

二次元LESによる粗度要素周辺の流れの解析

岐阜大学工学部 正 員 河村 三郎

岐阜大学工学部 正 員 藤田 一郎

岐阜大学工学部 学生員 ○福田 信夫

1. はじめに

物体まわりの乱流を数値的にシミュレートする方法として提案された Large Eddy Simulation (LES) は、高レイノルズ数乱流における三次元、非定常問題の高精度解法として知られるようになってきているがその信頼性は単純な流れ場でのみ確認されてきた。そこで本研究は、流れは二次元であるが複雑な境界条件を有する流れ場でLESによる計算を行い、その適用性について検討した。

2. 計算方法

本研究では、図1に示す栈粗度を含む流れ場を対象とした。流入部水深 (H) と粗度要素高さ (D) の比 (H/D) を5、粗度要素間隔 (L) と粗度要素高さの比 (L/D) を20として7つの粗度要素を含む領域で計算を行った。座標系は流入部下端を原点とし、風下方向を x 、鉛直上向きを y と定めた。

計算には以下の基礎方程式を使用した。

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (P_s + \bar{\tau}_s) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (P_s + \bar{\tau}_s) \quad (3)$$

ここに、 u, v : x, y 方向の流速、 $\phi = P/\rho$ 、 P : 圧力、 ρ : 密度、 $\bar{\tau}_s$: subgridスケールの乱流せん断応力、 ν : 動粘性係数、 P_s : 乱流圧力。 $\bar{\tau}_s$ は各格子スケールにおける空間平均値を示す。 $\bar{\tau}_s$ には、Smagorinsky のsubgridスケールの乱流モデル (SGSモデル)¹⁾を採用した。SGSモデルは次式によって表される。

$$\bar{\tau}_s = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (4)$$

$$\nu_t = (C\Delta)^2 \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right| \quad (5)$$

ここに、 ν_t : 渦動粘性係数、 Δ : 各格子間隔、 C : モデル定数。

図2に計算手順の概略を示す。離散化した基礎方程式を、初期状態からEuler法によって時間発展させ、非定常な解を得ていくのが本研究の基本的なアルゴリズムである。移流項の差分スキームには Quickest スキ

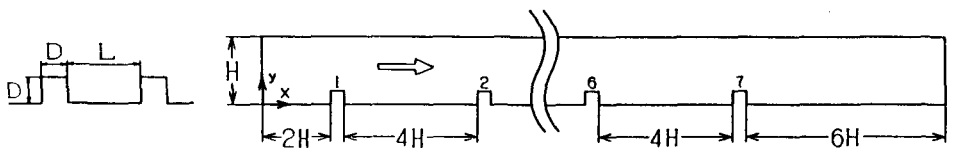


図1. 粗度要素と計算領域

ームを採用した。格子システムとしてはスタッガードシステムを用い、壁面および粗度近傍で密な間隔となるようにした。また、圧力・流速の同時調整にはSOLA法を適用した。格子数はX, Y方向にそれぞれ540および26である。流速分布の初期条件としては、流入端の乱流指数分布を全領域で与え、また圧力は全て0とした。壁面上ではnon-slipとし流出境界では ϕ を変数として $\partial\phi/\partial x = 0$ とした。なお、今回の計算における無次元時間刻みは $dT = 1/1000$ 、レイノルズ数は、 $Re = 1.0 \times 10^4$ である。

3. 計算結果

以下に計算結果の例を示す。図3は、 $T = 17.0$ より $T = 20.0$ における3番目の粗度要素から6番目の粗度要素までの領域における流速ベクトルであり、図4は十分に渦が発達した後に平均化を施した結果である。図3より粗度要素から発生した渦が時間の経過とともに発達しながら移動して行き次の粗度要素を乗り越えて行く様子が良好に計算されていることがわかる。また図4より粗度要素間隔内に再付着点があることがわかる。

4. おわりに

本計算結果より二次元LESを用いて粗度要素周辺の乱流流れ場を良好に計算できることがわかった。今後は、さらにさまざまなケースで計算を行い、粗度要素間隔等が流れの抵抗に与える影響等に関して調べていく予定である。

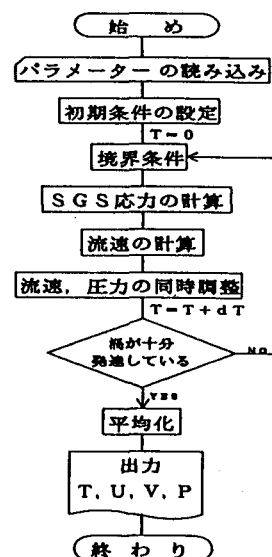


図2. 計算手順の概略

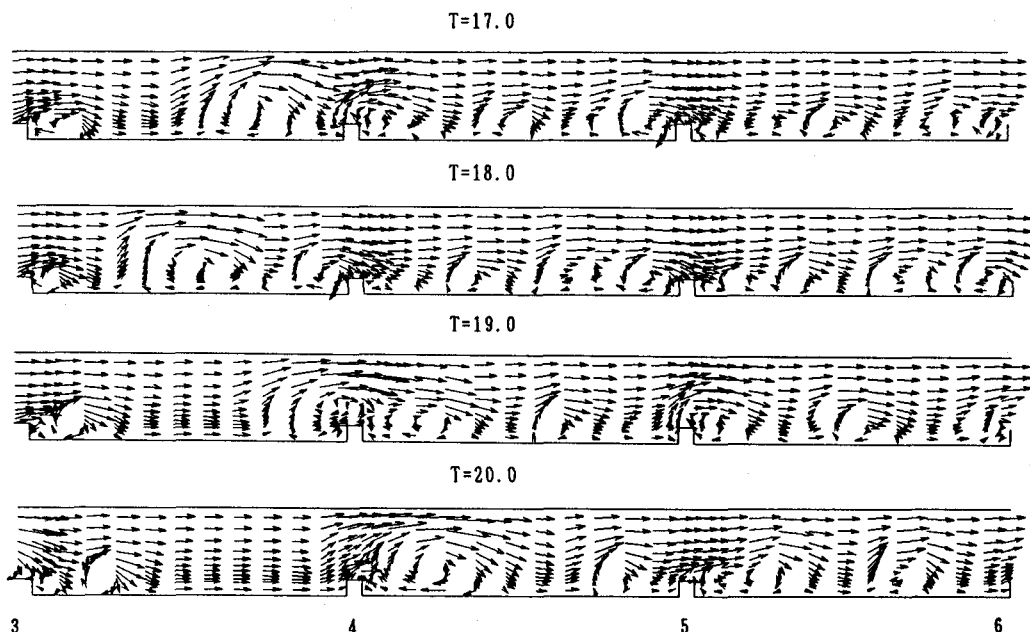


図3. 流速ベクトル ($Re = 1.0 \times 10^4$)

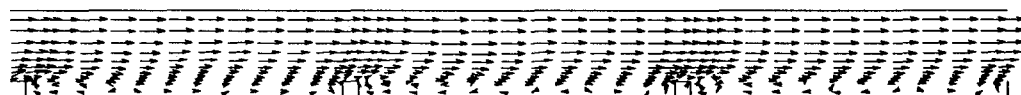


図4. 平均流速分布

参考文献 1) 河村・藤田・中谷・程: SGS乱流モデルによる合流部流れの解析, 第46回年次学術講演会講演概要集, Vol. 2, pp750-751