

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 ○川崎巧, 村上正人, 大坪隆三, 古山剛, 高橋佑弥,
潮見礼也, 日名純也, 小林優太, 西尾潤太

1. はじめに

近年発生した福井県鹿藓川（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）における災害では、土砂・洪水氾濫発生時に大量の土砂とともに大量の流木が発生・流下し、被害を拡大させている。

土石流区間における流木流出を推定する計算モデルは山崎ら、2018¹⁾などがある。一方、掃流区間における流木流出を推定する計算モデルは汎用ソフト

（iRIC）を含め個別要素法による計算のみであり、計算区間が限定されること、及び計算時間を要し、流域全体の流木閉塞リスクの推定が困難であることが課題である。

本研究では、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た水理模型実験を実施したため、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、流木群が形成される条件を表2のように仮定し、水理模型実験により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	

表2 流木群が形成される条件（仮定）

条件	内容
条件1	流木量が多くなると、木と木、木と溪岸、木と溪床の抵抗が増加し、流木が水より遅く流下する。
条件2	流木が水よりも遅く流下する場合、長時間流木供給があると流下中に流木群になる。

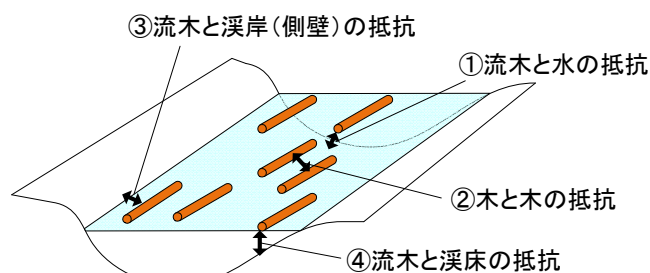
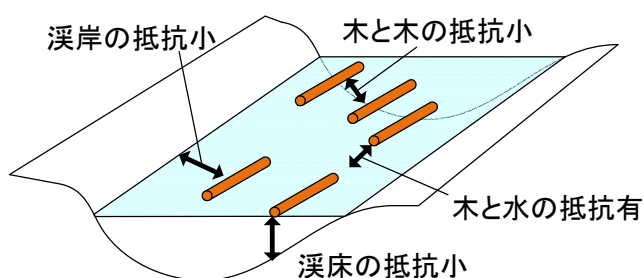


図1 流木が流下する際の抵抗力

流木群が形成されない条件



流木群が形成される条件（仮定）

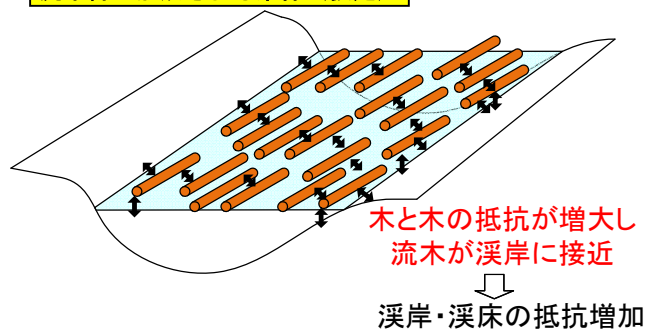


図2 流木群の形成される条件のイメージ

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

実験は流木量と流量を変えた14ケースを実施した（表3）。また、1ケースあたり3回以上実施し結果をとりまとめた。

表3 実験ケース

CASE	流量 L/s	供給 流木量 本	平均流木 供給濃度 %
CASE1'	8	3000	2.582
CASE2	8	1600	1.394
CASE3	8	1000	0.876
CASE7	6	3000	3.414
CASE8	6	2500	2.861
CASE9	6	2000	2.302
CASE4	6	1200	1.394
CASE5	6	750	0.876

CASE	流量 L/s	供給 流木量 本	平均流木 供給濃度 %
CASE13	4	2500	4.231
CASE10	4	2000	3.414
CASE11	4	1500	2.582
CASE12	4	1000	1.736
CASE15	3	2500	5.563
CASE14	3	2000	4.500

3. 4. 計測方法

予備実験により、先頭の流木が水路下流端に到達した時点から11秒間までにほとんどの流木が水路下流端に到達することがわかった。

予備実験結果を踏まえ、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

実験の流況から、流木濃度の大小によって、流木の挙動が異なることがわかった。

表4 流木濃度と流木の挙動

アングル 流木濃度	側面	上方
小	流木は水面付近を流下する	流木は平面的に疎らに分布する
大	流木は水面付近と下層を流下する	流木は平面的に密に分布する

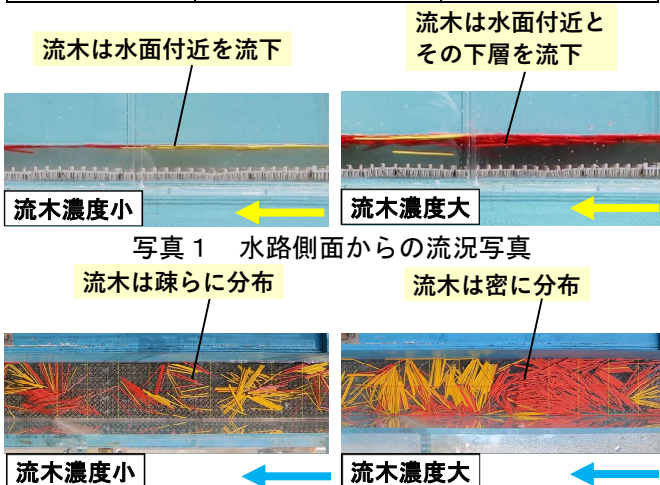


写真1 水路側面からの流況写真

流木は疎らに分布

流木は密に分布

4. 2. 流木の最大到達濃度

実験の結果、流木の平均供給濃度や平均到達濃度と最大到達濃度には正の相関があることがわかった（図3）。ただし、平均供給濃度や平均到達濃度が3%以上となると最大到達濃度は頭打ちとなった。

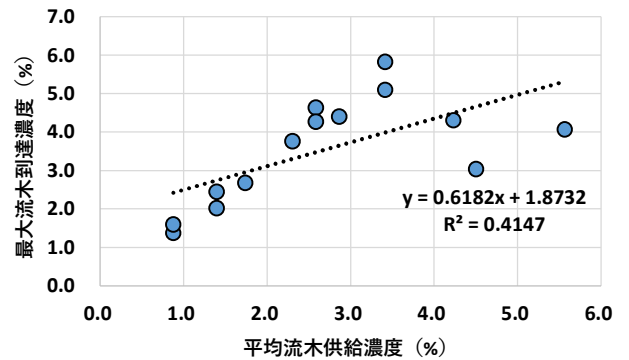


図3 流木の平均供給濃度と最大到達濃度の関係

4. 3. 流木占有率

水路の表面積に対する流木が占有する表面積の割合を流木占有率としたとき、流木占有率と水面付近を流下する流木の割合には負の相関があることがわかった。流木占有率が50%以下では供給量のうち95%の流木は水面付近を流下する。一方、流木占有率が60%程度以上になると、水面を流れる流木は90%程度となる。これは水面付近での流木の輸送能力が限界に達したことで、流木が下層に分散したものと考えられる。

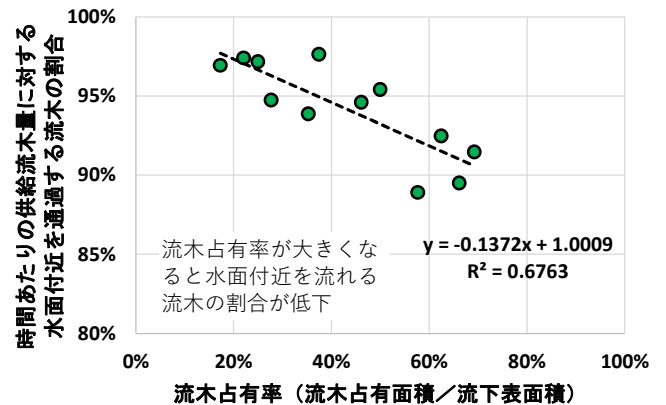


図5 水表面付近の流木の割合と流木占有率の関係

5. まとめ

水理模型実験の結果、溪床抵抗、川幅変化の影響が無視できる場合において、「流木濃度3%程度以上」または「流木占有率60%程度以上」であるとき、流木速度が低下することがわかった。

今後は流木濃度の変化に伴う流木速度の低下に加え、川幅を変化させた実験を実施し、川幅変化率による流木速度の低下を明らかにする予定である。また、実験で得られた知見を踏まえ、掃流区間での長区間の流木閉塞リスクが推定可能な計算ツールを開発する予定である。

【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