

III-28 棧粗面の基面とその抵抗則について

京都大学防災研究所 正員 ○ 足立昭平
京都大学大学院学生 正員 村本嘉雄

粗面乱流に関する従来の研究は、水深の基面選定に関して統一された見解がなく、粗面流解明の一つの隘路になっている。すなわち多大数の研究者が粗面の基面が粗面要素の高さの中間に位置するであろうことを認めているのではあるが、取扱いの便宜から、あるいは粗面要素の頂面を、あるいは底面を水深の零位に選んでいる。J.W. Johnson, H.M. Morris らは前者であり、R.W. Powell, W.E.S. の資料らは後者である。この基面選定は抵抗公式に直結する問題であり、とくに人工粗面を模型実験に適用する場合に、その統一の見解を明確にしておくことが重要な問題である。われわれは昨年の報告において、人工粗面の基本形として棧粗面をとるわけ、棧間隔に応じて流れの形態を分類する必要があることを述べたのであるが、この概念に基づいて棧粗面の基面選定について若干の考察を行った。

1. 棧粗面乱流の形態： 棧粗面上を流れる乱流は、棧の後方に生ずる後流の拡散に特性づけられる。また棧間隔が十分に小さい場合には、各棧の後流は相互に完全に干渉し合い、流れの構造は砂粒粗面と相似であり、Perfect Wake-Interference Flow を形成する。一方棧間隔が非常に大きい場合には、各後流は孤立し、Isolated-Roughness Flow となる。そしてこの場合の棧間隔当りの水路の全抗力は、棧の形状抗力と棧間の水路壁面の摩擦抗力との和であり、棧の形状抗力は棧間隔に無関係に、棧高を特性長として与えられる。つぎにこれらの両者の中間の場合には、一つの棧の後流はつぎの棧に達するまでに、ある程度拡散するのであるが、その影響はいくらか残るはすである。このような流れの構造は、流れの方向に乱れが一様でない異で、Isolated-Roughness Flow に近いと考えられるのであるが、個々の棧の後流は独立でなく、相互に干渉するからその抗力は棧間隔に応じて、一種の遮蔽効果をうけて減衰することになる。したがってこの流れは Imperfect Wake-Interference Flow と名付けることができる。

2. 棧粗面の抗力と水深の基面： 一様な速度 u の流れの中にある物体のうける抗力 D は、二次元の場合、流体の密度を ρ 、抗力係数を C_D および物体の流れに対する射影高を k であらわすとき、
$$D = \rho C_D k u^2 / 2$$
 であらわされる。一般に C_D は Reynolds 数の関数であるが、流れに垂直においた平板の場合には、非常に緩慢な流れの場合を除けば、剥離点の位置が板の両端に固定し、流れの状態が Reynolds 数に影響されることが少ない。われわれの用いた矩形断面棧についても、棧中が小さく平板の場合に類似するものと推定できるのであるが、粗面の場合、棧は壁面に接して設置され、流れの速度は一様分布でないから、 C_D を流水断面の平均流速で定義すると、速度分布に対する考慮が必要であり、相対粗面 H/k (水深/棧高) が重要な parameter になるであろう。図-1 は真鍮製の棧を用いて棧の圧力抗力を直接測定して求めた抗力係数 C_D を、相対粗面 H/k に対して plot した図であり、両者の間にかなり明瞭な相関関係を認めることができる。なお s は棧間隔をあらわ

し、 $S/k = \infty$ は棧がただ一ヶだけの場合であり、また $S/k = 2.5$ の実験値は、 $C_D = 0$ であったが両対数紙の図-1には記入されていない。さてさきに述べたように Isolated Roughness の棧抗力は、棧間隔に関係なく棧高に特性づけられ、流れに対する棧抗力の基点は底面からの全高が問題となるのであるから、この場合の基面は底面にあると考えるのが穏当であろう。図-1において $S/k = 160$ は ∞ と差異がなく、したがって $S/k \geq 160$ に対しては Isolated Roughness として、底面を基面に選ぶことができる。一方上に述べたように $S/k = 2.5$ の場合に $C_D = 0$ であったことから、少なくとも $S/k \leq 2.5$ に対しては、棧高は問題でなく、この場合の流れが

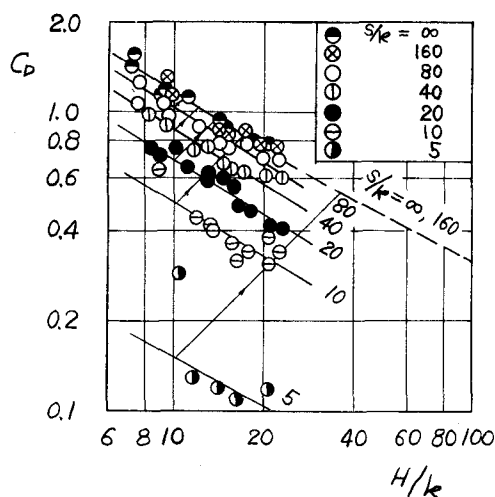


図-1 棧粗面の抗力係数

Morris の Skimming Flow に相当するかどうかは明らかでないが、とにかく水深の基面は棧頂面に選ぶべきである。棧間隔がこれらの中間にある場合に対しては、図-1に示されるように、 S/k の値に対応して C_D が異なり、棧相互の遮蔽効果があらわれている。そしてこれらの遮蔽効果を具体的に評価することによって、基面が決定されると考えるのが妥当であろう。いま一つの試みとして、遮蔽効果を底面からの高さ c であらわし、有効水深 H_e 、有効棧高 k_e と $H_e = H - c$ 、 $k_e = k - c$ で定義し、 H_e 、 k_e に対して抗力係数をあらためて計算すれば、 $S/k = \infty$ の C_D に一致すると

考えることにする。このようにして図-1から C/k を求めると、われわれの場合に対して、 C/k は S/k に一意に対応し、図-2に示すようになる。この c が棧粗面の基面を与えるのであるが、実用上の目的、とくに模型水路への適用のためには、さらにこれを単純化することが望ましい。その一つの近似として、われわれは

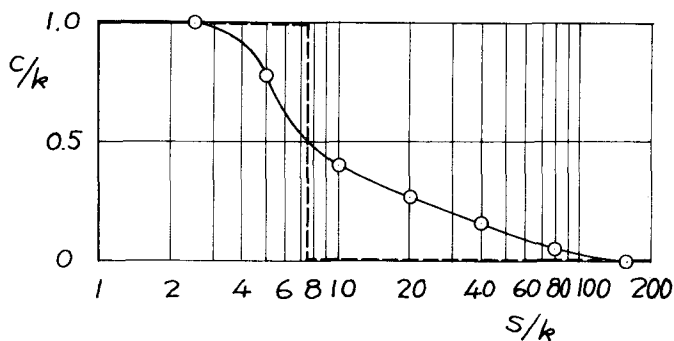


図-2 棧粗面の遮蔽高

れは $C/k \geq 0.5$ に対して $C/k = 1.0$ と、 $C/k \leq 0.5$ に対して $C/k = 0$ とおくことを提案したい。

3. 棧粗面の抵抗則：速度の対数分布則は一般に、 $u/u_* = \frac{1}{k} \ln M(z-c)$ であらわされ、 M は壁面近くの乱れに関する積分常数である。棧粗面に対しては、 $M = (H_e/k_e)^8 / m k_e$ の関係が期待することができ、 m および θ は流れの形態によって異なる値をとると考えられるのであるが、過去の実験資料を参照して、これらが S/k の関数であることが見出された。結局棧粗面の抵抗式は二次元流に対して $\bar{u}/u_* = \frac{\theta+1}{k} \ln(H_e/k_e) + \frac{1}{k} (\ln \frac{1}{m} - 1)$ となる。なお本研究には文部省科学研究補助金をうけた。ここに附記して謝意を表する次第である。