

リブレット粗面開水路の抵抗則に関する研究

山口大・院 学○倉本和正 山土木 小澤 隆
山口大・工 正 斎藤 隆

1. はじめに

リブレットとは平均的な流れ方向に規則的な微小溝を一致させることにより摩擦抵抗を軽減させるというもので、従来の研究結果を覆すものであった。本研究では、抵抗軽減を定量的に評価する抵抗則と強い関連のある壁領域の流れ特性を明らかにすることを目的に、等流状態で測定した平均流速分布の特性である混合距離について検討し、仮想原点、粘性底層厚さについて考察を行った。

2. 実験装置と実験方法

実験には、長さ10m、幅60cm、高さ30cmの亚克力製可変勾配開水路を用いた。水路床には、1辺2mmの正三角形断面を有するテフロンゴム紐 300本を一様に張り付けリブレット粗面とした。流速は、外径2mmのステンレス管で制作された動圧開口部厚さ0.35mm、幅3mm、先端部の肉厚 0.1mmの扁平断面を有する境界層用ピトー管を分解能1/100mmHgの微小差圧計に接続して測定した。リブレット頂を原点として算出した物理量にはダッシュ(′)を付けて原点補正をした値と区別した。

3. 実験結果とその検討

実測した平均流速分布より、連続する5点の実測値を2次曲線で近似し、その中央点における速度勾配とせん断力分布を三角形分布として算出した混合距離を y'^+ に対して描点したものが図-1である。この結果を用いて、仮想原点位置ならびに粘性底層厚さの評価を試みる。

図において、床面近くでの混合距離がほぼ1.5乗で増加している範囲での混合距離を定式化する。直線分布における混合距離の絶対値 A と H'^+ との関係は、図-2の通りとなり、混合距離は次式で表すことができる。

$$\frac{l}{\kappa H'} = 0.053 \left(\frac{u_*' H'}{\nu} \right)^{0.44} \left(\frac{u_*' y'}{\nu} \right)^{1.5} \quad (1)$$

一方、粘性底層内では渦動粘性係数の値 ε は動粘性係数の値 ν である。動粘性係数を混合距離の形で評価すると次式となる。

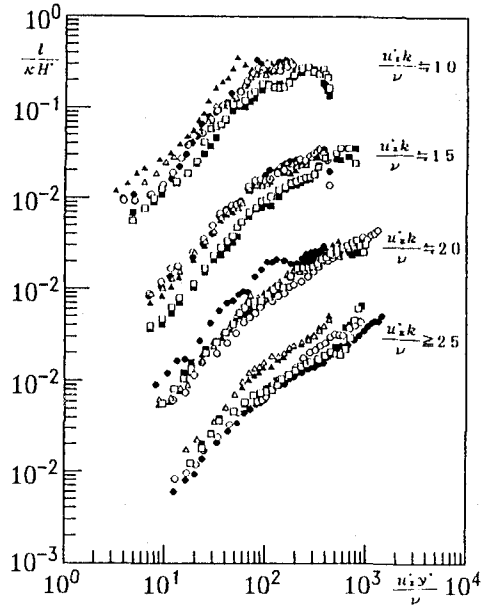


図-1 混合距離の分布

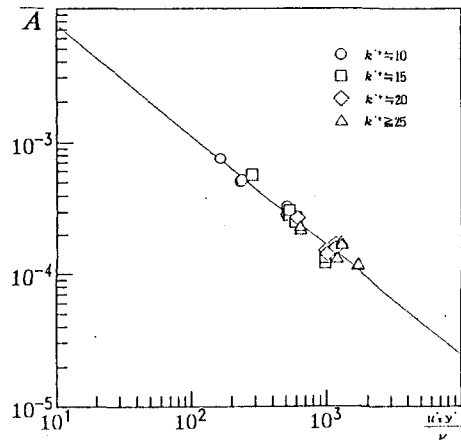


図-2 A と H'^+ の関係

$$\frac{l}{\kappa H^+} = \left\{ \kappa^2 \frac{u_*^+ H^+}{\nu} \left(\frac{u_*^+ H^+}{\nu} - \frac{u_*^+ y^+}{\nu} \right) \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

両式の混合距離の値が一致する高さがリブレット頂を原点とした仮定の粘性底層の上縁である。このようにして求めた仮定の粘性底層上縁高さ y^+ と k^+ との関係を示したものが図-3である。

粘性底層内でのせん断力を三角形分布とすることで粘性底層内流速分布が得られ、(1)式の混合距離分布を用い、流速が連続である条件から、バッファ層内での流速分布が評価できる。この様にして評価した流速と図-4に示す $y^+=10$ での実測流速が一致し、(1)、(2)式の混合距離の一致条件を満足するような仮想原点と粘性底層上縁高さを試算することで仮想原点位置と粘性底層上縁高さを評価できる。この様にして評価した仮想原点位置 y_0^+ 、粘性底層上縁高さ y^+ と k^+ との関係が図-5、6である。図中の曲線は $y^+=10$ での実測流速の近似曲線を用いて得られた $H^+=500, 1000$ の場合である。仮想原点については k^+ の増加に伴いリブ頂に近くなり、リブレットが粗度として寄与する $k^+ \geq 30$ ではほぼ一定の高さとなっている。本研究のように摩擦速度を水深とエネルギー勾配で与える場合、 k^+ の減少に伴い摩擦速度は増加することとなり、意外な結果である。また、粘性底層厚さについては k^+ の増加にともない薄くなる傾向があり、 $k^+ \geq 30$ では $y_0^+ \approx 7$ 付近で一定値となっている。 k^+ の増加に伴いバッファ層以上の速度分布の絶対値が減少し、摩擦抵抗は増加すると考えられる。これらの結果から、仮想原点と粘性底層上縁高さの相互関係によって摩擦抵抗は増加、あるいは減少すると考えられる。従来、この種の研究では、仮想原点をリブレット頂から一定の距離下方に採って資料の整理を行っているが、図のように k^+, H^+ によって変化している。

4. 結語

本研究で得られた結果を要約すると以下の通りである。すなわち、

仮想原点は k^+ の増加に伴いリブレット頂に近づき、通常の粗面流とは異なる傾向である。また、粘性底層厚さは k^+ の増加に伴い薄くなる。

従来のこの種の研究においては、仮想原点はリブレット頂から一定の距離下方に採って資料の整理を行っているが、 k^+, H^+ によって異なる。

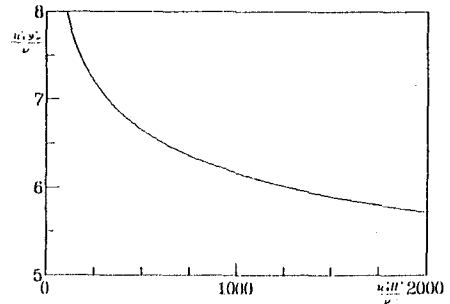


図-3 仮定の粘性底層上縁高さ y^+ と k^+ の関係

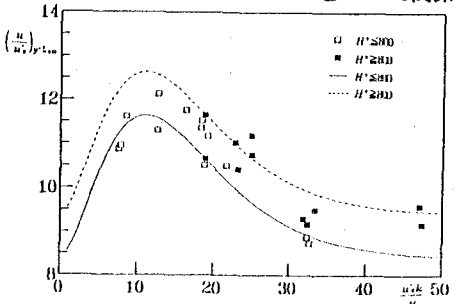


図-4 $y^+=10$ における実測流速と k^+ の関係

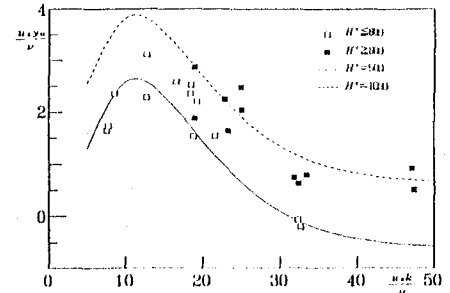


図-5 仮想原点位置 y_0^+ と k^+ の関係

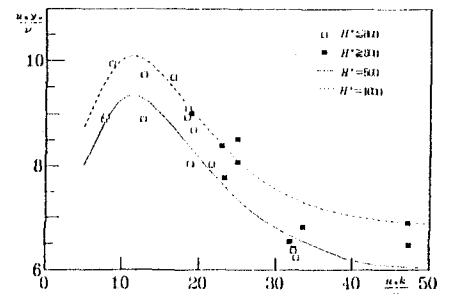


図-6 粘性底層上縁高さ y^+ と k^+ の関係