

宇宙用高精度大型展開構造物用 CFRP の弾性率精密測定手法の検討と放射線劣化原因の究明

九州工業大学 工学府 先端機能システム専攻 博士前期課程 2 年 趙研究室 13350914 田中雄三

1 研究背景

宇宙用高精度大型展開構造技術は電波天文衛星「HALCA」や技術実証衛星「ETS-VIII」に搭載されている大型展開パラボラアンテナに使用されている。これらのアンテナは非常に大きいため、衛星の重量を削減するために骨組み材として「軽量、高剛性」という非常に優れた機械特性を持つ CFRP が用いられている。パラボラアンテナを用いてどちらの衛星も非常に有用な成果を挙げており、今後これらの衛星の後継機が開発されさらに高度なミッションが行われるだろう。ミッションが高度になるにつれ、アンテナに対し要求される鏡面精度も厳しくなる。つまり、アンテナ骨組みに用いられている CFRP に要求される精度も非常に厳しくなる。

しかし、宇宙空間で動作する人工衛星には非常に強い放射線が降り注ぐ。CFRP は有機材料であるため、放射線による機械特性の劣化を無視することはできない。

2 研究目的

我々の研究目的は CFRP の放射線劣化を評価し、劣化原因を究明することである。劣化原因を究明することにより高い耐放射線性を有する CFRP の設計手法を確立することができ、これは結果として大型展開構造システムとしての精度の向上にもつながる。我々の研究は、将来的には大型宇宙構造物などの次世代宇宙構造物開発のカギとなることが期待される。

しかし、放射線劣化評価は非常に高い精度が要求される。例えば、HALCA 搭載アンテナが通信に利用する周波数帯は最大 22GHz と非常に高い。利用周波数帯が高いほどアンテナの鏡面精度の要求値も非常に高く、HALCA の場合は 1 mm RMS であり、これは劣化によりリブ材料である CFRP の 5% 以上の弾性率変化を許容できない程の精度である。つまり、評価試験精度は 5% の CFRP 弾性率変化を評価できる精度で行わなければならない。

よって、弾性率の精密な評価試験方法を検討する必要がある。また、我々の研究の最終目標は CFRP の放射線劣化原因究明なので、CFRP だけでなく構成材料である樹脂及び炭素繊維に対する高精度評価方法も検討し、放射線劣化評価を行った。

3 研究手法

我々の研究では CFRP、樹脂、炭素繊維の全 3 種類の材料に対する弾性率精密測定手法の検討を行った。

3.1 CFRP、樹脂弾性率精密測定手法

CFRP、樹脂に対しては JIS K 7071「炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法」¹⁾に基づく曲げ試験により曲げ弾性率を評価した。曲げ試験の試験構成を図 1 に示す。

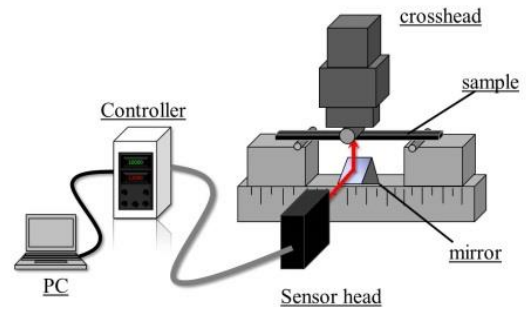


図 1 曲げ試験構成

Fig.1. Configuration of bending test.

曲げ試験で使用している装置には荷重センサで測定した応力データ及びクロスヘッドの移動量(移動量がサンプル変位と等しいと仮定)から弾性率を自動的に算出する機能がある。しかし、この方法では試験機自体の歪量がサンプルの評価結果に含まれてしまう。よって、我々の研究では得られる弾性率値の正確度を向上させるためにサンプルの変位をレーザー変位計により直接測定することで、評価の正確度向上を図った。実際に、この方法により 8% の弾性率値の補正に成功した。

また、我々の研究では放射線照射前後で同一サンプルを評価し、値を比較することにより評価の繰り返し試験精度の向上を図っている。実際に CFRP 及び樹脂のバージンサンプルに対して行った試験の精度のデータを図 2 に示す。グラフ中で縦軸は繰り返し試験標準偏差、横軸はサンプル個数である。すべてのケースにおいて 1% 以下の試験精度で評価を行えているため、5% の弾性率を十分測定できることが確認できる。

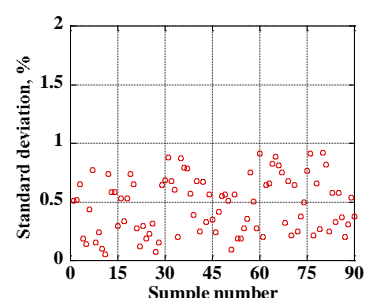


図 2 曲げ試験繰り返し試験精度

Fig.2. Accuracy of repeat bending test.

3.2 炭素繊維弾性率精密測定手法

炭素繊維の評価は JIS R 7606“炭素繊維-単繊維の引張特性の試験方法”²⁾に基づいて行っている。炭素繊維は断面積が非常に小さいうえに長さ方向に形状が不均一なので、図3で示すレーザー回折光を利用した形状測定システムにより断面を多点測定し、平均をとることにより弾性率計算値の正確度向上を図った。

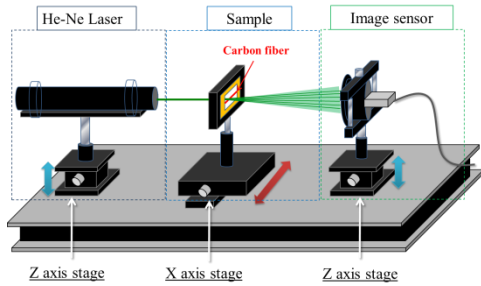


図3 炭素繊維形状測定システム

Fig.3. Carbon fiber shape measurement system.

実際に炭素繊維形状測定した一例を図4に示す。

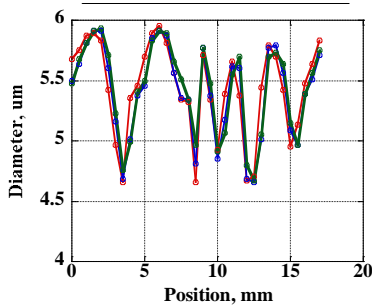


図4 炭素繊維形状スキャン結果

Fig.4. Results of scanning of carbon-fiber

また、引張試験においても曲げ試験同様、放射線照射前後で同一サンプルに対して引張試験を行うことにより精度の高い評価を実現することができた。炭素繊維バージンサンプルに対して行った試験精度データを図5に示す。すべてのケースにおいて1%以下の高い精度で試験を行うことができています。

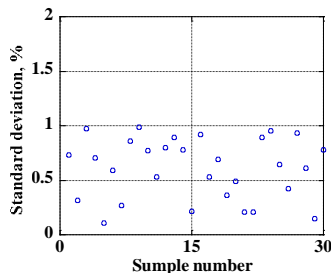


図5 引張試験繰り返し試験精度

Fig.5. Accuracy of repeat tensile test.

4 研究成果

図6～図8に炭素繊維及び樹脂の放射線による弾性率の変化及び炭素繊維形状の変化を示す。

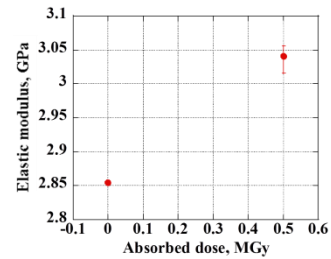


図6 樹脂弾性率の放射線劣化

Fig.6. Degradation of Resin elastic modulus by radiation

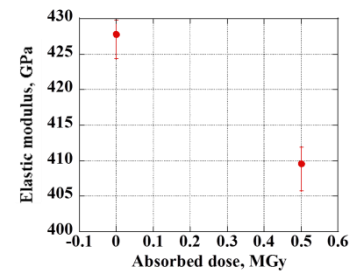


図7 炭素繊維弾性率の放射線劣化

Fig.7. Degradation of carbon-fiber elastic modulus by radiation.

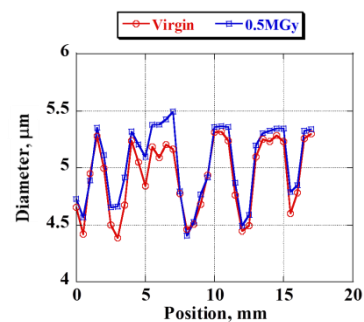


図8 炭素繊維形状の放射線劣化

Fig.8. Degradation of carbon-fiber shape by radiation.

樹脂は、放射線の影響により弾性率は6%上昇する傾向がみられたが、炭素繊維は放射線により弾性率が4%減少する結果が得られた。また、炭素繊維弾性率を評価したサンプルとは別のサンプルであるが、形状の変化による弾性率値への影響が減少方向に4%であり、今後は炭素繊維の形状変化と弾性率低下の関係性を追求する必要がある。

以上のように、CFRPの弾性率減少原因究明のための大きな手掛かりを得ることができた。

参考文献

- 1) 日本工業規格 JIS K 7074 “炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法”
- 2) 日本工業規格 JIS R 7606 “炭素繊維-単繊維の引張特性の試験方法”