

論文審査の結果の要旨

報告番号	博(工)甲第112号	氏名	園部 陽平
学位審査委員	主査 才本 明秀 副査 山口 朝彦 副査 小山 敦弘		

論文審査の結果の要旨

園部陽平氏は2015年3月に長崎大学工学部工学科を卒業の後、長崎大学大学院工学研究科博士前期課程に進学し、次いで2017年4月に博士後期課程に入学した。その後、博士後期課程2年次の10月に、公募を経て長崎大学工学部の技術職員に採用された。2019年10月から2年間の休学を経て2021年10月に復学し、現在に至っている。同氏は博士課程入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、体積力法に基づく数値応力解析の高度化に関する研究を行い、特に博士後期課程では体積力法に基づくメッシュフリーな応力解析法の開発に心血を注いだ。そしてその成果を、主論文「三次元き裂問題のメッシュフリー高精度解析法の開発」として完成させ、参考論文を付して2021年12月に博士（工学）の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2021年12月15日の教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の学位審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、2022年1月28日に公開論文発表会を実施するとともに最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2021年2月16日の工学研究科教授会に、本書面をもって報告した。

学位論文の適合性を審査したところ、学位論文の印刷公表論文4編（うち審査付き論文4編）が学位論文を構成していることが認められ、適合性ありと判断した。なお、学位の基礎となる論文4編（うち審査付き論文4編）、その他の論文4編（うち審査付き論文4編）も含まれる。

機械や構造物が破壊する際には、潜在する内部欠陥や、機器の製作過程で生じた表面傷、あるいは人為的ミスや使用環境に応じて発生する腐食ピットなど様々な原因により発生した微小き裂の合体や伝ば・成長が観測されるので、き裂の挙動予測を可能とする破壊力学パラメータを精度よく求めることは、破壊の対策に必要不可欠と考えられている。特にこの傾向は、ロケットや航空機など、できるだけ軽く、しかし最低限の強度を保証して安全性を確保せねばならない機器の設計において著しい。ところでき裂先端には、理論的には無限大となる弾性応力分布が発生するため、無限

大や極限の概念を扱うことが苦手なデジタルコンピュータによる数値解析を用いることで、応力拡大係数やエネルギー解法率、J積分値などの破壊力学パラメータを精度良く求めることは容易ではない。例えば最もよく用いられている有限要素法解析において、き裂先端の要素寸法を小さくすればするほど得られる応力値は大きくなり、相対誤差も増加してしまう。しかし一方で、厳密な形で応力拡大係数の値が求められているのは極めて単純形状の3次元き裂問題に限られており、実用上は有限要素法や境界要素法などの汎用の数値応力解析手法を用いて得た数値解を、精度の検証が十分になされていない状態で機器の設計や、保守・管理に利用している現状がある。そこで本研究では、境界要素を用いずに、節点の座標データと境界条件の設定のみで、三次元き裂の応力拡大係数を精度よく解析可能とする新しい体積力法の開発を目指している。これは、要素分割の良否に依存して数値計算結果の妥当性が変化する一方で、小さく詳細な要素分割をしたとしても、必ずしも解が真值に収斂することが保証されない有限要素法や境界要素法の最大の欠点を克服し、精度良い破壊力学パラメータの値を少ない手順で求めることを可能にする新しいツールの提案を意味している。

本研究の中核をなす考え方は、節点のみで関数値を与え、それ以外には特段の内挿関数を定義しないにも拘わらず、移動最小自乗法の導入により未知関数の値を任意の位置で連続的に、微分可能な形で取り出すことができるこれを検証し、この考え方をき裂となるべき仮想境界に沿って連続的に埋め込む体積力対の重み関数に適用したことである。また、任意形状の三次元き裂を平面上の単位円内に写像する関数を、き裂全縁とき裂面上に配置した節点群から定義し、き裂上下面の相対変位の特異性を表現する体積力対の基本密度関数を、き裂の形状によらず一意的な形式で導入した解析が効果的であり、計算精度も高いことを示した一方で、境界積分方程式を解く際に不可欠な基本解の境界積分に際しては、要素を用いる方法に比べ格段の注意が必要となることも明らかにした。

以上により、き裂前縁に配置した点列のみで任意形状の平面き裂問題が解析可能となり、例えば、平面内にある複数の三次元き裂が合体しながら成長する過程を容易に模擬することが可能になった。また、検証の難しかった非平面的な三次元き裂前縁の応力拡大係数の分布についても、数少ない厳密解との比較により、極めて精度よく求められていることが実証された。これらの研究成果から、任意形状の三次元き裂問題のメッシュフリー解析が高精度に実現されたと言うことができる。

以上のように本論文は、任意形状三次元き裂問題の解析に関して新規性と普遍性及び論証性があり、高い学術価値を有していることに加え、従来の汎用応力解析システムにとって代わる新しい三次元弾性き裂問題の解析法を提案することによって破壊力学に基づく機器の設計と管理の合理化を目指すものである。

学位審査委員会は、園部陽平氏の研究成果が応力解析の分野において極めて有益であるとともに、破壊力学の進歩発展に貢献するところが大であり、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。