

I-13 $k-\varepsilon$ 法による単純丘状地形周りの流れの解析

徳島大学大学院	学生員	○高尾 昌孝
徳島大学大学院	フェロー	宇都宮英彦
徳島大学大学院	正員	長尾 文明
徳島大学大学院	正員	野田 稔

1. はじめに 日本は、気候的に豊かな四季を持つ反面、季節風の影響を受け易く、地形的にも起伏が激しいことから様々な強風災害を被っている。また、超高層構造物の乱立、大規模な公共事業による地形の変化等はその地域の風環境に大きく影響するため、今後多様化すると考えられる耐風設計において地形と風の関係に一般性を有する評価方法を確立することは不可欠であるといえる。本研究では、地形特性と風況特性の普遍的な関係を持つ解析手段の開発を大きな目的とし、その第一段階として計算手法に標準 $k-\varepsilon$ 法を用いて一般性の持たせやすい二次元単純化地形モデル周りの流れの解析を一樣な乱れを与えた流れ場で行った。本解析では地形特性として法面勾配と天端長さをそれぞれ変化させ、解析結果から形状変化による流況特性の変化について検討し、精度検証として増速率、平均圧力係数に着目して過去に行われた風洞実験の結果¹⁻²⁾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。モデル形状と解析領域を Fig.1 に、使用した単純化地形付近のメッシュ分割の一例 ($\beta=25^\circ$, $L/H=1$) を Fig.2 に示す。モデル形状としては、法面勾配 β が 40° , 25° , 15° に対し、天端長さ/モデル高さ ($=L/H$) を 0, 1, 2, と変化させて計 9 ケースの地形を対象とする。主流方向 (x)、鉛直方向 (y) に $36H \times 20H$ の空間領域を有し、閉塞率を 5% とした。主流方向のメッシュの最小幅は $0.03H$ とし、主流鉛直方向の最小幅は $0.06H$ とする等比級数メッシュを用いた。Fig.1 に示すように流入境界面に流入風速 $U_m = 10.0 \text{ m/s}$ 、乱れエネルギー $k_m = 0.375 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ 、散逸量 $\varepsilon_m = 7.547 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ とし地上面、上空面は nonslip、流出面では圧力 $P_{out} = 0.0 \text{ Pa}$ と境界条件を設定した。また、レイノルズ数は地形高さ H と流入風速 U_m により $\text{Re}=2500$ 、時間間隔 $\Delta t = 2.5 \times 10^{-4} H/U$ とし、最大 3000 ステップまで行った。精度検証では、増速率については $\beta=40^\circ$, $L/H=2$ の地形について本解析結果と接近気流のべき指数 $\alpha=1/5$ 、無次元境界層厚さ $\delta/H=6.18$ での風洞実験結果と比較し、平均圧力係数については $L/H=0, 2.0$ の各々の勾配についてべき指数 $\alpha=1/8$ 、無次元境界層厚さ $\delta/H=7$ での実験結果と比較する。

3. 解析結果と精度検証 (1) **形状変化による流況の変化** Fig.3 に $\beta=40^\circ$, 15° の時の $L/H=0, 2.0$ の地形の流線図を例としてそれぞれ示す。Fig.3 から $\beta=40^\circ$ では後流域に渦が形成されていることが分かるが、 $\beta=15^\circ$ では斜面に沿って流れる傾向が見られる。また、 $L/H=2.0$ では上流側の天端部分での剥離渦や再付着の様子を確認することはできなかった。しかし、従来より標準 $k-\varepsilon$ 法では上流側の天端付近において逆流は発生しないこと³⁾が指摘されており、本研究でも同様の結果となったと考えられる。

(2) **増速率について** 丘状の地形では上流側の角部での気流が鉛直方向の縮流効果によって局所的に増速することはよく知られており、Fig.4 に天端先端部上空における増速率の解析値、実験値それぞれの分布を示す。ここに増速率 S は、その地点での主流方向成分と主流鉛直方向成分を合成した速度と流入風速との差を接近風速で除したものである。Fig.4 より地面に近づくに伴って分布の差が大きくなっている。これは、形状変化以外に接近流特性による増速効果の影響が大きいことを示している。

(3) **平均表面圧力について** 上流側の天端端部の x 座標を 0 とし、地形周りの平均表面圧力 C_p の分布を Fig.5 に示す。これらより、解析値において上流側の角部で最も低くなった後の圧力回復が過大に評

価されるという結果となっていることが分かるが，上流部と $L/H=2$ 模型における $x/H=2.0$ 以降での分布はほとんど同じような傾向を示しており，上流側の天端角部の問題を解決できれば精度は大きく向上すると考えられる。

4. まとめと今後の課題 今回の解析で形状変化による流況の変化をみることができたが，上流側の天端角部での剥離の様子が見られず，平均圧力係数の分布においても，剥離直後において実験値との差が大きく現れた。よってこの部分の問題を解決することで精度の向上が計れると考えられる。また，増速率の分布から，接近気流による増速効果への影響が大きいことから境界層流れ場での解析を行うことが今後の課題として挙げられる。

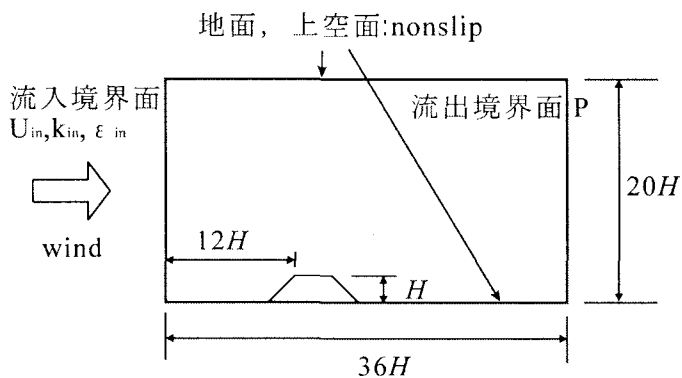


Fig.1 解析領域と境界条件

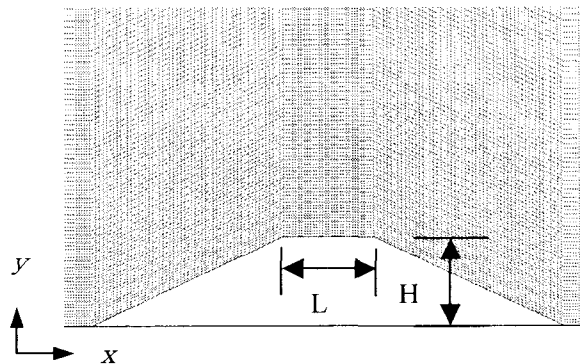


Fig.2 地形模型周辺の計算メッシュ ($\beta=25^\circ$ $L/H=1$)

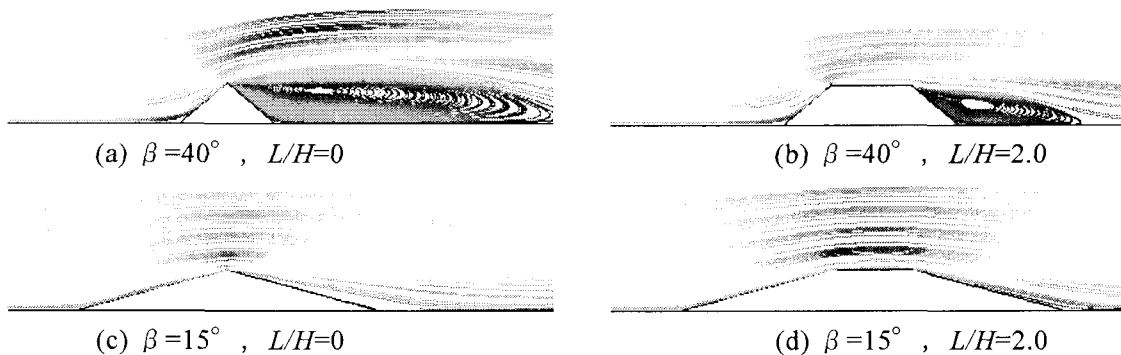


Fig.3 形状変化による流線図の変化

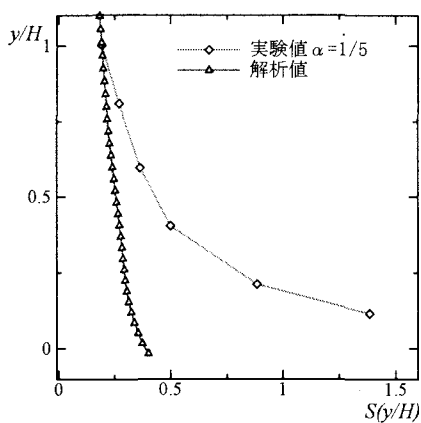


Fig.4 増速率の分布の比較 $\beta=40^\circ$, $L/H=2$

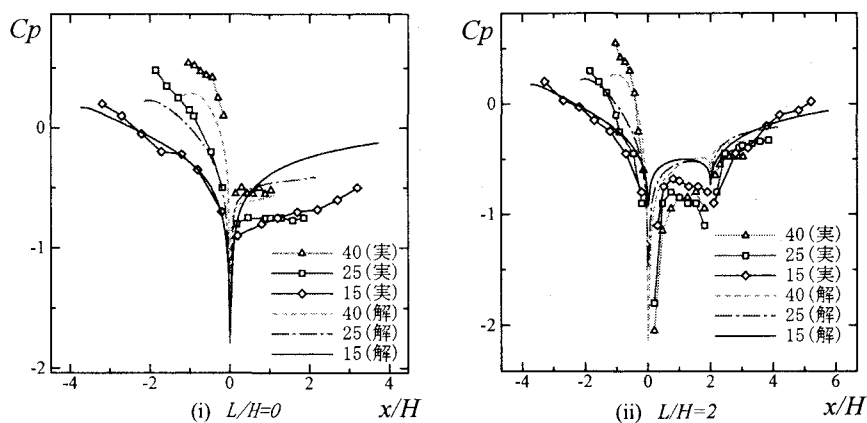


Fig.5 法面勾配変化時の平均圧力係数の比較

参考文献

- 1) 田川 諭：二次元丘状地形における増速効果に関する研究，徳島大学卒業論文，2001.2
- 2) 井上 陽：表面圧力による二次元丘状地形周辺の風況の推定，徳島大学卒業論文，2002.2
- 3) 富永禎秀・持田 灯・村上周三 大岡龍三・佐脇哲史 著
各種改良 $k-\epsilon$ モデルによる高層建築物周辺気流の CFD 解析