

神戸大学大学院 正会員 中山 昭彦

神戸大学都市安全研究センター 正会員

市成 準一

神戸大学工学部

学生員

○前田 和裕

1. はじめに

現在、最先端の乱流予測計算法であるLES (Large Eddy Simulation) 法は単純境界上の流れの計算において精度の高い手法であり、複雑境界への応用も進められている。しかしながら、このLES法では、高レイノルズ数流れの壁面近傍の解像は難しく、通常、境界条件には壁関数を瞬時流速に適用している。しかし、この境界条件の経験的モデルが計算結果を致命的に支配しかねない。境界層流れについては国内外で様々な研究が行われているものの、その多くが平均流速の相似性の研究であり、瞬時の流速を扱った例は少ない。大坂、坂本¹⁾による粗面乱流境界層の風速計測やBlackwelder²⁾による壁面流れにおける変曲点の研究などがそうであるが、これらにより瞬時流速分布の特性、相似性は調べられていない。乱流境界層における瞬時組織構造を明らかにすることは、実地形などの複雑な境界における流れのシミュレーションを行うための必要不可欠な条件でもある。

そこで本研究では、乱流境界層の壁面近傍の瞬時流速分布特性、および乱流構造を調べるために、多点熱線風速計を用いた実時間計測・解析・グラフィックス表示システムを構築し、風洞にて実験をおこなった。

2. 実験設備及び実験方法

今回の測定で用いた風洞は三井建設技術研究所の吹き出し型境界層風洞で、測定風洞断面は $2.6 \times 2.0 \text{ m}^2$ 長さ 20 m のオープンサーキットである。測定は圧力勾配なしで風洞床面に発達する滑面境界層が対象で、主流速度 $U_\infty = 1.2 (\text{m/s})$ で行った。助走距離は約 18 m 、運動量厚 δ は 39 mm でこれを基にしたレイノルズ数 Re_δ は $U_\infty \delta / \nu = 3894$ である。風洞内の座標は図-1のように定める。受感部長 1 mm 、直径 $5 \mu \text{ m}$ のストレートI型のプローブ10本を適当な間隔に配置し、サンプリングは、 1 kHz のサンプリング速度で256個のデータを1ブロックとし、30ブロック行った。10チャンネルの熱線流速計から出力された信号は、解像度16ビットのAD変換器によってAD変換された後、パソコン上の計算プログラムによって流速データに変換され、保存された。フィルタは遮断抵抗 500 Hz のローパスフィルタを用いた。図-2に測定の模式図を示す。図の y_1 、 y_2 、 y_{10} は各測点の壁面からの距離を表す。

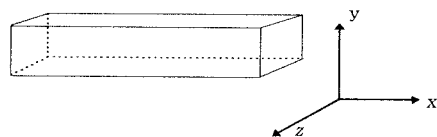


図-1 座標系

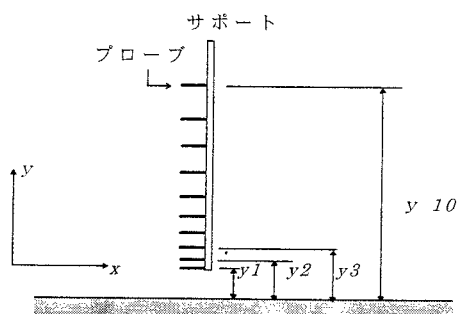


図-2 模式図

3. 測定結果および考察

壁法則は二層モデル(対数則+粘性底層)の式(3.1)、(3.2)を参考とする。

$$u^+ = \frac{1}{k} \ln(y^+) + B \quad (3.1)$$

$$u^+ = y^+ \quad (3.2)$$

ここで $u^+ = u/u^*$ 、 $y^+ = u^* y/\nu$ で、 u は流速、 y は測点の壁面からの距離、 ν は動粘性係数、 u^* は摩擦速度を表す。上式中の定数は一般的に $k=0.4$ 、 $B=5.2$ が用いられる。

$y^+ \lesssim 10$ の壁近傍での瞬時流速が測定されているので、瞬時の摩擦速度が分子粘性法則により算出可能で

ある。そこで瞬時流速分布を平均摩擦速度 $\overline{u^*}$ 、および瞬時摩擦速度 u^* を用い対数則プロットを図-3 a), b) にそれぞれ示す。また、図の太線は式 (3. 1) と (3. 2) を示し、プロットは平均流速の値である。また、摩擦速度の変動に伴う瞬時流速分布の変化の様子で、今回の測定で認められた代表的なパターンを図-4 a), b), c) に示す。

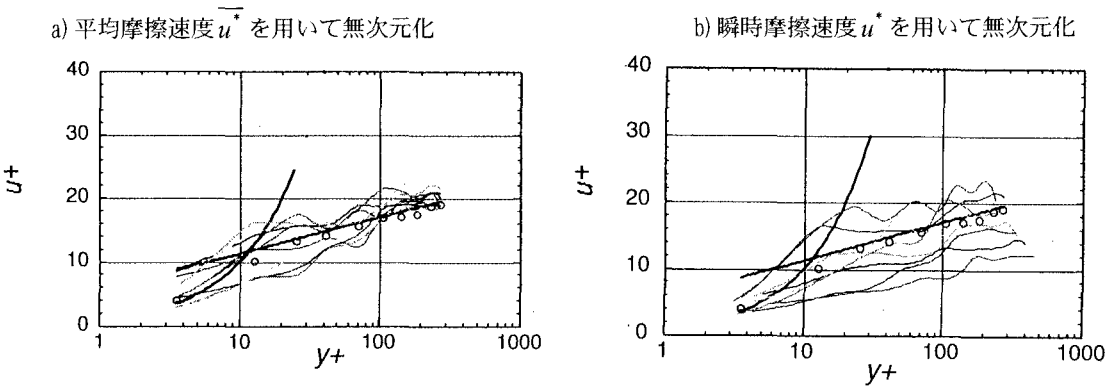


図-3 瞬時流速の対数則プロット

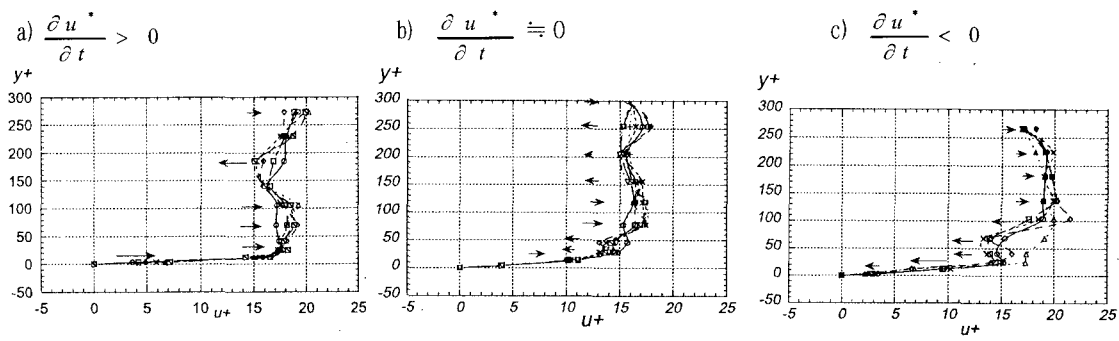


図-4 代表的流速変動パターン

まず、図-3 a), b) の比較からも判るように瞬時の摩擦速度を用いることによって瞬時の流速分布はより対数則からかけ離れるため、LES 法において壁面境界条件を与える際、瞬時において対数則分布成り立たないと言える。また、図-4 a), b), c) の比較により瞬時の流速分布変化と摩擦速度変化との間に大きな関わり合いが認められ、摩擦速度が増加傾向を示すとき、流速分布は壁面近くの流速が増加し、減少傾向を示すときにはその逆の傾向が認められた。それらはスウィープやエジェクションなどの乱流運動を示していると考えられ、そのどちらでもない時、すなわち摩擦速度が時間的に大きな変動を示さない時、流速は大きな変化を示さず、小さく振動しているものと思われる。もし、そうであるなら今回の計測結果からは摩擦速度が周期的に変動するパターンが幾つか確認でき、その周期はほぼ一定の値を示した為、この時、壁面近傍の流速は先に述べた特定の運動を繰り返しているものと思われる

今後の課題としては、摩擦速度が周期的な変動を見せない場合の境界層内の現象の分析、粗面モデル、圧力勾配など様々な条件下での計測、異なる視点からのより詳しい分析、数値計算にも適用可能な壁面近傍流れの一般化などが挙げられる。

参考文献

1) 大坂 英雄、坂本 雅巳、“粗面乱流境界層の条件付多点同時測定” 流れの計測 Vol. 3、No. 5 P32 1985
 2) Blackwelder, R. F, “The Role of Inflectional Velocity Profiles in Wall Bounded Flows “ NEAR WALL TURBULENCE , P268 1988