

流木モデルの材質が与える桁橋への流木捕捉率の水理実験への影響について

九州大学大学院 学生会員 ○福田凌大・矢藤壮真・正垣貴大・Wu Yiwen・津末明義

九州大学大学院 フェロー 矢野真一郎 正会員 浅井光輝

1. 目的

大規模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¹⁾は、流木が橋梁へ捕捉される現象に関して、橋梁に到達する全流木量に対する捕捉流木量の比として流木捕捉率 α_i を定義し、最小の橋脚径間長 S_i に対する想定される流木長 L_w の比率が捕捉現象について支配的なパラメータになると仮定し、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、 i は橋梁の番号である。

また既往研究においては、流木の河川構造物への捕捉に関する水理実験についての研究対象は河道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。それらのうち根や枝などの流木の形状を考慮したものは、流木捕捉工に関して根付きの流木を考慮したもの²⁾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、実際の洪水では丸太のような円柱状の流木だけではなく、枝葉や根が残存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も必要と考えられる。

最近、3D プリンターを用いることで複雑な形状の模型を作成することが比較的容易になっている。よって、複雑な形状の流木模型の作成も3D プリンターを使用することで容易に実行できることが想定される。一方、3D プリンターは模型を印刷するための材料が限定される。また、従来の流木水理実験で使用されてきた木材を用いることはできない。よって、事前

に流木模型の材質により捕捉率が影響を受けるかどうかを検討する必要がある。そこで本研究では、3D プリンターで使用できる材料から流木模型を作成し、材質の影響を評価するための流木捕捉実験を行う。

2. 内容

2.1 研究方法

実験には長さ 12 m、幅 60 cm、高さ 60 cm、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 6.7 m の位置にアクリル製の桁橋模型を設置した。橋梁模型は桁高 3 cm、橋脚高 15 cm、中央の橋脚幅 8 cm、両端の橋脚幅 4 cm、橋梁幅 10 cm、径間長 $S=22$ cm である。

まず、**実験 1** として、1 本ずつ連続して計 30 本を投入した場合（以下、単独投入）と、10 本ずつ連続して計 30 本を投入した場合（以下、集団投入）について、流木模型の材質が与える捕捉率 α_i の違いを検討した。

次に**実験 2** では、流木が 1 本だけ流下する場合の捕捉確率について、材質が与える影響を検討した。

流木模型は全ての実験で同じものを使用した。流木長 $L_w = 27.5$ cm ($L_w/S=1.25$)、直径 8 mm の円柱状流木模型を各 30 本用いた。材質は従来の木材に加えて、3D プリンターで印刷した PLA (Polylactide Acid)、ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)、Tough PLA (Tough Polylactide Acid)、PETG (Glycol-modified Polyethylene Terephthalate) の全 5 種類である。比重は木材の 0.7 を基準とし、内部充填密度（使用したプリンターの設定上、5%刻みで調整可能）を調整することで、表-1 に示す通り比重をほぼ 0.7 になるようにした。

実験 1 では、流木の投入は単独・集団投入ともに上流端から 3 秒間隔で行った。それぞれ 30 本投入後に橋梁で捕捉された本数を記録し、平均値を求めた。実験試行回数は 6 回とした。実験時の Fr 数は射流条

キーワード：3D プリンター、流木、水理実験、桁橋

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

表-1 材質別の流木模型の条件

	アクリルに対する 摩擦係数	アクリルに対する 反発係数	材料の比重	内部充填密度	重量	模型の比重
木材	0.78	---	0.70	---	9.71g	0.70
PLA	0.58	0.88	1.25	30%	9.82g	0.71
ABS	0.67	0.87	1.04	50%	9.74g	0.70
Tough PLA	0.62	0.87	1.25	30%	10.16g	0.74
PETG	0.73	0.86	1.28	30%	9.60g	0.69

件 6 つ ($Fr=1.19, 1.23, 1.27, 1.30, 1.34, 1.36$; 流量で調整) と常流条件 3 つ ($Fr=0.7, 0.8, 0.9$; 下流端可動堰で水深・流速を調整) とした。

実験 2 では、実験 1 で用いた流木模型をそれぞれ 1 本用いた。実験方法は上流端から流木 1 本を投入し、橋梁に捕捉されるかを確認する。捕捉された場合は流木模型を取り除く。この試行を 50 回繰り返し、橋梁に流木模型が捕捉された回数を記録した。実験時の Fr 数は射流条件で 2 つ ($Fr=1.19, 1.23$) , 常流条件で 2 つ ($Fr=0.7, 0.8$) とした。

2.2 結果と考察

図-1, 2 に実験 1 の単独投入, 集団投入についてそれぞれ結果を示す。単独投入の射流での木材の捕捉率は他の材質に比べ比較的高かったが、常流では材質間に捕捉率の顕著な違いが見られなかった。単独投入では流木が捕捉された状態では次の流木が捕捉される確率の方が高くなるため、最初に捕捉される流木が何本目であるか大きく影響すると考えられる。集団投入は、材質による傾向性が見えなかった。

表-2 に実験 2 の流木の捕捉確率を材質別, Fr 数別に示した。常流・射流条件に関わらず、材質間において大きな違いは見られなかった。アクリルに対する摩擦係数が大きい材質の捕捉回数が増えると考えられたが、流木の流下速度が速かったため、橋梁と接触している時間が短く、摩擦係数の差が捕捉率に与える影響は少なかったと考えられる。ただし、今回の実験で用いた材質では反発係数に差はほとんどなかったため、反発係数が異なる材質を用いると、捕捉確率に影響を与える可能性は残される。

3. 結論

流木捕捉実験における流木模型の材質による違いが流木捕捉率に与える影響を調べた。その結果、材質による違いが流木捕捉率に与える影響は大きくない

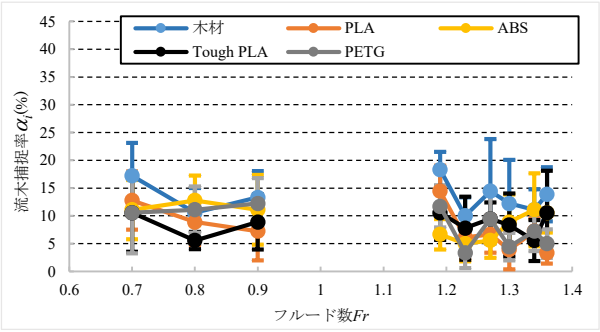


図-1 流木捕捉率とフルード数の関係 (単独投入)

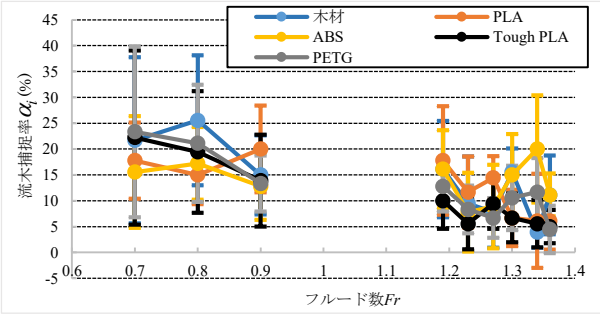


図-2 流木捕捉率とフルード数の関係 (集団投入)

表-2 反復投入における流木の捕捉確率(n=50)

	捕捉確率			
	Fr=0.7	Fr=0.8	Fr=1.19	Fr=1.23
木材	0.32	0.32	0.28	0.12
PLA	0.24	0.24	0.24	0.16
ABS	0.24	0.16	0.20	0.12
Tough PLA	0.20	0.36	0.24	0.36
PETG	0.16	0.24	0.32	0

と考えられた。ただし、現状では球形で流木模型と同じ木材による球状体が得られておらず、木材の反発係数が測定できていないため、他の材質との違いが把握できていない。また、反発係数にあまり差がない材質を用いて実験したため、反発係数に差がある材質を用いると結果は変わる可能性も残る。

さらに異なる材質や実験条件を加えて行うことで、材質の捕捉率への影響をより詳細に把握できると期待される。それらの知見が得られることで、3D プリンターを流木模型作成ツールとしてより有効に活用でき、複雑な形状の流木実験にも利用できるようになると考えられる。

[謝辞] 科学研究費基盤研究(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」(研究代表者: 矢野真一郎, JP19H00812)による援助をいただいた。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)渋谷ら(2011): 構造工学論文集, 57A, 1087-1094