

開水路中の非水没円柱群に作用する流体力の評価法

広島大学 学生会員 ○富山 遼
 広島大学 正会員 内田 龍彦
 広島大学 正会員 鳩野 美佐子
 広島大学 学生会員 小林 大祐

1. 研究の背景と目的

河道内の流れを適切に評価するためには、運動方程式に含まれる抗力係数を高い精度で表すことが重要である。抗力係数は、抵抗体となる円柱の密度¹⁾や配置²⁾によって変化することが知られている。一方、阿戸ら³⁾は不等流性が流体力に与える影響について水面形計算より議論した。本研究では、開水路中で円柱群に作用する流体力が、円柱が設置される前の流れの状態で決定されていると考え、円柱を設置する前後での水面形、圧力分布を計測し、開水路における円柱群の流体力評価について議論を行った。

2. 実験条件

本研究では、開水路内で円柱が設置された時の円柱周りの圧力分布の変化を円柱に作用する流体力を円柱設置前後の水深分布と、円柱に作用する圧力分布の計測により明らかにした。実験には図-1に示すように幅80cm、縦断長さ24mの可変勾配水路を用いた。実験条件を表-1に示す。水路内では直径 $d=10\text{cm}$ の円柱を千鳥状に設置した。下流端の堰の高さを調整することによって、円柱群内で疑似等流、加速流を発生させた。平均水深は検査対象円柱周りの水深を平均したものである。各Caseにおいて、undisturbed flow(検査対象円柱を設置する前の流れ)、disturbed flow(対象とする流れ:検査対象円柱がある流れ)の2つの流れでそれぞれ計測を行った。

3. 圧力係数 C_p と水面形の定義

円柱群内での圧力分布を各Caseで比較する際2つの水面形の差 Δh : water surface disturbanceを速度水頭で無次元化した圧力係数 C_p として算出し、議論する。以下に圧力係数 C_p の定義を示す。

$$C_p = \frac{\Delta h}{U^2 / 2g} = \frac{(h_d - h_u) 2g}{U^2} \quad (1)$$

h_d : disturbed flow の水深, h_u : undisturbed flow の水深, U : 検査対象円柱地点を過ぎる流速とする。図-2に計測する2つの水面形と Δh の定義を示す。

表-1 実験条件

Case	抵抗体	流量 (L/s)	河床勾配	流況	平均水深 (m)	Fr	Re
Case 1	単円柱	25	1/590	等流	0.126	0.23	2.4×10^4
Case 2	円柱群	25	1/200	等流	0.127	0.18	2.0×10^4
Case 3	円柱群	25	1/200	加速流	0.089	$0.14 < Fr < 0.36$	$2.3 \times 10^4 < Re < 3.1 \times 10^4$

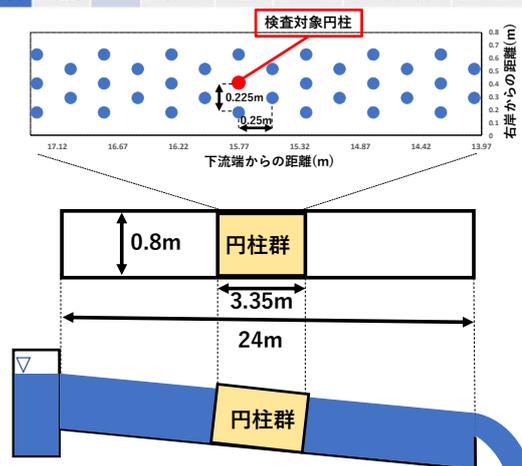
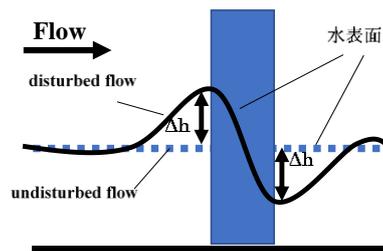


図-1 実験水路

図-2 水面形と Δh の定義

4. 実験条件

水深分布はサーボ式波高計、円柱周りの圧力分布はマンノメーターを用いて計測した。サーボ式波高計による水深分布の計測は各点0.1秒間隔で、30秒間計測し、時間平均した値を実験値とした。円柱周りの圧力分布は直径10cmのガラス管に3cm間隔で圧力孔を縦断方向に開けてシリコンチューブでマンノメーターと接続させたものを使用した。円柱群内では流速が小さくなるため、I型電磁流速計を使用してundisturbed flowでの検査対象円柱地点の流速を計測し、 Δh を無次元化の際に使用した。

5. 実験結果・考察

図-3にCase2、図-4にCase3における圧力係数 C_p の分布を示す。図-5はマンノメーターを用いて計測した円柱周りの圧力係数 C_p 、図-6は水路幅中心での円柱周り

キーワード undisturbed flow, disturbed flow, 圧力係数

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科

TEL082-424-7821

における圧力係数 C_p の縦断分布を示す。図-3、図-4 から、Case2 の等流と Case3 の加速流で圧力係数 C_p の値に差が見られるのは、等流と加速流では Δh が加速流では円柱群内で水面勾配が生じるため、円柱を設置した際の水深変化量が大きくなるからである。図-5 から、単円柱と円柱群では前面での圧力係数は差が小さいのに対して背面では円柱群の方では急激に下がっている。このことから、円柱の配置によって付加的な流体力が発生していると考えられる。Case2 と Case3 の C_p の分布を比較すると、 C_p が背面に近づくにつれて減少し、変化量は Case3 の方が大きく、圧力が減少していることが分かる。円柱前面では圧力係数 C_p の値は約2倍となっており、加速流では流体力が大きくなっていることを示している。加速流と等流で圧力係数 C_p の値が変化した要因として、undisturbed flow と disturbed flow の差の Δh が関係している。図-6 の縦断分布が示すように Case2 では円柱前面で圧力係数 C_p が 0、 $\Delta h(C_p)$ が 0 となる点が上流に存在するのに対して、Case3 では、 Δh が 0 となる点が上流に存在しない。これは円柱を設置したことによる抵抗が上流の円柱にまで及んでいることを示している。Case3 では円柱群内での水深が低く、円柱の投影面積が水路幅($B=0.8\text{m}$)に対して大きいことから、拘束効果により、抵抗力が増加し、disturbed flow の影響が上流方向に及んだと考えられる。Case3 では円柱背面に関して C_p が 0 となる点が Case2 に比べて下流方向に存在する。これは剥離領域では圧力が減少し、水深が回復する点が下流方向に移動するからと考えられる。等流と加速流での Δh の差は図-5 と図-6 の円柱背面の各点でほとんど一定であることから、undisturbed flow の水面形を基準とすることで流況の違いによる流体力の変化を評価することができると考えられる。

6. 結論

今回、円柱群内での抵抗を無次元化された圧力係数 C_p で比較を行うことで水面形の状態によって流体力が決定することを示した。単円柱と円柱群での実験結果では、円柱が存在することによって作られる undisturbed flow の水面形が、円柱周りの圧力分布、流れに変化をもたらした。また、加速流になると水面勾配が大きくなるため、それに伴い、円柱周りの圧力変化も大きくなり、水深の変化による円柱の抵抗力の増加も見られた。

参考文献

- 1) 林健二郎, 藤井優宏, 重村利幸: 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, 第45巻, pp.475-480(2001).
- 2) 横嶋哲, 野田博, 河原能久: 円柱群を過ぎる2次元流れの抗力特性, 土木学会論文集, 第58巻, pp.829-834(2014).
- 3) 阿戸理樹, 内田龍彦, 河原能久: 不等流における非水没抵抗体の流体力の評価法, 水工学論文集, 第74巻, pp.751-756(2018).

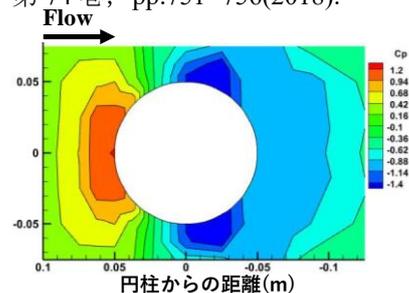


図-3 圧力係数 C_p の分布(Case2)

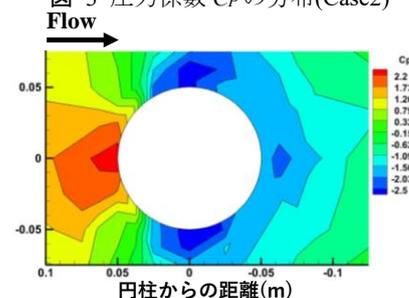


図-4 圧力係数 C_p の分布(Case3)

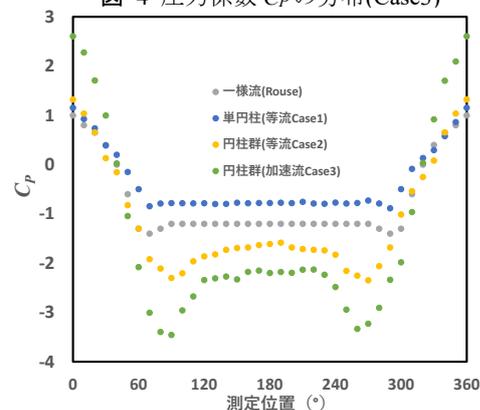


図-5 円柱周りの圧力係数 C_p

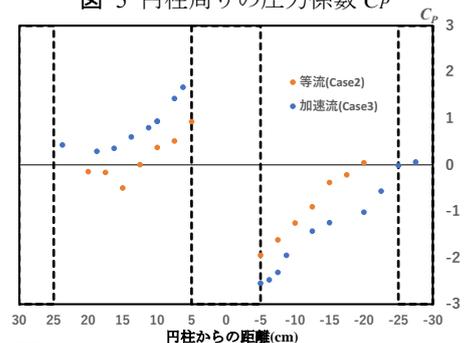


図-6 $B=0.4\text{m}$ での圧力係数 C_p の縦断分布