

流木群の衝撃力と流体力が土石流の最大衝突荷重に与える影響

北海道大学農学院 ○野坂隆幸

北大農学研究院 丸谷知己・笠井美青・桂真也・小山内信智・野呂智之

三重大学大学院生物資源学研究科 山田孝

1. はじめに

国土の約7割が森林で覆われている我が国では、多くの場合、土石流は多量の流木を含んで流下する。この流木が流木群となって沖積錘上の構造物に衝突し、それらを破壊する事例が多く報告されている。そのような被害を防ぐために、土石流流体力と家屋の耐力の比に基づいて土砂災害特別警戒区域の指定が行われている。しかしながら、この流体力には、流木群が土石流の衝突荷重に与える影響が考慮されていない。流木を含むことで生じる土石流の衝突荷重の増加、およびその増加要因が明らかになれば、それに応じた具体的な対策をとることが可能である。要因には、まず衝突物の量の増加が挙げられる。また、流下の際に流木塊が形成されることで流路が閉塞し、その閉塞によって捕捉される後続の土石流の分だけ構造物に作用する流体力が増加することも衝突荷重増加の要因として考えられた。

本研究では水路実験にて、流木群を含む土石流の衝突荷重の計測、及び衝突過程の観察を行い、流木を含むことで生じる土石流の衝突荷重の変化と、その変化をもたらす要因について調べた結果を報告する。

2. 実験概要

実際の溪流の100分の1の縮尺を想定し、実験水路には図1に示す矩形水路を用いた。

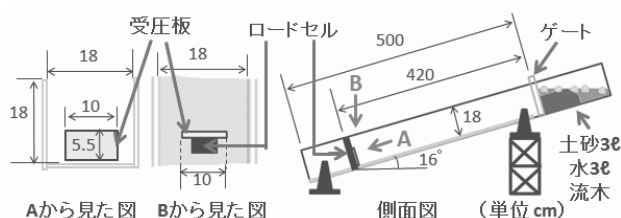


図1 実験装置概要

水路勾配は、土石流発生条件を考慮し、16°に固定した。ゲート上部に土砂、水、流木試料を配置し、ゲートを開放することで土石流を発生させた。なお、実

験はフルード相似則に従うものと仮定した。

土砂試料は最大粒径が15 mm、平均粒径が1.1 mm、比重が2.3から2.5の混合土砂を使用した。また、流木試料には、直径が4 mm、長さが9 cm、比重が0.9±0.03の丸棒を使用した。土石流に含ませる流木量は、流木容積率(K_w)から求めた。

$$K_w = \frac{V_g}{V_g + V_y} \quad (1)$$

ここで、 V_g は流木の容積 (cm^3)、 V_y 土砂の容積 (cm^3)

なお、 K_w の値としては、溪流からの生産土砂量(V_y)と発生流木幹材積(V_g)にほぼ正比例の関係が認められ、 V_g の上限が $0.02V_y$ (石川ら 1989)とされている。このことから2%を、大量の流木群が一度に構造物に衝突したケースを再現するために10%を、その二つの値の中間として6%を設定した。また、比較のために流木を含まないケースについても実験を行った。

土石流の衝突荷重は、水路末端に設置したロードセルを用いて計測した。なお、構造物の破壊には衝突荷重の最大値が強く寄与すると考え、ロードセルに取り付けた受圧板に作用した荷重の最大値を土石流衝突荷重として記録した。

また、流路閉塞に伴う流体力の増加の影響を除き、単純に流木群の衝突による最大衝突荷重の差についても検討を行うために、受圧板に高さ10 cm、幅18 cmの閉塞壁を取り付け、水路を予め閉塞させた状態での荷重の計測も行った。

実験ケースは表1に示す8通りの条件で、各ケース3回ずつ試行を行った。また、受圧板に衝突前後の土石流の挙動を観察するため、ロードセル付近にハイスピードカメラを設置し、水路上方からフレームレート1000fpsで記録した。

表1 実験ケース

全8ケース		流木容積率(%)			
		0	2	6	10
壁	あり	A0	A2	A6	A10
	なし	N0	N2	N6	N10

3. 結果と考察

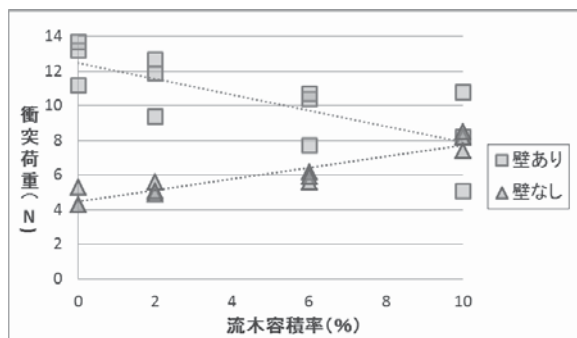


図2 流木容積率と土石流衝突荷重の関係

ハイスピードカメラで撮影した映像より、全ケースにおいて、流木が土石流の先端部に集中して流下する傾向が見られた。

閉塞壁なしの場合、A₆とA₁₀では流木群が絡み合っ
て流木塊を形成し、水路を閉塞することで後続の土石、
流木を捕捉し、受圧板両脇の通過を防いでいた。一方、
A₀とA₂では、流木塊は形成されず、土石流は受圧板両
脇をほとんど通過していた(図3)。以上から、流木量
が増えると衝突荷重が増加する傾向(図2)にあった
要因としては、当初想定した通り、衝突物の量の増加
や、流木塊の流路閉塞に伴う流体力の増加があると考
えられた。

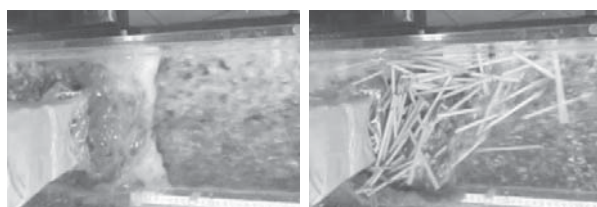


図3 受圧板衝突直後の土石流(左:A₀、右:A₆)

閉塞壁がある場合、流木を含むN₂、N₆、N₁₀では、
土石流の先端部に集中した流木が最初に閉塞壁に衝突
し、その後に土石が続いていた(図4)。閉塞壁に衝突
後の流木は、流木容積率に応じた大きさの流木塊を形
成していた。この場合は、閉塞壁を設置しなかった場
合と対照的に、流木容積率が増えると衝突荷重が減少
する傾向にあった(図2)。また、流木を含むと衝突荷
重のばらつきが大きくなった。衝突荷重が減少傾向に
あった要因としては、先行した流木で形成された流木
塊に土石が衝突する形になったことから(図4)、土石
の衝突に対して流木群が緩衝材のように働いたため
ではないかと考えられた。

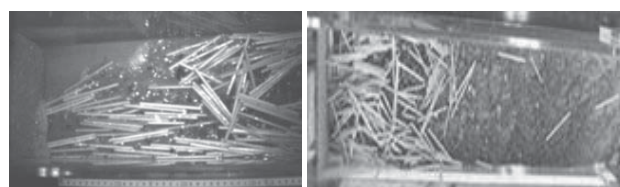


図4 土石流の衝突の瞬間と堆積状況(N₁₀)

流木量に応じた土石流の衝突荷重の変化傾向は閉塞
壁の有無により異なっていた。その原因としては、土
石流の衝突荷重の変化に流木塊がもたらした効果の違
いが考えられた。つまり、閉塞壁なしの場合では、流
木塊によって流路閉塞に伴う流体力の増加が生じたと
考えられた一方で、閉塞壁ありの場合では、流木塊が
流体力の増加ではなく、土石の衝突を和らげる緩衝材
のように作用したためだと考えられた。また、流路閉
塞に伴う流体力の増加の影響を除いた閉塞壁ありの場
合で衝突荷重が減少したことから、衝突物の量の増加
よりも、流路閉塞に伴う流体力の増加の方が、衝突荷
重に与える影響が大きいことが推測された。

5. おわりに

本研究では、勾配や水路幅が固定された条件下であ
るものの、流木群が土石流の衝突荷重に与える影響と
その要因、要因ごとの影響の大きさをみることができ
た。今後、警戒区域の指定に流木群の影響を考慮する
際は、単純な衝突物の追加よりも流路閉塞に伴う流体
力増加の方が衝突荷重に与える影響が大きいことから、
流路閉塞に伴い増加する流体力を推定し、その値を指
定の基準に考慮することが必要だと考えられる。

また、構造物自体における対策を考える際には、流
路の閉塞が生じにくい場所に構造物を設置するほか、
閉塞を生じさずに土石流を減勢させるため、スリット
を持つ防壁を設置したり、間隔を空けて障害物を設置
したりするのが望ましいと思われる。

なお、本研究は科研費補助金(JSPS KAKENHI
Grant Number 26660120)の交付を受けて行った。
本研究の実施にあたり、平成27年度国土交通省河川砂
防技術研究開発制度指定課題分野 火山地域における
流木を伴う山地崩壊の発生と流動(研究代表者:北海
道大学 丸谷知己)による助成を受けた。