開水路中に設置された直円柱の流体力計測

防衛大学校土木工学教室　　正会員　林　建二郎
学生会員　藤井　優宏
正会員　重村　利幸

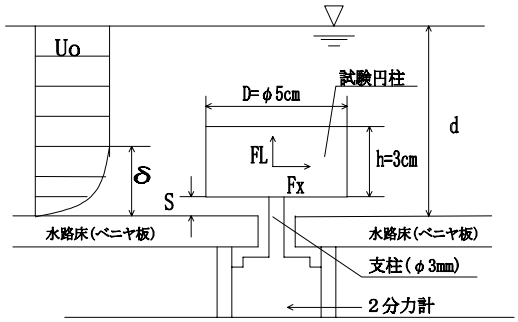
１．はじめに

多自然型川づくりの普及やより経済的な河道設計への要求に伴い、河床に置かれた護岸ブロックや巨礫のような大型突起物に作用する流体力の定量的な評価も重要となってきた[1),2),3)]。しかし、三次元性を有する開水路流れの複雑さやこれら物体の持つ形状の複雑さのために、流体力の評価法においては未解明な点も多く、その定量的な評価はまだ不十分である。本研究は、開水路中に置かれた物体に作用する流体力をより精度良く把握することを目的として、開水路中に置かれた有限長の直円柱に作用する流体力の計測方法について検討したものである。

２．実験方法

実験には、長さ 40m、幅 0.8m、深さ 1m の還流装置付き２次元造波水槽と長さ 16m、幅 0.5m、高さ 0.5m の可変勾配開水路を使用した。以下の３種類の計測を行った。

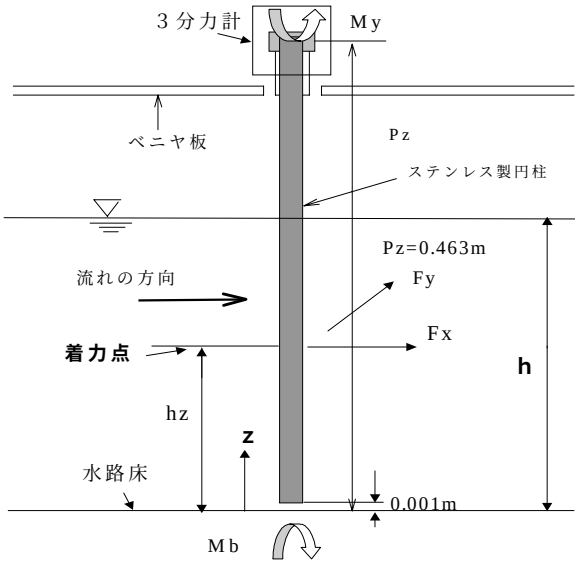
ケース A（h/δ=0.6）---水路床上に置かれた有限長円柱に作用する流体力（抗力 Fx、揚力 Fy）を調べるために、水深 d=約 28cm の水中に没っする高さ h=3cm、直径 D=5cm の円柱を、水路床の裏側に設けた２分力計に設置した（図-1 参照)。この力計測法においては､円柱と床部との間に間隙 s が必要である。間隙 s の流体力計測への影響を調べるために、 s=0.5, 1, 2, 2.5, 4, 6, 8mm と変化させた。ただし、境界層厚さδが小さく、できるだけ水深方向に一様な流速分布を持つ流れ場とするために、流れを縮流させた。境界層厚さはδ=約 5cm であった。流速分布の計測には、レーザー流速計を使用した。



図―１　実験装置(ケース A,B）

ケース B (h/δ=0.1)---上記の円柱に作用する流体力計測を、床面からの境界層が十分発達した通常の開水路流れ場で行った。水深は d=約 30cm、間隙は s=1mm とした。

ケース C　(h/δ=1)---３分力計に直径 D=1cm のステンレス丸棒を鉛直に設置し、水深ｄの全体にわたって円柱が存在する場合の流体力を計測した（図-２　参照)。可変勾配水路を使用した。ステンレス丸棒と水路床部との間隙は s=1mm とした。



図―２ 実験装置(ケース C）

３．結果および考察

ケース A およびケース B における流速 u の水深方向流速分布の一例を図-3 にそれぞれ示す。ケース A においては、縮流の結果、境界層の発達は抑えられ境界層厚さはδ=約 5cm である。ケース B の場合は、通常の開水路流れの場合であり、境界層は十分に発達している。その厚さはδ=約 25cm である。

キーワード：　抗力、揚力、護岸ブロック、巨礫、開水路
連絡先：神奈川県横須賀市走水　防衛大学校　土木工学科　水工研究室　0468-41-3810(内 3520)

ケース A において得られた、抗力 Fx、揚力 FL の円柱と水路床部との間隙 s に対する変化特性を図-4 にそれぞれ示す。Fx は s の増加に伴い若干大きくなっているが、s に対する変化は小さい。一方、FL は s の増加に伴い明確に減少している。円柱に作用する流体力は、円柱表面の接線方向に作用するセン断力と円柱表面の法線方向に作用する圧力による。レイノルズ数 Re が大きい場合には、セン断力による流体力は小さく、流体力は円柱表面の圧力分布に支配される。本実験ケースにおける Re 数は約 44000 である。従って、本円柱に作用する抗力 Fx、揚力 FL は円柱表面の圧力分布に依存している。揚力 FL の場合は、円柱上面と下面に作用する圧力分布の差に起因する。間隙Ｓの増加に伴う揚力 FL の減少は、円柱底面と水路床面との間隙に入る流れの流速が、間隙の増加に伴い速くなるために、円柱下面に作用する圧力（上方向に作用する）が低下するためと考えられる。

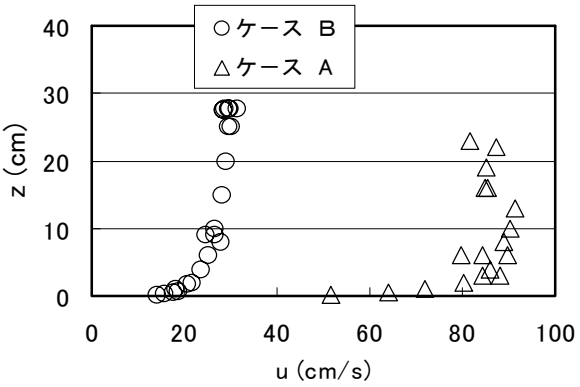
(1)、(2)式で定義される本円柱の抗力係数 CD と揚力係数の間隙 s に対する変化特性を図-5 に示す。

$$CD = Fx / (0.5. D.h. Uo^2) \quad - \quad ---------(1)$$

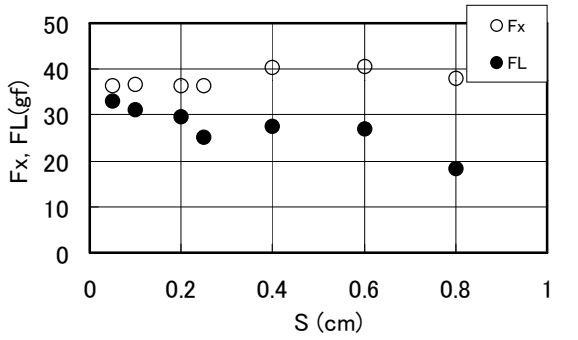
$$CL = FL / \{ 0.5. (\pi/4).D^2. Uo^2 \} \quad ---------(2)$$

式中 Uo は、境界層外縁での流速 u である。

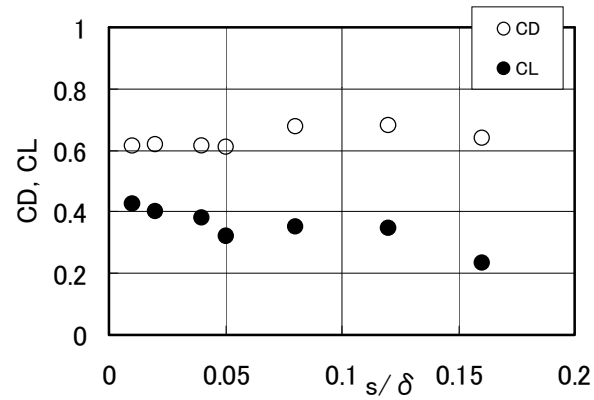
h/δが異なるケース A,B,C,の実験で得られた、CD の h/δに対する変化特性を図-6 に示す。図中には、乱流境界層の中に置かれた有限高さの直立円柱の流体力を風洞を用いて計測して得られた、CD と h/δに関する実験式を実線で示す。CD の定義は(1)式と同じである。風洞実験においては、0.2<D/δ<0.8 の範囲で、この実験式が成立することが確認されている。開水路中に置かれた直立円柱の場合においても、境界層厚さδに対する円柱高さ h の比 h/δが大きくなるに従い、CD は増加することが分かる。



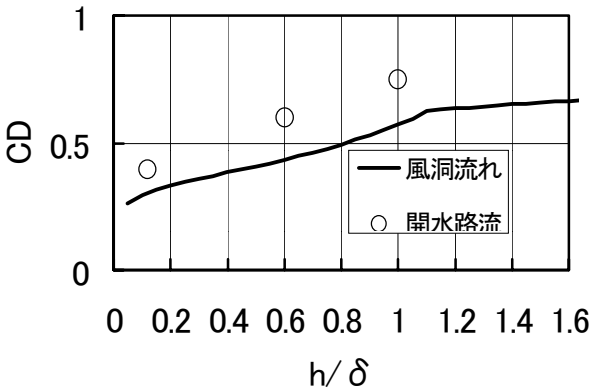
図－３　流速分布（ケースA，ケースB）



図－４　流体力（Ｆｘ，ＦＬ）と間隙の関係



図－５　ＣＤ，ＣＬとS/δの関係



図－６　ＣＤとh/δの関係

参考文献

1) 福岡、藤田、森田：護岸方覆工の水理設計法に関する研究、土木研究所資料、第 2635 号、pp.174,1988.
2) 高橋：水路床上に存在する半球下部流の流れ構造に関する実験的研究、土木学会論文集、No104,pp73-82,1990
3) 山本、浜口　他：護岸ブロックの抗力・揚力係数、および相当粗度の計測方法について、水工学論文集、第 44 巻、pp.1053-1058,2000.
4) 谷口　他：乱流境界層の中に存在する直立円柱周辺の流れ、機論(B),46 巻、405 号、pp.802-812,1980.