

単断面開水路中に設置された円柱群の抵抗特性

東洋大学理工学部 学生員 ○坂間 睦美
 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 赤木隆太郎
 東洋大学大学院 学生員 菊池 裕太

1. はじめに

単一円柱の抗力係数 C_D は一定流速を用いた結果が一般的であるが¹⁾, 実際の流体中には流速分布が存在するため, 単一円柱と円柱群では抗力係数 C_D の値は異なる可能性がある. 一方で, 既往研究では樹木や杭水制, 植生などを疑似するために, 円柱がよく用いられている²⁾. これらは, 単一円柱や円柱群として用いられており, 抗力係数 C_D は概ね 1.0 とされている. 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(kg/m³)), A : 円柱の投影面積 (= $D \times h$ (m²)), h : 代表水深(m), U : 代表流速(m/s)である.

抗力係数 C_D は, 例えば河川管理において樹木群が洪水時の水位上昇の要因の一つとなっており, 水位予測計算等では $C_D=1.0$ としてしばしば用いられてきている. その際, 樹木群が有する抵抗特性をより明確にし, 適切な抗力係数 C_D を用いることで, より適切な樹木管理を行うことができると考えている. そこで本研究では, 抗力係数 C_D を算出する際に, 適切な代表流速 U および代表水深 h を明確にすることを目的とし, 実験を行った.

2. 実験概要

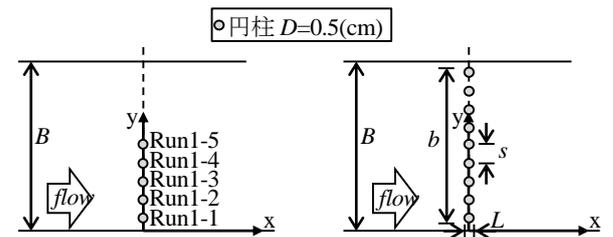
表-1 に, 実験ケース一覧を示す. 流量 $Q=4.0$ (l/s)とし, 円柱本数 T や円柱配列を変化させた. Run1 は単一円柱であり, 円柱の設置位置を横断方向に変化させた. Run2 および Run3 は円柱群とし, Run2 は横断方向に1列, Run3 は3列とした. Run3-1 は整列配列, Run3-2 は千鳥配列である. 円柱群の横断方向設置間隔 s , 縦断方向設置間隔 l は 2(cm)とした. なお, 密度度 λ は以下のとおりである.

$$\lambda = \frac{T \cdot \pi D^2 / 4}{b \cdot L} \quad (2)$$

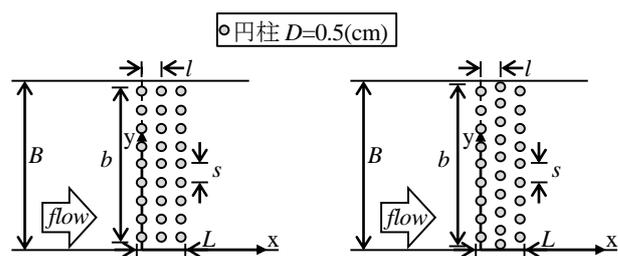
ここに T : 円柱本数(本), b : 円柱群設置幅(cm), L : 円柱群設置長さ(cm), D : 円柱直径(cm)である.

表-1 実験ケース一覧

a) Run1				
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=2		
Run1-2	x=0	y=4		
Run1-3	x=0	y=6		
Run1-4	x=0	y=8		
Run1-5	x=0	y=10		
b) Run2 および Run3				
実験ケース	円柱本数 T (本)	円柱群長さ L (cm)	円柱群幅 b (cm)	密度度 λ
Run2	9	0.5	16.5	2.1×10^{-1}
Run3-1	27	4.5	16.5	7.1×10^{-2}
Run3-2	28	4.5	18.5	6.6×10^{-2}



a) Run1 (左: 単一円柱) および Run2 (右: 1列円柱群)



b) Run3-1 (左: 整列配列) および Run3-2 (右: 千鳥配列)

図-1 円柱設置概要

水路全長 800(cm), 水路幅 $B=20$ (cm), 水路勾配 1/500 の単断面開水路中央部に円柱を設置した (図-1). 円柱は, 直径 $D=0.5$ (cm) のステンレス円柱である. 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

キーワード 開水路, 円柱群, 抗力係数, 流体力

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 TEL.049-239-1406 E-mail : s16E01200876@toyo.jp

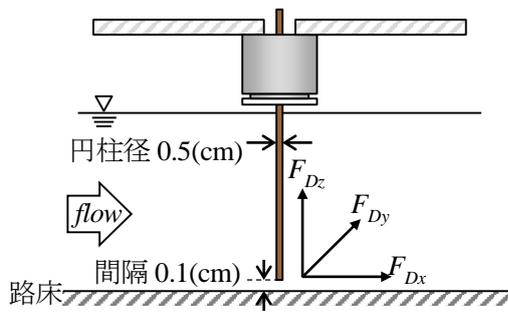


図-2 歪みゲージ式三分力計の設置概要

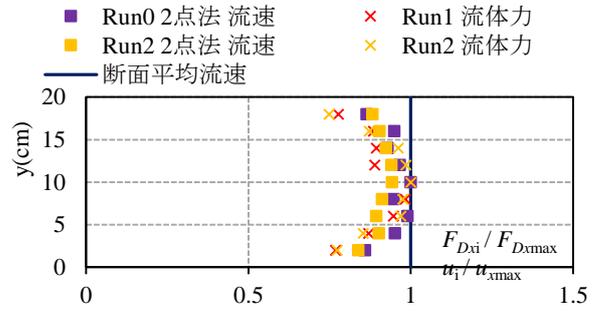


図-3 横断方向の流速および流体力の分布

-2). 流速および水深は, Run1 および Run2 では円柱の 1(cm)上流から 5(cm)上流, Run3 では 1(cm)上流から 9(cm)上流までを縦断方向に 1(cm)間隔で計測した. なお, 流速は 1 点法, 2 点法, 3 点法における水深方向の平均流速および断面平均流速 u_m を用いて抗力係数 C_D を算出した.

3. 実験結果

ここでは, 2 点法および断面平均流速の結果を示していく. Run1, Run2 での 2 点法における水深方向の平均流速 u と流体力 F_{Dx} の横断方向の分布は概ね値は一致した (図-3). そのため, 流速分布が存在することにより, 抗力係数 C_D は U と h により変化することを再確認した.

図-4 に, 各測点の u, u_m およびそれらの流速を用いて算出した C_D を示す ($y=10(\text{cm})$). 2 点法における水深方向の平均流速 u を用いて算出した C_D は, $x=-2(\text{cm})$ より上流の u よりも円柱直前 ($x=-1(\text{cm})$) の u で算出 C_D が 0.46 増大した. u_m を用いた C_D は, $x=-5(\text{cm}) \sim x=-1(\text{cm})$ の区間で変化が見られなかった. 一方, Run3-1 では円柱直後 ($x=1(\text{cm})$) の C_D は 0.60 減少した.

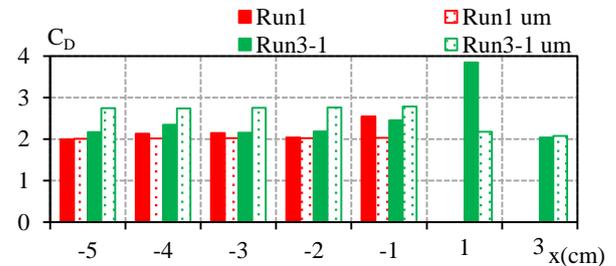
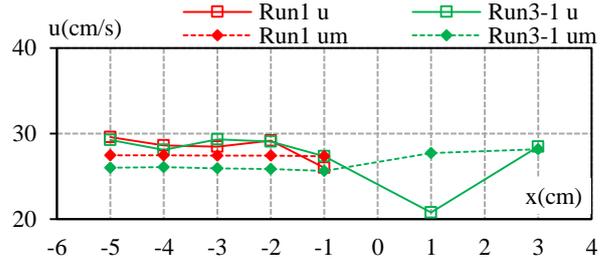


図-4 各測点の u, u_m および算出した抗力係数 C_D ($y=10(\text{cm})$)

図-5 に, 抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D の関係を示す. 各ケースの C_D は, Run1 は 1.8~2.6, Run2 では 2.2~3.9, Run3-1 では 1.6~5.3, Run3-2 では 1.7~6.2 であり, 一様流体中の単一円柱の結果 (読み取り値¹⁾) と一致しなかった. これは, 円柱に作用する力は, 円柱の接近流速による影響が大きいためだと考えられる. そのため, C_D を算出する際に, 代表流速 U および代表水深 h の適切に定めておく必要があるといえる. 本実験において, 適切な代表流速 U を明確にするまでは至らなかったが, 著者らは円柱の延長上 (流下方向) で計測された流速を用いることが妥当であると考えている.

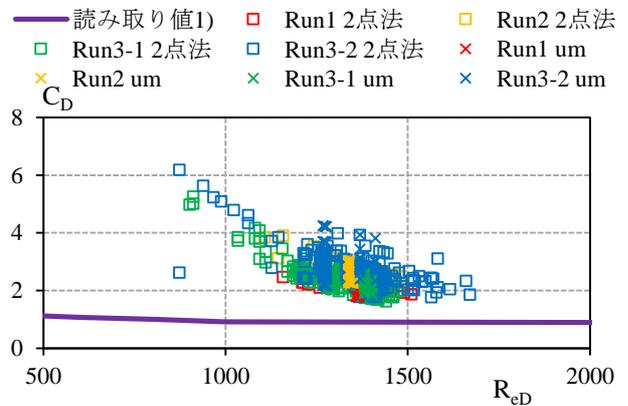


図-5 本実験での抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D の関係

4. まとめ

2 点法における水深方向の平均流速を用いた場合と断面平均流速を用いた場合の抗力係数 C_D は, 単一円柱および 1 列円柱群では概ね値は近似することが分かった. し

かし, 3 列円柱群では値は近似せず差が生じたため, 単一円柱と円柱群では異なる抗力係数 C_D の値を有することが示唆された.

参考文献

- 1) 本間仁: 標準水理学, 丸善, p.151, 1984
- 2) 青木宗之, 吉野 隆, 福井吉孝: 開水路中の杭水制に作用する流体力とその抵抗係数について, 土木学会応用力学論文集, 第 12 巻, pp.831-840, 2009