

風力発電における風のモデル化及び風荷重

三菱重工業 正会員 ○本田 明弘, 正会員 平井 滋登
 三菱重工業 上田 悦紀, 柴田 昌明, 刈込 界

1. 目的

長大橋をはじめとする大型構造物の耐風設計は、国際的にも日本の秀逸な技術が実を結んでいる。一方で風力発電においては、欧州において国を挙げての技術開発が進み、国内では高さ 100 m、欧州では高さ 180 m を超す大型の風力発電機も出現している。しかしながら、欧州が主導して策定された国際規格においては、台風による強風や起伏に富んだ地形¹⁾による乱流に関しては、十分配慮されておらず、風車の故障による利用率の低下に繋がる場合もある。

本稿では、風力発電において、上記の厳しい条件に適した風の取り扱いに関して、構造物の耐風設計との比較するものである。



2. 風車の国際規格における風の統計量

現在の商用風力発電機の風速に応じた出力特性の例を図1に示す。風速 3m/s 程度から発電を開始し（カットイン）、風速 12m/s 付近から一定の出力（定格出力）を保ち、風速 25m/s 程度で発電を終了（カットアウト）する。よって、ロータが回転して風力発電機として機能するのはカットアウト風速以下であり、特に機器の疲労設計を考える上で、低風速での風のモデル化も重要である。

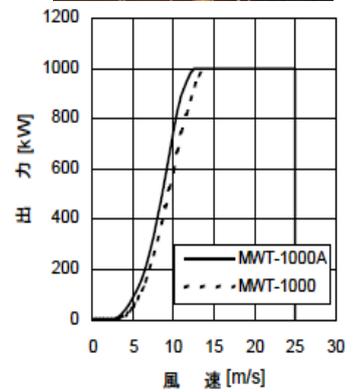


図1 風車とパワーカーブ例

表1には、大型風車の規格として一般的に用いられる IEC61400-1 の改訂案として現在審議中の Ed. 3²⁾における風の規格を示す。ここにクラス I～IIIは、50 年再現期間のハブ高さでの平均風速 V_{ref} による等級であり、耐風設計における設計風速に対応する。風力発電機の耐用年数としては 20 年程度である事を考えると、50 年再現期待値の非超過確率は 0.67 となり、構造物のそれと同程度である。表1中の V_{ref} を用いて式1～2より年間平均風速 (V_{AVE}) 及び極値風速 (V_{e50}) が与えられるが、(式1)

は台風常襲地域での適用性に難があり、(式2)の 1.4 は乱流強度に依存するべき値である。

$$V_{AVE} = 0.2 \cdot V_{ref} \quad (式1)$$

$$V_{e50} = 1.4 \cdot V_{ref} \cdot (z/z_{hub})^{0.11} \quad (式2)$$

クラス A, B, C は、乱流強度による等級であり、主流方向の風速変動の標準偏差を、90%信頼値として式3に与えられる。

$$\sigma_1 = I_{ref} (0.75 \cdot V_{hub} + b) \quad ; b = 5.6 m/s \quad (式3)$$

各クラスの乱流強度を風速との関数で示したものが図2であり、低風速における大きな乱流強度が考慮されている。ここでクラス I の風速頻度分布において、動圧の標準偏差を式4で求め、クラス A～C において変動動圧の確率密度関数を求めたものを図3に示すが、風速の頻度が比較的大きい領域において、累積疲労に対する影響は大きい事が判る。

表1 IEC61400-1(Ed.3)における風車規格

Wind Turbine Class	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37.5	Values
A	I_{ref} (-)	0,16		Specified by the Designer
B	I_{ref} (-)	0,14		
C	I_{ref} (-)	0,12		

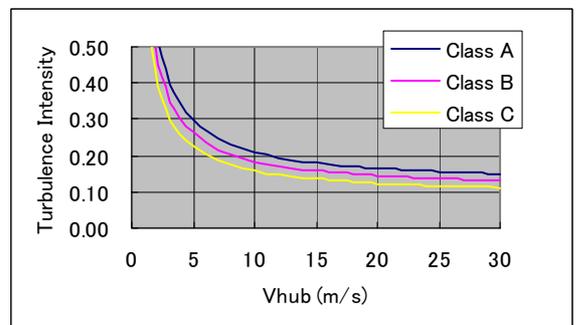


図2 IEC61400-1(Ed.3)における乱流強度

$$\sigma_q = \rho \cdot V_{hub} \cdot \sigma_1 \quad (式4)$$

キーワード 風力発電, 風のモデル, 風荷重, 規格

連絡先 〒851-0392 長崎市深堀町 5-717-1 三菱重工業 (株) 長崎研究所 流体研究室 TEL095-834-2820

また、時間平均の風の傾斜角に関しては、 8° の傾斜角までを考慮する事としており、回転中のブレードに作用する揚力の変動を生じて、ブレードの疲労強度に対して影響を及ぼす。

3. 風車の国際規格における風の時系列変化

風力発電機出力制御を図1に示す様に行う際に、急激な風向及び風速の変化を想定する必要がある、ピッチ角・ヨー角・回転角の制御が追従しない場合には大きな出力変動や故障を招く場合がある。

図4にはその一例として、IEC61400²⁾における風向と風速が変化するモデルで、風速25m/sから10秒程度の時間での変化を示す。

これらの変化量は平均風速に依存し、他に風向及び風速が各々独立に急変する時系列のモデルも示されている。特に台風のような急激な変化を伴う気象現象においては、これらの適用性にも留意が必要である。

4. 風車の耐風設計

風力発電機に作用する‘50年再現期待値での暴風に対する風荷重’は、耐風設計で一般的に用いられる下式で等価静的な風荷重を求める事ができる。

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C \cdot A \cdot G_f \quad (\text{式5})$$

ここで、 C は空気力係数、 A は代表面積、 G_f はガスト影響係数を示す。

空気力係数 C に関しては、ピッチ制御の風車においては抵抗が最小限になるようにピッチ角を固定し、発電機とは切り離れた遊転状態を考慮し、ブレードの揚力による風直角方向の空気力も含めて定める。また、風力発電機ナセルのヨー角は風向に応じて制御されるものの、停電などによる制御停止を考えたときに、ロータ面に対して $\pm 180^\circ$ の風向範囲を想定して定める必要がある。

ガスト影響係数 G_f に関して(式2)を用いれば、 $G_f = 1.4^2 = 1.96$ となるが、本来乱れ強さに依存する値である。

また既出のIEC61400-1(Ed.3)においては、式5の風荷重に対して安全率1.35を乗じる。これは、風速に換算すれば1.16を乗じる事に相当する為、クラスIでは $50 \times 1.4 \times 1.16 = 81 \text{m/s}$ の風速が限界値となる。

なお、最近の大型風車では、ヨー制御のブレーキを開放すれば‘風見鶏’の原理でロータ面が風下側に自転するために、考慮すべき風向範囲を限定して考える工夫をしているものもある⁴⁾。

5. まとめ

欧州を中心として商用化された大型の風力発電機に関する国際規格においては、構造物の耐風設計における風モデルに比して、多岐にわたるモデル化が行われている。しかしながら、台風常襲地域で、起伏に富んだ地形を有する日本においてそのまま適用する事は、注意が必要である。今後、日本での風力発電の普及を促進するには、日本に適した規格を策定してゆく必要がある。

参考文献

- 1) A. Honda et. al., ‘Aerodynamic design of cable-stayed bridge surrounded by undulated topography’, Proceeding of the 10th ICWE, 913-918, 1999
- 2) IEC61400-1, ed3 (CDV), Wind Turbines Part 1: Design Requirements, 2004.
- 3) 平井他, ‘大型風車による台風時の暴風の観測例について’, 土木学会第60回年講発表予定
- 4) 柴田・林, ‘設計荷重低減のための新コンセプト’, 第25回風力エネルギー利用シンポジウム, 2003.

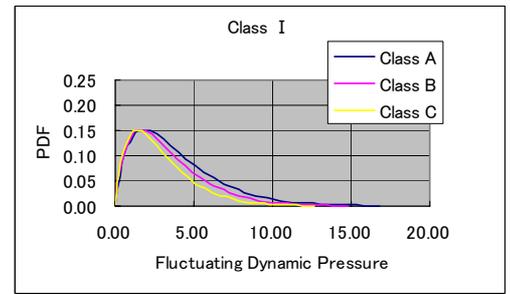


図3 変動動圧の確率密度関数

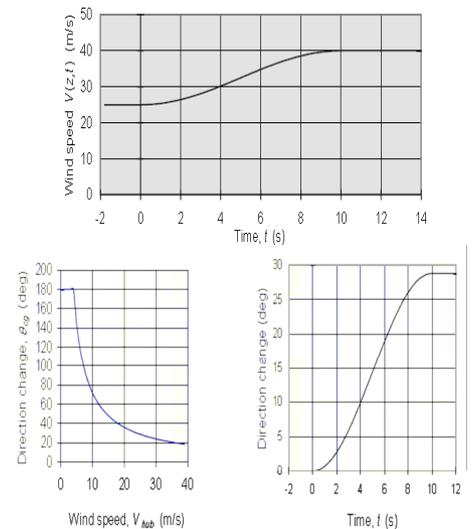


図4 モデル化された風向・風速変化例

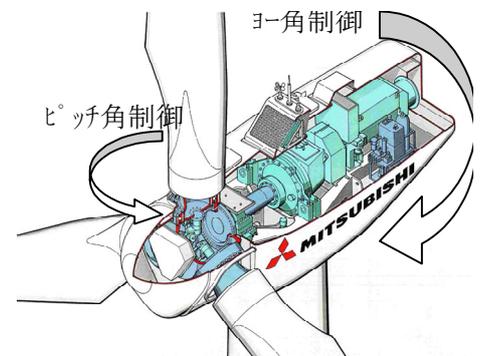


図5 風力発電機の内部構造例