

CFRP による風車ブレード大型化の検討 Possibility of larger wind turbine blades by CFRP

学籍番号 100921 宮村 明孝

指導教員 高橋 淳

(平成 24 年 2 月 8 日提出)

Keywords: CFRP, 風車ブレード, 大型化, 比強度, 比剛性

1. 序論

風力発電は発電時の二酸化炭素排出が無いことに加え、風は枯渇することのない再生可能エネルギーであるという点において、地球温暖化問題や化石燃料枯渇問題に対する有効な解決手段の一つであり、今後さらなる導入が見込まれている。

一方で、風力発電に適した風況の地域は限られており、また、浮体を用いた洋上風車においては 1 基当たりのコストが大きくなるため、1 基の風車における発電量の増加が望まれるが、そのための方策の一つがブレードの大型化である。本研究では比剛性、比強度に優れた CFRP を用いることでもたらされる、風車ブレード大型化の可能性について検討する。

2. 風車ブレードの力学特性

2.1 FEM 解析モデル

本研究ではブレード形状として、中実直方体、中空直方体、H 型桁材を挿入した中空直方体の 3 つのモデル (Fig.1) を用いた。ブレード厚さや、中空直方体の外皮厚さは変数とし、風を受ける面の横幅は 30m で一定とした。

2.2 材料特性

解析に用いる材料はスチール、アルミ、GFRP、CFRP の 4 つである。物性値については Table 1 のように定めた。

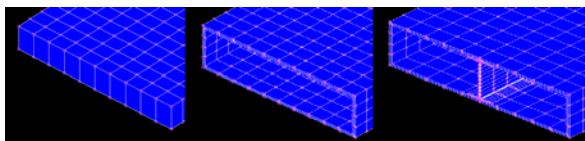


Fig.1 Example of the analytical models.

Table 1 Material properties [1-4].

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)
Steel	210	0.28	7800
Aluminum	73	0.33	2800
GFRP	22	0.28	1850
CFRP	70	0.30	1500

2.3 評価する項目と基準値

風車ブレードとして設計が可能であるとする条件として、曲げ剛性、最大応力の 2 つについて評価を行った。ブレードには、風によるたわみでタワーに接触しないための曲げ剛性が求められる。本研究では、全てのモデルにおいてたわみが 0.5m となるようにブレード厚さ、外皮厚さなどを設定した。このモデルに、風力、重力および遠心力 (30rpm) を作用させ、その際の最大応力を観察し、その値が各材料の許容応力値を超えていなければ、風車ブレードとしての設計条件が満たされるものとした。

2.4 解析結果

(1) 中実直方体の長さによる感度解析

中実直方体における長さとの最大応力の関係を示したのが Fig.2 である。各材料とも、ある長さを超えると自重による影響で最大応力値が増加し始めているが、密度の大きい材料ほどブレード長が短いうちから自重による影響が出始め、また、最大応力値の増加率も高い傾向が見られる。

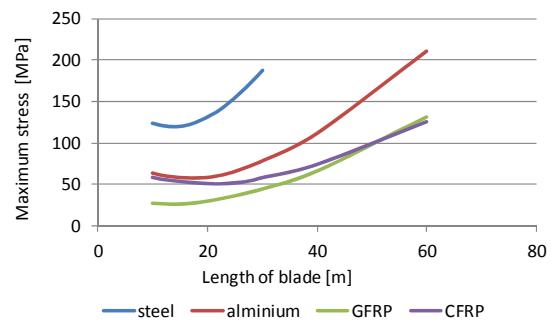


Fig.2 Relationship between blade length and maximum stress.

(2) 中空直方体の厚さによる感度解析

中実直方体と同一の曲げ剛性を持つ中空直方体を定義し、そのモデルの最大応力について解析を行った。Fig.3 は、ブレード長 20m、CFRP の中空直方体の解析結果である。外皮の厚さが薄いほど重量が小さくなるが、応力を受け持つ断面積が小さくなることから、最大応力は大きくなるという結果が得られた。他の材料における解析結果においても同一の傾向が見られた。

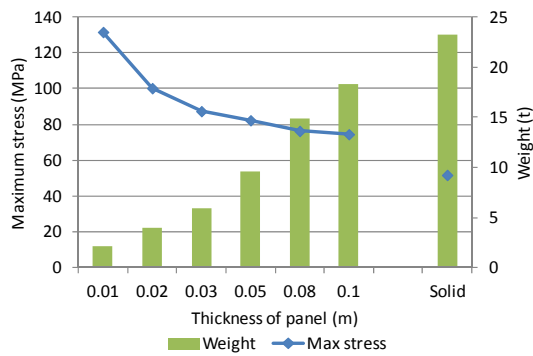


Fig.3 Relationship between panel thickness and maximum stress.

(3) 桁材を挿入した中空直方体の厚さによる感度解析

Fig.4 は、ブレード長 40m, GFRP 外皮の中空直方体に CFRP とスチールの桁材を挿入し、同様の解析を行った結果である。CFRP 桁材を用いたときに外皮の応力が最も軽減されていることがわかる。また、桁材に用いる材料のヤング率が外皮に用いる材料のヤング率を上回る場合、桁材には外皮を上回る応力が作用する傾向が見られたが、桁材そのものに作用する応力も CFRP はスチール桁材の 1/3 程度に収まっている。

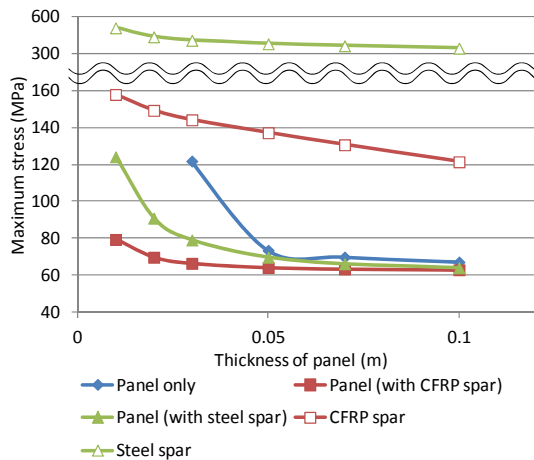


Fig.4 Relationship between panel thickness and maximum stress (with spar).

3. 風車ブレード大型化の検討

以上の結果から得られた傾向を踏まえ、同様の解析を 20, 40, 60, 70m のブレード長において行った。その結果、スチールとアルミは 40m で最大応力が許容応力値を上回り、GFRP は 60m で、CFRP は 70m で剛性が不足するという結果になった。

スチールとアルミは密度が大きいため、自重による応力の増加が大きく作用したものと考えられる。CFRP 桁材を挿入した場合は最大応力の軽減効果が見られたが、スチール桁材を挿入した場合には桁材そのものの重量の影響もあり、最大応

力はほとんど減少しなかった。

GFRP および CFRP はブレード長を長くするにつれて剛性が不足し、外皮厚さを一定以上薄くすることが不可能となった。桁材を挿入することにより、Fig.4 で示したように、外皮の応力が軽減されるとともに、より薄い外皮での形状を設計することが可能になった。この場合も、CFRP の方が外皮の応力を大きく軽減していることが分かる。GFRP ブレードに桁材を挿入した場合の応力分布図を示したのが Fig.5 である。応力が高い部分が黄色、低い部分が赤で示されているが、スチール桁材を挿入した場合の方が桁材に集中的に応力が作用しており、桁材が先に破壊してしまう可能性がある。一方、CFRP 桁材においては外皮と桁材である程度応力が分散されており、また、CFRP の強度は極めて高いため、外皮の強度を十分に生かした設計が可能となると考えられる。

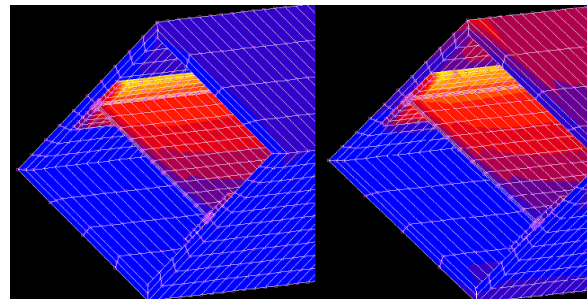


Fig.5 Stress distribution of GFRP blade.
(left: with steel spar, right: with CFRP spar)

4. 結論

高い比剛性を持つ CFRP は、ブレードの外皮および桁材のいずれに用いる場合においても、風車ブレードの大型化に有用であることが示された。コストの問題から、CFRP は桁材のみで使用される場合も考えられるが、GFRP のような剛性の低い外皮を用いる場合、桁材に作用する応力が外皮の数倍になる場合もあるため、CFRP の強度の高さが生かされてくるものと考えられる。

また、ブレード形状の最適化、異方性や高弾性 CF の利用によって、CFRP を用いたブレードは更なるブレードの大型化、軽量化に寄与すると考えられる。

謝辞

本研究の一部は経済産業省-NEDO プロジェクト「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」(平成 20~24 年)の一環として行われたものであり、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] J.E. Gordon, 構造の世界, 丸善株式会社, 1991
- [2] 小原嗣朗, 金属材料概論, 朝倉書店, 1991
- [3] GRP Constructions, Inc. : <http://www.grpc.jp/>
- [4] CF デザイン : <http://www.cfdesign.co.jp/>