

温度成層のある境界層中の混合物拡散の LES

神戸大学大学院 学生員 ○朝倉 啓介
 神戸大学大学院 正会員 中山 昭彦

1. 目的

工場や車からの排気ガスなどの大気中での拡散を予測することは都市や地域の環境保全に重要であることは言うまでもない。大気流の数値予測計算は、乱流のレイノルズ平均を解く RANS 法やラージ・エディ・シミュレーション (LES) 法が研究され応用にも供されている。本研究では一点から排気ガスなどの混合物がどのように大気流中で拡散していくのかを汎用性などの点から LES 法を適用し検証する。混合物の拡散の中立、不安定温度成層下でシミュレーションを行う。

2. 解析手法

本研究では混合物拡散の計算を行う領域(主領域)と、事前に大気の乱れを作成する領域(助走領域)に分けて考える(図-1)。支配方程式は連続式, Navier-stokes 方程式, 熱および混合物拡散方程式である。ただし Navier-stokes 方程式は熱に依存し, 混合物には依存しないこととする。乱流モデルには SGS モデルを用い, 空間差分には移流項のみ QUICK 法, その他に二次中心差法を用いる。また時間進行には Navier-stokes 方程式では半陰解法を, 拡散方程式には陽解法を用い, 格子はコロケート格子を設定する。流入風および温度場は Lund et al.¹⁾ および Kong-et al.²⁾の方法を基に温度変動のともなう境界層の流入風速と温度変動を生成する。計算格子は直交で格子数は助走領域(37,103,31), 主領域(47,103,31)とし, 格子は全ての方向に等間隔である。

3. 計算ケース

図-2(a)(b)に平均流速分布を, 図-3(a)(b)に速度変動強度の rms 値を中立, 不安定時それぞれにおいて示す。中立時のみに示された点は佐田, 佐藤らの実験³⁾であり, これらをもとにした解析を行う。そして変動を決定する要因にバルクリチャードソン数を設定する。中立時は 0 であり, 安定時は正, 不安定時には負の値となり, 以下の式から求められる。

$$Ri_b = \frac{g\beta\theta}{U_\infty^2}(T_\infty - T_0)$$

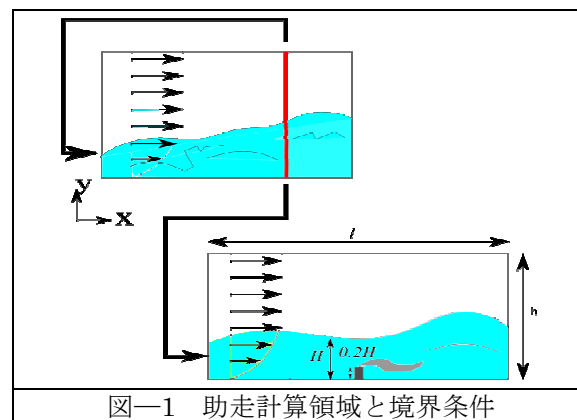


図-1 助走計算領域と境界条件

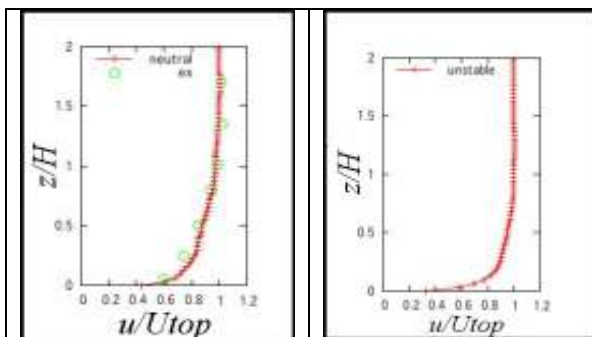
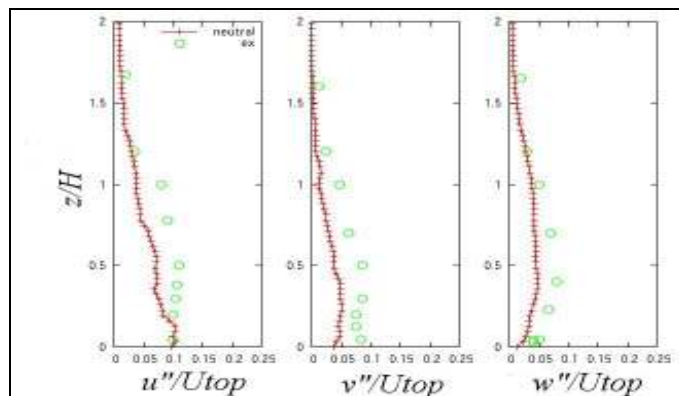
図-2a
平均流速分布(中立)図-2b
平均流速分布(不安定)

図-3a 速度変動強度の rms 値(中立)

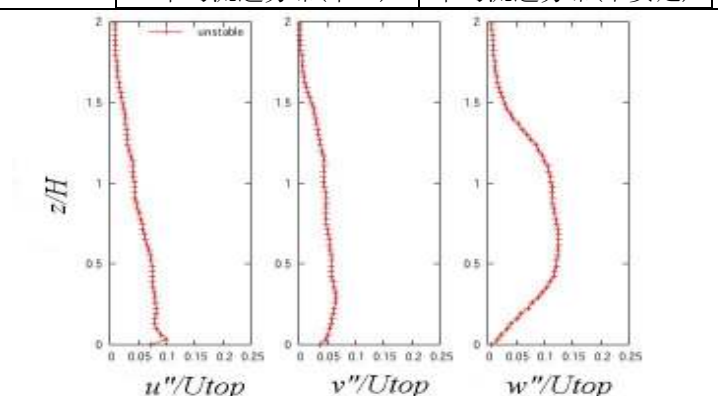
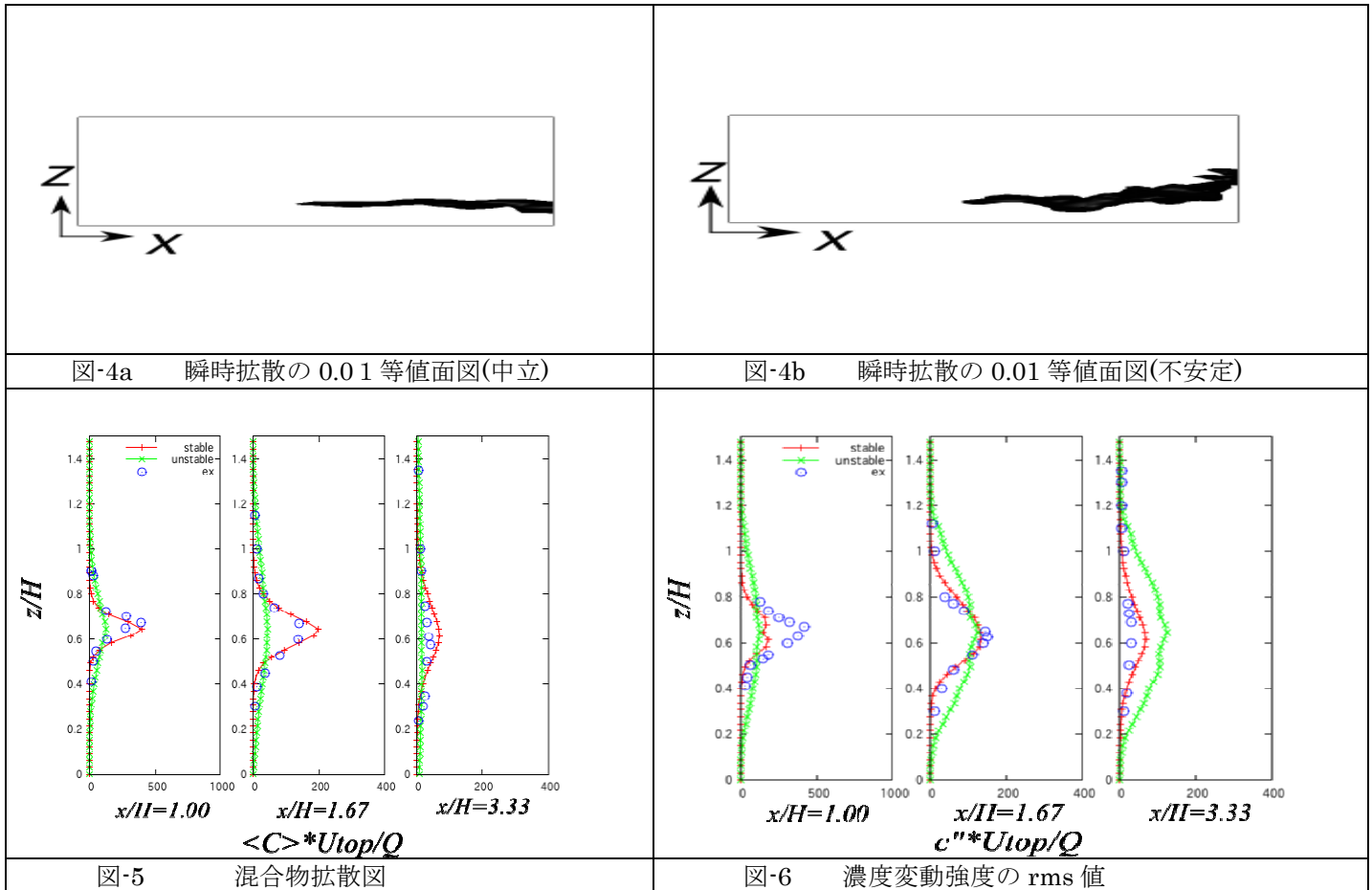


図-3b 速度変動強度の rms 値(不安定)

キーワード LES, 温度成層, 物質拡散, 境界層, サブグリッドモデル

連絡先 〒657-002 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 中山研究室 TEL078-803-6280



T_0 : 下端での温度, T_∞ : 上端での温度, θ : 摩擦温度, β : 定数(温度の逆数), U_∞ : 主流速度

*バルクリチャードソン数は佐田, 佐藤らの実験をもとに不安定時を - 0.068 として計算した.

4. 結果

一点からの拡散では図-4(a) (b) のような等値面図を観測され, 中立時, 不安定時, それぞれ特有の拡散を見た. これらの中から流下方向断面を数個とりその面において比較検証を行った. 図-5, 図-6, は平均拡散濃度, 平均 rms 値を示したものである. 平均拡散濃度では, 中立時に佐藤, 佐田らの風洞実験と比較的近い値が得られ, 完全ではないがある程度の再現性が確認できた. 不安定時は中立時に比べ, 上端下端付近でも中央付近と近い値を示し, 温度条件の導入による鉛直方向の大気の運動を再現できたといえる. 一方で rms 値においては若干精度が下がってしまう結果となった. 中立時では放出点から離れた地点で風洞実験に近い結果を得られたものの, 点源付近では十分な値が確認できなかった. 不安定時に関しては中立時より全体的に大きな値をとっていることから定性的には正しい傾向にあるといえ, 今後定量的なデータとの検証を行うことでより厳密な精度での再現を試みる.

参考文献

- 1) Lund, T.S, Wu, X and Squires, K. D : Generation of turbulent inflow data for spatially-developing boundary layer simulations, Journal of Computational Physics, No. 140 , pp.233-258, 1998
- 2) Kong, H., Choi, H., Lee, J.K.: Direct numerical simulation of turbulent thermal boundary layers, Phys. Fluids, 12, pp.2555-2568, 2000
- 3) 佐藤歩, 佐田幸一: 濃度変動を考慮した風洞実験手法の開発 - 不安定時の濃度変動特性 -, 電力中央研究所報告, pp. 1-14, 1998