

風力発電機ナセルの耐風設計に関する風洞実験 その2 風圧実験

Wind Tunnel Experiment on Nacelle of Wind Turbine, Part II Peak Pressure Measurements

○野田 博¹⁾ 嶋田 健司²⁾ 石原 孟³⁾
Hiroshi NODA¹⁾ Kenji SHIMADA²⁾ Takeshi ISHIHARA³⁾

1. はじめに

本報告ではその1に引き続き風力発電機のナセル部分のピーク風圧に関する風洞実験について報告する。

2. 風圧実験の概要

2.1 実験概要 風圧実験で対象としたナセル形状比は $L/D=2.5$ とした。実験模型の縮尺ならびにタワー高さは風力実験と同じである。実験気流も風力実験と同じで乱れ強さはナセル高さで約13%である。実験風速はナセル高さで約14m/sとした。実験風向角はハブに正対する風向を 0° とし、 $0^\circ \sim 355^\circ$ 、 5° ピッチとした。測定点はFig.1に示す187点とした。

風圧力の測定は時間刻み $\Delta t=2.5\text{ms}$ 、データ個数8192個を1サンプルとし、10サンプル測定した。1サンプルの測定時間は、設計風速を50m/sとした場合実時間で約300秒に相当する。ピーク風圧の評価は以下の手順に従った。

- ・各サンプル時系列にTVL法から求まる平均化時間に相当する移動平均処理を行い、評価時間が実時間スケールで300秒相当のピーク値を抽出する。
- ・2サンプルの内から大きい方を採用し、評価時間600秒のピーク値とする。このようにして求めた5つのピーク値の平均により期待値を求める。
- ・以上の操作を全風向で行い、全実験風向中の最大値をピーク風圧係数とする。

2.2 ピーク風圧係数の評価時間 ピーク風圧係数の評価時間としてTVL法による平均化時間を用いた。TVL法による平均化時間 T_c は式(1)で求められる。

$$T_c = k \cdot l / U_H \quad (1)$$

l : 代表幅, U_H : 平均風速, k : decay constant

ここで、decay constant k は2点間の風圧変動のルートコヒーレンスを式(2)で近似し求めることができる。

$$\sqrt{\text{coh}(n)} = \exp\left(-k \cdot \frac{n \cdot dx}{U_H}\right) \quad (2)$$

dx : 2点間距離

紙面の都合上図には示さないが、本実験での変動風圧の2点間ルートコヒーレンスは、 $k=4$ とすると概ね式(2)で包含される。また側面や上面の隅角部で大きな負圧のピークが生じる場合には k の値は4よりも大きくなっている。従って本報告では $k=4$ として平均化時間を検討した。面の広がりとしてはナセルハッチを想定し1mとした。また、建築物荷重指針³⁾において1m以下では局部風圧の規模効果はないということも考慮した。設計風速を50m/sとすると、約1mの面積に同時に作用することと等価となる1点の風圧時系列の平均化時間は0.08秒となる。平均化時間に対応するための移動平均化個数は、 $T_c/\Delta t$ より2個とした。

3. 実験結果

ピーク風圧係数分布をFig.2に示す。正のピーク風圧係数(Fig.2(a))は上面で0.4~0.6、それ以外の垂直な面では概ね1.6~2.2の値で、各面とも部位による局

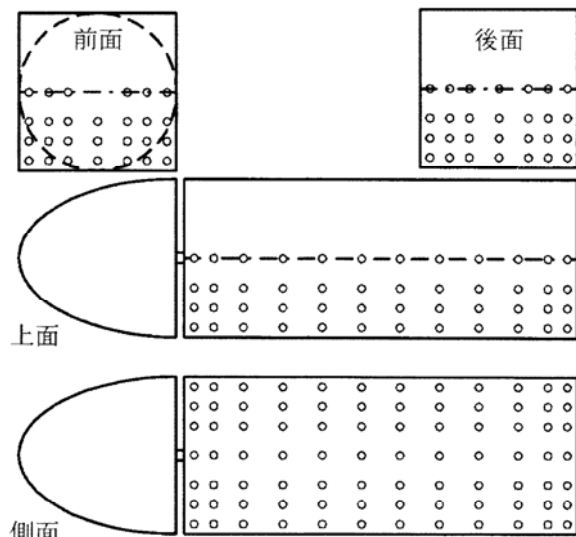


Figure.1 Pressure Measurement Points

¹⁾ 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

²⁾ 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

³⁾ 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

所的な大きな値はみられない。一方、負のピーク風圧係数 (Fig.2(b)) は、前面のハブで覆われている部位は比較的小さい値だが、側面ならびに後面では四隅付近で大きな負圧が生じそれぞれ-3.4~-4.0、-3.0 の値となる。側面の前面寄り隅角部の大きな負圧は風向角 55° で、後面寄り隅角部は風向角 195° とそれぞれ前面ならびに後面に正対する風向から少し風下側となる場合に生じている。上面でも前面寄り隅角部と後面付近で大きな負圧が生じ、特にハブの影響のない後面付近では-5.8 と大きな負圧が生じている。この大きな負圧は風向角 215° 付近で生じており、円錐渦による局所的な負圧と考えられる。

風力発電機ナセルの外装材設計用風荷重は唯一 GL2003¹⁾ に規定されているのみである。GL2003 で規定されている風力係数を Fig.3 に示す。GL2003 では瞬間最大風速で定義された平均風圧係数が定められているが、Fig.3 に示す値は、再現期間 50 年の瞬間最大風速と平均風速の比を GL2003 では 1.4 としていることを利用して、平均風速に基づくピーク風圧係数に換算して示してある。Fig.3 より、GL2003 の換算ピーク風圧係数は正圧で 1.6、負圧で -1.2 となり、本実験で得られたピーク風圧係数に比べかなり小さいことが分かる。

建築基準法・建設省告示 1458 号⁴⁾ならびに建築物荷重指針³⁾における壁面の正圧のピーク風圧係数はそれぞれ 2.3、2.0 (高さ 60m, 地表面粗度区分 III の場合) である。これらの値と本実験結果 (Fig.2(a)) を比較すると概ねよい対応をしていることが分かる。この結果より、前面・側面・背面の正圧のピーク風圧係数は建築物荷重指針の考え方と同様、風の乱れに起因した値が風力発電機ナセル部にも適用できるものと思われる。

建設省告示ならびに建築物荷重指針の負圧のピーク風圧係数を Fig.4 にそれぞれ示す。本実験で得られたナセル部に作用する負圧のピーク風圧係数分布は隅角部で大きな値となる建設省告示あるいは建築物荷重指針の屋根面の分布に比較的類似している。これらを考慮してナセル部における外装材設計用風荷重の負のピーク風圧係数分布を模式的に示すと Fig.5 となる。

4. まとめ

風力発電機ナセルに作用するピーク風圧係数を風洞実験により調査した。正のピーク風圧係数は建設省告示ならびに建築物荷重指針の値とほぼ対応する。負のピーク風圧係数は側面隅角部と上面風下縁でこれより大きな値を示した。

参考文献

- 1) Germanischer Lloyd, Rules and Guidelines IV Industrial Services 1 Guideline for the Certification of Wind Turbines, 2003, Chapter 6 p.6.
- 2) IEC61400-1, Second edition 1999-02, International Electrotechnical Commission
- 3) 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説(2004)
- 4) 建築基準法, 建設省告示 1458 号

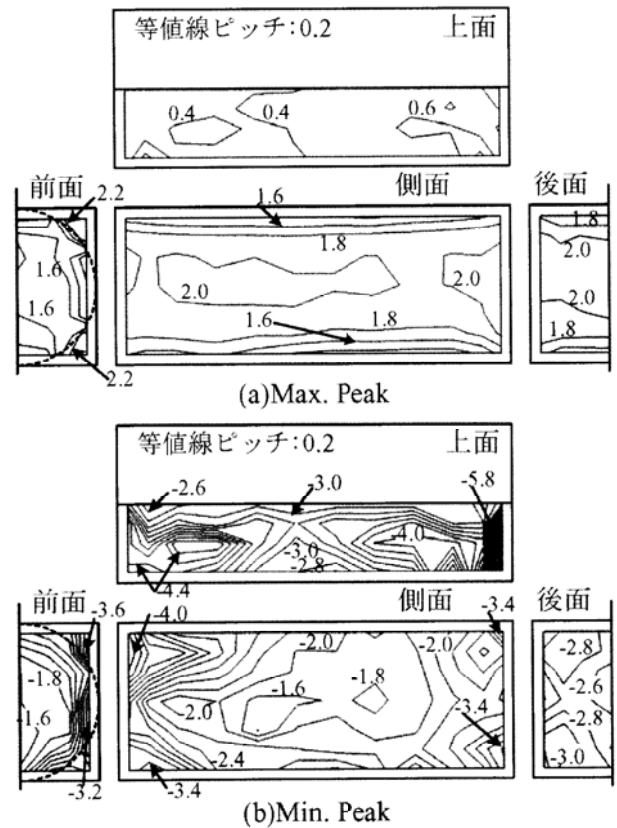


Figure.2 Peak Pressure Coefficient Distributions

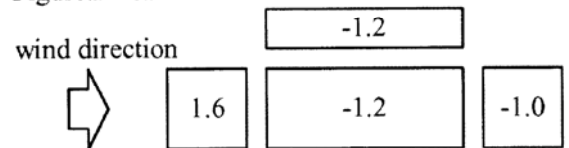


Fig.3 Pressure Coefficients for Nacelles in GL2003

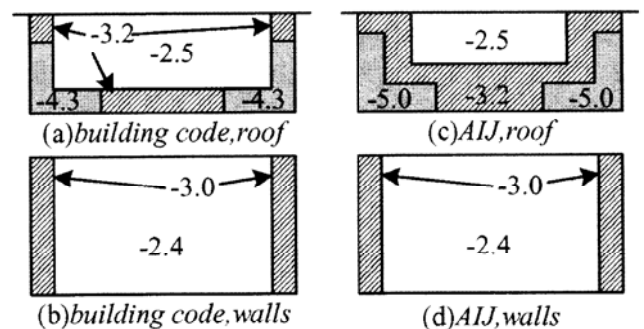


Fig.4 Minimum Peak Pressure Coefficients in Japan building code and AIJ Recommendations

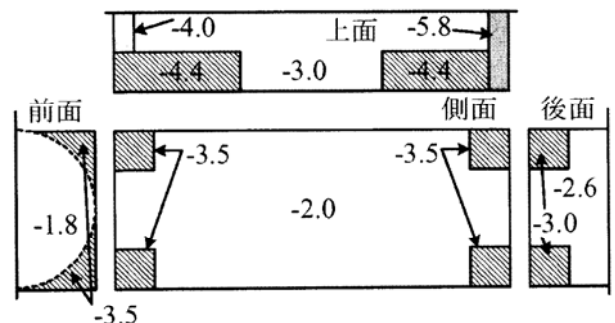


Fig.5 Schematic Distributions of Minimum Peak Pressure Coefficients for Panel Design Loads of Wind Turbine Nacelles