

技術ニュース

自動車産業振興協会 技術研究所

1991. 9

No. 123

高分子系複合材料の技術動向

前川 善一郎

1. はじめに

高分子系複合材料 (Polymer Matrix Composite : 略して PMC) において, 1940年代の初めに常温・常圧で形成できるガラス繊維強化不飽和ポリエステル樹脂が出現して以来, 約50年の歴史を有し, わが国では年間50万吨以上の生産量を持つ主要な工業材料の一つに成長している。

複合材料は2種類以上の異質な材料を組み合わせることにより素材単独では持つことの出来ない性質を発揮するものであって, PMC が今日の隆盛を見た原因として(1)強化材としての繊維材料, マトリックスとして的高分子材料それぞれの性能の進歩(2)高分子系複合材料の成形法の進展(3)強化形態の多様化などが上げられる。これらの要因はすべて有機的につながっているが, ここでは高分子系複合材料の強化形態に焦点をあててその技術動向を展望するものとする。

2. PMC の強化形態

今日用いられている PMC の強化形態はまことに多種多様であり, 現在用いられているものは1次元から3次元にわたっており, それぞれ優れた特性を有している。

(1) 1次元構造

繊維材料を強化剤として用いる最も簡単な形態が1次元構造である。繊維方向のみに荷重を受けるロープなどがこの分類にはいる。

PMC の繊維材料とマトリックス材料の密

度は鉄鋼材料に比べて小さく比強度 (引張強度/密度), 比剛性 (縦弾性係数/密度) が大きくなることが期待できるが, 図1に一方強化 PMC の繊維方向の比強度と比剛性の値を示す。金属材料が3を越えられないのに対して, PMC におけるこれらの値は非常に大きく PMC のセールスポイントの一つとなっている。

(2) 2次元構造

2次元構造は今日最も一般的に用いられているものであり, 平面に広がる一方配列強化形, 2方向配列強化形 ($0^\circ, 90^\circ$), 3方向配列強化形 ($0^\circ, \pm 60^\circ$), さらにランダムに配向した短繊維強化形などがあり, 図2に2次元構造をもつ強化形 PMC の一例を示す。

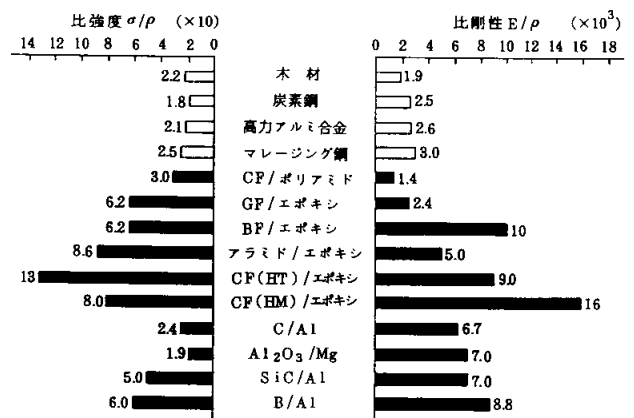


図1 各種複合材料の比強度と比剛性

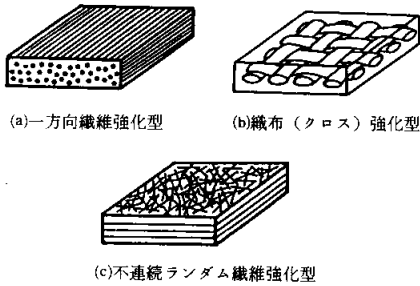


図2 2次元構造をもつPMCの一例

2次元構造の一般的な形態は、図3に示すような繊維が一方に配列した薄層（これをラミナという）をいろいろな繊維方向に積み重ねて積層板（これをラミネートという）としたものである。要求される力学の特性を持つ積層板を無限のラミナの組合せから選定することが出来ることから、材料設計のできる材料としてティラード・マテリアルと呼ばれている。これもPMCのセールスポイントの一つになっている。

一例として図4に特異なポアソン比を持つ二方向強化積層板 (θ_1, θ_2) の変形の例を示す²⁾。材料は繊維体積含有率70%の炭素繊維/エポキシ積層板であり、“1”方向に負荷している。繊維配向が変化するとポアソン比(“2”方向の垂直ひずみ/“1”方向の垂直ひずみ)が正の最大値からゼロを経て負の最大値まで変化する特異な現象が生じる。これらの現象は異方性材料であるために生じたものであり、カップリング効果と言われる。

PMCはこれまでの鉄鋼、アルミ材料で代表される等方性材料の代替品として、単に軽量化の面からアプローチしてきた。そのためにPMCを等方性材料に近づけるために $(0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ)$ 積層で代表されるような擬似等方性積層板を主として取り扱ってきた。これからは異方性を積極的に考慮した積層理論を用いて、等方性材料では考えられない異方性の特徴を引き出すことに重点を置かなければならないが、材料設計の自由度は大きく多様

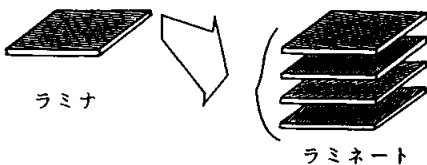


図3 積層板の構造

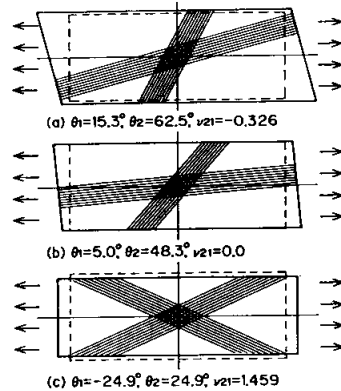


図4 二方向強化積層板の面内変形例

な組合せが考えられるためコンピュータ支援技術と結び付いた手法が要求されるが、その研究は端緒についたばかりである。

(3) 3次元構造

2次元構造を有するPMCは異方性材料として優れた力学の特性を示すが、厚さ方向には繊維強化されていないため、厚さ方向の強度が小さいことが欠点となっている。さらに2次元構造の平板を組み合わせて3次元構造体を製作することが出来るが、接着部での強度低下が問題になることが多い。これらの問題を解決するために、厚さ方向にも繊維を通し、繊維を立体の製品形状の状態に織り上げた3次元構造を持つ強化形態(Near-Net-Shape)の作製技術の研究が活発となっている。

図5に炭素繊維(M-40東レ)/エポキシ樹脂のPMCの比弾性率 (E/P) 繊維体積含有率 (V_f) との関係を示したものであり、競合材料であるアルミニウム合金・チタン合金

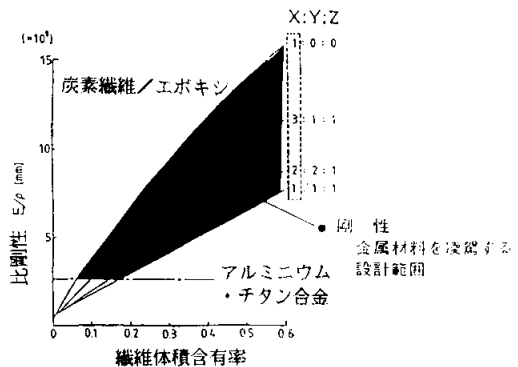


図5 1次元～3次元構造におけるPMCの比剛性

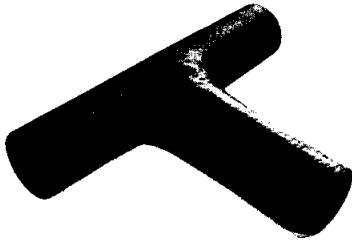


図6 T型組物構造パイプ

タン合金と比較したものである³⁾。本図から V_f が20%を越える範囲から金属材料の特性を凌駕出来るものが示されている。3次元構造を成形するにあたり、繊維方向は2次元構造以上に複雑であるが、3直交軸と4対角線軸とを用いた7軸強化形を用いると繊維体積含有率は最大60%弱となり等方性の性質が顕著となってきた実用的価値は高くなる。

Near-Net-Shape 構造を作製するのに組物構造は有効である。組物構造は既存技術である組紐の技術を応用

したものであり、機構そのものが単純で、装置が比較的簡単に作製できること、若干の組み方の変化により、組物の形状を変化させることが出来るなど、他の素材にはない特徴を有している。このため、最近の3次元形状の基材の研究の主流となっており、組物構造を応用した複雑な形状基材も開発されている。図6に著者の研究室で最近開発した組物構造を持つT型パイプを示す。

3 おわりに

PMCの強化形態の技術開発は3次元構造を中心に今後ますます活発になるものと思われる。自転車構造物に対する適用についても図6に示したT型パイプは自転車サドルなどに応用できる技術ではないかと考えられ、今後の発展を望むものである。

(筆者は京都工芸繊維大学教授)

参考文献

- (1)強化プラスチック協会編：FRP 入門(1987) p. 9
- (2)三木光範, 室津義定：日本複合材料学会誌, 14(1988) p. 56
- (3)村山邦彦, 入田博志：日本複合材料学会誌, 15(1989) p. 10