

論 文 要 旨

論 文 題 目 回転自由度を有する高精度有限要素に関する研究

近年の先端技術の発展は目覚しく、特に電子計算機性能は今日もなお急速に進歩・発展を続けている。このような電子計算機の普及と発達に伴い、有限要素法を中心とした数値解析技術も共に急速な成長を続けており、現在では静的・動的、線形・非線形を問わずあらゆる領域での解析が可能になっている。従って、数値解析技術は実構造物の設計に必要な応力やひずみなどの物理量を実験で求める際に生じる経済的な問題や労力、技術的な面の問題を解決できるツールとして期待されている。

数値解析手法の一つである有限要素法では、連続体を有限要素で離散化するため、使用する要素の種類や要素の数によって得られる解は異なり、解析対象物に対しての“要素の選択”が重要な問題となる。

一般に、高い精度で有限要素近似を行うことを考えた場合、二次元領域では高性能な四辺形要素、三次元領域では六面体要素が望ましいと言われているが、四辺形要素や六面体要素を用いた場合でも、アスペクト比の悪い要素分割を行えば得られる解の精度的な不安は著しい。

ところで、一般的に用いられるアイソパラメトリック要素では要素内の変位場に対して高次多項式を用いて解の高精度化を行うが、要素内部の変位場に対して高次多項式を用いれば要素を構成する節点の数を増やす必要がある。しかし、CAD情報から要素を自動分割する手法が主流となっている現在、要素の頂点以外に節点のない高精度な要素は自動要素分割が容易であり最も望ましいと言える。従って、要素頂点にのみ節点を持ち、要素のゆがみに対しても高精度解を得ることのできる要素の必要性は高く、特に三次元解析における高精度要素は必要不可欠であると考えられる。

要素の頂点のみに節点を持ち高精度解を与える要素の一つとして、節点の自由度として並進方向変位以外に回転自由度を加える方法がある。これらの要素のうちAllmanやCook及び筆者は中間節点を有する二次要素の中間節点を頂点の回転角で変換・消去した要素を導いた。一方、関口、菊池は回転自由度を直接一次要素の変位場に導入することによって回転自由度を有する平面要素を導いている。

本研究では、二次要素の中間節点を頂点の回転角で変換・消去した回転自由度を有する要素と関口、菊池の仮定による回転自由度を有する要素をそれぞれ三角形、四辺形、四面体、五面体及び六面体要素で導いた。そして、両者が異なる仮定を用いて回転自由度を導入しているにも関わらず、最終的に得られる変位場は三角形、四面体では等価になり、四辺形、五面体、六面体ではそれぞれ長方形、三角柱、立方体の時のみ等価になるという興味深い事実を証明した。本証明は、この種の要素が有する回転自由度の導入手法が関口、菊池の導入手法に集約されることを意味する。また、この要素とStrouboulisらによって提案された一般化有限要素法とは非常に密接な関係がありこれらの関連性についても述べ、回転自由度の意味について考察した。また、本要素を曲げが支配的な薄肉構造物へと適用し、その有用性についても検討した。

氏 名 松原 仁

平成17年1月31日

琉球大学大学院
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 伊良波 繁雄

副査 氏名 矢吹 哲哉

副査 氏名 山川 哲也

副査 氏名 有住 康則



学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

| | | |
|--|--|--|
| 申請者 | 専攻名 生産工機や工学氏名 松原 仁 学籍番号 XXXXXXXXXX | |
| 指導教員名 | 伊良波 繁雄 | |
| 成績評価 | 学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格 | 最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格 |
| 論文題目 | 回転自由度を有する高精度有限要素に関する研究 | |
| <p>審査要旨（2000字以内）</p> <p>近年のコンピュータの普及と発達に伴い有限要素法、境界要素法や差分法のような数値解析法が発展し固体力学、流体力学、熱伝導問題等のように工学上のあらゆる問題の解析に数値解析が応用されるようになった。今やこれらの数値解析技術は構造物の設計や研究上の道具としても必要不可欠なものとなった。特に、有限要素法は1954年のTurner, Clough, MartinおよびToppらの研究以来多くの研究が行われ、現在では重要な数値解析技術となっている。</p> <p>有限要素法では、連続体を有限要素で離散化するため、使用する要素の種類や要素数によって得られる解の精度は異なり、解析対象物に対して要素の選択、要素分割が重要な問題となる。</p> | | |

(次頁へ続く)

審査要旨

現在、解析に利用されている主な要素は一次要素（定ひずみ要素）のように頂点のみに節点変位を有するものと、二次要素（アイソパラメトリック要素等）のように頂点以外に辺中央にも節点変位を有する要素がある。解析領域形状が複雑化した問題を取扱う必要性がますます増加した現在では、解析対象のCAD情報から要素を自動分割する手法が主流となっている。このため、要素の頂点のみに節点変位を有する要素は自動要素分割が容易であり最も望ましいと言える。さらに、一次要素を用いた解析精度は二次要素を用いた解析精度に比較してかなり悪いので、頂点のみに節点変位を有する高精度要素の開発が必要となっている。

このため、本研究はCAD情報から自動分割する手法に適している要素として、頂点のみに節点変位の自由度を有する高精度要素の開発を取扱っている。

要素の頂点のみに節点を持ち高精度解を与える要素の一つとして、節点の自由度として並進方向変位以外に回転自由度を有する要素がある。これらの要素の内、本研究ではAllmanやCookらの平面要素を参考に、二次要素の中間節点変位を頂点の回転角で変換・消去した四面体の立体要素を導いている。そして、この要素の特性を調べるために数値解析を行い、その解析結果は高精度であることを示している。この様な四面体要素の開発は、複雑な三次元領域の自動分割の多くが四面体要素を用いている現在、実用的であり、固体から流体まで多方面に利用可能である。回転の自由度を有する要素として、回転自由度を有する変位場を仮定して平面要素を導く方法が関口、菊池らによって研究されている。これに対して本研究では、関口、菊池らの変位場を三次元に拡張し、四面体、五面体及び六面体の立体要素を導いている。そして、これらの要素を用いた解析の精度を調べるために三次元のはり、板、シェル構造の解析を行い、その結果、本要素を用いた解析精度は良好であることを明らかにしている。

本研究では、二次要素の中間節点変位を頂点の回転角で変換・消去した回転自由度を有する要素と関口、菊池の仮定による回転自由度を有する要素の内それぞれ三角形、四辺形、四面体、五面体及び六面体要素を導いている。そして、両者は全く異なる仮定を用いて回転自由度を導入しているにも関わらず、最終的に得られる変位場は三角形、四面体では等価になり、四辺形、五面体、六面体ではそれぞれ長方形、三角柱、直方体の時のみ等価になるという極めて興味深い事実を証明している。本証明は三角形、四辺形、四面体、五面体及び六面体要素については、二次要素の中間節点変位を頂点の回転角で変換・消去した回転自由度を有する要素（剛性行列を求めるのに変換行列をかける必要がある）を導くよりも関口、菊池のように回転自由度を有する変位場を用いて要素（剛性行列を求めるのに変換行列をかける必要がない）を導いた方が計算コストも小さいことを意味し、数値解析例からもこの点を明らかにしている。

開発された要素は任意複雑形状の立体解析によく用いられる四面体要素の場合、一次要素の節点あたりの自由度は並進変位の3個であるので、要素あたり12、二次要素は要素あたり30そして本研究で示された回転自由度を有する要素は自由度が24、解析精度は二次要素に劣るものの一次要素よりも高精度である。本論文で得られた高精度要素に関する成果はCAD情報を用いて自動分割し、数値解析に利用するのに有効であり、固体力学、流体力学等の工学上のあらゆる問題の解析に応用されるものと期待される。

最終試験では、論文提出者による博士論文内容についての発表が行われた後質疑応答が行われた。各質問に対し応答は適切であったと判断される。

以上により、学位論文審査委員一同は本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める。また、本論文提出者松原仁君は最終試験に合格と認める。