

FRTP と FRP の高速引張試験による強度・破断特性評価

日大生産工(院) ○杉本 直 日大生産工 邊 吾一 日大生産工 坂田 憲泰

1. 緒言

熱硬化性樹脂をマトリックスとしたFRPには、低粘度で含浸性の良いエポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂などが使われている。近年では、加熱により再溶融ができ、二次賦型が容易で、リサイクルやリユースが可能のため熱可塑性樹脂をマトリックスとしたFRTPが注目されている。しかし、熱可塑性樹脂は融点以上に加熱しても粘度が高く、繊維束内部へ樹脂を充填するためには高温・高圧力・長時間が必要のため、低粘度な樹脂を注入するだけで済むFRPの成形とは異なり、簡易な設備ではできないといった課題がある。その一方で、Benら¹⁾は現場重合型ポリアミド6をマトリックスとし、FRPのように簡易な設備で、優れた機械的特性を有するFRTPの開発を行っている。

近年、自動車の省エネルギー化、走行抵抗の低減の観点から自動車の車体の軽量化ニーズが高まっており、軽量素材であるFRPが注目され、自動車への適用研究が実施されている²⁾。FRTP及びFRPを自動車の構造体への適用を考えた場合、自動車の衝突時に車体は高速で大変形をするため、静的及び動的の強度と破断特性を概観出来ることが重要となる。

本研究では、平織ガラス繊維と現場重合型ポリアミド6 (PA6) を用いたGFRTPと、平織ガラス繊維と速硬化型エポキシ樹脂を用いたGFRPを成形し、単軸引張モードにおける0°/90°材及び±45°材の静的と動的の強度を評価した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 評価材料の成形

本研究では、熱可塑性樹脂をマトリックスとしたFRTPと熱硬化性樹脂をマトリックスとしたFRPを直接比較するため、2種のマトリックス樹脂を準備した。熱可塑性樹脂には、ε-カプロラクタムのアニオン重合を利用した現場重合型PA6を用い、熱硬化性樹脂には速硬化型エポキシ樹脂を用いた。強化繊維には平織ガラス繊維（織り密度：縦・横20本/25mm）を用いた。評価するFRTP及びFRPの板厚は1mmとし、平織ガラス繊維（0.21mm/ply）は5plyとした。

試験片を採取するFRTPとFRPの板は、金型内を真空にし、樹脂を繊維へ含浸させるVaRTM法によって成形した。成形法の概略をFig.1に示す。FRTP板の成形では、110℃の樹脂を140℃の金型に注入し、FRP板の成形では50℃の樹脂を80℃の金型に注入する。成形後のGFRTP板とGFRP板の繊維体積含有率（Vf）は約38%であった。

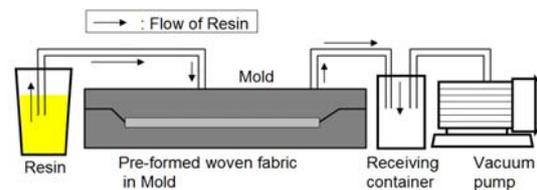


Fig.1 Schematic view of VaRTM

2.2 試験片の作製

静的引張試験と動的引張試験を用いる試験片の形状は、動的引張試験機に設置可能な幅と長さの制約条件より決定した（Fig.2）。試験片は、2.1節で成形したFRTP板及びFRP板から繊維方向に切り出した0°/90°材と、繊維方向に対して45°方向に切り出した±45°材の2種類とした。なお、0°/90°材では試験片の繊維方向の引張特性の評価、±45°材では面内せん断特性の評価を行う。試験片のつかみ部には、試験片と同材質のタブを用い、2液混合型のエポキシ接着剤を用いて試験片の両面に接着させた。

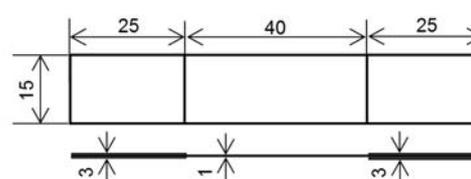


Fig.2 Specimen of Tensile Test

2.3 試験方法

静的引張試験には、Instron社製の静的引張試験機を用い、引張速度は1mm/minとした。動的引張試験には、鷺宮製作所社製の検力ブロック式高速引張試験機を用い、引張速度の目標値は5m/sec、10m/sec、15m/secの3種とした。試験片本数は各条件に対し3本としたが、バラツキが大きかった0°/90°材の動的引張試験の目標引張速度10m/secと15m/secについては、試験片本数は4本とした。

3. 試験結果

静的引張試験の代表的な応力-ひずみ線図をFig.3に示す。0°/90°材の結果では、GFRTP、GFRP共に繊維破断し、GFRTPの引張強度が232.6MPa、GFRPの引張強度が245.7MPaとなった。一方、±45°材の結果では、GFRTPの引張強度が94.3MPa、GFRPの引張強度が136.4MPaとなったが、破断ひずみはGFRPが9.9%であったのに対し、GFRTPは18.2%となった。これは、現場

Evaluation of Strength and Fracture by High-Speed Tensile Test of the FRTP and FRP
Nao SUGIMOTO, Goichi BEN and Kazuhiro SAKATA

重合型PA6の樹脂板の引張強度が85.9 MPa、破断ひずみが16.1 %、速硬化型エポキシ樹脂の樹脂板の引張強度が74.1 MPa、破断ひずみが5.52 %となっていることから³⁾、 $\pm 45^\circ$ 材では樹脂の影響が大きく現れたからだと考えられる。

動的引張試験の $0^\circ/90^\circ$ 材の結果をFig.4に、 $\pm 45^\circ$ 材の結果をFig.5に示すが、縦軸は引張強度、横軸はひずみ速度となっている。Fig.4より、 $0^\circ/90^\circ$ 材ではGFRTP、GFRP共に、ひずみ速度の増加に伴い引張強度は増加し、ひずみ速度230/sでは、静的引張強度より44%と35%引張強度が向上した。また、両試験片とも繊維破壊し、GFRTPとGFRPで大きな差は見られなかったが、これは $0^\circ/90^\circ$ 材では主としてガラス繊維のひずみ速度依存性が支配的になっているからだと推察される。一方、Fig.5の $\pm 45^\circ$ 材においては、ひずみ速度が130/sより大きくなると、GFRTPとGFRPの強度差は小さくなり、引張強度はFig.3の $0^\circ/90^\circ$ 材の値と概ね一致したが、このメカニズムについては、今後、FEM解析を用いて調査する。

$0^\circ/90^\circ$ 材と $\pm 45^\circ$ 材の動的引張試験の荷重-変位線図の一例として、目標速度5 m/secの結果をFig.6に示す。 $0^\circ/90^\circ$ 材では最大荷重と、荷重-変位線図の面積から得られる吸収エネルギーはGFRTPとGFRPで大きな差は見られなかった。一方、 $\pm 45^\circ$ 材では最大荷重はGFRPの方が15%高くなったが、吸収エネルギーはGFRTPの方が42%高い結果となった。このことから、 $\pm 45^\circ$ 材の衝撃吸収エネルギー能に注目し、ひずみ速度と吸収エネルギーの比較を行った結果をFig.7に示す。Fig.7より、GFRTPの $\pm 45^\circ$ 材は動的引張においてGFRPより約2倍の吸収エネルギー能を示すことが分かった。

4. 結言

平織ガラス繊維を用いたGRRTP及びGFRPの $0^\circ/90^\circ$ 材及び $\pm 45^\circ$ 材の静的・動的引張試験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) $0^\circ/90^\circ$ 材の引張強度のひずみ速度依存性はガラス繊維のひずみ速度依存性が支配的となり、GFRTPとGFRPとの間に大きな差異は見られなかった、
- (2) $\pm 45^\circ$ 材の変位-荷重線図より、GFRTPの $\pm 45^\circ$ 材は高い衝撃吸収性を有していることがわかった。

謝辞

本研究は、平成26年度研究科特別経費（学生分）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) G BEN, A. HIRABAYASHI, K. SAKATA et al., Science and engineering of composite materials, DOI:10.1515/secm-2014-0013.
- 2) 太田全也, 谷口庸一, 山森嘉則, 田中隆司, 自動車技術, 65巻8号, 130-143.
- 3) G BEN and W. ISHIDA, Proceedings of the ASC 2014, CD-R.

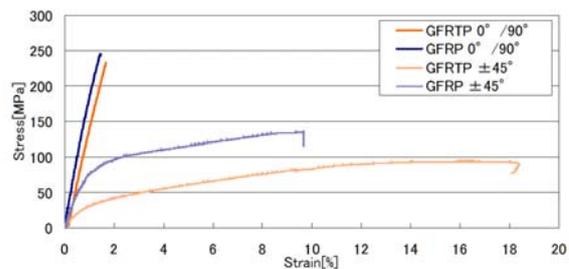


Fig.3 Result of Static Tensile Test

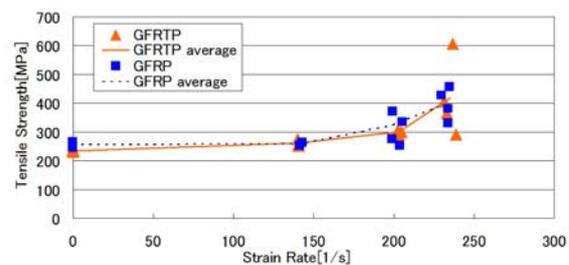


Fig.4 Result of Dynamic Tensile Test of $0^\circ/90^\circ$ Direction

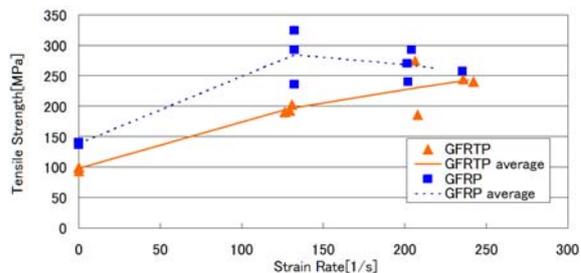


Fig.5 Result of Dynamic Tensile Test of $\pm 45^\circ$ Direction

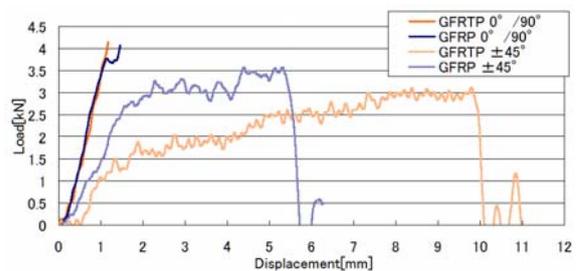


Fig.6 Displacement-Load Curve of Dynamic Tensile Test (5m/sec)

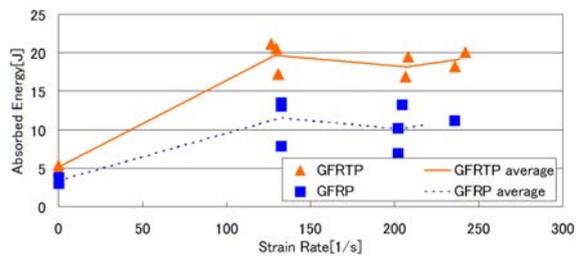


Fig.7 Strain Rate-Absorbed Energy Curve of Dynamic Tensile Test ($\pm 45^\circ$ Direction)