

透過型モデルに作用する流木群の荷重に関する実験的検討

防衛大学校 ○竜川太志, 堀口俊行, 別府万寿博

筑波大学大学院 内田太郎

1. 緒言

近年, 記録的な豪雨の影響により, 過去 30 年間の流木災害に関する調査では, 下流部に流下する流木量が増加傾向にあることが報告されている¹⁾. 今後, 大規模な土石流によって大量の流木が流れ込むことが想定され, 流木捕捉工の建設が急務となっている. 現行の設計基準では, 流木捕捉工が受ける流木の作用荷重は静水圧荷重のみで評価されており, 流木が群を形成して衝突する場合の荷重は想定されていない. これは, 掃流区間において流木が単体でのみ流下することを前提としているためである. しかし, 橋梁が閉塞されたり構造物に損傷が生じたりする事例から, 流木群による衝撃的な荷重が発生していることが推察される.

このような背景から, 片山ら²⁾は流木群の形成要因や条件について整理し, 流木群が流下する際の荷重が静水圧荷重よりは大きくなる可能性を示唆している. しかし, 流木群による荷重の評価方法や, 流体力や衝突荷重を具体的に評価する手法については, まだ確立されていない.

そこで本研究では, 流木群の荷重モデルを検討するための基礎的段階として, 流木群の荷重実験を基に, 最大衝突荷重と速度の関係について検討したものである.

2. 流木群の実験の概要

2.1 実験の概要

図-1 に, 各種実験装置の概要を示す. 水路の諸元は, 水路長 $L=4.0$ m, 水路幅 $B=0.3$ m, 深さ $H=0.5$ m であり, 水路勾配 ($\theta=0\sim 20^\circ$) は任意に設定できる. 流量の制御は, 水路上流側にある制御レバーにより流量を調整可能である. 本実験で実施する流木の投入位置は, 堰堤から上流 3.4 m である. そこでは, 一気に流木群を流下させる「流木群投入型」を用いた.

写真-2 に, 流木捕捉工モデルと計測装置の設置状況を示す. 写真-2 (a) より, 流木捕捉工モデルの高さは $h_c=150$ mm, 幅 $b_c=290$ mm, 捕捉工間隔は $w_c=40$ mm, 鋼管径 $D=10$ mm とした. 部材には, 十分な剛性を有する鉄筋を使用した. 流木捕捉工モデルに作用する全ての荷重を測定するため, 2 個の分力計 (LSMB-

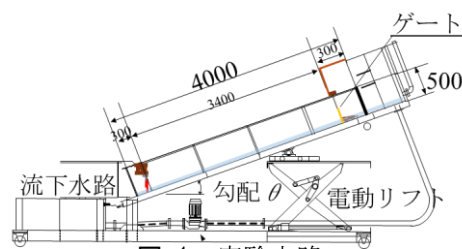
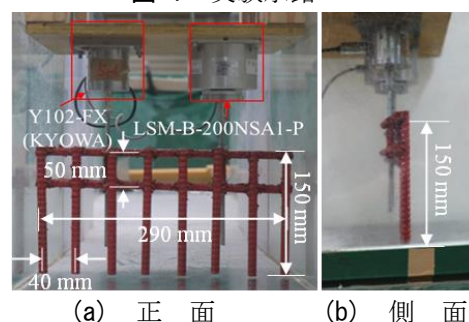


図-1 実験水路

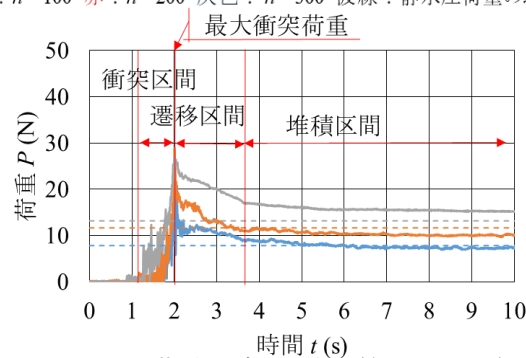


(a) 正面 (b) 側面

写真-2 堰堤モデル

表-1 実験ケース

勾配 θ ($^\circ$)	流量 Q (L/s)	流木長 l (mm)	流木 本数 n	回 数
1	2.3	120	100	5
3	4.7		200	
5	6.9		300	

青: $n=100$ 赤: $n=200$ 灰色: $n=300$ 波線: 静水圧荷重の理論値図-2 荷重-時間関係 (勾配 $\theta=3^\circ$)

200NSA1-P, Y102-FX, KYOWA) により固定し, 流木捕捉工モデルの底部が水路底面に接触しないように吊るした. 分力計と流木捕捉工モデルの固定は, 直径 6 mm のねじ棒を流木捕捉工モデルに溶接してある内径 6 mm の中空円柱に通し, 中空円柱を上下方向からナットで固定した. なお, サンプリング周波数を 200 Hz に設定した. また, 高周波ノイズを除去するために 100 Hz のローパスフィルターを適用した. 流木モデルは, 直径 $d=5.5$ mm, 流木長 $l=120$ mm とした. 材質はラミンを使用し, 水に十分浸したものを使用した. 実験で使用する流木本数は, $n=100, 200, 300$ とした.

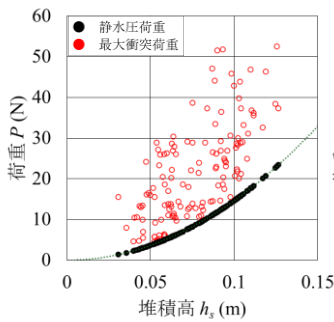


図-3 最大衝突荷重と静水圧荷重の比較

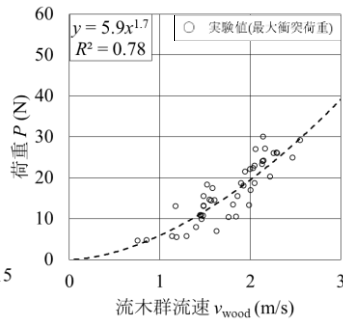
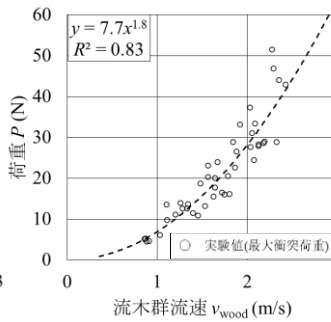
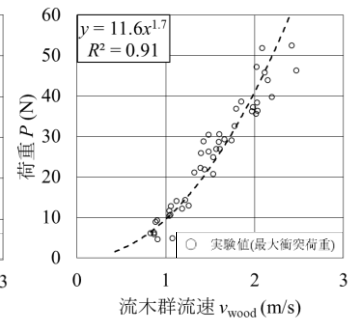

 (a) 流木本数 $n = 100$

 (b) 流木本数 $n = 200$

 (c) 流木本数 $n = 300$

図-4 最大衝突荷重－流木群流速の関係

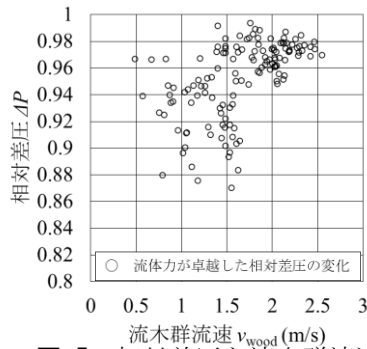


図-5 相対差圧と流木群流速

2. 2 実験ケース

実験はフルード相似則を適用し、1/20 の縮尺で設定した。表-1 に実験ケースを示す。3 ケースの勾配に対し 3 ケースの流量と 3 ケースの流木本数をそれぞれ組み合わせ実施した。流木本数における影響と流速における作用荷重の変化について実施する。

3. 実験結果

3. 1 作用荷重

図-2 に、代表値として勾配 $\theta = 3^\circ$ 、流量 $Q = 4.7 \text{ L/s}$ における流木本数 $n = 100 \sim 300$ の荷重と時間関係を示す。ここでは、流木が衝突してから最大衝突荷重に達するまでの区間（衝突区間）に生じる荷重が最大荷重となり、流木が捕捉された後の区間（堆積区間）で生じる荷重を準静水圧荷重 P_{qh} としている。次に、図-3 に最大衝突荷重 P_{max} と静水圧荷重 P_h について示す。そこでは、本実験から得られた P_{max} と現行の設計式より実験で得られた流動深 h_f から算出した P_h を比較すると明らかに P_{max} の方が大きいことが分かる。このことから、 P_h より大きい動的な荷重が作用していることが分かる。実験で得られた概要を説明すると、流木群の P_{max} は、流木群の本数、流木群の速度が主要な影響因子であることが明らかとなった。このことから、流木が群をなして流下する際に、衝撃的な荷重が作用していることが示唆される。

3. 2 最大衝突荷重－流木群流速の関係

図-4 に、最大衝突荷重と流木群流速の関係を示す。これは、流木本数別に整理したデータである。それぞれ流木本数ごとに違うデータを累乗近似により分析した。最大衝突荷重と流木群流速の関係は、 $P_{max} = 5.9 \times v_{wood}^{1.7}$ 、 $P_{max} = 7.7 \times v_{wood}^{1.8}$ 、 $P_{max} = 11.6 \times v_{wood}^{1.7}$ となり、概ね 2 次関数に近似している。よって、最大衝突荷重は流木群流速の 2 次関数に近似しており、土石流の流体力評価で得られる傾向と類似していることが分かった。

3. 3 相対差圧と流木群流速

図-5 に、相対差圧 ΔP と流木群流速 v_{wood} の関係について示す。相対差圧とは、 P_{max} から現行設計式より算出した P_h を引いた値を P_{max} で割った値である。この値は、最大衝突荷重の中で、静水圧荷重を除いた純粋な動的な衝突荷重がどの程度占めるかを無次元的に表した指標である。流木群流速が増加するに従って、相対差圧も 1 に近づいている。この相対差圧は、全てのケースで 0.86 以上であることから P_{max} は P_h よりはるかに大きく、動的な荷重が支配的であると考えられる。

4. 結 言

本研究によって、流木群による最大衝突荷重については静水圧を含む流体力や流木の衝突力の両方を考慮する必要性が示唆される。

謝辞：本研究は、科学研究費助成事業：基盤研科 C（課題番号 23K05326）の助成を受けて行われた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和 2 年 7 月豪雨について、国土交通省水管理・国土保全局会議資料，2021。
- 2) 片山和紬，金城伶奈，山田孝：土石流先頭部に集積する流木群の実態，自然災害科学，Vol.42，No.1，pp.43-51，2023。