

# 繊維強化複合材料の開発研究 —SiC 繊維強化アルミニウム複合材料の機械的性質—

Development of fiber reinforced composite materials

—The properties of SiC-fiber reinforced aluminum composites—

酒井 茂男\*・寺沢 優一\*\*・大蔵 明光\*\*\*・中田 栄\*\*\*\*

Shigeo SAKAI, Yuichi TERASAWA, Akimitsu ŌKURA and Eiichi NAKATA

## 1. はじめに

次世代の高性能材料として、最近注目されているものに繊維強化複合材料がある。現在、これらの材料に要求される性質は、軽量性、強度、剛性、耐熱性などである。そのため、炭素繊維などの高温特性に優れた比強度の高い繊維とアルミニウムやチタニウム等の軽量マトリックスとの組み合わせが多く研究されている。しかし、炭素繊維は、マトリックス金属とのぬれ性が悪く、ぜい弱な金属間化合物を生成しやすい等の欠点を含んでおり、炭素繊維に代わる強化繊維の開発が盛んに行われている。

新しい強化繊維としては、ボロン繊維、SiC 繊維、アルミナ繊維などがあるが、なかでも SiC 繊維はマトリックス金属と反応を起こしにくく、高温でも安定で、高温強度も比常に優れているため、高温で使用されるような可動構造材の強化繊維として注目されている。

本研究では、プラズマスプレーと大気中でのホットプレスを組み合わせた比較的単純な方法での SiC 繊維強化アルミニウム複合材料の製造を試み、その機械的性質について検討した。

## 2. SiC 繊維<sup>1)</sup>

現在、SiC 繊維は製造方法により 2 つのタイプに分類されている。それは、ジメチルジクロシランを原料として焼成法により製造される直径 10  $\mu\text{m}$  程度の連続繊維とジクロロメチルシランの熱分解によりタングステンあるいは炭素繊維の芯線に SiC を蒸着する CVD 法により製造される直径 100  $\mu\text{m}$  以上の連続繊維である。どちらの繊維も高温特性や耐酸化性に優れており、金属マトリックスの強化繊維として適している。今回は、ハンドリングが容易で、繊維の配列が比較的良好に行える CVD 法により製造された直径 140  $\mu\text{m}$  程度の炭素繊維コアの

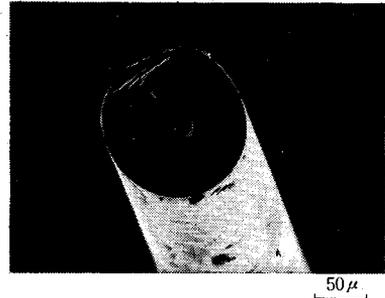


図 1 SiC 繊維の SEM 写真 50  $\mu\text{m}$

SiC 繊維を用いた。図 1 に今回使用した SiC 繊維の SEM 写真を示す。破面中央は芯線の炭素繊維である。

## 3. 製造方法

SiC 繊維は、熔融アルミニウムと接触しても化学的に安定であり、繊維の強度劣化はほとんどない。そのため、製造方法としては、含浸法、拡散結合法、粉末冶金法など多くの方法<sup>2)</sup>を用いることが可能であるが、本研究では、複合材料における繊維の体積含有率を任意にコントロールすることが可能であり、板状の複合材料を製作しやすいプラズマスプレー=ホットプレス法(拡散結合法)を用いて大気中で製造を行った。

図 2 に、プラズマスプレー=ホットプレス法の製造工程を示した。①最初に、SiC 繊維を一定間隔でドラム(直径約 60 cm)上に巻き取り固定する。②SiC 繊維を固定したドラムを回転させながらプラズマスプレー装置によりアルミニウムを溶射し、プリプレグシートを作製する。この際、プラズマスプレーガンの横送り速度およびアルミニウムパウダーの供給量によりプリプレグシート中の繊維の体積含有率 ( $V_f$ ) をコントロールする。今回は  $V_f$  30% 程度のプリプレグシートを作製した。③プリプレグシートを必要な大きさに切断し、重ね合わせてパックする。④パックしたプリプレグシートをホットプレス装置により大気中で拡散結合させ、一方向強化複合材料

\* 早稲田大学大学院

\*\* KK 神戸製鋼所

\*\*\* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

\*\*\*\* 早稲田大学理工学部

研 究 速 報

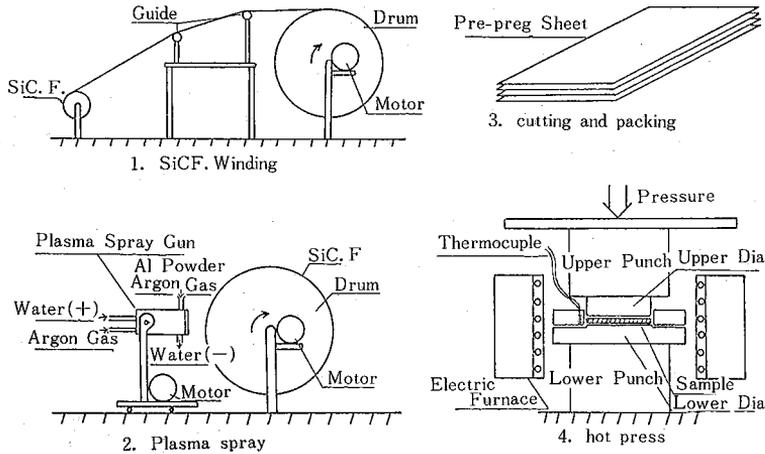


図 2 プラズマスプレー=ホットプレス法の製造工程

を製造する。今回は、100 mm×60 mm×2.5 mm の複合材料をプレス温度 560°C、プレス圧力 6 kg/mm<sup>2</sup>、プレス時間 30 min の製造条件<sup>3)</sup>で作製した。

4. 実験方法

4.1 弾性率および引張強度の測定

弾性率は、インターナルフリクション社製横振動自振式内部摩擦測定装置を用いて測定を行った。引張強度は、図 3 に示す形状に複合材料を機械加工し、20 t オートグラフを用いて引張試験を行い測定した。この際クロスヘッドの移動速度は 1 mm/min とした。

4.2 加熱時間の影響

SiC 繊維強化アルミニウム複合材料の引張強度に及ぼす長時間加熱の影響を調べるために、200°C、300°C、600°C、620°C の各温度について 1×10<sup>-3</sup> torr 程度の真空中で長時間加熱を行った。加熱後は、前述と同じ方法で弾性率、引張強度を求めた。

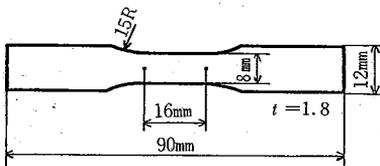


図 3 引張試験片形状

表 1 : SiC 繊維とアルミニウムマトリックスの機械的特性

	SiC 繊維	アルミニウム
ヤング率 (kg/mm <sup>2</sup> )	42.0×10 <sup>3</sup>	6.8×10 <sup>3</sup>
引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	350	7.5
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.98	2.70

また、引張試験後の試片について、SEM による破面観察を行った。

5. 実験結果と考察

5.1 SiC 繊維とアルミニウムマトリックスの特性

表 1 に今回用いた SiC 繊維とアルミニウムマトリックスの特性を示した。ここで、SiC 繊維の特性は、ゲージ長さ 20 mm の単繊維引張試験により求めた値<sup>3)</sup>である。また、アルミニウムマトリックスについては、複合材料と同一条件で製造したアルミニウム板を用いて複合材料と同じ試験方法により得られた結果である。

本研究においては、これらの値を用いて複合則および繊維の体積含有率 (比重法) を計算した。ここで複合則<sup>4)</sup> (R. O. M) とは、次式で示される関係式である。

$$\begin{cases} E_c = E_f V_f + E_m V_m \\ \sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \end{cases}$$

ただし、 $E_c, \sigma_c$ : 複合材料の弾性率および強度

$E_f, E_m$ : 繊維およびマトリックスの弾性率

$\sigma_f, \sigma_m$ : 繊維およびマトリックスの強度

$V_f, V_m$ : 繊維およびマトリックスの体積含有率

5.2 複合材料の弾性率と引張強度

図 4 に共鳴振動法による弾性率の測定結果と  $V_f$  の関係を示した。弾性率は  $14.0 \times 10^8 \sim 16.5 \times 10^8$  kg/mm<sup>2</sup> 程度の値を取っており、複合則の値をほぼ満足している。ここで、いくつかの測定データは、複合則の値を上まわっているが、これは SiC 繊維とアルミニウムマトリックスの密度差が小さいため、比重法<sup>3)</sup>を用いて  $V_f$  を測定した際の誤差と考えられる。

表 2 に常温における引張試験結果を示す。平均引張強度としては、46.2 kg/mm<sup>2</sup> であり、この値は複合則の約

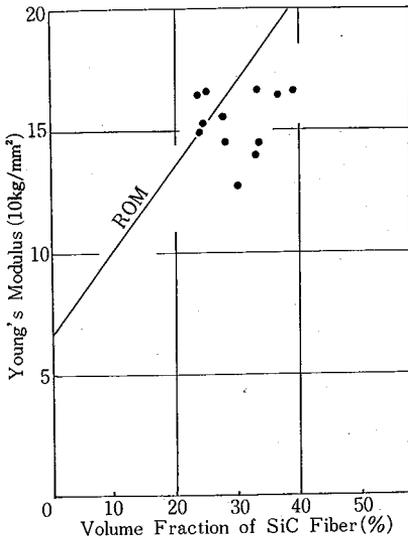


図 4 SiC/Al 複合材料の弾性率と Vf の関係

表 2 : SiC/Al 複合材料の引張強度

試料番号	破断応力 (kg/mm <sup>2</sup> )
1	36.2
2	54.5
3	42.3
4	51.9
平均	46.2

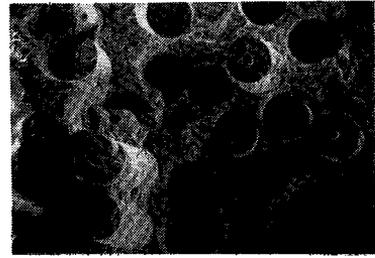
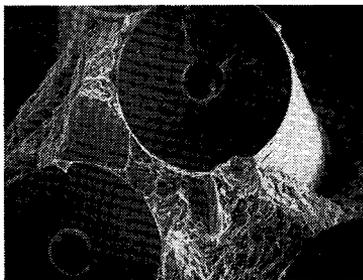
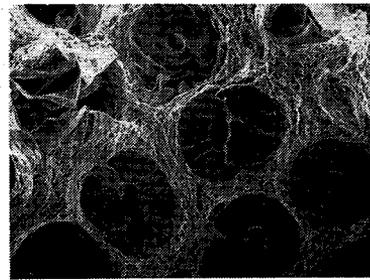


図 5 SiC/Al 複合材料の破面写真 100 μ



(a)



(b)

図 6 複合材料中における代表的な SiC 繊維破面

42% の値である。

図 5 に引張試験後の破面の SEM 写真を示した。SiC 繊維のいくつかはプルアウトしているが、マトリックスは繊維間に十分まわりこんでおり、アルミニウムマトリックスと SiC 繊維界面は良好な接着をしている。

また、この破面写真における SiC 繊維の破面を観察すると大別して 2 種類に分類される。すなわち、①、芯線の炭素繊維部と SiC 層の界面から破断が始まっていると思われるもの(図 6 (a))、②、非常に複雑な破面を示すもの(図 6 (b))、である。前者は、SiC 繊維の単繊維引張の際によく観察される破面と類似している。後者は、隣接している繊維と接触している繊維に多く見られることから次のような原因が考えられる。

①ホットプレス成型の際の損傷

②引張試験中のポアソン効果による損傷

しかし、今回の場合には①が主原因であると考えられる。

いずれにしても、引張強度に対して影響を与えるので、これが複合則からのずれの一つの原因であると考えられる。

また、強度が複合則からずれる他の原因としては、複合則自体が非常に単純な関係式なために、複合材料強度を支配する一つの要因と考えられているマトリックスと繊維の界面の影響を考慮していないことが挙げられる。この点については多くの研究<sup>5)</sup>がなされているが、界面現象と強度を直接結びつけることが困難なこともあり複合材料一般に適応できる界面を考慮した複合則の提案は現在までなされていない。

### 5.3 長時間加熱の影響

図 7 に各温度で 2 時間あるいは 20 時間加熱した後に、常温で引張試験を行った結果を示した。今回の実験からは、データのばらつきが大きく、加熱処理と強度との間には、はっきりした関係は確認できなかった。200°C

研 究 速 報

~300°Cで加熱処理を行った場合には、60~75 kg/mm<sup>2</sup>程度の強度を示していることから、本複合材料は熱処理による強度改善の可能性があると共に高温域での使用に耐えるものと考えられる。

表 3 に 620°C で長時間加熱した後、常温で引張試験を行った結果を示した。これより、100 時間加熱された後でも、ヤング率、強度ともに変化しないことが確認された。また、図 8 に 620°C で 100 時間加熱された試料の破面写真を示した。この写真においても、反応層等の界面での

表 3 : SiC/Al 複合材料の機械的性質に及ぼす加熱時間の影響\*

加熱時間 (hr)	ヤング率 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )
As Product	14600	46.2
2	14500	67.3
20	14500	35.3
100	16600	45.0

※加熱温度：620°C

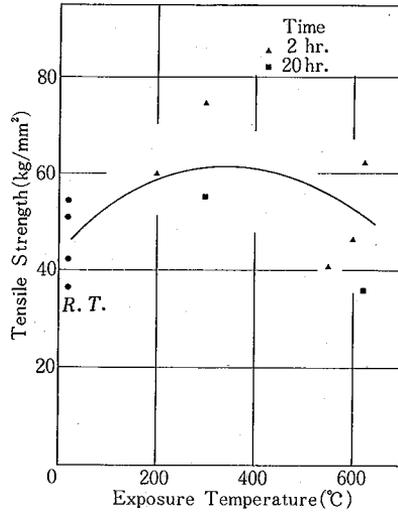


図 7 SiC/Al 複合材料の引張強度に及ぼす加熱温度の影響

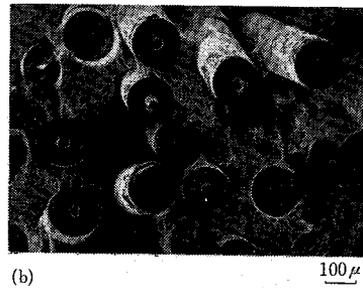
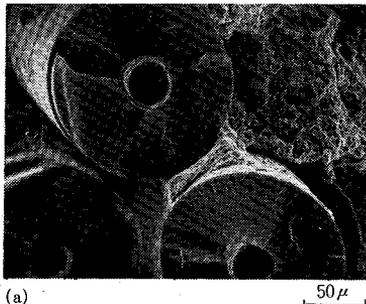


図 8 長時間加熱した後の破面写真 (620°C, 100 時間)

変化は認められず、SiC 繊維強化アルミニウム複合材料が高温において安定であると言える。

6. ま と め

本方法により製造された SiC 繊維強化アルミニウム複合材料は、比較的良好な特性を示し、マトリクスと繊維界面での接合も良好であることが確認された。

製造の際に、SiC 繊維の損傷が多少みられたが、これはプリプレグシートにおいてアルミニウムマトリクスが SiC 繊維を完全に被覆していないなどのスプレーむらによると考えられるために、今後プラズマスプレーの精度を向上し、最適条件で実施すればこの現象は防止出来る。

本複合材料は、以上の結果より実用材として十分使用の可能性があるとと思われる。(1981年11月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 葛西端正, 斎藤誠, 浅田千秋: 日本複合材料学会誌, 5 (1979) p. 26.
- 2) 渡辺 治: 塑性と加工, 19 (1978) p. 836.
- 3) 大蔵明光, 寺沢優一, 本田紘一: 生産研究, 32 (1980), p. 435.
- 4) 材毅: 「複合材料工学」, 日科技連 (1977) p. 27.
- 5) Arthur G. Metcalfe: "Composite Materials" Vol. 1, Academic Press, (1974).