

氏 名	チン 陳	キン 錦	ショウ 祥
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	博 甲 第 250 号		
学位授与の日付	平成13年3月26日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科・専攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻		
学位論文題目	バイオミメティックスによる複合材料設計に関する基礎的研究		
審 査 委 員	(主査)		
	教 授 齋 藤 憲 司		
	教 授 中 西 博	教 授 岩 本 正 治	

論 文 内 容 の 要 旨

本学位論文は7章より構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章 緒言では、本研究の背景と目的、バイオミメティックス対象及び研究の現状をまとめるとともに、本研究の構成を論じている。

第2章 甲虫上翅の構造では、甲虫上翅構造の解析方法を確立し、上翅の三次元的な構造、特に上翅における小柱の分布とその構造を明らかにしている。カブトムシとクワガタムシの小柱はほとんど不規則で上翅全体に分布し、この不規則性はよく知られている甲虫上翅のほぼ直線の点刻列と異なっている。カブトムシ上翅の気嚢はハニカム構造の模様として見られ、一つの区画に1～2本の小柱構造が普通である。また、甲虫上翅においては、小柱が中空であるというこれまでの認識と異なり、小柱の中心部はタンパク質を有する非中空であり、小柱のキチン繊維部は上下層のキチン繊維と曲線で連続的につながっていることを明らかにしている。

第3章 甲虫上翅の断面構造とその力学的特性では、甲虫上翅の断面構造の特徴を考察し、フレーム構造となる上翅左右両端の断面形状について、上翅の曲げ及びねじり剛性に関する断面二次モーメント及び断面二次極モーメントを解析している。その結果、上翅断面の剛性において、甲虫上翅は左右両端の各部位の断面形状が異なり、この変化により上翅の根元に近いほど曲げ剛性が大きくなり、所要の曲げ剛性を達成すると同時に、上翅全体では比較的均一な断面二次極モーメントを有することを示している。

第4章 甲虫上翅の積層構造とその力学的特性では、オスカブトムシ上翅を用い、そのキチン繊維の積層構造を調べ、全体として非等角な積層構造となっていることを明らかにしている。また、生きているカブトムシ上翅を45°ずつの方向で試験片を作り、その引張り強度の異方性を検討した。上翅の破壊挙動は、応力-ひずみ曲線の破壊時の特徴により、試験片が一気に破断するタイプⅠと、応力がある程度残存しているタイプⅡとに分けられる。タイプⅠとタイプⅡの比率は試験片の採取方向に依存し、試験片の採取方向0°ではタイプⅠの割合が大きく、引張り強度が一番強く、90°ではキチン繊維とたんぱく質との剥離が生じやすいため、タイプⅡの割合が増加する傾向になり、強度も弱くなることを示している。

第5章 甲虫上翅の層間強化機構では、甲虫上翅の複合構造はどのように平面積層材の弱処を克服しているかに注目し、オスカブトムシ上翅でのキチン繊維層間の剥離試験を行い、剥離曲線と小柱の三次元的な強化機構との関連から検討している。その結果、上翅の剥離試験における剥離曲線での荷重ピーク数はキチン繊維層間に存在する小柱の本数とよく一致し、荷重ピークは小柱の破壊に起因し、剥離曲線の形状は小柱の密度および2次元分布状態に強く依存している。剥離過程においてキチン繊維は引張りの負荷形態となり、剥離抵抗の増大に多いに寄与している。キチン繊維層間の剥離抵抗は小柱のところでは局部的

に約30倍、全体平均でも約3倍に増加することを示している。

第6章 甲虫上翅の層間強化のモデル解析では、第5章の剥離実験で観察された小柱根元の破壊の3タイプにおいて、上翅の小柱根元にあるキチン繊維の三次元構造を簡便にモデル化し、破壊タイプの小柱直径との依存性及び小柱根元の構造の有無による破壊時の主応力の分布を有限要素法で解析している。その結果、カブトムシ上翅剥離曲線のピークの大きさは小柱の直径と比例し、小柱根元の破壊タイプに依存していることを明らかにしている。

第7章 結論では、これまでの各章で得られた結果をまとめるとともに、甲虫上翅を用いてバイオミメティックスによる複合構造の設計に関する基礎研究の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、甲虫上翅の電子ビーム観察装置(ESEM)による観察結果を基に、甲虫上翅の断面構造、積層構造、層間強化機構などを徹底的に解明することによって生物体の構造から得られた知見を複合材料設計に役立てるべく、行った研究である。複合材料研究におけるこの方面の研究は他の分野に比べて必ずしも多いとは言えず、解析方法や評価方法なども確立されていないのが現状である。そのような研究環境の中で本研究が示した解析方法や評価方法は今後機械において、先駆となるものと期待され、本研究の価値もここにあるものと思われる。

本学位論文作成の基礎となる学術論文は以下の通りである。

- (1) 甲虫上翅の断面構造とその最適性
陳錦祥、岩本正治、倪慶清、倉鋪憲、齋藤憲司
日本材料学会「材料」、第49巻4号 407-412 (2000)
- (2) 甲虫上翅の積層構造とその力学特性
陳錦祥、岩本正治、倪慶清、倉鋪憲、齋藤憲司
日本材料学会「材料」、第50巻5号 455-460 (2001)
- (3) 甲虫上翅の層間強化機構に関する一考察
陳錦祥、岩本正治、倪慶清、倉鋪憲、齋藤憲司
日本機械学会論文集A 第67巻2号 (2001)
- (4) MICROSTRUCTURE OF THE TRABECULA IN THE FORM-WING OF BEERLE AND ITS MECHANICAL PROPERTIES
Jinxiang Chen, Masaharu Iwamoto, Qing-Qing Ni, Ken Kurashiki and Kenji Saito
ICCM-13, in press