

II-330

リブレット粗面開水路の抵抗則

山口大学工学部 河元 信幸

山口大学工学部 齋藤 隆 久森 恒晴

1. まえがき

粗壁面上の流れにおいて、壁面せん断力の評価に仮想壁面位置の評価が重要な課題とされているが、仮想壁面位置は対数領域における流速の絶対値を与えるものであって、壁面から対数領域までの流速を積分した結果として与えられる。したがって、流速分布が実験的に明らかにされている滑壁面では対数領域までの流速の積分値が一定値となる場合には仮想壁面位置の評価は有意義であるが、流速分布が明らかでない粗壁面上の流れに対しては疑問が残されている。上述の観点より、多くの研究で滑面との対比で検討されていることから、流速分布が滑面と大きく違わないと思われるリブレット粗面での流速分布の測定を行った。Driestのdamping functionに含まれている damping coefficient B と粗度 Re 数との相関が良好であるのに対し、平均流速と混合距離の分布に微妙な差異が認められた。本研究は、従来の実験での乱れ強さの分布などを参考にして、Van Driestの damping function を基本形として、主に buffer layer での混合距離分布を修正することによる混合距離モデルの有効性を検討したものである。

2. 抵抗則と混合距離モデル

二次元等流流れの運動方程式は次式となる。

$$\frac{\tau}{\rho} = -uw + \nu \frac{du}{dy} = U_*^2 \left(1 - \frac{y}{H} \right) \quad (1)$$

混合距離理論に従うと、レイノルズ応力は次式となる。

$$-uw = \rho l^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy} \quad (2)$$

両式から次式が得られる。

$$\frac{du^+}{dY^+} = 2 \left(1 - \frac{Y^+}{H^+} \right) \left\{ \sqrt{1 + 4l^{+2} \left(1 - \frac{Y^+}{H^+} \right)} + 1 \right\}^{-1} \quad (3)$$

Van Driest の damping function を導入した混合距離の分布は次式となる。

$$l = \kappa y \sqrt{1 - \frac{y}{H}} \cdot \Gamma, \quad \Gamma = 1 - \exp \left(-\frac{Y^+}{B} \right) \quad (4)$$

Choi等のDNSならびに実験結果によると、リブ頂上部の両側に半粗度程度の縦渦が形成されており、滑面流れで乱れ強さが最大となる $Y^+ = 13$ 付近においてのみ乱れ強さが低減していることが明らかにされている。著者らの検討で、Van Driestの damping function 中の係数 B で対数領域での流速の絶対値を合わせた場合、全体的傾向として buffer layer ならびに水表面近くでの混合距離の値は過大に評価されている傾向が認められた。

上記の事実を参考にして、buffer layer 内に限定される damping coefficient B の修正と水表面の影響を与える項とを次式の様に仮定する。

$$\Gamma d = 1 - \exp \left(-\frac{Y^+}{H^+} \right) \quad (5)$$

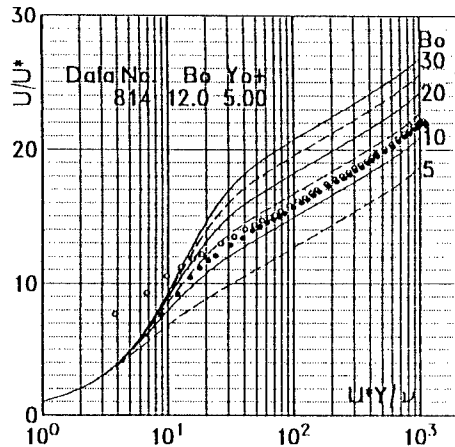
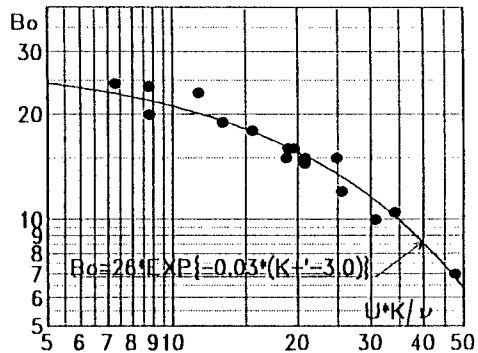


図-1 平均流速分布

図-2 Bo と粗度 Re 数との関係

$$B_0 = B_0 \left[1 + \exp \left\{ - \left(\frac{Y^+ - Y_0^+}{K^+} \right)^2 \right\} \right] \quad (6)$$

$$\Gamma_s = \exp \left\{ - \left(\frac{Y^+}{H^+} \right) \right\} \quad (7)$$

混合距離分布は次式で与えられる。

$$L^+ = \kappa Y^+ \sqrt{1 - \frac{Y^+}{H^+}} \cdot \Gamma_d \cdot \Gamma_s \quad (8)$$

式 (6) 中の B_0 は対数領域における実測流速で決められるものである。

3. 仮想原点と修正係数 B_0

図-1 は式 (8) を式 (3) に代入し、 B_0 の値を系統的に変えて式 (3) を積分して求めた流速分布と実測の流速分布を比較した一例である。白丸描点は実測流速をリップ頂からの水深で無次元にしたものである。黒丸描点は計算した流速分布形状に一致する仮想原点で修正した水深 H で無次元にしたものである。図中には実験番号と内挿で求めた B_0 ならびに仮想原点位置 Y_0^+ が記入してある。上記のようにして得られた B_0 、仮想原点位置 Y_0^+ と粗度 Re 数 Ks^+ との関係を示したのが図-2, 3 である。図-2 に曲線で示した実験式は次式である。

$$B_0 = 26 \cdot \exp \{ -0.03 (Ks^+ - 3) \} \quad (9)$$

壁面近くでの低流速の測定精度が良くないために図-3 での実験描点が散乱している。全体の傾向として実験式にすると次式となる。

$$Y_0^+ = 0.60 \cdot (Ks^+)^{0.63} \quad (10)$$

上式から粗度 Re 数が大きくなると仮想原点位置は浅くなりリップ頂に近くなる。

図-4 は混合距離分布の仮定値に対する実測流速分布から逆算した値の比を描点したものである。微分操作による有効桁数の減少を考慮すると、両者は良好な一致を示していると判断される。

図-5 は上述の混合距離分布の仮定に基づいて、摩擦抵抗係数を算出した値を、同一流量を流した滑面での摩擦抵抗係数を式 (3) を積分して求めた値で除した計算値と実測流速分布を積分して算出した摩擦抵抗係数を計算値と同様にして求めた滑面摩擦抵抗係数値で除した値を比較したものである。本実験結果は同じ形状で行なわれた実験値の散乱内にあり、計算値と実験値とは良好な一致を示している。

4. まとめ

粗壁面上の流れの抵抗則を適切に評価するには、滑壁面と同様に内層における流速分布が重要な役割を持つものとの観点から、従来の研究による知見を参考にして内層における混合距離分布についての提案を行った。また提案式によって実験結果が適切に表現されたと考えられる。

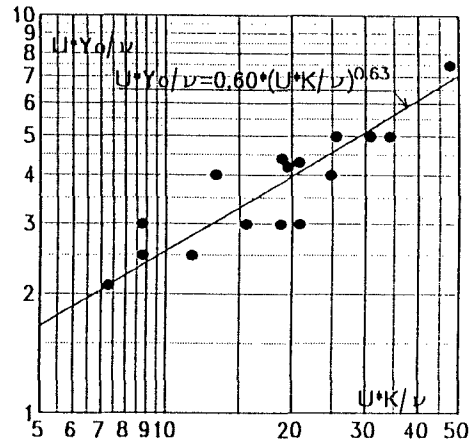


図-3 仮想原点位置と粗度 Re 数との関係

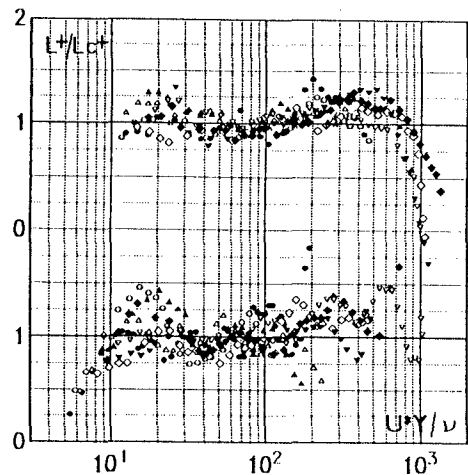


図-4 仮定値に対する混合距離比の分布

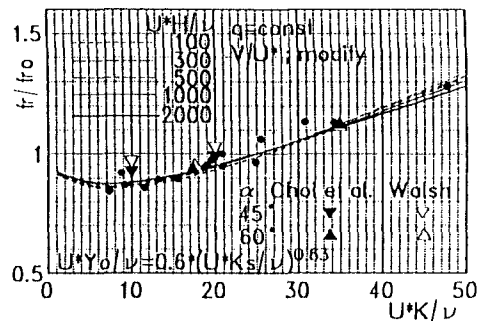


図-5 摩擦抵抗軽減率と粗度 Re 数の関係