

乱れエネルギーの拡散と散逸について

九州大学大学院 学生員○細山田 得三

九州大学工学部 正 員 小松 利光

九州大学大学院 学生員 河野 松夫

九州大学工学部 正 員 粟谷 陽一

1. 緒言

乱流におけるclosure問題への取り組みの1つとして、乱れエネルギーフラックスをフィック型、即ち、乱れエネルギーの空間勾配と渦動粘性係数の積として表す方法が検討されてきた。本研究では、壁面せん断流について実験を行い渦動粘性係数を乱れの代表長さスケール(ℓ)と乱れのRMS値、及び 乱れエネルギー(k)とエネルギー散逸率(ε)で評価し比較検討した。

2. 実験装置 及び 方法

実験には長さ6.0 m、幅25 cmの亚克力製水路を用いた。作業流体として水を用い、ポイントゲージの先端に、2方向ホットフィルム流速計を2個取り付け3方向の流速変動を同一点同時測定し、統計量の2方向分布を求めた。ここで座標(x, y, z)及び流速変動(u', v', w')は、それぞれ流れ方向、幅方向、鉛直上向き方向成分を表す。なお実験の詳細は、文献¹⁾を参照されたい。

3. 実験結果 及び 考察

図-1 に流速変動 u, w によって求めた積分長さスケールの鉛直方向分布を示す。図-2 図-3には、それぞれ乱れエネルギー、及び鉛直方向乱れエネルギーフラックス分布を示す。

乱れエネルギーフラックス $\overline{u'^2 w'}$, $\overline{v'^2 w'}$, $\overline{w'^3}$ 、
 $\frac{1}{2} (\overline{u'^2 + v'^2 + w'^2}) \overline{w'}$ を以下の式で表現し、

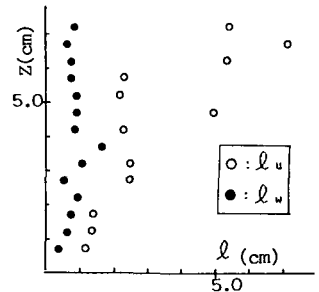


図-1 積分スケールの鉛直方向分布

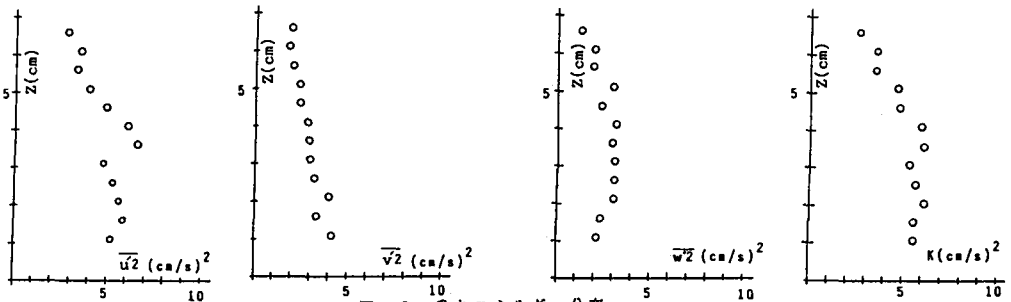


図-2 乱れエネルギー分布

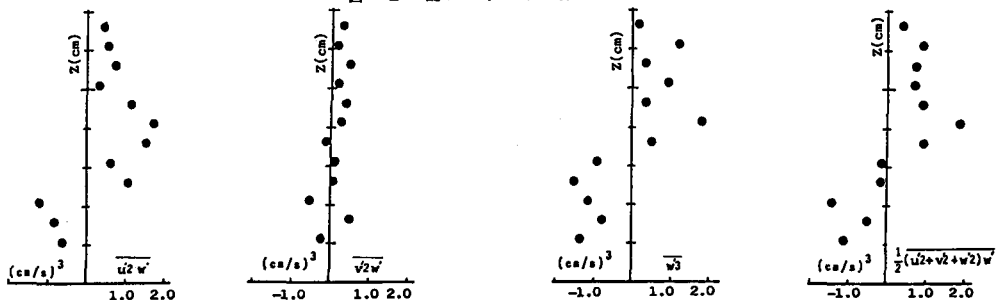


図-3 乱れエネルギーフラックス分布

$$\begin{aligned}\overline{u'^2 w'} &= -\alpha_1 \nu_t \frac{d}{dz}(\overline{u'^2}) & \overline{v'^2 w'} &= -\alpha_2 \nu_t \frac{d}{dz}(\overline{v'^2}) & \overline{w'^3} &= -\alpha_3 \nu_t \frac{d}{dz}(\overline{w'^2}) \\ \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) w &= -\alpha_4 \nu_t \frac{d}{dz}(k) \\ \nu_t &= \sqrt{c} \ell & k &= \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) & c &= \frac{1}{3} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})\end{aligned}$$

ℓ としてuから求めた積分スケールを用いると、比例定数は、

$$\alpha_1 = 0.264 \quad \alpha_2 = 0.152 \quad \alpha_3 = 0.114 \quad \alpha_4 = 0.102$$

となり、wから求めた積分スケールを用いると、比例定数は、

$$\alpha_1 = 1.51 \quad \alpha_2 = 1.04 \quad \alpha_3 = 1.11 \quad \alpha_4 = 0.74$$

となる。以上の結果は、壁面せん断流のような非等方性乱流場に対して渦動粘性係数を乱れの空間スケールを用いて表現すれば用いる長さのスケールの種類によって、比例定数の値がかなり変化し、また振動格子乱流の場合から得られた結果とも大きく異なることから、このような表現の方法は、不適当なものであると思われる。

次に、渦動粘性係数を乱れエネルギー（k）、乱れエネルギー散逸率（ ε ）で、

$$\nu_t = \frac{k^2}{\varepsilon}$$

と、表現し、同様に比例定数を求めると、

$$\alpha_1 = 0.226 \quad \alpha_2 = 0.212 \quad \alpha_3 = 0.218 \quad \alpha_4 = 0.150$$

となる。ここで ε は、波数スペクトルの（-13/3）乗則より評価した。

この結果より、幅方向及び鉛直方向の乱れエネルギーの鉛直方向フラックスは、ほぼ等しく、それに比べて流れ方向の乱れエネルギーの鉛直方向フラックスは、約1.2倍大きいことがわかる。また、全方向乱れエネルギーの鉛直方向フラックスに関しては、従来のk- ε モデルに用いられている $\alpha_4 (=C_k) = 0.09$ とは異なる値をとった。

4. 結言

渦動粘性係数を積分スケールを用いて表現することは、乱れの特性を凍結乱流の仮定を通してより大きな空間スケールで表現することになり、非等方性の影響を受け安い。それに比べてk、 ε で表現することは、乱れの特性が、すべて空間内の各点で評価されるため、平均の流れ場に依存しない、より普遍的な表現であろうと思われる。なお今回は、エネルギー散逸（ ε ）は、波数スペクトルを用いた「給水管法」によって評価したが、今後は、乱れエネルギー輸送方程式を用いて実験的に評価し検討していくつもりである。

参考文献

- 1) 椿、小松、八尋：成層せん断流における乱流構造について、第26回水講演文集 1982