108 超小型実働ひずみ計測装置を用いた風力発電用風車翼の実働ひずみ測定

Strain Measurement of Wind Turbine Blades under Service Loading by Small Portable Strain Histogram Recorder

○ 学 植田直樹 (九大院) 桜井 晃 (九大) 正村上敬宜 (九大)
江口英範 (ソフィアエンジニアリング (株))

Naoki UEDA, Graduate Student, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, Japan

Akira SAKURAI, Kyushu University

Yukitaka MURAKAMI, Kyushu University

Hidegori EGUCHI, SOPHIA Engineering Co., LTD, 2-1, Nakabaru Shinmachi, Tobata-ku, Kitakyushu Fukuoka, 804-0003, Japan

Key Words: Strain Measurement, Small Portable Strain Histogram Recorder, Rainflow Method, Service Loading, Fatigue, Wind Turbine

1. 緒 言

実際の機械の安全性を確保するためには、機械がどのような実働ひずみを受けているのかを知り、疲労寿命を予測することが必要である。しかし、回転体の実働ひずみを測定する場合は、通常スリップリング等を使用するが、ノイズの混入が避けられず、測定が困難である。本研究では、新しく開発したノイズ混入の少ないワイヤレスの超小型実働ひずみ計測装置(WRC)を用いて風力発電用風車翼の実働状態におけるひずみを測定し、その測定データをもとに疲労強度診断を行った。風力発電用風車翼は突風や風向・風速の変化により極めて複雑な応力を受ける。風車翼の実働ひずみを計測し、疲労強度診断を行うことは、風車の安全性や経済性を考えるうえで必要不可欠である。本研究では、まず風洞実験により一定風速下において風車翼のひずみに及ぼす風向・風速の影響を明らかにした。次に、フィールド実験により実働風が風車翼のひずみに及ぼす影響を明らかにし、実働状態における風車翼の安全性を評価した。

2. WRC (超小型実働ひずみ計測装置)

WRC (Wireless Rainflow Corder) は、先に開発された MRC (Mini Rainflow Corder) ¹⁾ を無線式に改良したものである。図

Specification

Host processor	size: 208(W)×147(D)×45(H)mm Weight: 740g
Direct recorder	Diameter 78×Thickness 23mm Weight: 90g Continuous measurement time: 8hours

Fig. 1 The total view of WRC

1に外形を示す。WRCのデータ処理装置を親機(Host processor)、測定機を子機(Direct recorder)と呼ぶ。

ひずみゲージを取付けた子機で、取得した実働ひずみデータは、無線で親機に送信される。親機内部では、そのデータをレインフローアルゴリズム ²⁾ で処理し、ひずみ頻度分布データとして保存する。保存されたデータは、パソコンに転送し、専用ソフトで閲覧することができる。また、オシロスコープを使用して、実働ひずみ波形をアナログ波形として測定することもできる。

3. 風車翼の実働ひずみ測定

3・1 実験装置

図2は、実験に使用した50W級の風力発電用小型風車である。この風車は、翼直径950mm、5枚翼を持つ。翼の材質はナイロン6、風向制御は自由ヨーである。図3に、風車翼の根元付近にひずみゲージ、ハブの中心部にWRC子機を取付けたものを示す。実験に使用した風洞は、1500mm×2500mmの吹出し口を有する吹出し型風洞であり、風速可変範囲は0~20m/sである。

3・2 実験方法

10.0m/s, 12.5m/s, 15.0m/s 3種類の一定風速下において、風車翼のひずみ頻度分布、ひずみ波形をそれぞれ5分間測定した。フィールド実験では、屋外において実働風下のひずみ頻度分布、ひずみ波形を4時間測定した。

Fig2 Wind turbine

Fig3 Setting of Direct recorder and strain gauge

3・3 実験結果及び考察

図4は風洞実験でのひずみ波形である。風車翼が周期的に振動するひずみを受けており、平均ひずみが各風速下で異なる値となっている。振動の周波数は、16~19Hz程度であった。図5に示すように、平均ひずみは風速の増加に伴って大きくなる。風車翼に働く荷重を遠心力による引張と揚力による曲げと仮定して計算を行うと、実験結果と同傾向の結果が得られた。このことにより、風速の変動による平均ひずみの変化を予想することが可能である。

フィールド実験では、最大瞬間風速 13m/s、平均風速 6m/s の実働風下において4時間強にわたって測定した。図6に示すように実験状態のひずみ波形は、非常に複雑に変動していることが分かる。図7に計測したひずみをもとに、親機においてレインフローアルゴリズムで処理したひずみ頻度分布を示す。測定した総繰返し数は $N=2.2 \times 10^5$ であり、ひずみ幅の最大値は $\Delta \varepsilon_{\max}=790[\times 10^{-6}]$ であった。ナイロン6の引張強さは $\sigma_B=51.0[\text{MPa}]$ 、 $N=10^7$ 回で定義した疲労限度 σ_{10} は $\sigma_{10}=11.8[\text{MPa}]$ であり、疲労限度に相当するひずみを ε_w とする。曲げ試験よりヤング率は $E=6.0[\text{GPa}]$ である。フックの法則が成立すると仮定し、測定したひずみ波形より仮に風車翼の平均ひずみを一定値 $\varepsilon_m=100[\times 10^{-6}]$ とし、平均応力を $\sigma_m=\varepsilon_m \times E=0.6[\text{MPa}]$ とする。修正 Goodman 線図を用いると、次のような関係が得られる。

$$\begin{aligned}\varepsilon_w &= \frac{\sigma_w}{E} = \frac{\sigma_w(1-\sigma_m/\sigma_B)}{E} \\ &= \frac{11.8 \times 10^6 (1-0.6 \times 10^6 / 51.0 \times 10^6)}{6.0 \times 10^9} = 1943 \times 10^{-6} \\ \therefore \Delta \varepsilon_w &= 2 \times \varepsilon_w = 3886 \times 10^{-6} \\ \Delta \varepsilon_{\max} &< \Delta \varepsilon_w\end{aligned}$$

Fig.4 Strain wave under constant wind speed

Fig.5 Relationship between mean strain and wind speed

測定されたひずみ幅の最大値は疲労限度に相当するひずみ幅よりもかなり小さい。よって、測定条件下では翼が疲労破壊する可能性はまずない。

しかし、今回の測定においては実働風の風向変動を評価することができなかった。風向変動が風車翼のひずみに大きく影響すると考えられるので、今後風向変動が風車翼のひずみに及ぼす影響を明らかにする必要がある。

4. 結 言

新たに開発した WRC を用いて実働ひずみを計測し、得られた結果を以下に示す。

(1) 風洞において一定風速下で実験した結果、風車翼は周期的に振動するひずみを受けており、その平均ひずみは風速にほぼ比例している。平均ひずみは遠心力と揚力によるものである。

(2) フィールド実験において、実働風下でのひずみ頻度分布を測定し、風車翼の疲労強度診断を行った。その結果、測定条件下では安全であると評価できた。

(3) WRC は、回転体の実働ひずみ測定において有効であり、今後複雑な応力を受ける回転体への応用が可能である。

参考文献

- (1) 村上敬宜, 森田卓弥, 嶺木邦彦, 材料, 46-10, (1997), pp.1217-1221.
- (2) 遠藤達雄, 日本機械学会論文集, 54, 869, A(1988)
- (3) 伊藤公正, プラスチックデータハンドブック, (1980), 工業調査会

Fig.6 Strain wave of the wind turbine blade under the field test

Fig.7 Strain histogram of the wind turbine under the field test