

現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂をマトリックスとする トウプリプレグで作製した GF RTP の機械的特性の評価

日大生産工(院) ○大野 洋輔 日大生産工 染宮 聖人 日大生産工 坂田 憲泰
日大生産工 平山 紀夫 第一工業製薬(株) 塩路 雄大 第一工業製薬(株) 北川 貴士

1. 緒言

近年、自動車や航空機などの輸送機器による CO₂ 排出量の削減に向けて、車体の軽量化が課題となっている。この課題を解決するため、比強度・比剛性に優れた繊維強化プラスチック（以下、FRP）を車体の構造材料や圧力容器などに適用する研究が行われている。特に、熱可塑性樹脂をマトリックスとする繊維強化熱可塑性プラスチック（以下、FRTP）は再溶融が可能であり、二次加工や再利用の可能性を有することから注目されている。しかしながら、熱可塑性樹脂は溶融時の粘度が非常に高く、連続繊維束内部に高い繊維体積含有率で含浸させることは困難であったり。

そこで先行研究では、初期状態が低粘度モノマーで繊維束内部への含浸が容易に行え、その後は直鎖上の高分子へと重合する現場重合型ウレタン樹脂（以下、PU 樹脂）を用いて、複数本のガラス繊維束を一方向に配列させたシート状プリプレグの連続成形法を開発した。そして、このプリプレグで作製したガラス繊維強化熱可塑性プラスチック（以下、GF RTP）は、市販のプリプレグを用いたものに比べて高い層間破壊靱性値を示すことが確認できた。しかしながら、一般的なプリプレグの厚さは 0.2 mm 程度であるのに対し、先行研究のプリプレグの厚さは 0.8~0.9 mm と厚いため、賦形性が悪いという課題があった。

そこで本研究では、1本のガラス繊維束で、厚さが 0.2 mm 程度のトウプリプレグ（以下、PU-TP）を連続的に成形する装置を開発した。そして、この PU-TP で作製したガラス繊維強化熱可塑性プラスチック（以下、GF RTP-TP）と、先行研究で作製した GF RTP の機械的特性を比較するために、静的 3 点曲げ試験と DCB 試験を実施し、新たに開発した PU-TP の有用性について評価した。

2. 成形方法

2.1 供試体

GF RTP-TP のマトリックス樹脂は、ポットライフが 7 分の PU 樹脂（第一工業製薬(株)製、H-6FP17,）を使用し、先行研究で作製した GF RTP のマトリックス樹脂はポットライフが 2 分の PU 樹脂（第一工業製薬(株)製、H-6FP22）である。また、GF RTP-TP と GF RTP の強化繊維には、どちらも同じガラス繊維ロービング（日東紡績(株)製、RS 110QL-483AS）を使用した。

2.2 PU-TP の成形

PU-TP の成形には Fig. 1 に示す連続引抜成形機を使用した。今回の成形では、PU-TP の繊維体積含有率が先行研究のプリプレグシートと同等の 58 %となるように繊維束と樹脂を供給した。PU 樹脂は A 剤と B 剤の 2 液を定量送液ポンプにて送液し、スタティックミキサーで混合させ、繊維の表面に滴下した。そして、楔形の含浸用金型で余分な樹脂を落としながら、繊維に樹脂を含浸させた。このとき、先行研究で用いたポットライフ 2 分の PU 樹脂では余分な樹脂が含浸用金型内部で硬化し、1 時間ほどで繊維が引き抜けなくなった。そこで、今回の成形では樹脂の滞留を防ぐため、ポットライフが 7 分の PU 樹脂を用いた。その結果、3 時間半ほど連続して成形することができた。そして、含浸させた後 50 °C~120 °C の温度分布となるように加熱した成形金型（500 mm）を通過後、遠赤外線ヒーターで追加の加熱を行った。最後に、成形した PU-TP を一定の長さに切断し、完全に硬化させるため、乾燥炉にて 120 °C で 1 時間のアフターキュアを行った。

2.3 プレス成形

PU-TP およびプリプレグシートを平板の金型にセットし、Table 1 に示すプレス成形条件

Evaluation of Mechanical Properties of GF RTP Fabricated with Tow Prepreg Using In-Situ Polymerization Thermoplastic Urethane Resin Matrix

Yosuke ONO, Masato SOMEMIYA, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA,
Yudai SHIOJI, and Takashi KITAGAWA

により、全長 250 mm、幅 100 mm、板厚 2 mm の曲げ試験片用成形板と、全長 250 mm、幅 100 mm、板厚 3 mm で、積層中央面に 0.05 mm のテフロンフィルムを端部から 40~60 mm ほど挿入した DCB 試験片用成形板を作製した。

3. 試験方法

3.1 静的 3 点曲げ試験

機械的特性を評価するために、JIS K 7017 に準拠した静的 3 点曲げ試験を行った。曲げ試験片の寸法は全長 60 mm、幅 15 mm とした。

3.2 DCB 試験

層間破壊靱性を評価するために、JIS K 7086 に準拠した DCB 試験を行った。DCB 試験片の寸法は全長 160 mm、幅 20 mm とした。

4. 試験結果

4.1 静的 3 点曲げ試験結果

曲げ試験により得られた応力ひずみ線図を Fig. 2 に示す。Fig. 2 からわかるように、GF RTP-TP の曲げ強度は 1571 MPa、GF RTP の曲げ強度は 1234 MPa と比較して約 27 % も高い強度値を示した。また、曲げ弾性率も GF RTP-TP が 42.8 GPa、GF RTP が 32.4 GPa と約 32 % 高い値を示した。一方で、GF RTP-TP と GF RTP の繊維体積含有率はほぼ同じ値であることから、GF RTP-TP の機械的特性が優れていることが示された。

4.2 DCB 試験結果

DCB 試験により得られた荷重-き裂開口変位線図を Fig. 3 に示し、き裂進展初期のモード I 層間破壊靱性値 G_{IC} 、き裂進展過程におけるモード I 層間破壊靱性値 G_{IR} を Table 2 に示す。Table 2 からわかるように、GF RTP-TP の G_{IC} は GF RTP に比べて約 14 % 高いことがわかる。また、GF RTP-TP の G_{IR} は GF RTP に比べて約 39 % 高く、GF RTP-TP は高い層間破壊靱性値を有することが確認された。

5. 結言

厚さが 0.2 mm 程度のトウプリプレグ(以下、PU-TP) で作製した GF RTP-TP を、先行研究の GF RTP と機械的特性を比較した結果、GF RTP-TP は GF RTP よりも高い曲げ強度、曲げ弾性率、層間破壊靱性値を示した。

参考文献

- 1) 西田裕文, “熱可塑性エポキシ樹脂及びそれを用いた連続繊維強化熱可塑性プラスチックの開発”, 日本接着学会誌, Vol.51, No.12 (2015) pp.516-523.

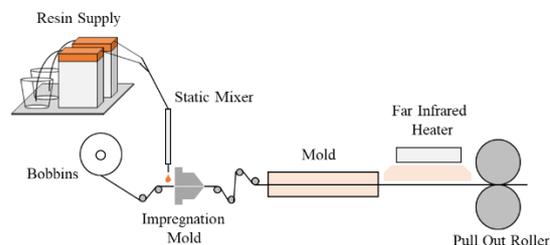


Fig. 1 Schematic diagram of continuous molding machine.

Table 1 Press molding conditions.

Item	Total layer [ply]		Pressure [MPa]	Temperature [°C]	Time [min]
	2 mm	3 mm			
GF RTP-TP	10	16	6.7	200	10
GF RTP	4	6	6.7	200	10

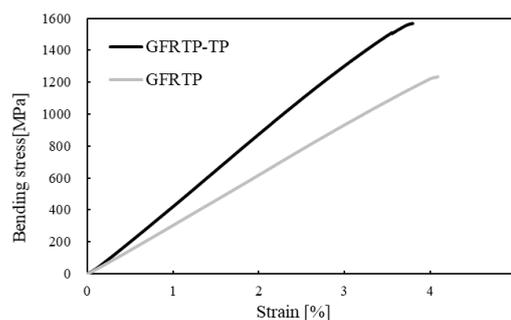


Fig. 2 Stress-strain curve of static bending tests.

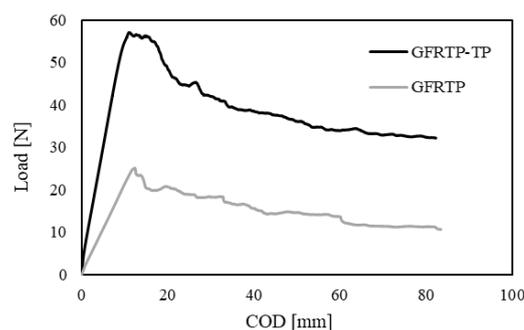


Fig. 3 Load-crack opening displacement curve.

Table 2 Interlaminar fracture toughness of GF RTP-TP and GF RTP.

Item	G_{IC} [J/m ²]	G_{IR} [J/m ²]
GF RTP-TP	1052	1455
GF RTP	676	954