

設置位置の異なる円柱群の抵抗特性について

東洋大学大学院 学生員 ○坂間 睦美
 東洋大学理工学部 正会員 青木 宗之

1. はじめに

円柱は、杭水制や樹木群の疑似としてよく用いられており、単一円柱や円柱群の抗力係数 C_D は、一様流速を用いて算出した単一円柱の抗力係数 $C_D^{(1)}$ が用いられてきている。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 は異なると考えられる。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)), D : 円柱直径(m), h : 代表水深(m), U : 代表流速(m/s)である。

円柱群の有する抵抗特性をより明確にし、杭水制や樹木群に適切な抗力係数 C_D を適用することで、より適切な河川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、円柱群の設置位置を変化させ、円柱群の基本的な抵抗特性を見出すことを目的とし、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 $Q=16.0$ (l/s) とし、Run1 を 1 列円柱群, Run2 を 整列配列の 3 列円柱群とし、円柱群の横断方向設置間隔 s , 縦断方向設置間隔 l はともに 4(cm) とした (図-1)。原点から円柱の中心までの距離は、Run1-1 では $y=4$ (cm), Run1-2 では $y=40$ (cm), Run2-1 では $y=4, 8, 12$ (cm), Run2-2 では $y=36, 40, 44$ (cm) として円柱群を設置した。なお、それぞれ密生度 λ を変化させずに、円柱群の設置位置を変化させた (図-2)。円柱は、直径 $D=1.0$ (cm) のステンレス円柱を用い、幅 $B=80$ (cm), 全長 1092(cm), 水路勾配 1/500 の単断面開水路中に設置した。密生度 λ は、以下のとおり定義した。

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

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)である。

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測定した (図-3)。代表流速 U および代表水深 h は対象円柱の上流 2(cm) の地

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	流量 Q (l/s)	円柱本数 T (本)	列数	円柱群		密生度 λ
				設置位置	幅 b (cm)	
Run1-1	16.0	19	1	右岸	1.0	2.0×10^{-1}
Run1-2				中央	1.0	
Run2-1	16.0	57	3	右岸	9.0	6.8×10^{-2}
Run2-2				中央	9.0	

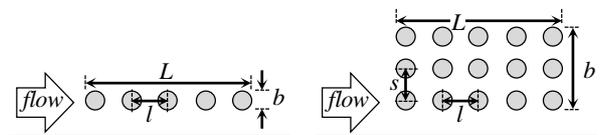


図-1 円柱群配列 (左: Run1, 右: Run2)

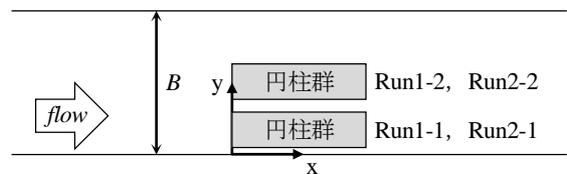


図-2 円柱群設置位置概略図

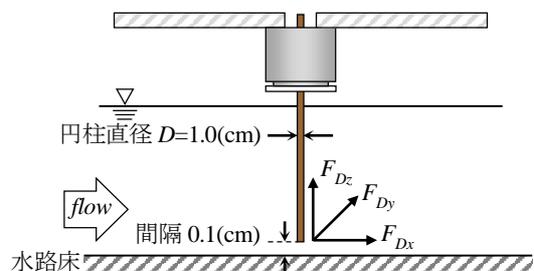


図-3 歪みゲージ式 3 分力計の設置概要

点で測定を行った。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。

3. 実験結果

図-4 に、Run1-2, Run2-2 (水路中央) の流速 u および流体力 F_{Dx} の縦断方向変化図を示す。なお、Run2-2 は $y=40$ (cm) に設置された円柱群の結果を示している。Run1-2, Run2-2 とともに、 $x=2$ (cm) での流速 u は $x=-2$ (cm) での流速 u に比べて 7~8 割低減した。また、 $x=4$ (cm) での流体力

キーワード 円柱群, 抵抗特性, 流体力, 代表流速

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 河川・環境研究室 Tel.049-239-1406

F_{Dx} は、 $x=0(\text{cm})$ での流体力 F_{Dx} に比べて 5 割程度低減した。これは、本実験での l/D が 4 であるため、直前の円柱の後流の影響³⁾を受けたためであると考えられる。

図-5 に、各 Run における抗力係数 C_D の縦断方向変化図を示す。なお、Run2-1 は $y=4(\text{cm})$ 、Run2-2 は $y=40(\text{cm})$ の結果である。Run1, Run2 とともに、 $x=4(\text{cm})$ の抗力係数 C_D は $x=0(\text{cm})$ に比べて大きくなっていることが分かる。その後、抗力係数 C_D は減少し $x=20(\text{cm})$ 程度で収束した。Run1 では 3.0、Run2 では 5.0 程度の値となった。なお、流速 u も同様の箇所で概ね収束している。

図-6 に、抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D の関係を示す。一樣流速中での単一円柱の抗力係数 C_{D1} と同様に、レイノルズ数 Re_D が小さくなると抗力係数 C_D が大きくなる傾向にあった。しかし、全体的に一樣流速中での単一円柱の抗力係数 C_{D1} よりも大きくなった。レイノルズ数 Re_D が 500 程度で抗力係数 C_D は 1.6~30 であり、その値は大きく乖離した。これは、円柱群を構成する上流から 2 本目の円柱が、後流の影響を特に大きく受け、抗力係数 C_D が大きくなったためだといえる。なお、図-6 中には既往研究⁴⁾の結果を示している。既往研究⁴⁾の結果は、整列配列の 3 列円柱群を水路横断方向に設置したものであり、流量 Q および密度 λ は本研究と同様である。本研究および既往研究⁴⁾における抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D は同様の傾向を示していることから、円柱群の設置方向による抗力係数 C_D の値に大きな差異はないことが示唆された。

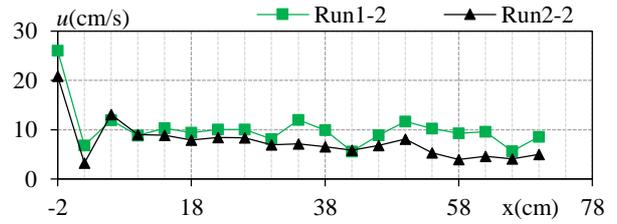
4. まとめ

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 が増大した。その後、抗力係数 C_D は減少して収束した。円柱群を構成する個々の円柱の抗力係数 C_D は、一樣流速中での単一円柱の抗力係数 C_{D1} と同様の傾向を示したが、特に $x=4(\text{cm})$ から $x=20(\text{cm})$ では大きくなる傾向を示した。また、円柱群の設置方向による抗力係数 C_D は大きな差異はないことが示唆されたが、配列の違いによる結果に関しては、今後検討していくべきだと考えられる。

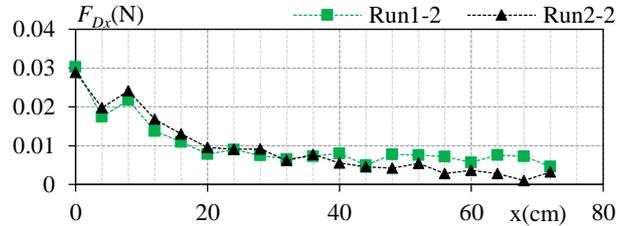
謝辞：本研究は、東洋大学理工学部長施策研究助成の一部を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 青木, 吉野, 福井：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
- 2) 本間 仁：標準水理学, 丸善, p.151, 1984
- 3) 永井 荘七郎, 倉田 克彦：開水路流れの中の円柱の相互干渉,

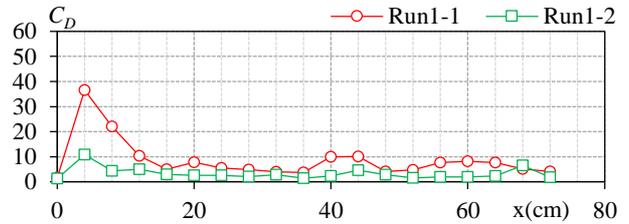


a) 流速 u

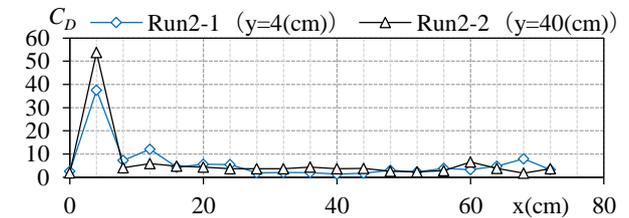


b) 流体力 F_{Dx}

図-4 Run1-2 および Run2-2 ($y=40(\text{cm})$) 縦断方向変化図



a) Run1



b) Run2

図-5 各 Run における抗力係数 C_D 縦断方向変化図

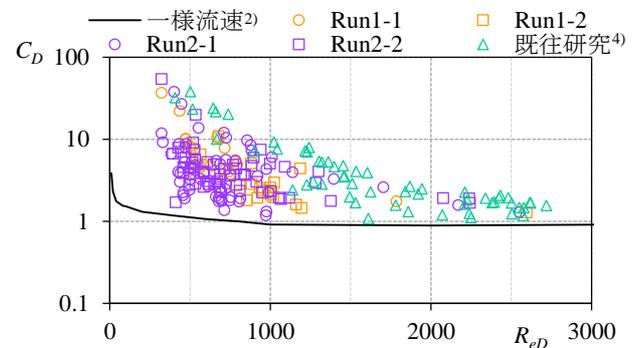


図-6 抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re_D の関係

土木学会論文報告集, 第 196 号, pp.57-64, 1971

- 4) 坂間, 青木, 赤木, 菊池：単断面開水路中に設置された円柱群の抵抗特性, 第 43 回関東支部技術研究発表会, II-43, 2015