

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	炭素繊維不織布による強化樹脂材の特性評価 3点曲げにおける有限要素法と実験の比較
Title(English)	Characterization of Reinforced Resin Material by Carbon Fiber Nonwoven Fabrics Comparison of the Finite Element Method and Experiment in 3-Point Bending Test
著者(和文)	塚本悠太, 遠藤玄, 難波江裕之
Authors(English)	Yuta Tsukamoto, Gen Endo, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2023講演論文集, , , 1A1-I21
Citation(English)	, , , 1A1-I21
発行日 / Pub. date	2023, 6

炭素繊維不織布による強化樹脂材の特性評価

— 3点曲げにおける有限要素法と実験の比較 —

Characterization of Reinforced Resin Material by Carbon Fiber Nonwoven Fabrics Comparison of the Finite Element Method and Experiment in 3-Point Bending Test

○学 塚本 悠太 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)
正 難波江 裕之 (東工大)

Yuta TSUKAMOTO, Tokyo Tech, tsukamoto.y.ak@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Tech

Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

In recent years, reducing power consumption of robots has become a social issue. Therefore, Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) has been used to replace conventional aluminum alloys in order to reduce the weight of parts. However, CFRP molding is a complex process, and it is difficult to fabricate thick-walled shapes. Then, we focused on a new material, resin material reinforced by carbon fiber nonwoven fabrics, which has high machinability and can fabricate thick-walled shapes, and evaluated it by a three-point bending test and verified the applicability of FEM, which is effective in the design of complex shapes.

Key Words: New Material Design, FEM, Lightweighting

1 緒言

近年ロボットの消費電力の削減は社会的な課題である。その解決策の1つは従来用いられてきたアルミニウム合金部品を軽量新素材部品で代替する方法であり、炭素繊維強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics) が様々なロボットに適用されてきた [1][2]。しかし、CFRPの代表的な成形方法であるオートクレープ成形は異方性を有するプリプレグシートを適切に積層、成形する必要があり複雑な成形プロセスである [3]。また板厚の厚い形状の製作が困難という課題がある。そこで本研究では高い切削性を有する炭素繊維不織布による強化樹脂材 (フェルカーボ、双葉電子工業) に着目した。フェルカーボは配向性のない炭素繊維不織布を積層、高圧成形後に切削加工するという製作工程により、部品形状の高精度化とともに最大厚さ 45 mm の厚板化による形状の設計自由度が高い [4]。

従来の金属部品では、肉抜き加工を施した複雑形状の部品について、有限要素法 (FEM: Finite Element Method) による構造解析を用いた最適化設計が可能であり、複雑形状を有するロボット部品の設計において FEM による解析を適用可能であるか否かは重要な評価項目である。

したがって本研究では、フェルカーボの中実の角材と肉抜き加工を行った角材の2種類の形状についてそれぞれ3点曲げ試験を実施し、FEMによる静的構造解析との比較を行うことでフェルカーボにおけるFEMの有効性について検証した。

2 中実角柱形状の試験片についての比較

試験片は断面形状が一辺 15 mm の正方形、長さ 300 mm の中実の角柱とする。フェルカーボは主に複数の炭素繊維不織布の層により構成されることから、不織布の積層方向に対する荷重方向の影響が懸念される。したがって、図 1 上段に示すように不織布の層に対し垂直な荷重、平行な荷重の2種類の荷重について3点曲げ試験と FEM 解析を実施した。

2.1 3点曲げ試験

荷重試験機 (島津製作所製 AG-I, 最大試験力 100 kN) に対し、支点間距離 240 mm で試験片を配置し、先端直径 10 mm の圧子を試験片に対し 6.4 mm/min で徐々に押し下げ、得られる押しつけ力と試験片の変位を計測した。ただし変位は圧子が試験片に接触し、反力が作用した位置をゼロ点とし、そこからの降下量とする。荷重方向は図 1 上段の2種類とし、それぞれ3試験片について試験を実施した。表 1 に本試験により得られた曲げ弾性率と曲げ強度を示す。従来の樹脂材料である MC901, POM に比べ高強度、高弾性率を実現していることがわかる。

2.2 FEM による静的構造解析

本解析には汎用構造解析ソフトウェア Ansys R18.2 を用い、試験片を等方弾性体と仮定した静的構造解析を行った。解析条件は3点曲げ試験と同様に試験片の中央から左右にそれぞれ 120 mm の位置で鉛直方向の変位を拘束し、圧子の接触する試験片上面中央を水平面で拘束した。解析における荷重は 105 N, 300 N, 900 N, 1500 N とし、圧子の接触する試験片上面中央に設定し

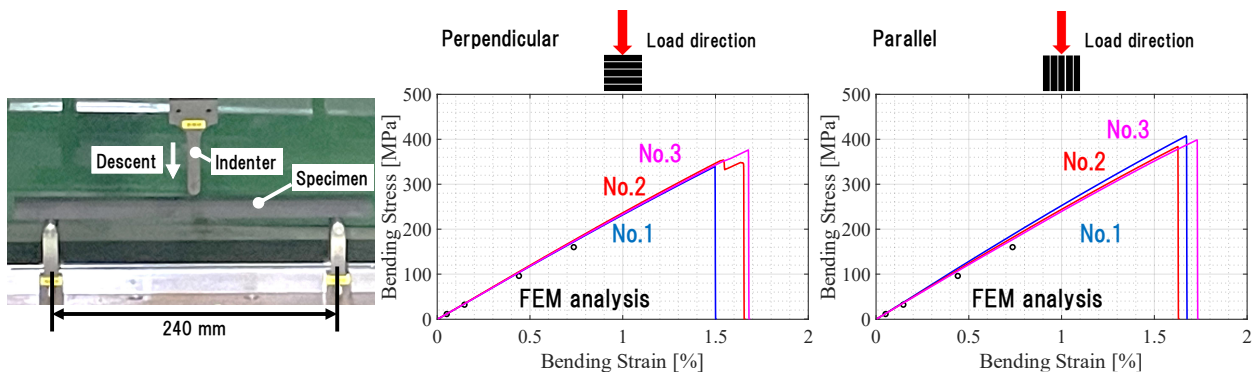


Fig.1: 3-point bending test (15 mm square rod)

Table 1: Bending modulus and bending strength (15 mm square rod)[5][6]

Material Load direction	“FELCARBO” Parallel	“FELCARBO” Perpendicular	MC901	POM
Bending Modulus [GPa]	25.12	23.73	3.53	2.50
Bending Strength [MPa]	397	357	110	87

た。FEM 解析に用いた材料物性は公称値である比重 1.3, 引張強度 270 MPa, 引張弾性率 22 GPa[4]。そしてポアソン比は一般的な樹脂材料の値である 0.35 とした。

図 1 に横軸曲げひずみ, 縦軸曲げ応力とし, 3 点曲げ試験により得られた変位と荷重の関係と共に荷重を 105 N, 300 N, 900 N, 1500 N とした場合の FEM により得られた変位を示す。図 1 左図は荷重方向が不織布の層に対し垂直な方向, 図 1 右図は荷重方向が不織布の層に対し平行な方向の試験結果を示す。3 点曲げ試験により得られた変位について, 公称値を用いた FEM の値は荷重方向が層に対し垂直の場合は最大誤差 8 %, 平行の場合は最大誤差 15 % となった。また FEM により得られた変位は 3 点曲げ試験で生じる変位よりも大きい値であり, FEM により荷重に対する最大の変形量を計算できることがわかる。

3 肉抜き加工形状の試験片による比較

試験片は図 2 に示すように, 一辺 20 mm の正方形, 長さ 300 mm の角柱からある一面とその対面において肉抜き加工を行った形状とする。本試験においては不織布の層に対し平行な 2 面と垂直な 2 面それぞれに加工を施した 2 種類の形状とし, 荷重方向は肉抜き加工を行った面に平行となる向きとする。

3.1 3 点曲げ試験

前章と同様に荷重試験機に対し試験片を設置し, 先端直径 10 mm の圧子を 4.8 mm/min で徐々に押し下げ, 得られる押しつけ力と試験片の変位を計測した。荷重方向は不織布の層に垂直な方向と平行な方向の 2 種類とし, それぞれについて 1 試験片ずつ試験を実施した。

3.2 FEM による静的構造解析

解析モデルは三次元測定機を用いて 3 点曲げ試験の 2 種類の試験片それぞれに対応したモデルを作成した。解析条件は前章と同様に設定し, 解析における荷重は 1 kN, 2 kN, 4 kN と設定した。FEM 解析に用いた材料物性は前章での解析に用いた値と 3 点曲げ試験により得られた表 1 の値の 2 種類を用いた。図 3 に横軸変位, 縦軸荷重とし, 3 点曲げ試験により得られた変位と荷重の関係と FEM 解析により得られた変位を示す。3 点曲げ試験により得られた変位は荷重方向が層に対し平行の場合は, 公称値を用いた FEM は最大誤差 3 %, 前章の 3 点曲げ試験により得られた物性値を用いた FEM は最大誤差 13 % となり, 公称値を用いた FEM により変形量の計算ができることが分かる。一方荷重方向が層に対し垂直の場合は, 公称値を用いた FEM は最大誤差

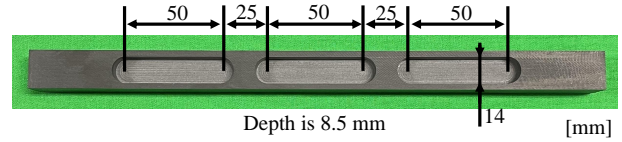


Fig.2: The shape of specimen (20 mm square lightweighting rod): Dimensional values are those at cutting.

23 %, 前章の 3 点曲げ試験により得られた物性値を用いた FEM は最大誤差 29 % となり, 共に 3 点曲げ試験の結果が FEM 解析結果より大きな変形を示した。荷重方向が層に対し平行の試験片は加工の施されていない複数の中実層により荷重を支えることができる一方, 荷重方向が層に対し垂直の試験片では層を積み重ねた箇所でも荷重を支えるため, 荷重により層間のずれ等が生じ大きな変形が生じると考える。

4 結論

本論文では, 2 種類の形状のフェルカーボについて 3 点曲げ試験と FEM 解析による比較を行い, 中実な不織布の層に荷重を作用させる場合, 公称値を用いた FEM 解析により精度の高い解析が可能であることが明らかになった。一方, 加工により中実でない不織布の層に荷重が作用する場合は FEM 解析結果より大きな変位を生じるが, 低荷重領域では FEM 解析と近い値であり, 解析可能であるといえる。

今回は, 基礎的な検討項目として単純形状の試験片について単純荷重による強度試験結果と FEM 解析結果とを比較したが, ロボットに用いられるようなより板厚の厚い形状や複雑な形状についての FEM 解析の有効性を今後検証する必要がある。

5 謝辞

本成果は NEDO 助成事業 (JPNP20016) の一環として得られたものである。また, 本論文は, 技術研究組合産業用ロボット次世代基礎技術研究機構との共同研究の成果である。

そして貴重なコメントと議論をいただきました武居直行准教授 (東京都立大学), 太田裕介教授 (千葉工業大学), 高木健教授 (広島大学) に感謝いたします。

参考文献

- 遠藤玄, 高田敦, 堀米篤史, “ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アーム Super Dragon の開発”, 日本機械学会論文集, Vol. 85, No. 875, pp. 19-00075, 2019.
- 大立泰治, “最適設計による軽量化で, 高速でしかも省エネな取り出しロボット (YC シリーズ) の開発”, 成形加工, Vol. 25, No. 4, pp. 180, 2013.
- 奥村航, “CFRP 製品の実用化の課題とその対応”, いしかわ工試技術ニュース, Vol. 43, No. 4, 2019.
- 双葉電子工業株式会社, “新素材フェルカーボ”, <https://www.cfrp.mtb.futaba.co.jp/>, (参照 2023-03-17) .

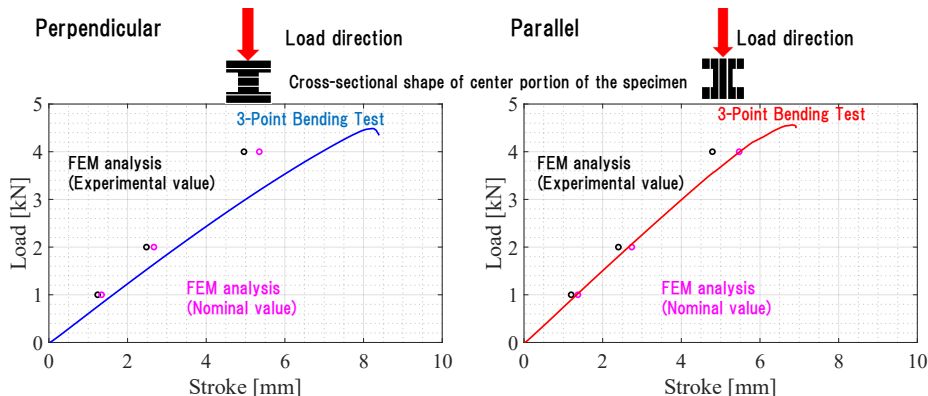


Fig.3: 3-point bending test (20 mm square lightweighting rod)