する際に投入本数を一定とするケースが見られるが、この場合、形状ごとの体積差が荷重特性に混在する課題が考えられる。そこで本研究では、流木の土砂に対する体積比を厳密に統一した条件下において、昨年度に続き4種類の流木形状が土石流の流動および衝突荷重に与える影響を水路実験により検証した。さらに、計測システムを改良し、より高精度な荷重データの取得を試みた。本稿では、形状の違いが流木に作用する揚力等の流体力学的特性に及ぼす影響に着目し、流下メカニズムと荷重低減効果の関連性について検討した結果を報告する。

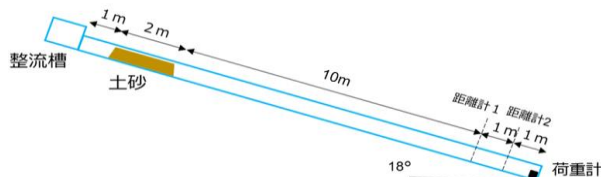


図1 実験水路の概略図

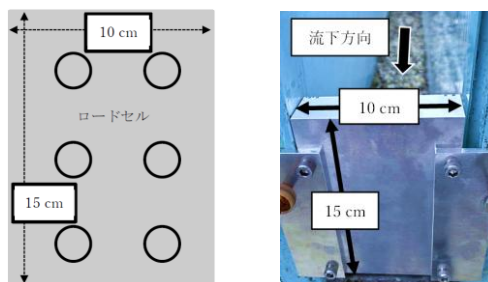


図2 受圧板式荷重計

表1 実験条件

(a) 実験水路の条件		(b) 土石流のパラメータ	
水路長	15 m	土砂量	約15 kg
勾配	18度		約8,500 cm ³
給水流量	約 0.8 L/s	流木体積	約170 cm ³

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。

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。なお、今年度は荷重計を水路本体に強固に固定する方式(図2)へ改良し、計測精度の向上を図った。

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(図3)。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



図3 流木模型の形状(円柱・S字・根付き・弓型)

表2 使用した流木模型の諸元

	直径 (cm)	本数 (本)	土砂体積比 (%)
円柱	7.0	86	2
弓型	7.0	113	2
S字	7.0	122	2
根付き	7.0	68	0.5

た流木形状の調査³⁾に基づき決定した。流木長7.0cm、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。従来の本数一定条件では、形状によって流木単体の体積が異なるため、流木総量の違い

が混入し、形状特性単独の影響を抽出できない課題があった。そこで本実験では、表2の通り各形状の単体体積に基づき投入本数を厳密に調整し、全てのケースで土砂体積に対する流木混入率を2% (8,500 cm³の土砂に対し約170 cm³の流木) に統一した。ただし、根付き流木は共通条件 (D=5 mm・2%) では流動抵抗が大きく全ケースで閉塞した (図3)。細径モデル (D=3.5 mm) を用い1%に低減した試行でも閉塞が生じたため、本実験では例外的に、安定流下が可能で D=3.5 mm・体積比 0.5 %相当で実施した。

3. 結果と考察

土砂のみのケースを基準とし、各試験における流速の測定結果を図4に示す。実験の結果、円柱形状では流速が約5.6%低下したのに対し、S字、根付き、弓型の複雑形状では流速が増大する傾向が見られた。特に弓型では約12.8%の顕著な増大が確認された。全ての流木モデルにおいて比重条件は統一されていることから、上述した流速の差異は、形状の違いに起因する流体力学的特性、とりわけ揚力の作用形態の違いによるものと推察される。Braudrickら⁴⁾によると、円柱型の流木は流れに対して平行に近い姿勢をとる場合、傾きによっては下向きの揚力が働くとされている。本実験における円柱型の流速低下は、この効果により流木が土砂層内部に潜り込み、抵抗になったためと考えられる。一方、根や湾曲部を持つ複雑形状 (根付き・弓型) は、不規則かつ強力な揚力を受けやすく、幹を水面方向へ持ち上げる力が作用する。本実験において弓型等が高速で流下した現象は、この形状由来の揚力によって流木が土石流表層へ浮上した結果であると合理的に説明できる。このように、流木形状は単なる抵抗係数の大小だけでなく、流動層内における鉛直方向の分布位置を決定づける支配要因であることが示唆された。

流木形状毎の最大衝突荷重の測定結果を図5に示す。結果として、昨年度の結果²⁾と同様に全ての流木形状において土砂のみのケースよりも荷重が減少した。減少率は形状により異なり、円柱で約19.9%と最も大きく、次いで弓型 (約14.1%)、根付き (約11.9%) となり、S字は微減 (約2.5%) に留まった。

この結果は、前述の流下メカニズムと密接に関連している。円柱形状においては、流木が土砂層内に混入することで流動抵抗として作用し流速を低下させたことに加え、土石流先頭部付近に集積した流木群が礫の直接的な衝突を妨げる緩衝材として機能したため、最も大幅な荷重低減が生じたと考えられる。



図3 根付き流木による流木塊の形成・閉塞状況

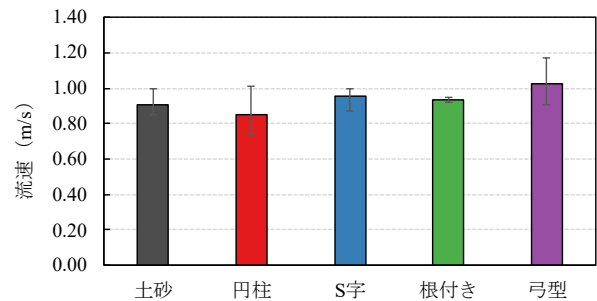


図4 流木形状の違いによる流速の比較

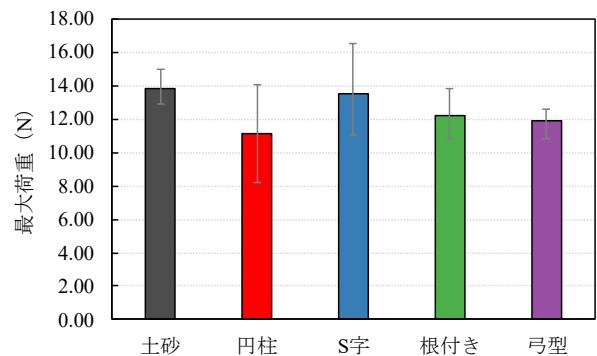


図5 流木形状の違いによる最大荷重の比較

対して、弓型のように浮上して高速で流下する場合においても荷重は低減した。これは、先頭に集積した流木塊が堰堤への直接的な土砂衝突を妨げる緩衝効果をもたらしたためと考えられる。すなわち、流速が増大し運動エネルギーが増加する条件下であっても、形状特性による緩衝効果が卓越すれば、最終的な衝突荷重は低減することが実証された。

4. まとめ

流木体積比を一定とした水路実験により、流木形状が土石流の流下層を変化させ、その結果として流速や荷重低減メカニズムに相違が生じることが明らかとなった。今後は、数値解析を通じて流木の挙動について詳細な検討を行う予定である。

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) 正木ら(2025): 令和7年度砂防学会研究発表会概要集, 3) 中谷ら(2021): 自然災害科学, 40(8), 4) Braudrick(2000): Water resources research, 36(2)