

3D プリント樹木模型を用いた流れの可視化計測

東北工業大学 学生会員 ○大泉圭佑
東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

1. はじめに

1997年の河川法の改正以来、河道内樹木が河川の流れに及ぼす影響に関する研究は多数行われている。さらに、近年では整備・保全に関する取り組みも行われているが、樹木管理の手法は確立されておらず試行錯誤で行われているのが現状である¹⁾。これは植生が流水に及ぼす影響が正確に評価できていないことが一因であると考えられる。そこで、本研究では3Dプリント技術を活用して樹木の形状を忠実に模擬した模型を実験水路に設置し、その周辺に生じる流れの可視化計測を行った。

2. 3Dプリンターによる河道内樹木模型の製作

2-1 河道内樹木の特徴

溪畔林、河畔林を構成する主な樹種は表1に示したものがあ。これらの樹冠部の形状的特徴を整理すると、大きく卵形、円蓋形、杯形に分けることができる(図1(a)~(c))。これらの樹冠形状は東北地方の河道内樹林化面積の50%を占めるヤナギ類²⁾でも確認できた。

2-2 樹木模型の製作

樹木模型の製作にあたり、枝径のバランスにはパイプモデル理論³⁾を採用し、樹冠部の密集度Cは、従来から植生のモデルとして使用されているプラスチック製多孔質体に合わせて約5%とした。図2に3D CADで作成した卵形の模型および、出力した模型を示した。尚、密集度Cの計算には式(1)を用いた。

$$\text{密集度 } C(\%) = \frac{V_v}{V} \times 100 \dots (1)$$

ここに、V:樹冠部の支配する全体積、 V_v :樹冠の実体積であり、楕円球を仮定して計算した。図3のように樹冠部の支配する全体積は空隙率(V_c)と実体積(V_v)とに分けられる。また、樹冠部の計算に際し、短辺の半径は最も長い枝を起点に90度ずつ4方向に計測し、その平均値を用いた。

3. 実験方法

実験は長さ10m、幅0.6mの勾配可変型水路で、水路床勾配は1/1000とした。水深は0.2(m)で統一し、流速 $u=0.15, 0.075, 0.04$ (m/s)の3パターンで測定し、Re数はそれぞれ17000, 8500, 4500となっている。流れ場の計測にはPIV可視化計測を用いた。撮影は、底上げた水路床下部に鏡を設置してレーザーを垂直に反射して水路側面から行った。実験には先述の3種類の形状の樹木模型に加えて空隙率95%のプラスチック製多孔質体で作成したものを用いた。

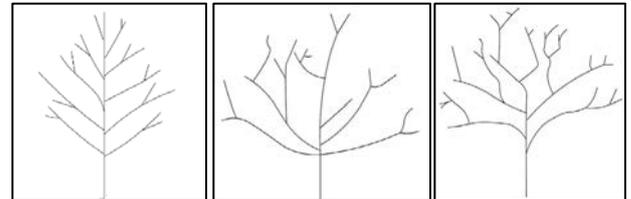
4. 樹木の形状が流れ場に及ぼす影響

4-1 樹木模型による流速の変化

図3に $u=0.15$ (m/s)の時に模型の中心から下流側0.07mの地点における主流方向流速の鉛直方向を示し

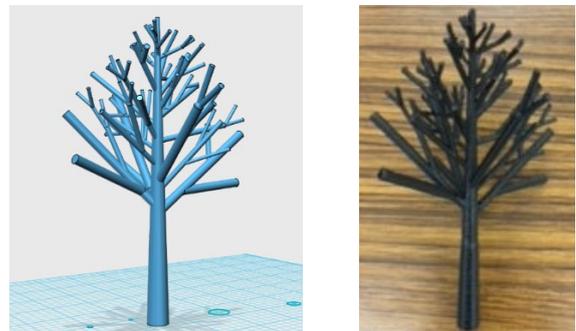
表 1 溪畔林・河畔林を構成するおもな樹種

溪畔林	ケヤキ, サワグルミ, シオジ
河畔林	ヤナギ類, ハンノキ類, マダケ属, メダケ属, エノキ, ハルニレ, ヤチダモ, カツラ, オニグルミ, オヒョウ



(a) 卵形の樹形 (b) 円蓋形の樹形 (c) 杯形の樹形

図 1 樹冠部の外形図



(a) 3DCADによるモデリング (b) 3Dプリンターで出力した模型

図 2 樹木模型(卵形モデル)

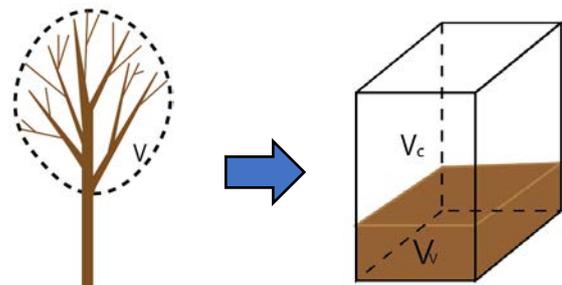


図 3 体積比

キーワード：河道内樹木、流水抵抗 3Dプリンター

連絡先：〒981-8577 宮城県仙台市太白区香澄町 35-1 東北工業大学都市マネジメント学科 TEL:022-305-3500

た。同図から流速の最小値は多孔質体、卵形、円蓋形、杯形の順で小さくなっており、その値は $u=-0.004$, 0.055 , 0.059 , 0.071 (m/s)である。最も大きい杯形の場合でも接近流速の1/2程度まで減速している。また、樹冠部の形状によって流れ場に影響を及ぼす範囲に違いが出ている。広範囲に影響が出ている多孔質体は枝の太さ密度がどの部分でも同じであるため、樹冠の幅が広い部分で減速が大きく、狭い所で速くなるという結果になった。円蓋形と杯形が同程度の範囲で流れ場に影響を及ぼしているのに対し、卵形の方が広い範囲で影響を及ぼしているのは樹冠部の中心に幹があり、それが広範囲で影響を及ぼしているからだと考える。さらに、3Dプリンターで出力した3種類の模型は、ある一点に減速のピークが集中している傾向が確認できる。これは模型の密集度が高くなっている部分と一致している。このような傾向は $u=0.075$, 0.04 (m/s)の場合でも同様に確認できる。

4-2 樹木模型周辺に生じる渦の様子

図5は樹木模型周辺に生じる流れをベクトル図で示したものである。多孔質体は広範囲で大きな減速が確認でき、せん断領域で渦が発生する様子が確認できた。同図(b)に示した卵形では6割程度の減速は確認できたものの渦は樹木模型の近傍でのみ確認できる程度であった。次に図6は図4に示した流速分布と同じ地点での渦度 ω の様子を表したものである。渦度は、植生の密集度が変化する箇所が高くなる傾向にあり、これはせん断領域と一致している。形状によって枝が多くなる高さが違っており、杯形で渦度が高くなっているのは、形状的に枝が多くなる高さが樹冠の上の方に位置しており、減速領域の幅が狭くなっているためだと考えられる。このような傾向は $u=0.075$, 0.04 (m/s)の場合でも同様に確認できたが、流速が遅くなると同図(a)の正のピークのように突出している値はなくなり同図(b)のように負のピークと同程度になっている。

5. おわりに

本研究では河道内樹木の形状が流水にどのような影響を与えるかについて検討を行った。その結果、樹形の違いによって流速分布や渦の発生に違いがあることを確認した。また、実河川においては樹木が単独で存在することは稀であるので、今後は複数の樹木が存在するような状況も想定していく必要があると考える。

参考文献

- 山下ら(1998):河道内樹木が流れに与える影響について、開発土木研究所月報 No540 PP.9-12
- 佐貫ら(2010):全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察、河川技術論文集、第16巻 PP.241-246
- Shinozaki et.al.(1964):A Quantitative Analysis of Plant Form-The Pipe Model Theory, Japanese Journal of Ecology, Vol.14, No.3 PP.97-105

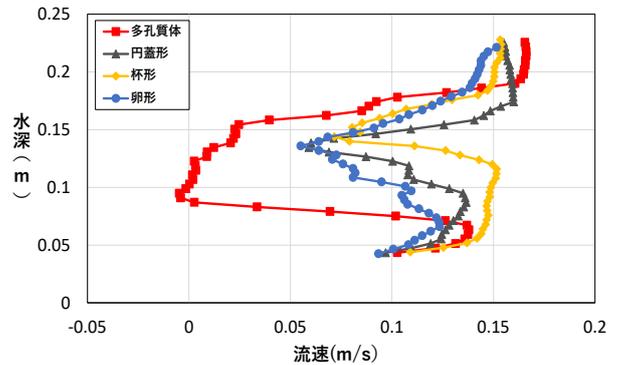
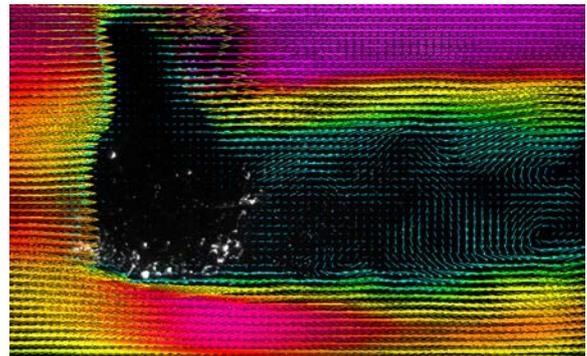
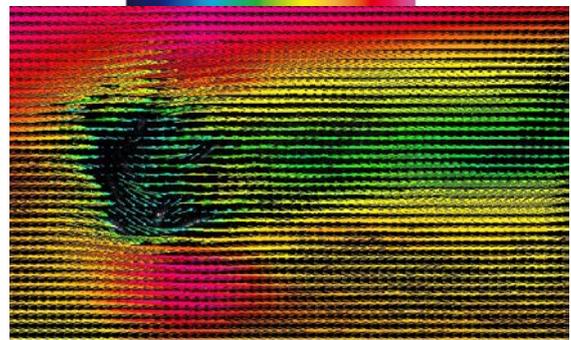


図4 主流方向流速 u の水深方向の変化 ($u=0.15$ m/s)



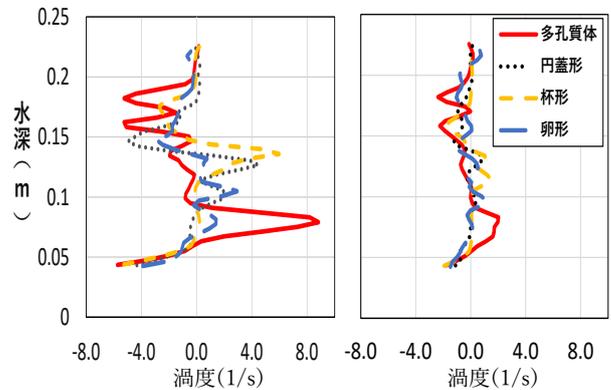
(a) 多孔質体のベクトル図

-0.05 0.075 0.175 (m/s)



(b) 卵形のベクトル図

図5 水粒子の可視化



(a) $u=0.15$ m/s

(b) $u=0.04$ m/s

図6 渦度の変化