

II-329

Van Driest の damping function によるリブレット粗面抵抗則の検討

山口大学 久森 恒晴
日本鐵塔 下川 雅史

斎藤 隆

1. まえがき

壁面領域における平均流速分布が不明である粗面流れでの壁面せん断力の評価には、全領域での平均流速分布が実験的に明らかにされている滑面での壁面せん断力の評価と比較して問題がある。本研究は、多くの研究において滑面との比較がなされ、全せん断力の分布が明確であり、比較的平均流速分布が実験で定義され易いリブレット粗面開水路流れの平均流速分布を測定し、抵抗則をDriestのdamping functionで与えられる混合距離分布を基本として検討した結果を報告するものである。

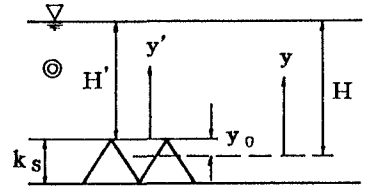


図-1 記号説明

2. 実験水路と実験方法

実験水路は幅60cm、深さ30cm、長さ10mの3面アクリル樹脂製の可変勾配水路である。実験はエネルギー勾配と河床勾配とがほぼ一致する流れで行った。流速は矩形開口部が0.5x3mmのピトー管を用いた。水面形状と流速の測定には水頭で0.01mmの分解能である差圧計を用いた。

3. 実験結果とその検討

実験結果の整理に用いた記号を図-1に示す。リブ頂から計った諸量には上付き添え字'をつけて区別した。

図-2に次式から求まる平均流速分布と実測流速分布を示す。

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

$$l^+ = \kappa Y^+ \sqrt{1 - \frac{Y^+}{H^+}} \Gamma, \quad \Gamma = 1 - \exp\left(-\frac{Y^+}{B}\right) \quad (2)$$

白丸描点はリブ頂を原点にした無次元測定流速である。黒丸描点は測定流速分布が上式による分布と全体的に一致する仮想原点で修正した結果である。図中には実験番号、damping coefficient B ならびに無次元仮想原点位置の値が記入されている。流速分布を詳細に見ると、Buffer層から対数領域に移行する領域で、特に H^+ が小さい場合に実験描点と計算値との間に微妙な差が認められる。

図-3、4は damping coefficient Bの値、ならびに無次元仮想原点位置 U^+y/ν と粗度Re数 U^+k_s/ν との関係を示したものである。図-3から damping coefficient Bと

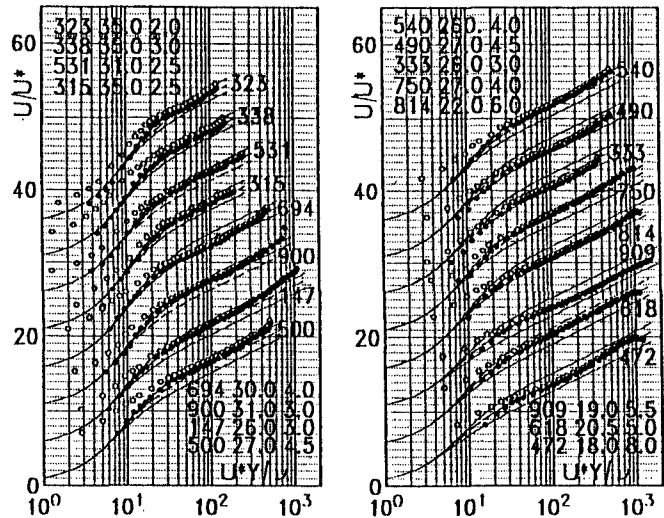


図-2 平均流速分布

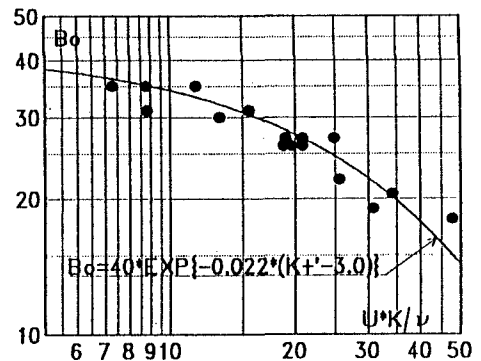


図-3 Bと粗度Re数の関係

粗度 Re 数 U^*k_s/ν とは良い相関が認められる。一方、図-4での描点の散乱は大きくて、無次元仮想原点位置 U^*y_0/ν と粗度 Re 数 U^*k_s/ν との相関は良いとは言えない。この事実と、紙面の制約で割愛しているが、図-2で明かであるように、仮想原点位置の差による平均流速の違いは極めて小さいことから、平均流速分布形状を主として規定しているのは damping coefficient B の値である。

平均流速分布は図-2に示すようにかなり良く表現されているが、流れの構造を表示する代表寸法の一つである混合距離分布について検討する。

混合距離モデルを用いると

$$-uw = l^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy} = U^* \left(1 - \frac{y}{H} \right) - \nu \frac{du}{dy} \quad (3)$$

によって測定した流速分布から混合距離分布が得られる。

測定流速の5点の分布を最少2乗法を用いて2次曲線で近似し、その中央点での速度勾配を用いて式(3)から混合距離を求めた。この値を、図-3に示してある B の実験式と式(2)から得られる値で除した結果が図-5である。図中において、描点の散乱が大きくみられる部分が注目される点であるが、すなわち、水表面の影響は式(2)では十分に評価されていない。さらに、Buffer層における混合距離も式(2)での評価は乱流構造などの検討を行う場合には十分とは言えない。後者での差異は H^+ が小さい場合ほど顕著となっている。

実測流速分布と式(2)による混合距離分布のずれは微妙な差が認められるが、流速分布の積分結果である抵抗係数を求め、同じ流量での滑面における抵抗係数に対する比と粗度 Re 数と関係を描点したのが図-6である。滑面での抵抗係数は $B=26$ とし、式(1)を積分して得られる流速分布を積分して求めた。図中の曲線は図-3に示してある B の実験式を用いて計算した値である。また、図中の白と黒の三角描点は Choi 等の DNS による結果と Walsh の実験結果である。リブレット粗面に関する多くの実験結果によると図における実験描点の傾向と同様に $Y^+=15$ 程度で抵抗軽減が最大となり、 $Y^+ < 10$ では抵抗軽減は減少することが明らかにされている。 $Y^+ < 15$ では、実測の流速分布から評価された B を用いての抵抗係数の値は従来の実験結果とは一致していない。

4. まとめ

Van Driest が滑面上の流れにおける混合距離分布に導入した damping function に含まれる damping coefficient B を粗度 Re 数の関数として抵抗則の検討した結果、工学的な観点からの評価は可能であるが流れ場の構造を検討するには buffer layer における混合距離をより詳細な検討を要する。

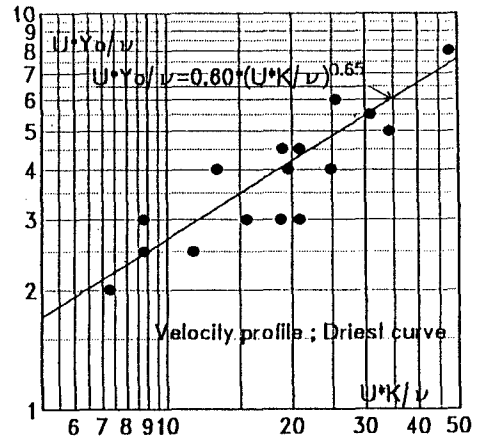


図-4 仮想原点位置と粗度 Re 数の関係

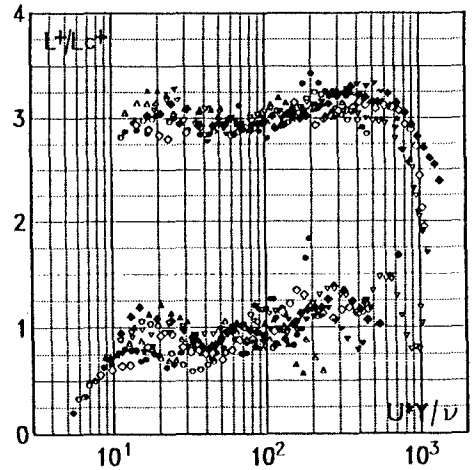


図-5 混合距離分布

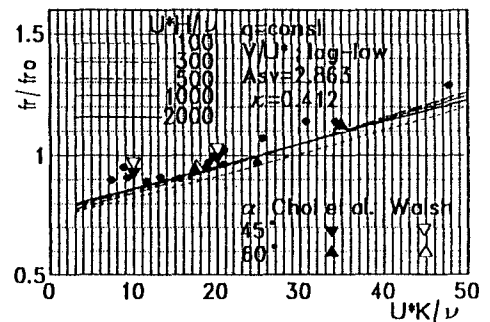


図-6 抵抗軽減率と粗度 Re 数との関係