

異型ブロックの抗力係数

立命館大学理工学部 犬同淳之

1 はしがき 土木工学で扱う物体は境界面上に置かれている場合が多く、その抗力は、既往の研究の無限の応答をもつ一様速度場のそれに比べて、i) 境界面の存在、ii) 流速分布の発生、の影響があり、さらに物体の形が単純でないときは既往の研究から推定することも難しい。本文は、流速分布のある流れの中におかれた異型ブロックの抗力を、流速が等しい微小投影面に作用する微小抗力の和である、として測定結果を整理したものである。この考えは、物体にそって生じる鉛直方向の流れの影響を無視していることになり、適用に限界があることは予想されるが、どこまで説明できるかを示した。

2. 抗力特性 物体に作用する抗力は、摩擦抵抗と圧力抵抗の和である。しかし摩擦抵抗は小さく、例えば円柱では $Re \approx 10^4$ 付近で全抵抗に対して 2% 以下とされているので、¹⁾ 圧力抵抗から成立つと考えよう。

i) 境界面および先端部とよめる流れの影響 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、境界面とみなせばよいとされている。しかし縦横比がほぼ等しい物体では、物体の大きさより流速分布の生じる領域が比較的大きく、中心面と境界とみなすことはできず、この影響は流速の変化の効果として算定される。先端部とよめる流れの影響については、平板および円柱の既往の研究が縦横比 h/L (h : 高さ, L : 幅, d/l (d : 直径, l : 円柱長さ)) がそれぞれ 0.1 および 0.16 より小さいときは C_D が次第に大きくなるがこれより大きいときは C_D が一定になると示している。 C_D - 一定の領域では背面の圧力特性がある種の相似を保っていると考えられ、先端流れの影響を考慮する必要はないといえよう。

ii) 流速分布が存在する影響、物体と過ぎる流れの流速が、境界層と主流部に分けて与えられるとすると、境界層の厚さ δ 、その領域の流速を u 、主流の流速を U_0 とすると、

$$C_D = F / \left(\frac{1}{2} \right) \rho U_0^2 A = f(u/U_0, \delta U_0/\nu, \text{物体の相対的大きさと示すパラメータ}) \quad (1)$$

と表されよう。境界層の流速を、

$$u/U_0 = (1/k) \ln(\delta U_0/\nu) + C + (\pi/k) \omega \quad (2)$$

ここに C, π は定数、 ω は後流関数とすると、式(1)の右辺のパラメータとして減えることができ、物体を例えば円柱とし、高さ h 、直径 d とすると、式(1)は、

$$C_D = f(u/U_0, h/\delta, d/\delta) \quad (3)$$

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 d/δ による、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。先述のように抗力が圧力抵抗によって決まるとしたとき、準二次元的見方では、物体の前面の背面の圧力差で定まることになる。背面の圧力には、物体の相対的大きさ d/δ が関係するが、前面の圧力は、近寄り流れの流速によって定まるとしてよい。

抗力係数 C_D は式(3)のように流れと物体との相対的大きさの関数であるが、工学的便宜さ

Atsuyuki DAIDO

からは、与えられた物体の大きさの範囲では、 C_D は流速に独立であるとして、抗力 F を

$$F = C_D (\rho/2) \int_0^1 U^2 (z/K) b(z/K) dz/K \quad (4)$$

ここに K は物体の大きさ、 z は底からの高さ、 b は幅、として表せる。

3. 異型ブロックの抗力係数 実験のブロック寸法と図1に示す。

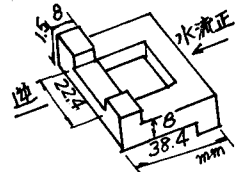


図1 模型寸法

i) 無限一様流中での抗力 : 各部材の寄与を調べるため、静止流体中より自由落下させて、沈降速度から抗力を求めた。ブロックは後流の渦

の作用で揺動しながら沈降するので、後流の渦が十分に発達している場合の抗力とみなせる。 C_D の算定で問題になるのは、背面側部材の抗力の評価である。式(4)の面積にブロックの単純投影面積を用いると、 $C_D \approx 2.4$ で、背面側部材のうち流れに面する部材の投影面積を加えた全投影面積で用いると、 $C_D \approx 1.4$ となる。平板の C_D は、高さ幅比で変わるが、図2に示すように、1.2から2.0である。本ブロックの部材は角型であるから、平板より少し大きい C_D をとるのはほぼ妥当であらう。各部材が一様に $C_D=1.4$ で抗力を生じていると判断される。

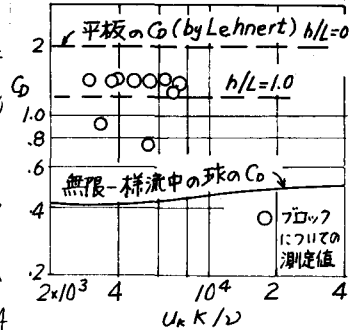


図2 一様流中での抗力係数 C_D

ii) ブロックと境界面上に置いた場合、抗力はせん断力測定器で求めた。床面上に置いた場合は背面部材は前面部材のしゃへいを受けると予想され、この影響の評価が問題となる。線形性の仮定により、ブロック前面の流速は、ブロックの影響のない場での流速で表せるとし、流速分布に従って $C_D=1.4$ 一定として微小面に作用する抗力の和から、前面部材の抗力を求め、測定全抗力よりこれを引いたものが、後面部材の抗力とする。この抗力と満足する面積を、 $C_D=1.4$ 、ブロック頂面の流速と求めて求め、前面投影面積との比で表わすと、図3を得る。この量は図4で斜線と引いた部分から上の部分とほぼ見合う。

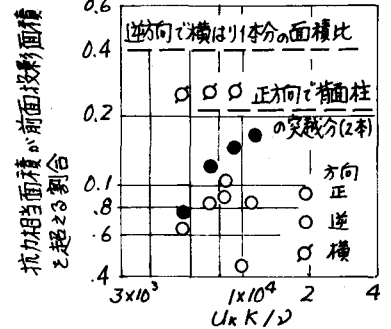


図3 背面材の抗力真投影面積比

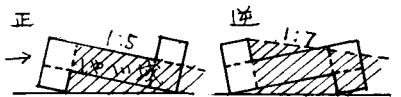


図4 測定値から推定したしゃへい域

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5のように配列し、そのうちの二組のみに作用する抗力を測定した。部材間を流過する流速は、算定又は測定が難しいので、流速はブロック頂部の値、 $C_D=1.4$ として、抗力に見合う面積を算出して、単純投影面積との比を求めると、表1のようになる。しゃへい率0.5は図5の山型の横梁と両端に吊る柱の面積にはほぼ見合う。

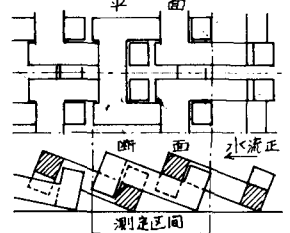


図5. 組合せたブロック

4. わすび、異型ブロックの抗力の算出にあたり、無限一様流速の場では C_D 一定で各部材抗力の和で表されたことから、流速分布のある場では、流速の等しい微小部分の抗力の和で、異型の物体の抗力を算定できるとした。単一部材の C_D が得られれば構造が変わっても計算できる。

表1. 西列中の1箇の抗力係数

方向	水深	水深	平均しゃへい面積率
正	1/300	3.1~7.96	0.0~0.55
逆	1/300	3.1~7.9	0.06
逆	1/300	3.0~8.0	0.295
逆	1/300	3.0~8.0	0.56

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. 8855. 3) 大同: 第25回水理講演会論文集 8855,