

II -113

開水路中に設置された円柱群に作用する流体力に関する実験

防衛大学校 正会員 林建二郎 学生員 坂口 誠
藤井優宏 正会員 重村利幸

1. はじめに 環境問題の高まりとともに、河道内樹林の保護・育成やその積極的な利用が重要視されている。砂防事業においては、樹林帯により流出土砂を捕捉する工法も計画・施工されている^{1),2),3)}。しかし、河道内樹林は大きな粗度であり、その抵抗則を把握することは洪水対策面から重要である^{4),5)}。本研究は、流れに対する樹林帯の強度特性やその抵抗則に関する基礎的な実験として、開水路中の円柱群に作用する流体力の直接計測を行ったものである。

2. 実験装置および方法 実験には、長さ16m、幅 $B=0.5\text{m}$ 、高さ 0.5m の両面ガス張りの可変勾配開水路を使用した。水路床はベニヤ板で仕上げられている。水路途中の長さ 3.6m の区間には、全水路床幅にわたって樹林模型を鉛直に設置した。樹林模型には、外径 $D=1\text{cm}$ 、高 40cm のアクリル製円柱を用い、図-2に示すように千鳥状に配置した。正三角形をなす円柱の中心間隔は $S=8.3\text{cm}$ である。樹林帯密度 λ （河床単位面積に占める樹林の断面積、 $\lambda=\pi D^2/(2\sqrt{3}S^2)$ ）は 0.013 である。密度 a （流体単位体積当たりの樹林の遮蔽面積、 $a=2D/(\sqrt{3}S)$ ）は 0.0168 である。流れによる円柱の振動を抑えるために、円柱群の上端はベニヤ板で固定されている。

実験は、流量を $Q=0.013, 0.035, 0.062\text{m}^3/\text{s}$ の3種類、水路勾配を $i_0=0, 1/1000, 1/500, 1/100, 1/50$ の5種類と変化させた、計15ケースで実施した。図-3に示すように3分力計に外径 $D=1\text{cm}$ のステンレス棒を鉛直に設置し、円柱群の中央位置($x=0$)における水路中央線上($y=0$)の円柱1本に作用する、流れ方向の流体力 F_x （抗力）、横断方向の流体力 F_y （揚力）、ならびに F_x による3分力計まわりのモーメント M_y を計測した。流速の計測にはレーザードップラー流速計を用いた。流量 Q の計測には循環用水路内に設けた全幅堰を用いた。本水路中に同円柱を一本のみ鉛直に設置した場合（単独円柱、 $\lambda=0$ ）の F_x, F_y, M_y も同様に計測した。

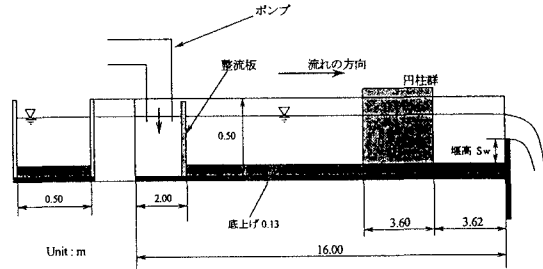


図-1 実験装置の概略

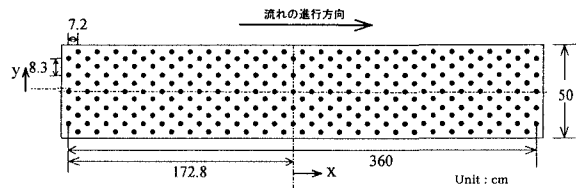


図-2 円柱群の配置図

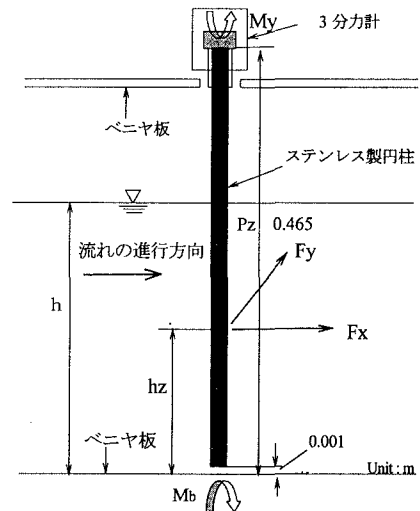


図-3 流体力計測用円柱の設置概要

キーワード：樹林帯、流体力、抗力係数、開水路流れ、粗度係数

連絡先 〒239 横須賀市走水 1-10-20

Tel 0468-41-3810

Fax 0468-44-5913

3. 結果および考察

直径 D の円柱に作用する抗力 F_x を、(1)式で評価する。

$$F_x = (1/2) \cdot C_D \cdot \rho \cdot D \cdot h \cdot v^2 \quad \text{----(1)}$$

ここに、 C_D ：抗力係数、 ρ ：水の密度、 h ：水深、 v ：円柱群内流れの断面平均流速である。単位面積当たり N 本の円柱を有する床面の合成粗度係数 n は、(2)、(3)で示される。

$$n_e = (1/v) \cdot h^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad \text{----(2)}$$

$$n_c = \{n_b^2 + C_D \cdot D \cdot h^{1/3} \cdot N / (2g \cdot (1 - \lambda))\}^{1/2} \quad \text{----(3)}$$

ここに、 B ：水路幅、 I_e ：エネルギー勾配、 n_b ：水路床の粗度係数（ベニヤ板、 $n_b \approx 0.01$ ）、 C_D ：円柱の抗力係数、 λ ：樹林帯密度（ $\lambda = N \cdot \pi \cdot D^2 / 4$ ）、である。

実測された抗力 F_x 、水深 h 、ならびに平均流速 v を、(1)式に代入して得られた抗力係数 C_D と Re 数（ $=v \cdot D / \nu$ 、 ν ：水の動粘性係数）の関係を図-4 に示す。円柱群中の本円柱の C_D は 1.3 ～ 1.9 であり、一様流中に置かれた円柱の C_D （ ≈ 1.2 ）より大きい。

3 分力計で計測された抗力 F_x と抗力モーメント M_y より F_x の合力作用点を算定した。水路床面から合力作用点までの距離 hz は、(4)式で示される。式中の p_z は、水路床面から 3 分力計内の M_y 計測点までの距離である。従って、 F_x による水路床面まわりのモーメント M_b は(5)式で示される。 M_b は、流水による樹木倒伏の判定に必要な外力モーメントである⁶⁾。

$$hz = p_z - M_y / F_x \quad \text{----(4)} \quad M_b = F_x \cdot hz \quad \text{----(5)}$$

F_x と M_y の実測値を(4)式に代入して得られた hz と Re 数との関係を図-5 に示す。円柱群内では水深方向の流速分布が一様化する結果^{2),3),5)}、 hz は水深 h のほぼ 1/2 となっている。

実測された、 v 、 h 、 I_e 、ならびに C_D を(2)式と(3)式に代入して得られた粗度係数 n_e と n_c の比較を図-6 に示す。両者の一致は良好である。図中に示す実線は、 $C_D=1$ 、1.4、ならびに 1.8 を用いた(3)式による計算値 n_c である。水深 h の $2/3$ 乗に比例して粗度係数 n_e 、 n_c は増加することが分かる⁴⁾。

円柱群内の一本円柱の抗力係数 C_D と樹林帯密度 λ との関係を図-7 に示す。図中の●印は本実験で得られた C_D 値、×印はエネルギー勾配（等流時は水路勾配）と水深から求められた粗度係数を(3)式等に代入して逆算された C_D の既存値^{2),3),4),5)}、△印は単独円柱に作用する抗力の実測値から決定された C_D の既存値³⁾である。 λ が大きくなると C_D は増加する傾向にある³⁾。

参考文献 1)水山 他：樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果、新砂防、Vol. 42、No.4、1989。2)石川 他：溪畔林をもつ河道における掃流砂量に関する研究、新砂防学会誌、Vol. 51、No. 3、1998。3)平野・橋本 他：樹林帯に作用する土砂・水混相流の流体力と土砂堆積、水工学論文集、第 41 巻、1997。4)福岡・藤田：洪水流に及ぼす河道樹木群の水理的影響、土木研究所報告、第 180 号、1990。5)清水・辻本 他：直立性植生層を伴う流れ場の構造に関する実験的研究、土木学会論文集、No.438/II-17、1991。6)河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)、山海堂、1994。

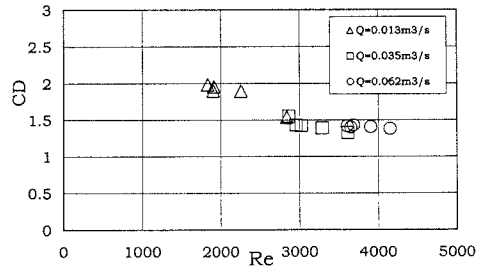


図-4 抗力係数 C_D と Re 数の関係

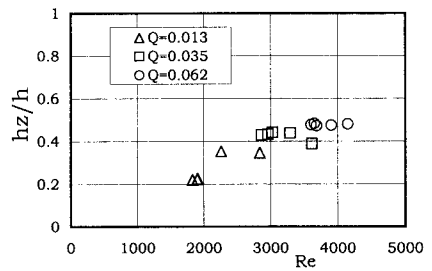


図-5 F_x の合力作用点 hz と Re 数の関係

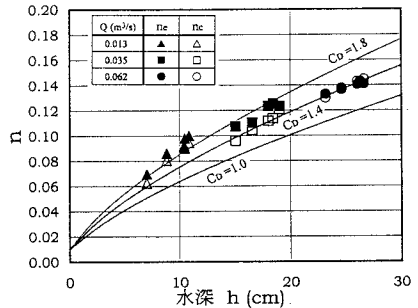


図-6 粗度係数(n_e 、 n_c)と水深 h の関係

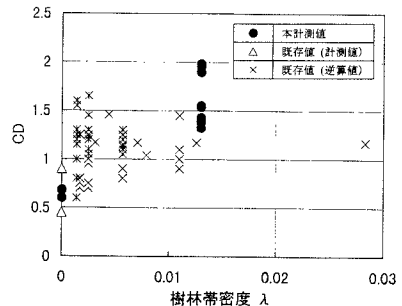


図-7 抗力係数 C_D と樹林帯密度 λ の関係