

流木を含んだ土石流の衝突荷重測定実験

北海道大学農学院 ○野坂隆幸

北海道大学農学研究院 笠井美青・丸谷知己

三重大学大学院生物資源学研究科 山田孝

1. はじめに

現在、土石流を対象とした土砂災害特別警戒区域の設定基準には、流体による衝突荷重である土石流流体力が用いられている。また、近年の土石流災害では、氾濫・堆積域における構造物への流木被害が目立つようになってきている。日本の国土の大部分は森林で覆われていることから、土石流が流木を巻き込んで流下することは決して稀ではない。そこで、より現状に対応した警戒区域の設定を行うためには、流木や土砂礫といった固体による衝突荷重も考慮する必要がある。

本研究では、流体による衝突荷重と、流木や土砂礫を含んだ土石流の衝突荷重の違いについて、水路実験から得られた結果を報告する。また、土石流の衝突荷重については、流木量に応じた変動の確認を行った。

2. 研究方法

2.1 実験概要

実験には図1に示す幅18cm、高さ18cm、長さ5m、の矩形水路を用いた。水路勾配は、平成26年に発生した広島の土石流災害にて土石流流下区間(10～20°)での家屋被害があったこと、一般的な土石流発生勾配が15°以上であることを参考に、16°で固定した。

土石流の発生は、ゲート上部に土砂3ℓ、水3ℓ、流木試料を配置し、ゲートを開放することで行い、その流下状況はビデオカメラで撮影した。

水路下流部には幅10cm、高さ5.5cmの受圧板をもつロードセルを設置し、土石流衝突荷重を計測した。本研究では計測中に受圧板に作用した荷重の最大値を土石流衝突荷重とした。

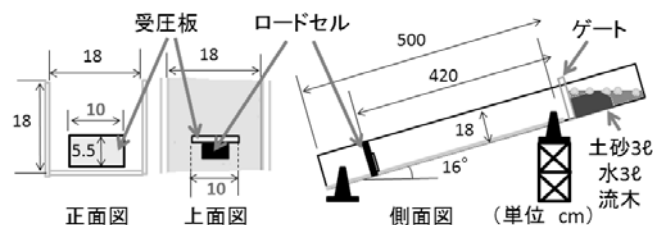


図1 実験装置概要

流木を含まない土石流については、流体による衝突荷重である土石流流体力(F_0)を式(1)から求めた。

$$F_0 = \rho_d b H U^2 \quad (1)$$

ここで、 ρ_d :土石流の密度、 U :土石流の速度、 H :土石流の流動深、 b :受圧板の幅である。

ρ_d は水路下端で採取した土石流先端部から、 U と H は流下状況を撮影した動画から計測した。

2.2 土砂・流木試料

土砂試料には図2に示す粒度分布をもつ土砂SとLの2種類を用いた。最大粒径 D_{max} は土砂Sで5mm、土砂Lで15mm、比重はどちらも2.3～2.5であった。

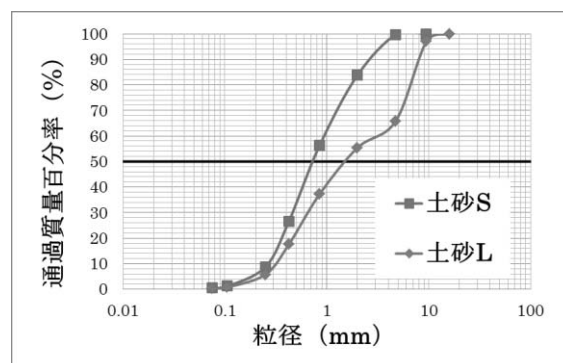


図2 土砂試料の粒径加積曲線

流木試料には、土木研究所がまとめた土石流に伴う流木災害調査結果(家屋に破壊をもたらしたとされる流木の平均直径30cm、平均長9.5m)を参考に、100分の1の縮尺で直径4mm、長さ9cm、比重0.9±0.03のヒノキ材の丸棒を使用した。土石流に含まれる流木量を表す指標としては、式(2)で表される流

木容積率(K_w)を用いた。なお、実験はフルード相似則に従うものと仮定した。

$$K_w = \frac{V_g}{V_g + V_y} \quad (2)$$

ここで、 V_g :流木の容積、 V_y :土砂の容積である。

2. 3 実験条件

実験は表 1 に示す 8 通りの条件で行った。ロードセルによる土石流の衝突荷重の実測は、全ケース 3 回ずつ行った。

表 1 実験ケース

ケース数: 8		流木容積率			
		0%	2%	6%	10%
土砂	S	S0	S2	S6	S10
	L	L0	L2	L6	L10

式(1)による土石流流体力の算出は、流木を含まない S0、L0 の 2 ケースで 3 回ずつ行った。

3. 結果

表 2 に S0、L0 で土石流流体力の算出に用いた項目の測定値と算出結果の平均を示す。流木を含まない S0、L0 では受圧板両脇を土石流が通過していた。

表 2 $F_0 = \rho_d b H U^2$ ($b=10(\text{cm})$)

	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	$H(\text{cm})$	$U(\text{cm/s})$	$F_0(\text{N})$
S0	1.48	0.8	130.2	2.01
L0	1.65	1.2	120.6	2.88

一方で、流木を含んだ土石流は先端部に流木が集中した状態で流下し、容積率 6%以上においては、受圧板に堰き止められることにより流木塊を形成し、その流木塊が後続の土砂と流木を捕捉した。その結果、受圧板両脇を通過する土砂と流木の量が著しく減少した。

図 3 に衝突荷重の実測値と式(1)から求められた流体力の算出値を示す。土砂 S と L では礫径の大きい L の衝突荷重が上回っていた。また、どちらの土砂試料を用いたケースについても、流木容積率の増加に伴い、土石流衝突荷重も増加した。なお、全ケースにおいて、算出値は実測値を下回っていた。

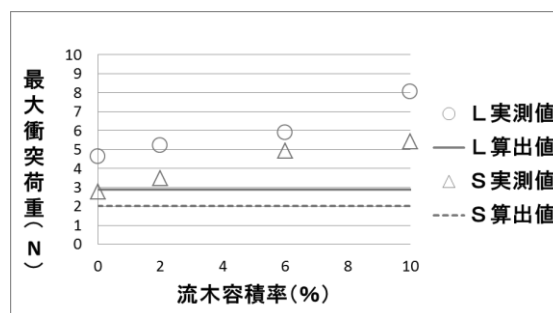


図 3 土石流の衝突荷重(実測値)と流体力(算出値)

4. 考察

流木量の増加に伴い衝突荷重が増加した要因としては、流木という衝突物が新たに加わったこと、流木塊による受圧板への荷重集中が考えられた。後者に関しては、受圧板の幅より大きく形成された流木塊によって土石流が捕捉されることで、土石流が受圧板両脇を通過する場合より多くの土石流荷重が受圧板に作用したと考えられた。

算出値の過小評価要因としては、流木容積率 0% も含む全ケースで過小評価していたことから、土砂礫や流木といった固体による衝突荷重を、土石流流体力では算出できなかったことが考えられた。

5. おわりに

本実験では、より多くの流木を含むほど、衝突物の増加や、流木塊の土石流補足による構造物への荷重集中が起こり、土石流衝突荷重が増加することが分かった。しかし、今回の実験は土石流の流下域を想定したものである。今後、警戒区域の設定といった土石流対策に活用していくためには、土石流の氾濫・堆積域で、流木の量や大きさと土石流衝突荷重の分布の関係について調べていくとともに、流木塊が形成されやすい場所を明らかにする必要があると考える。

なお、本研究は科研費補助金(JSPS KAKENHI Grant Number 26660120)の交付、及び平成 26 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)による助成を受けて行った。