

CFRTP を活用した超軽量下肢装具の開発 (第4報)

—短下肢装具の物性評価—

仙石 倫章、千原 健司、道家 康雄、萱岡 誠

Development of the ultralight lower extremity orthosis using Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (IV)

Physical property evaluation of ankle foot orthosis

Tomoaki Sengoku, Kenji Chihara, Yasuo Doke and Makoto Kayaoka

下肢装具の剛性、強度、疲労耐久性等の物性評価では、構成部品の継手に関する規格があるものの、完成品全体を評価する方法は規格化されておらず、現在、関係業界で評価方法の規格化・標準化に向けた取り組みがなされている。当所で開発を進めている下肢装具は、構成部品の中でも継手ではなく、主にプラスチック部分に CFRTP を用いることで高機能化を図っており、性能および安全性を評価するために、新たに試験方法を確立する必要がある。そこで本研究では、汎用的な試験機を用いて物性を評価する方法を考案し、CFRTP を主部材とした下肢装具と従来のプラスチックを主部材とした下肢装具の物性評価を行った。その結果、両者の物性の違いを評価することができた。

1. はじめに

軽量、高強度、高剛性といった特長をもつ熱可塑性炭素繊維複合材料（以下、「CFRTP」と表記）は、短下肢装具（以下、「AFO」と表記）などの医療福祉機器への応用が期待されている。しかしながら、実際に製品に応用するためには課題が多く、特にユーザーが安心して使用できる製品を設計、開発するためには、剛性、強度、疲労耐久性等の物性を評価する必要がある。

これまで物性評価については、構成部品の継手に関しては規格¹⁾があるものの、下肢装具全体を評価する方法は規格化されておらず、現在、関係業界で評価方法の規格化・標準化に向けた取り組みがなされている²⁾。また、プラスチック製 AFO の物性評価をした研究事例³⁾もあるが、いずれも独自の試験装置を開発しており、本研究での利用は困難である。

そこで我々は、当所保有の汎用的な試験機を用いて簡易に物性評価する方法を新たに考案し、開発中の下肢装具の物性評価を行った。

2. 実験

2.1 被試験体

被試験体は、図1 (a) の既製品のポリプロピレン製 AFO (パシフィックサプライ(株) オルトトップ AFO LH、以下「PP 製 AFO」) と、ほぼ同形状に CFRTP を成形加工したもの (以下「CFRTP 製 AFO」、図1 (b)) を使用した。CFRTP 製 AFO の材料は、炭素繊維が 3K クロス材、マトリックス樹脂が PA6 の板材 (Bond-Laminates 製 TEPEX dynalite202、厚さ 2mm) を使用した。なお PP 製 AFO にあるコルゲーション (剛性強化用の緩やかな湾曲部) は、十分な剛性を持つことが想定されるため、CFRTP 製 AFO の形状からは除外した。また、試験機と連結するために、各 AFO に $\phi 11\text{mm}$ の貫通穴を開けた。

2.2 試験機器の構成

下肢装具の物性評価にはコンパクト油圧加振機 (株島津製作所製 EHF-JF20kNV-50-A10) を用いた。本装置は、加振を油圧シリンダで行い (最大試験力 $\pm 20\text{kN}$ 、ストローク $\pm 50\text{mm}$)、1 軸のロードセルで力を検出する汎用的な試験機である。

ロードセルの先端には自由に回転するスイベルヘッドが接続されており、床面には M10-100mm ピッチのタップ穴があけられている (図2 (a))。装具は、連結棒を介しスイベルヘッドと連結した (図2 (b))。装具と連結棒の間には緩衝用にナイロンシートを挿入し、また、コの字型の治具を製作し、スイベルヘッド連結部に挟み、スイベルヘッドの自由度をピッチ軸方向の 1 自由度に制限した。装具底面を、ステップクランプ、ステップブロックにて床面に固定された L 型アングルに C 型クランプで固定した。本構成により、様々なサイズの下肢装具での試験が容易に可能となった。

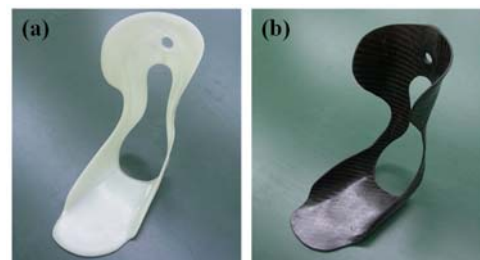


図1 被試験体 (a) PP 製 AFO (b) CFRTP 製 AFO

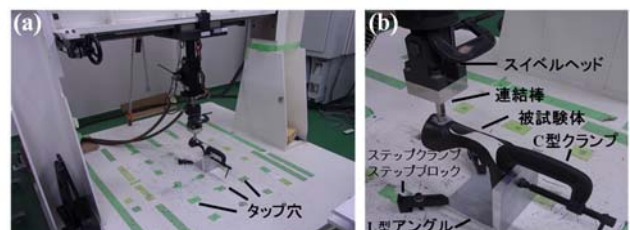


図2 試験機器写真 (a) 構成全体図 (b) 拡大図

2. 3 物性評価試験

物性評価試験として、剛性評価試験と疲労耐久試験を行った。

剛性評価試験は、各 AFO を背屈方向、底屈方向に静的に変位させたときの荷重を計測することにより評価した。疲労耐久試験は、PP 製 AFO については、単脚支持された足関節の歩行中の肢位は、背屈方向に 5° 底屈方向に 10° 程度とされており⁴⁾、背面の連結部の変位に換算すると、底屈方向に約 15mm、背屈方向に約 29mm を 1Hz の正弦波で位置制御にて加振した。CFRTP 製 AFO については、PP 製 AFO が初期状態で受けた荷重と同じになる変位の 1Hz の正弦波で位置制御にて加振した。各 AFO ともに1ヶ月の使用を見込んだ21万回の加振を行うことで疲労耐久特性を評価した。

3. 結果及び考察

3. 1 剛性評価試験

底屈方向の変位—荷重曲線を図3に、背屈方向の変位—荷重曲線を図4に示す。底屈方向の変位22mmにおける荷重はPP製AFOで71.8N、CFRTP製AFOで323Nであり、CFRTP製AFOが約4.5倍、剛性が高いことがわかった。背屈方向の変位25mmにおける荷重はPP製AFOで42.0N、CFRTP製AFOで602Nであり、CFRTP製AFOが約14倍、剛性が高いことがわかった。

3. 2 疲労耐久試験

PP製AFOとCFRTP製AFOの疲労耐久試験結果を図5に示す。背屈方向の試験荷重は、PP製AFOとCFRTP製AFO共に21万回の耐久試験において、ほとんど変化しておらず、疲労による劣化は見られなかったが、底屈方向では、PP製AFOでは若干、試験荷重の絶対値が減少しており、劣化がみられた。CFRTP製AFOでは増減は見られず、今回の試験条件においては、機能低下は起こっていないとわかった。

4. まとめ

PP製AFO、CFRTP製AFOの物性評価試験について次の結果を得た。

- 1) 汎用的なコンパクト油圧加振機を用いてAFOの剛性、疲労耐久特性を評価する方法を考案した。
- 2) 本試験方法により材料の違いによるAFOの物性の違いを把握することができた。

なお、別報⁵⁾にて、本試験機によりCFRTP製AFOの強度試験を実施しているので参照されたい。

今回の試験では、AFOに貫通穴を開けており少なからずAFOの物性に影響していると考えられる。今後は、非破壊でAFOの物性を評価する方法を検討する予定である。

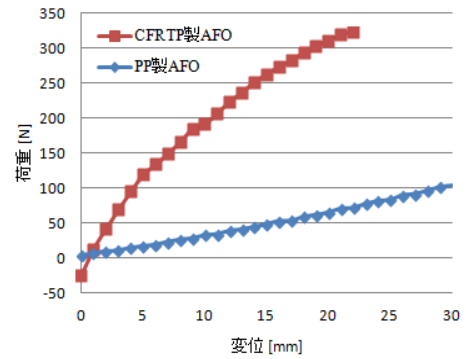


図3 底屈方向の変位—荷重曲線

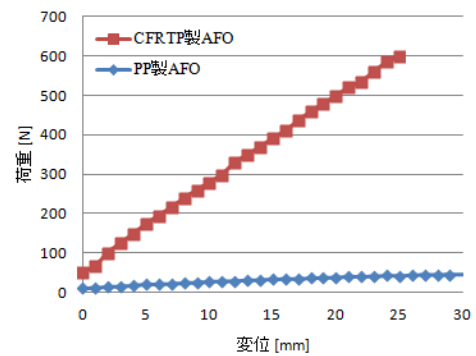


図4 背屈方向の変位—荷重曲線

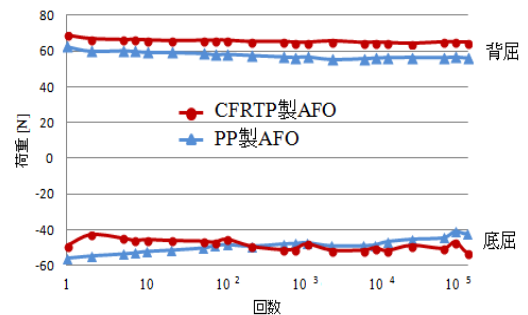


図5 各AFOの回数—荷重曲線

【謝辞】

本研究開発は、平成26年度より株式会社今仙技術研究所ならびに岐阜大学医学部附属病院と共同で行っており、株式会社名光ブレースの協力を受けながら実施しています。共同研究者ならびに関係者の皆様に感謝します。

【参考文献】

- 1) JIS T 9216:1991 金属製下肢装具用膝継手
- 2) 経済産業省, 平成24~26年度国際標準共同研究開発事業: 下肢装具の構造強度・機能の試験評価法に関する国際標準化
- 3) 植田ら, 短下肢装具強度試験装置の試作と新たに開発したプラスチック製下肢装具の機能性評価, 日本義肢装具学会誌 Vol.13, No.3, pp218-222, 1997
- 4) キルステン ゲッツ・ノイマンら, 観察による歩行分析, pp175, 2005
- 5) 千原ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.4, pp41-42, 2016