

複雑地形における風況予測 その2 数値計算

○東京大学大学院工学系研究科 学生員 山口 敦
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 石原 孟
 東京大学大学院工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1. はじめに

日本における風力エネルギーを有効に利用するために、剥離を含む複雑地形における高精度の風況予測が不可欠である。しかし、現在 WAsP¹⁾ のような広く使われている風況予測モデルは線形モデルに基づくものであり、わが国のような急峻な地形における複雑風況を精度よく予測することが困難である。そこで本研究で新しく開発した非線形風況予測モデルを用いて複雑地形における流れ場を解析し、風洞実験結果と比較することにより、予測モデルの有効性を検証すると共に、風速の増減における地形効果を明らかにする。

2. 数値モデルと計算領域

図1には本解析に用いた地形の等高線図を示す。図中のB、C、F点は解析対象地点であり、流れの測定を行った地点に対応している。解析は3次元非線形風況予測プログラム MASCOT²⁾を用いて行った。風上側の境界条件は風洞実験から得られた平均風速と乱れの鉛直分布を与え、地表面粗度は $z_0 = 0.01\text{mm}$ と設定した。なお、本研究ではすべての解析結果を実スケールで示す。

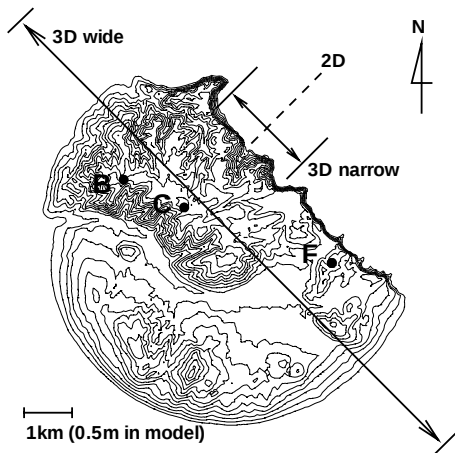


図1 地形の等高線図と計算領域

計算領域の大きさが解析結果に与える影響を明らかにするために、流れ方向の地形のみを考慮した2次元計

算、風直角方向に2kmまでの地形を考慮した狭い3次元計算と地形模型全体を考慮した広い3次元計算の3つのケースについて解析を行った。C点周りの流れ場を解析する時に使用した計算領域は図1に示す。

3. 解析結果

3.1 2次元と3次元計算の比較

図2にはC点での平均風速の解析結果を示す。図中の点線、鎖線、実線はそれぞれ2次元計算、狭い3次元計算と広い3次元計算の結果を表す。実験に比べ、2次元と狭い3次元計算は高さ200mまでの平均風速を1割以上過大に評価していることが分かる。それに対して広い3次元解析から得られた計算結果は実験値と一致する。これは地形を回り込む流れが2次元と狭い3次元計算で再現されていないことによるものであり、実地形における風況予測を行う際には解析領域を十分に大きく取る必要があることが分かる。なお、以下の解析では広い3次元計算のみを行う。

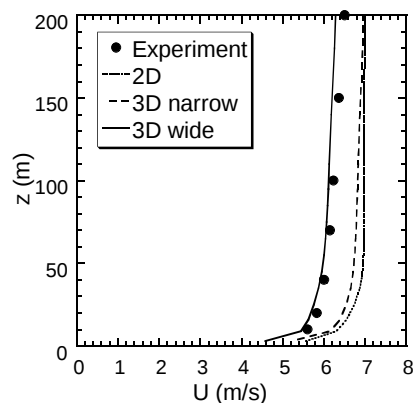


図2 C点での平均風速の鉛直分布（北東風）

3.2 複雑地形上の流れ場の再現

非線形風況予測モデルの有効性を検証するため、流れ方向の風速データが得られたB点とF点について詳細な解析を行う。

図3にはB点付近における地上10mの平均風速ベク

キーワード: 風況予測, 複雑地形, 数値解析, 非線形モデル

連絡先 : 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6099 FAX 03-5841-7454

トル図を示す．図中には地形の等高線図を併記し，等高線の間隔は 10m である．また点 SB6 は B 点に対応している．B 点は北西-南東向きの尾根上に位置し，その南には南南西向きの谷がある．そのため風が南西から吹いてくる時に，B 点での地表面付近の風速分布は谷に沿って流れる風の影響を強く受けている．実際風洞実験で見られた B 点付近における地表面付近での大きな増速はこの流れによるものと考えられる．図 4 に B 点付近の平均風速の鉛直分布を示す．ここで， U は流れ方向の平均速度成分， $\tilde{U}$ は風直角方向の平均風速成分 V を考慮した量である． U 成分だけでは地表面付近の増速が再現されないが，風速成分 V を考慮することにより，この急激な増速を定性的に説明できる．しかし， $\tilde{U}$ の評価式に乱れの影響が入っていないため，数値解析結果と実験との定量的比較が困難であり，今後スプリットファイバープローブを用いた流れの計測が必要となる．

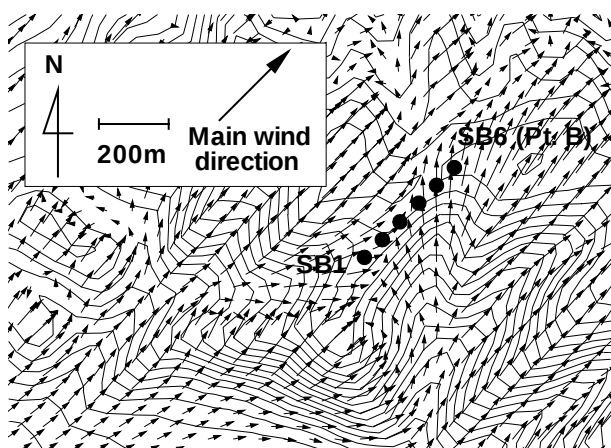


図 3 B 点付近における地上 10m の平均風速ベクトル

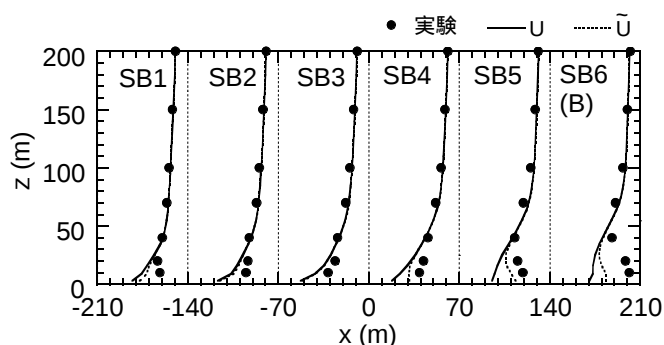


図 4 B 点付近の平均風速の鉛直分布（南西風向）

図 5 には F 点における鉛直断面内の平均風速ベクトル図を示す．F 点の北東には急な崖があり，そこで流れの剥離が生じていることが分かる．図 6 には F 点付近の平均風速の鉛直分布を示す．崖に近い場所では剥離による

減速が大きく，下流に行くに従って減速の範囲が高くなる現象がおおむね再現され，風速の大きさも SF1 から SF3 までは風洞実験と一致する．ただし，SF4 以降の点では 50m 以下の高さでの風速の回復が遅い．

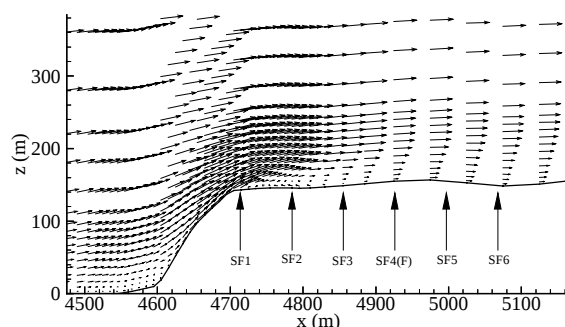


図 5 F 点における鉛直断面内の平均風速ベクトル

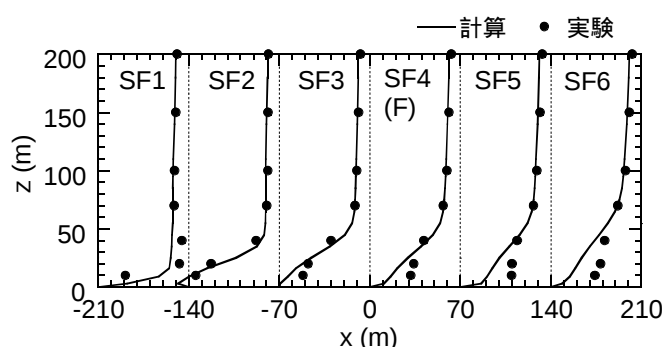


図 6 F 点付近の平均風速の鉛直分布（北東風向）

4. まとめ

本研究では新しく開発した非線形風況予測モデルを用いて複雑地形における流れ場を解析し，風洞実験結果と比較することにより，以下の結論を得た．

- 1) 複雑地形上の流れ場を精度よく評価するには風直角方向に幅の広い 3 次元計算を行う必要がある．
- 2) 3 次元性を有する複雑地形上の流れ場や剥離を伴う急峻な崖付近での流れ場は非線形風況予測プログラム MASCOT により予測することが可能である．

謝辞

本研究は一部（財）日産科学振興財団の助成を受けたものである．ここに記して謝意を表する．

参考文献

- 1) N. G. Mortensen, L. Landberg, I. Troen and E. L. Petersen, Wind Atlas Analysis and Application Program (WasP), Rosi National Labortory, Roskilde, Denmark, 1993.
- 2) 石原孟，日比一喜，急峻な山を越える乱流場の数値予測，日本風工学会誌，第 83 号，pp175-188, 2000．