

張出しタイプ流木捕捉工に作用する荷重に関する研究

防衛大学校 ○堀口俊行 渡邊大貴

1. 緒言

近年の土石流には、多くの流木が含まれており、その対策が検討されている。よって、流木による被害を減少させるため、(1)新設では、土砂とともに流出する流木等を全て捕捉するために、透過構造を有する施設を原則設置すること、(2)既設では、流木の捕捉効果を高めるため、流木捕捉工の設置を行うこととした。その対応策の一つとして、不透過型砂防堰堤（以下、不透過型）に、流木捕捉機能を付与するため、図-1、2に示すような張出しタイプ流木捕捉工¹⁾（以下、流木捕捉工）が提案された。

筆者ら²⁾は、流木捕捉工に作用する荷重計測実験を実施し、流下形態によっては流木捕捉工に衝撃荷重が作用することを示した。しかし、流木捕捉工と既設不透過部の同時に作用する荷重については、不明確なまま現行の設計が成り立っており、設計荷重の適用性について検討が必要である。

そこで本研究は、流木捕捉工を付与した既設不透過型に作用する荷重について明らかにし、設計荷重との比較・検討をするものである。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

図-3に示す実験水路の諸元は、水路長約4.4m、水路幅0.3m、深さ0.5mであり、水路勾配($\theta=0\sim20^\circ$)は任意に設定できる。本実験では、土石流区間とするため、 $\theta=10^\circ$ とした。図-4に示す堰堤モデルは、受圧板として幅270mm、高さ20mm、厚さ10mm、比重7.9のステンレス板を5枚使用しており、流木捕捉工モデルは複雑な形状の加工を容易にするため、PLAを材料として3Dプリンタで作成した。なお、流木捕捉工の純間隔 l_w は、流木長の1/2以下かつ最大粒径の2倍以上となるようにして、 $l_w=40\text{mm}$ とした¹⁾。

2.2 実験ケース

表-1に、実験ケースを示す。礫径 $d=5\sim15\text{mm}$ の先行堆積礫によって満砂とした堰堤モデルに対し、Case-1では水+流木、Case-2では水+流木+礫を土石流として流下させた。流木本数 n は、礫モデルの体積に対して流木容積率 $K_w=10\%$ となるように設定した。なお、実験誤差を軽減するため、各ケースについて5回ずつ実験を実施した。

3. 実験結果

図-5、6に、Case-1、2における時刻歴応答をそれぞれ示す。堰堤モデル全体に作用する最大荷重 $P_{\max-d}$ を生じる時刻を $t=t_0+1.0\text{s}$ とした。図-5(a)、6(a)は、流木が先行堆積礫に到達した時である。図-5(b)、6(b)で、土石流が流木捕捉工モデルに衝突して最大荷重 $P_{\max-w}$ を生じる。流木捕捉工モデルに作用する最大荷重 $P_{\max-w}$ は、Case-1、2でそれぞれ17.1N、20.5NとわずかにCase-2の方が大きい。現行設計における

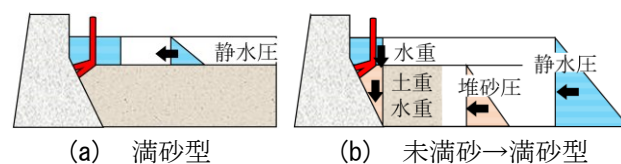
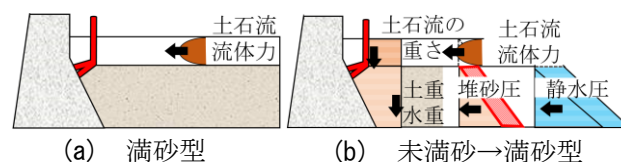
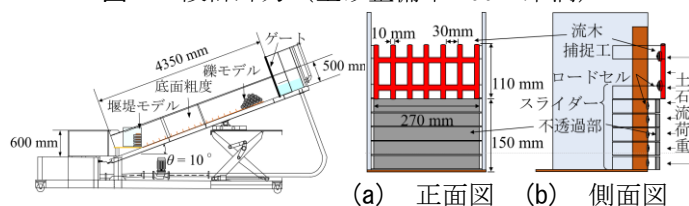
図-1 設計外力（土砂整備率 100 %）¹⁾図-2 設計外力（土砂整備率 100 %未満）¹⁾

図-3 実験水路

図-4 堰堤モデル

表-1 実験ケース

Case	土石流モデル			
	液相 (水)	固相		流木モデル
		礫材モデル	体積	
		礫径 d (mm)	V_g (L)	流木本数 n (本)
1	50 L	—	—	$n=270$ 本
2		5-15	10.5 L	$n=270$ 本

土石流流体力 F は、礫および水を混合した土石流濃度に基づいて決定されるため、流木は考慮されていない。礫の比重として固化石灰灰の比重1.8を用いて計算すると土石流流体力は $F=44\text{N}$ 程度であり、実験の最大荷重 $P_{\max-w}$ を大きく上回ることが分かる。また、現行設計では土砂整備率100%の既設不透過部には堆砂圧と静水圧のみが作用することとなっているが、土砂が堰堤に流下していないCase-1では、これらに加えて土石流による上載荷重も作用する結果となった。このことより、既設堰堤部には、設計荷重として土砂整備率に依らず堆砂圧、静水圧および上載荷重を作用させる必要がある。流木等が捕捉されることで図-5(c)、6(c)に示すように流木捕捉工が閉塞し、後続流が滞留することで先行堆積礫が洗堀され、堆砂圧が低下する。不透過部に作用する荷重が最小値 $P_{\min-d}$ を示した後、図-5(d)、6(d)に示すように固相が堆積し、図-5(e)、6(e)で不透過部は最大荷重 $P_{\max-d}$ となる。図-5(f)、6(f)に示すように、土石流通過後に荷重は安定するが、Case-2では流木捕捉工に礫が堆積することで堆砂圧が作用する。

4. 設計荷重の提案

流木捕捉工を付設した不透過型（土砂整備率 100 %

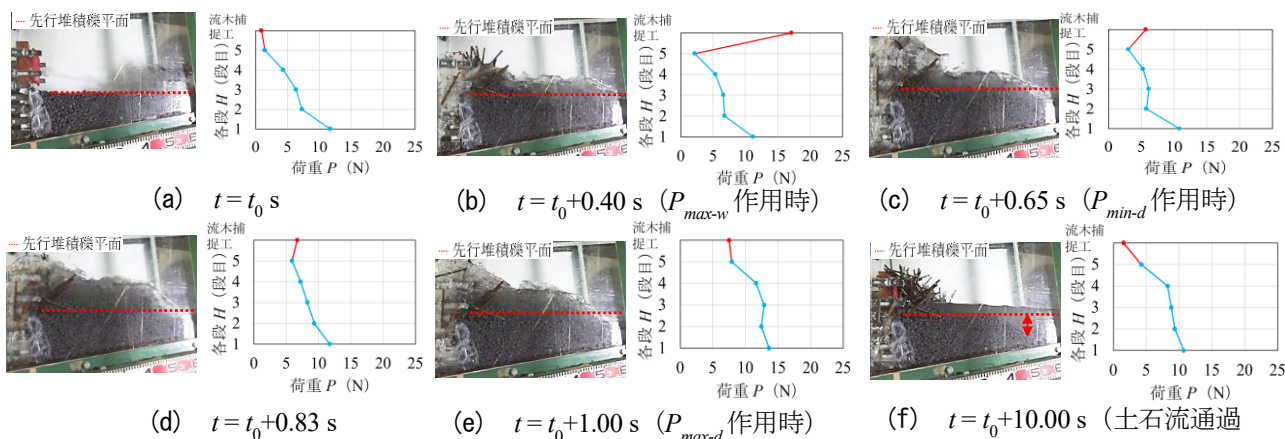


図-5 時刻歴応答 (Case-1)

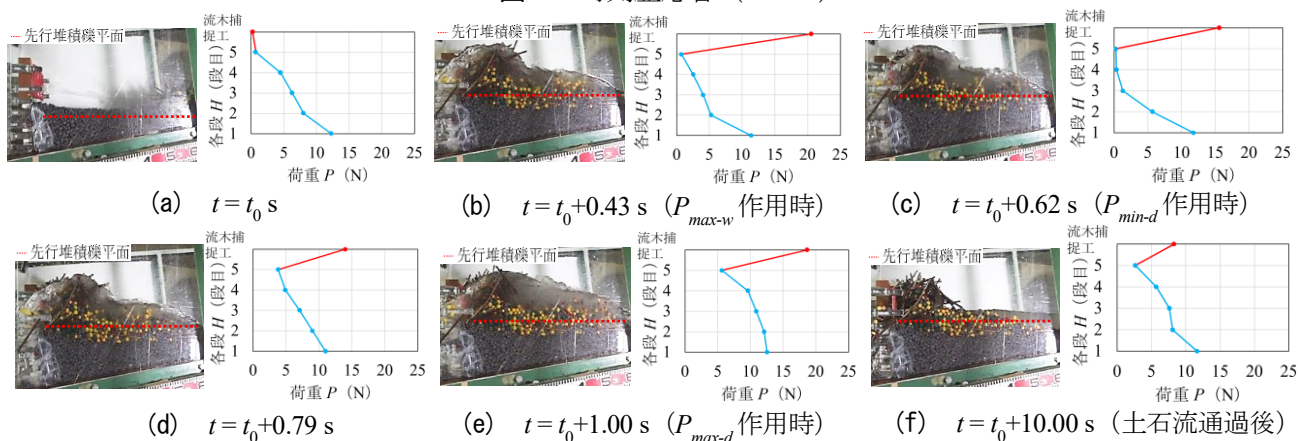


図-6 時刻歴応答 (Case-2)

未満) の設計外力は、図-2(b)のように未満砂状態かつ土砂整備率 100 %未満時のみ土石流流体力が流木捕捉工に作用するとされている。しかし、本研究のように流木が主体として流下してくるような、土砂整備率 100 %を想定した満砂状態において、流木混じり土石流を作用させたところ流木捕捉工に衝撃荷重が作用している。現行の土石流流体力は土石流濃度に基づいて決定されるため、流木混じり土石流としての比重を考慮できない。また、現状では流木混じり土石流による作用荷重を土石流流体力のまま評価することは過剰な設計荷重となり、経済性を損なう結果となる。このような背景を加味して、設計荷重の修正案として流木混じり土石流としての比重を考慮できるように、土石流流体力に係数 α (本実験では $\alpha = 0.3$ 程度) を与える等の処置が必要である。

次に、流木捕捉工を付設した既設不透過部の現行設計は、未満砂かつ土砂整備率 100 %未満時に土石流流体力が流木捕捉工に作用した場合に限って土石流の上載荷重が不透過部に作用するとされている。しかし、堆砂状況や土砂整備率に依らず流木捕捉工には衝撃荷重が作用したため、既設不透過部に作用する荷重が上昇し、流木のみにおいても既設不透過部の作用荷重が上昇した。

従って、既設不透過型に流木捕捉工を付与する場合、水平方向の設計荷重は、堆砂状況や土砂整備率 (に依らず、図-7 に示すように流木捕捉工には流木混じり土石流による土石流流体力 F を、既設不透過部には堆砂圧 P_s 、静水圧 P_w および土石流による上載荷重による土

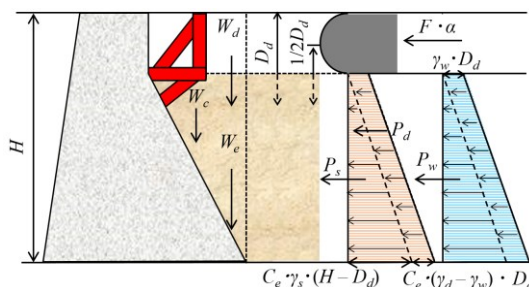


図-7 設計外力の修正案

圧 P_d を作用させる必要がある。

5. 結論

本研究は、流木捕捉工を付与した既設不透過型の荷重分布について明らかにしたものである。そこでは、流木捕捉工を付与された既設不透過部には現行設計に加えて、土石流による上載荷重を作用させる必要性を示した。

今後は、設計荷重として数値シミュレーションにおける再現解析の検証から設計荷重分布の適用性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 一般財団法人砂防・地すべり技術センター：張出しタイプ流木捕捉工設計の手引き，2020
- 2) 渡邊大貴，堀口俊行，飯塚幸司：流木の流下条件が流木捕捉工に作用する荷重に与える影響に関する検討，第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.143-148，2022