

開水路中に置かれた小型実植生に作用する流体力特性

防衛大学校 学生会員 ○堀 翼
防衛大学校 正会員 林建二郎

1. 背景および目的

河道内に生育している水草(沈水直物)やヨシ(抽水植物)等の水辺植生および樹林は、平水時においては水質浄化や土砂堆積効果等の環境再生機能を有している。一方、洪水時においては、大きな流水抵抗となり河川の流下能力の妨げとなっている。河道内に生育している水草や樹林の流水抵抗特性を明らかにすることは、これら植生の洪水流に対する抵抗則や強度特性の把握において重要である。しかし、幹や枝・葉を有する植生の構造は複雑であり、また、流れに対する枝、葉の形状変化が生じる結果、その流体力特性はまだ十分に把握されていない¹⁾。

本研究は、河道内の実樹木に作用する流体力の直接計測を行い、流れに対し傾倒や振動する実樹木が有する流れの抵抗特性と樹木周りの流れ特性を調べたものである。

2. 実験方法

実験には、長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1m の還流水槽を使用した。流れ方向を X 軸の正、その横断方向を Y 軸、床面から鉛直な樹幹上方向を Z 軸の正とする。水槽の床下に設置されている 3 分力計(三計エンジニアリング(株)、容量 2 Kgf、固有振動数 50Hz)に、円筒ポット(外径=8cm、高さ=5.5cm)に育成した小型実樹木(杉の苗木、高さ $H_t=30$ cm、最大樹冠幅 $B_c=12$ cm、樹幹径=1.2cm、床より樹冠下端までの距離 $H_c=2$ cm)を鉛直に取り付け、本樹木全体に作用する流体力の X 方向成分 F_x 、鉛直上方向成分 F_z ならびに Y 軸まわりの曲げモーメント M_y を測定した(図-1 参照)。樹木まわりの水位変化を計測するために、樹幹から横断方向に $y=19$ cm 離れた流れ方向測線上に 3 本の波高計を 64cm 間隔で設置した。樹木設置位置における擬似等流水深(=樹木没水深)は $d=15$ cm, 20cm, 30cm, 40cm の 4 種類とした。流速の計測には 2 成分レーザードップラー流速計を使用した。樹幹の真横($x=0$ cm, $y=21$ cm, $z=0.4d$)における流速の水平方向成分 u の時間平均値を代表主流速度 U_c とした。 U_c の範囲は 0.05m/s~0.6m/s である。流れは、 F_r 数 $= U_c / (gd)^{0.5}$ が 0.02~0.43 の常流である。樹木後流域の流速低減特性を調べるために、 $x=20\sim400$ cm における水平流速成分 u の横断方向分布を計測した。

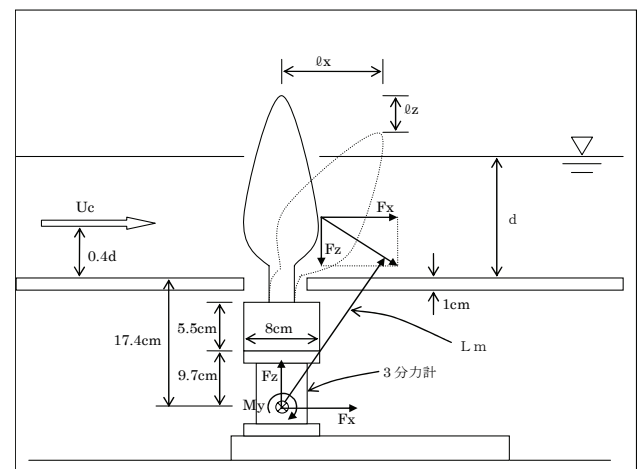
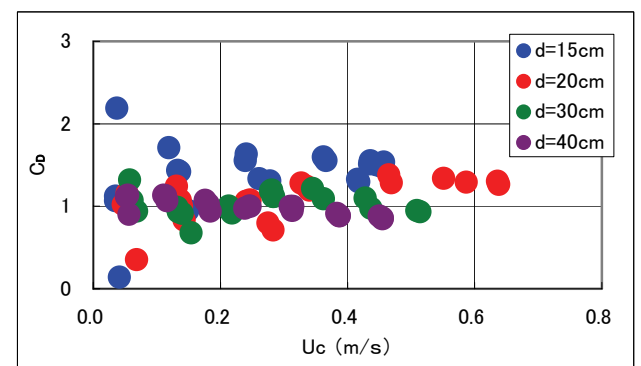


図-1 実験装置図

3. 結果および考察

本実験の流れは定常流である。従って、3分力計で検知された F_x 、 F_z 、 M_y は、本樹木に作用する抗力 F_{xf} 、揚力 F_{zf} 、 F_{xf} と揚力 F_{zf} の合力 $= (F_{xf}^2 + F_{zf}^2)^{0.5}$ による曲げモーメント M_{yf} と等しい²⁾。本樹木の抗力係数 C_D および揚力係数 C_L を、1)、2) 式でそれぞれ定義する¹⁾。

$$C_D = 2F_{xf} / (\rho A_s U_c^2) \quad (1) \quad C_L = 2F_{zf} / (\rho A_s U_c^2) \quad (2)$$

図-2 C_D と流速 U_c の関係

キーワード 円筒式透過性防波堤、透過率、反射率、抗力係数、消波エネルギー

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL046-841-3810 E-mail: hayashik@nda.ac.jp

式中、 ρ は水の密度、 A_h は水深 d の静止流体中に水没している部分の本樹木の流れ方向投影面積である。

抗力係数 C_d および揚力係数 C_L の代表主流速度 U_c に対する変化特性を樹木没水深 d をパラメータとして図-2、図-3にそれぞれ示す。 C_d は d の増加に伴いは減少し、 U_c の増加に伴い若干減少している。開水路中に鉛直に置かれた直径 D の円柱の抗力係数 C_d においては、没水深 d の増加に伴い C_d は減少する結果が報告されている³⁾。一樣流中の風洞に置かれた模型樹木の抗力係数 C_d においても、流速の増加に伴い樹木が傾倒し実投影面積が減少する結果、流速の増加に伴い C_d は減少するしている²⁾。樹木に作用する揚力 F_z は河床方向に作用している結果、揚力係数 C_L は負値となっている。 U_c の増加に伴い樹木傾倒が増加する結果、 C_L の絶対値は大きくなっている。

F_x と F_z の合力作用線である示力線と M_y 計測点 (=モーメント中心) との垂直距離を回転半径 L_m とすると、 L_m は次式で表される。

$$L_m = M_y / (F_x^2 + F_z^2)^{0.5} \quad \text{--- (3)}$$

L_m の U_c に対する変化特性を水深 d をパラメータとして図-4に示す。 U_c の増加に伴い樹木の傾倒が増加する結果、 L_m は減少している。

樹木の後方 $x/B_c=1.7, 4.2, 8.3, 16.7, 33.3$ の位置における流速 u の時間平均値 U の水路横断方向分布の一例を図-5に示す。樹木没水深は $d=30\text{cm}$ 、流速計測位置の高さは $z=12\text{cm}$ での結果である。円柱のような不透過性物体の極背後においては逆流域が存在する。しかし、透過性物体である本樹木の極背後 $x/B_c=1.7$ では、流速は著しく減少しているが逆流域は存在しないことが分る。

本樹木の真後ろ $y=0, z=12\text{cm}$ における最小流速 U_{min} とする。 U_{min}/U_c の x/B_c に対する変化特性を図-6に示す。円柱のような不透過性物体の場合に比べて流速の回復は遅れている。これは、透過性物体の背後では乱流拡散による運動量の伝達が鈍くなるためと考えられる。

5. おわりに

開水路常流中に置かれた単独樹木の抗力係数と揚力係数の流速 U_c と没水深 d に対する変化特性を評価した。この評価法を適用して、河道内の植生群や樹林帯が有する粗度係数や透過係数を調べる予定である。

参考文献 1) 林建二郎・辰野正和・長林久夫・橋本晴行：単独樹木に作用する風力と流れ，日本流体力学講演概要集，8p.、2006。

2) 林建二郎：多分力計による水理構造物に作用する衝撃的流体力の計測、水工学論文集、第52巻、6p.、2008。 3) Hsieh T. : Resistance of

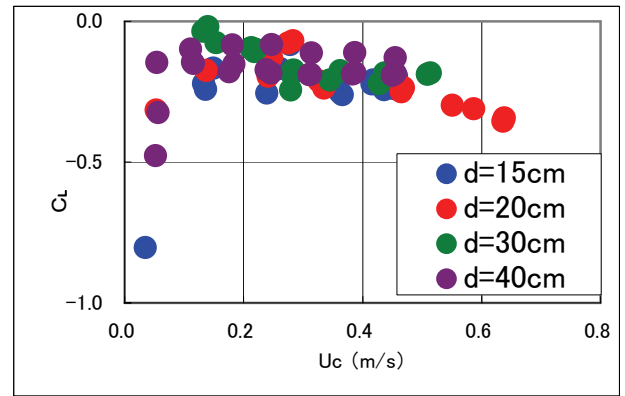


図-3. C_L と流速 U_c の関係

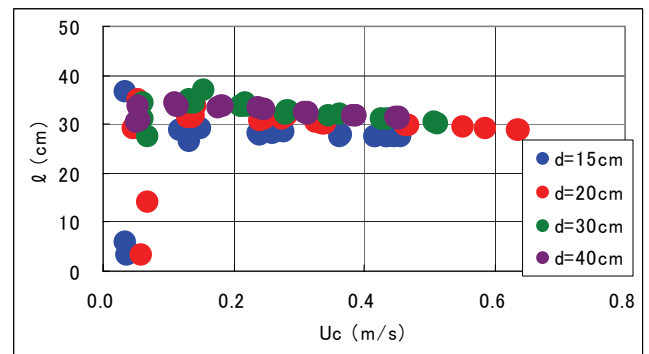


図-4. 回転半径 L_m と流速 U_c

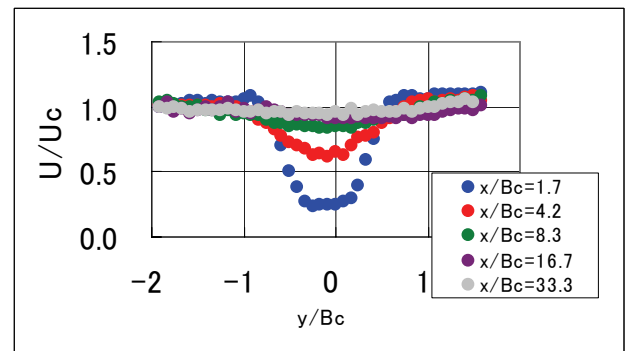


図-5. 流速 U の横断方向流速分布

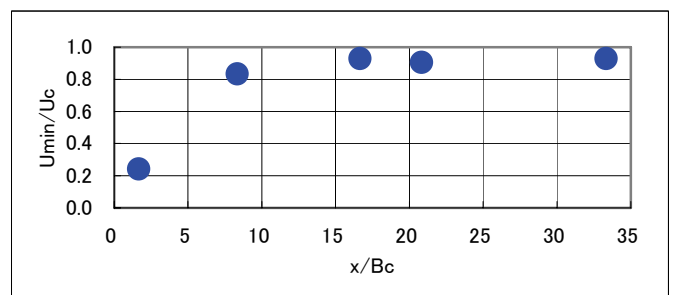


図-6. 流速 U_{min} の流下方向変化

Cylindrical Piers in Open-Channel Flow, HY, Proceedings of ASCE 90, pp.161-173, 1964.

