一方向性炭素繊維／炭素複合材の 圧縮強度の改善

小島 昭*・大谷 杉郎**

(昭和 58 年 8 月 29 日受理)

Improvement of Compressive Strength of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Carbon

Akira Kojima* and Sugio Ōtani**

* Gunma Technical College; Toriba-cho, Maebashi-shi 371 Japan

** Faculty of Technology, Gunma University; Tenjin-cho, Kiryu-shi 376 Japan

1. 緒 言

著者らはこれまでに、表面に微細なラーメン構造をもつ炭素人工歯根材(FRPインプラント)の試作を行ってきた¹⁾。このうち歯根型FRSインプラント用の芯材としては、直径2mmのUD-CFRC(一方向性-炭素繊維／炭素複合材)棒を用いてきた。このCFRC棒は、高い曲げ強度(1030MPa)で、人骨と同程度の弾性率(12GPa)を示し、歯根材の要求する特性を満足していたが、圧縮強度は60MPaと歯根材が必要とする強度(100MPa)には不足していた²⁾。圧縮強度以外の問題点として、UD-CFRCは異方性が大であるため、層間剥離が生じやすいことやねじれに対して弱い点である。そこで、これらの点を解決するためにCF(炭素繊維)の配列方法を一方から三方向に近づけることを検討し、下記に示すような三種類の方法でCFRC棒の製造を試みたので、その結果について報告する。

2. 予備的検討

2.1 くみひもを用いるCFRC棒の製造

CF(PAN, 3000フィラメント)を12~16本程使用し、直径2~3mmのくみひも(四津組, 八津組)を製作した^{3,4)}。このくみひも中にフェノール樹脂を含浸し風乾した後、150℃に加熱してある金型中で成型(30MPa), 硬化し、直径2mmあるいは3mmのCERP(炭素繊維／樹脂複合材)棒を作った。金型は金属に半円形(直径2mmあるいは3mm)の溝を掘ったものを上下二枚あわせたものを用

いた。CFRP棒を横型管状炉中にいれ、窒素ガスを流しながら20℃/hrの速度で1000℃まで加熱して炭素化しCFRCとした。さらに、フェノール樹脂含浸／炭素化のサイクルを二回繰り返してCFRC棒をえた。えられた試料の表面には、CFにそって大きな亀裂がみられた。また、柔軟性が残っていたりして、機械的強度の測定ができないほど弱いCFRC棒であった。従ってCF製くみひもを用い、フェノール樹脂をバインダーとして機械的強度の高いCFRC棒を作ることは困難と考えられた。

2.2 フィラメントワインディング法による CFRC棒の製造

フェノール樹脂をバインダーとし、既報²⁾の方法で作った直径2mmのUD-CFRP棒およびUD-CFRC棒に、あらかじめCFにバインダーを塗布してあるCF(PAN, 1000フィラメント)を、CFの配列方向に対し左右ほぼ45°ずつ各二層交互につよく手で巻きつけた。そして、これらの試料をフェノール樹脂メタノール溶液中に浸漬しCF間の空隙に含浸した後、風乾し前項2.1と同じ150℃に加熱してある金型中にいれて加圧・硬化し、直径3mmのフィラメントワインディングしたCFRP(FW-CFRP)棒をえた。これを前項と同様に炭素化し、さらに緻密化・炭素化処理を行ない二種類のFW-CFRC棒を製造した。その結果、CFRP棒にCFを巻きつけた場合は、炭素化時における収縮率が芯棒と外層(FW層)では異なっているために、両者の間ではがれてしまい芯棒が容易にひきぬけてしまった。一方、CFRC棒にCFをフィラメントワインディングした場合には、そのような問題点はなかった。しかし、試料の表面上にはCFの疎密に伴う凹凸や、多数の亀裂があった。このFW-CFRC棒の圧縮強度を求めたところ、150MPaと高くなってい

* 群馬工業高等専門学校工業化学科：〒371 前橋市鳥羽町 580

** 群馬大学工学部合成化学科：〒376 桐生市天神町1-5

たが曲げ強度は120 MPaと低下していた。フィラメントワインディング法はCFRPの製造には有効な手法であるが、樹脂の炭素化収率が低いために機械的強度の高いCFRCを製造する場合には試料の表面上に深い亀裂が発生し不適当であった。これらの予備的な検討結果から一方向性の芯に、フィラメントワインディング法よりは粗密の差が小さく、総体的には均質で明確な亀裂の入りにくいと思われるCFペーパー層を形成させることを検討した。

3. CFペーパー積層によるCFRC棒の製造

前2項の予備的検討の結果、黒鉛微粉末を含むフェノール樹脂をCF (PAN, 3000 フィラメント, 2500℃熱処理物)に塗布し、80℃に加熱してある前項と同じ金型中にこのCFを12本一方向に並べて、予備成型し直径約2 mmの棒状プリホームを作った²⁾。次に、フェノール樹脂がすでに塗布してあるCFペーパー (トレカマット, BO-030, 厚さ0.2mm, 目付30 g/m²)を、このプリホームに2〜3層まきつけ、150℃に加熱してある別の金型中にいれ、加圧 (30 MPa) 成形し、直径3 mmのCFRP棒を作製した。これを前項の場合と同じように緻密化処理を行ない、1000℃で炭素化してCFRC (S-CFRC) 棒をえた。このS-CFRC棒のかさ比重、種々の機械的強度および曲げ強度測定時の応力-歪曲線をTable 1に示した。また、CFペーパーをまきつけてない直径2 mmのUD-CFRC棒の場合も表中に併せて記した。S-CFRC棒の方が、UD-CFRC棒の場合よりもかさ比重、曲げ強度および曲げ弾性率は低いが、圧縮強度は100 MPaと高くなった。曲げ荷重を加えた場合の破壊の様子は、最初に外側のCFペーパー層にクラックが入り、次に内側のUD材の部分に破壊がおこり既報²⁾の場合と同じようにCFのひきぬけが見られ、試料はグニャリと折れ曲っていた。その際の応力-歪曲線は複雑な形状で、

Table 1 Mechanical properties and stress-strain curve with a carbon fiber paper wound CFRC (S-CFRC) rod and a unidirectional CFRC rod.

	S-CFRC	UD-CFRC ²⁾
Cross section structure
Diameter (mm)	3	2
Bulk density	1.46	1.58
Flexural strength (MPa)*	430	1030
Flexural modulus (GPa)*	4	12
Compressive strength (MPa)	100	60

Stress-strain curve (on measurement of flexural strength)
	Stress	Strain

* s/d = 20

Fig. 1 Cross section structure of a carbon fiber paper wound CFRC (S-CFRC) rod by an optical polarized microscope.

典型的な塑性変形の様子を示していた。次に、S-CFRC棒の断面の偏光顕微鏡写真をFig. 1に示した。外側の厚さ約300 μmのCFペーパー層と、内側のUD材部とが全く一体化していた。しかし、このように良好な断面構造をもつS-CFRC棒を作る場合に、充分注意しなければならない点は、UD-プリホームへのCFペーパーの巻きつけ方である。この点がうまくゆかないと、CFペーパー層とUD材との間にクラックが生じたり、あるいはCFペーパーの一部が上下の金型の間に「バリ」としてはみ出して取りのぞかれ、連続したCFペーパー層でなくなるために、強度の高いCFRC棒を製造することはできなかった。

UD-プリホームの外側にCFペーパーをまきつけることにより、三次元的配列をもった一種の擬似等方性CFRC棒が製造され、UD-CFRCの場合よりも圧縮強度を高めることができた。

最後に、組みひもを製作してくれた群馬大学工学部井田ちえみ嬢に感謝します。

文 献

- 1) Akira Kojima, Sugio Ōtani, Sadakatsu Yanagisawa, Kunio Nijima, and Terushi Iwata, *Carbon*, in press.
- 2) 大谷杉郎, 小島 昭, 飯塚重雄, 星野新吾, 神津正史, 炭素 **1983** (No. 113) 53.
- 3) 広沢徳三郎監修, 岡村加代「組みひも」p. 1, 主婦と生活社.
- 4) 山本 薫「くみひもの研究」p. 1 (1978), 総合科学出版.