

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 半谷 禎彦

本論文は「界面き裂の破壊基準に関する研究」と題し、本文7章と付録からなる。

近年、異なる材料を接合／複合した材料・構造が様々な分野で用いられ、その強度や信頼性に関連して、異材界面に存在しないしは発生したき裂（界面き裂）の強度・破壊挙動評価手法の確立が求められている。界面き裂の問題には線形弾性解における応力の振動特異性という問題があり、これが主たるネックとなって、その破壊基準は、ぜい性的な破壊に対しても十分に確立されたとはいえず、非弾性的な挙動を伴った破壊については何をき裂パラメータとして用いるかということも含め、未解決の問題が多く残されている。本研究はこの界面き裂の破壊基準につき、それによるとき、均質材中のき裂であればぜい性的な破壊から延性的な破壊まで統一的な形で破壊基準を与えることができ、構成条件によらず常にひずみエネルギー面積密度の意味を持つ CED を界面き裂問題に拡張／導入して、それに基づく界面き裂のぜい性的破壊から非弾性的な挙動を伴った破壊までを統一的に扱う破壊基準を提案し、その有効性を示したものである。

第1章は「序論」であり、本研究の背景、目的・意義、および本論文の構成について述べている。

第2章「本研究に関わる基本事項」では、均質材中き裂の CED とそれによる破壊基準の考え方や従来知られている界面き裂のパラメータ、ぜい性的破壊を対象に提案されている  $\sigma_0$  クライテリオン等、本研究を展開する上で必要となる基本事項についてまとめている。

第3章「界面き裂パラメータとしての CED」は本研究でき裂パラメータとして用いる CED の界面き裂における定義、基本的性質について論じた部分である。連続体に対する CED は半円状の切欠き端を有する切欠きを介して定義されるが、ここでは二つの異なる材料の間に切欠きを挟み、二つの材料に挟まれた切欠き前方については一方の材料部分から他方の材料部分まで材料定数が連続的に変化する領域と考え、このようなモデルにおいて切欠き曲率半径をゼロと持っていき極限として界面き裂を捉え、CED を定義することを提案している。このようにするとき、切欠き曲率半径がどのように小さくなくても実現される場合は連続であり、CED に関し均質材を考える場合に存在した各種の性質が保持され、このことから、界面き裂に対しても CED はき裂端からの任意の方向に定義でき、かつ各変形モードに分離できること、さらにそれらは領域積分により評価できることを示している。また、弾性問題に対しこれまでいくつかの界面き裂パラメータが知られているが、これらが定義される特殊な条件下では CED はこれらパラメータとの間に対応関係が成り立ち、これらパラメータが果たし得る役割を包含するものであることを明らかにしている。

第4章「界面き裂破壊実験」では、破壊基準検討のため行った BNS (Brazil-Nut-Sandwich) 試験片

による界面き裂の破壊実験についてまとめている。高剛性側金属、低剛性側エポキシからなる **BNS** 試験片を作成して、種々荷重条件を変えて破壊実験を行い、破壊荷重、き裂進展方向等、次章における破壊基準の検討において必要となるデータを得ている。なお非弾性挙動を伴った破壊基準を検討する立場からエポキシについては十分硬化する以前での破壊実験を行っており、対応するエポキシについての材料試験を界面き裂破壊実験に先立って実施し、次章の有限要素解析による評価で必要となるエポキシについての非弾性構成式を決定している。

第5章は「**CED** による破壊基準の検討」であり、前章の破壊実験に対応する非弾性有限要素解析を行い、3章で定義した **CED** の破壊時における値を評価し、**CED** に基づく界面き裂破壊基準のぜい性的破壊から非弾性領域を伴う破壊までの統一的有効性を実証している。解析を通じ、**BNS** 試験片に引張り型荷重をかけるときは小さな非弾性領域を伴った、圧縮型荷重をかけるときは大きな非弾性領域を伴った破壊となっていること、すなわち前者については金属における小規模降伏破壊に、後者は大規模降伏破壊に対応するものとなっていることが明らかになり、何れにおいても **CED** のモード I 寄与分が最大になる方向にその値がある限界値に到達したとき破壊が始まることとして破壊基準が与えられることが示されている。破壊限界値については均質材の場合と異なり、ぜい性的破壊では材料の組合せに依存して定まるが、大きな非弾性領域を伴う破壊においては材料の組合せに加え、き裂端での非弾性変形への拘束が異なってくることから荷重様式にも依存するものとなることを明らかにしている。

第6章「3次元複合メッシュ法によるき裂パラメータの基本的検討」は、本研究ではこれまでの同種の研究と同様、扱った対象を基本的に2次元問題として扱っているが、異材を組み合わせた材料では均質材の場合と比べ一般に2次元近似が成り立ちにくいことから、き裂の特異性に配慮したメッシュと界面の端部における特異性に配慮したメッシュを組み合わせた複合メッシュ法による界面き裂の3次元線形弾性解析を行い、2次元近似として扱うことの意味につき基本的検討を行っており、本研究で用いた **BNS** 試験片のようなき裂長と試験片厚さの割合においては2次元近似による扱いが十分意味を持つものとなることを示している。

第7章は「結論」であり、本論文の成果がまとめられている。

「付録」においては、第6章で用いた複合メッシュ法の定式化と同法の妥当性について行った基本的検討の結果をまとめている。

以上要するに本論文は、これまで未解決のまま残されている界面き裂の破壊基準につき、均質材につきその適用が成功している **CED** を界面き裂に拡張定義し、それに基づく破壊基準を提案して破壊実験によりぜい性的破壊から非弾性変形を伴った破壊までのその統一的有効性を示したものである。今後益々その適用範囲が広がると考えられる異なる材料を接合／複合した材料・構造の開発と強度信頼性の向上に寄与するところが大きいものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。