328 光学系を利用した吸湿変形評価技術の開発

Development of measuring CME technology using optics

正 尾崎毅志 (三菱電機 (株)) ○ 正 石井英隆 (三菱電機 (株))

Tsuyoshi Ozaki, Hidetaka Ishii

Advanced Technology R&D Center of Mitsubishi Electric Corporation

1-1-57, Miyashimo, Sagami-hara-City Kanagawa, 229-1195

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) has been used for space structures generally because of its high strength, stiffness, light weight and low thermal expansion. Especially, CTE (Coefficient of Thermal Expansion) of CFRP is much lower than that of metals so CFRP has been used for precision like space telescopes. But recently, accuracy demands for high precision space structures have become increasingly stringent. To meet these requirements, not only thermal expansion but moisture expansion of CFRP has to be considered. Measuring moisture expansion requires long term experiments, and state of the art measurement systems were unable to provide sufficient stability and accuracy. A new method for measuring the moisture expansion of CFRP using optical interferometry was developed. Using this method, CFRP moisture expansion was evaluated stably at high accuracy.

1. 緒言

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック) は金属材料と比較して高強度、高剛性であるだけでなく、軽量で熱的寸法安定性が高いため従来から衛星構体パネルやアンテナリフレクタなどの宇宙用途に幅広く使用されてきている。特に熱的寸法安定性は非常に高く、適切な配向設計を行なうことにより熱膨張率が 0.1 ppm/K 以下という、金属材料ではなし得ない非常に高い熱的寸法安定性を達成することも可能であり、宇宙望遠鏡の構造部材といった高い寸法安定性が要求される箇所へも適用されてきている。¹⁾²⁾

しかし CFRP は熱変形以外に、CFRP を構成する樹脂が雰囲気中の水分を吸収する、もしくは樹脂が水分を雰囲気中に放出することによって吸湿変形と呼ばれる変形を生じることが知られており、宇宙環境下で使用される CFRP 部材の場合、湿度約 50% のクリーンルーム環境下から湿度 0% の宇宙環境に打ち上げられて使用されるため周囲環境の変化は非常に大きく、それに伴い吸湿変形量も大きくなる。

宇宙用構造部材の寸法安定性を議論する際、従来は主に熱変形に注目し、熱変形を極力抑えるように構造部材の設計・開発を行なってきたが、寸法安定性要求が非常に厳しくなっている昨今では熱変形だけでなく吸湿変形も考慮して構造部材の設計・開発を行なう必要がある。

吸湿変形も熱変形と同様に積層理論に基づいた配向設計により、設計上は低く抑えることが可能である。しかし、吸湿変形量は従来の測定方法では安定して高精度で測定できず、測定精度は約 3 ppm が限界であり、設計値の妥当性を検証することが不可能であった。

しかし今回、光学系を使用することにより、従来にない高い精度で吸湿変形を評価できる技術を開発したので、ここに報告する。

2. 吸湿変形量の測定原理

吸湿変形量の測定には、fig. 1 に示すような今回開発した、レーザー干渉計と試験片格納用の箱から構成される装置を使

用した。試験片格納用の箱は fig. 2 に示すように、ハーフミラー、ミラー、リファレンス、試験片、箱本体から構成されており、箱本体及びリファレンスは吸湿及び熱による変形の影響を避けるために、吸湿変形を生じず熱膨張係数が 0.2 ppm/K と小さい石英で作製されている。また試験片としては $500 \text{ mm} \times 5 \sim 100 \text{ mm} \times 5 \sim 40 \text{ mm}$ 程度の板材、パイプ材、ハニカムサンドイッチパネル等が適用可能であり、長手方向の吸湿変形量を測定できる。

試験は、まず試験片中の水分を取り除き、次に一定温度/湿度に保たれた槽内に試験片を移し、雰囲気中の水分を吸収することにより試験片に生じる変形量を測定することにより行う。

Fig. 1: Measurement setup

測定時にはリファレンスと試験片を、片端が全反射ミラーに、逆端が箱本体に取り付けられた調整機構に接するようセットする。試験片に変形が生じると、fig. 3 に示すように試験片及びリファレンスに接するミラーの角度が変化し、角度の変化に伴い試験片及びリファレンスに取り付けられたミラーからの反射光と、試験片格納用の箱に取り付けたハーフミラーからの反射光の光路長に差が生じ、結果として二本の反射光の干渉により生じる干渉縞に変化が生じる。この干渉縞の変化をレーザー干渉計で読み取ることで試験片の変形量を測定する。干渉縞一本の変化はレーザー光の半波長分 ($0.3 \mu\text{m}$) の試験片変形量に相当するため、 500 mm 長さの試

験片を使用すれば原理的には 0.6ppm 以下という、従来にない高い精度での吸湿変形の測定が可能となる。

Fig.2: Testpiece box

Fig.3: Measurement Principle

3. 吸湿膨張係数の測定

本測定では、吸湿膨張係数 (CME: Coefficient of Moisture Expansion = $\varepsilon / (\delta M/M)$ 、 ε : 歪量、 $\delta M/M$: 重量変化率) の測定を目的とし、二つの試験片を使用して片方の試験片で変形量、残りの試験片で重量を測定した。試験片としてはシアネート系樹脂を用いた CFRP の一方向材を 2ply 積層 (板厚: 約 0.2mm) して作製した $\phi 30\text{mm}$ のパイプを使用し、変形量の測定には fig.4 に示すような長さ 500mm の試験片を、重量の測定には長さ 100mm の試験片を使用した。

Fig.4: CFRP pipe testpiece

本試験では雰囲気中の水分を吸収することにより試験片に生じる歪、重量変化率を測定するため、測定の前に試験片中の水分を除く必要がある。そこでまず真空オーブンを使用して試験片を真空環境下で 100℃ に加熱して三日間放置し、試験片中の水分を完全に取り除いた。次に一定温度/湿度環境 (23℃/55%: クリーンルーム環境) に保たれた恒温恒湿槽内に二つの試験片を移し、長さ 500mm の試験片は槽内に設置された変形量測定装置にセットし、長さ 100mm の試験片は試験開始前に槽内に設置された電子天秤で重量を測定して、試験を開始した。

試験片変形量、重量の測定は、測定開始初日は 30 分ごとに、その後は 2 時間毎に、2 日間にわたって行なった。試験片変形量はレーザー干渉計のディスプレイ画像を一定時間毎に記録し、画像に表示されている縞の本数から計算により求めた。また重量変化率は恒温恒湿槽内に設置された電子天秤を用いて試験片重量を測定し、測定開始時の試験片重量を基に計算

から求めた。

4. 測定結果

干渉縞の例を fig.5 に示す。fig.5-1 が測定開始直後、fig.5-2 が測定開始から約 30 時間後の干渉縞画像となる。測定開始時には干渉縞の本数は 6 本であったが、測定終了時には 4 本に変化していることが確認できる。

次に試験片の歪量を縦軸に、重量変化率を横軸に示したグラフを fig.6 に示す。測定結果から、本試験片の吸湿膨張係数は約 $-49 \times 10^{-6} (\text{m/m}/\%)$ と確認できた。

Fig.5-1: Before measuring

Fig.5-2: After measuring

Fig.5: Interference fringes

Fig.6: Result of Measurement

5. 考察

レーザー干渉計を用いた光学系を測定原理として使用することにより、吸湿による変形量を従来にない高い精度で測定できる装置を開発した。開発した装置を使用して CFRP の吸湿膨張係数を測定したところ、従来装置と比較してはるかに高い精度で、安定して測定可能ことが確認できた。今後、同一試験片に対して複数回の測定を行ない、測定結果のばらつきについて検証する予定である。

参考文献

- 1) 石井、尾崎、日本機械学会平成 13 年度材料力学部門講演会講演論文集、p79-80
- 2) 石井、尾崎、日本機械学会平成 14 年度材料力学部門講演会講演論文集、p471-472