

リブレット粗面開水路流れの抵抗則

山口大・院 学 ○倉本和正 鉄建建設 国弘理恵
山口大・工 正 斎藤 隆

1. まえがき

1970年代の後半に、燃料費の節減を目的にNASAで流体摩擦抵抗の軽減についての実験的研究が精力的に行われ、リブレットによって表面摩擦抵抗が最大8%まで減少することが明らかにされた。摩擦抵抗は表面粗さに比例して増加する事はムーディ線図等で明かにされており、上記の結果は表面粗さと摩擦抵抗の概念を覆すものであった。その後、積極的に壁面近傍の秩序構造を制御することで摩擦抵抗を軽減する方法として数多くの研究が行われている。しかしながら摩擦抵抗軽減の機構についての本格的検討はK.S.Choiの研究を除くと見当たらない。Choiは可視化と乱れ強度ならびに条件付き計測によって、摩擦抵抗の軽減は乱れエネルギーの生成に重要な役割をもつバーストの強さが弱められている結果であると指摘している。リブレット粗面は限られた流れの条件下で摩擦抵抗の減少が認められるが、その条件が満たされないと粗度として機能する。摩擦抵抗軽減の機構を解明するには典型的な流れ場での検討が有効であるが、工学的には流れの条件(流量、河床勾配、粗度寸法等)による平均流れ場の特性(仮想壁面位置、平均流速分布、相当粗度等)の変化を明らかにすることが要求される。

本研究は、上記の観点から水深方向の平均流速分布を測定し、仮想壁面位置、摩擦係数、平均流速分布の特徴について検討した結果を報告するものである。

2. 実験装置と実験方法

実験水路は幅60cm、深さ25cm、長さ10mの亚克力樹脂製の可変勾配水路で、水路床には図-1に示すテフロンゴム紐が一様に張り付けられている。

水面形状の測定は横断方向に20cm間隔で3本設置された静圧管による平均水位と基準水位との差を分解能1/100mmH₂Oの差圧計で測定する方法で行った。

リブレット頂間の平均であり、かつ粘性底層内の流速を測定するため、動圧開孔断面が幅3mm、厚さ0.5mmの偏平断面のビトー管を上記差圧計に接続して測定した。

実験条件は表-1の通りである。実験は、表中の河床勾配とエネルギー勾配の比較で明かなようにData No 323を除いて、ほぼ等流流れで行っている。

表-1 実験条件

Data No.	I_b $\times 10^4$	ν	H_x	Q	Re	I_e $\times 10^4$
323-10-800	0.875	0.9642	3.26	1376	2378	0.5446
315-15-800	1.875	0.9652	3.16	2300	3971	1.663
350-20-700	3.401	0.9428	3.55	3492	6173	2.516
337-25-600	5.361	1.010	3.37	4636	7650	5.083
341-35-650	9.750	0.9652	3.41	6520	11260	9.668
531-10-650	0.4167	1.000	5.31	2740	4567	0.4837

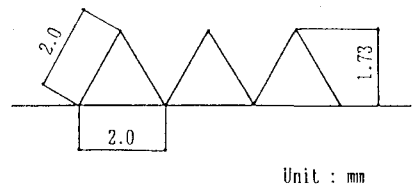


図-1 リブレットの断面形状

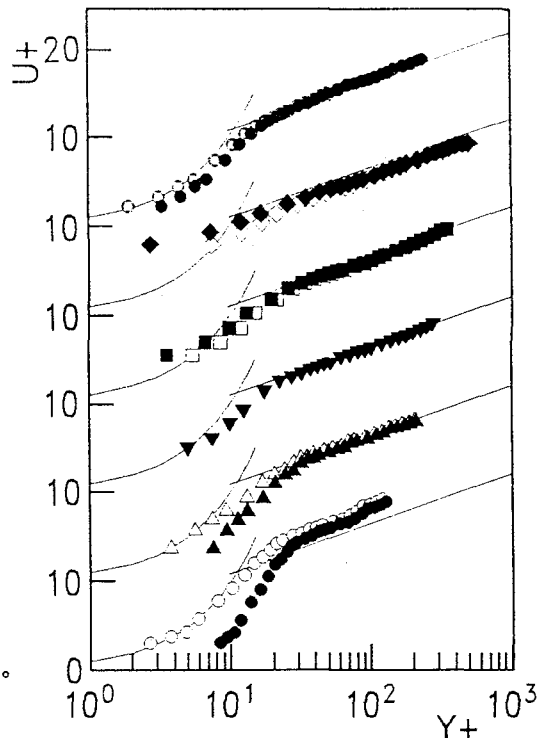


図-2 無次元平均流速分布

3. 実験結果とその検討

粗面上の流れを検討する場合、流れの場の外部ならびに内部スケールに直接関わる原点補正量（仮想壁面位置）の評価が極めて重要な課題で、これについては様々な方法が提案されている。本研究では、水深とエネルギー勾配で与えられる壁面摩擦速度と、1) 粘性底層内の速度勾配から求められる壁面摩擦速度、ならびに、2) 対数分布式が成り立つとして対数領域での速度勾配から求められる壁面摩擦速度とが一致する原点補正量を求めた。図-2の白描点は前者の方法で求めた原点補正値を用いた無次元流速分布である。◇描点はバッファ層内流速分布を $U^+ = 4.778 \ln(Y^+) - 2.605$ と仮定して求められている。粘性底層内の流速分布が滑面でのそれと一致するとの保証はないが、原点補正量値はほぼ妥当なものと判断される。後者の方法で求めた原点補正値を用いた無次元流速分布は同図の黒描点で示される。図-3で示すように原点補正値はあまり変わらないが、粘性底層、バッファ層内流速分布が滑面のそれと大きくずれている。

バッファ層内流速分布の K^+ による違いを示したのが図-4である。摩擦抵抗係数値が低下するほど速度分布は粘性底層のそれに近い分布となっている。

原点補正値と $K^+ = U^+ K / \nu$ との関係を描点したのが図-3である。 $K^+ \approx 7.5$ の描点（不等流）を除くと、図-5に示す摩擦抵抗軽減率が大きいほど仮想原点位置がリブレット頂からより下方にあり、リブレットが粗度として機能するところでは仮想原点位置はリブレットの頂点付近から若干上方になる傾向がある。Choiは平均流速分布を提示し、対数領域での流速分布は滑面のそれが平行移動されていることだけを指摘し、 $Y^+ < 11$ での測定描点は $U^+ = Y^+$ の曲線より上方にあるが、この領域についての説明はされてなく、また流れ方向の乱れ強さが $Y^+ = 10 \sim 80$ で滑面のそれよりも小さくなっている。これらのことから、仮想原点の概念は対数領域を対象としたもので、対数領域より壁側の領域では平均流速分布形状を含めた検討が必要がある。

滑面での摩擦損失係数値を対応する実験の流量とエネルギー勾配とから求め、この値に対するリブレット粗面での摩擦損失係数値と K^+ の関係を描点したのが図-5である。図中の破線は従来の実験結果である。不等流性が無視できない場合を除くと、本実験結果は従来の結果とよく一致している。

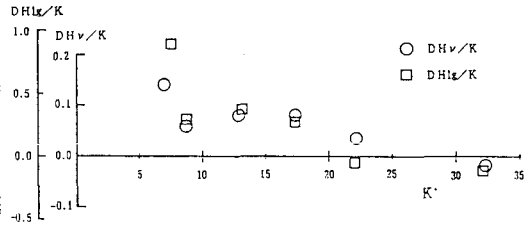


図-3 原点補正量 $\Delta H \sim K^+$ の関係

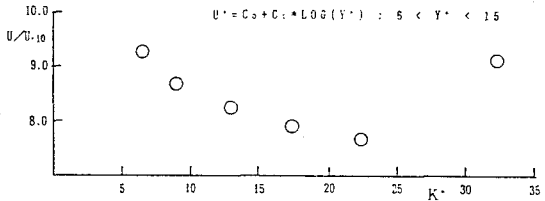


図-4 バッファ層内流速分布の K^+ による変化

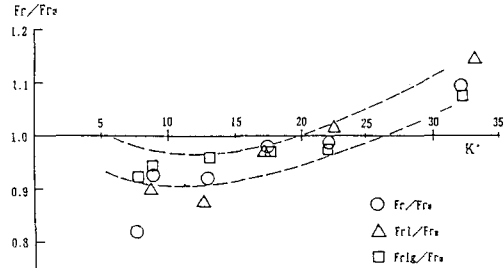


図-5 $Fr/Fr_0 \sim Re$ の関係

4. むすび

得られた結果を要約すると次の通りである。

- 1) 仮想原点位置は、予想に反して、摩擦抵抗係数の値が低下するほどリブレット頂より下方で、リブレットが粗面となると頂端付近やや上方になる。
- 2) 粘性底層、対数領域それぞれの平均流速分布から求めた原点補正量の値はあまり変わらず、摩擦抵抗係数の評価への影響は小さいのであるが、粘性底層とバッファ層での平均流速に大きな違いが見られる。
- 3) バッファ層内での平均流速は摩擦抵抗係数値が低下するほど粘性底層内の平均流速に近い分布である。

参考文献

- 1) Kwing-so Choi: Near-wall structure of turbulent boundary layer with riblets, J.F.M., vol.208 pp.417-458, 1989
- 2) J.J.Rohr, G.W.Anderson, L.W.Reidy, and E.W.Hendricks: A comparison of the drag-reduction benefits of riblets in internal and external flow, Experiments in Fluids 13, pp.361-368, 1992