

エクマン境界層における乱流ヘリシティの予測

乱流モデルによる数値シミュレーションを使って、エクマン境界層（図1）の解析を行っている。系の回転（角速度： Ω_F ）を受けるエクマン境界層では、流れのねじれ度を表す“ヘリシティ”という量が現れる。特に、速度ゆらぎによる乱流ヘリシティは、レイノルズ応力を通じて平均速度に影響を与えることが知られている¹⁾。本研究では、既存のDNSデータベース²⁾を利用して、モデル化した輸送方程式から乱流ヘリシティを算出することを目的としている。

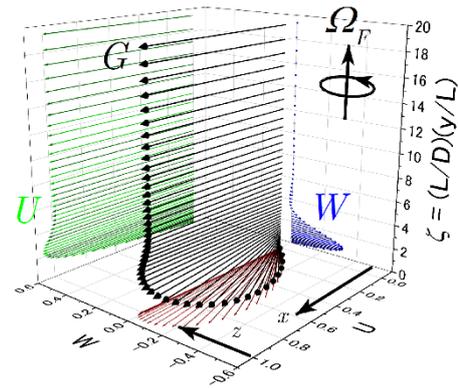


図1 エクマン境界層の流れ場（層流）の概観

■ ヘリシティ ($\tilde{u} \cdot \tilde{\omega}$) について

速度 \tilde{u} と渦度 $\tilde{\omega} (= \nabla \times \tilde{u})$ より、ヘリシティは $\tilde{u} \cdot \tilde{\omega}$ となる。正值の場合、流体粒子は右ねじの向きに回転し、負値の場合、左向きに回転することを示す（図2）。乱流ヘリシティの定義は、ゆらぎ部分に平均を施した、 $h = \langle \mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\omega} \rangle$ となる。

■ 乱流ヘリシティの予測

地衡流 G と層流エクマン境界層深さ $D (= \sqrt{\nu / \Omega_F})$ で規格化したレイノルズ数、 $Re_f = GD / \nu = 1140$ の流れ場において、以下のモデル化した輸送方程式から乱流ヘリシティを算出した（図3）。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = P_h + P_f - \varepsilon_h + T_v + T_h,$$

P_h : 渦度による生成項, P_f : 系の回転による生成項, ε_h : モデル化した散逸項,

T_v : 粘性による拡散項, T_h : モデル化した乱流拡散項

その結果、大気境界層内と同様に正值を示し、壁側 ($0 < y / L < 0.3$; L は y 方向の計算領域の幅) では勾配が存在することから、この領域でレイノルズ応力を補正する可能性があることがわかった。詳細は文献3)を参照されたい。

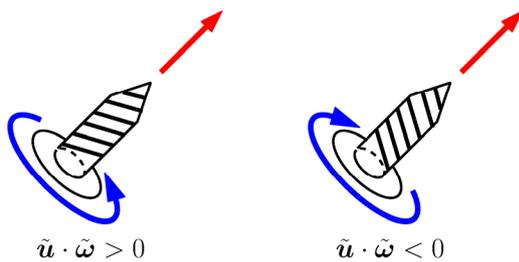


図2 乱流ヘリシティ。 $\tilde{u} \cdot \tilde{\omega} > 0$ の時、右ねじ回り（左図）。 $\tilde{u} \cdot \tilde{\omega} < 0$ の時、左ねじ回り（右図）

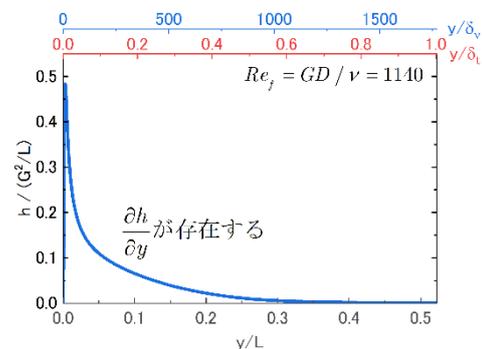


図3 モデル化した輸送方程式から算出した乱流ヘリシティの分布

1) N. Yokoi and A. Yoshizawa, Phys. Fluids, A5, (1993), pp.464–477

2) K. Miyashita, K. Iwamoto, and H. Kawamura, J. Earth Simulator, 6, (2006), pp.3–15

3) 小山, 生産研究, 73(1), (2021), pp.23–28, <https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.73.23>