

定常自由表面流中の正角柱に働く流体力に関する実験的研究

九州工業大学 工学部 学生員 ○柳田 鉄平
 九州工業大学 工学部 正会員 秋山 壽一郎
 九州工業大学 大学院 学生員 重枝 未玲、小林 俊彦

1. はじめに

迎角 α と blockage-ratio B/d が流れの中に置かれた角柱の抵抗係数に与える影響についてはいまだ明らかにされていない。本研究では、定常自由表面せん断流中に置かれた非水没状態の正角柱(以下では角柱とする)の α と B/d を系統的に変化させ、その抵抗係数 C_d について調べた。

2. 実験条件および方法

長さ 20m、幅 0.6 m、水路床勾配 $I=1/1400$ の水路に、図-1 に示すように角柱を設置し、非越流状態で実験を行った。角柱幅 b (m) を 0.02、0.03、0.04、0.06、0.12、0.20 の 6 パターンに、それぞれの角柱幅において α ($^\circ$) を 0、15、30、45 の 4 パターンに、水理条件を表-1 に示すように 4 パターンに変化させた。全てのパターンにおいて角柱の前面と後面の水深 h_f と h_b 、水深方向の流速 u 、表面流速 V_s および抗力 D の測定を行った。 h_f と h_b は角柱の前面および後面から 0.005 m 離れた位置で容量式波高計を用いて測定した。 u は角柱を取り外し、その中心位置で底面より 0.02 m から鉛直方向に 0.01 m 間隔で、電磁流速計を用いて行った。流速分布を積分することで断面平均流速 V を算定した。 D は測定位置の角柱に 2 分力計を取り付け測定した。なお、サンプリング時間とサンプリング間隔は、それぞれの水深と流速については 50 秒と 0.05 秒、抗力については 20 秒と 0.01 秒。いずれの測定も同一条件下で 5 回行い、データの信頼性を高めた。

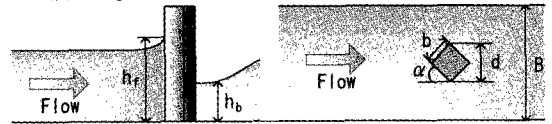


図-1 角柱の配置状態

表-1 水理条件

	Case1	Case2	Case3	Case4
流量 Q (m^3/s)	0.0203	0.0237	0.0277	0.0295
水深 H (m)	0.0710	0.0698	0.0762	0.0820
Reynolds 数 Re	33500	39090	45780	48650
Froude 数 Fr	0.571	0.684	0.702	0.669

3. 実験結果

迎角 α が 0° の場合について角柱の前後面で静水圧分布を仮定すると、抗力 D が式(1)で表わせることがわかっている¹⁾。ここに、 ρ = 水の密度、 g = 重力加速度であり、その他の諸量は図-1 に定義されている。2 分力計と圧力差により求めた D を比較した結果を図-2 に示す。これより両者は良く一致しており、迎角がある場合についてもこの関係が適用ができることがわかる。

$$D = \rho g (h_f^2 - h_b^2) d / 2 \quad (1)$$

B/d を変化させたときの C_d と Re の関係について検討する。永井²⁾の結果によれば、せん断流中での $\alpha = 0^\circ$ の角柱の C_d 値は、 $Re = 2.0 \times 10^4 \sim 2.6 \times 10^5$ および $B/d \geq 14$ 程度で一定値を取る。図-3 は、 B/d を 3~30 まで変化させたときの式(2)で定義される C_d と Re の関係の中から、この 2 つの条件を満足するデータのみを α ごとにプロットしたものである。

また α を変化させたときの角柱の C_d 値の目安として、溝田³⁾によって得られた一様空気流中の値を実線で示している。これによれば、一様空気流中の C_d 値は $0^\circ \rightarrow 45^\circ \rightarrow 30^\circ \rightarrow 15^\circ$ の順に小さくなり、 $\alpha = 15^\circ$ で最小値を取る。

$$C_d = 2 D / (\rho b h_f V^2) \quad (2)$$

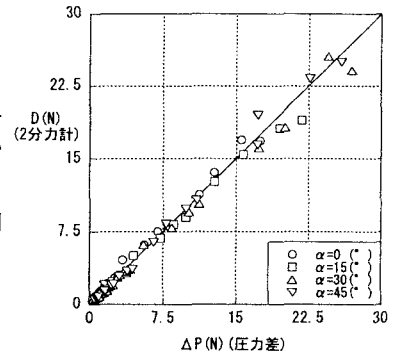


図-2 抗力 D の比較

図-4 は、 B/d と R_e の影響がないとき、つまり図-3 のデータの各迎角における C_d の平均値と α との関係を示しており、記号に記した矢印はエラーバーである。図中には永井²⁾ に示されている結果も同時に示されている。これより、 $\alpha=0^\circ$ では本研究結果と永井の結果は一致していることがわかる。また、溝田³⁾ の結果とは若干の違いはあるが、 $\alpha=15^\circ$ を除きその値には大きな違いが認められないことがわかる。

図-5 は C_d に対する B/d の影響について調べたものであり、記号に記した矢印はエラーバーである。図から明らかなように誤差は極めて小さい。図中のデータは $R_e \geq 2.0 \times 10^4$ を満足するものであり、それらに基く C_d と B/d の関係が実線で示されている。また図中には、 $\alpha=0^\circ$ での永井²⁾ の結果も破線で示してある。この結果によれば C_d は B/d に対して変化するが、 $B/d \geq 14$ ではこの影響がなくなり、 C_d は一定値を取る。また、溝田³⁾ によるデータは B/d の影響が無い場合に相当すると考えられるので、煩雑さを避けるために $B/d=30$ の位置に示してある。図中には栗城ら⁴⁾ と福岡ら¹⁾ の結果も同時に示してあるが、これらの研究は代表流速の取り方が違うので注意が必要である。いずれの結果も $R_e \geq 2.0 \times 10^4$ は部分的に満足していると考えられるが、 $B/d \leq 14$ であり B/d の影響がある範囲での値なので一般的な結果ではない。

以上より、本研究結果に基づけば、 B/d と R_e の影響がないときの各 α における角柱の C_d 値は表-2 のようになる。また、 $B/d=3 \sim 14$ での C_d 値は、 B/d の増加とともに図-5 に示すような実線に沿って減少し、表-2 の値に近づいていくことがわかる。

4. まとめ

定常自由表面せん断流中に置かれた非水没状態の正角柱の迎角 α と blockage-ratio B/d を系統的に変化させその抵抗係数について調べた結果、以下のような知見を得た。

- (1) B/d と R_e の影響を受けない $R_e \geq 2.0 \times 10^4$ および $B/d \geq 14$ での C_d 値は表-2 のようになる。
- (2) R_e の影響を受けない範囲での $B/d \leq$ 約 14 での C_d 値は、 B/d の影響を受け、図-5 に示すような実線に沿って減少する。

参考文献

- 1) 福岡 捷二ら：土木学会論文集, No.600/II-44, pp.23-32, 1998.
- 2) 永井 莊七郎：改訂水理学(第15章), コロナ社, 1972. 3) 溝田 武人：日本風工学会誌, 第36号, 1988.
- 4) 栗城 稔ら：土木研究所資料, 第3400号, 1996.

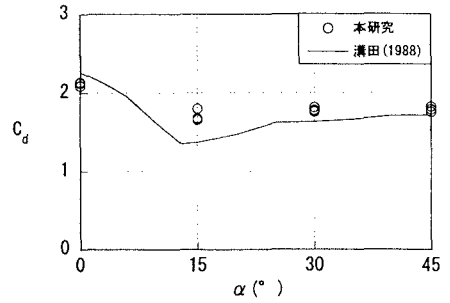


図-3 C_d と α の関係

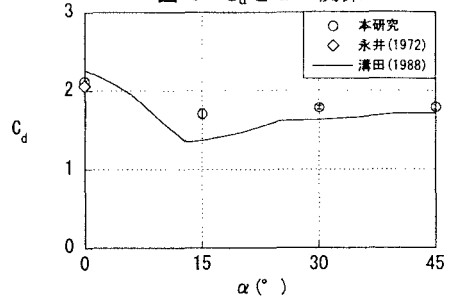


図-4 C_d と α の関係

(各 α の平均値)

表-2 B/d と R_e の影響がないときの各 α の平均値

迎角 α (°)	0	15	30	45
抵抗係数 C_d	2.12	1.71	1.78	1.79

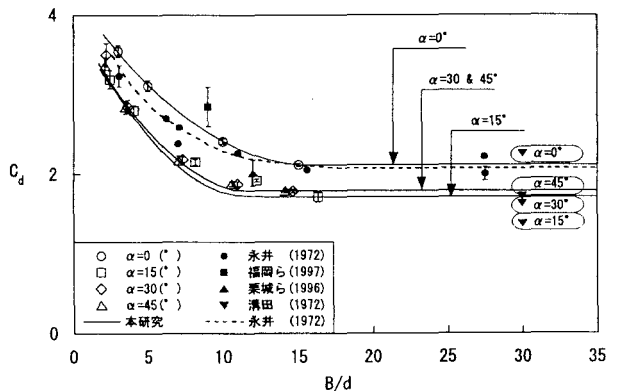


図-5 迎角 α を変化させたときの C_d と B/d の関係