

橋梁における流木集積に関する実験

一般財団法人 砂防・地すべり技術センター ○和田眞典、吉田真也
京都大学 藤田正治、竹林洋史、伊東直哉

1. 背景

近年、気候変動に伴う降雨量の増加等を背景に、流木を伴った土砂災害が散見されるようになった。被害形態として、発生した流木によって河道や橋梁が閉塞され洪水氾濫を助長することや、流木が家屋に直撃し破壊に至ることが知られている。

特に流木の橋梁部での集積による洪水氾濫予測を行うためには、流木集積量の時間変化を氾濫モデルに導入する必要がある。本研究ではそのような解析をする前に、基礎的な実験として流木が集団的に流下してくる場合の集積率について検討する。

2. 実験

京都大学宇治川オープンラボラトリーの循環式流砂実験水路を用いて実験を実施した。水路は幅 0.5m、長さ 21m、側壁はアクリル板の直線・矩形型で、水路床には人工芝を貼り付けて粗度係数を調整した。水路勾配は約 1/100 から約 1/300 の間で変化させ、水深と流速を調整した。

今回の実験と同様に流木捕捉工や橋梁への流木集積率や集積が発生する流木量を導出しているものとして、水山ら(1988)¹⁾や長谷川ら(2015)²⁾があるが、これらはそれぞれ土石流区間やフルード数 1.0 以上の条件で実験を実施している。これに対し、比較的緩勾配やフルード数の小さい条件で流木集積率を導出したものは少ないこと、及び急勾配区間と緩勾配区間における流木の挙動は異なると考えられることから、本実験では緩勾配で実施した。

実験において、橋梁模型は水路の中央付近に設置し、橋梁模型から上流 6m の位置から流木模型を集団投入した。坂野(2003)³⁾を参考に、橋梁で 20 秒以上停止した流木を「集積した」と判定した。また、投入した流木のうち、橋梁に集積した流木の割合を流木集積率とする。実験においては電磁流速計(株式会社ケネック VM-801H)を用いて河床から 1cm ごとに流速の計測を実施し、それらの平均値を流速の値として算出した。

実験では橋梁諸元(径間長 5cm~20cm、桁下高さ 5cm~10cm)、流木諸元(流木本数 100 本~500 本、流木長 5cm~15cm)、水理諸元(水深 5cm または 10cm、流速 25cm/s~103cm/s)を変化させて 25 ケース実施した。実験のフルード数は 24 ケースで約 0.4~約 0.8 であり、1 ケースのみ約 1.2 で実施した。また、同一ケースについて 3 回から 5 回実験を行い、その集積率の平均を取ることで当該ケースでの流木

集積率とした。なお、粗度係数 $0.018\text{m}^{-1/3}/\text{s}$ および流木直径 0.003m は実験を通じて一定とした。流木模型の比重に関してはスギの生木比重を想定し、0.9 程度のものを用いた。

3. 結果及び考察

既往文献¹⁾²⁾³⁾において流木集積率と相関関係の見られた要因のうち、本実験でも相関関係の見られた「流木本数」「流木長径間長比」「水深桁下高比」「フルード数」について集積率との関係を図 1 に示す。

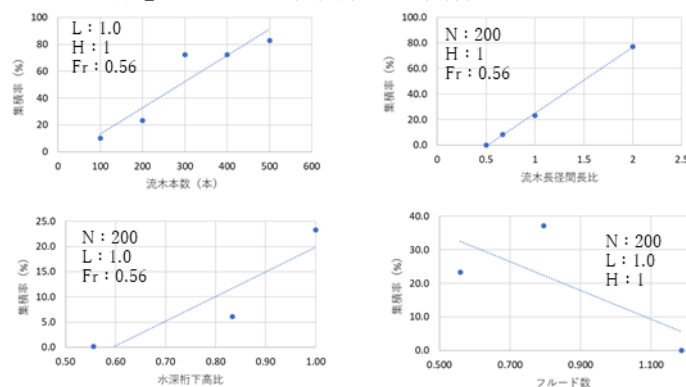


図 1 実験結果

ここで、流木長径間長比とは橋梁の径間長に対する流木長の比である。また、水深桁下高比とは橋梁の桁下高に対する水深の比であり、この値が大きいほど水位が桁下高さに近づく。実験結果より流木本数、流木長径間長比、水深桁下高比と集積率の間には正の相関があり、フルード数とは負の相関にあることが示唆された。このことは、橋梁の桁下クリアランスが小さいほど集積率が増加すること、緩勾配区間に多い、フルード数の小さい場所では集積率が増加することを表している。実験結果を踏まえ、集積率と正の相関関係にある要因を分子、集積率と負の相関関係にある要因を分母に組み込むことにより、以下の変数を定義する。

$$X = \frac{N \cdot L \cdot H}{Fr} \quad \dots (1)$$

ここで N: 流木本数、L: 流木長径間長比、H: 桁下高水深比、Fr: フルード数である。各実験ケースにおいて変数 X と流木集積率との関係を整理したグラフを図 2 に示す。

図 2 より変数 X と流木集積率には相関があることが明らかにされた。また、変数 X と流木集積率の線形近似による回帰式は以下の通りである。

$$Y = 0.1166X - 6.3154 \quad \dots (2)$$

図2にて回帰式を示したが、実際には1本の線形で表されるものではなく、集積率はある程度の範囲を持っていることが示唆される。これは、流下中の流木の方向や流木が橋脚に向かって流れてくるか、または橋脚間に向かって流れてくるか等の実現象が変数X中に評価されていないためと考えられる。

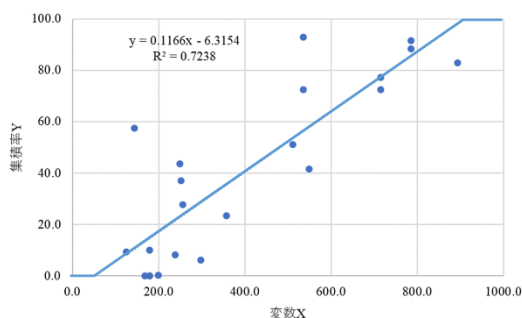


図2 変数Xと集積率の関係

変数Xと流木集積率との関係を式(2)にて示したが、変数Xは流木本数の次元が残っており、無次元化できていない。このため、Braudrick(1997)⁴⁾らの考えを参考に、橋梁に到達した流木流量を河川流量で除した無次元数（以後、 Q_w とする）を流木本数の代わりに導入することを考えた。橋梁に到達した流木流量は、橋梁の真上から撮影した映像から単位時間あたりに橋梁に到達した流木量を判断し、河川流量は水路の幅、水深、流速から算出した。以上より、変数X（式(1)）のうち流木本数Nを Q_w で置き換えた変数を新たに導入し、これを変数X1とした。

$$X1 = \frac{Q_w \cdot L \cdot H}{Fr} \quad \dots(3)$$

各実験ケースにおいて変数X1と流木集積率との関係を整理したグラフを図3に示す。このグラフより変数X1と流木集積率には相関があることが明らかにされた。また、変数X1と流木集積率の対数近似による回帰式は以下の通りである。

$$Y = 27.885 \ln X1 + 63.834 \quad \dots(4)$$

変数X1も変数Xと同様に、集積率が1本の線形で表されるものではないと考えられる。

流木集積率の回帰式として変数X1を用いた整理を行ったが、この式を用いて橋梁に集積する流木の割合を推定する場合、単位時間あたりに橋梁に到達する流木量の推定が困難であることが考えられる。これに対し、はじめに検討した変数Xを用いた回帰

【参考文献】

- 1) 水山高久・石川芳治・矢島重美(1988)：透過型砂防ダムにおける流木捕捉効果，土木技術資料 30 巻 11 号
- 2) 長谷川祐治・中谷加奈・竹林洋史・里深好文・藤田正治(2015)：流木の流下と橋梁への集積に関する実験，京都大学防災研究所年報，第 58 号 B, p.350-p.357
- 3) 坂野章(2003)：橋梁への流木集積と水位せき上げに関する水理的考察，国土技術政策総合研究所資料 78 号, p.15-64
- 4) CHRISTIAN A. BRAUDRICK, GORDONE E. GRANT, TOSHIHARU ISHIKAWA, HIROSHI IKEDA(1997), DYNAMICS OF WOOD TRANSPORT IN STREAMS: A FLUME EXPERIMENT, EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS, VOL 22, 669-68

式では、例えば崩壊面積と立木密度から発生本数の推定を行うことができ、比較的容易に集積率を推定することが可能と考えられる。無次元化された変数を用いることが望ましいのは確かだが、簡単に橋梁での流木集積率を推定するためには、変数Xを用いた回帰式を使用することも考えられる。

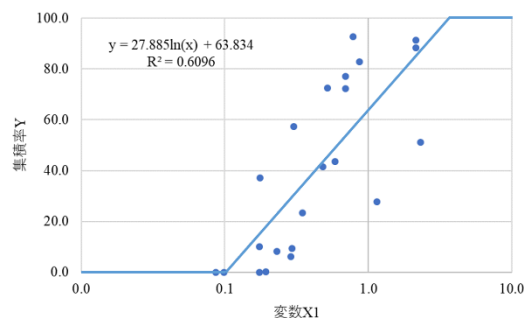


図3 変数X1と集積率の関係

変数Xおよび変数X1に関する整理を行ったが、流木本数や流木長径間長比などの要因が必ずしも集積率に対して1乗で比例しているとは限らない。さらに実験を重ねると図2や図3のデータのばらつきは大きくなる可能性がある。したがって各要因と集積率の関係についてさらなる実験を行い、変数X等の精度を向上させる必要がある。

4. 結論

本研究では橋梁に流木が集積する現象について流木が集団的に流下してくる状況を想定し、水路実験の実施により橋梁、流木、水理諸元が及ぼす関係について明らかにした。今回は直線水路を用いたため、投入した流木の塊としての形が比較的維持されたまま橋梁に到達していたが、実際の河川では狭窄部や湾曲等の影響によって流木が拡散しながら流下することが考えられる。

したがって、今後はまばらに流下してきた流木に対し、橋梁への集積率を検討する必要がある。また、今回の集積率の回帰式は時系列的变化を含んでいないが、実際には橋梁への流木の集積の程度によって時系列的に集積率が変化することが考えられるため今後は時系列を踏まえた検討が必要と考えられる。さらに、橋梁への流木集積による洪水氾濫を推定するためには、集積した流木が河道を阻害する断面積を求める必要がある。そのため、橋梁への流木集積形状等を含めた検討も引き続き行う必要がある。