

## 風力発電機ナセルの耐風設計に関する風洞実験 その1 風力実験

### Wind Tunnel Experiment on Nacelle of Wind Turbine, Part I Wind Force Measurement Test

○嶋田 健司<sup>1)</sup> 野田 博<sup>2)</sup> 石原 孟<sup>3)</sup>  
Kenji SHIMADA<sup>1)</sup> Hiroshi NODA<sup>2)</sup> Takeshi ISHIHARA<sup>3)</sup>

#### 1. はじめに

近年、地球温暖化対策として再生可能エネルギーのひとつである風力エネルギーが注目されている。我が国でもここ数年では急激な導入がなされており、2003年時点での導入実績は736基になる。一方ここ数年、台風時の強風によるナセルカバーの損傷が目立つようになってきた。本報および続報では風車ナセルの耐風設計のために行った風力および風圧に関する風洞実験について報告する。本報では風力実験結果について述べる。

#### 2. 現行の基・規準での規定

風力発電の導入が進んでいる欧米の諸外国においては風力発電設備の認証制度が普及しており、ドイツのGL(Germanischer Lloyd)によるものが代表的である。GLはその改訂したガイドライン(GL2003)<sup>1)</sup>の中でナセルの風力係数の規定を追加しており、平均抗力係数として1.3を示している。

一方、わが国では認証された風車であっても日本特有の自然条件から風力発電設備に事故が少なくない。風車の設置に際しては設置者が建築基準法<sup>2)</sup>によって安全性の確認を行っている。建築基準法では抗力係数として1.2が用いられている。しかしこれらは地面上に設置された建築物を対象とした風力係数であり、ナセルのようにタワー上に設置された場合にこれらの値が妥当であるかどうかは検討の余地がある。そのような状況より、風車を対象とした耐風設計指針の策定が望まれるところである。

#### 3. 風洞実験の概要

風洞実験は三井住友建設株式会社技術研究所の乱流境界層風洞(幅×高さ×長さ=2.62m×2m×37.6m)において行った。

##### 3.1 既存ナセルの形状

実験を行うに際して、既

存ナセルのタイプをメーカーパンフレットおよびインターネットにより調査した。そして、既存のナセルを、i)矩形型、ii)卵型、iii)円筒型、iv)円盤型の4種類に大きく分類した。このうち、最も数が多いと判断される矩形型と卵型のうちから今回の実験では矩形型を対象とすることとした。またナセルの長さについては調査結果を参考に Fig. 1(a)に示す3種類(L/H=2.0, 2.5, 3.0)を対象とした。

**3.2 実験模型** 実験模型の縮尺は1/50である。実験模型はナセル部分に支持棒がついた形状となっている。ナセル部分に作用する空気力のみを測定する目的から支持棒はタワーと等しい直径を有する外皮により覆われるようにし、支持棒に直接に風が当たらないように配慮した(Fig. 1(b))。実験ではタワー上に設置される場合に加えて、基準法との比較も考慮して地面上に設置されたケースの測定も行った(Fig. 2(a))。タワー上に設置される場合には、乱れの強さを模擬するために、ナセルの高さは実物と同じにはせず、地面の影響が小さくなる風洞床面から0.4m(Fig. 2(b))とした。また実際の風車ではナセルの空気力にはブレードの影響が若干及んでいるが、本測定ではこれを考慮しない。

**3.3 実験気流** 気流は粗度区分:III(べき指数0.2)の境界層乱流を作成した。ナセル高さ(0.4m)での乱れの強さは約13%である(Fig.3)。

**3.4 測定方法**  $\Delta t=10\text{ms} \times \text{データ個数}$  6000個を1サンプルとし、平均風力係数を算出には5サンプルを用いた。風向は5°ピッチとした。

#### 4. 実験結果

**4.1 地面・ハブの影響** Fig. 4には代表面積  $A(\alpha)=LH$  を用いた場合

$$F_D = C_D(\alpha)A(\alpha)\frac{1}{2}\rho V^2 \quad F_L = C_L(\alpha)A(\alpha)\frac{1}{2}\rho V^2 \quad (1)$$

<sup>1)</sup> 清水建設(株)技術研究所・主任研究員・博士(工学)

Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation

<sup>2)</sup> 三井住友建設株式会社 技術研究所・主任研究員・博士(工学)

Senior Research Engineer, Technical Research Institute, Sumitomo Mitsui Construction

<sup>3)</sup> 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構・助教授・工博

Associate Professor, Institute of Engineering Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo

の結果を示す。ここで $\rho$ は空気密度、 $V$ は風速である。Fig. 4からはタワー上ハブ無(case2)の場合、抗力係数は $\alpha=90^\circ$ で最大1.2で、建築基準法の1.2やGL2003の1.3と近い。ハブが付く(case4)と $\alpha=90^\circ$ に対して非対称な分布となり $\alpha=80^\circ$ で最大で1.4となる。またハブの影響は最大で23%程度( $\alpha=75^\circ$ )の増加である。逆に $45^\circ$ 以下ではハブは抗力係数を小さくする方に作用している。またナセルがタワー上にあるとき(case2)、地面上に設置されている場合(case1)に比較して抗力係数は最大で50%程度大きくなるのがわかる。揚力係数に関しては、ハブがあると(case4)風向角 $0\sim 90^\circ$ ハブ無しの場合(case2)に比較してほぼ倍になっておりハブの影響は揚力係数で大きいことがわかる。

4. 2 ナセル長さの影響 一方Fig. 5には代表面積として式(2)で示すハブまで含めた投影面積を用いた。

$$A(\alpha) = \frac{\pi DH}{4} + LH \quad (2)$$

このように空気力係数を定義すると抗力係数、揚力係数ともナセルの長さによるばらつきが小さくなり、それぞれ式(3)でほぼ包絡することができる。

$$\text{抗力係数: } C_D(\alpha) = 0.58 - 0.42 \cos(1.8\alpha) + \frac{\alpha}{900} \quad (3a)$$

$$\text{揚力係数: } C_L(\alpha) = -0.7 \sin(2\alpha) \quad (0^\circ \leq \alpha < 90^\circ) \quad (3b)$$

$$C_L(\alpha) = -0.45 \sin(2\alpha) \quad (90^\circ < \alpha \leq 180^\circ) \quad (3c)$$

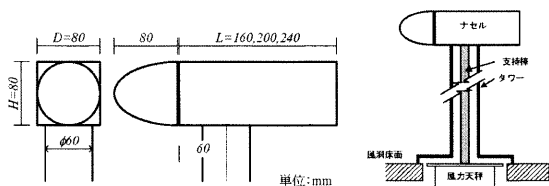
GL2003や基準法の代表面積は見附面積を用いている。代表面積として式(4)のような等価見附面積を定義すると、空気力係数はFig.6ようになる。

$$A(\alpha) = |A_S \cos \alpha| + |A_L \sin \alpha| \quad (4)$$

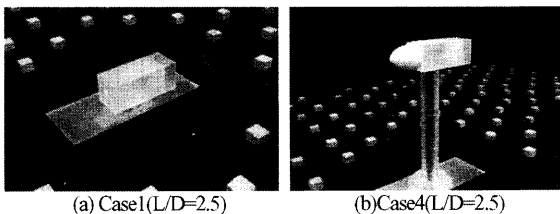
図中には平均抗力係数1.2および1.3を破線で示すが、これらの値は安全側の評価になることがわかる。

## 5. まとめ

ナセルの平均抗力係数および平均揚力係数の迎角変化を表す実験式を新たに示した。また、従来用いられてきた平均抗力係数1.2あるいは1.3は安全側の評価になることが確かめられた。



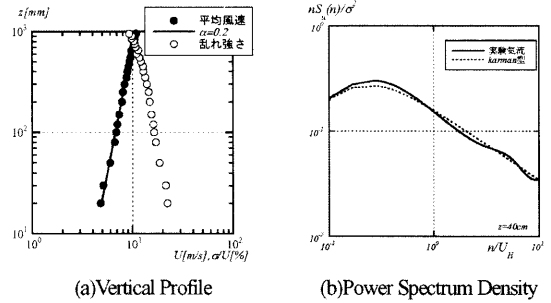
(a) Size of the Experimental Model (b) Setup of the Model  
Figure 1 Experimental Model



(a) Case1 (L/D=2.5) (b) Case4 (L/D=2.5)  
Figure 2 Wind Force Measurement

Table 1 Experimental Case of Wind Force Measurement

Case No.	Nacelle position	Hub	Length Ratio
Case1	On the Ground	w/o	L/D=2.5
Case2		w/	L/D=2.0
Case3	Top of Tower	w/o	L/D=2.5
Case4		w/	L/D=2.5
Case5		w/	L/D=3.0



(a) Vertical Profile (b) Power Spectrum Density  
Figure 3 Experimental Wind

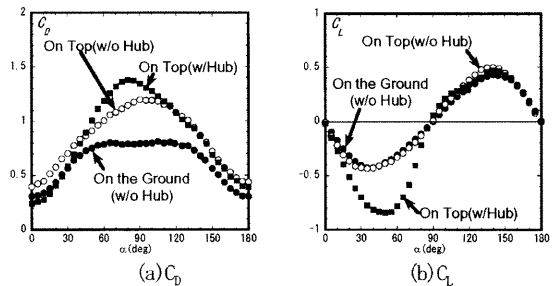


Figure 4 Effects of Hub and Ground on Nacelle Load ( $A(\alpha)=LH$ )

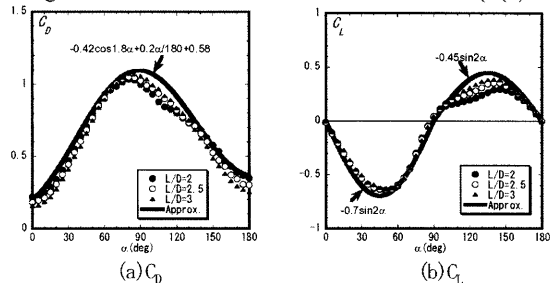


Figure 5 Effects of Hub Length on the Nacelle Load ( $A(\alpha)$  by eq(2))

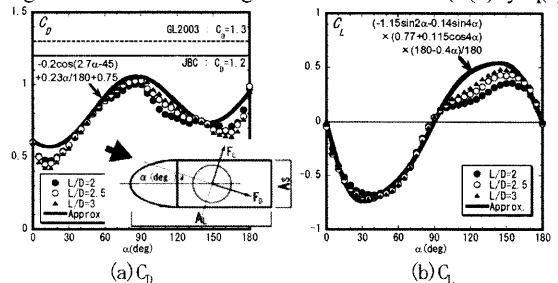


Figure 6 Effects of Hub Length on the Nacelle Load ( $A(\alpha)$  by eq(4))

なお本研究は土木学会構造工学委員会風力発電設備耐風設計小委員会(委員長:石原 孟)の風力・風圧力WG(メンバー:嶋田健司,野田 博,武藤厚俊,野村敏雄,大谷俊博)の活動の一環として行ったものであることを付記する。