

乱流境界層内における速度相関係数の測定

京大 工, 衛生工学

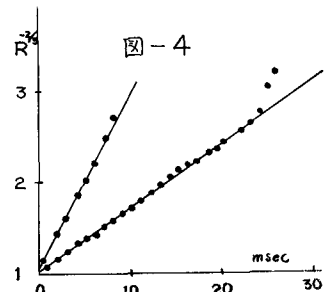
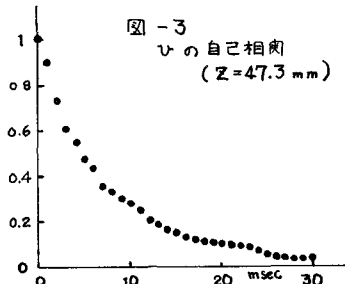
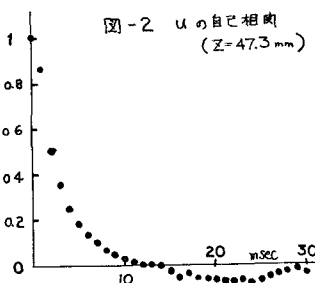
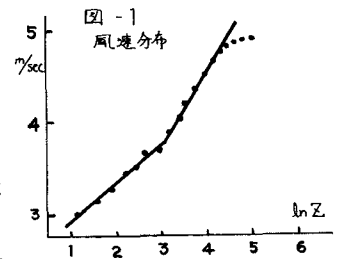
正員 庄司 光 正員 山本剛夫

正員 八木康雄○学生員 石川義紀

流体の速度場は、流体内の平均速度が音速にたいしてはるかに小さいときには圧縮性の影響を無視することができて、連続の式および Navier-Stokes の式によって記述される。このような関係をみたしている流体の挙動も、乱流の領域では、これらの関係のみでは、流体の挙動の解析は非常に困難である。そこで、速度場 $u(x, y, z, t)$ を時間と空間の両者に関連する確率過程として取り扱うことにより、乱れの場合は統計的に規定され、取り扱いはかなり簡略化される。確率過程の記述に関する統計量のうちで最も重要なものは積平均値として定義される相関量である。乱れの場合として砂粒（直径 $0.6 \sim 1.2 \text{ mm}$ ）により表面に粗度を与えた平板の上に形成される乱流境界層を用いて、この中で速度相関に関して種々の指標を測定し、従来からの説に検討を加えた。

1 乱流境界層における平均風速の分布を図-1に示す。速度分布は若干の折れまがりを示すけれども対数型分布によりあらわされることがみとめられた。

2 もっとも簡単な速度相関として示されるオイラーの速度自己相関は u 方向（流下方向）の乱流速度成分に関して図-2に、 v 方向に関して（水平面内において u 方向に直交な方向）の乱流速度成分にたいしては図-3に示す。Navier-Stokes から誘導された速度自己相関は lag time の $1/2$ 乗に比例しているが、今回の測定によれば、これは非常によく成立することがみとめられた。その結果を図-4に示す。しかし、lag time が大きくなると精度の低下のためにかなりのくいちがいがみとめられた。また、オイラーの自己相関係数から、lag time に関する 0 から ∞ までの積分として定義される乱れの時間スケールは表面粗度および平板からの測定点の高さにより大巾に変化するが、平板に粗度を与えず滑らかな場合には高さ 5 mm において 26 msec の時間スケールを示したものが、高さ 100 mm の境界層の上端においてはおおむね 6 msec の時間スケールへと減少する。これにたいして、表面粗度を砂粒により与えた場合には、高さ 8 mm において 3 msec の時間



スケールであったものが、高さ 20 mm においては 10 msec の時間スケールへと増加する。しかし、高さの増加とともに時間スケールは減少の傾向へと転じ、100 mm の高さの境界層の上端においては 3 msec の時間スケールを示す。また、 u 方向の時間スケールよりも v 方向や w 方向（垂直方向）の時間スケールの方がより大きな値を示した。

3. オイラーの時間および空間に関する速度相関については、 $R_{ii}(0, r, 0, \tau)$ に関する結果を図-5に示す。これは $u(x=0, y=0, z, t=t)$ と $u(x=0, y=r, z, t=t+\tau)$ との積平均値を $\sqrt{u^2}$ によって基準化したものである。ここでは、 $z=47.3\text{ mm}$ についてこれを示し、 $z=47.3\text{ mm}$ は境界層のちょうど中間の高さに相当する。すなわち、この R_{ii} は u に関する横相関をあらわすが、今回の結果によれば lag time τ に関して対称の結果が得られた。これは乱れが y 方向にはきわめて一様であることを示しており、乱流境界層内の乱れが面対称性を持つことを示している。また、 u に関する横方向の空間相関 R_{ii} は時間空間相関 $R_{ii}(0, r, 0, \tau)$ に対して $\tau=0$ とした場合のものであるが、この結果を図-6に示す。Navier-Stokes から誘導される空間相関 $R_{ii}(0, r, 0)$ の一般形は $(1-r^2/A^2) \cdot \exp(-r^2/B^2)$ であらわされるが、測定の結果はこれとはかなり異なりを示す。この原因は、乱れの場合として用いた乱流境界層がいまだ十分に発達し切っていないために起ると考えられる。しかし、傾向に関してはきわめてよく一致する。

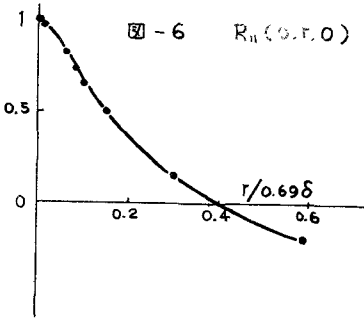


図-6 $R_{ii}(0, r, 0)$

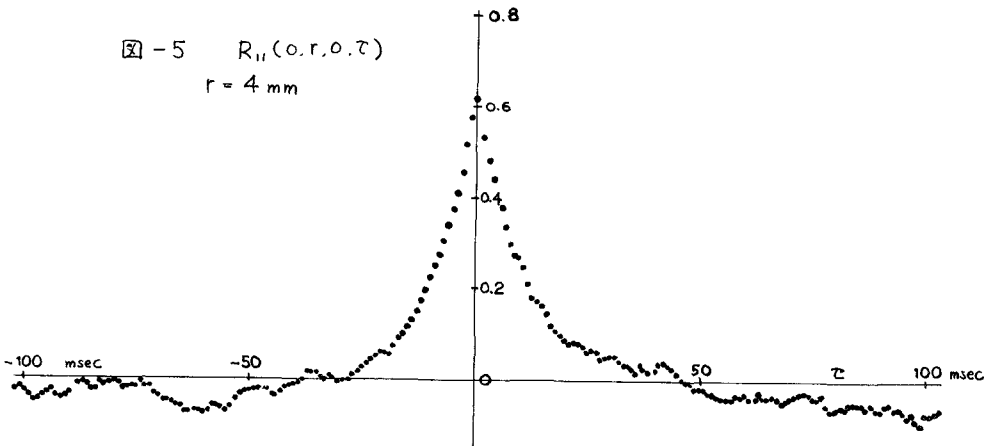


図-5 $R_{ii}(0, r, 0, \tau)$
 $r = 4\text{ mm}$