高速引張り試験による AFRP の動的特性

Dynamic Behavior of AFRP under Tensile Impact Force

○学 渡邊 裕正 (三重大院)
正 佐脇 豊 (三重大)

正 中西 栄徳 (三重大)
正 五十君清司 (三重大)

Hiromasa WATANABE, Eitoku NAKANISHI, Yutaka SAWAKI and Kiyoshi ISOGIMI
Department of Mechanical Engineering, Mie Univ., Kamihama 1515, Tsu 514-8507, Japan

Key Words: AFRP, Aramide fiber, one bar method, sprit hopkinson bar method

1 緒言

FRP は金属や木材, あるいはコンクリートなどに代わる新しい工業材料として発展する高強度, 高弾性な素材であることがよく知られている. また耐熱性, 耐食性の優れた樹脂の開発により, それらの特性をもあわせもつようになった⁽¹⁾. 強化繊維の中でアラミド繊維(Aramid Fiber; AF)は, 炭素繊維やガラス繊維に比べて衝撃強度が高く, 複合材料とした場合, CFRP や GFRP と異なりアルミニウムに類似した金属的延性挙動を示す特徴をもち, 有機材料である点も含めて高分子系複合材料の強化材として注目を集めている⁽²⁾. そこで本研究では, 衝撃負荷作用時における動的引張応力-ひずみ関係を明らかにして, さらに大きな強度を発揮することができる AFRP を開発する方向を探ることを目的とした⁽³⁾. 本報ではアラミド繊維を強化繊維とする, アラミド長繊維プラスチックの動的引張特性を解明するため one bar method⁽⁴⁾を用い実験を行い, その動的引張特性について検討を行った.

2 実験原理

本研究では one bar method によって動的引張特性を調べた. 図 1 に one bar method の原理図を示す. one bar method では試験片を衝撃ブロックと出力棒の間に取り付け, 衝撃ブロックに衝撃を与える. このとき試験片は高速引張り荷重をうけ動的応力を生じる. この動的応力は出力棒中に伝播するので棒中の応力波を測定して得られる. 出力棒は十分長いので末端からの反射波が介入してくる前に測定が終わる.

Fig. 1 Principle of one bar method

材料の公称応力 $\sigma(t)$ および公称ひずみ $\varepsilon(t)$ は

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{l} \int_0^t \left[V(\tau) - c \varepsilon_g \left(\tau + \frac{a}{c} \right) \right] d\tau \quad (1)$$

$$\sigma(t) = \left(\frac{S_0}{S} \right) E_0 \varepsilon_g \left(t + \frac{a}{c} \right) \quad (2)$$

で与えられる. ここで l : 試験片の長さ, $V(t)$ は衝撃ブロックの移動速度, c : 出力棒の縦弾性波伝播速度, E_0 : 出力棒のヤング率, S_0 : 出力棒の断面積, S : 試験片の断面積, $\varepsilon_g(t)$: 出力棒の C 点でのひずみ, a : 出力棒に貼り付けたひずみゲージから出力棒先端までの距離である. この中で測定すべき値は, 衝撃ブロックの移動速度 $V(t)$ と出力棒の点 C でのひずみ $\varepsilon_g(t)$ の二つである. また材料中の縦弾性波伝播速度 c は材料のヤング率 E_0 と密度 ρ を用いて次式で表される⁽⁴⁾.

$$c = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}} \quad (3)$$

3 実験方法

本研究における実験装置の概観を図 2 に示す. ここでは衝撃ブロックにアルミを用い, 出力棒にアクリル樹脂(MA)の丸棒(長さ 1m, 直径 20mm)を用いた. 本実験で用いたアクリル樹脂(MA)の物性値を表 1 に示す.

Table.1 Properties of acrylic resin (MA)

E_0 [GPa]	ρ [kg/m ³]	c_0 [m/s]
3.1	1190	1614

Fig.2 Experimental setup for impact tensile test

次に実験手順を示す。試験片の一端にアルミ製の衝撃ブロックを取り付け、他端を出力棒先端に固定する。振り子式のハンマ(全長 300mm)で衝撃ブロックに衝撃力を加え、出力棒先端から 30mm の位置に貼り付けたひずみゲージ(共和製)で出力棒のひずみを測定した。また衝撃ブロックの移動速度 $V(t)$ は、ハンマの移動速度と同一とみなし、ハンマの速度をフォトインタラプタ装置により測定した。

4 試験片

本研究ではマトリックスに不飽和ポリエステル樹脂を、強化繊維にアラミド長繊維を軸方向に含有する AFRP 試験片を作成した。この AFRP 試験片に加えて、不飽和ポリエステル樹脂のみの試験片を比較対照のために製作、使用した。本実験に使用した試験片形状を図 3 に示す。図に示す $X, Y, L_1 \sim L_5$ の寸法を試験前に測定し、断面積の変化を求め、ひずみを算出した。

以下に試験片の製作方法を示す。3 時間の真空引きによって不純物及び気泡を取り除いた不飽和ポリエステルに硬化剤(メチルエチルパーオキシドのジメチルフタレート溶液)を 1 w % 混合し、アラミド長繊維を通してある内径 4.5mm の円筒に流し込み、常温で 24 時間かけて硬化させる。その後円筒をはずして定温乾燥機中(353k)で 3 時間アフターキュアを行った後に徐冷し、供試試験片とした。

Fig.3 Dimensions of specimen

5 実験結果及び考察

実験において得られた種々の力学特性曲線を図 4~6 に示す。図 4 は時間に対する試験片の応力変化を示し、図 5 は試験片の時間に対するひずみ変化を示す。図 6 には応力ひずみ関係を示した。図 4 の応力-時間曲線ではアラミド繊維を含有する試験片、マトリックスのみの試験片ともに時間に対して若干上に凸の曲線を描いて増加している。またアラミド繊維を含有する試験片においては、マトリックスのみの試験片に比べ最大応力の面で勝っているのが分かる。図 5 のひずみ-時間曲線は、両試験片共に時間に対して直線的にひずみが増加している。これは試験片に対してハンマの秤量が大きすぎるため、試験片破断時のハンマの速度変化が少なすぎるためであると考えられる。また図 6 に示す応力-ひずみ曲線では、アラミド繊維を含有する試験片、マトリックスのみの試験片ともにひずみが増加するにつれて、若干上に凸の曲線を描いて増加している。またアラミド繊維を含有する試験片ではマトリックスのみの試験片に比べて応力に対するひずみが大きい。アラミド繊維を含有することで吸収エネルギーの増加に加え、延性を付すことができたと考えられる。

Fig.4 Curve of stress versus time

Fig.5 Curve of strain versus time

Fig.6 Stress-strain diagrams of AFRP and polyester

6 結言

以上より次のようにまとめられる。

- one bar method を用いて実験を行うことにより、AFRP の応力-ひずみ線図を得ることができた。
- アラミド繊維を含有することで最大応力、吸収エネルギーを増加させ、延性を与えることができる。
- ハンマの秤量を小さくすることで、より正確にひずみの測定ができると考えられる。

参考文献

- (1) 田中良平, 澤岡昭, 石川欣三: 未来を開く新素材, 森北出版
- (2) 海老原熊雄: 新素材ハンドブック, 集美堂
- (3) Yang Wang, Yuanming Xia. A modified constitutive equation for unidirectional composites under tensile impact and the dynamic tensile properties of KFRP, Composites Science and Technology, 60 (2000), pp.591-596
- (4) 河田幸三: 材料力学, 朝倉書店