

## 掃流区間における流木の挙動に関する水理模型実験の事例

株式会社建設技術研究所 ○村上正人, 大坪隆三, 古山剛, 高橋佑弥, 川崎巧, 戸舘光, 日名純也, 小林優太, 西尾潤太, 山下伸太郎

### 1. はじめに

近年, 福井県鹿蒜川(令和4年8月大雨), 山形県荒瀬川(令和6年7月豪雨災害), 石川県塚田川(令和6年9月能登半島豪雨災害)において, 土砂・洪水氾濫の発生に伴い大量の土砂および流木が発生・流下し, 被害を拡大させる事例が確認されている。

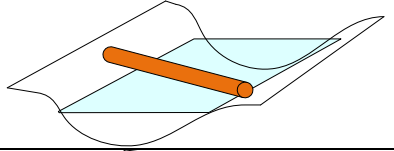
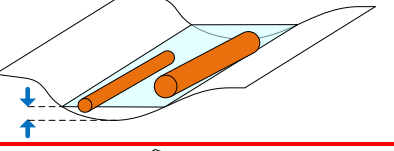
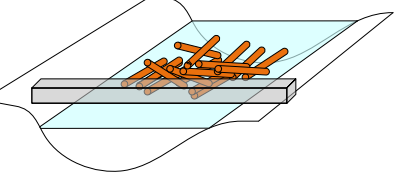
土石流区間における流木流出を対象とした計算モデルとしては, 山崎ら2018<sup>1)</sup>などが提案されている。一方, 掃流区間における流木流出を推定する手法は, 汎用ソフト(iRIC)を含め, 個別要素法による解析に限られている。このため, 計算区間が局所的となることや計算負荷が大きいことから, 流域全体を対象とした流木閉塞リスクの評価が困難であるという課題がある。

本研究では, R6年度に引き続き, 掃流区間における流木の挙動を把握することを目的として水理模型実験を実施したため, その検討結果を報告する。

### 2. 本研究の着眼点

流木による河道または橋梁等の閉塞の条件は表1の内容が想定される。このうち, 「③流木群となって流下する場合」に関する研究事例は少ない。そこで, 本研究では流木の流下過程や流下中の集積に着眼し, 水理模型実験により流木濃度の上昇や流木群が形成される条件を検討した。

表1 想定される流木による閉塞条件と閉塞イメージ

閉塞条件	閉塞イメージ
①川幅<流木長の場合, 溪岸に流木が引っ掛かる	
②水深<流木径の場合, 溪床に流木が堆積する	
③流木群となって流下する場合, 橋梁等の閉塞が生じる	

### 3. 実験条件

#### 3. 1. 実験水路

使用する実験水路は長さ20m, 幅0.2m, 水路勾配 $I=1/100$ の矩形水路とした。また, 本研究では常流状態での実験を実施するため, 水路底面に粗度付け( $n=0.017\sim0.023$ 程度)を行った。

#### 3. 2. 流木供給条件

実験で使用する流木模型は長さ100mm, 直径3mmの丸棒とし, 供給総量の半分を黄色, もう半分を赤色に着色した。流木の供給方法は, 供給総量を10分割した量を1秒おきかつ流木の色が交互になるよう, 計10秒間で供給した。

#### 3. 3. 実験ケース

実験は, R6年度およびR7年度の2か年にわたり実施した。R7年度の実験では流量を一定とし, 流木量の変化および水路幅の一部を狭窄( $b/B=0.5\sim1$ ;  $b$ : 狭窄部幅,  $B$ : 水路幅)することで流木速度を低下させた条件について, 計22ケースの実験を実施した。これらに加え, R6年度に実施した流木量および流量を変化させた14ケースの実験結果とあわせて, 実験結果の整理・取りまとめを行った。

表2 実験ケース

R6年度	流量	3~8	( $l/s$ )
	供給流木量	750~3000	(本)
	流木供給濃度	0.876~5.563	(%)
	実験ケース	14	ケース
R7年度	流量	4	( $l/s$ )
	狭窄部の幅	10~14	(cm)
	川幅急縮率( $b/B$ )	0.5~1	
	供給流木量	500~3000	(本)
	流木供給濃度	0.876~5.035	(%)
実験ケース	22	ケース	

#### 3. 4. 計測方法

R6年度と同様に, 先頭の流木が水路下流端に到達した時点から11秒間の流木量を1秒おきに計測し, 水路下流端における流木濃度(平均到達濃度, 最大到達濃度)を計測した。また, 実験結果の流木量は水路上方からの撮影動画を用いて目視にて計測した。

### 4. 実験結果

#### 4. 1. 流木の挙動と流木占有率

図1に示すように, 流木量が少ない場合には, 流木は主として流速の大きい中央部の水面付近を流下する。このとき, 流木同士の相互作用が小さいため, ほぼすべての流木が流れの速い領域を流下する。一方, 流木量が多い場合には, 中央部の水面付近において流木同士の相互作用が顕著となり, 一部の流木は水面表層よりも下層に分布する。また, 壁面近傍にも流木が分布し, 壁面抵抗の影響を受けることで, 流木の流下速度は低下する。

ここで, 水路の表面積に対する流木の占有表面積の割合を流木占有率と定義する。図2に示すように流木占有率が50%以下の場合には, 供給された流木の約95%が表層付近を流下する。しかし, 流木占有率が概

ね50%以上となると、表層を流下する流木の割合は約90%に低下し、表層付近における流木輸送能力が限界に達していると考えられる。この結果、余剰の流木が下層へ分散したものと推察される。

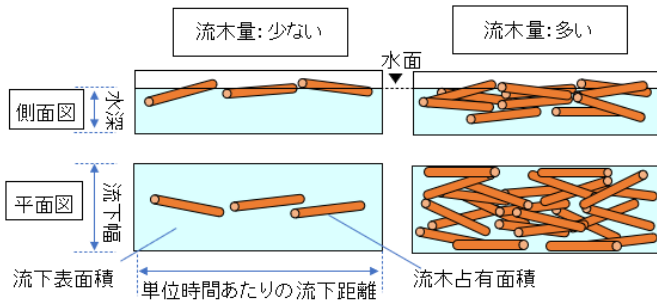


図1 流木の流下イメージ

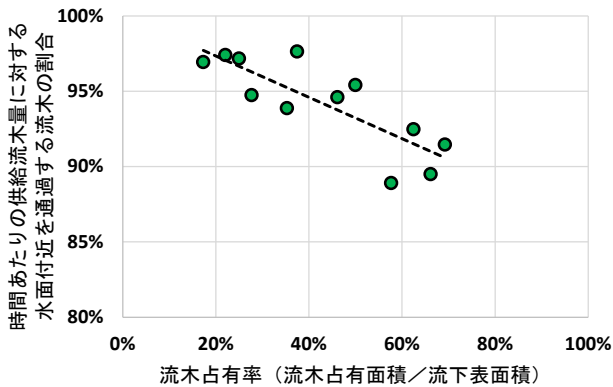


図2 水面付近の流木の割合と流木占有率の関係

4. 2. 流木の最大到達濃度

平均流木供給濃度と最大流木到達濃度は比例相関があるが、平均供給濃度の2.5~3%程度を境界として、それ以上になると最大流木到達濃度は5%程度で頭打ちとなる。大量の流木供給が生じて、流下する濃度には上限があることがわかる。

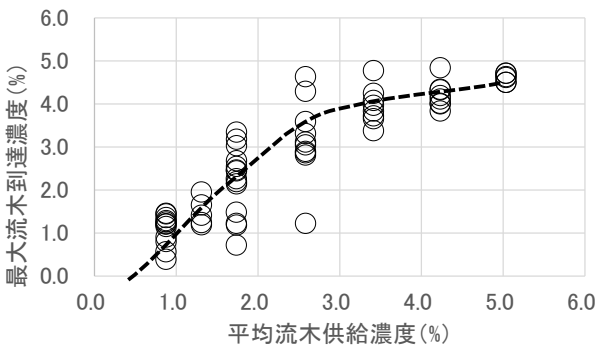


図3 流木の平均供給濃度と最大到達濃度の関係

4. 3. 表面流速と流木速度の比と流木濃度の関係

投入点から流木計測地点までの表面流速と流木速度の比を流木速度比と定義する。図3に示す流木速度比と流木供給濃度との関係を見ると、ばらつきは大きいものの最大で流木速度は表面流速の82~83%まで低下する。また、流木供給濃度が3%を超えると流木濃度が大きいほど流木速度は低下傾向となる。なお、流木速度が表面流速の85%程度まで減速すると、閉塞する危険性が高いことがわかる。

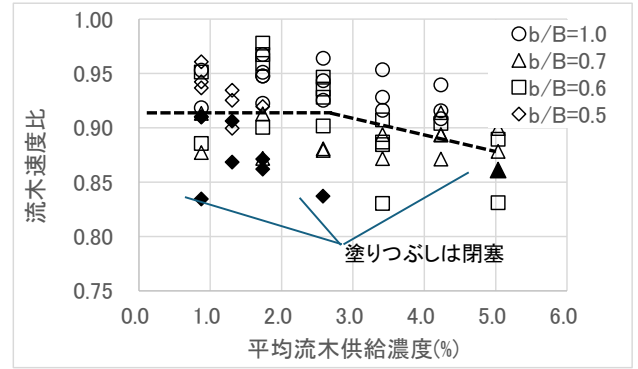


図4 流木速度比と平均流木供給濃度の関係

4. 4. 狭窄部の流木の閉塞現象に関する考察

流木長と同程度の幅を有する狭窄部(川幅急縮率0.5)のケースでは、流木濃度が小さい場合、流木は流下過程で流向方向へ回転・配向するため、閉塞は発生しない。一方、流木濃度が大きい場合には、流木同士の干渉により回転が抑制され、横向き姿勢のまま流下する。この結果、流木供給濃度が1%以下であっても、狭窄部において閉塞が発生する。

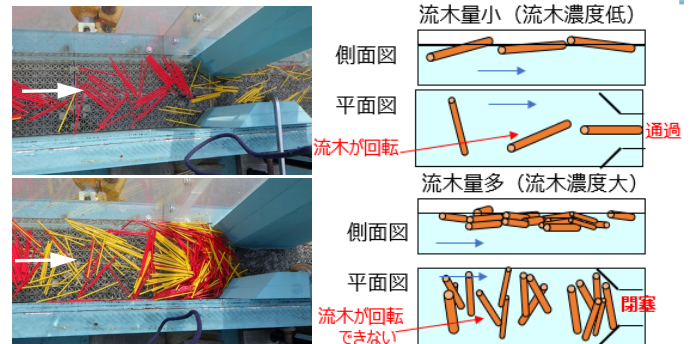


図5 狭窄部がある場合の流木閉塞現象

5. まとめ

- 水理模型実験の結果、以下の4点が確認された。
- ①流木占有率 50~60%を超えると2層以上になり、流木到達濃度が増加する。
  - ②最大流木到達濃度は5%程度で頭打ちとなる。
  - ③流木供給濃度が高いほど、流木速度が低下する。また、流木速度が表面流速の85%程度まで減速すると閉塞する危険性が高くなる。
  - ④川幅 = 流木長の条件では、流木濃度が高くなると回転できず横向きのまま流下するため、流木到達濃度1%以下でも閉塞する。

今後は、条件を変化させた追加実験を実施し、本実験で得られた流木閉塞条件に関する知見の精度向上を図るとともに、掃流区間における長区間の流木閉塞リスクを推定可能とする計算ツールの開発に反映する。

【謝辞】本研究にあたっては、実験方法や実験結果の分析方法等について、立命館大学 里深教授、筑波大学 内田教授より貴重な御意見を頂きました。ここに謝意を表します。

【参考文献】1)山崎祐介・江頭進治 (2018) : 豪雨に伴う土砂・流木の生産と流下過程に関する研究, 河川技術論文集, 第24巻, p.71-76