

1. はしがき 土木工学で扱う抗力と受ける物体は、境界面上に置かれている場合が多く、その抗力は、既往の研究のように、無限の広さをもつて一樣速度場のそれにくらべて、i) 境界面、ii) 流速分布の存在に加えてiii) 形状が複雑なときは、既往の研究から推定することも難しい。本文は、形が単純でない物体の抗力を、流速が等しい微小投影面に作用する微少抗力の和であるとし、抗力係数 C_D は、与えられた水理条件で、物体の大きさの範囲内では、流速の違いに拘らず一定であるとして求めた抗力を、測定した抗力との様な関係にあるかを示して、以上の推定法の可能性を提示した。流れの背面側の部材については、前面側部材のしゃへ効果の評価に問題を残すが、工学的目的からは次上の推定法が有効であることを示す。

2. 抗力の特性 物体に作用する抗力は、摩擦抵抗と圧力抵抗の和である。しかし、 Re 数の大きいところでは、摩擦抵抗の割合は小さく、例えば円柱で、 $Re \approx 10^4$ 付近で、全抵抗の2%以下とされているので、抗力は圧力抵抗から成立つと考えてよい。

i) 境界面および物体の先端部をまわる流れの影響。境界面の影響は、長円柱のような細長い物体では、鏡像の概念で、円柱の中心面に界面があるとみなせばよいとされているが、継横比がほぼ等しい物体では、物体の大きさより流速分布が生じる領域が大きく、上述の取扱いはできず、境界面の厚さは、流速の変化の効果として算定される。物体先端を廻り、物体の背後に鉛直に流れ込む流れの影響を、平板および円柱の既往の研究からみると、板および円柱の継横比 h/L (h : 高さ, L : 長さ) がそれぞれ0.1および0.16より小さくなるに従って、 C_D が大きくなるが、逆に大きくなると C_D が一定になることが示されており。広い流れの場での境界の圧力特性がある種の相似を保つてゐたためと考えられるが、開水路で相対水深が小さく、物体によるせき上げ効果が顕著なときは、この影響は無視できないと考えられる。

ii) 流速分布の存在する影響 物体を囲む流れの流速が、境界層と主流部に分けて考えられるとき、境界層の厚さと、その領域の流速を U 、主流の流速を U_0 、抗力と F とすると、抗力係数 C_D は、

$$C_D = F / (\frac{1}{2} \rho U^2 A) = f(U/U_0, \delta U/\delta) \quad (1)$$

と表される。流速 U/U_0 は、 $\delta U/\delta$ と結びつくので、物体をかりに円柱とし、その高さを h 、直径を d とすると
 $C_D = f(U/U_0, h/\delta, d/\delta) \quad (2)$

となる。谷口らの円柱の抗力の測定では、 $0.2 < h/\delta < 0.8$ の領域では、 C_D は主として d/δ で、又、 $1.1 < h/\delta$ の領域では、 C_D は h/δ で規定され、いずれも U/U_0 の影響は小さいとしている。先述のように、抗力が圧力抵抗によつて決まるとしたとき、二次元的見方では、物体の前面と背面の圧力差を定まるところになる。式(2)で流速の項より物体の大きさを示す項が有効なのは、物体の相対的大きさが背面の圧力を規定しているためと考えられる。一方、前面の圧力は、接近流速によつて定まるものとしてよい。

以上のようだ、 C_D は、流れと物体の大きさの関数であるが、物体を構成する部材の抗力の C_D は、一様流れ中で得られた單一部材の C_D を、物体の置かれていくる場の Re 数を与えることによって決まり、与えられた物体の大きさの範囲では、流速に独立して一定値となると考えてよいだろう。その結果、物体の抗力は、

$$F = C_D (\beta/2) \int_{\infty}^0 U^2(z/k) \cdot b(z/k) d(z/k) \quad (3)$$

として求められる。ここで K は物体の高さ、 b は幅、 β は底からの高さである。

3. 半球の抗力係数 開水路床面に据えた半球の抗力を測定した。用いた測定器は、物体を据えたテーブルが抗力を受けた値をとると、そこに生じる復元力を電気的に計測するものである。測定に用いた半球の大きさには半径が3.5 cm および 1.5 cm である。相対水深 h/K は 1.73 ~ 3.3、測定時の水路こう配は 1/1000 ~ 1/30

である。半球の影響を受けない上流側で測定された流速式を用ひ、 $\Sigma(P/2)U^2 dA$ を求め、測定抗力との関係を求めた結果を図1に示す。図上の線の傾きが C_D に相当する。半球の輪切りは円柱とみなせるが、この実験と同じ Re 数の範囲の円柱の C_D は 1.2 である。勾配が緩やか、相対水深が大きい領域では、このような取扱いながら $C_D \approx 1.2$ とみなせ、勾配が急で、相対水深が小さく、球の背後に着しい水位低下が生じている領域では C_D はより少し小さくなる。式(3)の線形性の仮定は、先端付近の影響は考慮ではないが、相対水深の大きいところでは、式(3)の方法で十分といえよう。

4. 異型ブロックの抗力係数。実験のブロック寸法を図2に示す。

i) 無限一様流中での抗力。各部材の抗力に対する寄与を調べるために、静止流体中と自由落下させ、沈降速度から抗力を求めた。ブロックは後流の渦の作用で振動しながら沈降するので、後流の渦が十分発達した場合の抗力とみなせる。 C_D の算定で問題となるのは、背面側部材の抗力の評価である。式(3)の面積に前面からみた単純投影面積を用ひると、 $C_D \approx 2.4$ でさらに背面部材のうち流れに直面する部材の投影面積を加えた全投影面積を用ひると $C_D \approx 1.4$ となる(図3)。平板の C_D は高さ倍率で変わり、図3に示すように 1.2 ~ 2.0 である。本ブロックの部材は角型であるから、平板より少し上回るとすると、一様流れ中では前背面の部材が一様に $C_D = 1.4$ で抗力を生じているとしてよい。

ii) ブロックと床面における場合の抗力。床面上において場合は背面部材は前面のそれのしゃへいを受けるのでその評価が問題となる。線形性の仮定で、 $C_D = 1.4$ の一定とし、流速分布にしたがって、前面部材の微小面に作用する抗力の和を求め、測定した全抗力よりこれを差引いたものを背面部材の抗力とした。この抗力を満足する面積を、 $C_D = 1.4$ とブロック頂面の流速と求めの前面投影面積との比で表わすと図4を得る。この量は図5で斜線から上の部分の投影面積にほぼ等しい。

iii) ブロックを組合せて配列したときのうち一箇に作用する抗力。図6のように配列し、そのうちの一組にのみに作用する抗力を測定した。部材間と流過する流速は、算定又は測定が難しいので、流速はブロック頂部の値、 $C_D = 1.4$ を用いて、測定抗力に見合う面積を算出し、単純投影面積との比を求めると、表1になる。しゃへい率 0.5 は、図6の山型の横梁と両端の吊下する柱の面積にほぼ見合う。

4 むすび 各種形状の物体の抗力を求める一方法として、流速の変化のみを考慮し、 C_D は一定としての計算法が測定値をどうまで説明するかについて述べた。特に異型ブロックの一様流中の抗力が單一角柱の C_D と同じであることから、上述の計算法の妥当なことを示していることを示した。

1) Goldstein S; Modern Developments in Fluid Dynamics Vol. 2 424 (1938)

2) 谷口ら: 機械学会論文集 46巻 405 8355

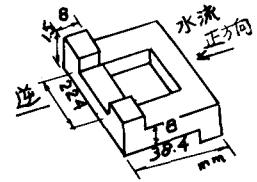
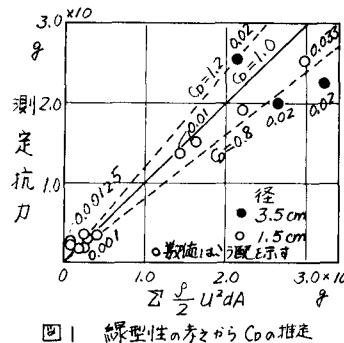


図1 線形性の考え方から C_D の推定

図2 実験に用いたブロック寸法

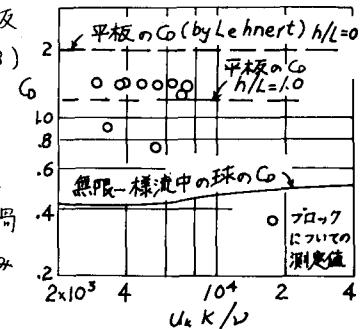


図3 異型ブロックの C_D

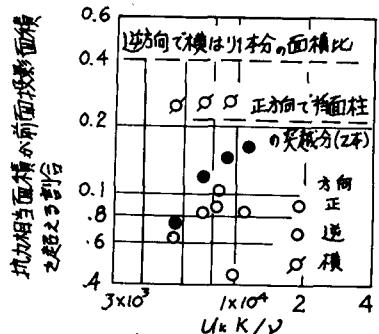


図4 背面材の抗力負担面積比

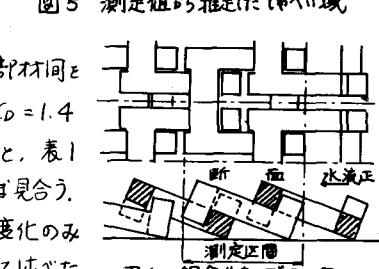


表1 配列中の1箇の抗力			
方向	勾配	水深cm	平均しゃへい面積率
正	1/300	3.1~8.0	0.0~0.5(うち3)
↑	1/500	3.1~7.9	0.06
逆	1/300	3.0~8.0	0.295
↑	1/500	3.0~8.0	0.56