

論文の内容の要旨

論文題目 配向カーボンナノチューブ/エポキシ複合材料の
力学特性強化機構に関する実験的・解析的研究
(Experimental and numerical study about
mechanical properties of aligned CNT sheet/
epoxy composites)

氏 名 津田 皓正

カーボンナノチューブ(carbon nanotubes: CNT)は軽量かつ優れた力学特性を持つことから、樹脂中に添加することによって複合材料の力学特性を向上させる強化材としての利用が期待され、実際に複合材料の製作および力学特性評価が行われている。しかし既存の研究から、CNT 強化複合材料は期待されたほどの効果を挙げられていないことが報告されている。この原因としては、CNT の樹脂中における均一分散や配向性、CNT と樹脂間の界面接着特性が挙げられる。しかしこれらのミクロな特性が力学特性などのマクロな影響に及ぼす影響を実験的・解析的に考察した研究は非常に少ない。

一方、近年 CNT の配向を揃える簡便な手法として配向カーボンナノチューブが注目されている。基板上に垂直に生成した配向カーボンナノチューブを水平方向に引き出すことによって CNT の配向を揃えることができるため、力学特性の更なる向上が期待されている。

そこで本研究では、配向カーボンナノチューブ(CNT)シートを対象に、CNT の複合材料を製作し、その力学特性を実験的に取得するとともに、CNT の配向性や界面接着特性などがこれらの力学特性に及ぼす影響を、実験的・解析的に評価・考察した。これらの結果をもとに、CNT 強化複合材料の力学特性強化モデルを構築することを目的とする。

はじめに配向 CNT を用いた複合材料の製作方法について、ホットメルト法を用いた樹脂の含浸による複合材料制作手法を適用した。その結果、樹脂は CNT シート中に均一に含浸し、また成形不良個所も少ないなど、良好な成形性をもつ複合材料の製作に成功した。

続いて、CNT の配向が力学特性に及ぼす影響について評価した。製作した複合材料にたいして引張試験を行い、また SEM 観察から CNT の配向を取得後、Eshelby/Mori-Tanaka 理論を用いた

CNT の見かけ弾性率を計算することで、CNT の補強効果について検証した。その結果、配向カーボンナノチューブの複合材料中における配向分布を考慮した場合、CNT の持つ優れた力学特性が発現されているものの、実際の複合材料において引張方向における弾性率が向上していないことから、配向カーボンナノチューブの配向分布を制御することが、今後の複合材料の弾性率向上に不可欠であることが実験的にわかった。

続いて、CNT 単体の特性および CNT と樹脂間の界面接着特性を実験的に取得し、複合材料の内部損傷の進行とこれらの関係性について議論した。その結果、複合材料中における CNT と樹脂間の界面接着特性は、CFRP のそれと比較しても非常に低く、この領域の改善によっても力学特性の向上が期待できること、また本研究で用いた CNT の強度はその製作方法の関係上低く、この領域にも改善の余地があることが示された。また、複合材料の引張過程における損傷進行を実験的に評価したところ、界面剥離や CNT の内部破断が進行しており、これらが原因となって複合材料の最終破断に至ることを実験的に示した。

最後に、複合材料の損傷進行を数値解析によってモデル化し、本複合材料のマクロな力学特性とミクロな力学特性を実験的に関連付けて説明するモデルを構築した。短繊維強化複合材料における損傷進展のシミュレーションを改良し、本複合材料の損傷プロセスの再現を試みたところ、実験的に観察された結果との合理的な一致を得た。また、これらの結果の妥当性から本複合材料の設計指針の構築が可能となり、実際に検討を試みたところ、本複合材料のような **multiple fracture** が生じる CNT の場合は、界面強度の上昇よりも CNT の弾性率および強度を高める方が効率的であること、また層間荷重伝達効率を高めることも力学特性の向上には不可欠であることがわかった。

以上の結果から、本複合材料の力学特性強化機構に関して実験的・解析的に評価し、またモデルを構築することで、CNT のミクロ特性と複合材料のマクロ特性を実験的に関連付けた力学特性強化モデルを構築することが可能となった。