

開水路中での単一円柱および円柱群を構成する個々の円柱に対する抗力係数

東洋大学理工学部 学生員 ○梶田 大志
 東洋大学理工学部 正会員 青木 宗之
 東洋大学理工学部 非会員 西 祐生
 東洋大学大学院 学生員 坂間 睦美

1. はじめに

円柱は、樹木群や杭水制の疑似として用いられていることが多く、単一円柱および円柱群の抗力係数 C_D は、同様の値として扱われている。この抗力係数 C_D は一様流速中における単一円柱の抗力係数 $C_D^{(1)}$ であり、概ね 1.0 とされている。しかし、実際の流体中には流速分布が存在するため、単一円柱と円柱群の抗力係数 C_D の値は異なる可能性がある。なお、抗力係数 C_D と流体力 F_{Dx} の関係は以下のとおりである。

$$F_{Dx} = \frac{1}{2} \rho C_D A U^2 \Leftrightarrow C_D = \frac{2F_{Dx}}{\rho A U^2} \quad (1)$$

ここに ρ : 水の密度 ($=1,000(\text{kg/m}^3)$)、 A : 円柱の投影面積 ($=D \times h(\text{m}^2)$)、 D : 円柱直径(m)、 h : 代表水深(m)、 U : 代表流速(m/s)である。

個々の円柱に対する抗力係数 C_D をより明確にすることで、円柱群内の流れをより詳細に予測することができると考えられる。そこで本研究では、単一円柱および円柱群の基本的な抵抗特性を見出し、その抗力係数 C_D の精査を行うことを目的として実験を行った。

2. 実験概要

水路全長 1,092(cm)、水路幅 $B=80(\text{cm})$ 、水路勾配 1/500 の単断面開水路中に円柱を設置した(図-1)。円柱は $D=1.0(\text{cm})$ のステンレス円柱を用い、常に水没しない高さとした。なお、単一円柱および円柱群を構成する個々の円柱に作用する流体力 F_{Dx} は、歪みゲージ式 3 分力計を用いて直接計測した(図-2)。代表流速 U および代表水深 h は対象円柱の上流 1(cm)の地点で計測した。流速はプロペラ式流速計、水深はポイントゲージを用いて計測した。なお、代表流速 U は 1 点法における水深方向の平均流速 u を用いた。

表-1 に、実験ケース一覧を示す。流量 $Q=16.0(\text{l/s})$ とし、円柱本数 T や円柱配列、設置間隔を変化させた。Run1 は単一円柱で、円柱の設置位置を水路横断方向に変化させた。Run2 および Run3 は円柱群とし、円柱の縦断・横断設置間隔 s を Run2 は 4(cm)、Run3 は 8(cm) とした。また、Run2-1、Run3-1 を整列配列、Run2-2、Run3-2 を千鳥配列とした。

3. 実験結果

円柱がない場合の流速 u と Run1 における流体力 F_{Dx} の横断方向の分布は、 $y=40(\text{cm})$ を基準に概ね左右対称と

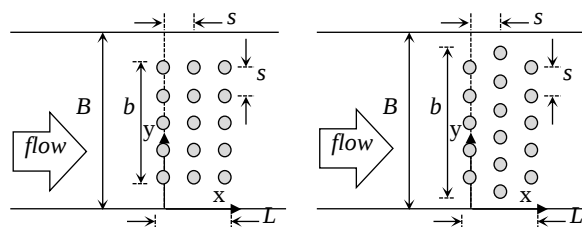


図-1 円柱設置概要（左：整列配列，右：千鳥配列）

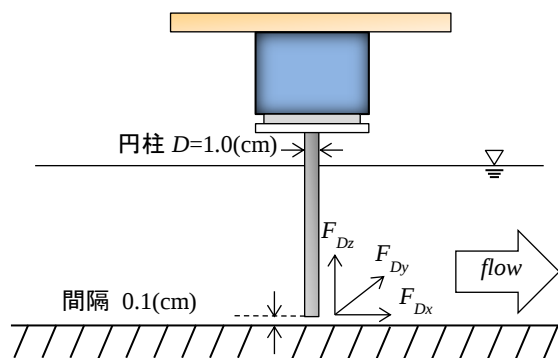


図-2 歪みゲージ式 3 分力計設置概要

表-1 実験ケース一覧

a) Run1 (単一円柱)

実験ケース	縦断方向 円柱設置座標(cm)	横断方向 円柱設置座標(cm)
Run1-1	x=0	y=8
Run1-2	x=0	y=16
Run1-3	x=0	y=24
Run1-4	x=0	y=32
Run1-5	x=0	y=40
Run1-6	x=0	y=48
Run1-7	x=0	y=56
Run1-8	x=0	y=64
Run1-9	x=0	y=72

b) Run2, Run3 (円柱群)

実験ケース	円柱 本数 T(本)	円柱 配列	縦断・横断 設置間隔 s(cm)	円柱群 長さ L(cm)	円柱群 幅 b(cm)
Run2-1	361	整列	4	73	73
Run2-2	370	千鳥	4	73	77
Run3-1	90	整列	8	73	66
Run3-2	95	千鳥	8	73	73

なった(図-3)。そのため、Run2 および Run3 の計測は、水路右岸から中央まで ($y=0(\text{cm}) \sim 40(\text{cm})$) とした。右

キーワード 流速分布、円柱群、抗力係数、流体力

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科 水工学研究室 TEL.049-239-1406

岸 ($y=8(\text{cm})$) および中央 ($y=40(\text{cm})$) における流速の縦断方向変化図を図-4 に示す。整列配列の場合、上流から下流に向けて流速が徐々に減少傾向にあるが、Run2-1 では、 $x=3(\text{cm})$ での流速 u は $x=-1(\text{cm})$ での流速 u に比べて3割程度低減した。これは、 s/D が4であるため、直前の円柱の後流の影響²⁾を受けたためだと考えられる。しかし、Run3-1 では $s/D=8$ であるため、1割程度の低減しか見られなかった。千鳥配列の場合、Run2-2 は下流に向かって流速 u が増加したが、Run3-2 では流速 u は概ね $0.17(\text{m/s})$ 程度となり、設置間隔の違いにかかわらず、後流の影響による流速 u の大幅な低減が見られなかった。

流体力 F_{Dx} の縦断方向変化図を図-5 に示す。整列配列の場合、流体力 F_{Dx} は流速 u と同様に減少傾向で、 $x=0(\text{cm})$ から $x=72(\text{cm})$ の範囲で Run2-1 では約4割、Run3-1 は約7割減少した。Run2-2 は千鳥配列であるため、 y 軸上の円柱の設置間隔 $8(\text{cm})$ となる。そのため、後流の影響を受けず、流体力 F_{Dx} は流速 u と同様に増加傾向にあり、約3割増加した。Run3-2 は後流の影響を受けず、増加せずに概ね $0.04(\text{N})$ となった。

抗力係数 C_D の算出は計測した水深、流速および流体力から(1)式を用いて求めた。また、抗力係数 C_D の縦断方向変化図を図-6 に示す。Run2-1 の場合、 $x=4(\text{cm})$ の抗力係数 C_D は $x=0(\text{cm})$ の抗力係数 C_D に比べて約2.0増加した。Run2-2 は流速、流体力ともに増加しており、(1)式より抗力係数 C_D は概ね2.0となった。Run3 は流速 u および流体力 F_{Dx} に後流の影響が見られなかったため、抗力係数 C_D の値が3割以上増加する傾向は見られなかった。Run3-1 では、抗力係数 C_D の値は下流に向かって徐々に減少し、 $1.0 \sim 1.5$ 程度の値となった。また、Run2-2 および Run3-2 では、抗力係数 C_D は概ね一定値となり、2.0程度の値となった。

抗力係数 C_D と円柱直径を代表長さとしたレイノルズ数 Re_D の関係を図-7 に示す。整列配列である Run2-1、Run3-1 においては、抗力係数 C_D が約1.0となる場合もあった。しかし、全ケースの抗力係数 C_D は概ね2.0以上の値となり、一様流速中の単一円柱の抗力係数 $C_D^{(1)}$ とは異なる値となった。そのため、単一円柱と円柱群の抗力係数 C_D は等しいとは言えないと考えられる。

4. まとめ

流速分布を有する開水路中における円柱の抗力係数 C_D は、一様流速中の単一円柱の抗力係数 $C_D^{(1)}$ とは異なる値を示した。Run2-1 の場合、上流から2本目 ($x=4(\text{cm})$) の円柱では、流速 u が低減することにより抗力係数 C_D は増加した。Run3-1 の場合には、抗力係数 C_D の著しい増加は見られず、減少傾向にあった。千鳥配列の場合、抗力係数 C_D は概ね一定値となり、2.0程度となった。

参考文献

- 1) 本間 仁：標準水理学，丸善，p.151, 1984
- 2) 永井莊七郎，倉田克彦：開水路流れの中の円柱の相互干渉，土木学会論文報告集，第196号，pp.57-64, 1971

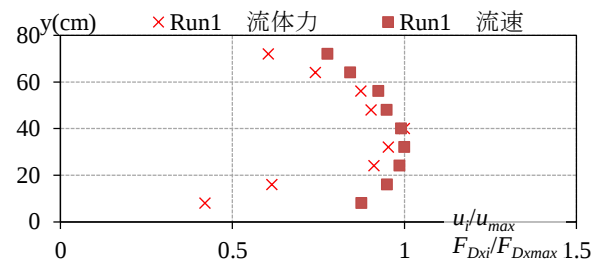


図-3 横断方向の流速および流体力の分布

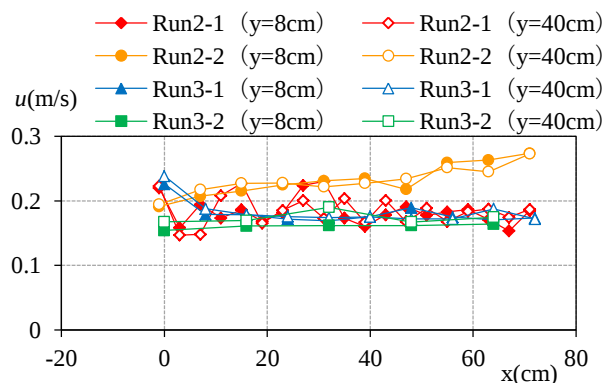


図-4 Run2, Run3 における流速の縦断方向変化図

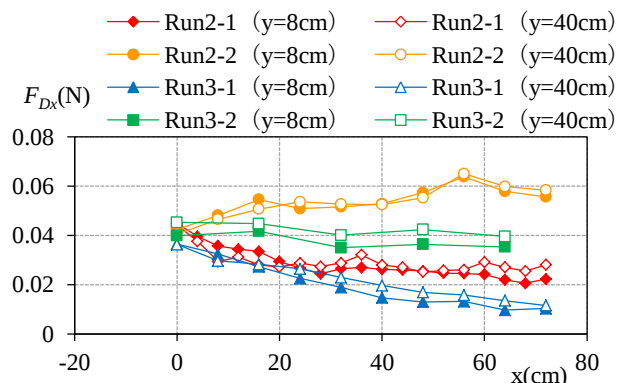


図-5 Run2, Run3 における流体力の縦断方向変化図

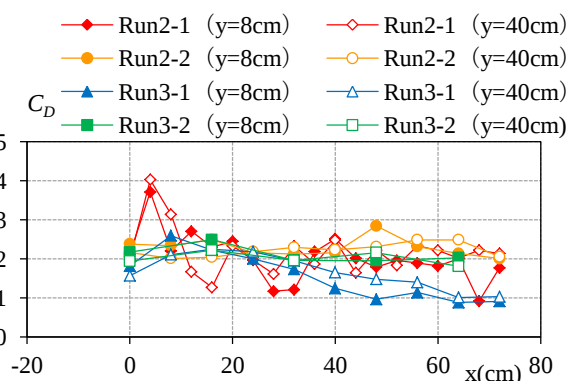


図-6 Run2, Run3 における抗力係数 C_D の縦断方向変化図

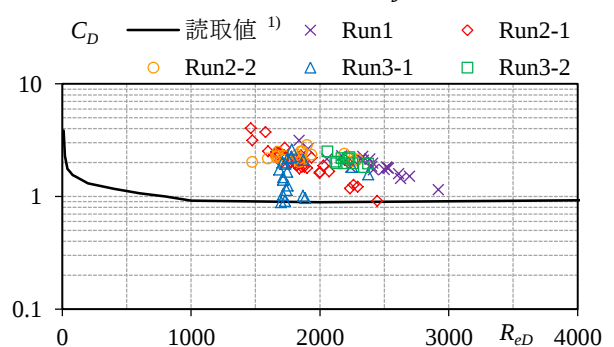


図-7 抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D の関係