

兵庫県立工業技術センター ○藤田浩行、山口幸一
シバタ工業(株) 西川信二郎、小谷美和
同志社大学 [院] 大野智広、水谷修平
同志社大学 坂口一彦、松岡 敬

1. はじめに

繊維強化ゴム系複合材料 (FRR) はFRPと比較し、そのマトリックスの特性から、大きな変形が可能であるとともに、振動吸収性能などに優れた特徴を有する。それらの特性は、マトリックスのみならず、強化繊維の素材特性や強化形態に大きな影響を受ける。強化繊維の形態には、タイヤなどに用いられるコードや織物などによる形態がある。織物強化の場合は、糸の太さや密度さらには織構造により、その強度特性は変化する。また、織物は直交異方性材料であるから、外力の方向により強度特性は大きく変化し、マトリックスの特性を利用した大きな変形量が期待できることから、FRRの用途展開においてその特性を考慮することが重要である。

本研究では、ナイロン織物およびアラミド織物と天然ゴム系ゴムから作製したFRRの強度特性として、引張強度および衝撃吸収性能について検討した。なお、アラミド織物については、織構造のみ異なる2種類の織物を用いてFRRを作製した。引張強度については、変形方向を変化させて行い、織物の素材特性が変形方向の挙動に与える影響について検討した。なお、アラミド織物のFRRについては、疲労強度についても比較・検討し、織構造の与える影響についても検討した。さらに、衝撃吸収性能に関しては、織物の素材および織構造と吸収エネルギーなどの衝撃吸収性能との関係について明らかにすることを試みた。

2. 実験方法

2・1 実験試料 実験に用いたFRRは、織物1層、ゴム2層の構造である。織物は、ナイロン織物およびアラミド織物を用い、ナイロン織物は平織の1種類、アラミド織物は、平織および朱子織の2種類の織物を使用した。なお、2種類のアラミド織物は、たて・よこ糸とも同一の太さおよび密度であり、組織のみ異なる構造である。また、ゴムは、天然ゴム系である。以上、3種類のFRRを作製し、各試験に応じた形状に切り出すことで、実験試料とした。なお、どの試料の厚みも約1mmである。

2・2 引張試験 引張試験はたて糸方向を基準として、0、15、30、45度方向にダンベル形状に切り出した試験片を用い、引張速度200mm/minで実施した。なお、ダンベルの平行部の幅は、10mmである。また、組織の違いが、疲労特性に与える影響を検討するため、30、45度方向のアラミド織物のFRRについて、荷重制御による繰り返し疲労試験を行った。繰り返しの最大

荷重は、静的な引張試験で得られた破断荷重を基に、荷重比0.3、0.45、0.60、0.75の4通りとして設定し、実施した。具体的には、引張速度200mm/minで設定荷重まで負荷した後、同一速度で荷重がゼロになるまで戻す動作を試料が破断するまで繰り返した。

2・3 衝撃試験 衝撃試験は、貫通式の衝撃試験機を用いて行った。この装置は、ロードセル一体型ポンチ(φ12.7)により、試験片を貫通破壊させ、動的な荷重と荷重負荷点変位を計測することが可能な装置である。なお、ポンチの速度は、2、5、10m/sの3条件として実施し、最大荷重および吸収エネルギー量を計測した。

3. 実験結果および考察

3・1 引張試験 図1に、ナイロン織物およびアラミド織物(平織)のFRRについての応力-ひずみ曲線を示す。両者を比較すると、明らかに破断ひずみが大きく異なっており、ナイロンのFRRの方が、どの角度においても大きく伸びた。特に、0度方向に引っ張った場合は、ナイロンのFRRは、アラミドのFRRと比較して約6倍伸びた。これは、織物の特性そのものが表れた結果となり、強度差も織物の特性の差によるものであった。15~45度の角度でも、ナイロンのFRRの方が良く伸びたが、両者の強度の差は、ほとんどなくなった。これは、ナイロン繊維およびアラミド繊維とゴム間での接着性の違いにより生じた結果と考えられる。

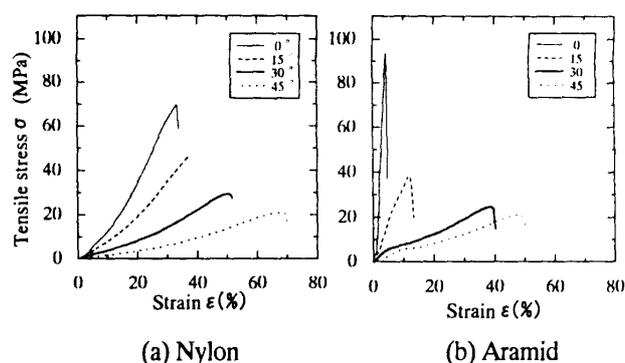


Fig.1 Tensile stress-strain curve of FRR.

アラミド織物のFRRの各引張方向と強度および破断ひずみの関係を表1に示す。その結果、平織および朱子織のFRRとも角度が大きくなるにつれて、その強度は極端に低下する傾向は同様であった。両者の強度を

比較すると、0度方向での強度は、朱子織の方が若干大きくなったが、15度以上では、平織のFRRの方が朱子織のFRRよりも強度は大きくなり、45度方向では、平織の方が、約1.6倍の強度を有した。朱子織は平織と比較して糸の屈曲が少ないため、糸がルーズであり、そのため、朱子織の方が界面での破壊が起こりやすくなり、破断ひずみが小さくなったと考えられる。図2に、45度方向の平織および朱子織のFRRの応力-ひずみ曲線を示す。図2のとおり、ひずみが20数%付近までは、ほぼ同じ軌跡を辿るが、それ以降、朱子織の方が、繊維とゴムの界面での破壊が早く起こり、破断に至ったと考えられる。

Table1 Strength and strain of FRR.

Tensile direction	0°		15°		30°		45°	
	Plain	Satin	Plain	Satin	Plain	Satin	Plain	Satin
Strength (MPa)	90.2	97.1	40.6	37.2	25.0	16.6	21.3	13.4
Strain (%)	4.9	5.4	11.2	9.2	40.4	29.2	42.9	40.3

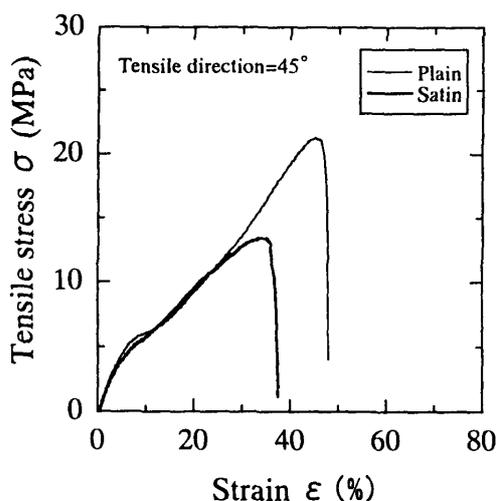
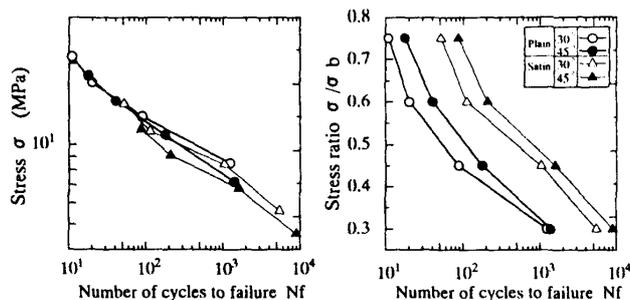


Fig.2 Tensile stress-strain curve of plain and satin (aramid).

図3に、アラミド織物のFRR (30, 45度) についての荷重および荷重比と破断までの繰り返し数 Nf の関係を示す。荷重比と Nf の関係において、平織および朱子織とも30度よりも45度方向の方が、Nf は大きくなった。また、平織よりも朱子織の方が、Nf は大きくなった。破断面を観察すると、Nf が大きくなるほどアラミド繊維の毛羽立ちが目立つようになった。また、荷重比が、0.75でのゴム層の破断形状は、斜めに一直線に破断したが、平織のFRRは引張方向に対して60度、朱子織では30度方向と破断方向が異なった。これは、



(a) Stress (b) Stress ratio
Fig.3 Fatigue test results of FRR (aramid).

織構造により、FRRに負荷される応力分布が異なったためであると考えられる。一方、繊維の方は、ゴム層を滑脱するような形態で破断していた。また、荷重比が0.3の場合は、ゴムおよび繊維ともその破断形状は、0.75と比べて複雑であった。

以上のように荷重比で比較すると、織組織および角度によりその破断回数は異なる傾向を示したが、荷重で比較すると、図3(a)のように各疲労曲線は重なり合い、たて・よこ軸の対数値は、ほぼ直線関係となった。

3・2 衝撃試験 図4に、ナイロン織物およびアラミド織物(平織)のFRRを速度2m/sの条件で衝撃試験したときの荷重-変位曲線を示す。その結果、ナイロン織物の方が最大荷重に至った変位が、アラミド織物のFRRの約1.6倍と大きく、また最大荷重も大きくなった。それに伴い、ナイロン織物の方が吸収エネルギー量も大きくなった。この要因として、アラミド繊維はゴムとの接着強度が弱いことおよびナイロン繊維よりも弾性率が大きいことなどが考えられる。

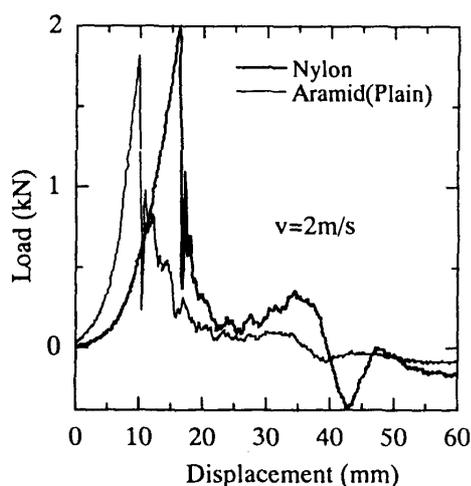


Fig.4 Load-displacement curves of penetrating impact test.