

F RTP と FRP の衝撃圧縮特性

○日下部 智史(日本大学大学院) 杉本 直(日本大学大学院)
 邊 吾一(日大) 坂田 憲泰(日大)

1. 緒言

繊維強化プラスチック (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、加熱しても再溶融する事が出来ず、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 (F RTP) は、架橋構造を持たない直鎖状の高分子マトリックスで、加熱により再溶融が可能のため、リサイクルやリユースが可能であり、環境負荷の少ない材料として注目されている。

本研究では、現場重合型ポリアミド 6 をマトリックスとした CF RTP と GF RTP, 速硬化型エポキシ樹脂をマトリックスとした CFRP と GFRP を成形し、衝撃圧縮試験を行い、静的圧縮試験の結果と比較をおこなった。

2. 供試体

2.1 マトリックス樹脂と強化材

F RTP のマトリックス樹脂は、触媒と活性剤を用いてモノマーの ϵ -カプロラクタムに重合させることによってポリマーのポリアミド 6 となる。 ϵ -カプロラクタムは室温では粉末状態だが、70℃以上で液体となり、粘度は 110℃で 3~4 mPa・s で、ゲル化時間は 1 分以内である¹⁾。FRP のマトリックス樹脂には、速硬化型エポキシ樹脂 (ナガセケムテックス, HICY-11) を使用した。粘度は 50℃で 75 mPa・s で、ゲル化時間は約 6 分である。GF RTP と GFRP の強化材にはガラス繊維織物 (日東紡績, WEA22F-BX), CF RTP と CFRP の強化材には炭素繊維織物 (東レ, C06347B) を使用した。ただし、炭素繊維の集束剤に含まれているカルボン酸成分が、 ϵ -カプロラクタムの重合を阻害する可能性があるため、炭素繊維は成形前

にアセトン洗浄を行い集束剤は除去した。

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。そのため成形には、水分管理が可能で、比較的簡便な真空ポンプシステムにより樹脂が注入出来る VaRTM 法を用いた^{2,3)}。

F RTP 板の成形では、まず金型を 140℃に加熱し、真空ポンプを用いて金型内部を大気圧から -90 kPa 減圧した。原料は 110℃で加熱し、溶融後、素早く混合してモノマー融液とし、140℃に加熱した金型内へ注入した。ガラス繊維の積層数は 10 ply, 炭素繊維の積層数は 8 ply とし、成形後の F RTP 板の板厚は 2 mm とした。FRP 板は F RTP 板と同じ積層数と板厚とし、金型温度と樹脂温度のみ、それぞれ 80℃と 50℃に変更した。なお、燃焼法で測定した試験片の V_f は約 38%となった。

3. 圧縮試験

3.1 試験方法

各試験片の圧縮特性を評価するために JIS K 7076 を参考に圧縮試験を行った。試験片本数は 5~7 本とした。試験片寸法は、全長 80 mm, 幅 12 mm, 厚さ 2.0 mm で、短冊型試験片の両端に、試験片と同質のタブを使用し、接着剤 (住友スリーエフ, DP-460) にて試験片とタブを接着させた。標点間距離は 7 mm とし、その表裏に 1 mm のひずみゲージを貼り付け、それらの平均値を圧縮ひずみとした。試験荷重は、治具内部に設置したロードセルを用いて測定した。

静的圧縮試験には、オートグラフ (島津製作所) を用い、試験速度は 1 mm/min と 420

Impact compression properties of F RTP and FRP

Satoshi KUSAKABE, Nao SUGIMOTO, Goichi BEN and Kazuhiro SAKATA

mm/min に設定した。ひずみ速度は、試験速度を標点間距離で除して算出した。

衝撃圧縮試験には、自由落下試験機と空圧式衝撃試験機を用い、試験時には予め治具に付けておいた印を高速カメラ (PhantomV7.1) で撮影し、画像解析ソフト (Motion Analyzer) を用いて変位を測定し、ひずみ速度を算出した。高速カメラの撮影速度は 50,000fps とした。

3.2 試験結果

各試験片の圧縮強度及び圧縮弾性率の平均値を Table 1 に、CFRTP と CFRP, GFRTTP と GFRP の圧縮強度とひずみ速度の関係を Fig.1 と Fig.2 に示すが、試験片は全て標点間部で斜め 45°方向にき裂が進展して破壊した。CFRTP では圧縮強度にひずみ速度依存性がわずかに確認できたが、CFRP ではほとんど確認できなかった。一方、GFRTTP と GFRP では、圧縮強度においては明らかなひずみ速度依存性が確認でき、この傾向は井上らが実施した実験結果とも一致した⁴⁾。また、圧縮弾性率についても圧縮強度と同じような傾向を得た。

Table 1 Test results of compressive strength and modulus.

Specimen	Strain rate [s ⁻¹]	Compressive strength [MPa]	Compressive modulus [GPa]
CFRTP	10 ⁻³	388	40.8
	10 ⁰	448	41.2
	10 ² ~10 ³	470	49.3
CFRP	10 ⁻³	546	45.4
	10 ⁰	530	42.3
	10 ² ~10 ³	536	48.5
GFRTTP	10 ⁻³	255	16.9
	10 ⁰	293	18.5
	10 ² ~10 ³	401	20.6
GFRP	10 ⁻³	308	21.1
	10 ⁰	307	18.3
	10 ² ~10 ³	436	23.8

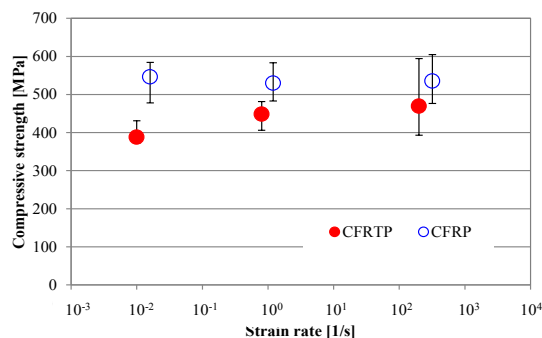


Fig.1 Relationship between compressive strength and strain rate of CFRTP and CFRP.

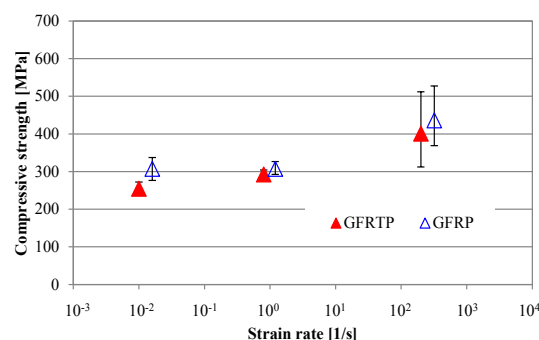


Fig.2 Relationship between compressive strength and strain rate of GFRTTP and GFRP.

5. 結言

同じ強化材を用い、母材樹脂に現場重合型ポリアミド 6 と速硬化型エポキシ樹脂を用いた CFRTP と CFRP, GFRTTP と GFRP の衝撃圧縮試験を行い、静的試験の結果と比較した結果、以下の結論が得られた。

- 1) GFRP と GFRTTP は、CFRP と CFRTP と比較して、強度と弾性率に及ぼすひずみ速度依存性が大きい。
- 2) GFRTTP と GFRP は、繊維のひずみ速度依存性が大きいいため、樹脂が静的及び動的の圧縮強度に与える影響は小さい。

参考文献

- 1) G.Ben, A.Hirabayashi, K.Sakata, K.Nakamura and N. Hirayama, Evaluation of new GFRTTP and CFRTP using epsilon caprolactam as matrix fabricated with VaRTM, Science and Engineering of Composite Materials, Published online (2014), DOI : 10.1515/secm-2014-0013.
- 2) 邊吾一, 大関輝, 中村幸一, 平山紀夫, 生井沢正樹, 小林正俊, 東弘英, カーボン織物と現場重合熱可塑樹脂を用いた CFRTP の機械的特性と成形条件, 日本複合材料学会誌, 39, 4, 2013, 127-134.
- 3) 中村幸一, 邊吾一, 平山紀夫, 西田裕文, 現場重合型ポリアミド 6 をマトリックスとした GFRTTP の機械的特性に及ぼす成形条件の影響, 日本複合材料学会誌, 37, 5, 2011, 182-189.
- 4) 井上直紀, 谷口憲彦, 西脇剛史, 平山紀夫, 中村幸一, 荒尾与史彦, 川田宏之, 構成材のひずみ速度依存性の影響を考慮した一方向 FRP の圧縮強度予測, 日本機械学会誌 (A 編), 78, 793, 2012, 1284-1299.