

樹木模型に作用する流体力の計測

防衛大学校 学生会員 ○斎藤 良
防衛大学校 学生会員 今野 政則
防衛大学校 正会員 林 建二郎

1. 目的

環境問題の高まりと共に、河道内樹木の保護・育成やその積極的な利用が重要視されている。河川内の樹木や樹林帯に作用する流体力の特性を明らかにすることは、洪水に対する抵抗則や強度特性を把握する上で重要になってくる。幹や枝・葉を有する樹木の構造は複雑であり、その流体力の特性や樹木周りの流れの特性はまだ十分に把握されていない^{1),2)}。本研究は、多数の枝葉で構成され多くの間隙を有している樹木樹冠部に作用する流体力特性を明らかにすることを目的として、開水路の一部分に置かれた円柱群に作用する流体力の計測と円柱群周りの流速分布の計測を行ったものである。

2. 実験装置及び方法

実験には、長さ 40m、水路幅 $B=0.8\text{m}$ 、高さ 1m の還流水槽を使用した。実験装置の概略を図-1 に示す。樹木樹冠部の模型として、直径 $d=0.3\text{cm}$ 、長さ $l=30\text{cm}$ のステンレス円柱 37 本を一辺が $S=3\text{cm}$ の正三角形となる千鳥配置で平板に設置し、部分円柱群を作製した(図-2 参照)。本部分円柱群の外径は $D=18\text{cm}$ 、樹林帯密度は $\lambda=\pi d^2/(2 \cdot 3^{0.5} S^2)=0.009$ である。この λ の値は、実樹木の樹林帯密度 λ のほぼ平均値である。

本部分円柱群を、水路幅中央線上の水表面上に設置した 3 分力計(定格容量 20N)に片持ち梁形式に取り付け、部分円柱群全体に作用する流れ方向流体力 F_x と水路横断方向流体力 F_y を計測した。比較として、平板にステンレス円柱 1 本のみを設置し、単独円柱に作用する流体力 F_x と F_y を同様に計測した。

部分円柱群中心より流れ方向に X 、水路幅中心線より水路横断方向に Y 、水路床より鉛直方向に Z 座標をとる。部分円柱群設置点における水深は $h=15\text{cm}$ とした。超音波流速計で計測した円柱群前方 $X=-5\text{m}$ 、 $Y=0$ 、 $Z=6\text{cm}$ の位置における流速を平均流速 U_0 とした。レーザー流速計を用いて、円柱群後流域 ($10\text{cm} < X < 119\text{cm}$) の床からの高さ $Z=8\text{cm}$ の位置における横断方向流速分布を調べた。

3. 結果及び考察

(1)部分円柱群に作用する流体力

(1), (2)式を用いて抗力係数 C_D と変動揚力係数 C_{Lrms} を算定した。

$$C_D = F_{Xmean} / (0.5 \rho A U^2) \quad \text{---(1)}$$

$$C_{Lrms} = F_{Yrms} / (0.5 \rho A U^2) \quad \text{---(2)}$$

式中、 ρ : 水の密度、 F_{Xmean} : F_X の時間平均値、 F_{Yrms} : F_Y の rms 値 (=標準偏差)、 A : 投影面積である。

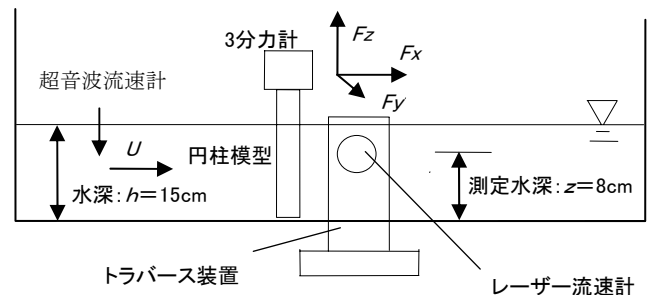


図-1 実験装置概要図

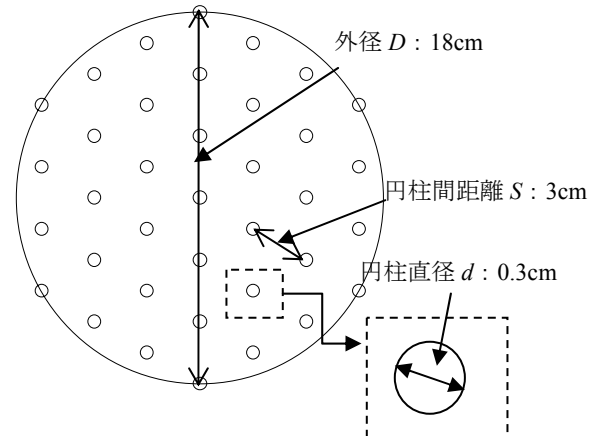


図-2 部分円柱群の円柱配置図

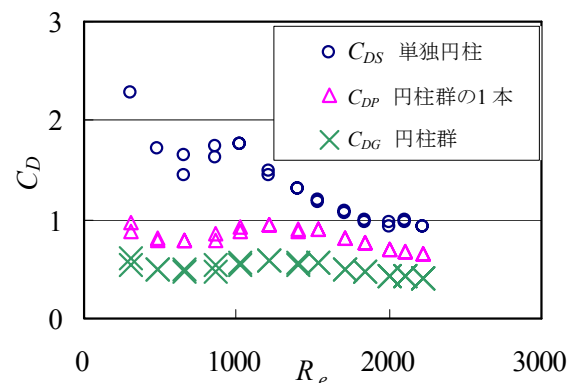


図-3 C_D の Re に対する変化特性

単独円柱に作用する F_x の時間平均値とその投影面積 $A=dh$ を(1)式に代入し単独円柱の抗力係数 C_{DS} を求めた．部分円柱群に作用する F_x をその本数(37本)で割った値と投影面積 $A=dh$ を(1)式に代入し，部分円柱群の1本円柱当りの抗力係数 C_{DP} を求めた．部分円柱群に作用する F_x とその仮想投影面積 $A=Dh$ を(1)式に代入し部分円柱群の抗力係数 C_{DG} を求めた．これら抗力係数のレイノルズ数 $Re (=U_0 d/\nu, \nu$: 動粘性係数)に対する変化特性を図-3に示す．

部分円柱群中では，円柱群の存在により流速が部分円柱群外側の平均流速 U_0 より小さくなるため，部分円柱群の1本当りの抗力係数 C_{DP} は，単独円柱の抗力係数 C_{DS} より小さくなっている．単独円柱の抗力係数 C_{DS} は， $600 < Re < 1500$ の範囲で，一様流中に置かれた円柱の抗力係数 C_{DU} より大きくなっている．これは，渦励振動の横方向振動による抗力増加現象³⁾によるものと考えられる．

単独円柱に作用する F_y の rms 値と投影面積 $A=dh$ を(2)式に代入し，単独円柱の変動揚力係数 C_{Lrms} を求めた．部分円柱群に作用する F_y の rms 値を本数(37本)で割った値と投影面積 $A=dh$ を(2)式に代入し，部分円柱群の1本当りの変動揚力係数 C_{Lrms} を求めた．これら変動揚力係数の $Re (=U_0 d/\nu)$ に対する変化特性を図-4に示す．単独円柱と部分円柱群の C_{Lrms} は，渦励振動の出現により $600 < Re < 1800$ の範囲で大きく増加している．

(2)部分円柱群後流域の流速分布

水路方向流速成分の時間平均値を U ，その乱れ強度を u' とする．部分円柱群の後方 $X/D=0.6, 1.6, 6.6$ の位置における U および u' の水路横断方向分布を図-5に示す． $X/D=0.6$ の流速分布図より，円柱群を通過する流速は U_0 より小さいことが分かる．円柱1本からの後流の影響は， $X/D=0.6$ と 1.6 においては見られるが $X/D=6.6$ では無くなっている．

部分円柱群真後ろ $Y=0, z=8\text{cm}$ における U の流下距離 X に対する変化特性を図-6に示す．比較として，開水路に置かれた単独円柱²⁾と風洞に置かれた樹木模型¹⁾(ケヤキ，シラカバ，ヒノキ，樹冠幅を代表長 D とする)での結果も示す．単独円柱の場合， $0.5 < X/D < 2.5$ で逆流域が生じている．部分円柱群や樹木においては，間隙を透過する流れのため逆流域は生じていない．部分円柱群や樹木の後流域においては，乱流拡散による運動量の伝達が単独円柱の場合に比べてにぶいため，流速の回復は単独円柱の場合より遅くなっている．

参考文献

- 1) 林，辰野，長林，橋本：単独樹木に作用する風力計測，流体力の評価とその応用に関する研究論文集，第2巻，pp.96-103，2003．
- 2) 今野，林，安部：開水路に設置された樹木模型用間隙円柱周りの流れと流体力，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，第Ⅱ部門，2004．
- 3) 林，田中，藤間，重村：一方向流中で渦励振動している円柱に作用する流体力の増加特性，水工学論文集，第43巻，pp.794-802，1999．

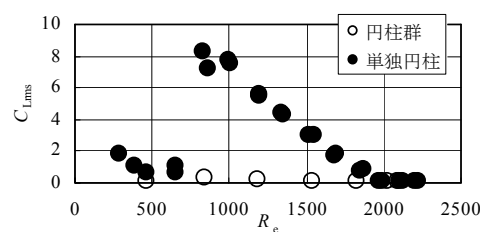


図-5 C_{Lrms} の Re に対する変化特性

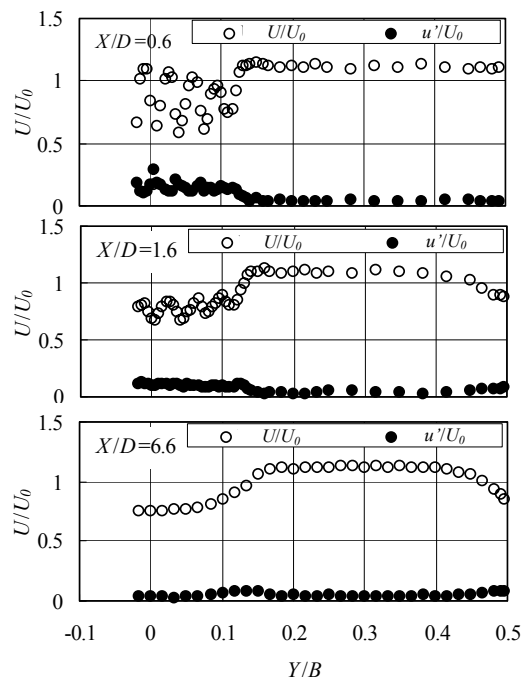


図-6 横断方向流速分布 ($Z=8\text{cm}$)

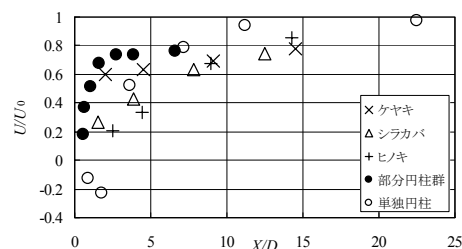


図-7 平均時間流速の流れ方向分布