

地形上流形状の影響評価のための実在地形を対象とした LES

清水建設 正会員 ○酒井 佑樹
清水建設 非会員 野津 剛

1. はじめに

複雑地形上の風は地形の影響により複雑な流れ場が生成されることが想定される．そのため，複雑地形上またはその周辺に構造物の建設が計画される場合には，設計風速の割り増し等に関する検討が重要となる．近年では，風力エネルギーの利用が増加しているが，欧州等と比較して日本国内には風力発電に適した平坦な地形が少ないため，風力発電設備は山岳地域等の複雑な地形上に建設される場合がある．一方で，複雑地形の影響を受けて形成された流れ場により，風力発電設備の損傷事例が報告されている¹⁾²⁾．したがって，複雑地形上または周辺の構造物の安全性を考える上で，地形の影響を考慮した流れ場の把握が重要となる．

複雑地形まわりを対象とした広範囲の流れ場の把握には，非定常解析手法である LES が有用である³⁾⁴⁾．LES では，地形上の局所的な風の乱れまで再現できることが特徴である．しかし，LES による検討の際には，地形上流側の地形形状の再現性の影響や流入変動風の変動成分の有無の影響，地表面粗度効果など，不明な点が多い．

そこで，本研究では，地形上流側の地形形状に着目する．複雑地形を対象とした数値解析では，地形の上流側にテーパーを施す場合があるが，テーパー適用後の地形上流側の形状の違いが，対象とする地点へ到達するまでの流れの性状やプロファイルへもたらす影響について検討する．

2. 解析対象

解析対象は，京都府太鼓山風力発電所の周辺地域である．地形の概要を図 1 に示す．解析領域内の地形の最高地点は標高約 700m である．解析対象の風向は，海側からの風として最大風速の発生頻度が高く，海岸が比較的高い地形となっている北西風とする．よって，図 1 に示されている赤色・黄色・白色の線で囲まれた領域を解析領域とする．赤色の範囲は，テーパーを適用しないリファレンスの解析の対象範囲であり，白線の範囲はテーパーを適用する解析の対象範囲である．

3. 解析手法

本研究では解析手法として LES を用い，オープンソースコードである OpenFOAM (Ver. 4.1.0) による解析

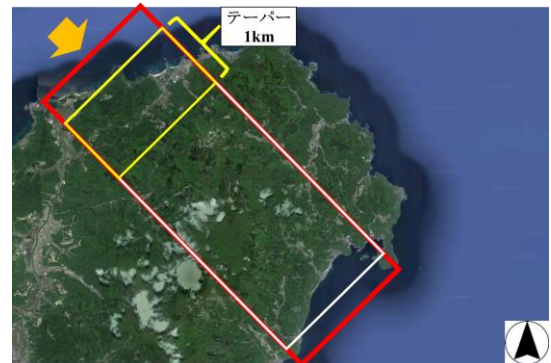


図 1 解析対象

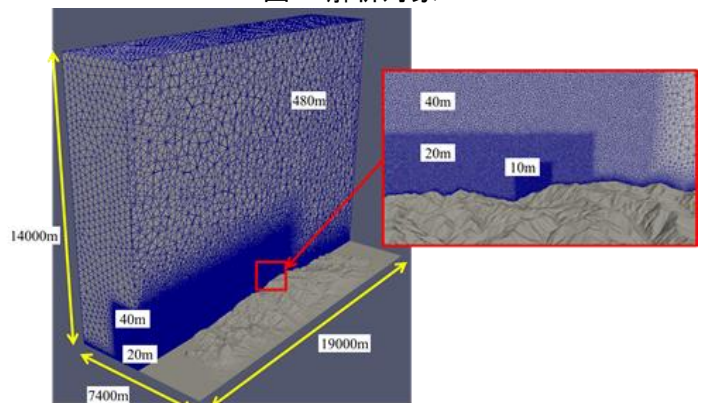


図 2 計算対象

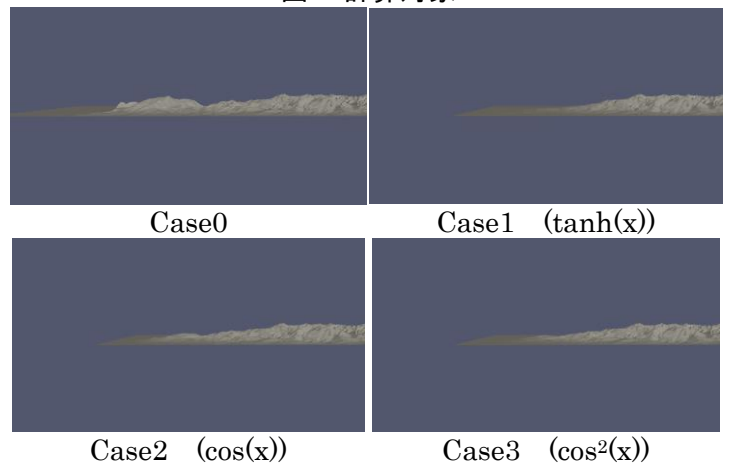


図 3 テーパーの形状

キーワード LES, 複雑地形, 境界層, 耐風設計

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設 tel.03-3820-8672

を実施する．時間に対する離散化は二次精度後退差分とし，空間に対する離散化は二次精度風上差分とする．乱流モデルは標準 Smagorinsky モデル，モデル定数 C_S は 0.1 とする．

4. 格子の概要および解析条件

本解析では，流入面が海上に設定されるように解析領域を大きめに設定したケース(Case0)をリファレンスとして，流入地点から主流方向の約 1km の範囲に 3 種類のテーパーを施した解析をそれぞれ実施し，その影響を検証する．テーパーの種類は， $\tanh(x)$ の関数を適用したテーパー (Case 1)， $\cos(x)$ の関数を適用したテーパー (Case 2)， $\cos^2(x)$ の関数を適用したテーパー (Case 3) である．

図 2 に Case0 の解析領域及び計算格子の概要を示す．Case1～Case3 の解析領域は流下方向の長さのみ異なり，約 16km としている．計算格子は非構造格子を用いて作成しており，地表面に沿っては 4 層の境界層格子を設置した．水平方向，鉛直方向の最小格子解像度はそれぞれ 10m, 2m とする．格子規模は 5500 万～7000 万セル程度である．

解析領域の上面及び側面の境界条件は slip 条件，地表面には壁関数を適用，流出境界条件はノイマン型，流入境界条件には風速 20m/s の一様流を設定する．

5. 解析結果

解析時間はまだ不十分であるが，解析結果を図 4～図 5 に示す．図 4 に Case1 の解析領域のスパン中心における鉛直断面の瞬間風速分布を示す．流入した風は山々により流れが歪められ，変動が大きくなって流下していく様子が確認できる．また，図 5 に風速の鉛直プロファイルを示す．風速は解析領域の上空風で無次元化している．鉛直軸は，地表面からの高さとしている．図 5 の pointB から，テーパー無しの場合(Case0)，上流側の山の影響を受けて速度欠損しており，テーパー有りと比べてプロファイルに違いが見られる．テーパー同士の比較から，海上から陸地へ流入した直後の位置である pointC において，Case1 で増速する傾向が見られる．

6. まとめ

複雑地形を対象として，上流側の地形に対してテーパーを施し，テーパーの違いによる流れ場への影響について確認した．解析時間が不十分であるため，解析時間を延長して結果をまとめる必要がある．本研究では，海上からの流入を想定して解析を実施したが，今後は複雑地形上からの流入を想定してテーパーを施した場合の LES の精度について検討を行いたい．また，流入条件や地表面粗度についても検討を進めたい．

参考文献

- 1) 京都府，京都府太鼓山風力発電所 3 号機ナセル落下事故報告(報告書)，2013
- 2) 株式会社ユーラスエナジージャパン，苫前グリーンヒルウインドパーク 11 号風力発電設備破損事故報告書，2013
- 3) 野津剛，田村哲郎：多点観測データに基づく実地形を対象とした LES の構築，第 22 回風工学シンポジウム論文集，2012
- 4) 酒井佑樹，田村哲郎，喜々津仁密，河合英徳，丸山勇祐：LES で推定された複雑地形上乱流特性に基づく風力発電設備の疲労損傷評価，第 24 回風工学シンポジウム論文集，2016

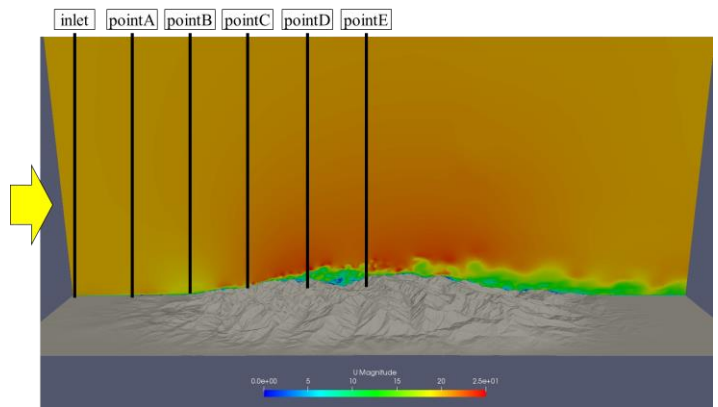


図 4 鉛直断面図の瞬間風速分布

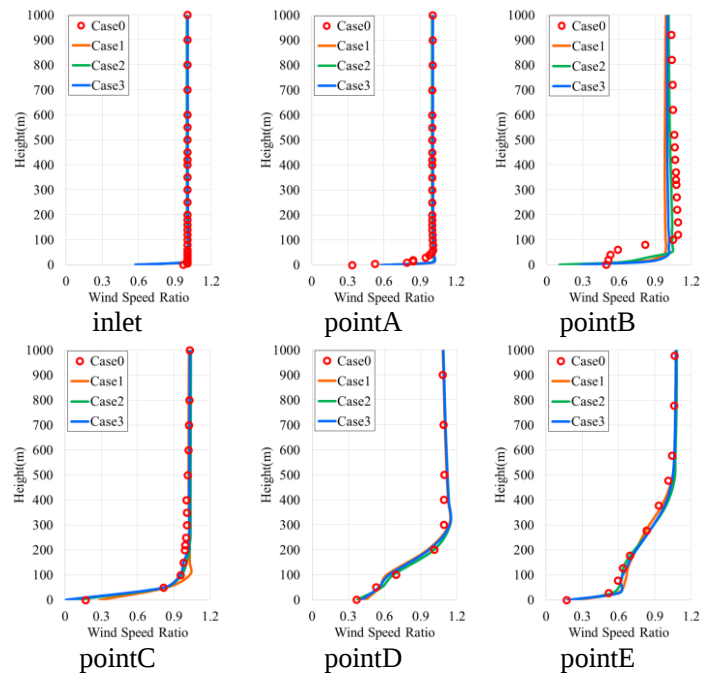


図 5 風速の鉛直プロファイル