

天然繊維素材による自転車への適用（第3報）

1. はじめに

天然繊維の中で和紙原料である三桧や麻などは、優れた強度特性や整った繊維形状などの特徴がある。本研究ではこれらの繊維を強化材とした天然繊維強化プラスチック（NFRP）を用いて、FWパイプによるNFRP製MTBフレームを試作して強度試験を行った。また、中空一体成形ハンドルについても試作、強度試験を行った。さらに、NFRPの振動特性試験として自転車の乗り心地に関する振動減衰性を検討したので併せて報告する。

2. MTB型フレームの試作

試作フレームはパイプ構造でフレームサイズは450mm、前三角がNFRPであり、接合部、後三角はTi合金である。フレームの設計基準となるパイプの強度は、NFRP製FWパイプの曲げ弾性率が約30,000MPaであることから、CFRPロードフレームパイプと同等に、上、下パイプは外径35.0mm、内径28.0mm、立パイプは外径31.8mm、内径18.0mmに設計された。なお、シートポスト挿入部のパイプ内径は26.0mmであり、段差は

テーパ加工された。また、本研究ではパイプ剛性をより高めるため、上、下パイプ内部にリブを施した。FWの積層角度は 0° と $\pm 45^{\circ}$ がほぼ交互であった。パイプ断面を写真1に示す。

フレームは上記パイプと接合部およびシート、チェーンステーなどを、TIG溶接や接着で接合して組み立てられた。試作フレーム体の外観を写真2に示す。フレーム体の重量は約1,770gであり、市販のCr-Mo鋼MTBフ

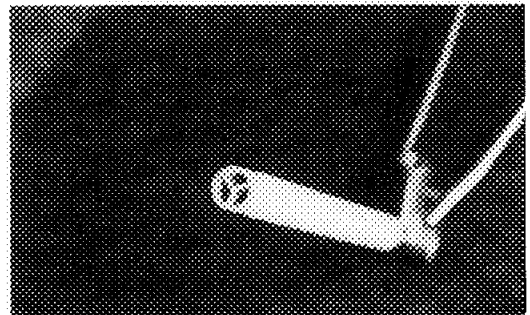


写真1. フレームパイプの断面写真

フレーム体と比較して約200g軽く、CFRPモノコックMTBフレームとほぼ同じ重量であった。

3. 一体成形ハンドルの試作

試作の目的は、一般的なMTB用のCr-Mo鋼ハンドルバーとAl合金システムの総重量が約715gと重いため、これらの軽量化と、複雑形状物のNFRPによる中空成形技術の確立である。試作ハンドルの設計仕様はバーとステムの肩部がNFRPであり、ステムパイプはAl合金である。NFRP部分には一方向プリプレグを用い、Al合金システムをNFRPのステム肩部に挿入して同時に成形された。プリプレグの積層角度はバー部は長手方向に対して 0° 、ステム肩部はバーに対して 90° である。ハンドルの肉厚はCFRP用金型を流用したため約2mmであり、上記仕様にて天然繊維を積層した後金型に入れ、約2~3 kgf/mm²の内圧をかけて成形を行った。

成形後のハンドル重量はステムを含めて約400gであり、市販のCr-Mo鋼バーとAl合金システムと比較して約300g、GFRP一体ハンドルと比較して約200g軽くすることができた。また、成形時には複雑なアール形状部に多少の繊維のたるみが生じたが、気泡や樹脂溜まりは生じなかった。試作ハンドルの外観を写真3に示す。

4. 試験方法

試作フレームの強度試験は静的な横剛性試験として、フレームを横にしてハンガ部を固定し、下パイプと立パイプにハンガ中心からそれぞれ550mmと450mmの位置に荷重をかけたときの変位量を調べた。なお、比較のため

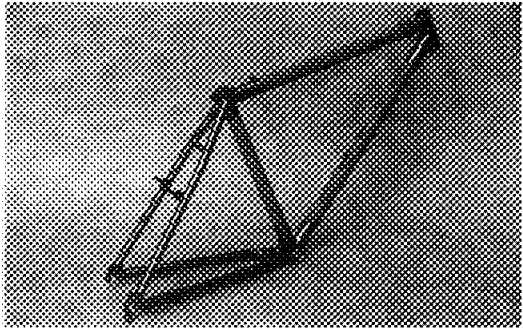


写真2. 試作フレーム体の外観写真

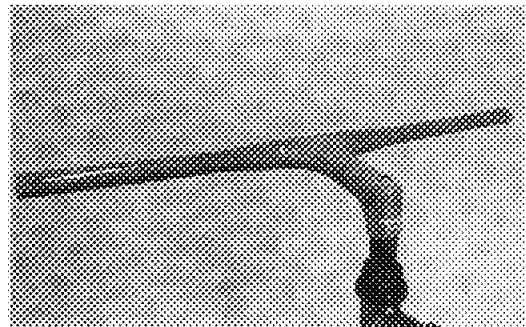


写真3. 試作ハンドルの外観写真

各種ロード及びMTBフレームなども試験を行った。

次に、ハンドルの強度試験では耐荷重試験として、通常の使用状態と同様にステムを固定した後、バーの左右両端から40mm内側へ下方向に荷重をかける試験を行った。

5. 試験結果および考察

図1に試作フレームを含めた各種フレームの下パイプの荷重と変位量の関係を示す。その結果、荷重を約300N負荷したときのNFRPフレームの変位量は下パイプでは約12mmであった。これより、NFRPフレームの変位量は下パイプでは設計仕様のCFRPロードフレームより少なく、その他に、立パイプではほぼ同じであった。

上記試験でNFRPフレームの下パイプの変位量が設計仕様のフレームより少ない値を示した理由として、パイプ内部に特殊なリブ構造を付加したことが挙げられる。リブ構造の付加でパイプの断面積が約20%増加すると共に、パイプの曲げ剛性も約8%増加しており、そのため、変位量が減少したものと考えられる。また、立パイプのシート側はシートポスト挿入のため、リブを施さなかったことや立パイプの荷重付加点はシートポストの外径に合わせて肉厚が2.7mmであるため、剛性を高めることができず、設計フレームと同等の変位量を示したものと考えられる。

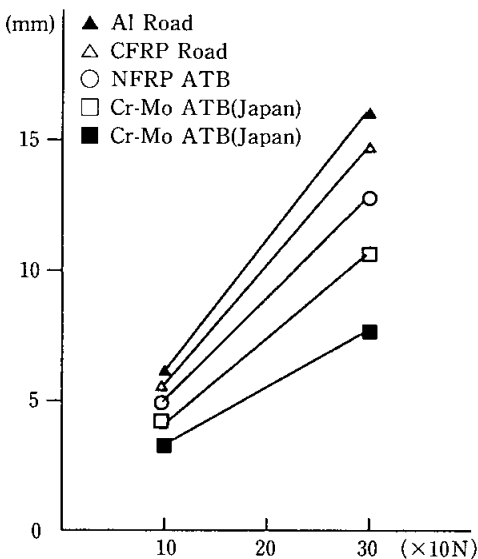


図1 各種フレームの横剛性試験結果

次に表1にハンドルの試験結果として他のハンドルの結果も含めて最大荷重とハンドル重量を示す。これより、NFRPハンドルの最大荷重は約1,400Nであり、市販のAl合金ハンドルと比較して約1/2、Cr-Mo鋼ハンドルの約1/3の値であった。

上記試験で最大荷重が低かった理由として、設計仕様がCFRP製品であったため、肉厚が薄いことが挙げられる。ここで、ハンドルバーの外径を22.2mmとして耐荷重(F)を300kgf(片側150kgf)と設定したときの必要な肉厚を計算すると、NFRPの引張強度(σ)は約20kgf/mm²であるため、破壊予想点にかかる曲げモーメント(M)は荷重点から破壊予想点までの距離(L)を150mmとすると、

$$M = F \times L = 22,500 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

これより断面係数(Z)を求め、外径(d)を算出すると、

$$Z = M / \sigma = 22,500 / 20 = 1,125$$

$$Z = \pi d^3 / 32 \quad d = 22.6 \text{ mm}$$

今回の仕様である外径22.2mmでは300kgfの荷重には耐えられないため、今後の課題として設計段階でNFRPの強度に合った設計をする必要があるものと考えら

表1 各種ハンドルの重量と強度試験結果

種類	重量(g)	最大荷重(N)
NFRP モノコック	420	1400
アルミニウム モノコック	460	2250
Cr-Moバー ステム	715	3900

れる。

6. NFRPの振動特性試験

6.1 試料および実験方法

NFRPの振動減衰性について検討した。実験に使用した試験片は、平板で、寸法は150×20×2mmである。測定にはリオン社製、損失係数測定システムを用い、試験片中央を加振機に固定して、周波数応答関数を測定して共振特性から損失係数を求めた。試験片の材質はNFRP、CFRP、Al合金の3種類でNFRPとCFRPは積層角度を0°、90°、Vfを約60%とした。さらに、NFRPは原料の三極とマニラ麻の配合割合を80:20、60:40、40:60にそれぞれ変えたものも検討した。

6.2 試験結果および考察

図2、3にNFRP(三極80%、マニラ麻20%)とCFRPの積層角度0°の周波数応答関数および弾性率、損

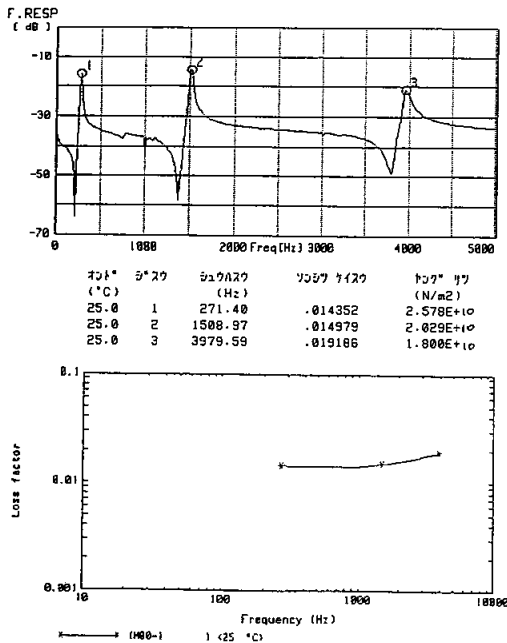


図2 NFRPの振動減衰性測定結果
(三極80%、マニラ麻20%、0°)

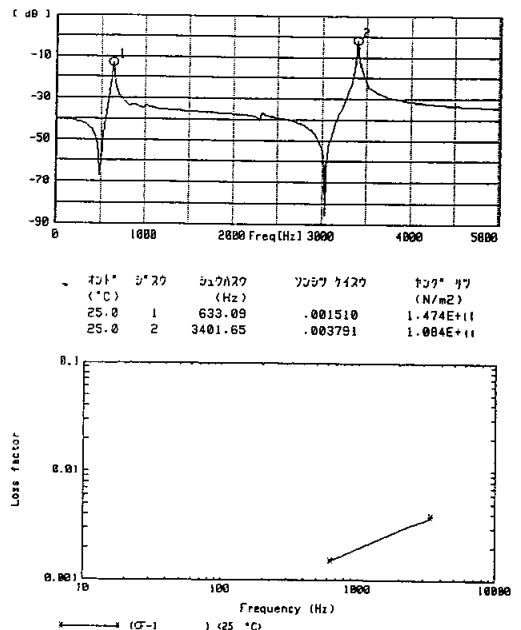


図3 CFRPの振動減衰性測定結果(0°)

損失係数の測定結果をそれぞれ示す。これらの周波数応答関数より、NFRPは271Hz付近と、1,508Hz付近および3,979Hz付近に1から3次、CFRPは633Hz付近と3,401Hz付近に1次、2次の共振周波数があることがそれぞれ確認できた。これらより、各モードの共振周波数は素材によって異なり、また、同じモードにおいても積層角度が異なると共振周波数が異なることが分かった。損失係数について1次の値を比べると、NFRPは約 $2 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-2}$ の値を示し、CFRPの 2×10^{-3} に比べて約10倍高い値を示した。また、NFRPで原料の配合割合を変えたものは大きな差は見られなかった。さらに、繊維積層角度を変えたものはCFRPで差がみられ、 90° が 0° に比べて高く、NFRPとほぼ同じ値を示した。

あとがき

FRPの需要への対応と軽量化のための新たな機能性構造材料の開発を目的として、和紙原料を主体とした天然繊維を強化材とした複合材料の開発と自転車用部材への適用を行い特性評価を行った。天然繊維強化複合材料は、他材料と比較して強度面では、まだ多少検討の余地もあるが、自転車の乗り心地に関する振動減衰性に優れていることや、樹脂との優れた密着性、延性的な破壊形態を示すため安全性も高いなど、特性面において優れた点を確認することができた。最近、地球環境保護のため、処理や再生が容易な金属や紙が注目されており、今後、構造材料としてのニーズはますます増加することが予想される。

(品質構造研究部)