

射出成形法を用いた炭素繊維織物材/

フェノール複合材料の機械的特性評価

日大生産工(院) ○藤崎 博万 日大生産工 邊 吾一
日大生産工 坂田 憲泰

1. 緒言

フェノール樹脂は耐熱性、耐火性、低発煙性という優れた特性を有しているため、鉄道車両や飛行機の構造部材で使用する複合材料の母材として最適である。しかし、レゾール型フェノール樹脂（以下、レゾール樹脂）は、高い粘性の液体であり、成形時の取り扱いを容易にする目的で水または有機溶剤によって粘度調整を行わなければならない。さらに硬化反応の1つである縮合重合反応により水が発生し、これらの溶剤や縮合水が硬化時に蒸発し、ボイドとなって母材中に留まるため、緻密なマトリックスが得られないという問題がある。

そこで液体のレゾール樹脂ではなく、粉末のノボラック型フェノール樹脂（以下、ノボラック樹脂）を硬化剤と共に加熱溶解して金型に射出し、熱硬化させるという射出成形法を用いて成形すれば、ボイドが生じないため、より緻密なマトリックスが可能となるが、従来の射出成形法ではマトリックスと強化繊維を予備混合し、同時に射出するため短繊維となり強度と剛性の強化機構は望めない。

著者等は過去の研究^{1,2)}で、長繊維のガラス繊維及び炭素繊維にレゾール樹脂を塗布したレゾールコーティングを行い射出による繊維のよれを抑制し、長繊維の射出成形法を確立させた。また、炭素繊維の表面処理剤にシランカップリング剤を応用することより、界面靱性を向上させ、引張り強度の向上に成功した³⁾。

本研究では、成形したフェノールCFRPのヤング率及び強度を引張り試験より求め、複合則による理論値と比較し、評価した結果について報告する。

2. 成形条件

2.1 構成材料

樹脂には高分子から低分子まで分子量分布が集約された粉末状分子量集約型フェノール樹脂（高分子:低分子=68wt% : 22wt%）を、硬化剤にはヘキサミン10wt%を用いた。強化材には、シランカップリング剤を処理したクロス材（東レ(株)製CK6244C）を使用し、金型(210×70mm)内にクロス材12枚を積層した。また、構成材料の強度、ヤング率、繊維体積含有率（以下、 V_f ）、樹脂体積含有率（以下、 V_m ）を引張り試験より求めた結果をTable 1に示す。

Table 1 Results of tensile test

Carbon fiber	Tensile strength	4380	MPa
	Young's modulus	230	GPa
	V_f	0.41	
Phenolic resin	Tensile strength	44.0	MPa
	Young's modulus	8.29	GPa
	V_m	0.59	

2.2 成形法

本研究では、長繊維の形態による複合材料の成形を確立するために、RTM成形法の考えを導入し、金型内にあらかじめ長繊維の炭素繊維織物を配置しておき、そこにノボラック樹脂とヘキサミンをシリンダー内で混練可逆化し、溶解したノボラック樹脂とヘキサミンを射出し、金型内で硬化させる手法を用いた。ノボラック樹脂は室温で固体であり、シリンダー内温度80℃で溶解し、この時点ではヘキサミンとの硬化反応は起こらない。金型内の温度150℃でヘキサミンが分解反応を起こし、ノボラック樹脂と硬化反応を示す。本成形品の厚さは3mmで、周辺で折り返しがあるので、成形時間は5分とした。

Development and Evaluation of Mechanical Properties for Carbon Fabric /
Phenolic Composites with Injection Molding

Hirokazu FUJISAKI, Goichi BEN, Kazuhiro SAKATA

3. 引張り試験条件

試験片は、3×20×180mm、標点間距離100mmの短冊状を成形品から射出口を避けて左右から2本を精密切断機で切り出し、引張り速度1mm/minで試験を行った。

4. 結果と考察

成形品の評価するために、式(1)の複合則を用いて理論引張り強度及びヤング率を算出した。

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \alpha\sigma_f V_f + \sigma_m V_m \\ E_c &= \alpha E_f V_f + E_m V_m\end{aligned}\quad (1)$$

ここで、 σ は引張り強度、 E はヤング率を示し、添字c, f, mは複合材料、繊維、樹脂の値を表わしている。また、 α は繊維形態で決まる係数で、本研究ではクロス材を用いているため0.5とした⁴⁾。次に、静的引張り試験の結果をFig.1に示す。Fig.1より、ひずみ0.5%以上で緩んでいた繊維が張ることによる、応力剛化現象が確認できた⁵⁾(Fig.2)。

また、実験値と式(1)より求めた理論値の結果をTable 2に示すが、 E_a はひずみ0.5%以下、 E_b はひずみ0.5%以上のヤング率である。Table 2より、ヤング率は理論値と概ね一致したが、引張り強度では10.0%の差を示した。これは、ネスティング(クリンプ位相ずれ)が原因だと考えられる。織物CFRPには引張り荷重が作用した場合、ポアソン効果により経糸内に板厚方向に圧縮力が生じるが対の層によって打ち消されるため、経糸には主に引張り荷重が作用する(Fig.3)。しかし、本研究では、経糸①と経糸②がずれているので、経糸内に圧縮力とせん断力が作用したため、理論値より低下したと考えられる(Fig.4)。

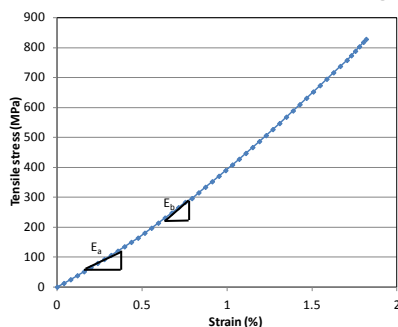
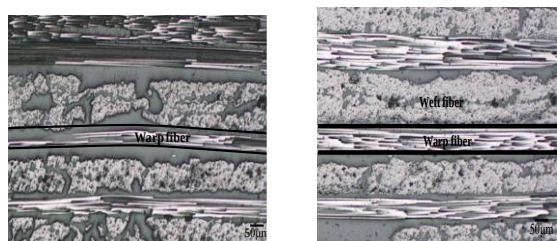


Fig.1 Tensile stress-strain curves



(a) $\epsilon < 0.5\%$ (b) $\epsilon > 0.5\%$

Fig.2 Cross section of specimen

Table 2 Comparison of experiment and theory

	Experimental value	Theoretical value	Error (%)
Tensile strength (MPa)	828	924	10.0
Young's modulus E_a (MPa)	48.9	52.0	5.96
Young's modulus E_b (MPa)	50.8	52.0	2.30

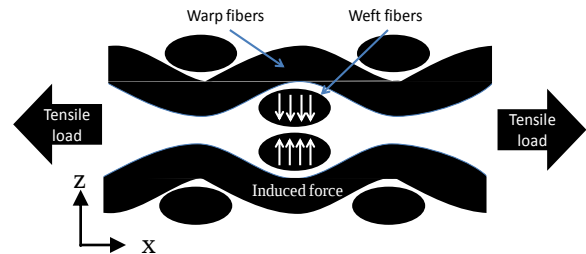


Fig.3 Cross section model of plain weave CFRP

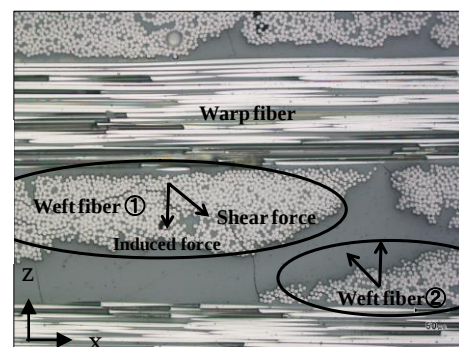


Fig.4 Cross section of specimen

5. 結言

実験値と複合則による理論値と比較した結果、ヤング率で2.30%、引張り強度で10.0%の差となった。引張り強度の差は、ネスティングの影響と考えられる。

参考文献

- 1) 邊 吾一・木村心哉・山下記正・丹野寿一・後藤卒土民, 射出成形法を用いたガラス繊維織物/フェノール複合材料の力学特性, 日本材料学会誌「材料」, Vol. 58 No. 5, 2009, pp. 396-401.
- 2) 邊 吾一, 藤崎博万, 山下記正, 射出成形法を用いた炭素繊維織物/フェノール複合材料の開発と引特性評価, JCCM-1 公演論文集, 2010, pp. 591-594
- 3) G. ben, H. Fujisaki, Development and Evaluation of Mechanical Properties for Carbon Fabric / Phenolic Composites with Injection Molding, ICCM-18, 2011.
- 4) 藤井太一, 複合材料(Ⅲ) 複合材料の力学(弾性的応力と変形挙動), 材料, 第25巻, 71.
- 5) Y.Nukushina, J.Matsui, M.Itoh, On the stress to strain response of carbon fiber by a precise strain measuring technique, SEN-1 GAKKAISHI, 1985, T182-187