

高速成形用 HFRTTP と HFRP の力学特性の比較

日大生産工 ○坂田 憲泰 日大生産工 邊 吾一

1 緒言

強化繊維プラスチック (Fiber reinforced plastics : FRP) は、軽量、高強度等の優れた特性を持っており、金属代替材料として幅広い分野で使用されている。しかし、FRPのマトリックスである熱硬化性樹脂は、いったん硬化すると分子が架橋構造をとるため、加熱しても再溶解することができず、リサイクルやリユースが困難である。一方、繊維強化熱可塑性プラスチック (Fiber reinforced thermoplastics : FRTP) は、架橋構造を持たない直鎖状の高分子マトリックスであるため、加熱により再溶解ができ、二次賦型が可能のため、リサイクルやリユースが可能であり、環境負荷の少ない母材として注目されている。FRTPを構造部材に適用するには、金属材料よりも比強度・比剛性に優れた材料である必要があり、連続繊維を高い繊維含有率で強化した高強度なFRTPを製作しなければならない。しかし、FRTPのマトリックスである熱可塑性樹脂は通常、室温では固体で高分子のため融点以上に加熱しても粘性が高く、繊維束内部へ樹脂を充填するためには高温・高圧力・長時間の成形が必要で、液体状態で低粘度な樹脂を注入するだけで済むFRPとは異なり、簡易な設備で成形を行うことが困難である。本研究では、炭素繊維の高価格と少ない生産量を考慮し、FRTPを幅広い分野で適用するために、ガラス繊維と炭素繊維の層間ハイブリッド材を補強材とし、マトリックスに現場重合型ポリアミド6を用いたハイブリッドFRTP(HFRTTP)を成形した。さらに、比較のため最近開発された速硬化型エポキシ樹脂をマトリックスとしたハイブリッドFRP(HFRP)を同じ装置で成形し、両ハイブリッド材の力学特性を比較した結果について報告する。

2 実験方法

2-1 供試体

本研究で使用した現場重合型ポリアミド6は、アニオン重合触媒として ϵ -カプロラクタム・ナトリウム塩、重合活性剤としてヘキサメチレンジイソシアネートをそれぞれ用いて、モノマ

一の ϵ -カプロラクタムを重合させることによって得た。重合時のモノマー融液の粘度は110°Cで3~4 mPa・sと低く、ゲル化時間は1分以内であった。エポキシには、速硬化型エポキシ樹脂(株ナガセケムテックス, HICY-11)を用い、主剤と硬化剤を100:20の割合で混合することにより得た。混合後の粘度は、40°Cで750 mPa・s, 60°Cで130 mPa・sとなっており、ゲル化時間は約6分であった。強化繊維には、ガラス繊維織物と炭素繊維織物を用いた。ガラス繊維織物は、織り密度が縦20本/25 mm, 横20本/25 mmの平織クロスで、目付け質量は215 g/m², 厚さは0.21 mmである。炭素繊維織物は、織り密度が縦12.5本/25 mm, 横12.5本/25 mmの綾織クロスで、目付け質量は198 g/m², 厚さは0.22 mmである。

2-2 成形方法

ϵ -カプロラクタムのアニオン触媒は、空気中の水分により触媒能が失活し、重合が阻害される可能性がある。そのため成形は、密閉された型内で行うため、水分管理が可能で、比較簡便な真空ポンプシステムにより樹脂が注入できるVaRTM法を用いたり、HFRTTPの成形では、成形を開始する前に、金型を140°Cに加熱し、真空ポンプを用いて金型内部を大気圧から-90kPa減圧を行った。次に、乾燥機で原料A(主剤+活性剤)と原料B(主剤+促進剤)を110°Cに加熱し、溶解を行った。溶解後、原料Aと原料Bを素早く混合してモノマー融液とし、140°Cに加熱した金型内部へ注入した。成形後のHFRTTPは内側に平織ガラスクロス10 ply, 外側に綾織炭素繊維クロス2 plyずつ用いた計14 plyで構成された対称積層材で、板厚が3 mm, V_f は平均で42%となった。HFRPはHFRTTPと同じ積層構成、成形工程とし、金型温度と樹脂温度のみ、それぞれ80°Cと50°Cに変更した。 V_f はHFRTTPと同じ42%となった。HFRTTPとHFRPの成形品にはボイドやひげ等の不良は観察されなかったが、速硬化型エポキシの方が現場重合型ポリアミド6より粘度が高いため、樹脂の含浸領域はHFRPの方が小さくなった。

Comparison of mechanical properties between HFRTTP and HFRP for high speed fabrication

Kazuhiro SAKATA and Goichi BEN

2-3 アイゾット衝撃試験

耐衝撃性を評価するため、JIS K 7110に準じて、アイゾット衝撃試験(Fig.1)を行った。試験片はHF RTPとHFRPの他に、現場重合型ポリアミド6と速硬化型エポキシで成形した樹脂板、GF RTPとGFRP、CF RTPとCFRPの8種類とした。打撃方向は、試験片の積層面に対して垂直に行うフラットワイズ衝撃とし、試験片本数は各5本とした。

3. 試験結果

試験結果の一例として、現場重合型ポリアミド6と速硬化型エポキシで成形した樹脂板と、HF RTPとHFRPのアイゾット衝撃試験の結果をTable 1とTable 2に示す。以下の表中に記載してある「H」はヒンジ破壊したこと、「NB」は試験片が破壊しなかったことを示す。速硬化型エポキシでは試験片全てが完全破壊したが、現場重合型ポリアミド6では、実験で与えた衝撃エネルギー5.5 Jでは破壊は起こらず、試験後の外観は試験前と比べて変化がなく、速硬化型エポキシより高い耐衝撃性を示した。

Table 2のHF RTPとHFRPのアイゾット衝撃試験の結果では、両者ともヒンジ破壊となった。アイゾット衝撃強さの平均値はHF RTPの方がHFRPより8.0 %高い結果となった。GF RTPとGFRP、CF RTPとCFRPの実験結果と、複合則を用いて計算したHF RTPとHFRPの衝撃強さの計算値は、52.4 kJ/m²と49.0 kJ/m²となり、Table 2の実験結果の方が7.9 %と6.7 %高い結果となった。また、HF RTPでは最外層の4 plyがCFとなっているため、GF層は試験片全体の約70 %となっているが、HF RTPのアイゾット衝撃強さ(56.5 kJ/m²)は、GFRP(56.3 kJ/m²)と概ね一致し、HF RTPが高い耐衝撃特性を有していることが確認された。

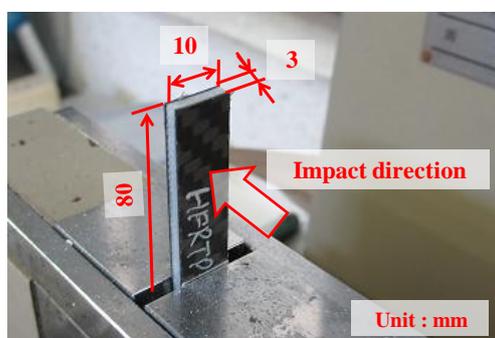


Fig.1 Specimen installed in the Izod impact apparatus

Table 1 Izod impact test results of the resin specimens

Specimen number	Izod impact strength (kJ/m ²)	
	In-situ polymerizable PA6	First curable EP
1	NB	5.59 C
2	NB	5.70 C
3	NB	5.47 C
4	NB	5.87 C
5	NB	5.45 C
Average	—	5.62
C.V.	—	2.8%

Table 2 Izod impact test results of the HF RTP and HFRP specimens

Specimen number	Izod impact strength (kJ/m ²)	
	HF RTP	HFRP
1	59.7 H	52.2 H
2	59.4 H	57.8 H
3	54.9 H	52.6 H
4	54.1 H	51.5 H
5	54.4 H	47.3 H
Average	56.5	52.3
C.V.	4.5%	6.4%

4. 結論

- (1) 現場重合型ポリアミド6のゲル化時間は1分以内、速硬化型エポキシ樹脂のゲル化時間は約6分となり、現場重合型ポリアミド6は速硬化型エポキシ樹脂に比べ短時間で成形が可能で、高い含浸性を有していることが確認された。
- (2) 現場重合型ポリアミド6をマトリックスに用いたHF RTPは高速成形が可能で、かつ高い衝撃特性を有していることが確認された。
- (3) HF RTPのアイゾット衝撃強さはHFRPより大きくなった。また、HF RTPのアイゾット衝撃強さはGFRPの結果と概ね一致し、HF RTPが高い耐衝撃特性を有していることが示された。

謝 辞

本研究は平成25年度生産工学部若手研究者支援研究費の補助を受けたものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) K. Sakata, G. Ben and H. Nishida : Comparison of mechanical properties between FRTP using in-situ polymerizing ε-caprolactam and FRP using fast curable epoxy resin , Proceedings of the 19th international conference on composite materials, 2013(Canada), USB.