

壁面領域流れに関する一検討

山口大学工学部 正 員 齊藤 隆
 山口大学工学部 学生員 ○狩野 晋一
 山口大学工学部 学生員 岸村 和守
 山口大学工学部 河元 信幸

乱流境界層の速度分布は Prandtl によって明らかにされた壁法則、Kármán によって見出された速度欠損則とがあり、両者が成立するOverlap regionにおいて対数分布則が成立することが多くの実験的事実によって確認され、乱流境界層の構造を知る上で重要な役割をはたしている。近年の乱流に関する計測技術の開発によって壁面領域における流れ構造について多くの有益な知見が得られ、多くの現象に壁領域における流れ構造が重要な役割を担うことが明らかにされてきているが、壁面領域における流速分布としてはDriestのmixing theory による速度勾配の間接的表示がみられるぐらいである。

本研究は、対数分布式のように、壁面領域における速度分布を比較的簡便な方法で表示することが出来れば、数値計算の検証に必要とされる計測が非常に困難な壁面領域における実測値を何らかの形で補うことも可能ではないかと考え、壁面領域の流速分布を実測値に適合する近似式を求め、これを用いてReynolds応力、渦動粘性係数について若干の検討を行ったものである。

壁面領域における流速分布の近似式は、粘性底層の $u^+ = y^+$ 、外層における近似式として知られている1/7則の両者に滑めらかに接続し、Reichardt, Laufer の実測値に適合するものとして試算によって求めた。その近似式は図-1の上部に記した式である。

図-1は流速分布の近似式の実測値との適合性を検証したものである。図中には点線でもって、Von DriestのCurve が記入してある。 $y^+ > 10$ では近似式とVon Driestの曲線とは良く一致している。 $y^+ < 10$ において、両者は若干異なっている。

Schubauer, Klebanoff らのReynolds応力の測定結果より、境界層流れでの定せん断力層の存在が知られている。せん断力を一定として、平均流速分布の近似式でReynolds応力を求めると、図-2に示した実曲線のようなになる。図中の描点はSchubauer の測定結果で、定せん断層の仮定による結果とは良く一致しているが、定せん断力の変化による影響を明らかにしておくことが必要である。計算の簡便さのため、境界層内のせん断力分布を直線分布であるものとして、流速分布の近似式で流体粘性によるせん断力を除いてReynolds応力を求めた結果は、図-2中の点線である。同図中の破線は裾津らが自由水面の存在によるDamping functionを導入した $k-\epsilon$ 法で開水路流れ構造を解析して得られた結果である。Schubauer のDataは $\delta^+ = 3 \times 10^3$ で、平均流速分布の近似式、裾

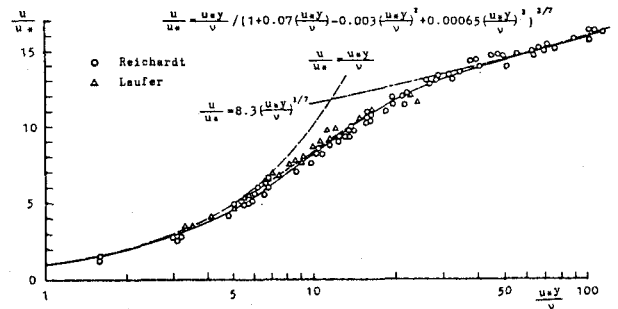


図-1 平均流速分布

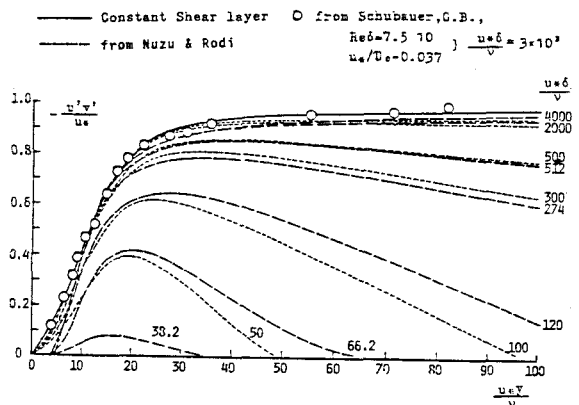


図-2 壁面領域のReynolds応力分布

津らのシュミレートの結果は実測値よりわずかに小さいが、測定誤差範囲であって、この結果からは定せん断層を肯定も否定もできない。 $y^+ > 10$ において、平均流速分布の近似式による結果と柵津らのシュミレートの結果とほぼ一致しているが、 $y^+ < 10$ において、柵津らのシュミレートによると、Reynolds応力は急速に減少して、 $y^+ < 5$ ではほとんど零となっている。この結果は、柵津らのシュミレートによる流速分布が Von Driest Curveによく一致していて、 $y^+ < 5$ で $u^+ = y^+$ となることに対応している。

せん断力を一定として、平均流速分布の近似式を用いて渦動粘性係数を求めて図示すると、図-3中の右上がりの曲線である。この曲線の $y^+ < 40$ ではほぼ $\varepsilon \propto y^{+3}$ の関係にあって、Launder が提案し、Kreplin & Eckelmann のDataで支持された瞬間速度成分の表示から推測される関係と一致している。

図-3に描点してあるように、速度欠損領域におけるKlebanoff、Townsend による渦動粘性係数の資料がある。渦動粘性係数を求めるには、流速分布とReynolds応力の分布が必要である。

図-4に速度欠損領域の実験結果と、試算で求めた近似式を示してある。近似式は $y/\delta = 0.15$ で対数速度欠損則に接している。

図-5にKlebanoff の実測Reynolds応力と、これに適合性の良い近似式を示す。

図-4、5中に記した平均流速分布、Reynolds応力の近似式から渦動粘性係数を求めた結果は図-3の右上にある2本の曲線で、 $\delta^+ = 1.5 \times 10^3$ と 3×10^3 に対する値である。それぞれの δ^+ に対応するKlebanoff、Townsendの測定結果と良く一致している。なお、図中の上から下向きの矢印は $y/\delta = 0.15$ を、下から上向きの矢印は $y/\delta = 0.2$ の値である。

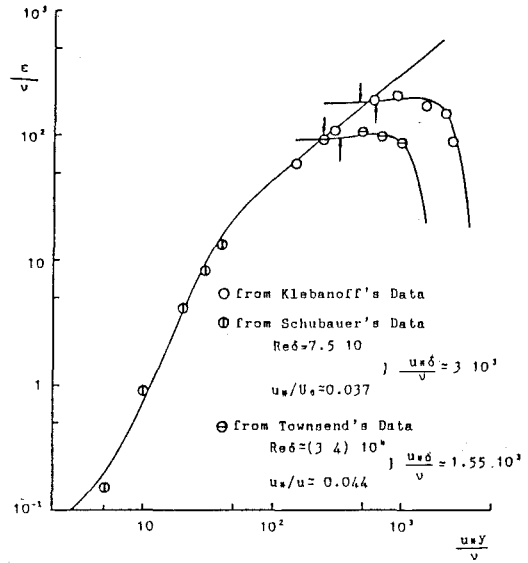


図-3 渦動粘性係数の分布

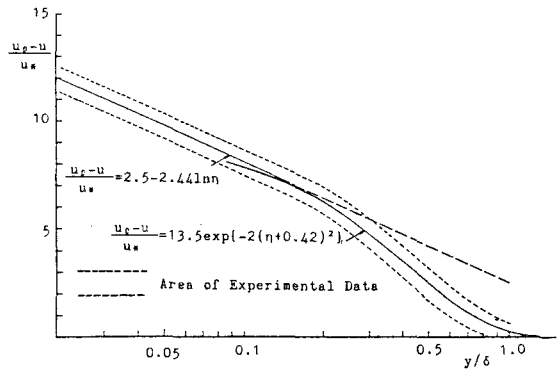


図-4 速度欠損則

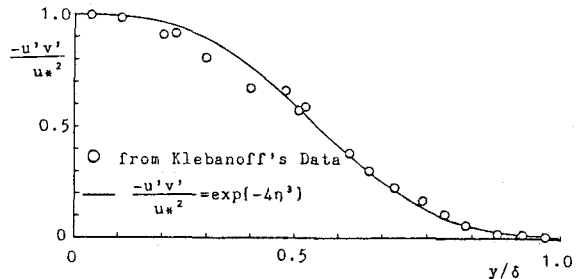


図-5 Reynolds応力分布