

Electrical Resistance Change Measurement of CFRP under Cyclic Load

轟 章 (東工大)

Akira TODOROKI

Tokyo Institute of Technology

2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

○ 森原 理絵 (東工大)

Rie MORIHARA

Graduate Student of Tokyo Institute of Technology

Key Words:

CFRP, electrical resistance change method, electrode, cyclic load

(論文要旨)

1. 緒 言

炭素繊維複合材料 (CFRP) は、比強度及び比剛性に優れるため、航空機器などの輸送機器構造に適応されている。炭素繊維は導電性を有することから、この特性を利用し、CFRP 内部に電流を流し電気抵抗変化を測定することで、CFRP の構造ヘルスマモニタリングが可能であり、現在実用化に向けた研究が盛んになされている。CFRP はその構造上、薄いプライを積層した積層構造のため、層間に剥離したり、また繊維とマトリックス樹脂で構成されているため、マトリックスの割れや繊維破断などの損傷が生じたりする。これらの損傷は目視検査が困難なことから、X 線を用いた非破壊検査などが採用されているが、専用の設備が必要であるという難点がある。既存の損傷検査方法と比較して容易に CFRP の内部損傷を検査する方法として電気抵抗変化法がある。この電気抵抗変化法は CFRP 積層板の損傷を電気抵抗の変化によって検知する非破壊検査方法である。この手法を用いた場合、CFRP 積層板内部の電気抵抗変化を測定することにより、層間剥離やマトリックス割れ、繊維破断が検知可能となる⁽¹⁾⁽³⁾。

電気抵抗変化を測定することにより、ニューラルネットワークを利用した炭素繊維の疲労損傷の検知については、Seo と Lee によって既に報告されている⁽⁴⁾。彼らは、CFRP の電気抵抗を測定するために、両端断面に電極を配置した試験片を用いて実験を行なった。しかしながら、実際に CFRP 積層板が使用されている航空機の翼や燃料タンクにおいて、この方法を適用するのは、構造上非常に困難である。著者らはこれまで、マトリックス割れや繊維破断、層間剥離について、表面に電極を配置した CFRP 積層板試験片を用いて、電気抵抗を測定し、その損傷検知を行なってきた⁽³⁾⁽⁵⁾。この CFRP 表面に電極を配置する方法は、構造物の部材形状を考えると、より実用的な方法である。手法としては確立されている表面電極による検査方法ではあるが、実機に適用するには長期間にわたっての電極の信頼性を確保する必要がある。しかしながら、今まで電気抵抗変化を用いた損傷検知に関する電極の信頼性については研究がなされていない。

本研究では、電極の信頼性を評価するため、一方向 CFRP 積層板を用いて、疲労試験を行い、電極の大ひずみおよび長期の信頼性について評価することを目的とする。

2. 試験片及び実験方法

2-1 試験片

疲労試験に用いる CFRP 試験片形状を図1に示す。試験片は三菱レイヨン製一方向 CFRP プリプレグ PYROFIL #380 により成形した [0₂] 積層板 (250 mm × 200 mm) から、長さ 200 mm、幅 12.5 mm に切り出して作成した。積層板は電気炉、真空ポンプ、プレス型治具を用い、130℃、0.7 MPa の成形条

件を90分間一定に保ち成形した。試験片の両端には掴み部保護のため、長方形 GFRP タブを加熱一液加熱硬化型接着剤 (SW214, 住友スリーエム) を用いて貼付した。試験片の片面には、銅メッキにより、試験片長手方向に 6 mm、幅 12.5 mm、電極間隔 30 mm の電極を配置した。濃硫酸により表面処理を行なうことで、表面層の樹脂や表面に付着している CFRP 製作時の離型剤等を除去した後、湿式メッキ法の中でも電気メッキ法を用いてメッキを施した。電解溶液には硫酸銅を用いて、陰極には被メッキ物として試験片を配置し、CFRP 表面に銅メッキ電極を作成した。電極部分は導線をハンダ付けした銅箔に銀ペーストを用いて電極に接着した後に、エポキシ樹脂系接着剤 (アラルダイト AR-R30, ニチバン) を用いてコーティングした (図2)。電極部分の断面写真を図3に示す。図3より、銅メッキ部分と炭素繊維の接着が良好であることがわかる。

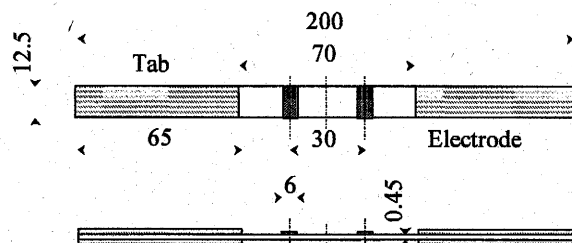


Fig.1. Configuration of the specimen

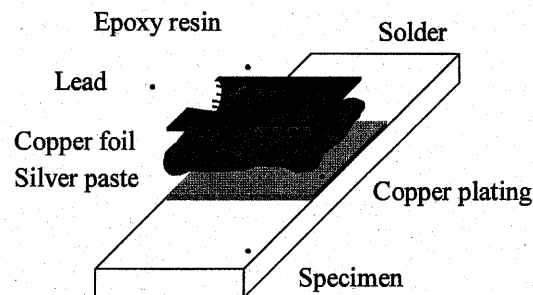


Fig.2. Electrode

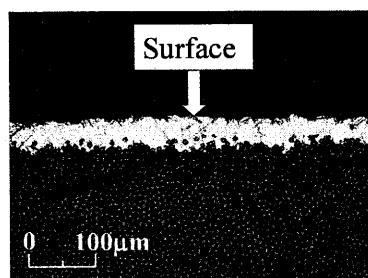


Fig.3. Cross section of the electrode

2-2 電気抵抗変化測定方法

CFRP試験片の電気抵抗変化は、LCRメータを用いて初期抵抗を測定した後、可変抵抗を用いたブリッジ回路および汎用動ひずみアンプを適用し、電気抵抗変化をひずみとして測定した。電気抵抗変化とひずみの関係は次式のようになる。

$$\frac{\Delta R}{R} = k_s \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 ΔR は電気抵抗の変化量、 R は初期抵抗、 k_s はゲージ率、 ε はひずみ量である。繰返し荷重によって変動する電気抵抗は、デジタルマルチメータPC510（三和電気計測）を用いて、真の交流実効値に換算して記録した。

2-3 疲労試験

疲労試験は、MTS製油圧サーボ式試験機により、応力比 $R = 0.01$ の引張 - 引張繰返し荷重を負荷させた。静的引張強度の80%の荷重を負荷荷重レベルとして維持し、繰返し速度は10Hz、荷重波形は正弦波とした。疲労時の電気抵抗の変化をデジタルマルチメータにて真の実効値に変換して計測した。実験に先立ち、本研究に用いた試験片にて、静的引張試験を行い、静的引張強度を求めた。静的引張試験は変位制御にて行なった。負荷速度は0.2 mm/secとした。

3. 実験結果および考察

繰返し負荷時の最大ひずみを用いて整理したS-N関係を図4に示す。横軸が繰返し回数、縦軸が疲労試験を行なった際の最大ひずみである。図中の○印がCFRP試験片が繰返し荷重によって破断したときの結果を示し、△印が電極の疲労結果である。ここで示した電極の疲労とは、疲労試験に伴って試験片表面に縦割れなどの損傷が発生した時点を経験の寿命と定義した。図4の中で、実線で示しているのは、従来のひずみゲージの寿命曲線である。疲労試験の結果、CFRP表面に作成した電極は、すべての電極に対して汎用ひずみゲージの疲労寿命よりも長いことが示された。

図5に、疲労試験に伴う電気抵抗変化とひずみ値の結果の一例を示す。横軸には繰返し回数、縦軸は左側に疲労試験で得られたひずみ、右側に電気抵抗変化率を示した。電気抵抗は繰返し回数が300回付近より急激に上昇しはじめている。このとき、試験片掴み部では、繊維破断が生じ始め、試験片側面では、表面近傍の繊維に縦割れが確認できた。一方、試験機の変位により換算され測定されたひずみは、繰返し回数が増加に伴って徐々に増加している。このひずみの挙動は、試験片表面に縦割れが発生した後、縦割れ損傷が拡大したためと考えられる。損傷の検知という観点からいえば、電気抵抗の変化によって剛性を評価する本手法は、より明確にCFRP試験片表面に発生した損傷をとらえることができる。

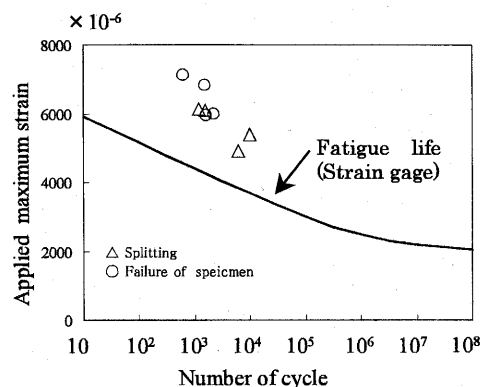


Fig.4 Fatigue life of CFRP, ERCM and conventional strain gage

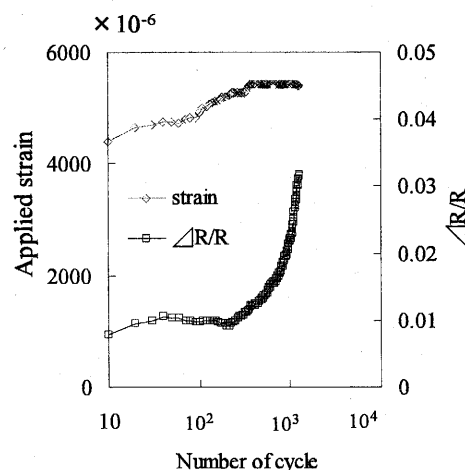


Fig.5 The change of electrical resistance and applied strain

4. 結 言

一方向CFRP試験片を用いて疲労試験を行なったところ、電気抵抗が変化することが確認できた。電極は一方向CFRP試験片の表面に設置した。電気抵抗の変化は試験片表面の疲労損傷に起因すること、また電極が疲労損傷に耐え得ることを確認した。

参考文献

- [1] K. Schulte and Ch. Baron: Comp. Sci. & Tech. Vol.36, (1989), p.63-76.
- [2] M. Ueda, A. Todoroki, Y. Shimamura and H. Kobayashi, Adv. Composite Mater., Vol.13, No.3-4, (2004), p. 311-324.
- [3] K. Omagari, A. Todoroki, Y. Shimamura and H. Kobayashi, Key Engineering Materials. Vols. 297-300, (2005), p. 2096-2101.
- [4] D. C. Seo, J. J. Lee, Composite Structures, vol.47, (1999), p. 525-530
- [5] A. Todoroki, Y. Tanaka, Y. Shimamura, Comp. Sci & Thec. 62, (2002), p. 1151-1160.