

CFRP プロペラシャフトの開発

Development of CFRP Propeller Shaft

桜庭 智裕*

Tomohiro SAKURABA

甲斐 俊之介*

Shunnosuke KAI

和田 伸二*

Shinji WADA

杉浦 泰史*

Yasushi SUGIURA

要 旨

軽量素材である炭素繊維強化樹脂(以下 CFRP)を用いたプロペラシャフトを開発し、新型 LEGEND に採用した。

異方性材料である炭素繊維(CF)の特性を活かすために、フィラメントワインディング製法を用いて CFRP チューブを製造した。チューブのねじり強度を確保するため、CFの巻き角度は 30 度とした。

接合部については、他の金属部位に対して、強度・耐久性に余裕を持たせた設定となるよう、チューブと金属スタブシャフトの圧入度を最適化した。

スタブシャフト圧入部の構造を工夫することで、軸方向の所定の荷重にてチューブを破壊させ、実車として衝突時の衝撃吸収性能を確保した。

本開発の CFRP プロペラシャフトでは、従来の鋼管製プロペラシャフトに比べ 30%の軽量化を実現した。

ABSTRACT

A propeller shaft made of carbon fiber reinforced plastic (hereafter referred to as "CFRP"), a lightweight material, was developed and used on the 2005 model year LEGEND.

To utilize the characteristics of carbon fiber (CF) which is an anisotropic material, the CFRP tube was produced using filament winding molding method. The winding angles of CF was set at 30 degrees to help ensure tube torsional strength. The press-fitting allowance of the metallic stub shaft in the CFRP tube at the joint was optimized, and adequate margin in strength and durability was assigned with respect to other metallic members to help ensure reliability.

The press-fitted portion of the stub shaft was designed such that the tube broke when subjected to the specific axial load, and the ability of the vehicle to absorb shocks during a collision was ensured.

A 30% savings in weight was achieved in the developed CFRP propeller shaft compared to the conventional steel tube propeller shaft.

1. まえがき

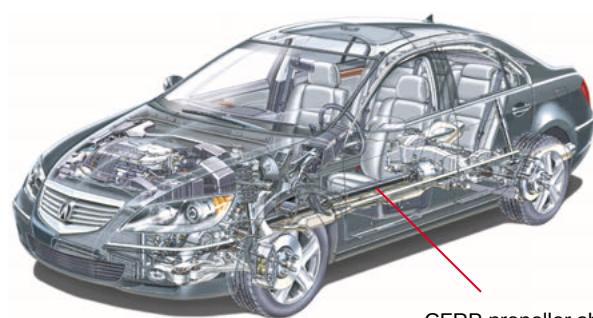
近年、自動車に対する安全性、軽量化のニーズはますます高まってきている。従来では高価な軽量素材も自動車分野への台頭が目覚ましいものがある。航空宇宙分野を中心に適用されてきた炭素繊維強化樹脂(以下 CFRP)も自動車への適用が拡大してきており、強度・剛性を生かして部品開発が盛んになってきている⁽¹⁾。

従来はレーシングカーやプロトタイプ車などのフード、フェンダ、スポイラなどの外板用途部材への開発が中心であったが、車体の駆動系中枢をなすプロペラシャフトへの CFRP の適用も始まってきている⁽²⁾。

新型LEGENDは新開発の Super Handling-All Wheel Drive (SH-AWD)システムを採用した四輪駆動車である。ここで

*栃木研究所

は、新型 LEGEND へ採用した CFRP プロペラシャフトについての技術内容を紹介する。新型 LEGEND の CFRP プロペラシャフトを Fig. 1 に示す。



CFRP propeller shaft

Fig. 1 Perspective drawing of new LEGEND

2. 材料及び製法

2.1. CFRP 材料の特性

CFRP は、強化材である炭素繊維(CF)の比重が小さいことから、比強度、比剛性に優れており、部品の軽量化設計が可能になるが、一方、強化繊維に依存する異方性が発現する。繊維の方向と引っ張り強度の関係を Fig. 2 に示す。繊維方向(0度)では高い強度を示すが、直角方向(90度)ではおよそ 10 分の 1 の強度になっている。

この特徴を利用し部品軽量化を意図する場合は、その応力方向に応じ、繊維を配置することでより一層の軽量化効果を得ることが可能な材料である。

2.2. フィラメントワインディング製法

Fig. 3 にプロペラシャフトの製造工程を示す。フィラメントワインディング(以下FW)製法で成形したCFRPチューブを所定寸法に切断し、その端部に金属製のスタブシャフトを圧入して製造される。ここでは CF の特性を活かすために採用された FW 製法について説明する。

CF は PAN 系の 24K を用い、硬化用樹脂にはビスフェノールA系のエポキシ樹脂を用いた。CFはクリルスタンドから供給され、樹脂バスを通り、エポキシ樹脂を含浸させた状態でマンドレルに巻きつけられる。CFはチューブの径方向にほぼ直角に巻くフープ層と、角度をつけたヘリカル層

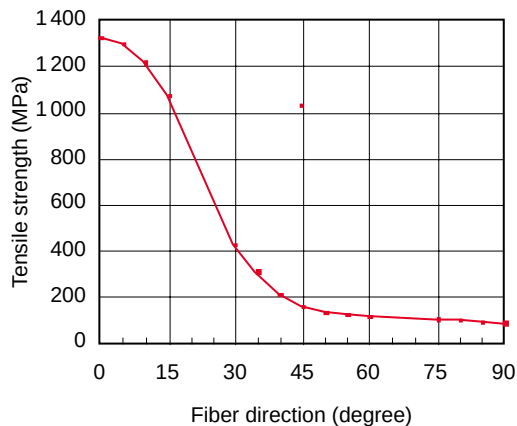


Fig. 2 Effect of fiber angle on tensile strength

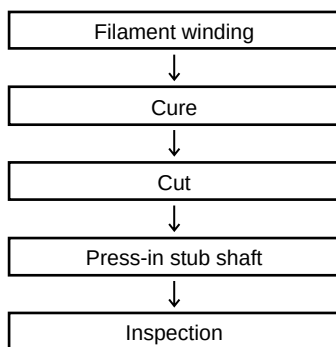


Fig. 3 Manufacturing flow for shaft

とを組み合わせた構成で巻きつけられる。ヘリカル層はプロペラシャフトとしてのねじり方向強度を発現させるために必要な層で、本開発のプロペラシャフトのヘリカル層の巻き角度は30度に設定されている。所定量の繊維を巻きつけたマンドレルはそのまま硬化炉に投入され、130℃、120分で加熱硬化される。硬化に用いる加熱炉には回転機構が装備され、硬化中の変形を対策している。硬化完了後にチューブ状の CFRP 成形品をマンドレルから抜きとり FW 工程が終了する。得られた CFRP チューブは次工程の切断工程に送られる。Fig. 4 に FW 製法の概略を示す。

3. 基本構造と目標性能

四輪駆動車などプロペラシャフトを使用する車両の場合、車両が衝突した際のエンジンの後退をプロペラシャフトが阻害するという事象がある。

この事象を回避するため、プロペラシャフトには規定荷重で軸方向に安定的に圧壊する構造が求められる。

CFRPプロペラシャフトの基本構造をFig. 5に示す。NO.1シャフトと NO.2 シャフト及び3個の等速ジョイントとセンタベアリングサポートから構成される。

チューブ部に FW 製法で成形した CFRP チューブを採用し、両端部に金属製のスタブシャフトをセレーション圧入することで、シャフトとしている。

従来のプロペラシャフトの場合、鋼管とスタブシャフトを溶接により結合することで、駆動トルクの伝達に対して

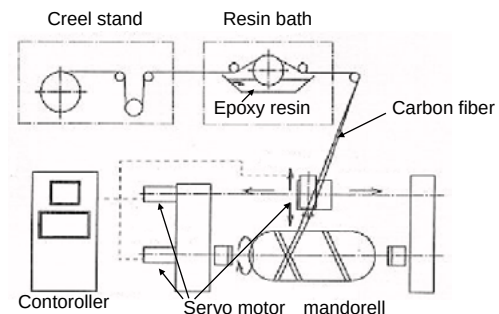


Fig. 4 Filament winding molding

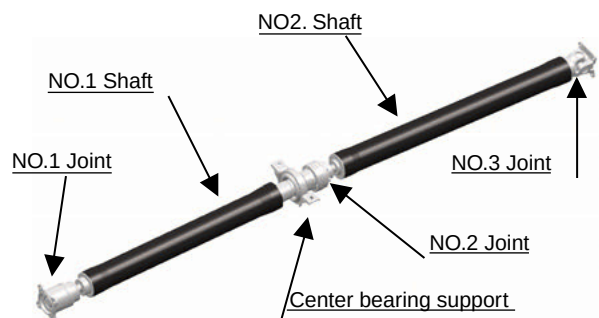


Fig. 5 Construction of CFRP propeller shaft

強度を確保している。

CFRP プロペラシャフトでは、CFRP チューブとスタブシャフトの結合をセレーション圧入とし、セレーションの歯形、歯数、圧入長さ、圧入締め代等をチューニングすることで、本来の機能である駆動トルクの伝達と、衝突時における低荷重での軸方向圧壊という要求性能をより高い次元でバランスさせた⁽³⁾。セレーション部の概要をFig. 6 Section AAに示す。CFRPチューブの内壁にスタブシャフトが食い込むように圧入されている様子がわかる。

また、実車性能から要求されるトルクに対し、金属製のスタブシャフトのねじり強度を設定し、さらにスタブシャフト圧入部及びCFRPチューブねじり強度がスタブシャフトのねじり強度を上回るように強度設定をおこない、許容トルクを超えた場合の破損部位を金属製のスタブシャフト部に設定している。

一方、車両の使い勝手上の配慮として通常走行時や軽衝突時のエンジン変位等で、CFRPプロペラシャフトヘダメージが加わらない構造とするために、NO.1ジョイントにスライド式を採用した。変位吸収の構造を Fig. 6 に示す。

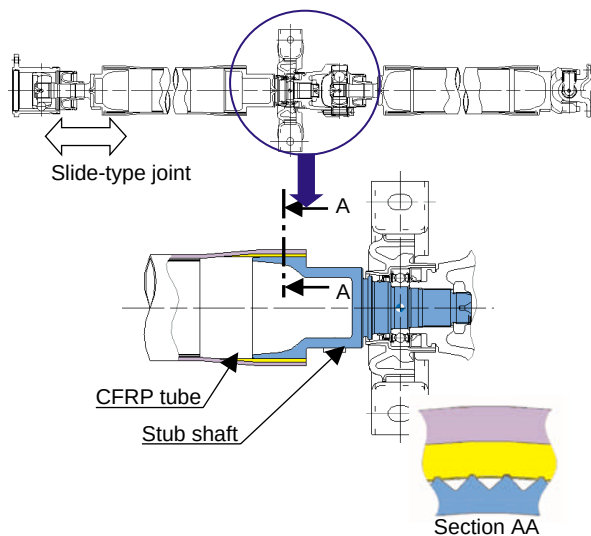


Fig. 6 Structure prior to breaking

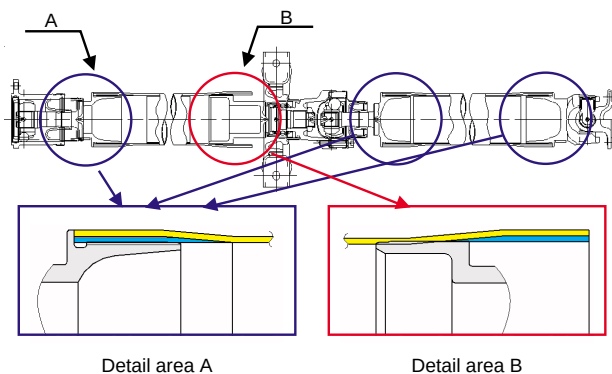


Fig. 7 Detail of press-in structure and shaft break mechanism

軽衝突を超えるより大きな荷重が車体に入る場合にはエンジンが後退する際に発生する荷重により、CFRP チューブ端部にセレーション圧入されているスタブシャフトが、CFRP チューブ内に押し込まれる様にスライドして CFRP チューブを内側から破壊するように作用する。

このとき、エンジンの後退を阻害しないように所定の荷重にてチューブを内側から破壊させる必要がある。

破壊前の構造をFig. 6, 破壊後の構造をFig. 7 Detail area B に示す。

チューブの内側からの破壊荷重を制御するには、CFRP製プロペラシャフトのスタブシャフト圧入部を制御する必要があるが、圧入部は Fig. 7 に見られるように4箇所存在するため、軸方向に荷重が負荷された際に破損する部位を特定し、その部位を制御することにより、安定的な荷重でチューブの破損に導く構造を考案した。

Fig. 7 のCFRP チューブを破壊させない部位(Detail area A)のスタブシャフトには、CFRP チューブの端面に突き当たるようにフランジを設けることで、荷重が負荷されてもスタブシャフトがCFRP チューブ内に押し込まれない設定とした。

この設定によりCFRP チューブの破壊させる位置をコントロールすることが可能となった。

4. 部品単体特性

4.1. 荷重性能

新型 LEGEND 用 CFRP プロペラシャフトの目標性能に対する荷重とストロークの関係を Fig. 8 に示す。

スタブシャフト部が押し込まれていくことにより逐次チューブ部の破壊が進むため、安定的に低い荷重で破壊することを確認した。

4.2. ねじり強度

実車での使用条件を加味し、CFRP プロペラシャフトのねじり試験を実施した。その結果、実車要求トルクにおいてはCFRP との接合部にクラックなどの発生は認められず、過大トルク入力時の破損形態は当初設定の通り金属製スタ

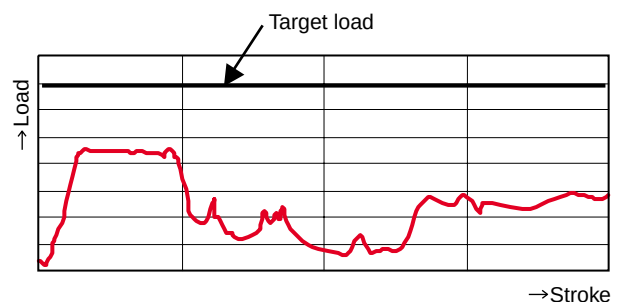


Fig. 8 Load characteristic

ブシャフト部のねじり破壊となった。

また疲労試験も同様におこなった結果、疲労試験後の CFRP プロペラシャフトには接合部のクラックなど機能に影響する事象の発生なく、鋼管製プロペラシャフトと同等の性能を達成した。

4.3. 耐環境特性

CFRP チューブの耐環境特性確認を実施した。

エンジンオイル、ATフルード、酸、アルカリ、グリスなどについて規定時間浸漬処理をした後、Fig. 9に示す円管強度試験をおこない、保持強度を測定したところ、処理前後の強度差は認められず、各項目について材料劣化のないことを確認した。

また、耐熱性及び耐水性など実使用環境下で想定される環境条件による耐久試験も同様の円管強度試験にて低下のないことを確認した。

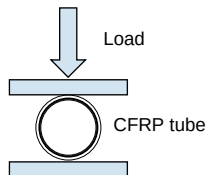


Fig. 9 CFRP compression test

5. まとめ

CFRP を用いたプロペラシャフトを開発し、新型 LEGEND へ採用した。

1. スタブシャフト圧入部の構造を考案し、所定の圧壊荷重にてシャフトを破壊させて、実車として衝突時の衝撃吸収性能を確保した。
2. 接合部の強度設定のためスタブシャフト圧入代の最適化をおこなった。
3. FW 製法における CFRP チューブの評価をおこない実使用時に材料劣化のないことを確認した。
4. 新型 LEGEND に搭載すべく検討した鋼管製3分割構造プロペラシャフトに対し、CFRP 製2分割プロペラシャフトの採用により、約30%の軽量化と、約25%の部品点数削減を達成した。

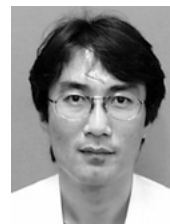
参考文献

- (1) 山根保夫, 桜庭智裕: CFRP による軽量フードおよびリアスポイラの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, NO.1, P209-214
- (2) 川原田, 関山他: 新開発コンポジットプロペラシャフトの紹介, トヨタテクニカルレビュー, Vol.43, NO.2号
- (3) 特公平9-175202【発明の名称】車両用プロペラシャフト

■著 者■



桜庭 智 裕



和田 伸 二



甲斐俊之介



杉 浦 泰 史