

III—28 棧型粗度の特性と開水路への応用について

京大防災研究所 正員 ○足立昭平

京大大学院学生 正員 村本嘉雄

全 上 正員 森平倫生

固定床模型実験水路に適切な人工粗度を与えるためには、各種の人工粗度について、それが水流に及ぼす抵抗を適確に予知することが必要である。棧型粗度は比較的大きな抵抗を与える代表的な人工粗度の一つであり、種種の人工粗度の基本型とも考えられるので、その抵抗特性について若干の実験的考察を試みた。

従来各種の人工粗度を評価する手段として、Nikuradse の砂粒粗度に準據するいわゆる相当粗度 (Equivalent Sand Roughness) に換算することが提唱せられており、多くの実験研究がなされている。しかしながら H.M. Morris 氏も指摘しているように、粗度要素の間隔が十分に大きい場合には、個々の粗度要素は流れに対して、それぞれ独立に働き、粗度要素の後流が相互に干渉し合う流れとは異なる抵抗特性をもつであろう。氏は粗面流の特性と決定的に支配する因子は粗度要素の高さではなくて、粗度要素の間隔であると主張し、前者を孤立粗度流 (Isolated Roughness Flow)、後者を後流干渉流 (Wake-Interference Flow) と名付け、さらに粗度要素の間隔が密な場合を疑似滑面流 (Quasi-Smooth Flow) として、粗面流を三つの型に分類している。粗度要素の高さが才三の流れを除いては重要でないとする見解が正しいかどうかを別とすれば、この分類は従来の相当粗度だけによる粗度の評価方法に一つの警告を与えるものとして注目されるべきであろう。筆者らはまず棧粗度が孤立粗度流を生ずる限界を実験的に推定することを試み、巾 20cm、深さ 30cm、の鋼製水路に棧高 5mm、棧巾 6mm の検角棒を間隔 80cm, 40cm, 20cm, 10cm, 5cm および 2.5cm に配置し、棧上および棧の中間部の流速分布を測定し、さらに棧一本を単独に置いた場合の流速分布の変化を実測し、その両者を比較して、孤立粗度流を生ずる大凡の限界として、棧間隔と棧高の比が 20 以上という結果を得た。もちろんこの限界は単に棧の配列だけでなく、その上を流れる水流の水理量にも影響されるであろうから、この結果は決定的限界値を厳密に与えたものではないのであるが、一応の目安として大方の場合に適用できると考えられる。この結果はまた、棧の間隔が少なくとも棧高の 20 倍以上に配列される場合に、流水の速度分布は棧の間隔に応じて規則的に変化し、流れに対する抵抗は、棧の形状抵抗とその間の水路床面の剪断摩擦抵抗とが交互に生じていることを示している。このような場合の水路全長についての平均流速に関する摩擦項 U/U_{cr} と相対粗度 R/k との関係は片討教紙にプロットすると、棧間隔が狭く棧の後流が相互に干渉し合って、流れの速度分布が水路方向にほとんど変化しない場合のそれとかなり著しい差異が認められる。すなわち後者の関係は Nikuradse の砂粒粗度の場合に近いのであるが、棧間隔が大きいものほど R/k に対する U/U_{cr} の変化が大きく単に相当粗度をもってその抵抗特性を表わすことは無理である。図-1 はその一例として筆者らの実験値と R.W. Powell 氏の実験値を示したものである。

孤立粗度流の抵抗特性が砂粒粗度の場合と異なるとすれば、その取り扱いには別に考慮しなければならない。孤立粗度流の抵抗は棧の抗力と水路床面の摩擦抗力の和と考えることができ、H.M. Morris, H.A. Einstein 氏は水路床面の摩擦抗力が滑面流の抗力に等しいとしているのであるが、水路床面の剪断応力は棧の水位堰上げ効果に影響され、単に Reynolds 数だけでなく、結果的に棧の抗力にも支配されるであろう。筆者らはこの点に着目して次元解析による考察を試みたのであるが、実験結果は棧間隔が棧高の 160 倍の場合でさえも、全抵抗に対しては、Reynolds 数よりもむしろ相対粗度 R/k が支配的であり、実際には棧間隔のそれぞれの値について R/k のみの関数とみなすことができるようである。

模型水路に要求される水流の抵抗特性は、原型水路の粗度特性によって決まり、ある場合には水深とともに抵抗の増大が、またある場合には一定値もしくは減少の特性が要求せられる。これに対処するためには、人工粗度の種類の選定と同時に模型歪みを利用する粗度の配置方式を考慮しなければならない。矩形断面水路の側壁の効果については今年の講演会に述べたのであるが、孤立粗度流を生ずる棧型粗度について、側壁あるいは底面のみに棧粗度を配置する場合の抵抗特性について若干の考察を行った。

いま水路潤辺の各部分の抗力が、それぞれ流水断面のある部分の面積内の水流のエネルギー消費をはたし、かつ各潤辺要素 A_p の抵抗係数 λ_i を流水全断面の平均流速 U に対して、

$$\sqrt{2/\lambda_i} = U/\sqrt{g R_i I_e} \text{ で定義することになれば、 } R_i/\lambda_i = R_0/\lambda_0 \text{ である。}$$

ここに g は重力の加速度、 R_i は潤辺要素 A_p に関する径深、 I_e は水流のエネルギー勾配であり、 R_0 、 λ_0 はそれぞれ流水全断面に関する径深と抵抗係数である。

一方 $R_0 = \Sigma(A_p R_i) / \Sigma A_p = (R_i/\lambda_i) \Sigma(R \lambda_i) / \Sigma A_p$ であることに着目すると、これらの関係式から λ_i が与えられれば λ_0 の R_0 に対する特性を見出すことができる。この計算手順は省略するが、全潤辺に棧粗度を取りつけた実験値に基づいて両側壁のみに粗度を取りつけた場合の抵抗係数を求めた結果の一例は図-2 に示すようであり、 R_i と R_0 との関連および上に述べた λ_i の定義にはなお論議すべき問題が含まれているが、この計算結果は実験値とかなり良好な一致を示している。

その他の粗度の組合せについても同様に計算値と実験値の一致を確かめ粗度の配置方式によって水流の抵抗特性が種々に変化することを見出した。以上主に孤立粗度流についての実験結果の概要であるが、棧間隔がとくに密である場合の問題についての詳細は後に改めて報告する予定である。おわりに本研究は文部省科学研究所補助金によって遂行されたことを記し、謝意を表するものである。

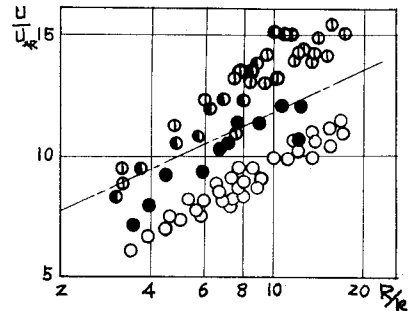


図-1
Powell 著者
○ ● $S/k = 40$
○ ● 160

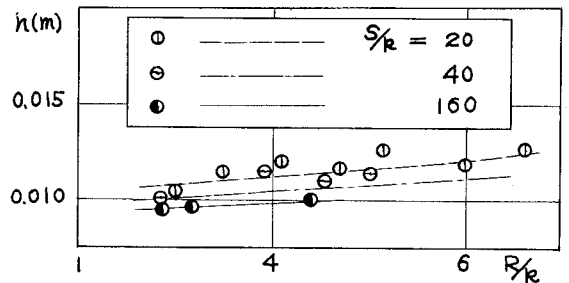


図-2