

氏名	たなかもとつぐ 田中基嗣
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2003号
学位授与の日付	平成13年3月23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	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	高温繊維強化複合材料の界面メゾメカニクス

論文調査委員 (主査) 教授 落合庄治郎 教授 駒井謙治郎 教授 大谷隆一

論文内容の要旨

本論文は、繊維強化複合材料の破壊挙動に決定的な影響を与える界面はく離の発生・成長・集積過程を記述できるよう改良した修正シエララグアナリシス法ならびにそれと繊維・マトリックスの空間強度分布を与えるモンテカルロ法を組み合わせたシミュレーション法を提案し、界面強度、熱残留応力、繊維配置などの異なる多様な複合材料に応用した結果をまとめたものであって、11章からなっている。

第1章は緒論であり、繊維強化セラミック基複合材料における繊維・マトリックス・界面の損傷などのメゾ事象間の力学的相互作用の近似解法開発、および破壊過程の再現手法確立の必要性を示した上で、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、本論文においてメゾ事象間の力学的相互作用の近似解法として開発した修正シエララグアナリシス法、およびメゾ事象の発生・成長・集積に関するモンテカルロシミュレーション手順について詳しく述べている。

第3章では、平滑な一方向繊維強化複合材料について、界面はく離挙動に及ぼすメゾ事象間の力学的相互作用、熱残留応力および摩擦せん断応力の影響などを明らかにしている。

第4章では、切欠きを有する一方向繊維強化複合材料の界面はく離挙動について検討し、摩擦せん断応力および熱残留応力がはく離の臨界エネルギー解放率に及ぼす影響を明らかにした上で、切欠き先端位置に依存して変化する界面はく離進展挙動の概要を得ている。

第5章では、界面反応が生じ、繊維軸方向に繊維に圧縮、マトリックスに引張りの熱残留応力が働く一方向 SiC/TiAl 複合材料の破壊過程について検討し、界面反応により形成される欠陥の分布に極値分布を適用して繊維束強度を求めることで、本材料の強度をよく説明できることを明らかにしている。また、開発したシミュレーション法を援用して、熱残留応力およびマトリックス強度が破壊挙動に及ぼす影響を定量的に把握している。

第6章では、第5章で取り扱った材料とは繊維軸方向に働く熱残留応力の方向が逆の一方向 Si-Ti-C-O/BMAS 複合材料の破壊機構、特に界面はく離挙動について検討し、破壊過程を実験的に解明した上で、第2章で提案した手法を用いてその特徴を再現している。

第7章では、一方向繊維強化セラミック基複合材料の破壊過程に及ぼす繊維体積含有率や熱残留応力の影響について実験的および理論的検討を行い、繊維体積含有率が高く、繊維軸方向に繊維に引張り・マトリックスに圧縮の熱残留応力が働く複合材料においては、マトリックス破断にともなう界面はく離は抑制され、繊維破断にともなう界面はく離は促進されることを明らかにしている。

第8章では、繊維配置の不均一性が破壊挙動に及ぼす影響について検討し、繊維配置が不均一な場合と均一な場合との違いを実験的に把握し、提案したシミュレーション法でその違いを再現している。さらに、シミュレーション結果から、繊維強化プラスチックの強度は繊維配置の不均一性に鈍感であるのに対し、繊維強化セラミック基複合材料は敏感であることを

明らかにしている。

第9章では、炭素繊維 C/C 複合材料の切欠き強度に及ぼす界面特性および試料サイズの影響について検討している。試験片幅の減少および界面強度の低下にしたがって、両側切欠き材の破壊が破壊じん性基準から正味断面破壊応力基準へ移行することを明らかにしている。また、修正シェアラグアナリシスを応用した織物複合材料の切欠き強度の予想手法を提案している。

第10章では、試験温度の変化にともなう界面および構成材特性の変化が平織 SiC/SiC 複合材料の静的・動的破壊特性に及ぼす影響について検討している。まず、室温に比べて 1473K のほうが、静的な破壊強度が界面はく離の促進により上昇することを明らかにしている。ついで、界面はく離および構成材破断が破壊強度に及ぼす影響を独立に定量評価している。さらに、平織 SiC/SiC 複合材料が 1473K においてクリープ挙動を示すことを確認し、静クリープ下の時間-ひずみ関係を定量評価している。

第11章は結論であり、本研究について得られた結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代高温材料として期待されている繊維強化セラミック基複合材料の破壊挙動の解明、および材料設計に向けてその把握が重要な課題となっている界面はく離、繊維破断、マトリックス破断などのメゾ力学事象が、繊維強化複合材料の破壊挙動に及ぼす影響を検討したものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 界面はく離の発生・成長・集積過程を記述できるよう改良した修正シェアラグアナリシスを提案し、それと繊維・マトリックスの空間強度分布を与えるモンテカルロ法を組み合わせることで、これまで適当な記述法がなかったメゾ事象間の力学的相互作用を近似的に表すことに成功し、これをもとにはく離が力学的相互作用下で成長・停滞を繰り返しながら進むことを初めて明確に示した。
2. 熱残留応力、はく離界面での摩擦せん断応力、繊維体積含有率、繊維の幾何学的配置などの因子が界面はく離に及ぼす影響を、実験的に把握するとともに提案した計算方法でよく説明できることを示した。
3. 界面はく離、繊維破断およびマトリックス破断が空間的に分布して集積する、実際の繊維強化複合材料の損傷マップの推移、応力-ひずみ曲線および破壊モルフォロジーについて、その場観察で得た実験結果を提案したシミュレーション法で再現することに成功した。
4. 提案した計算方法を切欠きを有する織物材破壊に展開し、試料サイズの増加にともなう正味断面破壊応力基準から破壊じん性基準への遷移現象について、はく離長さと試料サイズの関係から初めて定量的に説明した。

以上要するに、本論文は、繊維強化セラミック基複合材料について、破壊挙動を界面メゾメカニクスの見地から明らかにし、高強度化や安全設計の指針を与えたものであり、得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年12月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。