

正 島村 佳伸 (静岡大)      ○ 麦島 新 (東工大・学)  
正 轟 章 (東工大)

Yoshinobu SHIMAMURA, Shizuoka University, Johoku3-5-1, Hamamatu-shi, Shizuoka  
Arata MUGISHIMA, Tokyo Institute of Technology, Ookayama2-12-1, Meguro-ku, Tokyo  
Akira TODOROKI, Tokyo Institute of Technology, Ookayama2-12-1, Meguro-ku, Tokyo

**Key words :** CFRP, Moisture Absorption, Electrical Resistance Change

### 1. 緒言

炭素繊維強化複合材料 (CFRP) の開発と普及は近年目覚ましいものがあり、航空宇宙分野における適用が拡大している。CFRP 積層板の圧縮強度などの機械的性質は吸湿の影響で低下することが知られているが、CFRP 積層板はその不均質性、吸湿量の少なさなどの理由により、従来の吸湿率測定手法を適用することは困難である。

著者らは、吸湿に伴う交流電気特性の変化を用いたCFRP積層板の吸湿率測定手法を提案し<sup>(1)</sup>、吸湿に伴い繊維方向および繊維直交方向の電気抵抗が共に増加することを実験的に示した。繊維直交方向の電気抵抗の増加に関しては、繊維直交方向では試験片は繊維自体の抵抗と繊維間の接触抵抗の直列モデルとして近似できることから、膨潤により繊維間の接触抵抗が増加するためであると考えられる。しかし、繊維方向の電気抵抗増加についてはそのメカニズムは不明である。そこで本研究では、繊維方向の吸湿に伴う電気抵抗増加のメカニズムを検討するために、試験片の吸湿に伴う膨潤に着目し、実験的に検討を行った。

### 2. 試験片と実験方法

試験片は、三菱レイヨン製一方向CFRPプリプレグPYROFIL#380を用いて作成した。試験片寸法は、CFRP部分が60mm×15mm×0.2mmの短冊状とした。硬化条件は130℃×90minである。膨潤による繊維直交方向の変形を拘束するため、前述の寸法に切り出したCFRPプリプレグをガラス板と一体成形した拘束試験片と、比較のためにガラス板に接着しない非拘束試験片の二種類を用意した (Fig. 1 参照)。



a)Unconstrained      b)Constrained  
Fig.1 Unconstraint and constraint specimens

その後、試験片の両端部にそれぞれ2つずつ電極を銅メッキにより作成し、4電極法によって電気抵抗を測定した。

飽和塩法<sup>(2)(3)</sup>を用いて恒温恒湿度環境下で吸湿試験を実施した。本実験では、硫酸カリウム飽和水溶液を用いて相対湿度96%に保たれるようにした。温度は50℃とした。ここで用いた飽和塩法とは、空気中の水蒸気と飽和塩中の水分が特定の相対湿度で平衡を保つことを利用し所定の湿度の空間を作り出す方法である。Table1に各種の飽和塩を用いて実現できる相対湿度を示す。本実験で製作した恒湿度槽内の湿度を湿度センサを用いて測定したところ、相対湿度は96±2%程度で安定させることができていた。

Table 1 RH at equilibrium state with saturated solutions

| Temp.[°C] | Relative Humidity [%] |      |      |       |
|-----------|-----------------------|------|------|-------|
|           | MgCl2                 | NaBr | NaCl | K2SO4 |
| 30        | 32.4                  | 56.0 | 75.1 | 97.0  |
| 40        | 31.6                  | 53.2 | 74.7 | 96.4  |
| 50        | 30.5                  | 50.9 | 74.5 | 96.1  |
| 60        | 29.3                  | 49.7 | 74.4 | -     |
| 70        | 27.8                  | 49.7 | 74.1 | -     |

吸湿曲線をとるために、容器内に非拘束試験片、拘束試験片をそれぞれ6つずつ入れ、適当な時間間隔で容器を開け重量を測定した。重量の測定には島津製作所製電子天秤を用いた。

電気抵抗は試験片をHIOKI製LCRメータにつなぎ4電極法を用いて交流抵抗を測定した。電気抵抗測定に用いた交流周波数は1kHzである。測定は1時間ごとに行った (Fig. 2 参照)。

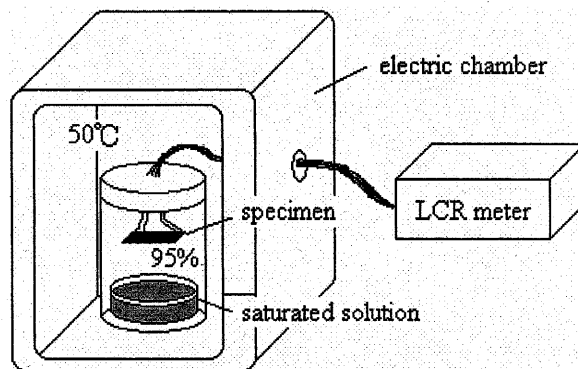


Fig.2 Configure of experimental apparatus

また、試験片表面にひずみゲージを取り付けた試験片も作成し、拘束試験片と非拘束試験片の表面の繊維直交方向ひずみを測定した。

### 3. 結果と考察

非拘束試験片、拘束試験片それぞれについて湿度95%、温度50℃での吸湿曲線をFig.3に示す。ここで縦軸の吸湿率は、初期重量に対する重量の増加の割合を示す。横軸は時間の平方根をとっている。

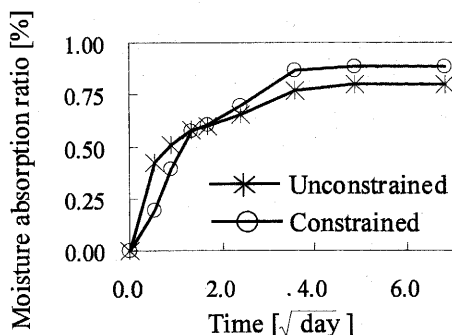


Fig.3 Moisture absorption curve

拘束試験片は片面からの吸湿となるため、吸湿初期での吸湿率の増加が遅いが、定常時では非拘束試験片とほぼ同じ吸湿率になっていることがわかる。

次に、吸湿率の変化に伴う電気抵抗の変化を Fig.4 に示す。縦軸の電気抵抗変化率は、初期電気抵抗に対する電気抵抗の増加の割合を示す。初期電気抵抗は非拘束試験片と拘束試験片で大きな差異は見られなかった。同吸湿率において比較すると非拘束試験片に比べて、拘束試験片の電気抵抗変化の割合は 1/2 程度である。

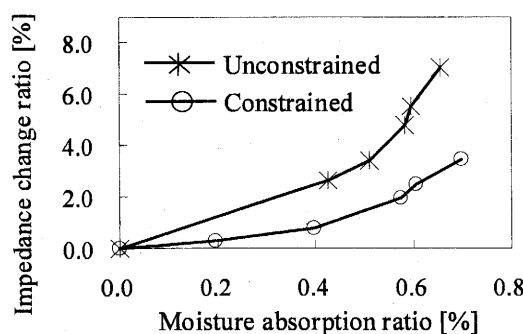


Fig.4 Impedance change ratio

この結果は、吸湿時の繊維方向の電気抵抗増加が膨潤による直交方向繊維間隔の増大に起因することを強く示唆している。

Fig.5 は繊維直交方向ひずみの測定結果である。非拘束試験片においては吸湿開始後速やかにひずみが増加し、24 時間後には既に 1500  $\mu$  以上のひずみがでている。それに対し拘束試験片では吸湿開始から 1 週間を経過しても 150  $\mu$  以下のひずみしかでていない。この結果より拘束試験片において実際にひずみが拘束できていることが確認できる。

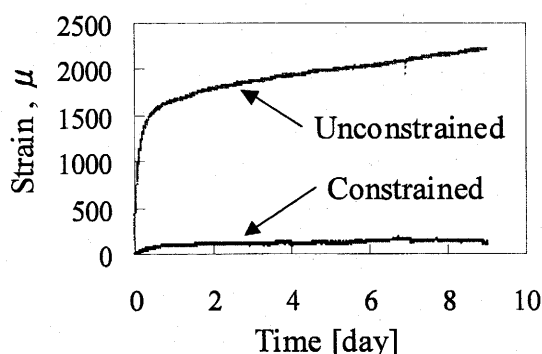


Fig.5 Strain measurement

日本機械学会[No.050-5]関東支部第1回埼玉ブロック大会(講演会)講演論文集('05.11.25, さいたま市)

以下では、繊維間隔の増加が電気抵抗の増加につながるメカニズムについて考察する。Fig.6 は銅メッキをするためにやすりがけを施した CFRP 表面の顕微鏡写真である。この写真より、表面に露出した炭素繊維には銅メッキによる電極が生成されるが、それ以外の炭素繊維には電極は生成されないことがわかる。従って電流は基本的には繊維方向に流れるものの、炭素繊維間の接触部分を介して繊維直交方向にも流れながら進んでいると考えられる。吸湿時は膨潤により炭素繊維間隔が広がるため、炭素繊維間の接触面積は減少し、繊維直交方向の電気抵抗が増加する。その結果として CFRP 全体の繊維方向の電気抵抗は増加すると考えられる (Fig.7 参照)。



Fig.6 Micrograph of CFRP surface

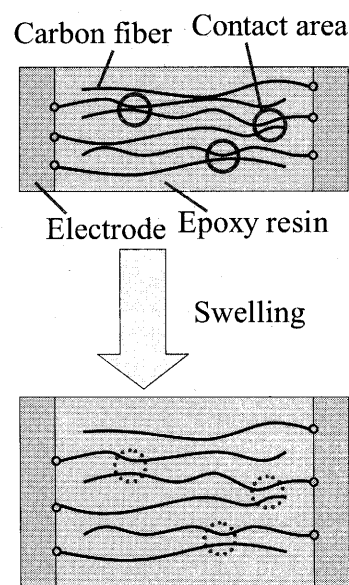


Fig.7 Concept model of current path

#### 4. 結言

ガラス板への接着により直交方向への膨潤を拘束し繊維間隔の増大を抑えた試験片を作成し、吸湿に伴う電気抵抗変化を測定した結果、吸湿時の非拘束試験片の繊維方向の電気抵抗増加は、拘束試験片よりも 2 倍以上大きい結果となった。以上より、吸湿時の繊維方向の電気抵抗増加は、膨潤による直交方向繊維間隔の増大に起因すると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 島村, 占部, 轟, 小林, 日本複合材料学会誌, 30, 5, 2004, 175-181
- (2) 日本工業規格, "JIS B 7920 湿度計・試験方法", 2000
- (3) 温度計測・センサ研究会 編著, "温度計測・センサのマニュアル", 学献社