

Title	界面要素の開発とき裂進展および複合材料の界面剥離への応用に関する研究
Author(s)	呉, 政奇
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41382
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	呉 政 奇
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 14668 号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科船舶海洋工学専攻
学位論文名	界面要素の開発とき裂進展および複合材料の界面剥離への応用に関する研究
	論文審査委員 (主査) 教授 富田 康光
	(副査) 教授 堀川 浩甫 教授 豊田 政男 教授 壺古 勝 助教授 村川 英一

論文内容の要旨

本論文は、弾性あるいは弾塑性材料中におけるき裂進展および複合材料の界面剥離挙動の解析に広く適用可能な解析法として、界面ポテンシャルの考え方に基づいた界面要素を用いた方法を開発するとともに、その有効性の検討を行った成果をまとめたもので、5章で構成されている。

第1章では、各種金属材料や複合材料の強度評価を理論的に行うためには、き裂あるいは界面剥離の進展挙動が解析できる手法の開発が必要であることを述べ、複合材料や延性材料におけるき裂進展解析法および動的なき裂進展解析法に関する既往の研究を総括するとともに、本論文の位置付けについて述べている。

第2章では、まず、き裂面近傍のプロセスゾーンにおけるエネルギー散逸の影響も含めて、き裂の力学的特性が界面ポテンシャルの形で記述できると仮定し、これを界面要素としてモデル化を行っている。さらに、界面要素を従来の有限ひずみ弾塑性有限要素法に導入することにより開発されたき裂進展解析法(IFEM)の概要について述べている。

第3章では、提案手法の弾性材料への適用性を検証している。具体的には、まず、貼り合わされた2枚の弾性板の剥離を対象に界面ポテンシャルに含まれる定数が剥離挙動に及ぼす影響について検討している。次に、薄膜の剥離強度評価試験および繊維強化型複合材料の繊維 Push-out 試験を解析し、提案手法がモード I 型および II 型の剥離問題に適用できることを示している。

第4章では、弾塑性材料に対する提案手法の適用性を検証するとともに、材料の加工硬化特性や強度不均一がき裂進展に及ぼす影響の検討を行っている。具体的には、き裂進展の駆動力を表わすパラメーターである G 値およびき裂進展挙動そのものに対する加工硬化特性の影響を、それぞれ強制き裂進展解析および提案手法である IFEM を用いたき裂の自由進展解析により明らかにしている。一方、提案手法の弾塑性材料に対する適用性に関しては、界面ポテンシャルに含まれる定数がき裂進展に及ぼす影響を明らかにするとともに、中央切欠試験片における延性き裂進展を対象に、解析結果と実験結果との比較に基づき提案手法の有効性を示している。さらに、三点曲げモデルにおける延性き裂進展を例に、き裂の進展に及ぼす材料の加工硬化特性および材料不均一の影響について検討している。

第5章では、動的負荷の下におけるき裂進展問題への IFEM の拡張について述べ、これを中央き裂を有する弾性板およびシャルピー衝撃試験におけるき裂進展の問題に適用した結果を示している。特に、弾性板中のき裂進展については、負荷応力の上昇とともにき裂進展速度が増大し、その値が Rayleigh 表面波速度に収れんすることを解析に

において再現している。また、シャルピー衝撃試験については、慣性力がき裂進展に及ぼす影響について明らかにしている。

第6章では、第2章から第5章までに得られた主な結果に対して総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

構造物や構造部材の強度低下や破壊の多くは、き裂や剥離の進展が原因となっている。一般に、き裂や剥離の進展現象は複雑であるため、単純な実験のみでは現象の解明は不可能であり、常に理論的予測が補完的役割を担ってきた。き裂や剥離の進展の理論的研究は、工学的に重要な課題であるが、進展速度および進展経路を厳密に制御しながらき裂進展解析を実行するためには非常に高度なアルゴリズムが必要とされていた。これに対して、本論文は、単純なアルゴリズムを用いた、き裂あるいは剥離進展の力学モデルを提案したものである。提案モデルは、き裂や剥離の進展は新しい表面の生成であるという現象の基本に注目し、表面生成のメカニズムを界面要素の形で理想化し、連続体モデルに組み込んだ複合モデルである。このモデルの第一の特徴は、き裂面や剥離面が陽の形で組み込まれているため進展速度をアルゴリズム的に制御する必要が無い点にある。また、第二の特徴は、提案モデルが表面と体積から構成されているため、材料の延性をき裂面あるいは界面の特性と材料の連続体としての変形能の組み合わせという観点から分析する可能性を提供する点にある。本論文で得られた成果を要約すると次のとおりである。

- (1) き裂面近傍のプロセスゾーンにおけるエネルギー散逸の影響も含めた、き裂の力学的特性が界面ポテンシャルの形で記述できると仮定し、これをモデル化した界面要素、さらに、界面要素を従来の有限ひずみ弾塑性有限要素法に導入したき裂進展解析法 (IFEM) を提案している。
- (2) 提案手法の弾性材料への適用性検証を目的として、まず、界面ポテンシャルに含まれる定数が剥離挙動に及ぼす影響について検討している。次に、薄膜の剥離強度評価試験および繊維強化型複合材料の繊維 Push-out 試験を解析し、提案手法がモード I 型および II 型の剥離問題に適用できることを示している。
- (3) 弾塑性材料に対する提案手法の適用性を検証するとともに、材料の加工硬化特性や強度不均一がき裂進展に及ぼす影響の検討を行っている。具体的には、中央切欠試験片における延性き裂進展を対象に、解析結果と実験結果との比較に基づき提案手法の有効性を示している。また、き裂進展の駆動力を表わすパラメーターである G 値およびき裂進展挙動そのものに対する加工硬化特性の影響を、それぞれ強制き裂進展解析および提案手法である IFEM を用いたき裂の自由進展解析により明らかにしている。さらに、三点曲げモデルにおける延性き裂進展を例に、き裂の進展に及ぼす材料の加工硬化特性および材料不均一の影響について検討している。
- (4) 動的負荷の下におけるき裂進展問題への IFEM の拡張を行い、これを中央き裂を有する弾性板およびシャルピー衝撃試験におけるき裂進展の問題に適用した結果を示している。特に、弾性板中のき裂進展については、負荷応力の上昇とともにき裂進展速度が増大し、その値が Rayleigh 表面波速度に収れんすることを解析において再現している。また、シャルピー衝撃試験については、慣性力がき裂進展に及ぼす影響について明らかにしている。

以上のように、本論文は、従来の解析手法では、高度なアルゴリズムが必要とされていたき裂や剥離の進展解析に対して、き裂面あるいは界面の力学的特性が組み込まれた界面要素を導入することでアルゴリズムの飛躍的な単純化を図ったものであり、その有効性を、複合材料における剥離進展問題、弾塑性材料におけるき裂の静的および動的進展の問題の解析について検証している。これらの成果は、船舶海洋工学、とりわけ船舶海洋材料学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。