

## 橋梁への流木捕捉現象に関する 3D プリント流木模型を導入した水理実験の試み

九州大学大学院 学生会員 ○矢藤壮真・正垣貴大・津末明義 フェロー 矢野真一郎

### 1. 目的

大規模な豪雨災害で河川に発生する流木は、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引き起こすことで氾濫の助長や橋梁の破壊などの被害拡大の一因となる。矢野ら<sup>1)</sup>は、流木が橋梁へ捕捉される現象に関して橋梁を通過する全流木量に対して橋梁で捕捉された流木量の比として流木捕捉率 $\alpha_i$ を定義し、最小の径間長 $S_i$ に対する想定される流木長 $L_w$ の比率が捕捉現象の支配的な要因になると仮定し、 $\alpha_i$ を次式で評価した。

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

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。竹村ら<sup>2)</sup>は常流の条件で石橋（アーチ型の通水断面）を対象に $k$ の算出を試みたが、他の条件下での統一的な知見はない。

また、既往の流木に関する水理実験全般に目を向けると、流木模型に円柱状の木材を使用しているものが大半であり、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<sup>3)</sup>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、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。

以上の背景を踏まえ、本研究では長さ12m、幅60cm、高さ60cm、勾配1/200の亚克力製開水路中の上流端より6.7mの位置に設置された亚克力製桁橋（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、 $S=12$ cm）を対象とした射流域の流木捕捉実験により $k$ 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、材質、および枝の有無による流木捕捉傾向を比較することを試行的に行う。

### 2. 内容

#### 2.1 研究方法

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 (polylactide acid)製模型を導入し、従来の木製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 $\alpha_i$ 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、比重はスギ・ヒノキなどの針葉樹を想定して0.7に統一した。

**実験1**では $Fr=1.19, 1.23, 1.30, 1.36$ とし、流木長 $L_w=11.0$ cm, 16.5cm, 22.0cm, 27.5cm ( $L_w/S=0.5, 0.75, 1.0, 1.25$ )の4種類の木製円柱状流木模型を各100本用いた。投入方法は水路上流端から1本ずつ投入する単独投入と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本投入後に橋梁で捕捉された本数を記録した。実験試行回数は単独・集団投入ともに $L_w=27.5$ cmでは8回、 $L_w=22.0$ cmで4回、他の2種類では2回ずつとした。得られた流木捕捉率 $\alpha_i$ と流木長径間長比 $L_w/S$ を用いて $k$ を算出した。

**実験2**では、**実験1**と同じ4種の $Fr$ に対して流木長を $L_w=27.5$ cmのみと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

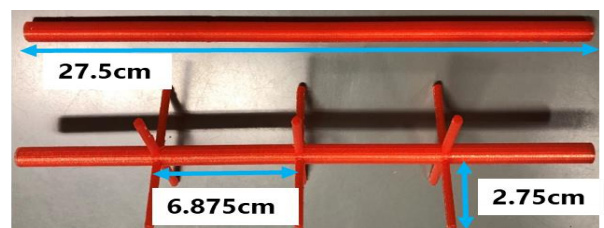


図-1 円柱状（上）、枝付き（下）流木模型

キーワード：流木、水理実験、3Dプリンター

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学 W2 号館 1013 号室 TEL：092-802-3412

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（枝なし）流木模型と枝付き流木模型（図-1）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<sup>4),5)</sup>を参考に分枝角度 $90^\circ$ 、枝長 $2.75\text{cm}$ としたが、枝径に関しては知見がなく暫定的に $4\text{mm}$ とした。

## 2.2 結果と考察

**実験1**で得られた $Fr$ と $k$ との関係について図-2に示す。射流条件下では、 $k$ は20以下に多く分布していた。しかし、ばらつきが大きく、一定値に収束していなかった。また、 $Fr$ 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、竹村らが用いてきた $k=10$ は近似値としては妥当であることが確認できた。

次に図-3に、**実験2**で得られた材質別の $Fr$ と $\alpha_i$ の関係を集団投入についてそれぞれ示す。単独投入（図は省略）においてはPLA製に比べて木製の捕捉率が高くなる傾向が示され、材質による弾性や表面摩擦などが異なるためである可能性が示唆された。一方で、集団投入では比較的小さい $Fr=1.23$ 以下では両者の差はあまり見られないが、 $Fr=1.30$ 以上では単独投入と同様の傾向が示された。

最後に図-4に、**実験3**で得られた枝の有無別の $Fr$ と $\alpha_i$ の関係を集団投入についてそれぞれ示す。単独投入（図は省略）、集団投入の両方で、枝付き流木の方が枝なしと比べて高い捕捉率が示されていた。実験時には枝の影響で、捕捉された流木に後続の流木が引っ掛かりやすくなり、さらに流木同士が複雑に絡むことによって強固な堰のようになり、捕捉されやすくなった。また、枝なし流木は単独投入と集団投入の間での差異が小さいが、枝付き流木ではその差が非常に大きいことも分かる。

## 3. 結論

水理実験により $Fr=1$ 付近の射流域での定数 $k$ と $Fr$ の関係、材質による流木捕捉率の違い、および枝の有無による流木捕捉率の違いを調べた。その結果、 $k$ は $Fr$ に対して一義的な関係を見いだせていないが、過去の仮定は妥当であることは確認できた。

また、材質による流木捕捉傾向に違いが生じ、今後3Dプリント材料の物理特性などを検討する必要がある。

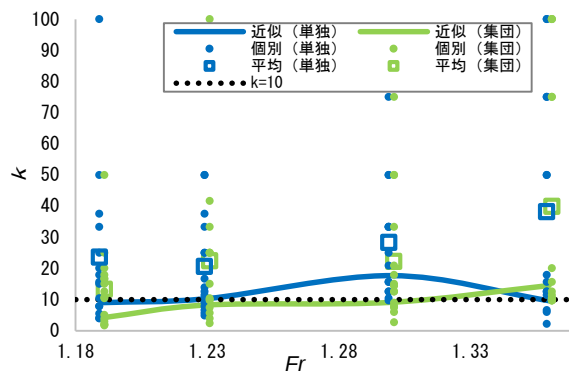


図-2  $Fr$ と $k$ の関係（実験1）

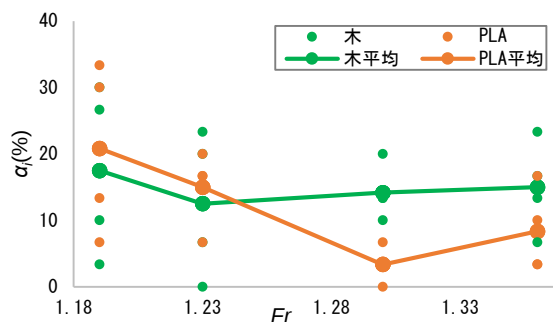


図-3 集団投入の材質別の $\alpha_i$ （実験2）

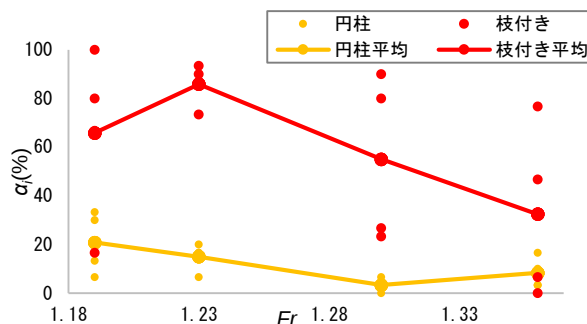


図-4 集団投入の枝の有無別の $\alpha_i$ （実験3）

ある。さらに枝付き模型は枝なし模型と比較して橋梁に集積しやすく、集団投入ではその傾向が顕著になった。3Dプリンターでの流木模型作成は有用な流木模型作成のツールとして活用でき、流木実験のより一層の充実に寄与しうると考えられる。

**【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)、(一財)河川情報センターによる平成30年度研究助成、(公財)河川財団による平成31年度河川整備基金、ならびに(一社)九州地域づくり協会による平成31年度調査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)竹村ら(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)齊藤・川崎(2011):関東森林研究, 62, 99-102., 5)戎ら(2015):砂防学会誌, 68(1), 25-31.