

複雑地形における局所風況の数値予測 その1 境界処理

○ 東京大学大学院 学生員 山口 敦
東京大学大学院 正会員 石原 孟
東京大学大学院 フェロー 藤野 陽三

1 はじめに

筆者らは数値流体力学に基づき複雑地形上の局所風況を予測する手法(MASCOT)を開発し、風洞実験によってその精度を確かめた¹⁾。しかし、連綿と連なる実地形の一部を取り出して計算するには境界処理が必要である。本研究では実地形上の流れ場を計算する際の境界処理手法を提案し(その1)、MASCOTの実地形上の流れ場の予測精度の検証を、観測データを用いて行う(その2)。

2 実地形のモデル化

本研究では実地形を二重正弦波を持つ3次元の山が連なる地形にモデル化した。図1の一番外側の実線は、この地形の領域を示す。対象とする地形の一部を拡大したものを図2に示す。本研究では図1に斜線の正方形(一辺の長さ6km)で示す領域内の風況を予測するとする。その際に本研究で用いた計算領域を図中に点線で示す。対象領域の上流に付加領域、さらにその周囲に緩衝領域を加えたものが計算領域となる。本研究では対象領域の中心に原点をとり、風方向に x 軸、風直角方向に y 軸をとった。

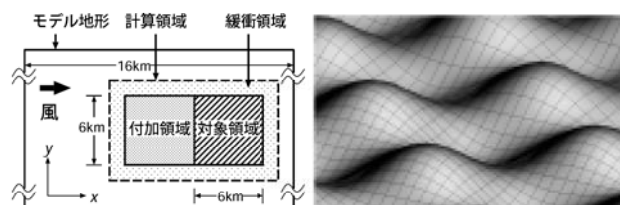


図1 解析の対象とする領域

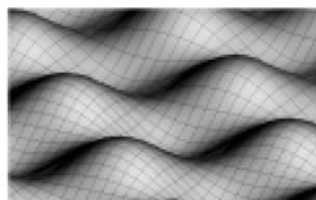


図2 地形の拡大図

3 境界処理手法の提案

3.1 側面境界

串岡ほか²⁾は側面の境界条件として対称面境界条件を用いたが、この境界条件は地球の自転によるコリオリ力を考慮した支配方程式を用いる場合に利用できない。また、Hewer³⁾が用いた周期境界条件は一般の複雑地形上の流れの解析に適用することはできない。

側面境界処理が内部領域に悪影響を与えないように、緩衝領域を設ける方法も広く用いられている。Maurizi et al.⁴⁾は対象領域の端点の標高をそのまま計算領域の端まで延長し、緩衝領域とした。また緩衝領域の外側半分で地形の標高を0とし、内側半分で対象領域の地形と直線的に結

ぶ方法も風洞実験で用いられている。これらの緩衝領域を用いた場合、境界処理によって緩衝領域内の地形の断面積が変化するため、緩衝領域内の流量が境界処理前後で変化するという問題点がある。本研究では処理前後での地形の断面積を一定とする手法を提案する。

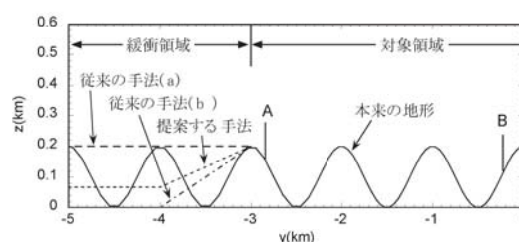


図3 地形の断面図と各種の境界処理

図3に本研究で用いる地形の $x=0$ での $y-z$ 断面図と上で述べた3種類の境界処理手法を示す。実線が実地形を示し、鎖線が対象領域の端点の標高を延長する境界処理による地形を示す。この手法を処理(a)とする。また、一点鎖線が外側で標高を0にする処理による地形を示す。この手法を処理(b)とする。点線で示すのが本研究で提案する境界処理手法による地形である。

提案した手法の有効性を示すために、これら3種類の境界処理手法を用いて、モデル地形上の流れ場を計算した。また真値を得るために境界処理を行わないケースの計算も行った。

緩衝領域内の地形は2次元的なので側面内の流れ場は2次元と仮定し、側面の境界条件とした。この境界条件はコリオリ力を考慮した支配方程式を用いる場合にも使用可能である。

3.2 上流境界

Maurizi et al.⁴⁾は上流境界においても対象領域の端点の標高を延長して緩衝領域とする手法を用いた。この手法では対象領域の境界をとる位置によって流れ場が変化するという欠点がある。また流れ場は上流の地形の影響を受けるため、上流境界に緩衝領域を設けるだけでは対象領域内の流れ場が上流の地形の影響を反映したものにはならない。

本研究では上流境界の緩衝領域について、緩衝領域の外側半分では地形を平面とし、内側半分で対象領域と直線で結ぶ手法を提案するが、地形処理前後で緩衝領域内の地形の体積が一定となるように、平面とする地形の標高を決める。

キーワード: 複雑地形, 局所風況, 数値モデル, 境界処理

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

この処理手法により、対象領域の境界をとる位置が流れ場に与える影響を小さくできる。

さらに、上流の地形の影響を対象領域内の流れに反映させるため、対象領域の上流に地形を改変しない付加領域を設ける。付加領域の適切な大きさを調べるために本研究では、1) 上流に対象領域の大きさと同じ 6km の付加領域を設けたケース、2) 上流に付加領域を設けなかったケース、3) 真値を得るために全領域を考慮したケース、の 3 ケースの計算を行い、結果を比較した。

図 4 は $y=0$ でのモデル地形の x - y 断面図とそれぞれのケースの計算領域である。実線がモデル地形の全領域を示し、一点鎖線が上流に 6km の付加領域を設けたケース、点線が上流に付加領域を設けなかったケースの計算領域を示す。

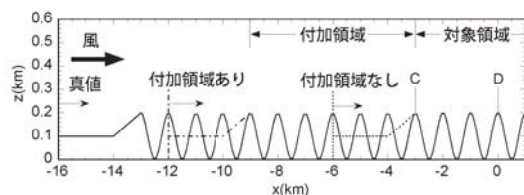


図4 それぞれの計算領域

4 解析結果

本研究で用いた数値モデルは石原ほか⁵⁾に基づく。流入風として粗度区分 III のべき則で与えられる風速の鉛直プロファイルを与えた。

図 5 は、図 3 に示されている側面境界処理手法を用いた場合の、A 地点と B 地点での平均風速の鉛直プロファイルである。横軸は平均風速 u ，縦軸は地表面からの高さ z' を表す。図中の実線は真値、一点鎖線は境界処理手法 (a)，点線は境界処理手法 (b)，鎖線は本研究で提案した境界処理手法によって計算された平均風速の鉛直プロファイルである。

緩衝領域に近い A 地点において、処理手法 (a) を用いた計算結果では風速が真値に比べ大幅に過大評価されており、処理 (b) を用いた計算結果では過小評価されている。これは緩衝領域上の流量を過小評価または過大評価しているためである。それに対し、今回提案した処理手法による計算結果は真値とほぼ同じ値を示す。対象領域の中央に近い点 B においても従来の手法による風速の過大または過小評価が見られる。

図 6 は、図 4 に示されている計算領域を用いた場合の、C 地点と D 地点での平均風速 u の鉛直プロファイルである。実線が真値、一点鎖線が上流に領域を付加しなかったケース、鎖線が上流領域を付加したケースにより計算された平均風速である。

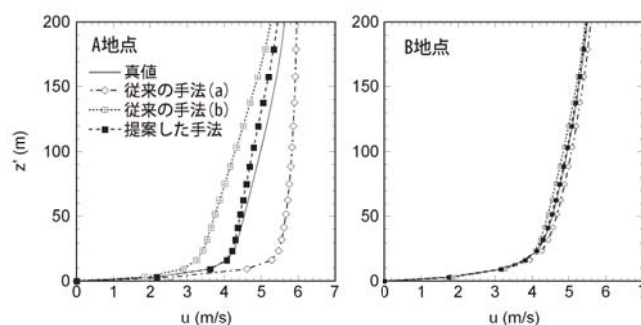


図5 側面境界処理の違いによる平均風速の違い

対象領域の最上流の C 地点において、上流に 6km の付加領域を設けた場合の計算結果は真値とほぼ同じ値を示すが、上流の付加領域を設けなかった計算では平均風速が過大評価されている。対象領域中心の D 地点においても、上流に付加領域を設けなかったケースでは風速の過大評価が見られる。

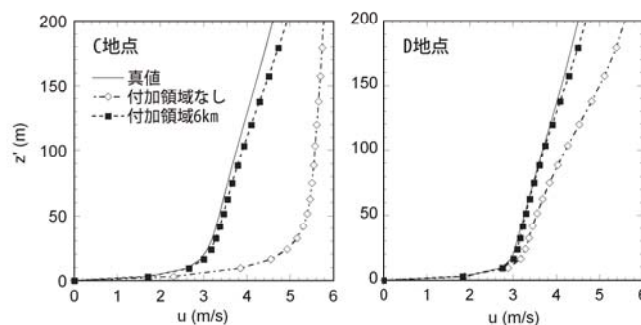


図6 上流の領域の違いによる平均風速の違い

5 まとめ

本研究では、複雑地形上の局所風況を予測するための境界処理手法を提案し、以下の結論を得た。1) 側面境界では地形の断面積を一定とする手法を提案した。その結果従来の手法による風速の過大あるいは過小評価を回避できる。2) 流入境界では対象領域と同じ程度の大きさの付加領域を設ければ上流の地形の効果を考慮に入れることができる。

参考文献

- 1) 山口敦, 石原孟, 藤野陽三. 第 59 回土木学会年次学術講演会概要集 第 I 部門, pp.757-758, 2001, 2) 串岡清則, 斎藤通, 本田明弘, 第 13 回風工学シンポジウム, pp.579-584, 1994, 3) F. E. Hewer. *Boundary-Layer Meteorol.*, vol.87, pp.381-408, 1994, 4) A. Maurizi, J. M. L. M. Palma and F. A. Castro. *J. Wind Eng. and Ind. Aerod.*, vol.74-76, pp.219-228, 1998, 5) 石原孟, 日比一喜. 日本風工学会論文集, vol.83, pp.175-188, 2000,