

## 相似則に基づく可撓性を考慮した植生模型周辺に生じる流れの可視化計測

東北工業大学 学生会員 ○ 曾根彰悟  
東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

## 1. はじめに

想定外といわれる近年の降雨による著しい洪水氾濫被害を受けて、河道内の樹木管理が注目されている。河道内の樹木周辺の流れに関する研究は多数行われている。しかし、植生模型を用いた実験の多くは円柱を模型に見立てて実施されている。海岸林に対しては形状や可撓性を考慮した研究も散見されるが<sup>1)</sup>、河川の流れによって撓み、変形する植生周辺に生じる流れ場の再現という点では検討の余地がある。そこで本研究では、相似則を考慮して導いた特性の材料を用いて樹木模型を 3D プリンターで作製し、樹木の可撓性の再現と、植生の可撓性によって生じる流れ場の変化について検討を行った。

## 2. 相似則に基づく材料特性の評価

## 2-1 ヤング率の計算

実験で使用する樹木模型を製作するにあたり、使用する材料の特性としてヤング率を設定する必要がある。目標とするヤング率を想定するにあたり、実際の樹木（ヤナギの枝）の撓みを計測してヤング率を求めた。表 1 に計測結果を示したが、平均すると  $2.2 \times 10^5 (\text{N/cm}^2)$  であった。模型実験の縮尺を 1/10 として、樹木模型の材料として要求されるヤング率を相似則に基づいて計算した。流体力の計算には、渦と粘性の影響は無視することとして式(1)に示したニュートンの相似則を適用した。

$$\rho U^2 L^2 \propto P \cdots (1)$$

ここに、 $\rho$ ：流体密度、 $U$ ：流速、 $L$ ：模型の高さであり、 $L$  を 1/10 と仮定すると流速  $U$  はフルードの相似則から  $1/\sqrt{10}$  となるので樹木に作用する力  $P$  は 1/1000 になる。以上の値を式(2)に代入すると  $E = 1/10$  となり、要求されるヤング率は  $2.2 \times 10^4 (\text{N/cm}^2)$  となる。

$$E_m/E_p = \left( \frac{PL^3}{3I\sigma} \right)_m / \left( \frac{PL^3}{3I\sigma} \right)_p \cdots (2)$$

ここに、 $I$ ：断面二次モーメント、 $\sigma$ ：撓みである。

## 3. 樹木模型の製作

樹木模型を作製するための材料として、比較的可撓性のある TPU とフレキシブル 80A (以後 F80A) を選定した。各材料のヤング率は撓み計測用の円柱を出力して、ヤナギの枝と同様にして計測した撓みを用いて求めた。樹木模型材料のヤング率を表 2 に示した。今回入手できた材料はどちらも要求されるヤング率よりも小さな材料、即ち撓みやすい材料であった。樹木模型の形状は図 1 に示した卵形<sup>2)</sup> と三つ又形の 2 つとし、それぞれ

表 1 ヤナギの枝のヤング率

|     | たわみ(cm) | E (N/cm <sup>2</sup> ) | E × 1/10 (N/cm <sup>2</sup> ) |
|-----|---------|------------------------|-------------------------------|
| 枝 1 | 1.33    | 2.6E+05                | 2.6E+04                       |
| 枝 2 | 0.97    | 1.9E+05                | 1.9E+04                       |
| 枝 3 | 1.43    | 2.0E+05                | 2.0E+04                       |
| 枝 4 | 0.93    | 2.3E+05                | 2.3E+04                       |

表 2 円柱のヤング率

|                   | たわみ(cm) | E (N/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---------|------------------------|
| TPU <sub>09</sub> | 1.67    | 6.6E+03                |
| フレキシブル80A         | 2.29    | 5.7E+02                |

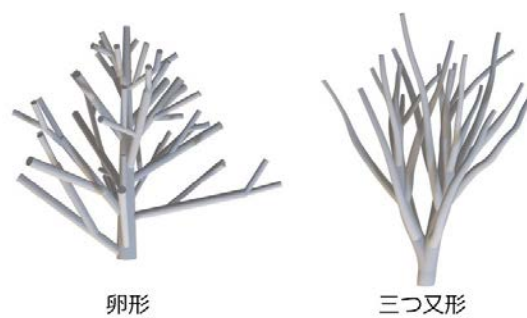


図 1 樹木模型

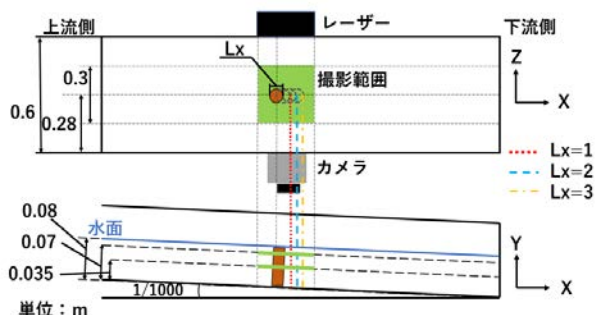


図 2 勾配可変式水路の模式図

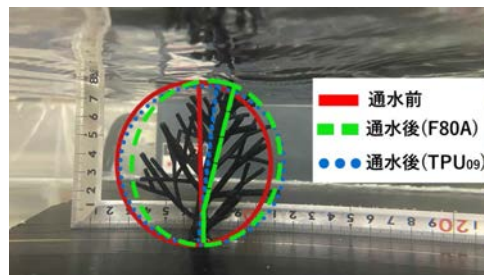


図 3 通水中の樹木模型 (卵形) の様子

キーワード：撓み、植生、可視化計測、ヤング係数、相似則

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：022-305-3550

TPU<sub>09</sub>とF80Aで計4つ、ヤナギの樹高を0.8mと仮定し、1/10スケールの0.08mで作製した。

#### 4. 実験方法

実験で用いた勾配可変型水路は、長さ10m、幅0.6mで、水路勾配を1/1000として実験を行った。流れ場は水深0.8m、流速0.3m/sとし、PIV可視化技術を用いて計測した（図2）。計測の断面は $h=0.07\text{m}$ 、 $0.035\text{m}$ の2平面と水路中央の縦断面を撮影して流速場を求めた。また、枝を含めた樹木模型全体の直径を $L_x$ とし、模型中心から下流側へ直径分移動した地点をそれぞれ $L_x=1, 2, 3$ とした。

#### 5. 樹木の可撓性が流れ場に及ぼす影響

##### (1) 植生模型の撓みの様子

図3は通水中の樹木模型（卵形）の変形の様子を示したものである。比較のために通水前の樹幹の様子を赤の線で記載している。同図からF80Aで作製した模型は先端で約0.015m撓んでいること、TPU<sub>09</sub>の場合には、約0.005mと僅かに撓むことが確認できる。

##### (2) 植生周辺の流速に及ぼす可撓性の影響

図4に $L_x=1\sim 3$ の各地点における主流速の横断分布を示した。同図において模型の樹幹の中心は $z=0.28\text{m}$ にある。模型に最も近い $L_x=1$ で模型の形状によって減速の程度は異なるが可撓性が小さいTPU<sub>09</sub>の方が低い値となっていることから、撓むことで水流への抵抗が小さくなっていると考えられる。 $L_x=2$ 地点になると樹木による減速は小さくなるものの、可撓性が低い方が流速は低くなっている。 $L_x=3$ になると可撓性による影響はほぼなくなっていることが分かる。

##### (3) 植生周辺の渦度に及ぼす可撓性の影響

図6に $L_x=1$ での渦度の横断分布を示している。いずれの模型においても模型の中心付近で強い渦が発生していることが確認できる。また、可撓性の高いF80Aで制作した模型では模型の周辺への渦の拡がりが大きくなる傾向がある。これは模型が撓むことで、渦が広範囲に発生したと考える。

#### 6. おわりに

本研究では植生模型の可撓性がどのような影響を与えるかについて、相似則に基づいて、設定したヤング率の材料で作製した樹木模型を用いて検討を行った。その結果、樹木が撓むことで流水に対する抵抗が小さくなることを確認した。更に、可撓性の影響から広範囲で渦が発生することが分かった。また、今回の実験では相似則に基づいて想定したヤング率で作製した模型では撓みが小さかったことや葉については考慮していないことなどの課題が残されており、今後さらに検討を重ねる必要がある。

#### 参考文献

- 1) 今井ら(2008): 樹冠部の変形を考慮した樹木の抵抗則とそれを用いた沿岸林域の氾濫計算、土木学会論文集 Vol.64 No.3, 214-225, 2008.9
- 2) 大泉ら(2021): 3D プリント 樹木を用いた流れの可視化計測、令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会、No.II-44

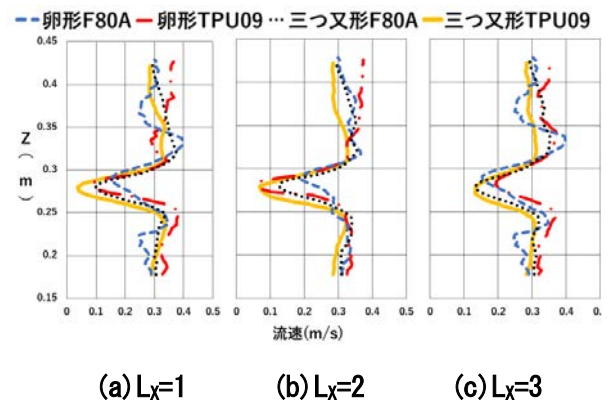
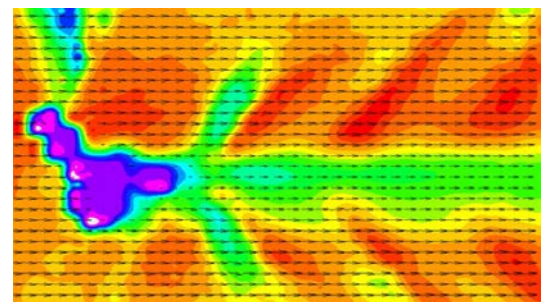
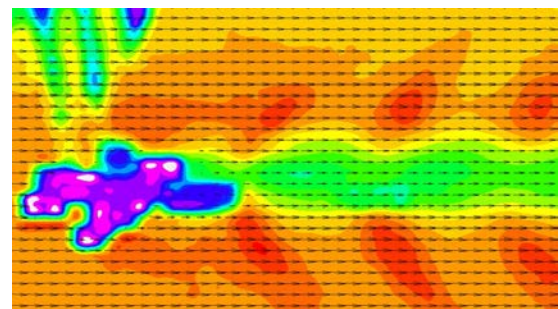


図4 主流速の横断分布  
( $h=0.035\text{m}$ )



(a) F80A



(b) TPU<sub>09</sub>

図5 主流速の平面分布  
(卵形、 $h=0.035\text{m}$ )

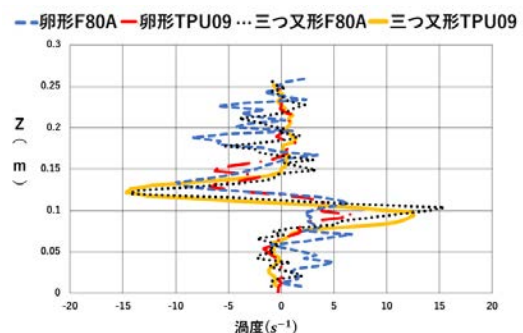


図6 渦度の横断分布  
( $h=0.035\text{m}$ ,  $L_x=1$ )