

円柱群を有する流れの水面形に及ぼす流体力に関する基礎的研究

呉工業高専門学校専攻科 学生会員 森 飛鳥

西日本高速道路エンジニアリング中国 非会員 旭 佑哉

呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司

1. 序論

樹林帯のような抵抗体を有する流れの解析においては、抵抗体の流体力特性を正しく評価することが重要である。流体力の解析精度は抗力係数に依存するため、抗力係数に関する研究は数多く行われている¹⁾。ただし、多くの場合は、円柱 1 本あたりに作用する流体力をもとに円柱群内の水面形を求めており、流下方向に対する流体力の減少を加味した研究はあまり行われていないように思われる。そこで本研究では、円柱群を有する開水路等流における水面形に及ぼす円柱群の影響について、流下方向の流体力の減少率及び抗力係数の変化を調べた。

2. 円柱群および実験方法

実験には、図 1 に示す長さ 8m、幅 0.4m の開水路を使用し、水路下流端には水位調節用の可動堰が設けられている。下流端から 5.5m～6.5m の 1m 区間に水路床全幅にわたって円柱群を設置した。円柱は、直径 1cm の塩ビ製のものを使用し、円柱の中心間隔を 3.34cm として図 2 に示すように千鳥状に配置した、この時の配置密度 λ は 0.0653 となり、これは、実際の河川で 사용되는杭出し水制の配置密度と同程度である。なお、実験する際の抵抗体はすべて非水没円柱である。

実験条件を表 1 に示す。水路勾配は 1/53.6 で固定しており、円柱群内で水深変化が小さくなるように流量と下流端堰を調整した。Case I、II とも常流で実験を行っている。Case I は円柱群内の水深が低く速い流れで、Case II は円柱群内の水深が高く遅い流れとなっている。各 Case において、水路中心部の水位を流下方向に 10cm 間隔で計測した。また、円柱まわりの水深の、流下方向の変化を計測するため、各 Case において、円柱群の上流側から 1, 3, 5, 29 列目の水路中央部の円柱を対象に円柱周りを 45°ずつ、計 8 箇所の水深を計測した。

3. 等流中の抗力係数の評価方法

3. 1 力のつり合い式による評価

幅広断面水路における等流時の力のつり合い式は、式(1)で表される。

$$-dz_b/dx - U^2n^2/h^{4/3} - NF/\rho gh = 0 \quad (1)$$

ここに、 z_b : 河床高、 U : x 方向の断面平均流速、 n : マニングの粗度係数 ($n=0.012$)、 h : 円柱群内の平均水深、 N : $1m^2$ 当たりの円柱の本数を表しており、これらの値を式(1)に代入することで円柱 1 本あたりに作用する流体力 F を求める。また、本研究における抗力係数 C_D は、

キーワード 円柱群、流体力、抗力係数、開水路流、水面形

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11 呉工業高等専門学校

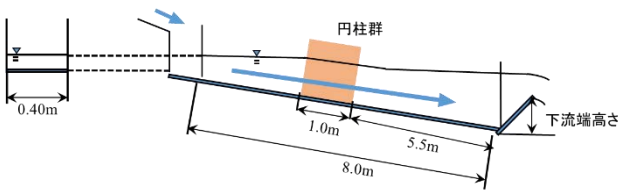


図 1 実験水路の概略

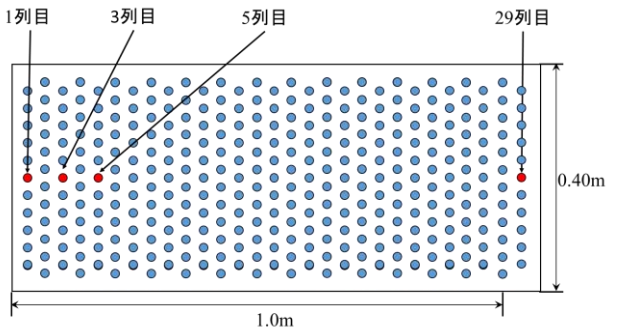


図 2 円柱群の配置図

表 1 実験条件

実験条件	Case I	Case II
流量[L/s]	3.34	6.11
幅[m]	0.40	
水路勾配	1/53.6	
限界水深[m]	0.0196	0.0288
円柱群内の平均水深[m]	0.0594	0.143
Re数	5.807×10^3	7.812×10^3
Fr数	0.261	0.124

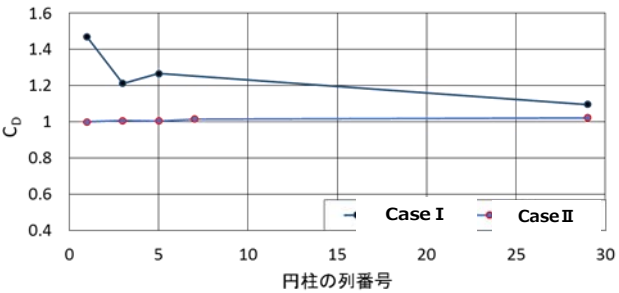


図 3 各円柱における抗力係数

水面を持たない一様流中の抗力係数 C_{D0} と円柱まわりの水位差によって生じる抗力係数 C_{D1} との和で表している。 C_{D0} は、 $1 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^4$ の範囲においておよそ 1 であるため $C_{D0}=1$ とし、 C_{D1} は円柱まわりの圧力係数に

より求めた。

3. 2 運動量と力積による評価

式(2)に、開水路における運動量の変化と力積の関係を表す式を示す。

$$P_1 - P_2 - \Sigma F = \rho Q(v_1 - v_2) \quad (2)$$

円柱群と、その前後 0.1m までを検査領域とし、上流側を断面Ⅰ，下流側を断面Ⅱとする。(2)式において P_1 、 P_2 と v_1 、 v_2 はそれぞれ断面Ⅰ，Ⅱにおける全水圧，流速を表したものであり，壁面に作用する摩擦の影響を無視できるとすれば， ΣF は検査領域内にかかる流体力となる。

3. 3 開水路内の水面形計算

水面形は，下流端堰における限界水深を境界条件とし，式(3)を用いて上流に向かって逐次計算を行った。

$$dh/dx = (-dz_b/dx - U^2 n^2 / h^{4/3} - NF / \rho gh) / (1 - F_r^2) \quad (3)$$

4. 実験結果及び考察

4. 1 各円柱に作用する抗力係数

円柱まわりの水位の変化から各円柱における抗力係数の結果を図3に示す。CaseⅠでは，抗力係数は流下方向に減少していることが分かる。特に，1～5列目にかけ抗力係数が大きく減少している。また，CaseⅡでは抗力係数にあまり変化は見られず，ほぼ一定値を示した。

4. 2 円柱群内の抗力係数

前節で求めた各円柱に作用する抗力係数と，式(1)，(2)を用いた CaseⅠ，Ⅱにおける抗力係数の計算結果の比較をそれぞれ図4. 1, 2に示す。 F_r 数の大きな CaseⅠでは，式(1)，(2)とも近い値となり，下流側ほど差が小さくなることが分かった。 F_r 数の小さな CaseⅡでは，式(2)は各円柱の抗力係数と近い値になったが，式(1)は2倍程度大きな値となった。原因は，円柱群内水面の変動が大きく，平均的な水深を正確に計測できなかった事が考えられる。

4. 3 水面形計算

本研究では，各円柱に作用する抗力係数を水面形計算に利用することで水面形の計算精度が上がると考えた。そこで，各円柱の抗力係数と，式(2)を用いた CaseⅠ，Ⅱにおける水面形の計算結果の比較をそれぞれ図5. 1, 2に示す。CaseⅠは，各円柱に作用する抗力係数を用いることで水面形は若干の改善が見られた。一方で，CaseⅡは両者に大きな差がなかったため，計算結果に大きな変化は見られなかった。水面形計算について，流下方向への長さが十分に無いような円柱群では，上流側の平均より大きな抗力係数の影響を考慮する必要があると考えられる。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 抗力係数は，円柱群前方で大きく減少し， F_r 数の大きな流れほど顕著に表れる。

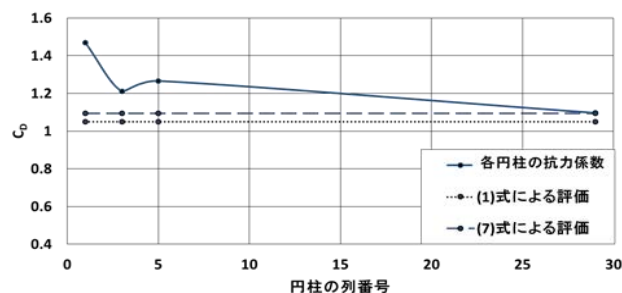


図 4. 1 各算定式による抗力係数の比較 CaseⅠ

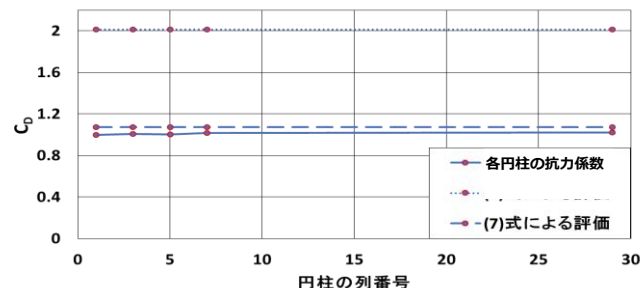


図 4. 2 各算定式による抗力係数の比較 CaseⅡ

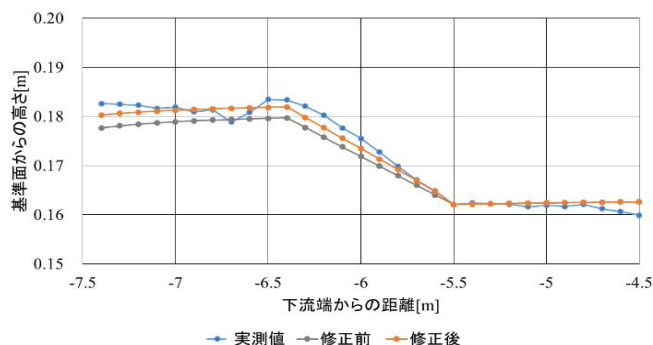


図 5. 1 水面形計算結果 CaseⅠ

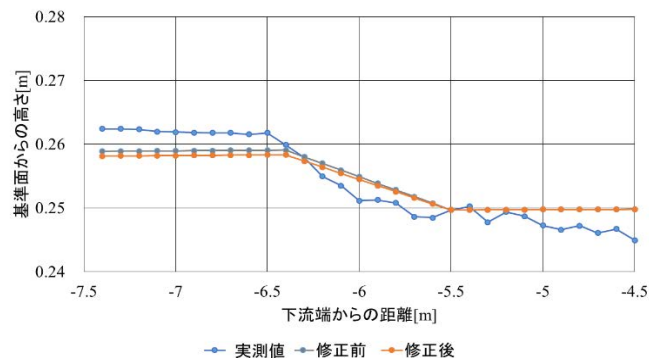


図 5. 4 水面形計算結果 CaseⅡ

- (2) 各円柱の抗力係数を水面形計算に反映することで，より精度よく水面形を計算できる。
- (3) 流下方向に対し十分な長さが無い円柱群では，各円柱群の抗力係数を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 林建二郎 他：開水路中における円柱群に作用する流体力に関する実験，水工学論文集 Vol. 45 巻，pp475-480，2001