

開水路中の円柱群に作用する流体力に関する実験

防衛大学校 学生会員 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、長さ 16m、幅 $B=0.5\text{m}$ 、高さ 0.5m の両面ガラス張りの可変勾配開水路を使用した¹⁾。水路途中には、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。樹林模型には、外径 $D=1\text{cm}$ 、高さ 60cm のステンレス製円柱を用い、図-1 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 S を変化させ、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) を 7 種類変化させた。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

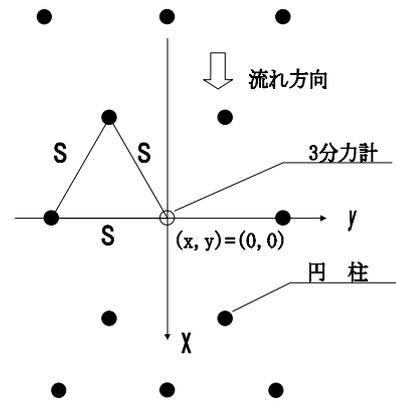


図 1 円柱群詳細図

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 - 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 1mm 以下とした。流量 Q の計測には、循環水路内に設けた全幅堰を用いた。水深の計測には水路側壁ガラス面に設けたスケールを用いて目視計測した。力計測用円柱近傍の水位計測より、局所的な水面勾配を求め、力計測円柱設置点でのエネルギー勾配 I_e を求めた。1 つの樹林帯密度につき流量を $Q=0.030, 0.072 \text{ m}^3/\text{s}$ の 2 種類、水路勾配を $i=0, 1/100, 1/50$ の 3 種類と変化させた。それぞれの実験ケースにおいては、水路下流端に設けた可動堰の高さ S_w を調整し、水路内の水位を数種類変化させた。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, $S=$ と考えられるので $=0$) の F_x, F_y, M_y も同様に計測した。

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。

$$F_x = 0.5 C_D \rho D h V^2 \quad \dots(1)$$

式中、 C_D は抗力係数、 ρ 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。

樹林帯密度の円柱群が有する粗度を水路床部の粗度を含めたマンニングの合成粗度係数は、 V, h, I_e を用いると(2)式で、一方、円柱群中の 1 本円柱に作用する抗力を(1)式で評価すると(3)式で示される。

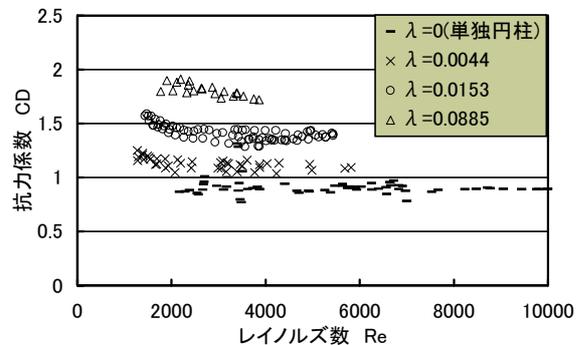


図 2 C_D と Re の関係

キーワード: 樹林帯, 抗力係数, 粗度係数, 水面形

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)

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

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

式中, n_b は円柱群がない場合の水路床面の粗度係数である。流れ方向流速の鉛直方向流速分布の測定結果より評価した n_b は 0.01 であった。

$\lambda = 0, 0.0044, 0.0153, 0.0885$ 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 ($Re = VD / \nu$, ν は水の動粘性係数) の関係を図-2 に示す。 C_D は一様流中に置かれた円柱の C_D ($= 1.0$) 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 n の関係を図-3 に示す。図中の印は本実験で得られた C_D 値, -印は V, I_e や h を(2)式に代入して求めた粗度係数 n_e を(3)式等に代入して逆算した C_D の既存結果²⁾, 印は本実験と同様に抗力計測により求めた C_D の既存結果^{3),4)} である。 C_D は λ の増加に伴い増加している。

一例として, $\lambda = 0.0153$ の場合における n_e, n_c の水深 h に対する変化特性を図-4 に示す。 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。 n_c をパラメータとして n_e の水深に対する特性を図-5 に示す。図中に示す曲線は, それぞれの λ において実測された C_D の代表値を用いた(3)式による計算値 n_c の値である。

不等流計算を行い円柱群内の水面形を算定し, 実測値と比較した結果を $\lambda = 0.0153, 0.0329$ について図-6 に示す。実測値である $n_b = 0.01$ 及び $C_D = 1.4, 1.6$ 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。

参考文献

- 1) 藤井 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, 土木学会関東支部講演概要集, pp226-227, 2000
- 2) 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, pp260-261, 1999
- 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, pp699-704, 1997
- 4) 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

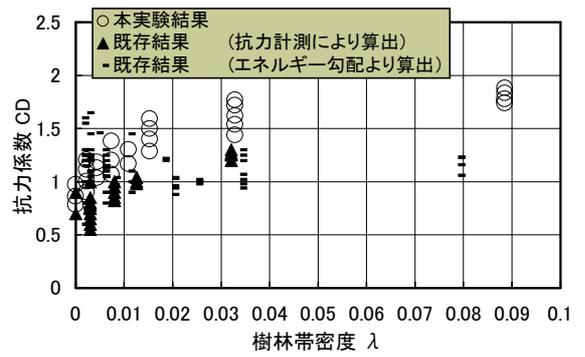


図 3 C_D と λ の関係

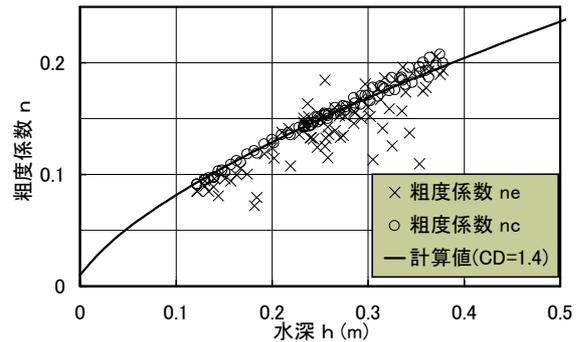


図 4 n と h の関係 ($\lambda = 0.0153$)

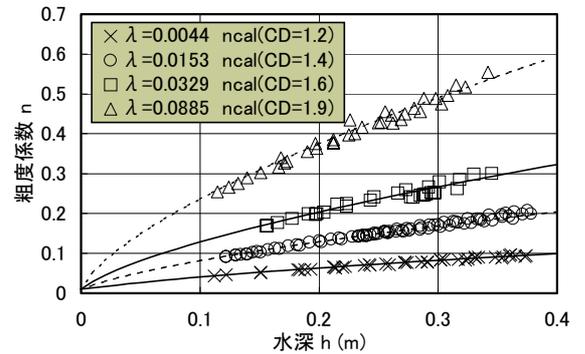


図 5 n_c と h の関係

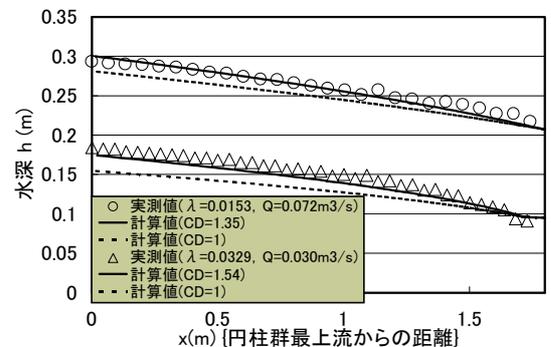


図 6 水面形の評価

($x=0$: 円柱群最上端, $x=1.8$: 円柱群最下端)