The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	超高速衝撃荷重下における材料の混合モード破壊に関する研究
Author(s)	山内, 良昭
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43203
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	山内良昭（やまうち よしあき）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　16607　号
学位授与年月日	平成14年1月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	**超高速衝撃荷重下における材料の混合モード破壊に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教　授　片岡　俊彦 （副査） 教　授　青野　正和　　教　授　梅野　正隆　　教　授　遠藤　勝義 教　授　広瀬喜久治　　教　授　森　　勇藏　　教　授　森田　瑞穂 教　授　芳井　熊安　　助教授　中野　元博

論文内容の要旨

本論文は、超高速衝撃荷重下での材料の混合モード破壊に関する研究成果をまとめたもので、全7章から成る。

第1章では、本研究の目的及びエネルギー解放率を用いて破壊を論ずることの意義について述べた。

第2章では、均質脆性材料の混合モード破壊じん性を、中央切欠円板を用いた衝撃及び静的試験により測定し、従来の混合モード破壊クライテリアとの比較を行った。その結果、従来のクライテリアでは試験結果をよく説明できなかった。その原因の一つとして、き裂先端近傍における応力場の非特異項の影響が考えられることを示した。

第3章では、エネルギー解放率の評価において非特異項の影響を含めるという混合モード破壊クライテリアの修正を提案した。この修正されたクライテリアに基づき、切欠先端形状の影響を含めた数値解析を行った結果、混合モード破壊試験の結果をよく説明できることを示した。

第4章では、不均質材料であるCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）積層材の混合モード層間破壊じん性を、中央切欠円板を用いた衝撃及び静的試験により測定し、破壊強度の評価法を示した。また、試験後の破面の観察から、混合モード荷重下におけるCFRP積層材の層間破壊の進展メカニズムを明らかにした。

第5章では、新しく高強度パルスレーザーの照射により飛翔体を8 km/sを超える速度まで加速し、CFRP積層材ターゲットに衝突させる超高速衝撃試験を実施した。試験後のCFRP積層材には、第4章の試験と同様の破面が見られたことから、超高速衝撃下でも静的及び通常の衝撃試験と同じメカニズムにより破壊が生じることが明らかとなった。

第6章では、超高速衝撃下でのCFRP積層材の破壊強度を評価するために、数値シミュレーションを行った。レーザー衝撃下でのCFRP積層材の破壊強度が第4章の層間強度と同等であるとして解析を行ったところ、CFRP積層材ターゲット裏面の変形量、変形速度は試験結果とほぼ一致した。これより静的及び通常の衝撃荷重下の混合モード破壊に関する強度データに基づき、数値解析を援用することで、超高速衝撃域でのCFRP積層材の破壊強度を十分に評価できることを示した。

第7章では、本研究を総括し、得られた成果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文で研究に供されているセラミックスや複合材料に代表される先進材料は、過酷な環境下での使用に耐え得る強度と剛性を有する軽量構造材料として、近年注目を集めているものである。このような先進構造用材料は、概して脆性的な性質を持つことから、これらが実際に利用される過酷な条件下において、き裂進展に対する抵抗力「破壊じん性」を評価し、それを機械・構造物の最適設計に反映させる必要がある。本研究の目的は、静的、衝撃及び超高速衝撃荷重下における先進構造用材料の混合モード破壊のメカニズム及びクライテリアを明らかにし、その破壊強度の評価法を提示することにある。本研究の主たる成果をまとめると以下の7つになる。

(1)中央切欠円板を用いた均質等方性脆性材料の衝撃及び静的試験法を開発し、混合モード破壊じん性を測定している。従来の混合モード破壊のクライテリアでは、き裂先端近傍における応力場の非特異項の影響を考慮していないため、試験結果をよく説明できないことを示している。

(2)上記の結果を説明するため、混合モード荷重下における破壊のクライテリアの修正を提案している。均質等方性脆性材料では、応力の非特異項及びき裂（切欠）先端形状が混合モード破壊じん性に大きな影響を与えるが、これらの影響をエネルギー解放率の評価において考慮することで、修正されたクライテリアにより混合モード破壊試験の結果をよく説明できることを数値解析により明らかにしている。

(3)不均質材料であるCFRP積層材の混合モード層間破壊じん性を測定するため、中央切欠円板を用いた衝撃及び静的試験法を開発している。試験後の破面の観察から、混合モード荷重下におけるCFRP積層材の層間破壊の進展メカニズムを提案している。

(4)混合モード荷重下では、ミクロなき裂の曲進により生成される破面の実効面積が大きくなるにも関わらず、マクロに層間を進展するとしたときの破壊じん性の評価において、破面の実効面積が増加することを考慮していないために、見かけの混合モード破壊じん性が大きく評価される。本研究では、この影響を含めたエネルギークライテリアを用いることによって、CFRP積層材の真の破壊強度を評価できることを示している。

(5)超高速衝撃下での破壊強度を評価するために、本研究では高強度パルスレーザーの照射により飛翔体を8 km/sを超える速度まで加速し、CFRP積層材ターゲットに衝突させる超高速衝撃試験を新たに開発している。この試験法では、破壊に至るまでの時間が500nsと通常の衝撃荷重に比べて2桁以上速い超高速衝撃下におけるCFRP積層材の破壊試験を実施可能としている。

(6)超高速衝撃試験後のCFRP積層材ターゲットには、静的及び通常の衝撃荷重下での試験において見られるのと同様の破面が観察されることから、超高速衝撃下でも同様なメカニズムにより層間破壊が生じていることを明らかにしている。

(7)静的及び通常の衝撃荷重下の混合モード破壊に関する強度データに基づき、有限要素解析による数値シミュレーションを援用することで、超高速衝撃域でのCFRP積層材の破壊強度を十分に評価できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、先進構造用材料の静的、衝撃荷重下のみならず、超高速衝撃荷重下における混合モード破壊試験を実施し、その破壊のメカニズム・クライテリアを明らかにするとともに、数値解析の援用による超高速衝撃域での破壊強度の評価の妥当性を示している。これらの成果は、「破壊の科学」の発展に寄与するだけでなく、極限環境で使用される先進材料の改良、開発のみならず宇宙構造物等の設計、保守に対し重要な知見を提供するものと考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。