

機能材料工学専攻		紹介教官氏名	逆井 基次
申請者氏名	李明		

論文要旨 (博士)

論文題目	MIXED-MODE FRACTURE OF ENGINEERING MATERIALS (工業材料の混合モード破壊)
------	--

(要旨 1,200 字程度)

モード I 破壊靱性値、 K_{Ic} 、は構造材料の破壊抵抗を表すパラメータとして最もよく使われている。しかしながら、モード I 負荷様式における破壊力学データは多くの報告があるものの、実際の構造物において、純モード I のみの負荷応力で破壊に至ることはめったにない。構造物に対する脆性的な破壊は外部負荷応力方向、また任意の角度に向く或いは多軸の応力を加えられた最も弱い亀裂、あるいは、材料固有の内存欠陥から主じることが一般に認められる。従って、構造材料としてのセラミックスの実用化において混合モード下での破壊データの蓄積、また、メカニズムを解明することは重要である。本研究では、混合モード I/II 破壊に焦点を絞り、多くの工業材料を網羅しながら、混合モード破壊の理論と実験を体系的に論ずる。

本論文中、前半 (1～5 章) においては、工業材料の基本的力学特性を原子論的観点から分類する。また、一般的な破壊力学、混合モード破壊に関する理論を簡単にレビューする。その中で理論的、また、実験的な問題点も併せて指摘していく。論文中後半では、セラミックス (6 章)、金属 (7 章)、C/C 複合材料 (8 章) の混合モード下での破壊現象を理解する為の実験手法の開発、理論展開を行う。6～8 章を概略すると次のようになる。

6 章においては、多結晶セラミックスの混合モード破壊を微視的構造を考慮することで議論した。破壊靱性値を実験的に見積る為に、予亀裂を導入した試験片が用いられる。しかし、粒子構造を有する多結晶材料は、予亀裂面に粒子架橋を形成するため、混合モード I/II 破壊機構は純モード I 破壊よりもより複雑になる。種々の多結晶セラミックスを用いた I/II 混合モード破壊試験の結果から、予亀裂を持つ多結晶材料の試験片では理想的な純モード II 破壊は起こり得ないことを実験的に見出した。亀裂面の摩擦は亀裂先端部分での局所的なモード II 応力拡大係数の減少を引き起し、実験的に純モード II の応力場を与えたとしても、モード I の変形も生じる。この粒子架橋に起因した亀裂開口によるモード I 成分の混入を亀裂先端の局部応力拡大係数、 K_I と K_{II} に対する亀裂面摩擦の作用を考慮した幾何学モデルを導入することで補正する手法を確立した。さらに有効応力拡大係数の概念を導入し、その値を見積もった。予亀裂中の粒子架橋の影響が大きい多結晶アルミナと黒鉛材料を試料とした混合モード試験結果を本理論に適用した結果、標準化された有効応力拡大係数及び亀裂進展角度は最大主応力理論の予測値とよい一致を示した。

7 章においては、モード I 疲労亀裂進展における比例 (モード I) と非比例 (混合モード I/II) 過負荷への影響を考察した。その結果、比例 (モード I) 過負荷による疲労亀裂進展速度の低下効果は非比例 (混合モード I/II) 過負荷より大きいことが明らかとなり、構造物の疲労寿命を予測するにあたり、非比例過負荷を単純に比例過負荷として見積ることは危険であることを明確にした。

8 章においては、セラミックマトリックス C/C 複合材料における混合モード I/II 破壊の特別な例である層間せん断破壊を考察した。異なる試験法による繊維強化複合材料の層間せん断強度測定法を比較・検討した結果、従来のショートビームを用いた 3 点曲げ (SB) 試験法により得られた層間せん断強度は、ダブルノッチ圧縮 (DNC) 試験法の値より常に高いことが示された。この SB 試験法に見られる問題点を解明することで、層間せん断強度の正確な算出法、解析法を提案した。