

I-51 $k-\varepsilon$ 法による半島状地形の風況特性の解析

徳島大学大学院 学生員

○高尾 昌孝

徳島大学工学部

正員 長尾 文明

徳島大学工学部 正員

野田 稔

東京工芸大学工学部

正員 白澤 多一

徳島大学工学部 (研究当時)

中津川 絢子

1. はじめに 近年の大型台風の上陸, 超高層建造物の乱立, 大規模な公共事業による地形の変化等は, その周辺の風環境を一変させる恐れがある. そのため, 今後多様化する耐風設計においては地形と風の関係に客観性を有する工学的ツールの活躍に大きな関心が集まっている. 本研究では, オープンソース CFD ツール OpenFOAM¹⁾を用いて標準 $k-\varepsilon$ 法の三次元的なモデルへの適用性を試み, 単純な半島状地形の流れの解析を境界層乱流場で行った. 解析では地形特性として上流, 下流法面勾配を変化させ, 解析結果から流況特性を再現できているかを確認し, 精度検証として風速比に着目して過去に行われた風洞実験の結果²⁾との比較を行った.

2. 解析方法と解析条件 本解析において, 流れの支配方程式は非圧縮性流体の連続の式とナビエ・ストークス方程式である. これらの偏微分方程式を一般座標系のスタガード格子に基づき, 有限体積法により離散化を行う. 計算アルゴリズムとしては SIMPLE 法に準じ, 乱流モデルとして標準 $k-\varepsilon$ 法を用い, 収束計算には 1 次精度風上差分を使用した. 解析領域と境界条件を Fig. 1 に示す. また, 使用した半島状地形付近のメッシュ分割の一例 ($\psi_F = \psi_R = 60^\circ$) を Fig. 2 に示す. 地形高さを H として主流方向 (x), 主流直角方向 (y) 鉛直方向 (z) に $80H \times 30H \times 30H$ の空間領域を有し, 閉塞率を 3.3% とした. 主流方向及び主流直角方向のメッシュの最小幅は $0.04H$ とし, 鉛直方向の最小幅は $0.02H$ とする等比級数メッシュを用いた. 地形は尾根筋を簡略化した半島状地形としその構成因子を Fig. 3 に示す. 本文では, 計算に与えた各種パラメータを表 1~3 に示す. 解析結果から流況特性は, 後流側法面の先端部に沿う流跡線から確認し, 精度検証は, 本解析と同条件で行われた風洞実験の結果を風速比の分布で比較した.

3. 解析結果と精度検証

(1) 流況特性について

Fig. 4 に $\psi_F = 40^\circ, \psi_R = 60^\circ$ のときの流跡線図(a) $Y-Z$ 平面, (b) $X-Y$ 平面を 1 例として示す. これらは尾根の先端部から尾根背後に向って流れが入り込む様子を表しており, 巻き込み渦を再現したものである. しかし, 解析を行う上で斜面部 (ψ_F, ψ_R, θ) の勾配によっては正しく行われないケースがあった. これは本解析ではすべての場合において同じ分割数で解析を行っており, 斜面部では ψ_F, ψ_R の差が大きくなると斜面長の差も大きくなることで法面部のメッシュ幅も変化し, 吹走面から斜面へと移るときにメッシュ幅が急に変化する領域が発生してしまったことが原因と考えられこの問題を解決することは今後の重大な課題である.

(2) 風速比について

Fig. 5, Fig. 6 は, (a) $\psi_F = \psi_R = 60^\circ$, (b) $\psi_F = 40^\circ, \psi_R = 60^\circ$, (c) $\psi_F = 60^\circ, \psi_R = 40^\circ$, (d) $\psi_F = 40^\circ, \psi_R = 20^\circ$ のケースについて地表面高さ $Z/H = 0.066$ での実験値と解析値をそれぞれ同一高さの接近風速で基準化し, 風速比の分布で示したものである. これらより, ψ_F, ψ_R がそれぞれ小さい方が風洞実験の結果と同じ傾向が出ており, 風速比のピーク点もほぼ同じ位置に見られた. しかし, 4 ケースとも風速比の値が風洞実験の結果よりも低い値となった. これは本解析で地表面に粗度を与えなかったため, 流入面から模型までの吹走区間で速度回復が起こり実験値よりも低い値になったと考えられる.

4. まとめと今後の課題 本研究では標準 $k-\varepsilon$ 法を用いて三次元的な地形の解析を行い, その特徴的な風況特性を再現することができた. また, 実験結果と比べ全体的に, 風速比が低い結果となったが, 吹走部分での速度回復を改善することでより良い精度の結果が得られると考えられる. 今後の課題として, 任意の斜面勾配に対応していくことでより適用性の高いツールとすることである.

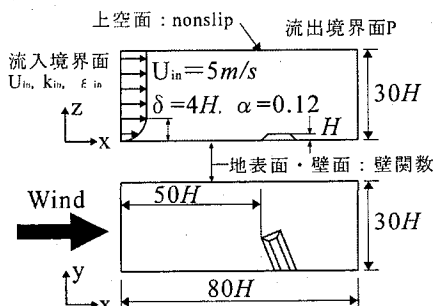


Fig.1 解析領域と境界条件

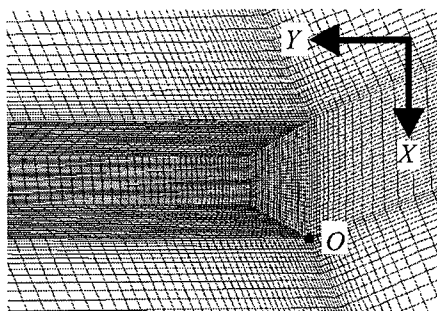


Fig.2 半島状地形周辺の計算メッシュ

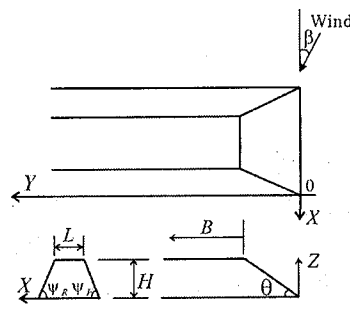


Fig.3 半島状地形の構成因子

表-1 流入境界面の諸量

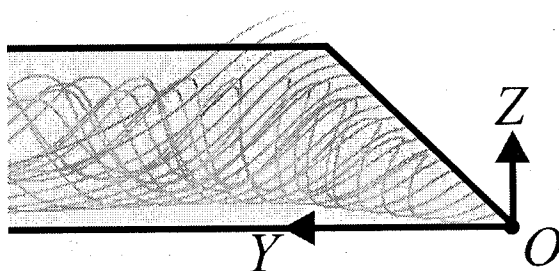
流入風速 $U_m(m/s)$	5.0
無次元境界層厚さ δ/H	4.0
べき指数 α	0.12
乱れエネルギー $k_m(m^2/sec^2)$	0.0625
散逸量 $\varepsilon_m(m^2/sec^2)$	0.114

表-2 構成因子の諸量

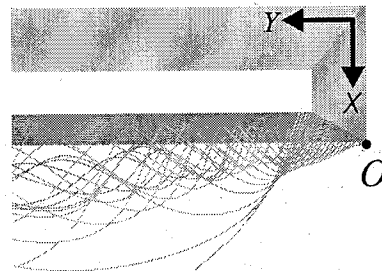
風向 $\beta(^{\circ})$	22.5
先端勾配 $\theta(^{\circ})$	45
上流側法面勾配 $\psi_F(^{\circ})$	20, 40, 60
下流側法面勾配 $\psi_R(^{\circ})$	20, 40, 60
天端長さ L/H	0.8

表-3 解析条件のパラメータ

レイノルズ数(Re)	25000
時間間隔 $\Delta t(H/U)$	0.01
最大ステップ数	3000



(a) Y-Z 平面



(b) X-Y 平面

Fig.4 後流側法面の先端部から尾根裏筋への流跡線図 $\psi_F = 40^{\circ}, \psi_R = 60^{\circ}$

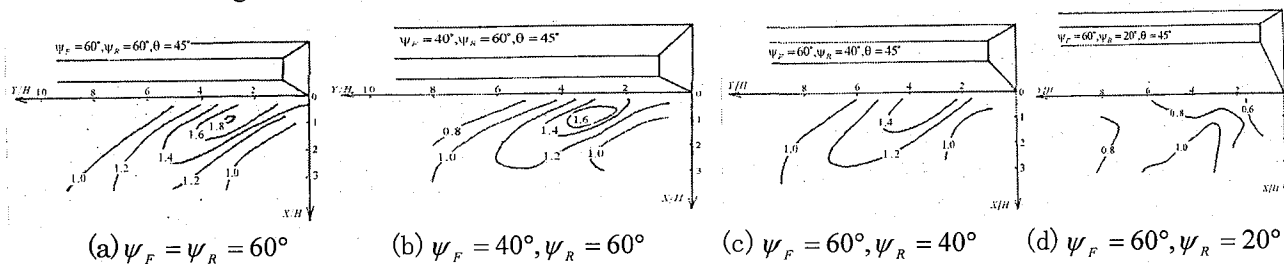


Fig.5 風速比の分布図(実験値)

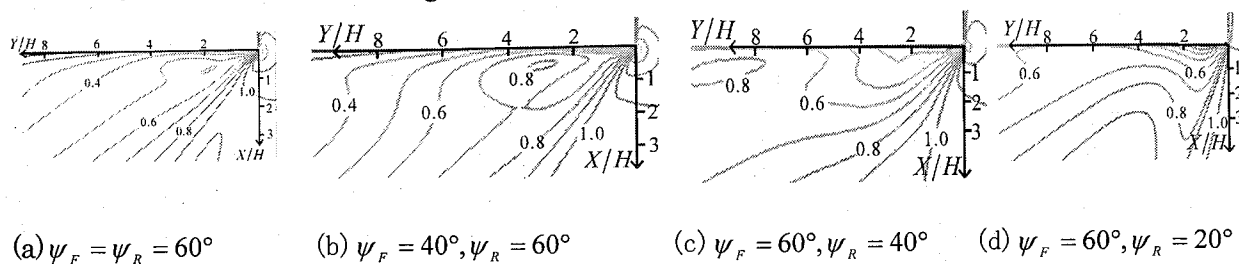


Fig.6 風速比の分布図(解析値)

参考文献

- 1) OpenFOAM : <http://www.open CFD.co.uk/openfoam/index.html>
- 2) 斎藤 祐二 : 局所風況と地形因子に関する実験的研究 第 10 回風工学シンポジウム 1990.