

開水路中に設置された樹木模型用間隙円柱周りの流れと流体力

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

防衛大学校 学生会員 安部 康洋

1. はじめに

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、防備林や河道内樹林の風や洪水流等に対する抵抗則、流れの遮蔽効果ならびに強度特性の把握において重要である。しかし、幹や枝・葉を有する樹木の構造および形状は複雑であるために、その流体力特性および樹木周りの流れ特性はまだ十分に把握されていない¹⁾。大径の幹と小径の多数の小枝や葉から構成される樹冠を有する樹木は、多くの間隙を有する透過(=透水)性物体である。本研究は、透過性物体である河道内樹林の抵抗則および流速低減機能に関する研究として、開水路中に鉛直設置された樹木模型に作用する流体力と樹木模型周りの流速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、幅 0.8m、高さ 1m の水平な水路床を有する還流水槽を使用した。実験装置の概略を図-1 に示す。樹木模型として直径 D =約 8cm、長さ l =75cm の透水性の暗渠集排水材（ヘチマロン、空隙率=約 76%、構成線状材の径=1~2mm、比重=約 0.93）を使用した（以後、間隙円柱と呼ぶ）。本間隙円柱を、水路幅中央線上の水表面上に設置した 3 分力計に片持ち梁形式に取り付け、流れ方向 X 、水路路横断方向 Y 、鉛直方向 z 、に作用する流体力 F_x , F_y , F_z を計測した。 X , Y の原点は円柱中心とする。 z の原点は水路床とする。

比較として、間隙のない直径 D =8.86cm、長さ l =75cm のアクリル円柱（以後、円柱と呼ぶ）を用いて、間隙円柱の場合と同様な流体力と流速の計測を行った。間隙円柱およびアクリル円柱の写真を図-2 に示す。

これら円柱の設置点での水深は h =30cm とした。流れ方向流速成分 u の計測には 2 成分レーザー流速計を使用した。流速分布の計測には自動トラバース装置を使用した。円柱中心より上流 100cm (X =-100cm) の位置で水路底面より上方 z =18cm の点における u の時間平均流速を主流速度 U_0 とした。主流速度は U_0 =31.4cm/s の 1 種類のみとした。 u のサンプリング周波数は約 100Hz、サンプリング時間は 20 秒とした。

3. 結果及び考察

(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。

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

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

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)

C_D と C_{Lrms} のレイノルズ数 Re ($=UD/\nu$) に対する変化特性を図-3 に示す。円柱と間隙円柱の C_D は $1.1 < C_D < 1.3$ であり概ね一致している。本実験における水路幅と円柱径の比は $B/D=9\sim 10$ である。本 C_D は、水路壁の拘束効果²⁾により拘束効果の無い場合 ($=B/D$ が十分大きい) に比べて 1.15 倍程増加している。

一方、 C_{Lrms} においては、大きな差が見られる。円柱の C_{Lrms} に比べ間隙円柱の C_{Lrms} は大きく減少している。この原因としては、円柱の場合には円柱の両側壁より時間的に交互な渦の発生（カルマン渦列）が見られるが、間隙

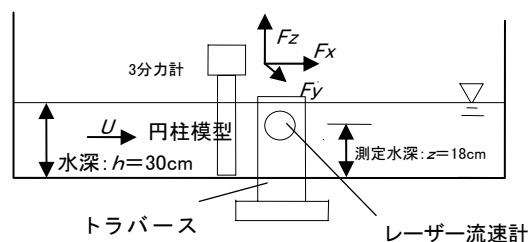


図-1 実験装置概要図

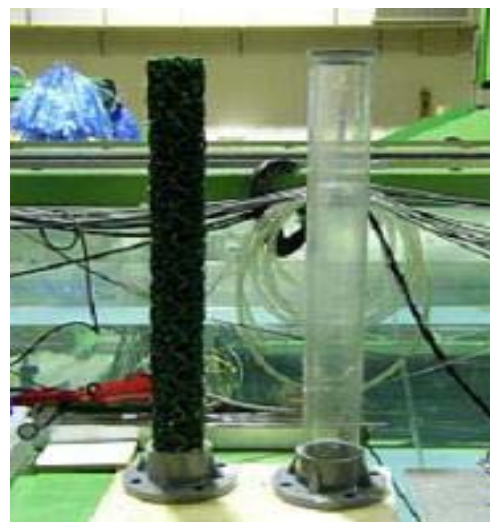


図-2 間隙円柱(左)と円柱(右)

キーワード 河道内樹木、流体力、抵抗則、間隙円柱、後流流速分布、遮蔽効果

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel 046-841-3810

円柱の場合にはその両側壁よりこのような交番渦の発生が生じていないことが挙げられる。間隙円柱の場合には、円柱後流域の途中から弱い交番渦が発生・形成されていた。

円柱の場合、 $Re=25000$ 付近で C_D と C_{Lrms} の顕著な増加が見られる。これは、水路横断方向に生じる水面変動に起因している。この水面変動の出現は、水路横断方向の自由振動周期³⁾と円柱からのカルマン渦列の発生周期との共振現象によるものと考えられる。一方、間隙円柱の場合には、交番渦の強度が弱いためにこのような水面振動は生じていない。

水路方向流速成分 u の時間平均値を U 、その乱れ強度を u' とする。円柱および間隙円柱の中心から後方 $X=8, 16, 32, 64\text{cm}$ での U と $X=16\text{cm}$ での u' の水路床上 $z=18\text{cm}$ の位置での水路横断方向分布を図-4、図-5 に示す。渦糸モデルによる円柱周りの流れ U の計算値を $\times$ 印で図-4 に示す。

円柱後方 $X=8\text{cm}$ において、円柱の場合は $U/U_0=-0.2$ の逆流が生じているが、間隙円柱の場合には $U/U_0 \approx 0$ となり逆流は生じていない。 $X=32\text{cm}$ における流速は、円柱の場合は $U/U_0=0.5$ となり速度欠損($=U_0-U$)はかなり小さくなっているが、間隙円柱の場合には $U/U_0=0.2$ となり大きな速度欠損が依然と生じている。 $X=16\text{cm}$ における乱れ強度 u' の最大値は、円柱の場合には $u'/U_0=0.4$ であるが、間隙円柱の場合には $u'/U_0=0.25$ と小さくなっている。

円柱の真後ろ $Y=0, z=18\text{cm}$ における U の流下距離 X に対する変化を図-6 に示す。風洞内に鉛直設置した円柱及び間隙円柱に対する石川ら⁴⁾の測定結果を図中に $\blacklozenge$ 、 $\diamond$ 印で示す。円柱の場合は円柱に極近い $0.5 < X/D < 2.2$ の範囲で強い逆流速度が、間隙円柱の場合は円柱から少し離れた $1 < X/D < 3$ の範囲で弱い逆流速度が生じている。これは、間隙円柱が有する透水性により逆流を形成するせん断層の発達が遅れるためである⁴⁾。円柱の場合における流速 U の U_0 への回復は、石川らの結果⁴⁾と同様に間隙円柱に比べて速やかに行われている。これは、円柱の場合には、乱流拡散による運動量の伝達が間隙円柱に比べて素早く行われるためである⁵⁾。

4. おわりに

透水性を有す間隙円柱の場合は、円柱に比べて、変動揚力が減少し流速と乱れの低減効果が大であることを確認した。

5. 参考文献

- 1) 林建二郎 他：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) 日本流体力学会編：流体力学ハンドブック，pp.237-238，1987。
- 3) 岩垣雄一・榎木 亨：海岸工学，共立出版，pp.161-163，1979。
- 4) 石川仁 他：樹木の後ろの流れ，日本流体力学会年会 2003 講演論文集，pp.2003。
- 5) 村井宏他：日本の海岸林，ソフトサイエンス社，pp.240-264，1992。

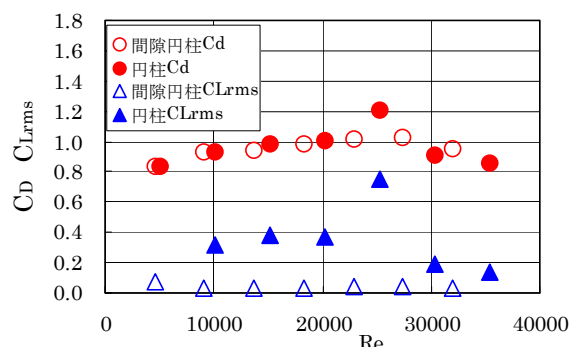


図-3 レイノルズ数と抗力係数、揚力係数の関係

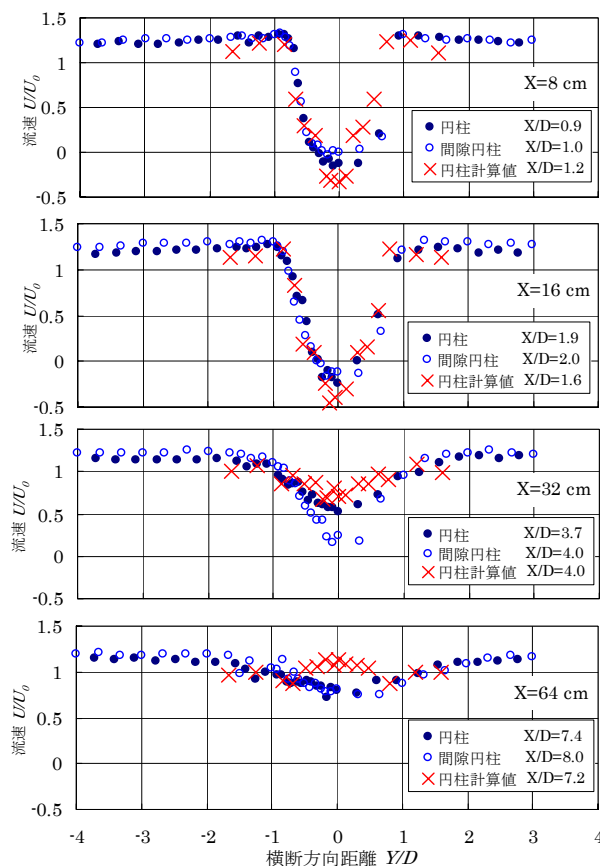


図-4 円柱後方横断方向流速分布

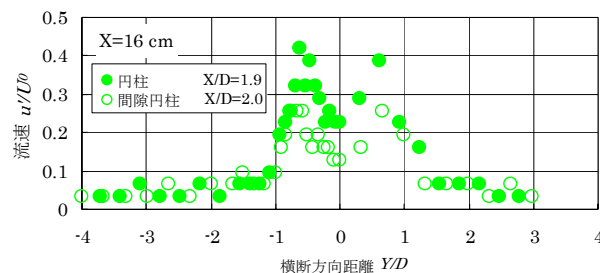


図-5 円柱後方横断方向乱れ強度分布

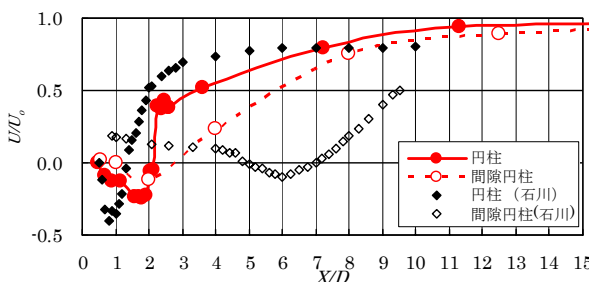


図-6 平均時間流速の主流方向分布