

# CFRP 材料を用いた台車部品の構造の研究

【2022年度 KR-091】

明星大学 理工学部 総合理工学科 機械工学系 准教授

**小山 昌志**

## 1. 調査研究の背景

鉄道車両の中でも台車の構造体およびサスペンション部品には、一部のアルミ材料を除いて、主に鉄系材料が用いられてきた。2015年に熊本電鉄で実用化された台車（川崎重工製 efWING）では台車枠のうち、側はりに炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を用いることで台車の大幅な軽量化を実現するとともに、CFRPの特性を活かした構造で走行安全性の向上も図っている。この台車はその後JR四国も導入し、運用実績を積上げている。しかし、台車部品に限って見ると、CFRP材の適用範囲が広まっているとは言えない。CFRP材料は、鉄系材料に比べて、軽量化を図るために優れた材料であることが知られ、また、振動減衰性能も高い。加えて、材料の特性に方向性を持たせる材料設計が可能であるという特徴を有する。CFRP材料の特徴を活かした台車部品の実現可能性を検討している。昨年度の調査研究「鉄道車両の台車部品にCFRP材料を適用する可能性の研究」<sup>1)</sup>では、CFRP材の特徴と課題を考慮して、数多くの台車部品の中から、車体・台車間のヨーダンパの移動はり式構造、アンチローリング装置、貨車用まくらばねへCFRP材の適用可能性について、FEM解析あるいは小型模型を設計・試作し、試作品について、荷重試験機で実証的に耐荷重性能などを測定し、基本的な実現可能性を確かめた。

## 2. 調査研究の概要

今年度は、アンチローリング装置と、貨車用まくらばねについて、CFRP材で製作する構造を進展させ、より実現性のある部品模型の設計・試作を行っ

た。それぞれの部品については目標性能を設定し、構造が性能に及ぼす影響を調査し、目標性能を実現するための設計方法をまとめる。試作し、性能測定するのは縮尺模型レベルで行うものであるが、FEM解析の妥当性を確認しつつ、可能な範囲で実物大の試設計を行い、その質量や性能を示すことを目標とする。この調査研究は、あくまでも基礎的な研究であり、CFRP台車部品の開発に足がかりを掴むための研究になるものと考えられる。

### (1) アンチローリング装置<sup>2)3)</sup>

従来から車体のアンチローリング装置として、トーションバーが用いられることがある。トーションバーを用いることで、上下方向の車体支持剛性とは独立に車体ローリング剛性を高めることができる。金属材料によるトーションバーに比較して、軽量・コンパクトに、高いねじり剛性を持つCFRP製トーションバーの実現性を検討している。昨年度は、トーションバーと横腕を、独立に性能設計・製作した。今年度、明星大学では、トーションバーと横腕を一体成形した。製作した一体型CFRP製トーションバーを図1に写真を、表1に寸法を示す。一体型CFRP製トーションバー試験体を製作するにあたって熱硬化性樹脂プリプレグで製作する場合、アーム部は曲げ、トーションバーはねじりとそれぞれ要求



図1 製作した一体型CFRP製トーションバー

表1 一体型CFRP製トーションバーの諸元

部位	幅 (mm)	長さ (mm)	厚さ (mm)	CFRP 積層構成
トーションバー	20	200	2	$[0^\circ]_{16}$
横腕	20	100	2	$[\pm 45^\circ]_{4s}$

性能が異なり、同一の繊維配向で各部材の要求をみたすのは困難である。トーションバーと横腕を別々のプリプレグで製作し交互に重ね合わせることで一体型CFRP製トーションバーを製作した。供試材として一方向プリプレグ(東レ株式会社製P3252-S)を用い、縮尺1/8.27の模型ばねとして表1に示す繊維配向で積層中立面に対してミラー対称積層し真空バッグ成形法によって製作した。一体型CFRP製トーションバーの幅とねじり剛性を測定した結果を図2に示す。この結果から得られたねじりばね定数は6,555(Nm/rad)であり、同時に良好な線形性が確認できた。なお、一体形CFRP製トーションバーの質量26gであった。

(2) 貨車用まくらばね<sup>4)5)</sup>

大型の海上コンテナであるハイキューブコンテナの国内鉄道輸送には、一部の狭隘なトンネルなどの制約があり、貨車の低床化にはニーズがある<sup>6)</sup>。低床化を実現するためには、コンパクトなまくらばねが必要になるものと考えられる。

明星大学では、上下方向のばねストロークを維持しつつ、セット長の短い省スペースばね構造を図3のような構成で考えた。この提案構造は、曲率を持ったCFRP製板ばねを向かい合わせに重ねた構造としている。CFRP製板ばねは、熱硬化性樹脂プリプレグで製作し、ばね構造内の諸部品の形状・性質を選

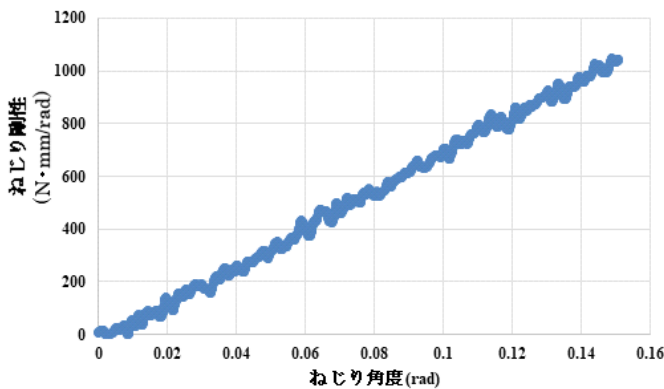
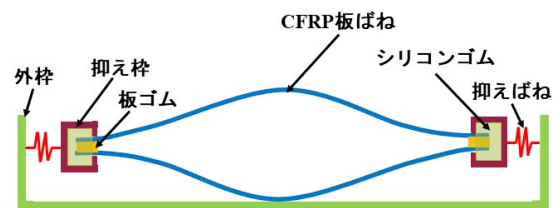


図2 一体型CFRP製トーションバーのねじり剛性

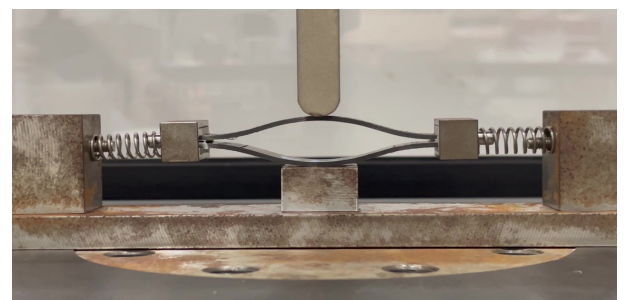
択することにより、図4に示すような、ばね剛性の設定方法を確立した。縮尺1/8.27の低床化用模型車体と台車を製作しCFRP模型まくらばねを取付け、三次元振動台を用い、加振試験を行った。比較対象の金属製コイルばねも併せて、試験結果の一例を図4に示す。CFRP製模型まくらばねはコイルばねと比較し振動減衰性に優れていることが分かった。製作したCFRP製模型まくらばねはストローク/ばね自由長の比0.57(8.8mm / 15.5mm)であり、ストロークを確保したままばね高さを低くできることから、垂直方向に省スペースなばねであると言える。また、別の実験では製作したCFRP製模型まくらばねの破断荷重が想定最大荷重の1.9倍であることを確認した。

3. 調査を終えて

ここではアンチローリング装置と、貨車用まくらばねについて、各部品にCFRP材を適用した構造をより発展させ、より実現性のある部品模型の設計・試作を行った。その結果、アンチローリング装置については、トーションバーと横腕を異なる積層構成



(a) 提案ばね装置の構成



(b) 製作したCFRPばねの荷重試験

図3 提案する省スペースばね構造

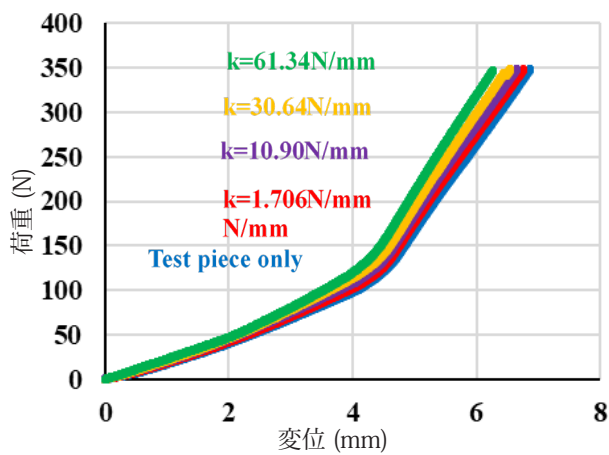


図4 CFRP製模型まくらばねのばね剛性

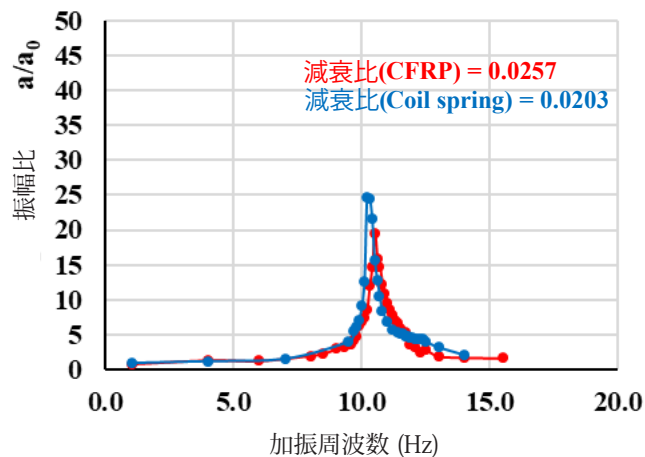


図5 CFRP製模型まくらばねを装備した車両模型の振動台加振実験(上下方向の応答振幅倍率)

CFRP材を一体成形することで、目標とした線形なばね定数を有する軽量なトーションバーを実現した。貨車用まくらばねについては、CFRP製模型まくらばねを製作し、ストロークを確保したままばね高さを低くできることから、目標とした非線形なばね定数を有する垂直方向に省スペースなばねを実現した。なお、構造設計により、非線形なばね剛性を選択的に設定することが可能である。さらに、CFRP製模型まくらばねを装備した模型車体と台車の振動台上の加振実験により、有意な振動減衰性能を確認した。

今後は、それぞれのCFRP製車両部品を模型から実物大に展開するにあたっての問題点あるいは設計方法を検討したいと考えている。□

## 参考文献

1) 小山昌志：鉄道車両の台車部品にCFRP材料を適用する可能性の研究、研友社 Annual Review、No.23、KR-080、2022.5

2) 平山翔大、宮本岳史、小山昌志：模型台車用CFRPトーションバーの開発、JRAIL2021、PS2-7、WEB、2021.12  
 3) 平山翔大、宮本岳史、小山昌志：模型実験に基づいた鉄道用CFRP製アンチローリング装置の提案、TRANSLOG2022、TL10-2、東京大学生産技術研究所、2022.11  
 4) 草間悠允、宮本岳史、小山昌志：ストローク/セット長の比が大きい省スペースばねの開発、JRAIL2021、PS2-1、WEB、2021.12  
 5) 草間悠允、宮本岳史、小山昌志：低床化用台車に搭載した鉄道貨車の低床化を目的とした縮尺模型用CFRPばねの性能評価、TRANSLOG2022、TL1-3、東京大学生産技術研究所、2022.11  
 6) 渡辺富博、二田義規、柴崎隆一、赤倉康寛：コンテナサイズに視点をおいた国際海上コンテナ輸送に関する基礎的分析、国土交通省国土技術政策総合研究所資料 No.478、p.2、2008