

台風シミュレーションと気象解析を利用した 設計風速評価手法の提案*

Assessment of the External Condition of wind farm using meteorological simulation and typhoon simulation

山口 敦**
Atsushi YAMAGUCHI

石原 孟**
Takeshi ISHIHARA

1. 緒言

風車の設計においては、種々の外部環境条件を設定する必要がある。風に関する外部環境条件の中で最も重要なものとして、終局荷重照査のための 50 年再現期間の設計風速、疲労荷重照査のための風速出現頻度分布がある。

IEC61400-1¹⁾において、50 年再現期間の設計風速を決定する手法として、最低 10 年間の長期観測データからガンベル解析を実施することが推奨されている。しかし、この手法では年最大風速の出現頻度が極値 I 型分布(ガンベル分布)に従うことが仮定されているが、後述するように台風が頻繁に襲来する混合気候であるわが国ではそのまま用いることはできない。

また、対象地点において十分な期間の観測値が得られない場合、IEC61400-1 においては MCP 法によって近傍の気象台等のデータから推定することが規定されているが、洋上など、近傍に風速の相関の高い気象官署が存在しない場合には MCP 法を用いることはできない。

本研究では、これらの問題を解決するために、日本のような混合気候に適用可能で、現地観測データを必要としない、数値シミュレーションにより設計風速を求める手法を提案する。日本において風は季節風起因のものと台風起因のものに大きく分けることができ、それぞれの発生メカニズムや予測技術も異なる。本研究では、気象解析により季節風を再現すると同時に台風シミュレーションにより台風を再現し、風力発電設備の設計に必要な風速の出現頻度分布と、50 年再現期間の設計風速を求め、千葉県銚子気象台における観測データを用いて検証することを目的とする。

2. 気象解析

季節風は、総観スケールの気圧配置を駆動力とする一般風が地表面粗度、地形、成層、熱による局所循環

の影響を受けて形成される。本研究では銚子気象台周辺の季節風特性を明らかにするために、力学的局所化手法²⁾に基づき、気象シミュレーションを実施した。図 1 に陸学統計的局所化手法の流れを示す。

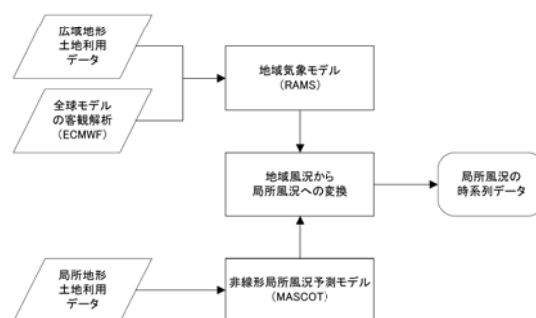


図 1 力学統計的局所化手法の流れ

具体的には、まず 2000 年 1 年間の全球モデルの客観解析値(ECMWF Operational Analysis データ)を初期・境界条件とし、メソスケール気象モデル RAMS³⁾により、2000 年 1 年間にわたる時系列解析を行い、水平 1km の解像度をもつ 1 年分の時系列風速データを作成する。図 2 にはメソスケール気象モデルの解析領域を示す。

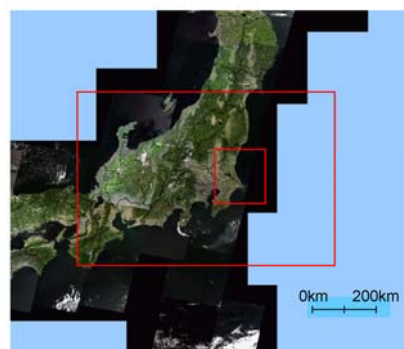


図 2 メソスケール気象モデルの解析領域

メソスケール気象モデルにより求めた風速データには海陸風、山谷風などの局地循環、大気成層による局地風、水平スケール 1km 以上の地形や地表面粗度変化による影響が含まれているが、1km 以下のスケールの詳細地形の影響は含まれていない。このため、水

* 第 31 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員、東京大学大学院工学系研究

〒113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16

平解像度 1km 以下のスケールの微細地形の影響を取り入れるため、非線形局所風況予測モデル MASCOT⁴⁾を用い、地域風況を微細地形の効果を考慮に入れた局所風況に変換した。図 3 には局所風教予測モデル MASCOT の解析領域を示す。

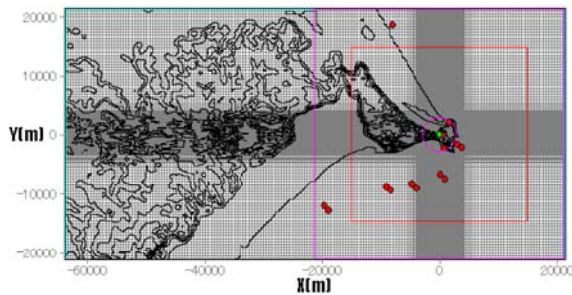


図 3 局所風況予測モデルの解析領域

このようにして求めた局所風況は観測データとよく一致する。図 5 には銚子気象台における日平均風速の解析結果を観測値と比較したものであるが、両者はよく一致していることがわかる。

3. 台風シミュレーション

台風やハリケーンによる強風を設計風速に取り込む手法として、モンテカルロシミュレーションによる台風シミュレーションが提案されている。台風シミュレーションは、台風を数個の台風パラメータでモデル化し、過去の台風経路・強度等から対象地点における台風パラメータの出現確率をモデル化する。次にモデル化した出現確率に従って、対象地点近傍において長期間(例えば 1 万年)の台風を人為的に発生させる。最後に発生させたそれぞれの台風に対して、対象地点における風速の時系列を推定する。この結果、対象地点における長期間の台風時の風速の時系列を得ることができる。

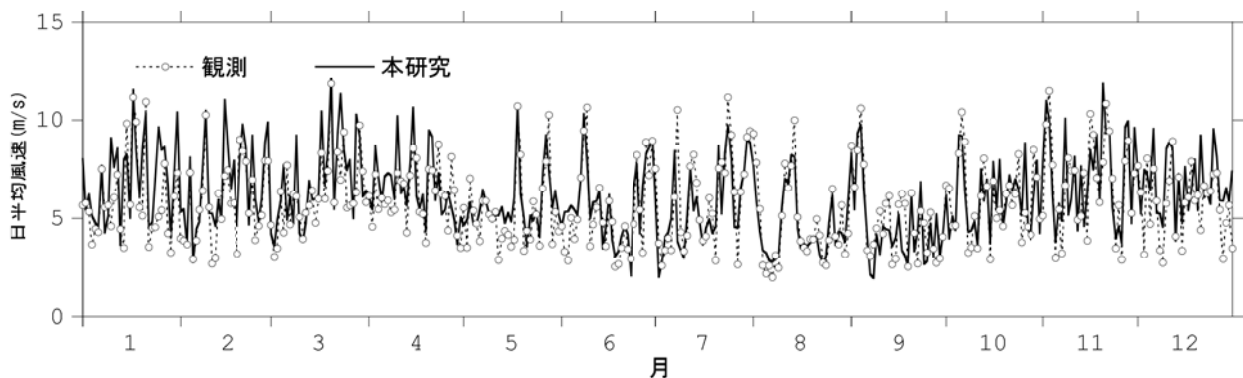


図 5 銚子気象台における 2000 年の日平均風速

本研究では銚子気象台を対象として、石原らにより提案された改良台風シミュレーション手法⁵⁾(図 4)を用いて 1 万年分の台風シミュレーションを実施した。この手法は、台風パラメータ間の相関を考慮すると同時に、各パラメータの出現確率モデルとして正規分布以外のモデルに適用可能なモデルである。

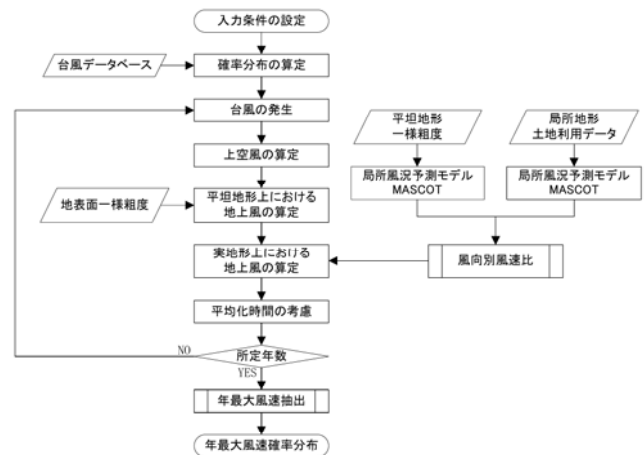


図 4 台風シミュレーションのフロー

3.1 台風パラメータの同定

本研究では台風パラメータを同定するために、銚子気象台の半径 500km を通過し中心気圧が 985hPa 以下となった過去の台風を気象庁ベストトラックデータから抽出する。次に、それぞれの台風に対して、銚子気象台再接近時の中心気圧低下量、最大旋衡風速半径、進行速度、進行方向、最接近距離及び年発生頻度を抽出し、各パラメータを確率分布モデルでモデル化する。この時、中心気圧、最大旋衡風速半径、進行速度は Ishihara et al.⁶⁾によって提案された混合確率分布で、進行方向は正規分布で、再接近距離は 2 次関数で、年間発生個数はポワソン分布でモデル化した。

3.2 モンテカルロシミュレーション

前節で求めた台風パラメータの確率分布と相関を満たすように、ホムら⁵⁾により提案された手法により1万年分の台風パラメータを発生させた。図6に発生させた台風のうち、銚子气象台から半径200km以内を通過したものを示す。



図6 台風シミュレーションによって発生させた台風

このようにして発生させた台風パラメータからIshihara et al⁶⁾によって提案された手法により、銚子气象台における地上風を推定した。

4. 設計風速の評価

4.1 風速の出現頻度分布

疲労設計のためには、年間の風速の出現頻度分布が重要となる。本研究では、気象シミュレーションから得られた季節風の、台風シミュレーションから台風の風速の出現頻度分布をそれぞれ求めた。図7にはそれぞれの出現頻度分布を示す。

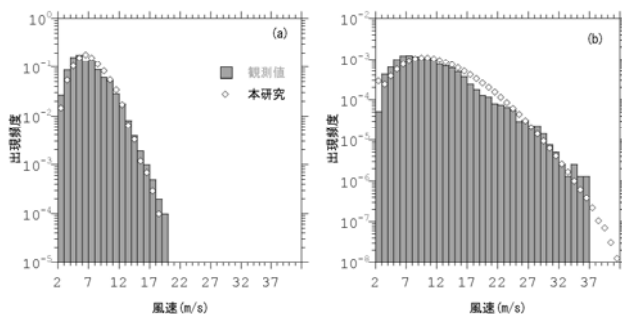


図7 風速の出現頻度分布 (a)季節風, (b)台風

季節風起源の風の場合、最大でも20m/sであるが、台風起源の風の場合、40m/s近い風が見て取れる。それぞれの分布はワイブル分布と仮定することができるが、実際の設計には両者を重みをつけて足し合わせた分布が必要となる。図8にその結果を観測値とともに

示すが、台風と季節風の両方に影響を受けて、単純なワイブル分布としてはモデル化できないことがわかる。また、観測値とシミュレーション結果がよく一致している。

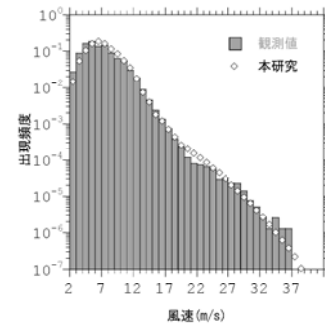


図8 季節風と台風を考慮した風速の出現頻度分布

IEC61400-1¹⁾では、風速の出現頻度分布はワイブル分布でモデル化することが規定されているが、日本のような混合気候では台風による風速の分布と季節風による風速の分布の和となっており、ワイブル分布でモデル化することは適切でないことがわかる。

4.2 50年再現期間の最大風速

再現期間別の最大風速を求めるためには通常、年最大風速の非超過確率の確率分布関数 $F(u)$ を用いる。非超過確率が $1 - 1/N$ となる風速が N 年再現期間の風速となるため、横軸を F 、縦軸を u として $F(u)$ をプロットすると、再現期間別の設計風速を求めるグラフとなる。ただし、年最大風速の非超過確率 F と再現期間 N との関係は、

$$N = \frac{1}{1 - F} \quad (1)$$

である。なお、一般的に横軸には F を直接用いるのではなく、基準化変数 $-\ln(-\ln(F))$ を用いることが多い。このような横軸を用いると、 $F(u)$ がガンベル分布に従う時にグラフ上で直線となる。50年再現期間に対応する基準化変数は

$$-\ln(-\ln(1 - 1/50)) = 3.90 \quad (2)$$

となるため、基準化変数3.9に対応する風速が、50年再現期間の最大風速となる。以下では、わかりやすくするために、横軸に基準化変数に加えて再現期間を合わせて表示し、「再現期間別の最大風速」と呼ぶこととする。

季節風による再現期間別の設計風速を求めるために、本研究ではGomes and Vickerlyによる手法⁷⁾を用いた。この手法は、季節風の出現頻度がワイブル分布をしていると仮定した時に、ガンベル分布のパラメ

ータを求める手法である。本研究では第2章で示した手法によりメソスケールモデルと局所風況予測モデルにより求めた季節風による年出現頻度分布のワイブルパラメータを用いて、ガンベル分布のパラメータを推定した。図9にはこの手法により求めた季節風による再現期間別の最大風速と、銚子气象台における季節風による過去50年の観測データを合わせて書く。推定した季節風による再現期間別の最大風速は観測値とよく一致していることがわかる。

台風による再現期間別の設計風速は台風シミュレーションの結果から年最大風速を抽出し、昇順に並べ変えることにより推定した。図9にこの手法により求めた再現期間別の最大風速と、銚子气象台における観測値を比較したものを示す。台風による50年再現期間の最大風速は季節風のものよりも大きく、台風シミュレーション結果と観測値が一致していることがわかる。

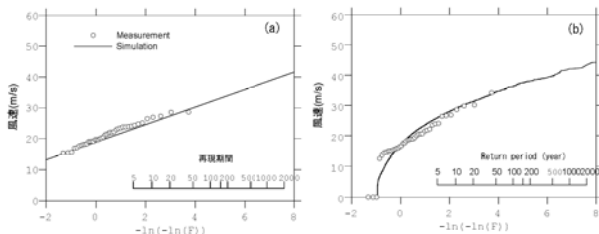


図9 再現期間別の最大風速 (a)季節風, (b)台風

設計風速の算定の際には、季節風と台風をともに考慮した再現期間別の最大風速を求める必要がある。季節風と台風の両方を考慮した年最大風速の非超過確率の確率分布関数 $F^{\text{total}}(u)$ は、台風による年最大風速の非超過確率 $F^{\text{typhoon}}(u)$ と季節風による年最大風速の非超過確率 $F^{\text{seasonal}}(u)$ により次式により求めることができる。

$$F^{\text{total}}(u) = 1 - [1 - F^{\text{seasonal}}(u)][1 - F^{\text{typhoon}}(u)] \quad (3)$$

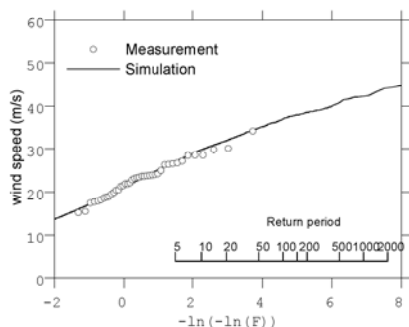


図10 季節風と台風を考慮した再現期間別の最大風速

図10にこのようにして求めた台風と季節風による再現期間別最大風速を銚子气象台における年最大風速の観測値と比較したものを示す。提案した手法により高精度に再現期間別最大風速が求められていることがわかる。また、図9と比較すると、再現期間が5年より長い場合には、年最大風速は台風によって支配されていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、気象シミュレーションと台風シミュレーションを用いて観測値が得られない場所における設計風速を設定する手法を提案し、銚子气象台における観測データを用いて検証した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 年間の風速出現頻度は季節風と台風の両方に支配される。気象解析と台風シミュレーションにより季節風と台風を考慮して推定した風速出現頻度分布は観測値とよく一致する。
- 2) 銚子においては、50年再現期間の最大風速は台風によって支配される。気象解析と台風シミュレーションにより季節風と台風を考慮して推定した再現期間別最大風速は観測値とよく一致する。

参考文献

- 1) IEC61400-1 Edition 3.0, Wind turbines – Part 1: Design requirements, 2005.
- 2) 山口敦, 石原孟, 藤野陽三: 力学統計的局所化による新しい風況予測手法の提案と実測による検証, 土木学会論文集A, Vol.62, No.1, pp.110-125, 2006.
- 3) Pielke, R. A. Cotton, W.R., Walko, R. LO., Tremback, C. J., Lyons, W. A., Grasso, L. D., Nicholls, M. E., Moran, M. D., Welsey, D. A., Lee, T. J., and Copeland, J. H.(1992) A Comprehensive Meteorological Modeling System – RAMS, Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69-91.
- 4) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三: 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証, 土木学会論文集, No.731/I-63, pp.195-211, 2003.
- 5) 石原孟, ホタイホーム, チョンチーリョン, 藤野陽三: 台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の提案, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp.5-10, 2004.
- 6) Tekeshi Ishihara, Khoo Kai Siang, Cheong Chee Leong and Yozo Fujino, Wind Field Model and Mixed Probability Distribution Function for Typhoon Simulation, The 6th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Seoul, 2005.
- 7) L. Gomes and B. J. Vickery, On the prediction of extreme wind speeds from the parent distribution, J. Indust. Aerodyn., 2, 21-36, 1977.