

円柱群周辺の流れの再現について

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
 東洋大学大学院 学生員 齋藤 圭汰
 東洋大学理工学部 学生員 船越 智瑛

1. はじめに

円柱群の抗力係数 C_D は、一様流速中の単一円柱の値 ($C_D=1.0$)¹⁾ がよく用いられている。しかし、実際の流体中には流速分布が存在するため、場所によっては円柱の C_D は異なる可能性がある。著者らが、円柱群を構成する個々の円柱の C_D を一定として計算を行った結果、実験結果の再現精度が低かった。

そこで本研究では、円柱群を有する単断面開水路での流れの再現精度を向上させるために、円柱群を構成する個々の円柱の C_D を変化させて、数値解析を行った。

2. 実験概要および数値解析概要

円柱群を構成する個々の円柱の C_D を求めるため、流速、水深、流体力の計測を行った。実験は、幅 $B=80(\text{cm})$ 、全長 $1,080(\text{cm})$ 、勾配 $1/500$ の水路に流量 Q を $16.0(\text{l/s})$ 通水させて行った。円柱の縦断方向設置間隔 l および横断方向設置間隔 s は $4.0(\text{cm})$ とし、Run1 を整列配列、Run2 を千鳥配列とした(図-1)。使用した円柱の直径 d は $1.0(\text{cm})$ であり、 l/d は Run1 および Run2 とともに 4 であるため、直前の円柱の後流の影響を受ける条件である²⁾。

数値解析は、幅および勾配、流量は実験水路と同様であり、水路全長 $400(\text{cm})$ として計算した。x, y 方向のメッシュサイズをそれぞれ $1.0(\text{cm})$ とし、計算終了時間を $100(\text{s})$ とした。また、マニングの粗度係数 n は逆算結果の $n=0.020(\text{m}^{-1/3}\text{s})$ を用いた。 C_D は、円柱群を構成する個々の円柱の値を与えて計算した。また、その比較対象として、 $C_D=1.0$ (一定) としての計算も行った。なお、円柱群の透過性の大きさを表す抵抗特性として透過係数 K を以下の通り定義し、計算に用いた³⁾。

$$K = \frac{1}{\sqrt{C_D \cdot a_w / 2g}} \quad (1)$$

ここに、 C_D : 円柱の抗力係数、 a_w : 単位体積の流体塊中にある x 方向における円柱群の投影面積(m^2/m^3)である。また、 a_w は以下の通り定義される。

表-1 解析ケース一覧

解析ケース	円柱本数 $T(\text{本})$	設置間隔 $l, s(\text{cm})$	円柱群			抗力係数 C_D
			配列	長さ $L(\text{cm})$	幅 $b(\text{cm})$	
Run1-1	361	4.0	整列	73.0	73.0	1.0 (一定)
Run1-2						個々の値
Run2-1	721	4.0	千鳥	73.0	77.0	1.0 (一定)
Run2-2						個々の値

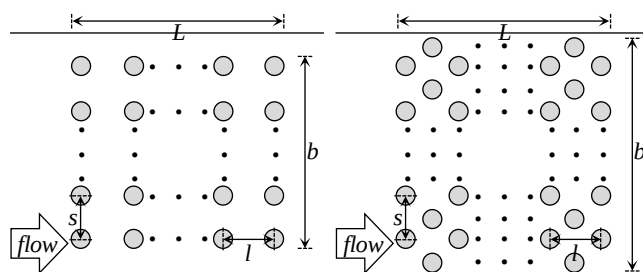


図-1 円柱群配列 (左: 整列配列, 右: 千鳥配列)

$$a_w = \frac{T \cdot a}{A \cdot h} \quad (2)$$

ここに、 T : 円柱本数(本)、 a : 円柱の投影面積 ($=d \times h(\text{m}^2)$)、 d : 円柱の直径(m)、 A : 円柱群設置面積 ($=b \times L(\text{m}^2)$)、 b : 円柱群設置幅(m)、 L : 円柱群設置長さ(m)である。

表-1 に、解析ケースを示す。Run1-1 および Run2-1 は C_D を 1.0、Run1-2 および Run2-2 は円柱群を構成する個々の円柱の C_D を変化させて計算を行った。

3. 実験結果および数値解析結果

図-2 に、実験で計測した流速 u 、水深 h および流体力 F_{Dx} より算出した C_D の縦断方向変化図を示す。なお、 C_D の算出に用いた流速 u および水深 h は、各円柱の $1(\text{cm})$ 上流の箇所で計測した。円柱群上流から 2 本目の円柱の C_D は、顕著な流速低減の影響を受け、1 本目の円柱の C_D に比べて値が増加した。そのため、円柱群を構成する個々の円柱の C_D は異なることが分かった。図-3 に、水路右岸側 ($y=4(\text{cm})$) および水路中央 ($y=40(\text{cm})$) の流速 u の縦断方向変化図を示す。Run1-2 および Run2-2 は、実験より得た C_D を用いた。また、(2)式の a_w は、円柱群設置面積

キーワード 円柱群、抗力係数 C_D 、数値解析、流れの再現

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 TEL. 049-239-1406

Aは1本の円柱設置面積として算出した。実験結果では、整列配列 (Run1) のときに2本目の円柱直前 ($y=3(\text{cm})$) で流速 u が約3割低減し、その後復元した。一方、千鳥配列 (Run2) のときには流速 u は低減せず下流に向かって増加傾向にあった。Run1 および Run2 は、後流の影響を受ける条件であるものの、Run2 では交互に立った円柱の影響を受け、流速 u が増加したと考えられる。実験結果と計算結果の比較を行うため、流速の再現率 R を以下のとおり定義した⁴⁾。

$$C_i < E_i \text{ のとき } R = \frac{C_i}{E_i} \times 100(\%), E_i < C_i \text{ のとき } R = \frac{E_i}{C_i} \times 100(\%) \quad (3)$$

ここに、 C_i : 各測点における計算結果の流速 u , E_i : 各測点における実験結果の流速 u である。なお、円柱がないケースでは、水路中央における流速 u は概ね再現できている。各ケースの再現率 R は Run1-1 では 56~98(%), Run1-2 では 44~80(%), Run2-1 では 60~99(%), Run2-2 では 50~81(%)であった。整列配列 (Run1) では、下流に向かって流速は低減傾向にあり、実験結果に見られるような顕著な流速低減後の流速 u は復元できなかった。千鳥配列 (Run2) では、下流に向かって流速 u が増加する傾向は再現できたが、特に水路中央 ($y=40(\text{cm})$) では再現率 R は低かった。Run1-2 および Run2-2 では、円柱群を構成する個々の円柱の C_D を適用して計算したが、Run1-2 は Run1-1 に比べて流速 u の減少傾向は再現できているものの、全体的に流速 u は遅い結果となった。Run2-2 でも同様に、流速 u は全体的に遅く、再現率 R の改善が見られなかった。流速 u は全体的に遅くなる結果となったが、それには C_D が影響していることが考えられる。Run1-2 および Run2-2 の C_D に用いた流速および水深は円柱の1(cm)上流で計測しているが、円柱周辺の値や円柱間の値など、用いる流速および水深を変化させることで、再現率 R が向上する可能性が考えられる。

4. まとめおよび今後の展望

円柱群がある場の流れの再現精度向上を目指し、円柱群を構成する個々の C_D を変化させて計算を行った。その結果、流速 u の傾向は再現できたものの、実験結果と比べて全体的に流速 u が遅くなる結果となった。それには、計算に用いた C_D が影響していると考えられる。そのため、流速および水深の値を変化させることで、再現率 R を向上させることができるのではないかと考えられる。

参考文献

1) 本間：標準水理学，丸善，p.151, 1984

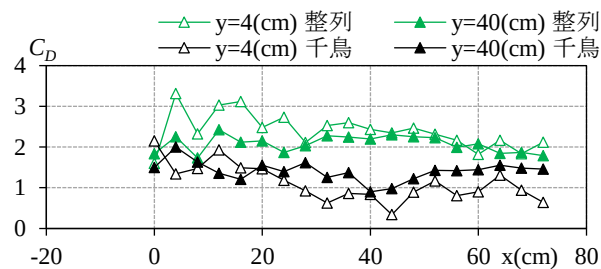
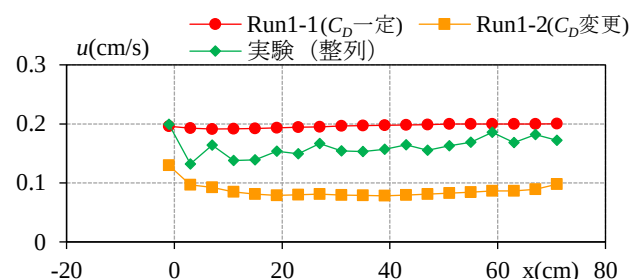
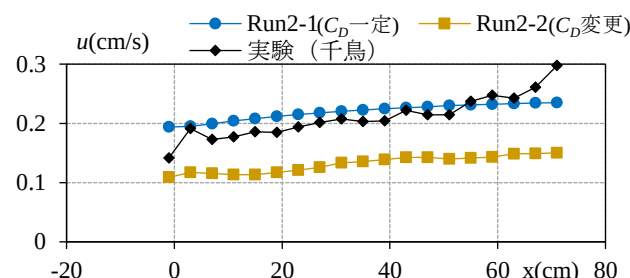


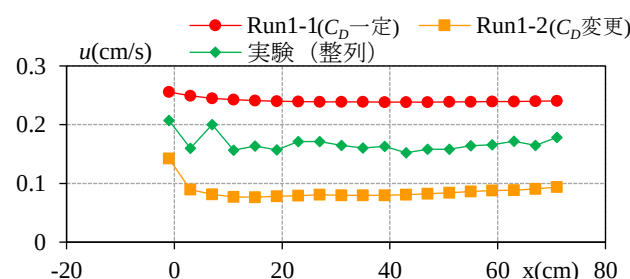
図-2 抗力係数 C_D の縦断面図



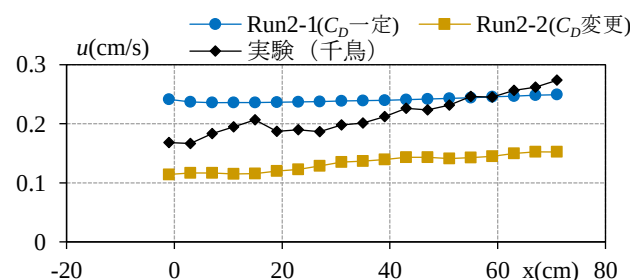
a) $y=4(\text{cm})$ (Run1: 整列配列)



b) $y=4(\text{cm})$ (Run2: 千鳥配列)



c) $y=40(\text{cm})$ (Run1: 整列配列)



d) $y=40(\text{cm})$ (Run2: 千鳥配列)

図-3 流速 u の縦断面方向変化図

- 2) 永井，倉田：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，1971
- 3) 福岡，藤田：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告，第180号-3, pp.135-143, 1990
- 4) 青木ら：開水路中の杭水制に作用する流体力とその抗力係数について，応用力学論文集，Vol.12, pp.831-840, 2009