

橋梁への流木捕捉現象に関する 枝の有無の影響を考慮した水理実験

九州大学 学生会員 ○矢藤壮真 九州大学大学院 学生会員 津末明義・大久保遼太・正垣貴大・Wu Yiwen
九州大学大学院 フェロー 矢野真一郎 東京工業大学大学院 正会員 笠間清伸

1. 目的

規模の大きな豪雨災害では斜面崩壊や河畔林の浸食に伴う流木の発生が見られる。それらは河道を流下する際に橋梁に捕捉され集積し、ダム化してせき上げを起こすことで氾濫を助長したり、大量に集積して洪水時の大きな流体力を受けることで橋梁を破壊したりするなど被害拡大の一因となっている。矢野ら(2016)¹⁾は、流木が橋梁へ捕捉される現象に関して橋梁へ流入する全流木量に対する橋梁で捕捉された流木量の比として流木捕捉率 α_i を定義し、 α_i は最小の橋脚間スパン長 S_i に対する想定される流木長 L_w の比率が捕捉現象について支配的な要因となると仮定し、次式で評価した。

$$\alpha_i = \frac{L_w}{S_i} \times \frac{1}{k} \quad (1)$$

ここで、 k : 橋梁における流木の集積しにくさを表す定数である。 k は水理条件や流木の形状、橋梁の構造、桁下余裕高等によって変化すると考えられるため、その設定には様々な条件で水理実験を行い、系統的に分析する必要がある。既往研究²⁾では常流の条件で石橋（アーチ型橋梁）を対象に k の算出を試みたものがあるものの、他の条件下での k に関する統一的な知見はない。

また、流木に関する水理実験全般に目を向けると、その研究対象は流下時の流木の挙動や効果的な流木捕捉工の検討など多岐にわたるが、流木模型に円柱状の木材を使用しているものがほとんどであり、流木の形状を考慮した実験は、流木捕捉工に関して根付きを考慮したもの³⁾など限定的で、特に橋梁への流木捕捉に関しては見受けられない。しかしながら、実際の災害では丸太のような円柱状の流木だけではなく、枝葉や根が付着したまま流下したとみられる流木も災害後の現地調査では見受けられるため、流木形状を考慮した水理実験の試行も必要と考える。

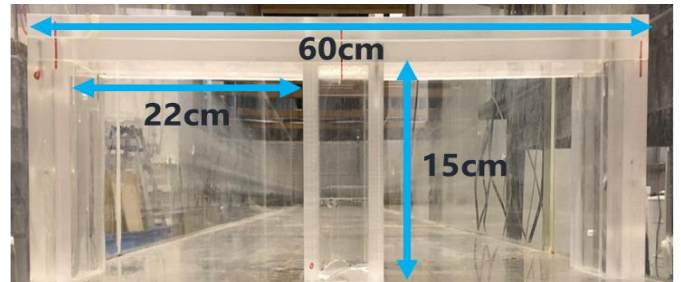


図-1 橋梁模型（正面より撮影）

以上の研究背景を踏まえ、本研究ではまず桁橋を対象として射流の流木捕捉実験をすることで、式(1)の k に関する知見を得ることを試みる。さらに 3D プリンターを用いて枝が残っている状態の流木模型を作成し、枝の有無による流木捕捉傾向を比較する。

2. 研究内容

実験には長さ 12m、幅 60cm、高さ 60cm、勾配 1/200 のアクリル製開水路を用いた。橋梁模型は上流端より 6.7m の位置に桁橋のアクリル製模型（図-1）を設置した。橋梁模型は桁高さ 3cm、橋脚高さ 15cm、橋脚幅（中央）8cm、橋脚幅（両端）4cm、橋梁幅 10cm である。まず**実験 1**として、フルード数（以下、 Fr ）による式(1)における k への影響を評価した。次に**実験 2**として、流木模型に 3D プリンターで印刷された PLA (polylactic acid) を導入し、従来の木製流木模型との違いを検討した。最後に**実験 3**として、流木模型の枝の有無による流木捕捉率 α_i の違いを検討した。なお円柱状の流木模型の直径は木製・PLA 製ともに 8mm であり比重は針葉樹を想定して 0.7 とした。

実験 1では $Fr=1.19, 1.23, 1.30, 1.36$ とし流木長 $L_w=11.0\text{cm}, 16.5\text{cm}, 22.0\text{cm}, 27.5\text{cm}$ ($L_w/S=0.5, 0.75, 1.0, 1.25$) の 4 種類の木製円柱状流木模型各 100 本を用いた。投入方法は上流端から 3 秒間隔で 1 本ずつ入れる単独投入と 10 本ずつまとめて投入する集団投入を行った。それぞれ 100 本投入終了後に橋梁で捕捉された本数を記録した。

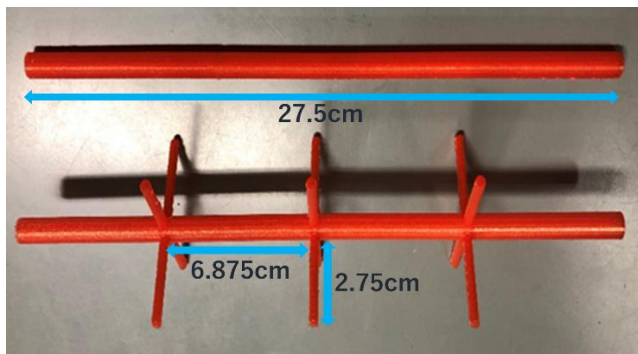


図-2 円柱状（上）、枝付き（下）流木模型

実験試行回数は単独・集団投入ともに流木長が最大の、捕捉のされやすさを考慮し捕捉率の変化幅が大きくなる $L_w=27.5\text{cm}$ では 8 回の試行を、以下 $L_w=22.0\text{cm}$ で 4 回、他の 2 種類では 2 回ずつとした。以上より、得られた流木捕捉率 α_i と流木長スパン長比 L_w/S を用いて式(1)の k を算出した。

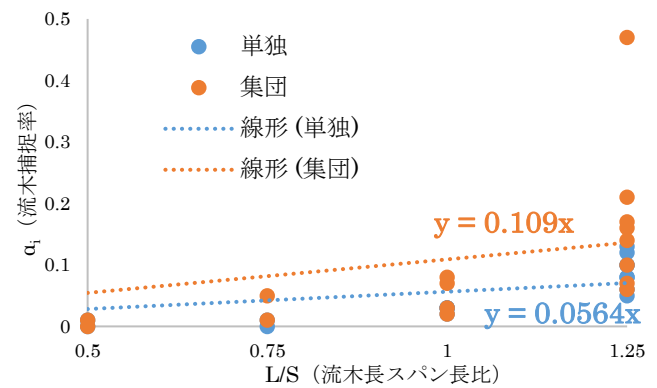
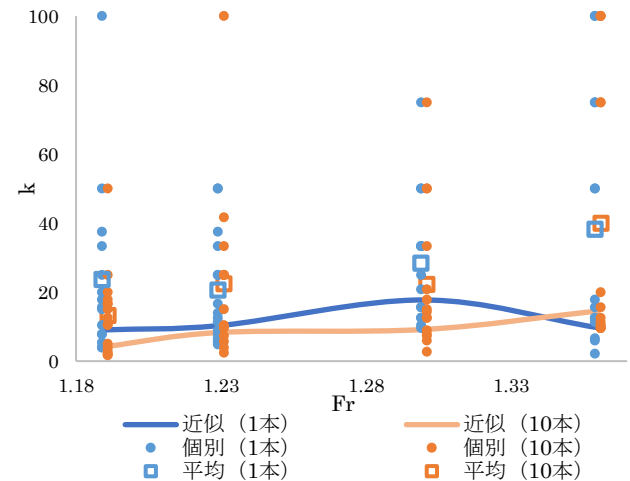
実験 2 では、実験 1 と同じ値の 4 つの Fr に対して流木長を $L_w=27.5\text{cm}$ のみにして、木製円柱状流木模型と 3D プリンターで印刷された PLA 製円柱状流木模型を各 30 本用いた。単独投入、集団投入それぞれ 30 本投入後に橋梁で捕捉された本数を記録した。試行回数は全ケース 4 回とした。

実験 3 では、実験 2 と同じ Fr と流木長の条件で、3D プリンターで印刷された PLA 素材の円柱状流木模型と枝付き流木模型（図-2）を各 30 本用いて実験 2 と同じ方法で投下した。枝付き流木模型のデザインについては、枝部分の諸元は既往文献^{4),5)}を参考に分枝角度 90° 、枝長 2.75cm としたが、枝径に関しては知見がなかったため暫定的に 4mm とした。

3. 結果

図-3 に実験 1 で得られた一例として、 $Fr=1.23$ の場合の流木長スパン長比 L_w/S と流木捕捉率 α_i の関係を示す。ここで個々の流木捕捉率の値を式(1)に代入して個別に k を算出した。加えて、切片を 0 とした線形の近似式が式(1)と一致していると仮定することで平均的な k を得た。以上の 2 通りの方法により、各実験条件の Fr 毎に対する k を表したものが図-4 である。

桁橋について、射流 ($Fr=1.19\sim 1.36$) 条件下では、 $k=20$ 以下に多く分布していた。しかし、 k のばらつきが大きく、一定値に収束していなかった。また Fr

図-3 $Fr=1.23$ での L_w/S と α_i の関係図-4 Fr と k の関係

と k について一義的な関係性を見出すことはできないが、これまで用いてきた $k=10^2$ は近似値としては良好な値であることが確認できた。

4. 結論

現状（本原稿投稿時）では、実験 1 についての結果を得た。 k は Fr に対して一義的な関係は見いだせなかったが、過去の研究の仮定は妥当なものであることは確認できた。実験 2, 3 を継続して行い、流木の素材の違いや枝の有無による捕捉傾向の違いなどについて講演時に説明する予定である。

【謝辞】本研究にあたって、科研費基盤研究(A)「気候変動影響を考慮した総合的流木災害リスク評価の展開」(19H00812)、(公財)河川財団による平成 31 年度河川整備基金、ならびに (一財)河川情報センターによる平成 30 年度研究助成に援助を頂いた。ここに記し、深甚なる感謝の意を表します。

【参考文献】1)矢野ら(2016):土論 B1, 72(4), I_289-I_294., 2)矢野ら(2018):土論 B1, 74(5), I_1057-I_1062., 3)渋谷ら(2011):構造工学論文集, 57A, 1087-1094., 4)森林総研(2011):関東森林研究, 62, 99-102., 5)戎ら(2015):砂防学会誌, 68(1), 25-31.