

## 流木濃度の違いによる橋梁閉塞率とせき上げ水深の時間変化に関する検討

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

### 1. 背景

近年、気候変動による降雨量の増加等を背景に、流木が橋梁等の河川構造物に集積し、洪水氾濫を助長する現象が散見される。このような現象に対する流木対策の必要性から、「土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の基本的な考え方（試行版）」が令和5年8月に施行された。流木集積により助長される土砂・洪水氾濫の被害予測のためには、流木の流下及び橋梁等への集積現象を氾濫モデルに導入する必要がある、既往研究として原田ら(2022)の手法などが挙げられる。

本研究はそのような解析を行う前の基礎的な実験として、土砂・洪水氾濫の発生が予想される中流～下流域を対象に、流木流下濃度と橋梁への流木集積が発生する確率について実験的に検討した。また、橋梁へ集積した流木群の形状（以下「集積形状」という。）が水深に及ぼす影響に関して数値解析により検討した。

### 2. 実験

京都大学宇治川オープンラボラトリーの循環式実験水路を用いて実験を実施した。実験縮尺は1/100とした。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(0.02)を調整した。また、水路勾配は約1/300とした。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の位置からベルトコンベアを用いて一定間隔で流木を投入した（図1）。流木模型は長さ15cm、直径3mmの丸棒を用いた。また、流木比重に関しては、スギの生木程度を想定し、0.9程度のものを用いた。

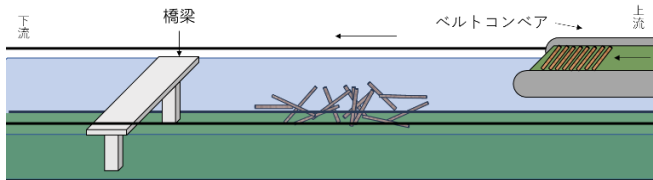


図1 実験概要

実験ケースは径間長と水深の組み合わせから3通り考慮し、単位時間当たりの流木投入本数と投入流木の総本数を変えて実験を実施した（表1）。また、同じ実験条件で少なくとも3回実験を実施した。

結果については、橋梁上流約1m地点を通過する単位時間当たりの流木本数・通過時間の平均と橋梁への集積の発生確率について整理した。

表1 実験ケース

| case番号 | 流木長(cm) | 径間長(cm) | 橋梁地点水深(cm) | 単位時間当たりの流木投入本数(本/秒) | 流木総本数 |
|--------|---------|---------|------------|---------------------|-------|
| 1      | 15      | 15      | 5          | 20                  | 100   |
| 2      | 15      | 20      | 5          | ~                   | ~     |
| 3      | 15      | 20      | 10         | 100                 | 300   |

### 3. 集積の発生確率に関する結果と考察

単位時間当たりの流木本数・通過時間と集積の発生確率に関して図2に整理した。なお、橋梁に流木が1

本でも集積した場合を「集積」と定義している。結果より、単位時間当たりの流木本数の増加、または通過時間の増加に伴い、集積の発生確率が増加する傾向が確認された。また、図2のcase1とcase2の比較およびcase2とcase3の比較により、径間長や流量の減少に伴い、集積の発生確率が増加する傾向が確認された。

数値解析においては、これらの関係を考慮することで、より詳細な解析を行うことが出来ると考えられる。しかし、本実験においては同じ条件下での実験回数が3回であったため、より多くの実験回数を行い、集積の発生確率に関して詳細に検討する必要がある。

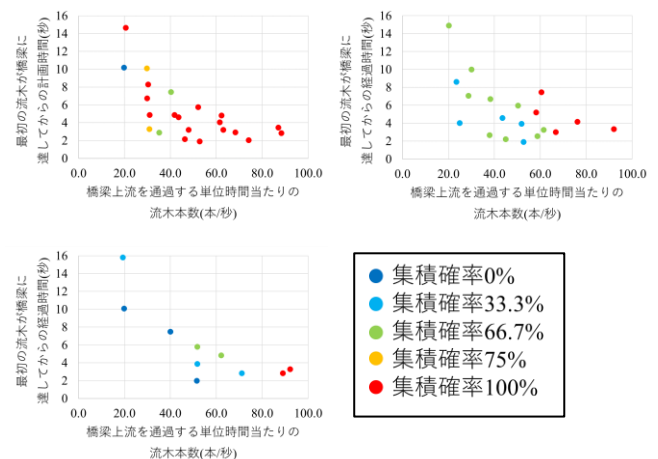


図2 単位時間当たりの流木本数・通過時間と集積の発生確率の関係（左上：case1、右上：case2、左下：case3）

### 4. 流木集積形状に関する結果と考察

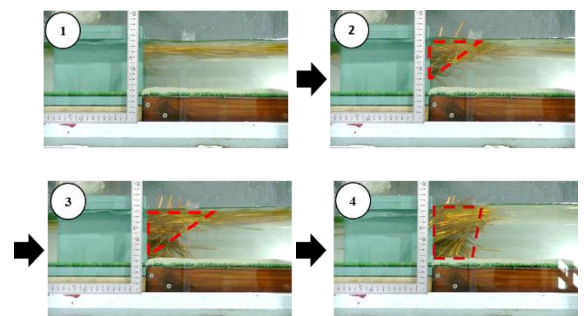


図3 橋梁への流木集積過程（case3、単位時間当たりの通過本数92.2本/秒、通過時間3.3秒）

足立ら(1952)や岡本ら(2018)の実験によると、橋梁での流木集積形状は、水路側方から観察した際、三角形または台形状に集積することが示唆されている。本実験においても、同様の集積形状を呈することを確認した（図3）。

ここで、数値計算において流木集積を河道断面の阻害として表現する場合、流木集積による河道阻害断面積を適切に評価することにより、せき上げ水深の計算精度が向上すると考えられる。このため、集積形状を考慮する場合（三角柱状に集積する、実験より確認）と考

慮しない場合（流木が縦に1層に集積）の2通りを想定（図4）し、それぞれの場合における河道阻害断面を表現した数値計算を行い、数値計算において流木集積形状を考慮する必要性に関して検討した。

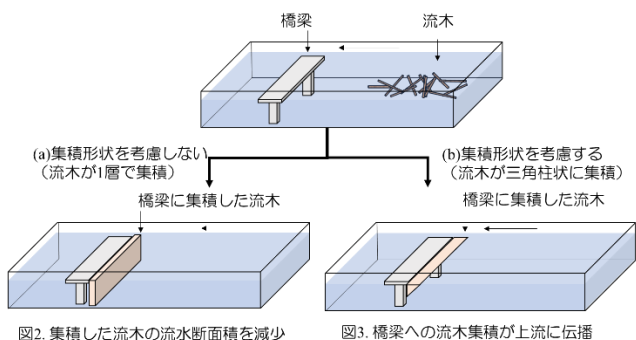


図4 流木の集積形状の考慮

数値計算における基礎方程式は原田ら(2022)の手法を参照した。離散化手法は近似リーマン解法(HLLC法)に基づく有限体積法を用いた。

橋梁地点に流入する流木量を $V$ とし、全量が橋梁に集積するとした。流木が三角柱状に集積する場合（図4(b)）、その底面を直角二等辺三角形と仮定すると、その1辺の長さは $\sqrt{2V/B}$ であることを踏まえ、阻害断面積 $S$ を式(1)に示した。また、縦に1層で集積する場合（図4(a)）の阻害断面積 $S$ を式(1)に示した。三角柱状の集積形状を仮定する場合、底面は直角二等辺三角形とした。また、ここでは流木が集積する際の空隙率は考慮していない。なお、 $B$ ：水路幅、 $D$ ：流木直径である。

$$S = \begin{cases} \sqrt{2BV} & (\text{三角柱状で集積}) \\ V/D & (1 \text{ 層で集積}) \end{cases} \quad (1)$$

流木集積による河道断面の阻害に関しては、川幅の減少として簡易に表現した。河道阻害を考慮した断面形状として図5のように逆凸型の断面形状を想定した。橋梁地点では、河道阻害断面積 $S$ から擬似的なスリット幅 $b$ を算出し、逆凸型断面の平均川幅 $B_{eff}$ を適用している。 $H$ ：桁下高さ、 $h$ ：橋梁地点水深である。

$$b = \begin{cases} B - S/H & (B > S/H) \\ 0.01B & (B \leq S/H) \end{cases} \quad (3)$$

$$B_{eff} = \{(h - H)B + Hb\}/h \quad (4)$$

ここで、流木集積が河床に到達（橋梁地点の桁下断面を全面閉塞）しても、桁下河道の阻害割合は100%とはならず、集積流木の空隙を通過する流れが存在すると考えられる。また、後続の流木の集積によって、空隙を通過する流れは減少すると考えられる。しかし、この計算では集積流木の空隙を通過する流れは考慮していない。また、流木集積が河床に到達した場合、スリット幅を便宜的に川幅の1%とし、以降の流木集積はスリット幅に影響しないこととした。

流木の集積形状を確認した実験（図3）と同じ条件を計算条件とし、数値計算を実施した。流木濃度は0.00364を供給した。なお、原田ら(2022)と同様、単位体積の流れに占める流木の体積を「流木濃度」と定義して

いる。三角柱状の集積形状を考慮しないケースは実験結果と比較し、時間経過に伴う急激な水深の上昇が見られた。一方、集積形状を考慮したケースでは、実験結果と同様に時間経過に伴い比較的緩やかな水深の上昇が見られた。計算結果より、集積形状を考慮しないケースでは考慮するケースと比較し、洪水流の氾濫流量が過大評価される可能性がある。

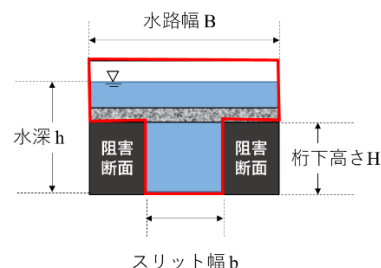


図5 河道阻害の表現方法

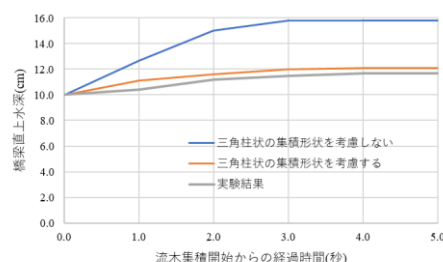


図6 橋梁直上水深の時間変化

## 5. 結論

本研究により、以下が明らかにされた。

- ・ 単位時間当たりの流木本数または通過時間の増加に伴い集積の発生確率が増加する傾向にあること
- ・ 径間長や流量の減少に伴い集積の発生確率が増加する傾向にあること
- ・ 数値解析において、橋梁への流木集積形状を考慮することでせき上げ水深を適切に評価出来る可能性があること

なお今後の課題として、橋梁を通過する流木を考慮した河道阻害断面を検討する必要があることや、不定流や不等流を想定した場合の橋梁への流木集積過程の変化などについて検討する必要がある。さらに、本研究で検討したような確率的な検討内容を、数値計算に反映させる手法に関して考える必要がある。

また、実験に関しては京都大学の伊東直哉氏、有本心氏のご協力をいただきました。心から感謝いたします。

## 引用文献

- 原田ら(2022)：多量の土砂・流木を含む洪水流の解析法，河川技術論文集，第28巻，p.289-p.294
- 足立ら(1952)：流木に関する実験的検討，京都大学防災研究所年報，第1巻，p.41-p.49
- 岡本ら(2021)：橋梁部での流木沈下過程と全面閉塞の限界条件に関する実験的検討，自然災害科学 J.SNDS 39-4, p.423-p.437