

審査の結果の要旨

氏名 南 秉 群

本論文は「き裂エネルギー密度理論に基づく圧電材料の破壊力学」と題し、本文 6 章からなる。

圧電材料は、その特性である電気-力学連成挙動の故、センサやアクチュエータ等の材料として様々な分野で用いられ、その強度的信頼性への要求も高まっていることから、近年、破壊力学的立場からの強度評価研究も活発に行われて来ている。しかし、これまでに通常材料を対象に成功した応力拡大係数やエネルギー解放率、 J 積分等のパラメータの圧電材料への拡張が試みられ、それらパラメータを用いて破壊現象を説明することが試みられて来たが、何れも実験事実としての圧電材料の電界強さ依存性を説明することができず、進むべき方向性を失った状態にある。本研究は、このような背景を受け、通常材料を対象に、き裂の挙動を材料の構成則に関係なく統一的に取り扱うことを可能にするパラメータとして提案されているき裂エネルギー密度 CED の概念を電気-力学連成挙動を示す圧電材料に拡張導入し、関連する基本的諸関係を導いて、 CED を中心とする圧電材料破壊力学ともいべきものを構築し、その有効性を実証しようとしたものである。

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、圧電材料の特性に関する基礎知識を示すとともに、き裂の電気弾性特異解を紹介し、また数値解析に必要となる圧電材料の有限要素法に関する知識をまとめている。さらに、従来の圧電材料破壊力学パラメータに関する検討を行って、それらパラメータの問題点、限界を指摘するとともに、本研究の中心パラメータとなる CED につき、通常材料に対するときのその定義から他の破壊パラメータとの関係、評価法などこれまでに知られている事実について述べる等、本研究を進める上で必要となる基本事項をまとめている。

第 3 章「圧電材料におけるき裂エネルギー密度 (CED)」は本研究でき裂パラメータとして用いる圧電材料の CED を定義し、それが一般に力学的寄与分を電氣的寄与分に分離できること、それらの量が本章冒頭で導かれるエネルギー保存則を適用することにより径路独立積分で表示できること、さらには有限要素解析によりそれらの量を実際に評価し、 CED の力学的寄与分が、破壊実験結果の示す傾向を説明できるものとなっていることを示したものである。なお本章では、 CED と他の従来知られているパラメータとの関係を論じると共に、線形問題に対して知られている理論特異解と比較することにより、著者が開発した有限要素プログラムの妥当性、それによる有限要素解の精度が十分なものとなることの検証も行っている。

第 4 章「電氣的境界条件と欠陥形状が圧電体の諸量及び CED に及ぼす影響」では、き裂面の電氣的境界条件が圧電体に生じる応力や CED に及ぼす影響について検討を行っており、圧電材料に生じたき

裂の評価には、電氣的境界条件の与え方が重要であることを明らかにしている。すなわち、従来多くの研究においては、き裂面に理想化した電氣的浸透性条件あるいは電氣的不浸透性条件を課しているが、圧電材料を扱うには電氣的含有物を想定して扱う正確な境界条件の下で問題を扱う必要があること、CED を含め関連パラメータの値に欠陥形状が大きく影響を与え、切欠きを介して定義されている CED は欠陥形状が与える影響も含んだ形でのき裂パラメータになっており、この点でも CED は有利なものとなっていることを示している。

第5章は「圧電材料の任意方向 CED とそれによる破壊現象の検討」であり、前章までにおいてはき裂直進方向の CED のみを考えていたが、ここではき裂端前方の任意方向に対して CED が意味を持つように拡張し、この拡張された任意方向 CED は力学的寄与分と電氣的寄与分に分離され、それらはモード I 寄与分とモード II 寄与分に分離できること、さらに各々径路独立積分による表示が与えられることを明らかにしている。また任意方向 CED と任意方向エネルギー解放率との関係を導き、この関係を通じて、特異理論解が存在する場合にはそれを介して任意方向 CED を評価することを可能とする関係を与えている。任意方向 CED が定義されたことにより、直進しないき裂問題も扱い可能となり、任意方向 CED の力学的寄与分のモード I 成分の最大値がある限界値に到達したとき最大値が現れる方向にき裂が進展するとするクライテリオンを提案している。そしてこれにより、ある条件においてはき裂が屈折進展するという一部の実験に現れている現象を初めて理論的に説明できることを実際の数値計算結果を通じて示し、さらに多くの実験結果と比較することにより実証を進めていく必要はあるが、CED を用いることにより、圧電材料の破壊が系統的に扱えるようになる可能性があることを指摘している。

第6章は「結論」であり、本論文の成果がまとめられている。

以上要するに本論文は、現在ある種混乱状態にあるともいえる圧電材料の破壊力学的取り扱い法に新たに CED の概念を導入してこれに関わる基本的諸性質を導き、CED の概念を中心とする圧電材料の破壊力学体系を構築し、これにより圧電材料破壊力学の現状を打破し、新たな展開への可能性を示したもので、今後益々適用範囲が広がると考えられる圧電材料の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。