

防衛大学校 学 生 員 藤 井 優 宏  
正 会 員 林 建 二 郎  
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検討されている。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。本研究は、流れに対する樹林帯の強度特性やその抵抗則をより精度良く把握することを目的として、開水路中に鉛直設置された円柱群に作用する流体力の直接計測を3分力計を用いて行ったものである。

## 2 実験概要

実験には、図-1に示す長さ16m、幅 $B=0.5\text{m}$ 、高さ $0.5\text{m}$ の両面ガラス張りの可変勾配開水路を使用した。水路下流端には、水位調整用の可動堰が設けられている。水路途中の長さ1.8mの区間には、水路床全幅にわたって樹林帯模型円柱群を鉛直に設置した。流れによる円柱の振動を抑えるために、円柱群の上端は穴あきベニヤ板で固定されている。樹林帯模型には、外径 $D=1\text{cm}$ 、高さ60cmのステンレス製円柱を用い、図-2に示すように千鳥状に配置した。正三角形をなす千鳥状に配置された円柱群の中心間隔は、 $S=7.7, 11.1, 20\text{cm}$ の3種類と変化した。模型円柱群の樹林帯密度 $\lambda = \pi D^2 / 2\sqrt{3}S^2$  (河床単位面積に占める樹木の断面積)は、0.0153, 0.0073, 0.0022の3種類である。 $\lambda=0.0153$ の値は、現地においてはかなり密な状態で樹林が生育している場合に相当する。

流体力の計測には、3分力計に外径 $D=1\text{cm}$ のステンレス棒(力計測用円柱)を鉛直に設置し、円柱群の中央位置( $x=0\text{m}$ )における水路中央線上( $y=0\text{m}$ )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。力計測用円柱の下端と水路床との隙間は $1\text{mm}$ 以下とした。

流速の計測にはレーザー流速計を使用した。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。水路側壁ガラス面に設けたスケールを用いて模型円柱群内の水位を目視計測した。力計測用円柱の上・下流側20cm以内の区間における水位の場所的变化より、平均的な水面勾配を求め、力計測用円柱設置点のエネルギー勾配 $I_e$ を算定した。1つの樹林帯密度 $\lambda$ につき流量を $Q=0.031, 0.074\text{m}^3/\text{s}$ の2種類、水路勾配を $i=0, 1/100, 1/50$ の3種類と変化した。それぞれの実験ケースにおいては、可動堰の高さ $S_w$ を調整し、水路内の水位を数種類変化させた。力計測用円柱設置点( $x=0, y=0\text{m}$ )での水深は $h=0.09\sim 0.37\text{m}$ の範囲であった。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。

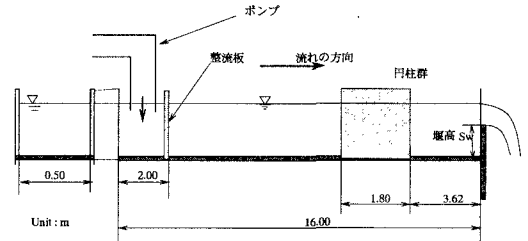


図-1：実験装置の概要

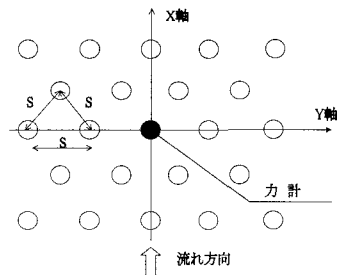


図-2：円柱群配置図

Keyword : 樹林帯, 抗力係数, マニングの粗度係数

連絡先: 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 土木工学教室水工学研究室, tel 0468-41-3811(内 3520)

### 3 結果及び考察

1本の円柱に作用する抗力  $F_x$  を式(1)で評価する。

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \rho D h V^2 \quad \cdots (1)$$

式中、 $C_D$  は抗力係数、 $\rho$  は水の密度、 $D$  は円柱径、 $h$  は水深、 $V$  は水路断面平均流速  $\{V = Q / (1 - \lambda) B h\}$  である。

樹林帯密度  $\lambda$  で円柱群が配置されている水路床部の粗度係数は(2)、(3)式で示される。

$$n_e = \left( \frac{1}{V} \right) h^{\frac{2}{3}} I_e^{\frac{1}{2}} \quad \cdots (2)$$

$$n_e = \left\{ n_b^2 + C_D D 2 \lambda h^{\frac{4}{3}} / (g \pi D (1 - \lambda)) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \cdots (3)$$

式中、 $I_e$  はエネルギー勾配、 $n_b$  は円柱群がない場合の水路床面の粗度係数である。

$\lambda = 0.015$  の場合において、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  $C_D$  と  $Re$  数 ( $Re = VD / \nu$ 、 $\nu$  は水の動粘性係数) の関係を図-3に示す。 $C_D$  は 1.3~1.7 であり、一様流中に置かれた円柱の  $C_D$  ( $\cong 1.0$ ) より大きい。 $C_D$  の  $Re$  数に対する変化は顕著ではない。同様にして得られた  $C_D$  と  $\lambda$  の関係を図-4に示す。 $\lambda = 0$  の単独円柱の場合の  $V$  は水底から  $0.6h$  の点の時間平均流速である。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と水深から求められた粗度係数を(3)式等に代入して求めた  $C_D$  の既存結果<sup>1)</sup>、△印は本実験と同様に抗力計測により求めた既存結果<sup>2),3)</sup>である。 $C_D$  は  $\lambda$  の増加に伴い増加している。

実測された円柱群内の平均流速  $V$ 、水深  $h$ 、エネルギー勾配  $I_e$  ならびに抗力係数  $C_D$  を(2)式、(3)式に代入して得られた  $n_e$ 、 $n_c$  の水深  $h$  に対する変化特性を図-5に示す。円柱群が無い場合の  $u$  の水深方向分布の測定結果より評価した  $n_b$  は 0.01 であった。図中に示す曲線は  $C_D = 1.3$  及び  $C_D = 1.7$  とした場合の(3)式による  $n_c$  の計算値である。 $n_e$  は  $n_c$  と同様に  $h$  の増加に伴い増加しているが、その散らばりは大である。この原因としては、円柱群内においては大きな水面変動が存在するためにエネルギー勾配  $I_e$  を精度よく評価することが困難なためと考えられる。

不等流計算を行い円柱群内の水面形を算定し、実測値との比較を行った。 $i=0$ 、 $Q=0.074 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $\lambda =$

0.015 の結果を 1 例として図-6に示す。限界水深は  $h_c = 0.13 \text{ m}$  である。不等流計算式中の粗度数の算定には(3)式を使用した。実測値である  $n_b = 0.01$  及び  $C_D = 1.5$  を(3)式に代入して得られた  $n_c$  を用いた水位の計算値と実測値の一致は良好である。

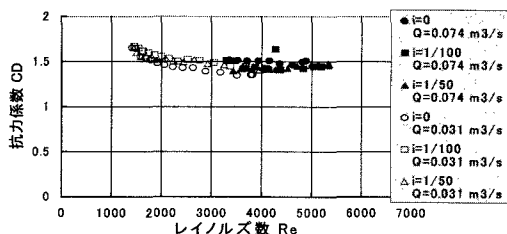


図-3：CDとReとの関係 ( $\lambda = 0.015$ )

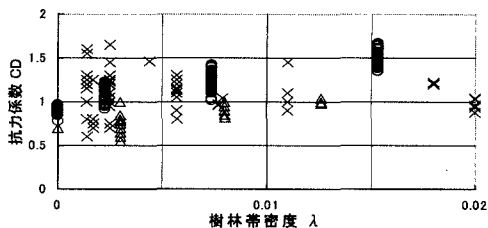


図-4：CDと $\lambda$ の関係

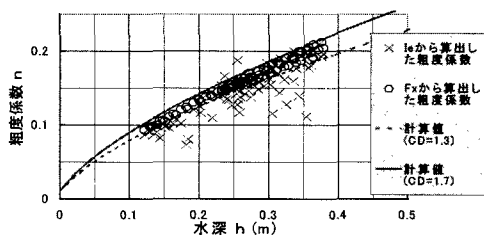


図-5：粗度係数と水深との関係

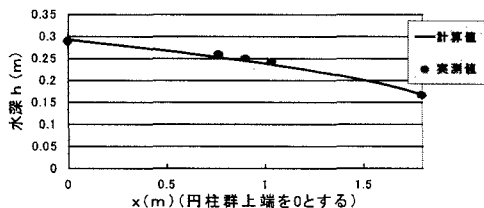


図-6：円柱群内の水面形評価

### 参考文献

- 1) 林 他：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，土木学会年講概要集，II・113，1999
- 2) 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，pp699-704，1997
- 3) 石川 他：河道に存在する樹林に作用する抗力と密度に関する実験的研究，砂防学会研究発表会概要集，pp70-71，1999