

## 風の乱れおよび浮体の動揺が風車の疲労強度に及ぼす影響に関する研究

## その2 風の乱れによる影響の評価

○	東京電力	正会員	助川 博之
	東京大学	正会員	石原 孟
	東京電力	正会員	高橋 孝介
	東京大学	フェロー	藤野 陽三

## 1. はじめに

浮体式洋上風力発電の研究を行う上では、風の乱れや浮体の動揺により風車にどの程度影響が出るかについて評価することが必要となる。本研究その2では、風の乱れの差が風車各部の疲労荷重にどのように影響を与えるかについて検討を行った。

## 2. 疲労等価荷重の概要

ロータの回転運動を考慮した風車モデルによる疲労荷重に関する既存の研究としては、ヘンダーソン<sup>1)</sup>によるものが挙げられるが、その研究の中では風の乱れは考慮されていない。本研究その2では、その1で作成した風車回転モデルを使用して、風の乱れが風車疲労強度に与える影響度合いを、乱れを考慮しない場合と比較して評価を行った。また、風の乱れ度合いの差によってどの程度差が出るかの評価も行った。

評価には、疲労等価荷重を用いるが、この方法は疲労寿命を求めることは出来ないが、外部条件が異なる場合などの相対的な比較を行うことができる。

以下に疲労等価荷重の算出および比較手順を示す。

①外力である風車への流入風を作成し、②風車各箇所にも生じる荷重の時系列変化を求める。③この時系列変化をレインフロー法を用いて、荷重振幅と繰り返し回数について整理すると共に、疲労等価荷重を求める際に必要となる材料の疲労特性であるS-N曲線の傾きを求め、疲労等価荷重を計算する。

## 3. 疲労解析

疲労を検討する際、外力として与える風速は、IEC<sup>2)</sup>では、発電、パーキング、起動、通常停止、停電時の5ケース各々の条件で規定された風速で検討する事となっている。本来、詳細な疲労検討を行う際は、このようにすべてのケースを考慮すべきであるが、荷重ケースの疲労損傷度寄与割合をタワー基部において検討した際、発電時の割合が98.39%となり、大半を占める結果となった。そのため本研究では、発電時のみの風速で検討することとした。

①発電時の風速は平均風速4m/s～24m/sで、風速幅2m/sずつで区切った計11ケースとした。各々の風速階級が発生する割合は、IECクラスIIで規定された平均風速8.5m/sのレイリー分布を仮定して算出した。レイリー分布の計算式を式(1)に、本研究で使用した風速発生割合を図1に示す。

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{\bar{v}^2} \exp \left\{ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ここで、 $v$ は風速、 $\bar{v}$ は平均風速である。

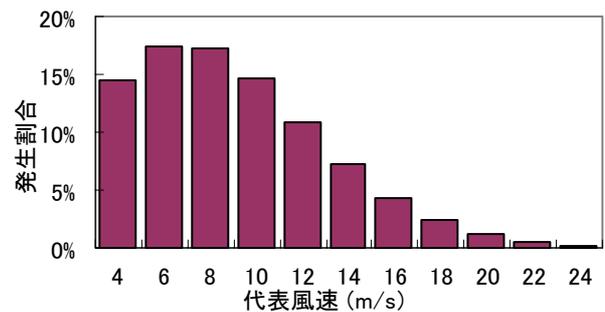


図1 風速発生割合

風の乱れ強度は、図2に示すように、陸上を想定したIECのクラスA、洋上を想定したクラスC、および、乱れゼロの3ケースを用いた。乱れ強度の式を式(2)に示す。

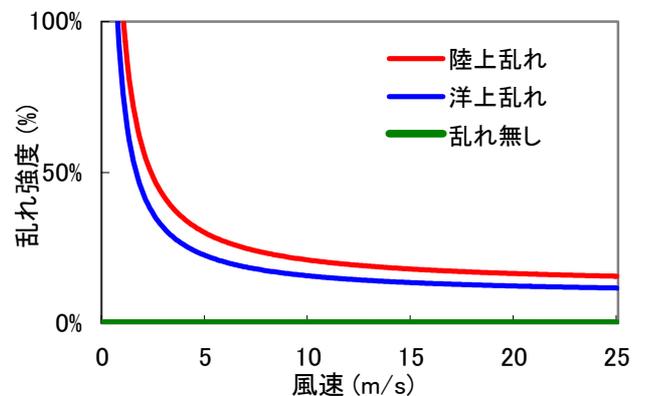


図2 風の乱れ強度

$$I = \frac{I_{ref} (0.75V_{hub} + 5.6)}{V_{hub}} \quad (2)$$

ここで、 $I$ は乱れ強度、 $I_{ref}$ は代表乱れ強度（陸上0.16、

洋上 0.12, 乱れ無し 0),  $V_{hub}$  は風車ハブ高さの風速である. これより外力の検討ケースは, 風速 11 ケース, 風の乱れ 3 ケースの計 33 ケースとなった.

②この外力を入力データとして, 風車タワー基部および風車翼根元の 2 箇所について風車の動解析を行い, モーメントの時系列変化を求めた. 一例として図 3 に陸上および洋上の平均風速 12m/s の時の風速を, 図 4 にその風速におけるタワー基部の転倒モーメントの時系列変化を示す. 各ケース検討時間は 10 分間とした.

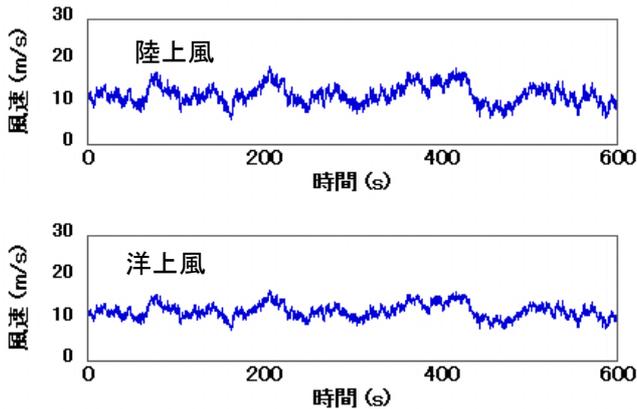


図 3 風速の時系列変化 (平均風速 12m/s)

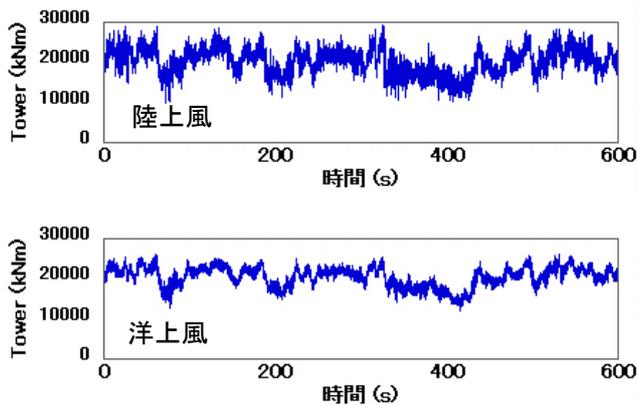


図 4 タワー基部転倒モーメントの時系列変化

③上記の荷重時系列変化データを, レインフロー法<sup>3)</sup>を用いて荷重振幅  $F_i$  と繰り返し回数  $n_i$  について整理して等価荷重を求めた. そして, この等価荷重を図 1 に示す風速発生割合を重みとして合成することにより, 疲労等価荷重(DEFL)を求めた. 式(3)に DEFL の計算式を示す.

$$DEFL = \sqrt[m]{\frac{\sum_i F_i^m n_i}{N}} \quad (3)$$

ここで,  $F_i$  は荷重振幅,  $n_i$  は  $F_i$  の繰返し回数,  $m$  は材料 S-N 曲線の傾き,  $N$  は風車供用期間のロータ回転数を表す.

なお, 疲労等価荷重を求める箇所の材料は, 風車翼

は GFRP, タワーは鋼材である. S-N 曲線は DNV<sup>4)</sup>で定められた式より求めた. 本研究では, タワー基部の  $m$  値は 4 (鋼材), 風車翼根元の  $m$  値は 10 (GFRP) とした.

#### 4. 解析結果

図 5 にタワー基部および風車翼根元における疲労等価荷重を洋上風の乱れで無次元化した結果を示す. どちらの箇所においても風の乱れによる影響が大きいことが分かる. また洋上風の乱れによる疲労等価荷重は, 陸上に比べ, タワー基部において 40%程度, 翼根元において 20%程度小さくなっており, 洋上風力発電の有用性が確認できた. また, 乱れを考慮しない場合には, 大幅に過小評価している結果となった. この傾向は特にタワー基部において顕著であり, また翼根元では乱れを考慮しない場合でも回転により疲労荷重が大きくなることが判明した.

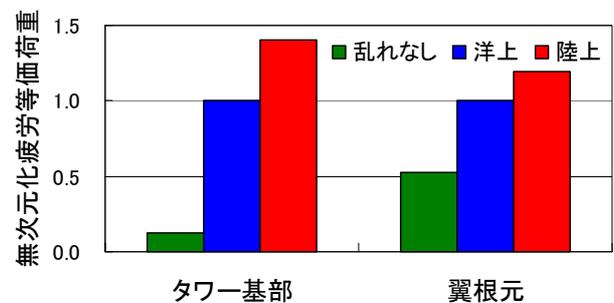


図 5 無次元化疲労等価荷重

#### 5. まとめ

風の乱れによる風車の疲労への影響について疲労等価荷重により検討した結果, 疲労を評価する際には流入風が持つ乱れ強度は重要な要素であることが分かった.

陸上を想定した IEC のクラス A, 洋上を想定したクラス C の乱れの風によるタワー基部, 風車翼根元の疲労等価荷重を比較した結果, 陸上に比べ洋上の風による乱れの影響は小さい結果となり, 洋上の有用性を確認できた.

#### 参考文献

- 1) A. R. Henderson: Analysis Tool for Large Floating Offshore Wind Farms
- 2) 61400-1 IEC2005, P35 Table2 - Design Load Cases
- 3) 成瀬英治, 関田欣治: 洋上風力発電施設における疲労解析例, 海洋開発論文集, 第 22 巻, 2006 年 7 月
- 4) DET NORSKE VERITAS AS: DNV 2004, Offshore Standard DNV-OS-J101