

I - B 375

安定化有限要素法による単純地形モデルを過ぎる地形風数値シミュレーション

中央大学大学院 学生員 ○ 本郷 拓人
中央大学 正会員 櫻山 和男

1. はじめに

近年のコンピュータのハードウェアの急速な発展と計算手法の進歩により、地形風の把握に対して数値シミュレーションの有効性が認められつつある。

本報告では、著者らが提案した非圧縮粘性流れ解析のための安定化有限要素法^{1),2)}を地形風解析に適用しその有効性について検討するものである。数値解析例として、代表的な単純地形モデル(30度の勾配を有する山と谷)の2次元、3次元流れ解析を行い、中立の条件で行われた風洞実験結果との比較を行った。

2. 基礎方程式

基礎方程式は非圧縮粘性流れの基礎方程式であるNavier-Stokes方程式と連続式を用いる。無次元化された式は以下になる。

運動方程式;

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = -p_{,i} + \frac{1}{Re} u_{i,jj} \quad (1)$$

連続式;

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $_{,i}$ は*i*方向の偏微分、 u_i は*i*方向の速度成分、 p は圧力、 Re はレイノルズ数を表している。離散化については文献3)に詳しい。

3. 解析条件

本報告では数値解析例として30度の勾配を有する山と谷の流れ解析を行い、中立の条件で行われた風洞実験結果との比較・検討を行う。解析には節点総数11,529、要素総数11,284の有限要素分割を用いた(2次元)。図-1に計算領域と境界条件(山の場合)、図-2に山近傍の有限要素分割図を示す。境界条件は両解析とも上面で $slip$ 条件、下面で $non-slip$ 条件とした。流入条件は、実験で得られた風速をスプライン補間したものを与え、測定値のない高さ $4L$ 以上では一定とした。計算条件は、微小時間増分量 $\Delta t = 0.002$ 、レイノルズ数 $Re = 24,872$ とした。

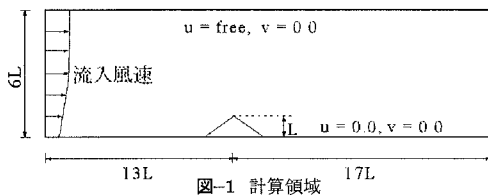
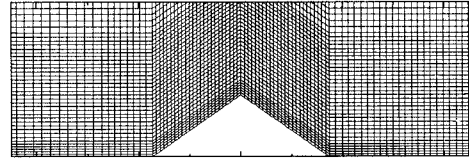


図-1 計算領域



山近傍

図-2 有限要素分割図

4. 解析結果

(1) 30度の勾配を有する山

任意鉛直断面を取り出した実験結果と解析結果の風速ベクトルを図-3に示す。計算結果は風洞実験の測定位置と一致する節点を取り、時間平均された値を表示している。図より、山後方に見られる循環流の風速において、計算結果の方が実験結果と比較して地表面付近に近づくにつれて大きくなり、渦のスケールも大きくなることわかる。断面Iでは、風速、風向ともにほぼ一致しているが、計算結果では最も地表面に近い風速ベクトルが、実験結果と比べて若干上向きになっている。この影響で山後方に生じる渦のスケールが大きくなり、かつ細長くなっている。

後流渦のスケール、強さの差異をより明らかにするために図-4に流線図の比較を示す。図より計算結果は実験結果に比べ、後流渦のスケールが若干大きく細長いものとなっていることがわかる。渦の中心位置は図の座標で、実験結果が水平方向約3.5、鉛直方向約0.6であるのに対し、計算結果は、水平方向約4.0、鉛直方向約0.8と若干遠く高い位置となっている。また、計算結果では、風速ベクトル図からもわかるように、山の前方と後方に小さい2次渦が見られるが、実験結果には見られない。

(2) 30度の勾配を有する谷

a) 2次元解析

図-5に風速ベクトルについて実験結果と計算結果との比較を示す。山の解析と同様に谷間に発生する循環流において、解析結果では実験結果に比べて風速が大きく、また、渦のスケールも大きなものとなっている。しかし、谷以外の所では、定性的にも定量的にも一致した。

図-6に流線図の比較を示す。解析結果では渦のスケールが大きく、主流方向に細長くなっている。渦の中心位置も実験結果が谷間のほぼ中心にあるのに対して、若干右寄りになっているのがわかる。また、実験には見られない小さな2次渦が見られる。

KeyWords: 地形風, 安定化有限要素法
〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27
TEL. 03-3817-1815 FAX. 03-3817-1803

b) 3次元解析

図-7に3次元解析のスパン方向中心断面における風速ベクトル図と流線図を示す。谷間に発生する循環流において風速ベクトル図から2次元解析に比べ定量的に良い一致を示しているのが分かる。しかし、谷間の前での風速が地表面付近で大幅に減少してしまっている。流線図では渦のスケールは若干大きめではあるが渦の中心位置も実験結果とほぼ一致し、定性的にも2次元解析に比べ良い結果が得られた。

5. おわりに

本報告において地形風解析に対する安定化有限要素法の適用性を検討するために、2次元単純地形モデル（30度の勾配を有する山と谷）解析を行い、風洞実験結果との比較を行った。

- 両ケースとも定性的にはよく一致したものの定量的には大きく異なった。
- 山の解析では、後流渦の地表面付近の風速ベクトルの大きさに大きな差異が見られた。特に、山頂付近での風速ベクトルが、数値解析では風洞実験に比べて上向きになり、その影響で山後方に発生する渦のスケールが、実験結果に比べ大きく後方に細長いものとなった。
- 谷の解析でも谷間の循環流において、実験結果に比べ風速が大きく、渦のスケールも大きなものとなった。

これらの原因の一つとして、計算が2次元計算であるためにスパン方向へのエネルギーの散逸がないことが考えられる。そこで谷の解析において3次元解析を行った結果以下の結論を得た。

- 谷間に発生する循環流において風速ベクトルは定量的に良い一致を示した。
- 谷間の前のプロファイルに地表面付近で大きな減少が見られた。
- 渦の中心位置は実験結果とほぼ一致し、渦のスケールは若干大きめであるが2次元解析に比べ定性的に良い一致を示した。

今後は3次元計算でプロファイルに減少が見られた原因を探るとともに、計算領域の検討や複雑地形への適用、また、乱流モデルを導入していく予定である。

謝辞

本論文に用いた風洞実験結果は、鹿島建設株式会社技術研究所より提供していただいた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 猪股渉, 樫山和男, "安定化有限要素法による非圧縮性流れ解析", 第10回数値流体力学シンポジウム論文集, 334-335, (1996).
- 2) 水上昭, "Q1-P0要素によるFEM流れ解析のための安定化行列", 第8回数値流体力学シンポジウム論文集, 647-650, (1994).
- 3) 樫山和男, 猪股渉, "混合補間要素を用いた非圧縮粘性流れ解析のための高精度安定化有限要素法", 土木学会論文集 No.591/I-43, 125-137, (1998).

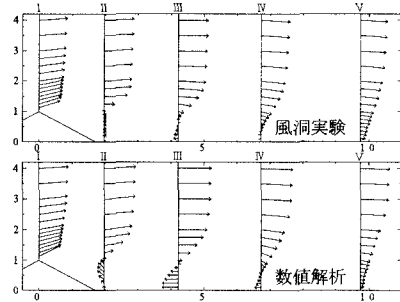


図-3 任意断面における風速ベクトル図の比較（山）

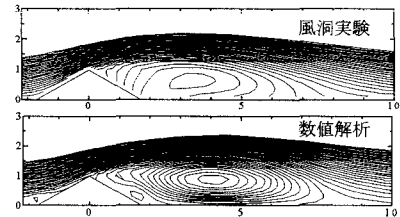


図-4 流線図の比較（山）

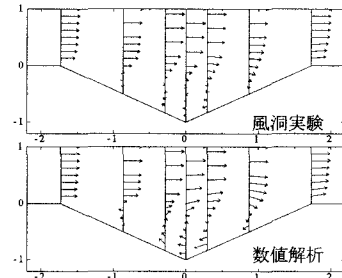


図-5 任意断面における風速ベクトル図の比較（谷）

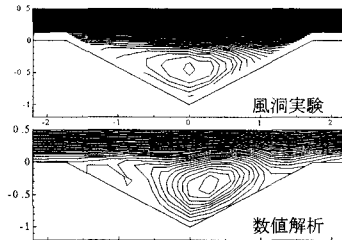


図-6 流線図の比較（谷）

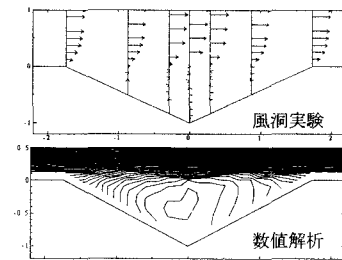


図-7 3次元解析