

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	拡張節点勾配型有限要素法とその破壊力学問題への応用
Title(English)	Extended nodal gradient finite elements and their application to fracture mechanics problems
著者(和文)	コウ サクイ
Author(English)	Zuoyi Kang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10671号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種類:課程博士, 審査員:廣瀬 壮一,天谷 賢治,三上 貴正,WIJEYEWICKREMA ANIL,佐々木 栄一,BUI QUOC TINH
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10671号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Kang Zuoyi		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	廣瀬 壮一	教授	審査員	佐々木 栄一	准教授
	審査員	天谷 賢治	教授		Tinh Quoc Bui	特任准教授
		三上 貴正	准教授			
Anil C. Wijeyewickrema		准教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Extended Nodal Gradient Finite Elements and Their Application to Fracture Mechanics Problems (拡張節点勾配型有限要素法とその破壊力学問題への応用)」と題して、英文全 8 章で構成されている。

第 1 章「Introduction (序論)」では、本研究の背景、目的、論文の構成を示している。き裂近傍の応力分布を精度良く求めることは、構造物や材料の安全性を確保し、余寿命を推定する上で重要な役割を果たす。そのため、き裂の解析手法として拡張有限要素法 (XFEM) をはじめとする多くの手法が提案されているが、さらなる改良が望まれている。そのような中、本論文は CQ4 と呼ばれる連続内挿関数を用いた 4 節点四辺形要素を XFEM に組み込むことによって、XCQ4 と称する新たなき裂解析手法を提案し、様々な 2 次元き裂問題に応用してその有用性を示すことを目的としている。

第 2 章「Literature Review (文献レビュー)」では、以後の章において必要となる、破壊力学、XFEM、き裂進展規準、直交異方性材料における動的破壊挙動、飽和多孔質媒体の力学に関する理論や基礎式を関連する文献を引用しつつ、説明している。

第 3 章「Formulation of XCQ4 (XCQ4 の定式化)」では、CQ4 と XFEM を組み合わせた XCQ4 の定式化を提案している。CQ4 は連続内挿手法 (CIP) を 4 節点四辺形要素に適用した要素で、節点での場の値のみならず、その一次導関数も連続となる特長を持つ。一方、XFEM は通常の形状関数に加えて、き裂面での不連続性やき裂先端での特異性を表すエンリッチメント関数を導入してき裂解析の精度を向上させる解法である。提案手法の XCQ4 は、従来の XFEM における形状関数に CQ4 を応用したもので、応力が滑らかな値として得られることから、通常の FEM 解析において後処理として行われる応力の平滑化を必要とせず、高い精度の解が得られるという特長を有する。さらに、エンリッチメント関数の導入に伴って解析の自由度が増加することを抑制するために、線形及び 3 次関数からなるランプ関数の導入が提案されている。

第 4 章「Crack Analysis in Elastic Solids (弾性固体におけるき裂解析)」では、XCQ4 を 2 次元き裂の静的問題に適用し、その解析精度及び性能について検討している。3 点曲げを受ける弾性板における表面き裂や十字型供試体における斜めき裂など、4 種類の 2 次元き裂モデルに対して応力拡大係数を求め、既知の解析解と比較している。その結果、XCQ4 は通常の 4 節点四辺形要素を用いた XFEM (XQ4) よりも精度が良く、要素数を増やした際の解の収束性が高いことを明らかにしている。

第 5 章「Quasi-static Crack Growth Simulation (準静的き裂進展シミュレーション)」では、2 次元弾性体における単一の表面き裂及び複数き裂、並びに、空洞を含む弾性板におけるき裂など、6 種類の準静的き裂進展問題に XCQ4 を適用している。き裂進展方向の決定には最大周方向応力の破壊規準を用いて、き裂進展経路を求め、既往の実験結果や解析解とよく一致した結果を得るとともに、XQ4 と比較して精度の高い解が得られることを明らかにしている。また、線形及び 3 次関数からなるランプ関数を導入した XCQ4 を用いた場合、あまり精度を低下させることなく計算コストを軽減できることを明らかにしている。

第 6 章「Dynamic Crack Analysis of Solids & Composites (固体及び複合材料の動的き裂解析)」では、過渡的荷重を受ける 4 種類の 2 次元き裂モデルの動的問題に XCQ4 を適用し、動的応力拡大係数の経時変化を求め、他の数値解析結果との比較によって、動的き裂解析における XCQ4 の有効性を示している。また、等方性弾性体だけでなく、直交異方性弾性体モデルを用いた解析を実施し、異方性が応力拡大係数に及ぼす影響を明らかにしている。

第 7 章「Fracture Analysis of Porous Media (多孔質媒体の破壊解析)」では、Bio 理論に基づく飽和多孔質媒体におけるき裂モデルに対して XCQ4 を適用し、き裂形状に合わせて要素分割をした通常の FEM 及び XQ4 と比較している。その結果、XCQ4 を用いれば、他の 2 つの解法と比較して、より少ない要素数で滑らかな水圧分布が得られることを示し、多孔質媒体の破壊解析における XCQ4 の有用性を明らかにしている。

第 8 章「Conclusions and Future Works (結論と今後の展望)」では、本研究の内容を総括するとともに、今後の研究展望について述べている。

以上要するに、本論文は、新たに提案したき裂解析手法である XCQ4 を工学分野における様々な問題に適用してその有用性を示したものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。