

37 カーボン複合系から作製したバネ材料の高性能化に関する調査研究

藤田浩行

1 目 的

炭素繊維強化複合材料は、軽量かつ優れた機械的特性と柔軟性を生かし、板バネなどのバネ材料として使用されることも多い。例えば、搬送用振動フィーダーの板バネとして用いられる材料は、高い共振周波数を利用して振動させ、省エネルギーで大きな搬送能力が得られる。一方、バネ材料は高温多湿環境下で使用されることも多く、長期間の使用で剛性が大幅に低下し搬送能力を失う。

本研究では、カーボン繊維と熱可塑性樹脂からなるバネ材料の開発を試みた。熱可塑性樹脂は、耐水性には優れるが、高い樹脂粘度のため、カーボン繊維への含浸性が低く、高強度・高弾性率が望めない。そこで、以前に開発した複合技術¹⁾を用いて作製したカーボン繊維と熱可塑性樹脂系の複合系から複合繊維を製織し、それを複数積層してバネ材料を成形する。複合系を用いることで、樹脂の含浸性向上に伴う複合材料の高強度・高弾性率が期待できる。また、高温多湿環境下でも耐久性の優れたバネ材料の開発を目指し、耐久性向上に関する調査研究を実施する。素材の選択や複合条件および織物規格などを検討することでバネ材料の高性能化を図る。

2 調査内容

本研究で開発するバネ材料は高温多湿環境下の長期使用を想定しており、耐久性に関する技術調査を実施した。主な調査内容を以下に示す。

既存のバネ材料で使用されているエポキシ樹脂をマトリックスとした炭素繊維強化複合材料（以降、CFRP）は、吸水に伴う強度低下が起きる。強度低下の要因は、①エポキシ樹脂の吸水劣化、②繊維と樹脂の界面強度低下、③繊維の劣化などが考えられている。一方、熱可塑性樹脂をマトリックスとした複合材料（以降、CFRTP）は、吸水の影響についてほとんど検討されていない。また、開発するバネ材料は、あらかじめカーボン繊維と熱可塑性樹脂系からなる複合系を作製する。熱可塑性樹脂系は、熔融後固化するが熱可塑性樹脂の冷却速度が結晶性に影響を与え、樹脂および複合材料の特性を変化させることが知られている。

調査結果を踏まえ、CFRP および CFRTP の多湿環境下の吸水に伴う重量変化を調べた。なお、CFRTP で使用される熱可塑性樹脂は、繊維化されていることが条件となるが、強度や汎用性なども考慮してポリエステルを選択した。そこで、ポリエステル系の熔融後固化させる

ための冷却速度の影響についても調べた。

樹脂含有率が同一の CFRP および CFRTP を 23℃、95%RH の雰囲気では 500 時間放置した。CFRP は約 1.4%重量が増えたが、CFRTP は半分の増加であり、ポリエステル系の CFRTP は吸水しにくいことがわかった。

ポリエステル系は、3種類のグレード（ユニプラス滋賀(株)製）について、糸の熔融後の冷却速度と樹脂の特性などについて検討した。一般グレードについては酸化チタンを混入したダルと含まないブライトの2種類を検討した。CFRTP の成形を考慮した冷却速度（図1）で固化させたが、両者とも条件に関わらず結晶化が進み、固化した樹脂は白化して樹脂自身非常に脆くなった。一方共重合グレードの場合、徐冷の場合は白化したが、急冷すると透明性を保ち弾性を保持することがわかった。そこで、結晶性を評価するため、共重合グレードのポリエステル系を 270℃で熔融、固化後の樹脂の DSC 測定を行った。その結果、図2で見られるように急冷の場合、低い結晶性のため加熱時に結晶化が進み、144.1℃において結晶化に伴う発熱ピークが見られた。しかし、徐冷の場合、既に高い結晶性を持つため発熱ピークは見られず、結晶性は顕著に異なることが明らかになった。

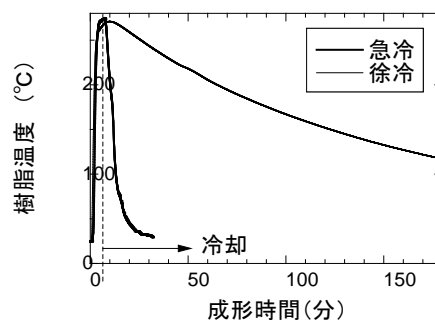


図1 CFRTP の成形時の加熱と冷却

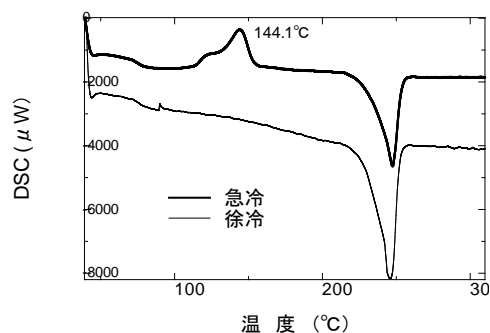


図2 共重合ポリエステルの DSC 測定

3 実 験

複合糸は、調査内容を基に表1の規格で作製した。また、複合糸から表2に示す6種類の複合織物を製織し、表3の積層構成で8枚重ね、ホットプレス機を用いて4種類のバネ材料を成形した。冷却方法は急冷である。なお、複合糸の作製および成形条件は、既報¹⁾のとおりである。厚みは約2.0mmとした。

成形材料は、図3で示される高速曲げ疲労試験機を用いて耐久性評価を行った。なお試験試料は、長さ82mm×幅56mmに切り出し、試験機に固定した。試験装置の構成および試験方法を以下に示す。下側コイルに交流電流を流し電磁誘導により上側コイルを変位させ、倒立させた試験片上部に試験片の固有周波数と一致する周波数で、繰り返し変位を与える。なお、変位の波形は正弦波で振幅は2mmとした。そして、6時間毎に変位振幅が2mmとなるように周波数を調整し、繰り返し回数が10⁸サイクルに達するまで試験を行った。なお、23℃、95%RHの雰囲気を実施した。

表1 複合糸の規格

	素材	太さ	本数	ピッチ
強化繊維	炭素繊維	3K(φ7μm)	1	5回 1インチ
縫合糸	PET (共重合)	300D (モノフィラメント)	3	
引揃糸	PET (共重合)	300D (モノフィラメント)	6	

表2 複合織物の規格

タイプ	A	B	C1	C2	C3	D	
組織	平	平	平	平	平	2/1オックス	
密度 本/インチ	たて	16	19	11	21	24	11
	よこ	5	7	11	11	11	21

表3 バネ材料の積層構成

規格 I	C3-C2-C1-C1-C1-C1-C2-C3
規格 II	D-D-C1-C1-C1-C1-D-D
規格 III	A-A-A-A-A-A-A-A
規格 IV	B-B-B-B-B-B-B-B

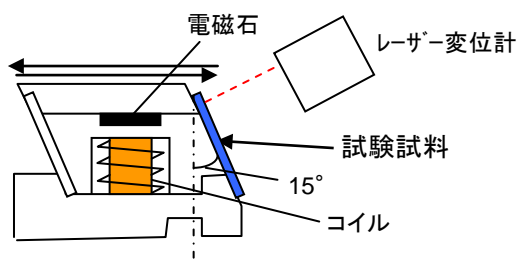


図3 高速曲げ疲労試験機の模式図

4 結果と考察

図4にバネ材料の繰り返し回数と振動周波数の関係を示す。なお、CFRP製板バネ(既存品)についても同様の耐久性試験を実施した。その結果、規格IIIは、初期

の周波数が約62Hzと他の規格と比べて小さく、その後の周波数低下も大きい。既存品や規格IおよびIVは、初期の周波数は70Hz程度と同等である。しかし、その後、既存品は、6000万回当たりから急激に周波数が低下しており、その低下率は増加している。規格IおよびIVも周波数低下は進むが、一気に低下する傾向は見られない。

一方、製造現場で使用される振動フィーダーは、設定した初期の周波数で板バネを連続稼働させ、剛性低下に伴う調整は現場では行わない。したがって板バネに要求される特性は、高い周波数のみならず、使用における剛性低下を抑えることが必要である。つまり、初期の周波数からの低下割合を低く抑えることが重要となる。そこで、初期の周波数を基準(=1.0)とし、各積層構成のバネ材料について繰り返し数10⁸回試験直後の周波数の割合を表4に示す。その結果、規格I、II、IVは、既存品(=0.86)より大きな数値を示しており、既存品よりも耐久性が高いことを示している。特に規格IIは、0.92と周波数の低下率が最も小さく、高い耐久性が得られた。

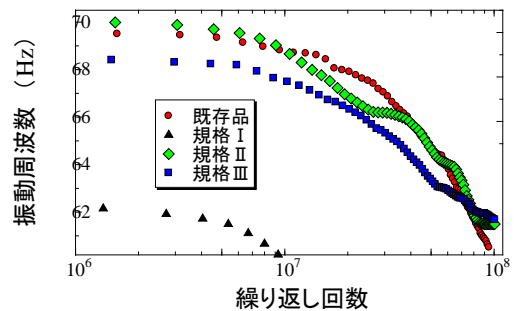


図4 バネ材料の繰り返し回数と振動周波数の関係

表4 バネ材料の規格と試験直後の周波数の割合

規格 I	規格 II	規格 III	規格 IV	既存品
0.90	0.92	0.76	0.89	0.86

5 結 論

搬送用振動フィーダーなどで使用されるカーボン製の板バネの耐久性向上を目指し、従来の熱硬化製樹脂に替わり、熱可塑性樹脂をマトリックス樹脂とするバネ材料の調査研究を行った。その結果、従来のバネ材料よりも高い耐久性のバネ材料を開発することができた。

参 考 文 献

- 1) 藤田, 東山, 中野, 古谷, 兵庫県立工業技術センター 研究報告書, 19, 79 (2010)

謝 辞

本研究は、同志社大学理工学部、藤邦織物(株)、宮田布帛(有)との共同研究により実施しました。関係者の方々に深く感謝いたします。

(文責 藤田浩行)

(校閲 有年雅敏)