

流木の形状や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 ○中谷加奈 東谷卓也 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

土砂災害が発生する降雨イベントでは、山地河川から土砂だけでなく流木が流出して、流木の集積による橋の閉塞や、水位上昇による氾濫被害の拡大が発生する。流木流出により全ての橋が閉塞するとは限らず、橋、流木、水理条件等の違いによる閉塞の発生条件を明らかにすることが、求められる。山地河川では橋脚の無いワンスパン橋梁が多く存在する¹⁾が、橋脚を有する橋の形状もある²⁾。流木に関する既往検討は針葉樹を想定した1よりも小さな比重や、枝や根の無い丸太の幹形状を対象としたものが多い。しかし、実災害では(例えば2017年九州北部豪雨の朝倉など)広葉樹などの比較的比重の大きなものや、根が付いた流木の流出も報告されている³⁾。

筆者らはワンスパン橋梁を対象とした実験を実施して^{1),4)}、流木長は長い方が、直線よりも根付の方が、橋の余裕高は小さい方が、同じ流木の流量や濃度でも閉塞しやすいことを示し、ロジスティック回帰分析を用いて閉塞確率の推定方法を提案してきた。一方、ワンスパン橋梁では流木の比重の差による明瞭な差を示すには至らなかった。

本研究では橋脚2本の橋を対象として、根付形状の水面を浮いて流れる1より小さい比重と水中を流れる1より大きな比重の流木が、閉塞に及ぼす影響を水理実験から検討して、防災上有用な知見を得ることを目的とした。

2. 実験方法

既往研究^{1),2)}を参考に、実験は長さ400cm、流路

幅20cmの直線矩形断面水路を使用した(図1)。勾配は2°、水理条件は流量2.6 l/s、水深14 mm、平均流速0.9 m/sのフルード数2.51の射流条件である。上流端から定常的に水を供給して、上流端より30 cm下流の位置から流木模型をまとめて約1秒間で投入した。投入本数やその他の実験条件を表1左に示す。同一条件では10回の実施を基本とした。流木模型は直線の幹に根が付いた形状として、ABS樹脂により3Dプリンターで作成し、長さ L_w は5 cmと7 cmとした。比重SGは0.8と1.2で、0.8は幹の中心部を空洞にして調整した。

橋模型は、橋脚2本(0.7 cm幅)、横幅20 cm縦幅8 cm、厚さ2 cmとして、水路下流端から50 cm上流の位置に設置した。水路側面と橋脚、並びに2本の橋脚間には6.2 cmになるように設置した。水面から橋桁下面までの余裕高 H_c は20 mm、40 mmの2種類とした。

実験は2台のカメラを用い、上空から橋とその上流50 cmの区間をf.p.s.300で撮影した。橋の側面から閉塞状況を記録した。閉塞は、橋の上流側で水位が上昇している場合と定義した。投入量が同じでも、

表1 実験条件(左)と閉塞する最小の濃度 C_{w_min} (右)

橋	流木			実験結果 C_{w_min}	
	余裕高 H_c (mm)	長さ L_w (cm)	比重 SG		
20	5	7	0.8	45~80(5本毎)	0.045
			1.2	5~60(5本毎)	0.045
	7	5	0.8	70~150	0.032
			1.2	20~90	0.030
40	5	7	0.8	50~120	0.053
			1.2	20~80	0.047
	7	5	0.8	100~210	0.067
			1.2	40~110	0.028

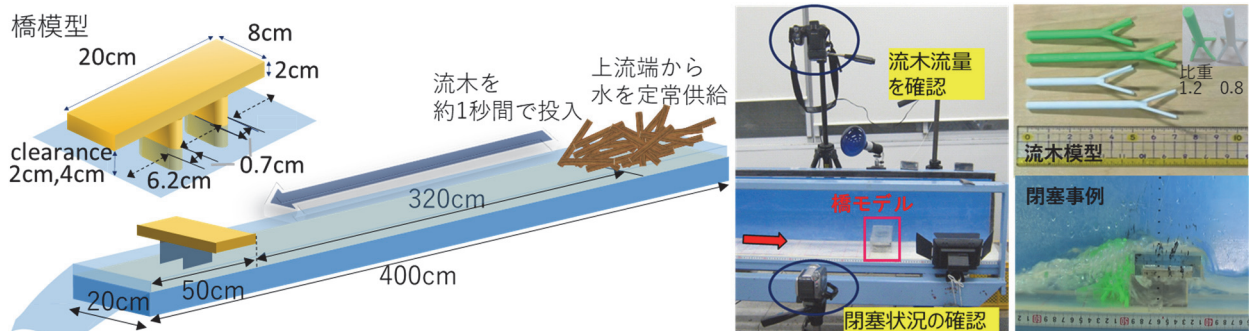


図1 実験概要と橋模型(左)、撮影の様子(中央)、流木模型と閉塞事例(右)

橋の上流に到達する際の拡散や集積状況は異なる。そのため、上空から撮影した映像解析から橋の20 cm 上流の断面を流木が通過する時間を求めて、投入量を除いた単位時間流木量を基に、水の流量を考慮した流木濃度 C_w を算出して^{1),2),4)}、閉塞を評価する指標とした。さらに、 C_w と実験結果の閉塞・非閉塞を用い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

実験結果を図2に、回帰分析で得た回帰曲線を図3に示す。また、実験で閉塞した最小の C_w (以降、 C_{w_min} と呼ぶ) を表1右に示す。同じ H_c と L_w では、 $H_c 40$ mm、 $L_w 5$ cm を除くと SG1.2 の方が 0.8 より小さい。実験観察より、SG1.2 では流木が水中を流れ

るため、水面上を流れる SG0.8 よりも移動速度が遅く、橋付近での滞留時間が長くなる。ワンスパン橋梁は橋桁を起点として閉塞する。橋脚のある橋梁では、橋桁だけでなく、橋脚間や橋脚と橋桁の間を契機とする閉塞が発生する。SG1.2 は SG0.8 より橋脚を契機とする閉塞が発生しやすく、このような傾向が出たと考えられる。

$H_c 20$ mm は同じ比重のとき、 C_{w_min} は流木長 L_w による差が小さく、SG1.2 では僅かに 7 cm の方が 5 cm より小さい。余裕高 H_c が相対的に小さいため、橋桁を契機とする閉塞が主だったことが推測される。 $H_c 40$ mm では同じ比重の流木長と比較すると、7 cm の方が C_{w_min} が小さく、SG1.2 で差が著しい。 $L_w 7$ cm は一本で橋脚間をまたがる事が出来る長さで、SG1.2 は水中で橋脚を契機とする閉塞が発生しやすく、橋桁を契機とする閉塞が少ない $H_c 40$ mm でこのような傾向が出たと考えられる。

ワンスパン、並びに橋脚2本の比重が1より小さな流木の既往検討から^{1),2)}、余裕高が大きくなると、閉塞に必要な流木の流量や濃度は大きくなる。 H_c による差を比較すると、 $L_w 5$ cm と SG0.8、 $L_w 7$ cm の C_{w_min} は前述の傾向を示すが、SG1.2、 $L_w 7$ cm は $H_c 40$ mm の方が 20 mm より C_{w_min} が小さい。SG1.2、 $L_w 7$ cm の $H_c 40$ mm は、他の条件と比較して橋脚を契機とする閉塞が発生しやすく、橋桁を契機とする閉塞は少なかったと考えられる。

SG1.2、 $L_w 5$ cm は、 $H_c 20$ mm の方が 40 mm より C_{w_min} が小さい。流木長が短く橋脚を契機とした閉塞が発生し難く、更に $H_c 40$ mm では長さや比重の条件から橋桁を契機とする閉塞も発生し難い。また、 $H_c 40$ mm の $L_w 5$ cm では SG1.2 の方が 0.8 より C_{w_min} が大きく、他と逆の傾向を示す。橋脚ならびに橋桁、あるいは両者により閉塞が発生するには、大きな流木塊となる必要があるため、他の条件と比較して最大の C_{w_min} を示したと推測される。

図3の解析結果からも、SG1.2、 $L_w 7$ cm は閉塞が発生し始める C_w は H_c による差はないが、40 mm の方が傾きが急で、一気に閉塞が進む。SG1.2、 $L_w 5$ cm は、 $H_c 40$ mm が閉塞の始まる C_w が最大で、傾きも最も緩く、閉塞が始まっても非閉塞が混在する領域が長く、閉塞し難い条件であることが明らかである。

謝辞 本研究は、公益財団法人河川財団河川基金の助成を受けたものです。

参考文献 1)中谷ら(2018), 土木学会論文集 B1 (水工学) 74(5), I_1081-1086,2)Nakatani et al (2017), 自然災害科学, 36(特別), 15-24, 3)久保田(2019), 水利科学, 62(6), 10-22, 2019,4)東谷ら(2020),砂防学会研究発表会概要集, 359-360

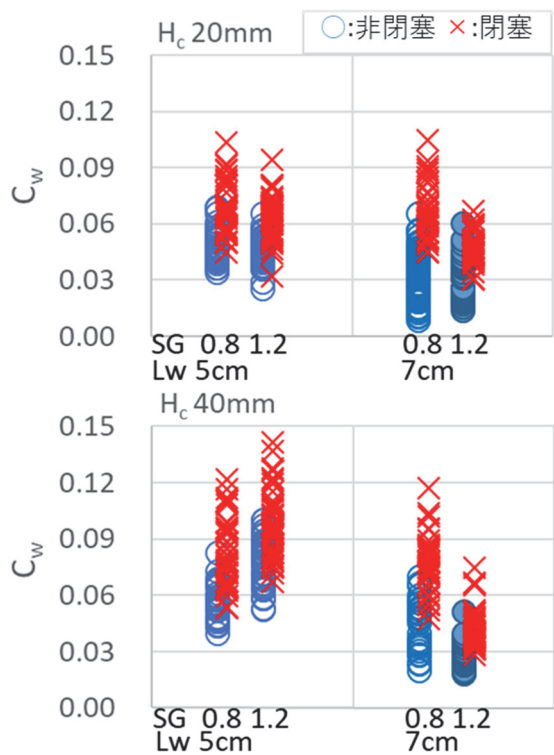


図2 実験結果

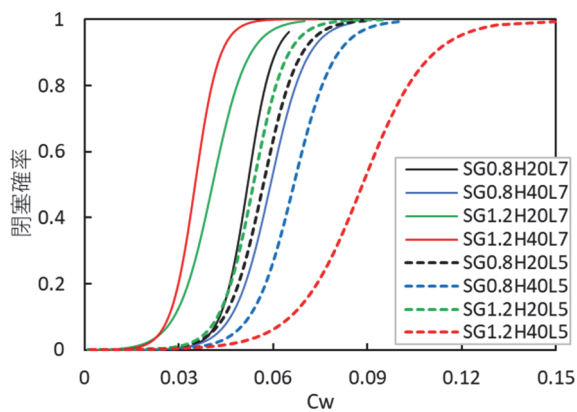


図3 解析結果 (凡例の H は余裕高、L は流木長)