412 炭素繊維への余荷重による CFRP の強度向上の評価 Evaluation of improved strength for prestressed CFRP

○学 久多良木 一馬(東海大) 学 松尾 敦(東海大) 学 原田 康人(東海大)
学 平野 充(東海大) 学 田中 和徳(東海大) 正 西 義武(東海大)

Kazuma KUTARAGI, Department of Materials Science, School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan
Atsushi MATSUO, Department of Materials Science, School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan
Yasuhito HARADA, Department of Materials Science, School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan
Mitsuru HIRANO, Department of Metallurgical Engineering, Graduate School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan
Kazunori TANAKA, Department of Metallurgical Engineering, Graduate School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan
Yoshitake NISHI, Department of Materials Science, School of Engineering, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292, Japan

There are prestressed concrete that inserted pre-tension to the piano steel as a means of enhancement of concrete strength. If the prestressed treatment can be applied for carbon fiber reinforced polymer, it can enhance the specific strength, elasticity and fracture stress of the use of aerospace engineering's carbon fiber reinforced in polymer. That is able to enhance the specific strength, elasticity and fracture stress of carbon fiber reinforced in polymer applied for aerospace engineering. The purpose of the present work is to evaluate influences of prestressing on mechanical property of carbon fiber reinforced in polymer such as elasticity and fracture stress.

Keywords: Prestressed, CFRP, Carbon fiber, Young modulus, Fracture stress

1. 緒言

炭素繊維のシートなどに樹脂を複合化させたものを炭素繊維強化プレチック(CFRP)という。これは軽量で高強度、高弾性率、それ以外にも様々な特性を持っていることから、多様な分野に利用されている。これ以外にも様々な樹脂にアラミド繊維やガラス繊維を導入し、強化することは行なわれており、これら CFRP や AFRP として色々なところで活用されている。炭素(ガラス)繊維を混入した樹脂成形品は機械的強度が高いことから炭素(ガラス)繊維強化樹脂と呼ばれ、航空機やスポーツ用具の材料として使用されている^{1),2)}。従来の CFRP(GFRP)は、繊維を単に引きそろえ、あるいは織物にしてから樹脂を含浸し成形している。航空機などに主に用いられているものは、さらに強度を増加する処理が期待されている。しかし、強度を増加する処理は今現在本研究グループが提案している電子線照射処理^{3),4),5)}程度しか見当たらない。この処理では表面から多くても 200 μm 程度の深さしか効果が現れない。そのため、表面から破壊が始まる疲労強度や衝撃破壊では有効であるが、数 cm 以上の厚さの CFRP では効果が低下する。よって新たな強化方法が求められている。

本研究で開発した余歪強硬化処理は試料厚さに関係なく、効果が発揮できる。そのため余荷重による CFRP の基礎的な機械的特性を評価することを目的とした。

2. 実験方法

試料作製方法

作製方法は建築で用いられるプレストレスコンクリート工法のプレテンション方式と同様の方法で試料作製を行った。図 1 に示すように炭素繊維束の両端を樹脂で埋めて、ジャッキアップで繊維に予めストレスを与えることによって炭素繊維束と樹脂の付着により炭素繊維に伝えてプレストレスを与える方法で試料作製を行った。本実験では炭素繊維にプレストレスを加える必要があるため、図 2 示す炭素繊維に余荷重を加える装置を用いて実験を行った。そして、この装置で余荷重を加え、緊張された炭素繊維束に樹脂を流し込み成形体の作製を行った。

炭素繊維は、東レトレカ M30SC-18000、樹脂は熱硬化性二液混合エポキシ樹脂(日新レジン)を用いた。まず、炭素繊維束に余荷重を加える前に予め混合したエポキシ樹脂を炭素繊維束に含浸させた。余荷重前の含浸は炭素繊維と樹脂の付着力を高めるために行った。そして、炭素繊維束には余荷重(1kg、5kg、10kg、15kg、20kg)を徐々に加えて、必要な荷重までジャッキアップして余荷重を加えた。以上のように準備した炭素繊維束は図 2 の装置の中にあるプール状になったアルミ型にセットした。次に、型に二液混合したエポキシ樹脂を流し込み、室温(298 K)で硬化させた。樹脂が硬化後(24h)、炭素繊維束に加えた余荷重を徐々に取り除き、その後、試料を型から取り出した。型には試料が型に付着しないように離型剤を塗布した。最後に、取り出した試料は JIS 試験片形状(K7113 一号試験片に準拠)に加工した。加工面は紙やすりで整えた。

使用した炭素繊維束は 18000 本、標点間距離内の平行部断面積は 12mm²であった。よって、標点間距離内の炭素繊維と樹脂の体積含有比は炭素繊維 : 樹脂 = 4 : 96 であった。

Fig1. Schematic drawing of application

Fig.2 Schematic drawing of sample preparation of carbon fiber in resin

Fig.3 Schematic drawing of sample obtains system

試験方法

引張試験

本研究では引張応力による強化が期待できるため、試験は引張試験を行った。

ひずみ速度は $5.56 \times 10^{-4}/s$ と一定にした。本試験では荷重-変位を測定し、 $\sigma = mg/s$ と式 $\epsilon = \lambda / l_0$ を用いて応力-歪曲線を作成した。 σ は応力(MPa)、 m は荷重(kg)、 g は重力加速度(m/s^2)、 s は試料断面積(mm^2)、また、 ϵ は歪、 λ は変位(mm)、 l_0 は標点間距離(mm)である。試験機にはインストロン社製引張試験機を用いた。

硬さ試験

プレストレス効果を確認するために、硬さ試験を行った。これは炭素繊維が母材に与えるプレストレスの影響を確認することが目的である。今回はマイクロビッカース硬さ試験機を用いた。各試料に対し同一荷重で5点試験を行った。

ビッカース硬さは対面角 136° の静止角錐ダイヤモンド圧子を用いた。試験面にピラミッド形のくぼみを付けたときの荷重を永久くぼみの対角線の長さから求めた表面積で除した商をいい、式 $HV = 0.120(2P \sin \theta / 2) / d^2 = 0.1891 \times P / d^2$ で硬さを算出した。HV はビッカース硬さであり、 P は荷重(N)、 d は圧痕径(μm)である。 θ は圧子の対面角である。 $(1/g = 1/9.80665 = 0.102)$ 試験機は株式会社アカシ製マイクロビッカースを用いた。

3. 結果

Fig.3 に引張試験における各プレストレス CFRP の応力-ひずみ曲線を示す。この図から試料に加えるプレストレスの応力の違いによって、応力-ひずみ曲線に変化が生じることを確認した。

特に、プレストレス応力が 8.2MPa の時の試料は、0.8MPa の時のプレストレス処理をほとんど施していない試料に比べて、応力-ひずみ曲線において、傾き、破断応力、破断ひずみのどの値も増加していることが確認した。このこと

から、プレストレス処理によって、試料の破壊強度が増加していることが確認できた。

また、各プレストレス応力が変化するにつれて、母材であるエポキシ樹脂の強度の変化を確認するために硬さ試験を行った。その結果、各プレストレス応力が増加することによって、硬さは増加傾向にあることを確認した。つまり、プレストレス処理によって、母材であるエポキシ樹脂にも影響を与えていることが確認できた。

Fig.4 Stress-strain curves of prestressed CFRP.

4. 考察

炭素繊維束に余荷重を加えた CFRP のプレストレス処理は、CFRP の機械的強度を向上させた。これは余荷重によって緊張された炭素繊維が、試料全体に伝わると、マトリックス相内部に圧縮応力が発生する。それがマトリックス全体に内部応力を発生させ、クラックの発生や成長を妨げるように働くために破壊強度向上させたと考えられる。

余荷重を加えた試料は、マトリックス相内部に多くのエネルギーが蓄積される。そのため、破壊は脆性的な破壊挙動を示す。そのため、母材の内部応力はプレストレス応力が増加すれば高まるので、硬さはプレストレス応力が高いほど増加したと考えられる。

5. 結言

本研究の結果、プレストレス処理によって、破壊強度を向上させた。さらには炭素繊維と樹脂の界面の付着力による母材の強化も確認した。よってプレストレス処理は CFEP を強化する有効な方法であることが確認できた。

6. 文献

- 1) J. D. Brooks and G. H. Taylor: Carbon 3 (1965) 185-192.
- 2) T. Chang and A. Okura: Trans. ISIJ 27 (1987) 229-237.
- 3) Y. Nishi, T. Toriyama, K. Oguri, A. Tonegawa and K. Takayama, J. Mater. Res., 16 (2001) 1632-1635.
- 4) Y. Nishi, A. Mizutani, A. Kimura, T. Toriyama, K. Oguri and A. Tonegawa, J. Mater. Sci., 38 (2003) 89-92.
- 5) A. Mizutani and Y. NISHI, Materials Transactions.44 (9), (2003) 1857-1860.
- 6) Y. NISHI and K.TANAKA, Materials Transactions.47 (7), (2006) 1821-1825.
- 7) K. Iwata, A.Tonegawa and Y. Nishi, J. Mater. Sci., 69 (2005) 380-384.