

炭素／アラミドハイブリッド複合材料の機械特性

繊維高分子材料科 鈴木重好
 静岡大学 島村佳伸

Mechanical Properties of Carbon/Aramid Hybrid Composites

Shigeyoshi Suzuki and Yoshinobu Shimamura

Hybrid composites containing some kinds of high performance fibers can be designed very flexibly with covering the weakness of each fiber and making the best use of their characteristics. In this study, carbon and aramid fibers were woven by several placements and ratios. Then intra or interply hybrid composites were made from their clothes and epoxy resin. The flexural strength, modulus and impact resistant property were investigated comparing to the calculated values. Charpy impact test indicated that the composites with aramid laminas in the compression side had much higher impact strength than the value by the rule of mixture.

1. はじめに

複数の高強度繊維を強化材料とするハイブリッド複合材は、それぞれの短所を補いつつ長所を生かすことで、より幅広くきめ細かい材料設計が可能であり、これまで多くの研究が行われている¹⁾。高強度・高弾性率であるが耐衝撃性に難がある炭素繊維と、圧縮強度に問題があるが強い強度を持ちつつ耐衝撃性に優れたアラミド繊維は、代表的な相補の組み合わせとして数多く利用されている。しかし、それらの組合せ方を系統的に検討した事例は少ない。

本研究では炭素繊維とアラミド繊維を様々な組み合わせで織物とし、その層内及び層間ハイブリッド複合材料の曲げ強度、弾性率、シャルピー衝撃値を測定し、繊維比率、積層構造が与える影響について確認し、一般的な力学計算との整合性を検討したので報告する。

2. 試料

2.1 織物

本研究で用いた炭素繊維 (CF) は東レ(株)製TORAYCA、T300、6K、アラミド繊維 (AF) は東レ・デュポン(株)製Kevlar49、3160dtexである。各繊維束の断面積は、0.225、0.218mm²でほぼ等しく、同じ織り密度の織物とした時に繊維種に関わらず同じ繊維体積含有率 (Vf) が得られる。図1に示すとおり、CF、AFは、CF100% (C)、CF : AF=3 : 1 (C₃A₁)、1 : 1 (C₂A₂)、1 : 3 (C₁A₃)、AF100% (A) の5種類の組み合わせでタテ、ヨコとも4本/cmのピッチで平織物とした。一般的にC₃A₁、C₂A₂、C₁A₃を積層して作製した複合材料は、一つの層の中にCFとAFが混在していることから層内ハイブリッドといい、C及びAを任意の順で積層することで作製した複合材を層間ハイブリッドという。

り、CF、AFは、CF100% (C)、CF : AF=3 : 1 (C₃A₁)、1 : 1 (C₂A₂)、1 : 3 (C₁A₃)、AF100% (A) の5種類の組み合わせでタテ、ヨコとも4本/cmのピッチで平織物とした。一般的にC₃A₁、C₂A₂、C₁A₃を積層して作製した複合材料は、一つの層の中にCFとAFが混在していることから層内ハイブリッドといい、C及びAを任意の順で積層することで作製した複合材を層間ハイブリッドという。

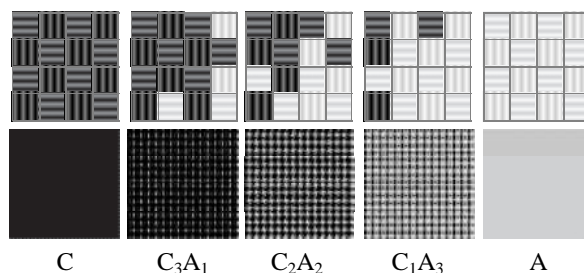


図1 炭素／アラミド繊維の組合せ方 (下段：150mm角織物の全体図、上段：10mm角拡大図)

2.2 成形

図1の5種の平織物を表1に示す積層順で5層重ね、真空成型法によりハイブリッド複合材を作製した。マトリックスには、主剤としてエポキシ樹脂 (三菱化学(株)製811) を用い、硬化剤 (三菱化学(株)製EMI24) を4%混合して、60℃ 8 hr、150℃ 2 hrの硬化条件で成形を行った。得られた複合材について、マトリックスの含浸状態は良好で、厚さは平均1.80 ± 0.07mm、繊維体積含有率 (Vf) は平均0.51 ± 0.01

【報告】

であった。

図2に例としてC₂A₂ 5層積層板の断面写真を示す。平織物を用いているために、板の長さ方向に対する繊維の厚み方向の最大傾斜角は比較的大きいことがわかる。

表1 複合材の積層構成

CF Rate	上側←→下側	CF Rate	上側←→下側
1	CCCCC	0.5	C→A* ¹
0.8	CCCCA		A→C* ²
	CCACC	0.4	C ₃ A ₁ ×5層
ACCCC	AAACC		
0.75	C ₃ A ₁ ×5層	0.25	C ₁ A ₃ ×5層
	CCCAA		C ₁ A ₃ ×5層
0.6	CACAC	0.2	C ₁ A ₃ ×5層
	AACCC		C ₁ A ₃ ×5層
0.5	C ₂ A ₂ ×5層	0	C ₁ A ₃ ×5層
	CC(C ₂ A ₂)AA		C ₁ A ₃ ×5層

*1:C(C₃A₁) (C₂A₂) (C₁A₃) A, *2:A(C₁A₃) (C₂A₂) (C₃A₁) C

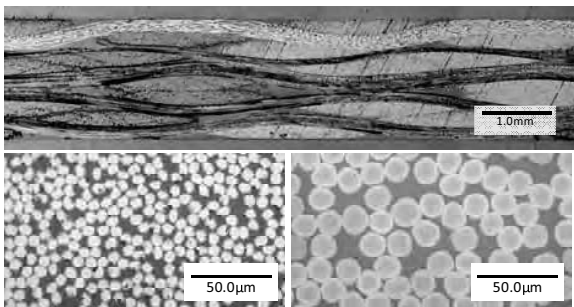


図2 C₂A₂ 5層積層板の断面写真(上)、炭素繊維部分(左下)とアラミド繊維部分(右下)の拡大写真

3. 試験方法

曲げ試験片のサイズは70×10mmとし、精密万能試験機(榊島津製作所製AG-50kNIS)を用いて3点曲げ試験を行った。支点間距離はAAAAA(アラミド100%)のみ40mm、その他は50mmで行い、クロスヘッドスピードは3.0mm/minで行った。衝撃特性評価には、シャルピー衝撃試験機(島津製作所製、容量1.5kgm)を用いた。試験片サイズは80×10mmで、ノッチは入れずに試験した。

4. 結果と考察

4. 1 曲げ強度

図3に層間ハイブリッドの曲げ強度試験の結果を

示す。全体的にはCFの含有量が増すに従って、曲げ強度も増加するが、同じCF含有量における積層構造の違いによる変化を見ると、圧縮側にCF層がある試料の強度が大きい結果となった。曲げ試験後の破壊部を顕微鏡で観察すると、圧縮側最外層から破壊していることが確認できることから、圧縮側に圧縮強度が比較的高いCFを配置した方が高い強度を有したものと思われる。例として、図4にCACACの曲げ破壊試験の写真を示す。

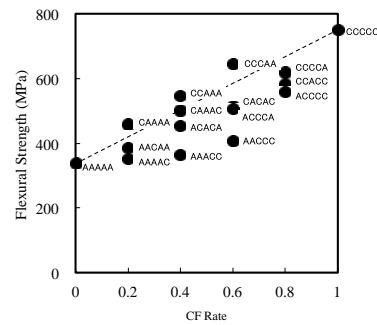


図3 炭素繊維含有率と曲げ強度の関係

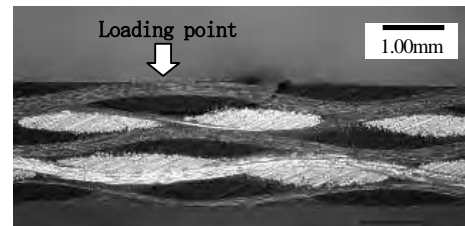


図4 CACAC試験片の曲げ破壊形態

層内ハイブリッド間の比較をすると、図5のようにAF100%よりも、CF25%を含むC₁A₃の方が強度が低く、C₂A₂、C₃A₁についても、AAAAAとCCCCCを結んだ直線(点線)より小さい。層内ハイブリッド複合材の曲げ強度特性は、このような単純複合則よりも、CFの破断伸びがAFより小さいことに起因するハイブリッド複合則²⁾(破線)によく一致することがわかった。

これらの実験結果に対して、CF、AF、エポキシ樹脂単体の強度、弾性率データから各層の理論強度を求め、最弱層の破壊をその複合材の強度として計算した。その結果、いずれの複合材も圧縮側最外層から破壊すると予想され、図6に示す結果となった。計算値は実験値と比較すると、全体では平均9.8%低く見積もられた。大まかな傾向は掴めるが、中に

【報告】

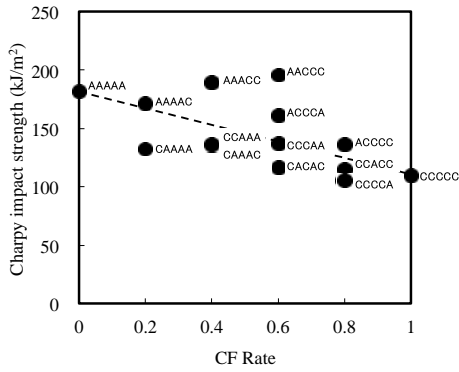


図9 炭素繊維含有率とシャルピー衝撃値の関係

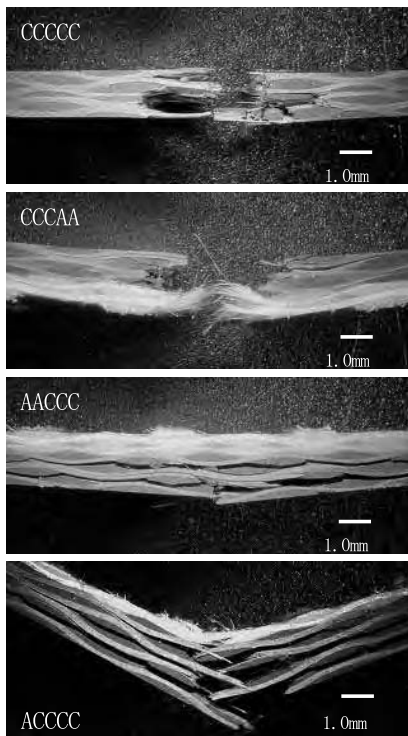


図10 シャルピー衝撃試験後の破壊形態

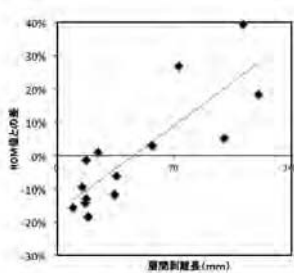


図11 層間剥離長に対するROM値と実測値との差

合として算出し、各試料中に含まれる層間剥離長との関係を調べた結果、図11のようなプロットを得ることができた。層間剥離の大きいものほど複合則を外れてプラス側に大きな値をとることがわかる。衝撃吸収値の大きい試料におけるROM値との差分は、CF層間の剥離に要するエネルギーに依存すると説明できる。つまり、表面にAF織物を配置することで、単に衝撃吸収性が優れた材料が加わる以上に、CF層の破壊形態も局所的な脆性破壊から層間剪断破壊へ変化することで、CF層の衝撃吸収性も向上し、結果としてAF100%を上回る高い衝撃値を示したものと思われる。

5. 結言

炭素繊維とアラミド繊維を様々な組み合わせで平織物とし、層内及び層間ハイブリッド複合材を作製した。曲げ強度、弾性率、シャルピー衝撃値を測定したところ、強度と弾性率については、一般的なハイブリッド複合材に関する複合則に則り、力学計算から予測できることがわかった。また、シャルピー衝撃値は、圧縮側表面にアラミド層を含む複合材について、炭素繊維の破壊機構の変化によりエネルギー吸収量が増え、複合則から予測される値よりも大きい衝撃吸収性能を持つことがわかった。

謝辞

この研究を行うにあたり、多大なご協力を賜りましたヤマハ株式会社に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 植村益次他：ハイブリッド複合材料，シーエムシー（1986）.
- 2) P. W. Manders et al. : “The strength of hybrid glass/carbon fibre composites”, J. Mater. Sci., 16, 2233 (1981).