

## 射流中に設置された円柱に作用する抗力特性

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 ○杉本太郎  
防衛大学校建設環境工学科 正会員 林建二郎

### 1. 目的

洪水等の大規模化に伴い、射流における河川構造物、建物や樹木等に作用する抗力特性を把握することは、これら物体の耐流特性や物体が有する流れの抵抗特性（粗度）の評価において重要である。

本研究は、その基礎的な研究として、開水路中に鉛直設置された円柱(直円柱)に作用する抗力計測と円柱まわりの圧力分布計測を行ったものである。

### 2. 実験方法

実験には、長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1 m の回流装置付き 2 次元水槽内の一部 4m 区間を嵩上げした水平床の開水路を用いた。本開水路に広幅堰を設けその下流中に射流を発生させた。流量と堰高さを調整し射流の  $Fr$  数を変化させた。広幅堰を取り除き常流の擬似等流を発生させた。開水路幅の中央に外径  $D=3\text{cm}$ 、長さ  $30\text{cm}$  のアクリルパイプ製円柱を鉛直設置した。本直円柱の上端を 3 分力計に設置し、円柱に作用する全抗力  $F_x$  を計測した。円柱パイプの一箇所に圧力計を設置し、円柱を回転し円柱表面の圧力分布を計測した。円柱表面に設けた圧力孔の直径は  $1\text{mm}$  である。圧力孔の位置は水路床面から上方  $4\text{cm}$  である。

レーザー流速計と超音波水位計を用いて、直円柱の真横  $27\text{cm}$  の位置で水深方向流速分布と代表水深  $H$  を計測した。流れ水深  $H$  の 4 割の位置での流速を断面平均流速  $U_m$  とし、代表主流速とした。

実験に用いた  $Fr$  数 ( $= U_m / (gH)^{1/2}$ ) の範囲は  $0.5 \sim 3$  である。水深と円柱径の比  $H/D$  は  $1.25 \sim 4$  である。

### 3. 結果および考察

本直円柱に作用する抗力  $F_x$  の抗力係数  $C_d$  を(1)式を用いて算定した。

$$C_d = F_x / (0.5 \rho D H U_m^2) \quad \text{--- (1)} \quad \text{式中の } \rho \text{ は水の密度である。}$$

抗力係数  $C_d$  と  $Fr$  数の関係を図-1 に示す。図中には、水深  $d$  と円柱径  $D$  の比が  $d/D=4$  の Hsieh の実験結果  $\triangleright$  を実線で示す。  $Fr$  数が小さい常流では抗力係数  $C_d$  は、一様流中に置かれた無限長円柱の結果 ( $C_d=1 \sim 1.2$ ) より小さくなっている。  $Fr=0.5$  付近でピーク値を示している。その後は、Hsieh の実験結果  $\triangleright$  と同様に  $Fr$  数の増加に伴い減少し、  $Fr$  数=3 では約  $0.5$  となっている。

常流である  $Fr=0.5$ 、および射流である  $Fr=2.46$  と  $Fr=3.1$  の場合における円柱まわりの圧力分布を、図-2 にそれぞれ示す。図中に示す  $C_p$  は、(2)式で示される圧力係数であり、円柱表面の時間平均圧力  $p$  を円柱から遠く離れた主流速部の圧力  $p_0$  と主流速度  $U_m$  を用いて無次元化したものである。

$$C_p = (p - p_0) / (0.5 \rho U_m^2) \quad \text{--- (2)}$$

図中には、剥離渦が生じないポテンシャル流れの結果を実線で示す。ポテンシャル流の場合、円柱まわりの

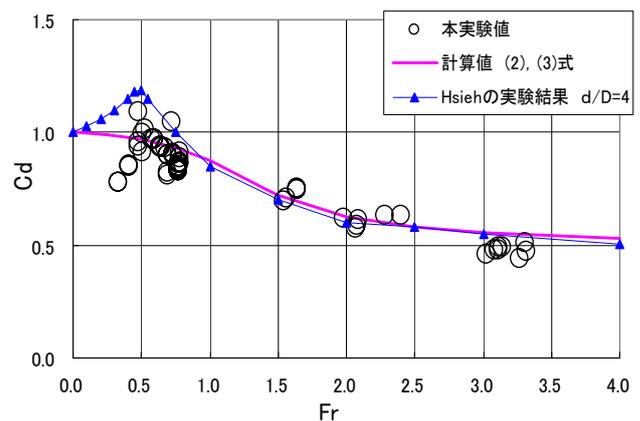


図1  $C_d$  と  $d/D$  の関係

キーワード 円柱 抗力係数 射流 フルード数 圧力分布 空洞域

流れは、流れ方向およびその横断方向に  
対称である。従って、圧力分布も流れ方  
向およびその横断方向に对称である。円  
柱の前方および後方のよどみ点 ( $\theta=0^\circ$   
および  $\theta=180^\circ$ ) では流速=0となる結  
果、 $C_p=1$ となっている。円柱の側方  $\theta$   
 $=90^\circ$  および  $270^\circ$  では流速が増加する  
結果、 $C_p=-3$ と低下している。一方、実  
在の流れにおいては、境界層の剥離後に  
生じる渦流を含む死水領域や空洞領域が  
生じる結果、円柱の後方(下流側)にお

いても  $C_p$ は-1となり、圧力分布は円柱の  
前後で非対称となっている。

常流である  $Fr_r=0.5$  の場合、渦流を含む  
死水領域が生じる結果、円柱の後方の  $C_p$   
は-1と低下している。

この圧力分布を積分し円柱の単位長さに  
作用する抗力  $F_x$ を算定し、(1)を用いて評  
価した抗力係数は  $C_d=1.15$ となった。

一方、射流である  $Fr_r=2$  と  $Fr_r=3$  の場合、  
圧力低下により水面低下が顕著となり空  
洞領域が生じる結果、 $C_p$ は約0となっ  
ている。これら圧力分布を積分し円柱の単位  
長さに作用する抗力  $F_x$ を算定し、(1)を用  
いて評価した抗力係数は  $C_d=0.6$  および  
 $C_d=0.51$ となった。

円柱後方の死水領域での圧力係数を  
 $C_p=-1$ 、空洞領域での圧力係数を  $C_p=0$   
とモデル化すると、円柱に作用する全抗  
力の抗力係数は、空洞領域の高さが  $Fr$  数  
の関数で評価できる結果、(3)式と(4)式で  
示される。

$$Fr \text{ 数} < \sqrt{2} \text{ の場合 } C_d = 1 - Fr/8 \quad (3)$$

$$Fr \text{ 数} > \sqrt{2} \text{ の場合 } C_d = 0.5 + 1/Fr^2 \quad (4)$$

これら数式による抗力係数の計算結果を図-1に実線で示す。実測値と一致は良好である。

参考文献

- 1) Hsieh, T.: Resistance of cylindrical piers in open-channel flow, ASCE, Vol.90, No. HY1, pp. 447-465, 1964.

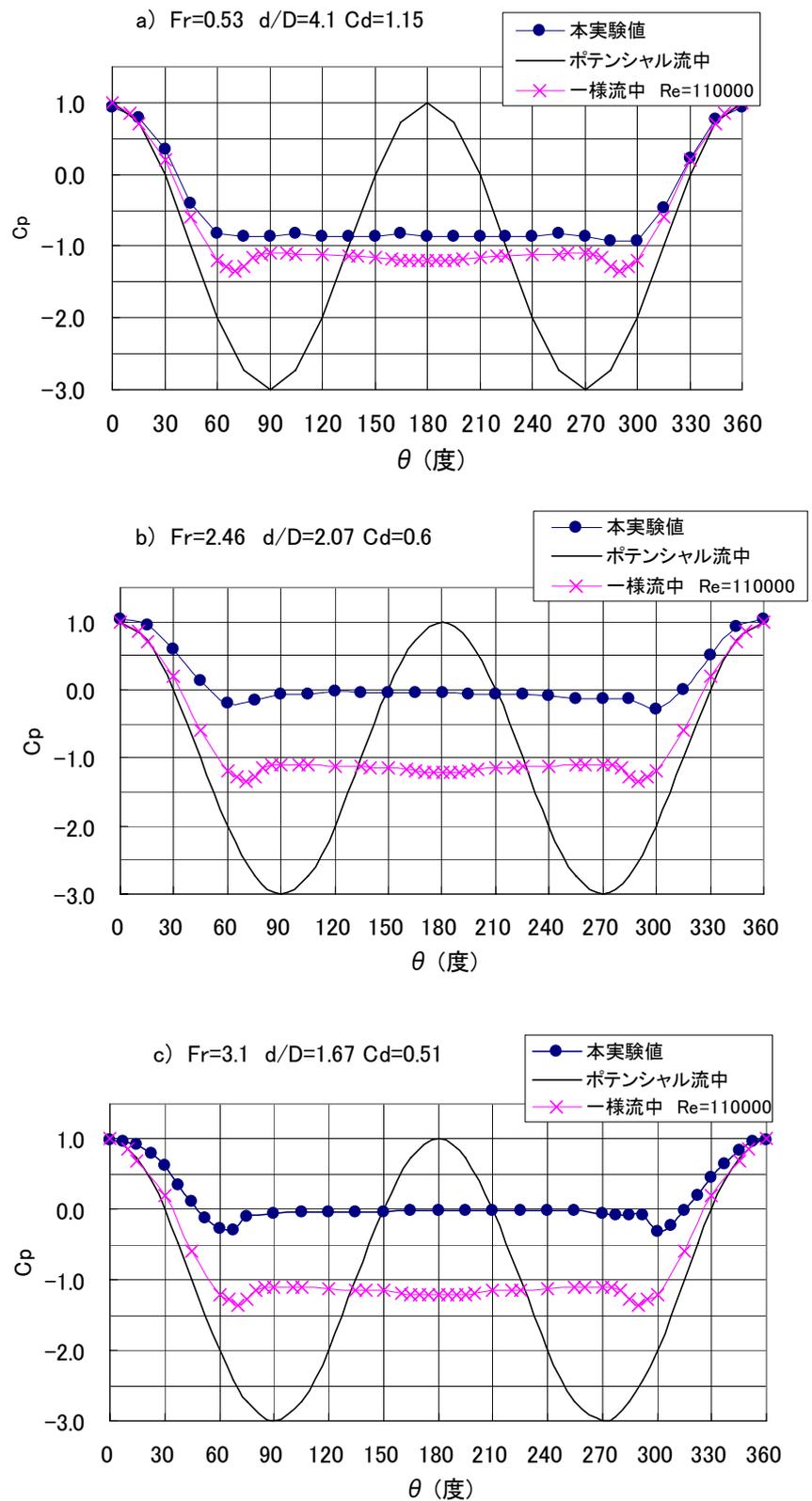


図2 円柱周りの圧力分布

