

PP/PU/CF 複合材の PU 含浸・乾燥方法の検討

日大生産工（院） ○若月 拓
日大生産工 平林 明子, 平山 紀夫

1. 緒言

現在日本では、2030 年までに 2013 年度比で 25%の CO₂ 排出量削減を目標にするなどの環境問題への対策が推進されている。特に、走行時の CO₂ 排出量が、国内の総排出量の 18%を占めている自動車業界では、構造部材に比強度・比剛性に優れる、炭素繊維(CF)とポリプロピレン(PP)などの熱可塑性樹脂を用いて成形される炭素繊維強化熱可塑性複合材(CFRTP)を適用することで、車体の軽量化による燃費の向上が期待されている。本研究では、CFRTP が軽量化を期待されている材料であることから、母材樹脂として汎用樹脂の中でも最軽量である PP に着目した。PP は比重が 0.91 と非常に軽量であり、安価かつ多種の用途で生産、使用されていることから生産安定性に優れるといった特徴を持つ樹脂であるが、強化繊維との接着性が悪く CFRTP として十分な強度が得られないことが先行研究¹⁾より判明していた。そこで、接着性に優れる熱可塑性ポリウレタン(PU)をあらかじめ強化繊維に付着させることで、接着性の悪い PP と CF の間で PU に接着剤のような役割を持たせ、二種類の樹脂を母材樹脂として使用した CFRTP（以下、PP/PU/CF 複合材）が考案された²⁾。考案された PP/PU/CF 複合材は、PP/CF 複合材に比べ、機械的特性が向上することが確認されたが、高速連続成形による成形条件が機械的特性に及ぼす影響については明らかになっていない。そこで本研究では、高速連続成形による PU エマルジョンの乾燥条件が曲げ特性に及ぼす影響について報告する。

2. PP/PU/CF 複合材の成形方法

2.1 使用材料

PP/PU/CF 複合材の母材樹脂は、PP にマレイン酸を添加することで、PP と炭素繊維の接着性が向上する³⁾ことから、PP にマレイン酸を添加した MAPP と、精製水と混合することによって粘度の低いエマルジョン状にした PU を使用した。また、強度の向上を目的として、水性樹脂用架橋剤を PU エマルジョンに使用した。強化繊維には、東レ(株)製の綾織炭素繊維を使用した。使用した材

料の詳細を Table 1. に示す。

Table 1 Contained materials

Reinforcement		CO6347B (Toray, inc.)
Matrix	PU emulsion	SUPERFLEX #130 (DKS, Co., Ltd)
	MAPP	Original blended
Cross-linking agent		Aqueous

2.2 PU 含浸

PP/PU/CF複合材の成形方法の一つとして、CF にPUエマルジョンを含浸し、乾燥させることでCF表面にPUを付着させるPU含浸を行う。PU含浸の方法は、含浸槽による浸漬含浸と乾燥を1m/minで連続的に行う自動含浸と、自動含浸と同等の含浸条件を再現した手動含浸を行った。手動含浸を行った繊維は、乾燥炉にて乾燥を行った。また、比較として、PP/PU/CF複合材開発の際に最も良い特性を示した、レジニインフュージョンとハンドレイアップ法を組み合わせ開発した樹脂含浸法である真空含浸法を行った。真空含浸法の手順は、台上に並べた炭素繊維をバッキングフィルムで覆い、フィルム内にPUエマルジョンを充填する。その後、ローラーを用いてエマルジョンをCFに含浸し、含浸後余分なエマルジョンを真空ポンプで吸出する。真空含浸後の乾燥は、真空乾燥炉による真空乾燥を行った。今回行った含浸・乾燥の条件をTable 2に示す。

Table 2 Conditions of impregnation and drying

	Impregnation method	Drying method
A	Automation impregnation	Drying furnace (160-200℃, 6min)
B	Immersion impregnation	Drying furnace (160℃, 6min)
C		Drying furnace (160℃, 20min)
D		Drying furnace (220℃, 6min)
E	Vacuum impregnation	Vacuum drying furnace (100℃, 8h)

2.3 フィルムスタッキング法による成形

PU含浸を行ったCFとフィルム状にしたMAPPを使用して、フィルムスタッキング法でPP/PU/CF複合材の成形を行った。金型内にMAPPフィルム10枚とPUを付着させたCF9枚を交互に積層し、金型の空気吸出口に真空ポンプを接続し、真空ポンプで金型内を減圧することで金型内を真空状態とする。真空状態にした金型を油圧式成型機に入れ、200℃で5分間樹脂を溶解、樹脂溶解後、200℃、7MPaで10分間加熱、加圧し成形を行う。成形終了後、金型を冷却し、金型から成形品を取り外し、成形品を得た。

3. 実験方法および結果

成形品の機械的特性評価として、JIS K 7074 に準拠して成形品の三点曲げ試験を行った。支点間距離は 80mm とし、試験温度は常温 (RT)、試験速度は 5mm/min とした。曲げ試験結果の代表値による応力ひずみ線図を Fig. 1 に、曲げ弾性率と曲げ強さを比較したグラフを Fig. 2, Fig.3 に示す。

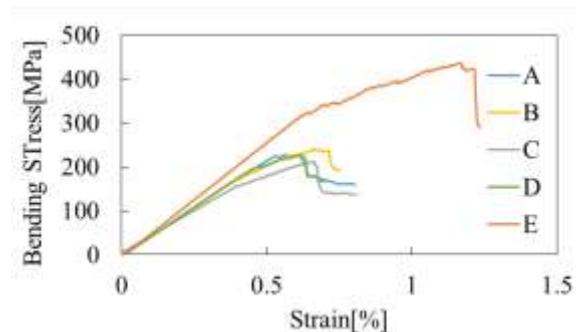


Fig. 1 Bending stress strain diagram

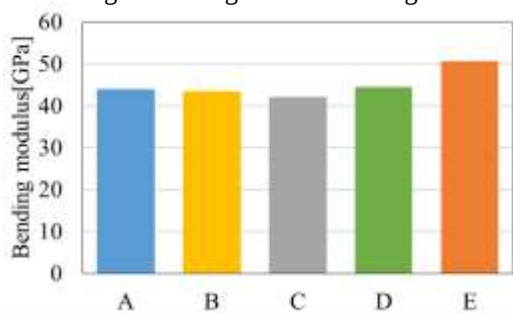


Fig. 2 Comparison of bending modulus

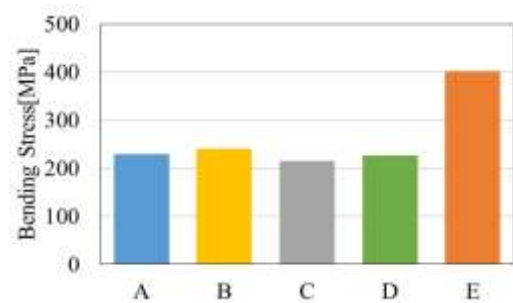


Fig. 3 Comparison of bending Stress

Fig. 2およびFig.3より、自動含浸を行った条件Aと、自動含浸を再現した含浸条件である条件B~Dを比較すると、曲げ弾性率、曲げ強さともに大きな差が見られないことが分かる。条件Bと条件Cを比較すると、特性に大きな差が見られないことから、乾燥条件を長時間にすることによる特性の向上は発生しないことが考えられる。また、同様に条件BとDを比較すると、こちらも特性に大きな差が見られないことから、160℃から220℃の間で乾燥温度の変化による特性の向上は発生しないことが考えられる。また、比較として行った条件Eを見ると、特に曲げ強さにおいて良好な値を示していることが分かる。すべての条件において、樹脂の付着率に大きな差がないため、自動含浸およびそれを再現した含浸条件において、乾燥時間による特性の変化が見られないことから、160℃以上の高温で乾燥を行うと特性が低下することが考えられる。また、曲げ試験によって発生した破断部(Fig. 4)の観察を行うと、含浸条件に依らず座屈を伴いながら繊維が破断を起こしていることが分かった。



Fig. 4 Failure mode

4. 結言

本研究では、自動成形時の成形不良の軽減を目的に、成形時の乾燥条件の検討を行い、その試験結果の比較を行い、以下の結果が得られた。

- ① PU エマルジョンの乾燥時間と曲げ強度には相関が認められない。
- ② 160℃以上の温度で乾燥を行うと、強度の低下が発生する。
- ③ 破壊モードは、いずれも圧縮側での座屈が観察された。

参考文献

- 1) 圖子博昭ら 日本複合材料学会誌 32 巻, 4 号, p153-162 (2006)
- 2) 風間均ら 成形加工学会'18 概要集, p51-52(2018)
- 3) 田村学ら48th FRP CON-EX 講演会講演要旨集, p111-113, (2003)