

複雑な物体表面上の流れに関する数値流体解析

岡山大学環境理工学部 正会員○篠原 聡仁

日本ミクニヤ株式会社 正会員 熊尾 友憲

岡山大学環境理工学部 正会員 比江島 慎二

1. はじめに

複雑な物体表面上の流れを解析することは、汚染物質の大気拡散や騒音などの環境問題を考える上で非常に重要と言える。しかし、流体解析プログラムを用いて解析する際には、解析プログラムの解析精度が重要な問題となってくる。そこで本研究では、プログラムによる解析結果と風洞実験モデルの流速データとの比較を行う。

2. 解析手法

2.1 解析方法

基礎式である Navier-Stokes 方程式と連続の式から、流速双線形、圧力一定の四辺形混合補間要素を用いて、重み付き残差法の一つである SUPG 法により離散化を行い、得られた有限要素方程式を Predictor-Corrector 法により時間積分することによって、非圧縮粘性の流れ場の解析を行った。乱流モデルには LES を適用した。

2.2 解析条件

風洞実験結果との比較を行うモデルは、図 2.1、2.2 に示すような 3 次元の谷、山地形を想定した。具体的な分割条件は、総節点数：30545、総要素数：23680 であり、地形の勾配は 30 度である。境界条件に関しては全てのモデルにおいて、物体表面上は NON-SLIP、流出面はトラクションフリー、側面境界は SLIP とする。流入流速に関しては、物体の最大高さ（深さ）を代表高さ（ D_0 ）にとり $D_0 = 6.0 [\text{cm}]$ 、代表高さにおける代表流速（ U_0 ）を $U_0 = 724.5 [\text{cm/s}]$ 、風洞実験結果に合わせて $Re (= D_0 U_0 / \nu) = 29938$ とし、これをもとにべき法則（ $U_i = U_0 \times (Y_i / D_0)^\alpha$ ）に従った流速分布を導入する。このとき、べき指数 α には平坦な地形の流れを想定して、 $\alpha = 1/6$ を代入する¹⁾。なお、物体表面上の最小のメッシュ幅は $0.05 D_0$ 、閉塞率は 10.0% であり、時間間隔は $0.0001 [\text{s}]$ とする。

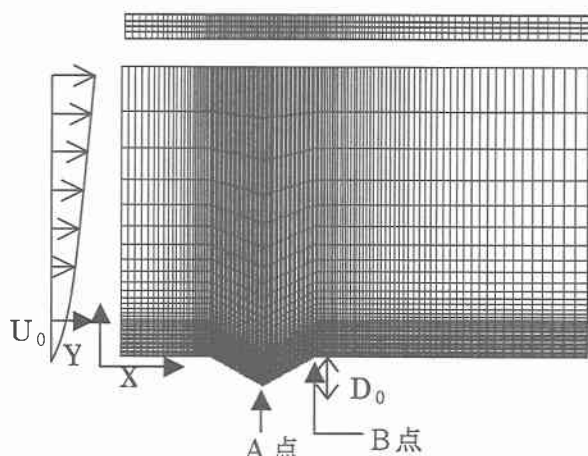


図 2.1 メッシュ分割図（谷地形）

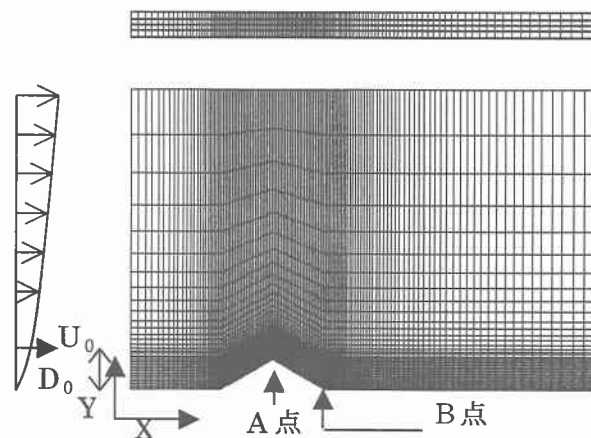


図 2.2 メッシュ分割図（山地形）

3. 解析結果

図 3.1、3.2 は解析結果、図 3.3、3.4 は風洞実験結果、による平均流速ベクトル図で、図 3.5 と 3.6 は図 2.1 と図 2.2 の A 点、図 3.7、3.8 は B 点における主流方向平均流速の鉛直方向分布である。

谷地形では、斜面直前の位置から剥離した流れが登り勾配に再付着する様相がうまく捉えられている（図 3.1、3.3 参照）。評価点 A における平均流速の比較では、地形表面近傍（Y 座標の値が代表高さ以下）での実験値と解析値の誤差は 30~40% であったが、それ以外では 10% 以内と、地形表面近傍を除いてほぼ一致した（図 3.5 参照）。また、評価点 B では地形表面近傍での誤差は 20% 以内とやや改善し、循環後の流れの様相は相違ないと言える（図 3.7 参照）。

次に山地形だが、明らかに風洞実験結果に比べて解析結果の方では勾配の背後の循環領域が狭小されている（図 3.2、3.4 参照）。また、実験結果と解析結果を比べると解析結果の方の流速がやや過大に評価されている（図 3.8 参照）。これは 2 次元的な地形に関してよく見られる現象²⁾で、今回用いたモデルの奥行き方向の層数が 4 層であるため、奥行き方向への流速が過小評価されて流速の瞬間的な変動を捉えることが出来なかった可能性が考え

られる。また評価点 A での誤差の値は、全体的に 10% 以内であった (図 3.6)。評価点 B においては、地形表面近傍での誤差は 50% 以上の値が多く、それ以外は 10% 程度であった (3.8 参照)。

このように、渦の循環が発生している谷地形における A 点、山地形における B 点の地形表面近傍で誤差が大きい要因に関しては、流速の細かい変動を乱流粘性に置き換えるという LES の性質やメッシュの切り方などが影響している可能性が考えられる³⁾。また、山地形の B 点が谷地形の A 点に比べて誤差が大きい点に関しては、谷地形では実験結果、解析結果ともに定在的に渦が循環しているが、山地形では実験結果での定常な流れに対して、解析結果では剥離した渦が後方に移流するような非定常な流れであることが 1 つの原因として考えられる。

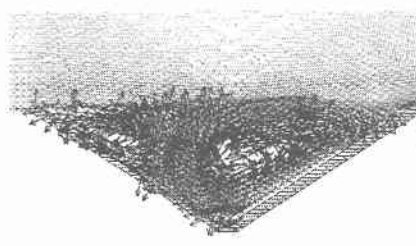


図 3.1 谷地形 (解析結果)

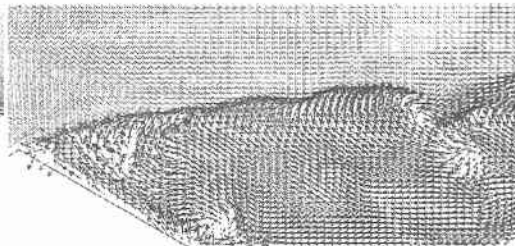


図 3.2 山地形 (解析結果)



図 3.3 谷地形 (風洞実験)

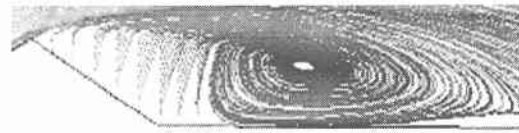


図 3.4 山地形 (風洞実験)

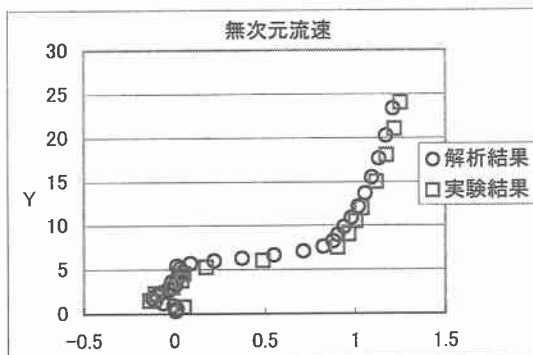


図 3.5 A点での平均流速 (谷地形)

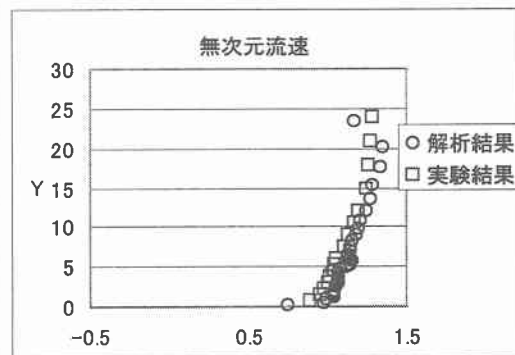


図 3.6 A点での平均流速 (山地形)

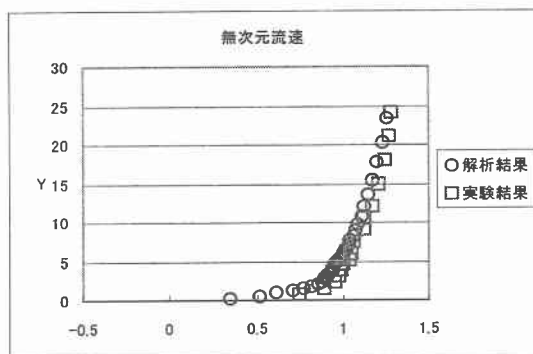


図 3.7 B点での平均流速 (谷地形)

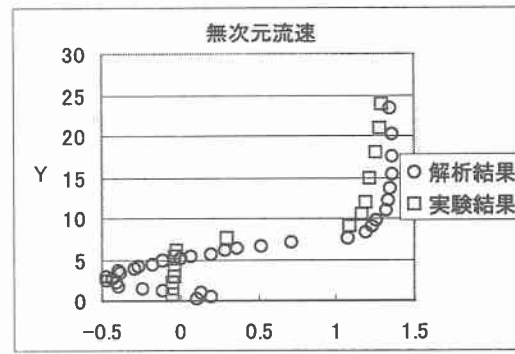


図 3.8 B点での平均流速 (山地形)

4. 結論

地形表面近傍以外の平均流速に関しては実験結果と非常に相似性のある結果が得られるが、地形表面近傍、特に剥離した渦が循環する点においては流れの挙動を捉えることは難しいということが判明した。この要因としては、細かい変動を乱流粘性に置き換えるといった LES の性質上の問題と、モデルの要素分割の影響が考えられる。また、解析結果の山地形では実験結果の定常な流れに対して非定常な流れが生じ、このことが山地形における再現性の低下につながった可能性がある。これらに対する改善点としては、DNS の適用や地形表面近傍でのメッシュ精度の改良を行うことが考えられる。なお、ここには図示しなかったが、流速の変動成分に関しては谷地形、山地形ともにあまり良い再現性が得られなかった。

＜謝辞＞ 本研究における風洞実験結果の流速データ (株) は鹿島技術研究所より提供して頂いたデータであることと、その際に中央大学理工学部榎山和男教授より助言を頂いたことをここに付記し、謝意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 社団法人日本鋼構造協会[編]: 構造物の耐風工学、報光社、1997
- 2) 内田孝紀、大屋裕二: 二次元山を過ぎる流れの数値シミュレーション、第 15 回数値流体力学シンポジウム E03-1
- 3) 本郷拓人、榎山和男、近藤宏二: 流入変動風を用いた LES による地形風有限要素法解析、土木学会第 56 回年次学術講演会 I-B375