

風車発電時最大風荷重の50年再現期待値を求めるための統計的外挿係数の評価式の提案

東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 学生会員 ○石井 秀和
 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 正会員 石原 孟

1. はじめに

風力発電設備は国際基準IEC61400-1に定められている標準風車クラスの風条件に基づいて設計されている。しかし、実際風力発電設備が設置される地点の風条件は標準風車クラスの風条件と異なることが多いため、風車を設置する前に現地の風条件に基づき発電時の最大風荷重を求め、風車の健全性を評価することが求められている。国際基準IEC61400-1に示されるように時刻歴応答解析結果から発電時最大風荷重の50年再現期待値を求めることが可能であるが、多数の時刻歴応答解析を行わなければならない問題点があり、風車発電時の最大風荷重の平均値¹⁾から50年再現期待値を求めるための統計的外挿係数の評価式の提案が望まれる。

そこで、本研究では、標準風車モデルを用いて、風速別、乱流強度別に時刻歴応答解析を実施し、年平均風速と乱流強度を変化させた場合の最大風荷重の50年再現期待値を算出すると共に、最大風荷重の平均値から50年再現期待値を算出するための統計的外挿係数の評価式を提案する。

2. 時刻歴応答解析の概要

本研究では土木学会構造工学委員会・風力発電設備支持物の動的解析と構造設計小委員会が作成した標準風車モデルを用いた¹⁾。この風車モデルは3枚翼を有するアップウィンド式風車を対象に、現在陸上に最も多く建設されている風車を模擬して作成されたものである。風車の制御は可変ピッチ、可変速の制御方式を採用し、定格風速は約12m/s、定格出力は2MWである。

本研究では、作成した標準風車モデルに対し、平均風速は5m/sから25m/sまで2m/s刻みで11ケース、乱流強度 I_{ref} はそれぞれに対し0.10、0.16、0.22の3ケースを想定し、各ケースにおいて10分間の時刻歴応答解析を35回ずつ行い、その結果に基づき最大風荷重の50年再現期待値を推定した。また時刻歴応答解析にはGH-Bladed²⁾を用いた。

3. 発電時最大風荷重の50年再現期待値の推定

期間 T における発電時最大風荷重が s を超える確率 $F_{ext}(s; T)$ は、式(1)により表せる³⁾。

$$F_{ext}(s; T) = \int_{V_{in}}^{V_{out}} F_{ext}(s|V; T) f(V) dV \quad (1)$$

ここで、 $F_{ext}(s|V; T)$ は平均風速が V の時に期間 T における発電時最大風荷重が s を超える確率であり、 $f(V)$ は平均風速 V の出現頻度分布である。また V_{in} と V_{out} はそれぞれカットイン風速とカットアウト風速を表す。

まず、各平均風速と乱流強度に対して実施した35回の時刻歴応答解析の時系列データから求めた最大値を用いて超過確率 $F_{ext}(s|V; T)$ を推定した。その際に極端に大きな値の影響を除くため、上位から10%のデータを除いた32個のデータを使用した。32個のデータを昇順に並べ、 $s_1, s_2, \dots, s_{32}$ とすると、平均風速 V_k の時の超過確率 $F_{ext}(s|V; T)$ は式(2)を用いて推定できる。

$$F_{ext}(s_i|V_k; T) = 1 - \frac{i}{n+1} \quad (2)$$

図1には $V_k = 9\text{m/s}$ および 15m/s の時に推定された最大風荷重 ($I_{ref} = 0.16$) を示す。図中の実線は3パラメータワイブル分布により近似した最大風荷重の超過確率分布を示し、3つのパラメータはモーメント法により推定した。

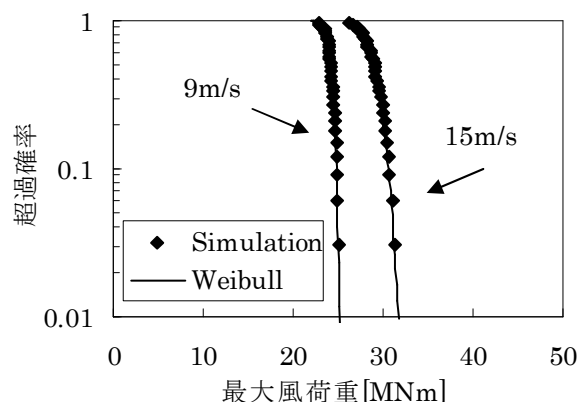


図1 風速別最大風荷重の超過確率分布

次に、風速の出現頻度分布 $f(V)$ がレイリー分布に

キーワード 発電時最大風荷重、50年再現期待値、統計的外挿係数

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 橋梁研究室 03-5841-1146

従うと仮定し、超過確率 $F_{\text{ext}}(s_r; T)$ を式(1)に基づき推定した。図2には年平均風速が10m/sの場合の超過確率分布を示す。図中の点線は再現期間 T_r における発電時最大風荷重が s_r を越える確率を表し、 s_r の値は次式により求める。

$$F_{\text{ext}}(s_r; T) = \frac{T}{T_r} \quad (3)$$

本研究では、 T を10分としたため、再現期間が50年に対応する超過確率は $T/T_r = 3.8 \times 10^{-7}$ となる。すなわち、超過確率が 3.8×10^{-7} となる最大風荷重が50年再現期間の最大風荷重 s_r に相当することが分かる。図2から分かるように、年平均風速が10m/sのときの発電時最大風荷重の50年再現期待値は3パラメータワイブルを仮定して推定された超過確率を表す実線と超過確率 3.8×10^{-7} を表す点線の交点の値(38376kNm)として求められる。

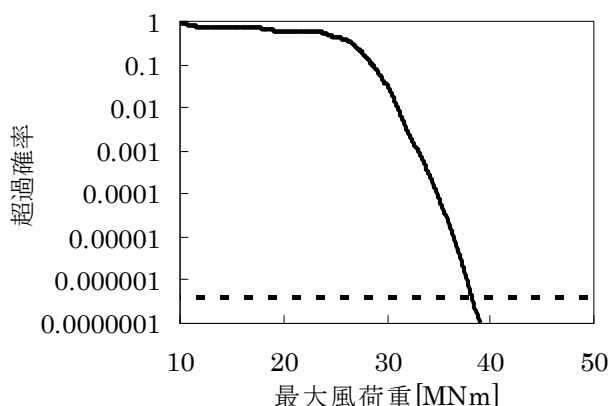


図2 風車発電時の最大風荷重の超過確率分布

4. 統計的外挿係数の評価式の提案

統計的外挿係数は、発電時最大荷重の50年再現期待値 s_r を10分間最大風荷重の期待値 s_{ave} で割った値で定義される。この統計的外挿係数が分かれば、発電時の最大風荷重の50年再現期待値を最大風荷重の平均値から推定することができる。本研究では、最大風荷重の期待値 s_{ave} を各平均風速における最大風荷重の平均値の中の最大値とした。

表1には、年平均風速別と乱流強度別最大風荷重の50年再現期待値を示す。年平均風速 V_a は6、7、8、9、10m/sの5通り、乱流強度を表すパラメータ I_{ref} は0.10、0.16、0.22の3通りを考えた。図3には50年再現期待値を発電時最大荷重の期待値で割ることにより求められた統計的外挿係数を示す。

本研究では、統計的外挿係数 r_e を年平均風速 V_a と乱流強度 I_{ref} の関数として式(4)により評価した。

$$r_e = I_{\text{ref}} \times (\ln(V_a) + 0.83) + 0.82 \quad (4)$$

図3中の線は式(4)により求めた統計的外挿係数を示す。統計的外挿係数は年平均風速 V_a と乱流強度 I_{ref} の増加とともに増加することがわかる。

表1 発電時最大風荷重の50年再現期待値

V_a I_{ref}	6m/s	7m/s	8m/s	9m/s	10m/s
0.10	27865	28012	28133	28231	28250
0.16	36560	37298	37833	38246	38376
0.22	45911	47272	48274	49055	49304

単位 (kNm)

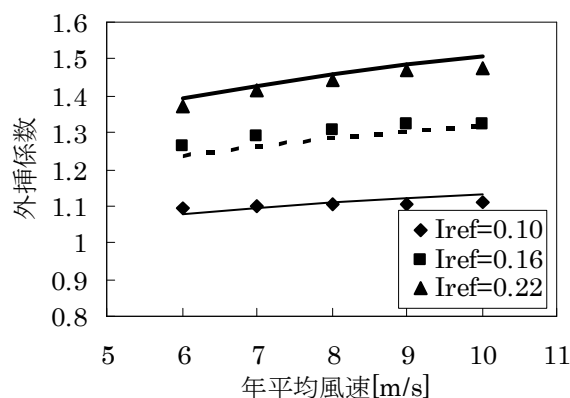


図3 年平均風速別統計的外挿係数

5. まとめ

本研究では時刻歴応答解析により得られた風荷重の時系列データに基づき、最大風荷重の平均値から50年再現期待値を求めるための統計的外挿係数を算出した。その結果、統計的外挿係数は年平均風速および乱流強度の増加と共に増大することが分かった。また時刻歴応答解析から求めた統計的外挿係数に基づいて、最大風荷重の平均値から50年再現期待値を求めるための統計的外挿係数の評価式を提案した。

参考文献

- 1) 石原孟、石井秀和：発電時に風車タワーに作用する風荷重の簡易評価式の提案その1、その2：日本風工学会誌、Vol.34、No.2 211-214、2009
- 2) Garrad Hassen and Partners Limited：GH Bladed Theory Manual、2007
- 3) P.J.Moriarty. et al：Extrapolation of Extreme and Fatigue Loads Using Probabilistic Methods：NREL-NWTC Golden CO、2004