氏名	杉山文子（すぎやま ふみこ）
学位(専攻分野)	博士（工学）
学位記番号	博乙第60号
学位授与の日付	平成9年11月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	高強度先進セラミック複合材の強度評価に関する研究
審査委員	(主査) 教授 西田俊彦 教授 前川善一郎　教授 岩本正治

論文内容の要旨

セラミックスは、比強度、比剛性、耐熱性等に優れるため、各種構造用部材への適用が期待され、特に航空宇宙器機や超高速輸送機関用の外壁材への適用は、精力的に検討され始めている。しかしセラミックスは一般に脆性で、靭性を高めるための研究が必要である。高靭性化のための主要な技術の一つは複合強化であり、最近では組み合わせる材料の選択、複合形態の制御、配合量の検討等の調査研究が積極的に行われ、またセラミックス基複合材の各種製造プロセスに関する研究も盛んである。

本論文では、セラミックス基複合材料中で、靭性の向上効果が大きいと期待されているセラミック長繊維で一方向強化されたセラミックス系複合材料（CFRC）を取り上げ、引っ張り、圧縮、せん断試験条件下での破壊強度を的確に評価できる測定条件の確立と、そこで得られる強度パラメータは、材料の微視的な破壊の進行とどのような関係を保ちながら出現してくる値であるかを議論したものである。

第1章では、研究の目的と最近までの複合材料の発展の歴史を概観し、その中で長繊維強化複合材が開発されてきた経緯、とくにセラミックス基複合材料が、近年、積極的に取り上げられている工学的背景についてまとめている。さらに実験に供した材料（カーボン長繊維強化型窒化ケイ素、Si-Ti-C-O（チラノ繊維）長繊維結合型セラミックス）の製造プロセス、基本物性等についても言及している。

第2章では、セラミックス系材料の力学的評価にもっぱら賞用されてきた曲げ試験を取り上げ、静的および衝撃曲げ試験を想定し、負荷の開始時から荷重の上昇を経て荷重低下（破断）に至るまでの過程について、有限要素解析（FEM）を利用した応力分布の理論的シミュレーション結果と、カーボン長繊維強化窒化ケイ素についての実験結果とを比較している。静的試験では、曲げ試験時の破壊挙動を詳細に観察し、この種の材料は圧縮強度が意外と低いために、荷重点直下で発生する圧縮破壊が、それに続くせん断破壊挙動に影響を与えがちなことを指摘している。また衝撃試験では、高周波振動を伴った応力波形が得られ、破壊強度の正確な決定は困難であることが従来から指摘されてきているが、立ち上がりの緩やかなランプ入力波を導入することによって、振動を極力抑えた実験を実現して、静的試験結果との強度値の比較を可能にしている。

第3章では、前章で検討をした試験条件を用いて、カーボン長繊維強化窒化ケイ素の静的条件と衝撃条件下での曲げ試験、圧縮試験、せん断試験を行い、この種の材料の破壊時に伴う強化繊維同士の滑り機構、繊維の切断と引き抜け等の強化諸機構の発現と、得られる強度値との関係を整理している。曲げ試験については、試験片の高さとスパンの比を選択することによって、引っ張り強度およびせん断強度がそれぞれ独立に評価できる条件を議論している。圧縮試験では、強度を繊維の配向方向と圧縮方向との関係で整理し、繊維配向方向と平行方向の生じるせん断挙動と、それと直角方向に生じるせん断挙動とに分離することを可能にしている。さらにせん断試験については、角柱状試験片に目違いにノッチを導入した試験片を

圧縮する方法を採用し、FEM解析を併用した詳細な応力分布の調査を行い、この試験法を採用するとせん断強度が少し低く評価される可能性について、ノッチ部への応力集中効果やノッチ導入時の材料の損傷の影響を議論している。

第4章では、前章で取り上げた材料よりもせん断強度と引っ張り強度との値が近い特性を有しているチラノ繊維結合型の複合材料を取り上げ、これまでの議論の妥当性を実験的に再確認している。さらにこの章では、引っ張り強度とせん断強度について、それらの速度依存性と温度依存性にも言及している。速度依存性に関しては超低速条件から高速衝撃条件までの7桁、また温度条件に関しては、液体窒素温度から数百度程度までの実用温度域にわたってのデータを提出し、試験条件変化に伴う強化機構の変化に関する考察を行っている。

第5章は以上の研究成果をまとめると共に、この種の研究の意義とセラミックス系複合材料の将来展望を述べている。

論文審査の結果の要旨

提出され論文は、最近、活発に開発研究が進められるようになってきたセラミックス複合系新素材の強度評価に関係し、通常の材料試験機を使って行う静的条件下での試験と、ホプキンソン棒法試験機を用いて行う衝撃試験の結果を比較検討したものである。特に衝撃試験においては、立ち上がりの緩やかなランプ波（試験片に衝突する瞬間はゆっくりと接触し、その後試験片を破断する際には所定の速度にまで到達する入力波形）を導入し、衝撃試験に付随する高周波振動の影響を極力抑えた正確な試験法を確立した点は、新規な試みとして評価できる。研究成果は、まず曲げ試験、圧縮試験、せん断試験を行う場合に試験片中に現れる応力分布と、それによる破壊の進行挙動をFEM解析の手法で予測し、それらを実際に各種試験で破壊させた材料中に見られる微視的な破壊進行状況の観察結果とを摺り併せて、詳細な考察を行う手法でまとめられている。そしてセラミックスのような脆性材料の衝撃試験行う場合の技術的な注意点を整理し、破壊の開始からき裂拡大に移行する過程で、破壊の機構は遷移する場合があり得ること、破壊強度は応力速度条件や環境条件の違いによってかなり変化することなど、いくつかの興味ある結果を得ている。

これらの研究成果は査読機構の整った国内および国際学術論文誌10編に掲載され、その内の4編は申請者が筆頭著者である。さらに1編は現在審査中となっている。そして本研究の成果は、最近、通産省工技院で実施されている先進複合材料のせん断強度試験方法の国内・国際標準化の作業において、重要な参考資料として活用されつつある。

以上を踏まえて、本審査委員会は全員一致して、本論文が本学の博士（工学）の学位授与に値するものと判断した。