

II-279

乱流境界層壁近傍の瞬時構造について

神戸大学自然科学 正会員 中山 昭彦 神戸大学大学院 学生員 前田 和裕
 神戸大学大学院 学生員 吉良 貴紀 三井建設株式会社 野田 博

1. はじめに

乱流の予測計算法は近年飛躍的に向上してきている。なかでも実際工学上応用に適応できるものは乱流モデルを用いたレイノルズ平均式を用いる(RANS)方法と、ラージエディシミュレーション(LES)法である。これらの計算法にはモデルが必要であることは言うまでもないが、境界条件もある種のモデル化、あるいは近似が必要である。低レイノルズ乱流モデルでは境界条件こそモデル化されないものの、境界の壁近傍の流れはモデル化するので、この場合でも境界近傍も含めモデル化が必要であると言って良い。LES法でも境界層粘性低層を解像できないものは、壁面則などを導入するのが適切であるという指摘もなされている。これらの境界近傍での流れ構造、その相似性などの検証には、非常に低いレイノルズ数でしか求められない直接シミュレーションデータは用いることが出来ない。そこで、本研究では熱線流速計の多点同時計測を行うことにより、滑面、粗面乱流境界層の壁面近傍瞬時構造を特に数値計算法に必要な境界条件或いは、壁近傍の特性に重点を置き、実験的に調べた。

2. 実験設備、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 $2.6 \times 2.0 \text{ m}^2$ 、長さは20 mのオープンサーキットである。計測対象は圧力勾配なしで風洞床面に発達する境界層で、主流速度 $U_\infty = 1.2 (\text{m/s})$ で行った。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本をバッファ層を解像できるよう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-1に風洞内の模式図を示す。

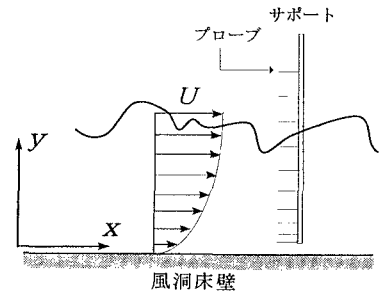


図-1 模式図

3. 実験結果および考察

今回の計測で得られた滑面及び粗面における壁面近傍の流速分布の変動の様子をそれぞれ図-2、図-3に示す。さらに、滑面における瞬時流速分布特性について検証を行った。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。

$$u^+ = \frac{1}{k} \ln(y^+) + B \quad (3.1) \quad u^+ = y^+ \quad (3.2)$$

ここで $u^+ = u/u^*$ 、 $y^+ = y^*y/\nu$ 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。

$y^+ < 10$ 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^* を用いた対数則プロットを図-4 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滑面の瞬時流速分布の変化で、今回の測定で確認された代表的なパターンを図-5 a), b), c) に示す。

キーワード 境界層、乱流モデル、熱線流速計

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学部建設学科・(078) 803-1420・(078) 803-1050

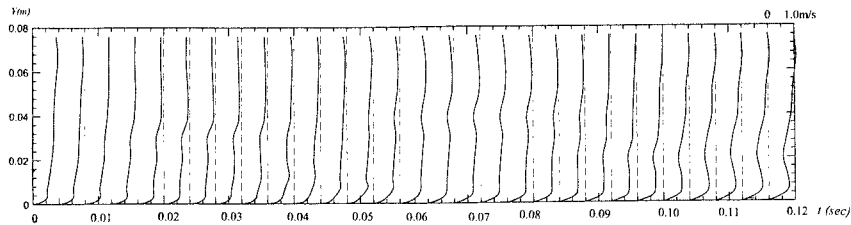


図-2 滑面における瞬時流速分布

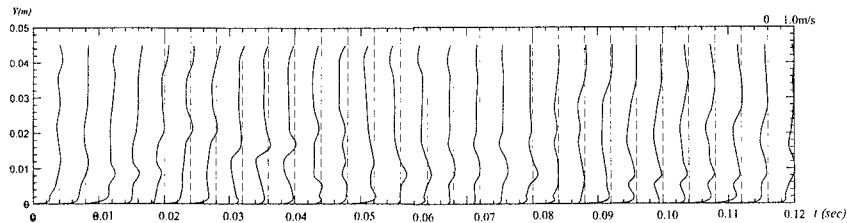


図-3 粗面における瞬時流速分布

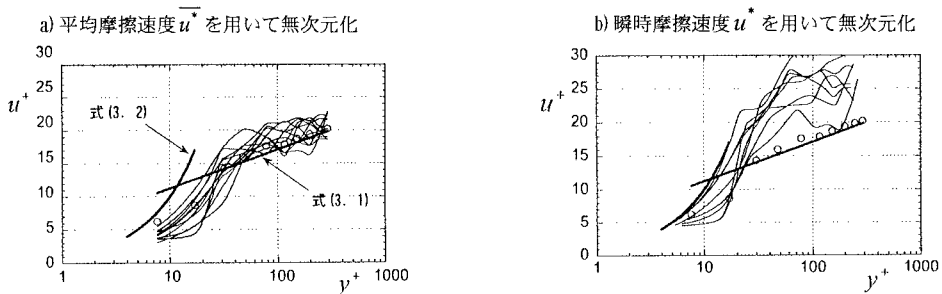


図-4 瞬時流速の対数則プロット

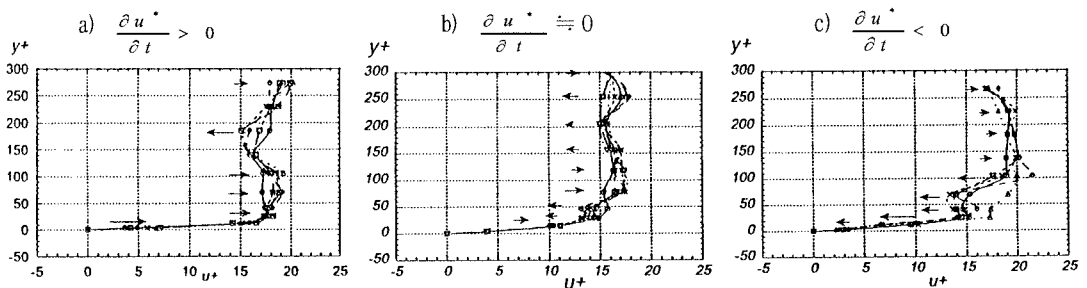


図-5 代表的流速変動パターン

図-4a)、b)の比較から判るように瞬時の摩擦速度を用いると、瞬時の流速分布は $y^+ < 10$ では式(3. 2)に近づくものの対数域では対数則からかけ離れ、瞬時において対数則分布は成り立たないと言える。図-5a)、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関連性が認められ、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。今回の計測結果から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。壁面近傍の流速分布は周期的におこる壁乱流の構造に強く依存するもので、対数則はその長時間平均にすぎないと思われる。

4. おわりに

本研究では主に滑面境界層の壁近傍の瞬時流速分布を実験的に求め、その相似性を検討した。今後の課題としては、粗面モデルについてのより詳しい分析、数値計算に適用可能な壁面近傍流れの一般化等が挙げられる。