

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 20 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420041

研究課題名(和文) 3軸織物CFRPの時間依存力学特性

研究課題名(英文) Time dependence of mechanical property of triaxial woven CFRP

研究代表者

小柳 潤 (Koyanagi, Jun)

東京理科大学・基礎工学部・講師

研究者番号：60386604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：デジタル画像相関法を用いて、3軸織物CFRPの時間依存力学特性を調査した。3軸織物CFRPとは宇宙用途を目的としたフレキシブルで膜状の特性を示す材料である。その構造から力学特性の評価が困難であったが、デジタル画像相関法を利用することで詳細の議論を可能にした。特にクリープ負荷が作用したとき、全体としてはクリープひずみを生じるが、繊維方向のひずみに変換するとクリープ中に増えていないことが明らかとなった。クリープ中に織物構造が変化してシザーリング効果が現れたと考えられる。これにより、三軸織物CFRPの長期耐久性が議論できるようになった。

研究成果の概要(英文)：By means of digital image correlation (DIC) method, time dependence of mechanical property of triaxial woven CFRP is investigated. The triaxial woven CFRP is intended for using in space and it is flexible and behaves as membrane. Although it is conventionally difficult to evaluate the mechanical property because its structure is complicated, employing DIC enable us to do it. One of the remarkable findings obtained in this study is that macro creep strain increases with time under a creep loading condition but fiber directional strain does not. This is due to "scissoring effect" involving woven structural change. Now we can discuss a long-term durability of the triaxial woven CFRP.

研究分野：材料力学

キーワード：CFRP

1. 研究開始当初の背景

縄文時代から使用されていたとされている「竹カゴ」の合理的な構造を模擬した3軸織物CFRPが2000年頃から宇宙分野を中心に注目されてきた。炭素繊維の束を60度の角度で交差して製織した3軸織物に高分子材料を含浸させて複合材料化したものである。厚さが非常に薄く、膜状の特性を擬似的に有し、超軽量で柔軟かつ成型の自由度が極めて高い。長く軽いアンテナの材料に3軸織物CFRPを用い、衛星打ち上げ時などは内部に巻き込まれて収納されている。その他、大型展開アンテナ等(直径10m級)にも本材料は利用されている。

3軸織物CFRPの適用に際し、その力学的特性の調査は多く行われてきた(Aoki and Yoshida, AIAA Proceedings 2006 他)。過去の調査では、微視的視野まで落としてユニットセルを考え、モデリングが行われているが、微視的視野での実験的検証が行われておらず、このためクリンプ部(繊維が交差している部分)のモデリングの妥当性等が検討されていない。クリンプ部のモデリングは材料の巨視的特性に大きく影響する上、微視的な破損を議論する場合は非常に注意が必要となる。一方では近年適用先が拡大しつつあり、宇宙空間にてメンテナンスフリーでその特性をいつまで保持できるのか、すなわち粘弾性特性を考慮した長期耐久性に対する知見もさらに求められるようになってきた。

2. 研究の目的

本研究では、粘弾性・微視的損傷を考慮して、3軸織物CFRPの時間依存力学特性を正確に把握する基礎研究を行う。デジタル画像相関法(DIC)を用いて引張負荷下における3軸織物CFRPの全体ひずみ分布を取得し、これを利用してユニットセル解析の精度を確保する。DICは変形前と変形後のデジタル画像を比較することで、画像内全体の変位分布を取得し、これを微分することでひずみ分布を得る手法であり、本研究において重要な役割を担う「ひずみの局所化」の実験事実を可視化することが可能である。解析上でのひずみ分布と比較するために、画像を拡大してDICを行う実験が必要であるが、このように解析と実験で常に微視的レベルでのコリレーションを取ることで、正確なモデリングを達成する。

3. 研究の方法

デジタル画像相関法は、撮影した画像から直接変位を求める手法である。試験のセッティングにおいて測定試料に対して測定試料表面に照らす光源と変位追跡のための CCD カ

メラで構成される。撮影に用いる装置は CCD カメラに限らず、カラー又は白黒の撮影可能なデジタルカメラで変位測定が可能になる。しかし、市販のデジタルカメラの中でも撮影の際に輝度の補正が生じる可能性に注意する必要がある。変形前後の追跡においてサブセットと呼ばれる複数の画素(pixel)からなる領域の変形後の位置の輝度分布を求めるために、測定試料表面の様子が物体表面と共に移動し、変形前後でその特徴が保存されているという考えに基づいている。Fig.1 は変形前後の画像の比較である。

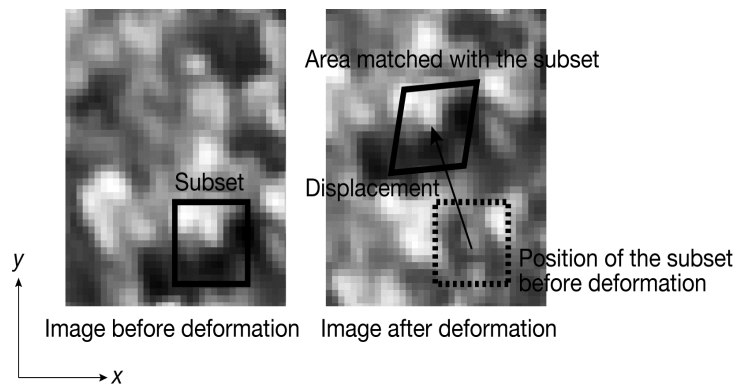


Fig.1 DIC の変位測定概念図

変形前後の測定試料表面の画像を撮影し、変形前の画像のサブセットの輝度値を読み取り、変形後の輝度値を探索することで変位を決定することが可能になる。変位ベクトルが決定されればこれを微分し、ひずみテンソルを得ることができる。本研究では3軸織物CFRPの引張負荷可におけるひずみテンソル場を議論する。



Fig. 2 試験片



Fig. 3 試験装置

図 2 に供試体，図 3 に試験装置のそれぞれ写真を示す．

4．研究成果

DIC により得られた引張負荷を与えたときの引張方向変位分布を図 4 に示す．これを微分し引張方向のひずみ分布に変換した結果を図 5 に示す．ひずみゲージを貼ることができないような小さい部分を含め全領域のひずみ分布の測定に成功した．

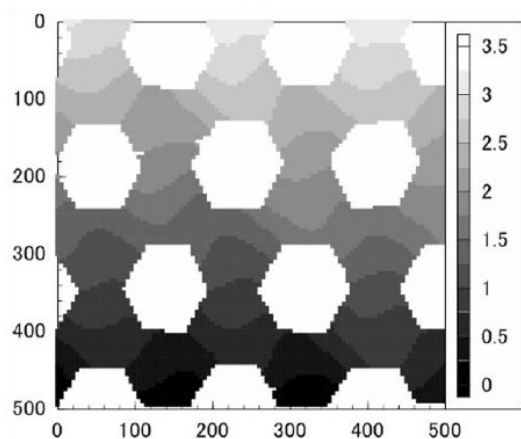


Fig. 4 300N 負荷時の y 変位分布

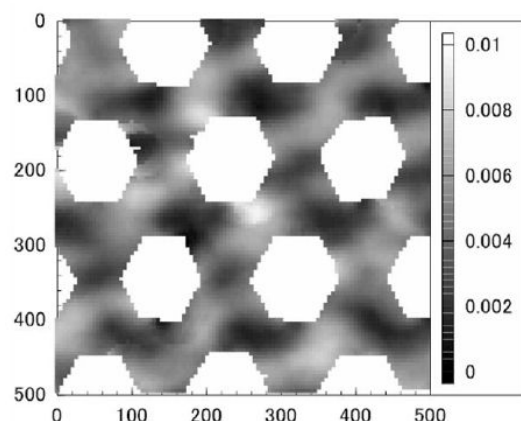


Fig. 5 300N 負荷時の y ひずみ分布

同様の手法を用いて，一定荷重を 27 時間負荷した時の変位増分を図 6 に示す．DIC によりクリープによる変位増分が定量的に検出できている．どのようにこれを微分し，引張方向のクリープひずみ増分を図 7 に示す．図 7 の結果から，クリープ負荷中にはひずみが増加しているところと減少しているところがあり，一概にひずみが増えるとは言えないことが明らかとなった．ひずみテンソルの座標変換を行い，各繊維束の繊維方向ひずみに変換したところ，クリープ負荷中には繊維のひずみは増えてないことが明らかとなった．

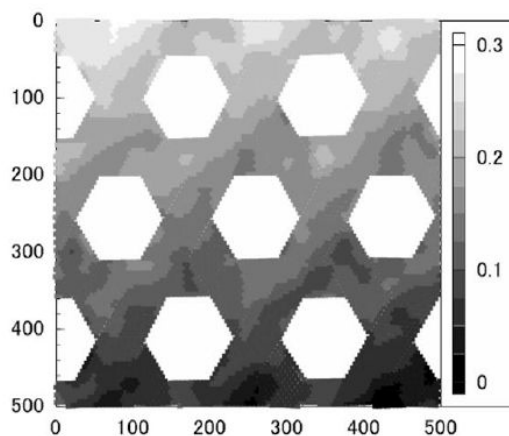


Fig. 6 クリープ (27 時間) による変位増加

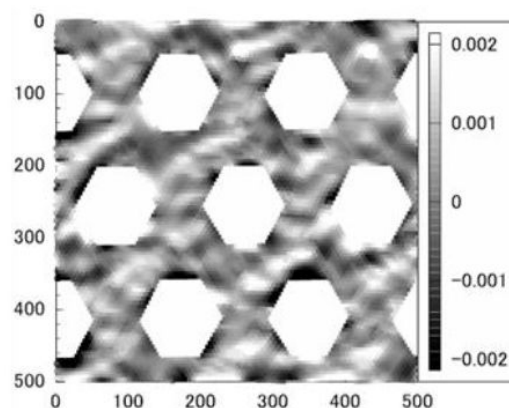


Fig. 7 クリープ (27 時間) によるひずみ増加

すなわち本研究で用いた三軸織物 CFRP は，クリープ負荷下において，その織り構造が変化し，マクロでは試験片をクリープひずみを示すが，繊維方向のひずみが時間とともに減少していることがわかった．これはシザリング効果による物で，織り構造の変化が剛性増加をもたらしているためである．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Jun Koyanagi, Nagayama H, Yoneyama S, Aoki T, Time dependence of mesoscopic strain distribution for triaxial woven carbon-fiber-reinforced polymer under creep loading measured by digital image correlation, *Mechanics of Time-Dependent Materials*, (In press 2016)

〔学会発表〕(計 3 件)

TIME DEPENDENCE OF MESOSCOPIC STRAIN OF TRIAXIAL WOVEN CFRP UNDER CREEP LOADING, H. Nagayama, Jun Koyanagi, S. Yoneyama, T Aoki, 14th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition 2015 年 12 月 8 日 ~ 12 月 8 日

TIME DEPENDENCE OF STRAIN LOCALIZATION OF TRIAXIAL WOVEN CFRP UNDER CREEP LOAD USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD (DIC), Hideo Nagayama, Jun Koyanagi and Satoru Yoneyama, 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY ANALYSIS OF COMPOSITE SYSTEMS 2014 年9月15日 ~ 9月17日

TIME DEPENDENCE OF STRAIN LOCALIZATION OF TRIAXIAL WOVEN CFRP UNDER CREEP LOAD FOR USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD (DIC), Hideo Nagayama, Jun Koyanagi, Satoru Yoneyama, International Conference on Functional Materials and Applications (ICFMA 2013) 2013年12月15日 ~ 12月16日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小柳潤 (KOYANAGI, Jun)

東京理科大学・基礎工学部・講師

研究者番号 : 6038664

以上