

らせん積層 CFRP 箱形断面梁の曲げ挙動の画像解析

Image analysis of bending behaviors of helicoidally laminated CFRP box-section beam

北海道大学工学部
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 佐藤 有輝 (Yuki Sato)
正員 鄧 朋儒 (Pengru Deng)
正員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)

1. はじめに

炭素繊維強化ポリマー(Carbon Fiber Reinforced Polymer、以下 CFRP)は、軽量かつ高強度、高剛性で、耐久性が高いといった特徴を有する。CFRPは航空宇宙、自動車、スポーツ用品など幅広い分野で利用されている。土木分野でも補強材などに応用されており、主部材としての利用も期待されている。

既往の研究では、直交積層とらせん積層のCFRP箱形断面梁を製作して曲げ荷重実験が行われた。荷重中のビデオ撮影と実験後の供試体の顕微鏡観察がなされ、繊維積層構成の違いが損傷過程・破壊挙動に与える影響を検討している。

しかしながら、損傷前の供試体の曲げ挙動に関しては、支間中央の変位計とひずみゲージによる計測のみにとどまっておらず、損傷に至るまでの詳細な変形挙動を捉えることはできていない。また、変形挙動の違いを検討する上で、各種計測機器による局所的な観察では不十分であり、より広範囲の領域を対象とする必要がある。

本研究では、2種類のCFRP梁に対し、積層構成の違いが損傷前の曲げ挙動に及ぼす影響について、画像解析を用いて検討することを目的とする。CFRP箱形断面梁供試体のウェブ表面に対し、荷重前後の写真を用いてデジタル画像相関法による画像解析を行った。これにより損傷前の表面変位の計測とひずみの算出を行い、変形分布の面的な観察を行う。

2. CFRP 梁の曲げ荷重実験

2.1 プリプレグ

本研究では、供試体に三菱ケミカル製の UD 炭素繊維プリプレグを用いている。UD炭素繊維プリプレグとは、炭素繊維を一方に配列させ、炭素繊維基材に着色剤、充填剤等を適正な割合で混合した樹脂を含浸させたシート状のもので、かつ硬化させる前のものである。プリプレグ目付は 188.9(g/m²)、繊維目付は 124.8(g/m²)、樹脂含有率は 33.9(wt%)である。

2.2 供試体

供試体はプリプレグをステンレス製の芯材に巻き付けた上で、JIS規格に基づいたプレス成形方法を用いて製作した。標準寸法は、長さ 320mm、内寸高さ 42mm、内寸幅 42mm、板厚 3mm である(図-1)。各供試体の積層構成を表-1に示す。配向角度は各面でプリプレグの繊維方向が供試体の長さ方向に平行な層を 0°の層とし、それを基準に反時計回りに繊維がなす角度と定義する。積層構成の[]内の数字は配向角度、下付き文字は[]内のセット

を繰り返した回数を示す。2種類の積層構成名称をCP(Cross-Ply)、SH18(Single-Helicoidal 18)とする。

2.3 荷重条件

荷重機としてオートグラフ(SHIMADZU AG-1240kN)を使用し、四点曲げ荷重実験を行った。図-1に示すように、支間長 270mm、せん断支間 90mm、曲げ支間 90mmである。荷重は 1.0mm/min の変位制御で行った。始めに予備荷重として 2kN まで荷重を行って 0kN に除荷した後、本荷重を行った。本荷重では、約 5kN 毎に荷重を停止して画像撮影を行った。

2.4 実験結果

図-2に実験で得られた荷重変位曲線を示す。CPの最大荷重は 27.1kN、SH18の最大荷重は 27.75kN となった。

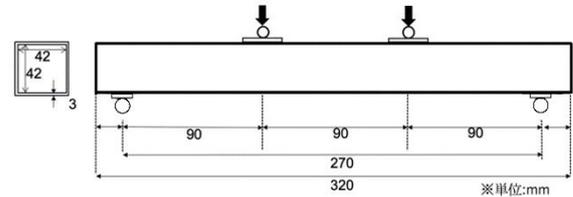


図-1 供試体寸法と荷重条件
(右側荷重点と支点はねじれ自由)

表-1 積層構成

名称	枚数	積層構成
CP	21	[0/90] ₁₀ /0
SH18	21	[0/18/36/54/72/90/108/126/144/162] ₂ /0

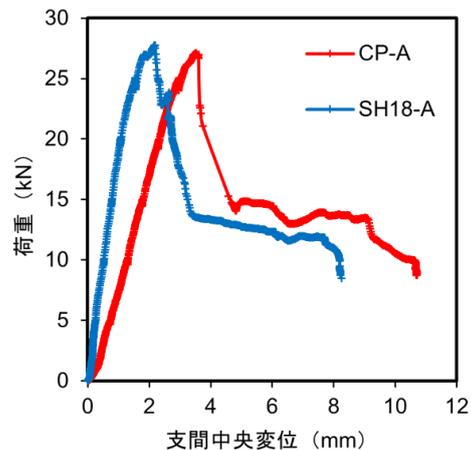


図-2 荷重変位曲線

3. 画像撮影・解析手法

画像撮影には、Nikon のデジタルカメラ D3100 を使用した。画素数は 4608×3072 ピクセル(約 1400 万画素)である。撮影は供試体のウェブ表面全体(320mm×42mm)に対して行った。計測点は、軸方向に 98 点、高さ方向に 14 点の計 1372 点を 44 ピクセル間隔で格子状に設定した。

4. 画像解析結果

画像解析は、本載荷前 0kN 時と載荷荷重 25kN 時に撮影した画像を用いて行った。解析により軸方向変位と鉛直方向変位を算出し、それらの値からせん断ひずみ、最大主ひずみ、最小主ひずみを算出した。

4.1 せん断ひずみ

図-3、図-4 に CP と SH18 のせん断ひずみ分布を示す。

CP ではせん断支間での値が顕著であり、大きなせん断変形を起こしているのがわかる。また、載荷板端部でも局所的に大きいひずみが見られる。SH18 では載荷板端部と支点板付近、及びその直上の上フランジにおいても局所的に大きいひずみが見られる。

また、せん断支間におけるひずみの最大値では、局所的なものを除くと、CP は約 40000 μ 、SH18 は約 6000 μ となっている。斜め方向の繊維を有していない CP に対し、SH18 は複数の配向角で斜め方向の繊維を有しているため、せん断剛性が格段に上がっていると言える。

4.2 最大主ひずみ

図-5、図-6 にそれぞれ CP と SH18 の最大主ひずみ分布とベクトルを示す。ベクトルは矢印の傾きで方向を示し、長さで大きさを示している。

ベクトル図では、CP において、曲げ支間とせん断支間で傾きが明瞭に変化し、ウェブ全体で一様にせん断変形している事が確認できる。SH18 では、載荷板を境にやや滑らかに傾きが変化している。また、せん断支間において、ベクトルの方向が引張側から圧縮側にかけて徐々に梁軸に平行な方向から直交する方向へと小さく変化する傾向がある。異なる配向角を有する繊維層の影響により、CP より緩やかに変化が起きていると考えられる。

4.3 最小主ひずみ

図-7、図-8 にそれぞれ CP と SH18 の最小主ひずみ分布とベクトルを示す。CP ではせん断支間全体で大きなひずみが卓越しているのに対し、SH18 では載荷板端部や上フランジで局所的に大きなひずみが確認できる。らせん積層層にすることにより、フランジに比べウェブ高さ中央のせん断剛性がより増大した結果、せん断支間での変形が一樣ではなくなっていると考えられる。

5. まとめ

本研究では、積層構成の異なる 2 種類の CFRP 箱形断面梁を製作して四点曲げ載荷実験を行った。実験で得られた画像を用いて画像解析を行い、積層構成の違いによる変形挙動の差を検討した。

CP では一様に大きなせん断変形を起こしているのに対し、SH18 では CP よりひずみが小さく、せん断剛性が上がっていることに加え、上下フランジ位置のいくつかの箇所で大ひずみが見られた。

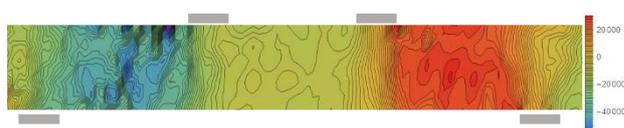


図-3 CP せん断ひずみ分布図

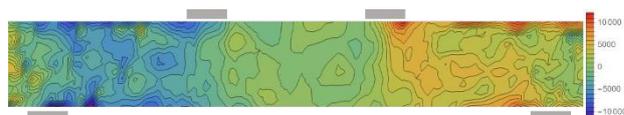


図-4 SH18 せん断ひずみ分布図

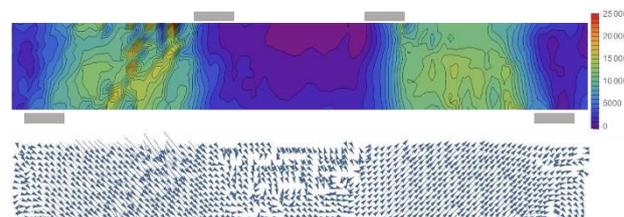


図-5 CP 最大主ひずみ分布図・ベクトル図

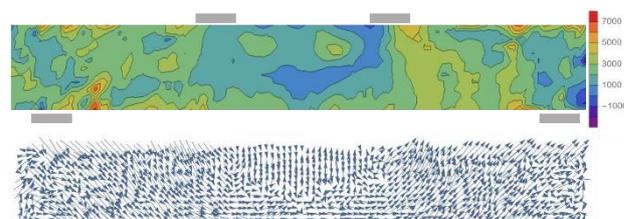


図-6 SH18 最大主ひずみ分布図・ベクトル図

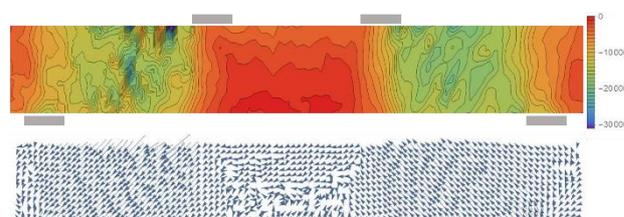


図-7 CP 最小主ひずみ分布図・ベクトル図

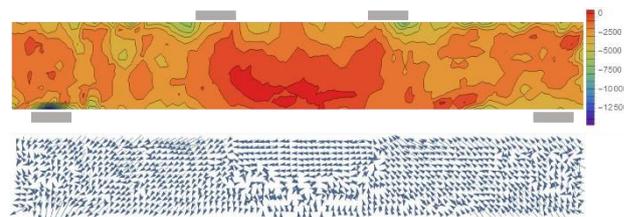


図-8 SH18 最小主ひずみ分布図・ベクトル図

今後の課題として、変形挙動と損傷形態を関連付けた考察及び、らせん積層の配向角度差の違いがそれらに与える影響についての検討が挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H01411 基盤研究(B)の助成を受けた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 岩田壮, 鄧朋儒, 松本高志: らせん積層 CFRP 箱形断面部材の曲げ特性の基礎的検討, 第 77 号土木学会北海道支部論文報告集, A-22, 2020.