

円柱群の配置に伴う抗力係数 C_D の特性と河床変動

東洋大学大学院 学生員 白川裕之
東洋大学 正会員 福井吉孝

1. はじめに

河川計画・管理を行う上で、樹木群に作用する流体力、樹木群周辺の水理量（流速・水深）、河床変動の把握は非常に重要である。樹木群は河川の流れに対し大きな抵抗となり、流れに影響を与えるので、その流体力の把握は重要である。 C_D は流れ場・河床変動の予測を行うには、重要な要素である。そこで本研究では、抗力即ち抗力係数 C_D の特性の把握を目的とし固定床・移動床実験を行った。また実験より得られた抗力係数 C_D を用いて数値解析を行い、実験値と計算値の比較検討をした。

2. 実験概要

実験に用いた水路の概要は図-1 に示す。幅 0.1m、長さ 8m のアクリル製可変勾配水路で、水路勾配 1/500 に設定し、流量 3.2(l/s)で流量を一定とした。

測定には、2次元電磁流速計により流速(u,v,w)を測定し、歪ゲージ式3分力計により円柱に直接作用する流体力(F_x, F_y, F_z)を測定した。

河床変動については、水路全長にビーズを3(cm)の厚さに敷き、通水時間を30分間として、通水後の河床高さの測定を行った。

表-1、図 2-1~3 に実験ケースと円柱配置図を示す。Run1, Run2 とともに、横断円柱間隔 s は 1cm であるが、縦断円柱間隔 l を変化させた。つまり円柱群の密度() が異なっている。また、Run1, Run2 とともに円柱群を水路中央、右岸側、左岸側に配置し、円柱群の配置を変化させた。円柱本数は 12 本とする。また数値解析においては、平面2次元流れの運動量方程式と連続式を用いて解析している。今回の数値解析では、実験より得られた抗力係数 C_D を用いて円柱群の抵抗を表わす。

3. 結果

1) 抗力係数 C_D

Run1-1, Run2-1 は水路中央に Run1-2, Run2-2 は水路右岸側に Run1-3, Run2-3 は水路左岸側に円柱群を配置した。図-3 に円柱列に対する抗力係数 C_D の変化を示す。各ケースとも抗力係数は円柱列が3列目以降一定の値に収束している。これは1,2列目と比べて3列目以降速度欠損が小さく、欠損が3列目以降ほぼ差異がないため抗力係数 C_D が一定値に収束すると考えられる。また、円柱群を水路左岸・右岸に配置したケースでは、水路中央に円柱を配置したケースより抗力係数 C_D が小さくなったが、右岸と左岸の抗力係数 C_D はほぼ同じ値になった。

2) 流速分布

図-4はRun1-1~3の円柱群5cm前と円柱群内(3列目)の後ろの横断方向の平均流速分布を示す。各ケースとも

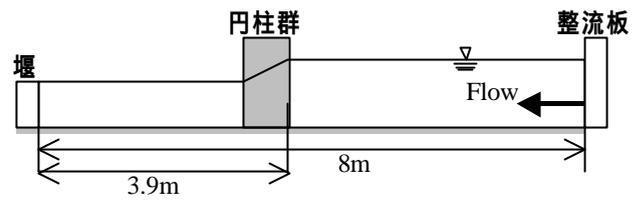


図-1 水路概略図

表-1 実験ケース

	円柱本数	s(横断方向円柱間隔)	l(縦断方向円柱間隔)	
Run1-1	12	1	6	0.032
Run1-2	12	1	6	0.032
Run1-3	12	1	6	0.032
Run2-1	12	1	8	0.024
Run2-2	12	1	8	0.024
Run2-3	12	1	8	0.024

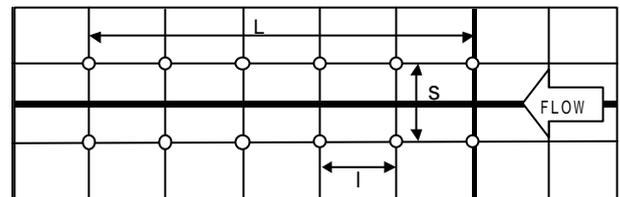


図 2-1 円柱配置中央図(Run1-1, Run2-1)

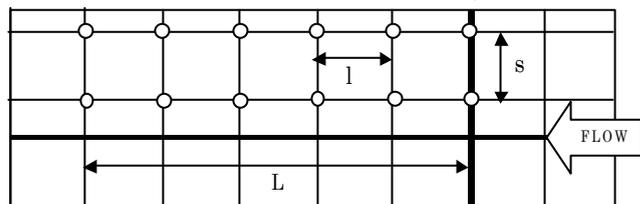


図 2-2 円柱配置右岸側図(Run1-2, Run2-2)

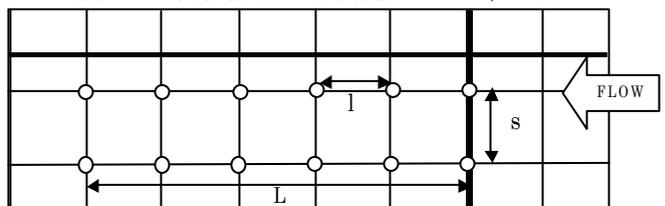


図 2-3 円柱配置左岸側図(Run1-3, Run2-3)

円柱群 5cm 前での流速分布に差異はないため,Run1-1の値を示す.各ケースとも円柱群後に大きく速度欠損している.また,右岸,左岸に円柱を配置した Run1-2,1-3では,水路壁近傍でも流速が速くなっている.

3)水深変化と河床変動

図-5 は Run1-1~3 円柱群内の水深変化と円柱群内の河床高さを示す.既往の研究¹⁾より円柱なしでは,河床変動は見られない.Run1-1~3 全てのケースにおいて,河床が大きく洗掘されている箇所,水深も大きく変化している.つまり,河床変動には水深変化が大きく起因していることが判る.今回の結果より円柱群による水深変化より,河床の洗掘や堆積の箇所が予測できると思われる.

4)実験値と計算値の比較

図-6に Run1-1の実験値と計算値(水深)の比較を示す.数値解析に用いた式を以下に示す.

< x 方向の運動方程式 >

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(vu) = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{t_{bx}}{rh} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_{xy}}{\partial y} - \frac{1}{2} r C_D l v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

< y 方向の運動方程式 >

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uv) + \frac{\partial}{\partial y}(vv) = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{t_{by}}{rh} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_{yx}}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_{yy}}{\partial y} - \frac{1}{2} r C_D l v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

< 連続式 >

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

用いた抗力係数 C_D は,1 列目の値($C_D=1.4$)と収束した値($C_D=0.8$)である. $C_D=1.4$ では,円柱群前で大きく水深変動が見られ,実験値と大きな誤差がある. $C_D=0.8$ では円柱群後の値に多少のばらつきが見られるが,概ね実験値と一致している.

4. 結論

- 1) 抗力係数 C_D は円柱群の配置に関係なしに,円柱列 3 列目以降一定値に収束する.
- 2) 河床の洗掘,堆積は,水位変化に大きく起因した.今後の課題として,実験値と比較検討するために数値解析を行う.
- 3) 円柱群に対し単一の抗力係 C_D を与えて計算を行い,円柱群後に多少の誤差は見られるが,水面系を概ね再現できた.

参考文献)

- 1)白川・福井他：水路中の樹木群に作用する流体力について,流体力の評価とその応用に関する研究論文集,第 2 巻,p104~ 109
- 2)橋本・高畑他：移動床水路において樹木群が局所的に存在する場合の河床変動,流体力の評価とその応用に関する論文集,第 1 巻

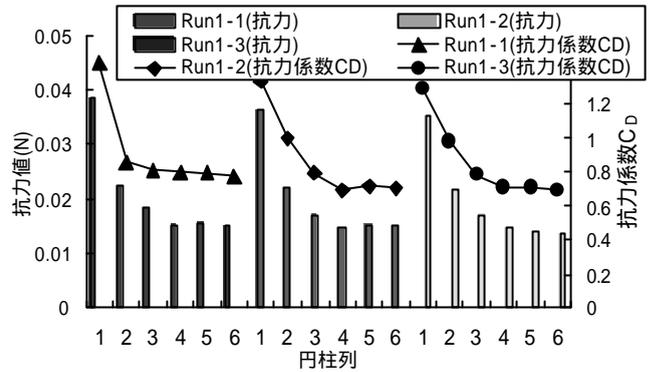


図-3 円柱列に対する抗力値と抗力係数 C_D の変化

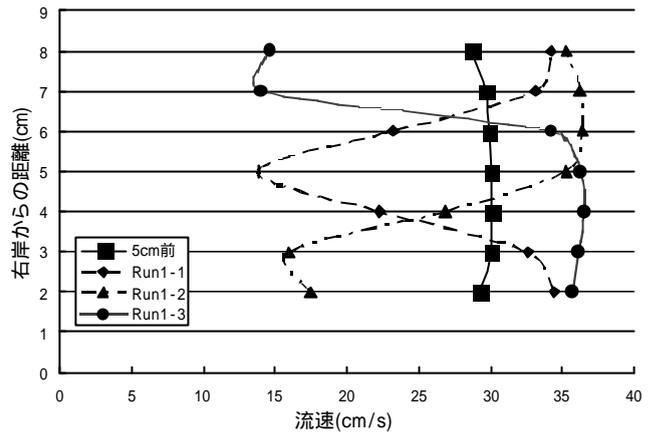


図-4 断面平均流速分布

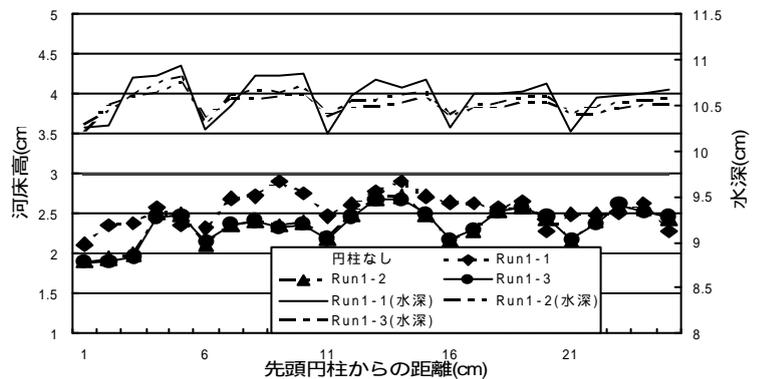


図-5 水深変化と河床変動(Run1-1~3)

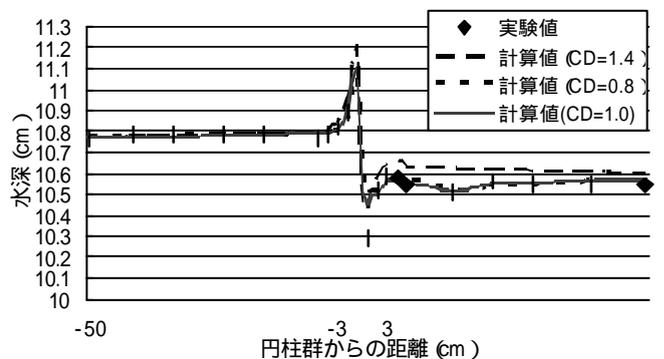


図-6 実験値と計算値の比較(水深,Run1-1)