熱可塑性連続繊維プリプレグで作製した GFRTP の機械的特性と層間破壊靱性特性の評価

日大生産工	(院)	○大野 洋輔	日大生産工(院)	染宮 聖人	日大生産工	平山 紀夫
			第一工業製薬㈱	山田 欣範	塩路 雄大	北川 貴士

1. 緒言

近年,自動車業界では,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 材料に適用する研究・開発が活発に行われている. 特に,繊維強化熱可塑性プラスチック(以下,FRTP) は,二次賦形やスタンピング成形等の高速成形が可 能であり,再利用の可能性も高いことから適用が期 待されている¹⁾.しかしながら,FRTPの母材であ る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 とが困難であった²⁾.

そこで本研究では、初期状態が低粘度でガラス繊 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、一方向ガラス繊維プリプレグ シート(以下、PU プリプレグ)を連続的に成形し た.そして、この PU 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、PU-GFRTP) と、従来から市販・使用されている熱硬化性エポキ シ樹脂を用いたプリプレグシートで作製したガラ ス繊維強化熱硬化性プラスチック(以下、GFRP) を成形し含浸性の比較を行った.また、これらの FRPの静的3点曲げ試験とDCB試験を実施し、機 械的特性と層間破壊靭性を比較・評価した.

2. 成形方法

2.1 供試体

PU-GFRTPの成形には、マトリックス樹脂として PU樹脂(第一工業製薬成㈱,H-6FP17),強化材に はガラス繊維ロービング(日東紡績㈱,RS110QL-483AS)を使用した.また、GFRPの成形には、熱 硬化性エポキシ樹脂をマトリックスとするプリプ レグシート(ENEOS㈱製)を使用した.

2.2 PU プリプレグの成形

PU プリプレグの成形には Fig.1 に示す連続成形 機を用いた. 今回の成形では,市販のプリプレグの 繊維体積含有率 58%と同等になるように繊維束の 供給を行った.また,樹脂は主剤と硬化剤の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,含浸 金型で余分な樹脂を落としながら,繊維にマトリッ クス樹脂を含浸させた.成形金型は繊維投入部で滞 留する樹脂の硬化を防ぐために水冷機構を設け,金 型入口温度が25℃となるように制御した.そして, 樹脂を含浸させた繊維は70℃~120℃の温度分布と なるように加熱した成形金型を通過後,遠赤外線ヒ ーターで加熱を行った.また,Fig.1 に示す連続成 形機の工程ではプリプレグが十分に硬化しないた め,成形したプリプレグを一定の長さに切断後,乾 燥炉にて120℃で1時間のアフターキュアを行った.



Fig.1 Schematic diagram of continuous molding machine.

2.3 プレス成形

プリプレグを平板の金型にセットし, Table1 に示 すプレス成形条件により, 全長 250mm, 幅 100mm, 板厚 2mm の曲げ試験片用成形板と DCB 試験用成 形板を作製した. なお, DCB 試験用成形板に関して は, 積層中央面に 0.05mm のテフロンフィルムを端 部から 40~60mm ほど挿入し, 予き裂を導入した.

Table1 Press molding conditions.

Item No.	Total layer[ply]	Pressure[MPa]	Temperature[°C]	Time[min]
PU-GFRTP	4	6.7	200	10
GFRP	10	6.7	80	120

3. 試験方法

3.1 光学顕微鏡による断面観察

成形品の含浸状態を評価するために,断面観察 を行った.観察は,光学顕微鏡(OLYMPUS,GX51) を使用して倍率5倍で行った.

3.2 静的3点曲げ試験

機械的特性を評価するために,JISK 7074 に準拠 した静的3点曲げ試験を行った.曲げ試験用成形板 から,全長60mm,幅15mmとなるよう切断した

Fabricated with thermoplastic continuous fiber prepreg Evaluation of mechanical properties and interlaminar fracture toughness of GFRTP

Yosuke ONO, Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA, Yoshinori YAMADA, Yudai SHIOJI, Takashi KITAGAWA

ものを試験片とし,試験機は万能試験機(㈱島津製 作所, AG-I) を使用した.

3.3 DCB 試験

層間破壊靭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 試験用成形板から, 全長 160mm, 幅 20mm となるよう切断し, テフロ ンフィルムを抜いたものを試験片とした. 試験機は 万能試験機(㈱島津製作所, AG-25TB)を使用し, き裂進展が 70mm に達するまで, 1.0mm/min の試験 速度で行った.

3.4 走査電子顕微鏡による破断面観察

DCB 試験により破壊した層間の状態を評価する ために,破断面観察を行った.観察は,走査電子顕 微鏡(㈱キーエンス, VE-8800)を使用して倍率300 倍で行った.

4. 試験結果

4.1 光学顕微鏡による断面観察結果

Fig.2(a), (b)の断面写真より, 両成形品ともボイ ドは確認されず、PU 樹脂は熱硬化性樹脂と同程度 の含浸性を有することがわかった.

4.2 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.3 に示す. Fig.3 に示すように PU-GFRTP の曲げ強さ の値は GFRP の約 85%であった.

4.3 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.4 に示し, 裂進展初期の層間破壊靱性値 Gic, き裂進展過程における層間破壊靭性値 GIR の値を Table2 に示す. これらから, PU-GFRTP は GFRP に 比べて非常に高い層間破壊靭性値を示すことが確 認できた.

4.4 走査電子顕微鏡による破断面観察結果

Fig.5(a), (b)の破断面写真より, PU-GFRTP は GFRP と比較すると、破断面において繊維の輪郭に 樹脂が多く付着していることが確認でき,繊維と樹 脂の界面接着性は良好であることがわかった.

5. 結言

PU-GFRTP 板および GFRP 板の成形を行い, 機械 的特性と層間破壊靭性を比較・評価した結果,以下 の結論を得た.

- 1) PU-GFRTP は含浸性が良く、繊維と樹脂の界 面接着性も良好である.
- 2) PU-GFRTP は GFRP に比べて非常に高い層間 破壊靭性値を示すことが確認できた.



(b) GFRP.

Fig.2 Cross section of PU-GFRTP and GFRP.



Fig.3 Stress-strain curve of static bending tests.



Fig.4 Load-crack opening displacement curve.

Table2 Interlaminar fracture toughness of GFRTP and GFRP.

Item No.	G _{IC} [J/m ²]	$G_{IR}[J/m^2]$
PU-GFRTP	676	954
GFRP	390	315



Fig.5 Observation of fracture surface after DCB test.

参考文献

- 1) 石川隆司, "自動車構造部品への炭素繊維強化 プラスチック(CFRP)応用の展望",精密工学会 誌, Vol.81, No.6, (2015), pp.489-493.
- 2) 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, Vol51, No.12, (2015), pp.516-523.