

神戸大学工学部 正員 藤田一郎

神戸大学工学部 正員 寛 源亮

1. まえがき

流れの抵抗に対する表面粗さの効果を正確に求めることは流体力学上重要な問題であるため、壁面せん断力がこれまで種々の方法で測定されてきている。その中でプレストン管、境界層突出板等を用いる方法や油ハン法は主として滑面を対象とするものである。一方、粗面にも適用可能なものとしてはカルマンの運動量積分方程式を用いる方法、レイノルズ応力分布から外ソウして求める方法、動水こう配から求める方法あるいは壁法則を利用して流速分布形から求める方法等がある。しかしこれらはいずれも間接的な測定法であるため、その妥当性についてはせん断力そのものの直接測定を行ない検討しておく必要があると思われる。このためここではサーボ式液体せん断力計を用い、比較的単純な例として球形粗度及び二次元粗度による粗面の壁面せん断力を直接測定し、⁽¹⁾間接法で求めた値との比較検討を行なった。また、このせん断力計を用いると主流に対して垂直な方向に作用する力も測定可能となるため、特に壁面形状が複断面の場合について測定を行なった。

2. 測定方法

(イ) 測定には断面 $20 \times 20 \text{ cm}$ の風どうを用いた。流速測定は前縁から 1.8 m の断面で行ない、せん断力計は中心が測定断面に一致するように設置した。一樣流速は約 6 m/sec である。球形粗度には平均粒径約 3.7 mm のガラス球を用い、取付けは集中度 λ が $0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.7$ となるように行なった。二次元粗度には直径 $d = 3.15 \text{ mm}$ の塩ビ棒を用いピッチ比 p/d が $1, 2, 4, 8, 16, 32, 64$ となるように配列した。ここに p は臨接する塩ビ棒の中心間隔である。使用したせん断力計はせん断力を受けるshear plateを常に平衡に保つようにせん断力に比例した電流を出力しこれを電圧に変換するものである。

shear plate は一辺が 8 cm の正方形で底面フレームとの空けきは 0.4 mm 以下である。plate上への粗度の取付けはplate面の保護のためにplateと全く同じ大きさで厚さ 1 mm の塩ビ板上に要素を接着したものゝをさらに両面テープでplate上に取付けて行なった。その模式図を図1に示す。

一方間接測定は壁面近傍の流速分布に対数則をあてはめることにより行なった。但し、流速分布の基準面は球形粗度では幾何学的基準面、二次元粗度では古屋らの結果を用いて定めた。⁽²⁾

(ロ) 複断面壁面に作用する横方向力は図2(b)に示すようにshear plateの運動の向きが流向と垂直になるようにせん断力計を設置して測定した。図に示す両底面の落差 h は $1, 2, 3, 4 \text{ mm}$ の4通りとした。

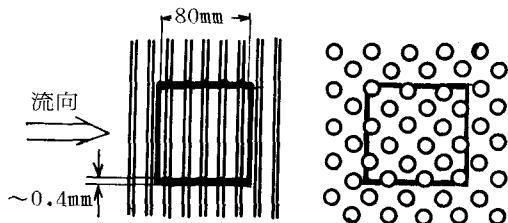


図1 shear plate上粗度配列の模式図

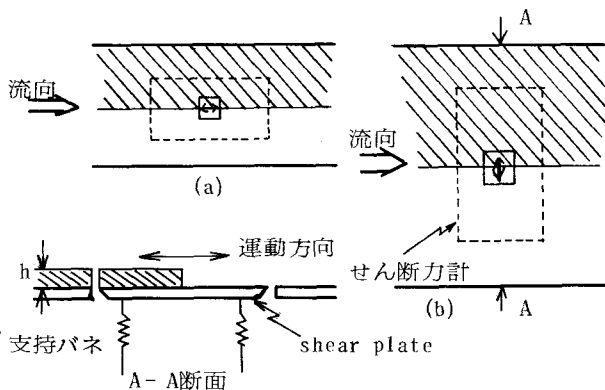


図2 複断面形壁面に作用する力の測定方法

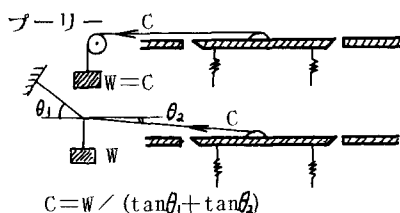


図3 較正方法

この装置の較正方法には図3 に示すようにプーリーを用いる方法と用いない方法があるが測定しているせん断力が $0.1\text{gr}/(8\times 8\text{cm}^2)$ と非常に小さいためここでは摩擦の影響を受けない後者の方法により較正を行なった。

3. 実験結果

(イ) 図4 に測定した粗面上の壁面せん断力を抵抗係数 $C_f=2(u_\tau/U_\infty)^2$ の形でまとめた結果を示す。ここに u_τ は摩擦速度、 U_∞ は一様流速である。図よりいずれの場合も集中度 $\lambda=0.1\sim 0.2$ の付近で粗さの効果が最大となる従来の結果とよく一致していることがわかる。但し、二次元粗度の場合同じピッチ比でも配列の仕方によりshear plate 上にのる要素の数が変わるためplate に作用する要素の形状抵抗の総和は場合によって異なる値を示す。図にはピッチ比が8,16の場合に $(\frac{\lambda}{p})^{1/2}$ についてこれら2通りの値を示した。これは壁面せん断力が一様では $(\frac{\lambda}{p})^{1/2}$ なく周期的に変化していることの一つの現われであり、間接法で得られる値はそれを平均したものと考えられる。またピッチ比が64の場合に滑面より小さい値を示しているのはplate 上に要素がのっておらず要素の形状抵抗が作用していないためである。

図5には二次元粗度の場合における壁面せん断力の変動成分のRMSを示す。shear plate がとらえ得る最小の乱流塊はplate と同程度の大きさと考えられ、それ以下のスケールの変動成分が無視されるため正確な変動値はわからないが、ここでは定性的な傾向をみるため $\Delta t=0.2\text{sec}$ でサンプリングを行ないRMSを求めた。これより図4の平均せん断力の増大に対応して変動成分も同程度のピッチ比でピーク値を示していることがわかる。

(ロ) 図6にはshear plate 上の複断面壁面に作用する単位流下距離当りの横方向の力Fの底面落差hに対する関係を示す。この場合に注意すべきことは、ここでせん断力計が示している値は壁面せん断力というよりも底面落差の存在のために生じる横断方向の圧力差によって引き起こされる力、あるいは中心線に沿う側壁部分で生成される縦渦が側壁に対して作用する力とみなされる点である。従って、この力が中心の側壁にのみ作用しているとみなして側壁単位面積当りの値を求めると、いずれの落差の場合においてもほぼ $0.1\text{gr}/\text{cm}^2$ で一定であった。この値は図2(a)で示した方法で測定される流下方向の壁面せん断力と比べると約100倍程度であった。

4. 結論

せん断力計を用いて粗面上のせん断力を直接測定し、対数則より得られる値のチェックを行なったが、両者はほぼ一致し、この手法の妥当性が確かめられた。複断面側壁に作用する横方向力については今後さらに多くのケースについて検討する必要があると考えられる。

5. 参考文献

- (1) 大同、松井：第25回水理講演会論文集, pp.99~104, 1981
- (2) 古屋、藤田、中島：日本機械学会論文集, Vol.33, 250号, pp.939~946, 1967

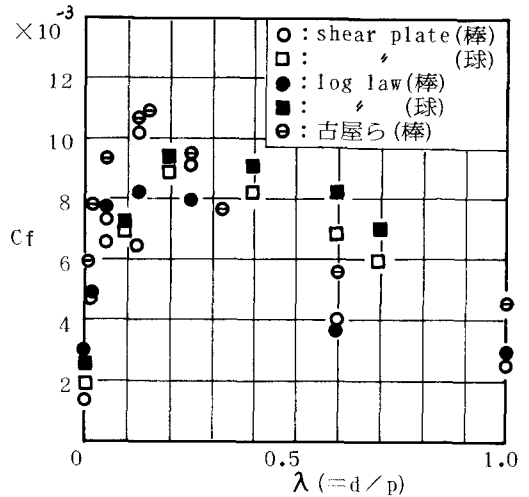


図4 抵抗係数の比較

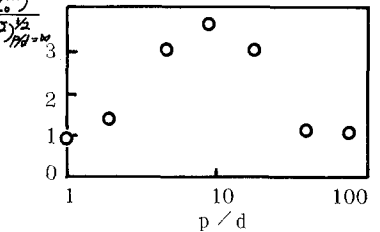


図5 壁面せん断力の変動値とピッチ比の関係

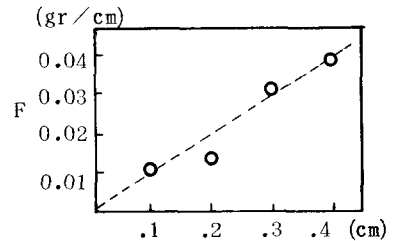


図6 F-h関係