

特集論文



VaRTM (真空含浸工法) による大型複合材製造技術

Manufacturing Process of Large Size FRP by Vacuum Assisted Resin Transfer Molding

新藤 健太郎*¹
Kentaro Shindo川 節 望*²
Nozomu Kawasetsu田北 勝彦*³
Katsuhiko Takita加藤 英司*³
Eiji Kato

1. はじめに

樹脂系複合材料 (以下 FRP と呼ぶ) は軽量化メリットが大きいことから、近年の省エネ需要の高まりを背景として、特に大型構造部材への適用が急速に進みつつある。当社製品においても、既に、発電用風車ブレード、航空機構造部材、プラント部材などの多くの製品に適用している。大型構造部材に FRP を用いる場合、引張強度、疲労強度などの材料物性や長期耐久性はもちろんのこと、高品質な製品を高い生産性で製造することが大きな課題となる。

FRP の成形方法にはハンドレイアップ (ウェットレイアップ)、ワインディング、オートクレーブ (プリプレグ)、RTM (Resin Transfer Molding) など従来から様々な方法が用いられている⁽¹⁾。その中で、高品質な大型 FRP 構造体の製法として注目され、当社の風車用 FRP ブレードにも適用されている VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding: 真空含浸工法)⁽²⁾ について紹介する。

2. VaRTM 工法の特徴

図 1 に VaRTM 工法の模式図を示す。VaRTM 工法は、成形型の上に積層した強化繊維基材 (ガラス繊維やカーボン繊維の織物など) を、プラスチックフィルム等に封入して真空吸引した後に、液状樹脂を注入・

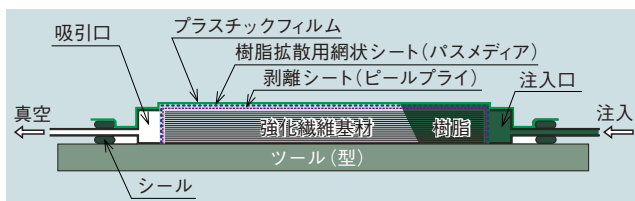


図 1 VaRTM 工法の模式図 成形型の上に積層した強化繊維基材 (ガラス繊維やカーボン繊維の織物など) を、プラスチックフィルム等で封入して真空吸引した後に、液状樹脂を注入・含浸して硬化させる。

含浸して硬化させる FRP 部材の成形方法で RTM 工法の 1 つである。強化繊維基材と成形型あるいはプラスチックフィルムの間には、樹脂を拡散しやすくするための樹脂拡散用網状シート (バスメディア) や表面性状を整えるための剥離シート (ピールプライ) を使用する。

VaRTM 工法の特徴として、オートクレーブ (圧力釜) などの大掛かりな設備が不要であること、大型構造物の一体成形が容易であること、及び有機溶剤の揮発が少なく作業環境が良いことなどが挙げられる。また、従来まで FRP 構造体の成形方法として多用されているハンドレイアップ工法と比較すると、繊維含有率が高くボイド含有率が低い高品質の FRP を成形できるという特徴がある。

3. 風力発電設備ブレード

当社では、1982 年に初の商用風車 (300 kW 機) を開発して以来⁽²⁾⁽³⁾、450 kW 機、600 kW 機と継続して大型機を市場投入し、2003 年には世界トップクラスの性能を誇る MWT-1000A を開発した⁽²⁾⁽³⁾。2004 年度末現在、世界中で約 1 800 台の当社製風車が運転されており、2006 年には、2 400 kW クラスの超大型・高性能機種を市場投入を予定している。

ブレードには、軽量化の観点からガラス繊維強化プラスチック (GFRP) が使われている。代表的なブレードは、機種に合わせて長さ 12 m (250 ~ 300 kW 機用)、18 ~ 20 m (450 ~ 600 kW 機用)、27 ~ 30 m (1 000 kW

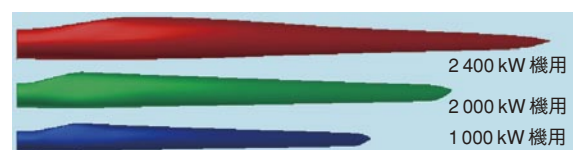


図 2 ブレード形状の比較 1 000 kW 機では 30 m 翼、2 400 kW 機では 40 m を超える長大翼を使用する。いずれの翼も VaRTM 工法で製造する。

*¹ 技術本部長崎研究所材料・溶接研究室*² 技術本部長崎研究所材料・溶接研究室主席*³ 長崎造船所風力発電事業グループ主席

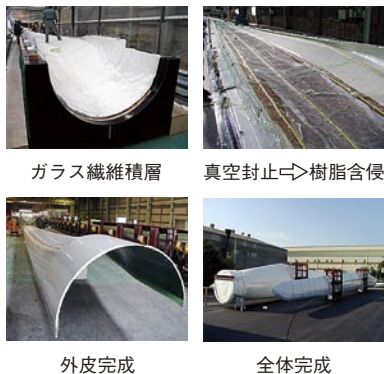


図3 VaRTM 工法による FRP ブレードの製造状況 VaRTM 工法により外皮及び桁を成形する。成形後は高粘性の接着剤で接着接合し完成となる。

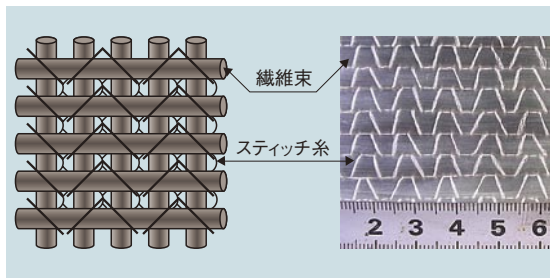


図4 スティッチ・ファブリックの繊維形態 引き揃えた繊維束をスティッチ糸で結束した形態をしている。繊維束の蛇行（うねり）が小さいため FRP とした際の強度が高い。

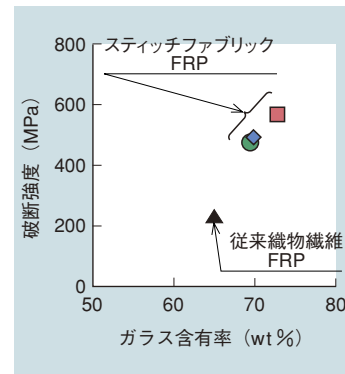


図5 スティッチファブリック FRP の圧縮破断強度 スティッチファブリック FRP の圧縮破断強さは、従来織物繊維 FRP よりも高い。

機用), 36 m (2000 kW 機用) の3種類があり, 2005 年末には 2400 kW 機用として長さ 40 m を超える超大型ブレードを製作した (図2)。

一般に, 風力発電設備用ブレードにおいては, 比較的小型の機種ではコスト優先の観点からハンドレイアップ工法で製造される場合が多い。一方, 大型のブレードは, 高い強度と剛性が要求されるため, プリプレグ工法又は VaRTM 工法が採用され, 大面積, 厚肉製造という観点から VaRTM 工法を適用するメーカーが多い。

当社においては, 長さが 20 m を超える大型ブレードは VaRTM 工法で製造している。図3に VaRTM 工法による FRP ブレードの製造状況を示す。本製法により, 長さ 30 m, 幅 2.5 m, 最大肉厚 120 mm のブレード外皮を, 1 回の樹脂含浸工程で成形できる。また, 低粘度樹脂を使用し, 多くの樹脂注入ラインを配置することで, 含浸時間が短く高い生産性を有するブレード製造技術を確立している。

ブレード用 FRP のマトリックス樹脂と強化繊維には, 必要な材料強度を有しかつ VaRTM 工法での成形が可能な熱硬化性樹脂及びガラス繊維基材を使用している。

熱硬化性樹脂には, 経済性, 作業性及び生産性の観点から, 汎用の不飽和ポリエステル樹脂やビニルエステル樹脂を採用している。

強化繊維は, 経済性の観点からガラス繊維を用いている。繊維織物の形態は, 図4に示すスティッチ・ファブリックが主体である⁽⁴⁾。スティッチ・ファブリックは, 引き揃えた繊維束をスティッチ糸で結束しているため繊維束の蛇行（うねり）が小さく, 圧縮強度の向上に効果がある。図5に示すとおり, スティッチ・ファブリックを用いた FRP は, 従来織物繊維の FRP よりも高い圧縮破断強さを示す。また 0°, 90°, ± 45

°及びマット基材を組み合わせた多層織物（マルチ化）の製造が可能であることから, それぞれの機種にあった最適な基材の選択ができる。

4. おわりに

複合材料の製造において大型化の傾向は, 汎用製品はもとより航空・宇宙機器用の炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の分野でも同じである。

VaRTM 工法は, 大規模な設備投資が不要で, 高品質の大型部材を安価に製造できるため, 欧米を中心に急速に普及しつつある。当社においても VaRTM 工法を用いて翼長 40 m を超える大型風車翼を製作した。

本工法を活用することで, 社会的に高まっている大型複合材部材の適用ニーズに対応する製品を製造することが可能である。

参考文献

- (1) 日本複合材料学会編, 複合材料活用辞典, 産業調査会出版 (2001) p.454
- (2) 川節ほか, 風力発電装置用大型 FRP ブレードの開発, 強化プラスチック協会, 49th FRP CON-EX 2004 講演会要旨集 (2004) pp.A-25/1- A-25/2
- (3) 藤川卓爾ほか, 三菱高性能大形風力発電設備, 三菱重工技報 Vol.39 No.3 (2002)
- (4) 新藤健太郎ほか, スティッチ強化基材を用いた樹脂系複合材の強度特性, 日本機会学会講演論文集



新藤健太郎



川節望



田北勝彦



加藤英司