流木の形状と比重が山地河川における橋の閉塞に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科　○東谷卓哉・中谷加奈・小杉賢一朗
広島大学大学院先進理工系科学研究科　長谷川祐治
立命館大学理工学部　里深好文

１．はじめに

近年、土砂災害時に発生した流木により、下流の橋が閉塞して河床・水位が上昇することで、被害が拡大する事例が報告される [1]。流木の流出により全ての橋が閉塞するわけではない。既往研究 [2]では、山地河川に設置される橋脚のない橋を対象に、流木の流下濃度に着目して実験から流木による閉塞の発生条件を検討している。流木の既往研究の多くは、幹のみの丸太形状を対象として、針葉樹等を想定した 1 より小さな比重を採用している。一方で実際の災害は、丸太状だけでなく根付きの流木形状や、比重が 1 よりも大きな流木が発生する事例も報告 [3),4)]されている。本研究は、形状や比重の異なる流木に着目して、流木の流出が橋の閉塞に及ぼす影響を検討することを目的とした。

２．実験方法

実験は、既往検討 [2)]と同様に、水路長 400cm、幅 20cm、勾配 2°の直線水路を用いた（図-1）。橋模型は、橋の上流側を下流から 50cm 位置になるよう配置した。上流端から定常的に水を供給して、上流端より 30cm 下流の位置から流木を一度にまとめて投入した。投入時のばらつきを考慮するため、同一条件での実験を 10 回繰り返した。水理条件は流量 3.37l/s、水深 14mm、平均流速 1.2m/s である。橋脚のないワンスパンの橋模型（縦断幅 8cm、幅 2cm）を作成し、水面から橋桁下面までの高さ（余裕高）を 2mm、5mm、8mm に変化させた。

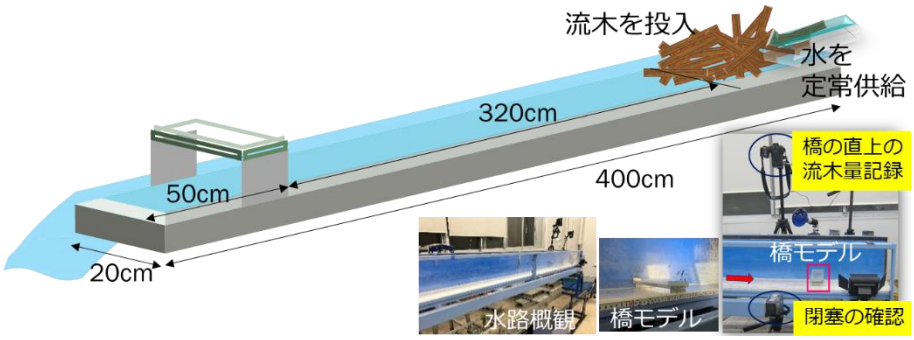

図-1 実験の概要（水路概観、撮影状況）

実験は 2 台の高速ビデオカメラ（300f.p.s.）を用いて撮影した。カメラは、水路上空から橋とその上流 50cm までが映る位置と、橋模型を真横から撮影できる位置に設置した。水路上空のカメラからは流木が橋に到達する流れの状況を把握して、橋上流での流木流量を求めた。側面からのカメラは水位上昇による閉塞状況を記録した。本研究での閉塞は、橋の上流側の水位が上昇している場合と定義した。

実験の流木の条件を表-1 に示す。幹のみの丸太形状と根付きの 2 種類を用いた（写真-1）。根付形状は 3D プリンタにより ABS 材で作成し、比重 0.8 は中心部に空洞を設けて調整した。丸太形状は、比重 0.8 は木製の棒を、比重 1.2 ではアクリル製の棒を用いた。予備実験から市販のアクリル棒をそのまま用いると、比重 0.8 の丸太では閉塞確率が 0.9 に相当する流木濃度を供給しても全く閉塞しなかった。実験観察から、一時的に複数本が重なり合ってもアクリル棒の表面が滑らかなためにすぐにバラバラになり、ジャム状の閉塞が継続して起こらないことが要因と推測される。そこで、アクリル棒の表面に粒径 0.5mm の珪砂 5 号を 1 本あたり 0.1~0.2g 貼り付けて凹凸を付ける処理を行った。この処理を行うことで、複数本の流木が重なりあった際に閉塞が継続して発生することを確認した。以降の実験では、表面に凹凸をつけたアクリル棒を比重 1.2 の丸太状模型として用いた。

表-1 流木の条件

形状	根付	丸太
長さ(mm)	50/70	
径 (mm)	5	
比重	0.8/1.2	
投入本数	3～110	20～370

写真-1 流木模型

実験後に上空からの映像を解析して、橋の直上流での流木流量を求めた。水の供給

流量と合わせて流木濃度を算出して、実験の閉塞・非閉塞の結果と合わせてロジスティック回帰分析を行い、閉塞確率を算出した。

3. 結果と考察

図-2 に余裕高 8mm の根付形状で、流木長 7cm と 5cm、比重 0.8 と 1.2 の実験結果を示す。閉塞が起こり始める最小の流木濃度は、流木長 7cm では比重による違いは殆どない。一方、流木長 5cm では比重が小さい流木の方が、より小さな流木濃度の 0.026 で閉塞が発生し始める。流木長が大きい場合は、流木の比重に関わらず水面から飛び出た状態で流下するため、橋桁に衝突し始める流木濃度に差が生じない。そのため、閉塞を起こし始める流木濃度は比重による差が生まれないと考えられる。

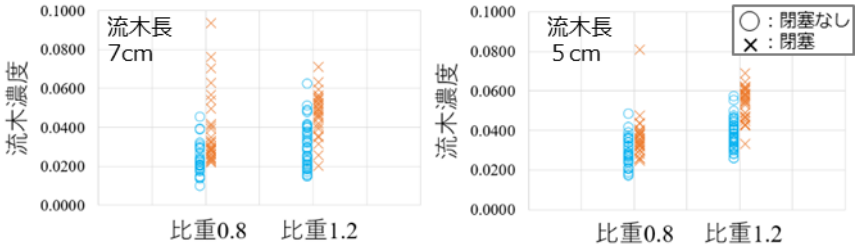

図-2 実験結果（根付形状、余裕高 8mm）

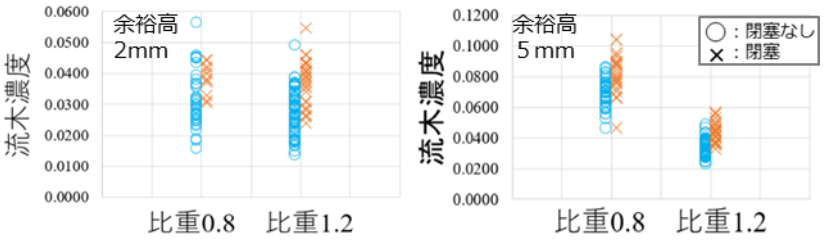

図-3 実験結果（丸太形状、流木長 5cm）

図-3 には丸太形状で流木長 5cm の条件で、余裕高が 2mm と 5mm について流木の比重 0.8 と 1.2 の実験結果を示す。根付形状とは異なり、比重 1.2 の方がどちらの余裕高でも閉塞が始まる最小の流木濃度が小さい。また、比重が小さな丸太形状は、比重が大きな丸太と比べた場合に同じ本数の流木が流下しても流下にかかる時間が短いという結果が得られた。これは、比重の大きな丸太形状では水中に沈んで一部は河床と接触しながら流下するため、比重が 1 より小さく水面に浮いて流れる流木と比べて流下速度が遅くなるからである。流下速度が遅いと橋付近での各流木の滞留時間が比重の小さなものより長くなるため、小さな濃度でも閉塞が起こり始めると考えられる。

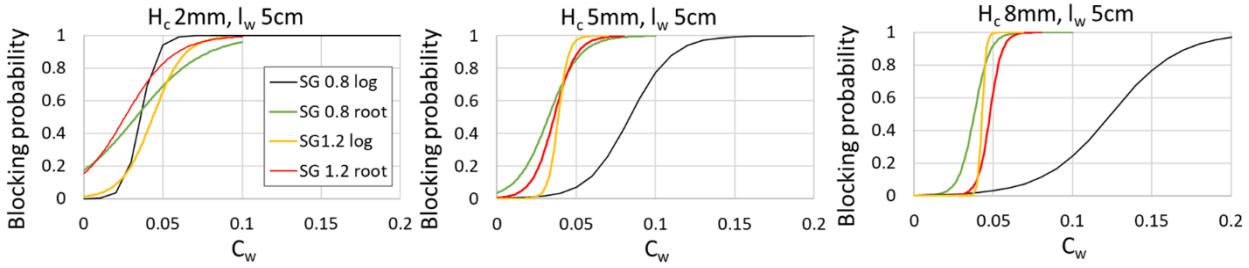

図-4 ロジスティック解析で得られた閉塞確率（C_w:流木濃度、SG:比重、log:丸太形状、root:根付形状、H_c:余裕高、l_w:流木長）

図-4 は各ケースの流木長 5cm の結果を、ロジスティック回帰分析を用いて解析した結果である。比重 1.2 では根付も丸太も余裕高が大きくなると、非閉塞から閉塞の遷移幅が狭く傾きが急になる。比重 0.8 根付も同様だが、比重 0.8 丸太では逆に余裕高が大きくなると傾きが小さくなる。この傾向は他のケースとも比較して考察を進めていく。

今後は橋脚有りの橋での閉塞条件について、流木の形状や比重に着目して検討を進める。また、直線の幹形状だけでなく曲がった幹形状の影響や、異なる形状を混合した条件について検討を進める。

参考文献　1)石川芳治ら，砂防学会誌，66(5), 61-72, 2014, 2)中谷加奈ら，土木学会論文集 B1（水工学）74(5), I_1081-1086, 2018, 3)久保田哲也，水利科学，62(6), 10-22, 2019, 4)小松利光監修，山本晃一編集：流木と災害 発生から処理まで，技報堂出版株式会社，203-225，2009