

橋脚のある橋梁が流木により閉塞する条件に関する水路実験

株式会社建設技術研究所 ○石川深緒, 奥山遼佑, 西原加織, 中島奈桜, 金野崇史, 井上雄登
国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所 木下篤彦^{*1}, 土田元気, 穂田雄高^{*2}, 江口彰友^{*3}, 松下勇也

※1 現：内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 ※2 現：国土交通省関東地方整備局 渡良瀬川河川事務所 ※3 現：国土交通省関東地方整備局 河川部

1. はじめに

近年豪雨に伴い流出した流木により橋梁が閉塞することで、土砂・洪水氾濫時の被害が拡大する事例が報告されている。例えば平成29年7月九州北部豪雨では、斜面崩壊に伴い大量の流木が発生し、多くの橋梁で流木による閉塞が生じた結果、氾濫被害が拡大したことが島谷ら(2020)により報告されている。

流木による被害の拡大を防止・抑制するためには、流木によって閉塞が発生するリスクの高い橋梁を抽出したうえで、対策計画を検討する必要がある。このためには、流木によって橋梁が閉塞する条件を把握する必要がある。

橋梁が閉塞する条件に関する研究は、これまでもいくつか行われている。坂野ら(2003)や松本ら(2001)は、勾配1/300よりも緩い勾配を対象として実験を行い、供給流木量や流速、流木長と径間長の比(以降、「径間長比」とする)などの要素が橋梁の閉塞に影響していることを示した。

一方で、勾配1/300より急な区間を対象とした研究は少なく(例えば長谷川ら, 2015)、橋梁が閉塞する条件は十分に把握されているとは言い難い。特に勾配1/50~1/100程度の領域では、平成29年7月九州北部豪雨時に大量の流木が橋梁に集積し浸水被害を受けたことが確認されている。

そこで、本研究では、比較的勾配が急な区間を対象に流木によって橋梁が閉塞する条件を確認することを目的として水路実験を実施した。実験は、勾配(流速)、径間長比及び供給流木量を変化させて閉塞の発生の有無を確認した。

2. 実験の概要

2.1 実験条件及び実験ケース

実験条件を表-1に、実験水路の概要を図-1に示す。本実験は、既往研究を参考に特定の橋梁を想定せず、縮尺を設定しない条件とした。また、橋梁の閉塞は径間に流木が捕捉されて発生するものと、桁下に流木が捕捉されて発生するものに大別されるが、本検討では前者を対象とした。水路は、幅20cm、高さ27cm、長さ約300cmの水路を使用した。河床には粗度版を設置した。橋脚模型は、径間での閉塞状況を確認するため、橋脚を2本設置した。橋脚幅1cmの橋脚を、径間長が6cmとなるように2本設置した。流木模型は、径間長比が1.0及び0.8となるように、長さ6cmと4.8cmの2種類を用意した。流木の供給は、水路上流端で実施した。流木の供給方法は、立木がまとまって流下する状況を想定し、各ケースの供給流木量を同時に供給した。供給する流木は向きに偏りが出ないように供給前に攪拌した。

実験条件は、水路勾配、径間長比、供給流木量を変化させた24条件を設定した。径間長比は1.0と0.8の2条件とし

た。水路勾配は1/60, 1/80, 1/100の3条件とした。流木量は、閉塞の発生状況に応じて100本から800本までの8条件を設定した。流量は、水深が6cmとなるように設定した。6cmの流木が流下中に縦回転した場合に河床面の影響を受けないようにするためである。

実験ケースを表-2に示す。ケース数は計24ケースである。試行回数は各ケース3回とした。ここで、閉塞は、橋脚に流木が捕捉されて橋脚上流側の水位が上昇した状態が10秒以上維持された状況とした。発生率は、試行回数のうち閉塞した回数を試行回数で除した値である。

2.2 計測項目及び計測手法

計測項目は、橋脚上流の堰上げ水深、橋脚に捕捉された流木本数、橋脚に捕捉されずに流出した流木本数、水の流速、流木の流速とした。橋脚上流の堰上げ水深は、水路側面に設置した定規で計測した。橋梁に捕捉された流木と流出した流木はそれぞれ分けて採取して本数を数えた。水の流速は、供給流量を水路幅と計測した水深で除して求めた。流木の流速は、水路側面に設置したビデオカメラの動画から、流木塊が測線を通じたタイミングを判読して計測した。測線は、流況が安定している水路上流から100cm及び150cm地点に設定した。

3. 実験結果及び考察

表-2に各ケースの閉塞の有無と閉塞の発生率を示す。径間長比1.0、勾配1/100の条件では、供給流木量200本の場

表-1 実験条件

水路長	3m
水路幅	20cm
水路高	27cm
水路勾配	1/100 (0.01), 1/80 (0.013), 1/60 (0.017)
供給流量	水深が6cmとなるように設定
橋脚模型	幅1cm, 径間長6cmで2本設置
流木模型	流木長6cm, 4.8cm 直径0.3cm
水路床	粗度版を設置

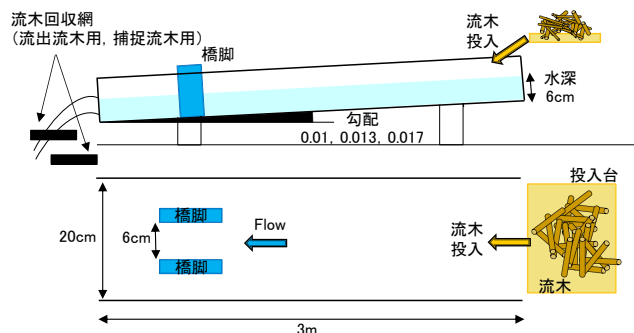


図-1 実験器具の設置状況

表-2 実験ケース

CASE	実験条件		実験結果		
	径間長比	勾配	流木量 (本)	閉塞の有無	閉塞の発生率 (%)
1	1.0	1/100 (0.01)	100	無	0
2			200	有	67
3			300	有	67
4		1/80 (0.013)	100	無	0
5			200	無	0
6			300	有	67
7		1/60 (0.017)	100	無	0
8			200	無	0
9			300	有	67
10		0.8	1/100 (0.01)	100	無
11	200			無	0
12	300			無	0
13	400			無	0
14	500			有	100
15	1/80 (0.013)		100	無	0
16			200	無	0
17			300	無	0
18	1/60 (0.017)		100	無	0
19			200	無	0
20			300	無	0
21			500	無	0
22			600	有	33
23			700	無	0
24	800	有	67		

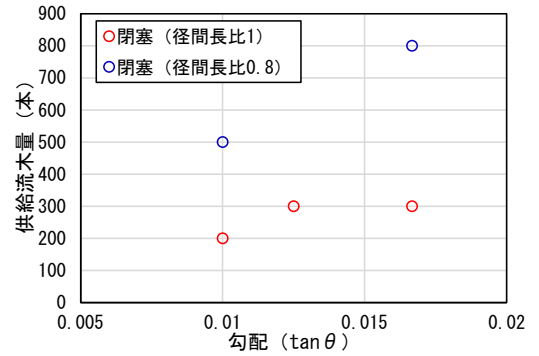


図-2 実験結果 (径間長比・勾配・流木量の関係)

合と 300 本の場合には閉塞の発生率は 67% であった。勾配 1/80 の条件では、300 本供給した時に閉塞の発生率は 67% であった。勾配 1/60 条件では、勾配 1/80 と同様に 300 本供給した時に閉塞の発生率は 67% であった。

径間長比 0.8 の条件では、いずれの勾配においても供給流木量 300 本では閉塞しなかった。このため、検討範囲両端である勾配 1/100 及び勾配 1/60 では、供給流木量を増やして実験を実施し、傾向を確認した。勾配 1/100 の場合は、供給流木量 500 本で閉塞した。勾配 1/60 の場合は、供給流木量 800 本の場合に閉塞の発生率は 67% であった。

図-2 には、閉塞が発生したケースにおける水路勾配と供給流木量の関係を示した。また、図中のデータは径間長比によりシンボルの色を分けている。径間長比 0.8 では、急勾配の条件の方が、閉塞に必要な流木量が多い傾向が確認できる。また、径間長比 1.0 では、閉塞に必要な流木量は勾配 1/80 及び勾配 1/60 の場合は 300 本と同程度であるが、勾配 1/100 では供給流木量が 200 本の場合に閉塞が発生しており、勾配が急な他の 2 条件と比較して少ない供給流木量でも閉塞が発生しやすいものと考えられる。このことから、河床勾配が急で流速が大きい条件では、閉塞に必要な流木量は多くなるものと考えられる。

流速が大きいほど、橋梁に捕捉された流木に作用する力が大きいため、橋脚地点の流木は崩れやすく捕捉されにくくなる。このとき、橋梁地点に到達する流木量が多いと流木内部の接点が多く崩れにくくなるため、供給流木量を増やすことで捕捉されやすくなるものと考えられる。

また、勾配 1/100 及び勾配 1/60 の条件で、径間長比が小さい条件の方が閉塞に必要な流木量が多いことが確認できる。流木が流下し橋梁が閉塞する過程を観察すると、左右の橋脚に接触した流木間に後続の流木が流入することでアーチ状に捕捉されていた。また、アーチ状の形成に必要な流木は、径間長比が 1.0 の条件では 2~3 本であり、径間長比 0.8 の条件では 3~4 本であった。このことから、径間長比が小さい条件では閉塞に必要な流木量が多いものと考えられる。

表-3 既往研究と本実験結果の比較

		勾配							
		1/20	1/30	1/40	1/60	1/80	1/100	1/300	1/1000
径間長比	1.4	110	90	90					
	1.3			130					
	1.2							100	100 100 100
	1.1			200					100 100 100
	1				300 300	200	100	200	100 100
	0.9							200	100 100
	0.8				800	-	500	-	200 300
	0.7							-	- 300
	0.6							-	- 500

7. 8L/s, 3. 9L/s, 1. 3L/s

表-3 には、既往実験結果から閉塞に必要な流木量を整理し、勾配と径間長比の条件に分けて示した。表中の着色は、緑が長谷川ら (2016)、橙が坂野ら (2003)、桃色が松本ら (2001) の実験結果を整理したものである。なお、松本ら (2001) は供給流量 7.9 L/s, 3.9 L/s, 1.3 L/s の 3 条件で実験を実施している。各実験結果からも、急勾配なほど、また、径間長比が小さいほど、閉塞に必要な流木量が多いことが確認できる。本研究結果は白の着色で示した。既往研究と本研究を比較しても、坂野ら (2003) の勾配 1/300 の条件では、閉塞に必要な流木量が 100 本であり、本研究の勾配 1/100 の 200 本と比較して少ない。このことから急勾配であるほど閉塞に必要な流木量が多くなることが確認できる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、勾配、径間長比、流木量に着目して橋梁が流木によって閉塞する条件を確認した。その結果、径間長比が大きいほど閉塞しやすく、緩勾配では流木量が少ない条件でも閉塞が生じやすい傾向が確認できた。

ただし、流況観察の結果から、流木のかみ合わせ等の不確実な要素によって一度閉塞した場合であっても流木が流出するケースも確認されており、今後は試行回数を増やすなどして今回の実験結果が妥当であるか十分に確認する必要がある。

また、本研究の結果や既往研究において得られている結果を実際の被害想定に活用するための検討が必要である。

引用文献

長谷川ら (2016) : 山地河川における流木の流下と橋梁集積に関する検討, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p.133-138
 松本ら (2001) : 流木塊の橋脚への堆積に関する研究, 水工学論文集 第 45 巻, p.925-930
 坂野ら (2003) : 橋梁流木集積と水位せきあげに関する水理的思考, 国総研資料第 78 号
 島谷ら (2020) : 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害調査報告書, 土木学会水工学委員会 2017 年九州北部豪雨災害調査団